

LENZINGER BERICHTE

Vorträge, gehalten auf der 14. Internationalen Chemiefasertagung vom 24. bis 26. September 1975 in Dornbirn, sowie die im Anschluß daran geführten Diskussionen

	Seite
Eröffnungsansprache	
Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl, Wien	5
Grußbotschaft der Internationalen Chemiefaservereinigung	
Professor J.L. Juvet, Paris	7
Grußbotschaft des Fachverbandes der Österreichischen Textilindustrie	
Generaldirektor DDR. Franz Josef Mayer-Gunthof, Wien	8
Verleihung des Studienförderungspreises 1974	
Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl, Wien	9
Der Einfluß einer thermischen Behandlung auf die morphologische Struktur von Polyamid 6 unterschiedlichen Verstreckungsgrades	
Dr.-Ing. Hulusi Artunc, Reutlingen	10
Mit α -Methylbenzoin initiierte Pflropfung von Acrylamid und Vinylphosphonsäure auf Synthesefasern unter Einwirkung von UV-Licht	
Dipl.-Chem. Rolf Herzog, Stuttgart	12
Reaktions- und Lösungswärmen aromatischer Amide, Polyamide und Säurechloride im System N,N'-Dimethylacetamid/Lithiumchlorid	
Dr. Werner Koch, Stuttgart	14
Kondensationsprodukte der Pyrrolidoncarbonsäure mit Diaminen und Diolen	
Dipl.-Ing. Ingo Marini, Wien	17
Das Verhalten von Textilfasern unter Einfluß chemischer Behandlungen	
Professor Dr. Ludwig Rebenfeld, Princeton/New Jersey – USA	22
Rohstoffversorgung der Synthesefaserindustrie	
Dr. Horst Kerber, Ludwigshafen	30
Lösung der Umweltprobleme in der chemischen Industrie	
Dr. Theo Mann, Leverkusen	37
Der Einfluß der molekularen und supramolekularen Struktur der Chemiefasern auf ihre thermischen Eigenschaften	
Professor Dr.-Ing. K.E. Perepelkin, Dipl.-Ing. B.A. Muchin, Leningrad	46
Textilbrände – ihre Entstehung, ihre Auswirkung und Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung	
Dr. Martin Rieber, Frankfurt (M.) – Hoechst	69
Eine statistische Studie über die Brandgefahr bei Textilien	
Professor Dr. Henry Tovey, Washington – USA	80
Das Brennverhalten von Textilien	
Dr. Wolfgang Carl, Dormagen	88
Anforderungen an Berufsbekleidung hinsichtlich Brennverhalten	
Dr. Werner Gehrman, Koblenz	96
Über Wirkungsweise und synergistische Effekte bei Flammenschutzmitteln für Chemiefasern	
Dr. Ulrich Einsele, Stuttgart	102
Schwerentflammbare Viskosefasern	
Professor Dr.-Ing. habil. T. Skwarski, Dozent Dr.-Ing. habil. B. Laszkiewicz, Dr.-Ing. H. Struszczyk, Lodz	118
Probleme bei der Herstellung und anwendungstechnische Erfahrungen beim Einsatz schwer entflammbarer Viskosefasern	
Dozent Dr. habil. Hans Krässig, Lenzing	125

Erzeugung schwerbrennbarer Polyesterfasern mittels chemisch modifiziertem Polymeren	Seite
Professor Dr. Kazou Watanabe, Dr. Katsuhiko Kato, Shiga – Japan	135
Die chemothermische Behandlung – ein aussichtsreicher Weg zur Herstellung von schwerentflammbaren Fasern und Faserstoffen	
Professor Dr. A.S. Tschegolja, Dipl.-Chem. O.I. Fetissof, Kalinin – UdSSR	142
Die Prüfung der Entflammbarkeit von für Bekleidung bestimmten Textilien	
Dr. Frank Holmes, Manchester	152
Über die Probleme des Schlichtens aus Lösungsmitteln aus der Sicht des Umweltschutzes	
Dr.-Ing. Franz-Josef Gierse, Mönchengladbach	164
Kann die Lösemitteltechnologie Wege weisen, mit einer Universal-Maschinenausstattung sowohl Maschenware als auch Webware vorzubehandeln und auszurüsten?	
Textiling. Winfried Steitz, Augsburg	169
Ausrüsten und Färben aus organischen Lösemitteln?	
Dr. rer. nat. Jürgen Mecheels, Dr. rer. nat. Jürgen Rieker, Hohenstein/Bönnigheim	175
Kontinuierliche Behandlung zur Entwicklung von textilen Flächengebilden mit latentem Schrumpf	
Dr. Eberhard Kratzsch, Wuppertal	188
Färben und Bedrucken von Transferpapier mit Hilfe des Magnetrollsystems	
Heinrich Hartmann, Klagenfurt	194
Die Färbung von Polyamidfasern nach dem Ausziehverfahren auf der Basis neuer Erkenntnisse	
Fritz Lesszinsky, Leverkusen	198
Klotz-Kurzverweil-Verfahren sparen Energie und Wasser	
Dr. Hans-Ulrich von der Eltz, Frankfurt am Main	208
Optimales Färben von Polyester/Zellwoll-Mischgeweben nach Foulard-Verfahren	
Text.-Ing. (grad.) H. Lehmann, Text.-Ing. (grad.) C. Oschatz, Basel	216
Die Einfärbung von Fasern in der Schmelze	
Dipl.-Chem. Heinrich Schneider, Ing. (grad.) Wolfgang Fuchs, Linz an der Donau	219
Die brandtechnische Klassifizierung von brennbaren Stoffen, unter besonderer Berücksichtigung der Textilien	
Dr. rer. nat. Dipl.-Chem. Wilhelm Jach, Kiel	227
Das Brandverhalten von Textilien aus der Sicht der Feuerwehr	
Branddirektor Dipl.-Chem. Peter René Eulenburg, Essen	240
Die Bewertung des Brandrisikos von Textilien	
Professor Dr.-Ing. L. Meckel, Dr. A. Rook, Berlin-Dahlem	248
Lärmbekämpfung – ein Anliegen der Textilindustrie	
Professor Dr. K.U. Ingard, Cambridge/Massachusetts – USA	258
Ölaufsaugende Faservliese und ihr Einsatz im Umweltschutz	
Professor Dr. G. Egbers, Dr. P. Ehrler, Ing. (grad.) J. Janitz, Stuttgart – Reutlingen	266
Textilzyklen und Kapazitätsausbau der Chemiefaserindustrie	
Karl-Heinz Rönitz, Frankfurt (M.) – Hoechst	273
Perspektiven in der Herstellung von Fasern, Garnen und textilen Flächengebilden	
Armin H. Keller, Schlieren/Zürich	281
Schlußwort	
Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl, Wien	297
Inserentenverzeichnis	299



Herrn Kommerzialrat Rudolf H. Seidl zur Geschäftsübergabe

Am 30. Juni 1976 tritt Herr Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl als Vorsitzender des Vorstandes der Chemiefaser Lenzing AG zurück. Er ist den Lesern unserer Zeitschrift nicht nur in dieser Funktion, sondern vor allem auch als Präsident des Österreichischen Chemiefaser-Instituts und Begründer der internationalen Chemiefasertagungen in Dornbirn bekannt. Wir möchten daher die Herausgabe dieses Heftes, das über die 14. Tagung berichtet, zum Anlaß nehmen, seine Leistungen für die Chemiefaser Lenzing AG im besonderen und für die Chemiefaserindustrie im allgemeinen zu würdigen.

Herr KR Rudolf H. Seidl hat nach umfassender fachlicher Ausbildung in Wien und nach 25 Jahren praktischer Tätigkeit in führenden Positionen in der österreichischen Textilindustrie 1960 die Leitung des größten kontinentaleuropäischen Viskosestapelfaserwerkes, der Chemiefaser Lenzing AG, übernommen. Immer auf die Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens bedacht, gelang

ihm mit dem Ankauf der Lenzinger Zellulose- und Papierfabrik ein entscheidender Schritt zur Integration, sodaß heute bei der Chemiefaser Lenzing AG vom Rohstoff Holz bis zur fertigen Faser alles in einem kontinuierlichen Produktionsprozeß ablaufen kann.

Die Gemeinschaftsgründung der Austria-Faserwerke Ges.m.b.H. zur Erzeugung von Polyesterfasern zusammen mit der Hoechst AG, die Errichtung und Inbetriebnahme einer Polyacrylfaserfabrik sowie der Auf- und Ausbau einer Abteilung, die Maschinen und Anlagen nicht nur für die Viskosefaserindustrie, sondern auch für die kunststoffverarbeitende Industrie baut und in alle Welt liefert, gehörten zu seinem Bestreben, dem Unternehmen eine breitere Existenzgrundlage zu geben.

Auf seine Initiative ging auch der Aufbau einer schlagkräftigen Forschung und Entwicklung der Chemiefaser Lenzing AG zurück, die durch eine gezielte Verfahrens- und Produktentwicklung wesentlich zum wirtschaftlichen Erfolg und zum weltweiten Ruf des Unternehmens beitrug.

Außer seiner Tätigkeit in Lenzing stand Herr Generaldirektor Seidl als Vizepräsident der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft Österreichs, als Vorstandsmitglied der Vereinigung österreichischer Industrieller, als Aufsichtsratsvorsitzender der Dornbirner Export- und Mustermesse Ges.m.b.H., als Vizepräsident des Aufsichtsrates der F.M. Hämmerle Textilwerke AG, als Präsident des Aufsichtsrates der Austroplan, als Vorstandsmitglied des C.I.R.F.S. und vieler weiterer Fachorganisationen, sowie als Präsident des Österreichischen Chemiefaser-Institutes der in- und ausländischen Wirtschaft und Industrie jederzeit mit seinen weitreichenden Kenntnissen und Erfahrungen mit Initiative und Weitblick zur Verfügung.

Für seinen Einsatz und seine Leistungen wurde er sowohl mit dem Großen Silbernen als auch mit dem Goldenen Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich geehrt.

Wir nehmen mit Freude zur Kenntnis, daß Herr Generaldirektor Seidl weiterhin als Aufsichtsratsmitglied für Lenzing aktiv bleiben wird. Außerdem wird er neben vielen anderen wirtschaftlichen Aktivitäten als Präsident an der Spitze des Österreichischen Chemiefaser-Instituts verbleiben. In dieser Funktion wird er, so hoffen wir, maßgeblich zum Gelingen weiterer künftiger internationaler Chemiefasertagungen, über die wir dann berichten können, beitragen.

Uns bleibt schließlich ein Dank und die Hoffnung, daß Herr Generaldirektor Seidl uns noch viele Jahre in Gesundheit und Schaffensfreude erhalten bleibt und wir uns von ihm auch in Zukunft noch manchen persönlichen Rat holen dürfen.

Die Redaktion

Eröffnungsansprache

Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl
Präsident des Österreichischen Chemiefaser-Instituts,
Wien

Meine sehr geehrten Damen und Herren!

Es ist für mich eine große Freude, Sie auch in diesem Jahr bei unserer 14. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn begrüßen zu dürfen. Die große Zahl der Erschienenen macht es mir unmöglich, jeden unserer Festgäste namentlich zu begrüßen. Ich möchte Sie alle, die heute zu unserer Eröffnungssitzung gekommen sind, herzlich willkommen heißen. Dieser Gruß gilt aber nicht nur den vielen Ehrengästen aus dem Kreis der Behörden, Fachorganisationen und -verbände, sondern ganz besonders auch den Vortragenden, die mit ihren Beiträgen unseren Tagungen stets zu ihrem weltweiten Echo verhelfen und die auch heuer wieder aus 8 Industriestaaten Europas, aus den USA, der Sowjetunion und aus Japan zu uns gekommen sind. Ebenso gilt mein Gruß selbstverständlich den rund 500 Teilnehmern aus 20 Staaten und nicht zuletzt der Tages- und Fachpresse aus dem In- und Ausland, die uns mit ihrer Berichterstattung seit Jahren zur Seite steht.

14 Jahre Chemiefasertagung in Dornbirn — also fast eineinhalb Jahrzehnte — geben sehr wohl ein Spiegelbild des Konjunkturverlaufes in der Chemiefaser- und Textilindustrie unserer Zeit. Als 1962 die Idee zur Gründung unserer Tagung entstand, ging die „Pionierzeit“ der Chemiefaserindustrie zu Ende. Bei einem Gesamtverbrauch von knapp 16 Millionen Tonnen textiler Rohstoffe dominierten damals noch die zelluloseischen Spinnfasern und -fäden mit einem Gesamtaufkommen von 2,9 Millionen Tonnen, und die Synthesefasern hatten gerade begonnen, sich die Textilwelt zu erobern. Ihre Produktion hatte soeben die 1-Millionen-Tonnen-Grenze überschritten, wogegen von Baumwolle noch rund 10,5 Millionen Tonnen und von Wolle 1,48 Millionen Tonnen produziert wurden.

Seither hat sich das Bild gewaltig verändert. Der Weltverbrauch an Textilfasern ist bis 1974 auf über 26 Millionen Tonnen gestiegen, und der Anteil der Chemiefasern hat mit 11,1 Millionen Tonnen 42 Prozent erreicht. Während die zelluloseischen Fasern und Fäden davon rund 3,6 Millionen Tonnen ausmachen, sind die Synthetics in einem in den 60iger Jahren noch unvorstellbaren Aufschwung auf fast 7,5 Millionen Tonnen gestiegen. Die Baumwolle bildet zwar auch weiterhin mit 13,58 Millionen Tonnen Weltproduktion die wichtigste Textilfaser, doch ist sie bereits nahe daran, von den Chemiefasern eingeholt zu werden. Das Weltaufkommen an Wolle ist aus begreiflichen Gründen mit rund 1,48 Millionen Tonnen stagnierend geblieben.

Dieses bis vor kurzem noch ungetrübte Bild einer ständigen Aufwärtsentwicklung, das auch durch die statistischen Ergebnisse im Hinblick auf die ständig wachsende Zahl der Weltbevölkerung gerechtfertigt erschien, hat nun im vergangenen Jahr zum erstenmal abrupt eine negative Veränderung erfahren.

Die Rezession, die die Industriestaaten weltweit betroffen hat, hat sich auf dem Textilsektor besonders hart und unvermittelt ausgewirkt. Unter dem Einfluß von Inflation und Weltwährungschaos — mit allen Folgeerscheinungen bis zu Betriebsstillegungen und Arbeitslosigkeit — ist der Textilkonsum erheblich gesunken. Speziell in der europäischen Textil- und Bekleidungsindustrie ist dieser Einbruch nachdrücklich spürbar gewesen und durch die Überschwemmung der Märkte mit Waren aus dem Fernen Osten, aber auch aus Staatshandelsländern zu billigsten Preisen, noch verschärft worden. Eine schrankenlose Liberalisierungspolitik hat leider dazu beigetragen, diese Einfuhren zu erleichtern, ohne den Erzeugnissen der heimischen Industrie im Gegenseitigkeitsprinzip den Weg zu neuen Märkten zu erschließen.

All das hat zu einer Verunsicherung in der textilen Fertigungsindustrie geführt, die nicht ohne Rückwirkung auf die Rohstoffproduzenten, also auf die Chemiefaserindustrie, bleiben konnte.

Die Verschlechterung der Kostenstruktur der Betriebe und der Erlösrückgang haben ebenfalls zu Produktivitätseinbußen und zu einem Rückgang der Investitionen geführt, der nicht zuletzt auch auf eine gewisse Vertrauenskrise zurückzuführen ist. Wenn heute bei den wichtigsten europäischen Chemiefaserproduzenten Produktionsdrosselung und Kurzarbeit verfügt worden sind, so ist dies nicht zuletzt auf einen Teufelskreis zurückzuführen, der einen Rückgang von Nachfrage und Exporten sowie ein Absinken der Produktion unter die Grenzen der rationalen Kapazitätsausnutzung und in der Folge eine Verteuerung der Herstellung auslöste, die die Wettbewerbsfähigkeit vermindert.

Weil sich Ursache und Wirkung gegenseitig bedingen, könnten diese Probleme nur durch wirtschaftspolitische Entscheidungen gelöst werden. Hier ist jedoch vielfach die fehlende Förderung der Textilindustrie durch die maßgeblichen Regierungsstellen, das Fehlen einer sinnvollen Kredit- und Steuerpolitik und die bisher nicht gelungene Eindämmung der Inflation ein entscheidendes Hindernis. Die nächste Zukunft wird erweisen, ob es den Staaten der freien Welt gelingt, sowohl durch internationale Zusammenarbeit als auch durch eigene Kraftanstrengungen dieser Rezession Herr zu werden, oder unabsehbare Konsequenzen auf gesellschaftspolitischem Gebiet zu riskieren.

Grundsätzlich stehen derzeit die Zeichen für die Textilindustrie nicht ungünstig. Die Pipeline zum Verbraucher ist nach dem Lagerstau der letzten Jahre weitgehend entleert, und der Absatz dürfte sich in absehbarer Zeit wieder beleben. Dadurch wäre für die Chemiefaserproduzenten zumindest ab der zweiten Jahreshälfte 1976 eine Entspannung zu erwarten, sofern nicht unvorherzusehende Erschütterungen diese Entwicklung wieder in Frage stellen. Zweifellos sind aber auf lange Sicht die bis vor kurzem gewohnten jährlichen Zuwachsraten und die günstige Ertragssituation überholt, und wir werden damit rechnen müssen, knappste zu kalkulieren und nur streng zielbewußt zu investieren.

Auch in Österreich hat sich die internationale Wirtschaftsentwicklung deutlich wiedergespiegelt: Das Jahr 1974 hat für alle vier Chemiefaserproduzenten mit einem Boom begonnen, der sich bis gegen den

Spätsommer fortsetzte, um dann im letzten Quartal jäh von der Rezession abgelöst zu werden. In den Vorjahrsbilanzen kommt diese Wende noch nicht so deutlich zum Ausdruck, und sie sind alle noch positiv. Die Chemiefaser Lenzing AG konnte mit 93.500 Jahrestonnen Zellulosefasern ihre Stellung als führender europäischer Produzent von Viskosespinnfasern noch weiter festigen, und auch die eben erst aufgebaute Acrylfaserfabrik kam mit 5000 Jahrestonnen gut über die Runden. Die Austria-Faserwerke haben 1974 mit 13.500 Tonnen Trevira ebenfalls ein gutes Jahresergebnis erzielt. Die vorgesehene Ausbaustufe auf eine Produktion von 21.000 Jahrestonnen wird jetzt nicht in Betrieb genommen werden können.

Für die Erste Österreichische Glanzstoff-Fabrik AG in St. Pölten ist das Vorjahr mit einer Jahresproduktion von rund 14.000 Tonnen Rayon ebenfalls noch günstig abgelaufen, obwohl sich die Schatten der Autokrise bei Reifenrayon auch schon bemerkbar machten.

Die Chemie Linz AG, als jüngster österreichischer Chemiefaserproduzent, konnte auf ihrem Spezialgebiet, den Polyolefinfasern, sowohl bei Bodenbelägen als auch in verschiedenen technischen Einsatzgebieten eine so lebhaftete Nachfrage verzeichnen, daß sogar ein Kapazitätsausbau von 5000 auf 8000 Jahrestonnen in Angriff genommen werden konnte.

Der Beginn des Jahres 1975 und der seitherige Geschäftsverlauf machten jedoch die Rezession bereits deutlich fühlbar, und wenn die österreichische Chemiefaserindustrie auch vorerst — bis auf vorübergehende Kurzarbeit in einzelnen Betrieben — nicht so schwer an den Folgen des Konjunkturabschwungs zu tragen hatte wie die Unternehmen in anderen Industriestaaten, so sind doch die Absatzschwierigkeiten groß, und die Ertragsminderung läßt ernste Sorgen für die nächste Zeit nur zu begründet erscheinen. Österreichs Chemiefaserindustrie verfügt ja nur über einen kleinen Binnenmarkt, und dementsprechend groß ist ihre Abhängigkeit von den internationalen Märkten. Wie bedrohlich die Entwicklung hier ohnedies bereits ist, zeigt allein schon die Tatsache, daß die österreichischen Textilexporte in den letzten 20 Jahren zwar um 606 Prozent gestiegen sind, die Importe in der gleichen Zeit aber um 735 Prozent zugenommen haben. Ein anhaltendes Tief auf dem Barometer der internationalen Textilkonjunktur könnte daher auch den Auftragsstand und damit für die Arbeitsplätze in unserer Industrie je nach Lage der Unternehmen mehr oder weniger verhängnisvolle Folgen haben.

Für die Chemiefaser- ebenso wie für die Textilindustrie, die ja schon bisher in enger Partnerschaft miteinander verbunden waren, heißt das, daß man in Österreich wie in der Welt in Zukunft noch enger zusammenrücken wird müssen, um die neuen Existenzprobleme gemeinsam zu meistern. Einen nicht unwesentlichen Beitrag hierzu liefern sicher unsere alljährlichen Chemiefasertagungen in Dornbirn, wo der internationale Meinungs- und Erfahrungsaustausch stets an erster Stelle steht. Daß diese Zielsetzung richtig war, hat die Entwicklung unserer Tagungen aus kleinen Anfängen zum wichtigsten europäischen Fasersymposium bewiesen. Deshalb haben wir auch in diesem Jahr das Thema „Chemiefasern für die gesamte Textilwirtschaft“ gewählt und damit zum Ausdruck gebracht, daß sich mit dem ständigen Vordringen dieser modernen textilen Roh-

stoffe in immer neue Einsatzgebiete der Textilwelt vom Forscher über den Praktiker bis zum Verbraucher Aspekte ergeben, die — von zeitbedingten Konjunkturschwankungen abgesehen — in die Zukunft weisen.

Freilich gehört die Zeit, in der immer wieder neue Fasern entwickelt und auf den Markt gebracht worden sind, der Vergangenheit an. Die Palette der heute in allen Industriestaaten gängigen Chemiefasern — ob zelluloseischen oder synthetischen Ursprungs — ist bereits breit genug, um sämtliche Ansprüche der Verbraucher zu befriedigen. Schon aus wirtschaftlichen Überlegungen wird die Entwicklung neuer Fasern aus neuartigen Hochpolymeren in absehbarer Zeit kaum zu erwarten sein. Die Forschungskosten für ein solches Gebiet sind nämlich so hoch, daß kaum erwartet werden kann, daß sie sich genügend rasch amortisieren. Außerdem sind in den vergangenen Jahren Fasermodifikationen im Sinne des „Fibre-engineering“ entwickelt worden, durch die auch speziellen Verbrauchervünschen Rechnung getragen werden kann. Irgendwelche Versorgungslücken — sowohl im engeren Textilbereich als auch beim Einsatz in der Industrie — dürften daher kaum offen bleiben.

Für die Faserproduzenten und -verarbeiter haben sich demgemäß Probleme und Zukunftsüberlegungen zum Teil bereits auf neue Ebenen verlagert, die für die künftigen Entwicklungen maßgeblich sein werden. Mit zwei thematischen Schwerpunkten versuchte daher unser Chemiefasersymposium in Dornbirn heuer Antworten auf Probleme zu erarbeiten, die zur Zeit weltweit Gegenstand heftiger Diskussionen sind: der Umweltschutz und das Brennverhalten von Textilien.

Hier gehen die Meinungen von Wissenschaft und Praxis, von Gesetzgebern und Industrie, von Handel und Konsumenten vielfach weit auseinander, und eine nicht selten unsachliche Polemik hat hier vielfach eher Gegensätze geschaffen, statt deren Lösungen durch ruhige Diskussionen zu erleichtern. Zur Dornbirner Tagung — bekannt dafür, daß sie „heiße Eisen“ gerne aufgreift — haben wir deshalb im Interesse der Klärung der Standpunkte Experten aus allen Industriestaaten eingeladen. Es sind führende Vertreter jener Fachkreise, die durch ihre langjährige Beschäftigung mit diesen Problemen wirklich in der Lage sind, fundierte fachliche Beiträge zu bieten, womit nicht allein der Industrie selbst, sondern weit darüberhinaus einer interessierten Öffentlichkeit ein echter Dienst geleistet werden soll.

Gerade was das „Brennverhalten von Textilien“ betrifft, ist die bisherige internationale Diskussion nicht frei von Emotionen. Textilien müssen aber als ein Teil des Ganzen betrachtet werden, und es ist deshalb wichtig, festzustellen, daß Textilien — je nach Konstruktion des Artikels bei gleicher Faserzusammensetzung — ein sehr verschiedenes Brennverhalten aufweisen können. Generell kann dabei festgehalten werden, daß textile Artikel, sofern sie den entsprechenden Normen gemäß richtig geprüft und ausgewählt werden, geringere Gefahren der Flammenausbreitung mit sich bringen als viele andere Materialien, die in Aufenthalts- bzw. in Wohnräumen vorhanden sind. Hier zu einer internationalen Annäherung beizutragen, haben wir uns für die diesjährige Chemiefasertagung unter anderem zur Aufgabe gestellt.

Daß der zweite Schwerpunkt unserer Tagung, nämlich

das Thema „Umweltschutz“, unerschöpflich ist, zeigen die weltweiten Diskussionen, die um dieses Problem ebenfalls unentwegt geführt werden. Auch hier wäre eine internationale Verständigung zumindest über eine grundsätzliche Vereinheitlichung der Umweltschutzbestimmungen dringend erforderlich, da ja infolge der hohen Kostenfaktoren Fragen der Wettbewerbsfähigkeit berührt werden, die die Wurzel der Existenz so mancher Chemiefaserunternehmen entscheidend treffen können. Dies gilt vor allem für die Zellulosefaserindustrie, bei der bekanntermaßen die Kosten für Umweltschutzmaßnahmen besonders hoch sind, sodaß das Produkt damit enorm belastet wird. Wenn dies mangels analoger gesetzlicher Bestimmungen in anderen Ländern nicht so ist, folgt daraus zwangsläufig eine Verzerrung der Wettbewerbsbedingungen, was auf die Dauer unhaltbar ist.

Es freut uns ganz besonders, daß wir angesichts der Bedeutung dieser beiden Themenkreise diesmal nicht nur — wie schon erwähnt — Experten aus Europa und aus Übersee bei unserer Tagung als Vortragende begrüßen dürfen, sondern daß sich darüberhinaus zwei internationale Organisationen entschlossen haben, Sondertagungen einschlägiger Fachkomitees parallel zu unserer Veranstaltung in Dornbirn durchzuführen. Mein besonderer Gruß gilt deshalb auch den Teilnehmern an der Sitzung der Internationalen Arbeitsgruppe für LOI-Tests und dem Anti-Pollution-Komitee der Internationalen Chemiefaservereinigung. Beide

Ausschüsse haben gestern im Wirtschaftsförderungsinstitut Dornbirn ihre Beratungen aufgenommen, und ihre Mitglieder werden nach deren Abschluß als Gäste auch noch unserer Chemiefasertagung beiwohnen.

Es ist selbstverständlich, daß mit unseren beiden Hauptthemen das Programm nicht erschöpft ist und daß gerade die gegenwärtige Situation in der Textilwirtschaft und auf dem Chemiefasersektor — angefangen von den wirtschaftlichen Rückschlägen nach der Erdölkrise, über Fragen der Rohstoffversorgung bis zu neuen Aspekten der Marktforschung — ausgiebig behandelt werden wird. Die diesjährige Themenwahl beweist wieder, daß wir unsere Tagungen stets auch mit dem Blick auf die allgemeine wirtschaftliche Situation gestalten, und wir sind der Überzeugung, daß wir mit den Ergebnissen der Diskussion nicht nur der Chemiefaserindustrie und allen Verarbeitungsstufen der Textilindustrie, sondern auch dem Verbraucher einen echten Dienst leisten.

Mit 31 Vorträgen wird unsere Tagung diesmal ein möglichst umfassendes Bild der Lage zu geben versuchen, und es ist nur selbstverständlich, daß wir unsere Gäste — so wie alle Jahre — nach den anstrengenden Arbeitstagen zum Abschluß für einige Stunden der Erholung in die schöne Landschaft Vorarlbergs führen. Ich hoffe, daß sich alle Tagungsteilnehmer in diesem gastlichen Land wohlfühlen und daß sie auch 1976 gerne und in großer Zahl wiederkommen werden.

Grußbotschaft

Professor J. L. J u v e t
Generaldirektor des C.I.R.F.S., Paris

Seit einigen Jahren ist die Chemiefaserindustrie, wie übrigens die Weltwirtschaft überhaupt, Erschütterungen ausgesetzt, die an die Struktur dieser Industrie rühren und mitunter ihre Dynamik, ja sogar das Überleben der Unternehmen in Frage stellen. Ohne befürchten zu müssen, fehlzugehen, kann man die Hypothese aufstellen, daß die Zerrüttungen und das Durcheinander, die das internationale Währungssystem kennzeichneten, die hauptsächlichlichen Ursachen der Krise sind — man muß sie bei ihrem Namen nennen —, die die westliche Wirtschaft zur Zeit durchmacht.

In diesem Zusammenhang muß auch an die Verantwortlichkeit der westlichen Zentralbanken erinnert werden, die durch ihre Passivität angesichts der Zunahme der internationalen Liquidität die Entwicklung der Inflation seit 1969 mitverursacht haben. Die-

ses Übel — und ein solches ist nun einmal die galoppierende Inflation — hat, wenn es auch anfangs künstlich ein Wachstum erzeugte, jegliche Möglichkeit eines wirtschaftlichen Fortschritts zerstört; wir zahlen heute den Preis dafür. Sicher sind die gegenwärtigen Schwierigkeiten — das darf man nicht übersehen — nicht mit jenen der dreißiger Jahre zu vergleichen, wenn man sie unter dem Gesichtspunkt der Arbeitslosigkeit, des Rückgangs des Bruttosozialprodukts und des internationalen Handels betrachtet; sie können jedoch nicht länger andauern, wenn nicht das Fundament der westlichen Demokratien selbst gefährdet werden soll.

Die Wiederbelebung der westlichen Wirtschaft, die sich in den Vereinigten Staaten und in Japan bereits abzeichnen scheint, in Europa jedoch noch auf sich warten läßt, kann nur dann von Dauer sein, wenn die Gefahr eines Wiederaufflammens der Inflation beseitigt werden kann. Die Verhandlungen zwischen den Mitgliedern des internationalen Währungsfonds sind jedoch umso entmutigender, als hier geradezu dogmatisch verhärtete Positionen einander gegenüberstehen.

Bei dem Ausmaß der gegenwärtigen Rezession ist es völlig klar, daß die Lage der europäischen Chemiefaser- und Textilindustrie keineswegs glänzend sein kann; es scheint jedoch, daß die Chemiefaserindustrie Ende 1974 den Tiefpunkt des Zyklus bereits erreicht hatte, und zwar nach einer Phase des Lagerabbaus,

der in der gesamten faserverarbeitenden Industrie im Anschluß an die Erdölkrise vom November 1973 bis Mai 1974 zu verzeichnen war. Der Wiederaufschwung in den ersten Monaten dieses Jahres war demnach also hauptsächlich technischer Art, und er wird sich erst dann fortsetzen können, wenn in die gesamte westliche Wirtschaft wieder ein Klima des Vertrauens eingekehrt ist, was aber offensichtlich frühestens Anfang 1976 der Fall sein wird.

Unter diesen Umständen würde sich die europäische Chemiefaserindustrie, die gegenüber den Vereinigten Staaten bereits durch höhere Preise für die Nebenprodukte des Naphtha benachteiligt ist, selbst dann einem Kapazitätsüberhang gegenübersehen, wenn die Expansionspläne bis in günstigere Zeiten zurückgestellt würden. Man muß sich darüber im klaren sein, daß allein durch die Produktivitätssteigerungen der schon heute vorhandenen Anlagen Überkapazitäten entstehen werden. Sollte das zukünftige wirtschaftliche Wachstum darum weniger stark als in der Vergangenheit sein und infolgedessen die Textilnachfrage sich verlangsamen, so würde unsere Industrie ein für sie neues Problem zu lösen haben, nämlich, einen Ausgleich zu schaffen zwischen möglichem Angebot und tatsächlicher Nachfrage, wenn die Zunahme der Produktivität über der Nachfrage liegt. Diese Entwicklung läuft auf die Stilllegung alter Produktionseinheiten hinaus, deren Beibehaltung trotz einer günstigen Grenzstabilität nicht mehr gerechtfertigt wäre, ohne den gesamten Markt aus dem Gleichgewicht zu bringen.

Ein anderes mit dem wirtschaftlichen Rückgang zusammenhängendes Problem ist das der Einfuhren. Gemäß den Prinzipien des GATT, die von unseren Regierungen festgelegt wurden, beruht größtmögliches Wachstum auf der Hypothese eines sehr starken internationalen Handels. Sind aber diese Prinzipien, die mitunter aus erklärlichen Gründen korrigiert werden,

wie zum Beispiel durch das Multifaserabkommen, in einer Zeit noch gültig, in der zahlreiche Regierungen beabsichtigen, die wirtschaftliche Entwicklung freiwillig zu verlangsamen?

Ohne diese Frage endgültig beantworten zu wollen, glaube ich behaupten zu können, daß die Ordnung des Welthandels in Zukunft immer weniger den traditionellen Regeln des GATT folgen wird, wobei diese Regeln selbstverständlich ihre Gültigkeit für Regionen, wie Westeuropa oder die OECD-Länder, behalten werden, da diese Länder eine bestimmte Idee der Marktwirtschaft teilen und in der Lage sind, ihre Wirtschaftspolitik gegenseitig zu koordinieren. Was für die GATT-Regeln bislang eine Ausnahme darstellte, nämlich, daß die Höhe der Einfuhren durch vertragsmäßige Abkommen zwischen den Mitgliedsländern festgelegt werden, wird zur Hauptregel werden. Das Multifaserabkommen ist in diesem Sinn zu verstehen: es soll meiner Meinung nach die Erhaltung einer starken und dynamischen Textilindustrie in den Industrieländern ermöglichen. Es wird sich folglich für die europäische Textilindustrie darum handeln, dieses Prinzip immer stärker zu verteidigen. Die Chemiefaserindustrie ist, denke ich, bereit, diese These zu unterstützen.

Gerade das Thema, das Sie, Herr Präsident, für die Dornbirner Tagung gewählt haben, zeigt Ihre Absicht, zu neuen Dimensionen vor allem für die Textilwirtschaft, aber auch für die Wirtschaft allgemein, vorzustoßen. Die verschiedenen Themen, die im Laufe dieser drei Tage erörtert werden, gehen über die Besorgnisse unserer Industrie weit hinaus. Und indem ich dieser Tagung den besten Erfolg wünsche, spreche ich den Wunsch aus, daß die Ergebnisse dieser Tagungen, bei denen Herr Präsident Seidl seit bald 15 Jahren mit großer Hingabe und Sachkenntnis den Vorsitz führt, in der breiten Öffentlichkeit weite Zustimmung finden mögen.

Grußbotschaft

des Präsidenten des Fachverbandes der
Österreichischen Textilindustrie
Generaldirektor
DDr. Franz Josef Mayer-Gunthof, Wien

Es freut mich außerordentlich, auch heuer wieder an der Eröffnungssitzung der Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn teilnehmen und einige Worte an Sie richten zu können.

Ich bin während meiner langjährigen Funktionsperiode als Vorsteher des Fachverbandes der Textilindustrie Österreichs Ihrer Einladung immer gerne gefolgt und habe die interessanten und aktuellen Bei-

träge über neue technologische Entwicklungen auf dem Chemiefasersektor stets mit größtem Interesse verfolgt.

Wenn auch die Textilindustrie die Eigenschaften der Naturfasern in vielen Bereichen ihrer Produktion nicht entbehren kann, so wäre es jedoch unmöglich, die ständig steigende Nachfrage nach Textilien ohne ein quantitativ wie qualitativ ausreichendes Angebot an Chemiefasern zu befriedigen.

Plötzlich auftretende Lieferengpässe, wie wir sie vor nicht allzulanger Zeit als Folge der sogenannten „Ölkrise“ erlebt haben, verursachen der Textilindustrie die größten Schwierigkeiten und lassen schlagartig erkennen, welche Bedeutung einer inländischen Rohstoffbasis zukommt. Die Textilindustrie ist glücklich, in der Chemiefaser Lenzing AG — die ich als die „alpine“ der österreichischen Textilindustrie bezeichnet habe — das bedeutendste europäische Unternehmen im Bereich der Viskosefasererzeugung zu besitzen und in ihrem geistigen Haupt, Herrn Generaldirektor Prä-

sident Rudolf Seidl einen nimmermüden und tatkräftigen Freund zu haben, der die Chemiefaser Lenzing AG und die Austria Faserwerke GmbH zu ihrer heutigen Bedeutung aufgebaut hat.

Ich möchte auch nicht versäumen, die großen Leistungen zu würdigen, die die Erste Österreichische Glanzstoff-Fabrik St. Pölten unter ihren Generaldirektoren de Zeeuw und Homan auf dem Gebiet des Textilrayon vollbracht hat. Ich beglückwünsche auch die Chemie Linz AG und ihren Generaldirektor Dr. Buchner zur Aufnahme der Erzeugung von Polypropylenfasern, denen auf dem Heimtextilsektor immer mehr Bedeutung zukommt.

Ein Blick in die Statistik läßt erkennen, welchen Rang die Chemiefasern als Rohstoff der österreichischen Textilindustrie heute einnehmen:

Im Jahr 1964 hatten die Chemiefasern einen Anteil von 30,5 % am Spinnstoffverbrauch der heimischen Textilindustrie. Bis 1974 hat sich dieser Anteil auf 62,6 % erhöht. Im selben Zeitraum ist die Verarbeitung von Baumwolle von 32,9 auf 20,4 %, die von Wolle von 13,5 auf 8,3 %, die von Flachs und Hanf von 6,8 auf 4,5 %, und die von Jute, Kokos und Sisal von 16,3 auf 4,2 % zurückgegangen.

Ich habe mit Interesse festgestellt, daß sich die diesjährige Chemiefasertagung vorrangig mit der Frage der Entflammbarkeit von Textilien auseinandersetzen wird. Dieses Problem tritt — von einer diesbezüglichen Gesetzgebung in den Vereinigten Staaten und Kanada ausgehend — auch bei uns immer mehr in den Vordergrund. Die International Standard Organization befaßt sich ebenso mit diesem Thema wie die Normeninstitute und die Konsumentenverbände der meisten europäischen Länder. Die Industrie wird sich dem Verlangen nach der Erzeugung von schwer entflammaren Textilien nicht entziehen können. Es wird daher zu den vordringlichsten Aufgaben der Techniker zählen, Verfahren zu finden, die diesem Wunsch Rechnung tragen, ohne daß die entstehenden Mehrkosten das Endprodukt von vornherein unverkäuflich machen.

Abschließend möchte ich die Hoffnung zum Ausdruck bringen, daß Chemiefaserindustrie und Textilindustrie, die ein wechselseitiges Abhängigkeitsverhältnis verbindet, nicht gegeneinander, sondern miteinander als Partner arbeiten, um all die Probleme und Schwierigkeiten, die noch auf uns zukommen werden, gemeinsam zu überwinden. In diesem Sinne wünsche ich der 14. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn einen erfolgreichen Verlauf.

Verleihung des Studienförderungspreises 1975

durch Herrn Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl, Präsident des Österreichischen Chemiefaser-Instituts, Wien

Bevor ich nun unsere Tagung eröffne, möchte ich noch einer angenehmen Pflicht nachkommen: Wie Sie wissen, haben wir aus Anlaß unserer 10. Internationalen Chemiefasertagung einen Studienförderungspreis gestiftet, mit dem wir in Österreich zum ersten Mal den Versuch machen, die wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Thema Chemiefasern anzuregen, um damit auch von dieser Seite her unserer Industrie neue Impulse zu geben. Dem Charakter unserer Tagung entsprechend, wird dieser Preis international vergeben.

Gerade junge Akademiker sind dazu berufen, mit ihren Arbeiten eine Brücke zwischen Forschung und Praxis zu schlagen, wenn seitens der Hochschulen dafür Themen gewählt werden, die diesem Ziel dienen. Wir freuen uns über das große Echo, das dieser Studienförderungspreis trotz der bescheidenen Mittel, die

uns dafür zur Verfügung stehen, von Jahr zu Jahr weit über Österreichs Grenzen hinaus findet. Wir sind gewiß, daß auch damit dem Fortschritt auf dem Chemiefasersektor einmal mehr gedient wird. Ich danke an dieser Stelle der Jury für ihre mühevollen und sorgfältigen Arbeit und beglückwünsche diesmal folgende Preisträger zu ihren Erfolgen:

Dr. Werner Koch, Universität Stuttgart (Prof. Herlinger), für seine Dissertation: „Reaktions- und Lösungswärmen aromatischer Amide, Polyamide und Säurechloride im System N,N'-Dimethylacetamid/Lithiumchlorid“;

Dipl.-Chem. Rolf Herzog, Universität Stuttgart (Prof. Herlinger), für seine Diplomarbeit: „ α -Methylbenzoin initiierte Pflropfung von Acrylamid und Vinylphosphonsäure auf Synthesefasern unter Einwirkung von UV-Licht“;

Dr. Dipl.-Ing. Hulusi Artunc, Institut für Textiltechnik, Reutlingen (Prof. Egbers), für seine Dissertation: „Einfluß einer thermischen Behandlung auf die morphologische Struktur von Polyamid 6 unterschiedlichen Verstreckungsgrades“ und

Dipl.-Ing. Ingo Marini, Technische Hochschule Wien (Prof. Prey), für seine Arbeit: „Kondensationsprodukte der Pyrrolidincarbonsäure mit Diaminen und Diolen“.

sident Rudolf Seidl einen nimmermüden und tatkräftigen Freund zu haben, der die Chemiefaser Lenzing AG und die Austria Faserwerke GmbH zu ihrer heutigen Bedeutung aufgebaut hat.

Ich möchte auch nicht versäumen, die großen Leistungen zu würdigen, die die Erste Österreichische Glanzstoff-Fabrik St. Pölten unter ihren Generaldirektoren de Zeeuw und Homan auf dem Gebiet des Textilrayon vollbracht hat. Ich beglückwünsche auch die Chemie Linz AG und ihren Generaldirektor Dr. Buchner zur Aufnahme der Erzeugung von Polypropylenfasern, denen auf dem Heimtextilsektor immer mehr Bedeutung zukommt.

Ein Blick in die Statistik läßt erkennen, welchen Rang die Chemiefasern als Rohstoff der österreichischen Textilindustrie heute einnehmen:

Im Jahr 1964 hatten die Chemiefasern einen Anteil von 30,5 % am Spinnstoffverbrauch der heimischen Textilindustrie. Bis 1974 hat sich dieser Anteil auf 62,6 % erhöht. Im selben Zeitraum ist die Verarbeitung von Baumwolle von 32,9 auf 20,4 %, die von Wolle von 13,5 auf 3,3 %, die von Flachs und Hanf von 6,8 auf 4,5 %, und die von Jute, Kokos und Sisal von 16,3 auf 4,2 % zurückgegangen.

Ich habe mit Interesse festgestellt, daß sich die diesjährige Chemiefasertagung vorrangig mit der Frage der Entflammbarkeit von Textilien auseinandersetzen wird. Dieses Problem tritt — von einer diesbezüglichen Gesetzgebung in den Vereinigten Staaten und Kanada ausgehend — auch bei uns immer mehr in den Vordergrund. Die International Standard Organization befaßt sich ebenso mit diesem Thema wie die Normeninstitute und die Konsumentenverbände der meisten europäischen Länder. Die Industrie wird sich dem Verlangen nach der Erzeugung von schwer entflammaren Textilien nicht entziehen können. Es wird daher zu den vordringlichsten Aufgaben der Techniker zählen, Verfahren zu finden, die diesem Wunsch Rechnung tragen, ohne daß die entstehenden Mehrkosten das Endprodukt von vornherein unverkäuflich machen.

Abschließend möchte ich die Hoffnung zum Ausdruck bringen, daß Chemiefaserindustrie und Textilindustrie, die ein wechselseitiges Abhängigkeitsverhältnis verbindet, nicht gegeneinander, sondern miteinander als Partner arbeiten, um all die Probleme und Schwierigkeiten, die noch auf uns zukommen werden, gemeinsam zu überwinden. In diesem Sinne wünsche ich der 14. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn einen erfolgreichen Verlauf.

Verleihung des Studienförderungspreises 1975

durch Herrn Generaldirektor KR Rudolf H. Seidl, Präsident des Österreichischen Chemiefaser-Instituts, Wien

Bevor ich nun unsere Tagung eröffne, möchte ich noch einer angenehmen Pflicht nachkommen: Wie Sie wissen, haben wir aus Anlaß unserer 10. Internationalen Chemiefasertagung einen Studienförderungspreis gestiftet, mit dem wir in Österreich zum ersten Mal den Versuch machen, die wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Thema Chemiefasern anzuregen, um damit auch von dieser Seite her unserer Industrie neue Impulse zu geben. Dem Charakter unserer Tagung entsprechend, wird dieser Preis international vergeben.

Gerade junge Akademiker sind dazu berufen, mit ihren Arbeiten eine Brücke zwischen Forschung und Praxis zu schlagen, wenn seitens der Hochschulen dafür Themen gewählt werden, die diesem Ziel dienen. Wir freuen uns über das große Echo, das dieser Studienförderungspreis trotz der bescheidenen Mittel, die

uns dafür zur Verfügung stehen, von Jahr zu Jahr weit über Österreichs Grenzen hinaus findet. Wir sind gewiß, daß auch damit dem Fortschritt auf dem Chemiefasersektor einmal mehr gedient wird. Ich danke an dieser Stelle der Jury für ihre mühevollen und sorgfältigen Arbeit und beglückwünsche diesmal folgende Preisträger zu ihren Erfolgen:

Dr. Werner Koch, Universität Stuttgart (Prof. Herlinger), für seine Dissertation: „Reaktions- und Lösungswärmen aromatischer Amide, Polyamide und Säurechloride im System N,N'-Dimethylacetamid/Lithiumchlorid“;

Dipl.-Chem. Rolf Herzog, Universität Stuttgart (Prof. Herlinger), für seine Diplomarbeit: „ α -Methylbenzoin initiierte Pfropfung von Acrylamid und Vinylphosphonsäure auf Synthesefasern unter Einwirkung von UV-Licht“;

Dr. Dipl.-Ing. Hulusi Artunc, Institut für Textiltechnik, Reutlingen (Prof. Eggers), für seine Dissertation: „Einfluß einer thermischen Behandlung auf die morphologische Struktur von Polyamid 6 unterschiedlichen Verstreckungsgrades“ und

Dipl.-Ing. Ingo Marini, Technische Hochschule Wien (Prof. Prey), für seine Arbeit: „Kondensationsprodukte der Pyrrolidincarbonsäure mit Diaminen und Diolen“.

Der Einfluß einer thermischen Behandlung auf die morphologische Struktur von Polyamid 6 unterschiedlichen Verstreckungsgrades

Dr.-Ing. Hulusi Artunc
 Institut für Textiltechnik, Reutlingen

Einleitung und Problemstellung

Ziel unserer Untersuchungen war es, Veränderungen der morphologischen Struktur von Polyamid 6 unterschiedlichen Verstreckungsgrades bei Temperaturen oberhalb der Einfriertemperatur zu ermitteln.

Lassen Sie mich kurz die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit erläutern:

Bei etwa 50° C findet, wie anhand der DTA-Diagramme zu erkennen ist (Abb. 1), das Einfrieren des Polyamid 6 statt. Die Einfriertemperatur ist von der Aufheizgeschwindigkeit abhängig und verschiebt sich mit zunehmender Heizrate nach höheren Temperaturen. Bei einer Aufheizgeschwindigkeit von 2° C/min beträgt die Einfriertemperatur $T_G = 47^\circ C$, bei 50° C/min dagegen 53,5° C. Durch Extrapolation auf die Aufheizgeschwindigkeit 0 läßt sich für dieses Polyamid 6 eine Einfriertemperatur $T_G = 46^\circ C$ ermitteln.

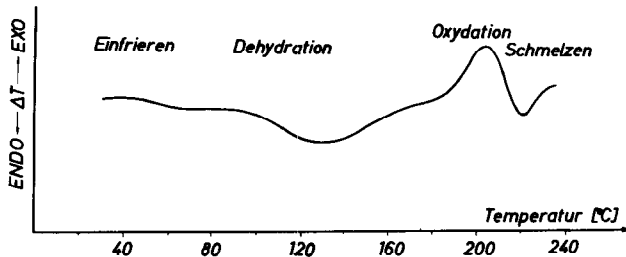


Abb. 1: DTA-Thermogramm des in Luft aufgenommenen Polyamid 6

Die Verdampfung kristallin gebundenen Wassers (Dehydrationspeak) beginnt bei Polyamid 6 bei etwa 80° C und ist je nach Aufheizgeschwindigkeit bei 109 bis 130° C beendet. Der Dehydrationspeak verändert sich in Abhängigkeit von der Heizrate stärker als die Einfriertemperatur T_G .

Eine Hitzebehandlung des Polyamid 6 unter gleichzeitiger Einwirkung von Sauerstoff ist mit einer Oxidation verbunden. Der Oxidationsbeginn ist ebenfalls von der Aufheizgeschwindigkeit abhängig. Je niedriger diese ist, desto niedriger ist auch die Temperatur, bei der die Oxidation beginnt.

Durch die Verstreckung ordnen sich die Kettenmoleküle in Richtung der Faserachse. Die Parallelisierung der Kettenmoleküle ermöglicht die Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen den Kettenmolekülen. Gleichzeitig bewirkt die Verstreckung eine Zunahme des kristallinen Anteils. Die Parallelisierung der Kettenmoleküle und die Ausrichtung der kristallinen

Bereiche in Richtung der Faserachse bedeuten eine Entropieabnahme¹.

Die Entropieabnahme ist mit einer Erhöhung des Schmelzpunktes verbunden. Der Schmelzpunkt des unverstreckten Polyamid 6 beträgt 221° C. Für das 3,12fach verstreckte Polyamid 6 steigt dieser Wert auf 225° C.

Auch der Schmelzbereich, ein eng definierter Schmelzpunkt ist ja nicht vorhanden, wird durch die Verstreckung kleiner.

Eine thermische Vorbehandlung des Polyamid 6 in Heißluft oder in Stickstoffatmosphäre macht sich in den DTA-Kurven durch einen endothermen Peak bemerkbar, der in linearem Zusammenhang mit der Tempertemperatur steht. Mit steigender Behandlungsdauer verschiebt sich dieser Peak bei gleicher Temperatur zu höheren Temperaturen.

Je höher das Polyamid verstreckt ist, desto höher ist auch der kristalline Anteil nach einer thermischen Vorbehandlung. Die Kristallinitätszunahme ist umso größer, je höher die Tempertemperatur und je länger die Temperdauer sind. Parallel dazu werden Kristallbaufehler ausgeheilt. Es ist daher zu erwarten, daß sich der Schmelzpunkt ebenfalls erhöhen muß.

Demgegenüber wurde hier (wie auch von Schauler und Mayer²) eine Schmelzpunktniedrigung nach einer Hitzebehandlung unter gleichzeitiger Einwirkung von Sauerstoff beobachtet (Abb. 2). Dagegen findet bei Proben, die unter N_2 -Atmosphäre getempert wurden, keine Schmelzpunktniedrigung statt. Es ist daher zu vermuten, daß beim Tempern der Kristallblock mit Rissen durchsetzt wird, wobei dieser Effekt mit steigender Temperdauer zunimmt. Da nach Flory³ kleinere Kristallite einen niedrigeren Schmelzpunkt haben als größere Kristallite, würde das die Schmelzpunktniedrigung erklären. Röntgenographisch läßt sich diese Annahme allerdings nicht beweisen. Wird die Hitzebehandlung in N_2 -Atmosphäre vorgenommen, so verändert sich die Kristallstruktur nur geringfügig. Eine Aufspaltung der Kri-

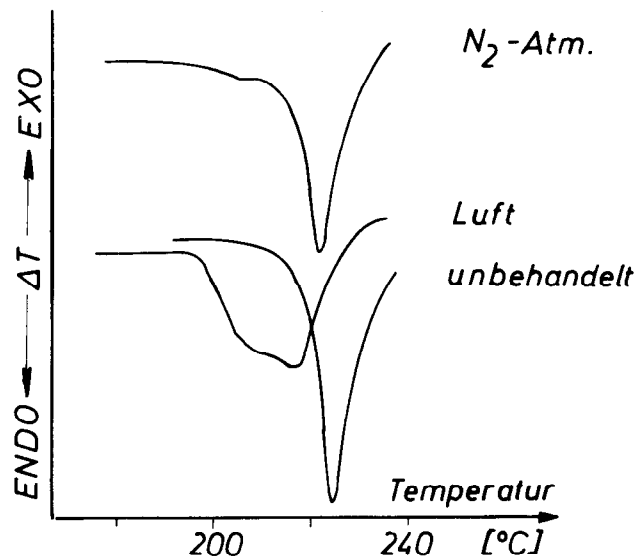


Abb. 2: Thermogramme von in Stickstoff bzw. in Luft bei 200° C unter freiem Schrumpf 20 Minuten lang getempertem Polyamid 6 (Material: 3,12fach verstreckt)

stallite, was den Schmelzpunkt reduzieren würde, konnte nicht festgestellt werden. Es ist daher zu erwarten, daß die Schmelzpunktniedrigung eine Folge des thermooxidativen Abbaus ist.

Die hexagonale Struktur des unverstreckten Polyamid 6 läßt sich röntgenographisch nachweisen. Verstreckung und thermische Vorbehandlung ermöglichen eine rasche Umwandlung in die stabilere monokline Form. Bei einer 2,2fachen Verstreckung ist die hexagonale Form bereits weitgehend in die monokline α -Form umgewandelt.

Ein sehr wichtiges Ergebnis der Arbeit besteht darin, daß es gelungen ist, die Kristallitdimensionen und deren Veränderungen in Richtung quer zur Faserachse zu bestimmen. Die Breite einer Interferenz ist ein Maß für die Kristallitgröße. Allerdings beeinflussen auch alle Abweichungen von der idealen Kristallstruktur, zum Beispiel Gitterstörungen durch Verunreinigungen, Mischkristallbildungen oder Verbiegungen, die Reflexbreite.

Zur Bestimmung der Reflexbreite müssen zunächst die beiden Hauptäquatorreflexe (200) und (020) des Polyamid 6 (Abb. 3), die sich überlappen, getrennt werden. Zur Trennung von Verteilungen dieser Art wurde von der Firma Du Pont ein Kurvenanalysegerät entwickelt, das hier Einsatz fand.

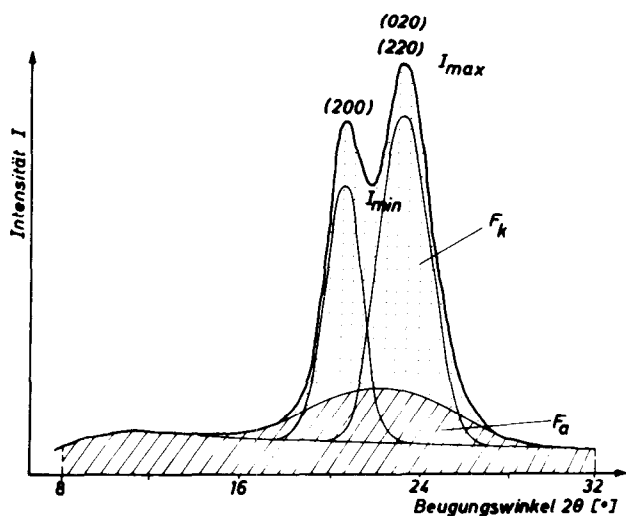


Abb. 3: Linientrennung der äquatorialen Reflexe (200) und (020) bei Polyamid 6

Die Intensitäten der einzelnen Reflexe und die Streuung der nicht geordneten Bereiche wurden als Gauß-Verteilungen über dem Beugungswinkel θ angesehen. Die Gauß-Kurven wurden so gewählt, daß ihre additive Überlagerung der Gesamtkurve möglichst gut angepaßt ist. Nach dieser Analyse wurden die Kristallitdimensionen, die Kristallitquerschnittsfläche und die Anzahl der Kettenmoleküle, die im Mittel einen kristallinen Bereich durchlaufen, berechnet.

Aus diesen Untersuchungen läßt sich entnehmen, daß besonders bei hohen Temperaturen beachtliche Änderungen im Faserfeinbau auftreten. So werden die Kristallitdimensionen quer zur Faserachse stark beeinflusst. Verhindert man den Faserschumpf bei einer thermischen Behandlung, so bilden sich, bedingt durch die etwas eingeengte molekulare Bewegungsfreiheit, nicht so große Kristallitbereiche aus wie bei freiem Schrumpf.

In der Literatur wird mehrfach darauf hingewiesen, daß die Kristallinitätsgradwerte — nach verschiedenen Methoden bestimmt — sehr große Abweichungen voneinander zeigen können. Die im Rahmen dieser Arbeit nach verschiedenen Verfahren errechneten Kristallinitätsgrade stimmen jedoch relativ gut überein (Abb. 4).

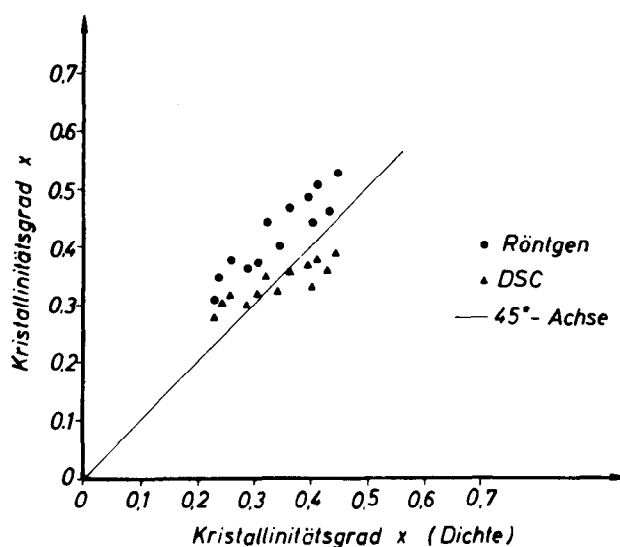


Abb. 4: Vergleich der Kristallinitätsgradwerte, die durch Dichtebestimmung mittels DSC und Röntgenographie ermittelt wurden

Literatur:

- 1) H. A. Stuart; Die Physik der Hochpolymeren, Band III; Springer-Verlag, Berlin — Göttingen — Heidelberg 1956
- 2) W. Schauler und D. Mayer; Chemiefasern 22, 602 (1972)
- 3) P. T. Flory; J. Chem. Physics 17, 233 (1949)

Mit α -Methylbenzoin initiierte Pfropfung von Acrylamid und Vinylphosphonsäure auf Synthesefasern unter Einwirkung von UV-Licht

Dipl.-Chem. Rolf Herzog
 Institut für Textil- und
 Faserchemie, Universität Stuttgart

Das Problem der voll waschbeständigen Flammschutz-ausrüstung für die drei wichtigsten Synthefasern Polyester, Polyamid und Polyacrylnitril ist noch nicht ausreichend gelöst. Das hat hauptsächlich folgenden Grund: Reaktive Gruppen, wie Amino- oder Hydroxylgruppen, sind bei Synthefasern weniger gut zugänglich und zudem in geringerer Konzentration vorhanden als bei den Naturfasern Baumwolle und Wolle, sodaß es zu keiner ausreichenden Fixierung von Flammschutzmitteln bei Anwendung der klassischen Reaktivgruppen kommen kann. Deshalb sollte in dieser Arbeit der Versuch unternommen werden, durch photochemisch initiierte sensibilisierte Pfropfcopolymerisation eine Monomermischung aus Acrylamid und Vinylphosphonsäure waschbeständig auf Nylon 6-Fasern aufzubringen.

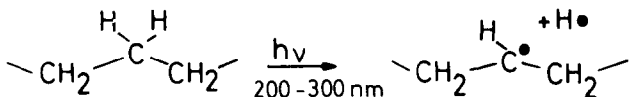
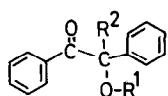


Abb. 1: Einwirkung von UV-Licht auf Polyäthylen nach G. Oster; J. Polym. Sci. 34, 671-684 (1959)

Eine für diese Arbeit durchgeführte Literaturrecherche zeigt, daß über die photolytisch induzierte Pfropfung an Synthefasern noch recht wenig bekannt ist. In einer ersten Arbeit findet G. Oster im Jahr 1959, wie in Abbildung 1 gezeigt werden soll, daß Lichtquanten der Wellenlänge zwischen 200 und 300 nm energiereich genug sind, um Wasserstoffatome von Polymeren zu abstrahieren. Dadurch lassen sich Pfropfungs- und Vernetzungsreaktionen einleiten. Diese Untersuchungen wurden am Beispiel des Polyäthylens durchgeführt.

Recht umfangreich dagegen ist die Zahl der wissenschaftlichen Arbeiten, die sich mit der photochemischen Erzeugung von Radikalen an Polymeren oder



α -Methylbenzoin
 $R^1 = \text{H}$
 $R^2 = \text{CH}_3$

Abb. 2: Strukturformel von Benzoinderivaten

photolytisch spaltbaren radikalliefernden Verbindungen befaßt.

Mit photolytisch erzeugten Radikalen läßt sich bekanntlich die Photopolymerisation von Vinylverbindungen einleiten. Dazu eignen sich allgemein Carbonylverbindungen, beispielsweise Derivate des Benzoin, deren Strukturformel Abbildung 2 zeigt.

Das photochemische Verhalten dieser Verbindungen, von Heine und Mitarbeitern untersucht, läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

Anschließend an die Absorption eines UV-Quanten geht das Molekül in einen angeregten Singulettzustand über, der nur sehr kurzlebig ist. Aus diesem — oder aber aus einem nur kurze Zeit bestehenden Triplettzustand findet selektiv eine α -Spaltung des Hydroxyketons statt. Man erhält so kurz nach dem Bestrahlungsbeginn eine sehr hohe Radikalkonzentration (Abb. 3).

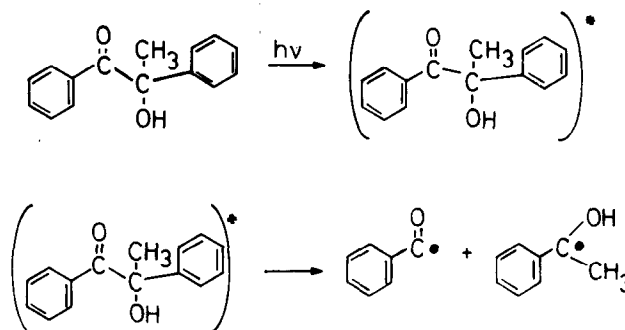


Abb. 3: Photolyse von α -Methylbenzoin

Das Zustandekommen der Pfropfung von Acrylamid und Vinylphosphonsäure in Form einer Mischung im Molverhältnis 1 : 1 auf Nylon 6 kann man sich so vorstellen:

Wie in Abbildung 4 zu sehen, reagiert ein aus dem Initiator entstandenes Radikal mit dem Basispolymeren Nylon 6, wobei ein Wasserstoffatom abstrahiert wird. Nylon 6 wirkt also dem Initiatorradikal gegenüber als Wasserstoffdonator. Von der entstandenen Radikal-

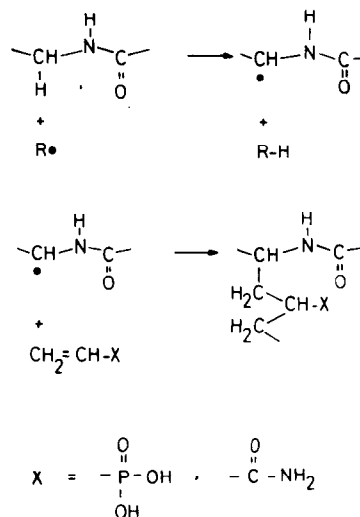


Abb. 4: Pfropfung von Acrylamid und Vinylphosphonsäure auf Nylon 6

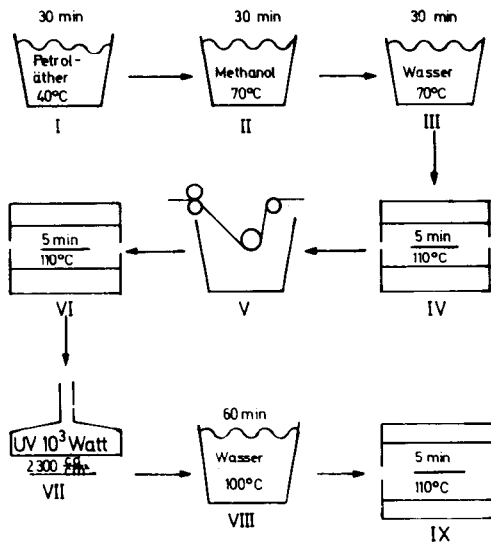


Abb. 5: Fließschema über den Verfahrensablauf

stelle aus kann nun das Wachstum der Seitenketten eintreten.

Um diese Reaktionen an einem textilen Substrat durchführen zu können, wurde folgende Verfahrensweise gewählt (Abb. 5):

Nach dem Entfernen von Verunreinigungen und eventuell anhaftendem Appreturmittel fand der Substanzauftrag durch Foulardieren statt. Für die anschließende Bestrahlung wählte man eine Xenon-Hochdrucklampe. Da diese Art der Pfropfung, verursacht durch Kettenübertragung, immer mit einer Homopolymerisatbildung verbunden ist, war es nötig, dieses hinterher durch Extraktion abzutrennen. Das Ausmaß der Pfropfung wurde durch die Bestimmung des Phosphatgehaltes vor und nach mehrfacher Wäsche charakterisiert. Mit Hilfe dieser Versuchsanordnung wurden die wichtigsten Parameter, wie Belichtungszeit, Initiator- und Monomerkonzentration, untersucht. Als Beispiel sei in Abbildung 6 die Abhängigkeit des Phosphorgehaltes von der Belichtungszeit dargestellt.

Einen entscheidenden Einfluß auf die Pfropfausbeute zeigte der Ausschluß von Sauerstoff, also das Arbeiten in inerter Atmosphäre. Der Phosphorgehalt stieg so bis 3 % an, was einem Masseanteil von etwa 20 % an aufgepfropfter Substanz entspricht.

Als weiter die Ausbeute erhöhend, zeigte sich der Einsatz von Benzophenon anstelle von α -Methylbenzoin. Aus wiederholt durchgeführten Extraktionsversuchen ließ sich erkennen, daß sich kaum nichtgepfropfte Polymere gebildet hatten, die nicht waschbeständig an das Nylon 6 gebunden waren, denn selbst nach 15 Stunden Extraktionsdauer ging der Phosphorgehalt nicht zurück.

Um weitere Nachweise für eine echte Pfropfung zu erhalten, wurden mit den modifizierten Gewirken Lösungs- und Fällungsversuche durchgeführt. Auch lichtmikroskopische Untersuchungen wurden herangezogen.

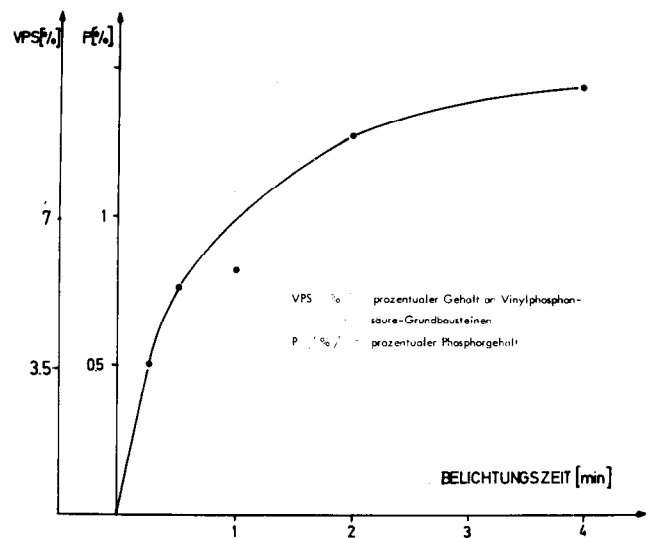


Abb. 6: Abhängigkeit des Phosphorgehaltes von der Belichtungszeit

Die Ergebnisse kann man so zusammenfassen:

- Mit Sicherheit auszuschließen war eine Pfropfung im Faserinnern, was die Faserquerschnitte und die DSC-Analysen zeigten.
- Aus Umfällungs- und Extraktionsversuchen wurde ersichtlich, daß der überwiegende Teil der auf dem ausgerüsteten textilen Gegenstand entstandenen polymeren Masse waschbeständig fixiert war. Das führte zu einer Änderung des thermischen Verhaltens.
- aus thermogravimetrischen Untersuchungen gezeigt werden, daß der unbrennbare Rückstand vergrößert wurde. Das bedeutet, daß sich im Vergleich zu reinem Nylon 6 weniger brennbare Gase bilden können.
- Durch das Ausrüsten der modifizierten Gewebe mit Metallionen, beispielsweise Ca-Ionen, erhält man eine salzartige Vernetzung mit der aufgepfropften polymeren Substanz. Damit wird eine Veränderung des Schmelzverhaltens erzielt: eine vertikal eingespannte Probe davon, an der Unterkante entzündet, verbrennt, ohne zusammenzuschmelzen und abzutropfen, das heißt, der flammhemmende Effekt, der durch das Wegschmelzen von synthetischen Polymeren vor der Zündflamme erfolgt, ist aufgehoben.

Die vorliegende Arbeit sollte primär nicht Flamm-
schutzausrüstungen optimieren, sondern zeigen, ob eine reelle Chance besteht, durch sensibilisierte photochemische Reaktionen dieselben Effekte zu erzielen wie bei der β -strahleninduzierten Reaktion. Entsprechende weitere Untersuchungen laufen an unserem Institut.

Dem Forschungskuratorium Gesamttextil, Frankfurt/M., und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen danken wir für die Förderung dieser Arbeit.

Reaktions- und Lösungswärmen aromatischer Amide, Polyamide und Säurechloride im System N,N'-Dimethylacetamid/Lithiumchlorid

Dr. Werner Koch
 Institut für Textil- und
 Faserchemie, Universität Stuttgart

Voraussetzung für die Verarbeitung von hochtemperaturbeständigen und damit schwerentflammaren aromatischen Polyamiden zu Fasern und Folien ist neben der Beherrschung der Spinntechnik die Kenntnis der thermodynamischen und rheologischen Parameter der Lösung von Polyamiden in geeigneten Lösungsmitteln. Aromatische Polyamide sind bekanntlich in den gewöhnlich verwendeten Lösungsmitteln nur sehr wenig löslich, was ihre Verarbeitung zu Fasern sehr erschwert.

Dipolar aprotonische Lösungsmittel, wie zum Beispiel Dimethylformamid oder Dimethylacetamid, lösen aromatische Polyamide entweder in geringer Konzentration, oder man erhält Lösungen, die nach kurzer Lagerung gelieren und deshalb als Spinnlösungen nicht benutzt werden können.

Stabile Lösungen mit einer Konzentration von 10 bis 20% erhält man beim Lösen von Polymeren in Gegenwart von Metallchloriden, wie zum Beispiel LiCl oder CaCl₂ u. a.

Bevorzugtes Lösungsmittel für Poly-m-phenylenisophthalamid ist Dimethylacetamid mit 3 bis 7% LiCl. Obwohl das Verspinnen von Poly-m-phenylenisophthalamid aus diesem Lösungsgemisch prinzipiell möglich ist, verwendet man in der Praxis zweckmäßigerweise in DMA lösungspolykondensierte Polymerlösungen, die unmittelbar nach der Herstellung durch Zusatz von 2 bis 3% CaCl₂ stabilisiert werden.

Trotz zahlreicher Veröffentlichungen über Darstellung und Eigenschaften von aromatischen Polyamiden fehlen bisher quantitative Angaben über Polykondensationswärmen, die aber sowohl für eine rationelle praktische und optimierte Durchführung der Polykondensation als auch für das Verständnis der physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeit des Kondensationsprozesses von Interesse sind.

In meiner Dissertation wurden die Reaktionsenthalpien aromatischer m- und p-Diamine mit aromatischen m- und p-Dicarbonsäurechloriden sowie die Lösungsenthalpien der m- und p-Modellverbindungen und von Poly-m-phenylenisophthalamid in Dimethylacetamid und im binären System Dimethylacetamid/Lithiumchlorid kalorimetrisch bestimmt. Die bei der Polykondensation aromatischer Diamine mit aromatischen Disäurechloriden gemessenen exothermen Reaktionsenthalpien liegen zwischen 50 und 60 kcal/Mol.

Da die Tieftemperaturpolykondensation in amidischen Lösungsmitteln in mehreren Stadien abläuft, müssen zur Bestimmung der eigentlichen Polykondensationswärmen sowohl die Reaktionswärme der Nebenreaktion Salzsäure/Dimethylacetamid als auch die Lösungs-

wärmen der Disäurechloride, der Diamine und der Polyamide bekannt sein.

Als Beispiel sei die Lösungspolykondensation von Isophthaloylchlorid mit m-Phenylendiamin in DMA angeführt. Die Brutto-Reaktionsenthalpie ist -56,7 kcal/Mol. Aus den durch Einzelmessungen zugänglichen Reaktions- und Lösungsenthalpien aller mit einem Wärmeumsatz verbundenen Nebenreaktionen erhält man durch einfache Rechnung die wahre Polykondensationswärme für die Bildung einer Carbonamidgruppe im Polymeren. Sie beträgt -12 kcal/Mol (Abb. 1).






System	ΔH [kcal/Mol]
DMA/H ₂ N  + ClOC  COCl	-56,7 Brutto-Reaktionswärme
DMA + HCl	-20,9 Reaktionswärme
DMA + DMA•HCl	+2,5 Lösungswärme
DMA + ClCO  COCl	+4,5 Lösungswärme
DMA + [HN  NHOC  CO] _n	-8,5 Lösungswärme

Abb. 1: Reaktions- und Lösungswärmen bei der Lösungspolykondensation von m-Phenylendiamin mit Isophthaloylchlorid

Für die technische Durchführung der Tieftemperaturpolykondensation im Strömungsreaktor ist nur die Brutto-Reaktionswärme von Bedeutung. Wie aus kalorischen Meßdaten hervorgeht, steigt bei der Umsetzung von 1 Mol m-Phenylendiamin mit 1 Mol Isophthaloylchlorid in 1 Liter DMA die Temperatur innerhalb weniger Sekunden um 90° C an.

Um kettenabbrechende Nebenreaktionen weitgehend zu vermeiden, muß beim Bau von Strömungsreaktoren für Lösungspolykondensationen darauf geachtet werden, daß die nach kurzer Zeit entstandene Wärmemenge durch Wärmeaustausch möglichst rasch abgeführt wird. Dies ist ein rein technisches Problem, das nur optimal gelöst werden kann, wenn die Reaktionsgeschwindigkeit bekannt ist. Die Geschwindigkeitskonstante der Polyamidierungsreaktion 2. Ordnung wurde mittels Leitfähigkeitsmessungen bestimmt. Sie hat den Wert 79 (l/Mol sec).

Anhand eines Rechenexempels soll gezeigt werden, welche Maßnahme getroffen werden muß, um einen effektiven Wärmeaustausch großtechnisch zu bewerkstelligen:

In einem Reaktor sollen 10 kg Poly-m-phenylenisophthalamid bei 0° C synthetisiert werden, und die Temperatur in der Polymerlösung soll nach dem Wärmeaustausch +10° C nicht überschreiten. Zur Erzielung hoher Molekulargewichte ist es erforderlich, daß vor Beginn des Reaktionsablaufes die Reaktionspartner im Molverhältnis 1:1 vorliegen. Da innerhalb von 20 Sekunden eine Wärmemenge von 2380 kcal freigesetzt wird, müssen mindestens 270 Liter Wasser von 0° C innerhalb von 20 Sekunden strömen. Hieraus ist sofort

ersichtlich, daß für die Produktion nur eine kontinuierliche Reaktionsführung in Frage kommt.

Während die Reaktionswärmen Auskunft über die thermodynamische Stabilität aromatischer Polymer-systeme und über die Reaktivität aromatischer Diamine und Säurechloride geben, vermitteln die Lösungswärmen aromatischer Amide und Polyamide in DMA und DMA/LiCl eine Vorstellung über den Lösungszustand und über die Lösungsthermodynamik der Amide.

Zunächst stellen wir uns folgende Fragen:

1. Warum lösen sich aromatische Polyamide nicht oder nur wenig in dipolar aprotischen Lösungsmitteln, dagegen gut in DMA/LiCl?
2. Wie stellen wir uns den Lösungszustand vor?
3. Welche Vorstellung können wir uns über die Lösungsthermodynamik machen?

Zu 1:

Die Löslichkeit der Polymeren nimmt allgemein mit zunehmender Kettenlänge und zunehmender Symmetrie der Polymerbausteine ab. Bei Poly-m-phenylenisophthalamid hängt die Löslichkeit auch weitgehend vom Kristallinitätsgrad ab. Alle Polyamide mit hohem Kristallinitätsgrad lösen sich deshalb nicht in DMA, weil starke zwischenmolekulare Wechselwirkungen in Form von Wasserstoffbrückenbindungskräften vorhanden sind, die stärker sind als die Dipolkräfte des Lösungsmittels. Deshalb kann keine Solvation erfolgen. Die Steigerung der Löslichkeit durch Zusatz von LiCl oder CaCl₂ in DMA ist auf eine Erhöhung der Polarität des Lösungsmittels zurückzuführen, die durch die Komplexbildung der Li⁺-Kationen mit den Lösungsmittelmolekülen hervorgerufen wird.

Zu 2:

Im binären System DMA/LiCl erfolgt zuerst eine Solvation der Li⁺-Kationen durch das Lösungsmittel (Abb. 2).

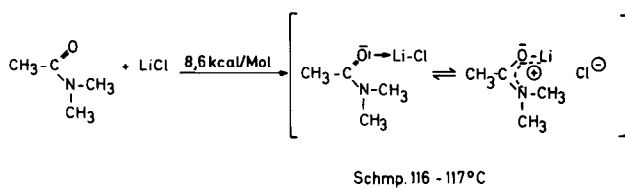


Abb. 2: Exotherme Bildung des 1:1-DMA/LiCl-Komplexes

Die Reaktion ist mit 8,6 kcal exotherm. Eine Solvation der Cl⁻Anionen findet dagegen in dipolar aprotischen Lösungsmitteln nicht statt. Im ternären System (Poly)-Amid/DMA/LiCl (Abb. 3) werden die Cl⁻Anionen durch Wasserstoffbrückenbindungen mit den amidischen N-H-Protonen komplex gebunden, was auch aus NMR-spektroskopischen Untersuchungen eindeutig hervorgeht.

Die Adduktbildung zwischen den mit dem Lösungsmittelkomplex gebundenen Li⁺-Kationen und dem Sauerstoffatom der aromatischen Carbonamidgruppe

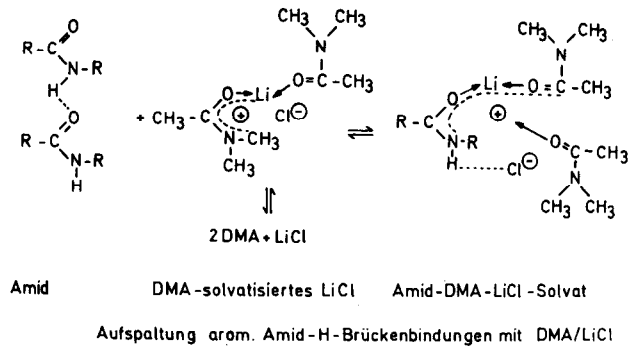


Abb. 3: Aufspaltung aromatischer Amid-H-Brückenbindungen mit DMA/LiCl

ist aus der Verschiebung der Amid I-Bande nach kleineren Frequenzen im IR-Spektrum nachweisbar (Abb. 4).

Zu 3:

Die Lösungswärmen geben summarisch Auskunft über die Gitterenergien und das Solvationsvermögen der aromatischen Amide in DMA. Da die Gitterenergien und Solvationsenthalpien der Amide nicht bekannt sind, kann man aus der Löslichkeit und den experimentell zugänglichen Lösungswärmen lediglich das Solvationsverhalten beurteilen.

Im Gegensatz zu den exothermen Lösungswärmen amorpher Polyamide, wie zum Beispiel Poly-m-phenylenisophthalamid, sind die integralen Lösungswärmen der kristallinen aromatischen Amide durchwegs endotherm, weil die Gitterenergien dieser Verbindungen insgesamt größer sind als die Solvationsenthalpien. Zwischen der Löslichkeit und dem Solvationsgrad der Amide besteht ein unmittelbarer Zusammenhang:

In DMA gut lösliche Amide, wie Benzanilid oder N,N'-Dibenzoyl-m-phenylendiamin, solvatisieren stärker als N,N'-Dibenzoyl-p-phenylendiamin oder Terephthalsäuredianilid. In Gegenwart von LiCl dagegen solvatisieren die p-Modellverbindungen stärker als die m-Modellverbindungen.

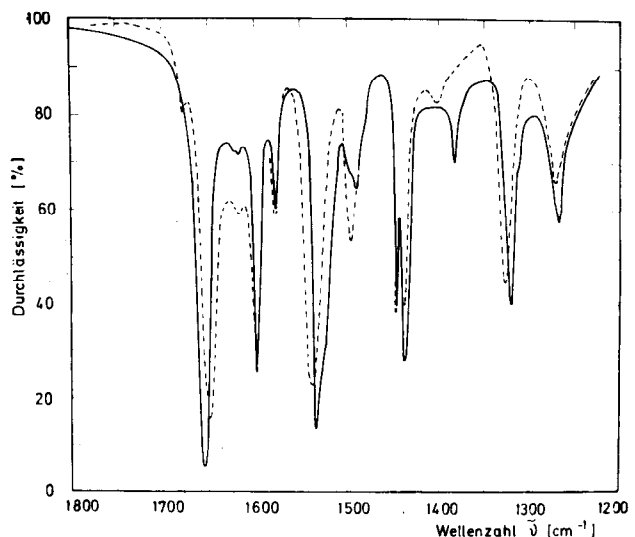


Abb. 4: IR-Spektrum von Benzanilid (—) und Benzanilid-LiCl-Addukt (- - -)

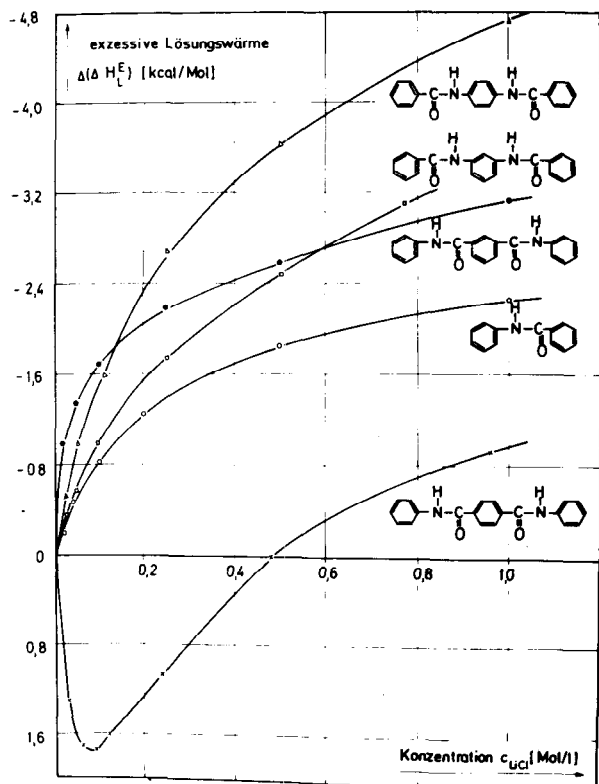


Abb. 5: Exzessive Lösungswärmen beim Lösen von Amiden im System DMA/LiCl

Hierzu einige kalorische Daten: Die exzessiven molaren Lösungswärmen der Amide im System DMA/LiCl haben bei einem Molverhältnis LiCl/Amid von 2 : 1 folgende Werte:

Benzanilid (Molverhältnis 1 : 1)	—0,48 kcal/Mol
N,N'-Dibenzoyl-m-phenyldiamin	—0,57 kcal/Mol
Isophthalsäuredianilid	—1,04 kcal/Mol
Terephthalsäuredianilid	—1,69 kcal/Mol

Abbildung 5 zeigt die exzessiven Lösungswärmen der Amide in Abhängigkeit von der Lithiumchloridkonzentration in DMA. Die Zunahme der Lösungswärmen beruht auf einem zusätzlichen exothermen Solvations-effekt, der durch die Wechselwirkung der Li⁺- und der Cl⁻-Ionen mit den Amidmolekülen verursacht wird. Mit Ausnahme von Terephthalsäuredianilid, das sich nur teilweise in DMA löst, sind unter den kalorischen Versuchsbedingungen alle Amide auch ohne LiCl-Zusatz in DMA löslich. Beim Terephthalsäuredianilid geht die LiCl-konzentrationsabhängige exzessive Lösungswärme durch ein Minimum, das dann erreicht wird, wenn das Molverhältnis LiCl/Carbonamidgruppe genau 1 : 1 beträgt und maximale Löslichkeit besteht. Erst nachdem sämtliche Amidmoleküle molekulardispers in der Lösung vorliegen, macht sich ein exothermer Solvations-effekt bemerkbar.

Der Lösungsprozeß der aromatischen Polyamide im System DMA/LiCl ist zu komplex, als daß er durch kalorische Messungen allein erklärt werden könnte. Unter Zuhilfenahme anderer physikalisch-chemischer Untersuchungsmethoden ist es möglich, detailliertere Aussagen über den Lösungsmechanismus zu machen.

Dem Forschungskuratorium Gesamttextil, Frankfurt/M., und der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen danken wir für die Förderung dieser Arbeit.

Ankündigungen

A Workshop: Struktur und Eigenschaften synthetischer Fasern

1. und 2. Juli 1976
Zürich, Airport Hilton, Schweiz

Rückfragen an: **Prof. Dr. Peters**
PO Box 443
Ithaca NY 14850 USA

Vortragende: **Prof. J.W.S. Hearle**
Department of Textile Technology
University of Manchester Institute
of Science and Technology
Manchester, England

Prof. W.O. Statton
Department of Materials Science and
Engineering, The University of Utah,
Salt Lake City, Utah, U.S.A.

Prof. G. Valk
Textilforschungsanstalt Krefeld
D-415 Krefeld

15. ICFT — Internationale Chemiefasertagung

22. bis 24. September 1976
Dornbirn, Messehalle

Rückfragen an: **Österr. Chemiefaser-Institut**
A-1040 Wien, Plösslgasse 8

EUCOFF — European Conference on Flammability and Fire Retardants

14. und 15. Juli 1977
Wien, Hilton-Hotel

Anmeldungen für Vorträge sind zu richten an:

Vijay Mohan Bhatnagar, Editor
"Advances in Fire Retardants"
209 Dover Road, Cornwall
Ontario, Canada K6J 1T7

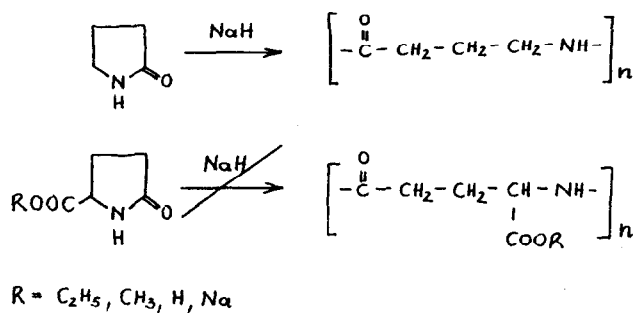
Kondensationsprodukte der Pyrrolidoncarbonsäure mit Diaminen und Diolen

Dipl.-Ing. Ingo Marini
 Institut für chemische Technologie organischer Stoffe,
 Wien

Die Pyrrolidoncarbonsäure, eine heterocyclische Carbonsäure mit drei funktionellen Gruppen, nämlich der freien Carboxylgruppe, der Lactam-Carbonylgruppe und dem Lactam-Stickstoff mit einem freien Wasserstoffatom, kann elektrolytisch aus der Zuckerrübenmelasse¹ oder aus den Ionenaustauscherabläufen der Zuckerfabriken² gewonnen werden; somit würde sie bei Bedarf in größerer Menge zur Verfügung stehen. Für Versuche im Laboratorium wird sie am zweckmäßigsten aus Glutaminsäure hergestellt³. Die Reaktion wird dabei bewußt bei höherer Temperatur (siehe weiter unten) geführt, um aus der L-Glutaminsäure die D,L-Pyrrolidoncarbonsäure zu erhalten, die gegenüber der L-Pyrrolidoncarbonsäure in Wasser weniger löslich und weniger hygroskopisch ist und außerdem einen höheren Schmelzpunkt besitzt (182 statt 162°C).

Es sollte nun zunächst ganz allgemein untersucht werden, ob aus der Pyrrolidoncarbonsäure Polymerkörper aufgebaut werden können.

Einfache Lactame, wie Azetidinon, Pyrrolidon und Caprolactam, lassen sich ringöffnend polyaddieren. Es lag daher der Gedanke nahe, eine ringöffnende Polyaddition der Pyrrolidoncarbonsäure zu versuchen. Vom Pyrrolidoncarbonsäureäthylester war jedoch bereits bekannt, daß diese gewünschte Polymerreaktion nicht eintritt⁴. Die Versuche wurden deshalb mit Pyrrolidoncarbonsäuremethylester, der freien Pyrrolidoncarbonsäure sowie dem Na-Salz ergänzt. Während man hierfür 100%igen Methylester verwendete, wurden die Pyrrolidoncarbonsäure und das Na-Salz in 10 Mol%iger pyrrolidonischer Suspension eingesetzt. Sowohl der Methylester als auch die freie Säure und das Salz konnten nicht polyaddiert werden.



Formelschema 1: Darstellung des Na-Salzes der Pyrrolidoncarbonsäure

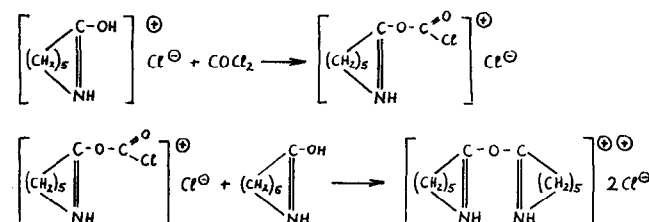
Der Pyrrolidoncarbonsäuremethylester wurde direkt durch Veresterung der Glutaminsäure dargestellt, wobei das nichtisolierte Glutaminsäuredimethylester-

hydrochlorid thermisch und unter vermindertem Druck zum Pyrrolidoncarbonsäuremethylester cyclisiert⁵.

Zur Darstellung des Na-Salzes der Pyrrolidoncarbonsäure wurde mit dem stark sauren Ionenaustauscher IMAC C 12 in der Na-Form gearbeitet; es wurde jedoch nur ein 68%iger Umsatz erzielt. Da es zur Struktur der Alkalisalze der Pyrrolidoncarbonsäure in der Literatur verschiedene Ansichten gibt⁶, beschränkte ich mich bei der Darstellung des Na-Salzes auf eine potentiometrische Titration der Säure mit n/10-Natronlauge und anschließender Gefrier-trocknung der erhaltenen Lösung, um eine Hydrolyse zur Glutaminsäure zu verhindern.

Die Decarboxylierung der Pyrrolidoncarbonsäure zum Pyrrolidon, Ausgangsprodukt der Polyamid 4-Herstellung, ist bislang noch nicht gelungen. Zahlreiche Versuche mit verschiedenen Katalysatoren erbrachten nur unbefriedigende Ergebnisse⁷. Es konnten lediglich Spuren von γ -Aminobuttersäure nachgewiesen werden.

Eine Polymerreaktion mit der freien Carboxylgruppe und dem Lactamstickstoff mit dem freien Wasserstoffatom in Analogie zur Polyglutaminsäure- γ -methyl-esterfaser⁷ wurde nicht näher ins Auge gefaßt, da Lactame mit Phosgen einen Chlorkohlensäurelactim-ester bilden, der sehr leicht unter CO₂-Abspaltung in den entsprechenden Lactimäther übergeht⁸.



Formelschema 2: Einwirkung von Phosgen auf Lactame

Außerdem würde es sich bei dem zu erwartenden Pyrrolidoncarbonsäurepolymeren um einen räumlich äußerst verspannten Körper handeln.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, umfassendere Veränderungen an den funktionellen Gruppen der Ausgangsverbindung Pyrrolidoncarbonsäure durchzuführen; und hier wiederum wird man sich vor allem auf die Carboxylgruppe und den Lactamstickstoff mit dem freien Wasserstoffatom konzentrieren.

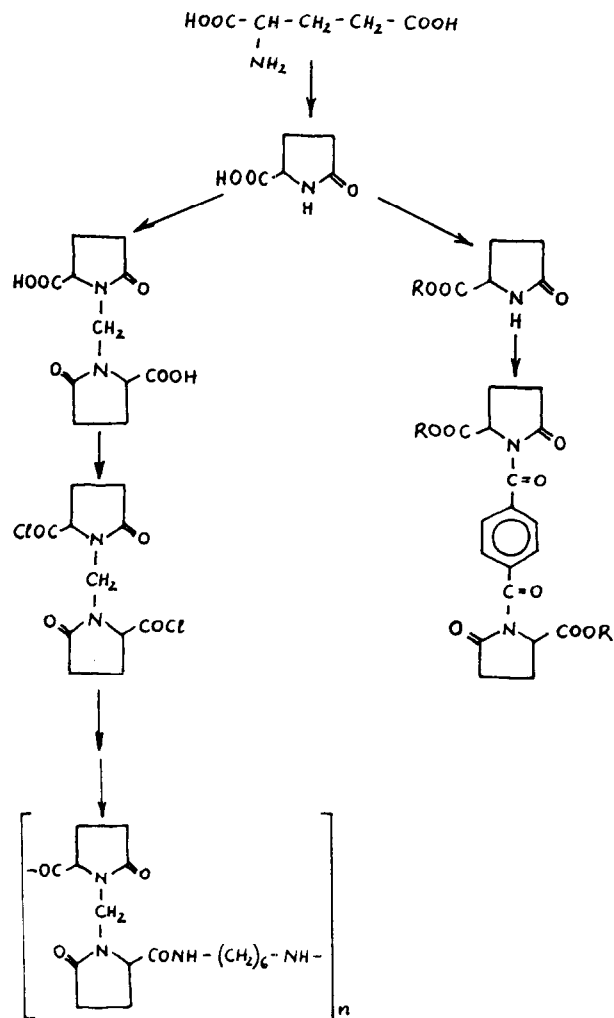
Das Gebiet der Olefinpolymerisation ist in Zusammenhang mit der Pyrrolidoncarbonsäure bereits ausführlich behandelt worden^{9,10}. Durch Vinylierung und Acylierung mit Acrylsäurechlorid am Stickstoff sowie durch Veresterung der Carboxylgruppe mit Allylalkohol werden reaktive C=C-Doppelbindungen in die Pyrrolidoncarbonsäure eingebaut, welche radikalisch polymerisierbar sind.

Eine weitere Literaturstelle berichtet über die Veresterung der Pyrrolidoncarbonsäure zum Äthylenglykol-bis-pyroglymat und dessen Reaktion mit aromatischen Isocyanaten zum Polyharnstoff¹¹.

Meine praktischen Arbeiten setzen nun dort ein, wo die Möglichkeit besteht, aus der Pyrrolidoncarbonsäure neue Derivate herzustellen, die zu Polymerreak-

tionen befähigt sind und somit neue Polymere bilden können.

Im konkreten Fall wurden nun zwei Pyrrolidoncarbonsäuremoleküle am Stickstoff über eine Methylenbrücke miteinander verbunden und die so erhaltene Dicarbonsäure mit einem Diamin zum Polyamid umgesetzt. Im Augenblick bin ich damit beschäftigt, die Methylenbrücke durch den Terephthaloylrest zu ersetzen. Dabei muß jedoch der Umweg über den Ester genommen werden, weil Säurechloride mit freien Carbonsäuren bekanntlich zu Carbonsäureanhydriden reagieren, die hier unerwünscht sind.

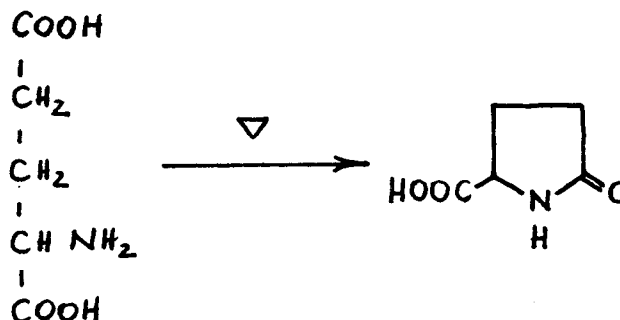


Formelschema 3: Synthese polymerisierbarer Derivate der Pyrrolidoncarbonsäure

An dieser Stelle muß auch erwähnt werden, daß aliphatische Dicarbonsäurechloride mit Pyrrolidoncarbonsäureestern nicht reagieren. Es wird angenommen, daß im Unterschied dazu bei den aromatischen Dicarbonsäurechloriden das angreifende Acylikation durch den Benzolring stabilisiert wird.

Darstellung von D,L-Pyrrolidoncarbonsäure nach Houben-Weyl, 11/2, 485

Ansatz: 100 g (0,68 Mol) L-Glutaminsäure (MG: 147)



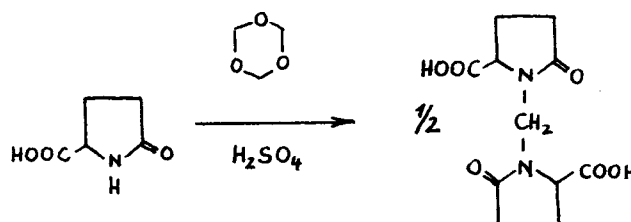
Formelschema 4

100 g feingepulverte L-Glutaminsäure wurde im offenen 500-ml-Rundkolben im Ölbad erhitzt. Der langsam entstehende Sirup wurde unter Wasserabgabe bis auf 180° C erhitzt, dann wurde im Laufe einer halben Stunde die Temperatur auf 195° C gesteigert. Die nunmehr wasserfreie Schmelze wurde mit 50 ml destilliertem Wasser versetzt, aufgekocht und heiß filtriert. Die Lösung wurde über Nacht im Kühlschrank stehen gelassen, die ausgefallenen Kristalle abgesaugt und bei 70° C im Vakuumtrockenschrank getrocknet.

Ausbeute: 59 g (0,455 Mol) D,L-Pyrrolidoncarbonsäure (MG: 129), das sind 67,3 % der Theorie

Schmelzpunkt: 182° C

Darstellung von 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäure); C. A. 69, 10357k



Formelschema 5

Ansatz: 25,8 g (0,2 Mol) Pyrrolidoncarbonsäure (MG: 129)
6,0 g (0,067 Mol) sym. Trioxan (MG: 90)
2 ml konz. H₂SO₄

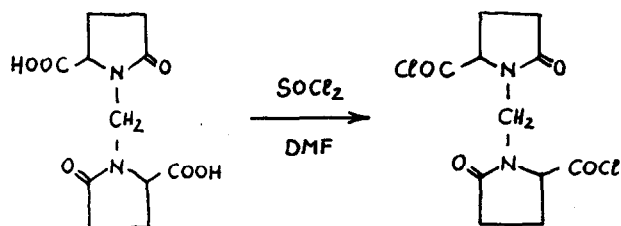
25,8 g feingepulverte Pyrrolidoncarbonsäure und 6 g symmetrisches Trioxan wurden in einem 250-ml-Zweihalskolben mit Rückflußkühler auf 150° C erwärmt; es wurden 2 ml konzentrierte H₂SO₄ zugefügt und das Reaktionsgemisch 15 min lang bei 145° C unter Rückfluß gekocht. Danach wurde für weitere 5 min bei derselben Temperatur Wasserstrahlvakuum angelegt.

Der erkaltete Rückstand wurde mit Äthanol und Wasser gewaschen und aus Wasser umkristallisiert.

Ausbeute: 14,1 g (0,0525 Mol) 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäure) (MG: 270), das sind 52,5 % der Theorie

Schmelzpunkt: 307 bis 308° C (Zersetzung)

Darstellung von 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäurechlorid)



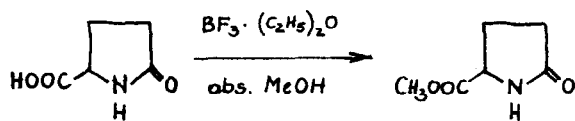
Formelschema 6

Ansatz: 2,7 g (0,01 Mol) 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäure) (MG: 270)
30 ml Thionylchlorid
1 Tropfen Dimethylformamid

2,7 g 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäure) wurden in einem 100-ml-Zweihalskolben mit Rückflußkühler, der mit einem Calciumchloridrohr und einer Gasableitung versehen war, mit 30 ml Thionylchlorid übergossen und nach Zugabe von einem Tropfen DMF 2 Stunden unter Rückfluß gekocht, mindestens jedoch so lange, bis alles in Lösung gegangen war. Danach wurde das Thionylchlorid unter vermindertem Druck abdestilliert. Die Temperatur sollte dabei 50° C nicht überschreiten.

Der erhaltene Rückstand wurde dann unter Beachtung dieser Sicherheitsmaßnahme dreimal in Chloroform aufgenommen und wieder eingedampft, um die letzten Reste an Thionylchlorid zu entfernen. Das Säurechlorid wurde wegen der großen Hydrolyseempfindlichkeit nicht isoliert, sondern in chloroformischer Lösung sogleich weiterverwendet.

Darstellung des Polyamids aus 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäure) und Hexamethyldiamin



Formelschema 7

Ansatz: zirka 1 g (0,003 Mol) 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäurechlorid) (MG: 339)
1 g (0,009 Mol) Hexamethyldiamin (MG: 116)
30 ml Chloroform
15 ml dest. Wasser

Ungefähr 1 g 1,1'-Methylen-bis-(pyrrolidoncarbonsäurechlorid) wurde in 30 ml Chloroform gelöst und mit einer Lösung von 1 g Hexamethyldiamin in 15 ml destilliertem Wasser überschichtet. An der Phasengrenzfläche bildete sich sofort ein Polyamidfilm aus, der mit Hilfe eines rotierenden Glasstabes kontinuierlich abgezogen werden konnte. Das Polykondensat wurde dreimal gut mit Äthanol/Wasser (1:1) und anschließend mit Aceton gewaschen und an der Luft trocknen gelassen. Dabei verfärbte sich das Polyamid

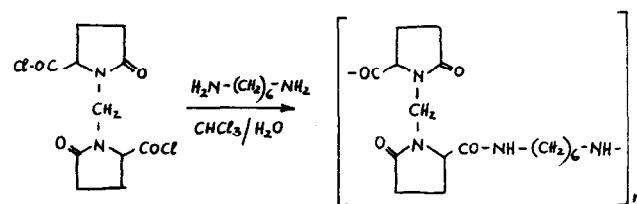
von ursprünglich gelblich-weiß nach dunkelgelb bis hellbraun.

Ausbeute: 0,5 g (0,00143 Grundmol) Polyamid (MG: 350), das sind 47,6 % der Theorie

Thermisches Verhalten: ab zirka 180° C zeigen sich Zersetzungerscheinungen

Es dürfte sich offenbar um ein unschmelzbares amorphes Polymeres handeln. Es ist in heißem m-Kresol löslich, sodaß eine Molekulargewichtsbestimmung nach Staudinger durchgeführt werden kann. Die Messungen sind noch nicht beendet.

Darstellung von Pyrrolidoncarbonsäure-n-butylester; C. A. 64, 9686f



Formelschema 8

Ansatz: 12,9 g (0,1 Mol) Pyrrolidoncarbonsäure (MG: 129)
65 ml n-Butanol
65 ml Benzol
0,5 ml konz. H₂SO₄

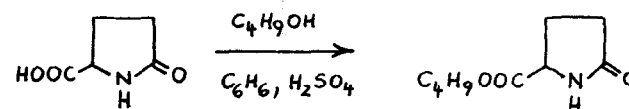
12,9 g Pyrrolidoncarbonsäure wurden in einem 250-ml-Einhalskolben mit Wasserabscheider und Rückflußkühler mit 65 ml n-Butanol und 65 ml Benzol übergossen und nach Zugabe von 0,5 ml konzentrierter H₂SO₄ 2 Stunden rückflußgekocht. Dabei wurden 1,8 ml Wasser abgeschieden. Nach dem Erkalten wurde das Reaktionsgemisch mit Äther versetzt und zweimal mit Wasser, zweimal mit 5%iger Bicarbonatlösung und wiederum dreimal mit Wasser ausgeschüttelt. Die vereinigten wäßrigen Phasen wurden einmal mit Äther rückgeschüttelt. Die vereinigten organischen Phasen wurden über Natriumsulfat getrocknet, filtriert und die Lösungsmittel Äther, Benzol und n-Butanol abdestilliert. Der ölige Rückstand wurde eine Vakuumdestillation unterworfen.

Ausbeute: 10,5 g (0,057 Mol) Pyrrolidoncarbonsäure-n-butylester (MG: 185), das sind 57 % der Theorie

Siedepunkt: 172 bis 173° C/1 mm Hg

Brechungsindex: 1,4704/25° C

Darstellung von 1,1'-Terephthaloyl-bis-(pyrrolidoncarbonsäure-n-butylester)



Formelschema 9

Ansatz: 9,25 g (0,05 Mol) Pyrrolidoncarbonsäure-n-butylester (MG: 185)
 5,07 g (0,025 Mol) Terephthaloylchlorid (MG: 203)
 5,05 g (0,05 Mol) Triäthylamin (MG: 101)
 90 ml Dioxan

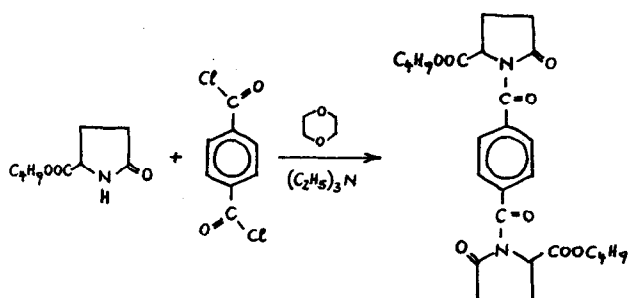
In einem 250-ml-Zweihalskolben mit Rückflußkühler und Rührer wurde eine Lösung von 9,25 g Pyrrolidoncarbonsäure-n-butylester in 50 ml wasserfreiem Dioxan mit einer Lösung von 5,07 g Terephthaloylchlorid in 25 ml und einer Lösung von 5,05 g Triäthylamin in 20 ml wasserfreiem Dioxan versetzt und 4 Stunden unter Rückfluß gekocht. Nach dem Erkalten wird das Triäthylaminhydrochlorid abfiltriert und das Dioxan abdestilliert. Der ölige Rückstand wird aus Äthylacetat umkristallisiert.

Ausbeute: 4,1 g (0,0082 Mol) 1,1'-Terephthaloylbis-(pyrrolidoncarbonsäure-n-butylester) (MG: 500), das sind 32,8 % der Theorie

Schmelzpunkt: 194 bis 196° C

Analyse:	%	berechnet	gefunden
C		62,39	62,34
H		6,44	6,49
N		5,60	5,61

**Darstellung von Pyrrolidoncarbonsäuremethylester;
 C. A. 64, 9686e**



Formelschema 10

Ansatz: 25,8 g (0,2 Mol) Pyrrolidoncarbonsäure (MG: 129)
 2,5 g (0,025 Mol) Bortrifluoridätherat (MG: 142)
 250 ml wasserfreies Methanol
 27 g stark basischer Ionentauscher

25,8 g Pyrrolidoncarbonsäure wurden in einem 500-ml-Einhalskolben mit Calciumchloridrohr mit 250 ml wasserfreiem Methanol übergossen und nach Zugabe von 2,5 g Bortrifluoridätherat 16 Stunden lang bei Raumtemperatur gerührt. Daraufhin wurde das Reaktionsgemisch mit 27 g stark basischem Ionentauscher neutralisiert, der Ionentauscher abfiltriert und das überschüssige Methanol abdestilliert. Der ölige Rückstand wurde einer Vakuumdestillation unterworfen.

Ausbeute: 15,3 g (0,107 Mol) Pyrrolidoncarbonsäuremethylester (MG: 143), das sind 53,5 % der Theorie

Siedepunkt: 159 bis 160° C/0,09 mm Hg

Brechungsindex: 1,4845/25° C

Literatur:

- 1) D. R. P. 460 935 (Takayama)
- 2) Pete; Dissertation am Institut für chemische Technologie organischer Stoffe, Technische Hochschule Wien
- 3) Houben-Weyl, 11/2, 485
- 4) Hall; J. Am. Chem. Soc. 80, 6404 (1958)
- 5) Fischer, Boehner; Ber. 44, 1332 (1911)
- 6) C. A. 77, 151905q
- 7) Okuda; Chemiefasern 20 (10), 855 (1970)
- 8) Houben-Weyl, 11/2, 580
- 9) C. A. 64, 9686d
- 10) C. A. 75, 22328p
- 11) C. A. 75, 64437d

Das Verhalten von Textilfasern unter Einfluß chemischer Behandlungen

Professor Dr. Ludwig Rebenfeld
Textile Research Institute, Princeton/New Jersey

Die Feinstruktur einer Textilfaser besteht im wesentlichen aus kristallinen und amorphen Bereichen und ist auf weitwirkende zwischenmolekulare Anziehungskräfte zurückzuführen. Diese Faserstruktur ist nicht als statisch zu betrachten, da die Polymerketten oder Kettensegmente auch bei normalen Temperaturen eine gewisse Beweglichkeit besitzen, die Änderungen in der Struktur erlauben. Bei erhöhten Temperaturen, beispielsweise zwischen der Glasübergangstemperatur und dem Schmelzpunkt, können Änderungen in der molekularen Orientierung und im Kristallisationsgrad erfolgen. Thermische Energie, kombiniert mit sorgfältig kontrollierter mechanischer Behandlung der Faser, ist die Basis einiger wichtiger industrieller Prozesse, wie zum Beispiel des Thermofixierens, des Texturierens und des Kräuselns.

Chemische Energie muß ebenfalls als eine Energieform betrachtet werden, die in der Lage ist, zwischenmolekulare Anziehungskräfte und dadurch die Kohäsion der Faser zu erniedrigen. Änderungen der Faserstruktur unter Einfluß von chemischen Substanzen erfolgen in vielen Fällen schon bei Temperaturen, bei denen die rein thermische Energie nicht genügend Segmentbeweglichkeit im Polymeren erlaubt. Mit Hilfe der chemischen Energie sind daher einige Behandlungen der Faser möglich, die zu Verbesserungen in den physikalischen Eigenschaften der Faser führen. Einige Beispiele, hauptsächlich im Zusammenhang mit Polyesterfasern, werden diskutiert.

The fine structure of a textile fibre consists essentially of crystalline and amorphous areas and can be attributed to far-reaching intermolecular forces of attraction. This fibre structure cannot be regarded as static since the polymer chains or chain segments possess a certain mobility even at normal temperatures and this permits changes in the structure. At higher temperatures, i. e. between the glass transition temperature and the melting point, changes in the molecular orientation and the degree of crystallization may occur. Thermal energy combined with carefully controlled mechanical treatment of the fibre is the basis for several important industrial processes, e. g. for thermosetting, texturizing and crimping.

Chemical energy must also be regarded as a form of energy that is capable of reducing intermolecular forces of attraction and thus the cohesion of the fibre. Changes of the structure of the fibre caused by the influence of chemicals frequently occur at temperatures at which the purely thermal energy does not permit sufficient segment mobility in the polymers. By means of chemical energy several fibre treatments are possible which lead to improvements of the physical properties of fibres. Several examples, mainly in connection with polyester fibres, are discussed.

Einführung

Die weltweite wissenschaftliche Revolution, die in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg stattgefunden hat, hatte auch ihren vollen Niederschlag auf die Faser- und Textilindustrie. Wissenschaft und Technologie spielen heutzutage wichtige Rollen in der Lösung von Problemen, aber auch bei der Schaffung neuer Geschäftsmöglichkeiten. Wenn man die bedeutendsten Fortschritte in der Textilindustrie innerhalb der letzten zwanzig Jahre betrachtet, zum Beispiel die

Entwicklung synthetischer Fasern, von Textilien, bügelfrei, mit Wash-and-wear-Eigenschaften oder mit schmutzabweisender Ausrüstung, von Dispersions- und Reaktivfarbstoffen usw., so haben wir einen deutlichen Beweis des Beitrages der Forschung vorliegen. Blicken wir nun auf die Zukunft und auf die Probleme, die sie bringen wird, so besteht kein Zweifel, daß Wissenschaft und Technologie auch weiter wichtige Rollen spielen werden.

Die Streitpunkte der Verantwortung gegenüber der Zukunft hinsichtlich Umwelt und Wirtschaft, Energie- und Rohstoffknappheit sowie die zunehmende Sorge um den Schutz des Verbrauchers verlangen eine immer intensivere Forschungsarbeit, damit wir ein besseres Verständnis für die Materialien und die Prozesse unserer Industrie erlangen.

Unsere Kenntnisse über Faserstruktur und -eigenschaften haben sich in den letzten Jahren sehr erweitert. Forschungslaboratorien, die sich hauptsächlich mit grundlegenden Polymerfragen beschäftigen, haben die Konformation, die Konfiguration und die Form der Polymermoleküle sowohl in der flüssigen als auch in der festen Phase aufgeklärt. Diese Arbeiten, die gleichzeitig einen experimentellen und theoretischen Charakter besitzen, waren für die Entwicklung der Chemiefaser sehr wertvoll.

Andere Forschungslaboratorien, die sich vor allem mit der Entwicklung bzw. mit Anwendungsfragen beschäftigen, arbeiten an der Aufklärung des Verhaltens von Polymeren unter chemischen, physikalischen oder mechanischen Einflüssen, denen die Materialien während ihrer Erzeugung bis zum Verbrauch unterzogen werden. Diese Arbeiten waren für den wirksamen Einsatz der Chemiefasern in der Textilindustrie unentbehrlich, und sie waren auch sehr wichtig, um unsere Kenntnisse über die Struktur von Fasern und Polymeren zu erweitern.

In meinem heutigen Vortrag möchte ich vor allem eine Seite der Faserstruktur und der Fasereigenschaften untersuchen, nämlich das Verhalten der Fasern in gewissen chemischen Systemen, die zwar keinen Einfluß auf die organo-chemische Struktur der Fasern haben, wohl aber in dem Sinn aktiv sind, daß sie Änderungen im Kristallisationsgrad, in der molekularen Orientierung und in der molekularen Architektur zur Folge haben.

Die Welt-Faserproduktion

Da mein Vortrag hauptsächlich Chemiefasern behandeln soll, wäre es angebracht, vorerst die Textilfasern zu betrachten, die heute allgemein verwendet werden, damit die dominierende Rolle, die die Chemiefasern in der Textilindustrie erworben haben, klar ersichtlich wird.

Tabelle 1 zeigt die Weltproduktion an Textilfasern zwischen 1950 und 1974. Im Jahre 1950 wurden 82,1 % der Welt-Faserproduktion von den beiden wichtigsten Naturfasern Baumwolle und Wolle getragen. Damals hatten die Chemiefasern aus synthetischen Polymeren einen noch völlig unbedeutenden Anteil, und Kunstseide, Zellstoff und Acetatfasern machten zusammen nur 17,2 % der Faserproduktion aus. In 24 Jahren hat sich das Bild jedoch drastisch geändert: im Jahre 1974 machten Baumwolle und Wolle nur noch 56,2 % der Welt-Faserproduktion aus, Kunstseide und Acetat-

Tabelle 1: Weltproduktion an Textilfasern* (10⁹ Pfund)

Jahr	Naturfasern		Chemiefasern		Summe
	Baumwolle	Wolle	Zellulose	Synthetics	
1950	14,6	2,33	3,54	0,15	20,6
1960	22,8	3,20	5,75	1,56	33,4
1968	26,4	3,57	7,78	8,40	46,2
1970	25,8	3,52	7,56	11,20	48,1
1972	29,5	3,21	7,84	15,20	55,9
1974	30,0	3,26	7,73	18,00	59,1

* Textile Organon, Juni 1975

fasern 13,2 % und die Chemiefasern aus synthetischen Polymeren bereits 30,6 %.

Die Weltproduktion an Chemiefasern betrug 25,7 Milliarden Pfund im Jahre 1974. Ihr Zentrum lag hauptsächlich in Europa, in den Vereinigten Staaten und in Japan, wie Tabelle 2 zeigt.

Obwohl die Zellulose-, die Acryl- (einschließlich Modacryl-), die verschiedenen Nylon- und Polyesterfasern das Bild der Chemiefasern beherrschen, gibt es noch viele andere Fasermaterialien. Wir kennen heute Fasern aus Glas, auf Eiweißbasis, aus Polypropylen, aus segmentiertem Polyurethan, aus Polyacrylnitril/Vinylchlorid-Mischungen, aus Polyaramiden, aus acetyliertem Polyvinylalkohol sowie Fluorkohlenstoff-Fasern und andere spezielle organische und anorganische Typen. Innerhalb eines jeden Chemiefasertyps gibt es viele weitere Varianten, sodaß die Liste der Chemiefasern unbegrenzt zu sein scheint.

Tabelle 2: Weltproduktion an Chemiefasern — 1974* (10⁹ Pfund)

Faserart	Europa	USA	Japan	andere	Summe
Zellulose	4,71	1,20	0,98	0,84	7,73
Acryl	1,63	0,63	0,61	0,30	3,19
Nylon	2,26	2,13	0,65	0,68	5,72
Polyester	2,31	2,93	1,03	0,94	7,20
Olefin	0,61	0,53	0,20	0,22	1,56
andere	0,11	0,02	0,19	0,01	0,33
Summe	11,63	7,44	3,66	2,99	25,73

* Textile Organon, Juni 1975

Fast das gesamte Ansteigen der Faserproduktion beruht auf den Chemiefasern. Man schätzt, daß im Jahre 1978 80 % der von der Textilindustrie der USA verwendeten Fasern Chemiefasern sein werden. Weltweit wird diese Zahl etwas kleiner sein, aber ohne Zweifel werden die Chemiefasern die Zukunft beherrschen.

Der augenblickliche Verbrauch von Textilfasern beträgt 15,1 Pfund pro Kopf. Man erwartet, daß bis 1980 der Pro-Kopf-Verbrauch auf 20 Pfund ansteigen wird. Bei einem voraussichtlichen Zuwachs der Weltbevölkerung von 4 Milliarden auf 5 Milliarden im Jahre 1980 muß auch die Welt-Faserproduktion von 59,1 Milliarden Pfund im Jahre 1974 auf etwa 100 Milliarden Pfund im Jahre 1980 anwachsen. Es ist anzunehmen, daß fast der gesamte Zuwachs von 40,9 Milliarden Pfund von den Chemiefasern getragen werden wird. Somit wird im Jahre 1980 die gesamte Produktion an Chemiefasern 66,6 Milliarden Pfund betragen. Wir

können erwarten, daß die vielen augenblicklichen Varianten der Zellulosefasern, der Nylon-, Polyester- und Acrylfasern vorherrschen werden. Wir können aber auch überzeugt sein, daß die Bedeutung einiger, heute noch unwesentlicher Fasern zunehmen wird, daß von den heute bestehenden Fasern neue Varianten entwickelt und auch noch einige neuartige Fasertypen auftauchen werden.

Die Faserstruktur

Ein Ziel der modernen Faserforschung ist es, gründliche quantitative Kenntnisse der Faserfeinstruktur zu erringen. Im wesentlichen werden Textilfasern als orientiert und teilkristallisiert betrachtet. Sie sind gleichzeitig aus amorphen und kristallinen Bereichen aufgebaut. Es ist durch Messungen der physikalischen Eigenschaften erwiesen, daß eine Fasertyp gewisse Eigenschaften besitzt, die hauptsächlich mit einem Kristallkörper verbunden sind. Durch andere Eigenschaften jedoch ist eine solche Faser doch eher als amorph zu betrachten. Dieser Doppelnatur oder Dualität in der Faserstruktur wird in gewissen Modellen Rechnung getragen, zum Beispiel im Mizellmodell bzw. im Fransenmizellmodell und in dem vor einigen Jahren neu hergestellten Konzept des *nicht perfekten Kristalls* (Abb. 1).

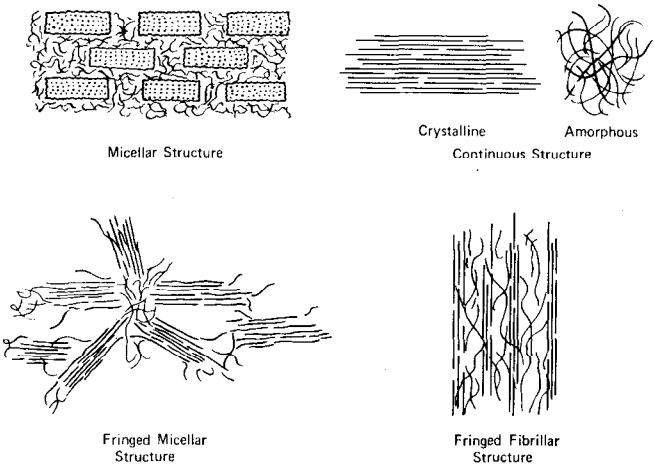


Abb. 1: Schematische Darstellung verschiedener Theorien von Faserstrukturen

Obzwar heute keine universale Übereinstimmung über die Feinstruktur einer Textilfaser besteht, wird doch allgemein angenommen, daß ein Teil der Polymerketten orientiert ist und gemeinsam mit den Nachbarpolymerketten einen Kristallbereich aufbaut. Andere Polymerketten sind unabhängig von ihren Nachbar ketten angeordnet und bilden eine mehr oder weniger unsystematische Konfiguration.

Die Fähigkeit der Polymerketten, kristalline Bereiche aufzubauen, ist mit der grundlegenden chemischen Struktur des Polymermoleküls verbunden. Diese chemische Struktur bestimmt die Steifheit der Ketten, aber auch die zwischenmolekularen Anziehungskräfte, die den Kristallbereich stabilisieren. Wasserstoffbrücken, hydrophobe Wechselwirkungen oder ionische Wechselwirkungen sowie Dispersionskräfte sind wichtige weitwirkende zwischenmolekulare Anziehungs-

kräfte, die man in den Fasern findet. Die Kettensteifheit, die man bei einigen Fasertypen als ganz besonders wichtig betrachten muß, wird durch aromatische Gruppen im Rückgrat der Polymerketten, durch den Aufbau von verschiedenen Leitersystemen sowie durch Molekularkreuzung verursacht.

In unserem Versuch, die Faserfeinstruktur zu beschreiben und die Fasereigenschaften innerhalb kristalliner und amorpher Bereiche zu erklären, darf man nicht vergessen, daß Polymer- und Faserstruktur nicht als statisch zu betrachten sind, da die Polymerketten auch bei normalen Temperaturen eine gewisse Beweglichkeit besitzen, die Änderungen in Konfiguration, Konformation und Faserstruktur erlauben. Bei jeder Temperatur ist das System in einem dynamischen Gleichgewicht, wobei das Ausmaß der Molekularbewegungen von der Kettensteifheit und von den zwischenmolekularen Anziehungskräften bestimmt wird.

Bei Polymeren ist diese Molekularbeweglichkeit im festen Körper auf Kettensegmente beschränkt und nicht mit dem ganzen Molekül verbunden; man muß also von Segmentbeweglichkeit sprechen. Es ist äußerst wichtig, das Bestehen einer Segmentbeweglichkeit zu verstehen, ebenso wie die Tatsache, daß die Feinstruktur der Fasern von verschiedenen äußeren Variablen abhängt.

Das Prinzip der Segmentbeweglichkeit und damit die möglichen Änderungen der Faserfeinstruktur sind im Rahmen der Temperaturabhängigkeit von Faserstruktur und Eigenschaften völlig erkannt und verständlich. Wenn die Temperatur erhöht wird, das heißt, wenn das System mehr thermische Energie aufnimmt, treten in der Struktur und in den physikalischen Eigenschaften gewisse Änderungen auf. Diese Änderungen sind auf eine Erhöhung der Kettensegmentbeweglichkeit zurückzuführen, die wieder durch eine Erniedrigung der zwischenmolekularen Anziehungskräfte verursacht wird.

Auch einige Übergangstemperaturen sind im Rahmen der thermischen Energie auf die Beweglichkeit der Kettensegmente zurückführbar. Bei Fasern, hauptsächlich bei den thermoplastischen Chemiefasern, sind die beiden wichtigsten Übergangstemperaturen die Glasübergangstemperatur (T_g) und der Schmelzpunkt. Bei niedrigen Temperaturen bzw. bei solchen, die unter der Glasübergangstemperatur liegen, ist die Faser glasig und fest, und die Molekularbeweglichkeit ist nur auf die Seitenketten beschränkt und nicht mit dem Rückgrat verbunden. Sobald man jedoch die Temperatur erhöht, das heißt, wenn das System mehr thermische Energie aufnimmt, wird die Glasübergangstemperatur überschritten, und die mit dem Rückgrat verbundene Beweglichkeit setzt in den amorphen Bereichen ein. Bei Temperaturen über dem T_g ist die Faser gummiähnlich und weich.

Die wichtigste Folge oder Konsequenz dieser Kettenbeweglichkeit ist, daß bei Temperaturen über dem T_g verschiedene Änderungen in der Faserstruktur stattfinden können, so zum Beispiel eine verbesserte Anordnung der Polymerketten in den kristallinen Bereichen, ein Kristallwachstum, eine Abnahme der amorphen Orientierung sowie eine sekundäre Kristallisation.

Eine Erklärung dieser Änderungen in der Struktur im Falle der schmelzgesponnenen und gestreckten Fasern

wird auf folgende Weise gegeben: In den amorphen Bereichen stehen die Polymerketten bei tiefen Temperaturen unter einer gewissen Spannung. Diese Spannung wird bei Temperaturen über dem T_g entlastet, da die Polymerketten jetzt genügend Beweglichkeit besitzen, um eine Umstellung oder Neuordnung zu einem günstigeren thermodynamischen Zustand zu ermöglichen. Während eines thermischen Härtungsprozesses wird daher der Kristallisationsgrad erhöht, und ein Teil der Polymerketten in den amorphen Bereichen unterzieht sich einer sekundären Kristallisation.

Man darf nicht vergessen, daß diese Energie während dieser thermisch induzierten Änderung in der Faserfeinstruktur — das grundsätzliche molekulare Ereignis ist der Aufwand der thermischen Energie — in der Lage ist, zwischenmolekulare Anziehungskräfte und dadurch die Kohäsion der Faser zu erniedrigen. Dieses grundsätzliche Ereignis findet in lokalisierten Bereichen statt und erhöht dadurch die Beweglichkeit der Kettensegmente, was eine Entspannung und eine sekundäre Kristallisation zur Folge hat.

Diese thermisch induzierten Änderungen in der Faserfeinstruktur, kombiniert mit einer sorgfältig kontrollierten mechanischen Behandlung der Fasern, ist die Basis einiger wichtiger industrieller Prozesse, wie zum Beispiel des Thermofixierens, des Texturierens und des Kräuselns.

Das Prinzip der chemischen Energie

Die Energieform, die in der Lage ist, zwischenmolekulare Anziehungskräfte zu erniedrigen, muß nicht nur eine rein thermische Energie sein. Wechselwirkungen zwischen Polymerketten und gewissen Chemikalien können auch Energie in das System einbringen, sodaß ein lokales Aufbrechen der zwischenmolekularen Anziehungskräfte stattfinden kann. Eine Erscheinung dieses Prinzips ist der Einfluß des Wassers auf den T_g des Nylons.

Phenole und andere phenolgruppenenthaltende Chemikalien haben einen noch größeren Einfluß auf den T_g des Nylons. Diese Beeinflussung wird aus Messungen der Faserschrumpfung ersichtlich^{1,2}.

Einige interessante Arbeiten wurden in den letzten Jahren über den Einfluß der organischen Lösungsmittel auf die Struktur und auf die Eigenschaften der Polyesterfasern durchgeführt. Wir werden sehen, daß die chemische Energie — entsprechend den Wechselwirkungen zwischen dem Polyester und den Lösungsmitteln — Änderungen in der Faserstruktur schon bei Temperaturen hervorruft, bei denen die rein thermische Energie nicht einmal eine ausreichende Segmentbeweglichkeit auslöst. Die chemisch induzierte Kristallisation der amorphen Polymeren, insbesondere die von Polyester, wird ebenfalls intensiv untersucht^{3,4}.

Vielleicht wäre es nützlich, dieses Prinzip vielseitigen Spekulationen zu unterwerfen. Eines der ältesten chemischen Textilverfahren ist die Merzerisierung von Baumwolle. Die chemische Struktur der Baumwolle oder die der Zellulose wird dabei zwar nicht geändert, wohl aber die Feinstruktur der Baumwollfaser durch den Einfluß der chemischen Energie. Das Kristallgitter der Zellulose I geht in das der Zellulose II über. Dabei findet eine gewisse Schrumpfung der Baumwollfaser statt, was aber die Orientierung der Kristallite nicht

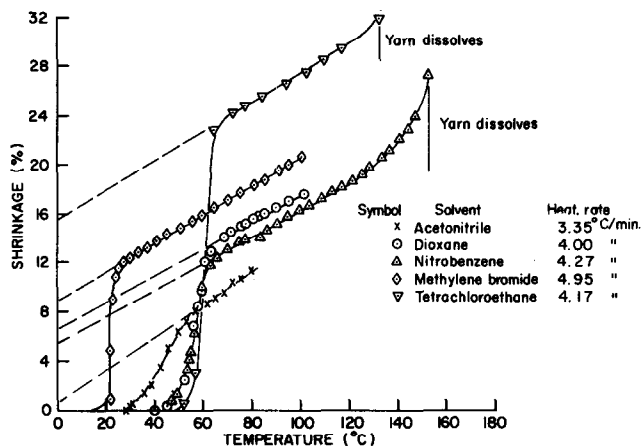


Abb. 2: Dynamische Schrumpfkurven von Polyestergeräten in verschiedenen Lösungsmitteln bei Aufheizgeschwindigkeiten von 3,4 bis 5,0° C/min und einer konstanten Belastung von $6,57 \times 10^{-4}$ g/den

beeinflusst^{5,6}. Die Superkontraktion der Keratinfaser gibt ein weiteres Beispiel für den Einfluß der chemischen Energie^{7,8}.

Polyester/Lösungsmittel-Wechselwirkungen

Vor einigen Jahren wurde eine Forschungsarbeit im Textile Research Institute in Princeton unternommen, um Änderungen in der Faserstruktur und in den Eigenschaften unter dem Einfluß von Lösungsmitteln zu untersuchen und quantitativ zu beschreiben. Der ursprüngliche Zweck dieser Forschungsarbeit bestand in der wissenschaftlichen Untersuchung der grundlegenden Verhältnisse für die Veredlung und Färbung von Textilien im nichtwäßrigen Medium.

Man nahm an, daß sich Lösungsmittel in nichtwäßrigen Textilprozessen als völlig „untätige Mittel“ verhielten, so zum Beispiel beim Waschen, bei der Harzausrüstung, bei der Hochveredlung oder beim Färben. Es wurde aber bald klar, daß viele dieser sogenannten „untätigen Lösungsmittel“ nicht wirklich untätig sind, sondern durch Wechselwirkungen mit Polyester und auch mit anderen Fasern gewisse Änderungen in der Faserstruktur hervorrufen können⁹. Da diese Wechselwirkungen zwischen Polyester und Lösungsmittel auch noch einige ganz besondere Eigenschaften schaffen, wurde deren Untersuchung das Ziel etlicher Forschungsarbeiten.

Die Wechselwirkungen zwischen Faser und Lösungsmittel sind durch Messungen der Faserschrumpfung gut untersuchbar. Wir haben ein Verfahren ausgearbeitet, bei dem die Schrumpfung mit steigender Temperatur nach einem bestimmten Programm ständig gemessen wird. Dieses dynamische Verfahren ist außerordentlich ergiebig und erlaubt, die Fähigkeit verschiedener Chemikalien, Änderungen in der Faserstruktur zu erzeugen, zu charakterisieren.

Viele chemische Systeme, vor allem solche, in denen gemäßigte bzw. große Wechselwirkungen zwischen Chemikalien und Polyester stattfinden, zeigen eine lineare Abhängigkeit in der Beziehung zwischen Schrumpfung und Temperatur (Abb. 2).

Die Extrapolierung dieses linearen Teils in der Bezie-

Tabelle 3: Überschlagswerte von Glasübergangstemperaturen verschiedener Polyester/Lösungsmittel-Systeme¹⁰

Lösungsmittel	Nullschrumpftemperatur (° C)	Löslichkeitsparameter (cal/cm ³) ^{1/2}
Trocken (in Luft)	83	
Butylalkohol	30	11,30
Perchloräthylen	20	9,36
Toluol	20	8,91
Propionitril	— 3	10,50
Acetatnitril	— 8	11,75
DMSO	— 15	12,93
Trichloräthylen	— 18	9,28
γ-Butyrolacton	— 23	12,78
Chlorbenzol	— 33	9,57
Benzaldehyd	— 37	10,40
Morpholin	— 54	10,52
Nitromethan	— 54	12,30
Dimethylacetamid	— 57	10,80
Nitrobenzol	— 61	10,62
Dioxan	— 63	9,74
Pyridin	— 67	10,61
DMF	— 72	12,14
Methylenbromid	— 81	10,70
1,1,2-Trichloräthan	— 92	10,18
1,1,2,2-Tetrachloräthan	—134	9,85
Chloroform	—143	9,56

hung zwischen Schrumpfung und Temperatur zur Nullschrumpfung ergibt eine Temperatur, die man mit der Glasübergangstemperatur des Systems Polyester/Lösungsmittel verbinden kann. Die Erniedrigung des T_g gegenüber dem T_g der trockenen Faser stellt ein Maß für die Wechselwirkungsfähigkeit des Lösungsmittels gegenüber Polyester dar.

In Tabelle 3 sehen wir Nullschrumpftemperaturen von Polyester in einigen Lösungsmitteln. Wenn wir anerkennen, daß diese Nullschrumpftemperaturen mit den Glasübergangstemperaturen in Beziehung stehen, dann ist es ganz klar, daß einige Lösungsmittel fähig sind, den T_g des Polyesters zu erniedrigen. Die Größe der Erniedrigung der Glasübergangstemperatur (Δ T_g) ist ein Maß für die Stärke der Wechselwirkung. Die Beziehung zwischen dem Δ T_g und dem Löslichkeitsparameter des Lösungsmittels ergibt eine Doppelverteilungsfunktion mit Höchstwerten bei 10,0 und 12,1 und bezeichnet die spezifischen Wechselwirkungen mit funktionellen Gruppen des Polyesters¹⁰⁻¹³ (Abb. 3).

Das Färben von Polyester

Nach dieser Einführung über thermisch und chemisch induzierte Änderungen in der Faserstruktur werden wir uns jetzt mit der Frage des Färbens von thermisch und chemisch vorbehandelten Polyesterfasern befassen. Das Färben von Polyesterfasern mit Dispersionsfarbstoffen stellt einige große Probleme für die Praxis in der Textilindustrie dar.

Vor allem ist es das Problem der Streifigkeit, das durch die ungleichmäßige Faserstruktur verursacht wird. Man darf annehmen, daß die kristallinen Bereiche für die Farbstoffmoleküle nicht durchgängig sind, sodaß wir für das Färben die amorphen Bereiche untersuchen müssen, um eine Erklärung für dieses Ergebnis

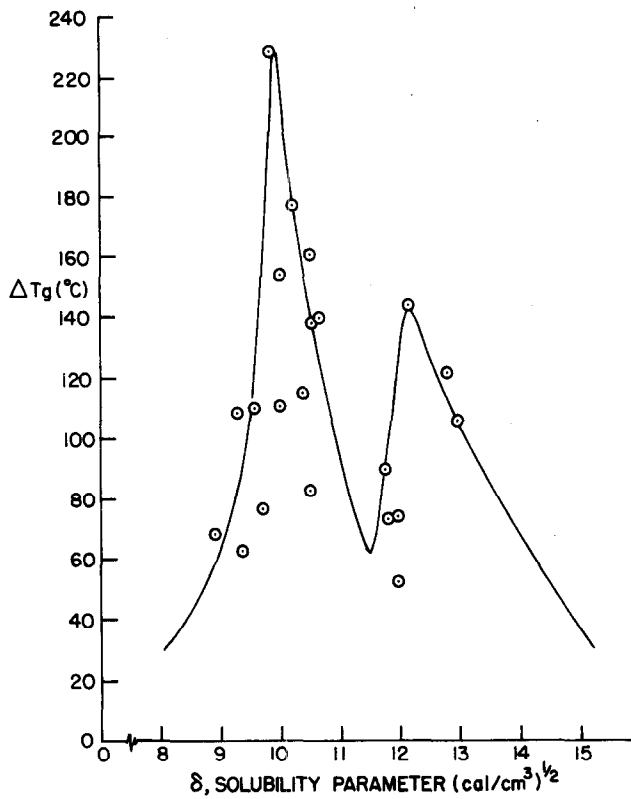


Abb. 3: Beziehung zwischen der Erniedrigung der Nullschrumpftemperatur von Polyestergerne/Lösungsmittel-Systemen und dem Löslichkeitsparameter der Lösungsmittel

zu finden. Die molekulare Orientierung in den amorphen Bereichen ebenso wie der Kristallinitätsgrad beeinflussen die Beweglichkeit der Kettensegmente und dadurch die Diffusion und den Transportmechanismus der Farbstoffe.

Das Färben von Polyester mit Dispersionsfarbstoffen unter normalem Druck bei 95° C ist in Abwesenheit eines Carriers ein ganz langsamer Prozeß. So ist zum Beispiel die Farbstoffaufnahme von Resolin Rot BBL ohne Carrier — selbst nach einer Färbezeit von 120 Stunden — noch nicht im Gleichgewicht (Abb. 4).

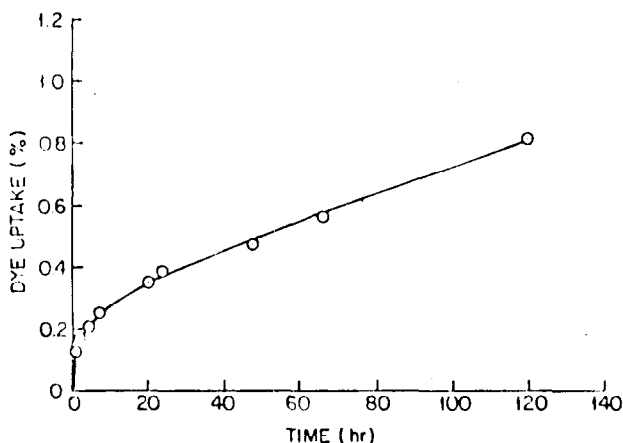


Abb. 4: Färben von unbehandeltem Polyestergerne mit Resolin Rot BBL (Farbkonzentration: 0,15 % bei 95° C; Phosphatpuffer: pH 5,0)

In den folgenden Arbeiten wurde eine Färbetemperatur von 95° C in Abwesenheit eines Carriers vorgezogen, da unter diesen Umständen der Einfluß der Faserstruktur auf die Färbbarkeit am wirksamsten in Erscheinung tritt. In diesen Arbeiten sprechen wir über eine *relative Färbbarkeit*, das heißt von einer Farbstoffaufnahme nach einer Färbezeit von 21 Stunden. Änderungen in der Farbstoffaufnahme nach verschiedenen thermischen und chemischen Vorbehandlungen sind also hauptsächlich mit Diffusionseffekten und nicht mit Äquilibriumseffekten (d. h. mit einer Verschiebung des Gleichgewichts) verbunden.

Das Färben nach thermischer Vorbehandlung

Der Einfluß thermischer Vorbehandlungen auf die Farbstoffaufnahme des Polyesters wurde nach Behandlungen bei Temperaturen zwischen 100 und 240° C bei drei Behandlungszeiten (2, 15 und 180 Minuten) untersucht. Wenn das Garn während der Vorbehandlung frei schrumpfen kann, zeigt sich eine Abnahme der Farbstoffaufnahme bei einer Vorbehandlungstemperatur von 100° C, die zu einem Minimum führt, wenn sie bei ca. 160° C vorgenommen wurde (Abb. 5).

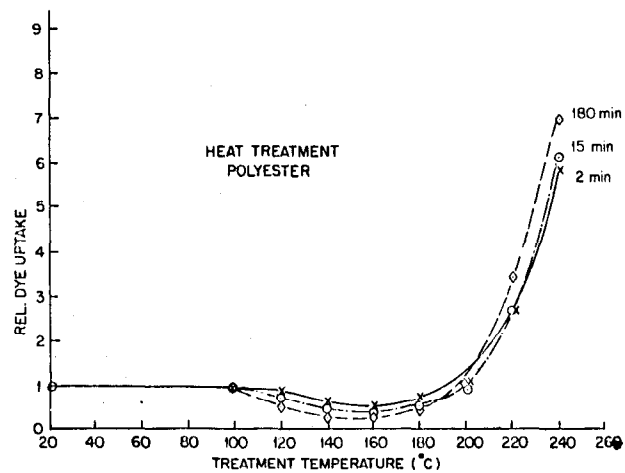


Abb. 5: Aufnahme von Resolin Rot BBL von Polyestergerne in Abhängigkeit von der Behandlungstemperatur in Siliconöl

Nach dem Minimum steigt die Farbstoffaufnahme, beispielsweise bei einer Behandlungstemperatur von 200° C, wieder an. Bei 240° C ist die Farbstoffaufnahme etwa 10mal größer als die unbehandelte Faser. Wenn das Garn während der Vorbehandlung nicht frei schrumpfen kann, dann wird das Minimum erst bei einer etwas höheren Temperatur (180° C) erreicht, und das Ansteigen der Farbstoffaufnahme danach ist wesentlich geringer.

Diese Auswirkungen der thermischen Vorbehandlungen sind durch den Einfluß der thermischen Energie auf die Kettensegmentbeweglichkeit und die daraus resultierenden Änderungen in der Faserstruktur erklärbar. Marvin¹⁴ und Dumbleton¹⁵ zeigten, daß die Farbstoffaufnahme vom Volumen des amorphen Anteils pro Kristallbereich abhängt. Wenn sich neue und kleine Kristallbereiche bei Behandlungstemperaturen über 100° C bilden, nimmt das amor-

phie Volumen pro Kristallbereich ab, was gleichzeitig auch eine Abnahme der Farbstoffaufnahme bewirkt. Bei Temperaturen über 180° C erfolgt eine bedeutende Änderung der Faserstruktur, wobei die neuen kleinen Kristallbereiche schmelzen und neue in Form von größeren und perfekteren gebildet werden. Dieser Prozeß führt zu einer Steigerung der amorphen Volumensanteile pro Kristallbereich, da die Anzahl der Kristallite absinkt.

Die neue Faserstruktur darf man als locker bzw. als porig betrachten. In der Folge steigt das Diffusionsvermögen an, wodurch es zu einer Erhöhung der relativen Farbstoffaufnahme kommt. Wenn die thermischen Vorbehandlungen des Garns ohne freie Schrumpfung vor sich gehen, ändert sich die Struktur der Faser nur unwesentlich, und die rasche Zunahme der Farbstoffaufnahme fehlt.

Färben nach chemischer Vorbehandlung

Wir erwähnten zuvor, daß einige Lösungsmittel durch Wechselwirkungen mit Polyester fähig sind, die Glasübergangstemperatur des Polyesters zu erniedrigen. Man darf das DMF als ein Lösungsmittel betrachten, das gegenüber Polyester starke Wechselwirkungen zeigt (Abb. 6).

Aus dem dynamischen Verfahren wurde eine Nullschrumpftemperatur von -72° C extrapoliert, das heißt eine effektive Erniedrigung des T_g des Polyesters um ca. 150° C.

Polyester wurde mit DMF bei Temperaturen zwischen 20 und 140° C behandelt und die Färbbarkeit gemessen.

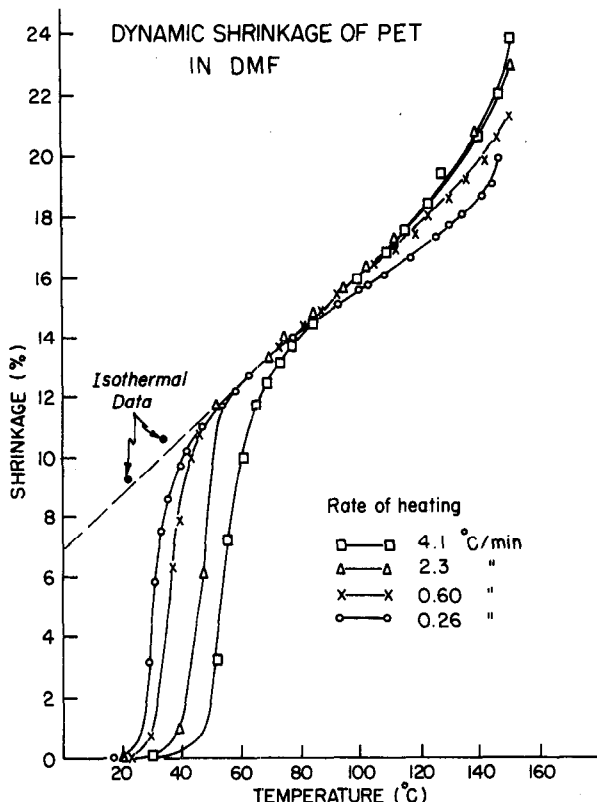


Abb. 6: Dynamische Schrumpfung von Polyestergeräten in DMF bei verschiedenen Aufheizgeschwindigkeiten unter konstanter Belastung von 6,57 × 10⁻⁴ g/den

sen. Im Gegensatz zu thermischen Vorbehandlungen gibt es bei DMF-Vorbehandlungen keinen Mindestwert in der Farbstoffaufnahme (Abb. 7).

Wenn eine freie Schrumpfung während der Vorbehandlung mit DMF möglich ist, so können wir eine sehr bedeutende Steigerung in der Farbstoffaufnahme bei Behandlungstemperaturen zwischen 100 und 140° C feststellen. Die Farbstoffaufnahme wird um einige Male größer als nach der heftigsten thermischen Vorbehandlung. Ist während der Vorbehandlung keine freie Schrumpfung möglich, so sind die Effekte zwar ähnlich, aber etwas kleiner. DMF-Vorbehandlungen bewirken eine viel größere Farbstoffaufnahme als thermische Vorbehandlungen¹⁶.

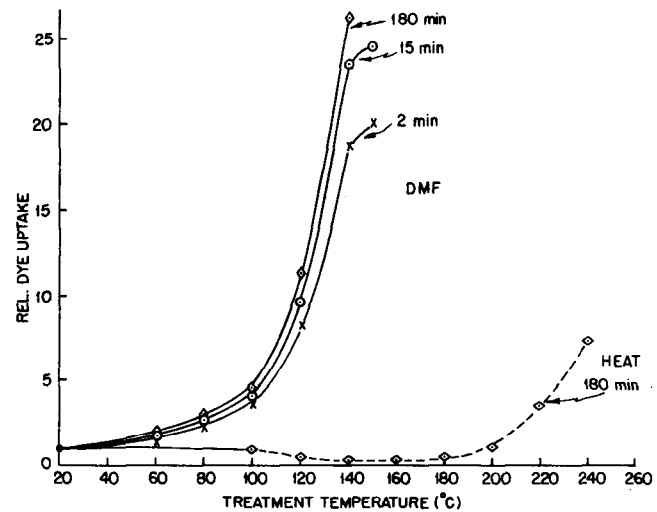


Abb. 7: Die relative Aufnahme von Resolin Rot BBL von unter Hitze- und DMF-Behandlung frei schrumpfenden Polyestergeräten als Funktion der Behandlungstemperaturen¹⁶

Es ist klar, daß Änderungen in der Faserstruktur durch thermische bzw. chemische Vorbehandlungen die Färbbarkeit des Polyesters stark beeinflussen. Bei den thermischen Vorbehandlungen wird wahrscheinlich die Kettensegmentbeweglichkeit in den amorphen Bereichen, die natürlich das Diffusionsvermögen bestimmen, von den neuformierten Kristalliten beherrscht.

Einen anderen Mechanismus brauchen wir für die Erklärung der Färbbarkeit des chemisch behandelten Polyesters. Die sekundäre Kristallisation in einer mit DMF gequollenen Faser führt zu einer Stabilisierung der gequollenen Faserstruktur. Entfernt man das Lösungsmittel, so bilden sich Hohlräume oder Krater, was zu einer sehr lockeren Faserstruktur führt. Die Färbegeschwindigkeit ist in diesem Falle von der Bewegung des Farbstoffes durch den Porenraum abhängig. Die Farbstoffdiffusion ist also von der Porengröße abhängig und nicht von der Beweglichkeit der Kettensegmente.

Die Verbesserung der Färbbarkeit des Polyesters durch DMF-Vorbehandlung ist mit einer lösungsmittelinduzierten sekundären Kristallisation verbunden.

Man sollte also jetzt die Frage stellen, ob andere Lösungsmittel auch fähig wären, eine derartige Faserstrukturänderung auszulösen.

Perchloräthylen wurde für die nächsten Proben ausgewählt. Dieses Lösungsmittel wird in nichtwässrigen Textilveredlungsprozessen häufig verwendet. Die Wechselwirkung zwischen Perchloräthylen und Polyester ist relativ gering. Die Nullschrumpftemperatur, extrapoliert aus dem dynamischen Verfahren, beträgt ca. 20° C. Die Farbstoffaufnahme nach Vorbehandlung des Polyesters mit Perchloräthylen ist der Farbstoffaufnahme nach rein thermischer Vorbehandlung ähnlich. Die Wechselwirkungen des Perchloräthylens gegenüber Polyester sind nur gering, und es findet keine chemisch induzierte sekundäre Kristallisation statt. Die Farbunterschiede werden durch thermische Energie verursacht.

Es wurde auch der Einfluß einer Vorbehandlung mit γ -Butyrolacton untersucht. Die Wechselwirkung zwischen diesem Lösungsmittel und Polyester muß als mittelmäßig betrachtet werden. Die Nullschrumpftemperatur liegt bei -23° C. Die Farbstoffaufnahme nach einer Vorbehandlung mit γ -Butyrolacton bei einer Temperatur von 150° C ist wesentlich gesteigert. Die Werte sind den Werten nach Vorbehandlung mit DMF ähnlich. Aus Resultaten der Farbstoffaufnahme und auch aus Dichtemessungen an vorbehandelten Fasern wird ersichtlich, daß γ -Butyrolacton ebenso wie DMF eine starke chemisch induzierte sekundäre Kristallisation bewirkt.

Schlußfolgerung

Es ist offensichtlich, daß die Struktur und die Eigenschaften von Textilfasern durch Wechselwirkungen mit gewissen Chemikalien verändert werden können. Die chemische Energie, die bei diesen Wechselwirkungen frei wird und die man als der thermischen Energie entsprechend betrachten muß, ist in der Lage, zwischenmolekulare Anziehungskräfte zu erniedrigen und dadurch Änderungen in der Faserstruktur auszulösen. Die chemische Energie steigert die Kettensegmentbeweglichkeit, was sich in einer sekundären Kristallisation auswirkt.

Die Faserfeinstruktur ist aber nach einer chemischen Vorbehandlung nicht die gleiche wie nach einer thermischen. Die Verschiedenheiten in der Faserfeinstruktur sind auf die Tatsache zurückzuführen, daß die Änderungen bei der chemischen Vorbehandlung in einem hochgequollenen Zustand stattfinden. Eine solche Faserfeinstruktur kann spezifisch und auch sehr günstig sein, wie unsere Proben mit der Färbbarkeit des chemisch vorbehandelten Polyesters zeigten.

Eine stabilisierte, lockere bzw. porige Faserstruktur wird vor allem durch eine sekundäre Kristallisation in Gegenwart von DMF entstehen. Die Farbstoffdiffusion erfolgt in einer solchen Struktur viel schneller als in einer gewöhnlich thermisch gehärteten Faserstruktur. Man kann Polyester mit Dispersionsfarbstoffen in Abwesenheit eines Carriers auch bei einer Temperatur unter 100° C nach sorgfältig kontrollierten chemischen Vorbehandlungen bereits nach den üblichen Methoden färben. Die Bedeutung solcher Ergebnisse für die Industrie und deren wirtschaftliche Vorteile sind deutlich und augenfällig.

Die Wechselwirkungen zwischen Fasern und Chemikalien sind natürlich auch vom wissenschaftlichen Standpunkt aus sehr interessant. Forschungsarbeiten über diese Wechselwirkungen haben unsere Kennt-

nisse über die Faserfeinstruktur wesentlich vertieft. Die Ausnützung der chemischen Energie im industriellen Betrieb ist daher von großem Interesse und kann hier viele Vorteile schaffen.

So ist es beispielsweise mit der zunehmenden Sorge über die Kosten der Energie unbedingt notwendig, daß die Industrie Prozesse, die den Verbrauch an Energie verringern, anstrebt. Druckfärbung oder Hochtemperaturfärbung des Polyesters nimmt sehr viel Energie in Anspruch. Die Verbesserung der Färbbarkeit des Polyesters durch chemische Vorbehandlung wäre natürlich eine günstige Entwicklung, die das Färben des Polyesters bei niedrigen Temperaturen in Abwesenheit eines Carriers erlauben würde.

Andere Textilprozesse, die heute ausschließlich thermische Energie verbrauchen, um eine Änderung der Faserfeinstruktur herbeizuführen, sind ebenfalls Anwärter für die Benützung der chemischen Energie. Thermoplastische Fasern, wie Nylon, Polyester u. a., werden gewöhnlich verschiedenen Kräuselprozessen, Fixierbehandlungen und Texturierverfahren unterworfen. Dabei verwendet die Textilindustrie heute fast ausschließlich thermische Energie, um Änderungen in der Faserfeinstruktur, die mit diesen Prozessen verbunden sind, hervorzurufen. Wir dürfen aber annehmen, daß die Strukturänderungen, die mit der Kräuslung, dem Fixieren oder dem Texturieren verbunden sind, auch bei niedrigen Temperaturen in Gegenwart von verschiedenen Chemikalien durchführbar sind.

Selbstverständlich werden noch umfangreiche und bedeutende Arbeiten in Forschung und Entwicklung notwendig sein, bevor es möglich sein wird, das Prinzip der chemischen Energie in den Industriebetrieben allgemein einzuführen. In unseren Gedanken müssen wir aber forschungsbegierig sein! Von Wissenschaftlern und Technologen wird eine solche Denkweise verlangt und beansprucht. Nicht nur die Knappheit und die Kosten der Energie, sondern auch die Verantwortung gegenüber der Umwelt fordern, daß wir neue, unbekannte Wege betreten, um Probleme zu lösen und um neue Geschäftsmöglichkeiten zu schaffen. Die Ausnützung der chemischen Energie in der Faser- wie in der Textilindustrie, basierend auf einem grundlegenden wissenschaftlichen Verständnis von Wechselwirkungen und Faserstrukturänderungen, dürfte solch ein neuer Weg sein. Die Wissenschaft ebenso wie die Forschung unserer Industrie sollte dem Prinzip der chemischen Energie eine hohe Beachtung schenken.

Dank

Die Ergebnisse, die in diesem Vortrag gezeigt wurden, entstammen den Forschungsarbeiten von Dr. H.-D. Weigmann und seinen Kollegen im Textile Research Institute of Princeton. Das TRI-Projekt über „Faser-Lösungsmittel, Wechselwirkungen und Färbbarkeit“ wird von einer Gruppe der *Corporate TRI Participants* unterstützt. Die finanzielle Unterstützung der *National Science Foundation* (USA) und der *Camille und Henry Dreyfus Foundation* wird auch anerkannt.

Rohstoffversorgung der Synthesefaserindustrie

Dr. Horst Kerber
 BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen

Eine Gegenüberstellung von bekannten Reserven und dem Bedarf zeigt, daß längerfristig keine Probleme bei der Erdöl-, Erdgas- und Kohleversorgung auftreten, insbesondere wenn die Ablösung fossiler Brennstoffe durch Kernenergie in Betracht gezogen wird.

Trotz der gesichert erscheinenden Versorgung mit den Grundprodukten zeichnen sich Engpässe bei den petrochemischen Rohstoffen ab. Neue Verarbeitungskapazitäten von petrochemischen Rohstoffen bis zu den Faservorprodukten müssen geschaffen werden, um den zukünftigen Anforderungen entsprechen zu können. Die Ausbauten können nur bei gesicherter Renditeerwartung verantwortet werden. Alle dabei zu beachtenden Fragen und Probleme werden diskutiert.

A comparison of reserves and demand indicates that the recoverable resources of oil, natural gas and coal will meet all raw material and energy requirements in the foreseeable future particularly as nuclear power can reduce the use of fossil-fuel for electricity production.

But even if the supply of oil, gas and coal seems to be secured the specific feedstock necessary for the chemical industry will be in a tight position. New capacities from basic petrochemical to fiber raw material have to be erected to fulfil the future demand. The economics must justify these new production facilities. All problems combined with the necessary expansions are discussed.

Bei der Erörterung der Rohstoffversorgung für die Synthesefaserindustrie erscheint es zweckmäßig, zunächst

- die Energiesituation sowie
- die Wettbewerbsverhältnisse in der Chemie zu beleuchten und dann
- die Kapazitätsentwicklung bzw. die Anforderungen bei den Faservorprodukten zu betrachten.

Energiesituation

Die Diskussion wird heute überwiegend darüber geführt, daß die Zukunft Rohstoffprobleme bringen wird und daß der Rohstoffmarkt langfristig durch Verknappung — insbesondere bei Erdöl — gekennzeichnet ist.

Diese Auffassung ist zu differenzieren. Man muß vielmehr davon ausgehen, daß in überschaubarer Zeit die bekannten und wahrcheinlichen Lagerstätten an Erdöl, Erdgas und Kohle ausreichen, um alle Anforderungen zu erfüllen. Dies gilt umso mehr, als Kernbrennstoffe zur Ablösung petrochemischer Rohstoffe für die Primärenergieerzeugung herangezogen werden können.

Schwierigkeiten, die bei der Versorgung entstehen können, sind nicht auf den Rohstoff, sondern

- auf die geographische Verteilung zwischen Lager- und Verbrauchsstätten,
- auf politische Probleme,
- auf Strukturfragen und -krisen der Wirtschaft oder
- auf eine Verzögerung bei der Entwicklung neuer Technologien

zurückzuführen.

Entscheidend ist auch, daß der Rohstoff stets ausreichend verfügbar ist und die notwendigen Preissteigerungen nicht sprunghaft verlaufen.

- Plötzliche, drastische Preissteigerungen gefährden das Währungssystem weltweit und damit die freie Wirtschaft.
- Überhöhte Kosten für Rohstoffe behindern sowohl Entwicklungs- wie Industrieländer.

Sprunghafte Steigerungen oder künstliche Produktionsdrosselungen, wie sie beim Erdöl 1973 bzw. 1974 beobachtet werden konnten, lösen zusätzlich Furcht vor Verknappung aus. Diese wiederum führt zu übersteigerten Einkäufen mit nachfolgendem überproportionalem Lageraufbau und beeinträchtigt die Weltmarktverhältnisse bei abklingender Nachfrage.

Rohstoffreserven

Bei der Betrachtung der bekannten und gesicherten Rohstoffreserven fällt das geographische Ungleichgewicht auf¹ (Abb. 1):

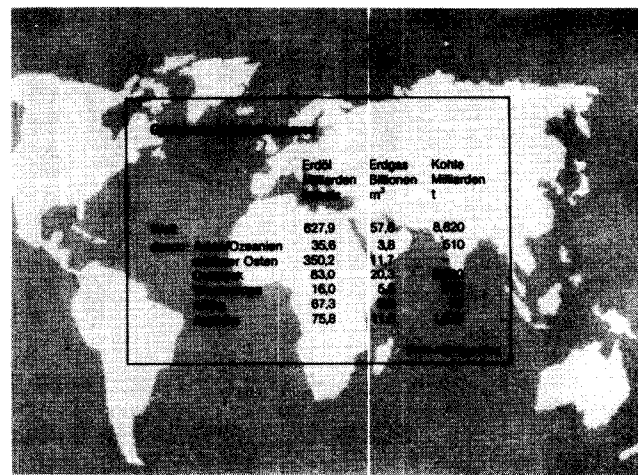


Abb. 1

Rund 55 % aller gesicherten und bekannten Erdöllager befinden sich am Persischen Golf. Bei Erdgas dominieren entsprechend die erdölreichen Länder, da Erdgas häufig in Verbindung mit Erdöl gefunden wird. Bei Kohle verfügt die UdSSR über etwa 50 % aller bekannten Vorkommen, gefolgt von den USA. Vergleichsweise unbedeutend sind die Lagerverhältnisse Westeuropas mit nur 5 % Anteil an Erdöl, Erdgas und Kohle, trotz der großen Kohlereserven, wie beispielsweise an der Ruhr und in Großbritannien sowie der erfolgreichen Explorationstätigkeit in der Nordsee.

Westeuropa ist aber in der westlichen Welt mit mindestens 30 % am Verbrauch dieser Rohstoffe betei-

ligt, also von Importen abhängig. Die Abhängigkeit von diesen Importen kam so lange nicht zum Bewußtsein, als die notwendigen Rohstoffe jederzeit wohlfeil erhältlich waren.

In der vorstehenden Aufstellung über Erdöl sind nur die Lagerstätten enthalten, die mit bekannter Technologie ausgebeutet werden können.

Bei Kohle muß für den weiteren wirtschaftlichen Abbau die Technologie entscheidend verbessert werden, da mit dem vorhandenen Entwicklungsstand nur 50 % der bekannten Vorräte lohnend abgebaut werden können.

Erdgas, Erdöl und Kohle können, wie schon eingangs erwähnt, bei der Energieerzeugung zur Gewinnung von Strom und Dampf durch Kernenergie substituiert werden. Die Gewinnung von Uranoxid als Ausgangsprodukt für spaltbares Material ist eine Preis- und Kostenfrage. Die „vernünftig“ abbaubaren (d. h. 25 \$/kg U_3O_8) und so gesicherten Vorräte können auf zirka 1,8 bis 2 Mio. to geschätzt werden².

Rohstoffverbrauch

Den skizzierten Vorräten ist der Verbrauch gegenüberzustellen. Für diese Betrachtung kann der Ostblock als autark und ohne signifikanten Einfluß auf das Import-/Exportgeschäft angesehen werden. Nach neuester Globalschätzung ergibt sich für den gesamten Rohstoff- und Energiebedarf folgende Vorausschau in Millionen Barrels pro Tag Erdöläquivalente³ (Abb. 2):

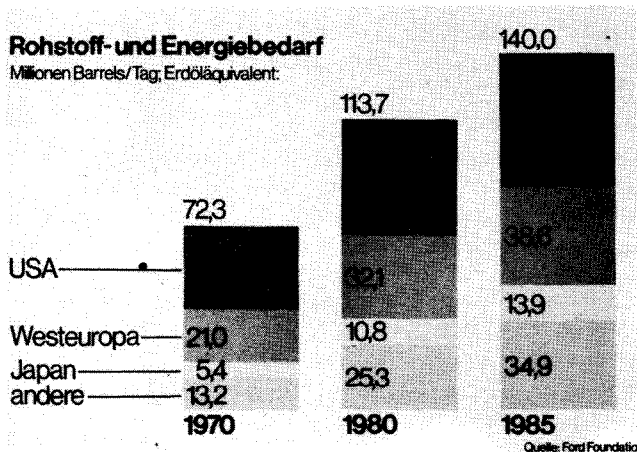


Abb. 2

Diese Vorausschau berücksichtigt die seit Oktober 1973 eingetretenen Veränderungen, die sich vor allem aus dem erhöhten Ölpreis ableiten. Das mittlere Wachstum wird auf 4,5 % p. a. geschätzt, während vor 1973 noch mit Steigerungsraten von über 5,5 % gerechnet wurde.

Würde ausschließlich Erdöl zur alleinigen Rohstoff- und Energiebedarfsdeckung herangezogen, so würden die bekannten Lagerstätten nur für 15 bis 20 Jahre ausreichen.

Eine mittelfristige Absicherung gegen diese Mangelsituation bringen Erdgas und vor allem Kohle. Allein die mit bekannter Technologie gewinnbaren Mengen

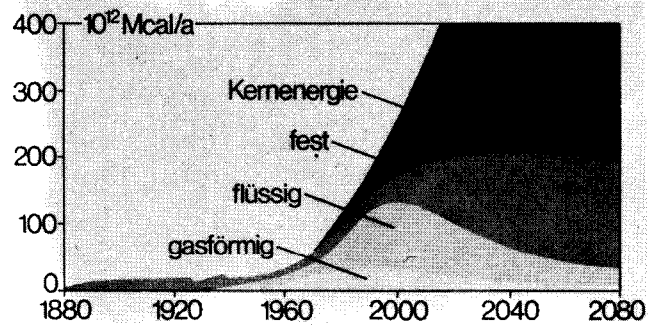


Abb. 3: Verbrauchsentwicklung der Primärenergieträger auf der Erde

von 4,3 Milliarden Tonnen Kohle würden bei den erwarteten Steigerungsraten bis zum Jahre 2150 alle Anforderungen erfüllen.

Entscheidend für die mittel- und langfristige Rohstoff- und Energiesicherung ist jedoch nicht die Höhe der Vorräte der einzelnen Rohstoffe an sich, sondern der erwartete Anteil am Gesamtbedarf.

Den Wandel im Aufkommen der einzelnen Energieträger macht das folgende Bild (Abb. 3) deutlich⁴:

Erdöl wird seine dominierende Stellung vorerst behalten. Nach einem Anteil von 52 % in 1970 muß in 1985 mit einem Anteil von 42 % gerechnet werden. Erdgas wird von 20 % in 1970 auf 23 % in 1985 steigen. Trotz gesteigerter Menge wird aber Kohle weiter von 23 auf 17 % in 1985 absinken⁵ (Abb. 4).

Die Lagerreichweite an Erdöl als derzeit noch entscheidendem Rohstoff ist dadurch nahezu verdreifacht und die Verfügbarkeit ohne Schwierigkeiten in den nächsten Jahrzehnten gegeben.

Eine weitere Absicherung wird durch die Kernenergie erreicht. Da — theoretisch betrachtet — Kernbrennstoff in Brutreaktoren hergestellt werden kann, sind hier im Gegensatz zu Erdöl, Erdgas oder Kohle Vorräte und Verbrauch bzw. Produktion (z. Z. etwa 25.000 t U_3O_8) kein Maß für eine mögliche Erschöpfung.

Heute werden etwa 1 % des Energiebedarfs durch Kernenergie gedeckt. Experten erwarten bis 1985 einen Anteil von 15 %. Dabei ist vorausgesetzt, daß

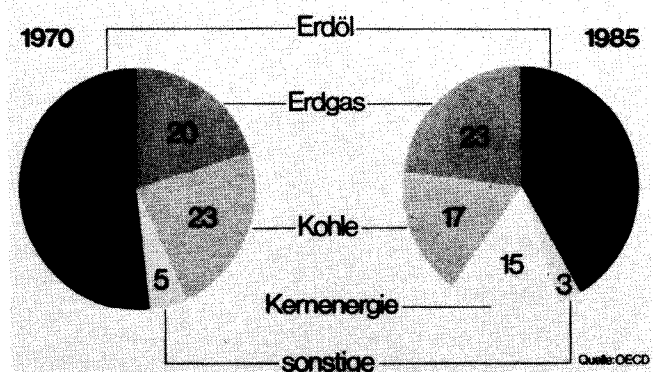


Abb. 4: Primärenergieträger auf der Erde (in Prozent)

alle Umweltschutzprobleme gelöst sind. Die Ablösung der fossilen Brennstoffe durch Kernenergie ist jedoch vor politischem Hintergrund zu sehen, da Kernbrennstoff und Kernenergie von Anfang an unter Kontrolle der jeweiligen Regierungen gestanden haben.

Rohstoffpreisstellung

Ausschlaggebend für den zukünftigen Verbrauch wird der Preis für die Grundprodukte sein. Die Ereignisse des Spätjahres 1973 mit ihren drastischen Kostensteigerungen bei Erdöl haben deshalb alle Zukunftsprognosen erheblich beeinflusst. Insbesondere billiges Erdöl gehört seit dieser Zeit der Vergangenheit an⁶ (Abb. 5).

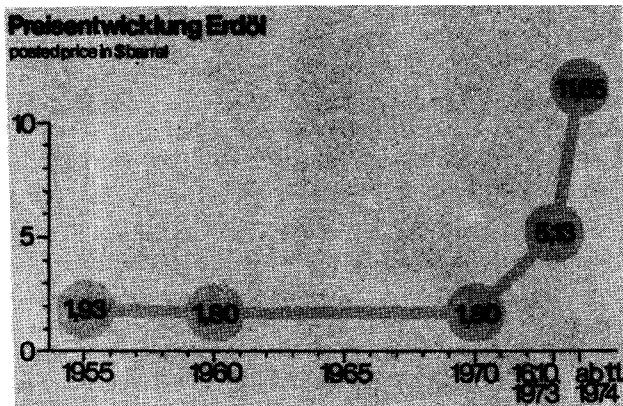


Abb. 5: Preisentwicklung Erdöl (posted price in US-\$/Barrel)

In die Kostenbetrachtung bei Erdgas muß man zusätzlich die Transportfrage einbeziehen. Der Erdgastransport ist aufwendig, da er besondere Vorrichtungen, wie Pipelines oder Verflüssigungsstationen, benötigt.

Rohstoffbedarf des Verkehrssektors

Bevor auf die Rolle der Chemie als Rohstoffverbraucher eingegangen wird, ist es zweckmäßig, den Verkehrssektor als Sonderfall zu diskutieren.

Otto- und Dieselmotor werden für absehbare Zeit den Verkehr prägen. Mit einer Ablösung oder Substitution von Benzin oder Dieselmotor sollte nicht gerechnet werden.

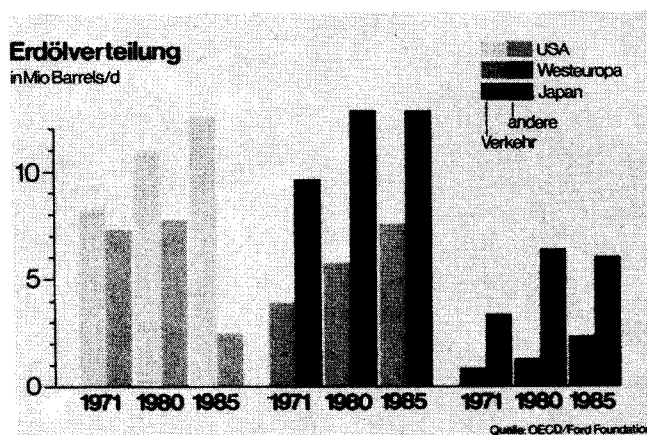


Abb. 6

Neuere Entwicklungen, wie der Einsatz verflüssigten Erdgases oder des erdgasabhängigen Methanols als Treibstoff, dürften keinen großen Einfluß in der nahen Zukunft haben.

Da mit Kohleverflüssigung zur Herstellung von Vergaserkraftstoffen in näherer Zukunft nicht zu rechnen ist, muß Erdöl alle Anforderungen an Benzin und Dieselmotor abdecken.

Für ausgewählte Länder ergibt sich dann diese Übersicht über die Erdölverteilung⁷ (Abb. 6):

Bei dieser Vorausschau ist unterstellt, daß das Öl teilweise als Energieträger bis 1985 — insbesondere bei der Primärenergieerzeugung — abgelöst wird.

Allgemein kann gesagt werden, daß auch 1985 noch mindestens die Hälfte des geförderten Erdöls für eine Verwendung außerhalb des Verkehrssektors zur Verfügung steht, wenn auch von Land zu Land dabei Unterschiede zu beachten sind.

Erdöl-/Erdgasfolgeprodukte

Vom Gesamtaufkommen an Rohstoffen stellt der Bedarf für die chemische Industrie nur einen geringen Prozentsatz dar. In 1970 waren beispielsweise Europa nur 5,7% der verarbeiteten Mengen dafür eingesetzt (in vergleichbarer Größenordnung ist der Anteil beispielsweise in den USA und in Japan zu sehen). Selbst bei günstigen Steigerungsraten wird dieser Prozentsatz bis 1980/1985 im Mittel nur auf 6,8% ansteigen.

Engpässe können trotz dieses geringen Anteils dadurch eintreten, daß die chemische Industrie nur bestimmte Fraktionen des Erdöls oder der Kohleveredlung, etwa Äthan, Propan oder Naphtha, benötigt. Die Schlüsselrolle fällt dabei dem Rohbenzin Naphtha zu.

Naphthasituation

In der Vergangenheit haben die Raffinerien in Europa den Anforderungen entsprechend vor allem Heizöl und Vergaserkraftstoff hergestellt. Naphtha war im Überschuß vorhanden. Anfang 1960 stand es in großen Mengen billigst zur Verfügung. Mit Beginn der siebziger Jahre traten Verknappungen auf, die sich ab 1972 noch weiter verschärften. Für diesen Marktumschwung sind verantwortlich:

- hohe Zuwachsraten für Kunststoffe und Synthesefasern,
- verzögerter Raffinerieausbau auf Grund von Umweltschutzauflagen und ungenügender Rendite für Mineralölprodukte, sowie die
- Erhöhung des Anteils schwerer Rohöle mit geringerer Benzinausbeute bei der Verarbeitung.

Ob und inwieweit diese Engpässe sich in Zukunft noch weiter verschärfen werden, wird von der Naphthasituation in den USA sowie vom künftigen Raffinerieausbau abhängen.

Es ist damit zu rechnen, daß in den USA, dem führenden Rohstoffverbraucher der Welt, die Äthylenproduktion wegen Erdgasmangel auf Naphtha umgestellt werden muß (1970: Naphthaanteil an Äthylenproduktion 12%, 1985: Schätzung 50%).

Der erwartete Erdgasmangel in den USA führt darüber hinaus zu Überlegungen, Gas synthetisch auf der Basis von Naphtha herzustellen. Der zusätzliche

Naphthabedarf der USA wird sich sehr wahrscheinlich als eine Art Importsog auf die anderen Verbraucherländer auswirken.

Bei der Diskussion der Raffineriesituation ist schweres Heizöl besonders erwähnenswert. Es kann in erster Linie durch Kohle, Erdgas oder Kernkraft/Kernenergie substituiert werden, ist aber auch als ein mögliches Ausgangsmaterial für die von der Chemie benötigten Kohlenwasserstoffe anzusehen. Erzielen nun die leichteren Produkte nur ungenügende Renditen oder, wie teilweise in der Vergangenheit, keine kostendeckenden Erlöse, so entstehen Probleme. Es darf dann nicht damit gerechnet werden, daß in den Raffinerien schweres Heizöl wie Rohöl behandelt und in Konvertierungsanlagen, die erst noch gebaut werden müssen, in leichtere Produkte umgewandelt wird.

Sollte der Bedarf an leichten Fraktionen über das Wachstum der Industrie durch Importe der USA hinaus ansteigen, dann könnten die vorhandenen Raffineriekapazitäten die erwarteten Produkthanforderungen nicht erfüllen.

In diesem Zusammenhang muß sogar das Klima mit einbezogen werden. Wenn der Winter hart ist, werden die Raffinerien mehr Öl verarbeiten. Die Verfügbarkeit an leichten Fraktionen für die chemische Industrie verbessert sich dadurch. In gleicher Weise muß bei milden Wintern mit vermindertem Aufkommen gerechnet werden, das sich bei bevorzugter Verarbeitung von schwerem Rohöl noch weiter verringern kann. Damit ergeben sich als kennzeichnende Größen für die Rohstoffdeckung der chemischen Industrie:

- der Ausbau der Raffineriekapazität und
- der Preis des Naphthas.

Bei dieser Überlegung darf nicht außer acht gelassen werden, daß sich das Verhältnis zwischen Explorations-, Förder- und Verarbeitungskosten sowie den Preisen für die Verbraucherprodukte auch in Zukunft nicht wesentlich ändern darf. Änderungen der Preisrelationen führen zu neuen Marktaspekten, die die Bedarfssituation entscheidend verändern können. Dramatische Veränderungen stimmen deshalb besonders nachdenklich, da nach Veröffentlichungen die Weltölwirtschaft ihren Kapitalbedarf bis 1985 auf 700 bis 800 Milliarden US-\$ schätzt⁸.

Naphthaabhängige Produkte

Die wesentlichen Ausgangsprodukte für Kunststoffe und Synthesefasern, die C_2/C_3 -Olefine und die Aromaten, sind naphthaabhängig. Naphtha ist darüberhinaus Ausgangsprodukt für Düngemittel, Alkohole, Weichmacher, kurz für praktisch die gesamte Palette der Erzeugnisse der organischen Chemie. Von entscheidender Bedeutung ist Naphtha zusätzlich für den Vergaserkraftstoff. Der Vergaserkraftstoffmarkt und die gesamte Chemie stehen damit bei Naphtha und seinen Folgeprodukten im Wettbewerb.

Zur Beurteilung des Wettbewerbsverhältnisses mögen folgende Hinweise dienen:

- Aus Naphtha wird durch Spaltung Äthylen und Propylen hergestellt.
- Neben den Olefinen sind die Aromaten Benzol und sein Folgeprodukt Cyclohexan sowie die Xylole als die bedeutendsten petrochemischen Rohstoffe anzu-

sprechen. Die Herstellung dieser Produkte basiert direkt oder indirekt auf Naphtha. Der direkte Weg ist die Verarbeitung von Naphtha zu einem aromatenreichen Reformatbenzin, aus dem die sogenannte BTX-Fraktion (Benzol + Toluol + Xylole) gewonnen wird. Indirekt werden die Aromaten aus dem bei der Äthylenspaltung anfallenden Pyrolysebenzin isoliert. Sowohl Reformatbenzin wie Pyrolysebenzin können als Basis für den Vergaserkraftstoff verwendet werden, unabhängig vom Chemiesektor.

- Der Wettbewerb mit dem Verkehrssektor ist für die Markt- und Preisentwicklung der petrochemischen Rohstoffe von Bedeutung, wenn man an die Forderung nach klopfstem Benzin bei gleichzeitiger Ablösung der bleiorganischen Substanzen denkt.

Die Dritte Welt

Bevor wir uns einer Betrachtung der Mengenbilanz für die Versorgung der Synthefaserindustrie mit Rohstoffen zuwenden, lassen Sie mich noch ein paar Worte anfügen über die Dritte Welt, die sich in einigen Bereichen anschickt, ein Wirtschaftsfaktor von zunehmender Bedeutung zu werden.

Die Lagerstätten in diesen Teilen der Erde schaffen zweifellos mittelfristig günstige Voraussetzungen für die Erzeugung veredelter petrochemischer Produkte, und der Weg vom Erdöl in das Endprodukt Synthefaser ist relativ kurz.

Wir sehen diese Entwicklung beispielsweise heute in Südamerika, wo man auf venezolanisches und argentinisches Erdöl zurückgreifen kann.

Die Tatsache, daß sich Nigeria inzwischen mit seiner Rohölförderung in die Reihe der erstrangigen Förderländer geschoben hat, aber den 50 Millionen Einwohnern noch keine nennenswerte Versorgung mit Synthefasern anbietet, zeigt, daß man natürlich eine Versorgung nicht nur im Zusammenhang mit den Vorräten und der Verfügbarkeit des Rohstoffes, sondern auch mit dem Klima und der Kaufkraftentwicklung sehen muß.

Ging man bisher davon aus, daß der Bevölkerungszuwachs auf der Welt eine sehr entscheidende Rolle beim Wachstum des Synthefaserverbrauchs spielte, so sprechen die Zahlen eine andere Sprache. Sie wissen, daß die Bevölkerung mit 1,9% pro Jahr wuchs, während der Synthefaserverbrauch im Mittel um 13,5% pro Jahr anstieg⁹. Die gesamte Dritte Welt begnügte sich dabei mit einem Jahreszuwachs von rund 100.000 Tonnen Synthefasern für das statistisch zugängliche Beispiel der Jahre 1970 bis 1973.

Mögen die Erdölvorräte noch so groß sein, sie sind wirkungslos, wenn sie nicht auf eine entsprechend entwickelte Kaufkraft treffen.

Wenn man den Synthefaserverbrauch dem Volkseinkommen gegenüberstellt, so findet man, daß sich die ersten eigenen Synthefaserindustrien bei etwa 200 \$ pro Kopf Volkseinkommen bilden. Der Synthefaserverbrauch wächst dann gering im Vergleich zum gesamten Textilverbrauch und macht erst bei etwa 1.500 \$ Einkommen pro Kopf etwa ein Drittel des gesamten Textilverbrauchs der Länder aus¹⁰.

Wir wissen, daß die Ölländer einen starken Zufluß an Geldern erleben und daß ihr Pro-Kopf-Einkommen

zum Teil bis auf 38.000 \$ im Jahr anstieg¹¹. Diese Art von Kaufkraftzuwachs ist aber praktisch versorgungsneutral. Die Anzahl der Menschen, denen er zugute kommt, ist gering, ihre Bedürfnisse sind noch nicht entwickelt, sodaß sie weder mehr Rohstoffe für sich beanspruchen noch in die Bilanz der Versorgung wesentlich eingehen.

Dies besagt, daß geographisch zunächst keine grundlegende Verschiebung der entstehenden Bedarfspotentiale erwartet werden sollte.

Einfluß der Rohstoffkosten auf die Kapitalströme

Wesentlich empfindlicher reagiert der Verbrauch der Industrieländer auf eine Verschiebung der Kaufkraftverhältnisse. So wie das Einkommen der Ölländer stieg, sind zwar nicht die Einkommen der Industrieländer zurückgegangen, jedoch haben sich die Salden ihrer Leistungsbilanzen vermindert.

Eine positive Leistungsbilanz haben heute nur noch die OPEC-Länder. Die USA und die OECD-Länder, die noch 1973 eine positive Leistungsbilanz ausweisen konnten, sowie alle übrigen Länder haben seit der Ölverteuerung negative Leistungsbilanzen. Dieses Defizit trifft die Ländergruppen unterschiedlich, wie aus dem Fluß der Kapitalströme 1974 abgelesen werden kann¹² (Abb. 7):

Für die USA und die OECD erscheinen jedoch die Verluste von einigen Milliarden Dollar nicht kritisch. Von daher ist der gegenwärtige Absatzrückgang für Fasern und Faserrohstoffe nicht erklärbar, der schlagartig die noch vor kurzem aktuellen Versorgungsprobleme entschärfte.

Bisher hatten die Verbraucher Westeuropas regelmäßig 8 % und die der USA 5 % ihres Einkommens für Bekleidung ausgegeben¹³. Offensichtlich scheint die

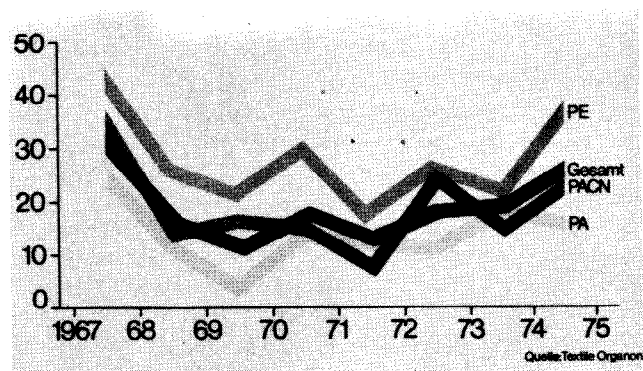


Abb. 8: Zuwachs der Synthesefaserproduktion (in Prozent/Jahr)

wirkung der kurzzeitigen Versorgungsunstetigkeit das Geschehen am Faser- und Faserrohstoffmarkt beeinflusst.

Die Fasern gehören offensichtlich nicht mehr zu den lebensnotwendigen Dingen, wie Heizung, Lebensmittel und bestimmte Dienstleistungen, sondern zu den „Kann-Produkten“, die eine geringere Priorität in der Rangordnung der Käufergunst genießen. Damit ist ein schwer überschaubares, nämlich ein psychologisches Moment für alle Versorgungsbetrachtungen sowohl von der Menge als auch vom Preis her hinzugekommen. Wie sich die Rezession der sechziger Jahre bei normalen Ölpreisen auf den Zuwachs der Synthesefasern ausgewirkt hat, zeigt Ihnen das nächste Bild¹⁴ (Abb. 8).

Nach zwei Jahren Rückgang pendelten sich die Zuwachsraten wieder auf ihr herkömmliches Niveau ein.

Rohstoffbedarf für die Synthesefasern

Wie hoch ist nun der Naphthabedarf für die wichtigen Synthesefasergruppen?

Eine Rückrechnung über die einzelnen Verfahrensschritte ergibt folgenden spezifischen Rohstoffbedarf (Abb. 9):

Oder vereinfacht gesagt:

Jede Million Tonne Synthesefaser erfordert damit 2 bis 2,2 Mio. to Naphtha als Rohstoffbasis, je nach product mix. Der Rohstoffbedarf 1974 kann damit bei einer Produktion von rund 7,5 Mio. to Synthesefasern¹⁵ auf 16 bis 17 Mio. to Naphtha abgeschätzt werden.

Der Naphthabedarf der Synthesefaserindustrie wird

Kapitalströme 1974

Zahlen in Milliarden \$

- Kapitalausfuhr durch Banken und Nicht-Banken der OPEC-Länder
- Transaktionen von Banken in Industrieländern
- Finanzierung durch das UK mittels liquider £-Guthaben
- Übrige Finanzströme (netto)

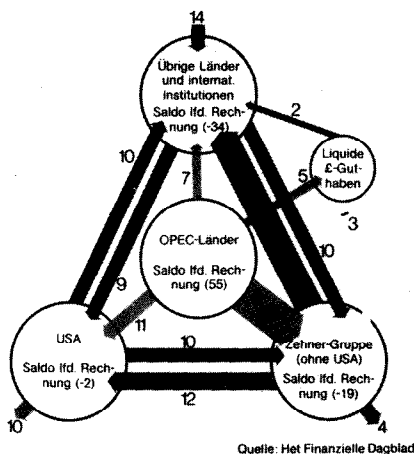


Abb. 7

Schockwirkung ungleich größer gewesen zu sein, die die Vorstellung erweckt hatte, in Zukunft nur noch mit der Hälfte oder einem Drittel der Erdölprodukte versorgt zu werden.

Gewiß hat sich die damit einhergehende Verteuerung auf alle Erzeugnisse jenseits der Synthesefasern ausgewirkt. Anscheinend hat eine Umorientierung des Käuferdenkens stattgefunden, die als wichtigste Aus-

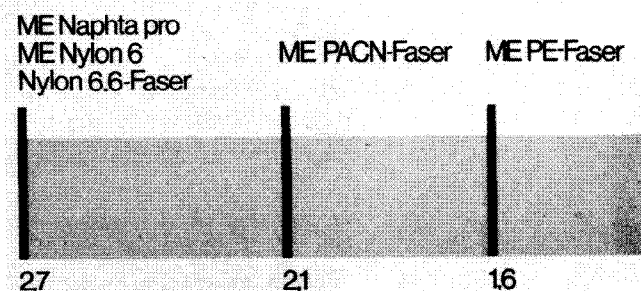


Abb. 9: Naphthabedarf für Synthesefasern

bis zum Jahr 2000 auf 70 bis 75 Mio. to steigen, wenn folgende Bedarfsentwicklung unterstellt wird¹⁶ (Tab. 1):

Tabelle 1: Der Faserbedarf in Millionen Tonnen*

Faser	1960	1970	1980	1990	2000
Baumwolle	10,4	11,6	12,5	12,0	11,5
Wolle	1,5	1,6	1,8	2,0	2,0
Zellulose	2,6	3,5	3,7	3,5	3,5
Synthesefasern	0,7	4,9	12,0	23,5	35,0
Gesamt:	15,2	21,6	30,0	41,0	52,0

* Quelle: Neumünsteraner Textiltag

Aus dieser Übersicht geht hervor, daß Baumwolle, Wolle und Zellulose stagnieren und ausschließlich die Synthesefasern bedeutende Zuwachsraten (u. zw. von etwa 6 %) ausweisen. Der für die Synthesefasern erforderliche Naphthbedarf ist damit vergleichsweise niedrig. Die benötigten Rohstoffe werden wegen des Wettbewerbsverhältnisses zum Verkehrssektor und zu anderen chemischen Produkten jedoch der Faser- und Vorproduktindustrie nur dann zur Verfügung stehen, wenn der Verbraucher bereit ist, angemessene Preise zu bezahlen.

Das gleiche gilt für die Vorproduktlieferanten. Kostendeckende Erlöse sind unbedingt erforderlich, um den Anreiz für die benötigten Erdöl-, Erdgas- oder auch Kohleverarbeitungskapazitäten zu schaffen und die erforderlichen Investitionen wirtschaftlich zu rechtfertigen.

Erweitert man diese Frage dahingehend, wie die Faservorproduktkapazitäten für die Deckung des steigenden Bedarfs ausreichen, so ergibt sich ein außerordentlich differenziertes Bild.

Faservorprodukte

Genau so, wie bei den Folgeprodukten von Erdöl, Erdgas und Kohle, müssen die in Zukunft zusätzlich erforderlichen Kapazitäten für Faservorprodukte noch geschaffen werden. Im Gegensatz zu den Erdölfolgeprodukten, bei denen die breite Palette chemischer Erzeugnisse im Wettbewerb steht, werden die Vorprodukte im Bereich der Fasern zu 90 % nur für

eine einzige Produktgruppe, die Synthesefasern, selbst benötigt.

Schon heute sind Synthesefaser- und Faservorproduktkapazitäten, vor allem bei den schmelzgesponnenen Fasern Nylon und Polyester, nicht aufeinander abgestimmt¹⁷ (Abb. 10).

Die reibungslose Rohstoffversorgung der Acrylfaserindustrie kann zur Zeit trotz des Wettbewerbs von Kunststoffen und Kautschuk bei einer Acrylnitrilkapazität in der Welt von zirka 2,6 Mio. to als möglich angesehen werden.

Auf Grund der Weltkapazität bei AH-Salz (1,8 Mio. to), Caprolactam (2,1 Mio. to), Dimethylterephthalat (3,6 Mio. to) und Terephthalsäure (1,0 Mio. to)¹⁸ könnte selbst ohne Berücksichtigung des Kunststoffsektors der Rohstoffbedarf nicht mehr gedeckt werden.

Insgesamt stehen bei einem Bedarf von etwa 9 Mio. to schmelzbaren Nylon- und Polyesterpolymeren für die Faserindustrie und von etwa 0,4 Mio. to für die Kunststoffindustrie nur maximal 8,1 Mio. to aus den Vorprodukten darstellbare Polymere gegenüber (Tab. 2).

Tabelle 2: Faserrohstoffe/Kapazitäten 1975

Nylon/Polyester-Polymere Faserindustrie	9,0 Mio. to
Kunststoffe	0,4 Mio. to
	9,4 Mio. to
Polyester aus DMT/TPS	4,6 Mio. to
Nylon aus AH-Salz/Caprolactam	3,5 Mio. to
Summe der möglichen Deckung	8,1 Mio. to
14 % Defizit	= 1,3 Mio. to

Damit ergibt sich, daß bei hoher Anlagennutzung der Synthesefaserindustrie kurzfristig eine Faserrohstoffverknappung auftreten wird. Eine Angleichung der Faserrohstoff- und Faserkapazitäten für Nylon und Polyester sollte nicht vor 1978 erwartet werden. Ein weiterer Kapazitätsausbau bei Synthesefasern müßte dann in jedem Fall von der entsprechenden Erweiterung der Faserrohstoffkapazitäten begleitet sein.

In diesem Zusammenhang wird immer wieder gefragt, ob nicht die eine oder andere Synthesefaserart in Zukunft abgelöst wird. Wir sind davon überzeugt, daß die heute den Markt beherrschenden großen Synthesefaserarten Polyester, Polyamid, Polyacrylnitril und Polypropylen auch in absehbarer Zukunft, das heißt bis mindestens 1990/2000 dominieren werden. Das gilt auch dann, wenn in den nächsten Jahren ein neues, interessantes Polymersystem gefunden werden sollte. Die weitere Entwicklung sowie die Markteinführung würden in diesem Fall so viel Zeit erfordern, daß mit echter Konkurrenz zu den heute bekannten großen Synthesefaserarten kurzfristig nicht gerechnet werden kann.

Jede der großen Synthesefaserarten wird auch in Zukunft ihren Markt haben, von einigen Überschneidungen abgesehen. Eine Substitution beispielsweise des Polyamid durch Polyester im Heimtextilensektor oder in bestimmten Bereichen des technischen Sektors erscheint uns aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Wir müssen also davon ausgehen, daß nicht nur

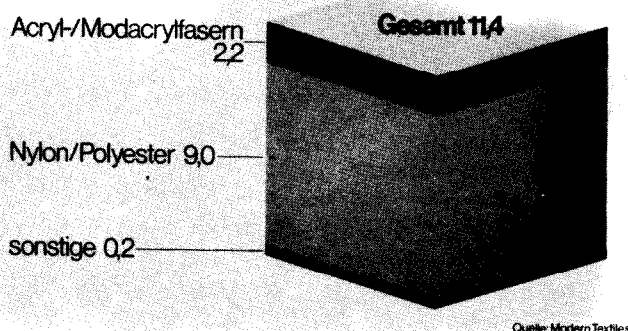


Abb. 10: Synthesefaserkapazitäten 1975 (in Mio. to)

ein Synthesefaservorprodukt allein oder dominierend auszubauen ist, sondern daß Erweiterungen bei den Vorprodukten für Polyester, Polyamid und Polyacrylnitril erfolgen werden.

Bei Eintreten der erwarteten Bedarfssteigerungen (siehe Tab. 1) müssen mindestens 1 Mio. to Faservorproduktkapazitäten im Mittel pro Jahr neu erstellt werden. Das wirft neben Standortfragen vor allem Finanzierungsprobleme auf.

Wenn auch die Standortfragen lösbar sind, so ist doch die Finanzierung der Faservorproduktangleichung wesentlich kritischer. Wirtschaftlich sinnvolle Faservorproduktanlagen erfordern eine Mindestkapazität von 100.000 jato. Der *break-even point* für derartige Anlagen liegt in günstigsten Fällen bei 70 % Auslastung. Das spezifische direkte Investment ohne die notwendigen Anlagen für Hilfsstoffe, wie Schwefelsäure, Ammoniak, Blausäure, Wasserstoff, kann bei heutigem Geldwert und schon erschlossenem Industriegelände vereinfacht auf DM 2500.—/to eingeschätzt werden.

Für Faservorprodukte allein wäre im Mittel damit Jahr für Jahr bis zum Ende des Jahrhunderts ein Investitionsvolumen von zirka 2,5 Milliarden DM p. a. (Geldwert 1975) erforderlich.

Der Ausbau der Faservorproduktanlagen ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn zusätzlich auch die erforderlichen Hilfsstoffanlagen entsprechend erweitert werden. Hierfür wird für den Faservorproduktanteil im Mittel mindestens eine weitere Milliarde DM p. a. (Geldwert 1975) benötigt.

Ohne Ausbau der Erdölfolgeprodukte müssen im Mittel Jahr für Jahr 3,5 Milliarden DM von der Faservorproduktindustrie investiert werden.

Vor dem Problem des hochliegenden *break-even points* können Investitionen dieser Größenordnung nur bei gesicherter Renditeerwartung verantwortet werden. Sehr nachdenklich stimmen in diesem Zusammenhang die Textizyklen.

Die Überlegungen gelten unabhängig davon, welche Synthesefaserart dominieren oder wie das Wachstumspotential der Synthesefasern zueinander eingeschätzt wird.

In allen Bereichen von Erdöl oder Kohle bis zu den Synthesefasern sind also Ausbauten bei weiterer Bedarfssteigerung erforderlich. Die dazu notwendigen Mittel stellen hohe Anforderungen an den Geldmarkt und an die Finanzierungskraft der einzelnen betroffenen Unternehmen. Ob und wie sich dadurch monetäre Probleme abzeichnen, läßt sich heute nicht sagen. Bei der Größenordnung der diskutierten Beträge kann jedoch unterstellt werden, daß die Zukunft in noch weit stärkerem Maß als heute eine Arbeitsteilung erfordert. Unter diesem Gesichtspunkt kann beispielsweise in der Synthesefaserindustrie die heute durchaus übliche gleichzeitige Produktion verschiedener Fasern und ihrer Vorprodukte nebeneinander in den kommenden Jahrzehnten in Frage gestellt werden.

Darüberhinaus wird die Abwicklung der Ausbauvorhaben hohe personelle Anforderungen stellen.

Zusammenfassend läßt sich damit sagen:

- die Ausgangsprodukte — Erdöl, Erdgas oder Kohle — sind verfügbar,
- für die Einsatzstoffe können die erforderlichen zusätzlichen Kapazitäten nur bei angemessenen Renditen erstellt werden.

Die globale Prognose der Synthesefaserentwicklung stellt hohe Anforderungen an Investitionsmittel für Vorproduktneuanlagen. So erscheint die Frage berechtigt, ob die Vorausschau dies gebührend berücksichtigt hat.

In meinen Ausführungen habe ich versucht, auf einige Zusammenhänge hinzuweisen, die bei der Diskussion über die Rohstoffversorgung für die Synthesefaserindustrie in Betracht gezogen werden sollten. Ungeklärte politische und wirtschaftliche Verhältnisse sind allerdings Voraussetzung, damit bei permanenter technologischer Weiterentwicklung Primärenergie und Rohstoffe gesichert werden können.

Literatur:

- 1) Oil and Gas Journal, December 1973
United States Mineral Resources, Geological Survey Professional Paper 20 (1973)
Energy and US Foreign Policy, Ballinger Publishing Company, 1974, Cambridge, Mass. S. 452—453
- 2) OECD, 1973
- 3) Energy and US Foreign Policy, Ballinger, Publishing Company, Cambridge, Mass. 1974, S. 234 und S. 247
- 4) Darstellung nach VCI-Schriftenreihe I/73, s. a. VCI-Schriftenreihe 2/74 und Erdöl-Erdgas-Zeitschrift, 91. Jg., Februar 1975
- 5) EG-Generaldirektion für Energiefragen, zitiert nach VISION Nr. 54, Mai 1975, und OECD-Energy Prospects to 1985, zitiert nach OEL-Zeitschrift für die Mineralölwirtschaft, Januar 1975
- 6) Energy and US Foreign Policy, Ballinger Publishing Company, Cambridge, Mass. 1974, S. 237
- 7) Energy and US Foreign Policy, Ballinger Publishing Company, Cambridge, Mass. 1974, S. 250
- 8) Die Welt, Hamburg, 4. 3. 1975
- 9) Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1. 6. 1974
- 10) CIRFS Jahrbuch 1974, S. 147
- 11) Der Leitende Angestellte, 3/1975
- 12) Het Finanzielle Dagblad, Amsterdam, 1. 5. 1975
- 13) CIRFS Jahrbuch 1974, S. 147
- 14) Textile Organon, Juni 1974
- 15) Enka Glanzstoff, zitiert nach Chemical Week, New York, vom 19. 2. 1975
- 16) Neumünsteraner Textil-Tag 1974; auch Koslowski; Chemiefasern 5/71
- 17) Modern Textiles, New York, September 1974
- 18) Chemical Age, London, vom 26. 4. 1974
European Chemical News, London, vom 17. 5. 1974

Lösung der Umweltprobleme in der chemischen Industrie

Dr. Theo Mann
Bayer AG., Leverkusen

Wir stehen heute vor dem Problem, daß die Natur mittlerweile nicht mehr in der Lage ist, die anfallenden Abfallstoffe sowohl quantitativ als auch qualitativ aufzunehmen, zu entgiften und sie somit in das ökologische Gleichgewicht zu integrieren. Wir müssen helfend eingreifen, das heißt Umweltschutz betreiben. Dies ist eine internationale Aufgabe.

Die Lösung der Umweltprobleme in der chemischen Industrie wird am Beispiel der Bayer AG gezeigt. Maßnahmen, Erfolge und Folgeprobleme der eingeleiteten Maßnahmen zum Immissionsschutz, zur Abwasserreinigung und zur Abfallbeseitigung werden diskutiert. Die entstehenden Kosten werden genannt.

Die Entwicklung umweltfreundlicher Techniken, Verfahren bei denen keine Abfallprodukte anfallen bzw. nur solche, die leicht beherrschbar sind, und die Entwicklung umweltfreundlicher Produkte, die nach ihrem Verbrauch Abfall geworden keine Probleme geben, ist auch ein Teil des Umweltschutzes. Diese zukunftsorientierten Forschungsvorhaben nehmen heute schon 25 % der gesamten Forschungskapazität in Anspruch.

Today we are facing the problem that nature is sometimes no longer able to cope with the quantities and qualities of waste-products, to decontaminate them and integrate them into the ecologic equilibrium. We must help, i. e. we must take up pollution-control. This is an international task.

The solution of environmental problems in the chemical industry is demonstrated by the example of Bayer AG. Measures, success and consequential problems of processes introduced for the protection from emissions, for waste-water-cleaning and waste-disposal are discussed. The costs involved are mentioned.

The development of anti-pollution techniques, processes involving no waste-products or only such as can be controlled easily, and the development of anti-pollution products which present no problems after usage is also part of environmental protection. These future-orientated research projects already require 25 % of the total research capacity.

Umweltprobleme sind nicht neu, es gibt sie, so lange die Menschheit existiert. Denn alle Auswirkungen der Umwelt auf den Menschen, seien es natürliche oder selbst verursachte, haben den Menschen gezwungen, damit fertig zu werden, gegebenenfalls sich anzupassen. Sie sind also ein Stück Entwicklungsgeschichte.

Wohl eines der ältesten dokumentarisch überlieferten Umweltprobleme finden wir im Alten Testament, und zwar im 2. Buch Moses, Kapitel 7: „Und alles Wasser im Strom starben, und der Strom ward stinkend, daß die Ägypter nicht trinken konnten das Wasser aus dem Strom, und das Blut war im ganzen Lande Ägypten.“ Vermutlich handelt es sich dabei um eine Überdüngung des Nils mit Phosphorverbindungen, welche durch eine verstärkte Erosion ins Wasser gelangten — der Düngewert des Nilschlammes ist ja bis heute bekannt. Diese

Eutrophierung führte zu einer schlagartigen Vermehrung von Algen und hier speziell einer roten Algenart, deren Stoffwechselprodukte für alle anderen Wasserorganismen toxisch wirken. Diese rote Flut ist auch heute noch bekannt, sie tritt sporadisch an der Küste Floridas auf, 1970 wurde sie vor Norderney beobachtet.

In der Apothekerumschau vom Mai 1971 wird berichtet, daß der Javamensch, der vor etwa 700.000 Jahren ausstarb, unter den Folgen einer chemischen Lebensmittelvergiftung gelitten habe. Wissenschaftler entdeckten, daß es sich bei der Krankheit dieser Anthropoiden um eine Fluorvergiftung handelte. Möglicherweise war in den Früchten und Pflanzen, die der Javamann verspeiste, vulkanisches Fluor in einer solchen Konzentration angereichert, daß er daran erkrankte.

Heute wollen wir uns jedoch mit den Umweltproblemen des 20. Jahrhunderts befassen und über Umweltschutz sprechen. Dazu müssen zwei Fragen beantwortet werden: *Wie kommt es zu der Umweltbelastung (Abb. 1), und wie kann man Emissionen eindämmen bzw. Umweltschutz betreiben?*

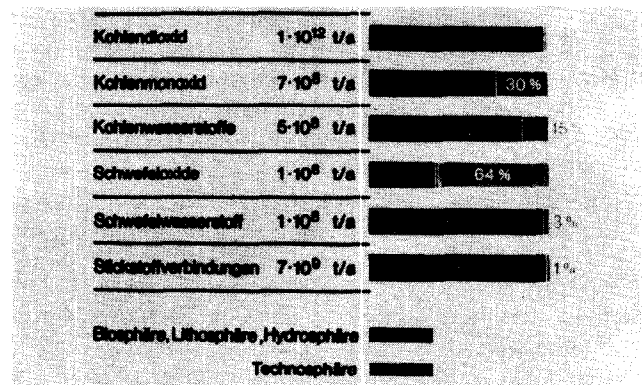


Abb. 1: Luftverunreinigung durch Natur und Technik

1. Die Umweltbelastung durch den Menschen

Zur Deckung des menschlichen Bedarfs mußten immer weitere Rohstoffquellen zur Nutzung erschlossen werden. Dies hat die Entwicklung der Technik eingeleitet und zum Aufbau großer Industrien geführt. Der Lebensstandard hat eine explosionsartige Vermehrung der Menschen mit sich gebracht. Heute leben ca. 3,7 Mrd. Menschen auf der Erde. Für das Jahr 2000 rechnet man schon mit ca. 6,5 Mrd. Menschen.

Beim Verbrauch von Konsumgütern entstehen Abfallstoffe. Diese werden in die Umwelt abgegeben und führen, so lange sie nicht umweltneutral sind bzw. nicht von der Natur abgebaut und entgiftet werden können, zu einer Umweltbelastung. Jedoch resultieren Abfallstoffe nicht nur aus dem Konsum von Verbrauchsgütern, sondern auch aus deren Produktion.

Hier kommen wir zu einem Problem der Industrieländer und damit zu einem speziellen der chemischen Industrie. Sie stellt durch chemische Reaktionen für die Nutzung und den Verbrauch maßgeschneiderte Stoffe her. Bei all diesen Stoffumwandlungen entstehen nicht nur die erwünschten Stoffe, sondern durch Haupt- und Nebenreaktion auch zwangsläufig anfallende Produkte, die häufig nicht genutzt werden können und daher Abfall sind. Diese sind gasförmig, flüssig, gegebenen-

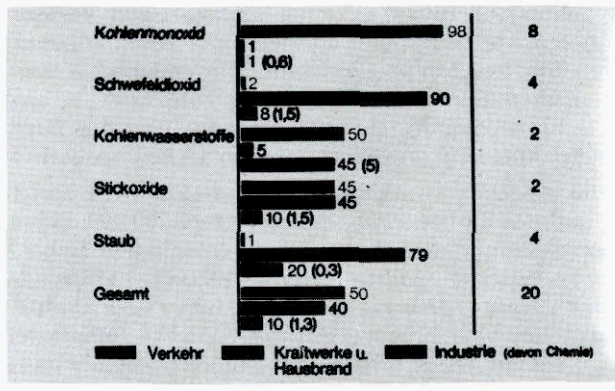


Abb. 2: Luftverschmutzung in der BRD

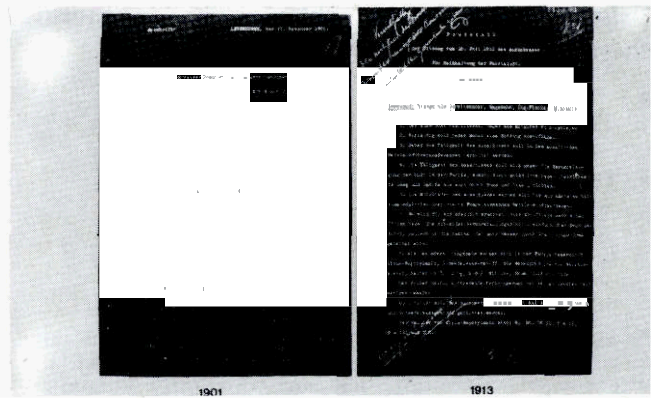


Abb. 3: Früher Umweltschutz bei Bayer

falls gelöst oder fest und können zu einer Belastung der Luft, des Wassers oder von Grund und Boden führen (Abb.2).

2 Möglichkeiten des Umweltschutzes

Im Umweltprogramm der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland wird aufgezeigt, welche Wege zum Schutz unserer Umwelt beschrritten werden sollen. Dabei werden drei Phasen des Umweltschutzes herausgestellt, namlich eine kurzfristige, eine mittelfristige und eine langfristige.

Die Phase 1 des Umweltschutzes — am schnellsten zu realisieren — ist die Forderung an die Gemeinden und die Industrie, Anlagen zur Aufbereitung von Abfallstoffen in einer umweltfreundlicheren Form zu planen und zu erstellen. Hierzu gehören z. B. Müllverbrennungsanlagen und Klaranlagen.

Die Phasen 2 und 3 des Umweltschutzes umfassen Forderungen an die Industrie. Es sollen umweltfreundlichere Verfahren entwickelt werden, bei denen weniger bzw. gar keine Abfallstoffe mehr entstehen. Weiterhin sollen umweltfreundlichere Produkte entwickelt werden, die wahrend ihrer Nutzung stabil sind und den an sie gestellten Anforderungen gerecht werden. Abfall geworden, sollen sie sich jedoch problemlos in das ökologische Gleichgewicht einfügen.

3. Lösung der Umweltprobleme in der chemischen Industrie

Am Beispiel der Bayer AG soll gezeigt werden, wie die Lösung der Umweltprobleme erfolgen kann und welche Maßnahmen für den Umweltschutz getroffen werden.

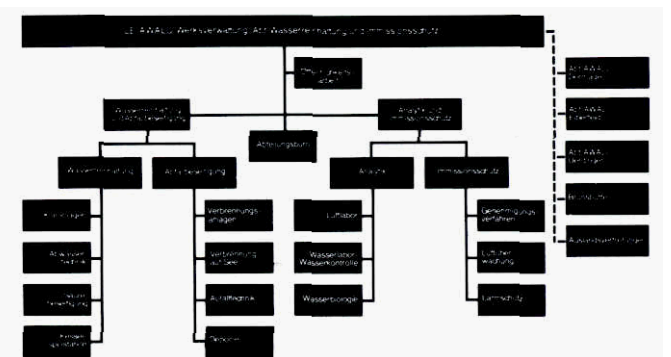
Hier müssen zwei Problemkreise unterschieden werden. Einerseits die Umweltbelastung, die aus der Produktion von Synthesestoffen durch den Zwangsanfall von Abfallstoffen resultiert und andererseits die Umweltbelastung, die aus der Verarbeitung und dem Konsum dieser Produkte beim Kunden bzw. beim Endverbraucher entsteht. Schon an der unterschiedlichen Fragestellung erkennt man, daß erfolgreiche Lösungen nur in Zusammenarbeit der verschiedensten Fachleute aus dem Bereich der Forschung, der Ökologie, der Anwendungstechnik und des Umweltschutzes erarbeitet werden können.

Bei der Produktion müssen gemäß Phase 1 des Umweltschutzes Anlagen zur Abfallaufbereitung geplant,

gebaut und betrieben werden, und gemäß Phase 2 ist die Entwicklung umweltfreundlicherer Techniken erforderlich.

Bei der Verarbeitung zu Konsumgütern ist eine erweiterte anwendungstechnische Beratung und gemäß Phase 3 des Umweltschutzes die Entwicklung umweltfreundlicher Produkte nötig.

Schon sehr friih befaßte man sich bei Bayer mit dem Problem der Wasser- und Luftreinhaltung. 1901 wurde die Abwasserkommission und 1913 der Ausschuß zur Reinhaltung der Fabrikluft gegründet (Abb.3). Hieraus entwickelte sich 1954 das Abwasser- und Abluftlabor, und der Name AWALU — eine Abkürzung für Abfalle, Wasser, Luft — wurde geprägt. Dies war der Kern der Abteilung Umweltschutz, die Anfang der 60er Jahre aufgebaut wurde. Sie ist direkt der örtlichen Unternehmensspitze unterstellt und damit unabhängig von der Produktion (Abb.4).



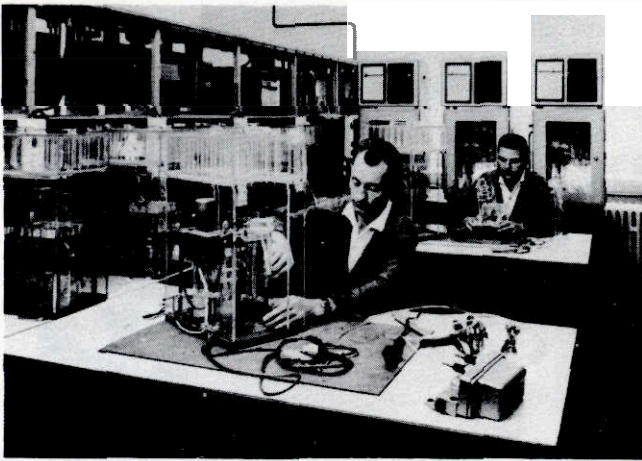


Abb. 5: Entwicklungslabor für Meßgeräte

Friedrich-Flick-Stiftung an den Leiter dieser Gruppe, Herrn Dr. Breuer, im Januar 1975. Die bei Bayer entwickelten Geräte werden heute in Lizenz von namhaften Firmen gebaut und vertrieben (Abb. 5).

Durch den Aufbau eines Immissionsmeßnetzes (Abb. 6), dessen Meßdaten unter Berücksichtigung der meteorologischen Daten, wie Temperaturschichtung, Windgeschwindigkeit und Windstärke, in einer EDV-Anlage ausgewertet werden, konnten die durch Bayer verursachten Immissionen erkannt und die nötigen Maßnahmen eingeleitet werden. Die Weiterführung der Messungen ermöglicht auch eine Erfolgskontrolle. Neben den stationären Meßstellen ist ständig ein Meßwagen im Einsatz, der bevorzugt im Windschatten des Werkes Messungen vornimmt (Abb. 7).

Zur speziellen Erfassung von Emissionen werden Messungen an der Emissionsstelle durchgeführt. Sichtbare Emissionen werden außerdem von einer schwenkbaren Fernsehkamera auf einen Monitor in der Luftüberwachungszentrale übertragen. Zusätzlich sind Luftspürer im Werk unterwegs (Abb. 8). Ihre Aufgabe ist vor allem die Beurteilung von Geruchsemissionen, denn Gerüche sind subjektive Empfindungen und können meßtechnisch, sobald es sich nicht nur um eine Einzelkomponente handelt, noch nicht erfaßt werden. Alle diese Maßnahmen erlaubten und erlauben die für die Sanierung zur Verfügung stehenden Mittel optimal einzusetzen.

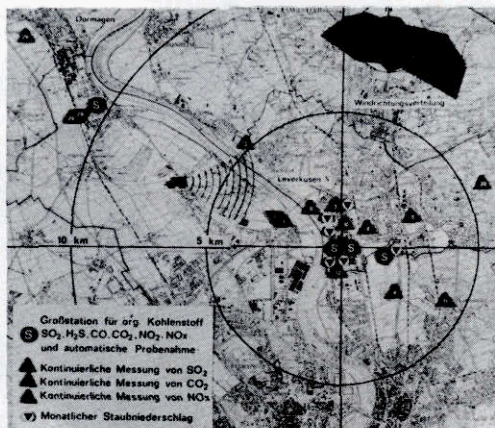


Abb. 6: Karte mit Immissionsmeßstationen

Am Beispiel des Schwefeldioxids, das den größten Anteil an der Luftbelastung hatte, sollen die eingeleiteten Maßnahmen und die erzielten Effekte aufgezeigt werden.



Abb. 7: Meßwagen

Durch die Umstellung der Kraftwerke auf andere Brennstoffe, von Kohle über Öl zu Erdgas, durch die Entwicklung des umweltfreundlichen Doppelkontaktverfahrens (Abb. 9) zur Schwefelsäureerzeugung und durch das gezielte Erfassen von Abgasen aus chemischen Reaktionen sowie deren Ableitung zu Abgasreinigungsanlagen in der Nähe der Produktionsstätten konnte der SO_2 -Ausstoß von 1958 bis 1972 trotz der in

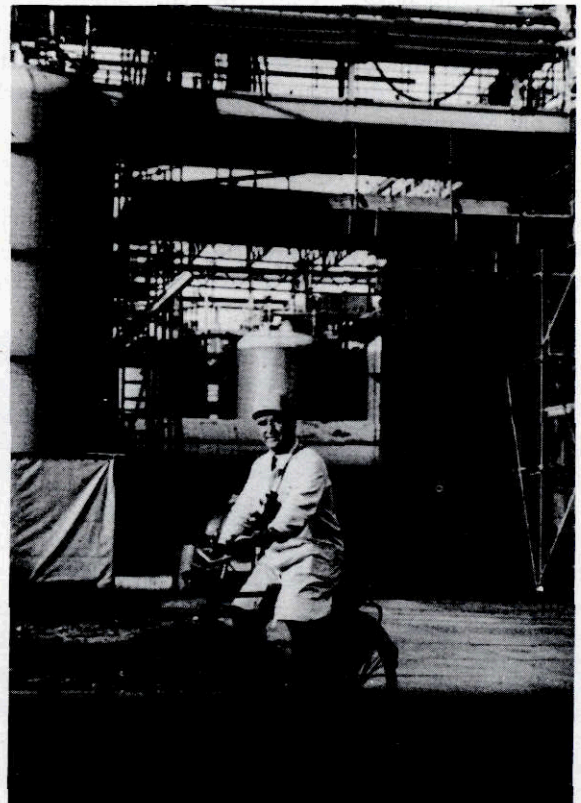


Abb. 8: Luftspürer

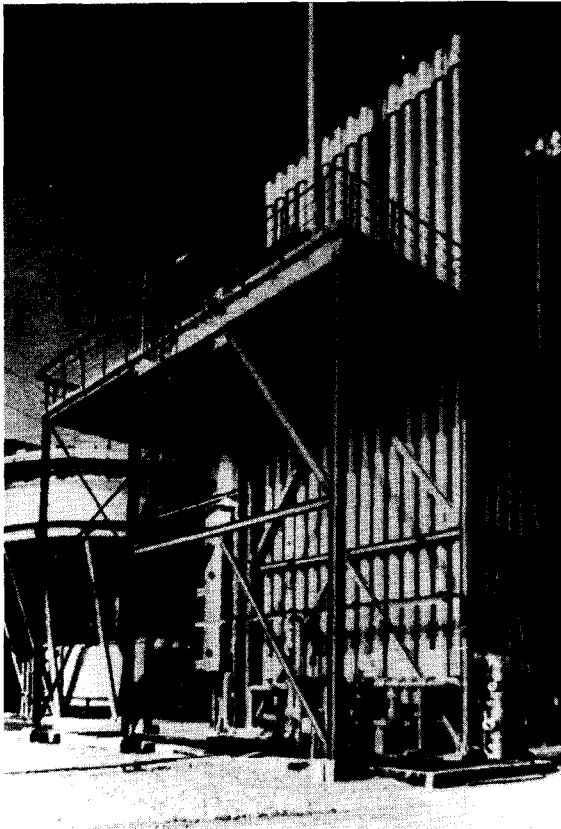


Abb. 9: Doppelkontakanlage

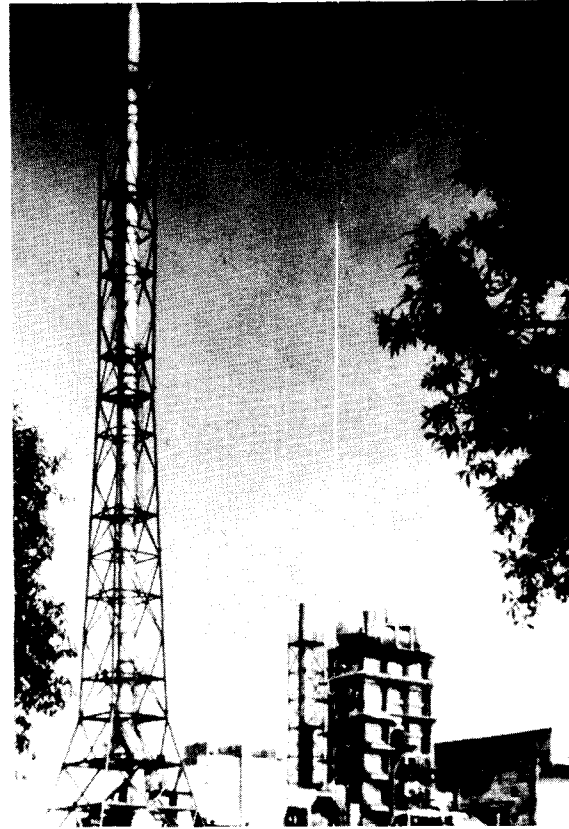


Abb. 11: Verbrennungsanlage

diesem Zeitraum eingetretenen Produktionsausweitung um 80 % reduziert werden (Abb. 10). Hierdurch wird der SO_2 -Immissionsgrenzwert für Langzeiteinwirkung von früher $0,4 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ Luft und seit 1975 $0,14 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ Luft in Leverkusen deutlich unterschritten. Parallel mit der Reduzierung der SO_2 -Emission verlief auch die Verminderung des Staubabstoßes.

3. 2. Maßnahmen zur Abfallbeseitigung

Bei der Produktion fallen feste, teigförmige und flüssige Abfallstoffe an, die umweltneutral beseitigt werden müssen. Alle diese Abfallstoffe, die einen größeren

organischen Anteil aufweisen, gehören nicht auf eine geordnete Deponie. Sie sollten verbrannt werden. Zu diesem Zwecke wurde eine Rückstandsverbrennungsanlage gebaut, nachdem ein Prototyp mehrere Jahre in Erprobung war (Abb. 11). Diese Anlage ist seit 1967 in Betrieb. Hier kann ein Großteil der anfallenden brennbaren Abfallstoffe beherrscht werden.

Probleme ergeben sich aus den Stoffen, die Schwefel und Chlor im Molekül enthalten, was nach ihrer Verbrennung zu einer unzulässigen Emission von SO_2 bzw. HCl führt. Daher werden chlorierte organische Verbindungen separat erfasst und auf See verbrannt (Abb. 12). Die hierbei emittierte Salzsäure wird vom Meer auf-

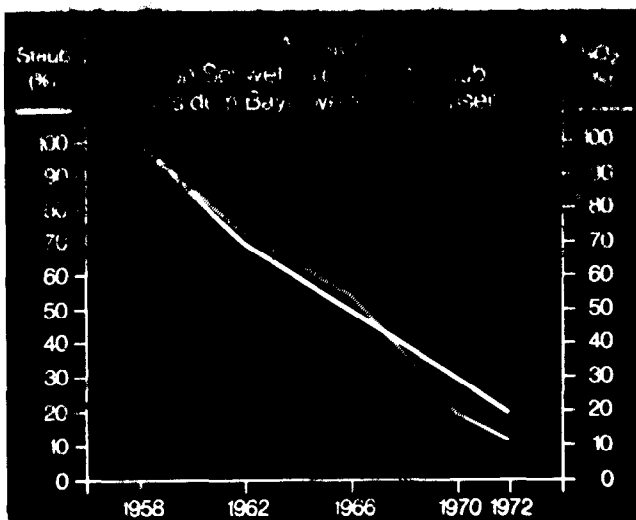


Abb. 10: Emission von 1958 bis 1972

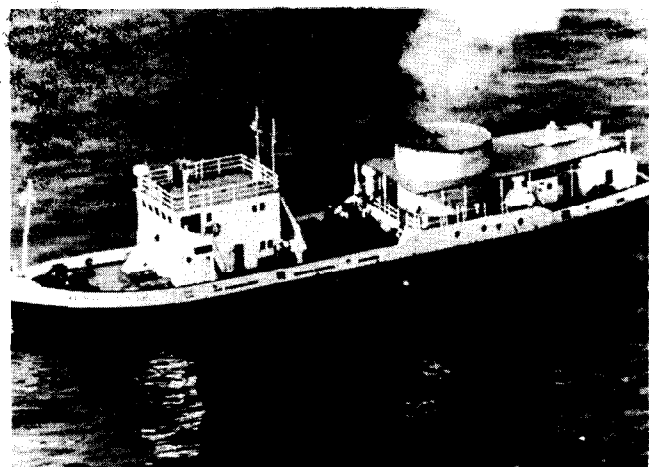


Abb. 12: Verbrennung auf See

genommen und durch das alkalische Meerwasser sofort neutralisiert. Dabei bildet sich Kochsalz, das im Meerwasser sowieso und in weit höherer Konzentration enthalten ist.

Augenblicklich wird in Leverkusen eine zweite Verbrennungsanlage gebaut, die auch Stoffe mit hohem Chlor- und Schwefelgehalt, die aus verschiedenen Gründen nicht transportiert werden können, verbrennt. Um die behördlich festgesetzten Emissionsgrenzwerte von HCl und SO₂ einhalten zu können, ist eine Abgaswasche vorgesehen.

Alle nichtbrennbaren Abfallstoffe und die festen Rückstände der Verbrennungsanlage werden auf einer geordneten Deponie kontrolliert abgelagert. Diese hat eine Grundfläche von 0,6 km² und wird als 60 m hoher Berg aufgebaut. Gemäß der Planung soll diese Deponie den nichtbrennbaren Abfall der nächsten 70 Jahre aufnehmen können.

Um überhaupt in Werksnahe ein solch großes zusammenhängendes Gelände zur Verfügung zu haben, war es erforderlich, zwei Fliisse zu verlegen. Im gleichen Areal sind auch die Verbrennungsanlagen und die Klaranlage untergebracht. Das gesamte Projekt ist unter dem Namen „Gemeinschaftswerk Leverkusen“ bekannt, da neben den Interessen von Bayer auch Maßnahmen der Landschaftsgestaltung, des Straßenbaus und der kommunalen Abwasserreinigung berücksichtigt und koordiniert werden mußten (Abb. 13).

3.3. Maßnahmen zur Wasserreinigung

Im Durchschnitt werden rund 85% des Wasserverbrauchs der chemischen Industrie für Kühlzwecke ver-

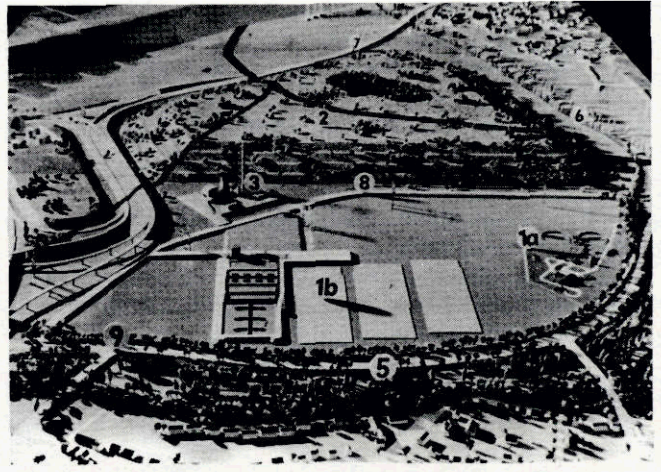


Abb. 14: Gemeinschaftskläranlage Leverkusen

wendet. Das gilt auch für Bayer. Aus technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten wurde das System der Abwassertrennung nach unbelasteten und organisch belasteten behandlungsbedürftigen Abwässern eingeführt. Kühlwasser und die im Betrieb entsprechend vorbehandelten Abwasser, bevorzugt solche mit anorganischer Belastung, die danach den Kriterien für Reinwasser entsprechen, werden direkt in den Vorfluter abgeleitet. Die organisch belasteten Abwasser werden separat erfaßt und aufbereitet.

Vor 20 Jahren konnte niemand sagen, wie ein derartiges Abwasser aus chemischen Produktionen überhaupt gereinigt werden kann. Langwierige Untersuchungen ergaben, daß das Verfahren der biologischen Reinigung, das für die Behandlung von Kommunalabwässern üblich ist, auch auf Industrieabwässer ggf. nach einer entsprechenden Vorbehandlung anwendbar ist. Hierzu muß jedoch das Verfahren den speziellen Gegebenheiten des Industrieabwassers angepaßt werden.

In allen Bayerwerken werden bereits biologische Kläranlagen betrieben oder sind in Bau. Am Beispiel der Leverkusener Kläranlage (Abb. 14) soll die Problematik hier erläutert werden. Die Versuche mit dem im Werk Leverkusen anfallenden organisch belasteten Abwasser hatten gezeigt, daß dieses zur Erzielung guter Reinigungsergebnisse vor einer biologischen Reinigung mit Kühlwasser oder Kommunalabwasser im Verhältnis 1 : 1 verdünnt werden sollte. Weiterhin sollte die biologische Reinigung zweistufig erfolgen.

Da der Wupperverband (der Wasserverband im Bereich der Flüsse Wupper und Dhiinn) den Bau einer biologischen Kläranlage für etwa die gleiche Abwassermenge in dem erschlossenen Gelände plante, lag es nahe, dieses Abwasser zur Verdünnung mit heranzuziehen und eine gemeinsame biologische Reinigung zu betreiben. Die erste Ausbaustufe dieser Kläranlage ist seit Ende 1971 in Betrieb. Dabei hat sich herausgestellt, daß während der biologischen Reinigung beim belüfteten Geruchsstoffe, die primär im Abwasser enthalten sind oder sekundär durch die Stoffwechseltätigkeit der Mikroorganismen gebildet werden, ausgetragen werden und in der Nachbarschaft zu Beschwerden führen. Aus diesem Grunde ist geplant, die zweite Ausbaustufe vollkommen geschlossen zu bauen.

Zur Verringerung der Abgasmenge bietet sich zur Ver-

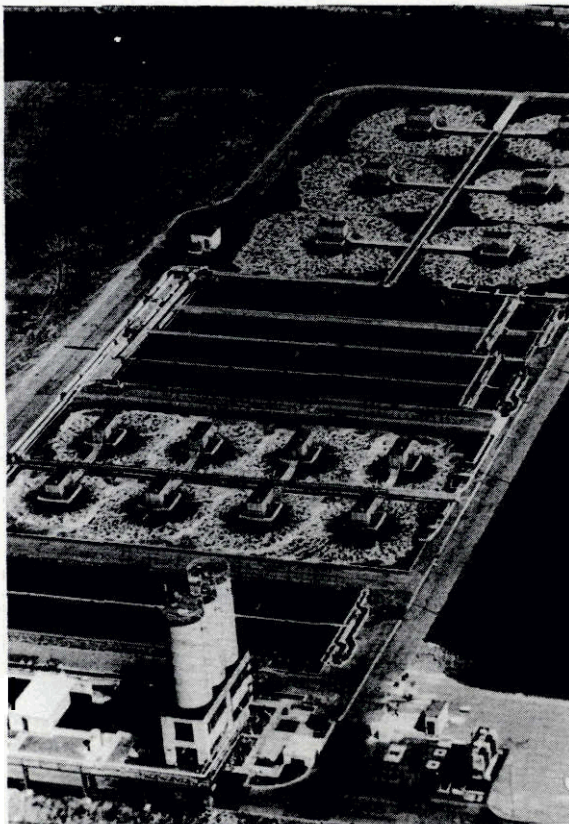


Abb. 13: Gemeinschaftswerk Leverkusen

sorgung der Mikroorganismen die Verwendung von reinem Sauerstoff statt Luft an. Das anfallende Abgas kann dann gegebenenfalls noch in einer thermischen Desodorierungsanlage geruchsfrei gemacht werden. Für die biologische Aufbereitung der Abwässer aus dem Werk Elberfeld wird z. Zt. eine derartige Anlage nach dem Unoxverfahren gebaut.

Bei der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung fallen Klärschlämme an. Diese müssen so weit wie möglich entwässert werden. Vor der Filtration ist eine Stufe der Schlammkonditionierung vorzusehen, um den Klärschlamm überhaupt filtrierbar zu machen. So wird z. B. in Leverkusen das Porteousverfahren angewandt, bei dem der Klärschlamm in Autoklaven auf ca. 200° C unter Druck erhitzt wird (Abb. 15).

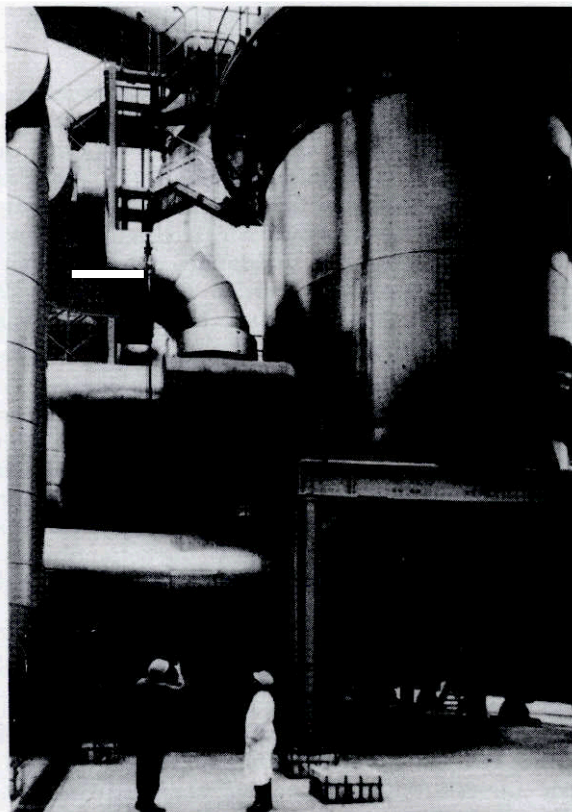


Abb. 15: Schlammbehandlung, Porteous-Verfahren

Nach einer etwa halbstündigen Behandlung liegt er in gut sedimentierfähiger und filtrierbarer Form vor. Der nach der Filtration in Kammerfilterpressen anfallende Filterkuchen hat einen Mindestfeststoffgehalt von 50 % und wird z. Zt. auf der nahegelegenen Dewnie abgelagert. Auf Dauer wird sich jedoch schon aus Platzgründen eine Verbrennung dieses Filterkuchens empfehlen.

Durch die biologische Reinigung werden diejenigen organischen Substanzen aus dem Abwasser eliminiert, die eine Sauerstoffzehrung haben und demgemäß biologisch abgebaut werden können. Deshalb stand für die Planung und den Bau der Kläranlagen der Schutz des Sauerstoffhaushaltes der Vorfluter im Vordergrund. Diese Betrachtungsweise war bisher im Bereich der Abwassertechnik üblich.

Auch die Genehmigungsbehörden sahen den Schutz des Sauerstoffhaushaltes der Vorfluter als wichtigstes Kriterium für die erforderlichen Maßnahmen zur Abwasserreinigung an.

In letzter Zeit überlagert nun der Gesichtspunkt der Entfernung biologisch nicht abbaubarer organischer Verbindungen aus dem Abwasser die frühere Betrachtungsweise, da unsere Oberflächengewässer in immer verstärktem Maße zur Gewinnung von Trink- und Brauchwasser herangezogen werden müssen. Dieser Gedanke liegt auch dem Entwurf des Abwasserabgabengesetzes zugrunde. Durch diesen Wandel in der Beurteilung der notwendigen Maßnahmen zur Wasserreinigung steht die chemische Industrie vor einem neuen Fragenkomplex, der nur schwierig zu lösen sein wird. Zur Elimination der biologisch nicht abbaubaren organischen Verbindungen bieten sich die verschiedenen chemischen und physikalischen Methoden an. Die Auswahl der jeweils günstigsten Methode wird in den meisten Fällen erst nach genaueren technischen und ökonomischen Untersuchungen möglich sein.

Das Verfahren, das heute schon am weitesten entwickelt ist, ist unserer Meinung nach die thermische Abwasserbehandlung (Eindampfen — Verbrennen). Hieraus resultiert unsere Philosophie der erweiterten Abwasserreinigung: Erfassung der Abwässer mit den biologisch nicht abbaubaren organischen Verbindungen an der Anfallstelle in möglichst konzentrierter Form mit einer anschließenden thermischen Behandlung. Entsprechende halbertechnische Untersuchungen laufen z. Zt. an, wobei besonders die Frage der Abgasreinigung eingehend geprüft und gelöst werden muß. Ob die thermische Abwasserbehandlung zentral oder dezentral betrieben werden kann, ist eine Frage des Platzes und der Wirtschaftlichkeit.

Zur Entlastung des Rheins (Abb. 16) von Salzen wird die bei der Pigment- und Farbstoffherstellung anfallende Dünnsäure, eine ca. 20%ige Schwefelsäure, in einem separaten Leitungssystem gesammelt, in Tanks gelagert und dann mit Schubbooteinheiten nach Rotterdam gefahren. Dort wird die Dünnsäure über

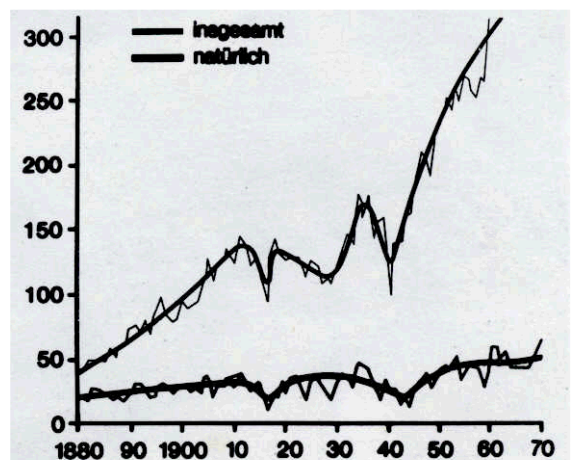


Abb. 16: Chloridfracht im Bovenrijn (Rheindelta)

Landtanks in seetüchtige Schiffe umgeschlagen. Diese fahren ca. 20 km vor die Küste und pumpen dann bei voller Fahrt die Dünnsäure in den Schraubenstrahl des Schiffes (Abb. 17).

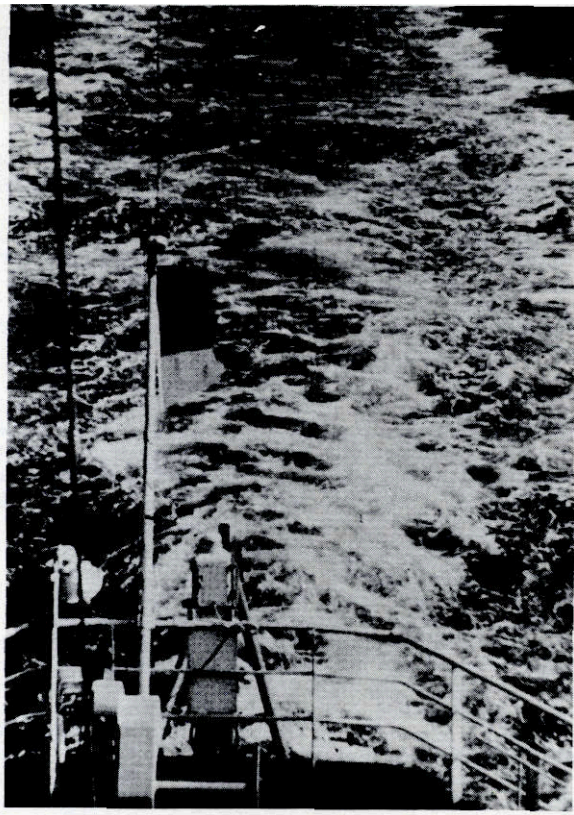


Abb. 11: Dünnsäureverbringung ins Meer

gen. welche sich in der Nahrungskette anreichern können, wie z. B. Schwermetalle. Daher wird die Dünnsäure ständig analytisch überwacht, ein Zeichen, wie ernst und mit welchem Verantwortungsgefühl die Abfallbeseitigung unter Berücksichtigung des Umweltschutzes bei Bayer gehandhabt wird.

4. Die Kosten des Umweltschutzes

Umweltschutz ist nicht kostenlos. Allein 480 Beschäftigte waren Ende 1974 bei Bayer hauptamtlich für den Umweltschutz tätig. Hinzu kommen noch die Forschungsgruppen zur Entwicklung umweltfreundlicher Produkte und Verfahren sowie die Planungsgruppen für die Auslegungen der nötigen Anlagen.

Die von Bayer zum Schutz der Umwelt aufgebrauchten Mittel sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt (Abb. 18).

Hieraus ist zu ersehen, daß trotz des bereits Geleisteten die Umweltschutzkosten noch immer im Steigen begriffen sind.

Wenn man diese Zahlen genau analysiert, kommt man zwangsläufig zu der Erkenntnis, daß zur Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen Umweltschutz nur auf international gleicher Basis betrieben werden kann. Umweltschutz darf nicht als marktpolitisches Instrument nationaler Interessen betrachtet werden, wie manche Leute ihn gerne praktizieren würden.

Dieses Verfahren, es wurde an Modellversuchen im Waterloopkundig Laboratorium in Delft entwickelt, gewährleistet eine sofortige Verdünnung der Dünnsäure mit Meerwasser, so daß die eingeleitete Säure sofort neutralisiert wird. Bei dieser Neutralisation bilden sich Salze, die im Meerwasser sowieso und in weit höherer Konzentration vorliegen. Die Meeresströmungen und die Gezeiten führen zu einer weiteren Verdünnung. Das Einbringen von Dünnsäure ins Meer steht in Übereinstimmung mit der Osloer Konvention. Beim Einbringen von Stoffen ins Meer muß besonders beachtet werden, daß keine Substanzen dorthin gelan-



Abb. 19: Grünes Blatt

5. Umweltschutz — eine Gemeinschaftsaufgabe

Emissionen kennen keine Grenzen, sie breiten sich auf der gesamten Erdoberfläche aus und können zu entsprechenden Umweltbelastungen führen.

Auch aus diesem Grunde muß gefordert werden, daß Umweltschutz übernational betrieben wird. Einzelne nationale Anstrengungen können das Problem nicht lösen. Die chemische Industrie befürwortet den Umweltschutz, und für Bayer ist das grüne Blatt „Bayer forscht für den Umweltschutz“ (Abb. 19) das sichtbare Zeichen dieser Verpflichtung.

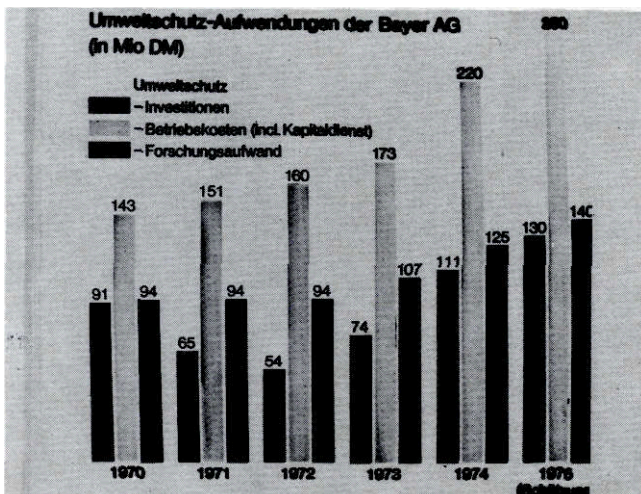


Abb. 18: Umweltschutzaufwendungen der Bayer AG

Literatur:

- 1) Bayer AG: Gemeinschafts-Klärwerk Leverkusen
- 2) Dr. H. H. Weber: Abwasserbehandlung bei Bayer in Leverkusen und Dormagen (Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e. V. Nr. 26, 1972)
- 3) D. I. W. Bender, Dr. Th. Mann: Zum Problem der Schlammaufbereitung im Gemeinschaftsklärwerk Leverkusen (Kommunalwirtschaft Heft 9, 1968)
- 4) Dr. Kurt Mack: Biologische Reinigung von Abwasser mit Sauerstoff (Wasser, Luft, Betrieb Nr. 4, 1973)
- 5) Dr. H. J. Wolff: Abwasserkontrolle in der chemischen Großindustrie (Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band 19, 1972)
- 6) Dr. Ing. Kiess: Das Gemeinschaftsklärwerk Leverkusen im Rahmen der Arbeiten zur Sanierung der unteren Wupper (Korrespondenz Abwasser 5/72)
- 7) W. Nespital: Zur schadlosen Beseitigung von Dünnsäure im Meer (Wasser und Boden, 9/73)
- 8) Dr. Th. Mann: Maßnahmen zur Wasserreinigung in der chemischen Industrie (Industrieabwasser Heft 1970)
- 9) Dr. Th. Mann: Chemische und physikalische Verfahren zur Abwasserreinigung (Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band 24, 350—361, 1973)
- 10) Dr. Th. Mann: Möglichkeiten der chemischen und physikalischen Abwasseraufbereitung unter besonderer Berücksichtigung der Aktivkohleabsorption (Chemie-Ingenieur-Technik, 8/74)
- 11) Dr. H. Fabian und Dr. H. H. Weber: Die neue Rückstandsverbrennungsanlage der Bayer AG, Leverkusen (Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 19 [1967] Nr. 10)
- 12) Dr. H. J. Wolff: Planung und Praxis einer Chemie-Deponie (Chemiker-Zeitung 10/71)
- 13) Helmut Wulf: Verbrennung auf See bis Windstärke 9 (Umwelt 3/72)
- 14) Prof. Dr. Dr. H. Harmsen: 70 Jahre Luftüberwachung und Luftreinhalte bei der Bayer AG (Umwelt-hygiene 2/74)
- 15) Dr. W. Breuer: Meßtechnik im Dienst der Umwelt (Bayer-Berichte 28/72)
- 16) Dr. H. G. Meyer: Erfolge bei der Luftüberwachung in einem Chemie-Werk (Chemiker-Zeitung, Sonderdruck 95, 1971)

Diskussion

Herlinger: Die Probleme des Umweltschutzes, wie er von einem großen Konzern mit einem enormen Aufwand betrieben wird, unterscheidet sich ganz wesentlich von denen der Textilbetriebe, die aber auch mit den Produkten der

chemischen Industrie fertig werden müssen, sich aber natürlich solche Investitionen nicht leisten können. Diese Betriebe sind auf kleine Anlagen und billige Methoden angewiesen, die man erst im Laufe der Zeit noch erarbeiten und entwickeln muß.

Thater: Haben Sie jemals daran gedacht, den anfallenden Schlamm zu kompostieren, um ihn auf diese Weise zu beseitigen?

Die zweite Frage betrifft das warme Abwasser, das in den Vorfluter gelangt. Es soll irgendwelche Versuche bereits geben, spezielle Fische zu züchten, um sozusagen eine interessante Verwendung für dieses warme Wasser zu finden. Sind solche Untersuchungen in Ihrem Investitionsplan enthalten?

Mann: Theoretisch ist es durchaus möglich, den Klärschlamm zu kompostieren, und es wird auch hin und wieder im Kommunalbereich getan, aber auch dort gibt es Schwierigkeiten, da man den Schlamm nicht das ganze Jahr hindurch verkaufen kann und ihn zwischentapeln muß.

Im industriellen Bereich kommt noch eines hinzu: die Industrieabwässer werden neutralisiert. Bei der Neutralisation werden einerseits Schwermetalle als Hydroxide ausgefällt, andererseits werden verschiedene organische Substanzen ausgeflockt. Diese Substanzen sind nun zusätzlich im Schlamm enthalten. Wenn auch momentan der Anwendung des Klärschlammes zur Düngung nichts im Wege steht, so kann heute doch noch niemand voraussagen, ob sich die Anreicherung von Schwermetallsalzen nicht doch negativ auf den Boden auswirken könnte. Dies ist auch der Grund, warum wir den Klärschlamm so, wie er heute anfällt, nicht zu einer landwirtschaftlichen Nutzung bringen.

Thater: Wobei aber doch auch bei der Verbrennung diese Schwermetallsalze nicht verloren gehen.

Mann: Natürlich sind diese auch bei der Verbrennung problematisch, weil die Salze zum Großteil als Oxide in die Gasphase übergehen. Gelingt es, sie in einer EGR abzuscheiden, dann ist das Problem gelöst, gelangen sie aber in eine Naßwäsche und somit in die Abwässer, die der Kläranlage wieder zugeführt werden, dann können sich die Schwermetalle in einem Kreislauf ebenfalls anreichern. Dies ist auch ein Problem, das wir eingehend untersuchen.

Wenn das Kühlwasser 30° C nicht überschreitet, dann kann es durchaus in den Rhein abgeleitet werden, und das wird auch getan. Die Zucht von Fischen in warmem Wasser ist prinzipiell möglich. Wenn Sie aber berücksichtigen, daß im Bayer-Werk pro Tag 650.000 m³ Wasser mit einer Temperatur zwischen 25 und 30° C anfallen, dann hilft kein Bassin, um die Fische darinnen zu halten, die würden einfach ausgeschwemmt werden! — Die einzige Verwendung des Warmwassers ist die Beheizung eines Bades mit der Abwärme des Kraftwerkes. Hier haben wir im Winter Wassertemperaturen zwischen 28 und 30° C.

Der Einfluß der molekularen und supramolekularen Struktur der Chemiefasern auf ihre thermischen Eigenschaften

Prof. Dr.-Ing. K. E. Perepelkin
Dipl.-Ing. B. A. Muchin
WNIIW, Leningrad

Physikalisch-mechanische und thermomechanische Eigenschaften von Chemiefasern und Fasermaterialien stehen in engem Zusammenhang mit der molekularen und supramolekularen Struktur der Fasern. Die Strukturabhängigkeit der thermischen Eigenschaften wird am Beispiel einer Reihe von Chemiefasern, darunter thermostabile und schwerbrennbare Fasern, betrachtet. Anhand der Festigkeits- und Deformationstheorie der Polymeren werden die möglichen Wege einer Verbesserung der thermomechanischen Eigenschaften der Fasern aufgezeigt. Auf Grund der Theorie der chemischen Reaktionen in Festkörpern wurden die Hauptgesetzmäßigkeiten des thermischen Zerfalls der Chemiefasern sowohl im Bereich relativ niedriger als auch im Bereich höherer Temperaturen, und die Abhängigkeit dieser Prozesse vom umgebenden Medium untersucht.

Physical and thermal properties of man-made fibres and fibre materials are in close relation with the molecular and supramolecular structure of the fibres. The dependence of thermal properties on the structure is observed on a number of man-made fibres, amongst them thermo-resistant and flame-retardant fibres. With the strength and deformation theory of polymers, possibilities of improving the thermal properties of fibres are shown. According to the theory of chemical reactions in solid-state bodies, the main laws of thermic disintegration of man-made fibres both at relatively low and higher temperatures as well as the dependence of these processes on the surrounding medium are examined.

1. Einleitung

In den mannigfaltigen Einsatzgebieten von Faserstoffen werden an die zu ihrer Herstellung verwendeten Fasern sehr unterschiedliche Anforderungen gestellt. Für die meisten Einsatzgebiete sind die thermischen Kennwerte der Fasern, die die Veränderungen der Struktur und der Fasereigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur bei verschiedener Einwirkungsdauer und unter verschiedenen äußeren Bedingungen widerspiegeln und eine dauerhafte und sichere Verwendung der Faserstoffe sowie der aus ihnen gefertigten Haushalts- und technischen Erzeugnisse bestimmen, am wichtigsten. Die vorliegende Arbeit soll sich hauptsächlich mit dem heutigen Stand dieses Wissensgebietes beschäftigen.

Die wichtigsten thermischen Prozesse, die in den faserbildenden Polymeren sowie in den Fasern ablaufen, sind in Abbildung 1 dargestellt. Es sei jedoch darauf verwiesen, daß dieses Bild nur für gewöhnliche, sogenannte „konventionelle“ Polymere mit biegsamen Ketten charakteristisch ist. Bei Polymeren mit steifen Ketten kann sich das Gebiet der Oxidations-

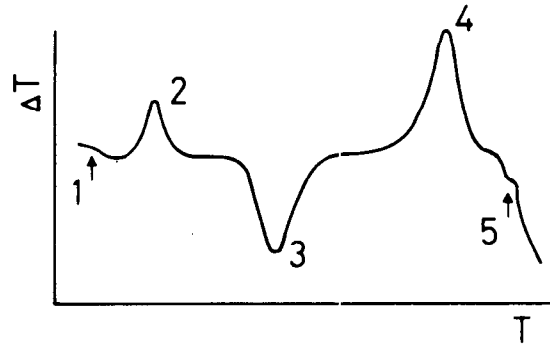


Abb. 1: Thermische Prozesse im Polymeren (schematisches Thermogramm)

- 1 — Glasumwandlung
- 2 — Kristallisation
- 3 — Schmelzen
- 4 — Oxidation
- 5 — Destruktion

und Destruktionsprozesse nach links verschoben, wobei das Thermogramm stark verändert wird.

Bei der Besprechung der thermischen Einwirkungen auf Fasern sind zwei Arten von Erscheinungen zu unterscheiden, solche, die Veränderungen der physikalischen Struktur und solche, die Veränderungen des chemischen Gefüges hervorrufen.

Die Veränderung der physikalischen Struktur wird durch die Umgestaltung der Konformations- und der Orientierungsordnung bedingt. In erster Linie werden diese Prozesse durch die eigentliche Biegsamkeit der Polymerketten sowie durch die Größe der Wechselwirkung zwischen den Polymerketten bestimmt. Rein strukturelle Änderungen sind nur für Polymere charakteristisch, die gegen thermische und thermo-oxidative Einwirkungen ausreichend stabil sind, oder aber für Temperatureinwirkungen, die nur ganz kurze Zeit dauern. Andernfalls hat man es mit einer gleichzeitigen Änderung der chemischen sowie der physikalischen Struktur zu tun.

Die Änderung der chemischen Struktur von Polymeren wird durch chemische Reaktionen bedingt, die sowohl die Struktur der Hauptkette als auch die funktionellen Seitengruppen berühren. Bei mäßigen Temperaturen findet (unter Vakuum oder im Inertgas) der thermische Zerfall oder (bei Sauerstoffanwesenheit) die thermo-oxidative Zersetzung statt, denen die Destruktion der Polymerkette, die Änderung ihrer chemischen Struktur, die Veränderung der Natur der Seitensubstituenten, die Bildung intermolekularer Vernetzungen und das Freiwerden flüchtiger Abbauprodukte folgen.

Die Veränderung der chemischen Struktur von Polymeren führt zwangsläufig zu Änderungen der Biegsamkeit der Polymerketten, der intermolekularen Wechselwirkungen, der übermolekularen Struktur und dementsprechend zur Veränderung der physikalischen Eigenschaften von Fasern.

Als einen besonderen Fall kann man die von tiefgehenden chemischen Änderungen begleitete Einwirkung hoher Temperaturen auf Fasern und Faserstoffe betrachten.

Bei der Einwirkung hoher Temperaturen unter Ausschluß von Luftsauerstoff kommt es zu einer tiefgreifenden Pyrolyse, die von der Bildung einer großen

Menge an flüchtigen Produkten begleitet wird. Durch Kondensationsprozesse wird während der Pyrolyse ein völlig verändertes polymeres Material, der Koksrückstand, erhalten.

Bei Zutritt von Luftsauerstoff führt die Einwirkung hoher Temperaturen zum Entflammen von Fasern und Faserstoffen, das heißt zu einer unter beträchtlicher Wärmetönung selbstverlaufenden Reaktion.

Die obenerwähnten thermischen Eigenschaften der Fasern werden durch ihre chemische und übermolekulare Struktur, durch die Anwesenheit von Fremdstoffen, durch äußere Bedingungen sowie durch von außen wirkende mechanische Beanspruchungen bestimmt.

Für Faserstoffe ist auch ihre Makrostruktur von Bedeutung, besonders wenn ihre Eigenschaften vom Wärme- und Stoffaustausch mit der Umgebung abhängen.

2. Die Struktur und die Temperaturcharakteristika von Polymeren

2.1. Kurze Angaben zur Struktur von orientierten Polymeren (Fasern)

Die Eigenschaften der orientierten Polymeren (in erster Linie der Fasern) werden sowohl durch die Besonderheiten ihrer Morphologie im Molekular-, Supramolekular- und Makrobereich als auch durch die energetischen Kennwerte der Struktur bestimmt¹⁻⁸.

Der chemische Aufbau der faserbildenden Polymeren ist bereits allgemein bekannt, sodaß seine Besprechung überflüssig ist.

In Tabelle 1 sind einige der in den letzten Jahren erschienenen Faserarten angeführt, deren Eigenschaften im weiteren besprochen werden. Ihr chemischer Aufbau ist in verschiedenen Arbeiten⁹⁻¹⁹ ausführlich beschrieben worden.

Die molekulare sowie die supramolekulare Struktur der Faserstoffe wird derzeit unter Anwendung verschiedener physikalisch-chemischer Methoden intensiv untersucht. Es soll deshalb, ohne daß auf einzelne Arten von faserbildenden Polymeren und Copoly-

meren detailliert eingegangen wird, auf folgende Gruppen hingewiesen werden (die nachfolgende Unterteilung ist *bedingt* und schließt nicht alle Polymerklassen ein):

- 1.) irreguläre amorph-kristalline Polymere mit biegsamen Ketten, zu denen Polyvinylchlorid und die meisten statistischen Polymeren gezählt werden können,
- 2.) Polymere mit mittlerer Kettensteifigkeit und begrenzter Strukturregularität (Zelluloseacetat, Polyacrylnitril),
- 3.) reguläre kristalline Polymere und Copolymere mit biegsamen Ketten, zu denen die meisten faserbildenden Polymeren gezählt werden können (Polyäthylen, Polypropylen, Polyvinylalkohol, Polyformaldehyd, Polycaproatid u. a.),
- 4.) reguläre kristalline Polymere mit mittlerer Kettensteifigkeit (Polyäthylenterephthalat, Zellulose, Zellulosetriacetat),
- 5.) Polymere mit steifen Ketten und irregulärer Struktur (aromatische Copolymere mit Meta- und Parastruktur),
- 6.) asymmetrische Polymere mit steifen Ketten und regulärer Struktur (Polymetaphenylenisophthalamid),
- 7.) reguläre Polymere und Copolymere mit steifen Ketten, zu denen aromatische Polyamide, Poly-

Tabelle 1: Einige thermostabile und feuerfeste Faserarten

Faserart	chemische Struktur des Polymeren
Fenilon, Nomex	Poly-m-phenylenisophthalamid
Fenilon-T, Nomex-T, Durette	wie oben, zusätzlich nachbehandelt
Sulfon	Polysulfonamid
Kermel	Polyamidoimid
Arimid (Kapton)	Polyimid
Arimid-T	wie oben, zusätzlich nachbehandelt
Oxalon	Polyoxadiazol
Oxalon-C, Oxalon-T	wie oben, zusätzlich nachbehandelt
PBI	Polybenzimidazol
PBI-S; PBI-T	wie oben, zusätzlich nachbehandelt
Enkatherm	Polyterephthaloyl-oxamidrazonhydrazid
Kynol	Phenolformaldehydharz

Tabelle 2: Einige Strukturkennwerte von faserbildenden Polymeren

1. Form und Größe eines elementaren Makromolekülgliebes	
2. der Kristallisationsgrad der amorph-kristallinen Polymeren liegt im Bereich von	45—90 %
3. die Zahl der durchgehenden Ketten in kristallinen Strukturbereichen	
a) in linearen Polymeren	(1,5—6) · 10 ¹⁴ /cm ²
b) in Schichtpolymeren	(6—12) · 10 ¹⁴ /cm ²
4. der Anteil der durchgehenden Ketten in amorphen Strukturbereichen liegt im Bereich von	50—100 %
5. mittlerer Winkel der molekularen Orientierung	
6. mittlerer Orientierungswinkel der kristallinen Strukturbereiche	
7. mittlerer Orientierungswinkel der amorphen Strukturbereiche	
8. die Dissoziationsenergie für chemische Bindungen in der Kette, bezogen auf 1 mol	
a) Einfachbindungen	190—320 kJ/mol
b) aromatische Bindungen	400—550 kJ/mol
c) Doppelbindungen	450—900 kJ/mol
9. Potentialbarriere der inneren Kettendrehung	
10. die Dissoziationsenergie der intermolekularen Bindungen, bezogen auf 1 mol, liegt im Bereich von	4—40 kJ/mol
11. die volumenspezifische Energie der intermolekularen Wechselwirkung, bezogen auf die Volumeneinheit der kristallinen Strukturbereiche	

amidohydrazide, Polyimide und andere heterocyclische sowie carbocyclische Polymere gezählt werden können,

- 8.) Leiterpolymere mit in der Regel nicht völlig regulärer Struktur und sehr hoher Kettensteifigkeit, sowie
- 9.) Schichtpolymere mit Aromatenstruktur.

Die wichtigsten Strukturkenndaten der zur Zeit am besten untersuchten Polymere sind in Tabelle 2 angeführt.

Für orientierte Polymere, in erster Linie für Fasern und Folien, ist die Fibrillärstruktur charakteristisch. Die Packung der Makromoleküle in den Fibrillen kann jedoch unterschiedlich sein (Abb. 2).

Für irreguläre Polymere und Copolymere sowie für einige steifkettige Polymere ist eine begrenzt geordnete Struktur mit guter Nahordnung und äußerst defekter Fernordnung charakteristisch. Mit ansteigender Orientierung nimmt normalerweise der Ordnungsgrad zu, für die Herstellung von Fasern mit guten Gebrauchseigenschaften reicht er jedoch offensichtlich nicht aus.

Für viele reguläre Polymere ist im orientierten Zustand die Fibrillärstruktur mit aufeinanderfolgenden amorphen und kristallinen Bereichen, mit einer Periodizität von einigen 10 bis 100 Å kennzeichnend.

Die Struktur der amorphen Faserbereiche hängt im wesentlichen von der Steifheit der Molekülketten ab. In Polymeren mit biegsamen Ketten ist die Zahl der

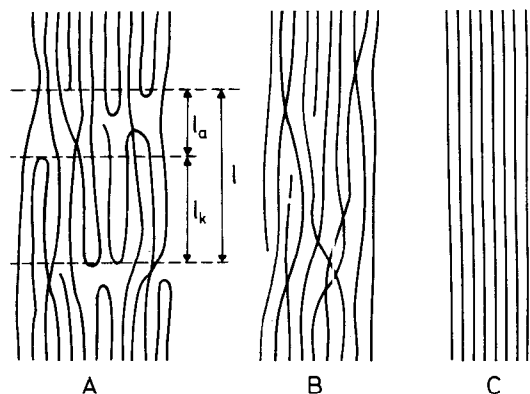


Abb. 2: Bauprinzipien einiger hochorientierter Systeme aus linearen Polymeren

- A — amorph-kristalline Fibrillärstruktur
- l_a — Länge der amorphen Bereiche
- l_k — Länge der Kristallite
- l — Große Periode
- B — teilweise geordnete ungefaltete Fibrillärstruktur
- C — idealer Polymerkristall

durchgehenden Ketten wegen der Neigung zur Kettenfaltung in amorphen Bereichen wesentlich kleiner als in kristallinen Bereichen. Mit zunehmender Kettensteifigkeit wird die Neigung zum Falten geringer, oder sie geht ganz verloren (aromatische reguläre Parapolyamide sowie Polyamidohydrazide und andere Polymere).

Tabelle 3: Einige energetische Kennwerte von faserbildenden Polymeren und Fasern

Faserbildende Polymere	Dissoziationsenergie für chemische Bindungen in der Kette (kJ/mol)		Energie der intermolekularen Wechselwirkung*	
	thermischer Zerfall	mechanische Zerstörung	kJ/mol	kJ/cm ³
Polyäthylen	251—318	250—293	8,4—10,5	0,30—0,37
Polypropylen	255—272	230—234	12,5—16,7	0,28—0,37
Polystyrol	209—272	220—222	33,5—34,5	0,37—0,38
Polyvinylchlorid	134—163	147—151	21,5—22,5	0,50—0,54
Polyvinylidenchlorid	151	—	15,5—17,5	0,31—0,35
Polytetrafluoräthylen	289—310	291—305	8,4—9,6	0,21—0,23
Polyacrylnitril	—	210—214	27—28	0,63—0,71
Polyvinylalkohol	256—314	250	38—42	1,17—1,30
Polyoximethylen	188—192	—	7,1—10,9	0,36—0,54
Polycaproamid	176	188—204	46—65	0,50—0,71
Polyenantamid	—	—	50—69	0,46—0,67
Polyhexamethylenadipamid	176—217	176	92—130	0,50—0,71
Polyhexamethylensebazinamid	176	—	109—147	0,46—0,63
Polyurethan (aus Hexamethylenisocyanat und Tetramethylenglykol)	261—287	—	67	0,34
Zellulose	—	167	78—94	0,75—0,92
Zellulosetriacetat	—	—	45—61	0,21—0,38
Polyäthylenterephthalat	261—287	—	46—61	0,35—0,46

* berechnet für kristalline Strukturbereiche

Die übermolekulare Ordnung nimmt mit abnehmender Regularität der Molekularstruktur oder unter dem Einfluß sterischer Faktoren (wenn große Substituenten vorhanden sind) ab.

Orientierte steifkettige Polymere besitzen ebenso wie die mit biegsamen Ketten eine Fibrillarstruktur, doch neigen sie umso weniger zur Faltenbildung, je steifer die Ketten werden, sodaß die Zahl der durchgehenden Ketten in ihren Amorphbereichen zunimmt. So zeigen zum Beispiel Parapolyamide, die sehr steife Ketten besitzen, fast ungefaltete Strukturen, in denen die Zahl der durchgehenden Ketten in den ungeordneten Bereichen nahezu gleich jener in geordneten Bereichen ist.

Mit Ansteigen der Regularität der Molekularstruktur, der Orientierung sowie des Kristallinitätsgrades nähert sich die Struktur von orientierten Polymeren der Struktur von Polymerkristallen mit gestreckten Ketten (siehe Abb. 2).

Die Mehrzahl der Eigenschaften orientierter Polymerer wird durch die Struktur der am wenigsten geordneten Amorphbereiche bestimmt: sie unterliegen der mechanischen Deformation am meisten, und in ihnen finden vor allem die mechanischen und thermischen Destruktionsprozesse, die Sorptionsprozesse sowie die chemischen Reaktionen statt.

Bei der Ausbildung der Fasereigenschaften spielen die energetischen Strukturcharakteristika — zwischenatomare Wechselwirkungen in den Ketten, die Eigenbiegsamkeit der Ketten, die Größe der zwischenmolekularen Wechselwirkungen — eine große Rolle. Leider sind gerade diese außerordentlich wichtigen Strukturcharakteristika noch sehr wenig untersucht worden. Einige bekannte Werte sind in Tabelle 3 zusammengefaßt^{4-7, 20, 21}.

Die angeführten Strukturcharakteristika von faserbildenden Polymeren entsprechen, strenggenommen, dem Null-Niveau der Wärmeschwingungen. Die Eigenschaften von Fasern und faserbildenden Polymeren werden jedoch nicht nur durch Gleichgewichtswerte der zwischenatomaren und zwischenmolekularen Wechselwirkungen bestimmt, sondern auch durch das von der Temperatur direkt abhängige Energieniveau der Schwingungs-, Rotations- und Segmentbeweglichkeit in den Polymerketten. Diese Frage wird noch eingehender besprochen werden.

2. 2. Die wichtigsten Temperaturkennwerte von faserbildenden Polymeren und Fasern

Alle physikalischen Eigenschaften der Fasern hängen nicht nur von der Struktur und ihren energetischen (thermodynamischen) Kennwerten, sondern in bedeutendem Maße auch von den äußeren Bedingungen — der Temperatur und der mechanischen Spannung — ab. Die wichtigsten Temperaturkennwerte der Polymeren können, wie dies in Tabelle 4 dargestellt wird, in die thermodynamischen und die temperaturabhängigen kinetischen Kennzahlen unterteilt werden.

Die Phasenübergänge der ersten und zweiten Art sowie die Veränderung der Temperaturkennwerte von Polymeren hängen mit dem allmählichen Auftreten der Beweglichkeit der funktionellen Gruppen oder der Polymerkettenbereiche mit zunehmender Temperatur zusammen. Die Molekularbewegung wird im Polymeren bei entsprechend niedrigen Temperaturen

Tabelle 4: Die wichtigsten Temperaturkennwerte von Fasern und faserbildenden Polymeren

Thermodynamische Kenndaten	Kinetische Kenndaten
Temperaturen der Phasenübergänge 2. Ordnung (α -, β -, γ -Übergänge, einschließlich der Glasumwandlung)	Sprödigkeitstemperatur Glastemperatur
Temperaturen der Phasenübergänge 1. Ordnung (polymorphe Übergänge, Schmelzen)	Fließtemperatur Schmelztemperatur

(unter der Temperatur des ersten Phasenübergangs) völlig gehemmt. Es finden nur die Schwingungen der Atome statt.

In dem Maße wie Temperatur und Wärmeverrat des Polymeren zunehmen, treten die Schwingungs- und Rotationsbeweglichkeit der einzelnen funktionellen (meist Seiten-)Gruppen auf, die von Effekten der Phasenübergänge der zweiten Art begleitet werden. Beim Erreichen einer bestimmten Temperatur (Glastemperatur) kommt es zur Segmentbeweglichkeit in amorphen Polymeren oder in amorphen Strukturbereichen kristalliner Polymerer.

Wenn der Wärmeverrat des Polymeren schließlich groß genug ist, tritt der Phasenübergang der ersten Art, das Schmelzen der kristallinen Bereiche, ein.

Das Schmelzen von Polymerkristallen sowie von amorph-kristallinen Polymeren ist auf zwei Faktoren zurückzuführen: auf die Überwindung von Kräften der zwischenmolekularen Wechselwirkung (energetischer Faktor) und auf die Erhöhung der Kettentieffigkeit (Entropiefaktor). Deswegen verändert sich die Schmelztemperatur wesentlich je nach der Größe der zwischenmolekularen Kräfte und der Steifigkeit der Molekülketten^{22, 23}.

Die Heterogenität der Polymerstruktur und ihrer energetischen Kennwerte auf allen Ebenen, von der Molekularebene an, ebenso wie der statistische Thermofluktuationscharakter des Auftretens des einen oder des anderen Freiheitsgrades der Molekularbewegung führen zu zahlreichen Übergängen zweiter Ordnung und zu einer gewissen Verwaschung dieser Übergänge, das heißt zum Auftreten von Übergangsbereichen und nicht von Übergangspunkten.

Die thermodynamischen Methoden der Untersuchung von Phasenübergängen in Polymeren basieren auf der Messung der Änderung von Zustandsfunktionen eines Systems bei Temperaturveränderungen. Bei Phasenübergängen erster Ordnung kommt es zu einer sprunghaften Änderung des Substanzvolumens, des Wärmehalts sowie der Entropie.

Bei Phasenübergängen zweiter Ordnung ändern sich sprunghaft die Wärmekapazität, die Kompressibilität und der Temperatureausdehnungskoeffizient. Es verändert sich aber gleichzeitig mit den genannten Eigenschaften auch eine Reihe anderer Parameter, die sich zu einer bequemen Messung der Phasenübergänge eignen: dielektrische, optische, Deformationseigenschaften u. a., wovon häufig in der Untersuchungspraxis Gebrauch gemacht wird.

Es besteht zwischen der Glas- und der Schmelztemperatur, die ja beide von der Beweglichkeit der Molekül-

ketten abhängen, ein bestimmter Zusammenhang, der durch die Beziehung $0,5 T_m \leq T_g < 0,67 T_m$ wiedergegeben werden kann.

Es liegen zwischen den amorphen und den amorph-kristallinen Polymeren eine Reihe von Polymeren mit einem gewissen Strukturordnungszustand, von denen einige solchen mit defekter kristalliner Struktur zugeordnet werden können, zum Beispiel Polyacrylnitril. Deswegen hängen die Glastemperatur, die Fließtemperatur und die Schmelztemperatur im gewissen Maße vom Herstellungsverfahren und von der Vorgeschichte der Probe ab.

Es zeigt sich bei der Betrachtung der physikalischen Eigenschaften faserbildender Polymerer, daß sie durch das Verhältnis zwischen der absoluten Temperatur und der Temperatur des einen oder des anderen Phasenübergangs bestimmt werden, was einem bestimmten Energieniveau in bezug auf die Größe der Phasenübergangsenergie entspricht⁶. Dies ist beim Vergleich der physikalischen Eigenschaften verschiedener Polymerer besonders wichtig.

Wie kann man nun tatsächlich die mechanischen Eigenschaften von Polyäthylen und Polyvinylalkohol bei Zimmertemperatur physikalisch richtig miteinander vergleichen, wo sich doch das eine Polymere in hochelastischem und das andere im Glaszustand befindet?

Äquivalente Zustände von Polymeren in bezug auf mögliche Phasenübergänge werden also nicht durch gleiche absolute, sondern durch gleiche Relativtemperaturen (Θ) bestimmt, was in Tabelle 5 gezeigt wird. Dort sind auch die zulässigen relativen Gebrauchstemperaturen von Fasern aus verschiedenen Polymeren und vergleichsweise von Metallen angeführt.

Tabelle 5: Relativtemperaturen, die den energetischen Zustand der Polymeren charakterisieren

$$\Theta_{II} = \frac{T}{T_g} \quad \Theta_I = \frac{T}{T_m}$$

worin T - die Einsatztemperatur, T_g - die Glastemperatur und T_m - die Schmelztemperatur sind.

Grenztemperaturen für den Einsatz von Fasern aus verschiedenen Polymeren

amorphe Polymere	Θ_{II}	0,85 - 0,9
amorph-kristalline Polymere	Θ_I	0,85 - 0,9

Grenztemperaturen für den Einsatz von Metallen

Reinmetalle	Θ_I	0,35 - 0,4
Legierungen	Θ_I	0,75 - 0,8

Phasenübergangstemperaturen verschiedener faserbildender Polymerer sind in Tabelle 6^{4, 27-29} zusammengestellt. Es sind dort auch die errechneten Relativ-

temperaturen angegeben, die einer Temperatur von 20° C (293° abs.) entsprechen.

Es entsprechen dann den gleichen Θ -Werten die in bezug auf das für den Phasenübergang erforderliche Wärmeenergieniveau gleichen Wärmeverräte der zu vergleichenden Körper.

3. Die Temperaturabhängigkeit der Fasereigenschaften im Bereich der vollständigen und der teilweisen Reversibilität. Wärmebeständigkeit der Fasern

3.1. Die thermomechanischen Eigenschaften der Fasern

Die Einsatzgebiete der Faserstoffe werden durch die thermomechanischen Eigenschaften der Fasern, das heißt durch ihre von der Temperatur, von der Größe und der Einwirkungsdauer von äußeren Spannungen abhängige Deformierbarkeit, bestimmt.

Die temperaturabhängige Deformation der Faser schließt auch die Veränderung des Kraft-Dehnungsdiagramms, des Deformationsmoduls, des Kriechens und anderer Kennwerte mit ein. Am einfachsten können die thermomechanischen Eigenschaften jedoch nach der thermomechanischen Methode ermittelt werden.

Abbildung 3 zeigt typische thermomechanische Kurven von Fasern in einem breiten Temperaturintervall und gibt annähernd die Fasereinsatzgebiete an.

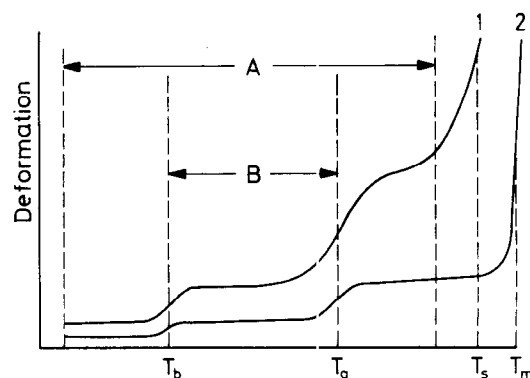


Abb. 3: Typische thermomechanische Kurven von amorphen (1) und amorph-kristallinen (2) Polymeren
 T_b — Sprödigkeitstemperatur
 T_g — Glastemperatur
 T_s — Fließtemperatur
 T_m — Schmelztemperatur
 A — Arbeitstemperaturbereich
 B — optimaler Arbeitstemperaturbereich

Die molekulare Beweglichkeit und ihre Größe bestimmen den Zustand, in dem sich die Faser befindet — (Glaszustand, hochelastischer bzw. zähflüssiger Zustand), denen auf der thermomechanischen Kurve die drei Knickstellen beim Sprödigkeits-, beim Einfrier- bzw. beim Fließpunkt entsprechen.

Unterhalb der Sprödigkeitstemperatur T_b kann nur die elastische Deformation, die mit der Veränderung der Bindungslänge und des Valenzwinkels verbunden ist, stattfinden. Bei Erreichen der Sprödigkeitstemperatur tritt eine gewisse Freiheit der Molekularbewe-

Tabelle 6: Einige Temperaturkennwerte von Fasern

Faserbildende Polymere	Temperaturen, ° C		relative Temperaturen bei 20° C	
	Glas- umwandlung	Schmelzen	θ_2	θ_1
Fasern aus aliphatischen Carbokettenpolymeren:				
Polyäthylen	—(70—100)	138	1,44—1,70	0,71
Polypropylen	—(12—20)	176	1,12—1,16	0,65
Polystyrol (ataktisch)	80—100	—	1,52—1,70	—
Polyvinylchlorid (wenig kristallin)	75—82	170—220	0,83—0,84	0,59—0,66
Polyacrylnitril (wenig kristallin)	75—100	320	0,79—0,84	0,49
Polyvinylalkohol	75—90	225—230	0,81—0,84	0,58—0,59
Polytetrafluoräthylen	10—30	327	0,97—1,04	0,49
Polytrifluorchloräthylen	45—87	210—220	0,81—0,92	0,59—0,61
Fasern aus aliphatischen Heterokettenpolymeren:				
Polyoximethylen	—(70—80)	180	1,44—1,52	0,64
Polycaproamid	40—60	215	0,88—0,94	0,60
Polyhexamethylenadipamid	45—65	264	0,87—0,92	0,55
Polyenantamid	40—53	223—225	0,90—0,94	0,59
Polyhexamethylensebazinamid	35—60	226	0,88—0,95	0,59
Polyundecanamid	46—56	185—194	0,89—0,92	0,63—0,64
Polyurethan (aus Hexamethylen- diisocyanat und Butadiol)	keine Daten	180—183	—	0,64
Zellulose	220—370	zersetzt sich	0,45—0,59	—
Zellulosetriacetat	170—180	—	0,64—0,66	—
Fasern aus aliphatisch-aromatischen Heterokettenpolymeren:				
Polyäthylenterephthalat	80—100	265	0,79—0,88	0,55
Polycarbonat A	150	220—230	0,69	0,58—0,59
Fasern aus aromatischen Heterokettenpolymeren:				
Poly-m-phenylenisophthalamid	280—300	430—480	0,51—0,53	0,39—0,42
Poly-p-benzamid und Poly-p-phenylenterephthalamid	380—400	550—600 (unter Zersetzung)	0,43—0,45	0,34—0,37
Polyimid (aus Pyromellitsäure und Diaminodiphenyloxid)	360—385	zersetzt sich	0,45—0,46	—

gungen, beispielsweise der Schwingungs- oder Rotationsbewegungen funktioneller Seitengruppen auf. Das reicht zwar nicht für die Erhöhung der Deformierbarkeit des Systems aus, es kann jedoch bei Erhöhung der mechanischen Spannung die Potentialschranke der Verschiebung von Makromolekülgliedern überwinden werden, sodaß die Deformierbarkeit rasch ansteigt. Alexandrov und Lasurkin haben diese Deformationsart als erzwungen-elastische Deformation bezeichnet^{30,31}. Die Beweglichkeit der Kettensegmente von Polymeren hängt in diesem Bereich nicht nur von der Temperatur und der mechanischen Spannung, sondern auch von der Wirkungsdauer der Spannung ab. Mit der Zunahme der Spannung und der Wirkungsdauer verschiebt sich der Knickpunkt auf der thermomechanischen Kurve nach links. Diese Verschiebung

ist durch das Erreichen jener äußeren Belastung begrenzt, bei der die Festigkeitsgrenze der Probe überschritten und die Probe zerstört wird. Die minimale Temperatur, bei der die — zum Unterschied von der elastischen Deformation — zeitabhängigste Deformierbarkeit auftritt, ist die Sprödigkeitstemperatur. Sie liegt meist nahe dem nach der thermodynamischen Methode ermittelten Phasenübergang erster Ordnung.

Das Auftreten der von der Veränderung der Deformierbarkeit begleiteten Segmentbeweglichkeit bei minimaler Spannung entspricht dem Glaspunkt. Der Glaspunkt hängt in einem bestimmten Maße vom Ordnungsgrad der Struktur des Polymeren ab, was sich bei amorph-kristallinen Polymeren bei Ansteigen des Orientierungs- und des Kristallinitätsgrades be-

sonders deutlich zeigt. Der Grund dafür liegt darin, daß die Segmentbeweglichkeit in Molekülketten mit steigendem Ordnungsgrad abnimmt.

Über dem Glaspunkt befinden sich die aus amorphen Polymeren bestehenden Fasern bis zum Erreichen des Fließpunktes in hochelastischem Zustand. Der Übergang in den zähflüssigen Zustand ist ziemlich verwaschen, da in solchen Fasern viele Strukturgebilde mit unterschiedlichen Ordnungsgraden und verschiedenen zwischenmolekularen Wechselwirkungen vorliegen (Kurve 1). Deshalb stellen die Literaturangaben über die Schmelz- und Fließpunkte von Fasern aus amorphen Polymeren bedingte Werte dar, die von der jeweiligen Bestimmungsmethode abhängen.

Auf den thermomechanischen Kurven von Fasern aus amorph-kristallinen Polymeren treten Knickpunkte sowohl im Bereich des Glasumwandlungspunktes als auch im Bereich des Fließpunktes auf (Kurve 2). Je größer die Kristallisationsfähigkeit und je höher der Kristallinitätsgrad der Probe ist, umso weniger verändert sich die Deformierbarkeit im Bereich der Glas-temperatur.

Der Einsatzbereich von Fasern aus amorphen Polymeren ist, wie bereits gesagt, durch die Temperaturen T_b und $(0,85-0,9) T_g$ begrenzt. Je enger dieses Temperaturintervall ist, desto enger ist auch das optimale Einsatzgebiet solcher Fasern. Man kann dieses Gebiet durch Fasermodifizierung (Verringerung der Biegsamkeit der Makromoleküle oder Bildung zwischenmolekularer Vernetzungen) erweitern.

Bei Fasern aus amorph-kristallinen Polymeren ist die Rolle der kristallinen Bereiche analog jener der zwischenmolekularen Vernetzungen. Durch sie werden die (einzelnen) Makromolekülabschnitte verfestigt, so daß der Einsatzbereich der Fasern wesentlich über den Glaspunkt hinaus erweitert werden kann. So können sogar solche Fasern wie Polyäthylen-, Polypropylen- oder Polyformaldehydfasern, deren Glas-temperatur unterhalb 0°C liegt, bei einem Kristallinitätsgrad von 80 bis 95 % bis zu Temperaturen von 70 bis 110°C verwendet werden. Durch hohe Kristallinität wird die Struktur der Amorphbereiche beeinflußt; sie

wird geordneter, wodurch der Glaspunkt etwas erhöht wird.

Dessenungeachtet tritt bei langandauernder mechanischer Belastung selbst bei Fasern mit hoher Kristallinität (aber niedriger Glas-temperatur) ein irreversibles Fließen unter Last ein, das mit möglichem Abgleiten der Ketten im kristallinen Bereich zusammenhängt.

3. 2. Die Formstabilität der Fasern

Für die praktische Anwendung von Faserstoffen ist die Frage nach ihrer Formstabilität bei Dauergebrauch (Knitterechtheit, Faltenbeständigkeit) von überaus großer Bedeutung.

Wie schon erwähnt wurde, ist die Fixierung der Struktur und folglich auch der Stoffform nur bei Temperaturen, die unter dem Glaspunkt liegen, möglich. Das allein genügt jedoch nicht.

Wie man aus Tabelle 7 sieht, wird die Formstabilität von Fasern nur dann erreicht, wenn das Polymere bei optimalen, jedoch nicht zu hohen Werten für die Energie der zwischenmolekularen Wechselwirkung eine ausreichende Eigensteifigkeit der Ketten aufweist.

Untersuchen wir diese Frage am Beispiel einiger Faserarten, die für die Herstellung von Textilien Verwendung finden:

Fasern aus Polymeren mit biegsamen Ketten sowie mit geringen Werten für die Energie der zwischenmolekularen Wechselwirkungen und niedrigen Glas-temperaturen besitzen keine ausreichende Formbeständigkeit. Infolge des merklichen Kriechens sind solche Fasern (Polypropylen- und in etwas geringe-rem Maße Polyamidfasern, die sorbierte Feuchtigkeit enthalten) zu hoher Deformationsinversion, jedoch nicht zu einer guten Fixierung einer gegebenen Form befähigt.

Zellulose- und Polyvinylalkoholfasern besitzen eine verhältnismäßig hohe Glas-temperatur, die vor allem auf die starken zwischenmolekularen Wechselwirkungen zurückzuführen ist. Deshalb sind die beiden Faserarten zur mechanischen Verhärtung unter erzwungen-elastischen Deformationen fähig, wodurch

Tabelle 7: Die wichtigsten, die Formbeständigkeit der Fasern bestimmenden Faktoren (die Punktzahl ist dem Index proportional)

Faserbildende Polymere	Glas-temperatur ($^\circ\text{C}$)	Ketten-steifheit	inter-molekulare Wechsel-wirkung	Kristallinität	Wasser-aufnahme	Formbeständigkeit		
						kurzzeitig	langzeitig	bei hydro-thermischer Behandlung
Polypropylen	—(12—20)	0	0	000	—	00	0	0
Polyvinylchlorid (wenig kristallin)	75—82	00	00	0	0	0	0	0
Polyacrylnitril	75—100	000	00	00	0	000	00	00
Polyvinylalkohol	75—90*	0	000	000	00	00	0(00)**	0(00)**
Polycaproamid	40—60*	0	00	000	00	00	00	0
Zellulose	220—370*	0	000	00	000	0(00)**	0(00)**	0(00)**
Zellulose-triacetat	170—180*	000	0	00	00	00	00	00
Poläthylentere-phthalat	80—100	000	0	000	0	000	000	000

* nimmt bei Anwesenheit von Feuchtigkeit stark ab

** bei Behandlung mit Vernetzungsmitteln

ihre irreversible Deformation und schlechte Formbeständigkeit (Knitterneigung, geringe Faltenbeständigkeit) bedingt werden. Bei Anwesenheit von Feuchtigkeit (beide Polymere sind hygroskopisch) treten diese Erscheinungen stärker hervor, sodaß die aus diesen Fasern gefertigten Erzeugnisse zwar leicht, jedoch oft ohne Erfolg bügelbar sind.

Polyäthylenterephthalfasern haben etwa dieselbe Glastemperatur wie die PVA-Fasern, doch hängt sie in erster Linie von der Eigensteifigkeit der Ketten ab. Da das Energieniveau der zwischenmolekularen Wechselwirkung der Polyesterfasern nicht hoch ist, unterliegen diese Fasern praktisch kaum der mechanischen Verhärtung, ihre Deformationsreversibilität ist gut, sodaß die aus ihnen gefertigten Textilien gute Formbeständigkeit aufweisen. Die Faltenbildung gelingt nur schwer (d. h. nur bei hohen Temperaturen), die Faltenbeständigkeit ist aber gut. Den Polyesterfasern kommen die Polyacrylnitrilfasern nahe.

Viele andere Faserarten nehmen eine Zwischenstellung ein.

Zur Verbesserung der Formstabilität soll man Fasern mit optimaler Steifigkeit der Polymerketten, jedoch mit einem Glaspunkt, der wesentlich über Zimmertemperatur liegt, wählen.

In manchen Fällen kann die Formstabilität der Fasern und der aus ihnen gefertigten Erzeugnisse verbessert werden. So kann man zum Beispiel durch Blockieren der polaren funktionellen Gruppen der Zellulose (beispielsweise durch Acetylieren) oder des PVA (durch Behandeln mit Formaldehyd oder mit Benzaldehyd) die Kettensteifigkeit erhöhen, die zwischenmolekulare Wechselwirkung herabsetzen und die mechanische Verhärtung verringern. Gleichzeitig damit wird auch die Formstabilität der Fasern verbessert.

Bei Zellulose-, Polyvinylalkohol- und Polyamidfasern erzielt man durch begrenzte Vernetzung sehr gute Effekte. Schon bei geringem Anteil an vernetzten Stellen werden die erzwungene Elastizität und die mechanische Verhärtung herabgesetzt. Es muß erwähnt werden, daß die im Wollkeratin vorhandenen zwischenmolekularen Vernetzungen (Cystinbrücken) eine der wesentlichen Ursachen für die gute Formstabilität der Wollfasern bilden.

3. 3. Die Veränderung der Faserabmessungen bei Temperaturänderung

Die Temperaturabhängigkeit der Faserlänge (Dehnung, Schrumpfung) wird durch die Faserart und die Herstellungsbedingungen bestimmt, das heißt durch die Biegsamkeit der Polymerketten, die Packung in amorphen und kristallinen Strukturbereichen, die Größe der zwischenmolekularen Wechselwirkungen sowie die Konformationszusammensetzung der Makromoleküle. Der Mechanismus und die Größe der Faserdimensionsänderungen sind je nachdem, ob die Temperatur über oder unter dem Glaspunkt liegt, und je nach der Größe der äußeren Spannung unterschiedlich. Nachfolgend werden nur Erscheinungen, die ohne äußere mechanische Spannung stattfinden, kurz betrachtet.

Bei Temperaturen, die unterhalb des Glaspunktes liegen, das heißt, wenn keine Konformationsänderungen im Makromolekül erfolgen, findet eine thermische

Abhängigkeit der Gleichgewichtsschrumpfung der Fasern von der Temperatur (bei $\tau \rightarrow \infty$)

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_{\tau \rightarrow \infty} = C \exp\left(-\frac{\Delta E_a}{RT}\right)$$

Die Kinetik der Schrumpfung bei konstanter Temperatur ($T = \text{const.}$) wird durch einen kooperativen Relaxationsprozeß beschrieben:

$$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_{T = \text{const.}} = \sum_j \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)_j \cdot \left[1 - \exp(-b_j \cdot \tau)\right]$$

wobei: $\frac{\Delta l}{l_0}$ - Schrumpfung, C - Konstante, ΔE_a - Aktivierungsenergie der Schrumpfung, R - allgemeine Gas-konstante, T - abs. Temperatur, b_j - zeitabhängige Schrumpfkons-tante, τ - Zeit bedeuten.

Abb. 4

Ausdehnung der Fasern statt, die mit der durch Zunahme der Schwingungsintensität der Atome und Atomgruppen bedingten Änderung der zwischenatomaren Abstände in Zusammenhang steht. Die Anisotropie der zwischenatomaren und zwischenmolekularen Wechselwirkungen führt zur Anisotropie der Schwingungsintensität und folglich zu einer beträchtlichen Anisotropie des Koeffizienten der thermischen Ausdehnung. Diese Dimensionsänderungen sind jedoch nicht sehr groß und spielen in den meisten Fällen — außer bei Verstärkungsfasern — praktisch keine Rolle.

Oberhalb des Glaspunktes basiert die temperaturabhängige Längenänderung der Fasern (Schrumpfung, Dehnung) auf der Konformationszusammensetzung der Makromoleküle, die ihrerseits von der Art des Polymeren und von den Herstellungsbedingungen abhängt. Die Biegsamkeit der Polymerketten, ihre Packung in den amorphen und kristallinen Struktur-bereichen, die Höhe der zwischenmolekularen Wechselwirkungen sowie das Gleichgewicht der Faserstruktur sind die wichtigsten Faktoren, die die Längenänderung bei thermischer Einwirkung bestimmen.

Die Fasern können nur in hochelastischem Zustand, das heißt nur oberhalb des Glaspunktes schrumpfen. Die Schrumpfung steht in exponentieller Abhängigkeit von der Temperatur und der Einwirkungs-dauer, was aus der in Abbildung 4 gezeigten Abhängigkeit ersichtlich ist.

Zahlreiche Untersuchungen des Schrumpfprozesses³²⁻³⁶ haben gezeigt, daß die angeführten Formeln den Schrumpfungsvorgang ausreichend beschreiben.

In der Abbildung 5 sind beispielsweise Kurven für die Schrumpfkinetik von Polyamid und Polyesterfasern gebracht³⁷.

turen, die dem Schmelzpunkt nahe liegen, fast keine Schrumpfung. Das wurde am Beispiel von hochorientierten PVA-Fasern gezeigt^{36, 39}, deren Schmelzpunkt bei 225 bis 230°C liegt, und die bis 200°C fast gar nicht schrumpfen.

Eine wirksame Methode zur Veränderung der Schrumpfeigenschaften von Fasern ist ihre Vernetzung, was an einer Reihe von Polymeren eingehend untersucht wurde. Das kann an mit Dicarbonsäuren oder mit Dialdehyden vernetzten PVA-Fasern gut verfolgt werden³⁹. Gut bekannt ist auch die Verringerung der Schrumpfung von Zellulose regeneratfasern durch Behandeln mit polyfunktionellen Verbindungen.

Polymere mit höchster Kettensteifigkeit können eine derart geringe Freiheit der Konformationsübergänge besitzen, daß sich sogar ihre Entropie beim Erwärmen verringert. Bei nicht vollständig auskristallisierten Proben kann die Verringerung der Entropie bei hohen Temperaturen durch die Änderung des Wärmeinhalts überdeckt werden, falls die zwischenmolekularen Wechselwirkungen ausreichend groß sind. Die Verringerung der Entropie führt zu einer spontanen Dehnung der Faser sowie zu einer Erhöhung des Ordnungsgrades ihrer Struktur. Diese spontane Dehnung ist in einigen Fällen bei Triacetatfasern, bei aromatischen Polyamidfasern sowie bei einigen anderen Fasern bekanntgeworden⁴⁰.

3.4. Die Temperaturabhängigkeit der Festigkeit und der Lebensdauer von Fasern und Faserstoffen

Die Dauer der Gebrauchsfähigkeit von Faserstoffen wird in den meisten Fällen nicht durch die Festigkeit, sondern durch die Gebrauchsfähigkeit bei vorgegebener Spannung und Temperatur bestimmt.

Aus der Fülle der bei den Untersuchungen von Festigkeit und Lebensdauer fester Körper gesammelten Erfahrungen entstand die (kinetische) Thermofluktuationstheorie der Festigkeit. Diese in den Arbeiten von Shurkov, Bartenev und Mitarbeiter^{41, 42} dargelegte Theorie gab eine gänzlich neue Konzeption der Zerstörung von festen Körpern, darunter auch die von Fasern. Es wurde gezeigt, daß die Zerstörung nicht unter Einwirkung mechanischer Spannungen als solcher erfolgt, sondern infolge der thermischen Fluktuationen, die in den einzelnen Strukturbereichen entstehen, auf die zusätzlich mechanische Spannungen einwirken. Somit ist die mechanische Zerstörung ein typischer Thermoaktivierungsprozeß, in dem die Energie von der Größe der mechanischen Spannung abhängt.

Die Thermofluktuationstheorie der Zerstörung fester Körper operiert — zum Unterschied von den üblichen Methoden zur Untersuchung mechanischer Eigenschaften — mit dem Begriff „Lebensdauer bei gegebener mechanischer Spannung“ und nicht mit der „Festigkeit bei gegebener Versuchsdauer“, obwohl zwischen den beiden Größen ein Zusammenhang besteht.

Die Abhängigkeit der Lebensdauer fester Körper von den Zerstörungsbedingungen (statischer Spannung, Dauer und Temperatur) wird durch die in Abbildung 7 gezeigte Formel beschrieben. Hier wird auch ihre Auflösung für die Festigkeit des Körpers bei vorgegebener Lebensdauer (Versuchsdauer) gegeben.

Die Lebensdauer der Fasern (τ_p)

$$\tau_p = \tau_0 \cdot \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT}\right)$$

Die Bruchspannung entsprechend der vorgegebenen Lebensdauer:

$$\sigma = \frac{U_0}{\gamma} - \frac{RT}{\gamma} \ln \frac{\tau_p}{\tau_0}$$

Mit Hilfe des Kriteriums von Beyle kann der Reißprozeß summiert werden:

$$\int_0^{\tau_p} \frac{d\tau}{\tau[\sigma(\tau)]} = 1$$

worin τ_0 -Konstante, U_0 -Aktivierungsenergie des mechanischen Reißens der Bindungen, σ -mechanische Spannung, γ -Strukturkoeffizient, R -allgemeine Gaskonstante, T -absolute Temperatur und τ -Zeit sind.

Abb. 7

Es wird im Rahmen der Thermofluktuationstheorie der Festigkeit von Festkörpern gezeigt, daß sich die elementaren Zerstörungsakte summieren. Wird die Spannung geändert oder ihre Einwirkung aufgehoben, so summiert sich deshalb die Zerstörung bei neuerlicher Belastung mit den vorhergehenden Stadien⁴¹. Dem trägt das in derselben Abbildung angegebene Kriterium von Beyle Rechnung.

Je nach den Untersuchungsbedingungen bei der Faserbelastung erhält man für die Höhe der Bruchspannung etwas voneinander abweichende Werte. Mit Hilfe des Kriteriums von Beyle kann man die nach verschiedenen Methoden ermittelten Festigkeitswerte umrechnen und die ihnen äquivalente Festigkeit bei konstanter Spannung ermitteln.

Durch die Anwendung der Thermofluktuationstheorie war es möglich, die Zerstörung von orientierten Polymeren, darunter von Cherniefasern, eingehend zu untersuchen. Die Ergebnisse werden in einer Reihe von Arbeiten^{4, 5, 9, 11, 20, 21, 41-43} ausführlich behandelt.

Es wird in diesen Arbeiten gezeigt, daß die Zerstörung von Fasern unter mechanischer Spannung analog dem thermischen Kracken von Fasern ist und nach dem Freiradikalmechanismus verläuft. Einer der Beweise dafür ist, daß die Aktivierungsenergien des thermischen Krackens und der mechanischen Zerstörung gleich sind und mit den Energiewerten der Dissoziation schwächster chemischer Bindungen der Kette gut übereinstimmen. Die entsprechenden Werte sind bereits in Tabelle 3 gebracht worden. Die Untersuchungen der Abhängigkeit der Lebensdauer und der Festigkeit der Fasern von der Temperatur sind an einer großen Zahl von Fasern untersucht und daraus die Koeffizienten, die in die Formel für die Lebensdauer eingehen, errechnet worden^{20, 21, 41}. Einige Werte für verschiedene Fasern bringt die Tabelle 9.

Tabelle 9: Koeffizienten in der Formel für Lebensdauer

Art der Fasern	U_0 , kJ/mol	γ , kJ · mm ² /mol · kp
Polypropylen	230—234	2,68
Polyvinylchlorid	147—151	3,14
Polyacrylnitril	200—214	2,46
Polycaproamid	172—204	1,1—1,8
Polyäthylenterephthalat	222	2,6
Zellulosehydrat	167	1,05—1,63
Polymetaphenylenisophthalamid	155	2,93
Poly-p-phenylenterephthalamid	188	1,26
Poly-p-benzamid	235	0,84

Die mechanische Spannung teilt sich ungleichmäßig auf die Polymerketten und ihre zwischenatomaren Bindungen auf. In kristallinen (geordneten) Bereichen ist die Spannungsverteilung ziemlich gleichmäßig, es entfällt auf jedes der Polymermoleküle ein relativ kleiner Anteil der Gesamtlast. Deshalb wird der Abbau im kristallinen Bereich nur geringfügig aktiviert.

Die größten Spannungen entfallen auf die tragenden Ketten der amorphen Bereiche.

Wie die Formänderung und Verschiebung der Absorptionsmaxima von IR-Spektren zeigen, wachsen beim Belasten von orientierten Polymeren die Spannungen an tragenden Ketten proportional der mechanischen Gesamtspannung⁴¹. Die maximalen Spannungen erreichen an einzelnen Ketten Werte, die nahe an die Bruchwerte herankommen, wodurch die Aktivierungsschranke entsprechend der oben angeführten Formel stark herabgesetzt wird.

Dabei führen schon unbedeutende Wärmefluktuationen zur Zerstörung der Polymerketten. Somit ist die

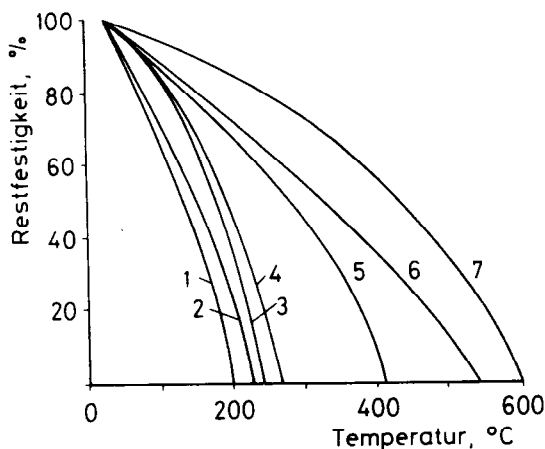


Abb. 8: Die Abhängigkeit der Faserfestigkeit von der Temperatur

- 1 — Polyacrylnitril
- 2 — Polyvinylalkohol
- 3 — Nylon 66
- 4 — Polyester
- 5 — Fenilon, Nomex
- 6 — Arimid
- 7 — PBI

Wirkung mechanischer Spannungen in einem gewissen Maße der Abnahme der Temperatur des thermischen Krackens äquivalent. Einige Angaben zur Temperaturabhängigkeit der Faserfestigkeit bringt die Abbildung 8.

Entsprechend der oben angeführten Formel muß die Temperaturabhängigkeit der Faserfestigkeit durch eine Gerade wiedergegeben werden. Dies trifft für amorphe Polymere für den Temperaturbereich, der den Glaspunkt nicht übersteigt, sowie für amorph-kristalline Polymere für Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes auch tatsächlich zu.

Je geordneter die Struktur und je höher der Kristallinitätsgrad ist, umso mehr und in einem umso breiteren Temperaturbereich nähert sich die Abhängigkeit einer Geraden.

4. Änderungen der Fasereigenschaften infolge der bei der thermischen Einwirkung stattfindenden chemischen Reaktionen

4.1. Thermischer Abbau und Thermooxidation. Wärmebeständigkeit der Fasern

Einer der wichtigsten Kennwerte von Chemiefasern ist ihre Wärmebeständigkeit, die die Geschwindigkeit des thermischen und des thermooxidativen Abbaus charakterisiert.

Oft kennzeichnet man die Wärmebeständigkeit eines Polymeren durch die Temperatur, bei der seine Zersetzung stattfindet. Das ist nicht ganz richtig, denn es werden dabei die Einwirkungsdauer und das umgebende Medium nicht berücksichtigt. Es ist trotzdem sinnvoll, ungefähre Temperaturen zu nennen, auf die man die Polymeren einige Minuten lang erhitzen kann, ohne daß sie dem thermischen sowie dem thermooxidativen Abbau unterliegen (siehe Tab. 10). Die Tabelle enthält gleichzeitig auch die Schmelztemperaturen der Polymere.

Dem thermischen wie dem thermooxidativen Abbau von Polymeren sind viele Untersuchungen gewidmet,

Tabelle 10: Einige Thermostabilitätskennwerte von faserbildenden Polymeren

Polymere	thermische Zersetzungstemperatur (°C)	Schmelztemperatur (°C)
Polyäthylen	350—400	138
Polypropylen	350—380	176
Polyacrylnitril	200—250	320
Polyvinylchlorid	150—200	170—220
Polyvinylalkohol	200—220	225—230
Polycaproamid	300—350	215
Polyäthylenterephthalat	300—350	265
Zellulose	180—220	—
Zelluloseacetat	200—230	—
aromatische Polyamide	500—700	—
graphitähnliche Strukturen	2600—3000	3600

über die in zahlreichen Monographien und Übersichtsartikeln^{17-19, 29, 44-53} berichtet wurde.

Es werden in allen diesen Arbeiten der Mechanismus und die Kinetik der in den Polymerketten ablaufenden Reaktionen sowie die Bildung von Abbauprodukten eingehend untersucht. Sie alle beschäftigen sich jedoch nur in geringem Umfang mit den Anfangsstadien dieser Prozesse, wo es zu einer wesentlichen Veränderung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Fasern kommt und wo chemische Veränderungen aber noch kaum merklich sind.

Vorgänge, die bei lang andauernder Temperatureinwirkung auf Chemiefasern stattfinden, verlaufen hauptsächlich nach dem Radikalmechanismus. Sie sind sehr kompliziert und stark vom Medium abhängig, in dem die Fasern erhitzt werden. Bei Sauerstoffabwesenheit (in Inertgasatmosphäre oder im Vakuum) findet der thermische Abbau statt. Für viele Polymere, besonders für Carbokettenpolymere, sind folgende Prozesse charakteristisch:

1.) *Kettenabbruch unter Abnahme des Polymerisationsgrades*

Der thermische Abbau findet an den schwächsten Bindungen statt und kann entweder nach dem Zufallsgesetz oder durch Abspaltung der endständigen Monomerglieder erfolgen. So kann beispielsweise beim Abbau von Polyäthylen der Zerfall an beliebiger Stelle des Makromoleküls (am wahrscheinlichsten an Stellen der seitlichen Verzweigungen) erfolgen, beim Abbau von Polytetrafluoräthylen werden meist die Endglieder unter Monomerbildung abgespalten.

2.) *Abspaltung niedermolekularer Verbindungen unter Entstehen von Mehrfachbindungen in der Kette*

Auf diese Weise erfolgt die Dehydratisierung von Polyvinylalkohol oder die Dehydrochlorierung von Polyvinylchlorid.

3.) *Abspaltung funktioneller Seitenketten*

Beim Erhitzen der Acetylzellulose werden zum Beispiel Essigsäure und Essigsäureanhydrid frei.

4.) *Bildung zwischenmolekularer Vernetzungen unter Freiwerden niedermolekularer Reaktionsprodukte*

So hat man bei längerem Erhitzen von Polypropylen, Polyvinylalkohol und einigen anderen Polymeren neben den Abbauprozessen auch die Bildung von zwischenmolekularen Brücken beobachtet.

Für Heterokettenpolymere sind Umesterungen und Umamidierungen, die neben dem Abbau der Polymerketten verlaufen und von einem Ausgleich der Molekulargewichtsverteilung begleitet werden, charakteristisch. Bei Anwesenheit von Wasser, Alkoholen und anderen niedermolekularen Verbindungen ist für solche Polymere auch der hydrolytische Zerfall charakteristisch, der sowohl von einer Abnahme des DP als auch von der Abspaltung von Monomergliedern begleitet wird. Besonders deutlich wird das bei Polyamiden und Polyestern, die aus Aminosäuren bzw. Oxisäuren erhalten werden, die cyclische Lactame bzw. Lactone bilden.

Beim Abbau von Polyacetalen (z. B. Polyformaldehyd) finden ebenfalls die Abnahme des Polymerisations-

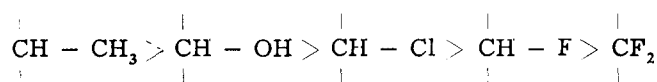
grades und die Abspaltung des entsprechenden Aldehyds statt.

Durch Spuren von Feuchtigkeit oder anderen Fremdstoffen wird der thermische Zerfall katalysiert. So werden die Dehydrochlorierung, die Dehydratisierung und die Decyanierung durch saure und alkalische Beimengungen wesentlich beschleunigt. Dies wurde zum Beispiel eingehend für die Dehydratisierung von Polyvinylalkohol und Zellulose untersucht. Die Dehydrochlorierung von Polyvinylchlorid erfolgt autokatalytisch infolge der Bildung von HCl. Anhand des gegenwärtig Bekanntesten kann man einige Forderungen an die Struktureigenschaften formulieren, deren Erfüllung für die maximale Wärmebeständigkeit von Polymeren und Fasern erforderlich ist:

- 1.) die maximale Energie der zwischenatomaren Bindungen innerhalb der Polymerkette,
- 2.) die maximale Einheitlichkeit der Molekularstruktur. Schwache Bindungen sollen gänzlich fehlen oder in nur minimalem Ausmaß vorhanden sein,
- 3.) der maximale Anteil an Systemen mit konjugierten Bindungen, besonders an aromatischen Strukturen — der maximalen Wärmebeständigkeit entspricht ein durchgehend konjugiertes System —,
- 4.) das Vorhandensein von heterocyclischen Gruppierungen mit Stickstoff und Sauerstoffatomen, durch die der Anteil an Wasserstoffatomen verringert wird,
- 5.) die minimale Länge der aliphatischen Abschnitte in aliphatisch-aromatischer Polymeren,
- 6.) das Fehlen von „Gelenknoten“ in der Polymerkette, die ihr Biegsamkeit verleihen — bei der Bildung von „Leiterstrukturen“ nimmt die Wärmebeständigkeit stark zu —,
- 7.) die Bildung zwischenmolekularer Vernetzungen oder dreidimensionaler Strukturen, sowohl kovalenter als auch ionischer oder Chelatstrukturen,
- 8.) der minimale Gehalt an leicht abspaltbaren Gruppierungen, darunter auch an leicht abspaltbaren funktionellen Seitengruppen,
- 9.) das Vorhandensein von funktionellen Gruppen sowie das Vorliegen einer Makromolekülkonformation, die die maximale intermolekulare Wechselwirkung gewährleistet (Wasserstoffbindungen, nahe und coplanare Anordnung cyclischer aromatischer Glieder oder Gruppen).

Bei Anwesenheit von Luftsauerstoff kommt es neben thermischer Zersetzung auch zu Oxidationsreaktionen, die sowohl zu Molekülkettenbrüchen als auch zur Bildung verschiedener, Sauerstoff enthaltender funktioneller Gruppen (Aldehyd-, Peroxidgruppen u. a.) führen²⁹⁻³⁴.

Bei Oxidationsreaktionen greift der Sauerstoff vor allem jene funktionellen Gruppen des Moleküls an, die eine höhere Elektronendichte besitzen⁵⁴. So nimmt zum Beispiel die Neigung der aliphatischen Polymere zur direkten Oxidation in der nachstehenden Reihenfolge ab:



Verbindungen mit Heteroketten (Amide, Äther, Ester)

sind auch zur Oxidation über Heterogruppen befähigt. Ihre relative Oxidierbarkeit nimmt in der Reihenfolge



ab.

Ein Vergleich der Verbindungen der aliphatischen und der aromatischen Reihen zeigt, daß letztere wesentlich oxidationsbeständiger sind.

Die Thermooxidationsbeständigkeit wird aber nicht nur durch die Möglichkeit einer direkten Oxidation durch Sauerstoff oder andere Oxidationsmittel charakterisiert, denn die Oxidationsprozesse können sich auch als Sekundärreaktionen abspielen. So entstehen zum Beispiel bei der Dehydrochlorierung oder bei der Dehydratisierung Doppelbindungen, die vom Sauerstoff leicht angegriffen werden, wobei zunächst Peroxidgruppen gebildet und dann die Ketten abgebaut werden. Eventuell vorhandene konjugierte Doppelbindungen (außer den aromatischen Konjunktionen) führen häufig zu einer zusätzlichen Stabilitätschwächung des Systems.

Der thermooxidative und der hydrolytische Abbau finden in der Regel bei niedrigeren Temperaturen als die thermische Zersetzung statt. Um die Geschwindigkeit dieser Prozesse stark herabzusetzen, verwendet man vielfach Antioxidantien oder Thermostabilisatoren, die entweder als Antikatalysatoren wirken oder die gebildeten Peroxidgruppen dort, wo üblicherweise die Oxidation beginnt, zerstören, oder aber bei der Oxidation mit den Polymeren in Konkurrenz treten.

Der thermische ebenso wie der thermooxidative Abbau werden von der übermolekularen Struktur der Fasern stark beeinflusst.

Die Wechselwirkung der Ketten in den dicht gepackten Strukturbereichen (der kooperative Effekt) führt zur Erhöhung der Energie des Kettenbruchs und folglich zur Abnahme der Geschwindigkeit des thermischen Abbaus.

Derselbe Kooperativeffekt sowie die fixierte Lage der Ketten in festen Polymeren erhöhen die Bedeutung der Rekombinationsreaktionen, die die Geschwindigkeit des thermischen Abbaus herabsetzen.

Bei höherer Packungsdichte der Ketten wird das Ein-

dringen des Sauerstoffs erschwert, es entstehen sterische Hindernisse, die die Oxidation hintanhalt.

Am meisten sind dem thermischen und thermooxidativen Abbau die amorphen Bereiche ausgesetzt.

Es folgt aus dem Gesagten, daß in kristallinen, hochorientierten Polymeren der thermische und thermooxidative Abbau wesentlich langsamer verlaufen, was einer Erhöhung der Wärmebeständigkeit gleichkommt.

Der thermische und thermooxidative Abbau sowie der hydrolytische Zerfall von Polymeren wird insbesondere durch äußere mechanische Spannungen in starkem Maße aktiviert. Eine der Ursachen dafür ist, wie bereits gesagt wurde, der Übergang gespannter Bindungen der Polymerkette in den aktivierten Zustand, der von einer Umverteilung der Elektronendichte begleitet wird. Dieser Zustand, der einem katalytischen Effekt gleichgesetzt werden kann, trägt wesentlich zur Faserzerstörung bei.

Es werden beim thermischen und thermooxidativen Abbau gewöhnlich chromophore Gruppierungen gebildet, durch die die Polymeren einen gelblichen oder bräunlichen Farbton erhalten. Als Chromophore fungieren Systeme mit konjugierten Mehrfachbindungen, insbesondere in Verbindung mit Aldehydgruppen. Deshalb ist die Verfärbung von Polymeren ein erstes Anzeichen von thermischen Nebenprozessen.

Die Veränderung des Polymerisationsgrades beim thermischen und thermooxidativen Abbau der Polymere führt zu einer wesentlichen Veränderung der Festigkeit sowie anderer physikalisch-mechanischer Eigenschaften von Fasern.

Die Veränderung der mechanischen Fasereigenschaften, vor allem der Festigkeit bei längerem Erhitzen, stellt meist eine geeignete Methode zur Beurteilung der Wärmebeständigkeit der Fasern dar. Es werden dabei für gewöhnliche Fasern Temperaturen um 150 bis 175°C und für thermostabile Fasern um 300°C angewandt. Abbildung 9 zeigt die zeitabhängige Veränderung der Festigkeit von drei Fasertypen bei 175°C, woraus man ersehen kann, daß konventionelle Fasern aus nicht thermostabilen Polymeren ihre Eigenschaften ziemlich rasch verändern⁵⁵.

Für den langdauernden Gebrauch sind viele Fasern aus wärmebeständigen Polymeren vorgeschlagen worden, deren Eigenschaften in einer Reihe von Arbei-

Tabelle 11: Die wichtigsten Eigenschaften einiger thermostabiler Fasern

Faserart	Dichte (g/cm ³)	Festigkeit (p/tex)	Dehnung (%)	Deformationsmodul (kp/mm ²)	Wärmebeständigkeit bei 300° C	Thermostabilität bei 300° C nach 100 h (%)	Wasseraufnahme bei 65 % rel. Luftfeuchte und 20° C (%)
Fenilon, Nomex	1,37—1,38	45—56	15—20	1000—1850	40—50	50—55	4—5
Sulfon	1,45—1,46	35—40	15—20	600	50—55	60—70	5—5,5
Arimid	1,41—1,42	40—65	6—10	900—1200	50—60	50—65	1—1,5
Oxalon	1,40—1,43	40—60	3—8	3000—5400	50—55	75—85	2—3
PBI	—	45	23	1500	90	—	10—13
Kynol	—	15	20	—	—	—	—
Kermel	1,34	36—45	10—20	—	—	—	2—3

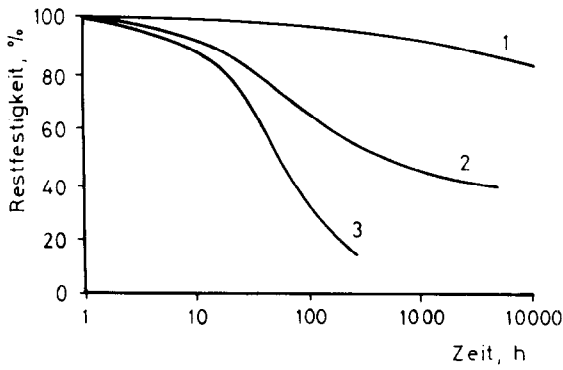


Abb. 9: Die Abhängigkeit der Faserrestfestigkeit von der Dauer des Erhitzens an der Luft bei 175° C
 1 — Nomex
 2 — Polyäthylenterephthalat
 3 — Nylon 66

ten⁹⁻¹⁹ beschrieben und in Tabelle 11 zusammengestellt sind. Man sieht aus dieser Tabelle, daß viele Fasern ein hinreichend hohes Niveau der mechanischen Eigenschaften besitzen. Die thermische Alterung dieser Fasern verläuft wesentlich langsamer als jene der gewöhnlichen Fasern, was man aus Abbildung 10 ersehen kann.

4. 2. Abschätzung der Grenzwärmebeständigkeit (Nullfestigkeitstemperatur) von Fasern

Frühere Untersuchungen befaßten sich insbesondere mit der Abschätzung der erreichbaren Faserfestigkeit in Abhängigkeit von den gegebenen Parametern: Temperatur, Zeit und Bedingungen der Deformation. Die in diesen Arbeiten^{4-6, 20, 21} erhaltenen Ergebnisse haben eine prinzipielle Grenze der mechanischen Eigenschaften von ideal geordneten orientierten Polymeren (Fasern) aufgezeigt. Eine nicht geringere Bedeutung kommt dem Auffinden der prinzipiellen Grenze für die Wärmebeständigkeit von Fasern aus verschiedenen Polymeren bei unterschiedlicher Temperatureinwirkungsdauer zu.

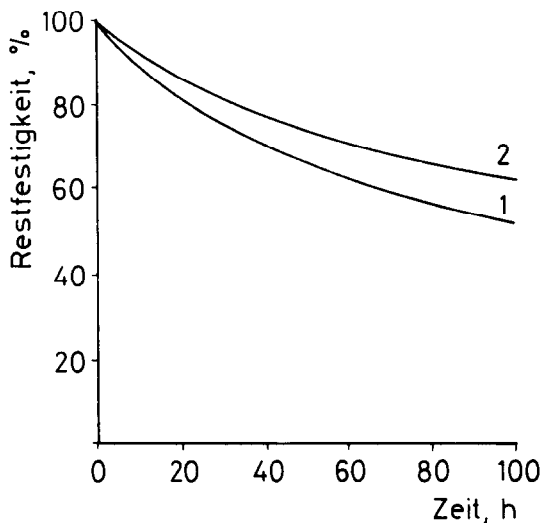


Abb. 10: Änderung der Faserfestigkeit in Abhängigkeit von der Behandlungsdauer bei 300° C
 1 — Fenilon
 2 — Arimid

Tabelle 12: Abschätzung der Grenzwärmebeständigkeit von Polymeren mit verschiedener Energie der chemischen Bindungen

Zeit	Bindungsenergie kJ/mol					
	100	200	400	600	800	1000
Temperatur der Thermobeständigkeit, T°abs.						
10 sec	370	740	1480	2230	2970	3710
1 h (3600 sec)	310	620	1240	1860	2480	3100
100 h (3,6 · 10 ⁵ sec)	280	560	1120	1680	2240	2800
10 000 h (3,6 · 10 ⁷ sec)	250	500	1010	1510	2020	2520

Aufgrund der Veränderung der Faserfestigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur kann man die Grenzwärmebeständigkeit von Fasern als diejenige Temperatur bezeichnen, bei der die Festigkeit gleich Null wird. Dazu kann man sich der Thermofluktationsfestigkeitstheorie sowie der in Abbildung 7 gebrachten Formeln bedienen.

Ein bestimmtes Interesse kommt auch der zahlenmäßigen Abschätzung der Grenzwärmebeständigkeit von Polymeren und Fasern zu, die unterschiedliche Strukturen und dementsprechend unterschiedliche Energien der zwischenatomaren Bindungen in den Ketten (Schichten) besitzen. Zu diesem Zweck nehmen wir Zeiten von 10 sec bis 100.000 h und Bindungsenergien zwischen 100 und 1000 kJ/mol.

Die errechneten Werte sind in Tabelle 12 sowie in Abbildung 11 gebracht. Sie zeigen, daß Polymere, deren Bindungsenergie um 100 kJ/mol liegt, selbst bei Zimmertemperatur nicht lange existieren konnten.

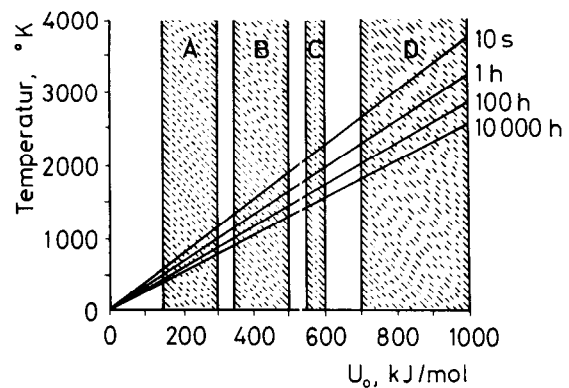


Abb. 11: Annähernde Temperaturen der thermischen Zersetzung verschiedener Polymergruppen
 A — Linearstrukturen D — Schicht- und dreidimensionale Strukturen
 B — Leiterstrukturen
 C — Polyenstrukturen

Die höchste Wärmebeständigkeit besitzen Polymere mit parkettartiger oder dreidimensionaler Struktur, die bei Abwesenheit von fremden Agenzien, insbesondere von Luftsauerstoff, hohe Temperaturen (bis 2000° K) aushalten können.

5. Die Einwirkung hoher Temperaturen auf Fasern und Faserstoffe

5.1. Pyrolyse

Die Untersuchung der Faserpyrolyse (einer tiefgreifenden thermischen Zersetzung bei Sauerstoffabwesenheit) erlangte eine große Bedeutung sowohl im Zusammenhang mit der Ausarbeitung von Methoden zur Herstellung von Kohlenstofffasern als auch mit der Entflammbarkeit und Brennbarkeit der Fasern.

Die Pyrolyse von Polymeren wird von der Überlagerung zweier konkurrierender Prozesse begleitet: es werden erstens beim thermischen Abbau flüchtige kohlenstoffhaltige Produkte gebildet und freigesetzt, zweitens wird infolge der Kondensation ein polymerisiertes aromatisiertes Verkohlungsprodukt synthetisiert, das bei weiterem Erhitzen teils in flüchtige Produkte, teils in Koksrückstand übergeht.

Die chemischen und physikalisch-chemischen Aspekte der Pyrolyse wurden eingehend in den Arbeiten⁵⁶⁻⁵⁹ unter Anwendung der Differentialthermoanalyse, der Thermogravimetrie, Chromatographie, Massenspektroskopie und anderer Methoden untersucht.

Der Ablauf der Faserpyrolyse muß in vielen Fällen unter dem Aspekt der Erhaltung der Faserstruktur und eines bestimmten Niveaus der mechanischen Eigenschaften betrachtet werden, ohne die die Anwendung einiger Faserstoffe unmöglich wäre. Auf diesem Gebiet liegen relativ wenige Untersuchungen vor.

Die Art der Ausgangsfaser und die Pyrolysebedingungen sind für die Änderung der Faserform und der mechanischen Eigenschaften maßgebend. Je geringer der Gehalt an Wasserstoff, an aliphatisch gebundenem Kohlenstoff und je größer der Gehalt an aromatischen Strukturen ist, umso höher ist der faserige Koksrückstand. Bei Bildung großer Mengen an flüchtigen Pyrolyseprodukten (über 80—90 %) bleibt die Faserstruktur der Probe nicht mehr erhalten.

Die Mehrheit der Chemiefasern erleidet eine tiefgehende Pyrolyse, wobei große Mengen flüchtiger Produkte freigesetzt und nur unbedeutende Mengen Koksrückstand gebildet werden^{48, 56}. Nur einige wenige Faserarten hinterlassen nach der Pyrolyse einen größeren Koksrückstand — sie bilden die Ausnahme (siehe Tab. 13).

Die Faserform kann nur dann erhalten bleiben, wenn die Pyrolysetemperatur unter der Schmelztemperatur (Fließtemperatur) des Polymeren bleibt, die sich dauernd in dem Maße ändert, wie die Struktur der Probe verändert wird. Fasern, die im Temperaturbereich zwischen 300 und 400° C schmelzen, verlieren

ihre Form schon zu Beginn der thermischen Zersetzung.

Es gelingt bei einigen Faserarten durch das Einführen von zwischenmolekularen Vernetzungen oder durch die Bildung von cyclischen Strukturen vor der Pyrolyse oder während ihres Anfangsstadiums den Schmelzpunkt der Fasern anzuheben oder sogar ihre völlige Unschmelzbarkeit zu erreichen. So führt die langsame Oxidation von Polyacrylnitrilfasern zur Bildung konjugierter Ringe, wodurch die Pyrolysebeständigkeit der Fasern wesentlich erhöht werden kann.

Durch die Dehydratisierung von Polyvinylalkoholfasern und die Dehydrochlorierung von Polyvinylchloridfasern kommt es zur Bildung von Polystrukturen und teilweise von zwischenmolekularen Vernetzungen, wodurch es möglich ist, die Faserform sowie ein bestimmtes Niveau der Fasereigenschaften aufrechtzuerhalten.

Fasern aus vollaromatischen Polymeren, deren Schmelztemperatur über der Temperatur des thermischen Zerfalls liegt, behalten am besten ihre Form und das Eigenschaftsniveau²⁻⁹.

Es kommt bei der Faserpyrolyse wegen der bedeutenden Strukturumgestaltung und des Masseverlustes zu einer starken Längs- und Querschrumpfung, die am Beispiel von Zellulose regenerat-, PAN-, PVC-, Phenolformaldehyd- und anderen Fasern gründlich untersucht wurden. Als Beispiel ist die Schrumpfung einiger Fasern in Abbildung 12 gezeigt⁵⁶.

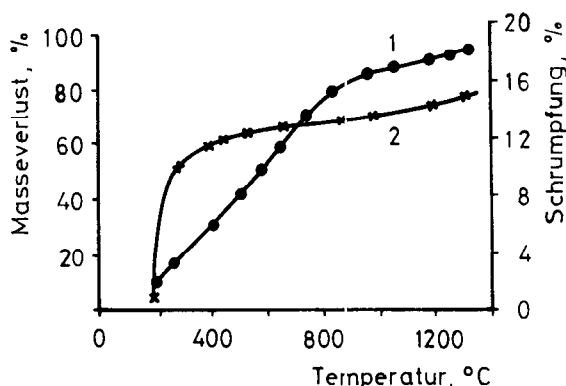


Abb. 12: Masseverlust (1) und Schrumpfung (2) der Viskosefaser in Abhängigkeit von der Pyrolysetemperatur

Die minimale Schrumpfung und die Aufrechterhaltung eines bestimmten Niveaus der mechanischen Fasereigenschaften sind nur dann möglich, wenn während der Pyrolyse die Glastemperatur des Polymeren, die mit der Veränderung der Faserstruktur steigt, nie überschritten wird.

Die während der Pyrolyse stattfindende Umgestaltung der Faserstruktur wird von einer krassen Verschlechterung der mechanischen Fasereigenschaften begleitet, was man aus Abbildung 13 ersehen kann.

Die Festigkeit von zum Beispiel Zellulose regenerat- und Polyacrylnitrilfasern nimmt im Temperaturbereich von 300 bis 400° C bis auf einige kp/mm² ab und steigt mit zunehmender Temperatur und Ausbildung der Kohlenstoffstruktur rasch an⁵⁶. Ähnliche

Tabelle 13: Der Koksrückstand bei der Faserpyrolyse (Temperatur 600° C)

Hydratzellulose (nachbehandelt)	20—25 %
Fenilon, Nomex	21—27 %
Kynol	30—35 %
PVC-Faser	34—39 %
PAN-Faser	45—59 %
Carbonfaser	75—95 %

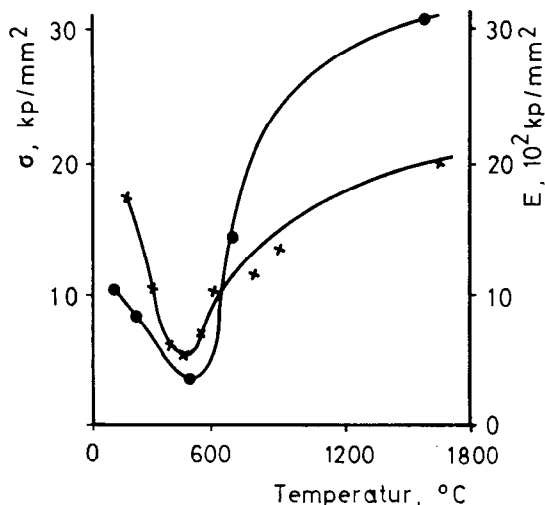


Abb. 13: Der Einfluß der Pyrolysetemperatur auf die Veränderung des Moduls (1) und der Festigkeit (2) von Viskosefasern

Ergebnisse wurden auch bei der Pyrolyse anderer karbonisierender Fasern erhalten. Der Festigkeitsabfall ist jedoch bei der Pyrolyse von Fasern aus nichtschmelzenden aromatischen Polymeren geringer.

5.2. Die Entflammbarkeit von Fasern und Faserstoffen

Die Faserentflammbarkeit hängt in bedeutendem Maße vom chemischen Aufbau der Fasern, in einem bestimmten Maße aber auch von der übermolekularen Struktur ab. Man kann einige Struktureigenheiten aufzählen, die für die Erreichung der minimalen Entflammbarkeit erforderlich sind:

- 1.) ein minimaler Gehalt an Wasserstoff, insbesondere an aliphatisch gebundenem Wasserstoff, sowie an anderen oxidierbaren funktionellen Gruppen,
- 2.) die maximale zwischenatomare Bindungsenergie in der Kette, das Vorhandensein von konjugierten Doppelbindungen und von aromatischen Strukturen,
- 3.) die Anwesenheit von stark elektronegativen Atomen bzw. Gruppen (Chlor, Fluor, Brom u. a.) oder von Metallionen (Calcium, Magnesium, Kupfer u. a.)
- 4.) die Anwesenheit von Stickstoff- und Sauerstoffatomen, die zu einer Verringerung des Gehalts an Kohlenstoffatomen sowie wegen ihrer niedrigeren Wertigkeit auch zur Verringerung des Wasserstoffgehalts führen.

Diese, aber auch andere Struktureigenheiten müssen auf das Einhalten folgender Bedingungen, unter denen die Entflammbarkeit von Fasern und Faserstoffen herabgesetzt wird, ausgerichtet sein:

- 1.) auf das Freiwerden geringerer Mengen an brennbaren gasförmigen Produkten (Kohlenwasserstoffen, Kohlenmonoxid) während der Pyrolyse,
- 2.) auf die Bildung maximaler Mengen von Produkten, die weiter nicht oxidierbar sind (Wasser, Kohlendioxid),
- 3.) auf die maximale Bildung fester Rückstände (Koks),

4.) auf die maximale Wärmekapazität der bei der thermischen Zersetzung freiwerdenden Produkte, damit diese maximale Wärmemengen aus der Brennzone abführen,

5.) auf die minimale Verbrennungswärme.

Die Entflammbarkeit von Fasern und Faserstoffen kann rechnerisch aber auch experimentell ermittelt werden. Die Brennbarkeit kann man annähernd aus der Elementarzusammensetzung des Materials errechnen^{60,61}.

Noch verlässlicher kann man die Brennbarkeit eines Materials aus seiner Verbrennungswärme ermitteln, die nach dem Heß'schen Gesetz aus den Strukturdaten errechnet wird⁶².

Bei einer Verbrennungswärme, die weniger als 2000 bis 4000 kJ/kg beträgt, kann man das Material mit ziemlicher Sicherheit zu den unbrennbaren Stoffen zählen (siehe Abb. 14).

Berechnung der Brennbarkeit von Substanzen und Materialien

aus der nach dem Heß'schen Gesetz bestimmten Verbrennungswärme:

$$Q_B = \sum Q_2 - \sum Q_1$$

worin $\sum Q_1$ - die Summe der Bildungswärmen der Substanz (Materialien) und $\sum Q_2$ - die Summe der Bildungswärmen der Verbrennungsprodukte sind;

aus der nach der Merdelejew'schen Formel ermittelten geringsten Verbrennungswärme:

$$Q_{B(\min)} = 81 \cdot C + 300 \cdot H - 26(O - S) - 6(9 \cdot H + W)$$

worin C, H, O, S - der prozentuelle Anteil einzelner Elemente im Material und W - % Feuchtigkeit sind.

Abb. 14

Etwas weniger genau kann man die niedrigste Verbrennungswärme nach der Formel von Mendelejew⁶² berechnen.

Man muß jedoch darauf hinweisen, daß die Brennbarkeit ganz besonders vom Zustand des Materials, seiner Porosität, von der Fähigkeit zur Pyrolyse unter Bildung brennbarer Produkte, seiner Feuchtigkeit und von anderen Ursachen abhängt. Deshalb liefern die rechnerischen Methoden nur stark angenäherte Werte.

Die experimentelle Bestimmung der Brennbarkeit wird nach vielen Methoden durchgeführt, die in einer Reihe von Arbeiten⁶²⁻⁶⁵ beschrieben wurden.

Zur vollständigen Charakterisierung der Entflammbarkeit faseriger Materialien bestimmt man

- die Entzündungstemperatur unter Wärmezufuhr von außen,

- die Selbstentzündungs-, Glimm- und Brenntemperatur,
- die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit,
- den Masseverlust beim Brennen,
- die Fähigkeit, eine Schmelze zu bilden,
- die Rauchentwicklungsfähigkeit,
- die Zusammensetzung und die Toxizität der Zersetzungs- und Verbrennungsprodukte, sowie
- eine Reihe weiterer Kennwerte.

Dadurch, daß die beim Entflammen und beim Brennen ablaufenden Prozesse sehr kompliziert sind und in starkem Maße von den Außenbedingungen abhängen, ist die genaue Ermittlung der Brandgefährlichkeit faseriger Materialien experimentell überaus schwierig.

Vor allem ist die Ermittlung der Entflammbarkeit bzw. der Flammhemmung der Fasern selbst ein großes Problem. Die häufigste Verwendung fand hier die Methode der Bestimmung der Sauerstoffgrenzkonzentration oder des Sauerstoffindex (LOI-Wert), das heißt jener Sauerstoffkonzentration in einem Gemisch mit einem Inertgas (Stickstoff), bei der die Standardprobe des Faserstoffes durch die Flamme eines Brenners nicht entzündet werden kann.

In der Literatur findet man einige Klassifizierungen der Fasern und Faserstoffe nach ihrer Entflammbarkeit (Flammhemmung). Einzelne Autoren kommen unter Betrachtung verschiedener Aspekte dieser Beurteilung zu unterschiedlichen Auffassungen des Problems.

Im allgemeinen muß man offenbar nicht nur die Brandgefährlichkeit von Fasern und Faserstoffen berücksichtigen, sondern auch die Erhaltung der faserigen Struktur. Man muß, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit der Klassifizierung erheben zu wollen, zumindest folgende Fasergruppen unterscheiden:

1. Gruppe: leichtentflammbare oder unter der Einwirkung einer äußeren Wärmequelle entflammbare Fasern,

die bei der Entfernung der Wärmequelle weiterbrennen (Polyolefin-, Polyvinylalkohol-, Polyamid-, Polyäthylenterephthalat-, zelluloseische u. a. Fasern); sie bilden bei der Verbrennung fast keinen Koksrückstand;

2. Gruppe: unter der Einwirkung einer äußeren Wärmequelle schwerentflammbare und nach der Entfernung der Wärmequelle verlöschende Fasern (Polyvinylchloridfasern, mit Flammschutzmitteln behandelte Fasern, einige thermostabile Fasern);

3. Gruppe: Fasern, die sich unter der Einwirkung einer äußeren Wärmequelle nicht entzünden. Ein Teil dieser Fasern unterliegt leicht der Destruktion (Polytetrafluoräthylen- oder Polytrifluoräthylenfasern).

Häufig werden unter den nichtentflammbaren Fasern noch zwei Gruppen unterschieden: flammbeständige und hitzebeständige Fasern.

4. Gruppe: flammbeständige, der Pyrolyse unter Beibehaltung der faserigen Struktur unterliegende Fasern (Phenolformaldehydfasern, Fasern aus dehydriertem Polyacrylnitril oder aus dehydratisiertem Polyvinylalkohol);

5. Gruppe: hitzebeständige Fasern, die durch eine offene Flamme bis zu hohen Temperaturen nicht zerstört werden (graphitierte, Silicat-, Oxidfasern).

Es gibt zwischen den aufgezählten Fasergruppen keine scharfen Grenzen, da die Entflammbarkeit je nach der Faserstruktur, dem Vorhandensein spezieller Zusätze, der Struktur des Faserstoffes, dem Medium und den äußeren Bedingungen unterschiedlich sein kann.

Die Verbrennung der Fasern und damit ihre Brennbarkeit, die nach verschiedenen Methoden ermittelt wird, hängt vom Sauerstoffgehalt des sie umgebenden Gasgemisches ab. Dies wurde in einigen Arbeiten^{66,67} eingehend besprochen.

Ein großer Teil der konventionellen, aus Carbo- oder Heterokettenpolymeren bestehenden Textilfasern zählt zu den leicht entflammbaren oder entflammbaren Fasern. Das ist insbesondere der Tabelle 14 zu

Tabelle 14: Einige Kennwerte von Entflammbarkeit und Verbrennung verschiedener Fasern

Faserart	LOI-Wert	Verbrennungswärme kJ/kg
Polypropylen	18—20	44 000
Polyacrylnitril	17—18,2	31 000 — 36 000
Polyvinylalkohol	19—20	—
Polycaproamid (Nylon-6)	20	—
Polyhexamethylenadipamid (Nylon-66)	20—22	31 000 — 33 000
Polyäthylenterephthalat	20—22	22 700 — 24 000
Zellulosehydrat	18,9—19,7	—
Acetat	17—18,6	—
Triacetat	18,4	—
Baumwolle	18—20,1	19 000
Wolle	24—25,2	21 000
Seide	23	—

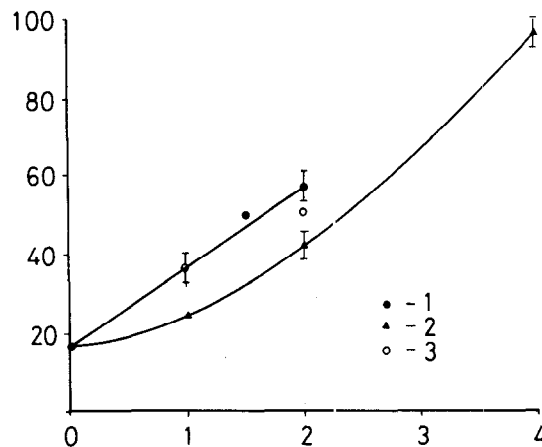


Abb. 15: Die Abhängigkeit des LOI-Wertes von der Anzahl der Halogenatome je Vinylrest (n) in verschiedenen halogenhaltigen Polymeren

- 1 — Chlorderivate
- 2 — Fluorderivate
- 3 — Copolymeres des Trifluorchloräthylens mit Äthylen

Tabelle 15: Entflammbarkeit einiger halogenhaltiger Fasern

Fasern	LOI-Wert
aus Polyvinylchlorid	35—39,2
aus Vinylchlorid- und Acrylnitril-copolymeren	26—31
aus Äthylen- und Trifluoräthylen-copolymeren	48—50
aus Polyvinylidenchlorid	50—60
aus Polytetrafluoräthylen und aus Tetrafluoräthylen- und Hexafluorpropylen-copolymeren	95—99
aus Polyvinylidenfluorid	37

entnehmen, in der einige ihre Flammfestigkeit charakterisierenden Kennwerte gezeigt sind ^{13, 48, 65, 68-75}.

Die Selbstentzündungstemperaturen dieser Fasern liegen zwischen 350 und 550° C, die Temperaturen, die bei ihrem Verbrennen an der Luft erreicht werden, betragen 800 bis 950° C.

Fasern, die viel Halogen (Chlor, Fluor) enthalten, sind nur schwer oder gar nicht entflammbar ^{13, 65, 70-73, 76-78}. Die Abhängigkeit des LOI-Wertes vom Halogengehalt der Fasern wird in Abbildung 15 sehr anschaulich illustriert.

Die wichtigsten Charakteristika der halogenhaltigen Fasern sind nach verschiedenen Quellenangaben in Tabelle 15 zusammengetragen.

Die Aufgabe, thermostabile, schwerentflammbare und flammbeständige Faserstoffe zu schaffen, führte zur Entwicklung neuer Fasern auf der Basis von aromatischen Ringkettenpolymeren. In einer Reihe von Ländern werden diese Fasern in industriellem wie auch in Versuchsmaßstab aus carbocyclischen oder aus heterocyclischen Polymeren hergestellt ^{13, 14, 69-74, 79-80}. Die Entflammbarkeit dieser Fasern ist gering, was aus Tabelle 16 hervorgeht.

Es muß erwähnt werden, daß sich diese Fasern erst nach einer bestimmten Einwirkungsdauer der Flamme entzünden und eine beträchtliche Menge Koksrückstand bilden.

Tabelle 16: Entflammbarkeit von schwerentflammbaren- und von schwerbrennbaren Fasern aus aromatischen Polymeren

Fasern	LOI-Wert
Fenilon, Nomex	27—30
Fipro	29—30
Durette	35—38
Nomex-T	42—52
Kermel	32
Kynol	29—35
PBI	38—43
PBI-S	42—49
PBI-T	65—75
Enkatherm	40—52

Kohlenstofffasern (besonders graphitierte Fasern), die man zu den hitzebeständigen Fasern zählt, besitzen eine besonders hohe Stabilität. Der Grund dafür ist die hohe Energie der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung der Graphitstruktur sowie der hohe Verknüpfungsgrad. Außerdem ist jedes Kohlenstoffatom nicht bloß mit zwei, sondern mit drei benachbarten Kohlenstoffatomen verbunden. Deshalb ist sowohl die Abbau- als auch die Oxidationsreaktion durch eine hohe Aktivierungsenergie gekennzeichnet und kann jeweils nur bei hohen Temperaturen stattfinden ^{81, 82}.

5.3. Kurzangaben über die Methoden zur Herabsetzung der Entflammbarkeit von Fasern und Faserstoffen

Die Methoden zur Erhöhung der Schwerentflammbarkeit von Chemiefasern und -faserstoffen können je nach konkreten Herstellungs- und Anwendungsbedingungen unterschiedlich sein, sie müssen jedoch bei maximalem Gehalt an Verbrennungsinhibitoren eine minimale Veränderung der Fasereigenschaften sichern.

Um Chemiefasern und -faserstoffe schwerentflammbar zu machen, verwendet man Verbindungen, die Halogene (Chlor, Brom und Fluor), Phosphor bzw. Phosphor und Stickstoff enthalten, sowie Antimon- und Borverbindungen, Salze polyvalenter Metalle und andere. Dieser Frage sind umfangreiche Arbeiten ^{83, 84} gewidmet.

Dabei bedient man sich folgender Verfahren:

- 1.) der Modifizierung der faserbildenden Ausgangspolymere durch Substitution oder Pfropfung;
- 2.) der Einführung flammhemmender Zusätze in die Spinnmelze oder Spinnlösung in Form von mit der Spinnlösung verträglichen Verbindungen oder Dispersionen, mit denen Fasern mit gleichmäßiger Verteilung des Zusatzes oder Bikomponentenfasern hergestellt werden können;
- 3.) der Herstellung von Fasern aus Polymergemischen, wobei eine der Komponenten ein schwerentflammbares Polymeres ist — auf diese Weise wird zum Beispiel die Azetochlorinfaser aus einem Gemisch von Acetylzellulose mit chloriertem Polyvinylchlorid hergestellt —, auch in Form von Bikomponentenfasern;
- 4.) der nachträglichen Behandlung der Fasern oder der Faserstoffe durch Bromieren, Phosphorieren, Borieren usw.;
- 5.) der Behandlung der Fasern mit Salzen polyvalenter Metalle;
- 6.) der Pfropfung halogenhaltiger Polymerer auf Fasern oder Faserstoffe;
- 7.) der Beschichtung der Textilien mit Dispersionen oder Lösungen schwerentflammbarer Polymerer.

Die Entflammbarkeit der Faserstoffe kann auch durch entsprechende Wahl ihrer Struktur, Porosität und Dicke der Faserschicht herabgesetzt werden.

In der Regel entzünden sich dichtere Stoffe wegen ihrer höheren Wärmeleitfähigkeit und des erschweren Luftzutritts zu der Brennzzone etwas schwerer und erfordern eine stärkere Wärmequelle. Besonders starke Veränderungen hinsichtlich Brennbarkeit können bei Stoffen auftreten, die aus Faser gemischen hergestellt werden. Es wurden dabei sowohl eine

additive Wirkung der Komponenten als auch der Antagonismus (die Schutzwirkung einer Faserart gegenüber der anderen) sowie der Synergismus (die über die Additivität hinausgehende Erhöhung der Brennbarkeit des Materials) beobachtet^{14, 48, 85}.

Die Wirkungsweise der Substanzen, die die Oxidationsprozesse verhindern oder verlangsamen, kann unterschiedlich sein und auf physikalische wie auch chemische Faktoren zurückgeführt werden:

- 1.) auf den Schutz der Erzeugnisse vor der Sauerstoffeinwirkung durch unbrennbare Zersetzungsprodukte, zum Beispiel durch CO₂, H₂O, HCl, SO₂;
- 2.) auf die Bildung eines für den Sauerstoff wenig durchlässigen Films, der aus den Schutzmitteln auf der Faseroberfläche entsteht;
- 3.) auf das Verteilen der zugeführten Wärme infolge des Wärmeleitvermögens oder der Endothermie des Flammschutzmittels;
- 4.) auf die Veränderung des Pyrolyseverlaufes im Sinne einer Verminderung der Bildung von flüchtigen Harzen und brennbaren Gasen (gleichzeitig erhöht sich auch der Anfall an Koksrückständen);
- 5.) auf die Unterdrückung der Oxidation bei gleichzeitiger Förderung der thermischen Zersetzung, die vom Freiwerden unbrennbarer Gase und Dämpfe begleitet wird (z. B. Dehydratisierung unter Bildung von Halogenwasserstoffen). Dabei wird der Wärmeeffekt der Reaktion stark herabgesetzt.

Als Beispiel für den erzielbaren Effekt kann darauf verwiesen werden, daß durch die Modifizierung von Zellulose regeneratfasern deren LOI-Wert von 19

bis 20 auf 31 bis 35 erhöht und die Selbstentzündungstemperatur von 360 bis 400° C auf 600 bis 650° C hinaufgesetzt wird.

Man muß darauf aufmerksam machen, daß durch die Anwendung praktisch aller Methoden zur Herabsetzung der Entflammbarkeit die Fasereigenschaften wesentlich verändert werden. In der Regel nehmen dadurch die Festigkeit, die Wärmebeständigkeit sowie andere physikalisch-mechanische Kennwerte ab.

5. 4. Produkte der thermischen Zersetzung, der Pyrolyse und der Verbrennung

Sehr wichtig für das Verhalten von Fasern und Faserstoffen bei hohen Temperaturen ist die Zusammensetzung und die Toxizität der flüchtigen Pyrolyse- und Verbrennungsprodukte, die, wie man aus Tabelle 17 sehen kann, in wesentlichem Maße von der Polymerzusammensetzung und den Verbrennungsbedingungen, vor allem von der Temperatur und dem Luftüber- bzw. -unterschub, abhängen. Es entstehen in der Regel bei Luftüberschub vollständig oxidierte Produkte, die für den menschlichen Organismus weniger schädlich sind.

Am wenigsten toxisch sind Produkte, die sich bei der Verbrennung solcher Fasern bilden, die aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt sind (Zellulose, Polyvinylalkohol).

Bei Luftunterschub nimmt der Gehalt der Verbrennungsprodukte an toxischen Stoffen stark zu.

Die Verbrennung von Kohlenwasserstoffpolymeren wird wegen der Notwendigkeit, der Brennzone große

Tabelle 17: Die wichtigsten flüchtigen Produkte bei der thermischen Zersetzung (Pyrolyse) bzw. bei der Verbrennung einiger Faserarten*

Faserart	Produkte der thermischen Zersetzung (Pyrolyse)	Verbrennungsprodukte	
		bei großem Luftüberschub	bei Verbrennung mit Luftunterschub sind außerdem enthalten**
Polyolefin	Ausgangsmonomere, gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe	CO ₂ ; H ₂ O	Pyrolyseprodukte; CO; Aldehyde; niedrige Carbonsäuren
Polyacrylnitril	Acrylnitril, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, HCN	CO ₂ ; H ₂ O; NH ₃ ; Stickstoffoxide	Pyrolyseprodukte; CO; Aminoaldehyde
chlorhaltige Polymere der Vinylreihe	Ausgangsmonomere, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Chlorkohlenwasserstoffe, HCl	CO ₂ ; H ₂ O; HCl	Pyrolyseprodukte; CO; COCl ₂
Polyvinylalkohol	ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Aldehyde (Acetaldehyd), H ₂ O	CO ₂ ; H ₂ O	Pyrolyseprodukte; CO
Polyamid (Nylon 6; Nylon 66 u. andere)	Ausgangsmonomere, gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Ammoniak, Amine	CO ₂ ; H ₂ O; NH ₃	Pyrolyseprodukte; CO
Polyäthylenterephthalat	aromatische Verbindungen, Äthylenglykol, Aldehyde, Essigsäure, ungesättigte Kohlenwasserstoffe	CO ₂ ; H ₂ O	Pyrolyseprodukte; CO
Zellulose	Aldehyde, Carbonsäure, H ₂ O, CO, CO ₂	CO ₂ ; H ₂ O	Pyrolyseprodukte
Acetyl- und Triacetylzellulose	wie oben (mit hohem Essigsäure- und Essigsäurealdehydgehalt)	CO ₂ ; H ₂ O	Pyrolyseprodukte
thermoständige und schwerbrennbare Fasern aus aromatischen Polyamiden, Polyimiden, Polyimidazol, Polyoxazol u. anderen stickstoffhaltigen Polymeren	aromatische Verbindungen, Carbonsäuren, Aldehyde, Amine, Ammoniak, HCN, CO, H ₂ O	CO ₂ ; H ₂ O; NH ₃ ; Stickstoffoxide	Pyrolyseprodukte

* Pyrolyse- und Verbrennungsprodukte von Flammschutzmittel enthaltenden Fasern sind im Gasgemisch enthalten.

** Bei Verbrennung unter Luftunterschub enthält das Gasgemisch immer Pyrolyseprodukte sowie Produkte der vollständigen Oxidation.

Sauerstoffmengen zuzuführen, häufig von der Bildung toxischer Produkte der unvollständigen Oxidation (ungesättigte Verbindungen, Kohlenmonoxid) sowie von Rußbildung begleitet.

Die Verbrennung von stickstoffhaltigen und besonders von halogen- und schwefelhaltigen Polymeren führt zur Bildung großer Mengen toxischer und korrosiver Gase.

Die Verwendung von Flammenschutzmitteln, die Stickstoff, Phosphor, Halogene oder Schwefel enthalten, ruft auch eine Zunahme der Mengen von toxischen und korrosiven Gasen und Dämpfen in den Verbrennungsprodukten hervor^{86, 87}.

Diese kurze Übersicht zeigt, daß die Faserherstellung aus dem Blickwinkel der minimalen Entflammbarkeit und der geringsten Toxizität der Verbrennungsprodukte eine schwierige Aufgabe darstellt.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Faserstruktur und thermischen Fasereigenschaften ist zweifelsohne zu kurz. Es ist jedoch in diesem begrenzten Rahmen nicht möglich, ein derart interessantes und für die Praxis sehr wichtiges Problem noch eingehender zu besprechen. Eines der Ziele dieser Übersicht war, zu zeigen, daß, obwohl vieles auf dem Gebiet der thermischen Eigenschaften von Fasern und Faserstoffen schon untersucht wurde, hier noch viele Fragen einer Lösung bedürfen

Literatur:

- 1) Z. A. Rogovin: „Grundlagen der Chemie und Technologie der Chemiefasern“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1974, Bd. 1, S. 520; Bd. 2, S. 344
- 2) S. P. Papkov: „Physikalisch-chemische Grundlagen der Kunst- und Synthesefaserherstellung“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1972, S. 314
- 3) J. W. S. Hearle, R. H. Peters: „Faserstruktur“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1969, S. 400
- 4) K. E. Perepelkin; Faserforsch. u. Textiltechn. **22** (4), 171—186 (1971); **25** (6), 251—267 (1974)
- 5) K. E. Perepelkin; Angew. Makromol. Chem. **22**, 181—204 (1972)
- 6) K. E. Perepelkin; Chemické Vlakna **23** (4/5), 71—92 (1973)
- 7) K. E. Perepelkin; im Buch „Theorie des Erspinnens von Chemiefasern“ (russ.), herausgegeben von A. T. Serkov; Izdat. Chimija, Moskau 1975, S. 221—246
- 8) L. E. Utevschik; Visokomol. Soed. Serie A **16** (10), 2339—2344 (1974)
- 9) G. I. Kudrjavzev, A. M. Schtschetinin; Chim. Volokna **6**, 2—11 (1968)
- 10) G. I. Kudrjavzev; J. VChO im. D. I. Mendeleeva **17**, 625—631 (1972)
- 11) G. I. Kudrjavzev; Chim. Volokna **4**, 23—32 (1969)
- 12) A. V. Volochina, V. D. Kalmykova, T. S. Sokolova; Chim. Volokna **1**, 23—30 (1975)
- 13) R. Kaswell; Lenzinger Ber. **33**, 12—22 (1972)
- 14) C. E. Hathaway, C. L. Early; Appl. Polymer Symp. **21**, 101—108 (1973)
- 15) H. Görlach; Chemiefasern. **22/6/7/8/9/10/11/12** (1972); **23/1/2** (1973)
- 16) W. B. Black, J. Preston; im Buch „Man-made Fibers. Science and Technology“, herausgegeben von H. Mark, S. M. Atlas, E. Cernia, Intersci. Publ., Vol. 2, p. 297—400, 1968
- 17) V. V. Korschak: „Thermostabile Polymere“; Izdat. Nauka, Moskau 1969, S. 412
- 18) A. H. Frazer: „Hochtemperaturbeständige Polymere“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1971, S. 296
- 19) H. Lee, D. Stoffey, K. Nevill: „Neue Linearpolymere“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1972, S. 280
- 20) K. E. Perepelkin; Chim. Volokna **2**, 3—13 (1966)
- 21) K. E. Perepelkin; Mechanika Polymerov **6**, 845—856 (1966)
- 22) L. Mandelkern: „Kristallisation der Polymere“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1968, S. 333
- 23) A. E. Torelli; J. Chem. Phys. **54** (11), 4637—4641 (1971)
- 24) R. Boyer: „Übergänge und Relaxationserscheinungen in Polymeren“ (russ.); Izdat. Mir., Moskau 1968, S. 384
- 25) R. G. Beaman; J. Polymer Sci. **9**, 470—472 (1952)
- 26) A. Tobolsky: „Eigenschaften und Struktur der Polymeren“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1964, S. 322
- 27) O. G. Lewis: „Physical Constants of Linear Homopolymers“; Springer-Verlag, Berlin 1968, S. 173
- 28) K. E. Perepelkin; Mechanika Polymerov **5**, 790—795 (1971)
- 29) V. V. Korschak: „Chemischer Aufbau und Temperaturcharakteristika der Polymeren“ (russ.); Izdat. Nauka, Moskau 1970, S. 420
- 30) A. P. Aleksandrov, J. S. Lazurkin; J. Techn. Fiziki **9** (14), 1249—1266 (1939)
- 31) J. S. Lazurkin; J. Polymer Sci. **30** (121), 595—604 (1958)
- 32) A. Ribnik; Text. Res. J. **39** (5), 428—434 (1969); **39** (8), 742—748 (1969)
- 33) K. Fuchino u. a.; J. Soc. Text. Cell. Ind. Japan **22** (7), 295 (1966)
- 34) L. E. Utevschik, L. V. Pokrovskaja; Vysokomol. Soed. Serie B **11**, 7, 528—530 (1969)
- 35) L. V. Pokrovskaja, L. E. Utevschik; Chim. Volokna **2**, 10—13 (1972)
- 36) K. E. Perepelkin; im Buch „Synthetische Carbokettenfasern“ (russ.), Red. K. E. Perepelkin, Izdat. Chimija, Moskau 1973, S. 165—354
- 37) B. M. Ginsburg, A. J. Sorokin, S. J. Frenkel; Fiz. tv. Tela **8** (3), 647—650 (1966)
- 38) P. F. Desmore, W. O. Statton; J. Polymer Sci. Part C, **13**, 133—148 (1966)
- 39) O. N. Ulitin, K. E. Perepelkin, T. G. Chromova; im Buch „Neue Chemiefasern für den technischen Einsatz“ (russ.), Izdat. Chimija, Leningrad 1973, S. 101—109
- 40) B. A. Fomenko, L. P. Perepetschkin, B. V. Vasiljev, N. I. Nejmark; Vysokomol. Soed. Serie A **11**, 9, 1971—1979 (1969)
- 41) V. R. Regel, A. I. Slucker, E. E. Tomashevskij: „Die kinetische Natur der Festkörperfestigkeit“ (russ.); Izdat. Nauka, Moskau 1974, S. 560
- 42) G. M. Bartenev, J. S. Sujev: „Festigkeit und Zerstörung hochelastischer Materialien“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1974, S. 388
- 43) L. P. Sossin, A. V. Savizki, L. E. Utevschik u. a.; Vysokomol. Soed. Serie B **16**, 4, 247—248 (1974)
- 44) N. Grassie: „Chemie des Abbaues von Polymeren“ (russ.); Izdatinlit, Moskau 1959, S. 252
- 45) S. Madorsky: „Thermische Zersetzung organischer Polymerer“ (russ.); Izdat. Mir, Moskau 1967, S. 328
- 46) G. J. Gordon: „Stabilisierung synthetischer Polymerer“ (russ.); Goschimizdat, Moskau 1963, S. 300
- 47) J. Voigt: „Wärme- und Lichtstabilisierung synthetischer Polymerer“ (russ.); Izdat. Chimija, Leningrad 1972, S. 544

48) G. C. Tesoro, C. H. Meiser; *Text. Res. J.* 40, 430—346 (1970)

49) J. K. Gilleham, J. Schwenker; *Appl. Polymer Symp.* 2, 59—75 (1966)

50) E. P. Krasnov, V. P. Aksenova, S. N. Charkov; im Buch „Herstellung synthetischer Fasern“ (russ.), Red. V. D. Fichman, Izdat. Chimija, Moskau 1971, S. 255—289

51) V. K. Beljakov, I. V. Beljakova, S. S. Medvedj u. a.; *Vysokomol. Soed. Serie A* 13, 8, 1739—1748 (1971)

52) E. P. Krasnov, V. P. Aksenova, S. N. Charkov; *Vysokomol. Soed. Serie A* 15, 9, 2093—2103 (1973)

53) H. Herlinger; *Lenzinger Ber.* 32, 31—39 (1971)

54) H. Becker: „Einführung in die Elektronentheorie organischer Reaktionen“ (russ.); Izdat. Mir, Moskau 1965, S. 576

55) L. K. Makkun; *Chim. Volokna* 2, 65—67 (1963)

56) A. A. Konkin: „Kohlenstoff- und andere hitzebeständige Fasermaterialien“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1974, S. 376

57) R. Bacon, M. Tang; *Carbon* 2, 211—220 (1964); 2, 221—225 (1964)

58) I. L. Eventova, A. P. Rudenko, I. I. Kulakova u. a.; *Chim. Volokna* 4, 29—31 (1974)

59) J. Elastoplast 5 (1), 36—65 (1973)

60) V. I. Kodolov, N. S. Nikitina: „Feuerbeständigkeit der Polymeren“ (russ.); im Buch „Enzyklopedija polymerov“, Bd. 2, Izdat. „Sovetskaja enzyklopedija“, Moskau 1974, S. 407—408

61) J. R. Collins; *Plastics and Polymers* 40 (149), 283—289 (1972)

62) V. T. Monachov: „Methoden zur Untersuchung der Feuergefährlichkeit der Stoffe“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1972, S. 416

63) S. Shigeru; *J. Soc. Fiber Sci. and Technol.* 30 (11), 13—22 (1974)

64) I. P. Pantschenko; *Tekstilnaja Prom.* 1, 87—88 (1973)

65) P. Perrot; *Bull. Sci. de l'Ind. Textile* 2 (5), 65—76 (1973)

66) B. Miller, B. C. Goswami, R. Turner; *Text. Res. J.* 43 (2), 61—67 (1973)

67) B. A. Ivanov: „Gefahrlose Anwendung von Materialien bei Berührung mit Sauerstoff“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1974, S. 288

68) H. Mark; *Lenzinger Ber.* 33, 5—11 (1972)

69) U. Einsele; *Lenzinger Ber.* 34, 108—118 (1972)

70) P. Perrot; *Text. Chim.* 7/8, 20—28 (1971)

71) K. Ishii, T. Sekiguchi, T. Takaya; *J. Soc. Fibre Sci. and Technol.* 28 (9), 359—367 (1972)

72) D. W. van Krevelen; *Angew. Makromol. Chem.* 22, 133—157 (1972)

73) T. Lyssy; *Lenzinger Ber.* 36, 197—212 (1974)

74) M. Rieber; *Chemiefaser* 19 (5), 375—378 (1969)

75) P. G. Demidov, V. A. Schandyba, P. P. Schtscheglov: „Verbrennung und Eigenschaften brennbarer Substanzen“ (russ.); Izdat. Chimija, Moskau 1973, S. 248

76) R. Kamal Musa, N. T. Levan; *Polym. Eng. and Sci.* 13 (2), 131—138 (1973)

77) A. B. Robertson; *Appl. Polym. Symp.* 21, 89—100 (1973)

78) T. Koshiro; *Angew. Makromol. Chem.* 40/41, 277—290 (1974)

79) F.C.A.A. van Berkel, H. Grotjahn; *Appl. Polymer Symp.* 21, 67—80 (1973)

80) K. E. Perepelkin, B. A. Muchin, V. S. Smirnov; *Faserforsch. u. Textiltechn.* 25 (2), 72—86 (1974)

81) T. Cottrell: „Festigkeit der chemischen Bindungen“ (russ.); Izdatinlit, Moskau 1956, S. 284

82) I. A. Javorskij: „Physikalisch-chemische Grundlagen der Verbrennung fossiler Brennstoffe und des Graphits“ (russ.); Izdat. Nauka, Novosibirsk 1973, S. 256

83) N. E. Stepniczka; *Textilveredlung* 8, 293—310 (1973)

84) M. V. Ranney; *Flame Retardant Textiles*, Noyes Data Corp., New Jersey 1970, S. 373

85) C. Z. Carrol-Porzczynski; *Spinner Weber Textilveredlung* 89 (6), 566—574 (1971)

86) P. P. Schtscheglov, T. A. Ioffe, M. P. Penjkova, B. A. Muchin, T. V. Drushinina; *Izv. Vuzov „Chimija i chim. Technologija“* 17 (6), 890—894 (1974)

87) P. P. Schtscheglov, T. A. Ioffe, M. P. Penjkova, M. A. Tjuganova; *Faserforsch. u. Textiltechn.* 24 (4), 147—150 (1973)

Diskussion

Herlinger: Herr Professor Perepelkin, Sie haben in Ihrem Vortrag über die thermischen Eigenschaften von Fasermaterialien eine Formel zur Berechnung der theoretischen Lebensdauer von Fasern gebracht, die Aussagen darüber macht, wie man thermische Fluktuationen und die mechanische Spannung in Abhängigkeit von der Zeit miteinander verbinden kann. Außerdem führten Sie neun Grundbedingungen für die Herstellung thermisch beständiger Fasern an, sowie Faktoren, die die Thermobeständigkeit der Fasern in Abhängigkeit von ihrer chemischen Konstitution bestimmen.

Sie haben auf den Zusammenhang zwischen der Brennbarkeit und der elementaren Zusammensetzung der Fasern hingewiesen und gezeigt, daß Zusatzstoffe die Brennbarkeit der Fasern verändern. Das sind Fragen, für die sich die Textil- und Faserchemiker derzeit interessieren und mit denen sie sich auch in Zukunft beschäftigen werden.

Weiters haben Sie darauf hingewiesen, daß chlor- und bromhaltige Verbindungen die Entflammbarkeit stark herabsetzen, was mich zu folgender Frage veranlaßt:

Welchen Einfluß übt die Anwesenheit von Halogenen und anderen Atomen auf die Brennbarkeit aus, und ist es möglich, diesen Einfluß sowie den Ablauf radikalischer Prozesse in der Flammenzone theoretisch zu berechnen?

Perepelkin: Versuche, den Einfluß von Halogen- und anderen Atomen sowie von Atomgruppierungen theoretisch vorauszusagen, sind nicht erst einmal unternommen worden. Eine quantitative Voraussage des Einflusses, den die Atome von Halogenen und von anderen, die Entflammbarkeit von Fasern und daraus hergestellten Materialien herabsetzenden Elementen ausüben, ist jedoch derzeit noch nicht möglich.

Die Schwerentflammbarkeit hängt nicht nur von der chemischen, sondern auch von der übermolekularen Struktur der Fasern, der Anwesenheit von Zusätzen, der Makrostruktur des textilen Materials, von der Zusammensetzung der beim Brennen entstehenden Produkte sowie von anderen Faktoren ab.

Einer der möglichen Wege, den Einfluß von Halogenen und anderen Elementen auf die Brennbarkeit der Textilien zu beurteilen, kann mit der Elektronegativität dieser Elemente in bezug auf den Sauerstoff, die ja von der Stellung des Elements im Periodensystem abhängt, in Zusammenhang gebracht werden. Es ist jedoch wegen der Kompliziertheit der beim Brennen stattfindenden Prozesse schwierig, eindeutige Aussagen über diese Zusammenhänge zu erhalten.

Herlinger: Man könnte sich vorstellen, daß es möglich ist, einen Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung der Gasphase und dem für den Abbruch der Kettenreaktion erforderlichen Halogengehalt zu finden. Prinzipiell wäre es denkbar.

Perepelkin: Ja, ich stimme mit Ihnen überein, daß ein solcher Zusammenhang besteht.

Herlinger: Ich glaube, daß solche theoretische Betrachtungen der allgemeinen Zusammenhänge Sie, verehrte Damen und Herren, dazu anregen werden, über diese Fragen nachzudenken, und deshalb danke ich Ihnen, Herr Professor, noch einmal für Ihren Vortrag.

Textilbrände — ihre Entstehung, ihre Auswirkung und Möglichkeiten zu ihrer Reduzierung

Dr. Martin R i e b e r

Hoechst Aktiengesellschaft, Frankfurt (M.) — Hoechst

Die Brandunfallstatistik zeigt, daß Brände von Textilien zu den seltenen Ereignissen gehören. Die Textilien selbst sind nur in relativ wenigen Fällen primär für den Brand verantwortlich, tragen aber bedingt zur Brandausbreitung bei.

Der Brandablauf, die Zündung, die Brandausbreitung und das Verlöschen des Brandes bewirken neben Hitzeentwicklung auch die Bildung von brennbaren und unbrennbaren Gasen mit zum Teil schädlicher Wirkung.

Normale Kleidung bietet einen begrenzten Flammenschutz. Beginnt die Kleidung zu brennen, ist bei richtigem Verhalten ein Kleiderbrand immer zu löschen, ehe größerer Schaden eintritt. Das Verhalten des betroffenen Menschen spielt hier allerdings die entscheidende Rolle.

Bei Heimtextilien — Fußbodenbelägen, Vorhängen, Möbelbezugsstoffen — kann das Brennverhalten so beeinflusst werden, daß diese Textilien durch kleine Zündquellen nur „schwer entzündbar“ sind, ebenso wie daß nach der Zündung auch eine „geringe Flammenausbreitung“ stattfindet. Bei einem Großbrand brennen zwar alle normalen Heimtextilien, stellen im allgemeinen aber nur eine begrenzte Brandbelastung dar. Bei einem Hausbrand ist zu beachten, daß vor allem die Brandgase lebensbedrohend wirken können.

Zur Reduzierung von Textilbränden kann die Industrie durch entsprechende Materialien und Textilkonstruktionen, die gegen kleine Zündquellen eine schwere Entzündbarkeit zeigen, beitragen. Dabei könnte es allerdings zu einer Verschlechterung der textilen Eigenschaften sowie zu höheren Kosten kommen.

Eine Erhöhung der Sicherheit gegen das Brennen kann durch Beachtung einer Vielzahl von Faktoren erzielt werden. Ausschlaggebend ist jedoch stets das richtige Verhalten des Menschen in der betreffenden Situation. Hier kann durch eine sachgemäße Erziehung ein wesentlicher Beitrag zur Sicherheit der Menschen geleistet werden.

Fire accident statistics show that fires of textiles only occur on rare occasions. In relative few cases textiles themselves are the primary cause of a fire, but may contribute to a limited extent to the spread of the flame.

The progress of the fire, namely the ignition, the spread of the flame and the extinction of the fire causes also, in addition to the development of heat, the formation of flammable and non flammable gases, some of which have a toxic effect.

Normal apparel offers a limited protection against flame. If clothing catches fire, provided a correct procedure is followed, the fire can always be extinguished before major damage occurs. The behaviour of the person concerned is a decisive factor here.

The burning behaviour of home textile — carpets, curtains and draperies, upholsteries — can be influenced to the extent that these textiles are only "flame retardant" against small ignition sources. It is likewise possible to achieve a "low spread of the flame" once ignition has occurred. Although in a large-scale fire all normal home textiles will burn, they generally represent only a limited fire load. With domestic fires it should be borne in mind that gases of flame can prove fatal.

Industry can contribute to the reduction of textile fires by developing materials and textile constructions that are difficultly inflammable against small ignition sources. In this regard, a decrease in the textile properties and in increase in costs could occur. The observance of a variety

of different factors enables an increase in fire safety to be achieved.

Correct behaviour by the persons involved in the situation in question is, however, a decisive factor. Proper-, safety-conscious education can make important contribution in this field.

1. Einleitung

1.1. Ziel dieses Vortrags

Zweck dieser Ausführungen soll es sein, Material für die richtige Beurteilung der Bedeutung von Textilbränden zu liefern. Da Textilien praktisch in allen Lebensbereichen eingesetzt werden, können hier nur an ausgewählten Beispielen Unterlagen und Überlegungen vorgestellt werden

1.2. Bemerkungen zur Brandunfallstatistik

Um Aussagen über die Häufigkeit von Textilbränden machen zu können, muß zunächst einmal definiert werden, was man unter einem Textilbrand verstehen will. Die Abgrenzung gegen andere Brandarten ist nicht einfach. Unter die Kategorie „Textilbrände“ sollten nur solche Brände eingeordnet werden, bei denen ein Textil selbst für die erste Brandausbreitungsphase verantwortlich ist, oder wenn Textilien in irgendeiner Weise eine spätere Brandphase wesentlich beeinflussen.

Als abgrenzende Beispiele hierfür seien genannt:

- Ein Papierkorbbrand, der einen darüber hängenden Vorhang entzündet. Dieser Brandablauf soll wegen der wesentlichen Beteiligung des Vorhangs zu den Textilbränden gezählt werden.
- Ein Aut Brand dagegen, der durch die Explosion des Benzintanks verursacht wird, soll nicht mehr als Textilbrand definiert werden, auch wenn die Kleidung der Autoinsassen oder die im Auto vorhandenen Bezugsstoffe Feuer fangen.

Wenn man sich bemüht, Aussagen zur Unfallstatistik von Textilbränden zu machen, so stellt man zu seiner großen Verwunderung fest, daß — trotz der großen Bedeutung der Textilbrände — nur wenig exakte Unterlagen hierüber vorliegen. Das hat seinen Grund darin, daß einmal die Definition für die Textilbrände so schwierig ist und zum anderen, daß die Erstellung von Unfallstatistiken mit einem sehr hohen Kostenaufwand verbunden ist.

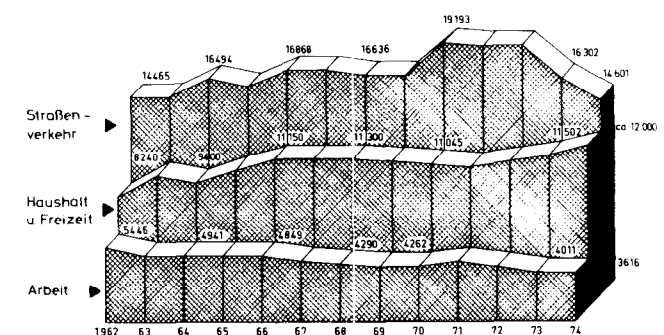


Abb. 1: Durch Unfälle getötete Personen — 1962 bis 1974

Um die Häufigkeit der Textilbrände im Verhältnis zu anderen Unfällen abschätzen zu können, seien folgende Zahlen genannt:

In der Bundesrepublik Deutschland¹ kommen, wie allgemein bekannt ist, jährlich etwa 15.000 bis 20.000 Menschen durch Verkehrsunfälle ums Leben (siehe Abb. 1), während durch Verbrennungen (nicht Verbrühungen!) aller Art etwa 300 Menschen sterben (siehe Abb. 2).

Unfallart	Gesamt - zahl	Tote/Einwohner/Jahr
Alle Unfälle	37500	1 : 1600
Verkehr	15000	1 : 4000
Arbeit	4020	1 : 15000
Haushalt u. Freizeit	10020	1 : 6000
Stürze	8580	1 : 7000
Feuer u. Explosionen	300	1 : 200000
Ersticken	600	1 : 90000
Gas	150	1 : 400000
Elektrischer Strom	120	1 : 500000

Abb. 2: Eintrittswahrscheinlichkeit von tödlichen Unfällen (BRD)

Auf Grund von Statistiken anderer Länder, zum Beispiel der USA, von Kanada und Großbritannien, sowie verschiedener Untersuchungen an begrenzten Statistiken kann man davon ausgehen, daß etwa 10 % dieser Verbrennungen effektiv auf Textilien zurückzuführen sind, das heißt, in der BRD kommen jährlich etwa 30 Personen durch Textilbrände um. Das bedeutet, daß weniger als 1 ‰ der Unfalltoten durch Textilbrände gestorben sind.

Aus der Darstellung sieht man, daß die Bedeutung der

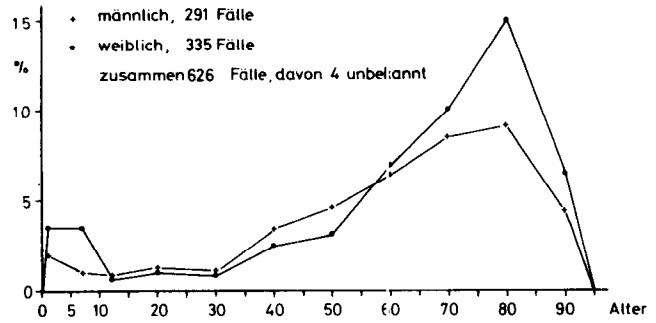


Abb. 4: Brennbare Textilien — Sterblichkeit nach Alter und Geschlecht

Textilbrände emotionell stark überbewertet wird. Trotzdem muß man alles versuchen, um die Gefährdung durch Textilbrände weiter zu reduzieren. Allerdings muß gut überlegt werden, wo hierzu Ansatzpunkte zu finden sind, denn der Aufwand für Schutzmaßnahmen sowie die Erfolgsaussichten solcher Maßnahmen sollten auch hier in einem ausgewogenen Verhältnis stehen.

Betrachtet man die amerikanischen Statistiken² (hier wurden Unterlagen aus dem Jahre 1972 verwendet), so kann man zu folgenden interessanten Erkenntnissen kommen:

- a) In Abbildung 3 ist die Häufigkeit tödlicher Brandunfälle in Abhängigkeit von Rasse (weiß, schwarz) und Alter (0—100 Jahre) wiedergegeben. Aus den Kurven kann ersehen werden, daß zwischen weißer und farbiger Bevölkerung keine bemerkenswerten Unterschiede vorliegen. Eindeutig sind jedoch alte Menschen mehr gefährdet als junge.
- b) Aus Abbildung 4 kann man ersehen, daß bei einer Trennung nach Geschlechtern ebenfalls kein prinzipieller Unterschied zwischen Männern und Frauen auftritt. Wieder fällt die starke Zunahme der Brandunfälle mit steigendem Alter auf.
- c) Tödliche Brandunfälle werden zu einem relativ hohen Prozentsatz durch Faulen im Bett verursacht. Abbildung 5 zeigt die Häufigkeit von Brandunfällen durch Rauchen im Bett, aufgeschlüsselt nach Altersklassen bei Männern und Frauen. Dabei ist auffallend, daß Männer im Alter zwischen 40 und 60 Lebensjahren überdurchschnittlich gefährdet sind, während der Prozentsatz bei den Frauen in allen Altersgruppen etwa gleich hoch ist.

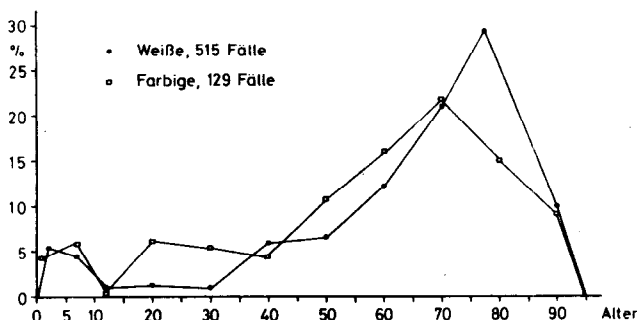


Abb. 3: Brennbare Textilien — Sterblichkeit nach Rasse und Alter

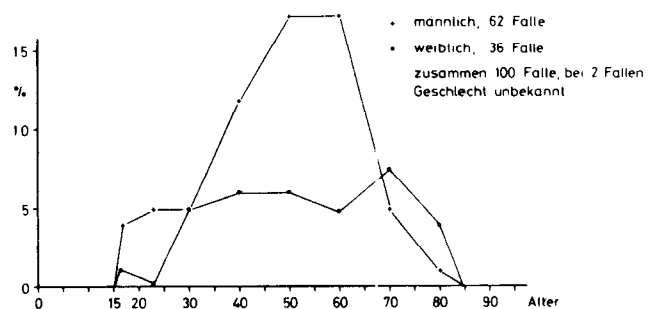


Abb. 5: Einschlafen während des Rauchens — nach Alter und Geschlecht

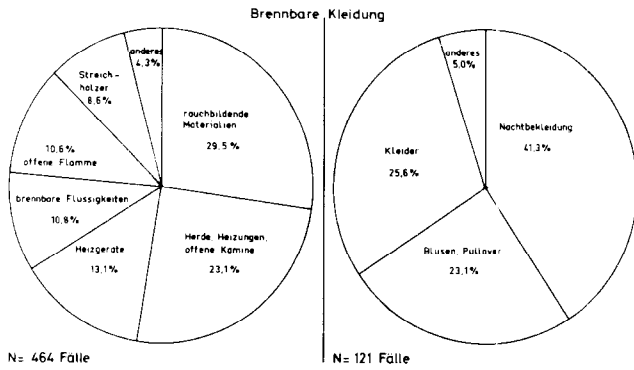


Abb. 6: Häufigkeit der Todesfälle — unterschieden nach der Art der Entzündung (links) und nach der Art der Bekleidung (rechts)

d) Abbildung 6 zeigt eine Aufgliederung der Todesfälle nach Entzündungsquellen und der Art der Kleidung. Man erkennt, daß 36 % der Kleiderbrände mit Todesfolge durch Heizgeräte, 21 % durch brennbare Flüssigkeiten und Gase, 30 % durch rauchbildende brennbare Materialien (z. B. Zigaretten) verursacht werden. In jedem Falle liegt also eine Zündquelle vor, die eine hohe Temperatur hat (Flamme, elektrischer Heizdraht u. ä.). Ferner ist zu erkennen, daß Nachtbekleidung mit 41 % einen sehr hohen Anteil an den Kleiderbränden hat.

Aus einer anderen, hier nicht wiedergegebenen Zusammenstellung ist zu ersehen, daß hier wieder vor allem Kinder und alte Menschen betroffen sind.

e) Abbildung 7 schließlich zeigt die jahreszeitliche Verteilung von durch brennbare Flüssigkeiten verursachten Kleiderbränden, sowie die Aufteilung auf Wochentage, hier wieder nach Geschlechtern untergliedert. Man sieht, daß derartige Unfälle im Sommer am häufigsten und im Winter am seltensten vorkommen. Ferner ist ersichtlich, daß derartige Unfälle vorwiegend durch Männer verursacht werden und besonders häufig in der Freizeit sowie an Samstagen und Sonntagen vorkommen.

Überblickt man diese statistischen Aussagen, so drängt sich die Erkenntnis auf, daß vorwiegend menschliches Fehlverhalten unfallauslösend ist.

Auch für Heimtextilien (Vorhänge, Fußbodenbeläge,

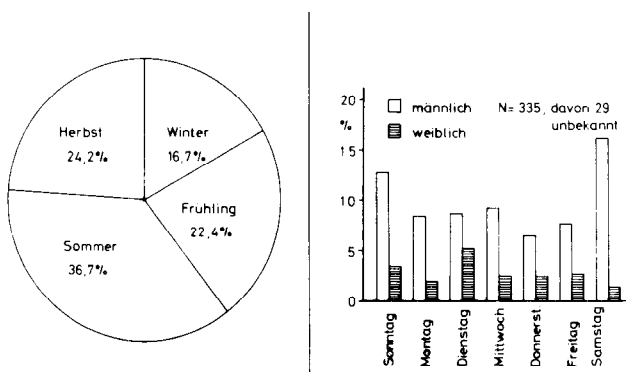


Abb. 7: Kleiderbrände, verursacht durch brennbare Flüssigkeiten — unterschieden nach Jahreszeiten (links) und nach Wochentagen und Geschlecht (rechts)

Möbelbezugsstoffe) liegt in den USA ebenfalls eine brauchbare Unfallstatistik vor. Sie zeigt einmal, daß Textilien hier vorwiegend in den Folgebrand miteinbezogen werden, und zum anderen, daß auch hier zu meist menschliches Verschulden nachweisbar ist.

Die Gefahren für Textilbrände müßten also durch eine Beeinflussung des menschlichen Fehlverhaltens ganz wesentlich reduziert werden können. Dazu ist aber mehr allgemeine Kenntnis über die Brandentstehung und den Brandablauf unbedingt Voraussetzung.

2. Brandentstehung und -ablauf sowie Auswirkungen von Bränden

2.1. Allgemeine Betrachtungen über die Brandentstehung und den Brandablauf

Jeder Brand besteht aus folgenden Phasen:

- Zündung,
- Brandausbreitung,
- Verlöschen.

Die Voraussetzung für einen Brand ist die Entzündung brennbaren Materials. Welche Bedingungen müssen hierzu erfüllt sein?

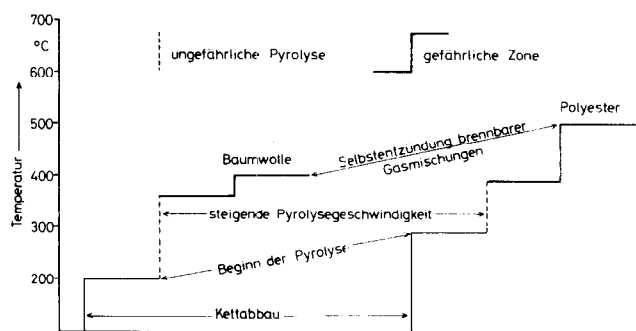


Abb. 8: Schema der Pyrolyse von Baumwolle und von Polyester

- Dem Textil muß so viel Hitze zugeführt werden, daß durch Zersetzung des textilen Rohstoffs Gase entstehen, die in Mischung mit Luft brennbar sind (siehe Abb. 8).
- Hat sich durch die Energiezufuhr so viel Gas entwickelt, daß sich eine Flamme bilden kann, setzt sich ihr Brennvorgang nur dann fort, wenn die gebildete Flamme selbst so viel Energie in das Textil zurückgibt, daß fortlaufend brennbare Zersetzungsgase gebildet werden. Ist dies nicht der Fall, verlöscht die Flamme.
- Die Energiezufuhr zur Zündung kann durch Leitung, zum Beispiel über die heiße Oberfläche eines elektrischen Glühdrahtes, durch Konvektion, zum Beispiel von heißer Luft aus einer Flamme, oder durch Strahlung, zum Beispiel der eines glühenden Metallstückes, erfolgen.

Der Brandablauf sei durch folgende Punkte charakterisiert:

a) Pyrolyse

Es muß sich eine ausreichende Menge flüchtiger

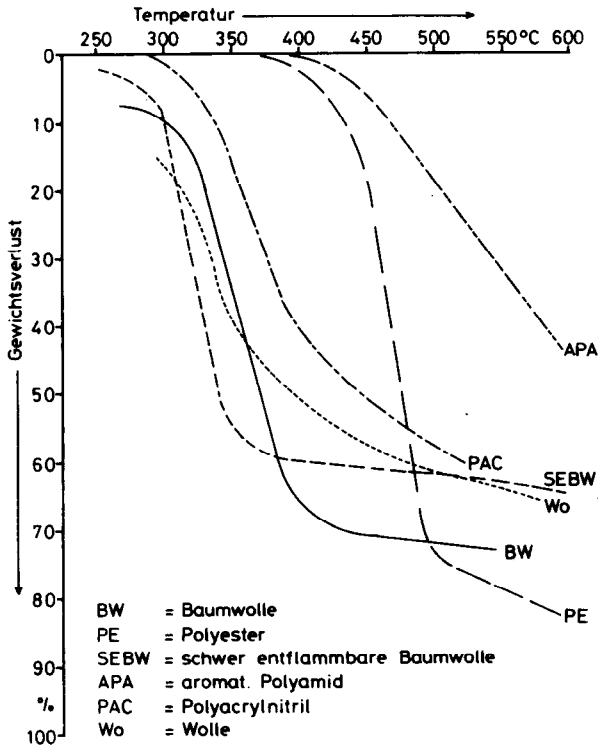


Abb. 9: Menge an flüchtigen Verbindungen (Pyrolyse-dauer: 1 min, bei verschiedenen Temperaturen)

brennbarer Verbindungen bilden. In Abbildung 9 sind die Ergebnisse von Versuchen aufgetragen, bei denen die Textilien 1 Minute bei verschiedenen Temperaturen erhitzt und danach das Restgewicht ermittelt wurde³.

Die Kurven zeigen, daß diese Zersetzung bei allen

Material	Halbwertstemperatur °C
Baumwolle	375
Wolle	470
schwer entflammbar ausgerüstete Wolle	390
Polyacrylnitril	450
Modacryl	470
Polyester	475
Polyamid	425
Nomex	650
schwer entflammbar ausgerüstete Baumwolle	330

Abb. 10: Pyrolysehalbwertstemperaturen in N₂

Textilien im Bereich zwischen 350 und 600 °C unter Bildung flüchtiger Verbindungen erfolgt.

Abbildung 10 zeigt, bei welchen Temperaturen in 1 Minute die Hälfte des Gewichtes in flüchtige Verbindungen übergegangen ist, und in Abbildung 11 wird nachgewiesen, welcher Anteil des eingesetzten Materials nach dem Austreiben der flüchtigen Verbindungen als Rückstand (rneist Kohle) verbleibt³. Es wird daraus ersichtlich, daß sich bei 1000 °C in Luft praktisch alle Stoffe weitgehend verflüchtigen, während dagegen bei 500 °C mehrere Textilien, auch in Luft, weitgehend verkohlen.

Material:	500°C		1000°C	
	N ₂	Luft	N ₂	Luft
Baumwolle	5,9	5,5	0,0	0,0
Wolle	39,5	47,5	43,0	0,8
schwer entflammbar ausgerüstete Wolle	17,2	7,5	22,6	3,7
Polyacrylnitril	39,1	44,0	34,0	0,0
Modacryl	11,8	4,0	0,0	0,0
Polyester	1,4	0,0	0,0	0,0
Polyamid	5,0	0,0	0,9	1,0
Nomex	66,0	65,0	44,0	1,0
schwer entflammbar ausgerüstete Baumwolle	32,0	22,5	30,0	4,8

Abb. 11: Rückstände der Proben in Prozent

b) Zündung

Entwickelt man in einem einseitig offenen Rohr die flüchtigen Verbindungen und läßt diese am oberen Ende des Rohres austreten, so kann man diese mit Hilfe einer kleinen Zündflamme bei einer definierten Temperatur in dem Rohr entzünden⁴. Dieser Punkt wird *Flammpunkt* genannt.

Arbeitet man ohne Zündflamme, heizt aber weiter auf, so kommt man zu einem Punkt, bei dem sich die flüchtigen Gase von selbst entzünden. Dieser Punkt wird *Zündpunkt* genannt.

Bringt man nun die gleichen, in vertikaler Lage hängenden Textilien mit einem glühenden elektrischen Draht in Berührung⁵, so erfolgt die Zündung bei wesentlich höheren Temperaturen (s. Abb. 12).

Der Grund für die unterschiedlichen Zündtemperaturen liegt darin, daß sich bei den verschiedenen Versuchsanordnungen ungleiche Luftmengen mit

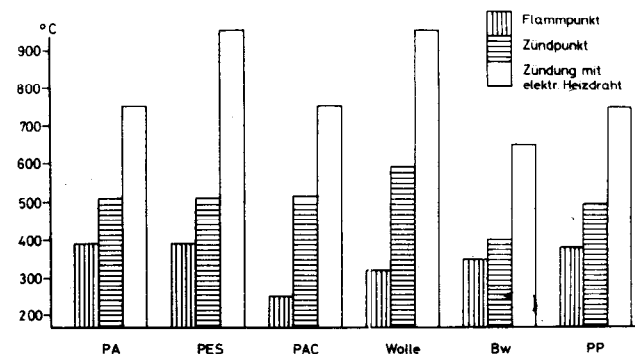


Abb. 12: Flammpunkt — Zündpunkt — Zündung mit elektrischem Heizdraht

dem Pyrolysegas vermischen und der Zündpunkt vom Verhältnis des Volumens Pyrolysegas : Luft abhängt.

In Abbildung 13 wird für einige Pyrolysegas gezeigt, in welchen Mischungsverhältnissen mit Luft diese zündfähig sind. Um jedoch ein Weiterbrennen zu ermöglichen, muß der Brennstelle laufend Luft zugeführt und die entstehenden Brandgase müssen abgeführt werden.

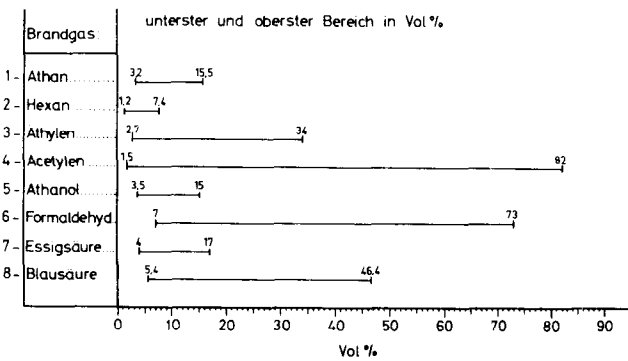


Abb. 13: Zündfähigkeit brennbarer Gase in Mischung mit Luft

In Abbildung 14 wird an einigen einfachen Produkten nachgewiesen, wie groß der Unterschied der zum Brennen benötigten Luftmenge bei verschiedenen Produkten ist. Diese Ausführungen machen deutlich, daß die Luftzufuhr zur Brennstelle und die Art der Luftbewegung an der Brennstelle einen entscheidenden Einfluß auf den Brandablauf haben.

Natürlich können sich auch nichtgasförmige, also flüssige oder feste Pyrolyseprodukte bilden. Diese erscheinen dann als Rauch. Rauch bildet sich überwiegend bei geringer Energiezufuhr. Die Erscheinungen der Rauchbildung werden in einem späteren Abschnitt ausführlich besprochen.

c) Brandausbreitung

Die Brandausbreitung ist nach der Zündung jetzt lediglich eine Frage der Energierückführung aus der Flamme in das brennbare Material. Sie hängt stark von der Art des Textils, der räumlichen Anordnung und der Kombination mit anderen Materialien ab.

Substanz	Luftverbrauch Nm ³ /kg oder Nm ³ *
Holz (wasserfrei)**	ca. 7,3 (Richtwert)
Athylalkohol	6,93
Benzin	11,56
Methan	9,52
Butan	31,00
Leuchtgas	5,03

Abb. 14: Theoretischer Luftverbrauch einiger Substanzen

d) Verlöschten

Das Verlöschten eines Brandes erfolgt, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen eintreten:

- Unterbindung der Energiezufuhr, zum Beispiel durch starken Wind, der die heißen Flammengase von der Brandstelle wegführt und abkühlt, oder durch verdampfendes Wasser beim Löschen.
- Unterbindung der Luftzufuhr durch Abdecken mit Decken oder Löschschaum oder durch Zufuhr nichtbrennbarer Gase, wie Kohlendioxid.
- Das gesamte brennbare Material ist verbrannt.

2. 2. Rauch und Brandgase

Rauch ist ein sehr guter Anzeiger eines beginnenden Brandes und warnt somit den Menschen vor einer beginnenden Gefahr. Zudem ist der sichtbare Rauch weit weniger schädlich als die unsichtbaren Brandgase. Rauch ist nur dann gefährlich, wenn durch zu starke Rauchbelästigung die Fluchtwege nicht mehr sichtbar sind, was dann meist zu panikartigem menschlichem Fehlverhalten führt.

Rauch kann praktisch durch alle organischen Stoffe entwickelt werden, vor allem im unteren Temperaturbereich, dem sogenannten Schwelbereich⁶.

Da schon eine relativ geringe Menge Rauch sichtbar wirkt, sind Konzentrationsunterschiede oberhalb eines relativ niedrigen Grenzwertes meßtechnisch und mit dem Auge nur ungenau erfassbar. Das Verhältnis Rauch zu unsichtbaren Brandgasen hängt sehr stark von den Brandbedingungen⁷ ab. Die Schädlichkeit des neben anderen Verbrennungsgasen hauptsächlich auftretenden Kohlenmonoxids sowie des Kohlendioxids ist an folgendem Beispiel zu erkennen⁷:

In einem luftdicht abgeschlossenen Raum von 15 bis 20 m³ können durch das Abbrennen einer Kerze von 500 g so viel CO und CO₂ entwickelt werden, daß auch ein kurzfristiges Verweilen in diesem Raum lebensgefährlich ist. Dies ist auch der Grund dafür, daß die meisten Brandopfer nicht durch Verbrennungen, sondern durch Ersticken umkommen (z. B. bei Bettbränden oder unvorsichtigem Verhalten in Brandnähe).

Es sei hier bemerkt, daß diese Aussage für alle brennbaren Stoffe gilt, gleichgültig, ob es sich um natürliche oder um synthetische Stoffe handelt⁸. Die

Gas	CO	CO ₂	HCL	COCL ₂	HCN	SO ₂	NO/NO ₂
Trivialname	Kohlenmonoxid	Kohlen-dioxid	Salzsäuregas	Phosgen	Blausäuregas	Schwefeldioxid	Nitrose Gase
Effekt							
für 1 Std. ohne Folgen	400 - 500	3000-3500	50 - 100	ca.5	50 - 60	60 - 100	ca.80
Tödlich in 1/2 Stunde	4000		ca.2000	ca. 30	ca.150	ca. 400	
sofort tödlich	10000	60000 - 70000	1300-2000	50	180 - 270	500 - 600	200 - 700

Abb. 15: Physiologische Effekte von möglichen Brandgasbestandteilen (Konzentration in ppm = parts per million = 10⁻⁴ Vol% = cm³ pro m³)

Behauptung, daß synthetische Materialien mehr schädliche Brandgase entwickelten als natürliche, ist also nicht haltbar. So wird zum Beispiel sowohl von Wolle als auch von Polyacrylnitril beim Verbrennen neben Kohlenmonoxid in geringen Mengen auch Blausäure entwickelt. Das für die textile Anwendung relativ unbedeutende PVC entwickelt dabei das schädliche, aber schon in niedrigen Konzentrationen mit dem Geruchssinn leicht feststellbare HCl, weshalb eine frühzeitige Abwehr möglich ist (siehe Abb. 15).

Neben den bisher erwähnten Brandgasen können beim Brand von stickstoffhaltigen Materialien (z. B. Wolle, Polyacrylnitril, Polyamid) auch Stickoxide und bei schwefelhaltigen Stoffen (z. B. Wolle) auch Schwefeldioxid entstehen⁹.

2.3. Verhalten von Textilien bei Großbränden

Wie bereits ausgeführt, entwickeln handelsübliche Materialien zwischen 300 und 700° C durch die Pyrolyse brennbare Gase. Eine normale Flamme besitzt aber Temperaturen von 900 bis 1200° C; das heißt, daß bei einem Großbrand alle textilen Materialien brennen können — auch schwerentflammbar ausgerüstete Textilien.

2.4. Brandentstehung und -ablauf bei speziellen Textilbränden

2.4.1. Kleidung

Kleidung wird am Körper getragen; sie kann mehr oder weniger eng anliegen. Diese normale Kleidung bietet bereits einen begrenzten Schutz gegen kurzzeitige Flammeneinwirkung von außen. Üblicherweise werden aber Kopf und Hände durch die Kleidung nicht abgedeckt. Deswegen sind diese Körperpartien gegen Flammen- und Hitzeeinwirkung ungeschützt.

Gegen größere Flammen, insbesondere bei längerer Dauer, kann normale Kleidung keinen Schutz bieten. Die Zündung normaler, aus handelsüblichen Fasern gefertigte Kleidung erfolgt bei Einwirkung kleiner Flammen meist nach 1 bis 5 Sekunden. Bis aber die Haut in Mitleidenschaft gezogen wird, vergehen meist weitere 10 bis 20 Sekunden. Diese Zeit reicht im allgemeinen aus, um **geeignete Maßnahmen gegen den beginnenden Kleiderbrand** zu ergreifen. Hierzu gehören zum Beispiel:

- ein Sich-auf-dem-Boden-Wälzen,
- das Abdecken der Brandstelle mit einer Decke, eventuell auch
- das Löschen mit Wasser;

in keinem Falle aber ein Wegspringen oder Weglaufen.

Da die Zündquellen, die zu Kleiderbränden führen können, sehr verschiedenartig sind, die Brandentwicklung aber doch so langsam erfolgt, daß der Mensch darauf reagieren kann, ist bei Kleiderbränden das Verhalten des Menschen weitaus entscheidender als das Brennverhalten der Kleidung.

Anders verhält es sich natürlich mit Arbeitskleidung¹⁰, die je nach Einsatz eine spezifische Schutzwirkung haben muß. Für alle in der Praxis vorkommenden Fälle gibt es eine geeignete Schutzbekleidung, hergestellt aus speziellen Chemiefasern, aus unbrennbaren Fasern (z. B. aus Asbest) oder aus flammhemmend ausgerüsteten Naturfasern.

Der oft gehörte Einwand, daß die heiße Schmelze brennender Chemiefasern besonders schwere Brandwunden verursache, gilt nur dann, wenn größere zusammenhängende Körperpartien davon betroffen sind. Die Statistik zeigt aber, daß solche Unfälle sehr selten sind. Dies hat seinen Grund darin, daß schmelzende Textilien eine brandabbrechende Wirkung haben, was zur Folge hat, daß die Schmelze solcher Textilien meistens nur kleinere Hautbereiche erfassen kann. Anders verhält es sich bei Großbränden, bei denen es durchaus vorstellbar ist, daß größere Körperpartien ergriffen werden können. In diesem Falle ist aber die Gefährdung durch andere Faktoren, wie schädliche Brandgase und Sauerstoffmangel, viel wesentlicher als die mögliche Brandverletzung durch heiße Polymerschmelze. Die schädliche Wirkung, die von den Brandgasen der verbrennenden Kleider ausgeht, spielt wegen der nur kurzzeitigen Einwirkung und ihrer begrenzten Konzentration im Kopfbereich praktisch keine Rolle.

2.4.2. Heimtextilien

a) Fußbodenbeläge

Da Fußbodenbeläge mit ihrer Unterseite auf dem Boden aufliegen, kann die Luft im Falle eines Brandes nur von oben an die Brandstelle gelangen. Da außerdem die heiße Luft nach oben abzieht, werden die Flammen zusammengehalten und breiten sich nur langsam aus. Dies kann man sehr gut bei Brennversuchen beobachten.

Bei der Entstehung und Ausbreitung eines Brandes spielt auch die Struktur des Fußbodenbelages eine wichtige Rolle. Zum Beispiel ist ein Velours aus Polyacrylnitril bei einer bestimmten Polhöhe (bis 12 mm) und hoher Poldichte selbstverlöschend, während das gleiche Material, jedoch mit größerer Polhöhe und geringerer Poldichte, langsam weiterbrennen kann.

Diese Feststellungen gelten aber nur bei der Einwirkung einer kleinen Zündquelle und ohne zusätzliche Strahlen- oder Hitzeeinwirkung wie beispielsweise bei einem Großbrand. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung der Feuerwehr von Bedeutung, die nach einem Großfeuer zumeist feststellt, daß der textile Fußbodenbelag nicht vollständig verbrannt ist¹¹.

Die Hitzeeinwirkung durch brennende textile Fußbodenbeläge pro Zeit- und Volumeneinheit ist gering. Im Fluchtweg — vor allem in öffentlichen Gebäuden — liegen natürlich besondere Bedingungen vor. Die Flucht muß immer möglich sein! Deswegen sollte die Rauchentwicklung im Fluchtweg möglichst gering sein.

b) Möbelbezugsstoffe

Hier gilt im Grundsatz das gleiche wie bei den Fußbodenbelägen, allerdings ist dabei zu bedenken, daß hier das unter dem textilen Bezug befindliche Möbelmaterial das Brandgeschehen wesentlich stärker beeinflusst (z. B. bei Stühlen das mehr oder weniger brennbare Schaumstoffmaterial u. ä.). Ferner können die Flammen hier sowohl auf horizontale als auch auf vertikale Möbelflächen einwirken.

Die Zündung ebenso wie die Brandausbreitung

kann unter sehr verschiedenartigen Bedingungen erfolgen, abhängig von der Anordnung des Möbelstückes im Raum, seiner Struktur und seinem Aufbau sowie von der Einwirkungsstelle der Zündquelle¹². Hinsichtlich der Gesamtmenge von brennbaren Materialien spielen die Möbelbezugsstoffe im Brandfalle im Verhältnis zu den anderen im Raum befindlichen brennbaren Stoffen nur eine untergeordnete Rolle.

c) Vorhänge

Da Vorhänge senkrecht und frei hängen, können sich diese, falls die Brandquelle unmittelbar darunter liegt, relativ leicht entzünden und weiterbrennen. Die Flammen können normalerweise aber zu keiner weiteren Brandausweitung führen, da die brennbare Menge der Vorhänge begrenzt ist¹³. Die zeitliche und räumliche Brandentwicklung bei Vorhängen ist aber stark von der Luftbewegung im Raum abhängig. In größeren Räumen mit größeren Vorhängen, beispielsweise in Theatern oder in Versammlungsräumen, ist die Sachlage natürlich anders. Deswegen haben die Gesetzgeber verschiedener Länder Gesetze erlassen, die für solche Räume bestimmte Anforderungen an das Brennverhalten der Vorhänge stellen. Diese Anforderungen können durch die richtige Wahl des Faserrohstoffes und der konstruktiven Anordnung im Raum erfüllt werden.

2. 5. Sach- und Personenschäden durch Brände

Wo Großbrände entstehen, gibt es große Materialverluste, oft im Wert von Millionen. Textilien spielen bei Großbränden jedoch eine absolut zweitrangige Rolle, da sie in normalen Wohn- und Arbeitsräumen — bezogen auf andere brennbare Materialien — nur in geringer Menge vorliegen (natürlich außer in Textilbetrieben oder in Textillagern). In der Sprache der Feuerwehr heißt das, daß die *Brandbelastung durch Textilien gering* ist.

Anders zu beurteilen ist allerdings die Frage, ob Textilien in der Anfangsphase von Großbränden häufiger beteiligt sind als andere Materialien. Die geringen hierfür zur Verfügung stehenden statistischen Unterlagen, vor allem in den USA, erlauben jedoch die Aussage, daß *Textilien nur selten an der ersten Brandphase beteiligt* sind. Auch bei den wenigen Fällen, bei denen nach der Statistik eine solche Beteiligung von Textilien angenommen wird, ist nicht auszuschließen, daß auch andere Materialien die Brandausbreitung verursacht haben können.

Daraus folgt, daß textile Materialien bei normaler Anwendung weder in der ersten Brandphase noch wegen ihrer geringen Gesamtmenge bei der weiteren Brandausbreitung eine erhebliche Gefahr darstellen. Deswegen ist auch die Sachschadenhöhe durch das Verbrennen von Textilien niedrig. Natürlich sind hierbei wieder Textillagerbrände oder Kaufhausbrände ausgenommen.

Menschliches Leben ist in geschlossenen, aber auch in halboffenen Räumen schon bei kleinen Bränden — gleichgültig, ob diese von Papier, Holz, Textilien oder Kerzen herrühren — *vor allem durch die sich bildenden Brandgase stark bedroht*. Verhält sich der Mensch hierbei richtig, beispielsweise dadurch, daß er sich

rechtzeitig aus der Gefahrenzone entfernt, so kann er sich vor Schaden schützen, weshalb Tote durch Brände, wie aus der anfangs zitierten Statistik¹ hervorgeht, relativ selten sind. Schwerwiegend ist nur, daß Brandverletzungen, sofern es sich um große Brandwunden handelt, sehr teure und langwierige Heilverfahren benötigen, die aber durchaus vergleichbar sind mit solchen von Autounfallverletzten.

Es soll hier berichtet werden, daß bei Bettbränden — dies sind meist durch brennende Zigaretten ausgelöste Schwelbrände — die Brandtoten vorwiegend nicht durch die Hitze umgekommen, sondern durch die Brandgase (Kohlenmonoxid und Kohlendioxid) erstickt sind. Der durch einen solchen Unfall entstehende Sachschaden kann — je nachdem, ob er aufs Bett begrenzt bleibt oder aber zu Folgebränden führt — sehr unterschiedlich sein.

3. Möglichkeiten zur Reduzierung der Brandgefahren

Nach den vorhergehenden Ausführungen ist es naheliegend, Maßnahmen zu ergreifen, die entweder die Brennbarkeit des Textils beeinflussen oder aber solche, die das menschliche Fehlverhalten möglichst verhindern. Technische Möglichkeiten zur Beeinflussung der Brennbarkeit des Textils sind vorhanden, und es soll in Abschnitt 3. 1. ausführlich darauf eingegangen werden. Es muß aber eindringlich darauf hingewiesen werden, daß der Aufwand für diese Beeinflussung sowohl in bezug auf die Kosten als auch auf eine Verminderung des Tragekomforts recht erheblich ist, und es erscheint in den meisten Fällen fraglich, ob dieser hohe Aufwand im Hinblick auf die geringe Zahl der Schadensfälle gerechtfertigt ist.

Die Beeinflussung des menschlichen Verhaltens ist aus psychologischen Gründen sicher auch nicht einfach. Eine positive Beeinflussung würde sich aber, wie aus den angegebenen Statistiken zu ersehen ist, auf eine Reduzierung der Brandunfälle sehr stark auswirken. Deshalb sollen hierzu in Abschnitt 3. 2. noch einige Anregungen gegeben werden.

3. 1. Beeinflussung der Brennbarkeit von Textilien

Bei Unfällen, verursacht durch kleine Zündquellen (z. B. brennende Streichhölzer, brennendes Zeitungspapier, brennende Kerzen oder Feuerzeuge, die auf Textilien gerichtet sind), ist die Einwirkungszeit meist auf wenige Sekunden begrenzt. Es muß also überlegt werden, ob es technisch möglich ist, Textilien herzustellen, die sich durch solche Zündquellen und Zündzeiten nicht oder nur schwer entzünden.

Nach dem derzeitigen technischen Wissen gibt es drei Möglichkeiten, um die Entflammbarkeit von Textilien herabzusetzen:

a) Beeinflussung durch Konstruktion

Die einfachste Möglichkeit, eine Einschränkung des Brandrisikos zu erreichen, besteht darin, die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit zu reduzieren. Je langsamer die Brandausbreitung erfolgt, desto leichter ist der Mensch in der Lage, richtig zu reagieren und zu handeln. Die Erfahrung zeigt, daß neben den Unterschieden, die von verschiedenen Faserrohstoffen verursacht werden, bei gleichem Rohmaterial das Textil mit dem höheren Quadrat-

metergewicht und der höheren Dichte immer langsamer brennt.

Ebenfalls kann auch durch geeigneten Schnitt der Kleidung eine Reduzierung der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit erreicht werden, indem man beispielsweise lose Kanten vermeidet und eng-anliegende Modelle bevorzugt.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß man das Brandverhalten durch die Kombination verschiedener textiler Materialien ebenfalls beeinflussen kann.

b) Beeinflussung durch spezielle Ausrüstung

Bereits vorhandene übliche Textilien können mit flammhemmenden Mitteln ausgerüstet¹⁴ werden. Nachdem man viele Jahre intensiv an diesem Problem gearbeitet hat, wurden für die flammhemmende Ausrüstung — vor allem für zellulosefasrige Fasern — bereits brauchbare Mittel gefunden; ebenso in jüngster Zeit auch für Wolle und Synthesefasern.

Die Schwierigkeit bei derartigen Ausrüstungen liegt in der Tatsache, daß es nur wenige flammhemmende Produkte gibt, die auf den Textilien eine genügende Gebrauchsechtheit gewährleisten.

Ferner ist es nötig, hohe Mengen an Ausrüstungsmitteln auf die Textilien aufzubringen (bei zellulosefasrigen Fasern bis zu 30 %!). Dies bewirkt aber, daß die textilen Eigenschaften, wie Färbbarkeit, Griff, Hautverträglichkeit und Haltbarkeit, durch eine solche spezielle Ausrüstung erheblich verschlechtert werden können. Dieser zusätzliche Arbeitsprozeß bringt außerdem eine nicht unerhebliche Verteuerung der Textilien mit sich.

c) Beeinflussung durch Einsatz schwerentflammbarer Fasern

Die vorerwähnten Schwierigkeiten veranlassen die Chemiefaserindustrie nach Rohstoffen zu suchen, die die Faser von vornherein schwerer entflammbar machen. Dies läßt sich auf verschiedenen Wegen erreichen:

- So kann zum Beispiel die Schmelzbarkeit eines Faserrohstoffes die Entflammbarkeit erheblich reduzieren — einmal durch Wegschrumpfen des Textils vor der Zündflamme, zum anderen Mal dadurch, daß die zugeführte Zündenergie als Schmelzwärme in eine latente, für die Zündung nicht mehr zur Verfügung stehende Form umgewandelt wird. Schließlich wird durch die Bildung großer Schmelzetropfen, die im Vergleich zu den Fasern eine kleinere Oberfläche besitzen, die Wärmeübertragung verlangsamt. Dieser Effekt ist zum Beispiel bei Polyamid und bei Polyester, insbesondere in leichteren Konstruktionen, festzustellen.
- Wesentlich wirksamer wird die Schwerentflammbarkeit einer Faser erzielt, wenn man in den Polymerstoff verschiedene flammhemmende Komponenten miteinbaut¹⁵. Dies ist ein zur Zeit intensiv bearbeitetes Gebiet. Die zusätzlich eingebauten Komponenten können auf verschiedene Weise flammhemmend wirken, beispielsweise durch Entwicklung unbrennbarer Pyrolysegase (wie Wasserdampf, Chlorwasserstoff oder Kohlendioxid). Diese Gase verdrängen die

Luft von der Brennstelle, was zur Folge hat, daß der Brennvorgang gebremst oder unterbunden wird.

- Ein anderer Mechanismus ist der, daß in der Pyrolysephase Radikale entwickelt werden, die die Pyrolysespaltprodukte abfangen und dadurch die Pyrolysegasbildung reduzieren, dafür aber die Kohlebildung fördern.
- Eine weitere Möglichkeit ist die, solche Bausteine zu verwenden, aus denen man hochtemperaturbeständige Fasern erhält. Hier sei nur auf die aromatischen Polyamide hingewiesen¹⁶.
- An dieser Stelle sei auch noch erwähnt, daß man heute schon in der Lage ist, unbrennbare Fasern (z. B. Kohlefasern, Glasfasern, Borcarbidfasern u. a. m.) herzustellen. Diese besitzen aber keine ausreichenden textiltechnologischen Eigenschaften¹⁷.

Diese Ausführungen zeigen, daß eine relativ große Zahl von Möglichkeiten für die Erreichung der Schwerentflammbarkeit von Textilien erforscht und erprobt wurde. Dort, wo die Verschlechterung textiler Eigenschaften in Kauf genommen werden kann und ein erhöhter Preis gezahlt wird, wie zum Beispiel für Hitzeschutzkleidung oder für Theater-vorhänge — um nur zwei herauszugreifen —, ist man bereits in der Lage, mit den heute zur Verfügung stehenden Materialien die Brennbarkeit herabzusetzen. Im Bereich der Bettmaterialien sowie der normalen Straßenkleidung dürften die zur Zeit am Markt befindlichen Textilien jedoch alle Verbraucherwünsche — auch die der Sicherheit — erfüllen. Deswegen werden die neuen Entwicklungen eher für Gebiete wie Heimtextilien, Arbeitsschutzkleidung und technische Artikel in Frage kommen.

Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß Verschmutzungen durch Öl, Benzin, Lösemittel und ähnliche Materialien — was besonders bei Arbeitskleidung vorkommen kann — die anfänglich schwere Entflammbarkeit in eine leichte verwandeln können.

3.2. Reduzierung der Brandgefahr durch richtiges Verhalten

Zum Schluß erscheint es von ganz besonderer Wichtigkeit — wie bereits mehrfach betont —, nochmals darauf hinzuweisen, daß alles Bemühen, schwerentflammbare Textilien herzustellen, nutzlos ist, wenn sich der Mensch in gefährlichen Situationen falsch verhält. Hier sollten in viel stärkerem Maße als bisher Aufklärung und Belehrung einsetzen. Dieses Problem könnte schon von der Schule her aufgegriffen und in den Lehrstoff eingebaut werden. Ebenso könnten die Behörden die Presse dazu anregen, immer wieder belehrende Artikel, die das Thema „Richtiges Verhalten bei Bränden bzw. bei Brandgefahr“ zum Inhalt haben, zu veröffentlichen.

Auch bei der Belehrung über die Sicherheit in den Betrieben oder in der Bundeswehr sollte ein stärkeres Gewicht auf richtiges Verhalten im Brandfall gelegt werden. Ebenso sollte eine solche Aufklärung bei der Erwachsenenweiterbildung und auch in den Elternschulen erfolgen. Hierbei könnte man gleichzeitig auch die Erfahrungen bei der Verkehrserziehung mitver-

arbeiten. **Es sollte eben nichts unversucht gelassen werden**, auch auf diesem Wege **dem Menschen mehr Sicherheit zu bieten**.

a) Vorsorgemaßnahmen

Durch die bisher beschriebenen Maßnahmen kann nur gegen kleine Zündquellen, nicht aber bei Großbränden, eine relativ geringe Verbesserung der Sicherheit für den Menschen erreicht werden. Deswegen soll im folgenden auf andere Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit hingewiesen werden.

- An erster Stelle sei hierzu erwähnt, daß der leichtfertige Umgang mit brennbaren Lösemitteln, wie Benzin oder Brennspritus, eine besondere Gefahr darstellt. Dies beweisen Unfälle beim unsachgemäßen Kleiderreinigen mit Benzin, beim Anfachen eines Grillfeuers mit Brennspritus oder bei unsachgemäßer Lagerung größerer Mengen dieser Lösemittel in Wohnräumen.
- Ferner wird von der Feuerwehr immer wieder besonders darauf hingewiesen, daß Brände auch durch Unordnung entstehen können, beispielsweise, wenn große Mengen ungeordneter Papiere in Fluren oder in Wohnräumen umherliegen, die — durch ein glimmendes Streichholz oder durch eine weggeworfene Zigarette gezündet — zu einer so schnellen Flammenausbreitung führen können, daß der Brand rasch außer Kontrolle gerät.
- Ordnungsgemäß angeschlossene elektrische Geräte müßten eigentlich Selbstverständlichkeit sein, ebenso die Aufstellung einer ausreichenden Anzahl von Feuerlöschern in Wohnungen, um damit Brände bereits im Keim ersticken zu können.
- Im industriellen Bereich und in Kaufhäusern ist die Verwendung von Sprinkler-Anlagen sowie die Unterteilung von Produktions- und Lagerräumen in nicht zu große, gegenseitig brandabgesicherte Zellen durch Gesetze und Vorschriften geregelt.

b) Maßnahmen im Brandfalle

Ist ein Brand ausgebrochen, so kann durch schnelle und sinnvolle Handlungen die Ausbreitung und der Schaden an Sachen und Menschen begrenzt werden.

Sinnvolle Maßnahmen sind:

- Die Menschen müssen sich schnellstens aus dem Gefahrenbereich entfernen bzw. bei Bewußtlosigkeit hinausgetragen werden.
- Sollte die Kleidung Feuer gefangen haben, darf der Betroffene wegen der Gefahr einer beschleunigten Flammenausbreitung nicht weglaufen, sondern muß in Löschdecken eingehüllt werden oder sich auf dem Boden wälzen.
- Um eine Brandausbreitung zu verhindern, muß der Brand zum frühest möglichen Zeitpunkt mit Schaum- und Kohlendioxidlöschern oder mit reichlichen Mengen Wasser bekämpft werden.
- Wenn der Brand nicht mehr beherrscht werden kann, muß die Alarmierung der Feuerwehr schnellstens erfolgen. In diesem Falle sollten —

sofern dies möglich ist — alle Türen und Fenster im Brandbereich geschlossen gehalten werden, um eine Luftzufuhr zur Brandstelle zu unterbinden.

Literatur:

- 1) W. Christian; Das sichere Haus **19**, 3—6 (1974)
B. Sander; Das sichere Haus **20**, 3—7 (1975)
- 2) "Flammable Fabrics Act"; Fourth Annual Report by US-Department of Health, Education and Welfare
"Studies of Deaths, Injuries and Economic Losses Resulting from Accidental Burning of Products, Fabrics, or Related Materials"; Fiscal Year 1972
- 3) U. Einsele; unveröffentlichte Arbeiten, Universität Stuttgart
- 4) z. B. nach DIN 51 794: „Zünd- und Flammpunkt“
- 5) z. B. VDE 0471, Teil 2/70: „Elektrischer Heizdraht“
- 6) M. Rieber; Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz **25**, 133—139 (1975)
- 7) C. J. Hilado; Flammability Handbook for Plastics, Technomic Publication 1969
- 8) Lefaux; Chemie und Toxikologie der Kunststoffe, S. 220—225; Krauskopf-Verlag, Mainz
- 9) G. A. Pirt; Einführung in die Brandlehre, S. 82—85 (1969)
- 10) H. Peter; Die Berufsgenossenschaften, S. 49—58 (1975)
- 11) L. Meckel; Boden, Wand und Decke, S. 25—31 u. S. 75 (1974)
L. Meckel; „Brandschutz“; Deutsche Feuerwehrzeitung **28**, 307—310 (1974)
- 12) NBS-Report 10835: "Upholstered Furniture in Fire Incidents"
- 13) NBS-Report 10864: "Drapery and Curtain Case Histories Data Element Summary"
- 14) P. Thiery; Fireproofing, Elsevier Scientific Publishing Co. Ltd. 1970
- 15) U. Einsele: „Über das Brennverhalten und den Brennmechanismus von Synthesefasern“; Melliand Textilber. **53**, 1395—1402 (1972)
- 16) H. Herlinger: „Hochtemperaturbeständige Fasermaterialien aus organischen Grundstoffen“; Lenzinger Ber. **32**, 31—39 (1971)
- 17) A. H. Frazer: "High Temperature Resistant Fibers"; J. Polymer Sci. Part C, Polymer Symposia 1967

Diskussion

Herlinger: Sie sind ja dafür bekannt, Herr Dr. Rieber, daß Sie für eine saubere Nomenklatur im Bereich des Brandgeschehens eintreten. Auch waren Sie aktivst beteiligt, um eine Klarstellung der Begriffe „flammfest“ und „schwer entflammbar“ zu erarbeiten. Sie sagten: Textilbrände sind selten, vielleicht sind sie deshalb so spektakulär! Über die 16.000 Autounfälle im Jahr in der BRD wird nicht mehr viel geredet, und doch kommen wir im Augenblick daran nicht vorbei. Daß ältere Leute — wie aus Ihrer Statistik hervorging — häufiger und schwerer von Brandunfällen betroffen werden, ist wohl darauf zurückzuführen, daß diese sich nicht rasch genug vom Brandgeschehen entfernen können.

Daher wird wohl an erster Stelle das Bestreben stehen, langsamer brennende Textilien zu schaffen, denn unbrennbare werden wohl kaum erreichbar sein, das kann jeder, der sich in jungen Jahren mit Chemie befaßt hat, bei Hermann Römpp in „Chemische Experimente, die gelin-

gen“ nachlesen. Da ist der Sinn des „Holzspaltens“ genau erklärt: Je feiner ein Material verteilt wird, umso leichter brennt es — und so ist es nun einmal auch bei unseren Textilien: auf der einen Seite werden extrem feine Materialien angestrebt, auf der anderen Seite sollen sie dann aber doch auch wieder nicht mehr brennen. Das schließt einander natürlich aus. Selbst wenn man auf Stahlfasern überginge und sie entsprechend fein machte, brennen auch diese.

Keller: Sie erwähnten, daß es zweckmäßig sei, die Brandausbreitung durch Drosselung der Luftzufuhr zu bremsen. Auf technischem Gebiet ist heute eine Diskussion im Gange, ob man bei größeren Objekten, wie beispielsweise dieser Halle, den Rauchabzug im Falle eines Brandes durch Brandschutzklappen ermöglichen sollte, wodurch natürlich ein Schutz der sich herinnen befindlichen Personen erreicht wird. Andererseits ist aber dadurch der Luftzutritt von außen erleichtert, sodaß sich der Brand leichter ausbreiten kann.

Nachdem diese Frage noch nicht endgültig entschieden ist, hätte ich dazu gerne Ihre Ansicht gehört. Sind Lüftungsöffnungen, die im Brandfall aufgehen und auch diese Druckwelle entlasten, vorzuziehen, oder ist es besser, den Sauerstoffzutritt zu unterbinden?

Rieber: Ich glaube, diese Frage sollte besser von einem Feuerwehrmann beantwortet werden. Meiner persönlichen Meinung nach wird es davon abhängen, wie viele Personen in dem Raum sind. Haben Sie einen Lagerraum, dann wird es höchstwahrscheinlich besser sein, diesen komplett abzuschließen. Handelt es sich aber um einen Versammlungsraum und ist eine entsprechende Zeit erforderlich, um den darin befindlichen Personen dessen Verlassen zu ermöglichen, dann benötigen Sie ganz einfach eine Möglichkeit für den Abzug des Rauches. Es könnte vielleicht sogar eine Automatik eingebaut sein, die es ermöglicht, den Rauch eine kurze Zeit abziehen zu lassen, und die sich dann schließt, weil der entstehende Luftzug natürlich sehr brandfördernd wirkt. Ich würde aber doch meinen, daß dies ein Problem ist, das besser von der Feuerwehr entschieden werden sollte.

Peters: Es würde mich interessieren, welche Pyrolyseprodukte nun tatsächlich entstehen, wenn Polyester-, Polyamid- oder Polyacrylnitrilfasern verbrennen. Die einzelnen Pyrolyseprodukte müßten doch verschieden, aber doch gaschromatographisch leicht feststellbar sein. Wenn Wolle oder Baumwolle verbrennt, müssen doch unterschiedliche Produkte entstehen!

Rieber: Selbstverständlich sind die Pyrolyseprodukte außerordentlich unterschiedlich, je nachdem, welches Material verbrennt. Es ist aber nicht nur allein das Ausgangsmaterial bestimmend, sondern auch die Temperatur, bei der das Material verbrennt, das heißt jene Energie, die bei der Verbrennungstemperatur zugeführt wird, da das Verbrennen ein endothermer Vorgang ist. Daher ist diese Frage auch eine sehr breit gefächerte, und es werden gerade in letzter Zeit auf diesem Gebiet sehr viele Untersuchungen durchgeführt, um dieses Problem genauer zu durchleuchten. Für die Sicherheit des Menschen spielen diese Pyrolysegase eine geringere Rolle als die Endprodukte des Brandes. Nur für das Studium des Brandablaufes ist die Kenntnis der Zusammensetzung der Pyrolysegase wichtig.

Herlinger: Ich möchte dazu noch eine kleine Ergänzung machen. Wir haben mit Hilfe der Gaschromatographie Pyrolyseprodukte untersucht und sind zu der Ansicht gekommen, daß die Pyrolysegaschromatographie für die Entwicklung von Flammenschutzmitteln zwar ein durchaus brauchbares Werkzeug ist, daß sie aber für die Untersuchung schwer entflammbarer Materialien kaum einen Sinn hat. Sie ist nur zur Aufklärung von Mechanismen brauchbar. Dafür muß man allerdings die Gaszusammensetzung aus der Flamme bestimmen, was ja auch überwiegend gemacht wird.

In den Mittelpunkt gerückt ist dagegen die Frage: Was bleibt nach einem Brand übrig? — Wenn Sie beispielsweise mit der Pyrolysegaschromatographie feststellen, daß bei der Pyrolyse Blausäure entsteht, dann ist damit noch lange nicht gesagt, daß Blausäure nicht auch in einem Raum anzutreffen ist, in dem Textilien brennen, denn Blausäure brennt schließlich auch! Beim Pyrolysevorgang, wie man ihn einfach im Labor durchführt, hat man aber ganz andere Verhältnisse als bei einem echten Brand-

geschehen. Herr Rieber hat ja schon die Komplexität dieser Angelegenheit angedeutet.

Um gültige Aussagen machen zu können, müßte man gleichzeitig eine Anzahl von Brandbedingungen festlegen. Abhängig davon, ob das Textil senkrecht oder waagrecht brennt, wird man beim Brand eine verschiedene Gaszusammensetzung vorfinden.

Rieber: In diesem Zusammenhang noch eine sehr interessante Feststellung:

Bei Blutuntersuchungen von Brandverletzten wurde von verschiedenen Stellen beobachtet, daß fast immer Blausäure im Blut gefunden wird. Genauere Untersuchungen zeigten nun, daß jedes Blut, wenn es längere Zeit steht, Blausäure enthält, und daß es sich daher gar nicht um Blausäurevergiftungen gehandelt hatte. Zu unterscheiden, welcher Anteil im Blut selbst entstanden ist und welcher durch das eventuelle Einatmen dazukam, das ist außerordentlich schwer. Diese Tatsache scheint aber noch nicht allgemein bekannt zu sein.

Studt: Wenn man Ihren Vortrag richtig deutet, dann sind alle Bemühungen, eine flammfeste Faser zu entwickeln, einfach Unsinn.

Rieber: Eine „flammfeste“ Faser zu entwickeln, ist auch Unsinn, nur eine „flammhemmende“ Faser ist sinnvoll.

Studt: Meine zweite Frage betrifft die Wirkung des Schmelzens von thermoplastischen Fasern bei einem Brand. Die Auswirkung dieser Fasern haben Sie etwas heruntergespielt. Ich kann mir zwar vorstellen, daß durch solche Fasern der Brand verlangsamt oder gestoppt wird, aber andererseits, wenn diese Schmelze auf die Haut kommt, so ist das doch sicher unangenehmer als eine direkte Verbrennung. Die Schmelzwärme wird ja der Haut unmittelbar zugeführt und führt dort doch zu sehr unangenehmen Verbrennungen!

Rieber: Das habe ich ja betort, und ich kann auch aus eigenen Erfahrungen reden, denn ich habe schon mehr als einmal solche Verletzungen erlitten. Sie müssen aber in diesem Fall vor allem die bremsende Wirkung und damit die Verminderung der Brandgefahr als Ganzes betrachten und andererseits berücksichtigen, daß auch eine Flamme von höherer Temperatur, die auf die Haut einwirkt, dieser ganz erhebliche Verletzungen zufügen kann.

Man muß also abwägen, ob der Kontakt mit der Schmelze an einer begrenzten Fläche auf der einen Seite oder die Einwirkung anderer Brandquellen, wie beispielsweise einer Flamme, auf einer größeren Fläche einen schwerwiegenden Einfluß auf die Verletzung der Haut ausüben kann. In diesem Zusammenhang wurden bereits grundlegende Versuche durchgeführt, um diese Wirkungen von der medizinischen Seite her besser kennenzulernen.

Jach: Sie haben ganz besonders auf die Endprodukte eines Brandes hingewiesen. Mir scheint aber doch das gesamte Brandverhalten von der Zündung über die Pyrolyse, den Nachbrand, bis zum Erlöschen des Brandes sehr wichtig zu sein. Nach den neuesten englischen, amerikanischen und russischen Forschungsergebnissen hat man festgestellt, daß sich bei einem Brand in großer Anzahl kurzlebige Radikale bilden, die sich rasch regenerieren und kombinieren. Darunter sind auch sehr viele toxische Produkte anzutreffen. So wurde beispielsweise bei neueren Untersuchungen festgestellt, daß die Annahme, daß beim Verbrennen von Polyurethanen und Plexiglas keine Blausäure auftritt, doch nicht ganz zutreffend ist, und daß nach neueren gaschromatographischen Untersuchungen der Anteil an Blausäure unter gewissen Verbrennungsbedingungen sehr viel höher liegt, als man überhaupt vermutet hätte.

Wir sind also hier wirklich noch am Anfang, um die Gefährlichkeit der einzelnen Produkte in den einzelnen Brandphasen abschätzen zu können.

Rieber: Die Ergebnisse sind teils sehr widersprechender Natur, sodaß man hier wohl abwarten sollte, bis endgültige Ergebnisse vorliegen.

Falthansl: Wir haben gesehen, daß Sie für klare Definitionen in bezug auf das Brennverhalten eintreten. Auch hat die Fachpresse in letzter Zeit Definitionen und Begriffe zum Brennverhalten veröffentlicht und gebeten, man solle sich doch dieser Definitionen und Begriffe zum allgemeinen Verständnis bedienen. Es ist mir aber aufgefallen, daß

es eigentlich eine Ausnahme ist, wenn sich jemand an diese Definitionen hält.

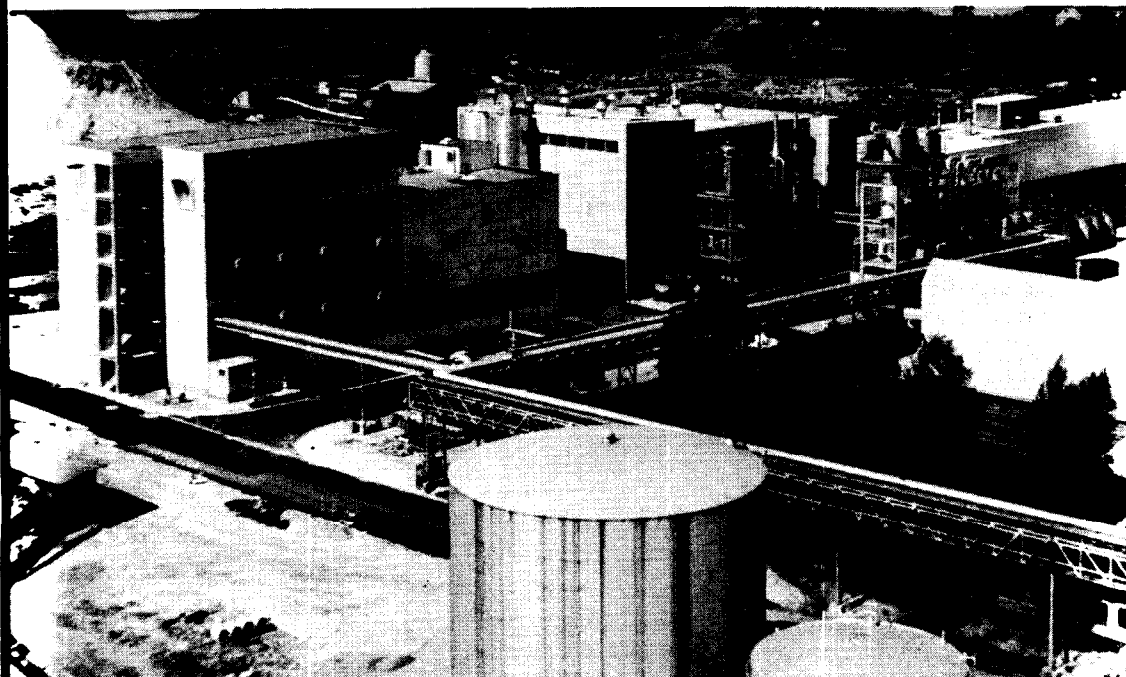
Meine erste Frage: Warum ist das so? — Und die zweite: Wäre es wünschenswert und möglich, in unserem Endbericht über die Chemiefasertagung in den „Lenzinger Berichten“ sich zu bemühen, diese Begriffe und Definitionen aufzunehmen? Oder ist das Ihrer Meinung nach gar nicht möglich?

Rieber: Das wäre grundsätzlich durchaus möglich. Wir haben in der ISO Definitionen ausgearbeitet, die teilweise noch nicht endgültig beschlossen sind. Das, was im Mel-liand dreisprachig veröffentlicht wurde, wird als Grund-

lage dazu dienen, denn es wird sich nach meiner Ansicht daran nicht mehr viel ändern, da man sich so weit einig ist, daß es sich nur noch darum drehen kann, die Formulierungen exakter auszudrücken.

Das Wort „*flammpfest*“, englisch „*flame resistant*“, wird im englischsprechenden Raum heute kaum mehr gebraucht. Man kann die Falschbenützung von Begriffen durch Information sehr wohl reduzieren. Vermeiden kann man sie letztlich nicht, weil die wissenschaftliche Diskussion, die möglichst exakte Begriffe benötigt, auf der einen Seite und die werbemäßige Aussage, die einen anbietenden Charakter haben soll, auf der anderen Seite nicht immer deckungsgleich sein können.

MAYREDER



INGENIEURE MAYREDER, KRAUS & CO.
 Baugesellschaft m.b.H.
 4021 Linz, Sophiengutstraße 20

CHEMIEFASER LENZING AG.
 Gesamtansicht der ACN-Anlage
 Bauausführung in A R G E

Eine statistische Studie über die Brandgefahr bei Textilien

Professor Dr. Henry T o v e y
United States Department of Commerce,
National Fire Prevention and Control Administration,
Washington

Der Vortrag beschreibt institutionelle und technische Systeme in den USA, die die Entflammbarkeit von Textilien identifizieren und charakterisieren, wodurch Prioritäten zur Erstellung von Normen erhalten werden.

Einige Untersuchungsergebnisse von statistisch erfaßten Brandunfällen im Haushalt werden besprochen.

Der Vortrag endet mit einem Bericht über die derzeitigen internationalen Entwicklungen, die Brandstatistik von Textilien betreffend, die vor kurzem vom Internationalen textiltechnischen Komitee des Internationalen Normenausschusses eingeleitet worden sind.

This paper describes institutional and technical systems in the USA, which identify and characterize the flammability of textiles and thus help in setting priorities for textile flammability standards.

Some results of statistical analyses of household fires are discussed.

The paper ends with a report on the present status of international developments on textile fire statistics worked on by the Textile Committee of the International Standards Organization.

Die Methoden zur Untersuchung von Unfällen mit feuergefährlichen Textilien fassen wir unter dem Namen "Flammable Fabrics Accident Case and Testing System" zusammen. Die Abkürzung hierfür lautet: "FFFACTS". Dieses System ist die wichtigste Datenquelle für Brandunfälle mit Textilien seit den letzten fünf Jahren, und es ist wichtig, seine Möglichkeiten und Grenzen genau festzustellen. Auch ein Überblick über die analytische Methodik in der Entwicklung von Prioritäten für Entzündbarkeitsnormen erscheint mir bedeutungsvoll.

Anschließend werde ich die beiden wesentlichen statistischen Methoden besprechen, welche sich mit Daten über Textilbrände in den USA befassen, und zum Schluß die letzten Erkenntnisse im internationalen Bereich diskutieren.

Methoden zur Untersuchung von Unfällen mit feuergefährlichen Geweben

Die Verordnung über feuergefährliche Stoffe¹ ermöglichte die Erstellung verbindlicher Entzündlichkeitsnormen für Textilerzeugnisse, um der Öffentlichkeit Schutz vor unzumutbarer Feuersgefahr zu gewähren, welche den Tod, Verletzungen oder nennenswerten Sachschaden verursachen kann. Im Jahre 1973 wurde die Verantwortung für die Durchführung dieser Verordnung dem Verbraucherausschuß für Produktsicherheit übertragen². Das Landesnormenamt gibt dem Ausschuß technische Beihilfe, und bis 1975 war die

"FFFACTS"-Methode in diese Beihilfe einbezogen. Damals wurde sie dem Ausschuß übertragen.

Wie eingangs dargelegt, sollte die "FFFACTS"-Methode statistisches Material über Todesfälle, Verletzungen und wirtschaftliche Verluste sammeln, die von „unzumutbaren Gefährdungen“ herrührten, und die Einführung von Normenprioritäten fördern³. Es war auch vorgesehen, durch diese Methode Information über das Verhalten von Textilien in Brandfällen zu erhalten, woraus sich kleinere Versuche über das wirklichkeitsnahe Verhalten leichter ableiten ließen und hiermit ein Beitrag zum Wissen über das Wesen der Textilentzündbarkeit geleistet wird. Wie sich zeigte, brachte sie auch Information über die Rolle, welche Brandherde bei Textilbränden spielen, und half somit Vorschläge für erhöhte Sicherheit zu erstellen.

Die Stärke der "FFFACTS"-Methode liegt in den gründlichen Untersuchungsberichten über Vorkommnisse bei feuergefährlichen Stoffen. Hierfür werden besonders entworfene Formulare benutzt, die jede Einzelheit bei den vorkommenden Textilbränden erfassen und katalogisiert wiedergeben.

Über diese Berichte kann mit Sicherheit gesagt werden, daß sie in der Tat aussagekräftig sind und genügend Informationen bieten, um die Bearbeitung lohnend zu machen. Wenn sich die Berichte als annehmbar erweisen, werden sie sorgsam analysiert, woraufhin die darin enthaltene Information — zusammen mit Daten aus Laborversuchen an den Überresten der betreffenden Textilien — verschlüsselt und in den Computer eingespeist wird.

Da die Forschung nicht nach einem statistisch festgelegten Musterplan vor sich geht, ist die Datenbasis von "FFFACTS" kein statistisch repräsentatives Muster für alle Textilbrände in den Vereinigten Staaten. Aber eine Reihe von Tendenzen, die sich bei den früher gewonnenen Daten gezeigt haben, sind die gleichen geblieben, obwohl die geographischen Gegebenheiten ebenso wie die Erfassungsmethoden häufig voneinander abweichen und sich die Datenbasis verdoppelt und verdreifacht hat. Darum glauben wir mit Recht, daß die "FFFACTS"-Daten die tatsächliche — in den Vereinigten Staaten gesammelte — Erfahrung mit Bränden wiedergeben.

Wahl von Prioritäten für Normen

Wenn die Datenbasis von "FFFACTS" über 2000 Berichte enthält, wird die zu ihrer Analyse verwendete Methodik zu einem festgelegten Vorgang ent-

Tabelle 1: Kriterien zur Erstellung von Prioritäten für die Normierung brennbarer Gewebe (Auswertung von Brandunfällen)

- Feststellung der betroffenen Bevölkerungsgruppen
- Einfluß brennbarer Flüssigkeiten
- Aufteilung nach Artikelart
- Aufteilung nach Geschlecht der Betroffenen
- Entzündungsstelle
- Grad der Verletzung
- Altersgruppen der Betroffenen
- Technologische Durchführbarkeit von Vorschriften
- Erstellbarkeit von Vorschriften

wickelt⁴. Die Aufzeigung von Normenprioritäten für feuergefährliche Textilien erforderte eine laufende Überprüfung dieser Daten im Hinblick auf neun Kriterien, wobei in jeder Etappe eine bessere Identifizierung und Reihung nach der Schwere der Gefahren ermittelt wurde.

Der erste Schritt der Auswertung erforderte eine Definition der zu erfassenden Gesamtzahl. In dem hier gezeigten Beispiel (Tab. 1) sind 1492 Fälle aus dem Bekleidungssektor berücksichtigt, die wiederum zu den insgesamt 1964 Fällen der "FFACTS"-Datenbasis vom Dezember 1972 gehören.

Der zweite Schritt besteht in der Ausscheidung jener Fälle, in denen durch Einwirkung einer feuergefährlichen Flüssigkeit, wie Benzin, die dem Gewebe zufallende Rolle verdeckt wird. Da solche Fälle bei der Identifizierung wirklich gefährlicher Stoffe nicht fördernd wirken, wurden sie hier nicht in Betracht gezogen.

Die verbleibenden Fälle wurden dann auf die verschiedenen Kategorien der Bekleidungstextilien verteilt. Nachtbekleidung stand hinsichtlich Häufigkeit an erster Stelle, während Unterwäsche, Hemden, Hosen und Kleider in dieser Reihenfolge dahinter rangieren (Tab. 2).

Tabelle 2: Am häufigsten betroffene Bekleidungsartikel (FFACTS, Dezember 1972)

Bekleidungsart	Anzahl der Unfälle
Schlafwäsche	391
Unterwäsche	349
Hemden/Blusen	255
Hosen	152
Kleider	120

Bei einer Datenaufteilung nach Geschlecht und Häufigkeit steht die Frauen-Nachtbekleidung an erster Stelle, während diejenige für Männer am Ende der Liste aufscheint. Unterbekleidung steht noch oben auf der Liste — für Männer an zweiter und für Frauen an vierter Stelle (Tab. 3).

Nach Annahme des nächsten Kriteriums im Auswahlprozeß wurden alle Kleidungsstücke, die nicht als erste Feuer fingen, von der weiteren Betrachtung ausgenommen. Dieses Kriterium beruht auf der Annahme, daß

Tabelle 3: Am häufigsten an Brandunfällen beteiligte Bekleidungsstücke, geordnet nach dem Geschlecht der Betroffenen (FFACTS, Dezember 1972)

Art der Bekleidung	Geschlecht der Betroffenen	Gesamtanzahl der Unfälle
Schlafwäsche	Frauen	298
Unterwäsche	Männer	212
Hemden	Männer	200
Unterwäsche	Frauen	137
Hosen	Männer	129
Kleider	Frauen	119
Schlafwäsche	Männer	93

das zuerst entflammte Kleidungsstück für die Gefährdung weitgehend entscheidend ist. Es muß jedoch gesagt werden, daß es hierfür — obwohl diese Hypothese einleuchtend ist — noch keinen Beweis gibt. Da außerdem die Reihenfolge der Zündung in den schwereren Fällen oft nicht bestimmt werden kann — insbesondere dann, wenn das Opfer nicht mehr am Leben ist, um den Hergang erzählen zu können —, führt die Anwendung dieses Kriteriums möglicherweise zu Vorurteilen.

Die Ausschaltung aller Kleidungsstücke, die nicht als erste brannten, bringt eine wesentliche Änderung der Reihenfolge: Unterbekleidung, die oft an den Vorgängen beteiligt war, doch selten als erste brannte, rückt nun an die letzte Stelle (Tab. 4).

Tabelle 4: Bekleidungsstücke, die am häufigsten als erstes zu brennen beginnen, geordnet nach Bekleidungsart und Geschlecht der Betroffenen (FFACTS, Dezember 1972)

Art der Bekleidung	Geschlecht der Betroffenen	Gesamtzahl der Unfälle	Anzahl primär entzündeter Bekleidungsstücke
Schlafwäsche	Frauen	298	243
Hemden	Männer	200	120
Kleider	Frauen	119	78
Schlafwäsche	Männer	93	75
Hosen	Männer	129	42
Unterwäsche	Männer	212	23
Unterwäsche	Frauen	137	4

Das nächste Kriterium im Auswahlprozeß handelt von der Schwere der Brandverletzungen. Während dieses Kriterium 1972 noch in Betracht gezogen wurde, sind wir heute nicht mehr dazu bereit, weil wir uns darüber nicht schlüssig sind, wie dieses zu beurteilen ist. Wir schreiben jetzt das Jahr 1975, und die Beziehung zwischen der Schwere der Verletzung und den Gewebe- bzw. Bekleidungsparametern ist noch nicht völlig klargestellt.

Ein Studium der "FFACTS"-Datenbasis vom Februar 1974 über bis dahin insgesamt 3047 berichtete Fälle zeigt, daß die Paßform eines Kleidungsstückes wesentlich mit dem Ausmaß der Brandverletzung zusammenhängt, wobei Hemden und Hosen weniger schwere, Pyjamas mittelmäßige und Oberbekleidung, Nachthemden und Kleider die schwersten Brandverletzungen verursachen⁵.

Von den anderen Gewebe/Kleidung-Parametern, die beobachtet wurden, wies nur die Faserzusammensetzung eine nennenswerte Wechselbeziehung auf, wobei ganz aus Zellulosefasern oder aus Gemischen von Zellulose- mit anderen Fasern gefertigte Kleidungsstücke eine Wechselbeziehung mit stärkerer Brandgefahr aufwiesen als solche aus einschichtigen Artikeln, die aus thermoplastischen Fasern hergestellt waren.

Mehrschichtige Kleider aus thermoplastischen Fasergeweben neigten zu einem Verhalten, das mehr den Zelluloseartikeln ähnelt als den einschichtigen thermoplastischen Geweben. Gewicht, Aufbau und Oberflächeneigenschaften sowie die Brandzeit der Textilien

wiesen keinen eindeutigen Zusammenhang mit dem Ausmaß der Verletzungen auf. Es darf jedoch nicht außer acht gelassen werden, daß viele großflächige Kleidungsstücke, wie Kleider und Anzüge, meistens von älteren Leuten bzw. von Frauen getragen werden. Diese Personen sind hinsichtlich ihrer Abwehrfähigkeit im allgemeinen nicht so geschickt wie jüngere Menschen. Aus diesem Grunde kann auf die Frage der tatsächlichen Gefährdung durch solche Kleidungsstücke noch keine schlüssige Antwort erteilt werden. Aus diesen Gründen sind wir heute noch nicht in der Lage, ein Kriterium der Verletzungsschwere bei der Festlegung der Prioritäten aufzustellen.

Das nächste in Betracht gezogene Kriterium war das Alter der Betroffenen; und um die Daten aufschlußreicher zu gestalten, wurde das Alterskontinuum in Altersgruppen aufgeteilt, von denen anzunehmen ist, daß sie in großen Zügen ähnliche Verhaltensweisen darstellen. Natürlich sind die Ausschnitte nicht einheitlich, und die Daten mußten sinngemäß gedeutet werden, um eine entsprechende Reihenfolge aufstellen zu können. Dies geschah, indem die Anzahl der Kleidungsstücke einer gegebenen Altersgruppe durch das proportionelle Verhältnis der US-Bevölkerung, die von dieser Altersgruppe repräsentiert wird, geteilt wurde.

So wurden zum Beispiel die Fälle der zuerst entzündlichen Frauen-Nachtbekleidung auf eine Altersgruppe verteilt. Hieraus ergab sich, daß die Altersgruppe von 0 bis 5 Jahren 50 Fälle aufwies. Diese Zahl wurde durch 0,051 geteilt, da die Mädchen in der 0-bis-5-Altersgruppe 5,1% der gesamten US-Bevölkerung ausmachen. Das Ergebnis — 98 — ist der höchste Wert auf der Liste und weist auf die höchste Gefahrenstufe hin.

Die auf diese Weise erhaltenen Werte werden „**Indexzahlen der relativen Fallhäufigkeit**“ genannt, weil sie die relative Häufigkeit in der Bezogenheit verschiedener Kleidungsarten hinsichtlich unterschiedlicher Bevölkerungsanteile darstellen. Sie können über Altersgruppen und Kleidungsarten miteinander verglichen werden und ermöglichen somit die Zielerreichung des gesamten Vorgangs — nämlich die Festlegung einer Rangordnung der „Anwärter“ in bezug auf ihre Gefährlichkeit.

In dem Musterbeispiel, das wir dann weiter verfolgten, rückte der Begriff „Nachtbekleidung“ an die vier ersten Stellen:

- Nachtbekleidung für Frauen der Gruppe 0 bis 5 Jahre,
- Nachtbekleidung für Frauen der Altersgruppe 6 bis 12 Jahre,
- Nachtbekleidung für 66jährige und ältere Frauen und
- Nachtbekleidung für Männer der Altersgruppe 0 bis 5 Jahre (Tab. 5).

Die hohen Indexwerte stellen die höchsten Gefährdungen dar und bilden Prioritäten für die Erstellung von Entzündlichkeitsnormen. Die Normen müssen jedoch technisch durchführbar sein, und den Möglichkeiten der Industrie, die benötigten flammfesten Kleidungsstücke zu liefern, ist gebührende Beachtung zu schenken.

Natürlich sind drei der vier an höchster Stelle stehen-

Tabelle 5: Relative Indexwerte der Unfallhäufigkeit, geordnet nach Bekleidungsart bzw. nach Geschlecht und Alter der Betroffenen

Art der Bekleidung	Geschlecht der Betroffenen	Altersgruppe	Indexwert
Schlafwäsche	Frauen	0—5	98
Schlafwäsche	Frauen	6—12	87
Schlafwäsche	Frauen	66+	71
Schlafwäsche	Männer	0—5	96
Kleider	Frauen	0—5	49
Schlafwäsche	Frauen	46—65	40
Hemden	Männer	66+	35
Kleider	Frauen	0—12, 66+	29 (je)
Hemden	Männer	13—20	26
Schlafwäsche	Frauen	21—45	24
Hemden	Männer	21—45	24
Hemden	Männer	46—65	23
Schlafwäsche	Männer	66+	23
Schlafwäsche	Männer	6—12	22
Hemden	Männer	0—5	21
Hemden	Männer	6—12	18
Schlafwäsche	Frauen	13—20	14
Hosen	Männer	0—5, 66+	13 (je)
Hosen	Männer	46—65	11
Kleider	Frauen	46—65	9
Hosen	Männer	6—12	8
Hosen	Männer	21—45	7
Schlafwäsche	Männer	46—65	7
Schlafwäsche	Männer	13—20	5
Hosen	Männer	13—20	4
Kleider	Frauen	21—45	4
Schlafwäsche	Männer	21—45	43
Kleider	Frauen	13—20	1

den Gruppen, die sich aus unserer Analyse ergaben, bereits in Normen gefaßt. Die vierte, betreffend die Nachtbekleidung für 66jährige und ältere Frauen, stellt ein Problem bezüglich der Durchführbarkeit dar, weil Nachtbekleidung für diesen Personenkreis nicht unterschiedlich gegenüber der Nachtbekleidung für andere Erwachsene behandelt werden kann. Es scheint derzeit keine Möglichkeit für eine obligatorische Regelung zu geben, um diesen Bevölkerungsteil einzubeziehen und den Rest auszuschließen, der nicht zum Gegenstand der Regelung gemacht zu werden braucht.

Es wäre wohl möglich, eine allgemein gültige Regelung zu akzeptieren, wie zum Beispiel für die gesamte Frauen-Nachtbekleidung. Es wurde jedoch in Frage gestellt, ob ein solches Vorgehen wünschenswert sei, selbst wenn es als technisch durchführbar gilt. Nach einer vorbereitenden Studie, die sich mit den Quantitäten der in Nachtbekleidung, Hemden und Hosen verbrauchten Stoffe befaßt, könnte der Kleinhandelswert der Kleidung um 2,5 bis 5 Milliarden Dollar⁷ erhöht werden, wenn alle diese den Anforderungen des Vertikaltests⁸ entsprechen sollten. Die direkten Kosten für die Herstellung ausreichender Materialmengen zum Austausch der Kleidungsstücke, die eine solche Prüfung nicht bestehen, belaufen sich schätzungsweise auf 310 Millionen Dollar für Frauen-Nachtbekleidung, 81 Millionen für Abend- und Hauskleider, 72 Millionen für Herren-Pyjamas, 340 Millionen für Anzüge, 786 Millionen für Herren- und Knabenhemden und

516 Millionen Dollar für Herren- und Knabenhosen. Diese Zahlen unterstreichen die Notwendigkeit einer exakten Bestimmung der Größenordnung von Feuergefahr, verursacht durch solche Textilien, und zwar in einer Form, die den Vergleich mit anderen Gefahren und mit den Kosten für Abhilfemaßnahmen gestattet. Das kann von der "FFACTS" nicht durchgeführt werden, weil die aus einer "FFACTS"-Datenanalyse erhältlichen Prioritäten relativ sind und eine Rangordnung innerhalb der Textilengruppe darstellen.

Statistische Methoden

Aus diesem Grunde ist man in den Vereinigten Staaten bemüht, das gesamte Problem der Textilbrände auf eine statistisch klar erfassbare Basis zu stellen. Es stehen dafür zwei wichtige Methoden zur Verfügung:

1. das "NEISS"-System, das heißt das Nationale elektronische Überwachungssystem für Verletzungsfälle⁸, und
2. das "NFDS"-System, das heißt das Nationale Branddatensystem⁹.

Mit dem "NEISS" arbeitet der Verbraucherausschuß für die Produktsicherheit. Es handelt sich dabei im wesentlichen um ein Verfahren zur Überwachung von Unfällen mit dem Zweck, Charakter und Ausmaß der Verbraucher-Sicherheitsprobleme zu bestimmen. Es ist dies ein Netz von 119 nach statistischen Grundsätzen ausgewählten Unfallstationen in Krankenhäusern. Die Datenerfassung setzt ein, sobald der Patient in die Unfallstation zur Behandlung eingeliefert wird. Der Empfangsbeamte erhält eine grundlegende Darstellung des Unfalls und macht schriftliche Aufzeichnungen darüber. Diese Information wird dann chiffriert und elektronisch nach Washington weitergegeben, wo sie erfaßt und ausgewertet wird.

Die "NEISS"-Daten werden jeden Monat in den "NEISS"-Nachrichten veröffentlicht. Nach der Ausgabe vom Juli 1975 wurden den Unfallstationen der 119 "NEISS"-Krankenhäuser im April 34 mit Bekleidung zusammenhängende Unfälle gemeldet¹⁰. Die bei "NEISS" vermerkten Daten zeigen im allgemeinen einen relativ niedrigen Anteil von Unfällen, die mit Textilien zusammenhängen (Tab. 6).

"NEISS" ist in der Lage, ihren Einsatzzweck — die Überwachung von Unfällen im Bereich der Verletzungen durch Textilien — zu erfüllen, aber es ist kein

ideales Verfahren im Hinblick auf das Problem der Textilbrände. Es werden dabei nur solche Unfälle erfaßt, die von der Unfallstation der Krankenhäuser registriert und behandelt werden, das heißt, alle Todesfälle sowie Personen, die unmittelbar an spezielle Brandverletzungszentren dirigiert werden, bzw. Patienten, die sich in Privatbehandlung von Ärzten begeben, oder solche, die überhaupt keine ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen, werden von diesem Verfahren nicht erfaßt.

Das staatliche Branddatenerfassungssystem ist ein entscheidender Teil der neuen staatlichen Datenzentrale bei der Behörde für Brandverhütung und -überwachung¹¹. Als der Kongreß im Jahre 1974 diese Behörde ins Leben rief, setzte er ihr verschiedene Hauptziele, darunter:

- die Erstellung einer exakten, das ganze Land umfassenden Analyse des Brandproblems,
- die Beihilfe zur Aufstellung von Prioritäten,
- die Kennzeichnung von Bereichen mit wichtigen Problemen,
- die Bestimmung von Lösungsmöglichkeiten,
- die Aufzeichnung von Verlusten, die durch Brände entstanden sind.

Die oben erwähnte Behörde wurde geschaffen, damit sie sich diesen Dingen widmen soll. Zu diesem Zweck muß sie die Brandprobleme mengenmäßig erfassen, um deren Ausmaß bestimmen zu können. Dazu ist notwendigerweise das Ausmaß der Feuergefahr bei Textilien zu ermitteln.

Ein wichtiges Unterverfahren der "NFDS" erfaßt Berichte über Brandunfälle, die von der Feuerwehr erstellt wurden. Dieses Unterverfahren wurde im vergangenen Jahr in einer Versuchsarbeit getestet, wobei einige Daten erfaßt wurden. Der statistische Wert dieser Daten ist nicht bestimmbar, weil es sich ja um eine Versuchsarbeit handelte, und den dabei erhaltenen Zahlen sollte nicht allzuviel Bedeutung beigemessen werden. Ich möchte sie dennoch nennen, und zwar als ein Beispiel für die Art der Daten, welche das System künftig produzieren kann.

Die Berichte über Brandunfälle, die bei dieser Versuchsarbeit erfaßt wurden, enthalten Fragen über den kausalen Zusammenhang. Unter anderem wurde dabei eine Frage erörtert, die sich mit der Beschaffenheit der erstentzündeten Materialien befaßte. In 46.837 Berichten wurde eine Antwort auf diese Frage erteilt (Abb. 1).

Tabelle 6: Verletzungen, die in NEISS-Spitälern behandelt wurden, nach bestimmten Gebrauchsartikeln geordnet (Werte für Artikel, die zur Illustration aus der Ausgabe der NEISS-News (Bd. 4, Nr. 1) vom Juli 1975 ausgewählt wurden)

Produktbeschreibung	Anzahl der Fälle		Geschlecht der Betroffenen (in %)	
	April	7/14/74 4/30/75	m	w
Treppen, Treppenabsätze	2239	18.791	42	58
Fahrräder	1458	13.825	65	35
Kochherde, Öfen	95	987	45	55
Tag-, Nachtbekleidung	34	227	41	59
Wassererhitzer	5	93	40	60

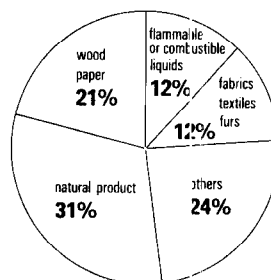


Abb. 1: Materialien, die zuerst in Brand gerieten (NFIRS-Veruchsstadium — 46.837 Unfälle)

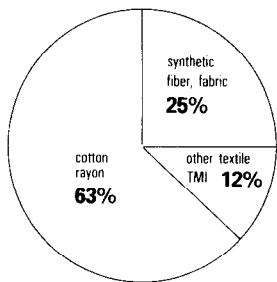


Abb. 2: Stoffarten, die zuerst Feuer fingen, in der Klasse Textilien und Pelze (NFIRS-Versuchsphase — 5552 Unfälle)

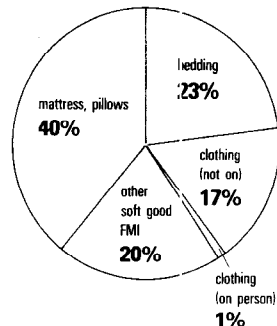


Abb. 4: Materialien, die in der Klasse der „weichen Waren“ (z. B. Bettzeug, Tapezierware u. ä.) sowie der Bekleidung, die nicht getragen wurde, zuerst in Brand gerieten (NFIRS-Versuchsphase — 3279 Unfälle)

Textilien oder Gewebe waren in 5552 Fällen, das heißt in etwa 12 % der Gesamtfälle, diejenigen Stoffe, die zuerst brannten. Gewebe und Textilien erwiesen sich als die viertgrößte Gruppe aus den neun Hauptgruppen für die zuerst brennende Materialart. Im Rahmen der Gruppe „Gewebe und Textilien“ (Abb. 2) machten baumwollene und kunstseidene Textilien 63 % der Gesamtsumme aus; synthetische Fasern und Gewebe kamen an zweiter Stelle mit 25 %. Will man die gleichen Werte auf andere Art darstellen, so waren baumwollene und kunstseidene Erzeugnisse jene Materialien, die bei 7 % aller Brände zuerst Feuer fingen. Synthetische Stoffe waren bei 3 % der Brände die Zündquelle.

Eine andere Frage, die in der erwähnten Versuchsarbeit aufgeworfen wurde, bezog sich auf die Art des zuerst brennenden Materials (Abb. 3). Aus einer Datenbasis von 46.686 Fällen ergab sich, daß Webwaren und Kleider 7 % der Gesamtfälle ausmachten.

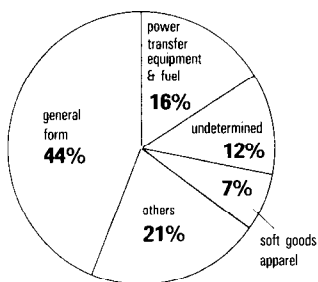


Abb. 3: Stoffe, die zuerst in Brand gerieten (NFIRS-Versuchsphase — 46.686 Unfälle)

Die Gruppe „Webwaren und Kleider“ umfaßt auch wieder etliche Kategorien (Abb. 4). Die umfangreichste Kategorie waren Matratzen und Kissen. Sie umfaßt 40 % dieser Gruppe. Die zweitgrößte Kategorie war Bettzeug, das 23 % aller Fälle ausmachte. Diese beiden Kategorien stellten 5 % aller entzündeten Stoffarten dar — eine Zahl, die auf die Brandgefahr hinweist, die beispielsweise durch das Rauchen im Bett verursacht wird.

Die Kategorie nicht getragene Kleidung machte 17 % der Gruppe „Textilien“ aus, aber bei getragenen Kleidern waren es nur 1 %.

Der staatliche Überwachungsdienst für Haushaltsbrände¹² wurde im April 1974 eingesetzt, um einen Überblick über das den ganzen Staat umfassende

Problem der Haushaltsbrände zu erhalten. 33.000 nach statistischen Aspekten ausgewählte Haushalte in den Vereinigten Staaten wurden Interviews unterzogen und befragt, ob in den vorhergegangenen 12 Monaten bei ihnen Feuer ausgebrochen sei. Wurde die Frage bejaht, hatten diese Personen auf eine Anzahl das Feuer betreffende Fragen zu antworten.

Die Statistik ergab eine geschätzte jährliche Gesamtzahl von 5,575.000 Bränden. Innenausstattungen (Teppiche, Decken, Vorhänge, Polstermöbel u. a.) sind in etwa 285.000 Fällen als erstentzündliche Stoffe bezeichnet worden; Kleider in 159.000 Fällen, Bettzeug in 115.000 Fällen und andere Textilien in 69.000 Fällen. Alle diese ergeben eine Gesamtsumme von 628.000 Fällen, was bedeutet, daß Textilprodukte mit etwa 11 % aller Brandfälle als zuerst entzündbare Materialien anzusehen sind (Tab. 7)¹².

Tabelle 7: Übersicht über die Zahl der Brandfälle im Haushalt pro Jahr (Nationaler Haushaltsbrandbericht)

Haushaltsbrände (insgesamt)	5,575.000	100 %
Textilbrände (insgesamt)	628.000	11 %
Wohnungsausstattung	285.000	5 %
Bekleidung	159.000	3 %
Bettwäsche	115.000	2 %
andere Gewebe	69.000	1 %

In Dollars ausgedrückt, beläuft sich der Gesamtverlust durch Brände, bei denen Textilerzeugnisse als erste Feuer fingen, auf einen noch höheren Prozentsatz des Gesamtschadens von ca. 1,5 Milliarden Dollar. Die Verluste an Kleidung wurden mit 77 Millionen, die an Boden- und Wandbekleidung mit 283 Millionen und

Tabelle 8: Jährliche Verluste durch Brände in Millionen Dollar (Nationaler Haushaltsbrandbericht)

Verluste durch Haushaltsbrände aller Art	1545	100 %
Verluste durch Textilbrände (insgesamt)	445	28 %
Wände und Bodenbeläge	283	18 %
Bekleidung	77	5 %
Wohnungsausstattung	84	5 %

die für Möbel mit 84 Millionen Dollar gemäß dieser Erhebung geschätzt.

Daraus ergibt sich ein geschätzter Gesamtschaden von 445 Millionen Dollar, verursacht durch Brände, bei denen Textilien als erste brannten. Das bedeutet ca. 28 % der für das ganze Land geschätzten Brandschadenssumme (Tab. 8).

445 Millionen Dollar sind eine Menge Geld, und zweifellos sollte man die mit Textilien zusammenhängenden Brände weiterhin beachten. Allerdings haben die von mir genannten Zahlen als „schwach“ zu gelten, denn es ist nicht eben einfach, auf Grund solcher Daten Entscheidendes über die Frage „Kosten/Nutzen“ auszusagen.

Die uns nunmehr zufallende Aufgabe besteht darin, diesen Zahlen festere Gestalt zu geben; die mit Textilien zusammenhängenden Brandgefährdungen sind mengenmäßig zu erfassen und mit anderen Fällen der Konsumentensicherheit sowie dem gesamten Brandproblem in Zusammenhang zu bringen.

Die Aktivität auf internationaler Ebene

Brände sind ein internationales Problem, doch zur Zeit ist es besonders schwierig, die Brandschäden eines Landes mit denjenigen anderer Länder zu vergleichen. Die Statistiken — wenn überhaupt bestehend — wurden nach unterschiedlichen Grundsätzen erfaßt, wobei jedes Land verschiedene Brandarten ein- oder ausschließt, seine eigenen Definitionen anwendet und die Daten auf verschiedene Art klassifiziert. Verlässliche Statistiken über Textilbrände sind sehr selten. Doch unter den Auspizien der Internationalen Normen-Organisation arbeitet man an der Entwicklung eines grundlegenden internationalen Verfahrens zur Erfassung von Daten über Textilbrände, das in der Lage sein wird, statistisches — von Land zu Land vergleichbares — Material zu liefern.

Verantwortlich für solche Bestrebungen ist der Unterausschuß für das Verhalten von Textilien und textilen Erzeugnissen bei Bränden; aber die eigentliche Arbeit leistet die Arbeitsgruppe 6 des Unterausschusses bei der Erstellung einer Analyse der Gefährungsdaten. In den letzten zwei Jahren tagte die Arbeitsgruppe dreimal — in Zürich im Juni 1974 und in Paris im Oktober 1974 sowie im Mai dieses Jahres. Die Teilnehmer an diesen Tagungen waren Fachleute aus Australien, Belgien, Kanada, Frankreich, Deutschland, Italien, Japan, Holland, Norwegen, der Schweiz, Großbritannien und den Vereinigten Staaten von Amerika.

Die Tagungen unseres Stammausschusses wurden ebenfalls von Vertretern aus Österreich, Dänemark, Finnland, Südafrika, Spanien und Schweden besucht, woraus man sieht, daß auch andere Länder Gelegenheit haben, sich an den Bemühungen zu beteiligen.

Wir tauschten Informationen über den Stand der Textildaten in den verschiedenen Ländern aus. Ich möchte erwähnen, daß diese sich über die Verfahren im Anfangsstadium bis zu hochentwickelten Verfahren erstreckten. Zum Beispiel ist Frankreich in der Lage, komplexe Berichte zu liefern.

Nachdem sich die Arbeitsgruppe 6 mit den Verfahren zur Erfassung von Branddaten anderer Länder vertraut gemacht hatte, kam man überein, ein zweistu-

figes System zu schaffen. Dieses Verfahren soll zwei Dinge tun:

1. soll es die statistischen Daten über Brände erfassen, um Bereich und Ausmaß der Textilbrände zu bestimmen und auszuwählen, sowie
2. detaillierte Daten für diese speziell ausgewählten Textilbrände liefern.

Informationen über statistische, mit Bränden verknüpfte Daten, einschließlich der Textilbrände, sollen an unsere Behörde in den USA zwecks Vorprüfung und zur möglicherweisen Durchführung einer provisorischen Aufstellung der Datenelemente geliefert werden, die in Form eines genormten internationalen Berichts über Brandunfälle verwendet werden können. Für den gleichen Zweck können auch detaillierte Berichte über Textilbrände an Dr. Janet Thompson in Großbritannien gesendet werden. Es wurde außerdem versucht, Vorschläge über genormte internationale Formulare für die Berichterstattung über Brandfälle zu machen.

Datum und Ort der nächsten Tagung der Arbeitsgruppe 6 sind noch nicht festgelegt; immerhin kann ich Ihnen mitteilen, daß die US-Delegation bereit ist, eine offizielle Einladung für die im September 1977 in den Vereinigten Staaten geplante Tagung an den Unterausschuß ergehen zu lassen. Das wäre in zwei Jahren, weil die vom Unterausschuß der Arbeitsgruppe „Analyse der Gefährungsdaten“ übernommenen Aufgaben durchaus substantieller Natur sind.

Es sind bereits Arbeitsfortschritte zu verzeichnen: Wir konnten unsere Absichten definieren und kamen überein, wie dabei vorzugehen ist. Das ist — wie man sagt — ein halbgewonnener Kampf. Ich bin optimistisch und glaube, daß es nicht mehr lange dauern wird, bis nationale und internationale Normen für Textilbrandstatistiken erhältlich sein werden, woraus wir dann erschen können, welches Ausmaß das Problem der Textilbrände besitzt und welchen Zielen — hinsichtlich Normen, Verschlüsselungen, Schulung der Öffentlichkeit und Forschungen — die größte Priorität zukommt.

Literatur:

- 1) Flammable Fabrics Act; amended and revised December 14, 1967 (81 Stat. 568; 15 USC 1, 191)
- 2) Consumer Products Safety Act; May 14, 1973 (86 Stat., 1221, 15 USC 2064B)
- 3) A. Vickers: "The Flammable Fabric Accident Case and Testing System (FFACTS)"; presented at the Interagency Review of Materials Information and Data Conference, National Bureau of Standards, April 16—17; in publication
- 4) H. Tovey and A. Vickers: "National Priorities for Flammable Fabrics Standards"; Information Council on Fabric Flammability, Proceedings of the Sixth Annual Meeting, December 7, 1972
- 5) A. Vickers, H. Tovey and J. F. Krasny: "Hazard Analysis of Apparel Fires"; presented at the 44th Annual Meeting of the Textile Research Institute, New York, March 27—29, 1974; in publication

- 6) Standard for the Flammability of Children's Sleepwear, Sizes 7 through 14 (FF 5—74); Federal Register, Vol. 39, No. 85, Wednesday, May 1, 1974
- 7) J. Clones: "Potential Economic Impacts from Expansion of FR Requirements to Six Specified Apparel Areas"; Bureau of Economic Analysis, Consumer Product Safety Commission, Staff Working Paper; presented at a meeting of the National Advisory Committee for the Flammable Fabrics Act, June 10, 1975
- 8) "National Electronic Injury Surveillance System"; Product Safety Report, July 1975; The Consumer Product Safety Commission, Washington, D.C.
- 9) H. Tovey: "The National Fire Data System"; Bulletin of the American Society for Information Science, Vol. 1, No. 7, 1975
- 10) NEISS News for July 1975; Vol. 4, No. 1; The Consumer Product Safety Commission, Washington, D.C.
- 11) The National Fire Prevention and Control Act of 1974 (P.L. 93—498)
- 12) "Highlights of the National Household Fire Survey"; The National Fire Prevention and Control Administration, Washington, D.C. 1975

Diskussion

Herlinger: Ihr Vortrag hat gezeigt, daß noch sehr viele grundlegende Ergebnisse zur Beurteilung des Brandverhaltens von Textilien fehlen und welcher Aufwand betrieben wird, um hier Klarheit zu schaffen. Wir haben auch gehört, daß vor allem die Leute, die das statistische Material zu erfassen haben, geschult werden müssen, damit eine einheitliche Beurteilung des Brandgeschehens erfolgen kann.

Meckel: Herzlichen Dank dafür, daß nicht nur reine Zahlen vorgestellt, sondern auch einigermaßen die Kosten gegen den Nutzen abgeschätzt wurden, wobei sich ergab, daß — beispielsweise für den Gesetzen entsprechende Nachtbekleidung — die Kosten den Nutzen weit überschreiten. Es ist hoch an der Zeit, daß man auch hier in Europa diese Art des Denkens bei der Verfassung von Gesetzen anwendet und sich der Folgekosten von vornherein bewußt wird.

Tovey: Natürlich versuchen wir Daten zu erhalten, die die Kosten-Nutzen-Relation veranschaulichen, und ich hoffe, daß man auch in Europa darangeht, ähnliches zu tun. Auch hoffe ich, daß wir schließlich alle die gleiche Art von Statistik gebrauchen werden, sodaß wir zueinander sprechen und einander verstehen können. Daher möchte ich sofort auch eine Aufforderung an all jene stellen, die noch nicht am Arbeitskreis der ISO beteiligt sind: Arbeiten Sie doch mit uns, und wenn das nicht möglich ist, so schreiben

Sie mir wenigstens! Ich werde mich bemühen, eine Verständigung herbeizuführen, sodaß vor allem die Grundlage für die Regelungen und Gesetze eine rationale ist und man von Haus aus genau weiß, was man tut und welche Kosten für diese Regelungen zu erwarten sein werden.

Hoffmann: Ist es vielleicht heute schon möglich, die Statistiken für die USA mit denen für Europa zu vergleichen? Vor einiger Zeit zeigten die Statistiken für die USA weit größere Verluste als die für Europa, woran sich die Bemerkung schloß, daß dieser Unterschied an der verschiedenartigen Auslegung der Statistiken liegen könnte. Könnten Sie dazu etwas sagen?

Tovey: Eine genaue Antwort dazu kann ich Ihnen heute noch nicht geben, doch würde ich meinen, daß die Unterschiede der Statistiken viel zu groß sind, um sie einer verschiedenartigen Verhaltensweise der Menschen zuzuschreiben. Wir sind doch alle Menschen und verhalten uns dem Feuer gegenüber in gleicher Weise. Ich kann mir daher nicht vorstellen, daß das eine Land einen zehnmal größeren Verlust durch Feuer erleiden sollte als ein anderes. Ich weiß das natürlich noch nicht effektiv, denn mit diesem Problem sind wir gerade beschäftigt, wenn wir aber eine allgemeingültige Methode der Berichterstattung über Brände ausgearbeitet haben werden, dann werden wir auch diese Frage richtig beantworten können. Es geht auch hier um die prinzipielle Einstellung zum Feuer als solches. In manchen Ländern gilt der Brand bereits als ein Verbrechen, und daher werden Brände natürlich weitaus weniger bekanntgemacht bzw. veröffentlicht.

Herlinger: Hier in Europa registrieren vor allem die Versicherungen den Schaden. Aus diesen Schadensberichterstattungen, die in den einzelnen Ländern sehr weit verbreitet sind, ist es natürlich möglich, den Schaden in Form von Geldwert zu ermitteln; den Personenschaden kann man auf diesem Weg allerdings nur schwer erfassen.

Walser: Konnten Sie in den letzten Jahren, in denen diese Regelungen bereits bestanden, einen Rückgang der Brandunfälle verzeichnen?

Tovey: Da wir eigentlich niemals eine durch genaue Zahlen definierte Ausgangssituation hatten, ist es natürlich sehr schwer, hier einen Maßstab anzulegen. Wir wissen aber genau, daß Brandunfälle, bei denen Kinderschlabekleidung beteiligt ist, fast nicht mehr vorkommen. Hier kann man wirklich eine positive Auswirkung sehen.

Wir können zwar keine statistischen Beweise für eine Verbesserung erbringen, wohl aber gilt sie für den Einzelfall, bei dem die Verletzungen auf Grund der schwerbrennbaren Materialien nur leichter Art sind. Beispiel: Ein Kind, das ein Zündholz fallen läßt oder dessen Kleidung sich am offenen Kamin entzündet, erleidet höchstens Verbrennungen an den Armen — weiter nichts. Die Kinderschlabekleidung hat somit wirklich ihre schützende Wirkung bewiesen. Ob die Kosten-Nutzen-Berechnungen natürlich dafür in Relation zueinander stehen, ist eine andere Sache.

Herlinger: Herr Dr. Tovey, nochmals herzlichen Dank für Ihren Vortrag, vor allem auch dafür, daß sie ihn in deutscher Sprache gehalten haben.

Das Brennverhalten von Textilien

Dr. Wolfgang Carl
Farbenfabriken Bayer AG, Dormagen

Die Problematik des Brennverhaltens von Textilien wird unter Berücksichtigung des derzeitigen Standes sowie der in Vorbereitung befindlichen Vorschriften und Gesetze der Industrieländer dargestellt. Die Klassifikation der heute auf dem Markt befindlichen Fasern für die wichtigsten Einsatzgebiete, beispielsweise Heimtextilien und Bekleidung, wird anhand von genormten und wissenschaftlichen Prüfverfahren aufgezeigt. Über die wichtigsten physikalischen, chemischen und technologischen Größen, die das Brennverhalten von Textilien beeinflussen, zum Beispiel über die Konstruktion des Textils, die Ausrüstung und das Fasermaterial, wird berichtet.

The problems involved in the flammability of textiles are presented, based on the latest technological standards and on the rules, regulations and acts under preparation in the industrial countries. The classification of the fibres currently on the market for the major uses, garments and home textiles, is demonstrated with the aid of standardized, scientific test procedures. Also included are descriptions of the major physical, chemical and technological data, influencing the flammability of textiles, e. g. fabric construction, dyeing, finishing and fibre material.

Einführung

Das Thema „Bewertung des Brennverhaltens von Materialien“ ist — ähnlich wie für andere Gebiete — auch für Textilien mehr und mehr aktuell geworden.

Das zunehmende Sicherheitsbedürfnis der Menschen in unserer technisierten Welt und Massengesellschaft — zeitgemäße Beispiele sind Großraumflugzeuge und Riesenhotels — trägt verständlicherweise dazu bei, die Schutzmaßnahmen in der Umgebung unseres Lebensbereiches ernster nehmen zu müssen. Letzten Endes heißt dies nichts anderes, als daß sich der Mensch von der vertrauten und daher sicher erscheinenden Natur entfernt, um sich einer neuen, zunächst unsicher erscheinenden, aber bequemeren Umwelt hinzugeben.

Kehren wir zurück von der allgemeinen Betrachtungsweise zu dem speziellen Thema „Brennbarkeit von Textilien“. Dieses Problem ist keineswegs neu. Schon 1821 hat der französische Chemiker Gay-Lussac auf Veranlassung Ludwigs XVIII. Leinen und Jute mit einer Mischung aus Ammoniumphosphat, Ammoniumchlorid und Borax flammhemmend ausgerüstet. Im Zweiten Weltkrieg, als noch die Naturfaser Baumwolle 80 bis 90 Prozent des Textilmarktes beanspruchte, kam für wichtige, meist militärische Bereiche ebenfalls die flammerschützende Ausrüstung von Textilien zur Anwendung. Neben einer Reihe von Forschungsaktivitäten auf dem Baumwoll- und Wollgebiet wendete sich das wissenschaftliche Interesse mit zunehmendem Marktanteil der synthetischen Fasern auch dem Flammenschutz von Acryl-, Polyester- und Polyamidfasern sowie dem von Mischtextilien aus Synthese- und Naturfasern zu.

Den Anstoß dazu gaben keinesfalls die Brandunfallstatistiken allein, die in den wenigsten Fällen insbe-

sondere Textilbrände als Unfallursache ausweisen. Trotzdem ist bekannt, daß die USA schon 1953 den sogenannten Flammable Fabric Act — eine gesetzliche Maßnahme zur Verhütung von Textilbränden — und andere Industrieländer, wie Frankreich und England, in den letzten Jahren ebenfalls entsprechende Gesetze erließen. Auch in der BRD wurde begonnen, entsprechende Grundsatzarbeiten zur Schaffung zukünftiger Gesetze in Vorbereitung zu nehmen.

Tabelle 1 zeigt eine Gegenüberstellung der Brandfälle einiger Länder aller Bereiche aus dem Jahre 1972 im Hinblick auf Sachschaden, Verletzte und Tote. Höchstens 20 % dieser Unfälle wurden durch Textilien verursacht¹.

	Tote je Million Einwohner	Verletzte je Million Einwohner	Sachschaden in US-\$ pro Kopf
USA	57,1	516,0	13,22
Schweiz	3,18	9,9	10,51
Australien	13,2	181,0	10,27
Schweden	17,8	247,0	8,19
Frankreich	5,66	30,9	7,62
Großbritannien	16,7	87,7	5,65
Neuseeland	12,24	102,0	4,39
Japan	14,3	87,5	2,03
BRD	4,0	25,8	8,2

Tabelle 1: Brandfälle im Jahr 1972 (Fire Journal, Nov. 1973)

Mit Recht weisen Kritiker im Zusammenhang mit den Brandgefahren bei Textilien darauf hin, daß diesem Thema viel mehr Interesse, vor allem aber viel mehr emotionelle Aufmerksamkeit gewidmet wird als den vergleichsweise zahlenmäßig weitaus höheren Verkehrs- bzw. Haushaltsunfällen. Die statistischen Zahlen für die zuletzt genannten Bereiche liegen bekanntlich um Zehnerpotenzen höher.

Wie hoch die Wichtigkeit von Statistiken auch immer bewertet werden mag, der Druck durch den Gesetzgeber, der Verbraucherorganisationen sowie der entsprechenden Presseorgane, vielfach bestimmt durch das Ausmaß und die Häufigkeit von Brandkatastrophen, nimmt in den letzten Jahren zu.

Im Rahmen der dadurch hervorgerufenen Aktualisierung des Themas „Brennbarkeit“ sind auch die Faserhersteller und ihre verarbeitende Industrie im verstärkten Maße angesprochen. Es werden deshalb seit Jahren in der Industrie systematische Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zur Verbesserung der Textilfasern bezüglich des Brennverhaltens betrieben. Vielfach sind die Textilien diejenigen Produkte, die als äußere Hülle, zum Beispiel als Dekorationen, dem Brandgeschehen zuerst ausgesetzt sind. In den meisten Bereichen jedoch, wie zum Beispiel bei Polstermöbeln und Wandbezügen, aber auch im Teppichsektor, sind neben den Textilien auch noch andere Rohstoffe angesprochen, sodaß erst die Endprodukte in ihrer Kombination die wirklich risikobezogene Einstufung sinnvoll erscheinen lassen.

Eine möglichst frühzeitige Zusammenarbeit der verschiedenen Bereiche in der Industrie und in den Normenausschüssen mit den Gesetzgebern selbst ist deshalb für das Gesamtthema „Brennverhalten“ von Fertigprodukten unumgänglich.

In meinen weiteren Ausführungen möchte ich Ihnen berichten:

1. über die gesetzliche Situation der wichtigsten Industrieländer,
2. über die wichtigsten Verfahren zur Prüfung der Brennbarkeit von Textilien auf Grund der bisherigen Erkenntnisse von Brennmechanismen,
3. über die heutigen Möglichkeiten, dem Thema Brennbarkeit mit dem derzeitigen Angebot marktgangiger Fasern zu begegnen und
4. über Entwicklungen von Fasern und Textilien für Bereiche mit verschärften Anforderungen.

1. Die gesetzliche Situation

Die Aufgaben der Faserhersteller sind heute sehr komplexer Natur. Zunächst ist es notwendig, Gesetze und Vorschriften, die die Brennbarkeit von Textilien betreffen, genau zu kennen und laufend zu beobachten. Darüberhinaus ist es sehr wichtig, auch die Reglements anderer Bereiche, zum Beispiel die Bau-sicherheitsordnungen, zu berücksichtigen, wenn sie — wie in vielen Industrieländern — auch Textilien einschließen. Die Faserverarbeiter in den verschiedenen Ländern erwarten heute mit dem Angebot von Fasern oftmals entsprechende Hinweise auf bestehende und zu erwartende Vorschriften für den von ihnen vorgesehenen Einsatzsektor ihrer Fertigartikel. Da diese Vorschriften heute von Land zu Land zum Teil unterschiedlich und außerdem oft gerade in Umwandlung begriffen sind, ist die Klärung solcher Fragen in vielen Fällen mit Schwierigkeiten verbunden.

Hier ein kurzer Überblick über die bekanntesten Gesetze und Vorschriften einiger Industrieländer:

Wie bereits erwähnt, hat die USA 1953, mit der Absicht, gefährliche Textilien vom Markt zu verbannen, den sogenannten "Flammable Fabric Act" durch

das Departement of Commerce erlassen. Zur Erfüllung dieses Gesetzes wurde im gleichen Jahr der sogenannte 45°-Test als Commercial Standard CS 191-53 als Prüfverfahren herausgegeben (Abb. 1).

Dieses Verfahren war nicht als besonders streng anzusehen, hat jedoch eine Reihe von kritischen Textilien aus Baumwolle, die hinsichtlich Brennverhalten sehr hohe Abbrandgeschwindigkeiten aufwiesen, vom Markt verbannt. Die Amerikaner ergänzten dieses Gesetz in den letzten Jahren für die wichtigsten Bereiche systematisch mit weiteren Prüfverfahren. Der folgende Überblick in Tabelle 2 zeigt, daß diese Art des Vorgehens auch für andere Industrieländer als Beispiel dienen kann.

CS 191-53	Bekleidungstextilien
DOC FF 1-70	Teppiche
DOC FF 2-70	Teppichvorlagen
DOC FF 3-71	Kindernachtbekleidung 1-6 Jahre
DOC FF 4-71	Matratzen
MVSS 302	Automobilbau
DOCKET 9605	Flugzeugbau
DOC FF 5-73	Kindernachtbekleidung 7-14 Jahre

Tabelle 2: Textilflammschutzvorschriften in den USA (Stand 1974)

Nach der Darstellung der Situation in den USA kehre ich nun in die europäischen Industrieländer zurück. In der BRD liegen den USA vergleichbare Gesetze für Textilien derzeit praktisch noch nicht vor. Nur in einigen Bauordnungen der BRD existieren bereits Vorschriften für spezielle Bereiche (wie z. B. für den Einsatz von Textilien in Versammlungsräumen, Geschäftshäusern und Hochhäusern) im Rahmen der Verordnungen für Baumaterialien. Die dort geforderte sehr strenge Prüfung nach DIN 41 02, dem sogenannten „Schachttest“, wird von den meisten marktgängigen Textilien nicht erfüllt. Einige besondere Behördenbereiche, wie die Luftfahrt und die Bundesbahn, haben eigene interne Richtlinien, die sich teils an internationale, teils an nationale Normen anlehnen.

Es sind jedoch in den kommenden Jahren für die verschiedenen Anwendungsbereiche von Textilien sogenannte Klassifikationsnormen zu erwarten.

Die klassifizierenden Normen (Kennwertnormen) für textile Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel für Dekostoffe, Teppiche und Kleidung, werden derzeit in einem deutschen Fachnormenausschuß¹ vorbereitet. Der erste Normentwurf dieser Art liegt für Teppiche seit November 1974 vor. Eine weitere Richtlinie für sogenanntes „Rollenspielzeug“ wird bereits parallel zum europäischen Normenausschuß CEN bearbeitet. Kennwertnormen für Dekorationsstoffe und Arbeitskleidung sind für 1975/1976 zu erwarten. Das Ziel dieser Aktivität ist es, genormte Prüfverfahren als

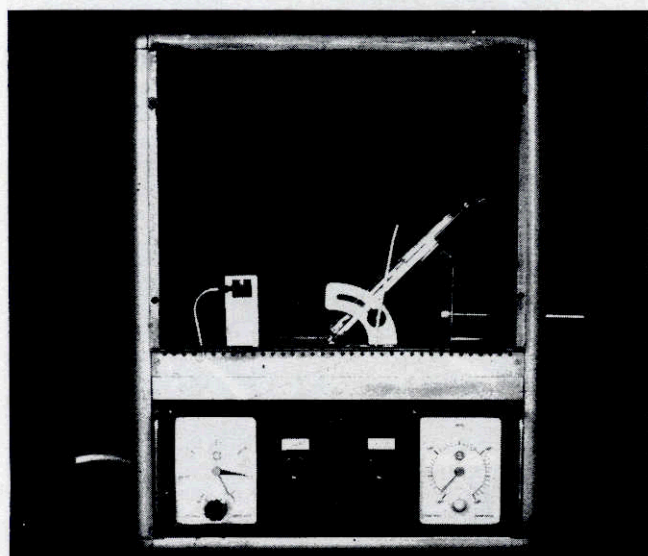


Abb. 1: Der 45°-Tester

technische Unterlage für den Gesetzgeber rechtzeitig bereitzustellen, damit die negativen Erfahrungen anderer Länder, die zum Teil den umgekehrten Weg beschritten haben — zuerst Gesetze, dann Prüfnormen —, vermieden werden können.

In **Frankreich** liegen ebenfalls Gesetze und Prüfvorschriften für Textilien im Rahmen der Bauordnungen vor. Hier werden die Materialien, die für derartige Bereiche vorgesehen sind, nach dem Erlass des französischen Innenministeriums vom Mai 1972 und Juli 1973³ in die Klassen M 0 bis M 5 (unbrennbar bis sehr leicht brennbar) eingestuft. Es wird ferner nach schmelzenden und nicht schmelzenden Materialien sowie nach Dicke und Volumen der Textilien differenziert.

Andere Industrieländer — wie **Großbritannien**, die **Schweiz**, **Schweden**, **Italien** — bereiten ähnliche Gesetze vor bzw. haben Teilgesetze in Anlehnung an die der USA und Frankreich geschaffen^{4,5}.

Gemeinsame Arbeiten zur Vereinheitlichung der Prüfverfahren der europäischen Industriestaaten werden zur Zeit auf Initiative der Bundesrepublik Deutschland in einem europäischen Ad-hoc-Arbeitskreis der Faserhersteller und Prüfinstitute sowie weltweit seit Oktober 1973 in der ISO TC 38 SC 19 mit großer Intensität verfolgt. Hier zeichnet sich unter anderem ab, daß der allgemeine Wunsch besteht, von Verbaldefinitionen der Brennbarkeit bei Textilien, also den Begriffen Schwerbrennbarkeit usw., abzugehen und zur Klassifikation der Textilien — mit Hilfe von Zahlen bzw. Buchstaben — zu kommen. Diese Klassifikation wird auf den jeweiligen Einsatzsektor und die dafür geeigneten Prüfverfahren abgestimmt.

2. Prüfverfahren und Fasereinstufung

Wie kann man die heute marktbekannten Fasern und die daraus gefertigten Textilien bezüglich ihrer Brenneigenschaft einstufen, und nach welchen Prüfverfahren (die z. T. in die eben erwähnten Gesetze und Vorschriften einbezogen sind) werden Zertifikate erteilt?

Zur Erläuterung der ersten Frage — der Einstufungs-

möglichkeit von Fasern und Textilien im allgemeinen — möchte ich hier ein vorwiegend für wissenschaftliche Zwecke geeignetes Prüfverfahren — den sogenannten „Oxygentest“ (LOI) — aufzeigen. Er wird hinsichtlich seiner Aussagekraft (wie sicher einigen von Ihnen bekannt ist) in den verschiedenen Anwendungsbereichen (z. B. in jenen der Kunststoffe sowie der Fasern) unterschiedlich beurteilt. Wir sind jedoch der Meinung, daß von allen heute bekannten Prüfverfahren zur Ermittlung der Brennbarkeit von Textilien mit dieser Methode die differenziertesten Aussagen getroffen werden können (Abb. 2 u. 3).

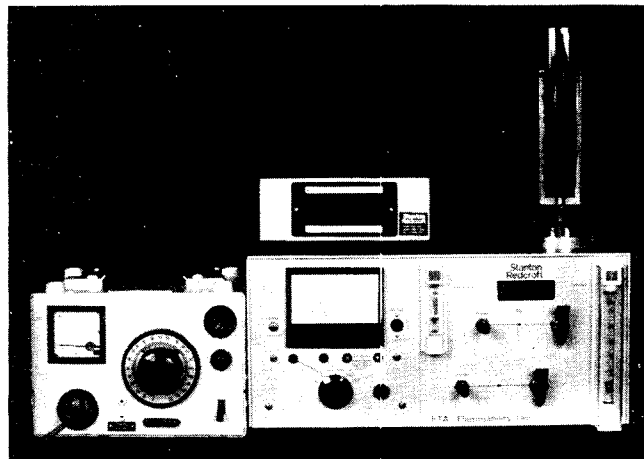


Abb. 3: Oxygentestgerät Stanton Redcroft FTA

Selbstverständlich kann ein nach diesem Verfahren erhaltener Meßwert nicht allein für die Beurteilung des risikobezogenen Verhaltens textiler Materialien in einem beliebigen Einsatzsektor herangezogen werden.

Mit Hilfe dieses Verfahrens wird als Maßstab für das Brennverhalten eines Textils der Sauerstoffgehalt gewählt, der notwendig ist, um das Material in einem definierten Sauerstoff/Stickstoff-Gemisch einheitlich abzubrennen.

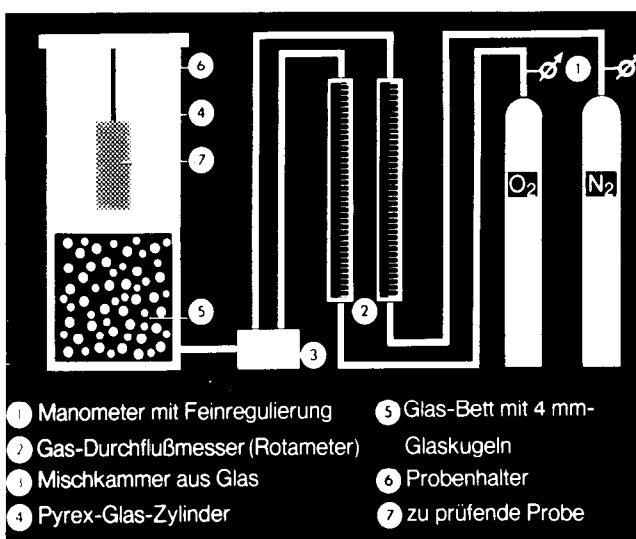


Abb. 2: Schematische Darstellung des Oxygentests (LOI)

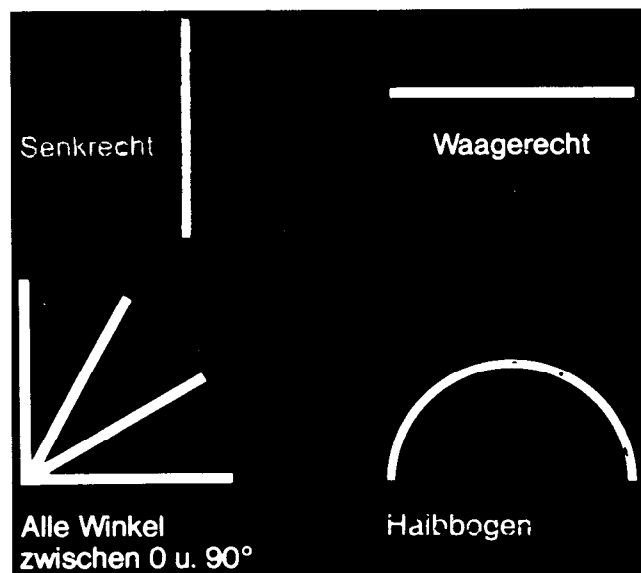


Abb. 4: Schemata von Brennprüfverfahren

Die Oxygenwerte (LOI-Indizes) werden wie folgt berechnet:

$$n = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \times 100$$

Die Werte für marktbekannte Fasern liegen zwischen $n = 18$ und $n = 38$.

Im weiteren Verlauf möchte ich Ihnen eine Reihe von Laborprüfverfahren erläutern; zunächst in vereinfachter Form anhand eines Schemas für verschiedene Brennprüfmethoden (Abb. 4):

Der **Vertikal-Test** ist in den meisten Industrieländern als Prüfverfahren bekannt, in der BRD als DIN 53 906 (Februar 1974). Analoge Verfahren hierzu sind in Großbritannien das BS 3119-, in den USA das AATCC 34-1969- und in der Schweiz das SNV 198 898-Verfahren (Abb. 5).

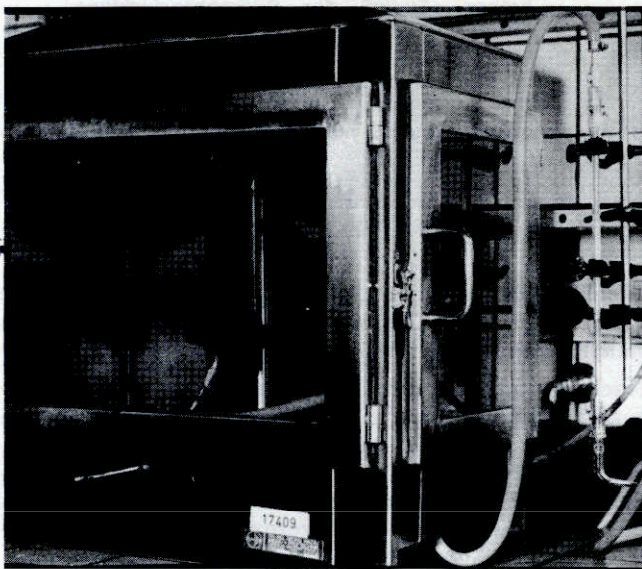


Abb. 5: Der Vertikal-Test nach DIN 53 906 (1974)

Der Horizontal-Test liegt in der BRD als Vornorm DIN 54 333 vor, weitgehend entsprechend dem in den USA gesetzlich vorgeschriebenen Test "Motor-Vehicle-

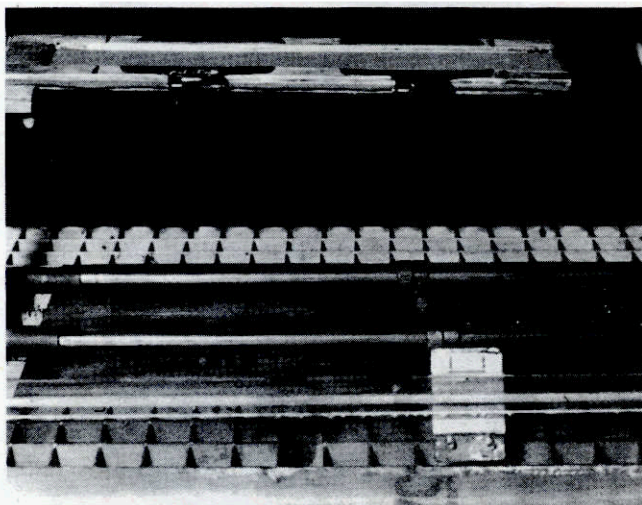


Abb. E: Der Horizontal-Test nach DIN 54 333

Safety-Standard MVSS 302" für den Automobilsektor (Abb. 6).

Der **45°-Test** besteht in der BRD als DIN-Entwurf 54 335, vom Prinzip her vergleichbar mit dem bereits erwähnten USA-Verfahren CS 191-53. Analoge Verfahren existieren in der Schweiz und in Frankreich: SNV 98 899 und AFNOR G 07 113 (Abb. 7).

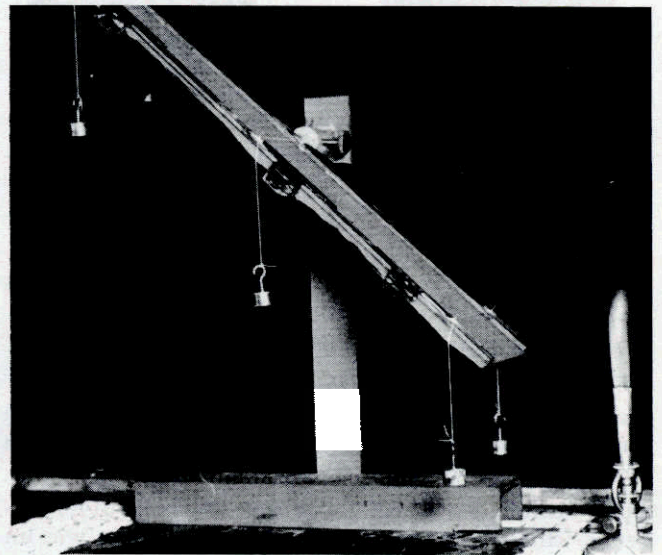


Abb. 7: Der 45°-Test nach DW 54 335

Der **Bogentest** ist in der BRD als DIN 53331 festgelegt, existiert aber auch in den USA und in Großbritannien (Abb. 8).



Abb. 8: Das Bogentestgerät nach DIN 54 331

Abbildung 9 zeigt einen Horizontaltest, der auch als **Metbenamin-Tablettentest** bekannt ist.

Im Rahmen der Darstellung von **Teppichprüfverfahren** soll hier kurz auf den **Einfluß** der Konstruktion eines Bodenbelags auf das Brennverhalten eingegangen werden.

Der **Einfluß** von Konstruktionsmerkmalen, zum Beispiel Polhöhe und -dicke (s. Abb. 10), spielt für das Brennverhalten von Teppichen eine wichtige Rolle. Selbstverständlich sind langpolige Artikel mit geringen Poldichten im allgemeinen hinsichtlich ihres

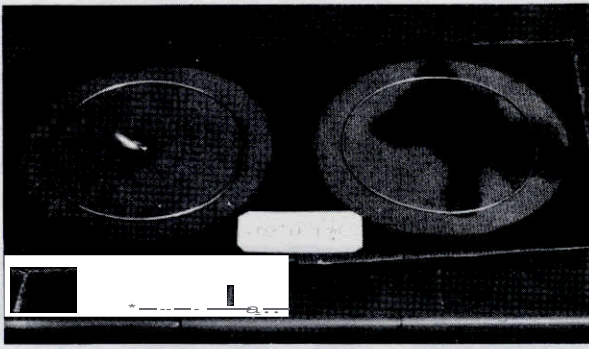


Abb. 9: US-Prüfnorm für Teppiche DOC FF 1-10 (Methenamin-Tablettentest)

Brennverhaltens kritischer zu sehen als dicht geschlagene, kurzpolige Konstruktionen.

Wesentliche Einflüsse können auch durch die Rückenbeschichtung bei Teppichen gegeben sein (s. Tab. 3).

Nach dem in Abbildung 11 gezeigten Verfahren wird eine Flächenbeflammung an vertikal aufgespannten Proben vorgenommen.

Zum Schluß der Darstellung von Norm-Prüfverfahren mochte ich Ihnen in Abbildung 12 zeigen, wie im 1:1-Versuch das Brennverhalten von Bezugstoffen an Polsterstühlen geprüft wird. Diese Versuche haben zum Ziel, Korrelationen zwischen Ergebnissen der Laborprüfverfahren und dem Brandgeschehen im Großversuch (1:1) zu finden. Ferner kann dadurch das Zusammenwirken verschiedener Materialien in Kombination (z. B. Bezugstoff/Polsterkern) studiert werden. Aus den bisherigen Versuchen geht jedoch hervor, daß es schwierig ist, eindeutig Zusammenhänge zu erkennen.

Es ist jedoch sicher, daß aus solchen Arbeiten interessante Anregungen für die Entwicklungen von Produkten, deren sinnvolle Kombination & auch die Schaffung von möglichst realistischen Laborprüfungen zu erwarten sind.

Material	LOI: n
Polyester-Polware ohne Latex (Polhöhe: 12 mm)	25,0
Polyester-Polware mit Naturlatex (Polhöhe: 12 mm)	23,7
Polyester-Polware mit Naturlatex (Polhöhe: 30 mm)	22,5
Polyester-Polware mit flammgeschützter Beschichtung (Polhöhe: 30 mm)	35,0

Tabelle 3: Brennverhalten verschiedener latexierter Teppichproben; Einfluß der Rückenbeschichtung (LOI-werte)

3. Einsatzmöglichkeiten der am Markt befindlichen Fasern

Nach diesem Überblick über Gesetze und Prüfverfahren ist es notwendig, die folgende Frage zu diskutieren:

Welche Fasern bzw. welche Textilien werden den Forderungen der Gesetze und den damit verbundenen Prüfungen gerecht?

Nach Einsatzbereichen aufgeteilt, sind die Chemiefaserhersteller heute in der Lage, mit den bekannten Produkten aus Polyamid-, Polyacrylnitril- und Polyesterfasern den heute gestellten Anforderungen bezüglich Brennbarkeit von Textilien überwiegend gerecht zu werden. Beispielsweise werden die zuvor erwähnten, für den Automobilsektor geforderten Horizontaltests mit bestimmten Konstruktionen aus den oben genannten Synthefasern sowie aus deren Mischungen mit Naturfasern (Wolle, Baumwolle) erfüllt.

Für Vertikaltestanforderungen kommen Polyester-,

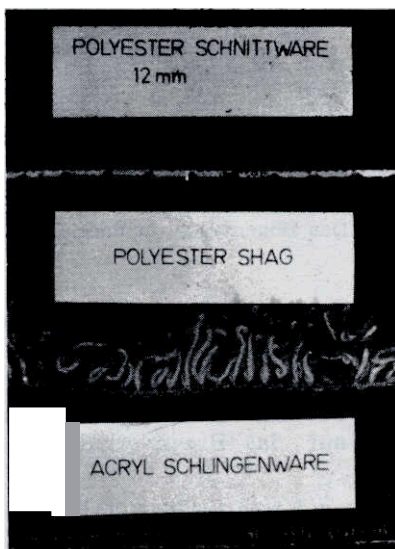


Abb. 10: Teppichkonstruktionen mit unterschiedlichem Brennverhalten

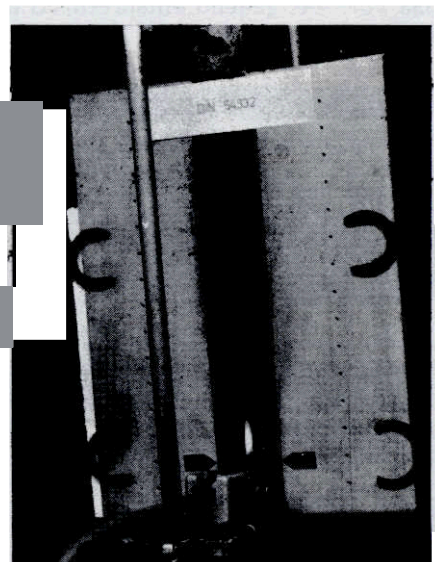


Abb. 11: Prüfnorm für Teppiche nach DIN 5432

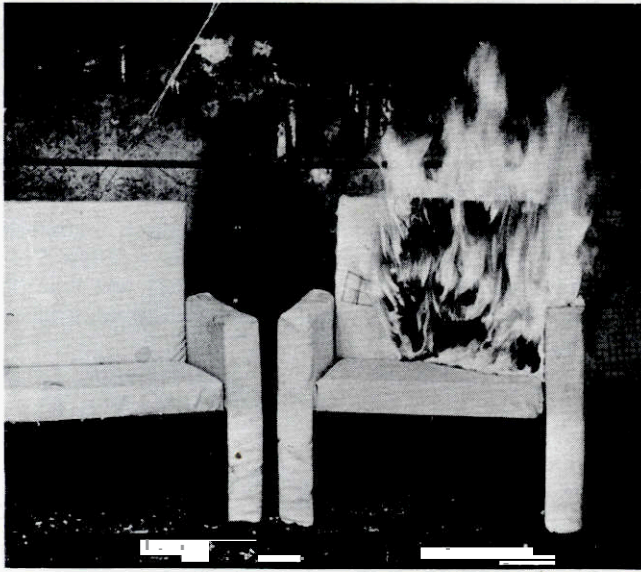


Abb. 12: 1:1-Versuch an Polstermöbeln

	Bestimmende Faktoren	Materialeneinfluß	Prozeßablauf
1. Anfangsphase	Strahlungswärme Offene Flamme Glimmprozeß	Zündzeit Zersetzungstemp. Pyrolyseverlauf (200°-400°C) Flammpunkt Thermoschrumpf Form Lage	zögerndes Entflammen schnelles Aufflammen (surface flash effekt) übersehbare Entwicklung rasche unkontrollierbare Entwicklung
2. Vollentwickelter Brennprozeß	Sauerstoffzufuhr und -bedarf Stromungs- verhältnisse Umgebungstemp. Verhältnis von brennbaren und nicht brennbaren Gasen Verbrennungs- wärme	Form Lage Pyrolyse bei 600-1000°C	Durch die Ausbreitungs- Geschwindigkeit gekennzeichnet
3. Endphase	Beseitigung der Zündquelle Verkokung Abschmelzen Sauerstoffmangel unbrennbare Gase	Einflüsse von 1 + 2.	unmittelbares Verlöschen (nach Wegnahme der Zündquelle) langsameres Verlöschen langsameres Verglimmen Flamme fällt mit der Schmelze ab.

Tabelle 4: Der Brennprozeß in Stufen

Polyamid-, Modacryl- und PVC-Fasern zum Einsatz. Die Reglements für Kindernachbekleidung sind weitgehend mit entsprechenden Konstruktionen aus Polyester-, Polyamid- und Modacrylfasern zu erreichen. Auch Mischungen aus Polyester-/Baumwollfasern mit entsprechenden Flammenschutzaustrüstungen kommen hier in Frage.

Im Teppichsektor können zur Erfüllung entsprechender Prufforderungen ebenfalls Polyamid-, Polyester-, aber auch Modacrylfasern sowie Mischungen mit Naturfasern mit Erfolg eingesetzt werden.

Bei höheren Anforderungen und bei der Annahme, daß in Zukunft der Bereich der Sicherheitsmaßnahmen auch für Textilien ausgedehnt und verschärft wird, sind in der Industrie bereits spezielle Fasern und Ausrüstungsverfahren entwickelt worden bzw. werden solche zur Zeit im Bereich der Forschung erarbeitet. Selbstverständlich ist mit dem Einsatz derartiger Spezialprodukte im allgemeinen auch ein erhöhter Kostenaufwand verbunden.

4. Entwicklung von flammhemmenden Fasern

Hier stehen zwei Fragen zur Diskussion:

1. Ist es möglich, brennbare Fasern auf Grund theoretischer Kenntnisse des Brennprozesses in schwer- bzw. in nichtbrennbare Materialien zu verwandeln?
2. Welche Wege werden heute zur Entwicklung von flammhemmenden Textilien eingeschlagen?

Die Verwertung theoretischer Kenntnisse des Verbrennungsprozesses von Textilien für die Entwicklung von Fasern mit geringer Brennbarkeit ist von besonderer Bedeutung.

Auf Grund einer Reihe von wissenschaftlichen Arbeiten in den verschiedenen Industrieländern zum Thema Brennprozeß ist festzustellen, daß bisher über den Brennmechanismus und die Möglichkeit, durch Modifikation der Polymere bzw. durch entsprechende flammhemmende Zusätze gezielten Einfluß auf die Brenneigenschaften zu nehmen, keine klare Vorstellung herrscht. In der folgenden Tabelle (Tab.4) mochte

ich einige physikalische Größen und Parameter, die auf den Gesamtbrennprozeß aus empirischer Sicht Einfluß haben können, in schematischer Darstellung anbieten.

In Abbildung 13 wurde der Brennprozeß in einem ähnlichen Schema von Prof. Einhorn⁷ (USA) dargestellt.

Beide Schemata lassen die Komplexität des Brennprozesses erkennen und erklären zugleich die Schwierigkeit, Theorie und Praxis, physikalische Meßwerte und Polymerentwicklung in Einklang zu bringen.

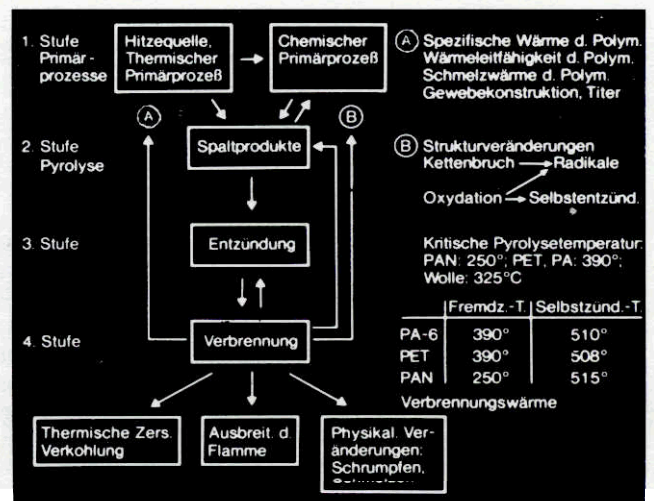


Abb. 13: Schematischer Ablauf des Brennprozesses

Für die Entwicklung von flammhemmenden Textilien werden seit Jahren drei Hauptrichtungen verfolgt:

1. die Herstellung von Copolymeren mit eingebauten flammhemmenden Eigenschaften (z. B. halogen- und phosphorhaltige Produkte),
2. flammhemmende Additive, die den Polymeren vor

oder während der Verarbeitung zu Fasern zugesetzt werden,

3. Ausrüstungen mit flammhemmenden Chemikalien, die im Anschluß an die Färbung Anwendung finden.

In erster Linie wären zu Punkt 1 und zu Punkt 2 jene Entwicklungen zu nennen, die die Modifikation von Acryl-, Polyester- und Polyamidfasern zum Ziel haben. Dabei werden in den meisten Fällen Komponenten eingebaut, die Halogen, Phosphor, Antimon bzw. entsprechende Kombinationen enthalten.

Eine weitere Richtung, die zu einigen Marktprodukten geführt hat, ist die Entwicklung der sogenannten aromatischen Polyamide, die ohne die bekannten flammhemmenden Elemente, wie zum Beispiel Chlor oder Phosphor, nur wegen ihrer aromatischen Struktur sehr gute flammhemmende Eigenschaften besitzen. Hier ist jedoch zu bemerken, daß — wie schon früher erwähnt — diese positiven Eigenschaften nur durch einen wesentlich erhöhten Kostenaufwand bei den Grundprodukten ebenso wie beim Herstellungsprozeß zu erkaufen sind.

Das Problem der nachträglichen flammhemmenden Ausrüstung (Punkt 3) wird seit einigen Jahren insbesondere für Naturfasern, aber auch für Synthefasern, verfolgt. Für Baumwolle und Wolle, unter Umständen auch für Mischtextilien mit Synthefasern, wurden in den letzten Jahren Verfahren zur flammhemmenden Ausrüstung entwickelt.

Für Naturfasern in Reinverarbeitung stellt die nachträgliche Behandlung bekanntlich die einzige Möglichkeit dar, Flammschutzeffekte zu erzielen. Die mit dieser Methode vielfach verbundenen Probleme liegen in der Veränderung des textilen Charakters, der nicht ausreichenden Permanenz des Effektes und in einer erhöhten Anschmutzbarkeit.

Die Synthefasern dagegen haben den Vorzug, daß bei ihnen diese mit der nachträglichen Ausrüstung verbundene Problematik mittels der vorgenannten Verfahren (Polymermodifikationen, Zugaben von flammhemmenden Additiven) eliminiert werden kann.

Schlußfolgerungen

Ich habe mich bemüht, einen kurzen Einblick in die wichtigsten Probleme zum Thema „Brennbarkeit von Textilien“ zu geben. Dabei ging ich auf die gesetzliche Situation in den wichtigsten Industrieländern ein, die — wie Sie erfahren haben — derzeit in vielen Ländern in Bewegung geraten ist. Die weltweite Ausarbeitung von Prüfverfahren, die Aussagen über das mit Textilien verbundene Einsatzrisiko liefern sollen, wird neuerdings in der zitierten internationalen Normungsorganisation, insbesondere in den sogenannten „working-groups“, sehr intensiv bearbeitet.

Die Entwicklung von Fasern für spezielle Sicherheitsbereiche ist in Zukunft mehr und mehr als Ergänzung der bereits bekannten und für die meisten Fälle ausreichenden Palette vorhandener Natur- und Chemiefasern, insbesondere unter der Kenntnis des mengenmäßig und prozentual laufend wachsenden Anteils der Synthefasern, notwendig.

Die Aufklärung des Brennmechanismus als Basis für die gezielte Entwicklung neuer Produkte sollte ein-

gehend und systematisch weiterverfolgt werden.

Ebenso wie die Festlegung von Sicherheitsbestimmungen und Prüfverfahren ist jedoch auch die Aufklärung der Verbraucher durch die Industrie und die Behörden über die Eigenschaften von Textilien bezüglich ihrer Brennbarkeit, abgestuft nach Einsatzsektoren und Risikobereich, erforderlich.

Eine weitere sinnvolle Maßnahme durch offizielle Stellen wäre die Aufklärung über die richtige Verhaltensweise in einem Brandfall selbst, unabhängig von den den Menschen umgebenden augenblicklichen Bedingungen.

Literatur:

- 1) Fire Journal, November 1973
- 2) Deutscher Normenausschuß für Gebrauchstauglichkeit AGt 5
- 3) Erlaß des französischen Innenministeriums Journal Officiel vom 26. 7. 73
- 4) Erlaß des britischen Parlaments vom 1. 10. 1967, Nr. 839 und Nr. 1153 (Consumer protection): „Children's Night Dress Regulation“
- 5) Lebensmittelverordnung der Schweiz, Artikel 484, Abs. 3, Ergänzung vom 2. 12. 63
- 6) Dr. Wandel, Dr. Gutschik, Dr. Carl: „Moderne Teppichfasern — Probleme und Möglichkeiten, Antistatik, Anschmutz- und Brennverhalten“; Chemiefasern Textil-Industrie 5 und 6/1972
- 7) I. N. Einhorn; J. Macromol. Sci. Revs., Polymer Technol. D 1 (2), S. 113—184 (1971)

Diskussion

Albrecht: Herzlichen Dank für Ihr umfassendes Basisreferat über die Prüfmethode, die ja die Grundlage zu einer gegenseitigen Verständigung darstellen — seien es nun Faserhersteller, Konsumentengruppen oder irgendwelche anderen Institute untereinander oder miteinander. Sicher könnte man über dieses Thema stundenlang diskutieren, weil sich daran politische Überlegungen, Meinungen, Lösungen und sonstige Vorstellungen knüpfen lassen. Ich glaube aber, daß sich trotzdem gerade hier Möglichkeiten — bei aller Problematik der Prüfverfahren — bieten, um mit ihrer Hilfe weiterzukommen und den Fortschritt zu initiieren.

Couchoud: Ich hätte gern Ihre Meinung zu der neuen französischen Gesetzgebung hinsichtlich der Entwicklung toxischer Gase gehört. Glauben Sie, daß sich ein solches Gesetz durchsetzen und verbreiten wird können?

Carl: Es ist bekannt, daß in Frankreich ein derartiges Gesetz als Entwurf vorliegt. Der Anstoß kam dazu hauptsächlich von der juristischen Seite, um diese Problematik zur Diskussion zu stellen und in der Folge eventuell ein Gesetz daraus auszuarbeiten. Das Hauptproblem liegt darin, einmal die Toxizität von Brandgasen zu erfassen und zu definieren.

Die für dieses Verfahren festzulegenden exakten Bedingungen sind jedoch so komplexer Natur, daß diese — wie mir von den offiziellen Prüfstellen bekannt ist — im Augenblick noch das Hauptproblem darstellen, um dieses Gesetz zum Einsatz zu bringen. Ich würde aber meinen, daß solche Bedingungen in einem gewissen Rahmen doch erfassbar sein könnten. Es wird aber noch eine Menge Arbeit erforderlich sein, um genaue Meßverfahren, die ja die Basis für dieses Gesetz bilden müssen, auszuarbeiten.

Albrecht: Glauben Sie, daß man eine derartige Methode

überhaupt gesetzlich wird regeln können? Ich kann mir eigentlich nicht vorstellen — um es vorweg zu nehmen —, daß auf Voraussetzungen, die sich eventuell nur theoretisch und vielleicht noch im Labor definieren lassen, praktisch realisierbare Gesetze aufgebaut werden können!

Carl: Ich bin auch Ihrer Meinung, noch dazu, wo doch alle organischen Stoffe — und im textilen Bereich ist das zu 95 % der Fall, damit müssen wir uns abfinden — beim Verbrennen toxische Gase entwickeln können. Das heißt, wenn man bei Textilien beginnt, muß man auch alle anderen Materialien, die auf der gleichen Basis beruhen, miteinschließen, was die ganze Sache natürlich sehr fragwürdig macht. Dann dürfte man auch keine Zeitung in seiner Wohnung haben, oder etwaiges Mobilar aus organischen Stoffen.

Aus der Diskussion, die bereits im europäischen Rahmen geführt wurde, würde ich schließen, daß man diese Frage sicher noch öfter aufgreifen und so behandeln muß, daß man zuerst einmal Grundlagen dazu finden muß, denn ohne Basis kann es zu keinem Gesetz kommen.

Satlow: Über das LOI-Verfahren haben Sie erklärt, daß damit die Möglichkeit besteht, verschiedene Stoffe sehr gut zu differenzieren, daß es aber doch vor allem für rein wissenschaftliche Zwecke eingesetzt wird. Andererseits haben Sie dann aber doch bei Varianten von Teppichen diese Daten als Aussagekriterien herangezogen. Erwarten Sie also zwischen den LOI-Ergebnissen und der Praxis doch einen gewissen Zusammenhang?

Carl: Die meisten Institute, aber auch Forschungszentren von Faserherstellern, die sich mit dem Brennverhalten befassen, wenden den LOI-Test weitgehend nur für wissenschaftliche Untersuchungen an.

Parallellaufend zu diesem Symposium tagte die Sitzung eines Arbeitskreises, der sich speziell mit diesem Verfahren befaßt und in dessen Verlauf die Frage, inwieweit dieses Verfahren über rein wissenschaftliche Zwecke hinaus anwendbar ist, erneut gestellt wurde. Aus der Erfahrung einer Reihe von Herren hat sich auch da schon gezeigt, daß man mit Hilfe dieses Verfahrens durchaus an eine Produktions- oder Qualitätskontrolle denken könnte, nur ist es im Augenblick (in Anlehnung an das bereits genormte Verfahren für Kunststoffe) in allen Einzelheiten

noch nicht direkt auf textile Stoffe übertragbar. Beispielsweise sind schmelzende Materialien, die sich hier kritischer verhalten, ein meßtechnisch noch nicht geklärter Fall.

Wenn das Verfahren weiter entwickelt wird, wird es zumindest einen Aussagewert als Richtlinie liefern. Ich möchte aber betonen, daß es nicht sinnvoll wäre, den LOI-Wert als einzigen Meßwert heranzuziehen, um daraus Aussagen über das Risiko und über das generelle Verhalten zu machen. Das sollte man auf keinen Fall tun.

Hoffmann: Wie haben Sie den LOI-Wert von diesem Shag-Teppich gemessen? Gemäß der amerikanischen Norm handelt es sich beim LOI-Wert doch um das Messen von Kunststoffstäben mit bestimmter Ausdehnung. Wenn Sie aber einen Shag messen wollen, ist es doch recht problematisch, eine sinnvolle Zuführung des Sauerstoffs sicherzustellen. Ordnen Sie den Shag horizontal an, so wie er gebraucht wird, ist es wohl kaum möglich, eine gleichmäßige Sauerstoffkonzentration über das ganze Substrat aufrecht erhalten zu können.

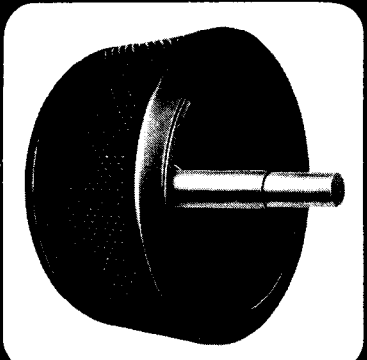
Carl: Wir haben dieses Verfahren, natürlich im Vergleich zur Vorschrift des ASTM, die eigentlich nur Stäbe prüft, etwas modifiziert. In einem Rahmen wurden die Teppiche vertikal aufgespannt und am oberen Rand entzündet, so daß die Flammenausbreitung vom oberen Rand zum unteren fortschritt. Selbstverständlich treten Probleme bei Teppichen auf, die beispielsweise thermoplastische Fasern enthalten, wie z. B. der Polyester-Shag. Wir haben aber beobachtet, daß dieses Meßverfahren bei drei, fünf oder sieben Wiederholungen doch gut reproduzierbare Werte ergab. Wird der LOI-Wert richtig eingestellt, das heißt so, daß das Material gerade noch brennt, dann liefert dieser Test doch — nachträglich natürlich erklärbar — sehr vernünftige Werte. Da wir das mehrfach durchgeführt haben, haben wir zur Einstufung von flammfesten Latices oder Ausrüstungen für die interne Auswertung doch recht gute Erfahrungen gemacht.

Albrecht: Ich freue mich ganz besonders darüber, daß diese Arbeiten über die kurzgeschlossenen Kreise in Westeuropa und über die ISO ständig weiterentwickelt werden und so eine Art „Sprechplattform“ bilden, auf der das Verständigen wesentlich leichter fällt, sodaß auch von dieser Seite her eine tragende Säule für diese Entwicklung eingebaut wird.

SEMBONIT®
Hartgummi

EROSTABIL®
Weichgummi

SEMPRONIT®
Kunststoff



® = Eingetragenes Warenzeichen

**Korrosionsschutz —
Erosionsschutz**

SCHUTZAUSKLEIDUNGEN
für Behälter, Wasseraufbereitungsapparate, Filtertrommeln, Gewürzautoklaven, Scheuertrommeln, Rohrleitungen, Ventile, Pumpen, Siebtrommeln.

SEMPERIT
Aktiengesellschaft
1041 Wien, Wiedner Hauptstr. 63
Werk: 4021 Linz, Eduard-Sueß-Str. 19

Anforderungen an Berufsbekleidung hinsichtlich Brennverhalten

Dr. Werner G e h r m a n n
Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz

Aus der Erkenntnis heraus, daß trotz oder gerade durch die Technik die Gefahren vielfältiger geworden sind, ergibt sich zwingend die Notwendigkeit, Schutzbekleidung zu schaffen bzw. diese zu verbessern. Die Schwierigkeiten liegen darin, daß viele Anforderungen gleichzeitig zu erfüllen sind und die Lösungsmöglichkeiten sich zudem oft konträr verhalten.

Anhand einer Zusammenstellung der von der Bekleidung geforderten Eigenschaften wird gezeigt, daß man an Kompromißlösungen kaum vorbeikommt, wenn auch manche Probleme sich zwischenzeitlich auf Grund neuer Materialien und Techniken erledigen. Die Auswahl, insbesondere in bezug auf Konstruktion und Konfektion, muß sich am jeweiligen Einsatz der Berufsbekleidung orientieren.

Realizing that in spite of the progress of technical science or because of the technical advances hazards have become more complex, it is absolutely necessary to produce suitable protective clothing or to improve already existing material. The difficulty is that the various requirements have to be met simultaneously and that moreover different solutions have contrary effects.

When summarizing all the required characteristics pertaining to clothing it is obvious that compromises will scarcely be avoided even though some problems may be solved by applying new materials and advanced techniques. The selection, especially as to the type of material and design, will have to be made in accordance with the respective use of professional clothing.

Die Menschen lernten schon frühzeitig mit den Natur- elementen und den damit verbunden Gefahren zu leben und umzugehen. Nachdem sie das Feuer beherrschten, nahmen sie es mit in ihre Behausungen, zugleich damit aber auch die Gefahr.

Es ist nun einmal so — und dies ist eine Binsenweisheit —, daß jeglicher Fortschritt, jede technische Errungenschaft und jede eingehandelte Bequemlichkeit seine bzw. ihren Preis hat. „Technik ist“ — um Ortega y Gasset zu zitieren — „die Anstrengung, Anstrengungen zu vermeiden“.

Henrik Ibsen sieht es kritischer: „Alle Entwicklung ist bis jetzt nichts weiter als ein Taumeln von einem Irrtum in den anderen.“

Ohne Zweifel hat nichts die menschlichen Lebensbedingungen so verändert wie die Technik. Es hieß Eulen nach Athen tragen, wollte ich Ihnen nun aufzeigen, daß wir auf Leistungen und Annehmlichkeiten des technischen Fortschritts mitunter nur schwerlich verzichten wollten, bisweilen es kaum noch könnten.

Es ist gelungen, Gefahren zu bannen — wie etwa Seuchen —, doch die Gefährdung des Menschen ist trotz bzw. durch die Technik keineswegs geringer, sondern allenfalls vielfältiger geworden. Ob sie auch in

ihrem Umfang und Ausmaß zugenommen hat, wage ich nicht definitiv zu entscheiden, wenngleich vieles dafür spricht.

Die Gefahrenmomente insgesamt haben sich lediglich verlagert, und die Bedrohung ist nicht mehr vorwiegend physischer, sondern zunehmend auch humanbiologischer und psychischer Natur. Neben den bisher üblichen Verletzungen, Verbrennungen und Vergiftungen treten auch Genmutationen infolge von Chemikalien- oder Strahlungseinwirkungen auf — wenn auch schwer nachweisbar — und in zunehmendem Maße beobachtet man psychische Defekte, allerdings komplexer Kausalität.

Ohne nun Unfallhäufigkeit, Ursache und Auswirkungen näher ergründen zu wollen, sei lediglich als Faktum festgehalten, daß sich in unserer industrialisierten bzw. technisierten Welt Unfälle — wie auch immer — infolge menschlichen oder technischen Versagens kaum gänzlich vermeiden lassen; trivial ausgedrückt: wo gehobelt wird, da fallen Späne. Aus dieser Erkenntnis heraus ergibt sich die Verpflichtung, nach Mitteln und Wegen zu suchen, dort, wo es möglich ist und soweit es möglich ist, die Unfallgefährdung zu verhindern, zumindest jedoch zu mindern.

Mit dieser Frage, inwieweit dem Menschen — insbesondere an seinem Arbeitsplatz — hinreichend Schutz gewährt wird oder werden kann, beschäftigen sich demnach auch unzählige Institutionen — ein Zeichen dafür, daß man die Problematik erkannt hat und ernst nimmt und daß man sich der Verantwortung bewußt ist.

In der Maxime einig, wonach der Schutz des Lebens wie der Gesundheit oberstes Gebot ist, und bei gleicher Zielsetzung gilt es, den optimalen und — in Relation gesehen — vernünftigsten Lösungsweg in Anpassung an die Entwicklung und die Gegebenheiten zu finden.

Ansatzpunkt aller Überlegungen wird es zunächst sein, die Gefahrenquellen selbst zu eliminieren. Neben diesen — beispielsweise apparativen — Schutzvorkehrungen werden sich die Bemühungen erst in zweiter Linie auf den direkten Nahbereich der bei technischen Abläufen gefährdeten Personen, also auf deren Schutz- bzw. Arbeitskleidung, erstrecken.

Eine Vielzahl industrieller Produktionsprozesse läuft bei höheren Temperaturen ab, wie überhaupt Energie neben Rohstoffen und Arbeitskräften ein Grundpfeiler unserer Technik ist. Folglich bleibt es nicht aus, daß man die Risiken, seien sie infolge menschlichen oder technischen Versagens oder auch durch die Umstände bedingt, das heißt in kritischen Situationen, bewirkt durch starke thermische Einwirkung (Flammen oder energiereiche Strahlung), zumindest einkalkulieren muß.

Nur in Ausnahmefällen ist die Schutzfunktion gegen thermische Strahlung die alleinige bzw. die wichtigste Aufgabe einer Arbeitskleidung; in der Regel werden eine Reihe weiterer Kleidungsfunktionen eingeschlossen sein. Im Prinzip erfüllt fast ausnahmslos alle Bekleidung Schutzfunktionen, selbst eine Badehose! Bei einigen wenigen Textilien mag das schmückende Moment als Zweck der Bekleidung in den Vordergrund treten, wozu man gegebenenfalls auch die „Adeutung“ oder Wenigkeit eines Bikinis zählen könnte!

In Anbetracht dessen, daß wir Menschen nur noch im übertragenen Sinne über ein dickes Fell verfügen, sind

wir gezwungen, uns mit Kleidung gegen Witterungseinflüsse — wie Sonne, Wind, Regen und Kälte — zu schützen, das heißt, der Schutz gegen die Unbillen der Witterung ist eine der Hauptaufgaben aller unserer Textilien überhaupt.

Wenn wir einmal von der Spezialschutzbekleidung absehen, die nur für extreme Bedingungen bzw. Sonder-einsätze konzipiert ist, so muß im Gegensatz dazu die für den Alltag gedachte Arbeits- bzw. Berufskleidung einer Fülle von Aufgaben genügen, deren Realisierung mitunter schon recht schwierig werden kann, insbesondere, wenn man allen Wünschen nachkommen will. Obwohl die Anforderungen an Sonderbekleidung — etwa für Speziallöschtrupps, für Astronauten u. ä. — für den Spezialzweck und im Hinblick auf diese eine besondere Eigenschaft recht hoch angesetzt sind, zum Beispiel, daß sie einen beträchtlichen Schutzeffekt gegenüber Flammen- und Hitzeeinwirkung garantieren müssen, ist jedoch deren Verwendungsbereich sowohl von der Tragedauer wie vom Einsatzzweck her ziemlich begrenzt. Da es sich außerdem zumeist nur um eine geringe Stückzahl handeln wird, die man von solcher Spezialkleidung benötigt, kann davon ausgegangen werden, daß die Kostenseite in Anbetracht des Risikos von untergeordneter Bedeutung sein wird.

Für die Alltagsberufskleidung sieht dies schon anders aus, da man hierbei versuchen wird, die finanziellen Aufwendungen gegenüber den meist recht subjektiven Abschätzungen einer möglichen Gefährdung irgendwie abzuwägen — gleichgültig, wer für die Anschaffungskosten aufkommt —, was immer zu einem schlechten Kompromiß führen wird. Kompromisse wird man in jedem Fall eingehen müssen, und zwar schon hinsichtlich der vielfältig angestrebten wie gewünschten Eigenschaften in bezug auf deren Verwirklichung.

Um beispielsweise einen Schutz gegen Stichflammen zu erzielen — was nichts Abwegiges ist —, kann kein superleichtes oder luftiges oder gar offenes Gewebe eingesetzt werden, wie es dem Trend entspräche, sondern es wird ein Material mit relativ dichter, geschlossener Oberfläche (gegen das Durchschlagen von Flammen) mit entsprechendem Bauschvolumen (zur Isolierung und thermischen Abschirmung) eingesetzt werden müssen, wozu auch eine gewisse Masse — eventuell sogar zur Energievernichtung — notwendig sein wird. Selbstverständlich hat die Konstruktion des verarbeiteten Materials — ich lasse bewußt offen, ob Gewebe, Gewirke, Vlies, beschichtetes Material oder auch Leder — sowie die Konfektion maßgeblichen Einfluß auf die Eigenschaften und die Eignung dieser Bekleidung.

Welche Eigenschaften, einschließlich der Schutzeffekte, werden nun von einer Arbeitsbekleidung erwartet?

Lassen Sie mich dies an einem extremen Fall demonstrieren, nämlich am Beispiel einer Uniform für Soldaten. Die Feld- oder Kampfbekleidung kann einer Arbeitsbekleidung durchaus gleichgestellt werden bzw. ist Berufsbekleidung. Ohne hier Emotionen erwecken zu wollen — ich betrachte sie als defensives Instrument —, wählte ich diesen Artikel deshalb, weil an einer Uniform als ausgesprochen multifunktionelle Bekleidung — übrigens in allen Ländern — definierte Anforderungen gestellt werden, die über die allgemeinen Richtlinien von Normen oder Vorschriften von Berufsgenossenschaften hinausgehen, insbesondere aber, weil wir hier die ganze Palette von Wünschen haben. Ich nenne es absichtlich „Wünsche“, weil man

Tabelle 1: Anforderungen, die an für Bekleidung bestimmte Textilien gestellt werden

Gewünschte Materialeigenschaften:	bestimmt bzw. festgelegt durch:
weich und schmiegsam	Faserfeinheit u. -länge, Garndrehung (Spinnverfahren, Garn- u. Zwirnnummer), Gewebekonstruktion usw.
leicht	Flächengewicht
stabil und strapazierfähig	Reiß- u. Weiterreißfestigkeit, Berstdruck
• in feuchtem Zustand knickbeständig	Naßfestigkeit
glatt, nicht knitternd	Dauerknickverhalten
flexibel	Knittererholungswinkel
elastisch	Elastizitätsmodul
• auch bei tiefen Temperaturen temperaturbeständig	Kältebeständigkeit
• nicht schmelzend	Schmelz- bzw. Erweichungspunkt
• nicht leicht zersetzbar oder vergasbar	
• nicht schrumpfend bei Hitze	
nicht brennbar	Brennbarkeit
scheuer- und abriebfest	Scheuer- u. Abriebfestigkeit
reinigungsfähig	Wasch- u. Reinigungsfestigkeit
kein Einlaufen beim Reinigen	Maßänderung (Schrumpfverhalten)
kein Unansehnlichwerden	
• nicht pillend	Waschtest, Pillingtest etc.
• nicht filzend	
lagerfähig	Alterungsbeständigkeit
beständig gegen Chemikalien	Fasermaterial, Ausrüstung
frei von Geruch	pH-Wert etc.
frei von schädlichen Substanzen	dermatologische Unbedenklichkeit
• hautverträglich	
frei von toxischen Substanzen und Gasen bei Pyrolyse	
klimatisierend, regulierend	Bekleidungsphysiologie, Feuchtetransport, Wärmerückhaltevermögen, Feuchtespeichervermögen, Luftdurchlässigkeit, Porenvolumen
• warmhaltend	Luftdurchlässigkeit
• „atmungsaktiv“	Fi terwirkung
winddicht	
staubdicht	
schnell trocknend	Wasserdruckbeständigkeit
wasserabweisend	Abperleffekt
schmutz- und ölabweisend	elektrostatische Aufladung
statisch nicht aufladend	UV-Beständigkeit
lichtstabil	
farbbeständig	
• gegen Licht	Färberechtheiten
• gegen Chemikalien	
• gegen Reinigungsmittel	
• gegen Schweiß etc.	
Gewünschte Eigenschaften der Bekleidung:	Kriterien:
nicht zu eng	
nicht zu weit	
die Bewegungsfreiheit nicht beeinträchtigend	
rasch zu öffnen	
leicht zu verschließen	
formstabil	
belüftbar (über Öffnungen)	
nahtstabil	Nahtfestigkeit
reinigungsstabil	
• Reißverschlüsse, Knöpfe etc.	

bekanntlich nicht immer haben kann, was man gern möchte (Tab. 1).

In dieser Tabelle sind in ziemlich willkürlicher Aufzählung triviale Begriffe zusammengestellt, die all jene Eigenschaften wiedergeben sollen, die man von einer optimalen Bekleidung erwartet.

Wie bereits angedeutet, würden derartige Anforderungen ungefähr den Vorstellungen entsprechen, die man an eine besonders anspruchsvolle Bekleidung — etwa an eine Felduniform — stellt, die auch bei längerer Tragezeit den verschiedenen Umwelteinflüssen gerecht wird und die regenerierbar ist, ohne dabei in der Gebrauchstauglichkeit nachzulassen und ohne ihre Schutzeigenschaften nennenswert einzubüßen.

Mit einigen wenigen oder mehreren Abstrichen gelten jedoch die gleichen Maßstäbe auch für andere Berufsbekleidungen, mit der Maßgabe allerdings, nur soweit es jeweils auf Grund des Einsatzzweckes erforderlich ist. In der Regel wird man sogar weniger auf die hier aufgeführten Eigenschaften verzichten, als vielmehr in Bewertung und Beurteilung einen geringeren Maßstab anlegen, sofern es sich um verzichtbare Kriterien handelt. Da die Lebensdauer einer Arbeitsbekleidung wegen ihrer stärkeren Beanspruchung normalerweise nicht allzu groß ist und das einwandfreie Aussehen auch nicht an erster Stelle rangiert, wird beispielsweise Knitterfreiheit oder hohe Lichtechtheit der Färbung, zumal bei Verwendung in Räumen ohne direkte Sonneneinwirkung, nebensächlich sein, dafür wird man den Schutzeigenschaften gegen mechanische, thermische oder sonstige Einflüsse besondere Bedeutung beimessen.

Hinter den Eigenschaftsbezeichnungen in der Tabelle sind ferner Möglichkeiten aufgeführt, die zur Festlegung oder Bestimmung dieses spezifischen Verhaltens herangezogen werden können. Ich möchte vorsorglich hierzu bemerken, daß diese Zusammenstellung keinesfalls Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. So resultieren einzelne Eigenschaften aus dem Zusammenwirken einer Vielzahl von Einflußgrößen. Dennoch wird oder kann man für eine Erfassung oder Beschreibung — etwa für eine Qualitätsnorm — nur wenige maßgebliche Daten zur Charakterisierung heranziehen. Hierbei ergeben sich aber keinerlei Schwierigkeiten. Das Problem beginnt dort, wo mehrere Eigenschaften mit hohen Bewertungsnoten angestrebt werden, deren technische Realisierbarkeiten aber diametral zueinander stehen.

Ein Synthetikgewebe soll beispielsweise antistatisch und zugleich hydrophob ausgerüstet werden. Diese Ausrüstung soll zudem reinigungsbeständig sein, also beständig gegen Wasser + Waschmittel und Lösungsmittel sein. Dies läßt sich jedoch mit guten Erfolgchancen kaum vereinbaren.

Solche Probleme zu lösen, sind nicht nur vom technischen Aufwand her kompliziert, sondern außerdem mit sehr großen Unkosten verbunden. Vielfach sind solche hohen Anforderungen einfach technisch gar nicht realisierbar, weil trotz allen Fortschritts vom Material her Grenzen gesetzt sind. Die Entwicklung geht jedoch ständig weiter — ohne Zweifel. Was gestern noch ein unlösbares Problem darstellte, darüber spricht man vielleicht morgen schon nicht mehr.

Um auf obiges Beispiel noch einmal zurückzukommen: Inzwischen gibt es verschiedene Wege, um auch ohne

Ausrüstungsverfahren die elektrostatische Aufladung zu verhindern oder zu mindern. Man kann zum Beispiel — neben der Verwendung von Metallfasern — der Spinnmasse Ruß zusetzen. Doch das Garn wird dann eine Graufärbung aufweisen. Die Festigkeitswerte werden dadurch sogar ziemlich unbeeinflusst bleiben. Ob der Antistatikeffekt immer genügen wird, sei dahingestellt.

Was ich damit nur andeuten wollte, ist, daß sich zwar auf Grund neuer Entwicklungen immer wieder neue Lösungswege für die an uns gestellten Aufgaben anbieten, daß zugleich aber meist auch andere Nachteile auftreten. Um dem Katalog aller guten Eigenschaften eines Textils zu entsprechen, kommt man eben nicht umhin, Kompromisse einzugehen.

Viele Eigenschaften sind materialbezogen und nur durch geeignete Auswahl der Rohstoffe, deren Verarbeitung sowie Ausrüstung zu erreichen. Etliche Anforderungen an die Bekleidung lassen sich aber auch ziemlich materialunabhängig einmal durch eine geeignete Stoffkonstruktion und zum anderen durch richtige Konfektion erreichen. Derartige Auswirkungen sind sowohl für die bekleidungsphysiologischen Eigenschaften¹ als auch für die Schutzeigenschaften von Bedeutung.

Eine lockere Baumwollware oder gar Watte wird weit rascher verbrennen als ein ebensolches gleich schweres, dicht geschlagenes Gewebe². Wenn auch voluminöseres Material wegen des besseren Isolationsvermögens vorzuziehen wäre, so scheidet die Verwendung daran, daß der damit verbundene größere Sauerstoffgehalt selbst schwerer brennbare Materialien am Brennen erhält.

Eine ganz maßgebliche Bedeutung gerade in bezug auf das Brennverhalten spielt die Konfektion². So mindert bereits ein Gürtel gegenüber einer locker getragenen Bekleidung Ausdehnung und Wirkung des Brandes³. Die Flammenausbreitung einer nicht so weit geschnittenen Hose, am Knie entzündet, wird geringer sein als bei der Jacke aus gleichem Material, die am Saum gezündet wurde. Wird die gleiche Hose jedoch mit Hosenträgern getragen und ist sie entsprechend am Bund um einige Zentimeter zu weit, so führt dies zu einer wesentlich größeren Flammenausbreitungsgeschwindigkeit³. Der „Kamineffekt“, das ist die Durchlüftung des Arbeitsanzuges ohne die Abschnürung durch einen Gürtel, ansonsten bekleidungsphysiologisch wünschenswert, birgt hier die Gefahr einer rascheren Flammenausbreitung. In einem solchen Fall wird man zweckmäßigerweise sowohl eine einteilige Kombination als auch ein schwer brennbares Gewebe verwenden.

Um den jeweiligen Umständen entsprechend Rechnung zu tragen, versuchen — in der BRD — die Unfallverhütungsvorschriften der gewerblichen Berufsgenossenschaften Richtlinien zu setzen. So besagt zum Beispiel die VBG 1 § 43: „Arbeiten, bei denen Kleider Feuer fangen können, dürfen nicht in Kleidern vorgenommen werden, die mit öligen, fettigen oder sonst leicht entzündlichen Stoffen getränkt sind.“ Mit anderen Worten also: Die Bekleidung darf bei solcher Tätigkeit keinesfalls leicht brennbar sein.

Für Schweißen, Schneiden und verwandte Arbeitsverfahren heißt es in der VBG 15 § 33 (1): „Der Schweißer muß während der Arbeit an seinem ganzen Körper durch die Kleidung und durch den Gesichtsschutz gegen Strahlen und gegen Verbrennungen geschützt

sein. (2) An beiden Händen sind Stulpenhandschuhe aus einem geeigneten Stoff, z. B. Leder, zu tragen. (3) Geeignete Schürzen sind zu tragen.“

Für Kohlenstaubanlagen schreibt die VBG 3 § 28 vor: „Der Einsteigende und der Helfer müssen zum Schutz gegen etwaige Stichflammen Flammenschutzkleidung, mindestens aber mit einem geeigneten Flammenschutzmittel getränkte Kleidung mit Hand- und Gesichtsschutz tragen.“

Die VBG 47a § 15 (2) bezieht sich auf Arbeiten an Schacht- und Drehrohren: „Zu allen Tätigkeiten, bei denen die Gefahr von Verbrennungen besteht, muß Schutzbekleidung aus schwer entflammbarem Material getragen werden.“

Ähnliche Richtlinien existieren noch für eine Reihe weiterer Arbeitsplätze, bei denen infolge latenter Unfallgefährdung ebenfalls ein Schutz durch schwer brennbare Bekleidung angezeigt ist.

In der VBG 1 § 53 (1) wird die Schnittgestaltung angesprochen: „Die mit der Wartung und Bedienung von Maschinen und Triebwerken Beschäftigten müssen abschließende Kleidung tragen.“ — Über die Art des Schutzes wird in der VBG 50 § 5, Abs. 2, ausgeführt: „Eine geeignete Arbeitsbekleidung gegen Flammen- und Hitzeinwirkung besteht mindestens aus Jacke, langer Hose, Schuhen und Kopfbedeckung und ist frei von leicht entflammbaren und leicht schmelzenden Bestandteilen.“

Die Einflußnahme von Gewebekonstruktion und Schnittgestaltung auf die Schutzwirkung eines Textils wird übrigens auch in der VBG 55a § 45 (1) berücksichtigt: „Personen, die bei der Arbeit mit entzündlichem Staub in Berührung kommen oder durch Stichflammen gefährdet sind, müssen Schutzkleidung aus d i c h t e m und f e s t e m Stoff tragen, sie kann aus enganliegenden Arbeitsanzügen, Mänteln, größeren Ärmelschürzen oder dgl. bestehen. Sie muß mit einem geeigneten Feuerschutzmittel getränkt sein. Jacken dürfen keine Taschen enthalten. Metallknöpfe sind zu vermeiden, etc.“

Wenn trotzdem in den eben zitierten Richtlinien von „mindestens mit einem geeigneten Flammenschutzmittel getränkter Bekleidung“ die Rede ist, so sollte man berücksichtigen, daß dies, als es formuliert wurde, dem damaligen Wissensstand entsprechend wohl als gangbarster Weg erschien. Inzwischen hat man sich in der ganzen Welt mit großem Forschungsaufwand diesem Themenkreis gewidmet. Die Liste der entwickelten Produkte wächst ständig.

Mit Tabelle 2 habe ich versucht, einmal die Vielfalt der derzeit bekannten Möglichkeiten zu demonstrieren.

Um zukünftigen Forschungsergebnissen und Erkenntnissen hinsichtlich Brennverhalten bzw. Schwerbrennbarkeit von Textilien nicht vorzugreifen und um sich nicht vorzeitig oder gar falsch festzulegen, vermeiden es die für den persönlichen textilen Schutz erstellten Sicherheitsvorschriften, soweit möglich, irgendwelche Materialien oder Verfahren bindend vorzuschreiben.

Ich bin nicht so vermessen, nun den Eindruck erwecken zu wollen, diese Zusammenstellung wäre vollständig, geschweige denn up-to-date.

Der naheliegende Schritt war zunächst, die verfügbaren bekannten Fasermaterialien zur Verwendung für feuergefährdete Arbeitskleidung schwer brennbar

Tabelle 2: Schwer brennbare textile Werkstoffe 4-7

Baumwolle — ausgerüstet mit:	Afflaman Flacavon Flammantin Proban Pyrovatex	(Thor-Chemie) (Schill & Seilacher) (Thor-Chemie) (ICI) (Ciba-Geigy)
Wolle in schwererer Konstruktion oder ausgerüstet (IWS)		
Polyester/Wolle bei entsprechender Konstruktion		
Polyamid Polyester — bedingt ⁵		
Viskosefaser, modifiziert:	Avisco PFR Avril FR Arnel DDC Belflame Darelle Evlan Dawhibo PFG Fibro 700/PNC Tobilon	(American Viscose) (F.M.C.) (Celanese) (Kanebo) (Courtaulds Ltd.) (Courtaulds Ltd.) (Daiwa-Spinlay Co) (American Enka Co) (Toyo Rayon Co)
Acetatfaser, modifiziert:	Acele FLR D 107 FR Safyr	(Du Pont) (Celanese) (F.M.C.)
Acrylfaser, modifiziert:	Acrilan SEF Kanekalon Teklan Verel Dynel Cordelan ATF 1007 Orlon 775 Creslan Toraylon	(Monsanto) (Kanegafuchi Chemical) (Courtaulds Ltd.) (Kodak, Eastman Chem. Prod.) (Union Carbide Corp.) (Kohjin Co. Ltd.) (Bayer) (Du Pont) (American Cyanamid) (Toray)
Polyvinylchlorid:	Leavil Clevyl T Rhovyl Saran Valren Piviacid Khlorin Vinyon	(Châtillon SpA) (Société Rhovyl) (R.P.T.) (Dow Badische) (Teijin Ltd.) (VEB Filmfabr. Wolfen/DDR) (UdSSR) (USA)
Polyvinylalkohol, bedingt:	Kuralon Vinyon Vinyal	(Kurarag) (Kurarag) (Rhone Poulenc)
Polyamidfaser, modifiziert:	Durette Kermel Nomex HT 4 Ultron ATF 2000 Conex Kevlar Nylon 6 T Caprolan 24	(Monsanto) (Rhone-Poulenc) (Du Pont) (Du Pont) (Monsanto) (Bayer) (Teijin Ltd.) (Du Pont) (Celanese) (Allied Chemicals)
Polyesterfaser, modifiziert:	Kodel Heim Tetoron-Unfla Extar Dacron X	(Eastman Kodak) (Toyobo) (Toray) (Teijin) (Du Pont) (Hoechst)
Polyesterfaser, ausgerüstet:		(Ciba-Geigy) (Thor-Chemie)
PTO	Enkatherm	(Enka-Glanzstoff AG)
Polybenzimidazol	PBI	(Celanese)
Fypro		(Travis-Mills)
phenolische Polymere		
Kynol		(Carborundum Co)
anorganische Fasern:		
Asbest-, Metall-, Glasfasern		

zu gestalten, was jedoch anfangs ziemlich große Schwierigkeiten bereitete. Entweder war die chemische Ausrüstung nicht reinigungsbeständig, oder sie beeinträchtigte die Faserstabilität ganz erheblich; einige Produkte waren sogar gesundheitsschädigend.

Inzwischen wurden diese Verfahren wesentlich verbessert. Die Festigkeitsverluste bei der Ausrüstung von Baumwolle sind bedeutend geringer geworden, und selbst Polyester kann heute mit einer reinigungsbeständigen flammhemmenden Präparation versehen werden. Die im Handel befindlichen Produkte wurden auf ihre Hautverträglichkeit geprüft. Ungeklärt ist lediglich, ob gegebenenfalls unter ungünstigen Bedingungen möglicherweise lipoidlösliche toxische Spaltprodukte auftreten können.

Nachdem eine weitere Möglichkeit, nämlich durch Inkorporation flammhemmender Zusätze schwer brennbare Synthefasern aus der Spinnöse zu erhalten, nicht so recht funktionierte und ebenfalls zu Stabilitätsverlusten der Fasern führte, wählte man einen anderen, einen dritten Weg. Hierbei werden Fäden synthetisiert, die bereits auf Grund ihrer chemischen Struktur schwer brennbar sind. Zugleich versucht man diesen Fasern noch weitere Eigenschaften mitzugeben, wie etwa höhere Festigkeit sowie Feuchtigkeitsaufnahmevermögen u. ä. Man wird nun, dem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend, abwägen, welche Eigenschaften von besonderer Bedeutung sind und wofür man sich dann entscheidet.

Neben den Richtlinien und Merkblättern der Berufsgenossenschaften hat in der BRD auch der Fachnormenausschuß Textil- und Textilmaschinenindustrie im DNA ebenfalls einige entsprechende Normenblätter für Arbeitsbekleidung herausgegeben. So werden in den DIN 23 325 „Schwerentflammbare Arbeitsbekleidung“ sowie DIN 61 535 und DIN 61 505 „Berufsmäntel für Herren“ — einmal in Kurz-, einmal in Langform — die notwendigen Konfektionsbeschreibungen festgelegt.

Die DIN 4845 enthält dann die Angaben über die „Gewebe aus Zellulosefasern für schwerbrennbare Arbeitsbekleidung“ und die DIN 4847 jene über „Beschichtete Gewebe und Gewirke für Schutzbekleidung“.

Hier wird man prüfen müssen, inwieweit die neuesten Entwicklungen den Schutzanforderungen und sonstigen Anforderungen vielleicht besser gerecht werden können und ob gegebenenfalls neuere Erkenntnisse eine Überarbeitung erforderlich machen.

Mit der Weiterentwicklung in allen Wissensbereichen ergeben sich neue Aspekte nicht nur hinsichtlich der technischen Möglichkeiten und der Realisierung technischer Probleme, sondern auch in bezug auf andersgeartete Risiken und die dafür zu treffenden Maßnahmen — wie bereits eingangs ausgeführt —, was eine Anpassung aller Schutzvorschriften in bestimmten Zeiträumen schon unabdingbar macht.

Vornehmlich wird aber auf Grund der veränderten oder sich ändernden Lebensbedingungen, was ja letztlich wiederum von der Technik beeinflusst wird, eine Angleichung an diese gewandelten Lebensgewohnheiten — worauf ich gleich noch zu sprechen komme — zwingend notwendig sein.

Es genügt aber nicht, lediglich Sicherheitsvorkehrungen zu treffen bzw. bloß die richtige Schutz- bzw.

Arbeitsbekleidung festzulegen. Hand in Hand damit muß unbedingt eine Unterrichtung sowohl über das richtige Verhalten im Gefährermoment als auch über die sachgemäße Benutzung der Schutzbekleidung und deren Pflege, sowie über deren Funktionsgrenzen erfolgen. Auch muß auf die Gefahr selbst immer wieder hingewiesen werden (das Trägheitsgesetz gilt eben nicht nur in der Mechanik).

Die Berufsgenossenschaften versuchen, dies mit Merkblättern und Plakaten zu erreichen. Das Resultat derartiger Aufklärungsarbeit, nämlich die konsequente Anwendung, wird jedoch dann in Frage gestellt, wenn die allgemeinen Lebensgewohnheiten den Schutzanforderungen zuwider laufen.

Ich erwähnte bereits, daß zum thermischen Schutz eine Dämmschicht erforderlich ist, wohingegen der Trend zu immer leichteren und luftigeren Textilien geht. Messungen bestätigen, daß diese Thermoisolierwirkung linear mit dem Gewebegewicht — zumindest bei Baumwolle und bei Baumwolle/Polyester — zunimmt.²

Unsere Epoche ist geprägt von einem soziologischen Wandel, den ich hier nur kurz mit einem „allgemeinen Freiheits- und Geltungstreiber“ umschreiben möchte — eine weltweit zu beobachtende Abkehr von Konventions- und Autoritätsprinzipien, was naturgemäß auch auf den Bekleidungssektor Auswirkungen hat, das heißt auch bei Textilien zum Ausdruck kommt. Etwa synchron dazu verläuft die Entwicklungsphase der aufstrebenden Chemiefaserindustrie, die diesem modischen Trend, freie, leichte, unkonventionell-saloppe Kleidung zu kreieren, nur entgegenkommt.

Hinzu kommt noch, daß sich auch die Umweltbedingungen gewandelt haben. Die Zimmertemperatur, früher mit 18° C als ausreichend betrachtet, liegt inzwischen meist sogar über 23° C, d. es bedeutet eine Differenz von 5° C!

Des weiteren haben sich unsere Lebensgewohnheiten in bezug auf die Ernährung wie auf die körperliche Betätigung sehr verändert. Auch ist kaum jemand den Witterungsunbilden für längere Zeit ausgesetzt.

Dies hat zur Folge, daß mit der Bekleidung auch die Tragegewohnheiten andere geworden sind. Modische Einflüsse lassen sich daher umso leichter verwirklichen, zumal der alte Qualitätsstandard einem häufigeren Wechsel zum Opfer fiel. Auch sind die Menschen modebewußter geworden und versuchen nun, diese Einflüsse auch auf die Berufsbekleidung zu übertragen.

Mode sucht aber stets neue „Gags“, das heißt neue Materialien und Stoffkonstruktionen, und dem Zeitgeist entsprechend eine ausgefallene, anti-konventionelle Gestaltung. Sie orientiert sich nicht an der Zweckmäßigkeit und schon gar nicht an Sicherheitsvorschriften. Dem Versuch, Schutzbekleidung modischen Einflüssen zu unterwerfen, ist daher mit größter Skepsis zu begegnen.

Generell soll noch darauf hingewiesen werden, daß Arbeitsbekleidung, sofern es sich nicht um Einwegbekleidung handelt, reinigungsbeständig sein muß, ohne dabei in den Schutzfunktionen Einbuße zu erleiden.

Gegebenenfalls müssen diese durch eine entsprechende Nachbehandlung wiederhergestellt werden können (z. B. durch eine Nachimprägnierung).

Auch ist darauf zu achten, daß nach der Wäsche keine

Rückstände von Kalkseifen verbleiben, die im Extremfall ein Entzünden selbst schwer brennbarer Bekleidung unterstützen, was für den Benutzer, der sich ja sicher wähnt, von erhöhter Gefahr sein kann.

Ähnliche Pannen passieren übrigens auch, wenn zur Verarbeitung schwer brennbarer Gewebe leicht brennbare Materialien (z. B. Baumwollnähfäden) verwendet werden⁴. Zur Konfektion erübrigt es sich wohl zu sagen, daß sie die Leistungsfähigkeit und Bewegungsfreiheit möglichst wenig einschränken soll.

Das Tragen von Schutzbekleidung gegen Flammeneinwirkung wird in der Regel eine gewisse physische Belastung mit sich bringen. Es sei deshalb an dieser Stelle auf den „Wandel arbeitsspezifischer Funktionseigenschaften im Zeitgang des menschlichen Lebens und der Rückwirkung auf die Eignung für körperliche Arbeiten“⁸ hingewiesen. Untersuchungen haben ergeben, daß Personen über 45 Jahre möglichst nicht mehr zu Hitzearbeiten überwechseln sollen⁸.

Zusammenfassung

Dem Brennverhalten von Textilien kommt in Relation zur Häufigkeit von Brandverletzungen nach der Unfallstatistik keineswegs eine derartige Bedeutung zu, wie man dies allenthalben annimmt. Maßgeblich mag hierzu aber auch beigetragen haben, daß Brandverletzungen mit zu den scheußlichsten Unfallvorkommnissen zählen. Vielleicht wird aber auch das diesbezügliche Schutzbedürfnis deshalb stärker angesprochen, weil jeder bereits selbst Erfahrungen mit starken Schmerzen bei relativ unbedeutenden Verbrennungen gesammelt hat.

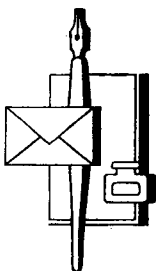
Für den Betroffenen ist es sicher belanglos zu wissen, daß ein Hitzefluß von $0,4 \text{ cal/cm}^2$ nach 2 Sekunden einen Schmerz und erst nach 5 bis 6 Sekunden eine Blase verursacht⁹.

In Anbetracht der vielfältigen Gefährdung im Alltag wie im Berufsleben ist man zumindest für den Bereich des Schutzes gegen starke thermische Einwirkungen einen großen Schritt vorangekommen. Die intensiven Entwicklungsarbeiten haben uns eine Fülle von Erkenntnissen und Möglichkeiten erschlossen, mit denen wir in der Lage sein sollten, das Risiko an gefährdeten Arbeitsplätzen auf ein Mindestmaß herabzusetzen.

Literatur:

- 1) J. Mecheels: „Bekleidungsphysiologische Aspekte im Zusammenhang mit Wolle und deren Mischungen, insbesondere mit synthetischen Fasern“; Textilveredlung 3 (10), 513 (1968)
- 2) I. Nunnikhoven und W. Albrecht: „Brennbarkeit von Textilien und Brandverhütung“; Melliand Textilber. 53 (1), 95 (1972)
- 3) G. Arnold, A. Fisher und G. Frohnsdorff: „Hazards from Burning Garments“; National Technical Information Service, US-Department of Commerce, März 1973
- 4) M. Rieber: „Die Brennbarkeit von Textilien“; Spinner Weber Textilveredlung, Vogel-Verlag, 89 (1), 2—6 (1971)
- 5) H. Görlach: „Thermische Kennwerte von Faserstoffen“; Chemiefasern — Textilindustrie Heft 6/1972 bis Heft 2/1973
- 6) H. Peter: „Die Brennbarkeit von Arbeitsschutzbekleidung an wärmebelasteten Arbeitsplätzen“; Die Berufsgenossenschaft, Februar 1975
- 7) H. Hantge: „Flammschutzausrüstungen von Textilien“; Textilveredlung 6 (10), 637 (1971)
- 8) B. Schulte: „Menschengerechte Arbeitsgestaltung“; Bekleidung + Wäsche, Heft 11/1974
- 9) M. P. Chonrinard, D. C. Knodel und H. W. Arnold: „Wärmeübertragung bei brennbaren Textilien“; Melliand Textilber. 55 (1974)

moderne bürotechnik



robert streit

WIEN · AMSTETTEN · LINZ

Alle Büromaschinen
Sämtlichen Bürobedarf
Schreibwaren
Moderne Büromöbel und Registraturen
Papier und Schulartikel
Spezial-Reparaturwerkstätte

Über Wirkungsweise und synergistische Effekte bei Flammenschutzmitteln für Chemiefasern

Dr. Ulrich Einsele
Institut für Textilchemie der Universität Stuttgart
(Direktor: Prof. Dr. H. Herlinger)

Die am häufigsten verwendeten Flammenschutzmittel sind Phosphor- und Halogenverbindungen. Auf die Wirkungsweise dieser Verbindungen bei den einzelnen Faserstoffen wird eingegangen.

Von großer Bedeutung für die Flammschutzrüstung sind synergistisch wirkende Kombinationen. Durch Ausnutzung synergistischer Effekte kann die Wirksamkeit einer Flammschutzrüstung erhöht und die erforderliche Auflagemenge vermindert werden. Wichtig ist der Phosphor-Stickstoff-Synergismus bei der Flammschutzrüstung von Zellulosefasern. Die Ursachen dieses Synergismus beruhen auf einem Abbau von wenig wirksamen phosphororganischen Verbindungen in flammschutzaktive Verbindungen, die eine Dehydratisierung und Verkohlung der Faser herbeiführen. Von Bedeutung für die Flammschutzrüstung von Synthefasern ist der Halogen-Antimon-Synergismus und der Halogen-Phosphor-Synergismus. Das Auffinden weiterer synergistischer Kombinationen bzw. wirksamerer Flammschutzmittel ist ein zentrales Problem bei der flammhemmenden Ausrüstung von Chemiefasern.

The most frequently used flame-retarding agents are phosphorus- and halogen-compounds. The effects of these compounds on the individual fibre materials are discussed.

Combinations that have a synergistic effect are of great importance for flame-retardant finishing. By utilizing such synergistic effects, the effectiveness of a flame-retardant finishing can be increased and the required quantity be reduced. The phosphorus-nitrogen synergism is important for flame-retardant finishing of cellulose fibres. The causes for this synergism are based on a disintegration of the less effective phosphorus compounds in flame-retarding agents which lead to dehydration and carbonization of the fibre. Decisive for flame-retardant finishing of synthetic fibres is the halogen-antimony synergism and the halogen-phosphorus synergism. Finding further synergistic combinations and more effective flame-retarding agents is a central problem in the field of flame-retardant finishing of chemical fibres.

Einleitung

Die Flammschutzrüstung von Textilien bereitet nach wie vor beachtliche Schwierigkeiten. Wenn man die heutige Situation mit derjenigen vor einigen Jahren vergleicht, so muß man feststellen, daß die Probleme nicht geringer geworden sind. Bei Zellulosefasern hat man zwar relativ rasch waschbeständige Ausrüstungen ermittelt und glaubte, das Problem weitgehend gelöst zu haben, aber erst bei längerem praktischen Einsatz hat sich gezeigt, welche Problematik diese Ausrüstungen noch in sich bergen. Es soll hier nur auf die Beeinflussung des Flammschutzeffekts durch Licht- und Witterungseinflüsse hingewiesen werden, sowie auf Ionenaustauschereigenschaften, die im Verlaufe des Gebrauchs auftreten können, auf toxische Eigenschaften und auf eine Beeinträchtigung des Flammschutzeffektes beim Waschen mit bestimmten Tensiden.

Bei der so wichtigen Flammschutzrüstung von BW/PES-Mischungen ist man in den letzten zwei bis drei Jahren auch nicht wesentlich weitergekommen. Trotz intensiver Entwicklungsarbeiten auf diesem Gebiet ist man über einige Ansätze nicht hinausgekommen, sodaß bis heute noch keine befriedigenden Ausrüstungen für BW/PES-Mischungen zur Verfügung stehen.

Ähnlich sieht es bei den reinen Synthetics aus. Weder für PES- noch für PA-, PAC- oder PP-Fasern gibt es heute Flammschutzmittel, von denen man sagen könnte, daß sie in jeder Hinsicht zufriedenstellend seien.

Etwas hoffnungsvoller als bei der nachträglichen Ausrüstung sieht es beim Einspinnen von Flammschutzmitteln aus und bei der chemischen Modifizierung von Synthefasern, wie Entwicklungen in USA und Japan zeigen.

Anerkannte Fachleute in den USA sind der Überzeugung, daß keine einfachen und raschen Lösungen auf dem Gebiet der Flammschutzrüstung zu erwarten seien und daß man nur durch langwierige und mühsame Arbeiten schrittweise Verbesserungen erzielen könne¹. Die Anforderungen an eine Flammschutzrüstung sind so vielseitig und die Problematik ist so schwierig, daß mit keinen spektakulären Erfolgen gerechnet werden kann.

Die anfänglichen Erfolge hat man in erster Linie durch empirisches Arbeiten erzielt. Bei der empirischen Arbeitsweise wird aber früher oder später ein Punkt erreicht, an dem es einfach nicht mehr weitergeht, ohne tiefer in die Materie einzudringen. Diesen Punkt dürfte man auf dem Gebiet der Flammschutzrüstung erreicht haben. Man hat noch zu wenig Einblick in die ursächlichen Zusammenhänge zwischen Pyrolyse, Verbrennung und Wirkungsweise der Flammschutzmittel. Es soll nun versucht werden, etwas zur Aufhellung dieser Zusammenhänge beizutragen, da letzten Endes nur dadurch weitere Fortschritte in der praktischen Anwendung von Flammschutzmitteln erwartet werden können.

1. Energiebilanz beim Brennvorgang

Im folgenden sollen einmal die einzelnen Vorgänge betrachtet werden, die sich bis zur Entzündung eines Textilmaterials im Hinblick auf die energetischen Verhältnisse abspielen. Um ein Material zum Brennen zu bringen, muß man zuerst Energie von außen zuführen. Diese Energie wird für eine ganze Reihe von Einzelprozessen benötigt, die bis zum Erreichen des brennfähigen Zustandes ablaufen. In Abbildung 1 sind diese Energiebeträge im unteren Halbkreis schematisch aufgezeichnet. Die Größe der Kreissegmente gibt allerdings nicht die Höhe der tatsächlichen Energiebeträge an.

Wenn thermoplastische Fasern vorliegen, so müssen diese zunächst einmal auf Schmelztemperatur erhitzt und zum Schmelzen gebracht werden. Dazu sind die Energiebeträge 1 und 2 erforderlich. Es handelt sich bei den angegebenen Kalorienwerten nur um grobe Anhaltspunkte, denn die einzelnen Energiebeträge weichen bei den verschiedenen Textilmaterialien voneinander ab. Trotzdem ist das Wesentliche zu erkennen. Das geschmolzene Material muß dann auf die Zersetzungstemperatur gebracht und thermisch zersetzt

werden. Die Zersetzungstemperatur von PA- und PES-Fasern liegt zum Beispiel bei ca. 400°C. Die Zersetzungsreaktion selbst, die zu niedermolekularen Produkten und eventuell zur Rückstandsbildung führt, kann endotherm oder exotherm verlaufen. In den meisten Fällen verläuft sie glücklicherweise endotherm, sodaß hierfür ein weiterer Energiebetrag von außen zugeführt werden muß. Die Zersetzungsenergie für PP-Fasern beträgt zum Beispiel 570 cal/g².

Die gebildeten Pyrolyseprodukte sind meist flüssig und müssen, um verbrannt werden zu können, in den gasförmigen Zustand übergeführt werden. Es muß also ein bestimmtes Quantum an Verdampfungsenergie aufgewendet werden. Das Gasgemisch muß jetzt noch auf die Selbstentzündungstemperatur erhitzt werden, wenn keine fremde Zündquelle, zum Beispiel eine Flamme oder ein Funke, die Zündung herbeiführt. Letztlich muß auch noch die Energiemenge, die an die Umgebung abgeführt wird, berücksichtigt werden. Wenn ein Material durch Wärmezufuhr zur Entzündung gebracht wird, dann genügt es nicht, die Energiemengen 1 bis 6 aufzuwenden. Dies wäre nur möglich, wenn man jeglichen Wärmeverlust an die Umgebung vermeiden könnte, was aber nicht realisierbar ist. Man muß diesen Wärmeverlust an die Umgebung mitberücksichtigen. Dieser Betrag ist zahlenmäßig schlecht zu erfassen und hängt weitgehend von der Umgebungstemperatur bzw. von den örtlichen Möglichkeiten zur Wärmeableitung ab.

Den aufzuwendenden Energiebeträgen steht nun der bei der Verbrennung freiwerdende Energiebetrag gegenüber. Ein Material brennt nur dann selbständig weiter, wenn die bei der Verbrennung freiwerdende Energie gleich oder größer ist als die Summe der Energiebeträge, die erforderlich ist, um ein Material zum Brennen zu bringen. Um ein Material selbstverlöschend zu machen, muß man dafür sorgen, daß die freiwerdende Energiemenge kleiner ist als die aufzuwendende.

Die angegebenen Werte zeigen, daß der an die Um-

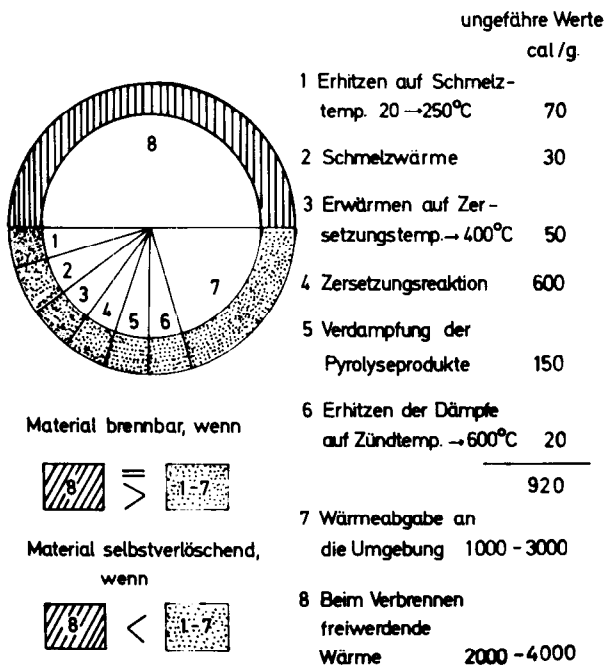


Abb. 1: Energiebilanz des Verbrennungsprozesses

gebung abgeführte Energiebetrag von allen Energiebeträgen, die aufgewendet werden müssen, um den Brennzustand aufrecht zu erhalten, am größten ist. Wenn dieser Energiebetrag sehr stark vermindert wird, zum Beispiel durch eine hohe Umgebungstemperatur, wie dies bei einem Großbrand der Fall ist, kann fast jedes Material, auch ein solches, das unter normalen Verhältnissen nicht brennt (z. B. ein flammhemmend ausgerüstetes Gewebe) trotzdem zum Brennen gebracht werden.

Ein Flammschutzmittel hat nun die Aufgabe, den skizzierten Energiekreislauf zu stören und zu unterbrechen, entweder durch Verminderung der oberen Kreishälfte oder durch Vergrößern der unteren Kreishälfte (Abb. 1).

Ein Flammschutzmittel kann also im Prinzip nur in zwei verschiedenen Richtungen wirken: Es kann entweder bei der Verbrennung freiwerdende Energiemenge vermindern oder die zum Erreichen des brennfähigen Zustands erforderliche Energiemenge erhöhen. Wie kann dies nun praktisch realisiert werden?

2. Beeinflussung der Energiebilanz durch Flammschutzmittel

2.1. Verminderung der bei der Verbrennung freiwerdenden Energiemenge

Zunächst sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die zu einer Verminderung der bei der Verbrennung freiwerdenden Wärmemenge führen.

A = PVA unbehandelt
 B = PVA mit P-Verb. ausgerüstet

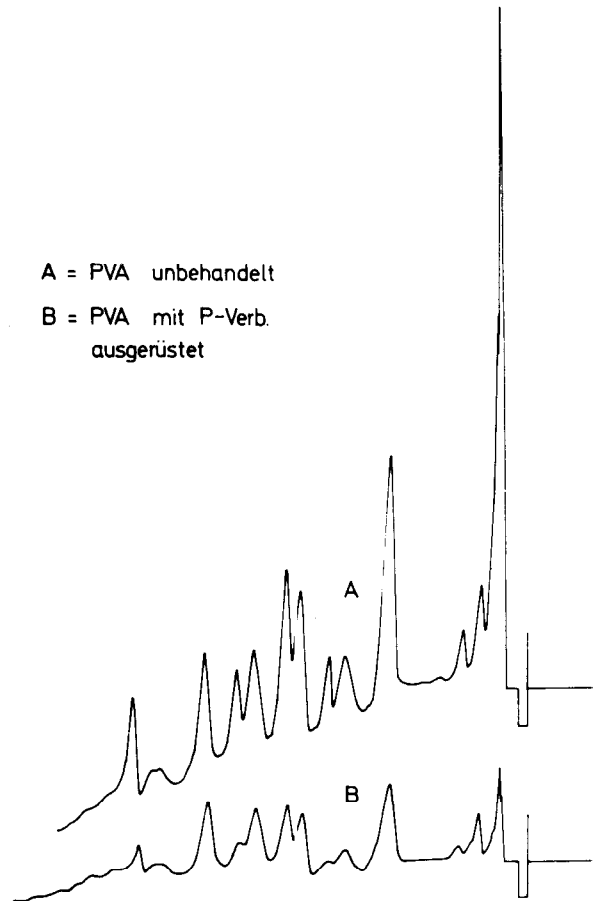


Abb. 2: Pyrolysegaschromatogramme von unbehandelten (A) und von mit Phosphorverbindungen flammhemmend ausgerüsteten (B) PVA-Fasern

Man kann dies durch einen Eingriff in den Pyrolysemechanismus erreichen. In bestimmten Fällen kann man den Pyrolyseablauf durch Flammschutzmittel so steuern, daß weniger brennbare Verbindungen entstehen. Dadurch wird natürlich die beim Verbrennen freiwerdende Wärmemenge erniedrigt. Derartige Flammschutzmittel wirken nur in der festen Phase. Typische Beispiele hierfür sind Phosphorverbindungen bei Zellulose- oder Polyvinylalkoholfasern. In Abbildung 2 sind die Pyrolysegaschromatogramme von Polyvinylalkoholfasern einmal mit und einmal ohne phosphorhaltige Flammschutzmittel abgebildet. Diese Chromatogramme zeigen sehr deutlich, daß die Menge an brennbaren Gasen durch das Flammschutzmittel stark vermindert wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der freigesetzten Verbrennungswärme beruht auf einer Störung des Verbrennungsprozesses durch eine Verlangsamung der Verbrennungsreaktion. Hierbei wird zwar an der Menge der entstehenden brennbaren Verbindungen, also am Pyrolyseablauf, primär nichts geändert, es wird aber durch die Hemmung der Verbrennungsreaktion weniger Energie pro Zeiteinheit freigesetzt, und damit sinkt die Temperatur am Ort des Brandgeschehens. Solche Antikatalysatoren für die Verbrennung sind in erster Linie Halogenverbindungen.

In Tabelle 1 ist die Wirkung verschiedener Halogenverbindungen auf die Verbrennung von Polypropylen angegeben. Hierbei wird den Pyrolysegasen soviel Halogenverbindung zugemischt, daß die Flamme zum Erlöschen kommt³.

Tabelle 1: Erforderliche Menge an Halogenverbindung um die Pyrolysegasen von Polypropylen zum Erlöschen zu bringen

Substanz	Konz. in Mol %
HBr	1,5
HCl	7,5
Br ₂	1,7
Cl ₂	8,3
1-Brompentan	3,0
Vinylidenbromid	1,4

Die bei der Verbrennung freiwerdende Energiemenge kann auch dadurch vermindert werden, daß man die Pyrolysegasen mit solchen Gasen mischt, die die Verbrennung nicht unterhalten. Dies führt zu einer Verdünnung des zur Verbrennung erforderlichen Sauerstoffs. Die Verbrennung wird dadurch verlangsamt oder verläuft nur unvollständig. Flammschutzmittel, die auf dieser Basis wirken, sind zum Beispiel Ammonoxalat oder Ammonoxalat, die bei höherer Temperatur in CO₂ und NH₃ zerfallen.

In Abbildung 3 wird der Einfluß von Ammonoxalat auf die Brenngeschwindigkeit und den LOI-Wert eines PA-Gewebes gezeigt.

Das Ammonoxalat wirkt nur als Spender von Inertgasen, die die Verbrennung nicht unterhalten. Es verursacht einen Verdünnungseffekt. Bei dieser Art Einflußnahme auf die Energiebilanz sind sehr hohe Auflegemengen erforderlich.

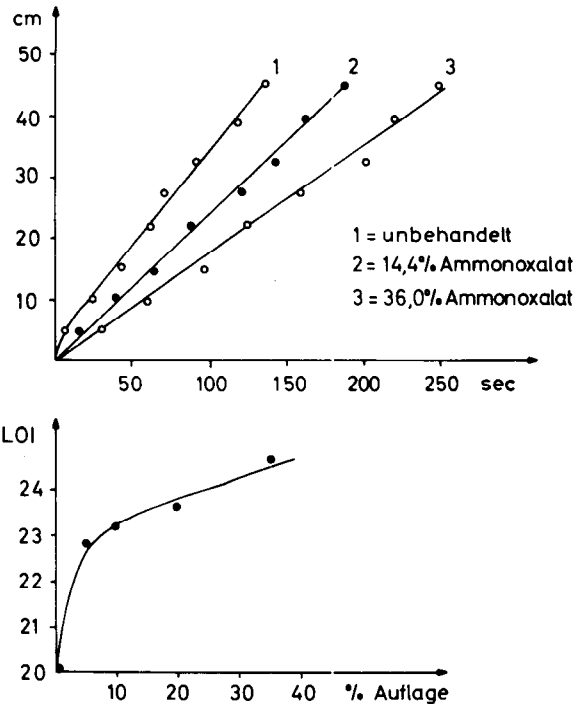


Abb. 3: Brenngeschwindigkeiten von Polyamidgeweben (oben); LOI-Werte eines Polyamidgewebes mit Ammonoxalatauflage (unten)

2.2. Erhöhung des Energieaufwands zum Erreichen des brennfähigen Zustandes

Im allgemeinen ist es leichter, die bei der Verbrennung freiwerdende Energiemenge zu vermindern als den Energieaufwand zum Erreichen des brennfähigen Zustands zu erhöhen. Verschiedene Möglichkeiten sind aber auch hier denkbar und werden zum Teil auch praktiziert.

Wenn man die einzelnen energieverbrauchenden Vorgänge im Hinblick auf ihre Beeinflussbarkeit betrachtet, so ergibt sich folgendes:

Die Schmelzwärme kann praktisch nicht erhöht werden und würde in energetischer Hinsicht auch nicht viel einbringen.

Eine Erhöhung der Pyrolysetemperatur ist sehr wirkungsvoll. Je höher die Pyrolysetemperatur ist, umso schwieriger wird es, den brennfähigen Zustand zu

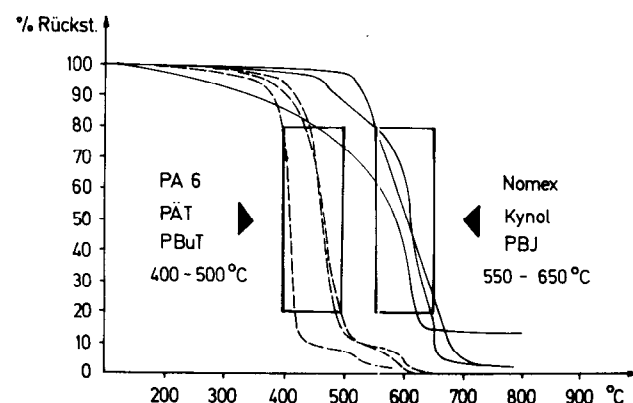


Abb. 4: Pyrolysebereiche normal und schwer brennbarer Synthesefasern (in Luft)

erreichen und beizubehalten. Die Wärmeabgabe an die Umgebung sorgt für eine rasche Temperatursenkung. Eine Erhöhung der Zersetzungstemperatur ist jedoch durch Flammschutzmittel nicht zu erreichen, sondern nur durch eine Änderung der chemischen Konstitution möglich, zum Beispiel durch einen Übergang von aliphatischen zu aromatischen Polyamiden. Die meisten hochtemperaturbeständigen Fasern sind deshalb schwer brennbar, weil sie eine hohe Pyrolysetemperatur aufweisen (Abb. 4).

Am exothermen wie am endothermen Verlauf der Zersetzung läßt sich durch Flammschutzmittel allein schwerlich eine wirkungsvolle Änderung erzielen. Viele Flammschutzmittel, vor allem solche, die in den Pyrolysemechanismus eingreifen, vermindern sogar den Energieaufwand für die Pyrolysereaktion. An der Verdampfungswärme der Pyrolyseprodukte dürfte ebenfalls kaum etwas zu ändern sein.

Es ist aber möglich, die Wärmeabgabe an die Umgebung zu beeinflussen. Man kann der Flamme durch Zusatz von Verbindungen mit hoher Verdampfungs- oder Zersetzungsenergie Wärme entziehen. In letzter Zeit haben Aluminiumoxidhydrate und wasserhaltige Magnesiumsilikate als Flammschutzmittel — insbesondere für Beschichtungsmassen — an Bedeutung gewonnen. Diese Flammschutzmittel geben bei höherer Temperatur Wasser ab. So zersetzt sich zum Beispiel das $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ bei $350^\circ C$ in Al_2O_3 und H_2O , wobei 33 % Wasser abgegeben werden. Diese Reaktion verläuft endotherm und entzieht der Flamme Energie.

DSC-Aufnahmen von unbehandelten und von mit Aluminiumoxidhydrat behandelten PES-Fasern zeigen sehr deutlich, daß durch das Flammschutzmittel zusätzliche endotherme Peaks entstehen, die einen zusätzlichen Energieverbrauch bewirken (Abb. 5).

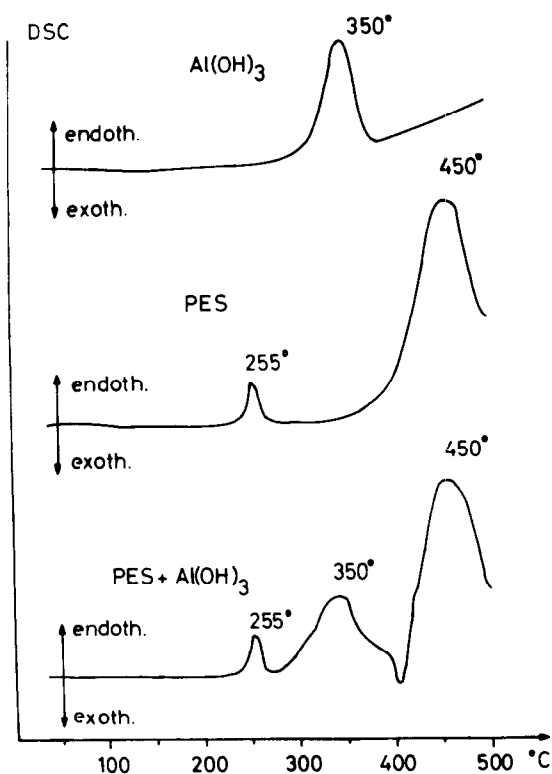


Abb. 5: Erhöhung des Wärmeverbrauchs bei der Verbrennung durch Zusatz von Additiven

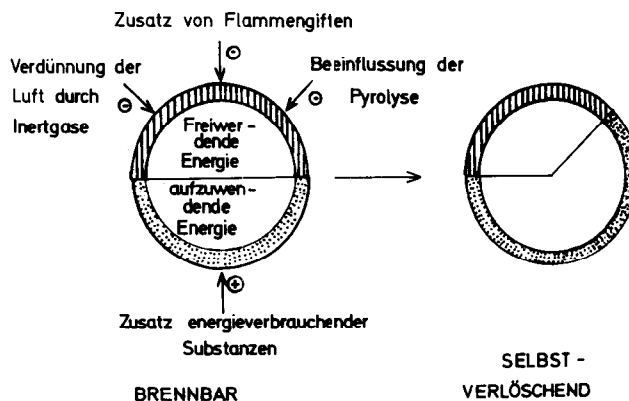


Abb. 6: Durch Flammschutzmittel realisierbare Beeinflussung der Energiebilanz beim Verbrennungsvorgang

Alle diese Überlegungen über den Ablauf der Verbrennungsvorgänge und über die Energiebilanz bei der Verbrennung sollen eine sinnvolle Auswahl und einen sinnvollen Einsatz von Flammschutzmitteln erleichtern.

In Abbildung 6 sind die wichtigsten Einflußmöglichkeiten auf diesen Verbrennungskreislauf noch einmal zusammengestellt.

Eine Verminderung der freigemachten Verbrennungswärme ist durch eine Beeinflussung der Pyrolyse, das heißt durch eine Verminderung der Menge an brennbaren Pyrolyseprodukten, sowie durch eine Hemmung des Verbrennungsvorgangs durch Flammengifte, wie Halogenverbindungen, und durch eine Verminderung der Verbrennungsgeschwindigkeit durch Verdünnung des Luftsauerstoffs möglich.

Eine Erhöhung der erforderlichen Energiezufuhr läßt sich mittels Zusatz energieverbrauchender Verbindungen erreichen. Alle diese Maßnahmen führen zu einer negativen Wärmebilanz bzw. zu einem Energiemangel und damit zu einem Flammschutzeffekt. Von den vier Möglichkeiten dürften die beiden erstgenannten die wichtigsten und wirkungsvollsten Methoden sein, um mit Hilfe von Additiven einen Flammschutzeffekt zu erzielen. Durch eine Beeinflussung der Pyrolyse und durch Einsatz von Flammengiften läßt sich der Energieüberschuß am leichtesten abbauen.

3. Überlegungen zur Auswahl eines geeigneten Flammschutzmechanismus

Wie aus den vorangegangenen Erläuterungen hervorgeht, können Flammschutzmittel an den verschiedensten Stellen des Verbrennungskreislaufs eingreifen und das Energiegleichgewicht stören. Man sollte sich nun Gedanken darüber machen, nach welchem Wirkungsprinzip das Energiegleichgewicht bei den einzelnen Fasern am leichtesten beeinflußt und gestört werden kann. Um dann die entsprechenden Flammschutzmittel einsetzen zu können, muß man natürlich auch wissen, nach welchem Prinzip sie wirken. Welche Überlegungen hierbei anzustellen sind, soll am Beispiel der PAC-Fasern gezeigt werden.

PAC-Fasern bereiten bei der Flammschutzausrüstung sehr große Schwierigkeiten. Bis jetzt sind noch keine Verbindungen bekannt, die bei vernünftigen Auflagen einen befriedigenden Flammschutz ergeben. Dies

Tabelle 2: Vergleich der beim Verbrennen in Luft freierwerdenden Wärmemengen sowie der Gesamtverbrennungswärme verschiedener Fasern (in cal/g)

Faser	beim Verbrennen in Luft freierwerdende Wärmemenge	Gesamtverbrennungswärme
PAC	4118	7020
PA	3715	6926
BW	3315	3688
PES	2188	5255

hängt einmal damit zusammen, daß beim Verbrennen von PAC-Fasern an der Luft sehr viel Wärme frei wird, mehr als beim Verbrennen von Polyamid-, Baumwoll- oder Polyesterfasern¹ (Tab.2).

Die Energiebilanz liegt bei PAC-Fasern sehr ungünstig, das heißt, es wird ein großer Überschuß an Wärme freigemacht. Hinzu kommt, daß bei der Pyrolyse sehr leichtflüchtige Verbindungen gebildet werden — in der Hauptsache Nitrile, die auch schon in geringer Konzentration mit Luft ein brennfähiges Gasgemisch bilden. Außerdem besitzt die PAC-Faser eine sehr niedere Zersetzungstemperatur. Bereits bei 280°C werden brennbare Verbindungen abgespalten, und der Oxygenindex der Faser liegt mit einem Wert von 18 sehr niedrig.

Es treffen hier also eine Reihe von Faktoren zusammen, die den Brennvorgang begünstigen, sodaß die Schwierigkeiten bei der Flammenschutzrüstung von PAC-Fasern verständlich sind. Die Frage ist nun, welcher Flammenschutzmechanismus angewendet werden soll bzw. welches Wirkungsprinzip die größte Aussicht auf Erfolg hat.

Eine Erhöhung des Energieaufwands, der notwendig ist, um den brennfähigen Zustand zu erreichen, dürfte bei dem hohen Energieüberschuß, wie er beim Verbrennen von PAC-Fasern auftritt, nicht besonders erfolgversprechend sein. In Frage käme hier nur der Zusatz von Verbindungen mit sehr hoher Verdampfungs- oder Zersetzungswärme. Selbst wenn man Wasser verwendete, das doch eine sehr hohe Verdampfungsenergie (539 cal/g) besitzt, müßte man ca. 7 g Wasser pro g Faser verdampfen, um den Energieüberschuß zu kompensieren.

Eine Verminderung der bei der Verbrennung freierwerdenden Wärmemenge durch Verwendung von Additiven, die Inertgase, wie CO₂, NH₃, SO₂ oder N₂, entwickeln, ist ebenfalls wenig aussichtsreich, da die PAC-Faser einen niederen LOI-Wert besitzt, das heißt, die Pyrolyseprodukte brennen auch bei verminderter Sauerstoffkonzentration.

Als weitere Möglichkeiten bleiben nur noch der Eingriff in den Pyrolysemechanismus und der Zusatz von Flammengiften, um die bei der Verbrennung freierwerdende Energie zu vermindern. Eine wirksame Beeinflussung des Pyrolysemechanismus, wie sie bei Zellulosefasern möglich ist, kann bis jetzt bei PAC-Fasern noch nicht erreicht werden, erscheint aber nicht ganz aussichtslos, wenn man die mögliche Carbonisierung der PAC-Fasern in Betracht zieht.

Entscheidend wäre, daß es einmal gelänge, die Bildung von Nitrilen und die Aufspaltung der Kohlenstoffkette zu verhindern. Untersuchungen über die Beein-

flussung und Lenkung der Pyrolyse von PAC-Fasern wären im Hinblick auf eine Flammenschutzrüstung von großer Bedeutung.

Nach dem derzeitigen Stand des Wissens verspricht bei PAC-Fasern eine Flammenschutzrüstung, die in Form von Flammengiften in den Verbrennungsmechanismus eingreift, den größten Erfolg. Hierfür kommen in erster Linie Halogenverbindungen in Betracht. Welche Eigenschaften diese Halogenverbindungen haben müssen und nach welchen Gesichtspunkten sie auszuwählen sind, soll später erläutert werden.

Je vollständiger die Kenntnisse über die Pyrolyse und die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Pyrolyse eines Polymeren sind, und je mehr man über die energetischen Verhältnisse beim Brennprozeß weiß, umso leichter wird es auch sein, das richtige Wirkungsprinzip zu wählen und das optimale Flammenschutzmittel zu finden.

4. Wirkungsweise von Flammenschutzmitteln

Im folgenden soll auf die spezielle Wirkungsweise einiger Flammenschutzmittel eingegangen werden. Von der chemischen Konstitution her sind hauptsächlich Phosphor-, Stickstoff-, Halogen-, Bor- und Schwefelverbindungen sowie Metallsalze und Metalloxide vertreten. Mit Abstand an der Spitze liegen Phosphor- und Halogenverbindungen. Es soll daher nur auf den Mechanismus der Phosphor- und Halogenverbindungen eingegangen werden. Hierbei muß aber stets die Kombination von Flammenschutzmittel und Substrat betrachtet werden, da die meisten Flammenschutzmittel faserspezifisch wirken.

4.1. Wirkungsweise der Phosphorverbindungen

Phosphorverbindungen werden sowohl bei Zellulosefasern als auch bei Synthesefasern als Flammenschutzmittel eingesetzt. Über den Wirkungsmechanismus bei Zellulosefasern hat man ziemlich klare Vorstellungen.

Es liegt ein Dehydratisierungsmechanismus vor, der

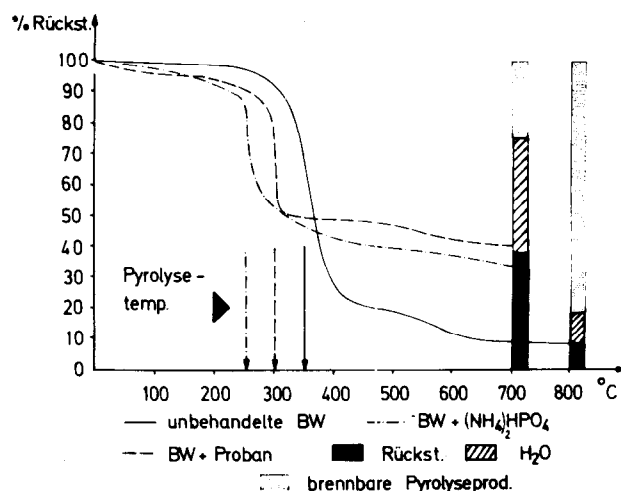


Abb. 7: Erniedrigung der Zersetzungstemperatur und Erhöhung des Verkohlungsrückstandes durch dehydratisierende Flammenschutzmittel bei Zellulosefasern; der Einfluß von P-Verbindungen auf die Pyrolysetemperatur und die Pyrolyseprodukte bei Zellulose (TGA in N₂)

durch Phosphorverbindungen, insbesondere durch Phosphorsäuren, katalysiert wird. Die P-Verbindungen lenken die Pyrolyse der Zellulose, die normalerweise bei 350°C abläuft und zu einer Vielfalt von brennbaren Verbindungen führt, in eine andere Richtung, und zwar so, daß weniger brennbare Verbindungen entstehen. Auf diese Weise wird die bei der Verbrennung freiwerdende Energiemenge vermindert und dadurch die Energiebilanz gestört. Diese gesteuerte Pyrolyse muß bei tieferer Temperatur ablaufen, damit die normale Pyrolyse erst gar nicht zum Zuge kommt. Alle phosphorhaltigen Flammschutzmittel für Zellulose erniedrigen die Zersetzungstemperatur. Dies wird aus thermogravimetrischen Untersuchungen sehr deutlich ersichtlich (Abb. 7).

Die gelenkte Pyrolyse kann unter Bildung von Wasser und eines stark erhöhten Verkohlungsrückstands bis zu 100°C früher einsetzen.

Die Wirksamkeit der Phosphorverbindungen bei Zellulosefasern ist von der Konstitution der Phosphorverbindungen deutlich abhängig (Abb. 8).

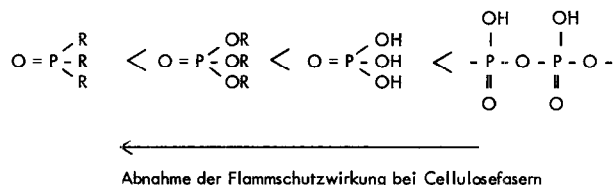


Abb. 8: Einfluß der chemischen Konstitution auf die Wirksamkeit von phosphorhaltigen Flammschutzmitteln bei Zellulosefasern

So sind beispielsweise Phosphinnoxide, die thermisch sehr stabil sind, weniger wirksam als Phosphorsäureester, und diese wiederum sind weniger wirksam als Orthosphosphorsäure oder Polyphosphorsäuren.

Außer bei Zellulosefasern kann auch bei Polyvinylalkoholfasern ein Dehydratisierungsmechanismus angenommen werden. Bei anderen Polymeren ist eine Dehydratisierung unwahrscheinlich oder gar unmöglich. Bei Polyolefinen oder Polyacrylnitrilfasern, die keinen Sauerstoff enthalten, kann keine Dehydratisierung eintreten. Trotzdem zeigen auch hier Phosphorverbindungen einen Flammschutzeffekt.

In Tabelle 3 sind für verschiedene Phosphorverbindungen und verschiedene Fasern die Auflagemengen angegeben, die erforderlich sind, um selbst-

verlöschende Gewebe zu erhalten (Apex-Text). Im Gegensatz zu Zellulosefasern wirken bei Synthesefasern organische Phosphorverbindungen besser als anorganische Phosphorverbindungen. Dies weist darauf hin, daß bei Zellulose- und Synthesefasern verschiedene Mechanismen vorliegen. Bei BW/PES-Mischungen wurde festgestellt, daß die Wirksamkeit der organischen Phosphorverbindungen ebenfalls von deren chemischer Konstitution abhängig ist. Hierbei zeigt sich, daß Phosphinnoxide und Phosphoniumverbindungen, bezogen auf die erforderliche Phosphormenge, wirksamer sind als Phosphonate und Phosphorsäureester⁵ (Abb. 9).

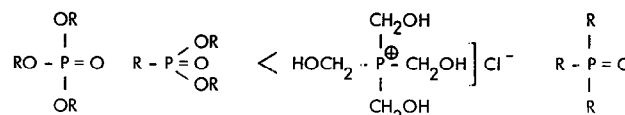


Abb. 9: Einfluß der chemischen Konstitution auf die Wirksamkeit von phosphorhaltigen Flammschutzmitteln bei BW/PES-Mischungen

Nach welchem Mechanismus die Phosphorverbindungen bei Synthesefasern wirken, ist noch nicht aufgeklärt. Aus thermogravimetrischen Untersuchungen ist zu entnehmen, daß bei der Pyrolyse eine leichte Erhöhung des Verkohlungsrückstands eintritt, aber bei weitem nicht in dem Umfang wie bei Zellulose. Die Zersetzungstemperatur wird kaum erniedrigt. Der Phosphorgehalt im Verkohlungsrückstand ist wesentlich geringer als bei Zellulose. Dies läßt darauf schließen, daß die Phosphorverbindungen bei Synthesefasern nur zum Teil in der festen Phase wirken, vielleicht durch eine Vernetzungsreaktion während der Pyrolyse. Es ist nicht auszuschließen — dafür spricht die bessere Wirksamkeit der phosphororganischen Verbindungen —, daß die P-Verbindungen bei Synthesefasern durch einen Eingriff in den Verbrennungsmechanismus in der Gasphase wirken. Es wäre sehr wichtig, den Wirkungsmechanismus der Phosphorverbindungen bei Synthesefasern weiter aufzuklären, um zu wirksamen Produkten zu kommen.

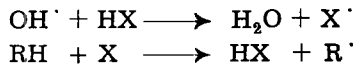
4. 2. Wirkungsweise der Halogenverbindungen

Halogenverbindungen wirken bei allen Fasern flammhemmend, wobei jedoch beachtliche Unterschiede in der Wirksamkeit festzustellen sind. Das Wirkungsprinzip beruht auf einem Radikalmechanismus. Die Halogenverbindungen spalten bei höherer Temperatur

Tabelle 3: Erforderliche Menge an Phosphorverbindungen zur Erzielung selbstverlöschender Eigenschaften

Substanz	PP 113 g/m ²		PES 135 g/m ²		PAC 163 g/m ²		PA 167 g/m ²		BW 175 g/m ²	
	% Aufl.	% P	% Aufl.	% P	% Aufl.	% P	% Aufl.	% P	% Aufl.	% P
H ₃ PO ₄	24,0	7,6	34	10,7	35,0	11,1	28,0	8,8	5	1,6
(NH ₄) ₂ HPO ₄	31,2	7,5	23	5,4	45,4	10,7	27,0	6,3	7	1,6
Vinylphosphonat	18,0	4,1	12	2,8	24,0	5,4	22,0	5,2	15	3,4
THPC	12,3	1,9	15,9	2,5	60,0	9,8	19,9	3,3	20	3,3

Halogenwasserstoff ab, der sich vorwiegend mit den in der Flamme vorhandenen, sehr reaktionsfähigen OH-Radikalen umsetzt, wobei wiederum Halogenradikale entstehen, die Kohlenwasserstoffresten den Wasserstoff entreißen können:



Wenn man die Chlor- und Bromverbindungen in ihrer Flammenschutzwirkung miteinander vergleicht, so zeigt sich eine eindeutige Überlegenheit der Bromverbindungen. Die bessere Wirksamkeit der Bromverbindungen ist sehr deutlich bei Polypropylen ersichtlich (Abb. 10).

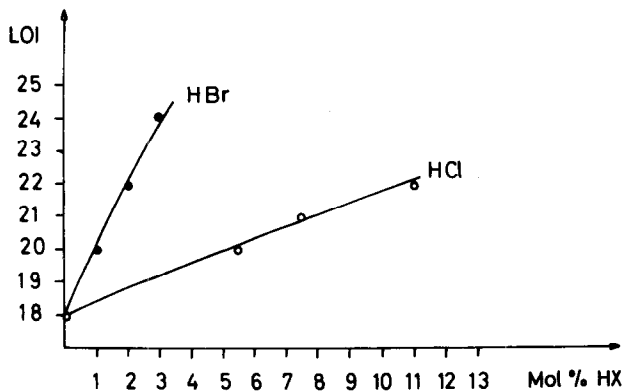


Abb. 10: Beeinflussung der LOI-Werte durch Zumischen von HBr bzw. HCl zu den Pyrolysegasen von PP

Wenn man Polypropylenfasern in einer HBr- bzw. HCl-gashaltigen Atmosphäre verbrennt, so wird bei gleichen Konzentrationen der LOI-Wert durch HBr viel stärker erhöht als durch HCl³.

Dasselbe trifft auch für den Einbau von Chlor bzw. Brom in Polypropylenfasern durch Chlorieren oder Bromieren zu³ (Abb. 11).

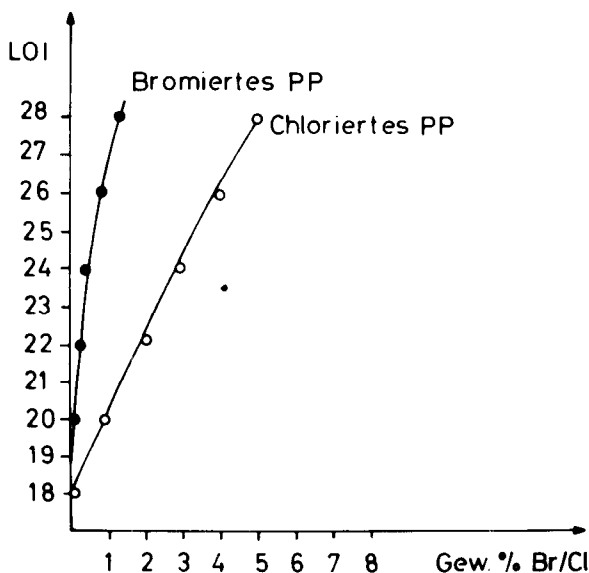


Abb. 11: Einfluß einer Halogenierung auf den LOI-Wert von PP

Tabelle 4: Erforderliche Auflage an Bromverbindungen zur Erzielung selbstverlöschender Eigenschaften; (Apex-Test) bei verschiedenen Fasern

Fasermaterial	NH ₂ Br		Oktabromdiphenyl	
	% Auflage	% Br	% Auflage	% Br
BW 175 g/m ²	5,2	4,2	44	34,8
PES 135 g/m ²	15,2	12,4	15	12,2
PA 167 g/m ²	31,1	25,3	21	17,1
PAC 163 g/m ²	34,0	27,7	50	40,7
PP 113 g/m ²	20,0	16,3	25	20,3

Die Wirksamkeit der Bromverbindungen ist sehr stark von ihrer chemischen Konstitution, aber auch vom verwendeten Fasersubstrat abhängig. Eine bestimmte Bromverbindung kann bei verschiedenen Fasern eine ganz unterschiedliche Wirkung besitzen, und verschiedene Bromverbindungen können bei ein und derselben Faser ebenfalls unterschiedlich wirksam sein (Tab. 4).

Wenn man beispielsweise auf verschiedene Fasern Ammoniumbromid aufbringt, so sind ganz unterschiedliche Mengen erforderlich, um selbstverlöschende Gewebe zu erhalten. Bei Zellulosefasern genügt eine Auflage von 5,2%, bei PES-Fasern sind bereits 15,2% erforderlich und bei PAC-Fasern sogar 34%. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Oktabromdiphenyl. Auch hier sind bei verschiedenen Fasern ganz unterschiedliche Auflagemengen erforderlich.

Wie stark die erforderliche Auflagemenge an Bromverbindungen bei ein und derselben Faser variieren kann, geht aus Tabelle 5 hervor. Die Zahlenwerte zeigen, daß aliphatische Bromverbindungen wirksamer sind als aromatische.

Tabelle 5: Erforderliche Auflage an verschiedenen Bromverbindungen zur Erzielung selbstverlöschender Eigenschaften (Apex-Test) bei PES-Gewebe (135 g/m²)

Bromverbindung	% Auflage	% Br
Monodibrompropylmaleat	10,8	5,6
Tribromphenyldibrompropyläther	8,7	6,7
Dibromneopentylglykol	12,3	7,8
Tetrabromphthalsäureanhydrid	16,0	11,2
Tribromphenylallyläther	18,0	11,7
Ammoniumbromid	15,2	12,4
Oktabromdiphenyläther	16,4	13,0

Warum verschiedene Bromverbindungen bei ein und derselben Faser so unterschiedlich wirksam sind, ist zunächst etwas überraschend. Vermutlich hängt dies mit der Abspaltbarkeit von HBr zusammen. Wie stark die HBr-Abspaltung bei verschiedenen Bromverbindungen in Abhängigkeit von der Temperatur variieren kann, geht aus Abbildung 12 hervor.

Extrem leicht wird HBr aus Ammoniumbromid abgespalten. Bereits oberhalb 250° C liegt eine weitgehende Dissoziation in HBr und NH₃ vor. Auch der Bromma-

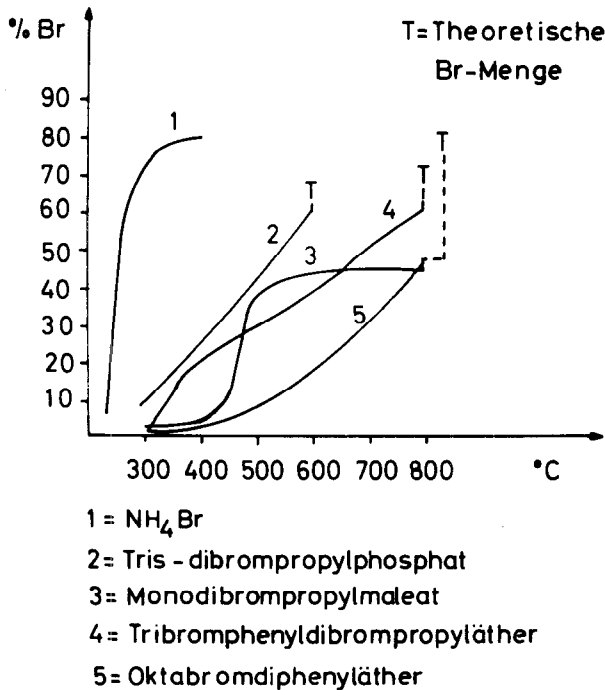


Abb. 12: Bildung von HBr bei verschiedenen Br-Verbindungen in Abhängigkeit von der Temperatur (nach 15 min)

leinsäureester spaltet relativ leicht HBr ab. Bei 500 °C sind bereits ca. 70 % der theoretischen Menge abgespalten. Sehr viel schwerer erfolgt die HBr-Abspaltung beim Oktabromdiphenyläther. Hier sind nach 15 Minuten bei 600 °C erst ca. 15 % von möglichen 80 % abgespalten.

Die beste Flammschutzwirkung bei PES-Fasern hat nun nicht das Ammoniumbromid, das leicht HBr abspaltet, sondern haben aliphatische und gemischt aliphatisch-aromatische Bromverbindungen, die bei Temperaturen von 400 bis 500 °C die Hauptmenge an HBr abspalten. Dies läßt sich folgendermaßen erklären:

Der HBr wirkt in der Gasphase. Er kann nur wirksam werden, wenn er zusammen mit den Pyrolyseprodukten ein Gasgemisch bildet, das heißt, er muß zur rechten Zeit am rechten Ort vorhanden sein. Der HBr muß also zur gleichen Zeit gebildet werden wie

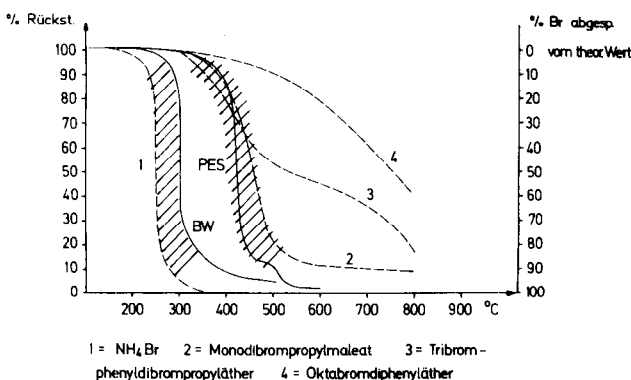


Abb. 13: Vergleich der HBr-Abspaltung bei Bromverbindungen mit dem Pyrolyseverlauf bei BW- und PES-Fasern

die Pyrolyseprodukte, bzw. die Zersetzung der Bromverbindung und die Zersetzung der Fasersubstanz müssen aufeinander abgestimmt werden. Wenn der HBr bereits abgespalten ist, bevor die Pyrolyse der Faser beginnt, so ist er wirkungslos; wenn er erst freigesetzt wird, nachdem die Pyrolyseprodukte bereits entwichen sind, kann man ebenfalls keine Wirksamkeit erwarten.

In Abbildung 13 sind die Zersetzungskurven von PES- und BW-Fasern sowie die HBr-Abspaltungskurven verschiedener Bromverbindungen miteinander verglichen.

Hieraus wird ersichtlich, daß die Bromverbindungen, deren Zersetzungskurven sich am besten mit der Zersetzungskurve der Faser decken, auch den besten Flammschutzeffekt ergeben. Dies erklärt auch, warum das Ammoniumbromid bei PES-Fasern so wenig wirksam ist, weil es nämlich zu früh HBr abspaltet, während es bei Zellulosefasern, die eine niedere Zersetzungstemperatur haben, sehr gut wirkt. Andererseits wirkt der Oktabromdiphenyläther deshalb relativ schlecht, weil er eine zu hohe Zersetzungstemperatur aufweist.

Diese Gesichtspunkte wurden bisher beim Einsatz von halogenhaltigen Flammschutzmitteln viel zu wenig beachtet, obwohl sie eine große Bedeutung für die praktische Anwendung besitzen. Eine optimale Wirksamkeit ist nur bei einer Abstimmung der Zersetzungskurve der Halogenverbindung mit der des Polymeren zu erwarten.

5. Synergistische Effekte

Im Zusammenhang mit der Flammschutzausrüstung wird immer wieder auf synergistische Effekte hingewiesen. Man ist an solchen synergistischen Effekten sehr stark interessiert, weil man sehr gut weiß, daß die meisten bisher bekannten Flammschutzmittel relativ schlecht wirksam sind, wenn man die notwendigen hohen Auflagemengen in Betracht zieht. In der gesamten Textilveredlung sind selten so hohe Auflagen und Substanzmengen erforderlich, um einen gewünschten Veredlungseffekt zu erzielen. Es ist daher verständlich, daß man sehr intensiv nach wirksamen Verbindungen sucht und alle Hoffnungen immer wieder auf synergistische Effekte setzt.

Beim Synergismus handelt es sich um eine Effektsteigerung durch eine Produktkombination im Vergleich zu den Einzelkomponenten. Wenn eine Kombination zweier Produkte mehr als eine Addition der Effekte der Einzelkomponenten ergibt, liegt ein synergistischer Effekt vor.

5. 1. P/N-Synergismus bei Zellulosefasern

Besonders häufig wird in der Literatur auf den Phosphor-Stickstoff-Synergismus bei der Flammschutzausrüstung von Zellulosefasern hingewiesen. Es ist bekannt, daß Kombinationen von Phosphor- und Stickstoff-Verbindungen eine Effektsteigerung gegenüber den Einzelkomponenten erbringen.

Nicht alle Phosphorverbindungen ergeben in Kombination mit Stickstoffverbindungen in gleichem Maße synergistische Effekte. So sind beispielsweise die synergistischen Effekte bei anorganischen Phosphorverbindungen viel schwächer ausgeprägt als bei orga-

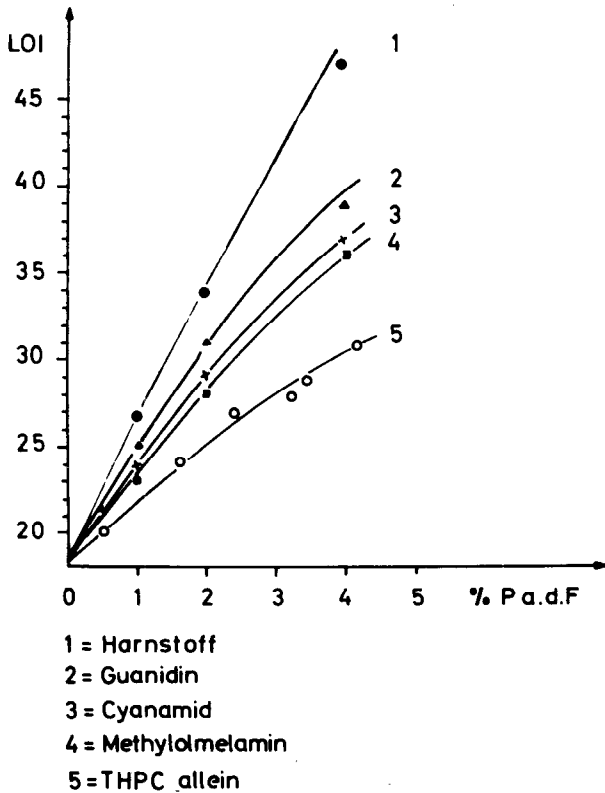


Abb. 14: Synergistische Wirkung verschiedener N-Verbindungen in Kombination mit THPC auf BW (175 g/m²); P : N = 1 : 2

nischen Phosphorverbindungen. Weiterhin ist der synergistische Effekt sehr stark von der Konstitution der Stickstoffverbindung abhängig. Verbindungen, die Nitrilstickstoff enthalten, zeigen überhaupt keine synergistischen Effekte. Wie die Konstitution der N-Verbindungen den synergistischen Effekt beeinflusst, geht aus Abbildung 14 hervor.

Hierbei wurde jeweils ein konstantes P : N-Atomverhältnis von 1 : 2 angewendet, während man die LOI-Werte bei steigender Auflage ermittelte. Die Kurven zeigen sehr deutlich, daß gegenüber der reinen P-Verbindung eine starke Erhöhung der LOI-Werte erreicht wird, wobei Harnstoff die beste Wirkung zeigt, gefolgt von Guanidin und Cyanamid. Die Stickstoffverbindungen alleine ergeben auch bei hohen Auflagen keine oder nur eine geringe Erhöhung des LOI-Wertes, sodaß durch die Kombination von P- und N-Verbindungen mehr als eine Addition der Einzeleffekte eintritt. Es liegt also ein echter synergistischer Effekt vor. Die Ergebnisse, die bei den LOI-Werten gefunden wurden, konnten durch Brenntests nach DIN 53 906 bestätigt werden.

Über die Ursachen des P/N-Synergismus herrschte lange Zeit Unklarheit. Die Effekte wurden rein empirisch gefunden. Eine Aufklärung des vorliegenden Mechanismus gelang durch vergleichende Untersuchungen über die Pyrolyse der Zellulose in Gegenwart von reinen Phosphorverbindungen und in Gegenwart von P/N-Kombinationen.

Wenn man Zellulosefasern, die mit reinen Phosphorverbindungen behandelt wurden, pyrolysiert, so wird der Verkohlungsrückstand gegenüber der unbehandelten Faser sehr wesentlich erhöht. Wenn man zu den

Phosphorverbindungen noch Stickstoffverbindungen zuzugibt, läßt sich eine weitere Erhöhung des Verkohlungsrückstandes erzielen (Abb. 15). Das gleiche läßt sich auch im Hinblick auf den Wassergehalt in den Pyrolyseprodukten feststellen. Durch Zusatz von Stickstoffverbindungen zu Phosphorverbindungen wird der Wassergehalt in den Pyrolyseprodukten noch einmal deutlich erhöht.

Die Erhöhung des Verkohlungsrückstandes und die Erhöhung des Wassergehaltes in den Pyrolyseprodukten zeigen sehr deutlich, daß ein Dehydratisierungsmechanismus vorliegt. Bei einer vollständigen Dehydratisierung der Zellulose entstehen nur noch Kohlenstoff und Wasser als Pyrolyseprodukte. Die Stickstoffverbindungen bewirken nichts anderes als eine Verbesserung der Dehydratisierungsreaktion.

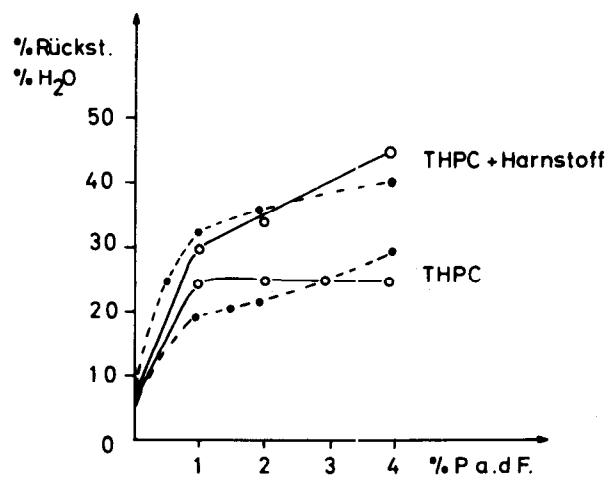


Abb. 15: Wasserbildung (---) und Rückstandsbildung (—) bei der Pyrolyse von Zellulose in Gegenwart von P- und P/N-Verbindungen

Phosphorverbindungen wirken in erster Linie dann besonders gut dehydratisierend, wenn sie in Form von Phosphorsäure oder in Form von Phosphorsäureamiden vorliegen. Es hat sich gezeigt, daß die P-N-Bindung sehr leicht mit der Zellulose-OH-Gruppe reagiert, und in vielen Patentschriften werden Phosphorsäureamide als Carbonisierungskatalysatoren zur Herstellung von Kohlenstofffasern aus Zellulosefasern empfohlen⁶. Die Stickstoffverbindungen haben die Aufgabe und die Funktion, die Phosphorverbindungen in eine Form überzuführen, in der sie leicht mit der Zellulose unter Wasserabspaltung reagieren.

Bei anorganischen Phosphorverbindungen müssen hierzu im allgemeinen keine besonderen Hilfsmittel eingesetzt werden, weil die anorganischen Phosphorverbindungen bei höherer Temperatur sowieso leicht in Phosphorsäure übergehen. Dies erklärt auch, warum bei anorganischen Phosphorverbindungen keine ausgeprägten synergistischen Effekte festzustellen sind.

Anders liegen die Verhältnisse bei phosphororganischen Verbindungen. Hier bedarf es einer wirksamen Unterstützung durch Stickstoffverbindungen. Bei vielen organischen Phosphorverbindungen ist auf Grund ihrer chemischen Konstitution eine Veresterung mit der Zellulose und ein Dehydratisierungsmechanismus

schwer vorstellbar. Dies trifft besonders für THPC-Amidausrüstungen und den Probanfinish zu. Die bei diesen Ausrüstungen gebildeten phosphorhaltigen Harze können in der Form, in der sie nach der Kondensation auf der Faser vorliegen, nicht mehr oder weniger dehydratisierend wirken wie ein normales Harnstoff- oder Melaminharz auch. Entscheidend ist, daß diese Harze bei höherer Temperatur in flamm-schutzaktivere Verbindungen übergeführt werden. Die zugesetzten Stickstoffverbindungen fördern diese Reaktion sehr wesentlich. Hierbei entstehen vorwiegend Phosphorsäuren und Phosphorsäureamide.

Wenn man ein in Substanz hergestelltes THPC-Harnstoff-Harz auf über 240°C erhitzt, wird es in vollkommen wasserlösliche Produkte übergeführt. In diesen Abbauprodukten konnten wir Phosphorsäure und Phosphorsäureamide nachweisen (Abb. 16).

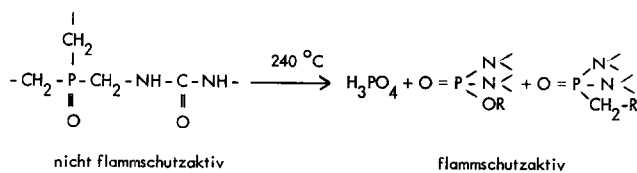


Abb. 16: Abbau eines THPC-Harnstoffharzes zu flamm-schutzaktiven Verbindungen (schematisch)

Auch bei Triallylphosphat konnte nachgewiesen werden, daß die synergistische Wirkung des Stickstoffs auf einen Abbau zu Phosphorsäure hinausläuft. Wenn man Triallylphosphat allein auf 300°C erhitzt und das Produkt anschließend mit Wasser extrahiert, so findet man 25,6% des Phosphors als Phosphat vor. Wird aber das Triallylphosphat zusammen mit Harnstoff derselben Behandlung unterworfen, so werden bereits 39,6% des Phosphors in Phosphat übergeführt.

Die Bildung von Phosphorsäure und Phosphorsäureamiden konnte nicht nur in Substanz nachgewiesen werden, sondern auch bei der Ablagerung von P/N-Verbindungen auf der Faser sowie bei Verbrennen bzw. Verkohlen der ausgerüsteten Gewebe (Tab. 6). Hierbei zeigte sich sehr deutlich, daß der PO₄³⁻-Gehalt im Verkohlungsrückstand in Gegenwart von Harnstoff viel höher ist als bei THPC allein.

Außer Phosphor ist auch Stickstoff chemisch im Verkohlungsrückstand gebunden. Dies ist aber nur in nennenswertem Umfang der Fall, wenn gleichzeitig Phosphor anwesend ist. Wenn Harnstoff allein mit der Faser verkohlt bzw. verbrannt wird, findet man nur geringe Mengen an Stickstoff im Rückstand. Dies

heißt aber, daß der Stickstoff in Form von P-N-Bindungen im Rückstand vorliegt, was wiederum auf die Bildung von Phosphorsäureamiden hinweist. Der Phosphor-Stickstoff-Synergismus ist also darauf zurückzuführen, daß die ursprünglich eingesetzten, wenig wirksamen P-organischen Verbindungen durch die N-Verbindungen in flamm-schutzaktive Verbindungen übergeführt werden, und zwar in erster Linie in Phosphorsäuren und Phosphorsäureamide, die leicht mit der Zellulose reagieren.

Welche Konsequenzen ergeben sich nun aus diesen Erkenntnissen für die praktische Anwendung von Flamm-schutzmitteln?

Bei der Entwicklung von phosphorhaltigen Flamm-schutzmitteln für Zellulosefasern sollte man stets darauf achten, daß diese Verbindungen unterhalb 350°C möglichst vollständig in Phosphorsäuren oder Phosphorsäureamide übergeführt werden oder bereits P-N-Bindungen enthalten. Nur dann hat man die Gewähr, daß man hochwirksame Flamm-schutzmittel erhält. Diesen Gesichtspunkten hat man bisher viel zu wenig Bedeutung beigemessen.

Die wirksamsten Flamm-schutzmittel für Zellulosefasern auf der Basis von Phosphorverbindungen sind Ortho- bzw. Metaphosphorsäure und das Phosphorsäureamid. Diese Verbindungen enthalten keine störenden organischen Reste. Bei einem Gewebe mit einem Quadratmetergewicht von 180 g sind hier Auflagen von 6% H₃PO₄ bzw. von 7 bis 8% Phosphorsäuretriamid erforderlich. Dies dürfte das Optimale sein, was man bei Phosphorverbindungen auf Zellulose überhaupt erreichen kann. Diese Verbindungen bereiten jedoch im Hinblick auf eine waschbeständige Fixierung und im Hinblick auf die Hydrolysestabilität gewisse Schwierigkeiten, sodaß man in der Praxis gezwungen ist, zwischen optimaler Wirksamkeit und optimaler Applikation einen Kompromiß zu schließen.

5. 2. Synergistische Effekte bei Synthesefasern

5. 2. 1. P/N-Synergismus

Bei Zellulosefasern ist vor allem bei Verwendung von Phosphor-Stickstoffverbindungen ein ausgeprägter Synergismus festzustellen. Für die Anwendung von Flamm-schutzmitteln bei Synthesefasern ist es wichtig zu wissen, ob der P/N-Synergismus auf Zellulosefasern beschränkt ist oder auch bei Synthesefasern auftritt.

Versuche bei PES-Fasern haben gezeigt, daß durch Zusatz von Harnstoff zu THPC keine Effektsteigerung erzielt werden kann. Dasselbe trifft auch für

Tabelle 6: P- und N-Gehalte im Verkohlungsrückstand von verschieden ausgerüsteten BW-Geweben. Die Prozentangaben sind auf das ursprüngliche Fasergewicht vor der Verkohlung bezogen

Ausrüstung	anfänglich auf die Faser		nicht ausgewaschener Rückstand		ausgewaschener Rückstand		PO ₄ ³⁻ in Waschwasser % P	% P in PO ₄ ³⁻ übergeführt
	% P	% N	% P	% N	% P	% N		
THPC	4,0	—	0,95	—	0,31	—	0,93	23,2
THPC/ Harnstoff	4,0	4,0	3,32	2,10	1,06	2,24	2,04	51,0
Harnstoff	—	4,0	—	—	—	0,26	—	—

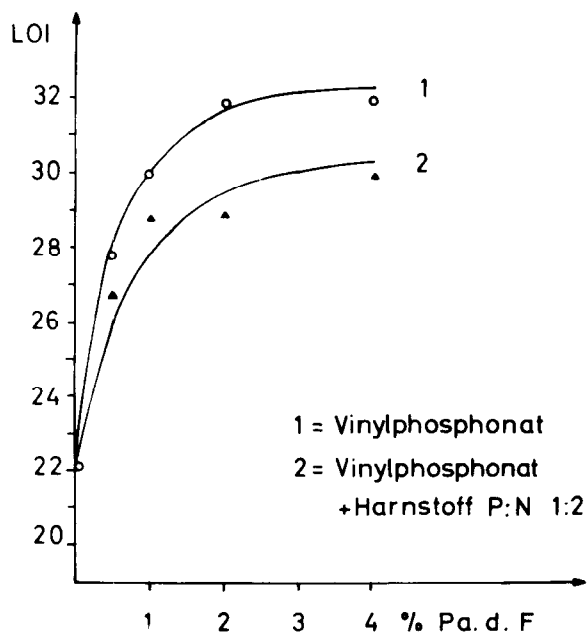


Abb. 17: Einfluß von N-Verbindungen auf die Wirksamkeit von P-Verbindungen bei PES-Fasern

andere Phosphorverbindungen, zum Beispiel für Vinylphosphonate, zu (Abb. 17). Durch Zusatz von Harnstoff zu Vinylphosphonat kann keine Erhöhung des LOI-Wertes erreicht werden, wie dies bei Zellulosefasern der Fall ist. Es tritt durch den Zusatz von Harnstoff sogar eine Verschlechterung des Flamm-schutzeffektes ein.

Bei stickstoffhaltigen Synthesefasern, wie PA oder PAC, läßt sich ebenfalls kein P/N-Synergismus feststellen. Um einen Flamm-schutzeffekt zu erreichen, sind hohe Phosphorgehalte erforderlich, obwohl die Fasern beachtliche Mengen an Stickstoff enthalten. Es kann also kein mit Zellulose vergleichbarer Synergismus vorliegen. Auch bei PP-Fasern ist kein P/N-Synergismus festzustellen. Verallgemeinernd kann man sagen, daß bei Synthesefasern kein P/N-Synergismus vorliegt, wie dies bei Zellulosefasern der Fall ist. Dies ist auch nicht überraschend, da der P/N-Synergismus bei Zellulosefasern auf einer Dehydratisierungsreaktion beruht, die eben nur bei Zellulosefasern so ausgeprägt ablaufen kann. Wenn trotzdem auch bei Synthesefasern Stickstoffverbindungen mitverwendet werden, so dienen diese N-Verbindungen in erster Linie als Fixierungsmittel für die P-Verbindungen, tragen aber nicht zur Effektsteigerung bei.

5. 2. 2. Phosphor-Halogen-Synergismus

Wenn man Synthesefasern mit reinen Phosphorverbindungen flammhemmend ausrüsten will, so benötigt man relativ hohe Phosphorgehalte. Dasselbe trifft in verstärktem Maße auch für reine Halogenverbindungen zu. Wenn man aber Phosphor-Halogen-Verbindungen einsetzt, so kann man die erforderliche Menge an Phosphor und Halogen zum Teil beachtlich reduzieren. Dies ist aus Tabelle 7 ersichtlich⁷. Bei diesen Werten handelt es sich um Durchschnittswerte, die die am häufigsten vorliegenden Verhältnisse wiedergeben, wobei in Einzelfällen aber deutliche Abweichungen von den angegebenen Werten möglich sind. Ein echter synergistischer Effekt liegt nur dann vor,

Tabelle 7: Erforderliche Menge an P, Cl und Br, bezogen auf das Fasergewicht, um selbstverlöschende Eigenschaften zu erhalten

Faser	% P	% Cl	% Br	% P + % Cl	% P + % Br
PES	3 - 4	25	12 - 15	1 + 15 - 20	2 + 6
PAC	5	10 - 25	10 - 12	1 - 2 + 10 - 12	1 - 2 + 5 - 10
PP	5	40	20	2,5 + 9	0,5 + 7

wenn die in der Kombination vorhandenen Anteile an P und Halogen, ausgedrückt in % der erforderlichen Menge an Phosphor bzw. Halogen allein, zusammen unter dem Wert von 100% bleiben. Bei dieser Betrachtungsweise kann nur bei Polypropylen ein deutlicher Synergismus festgestellt werden, und zwar bei Phosphor-Chlor- und bei Phosphor-Brom-Kombinationen. Bei PES-Fasern ist nur bei Phosphor-Brom-Kombinationen ein geringer synergistischer Effekt festzustellen, während bei PAC-Fasern nur eine Addition der Effekte eintritt.

Trotzdem spielen Halogen-Phosphor-Verbindungen eine wichtige Rolle als Flamm-schutzmittel für Synthesefasern. Sie können sogar als die wichtigste Stoffgruppe zur flammhemmenden Ausrüstung von Synthesefasern bezeichnet werden. Es besteht kein Zweifel darüber, daß insbesondere bromierte Phosphorverbindungen vorteilhaftere Flamm-schutzmittel für Synthesefasern sind als reine Phosphor- oder reine Halogenverbindungen. Durch Einbau von Halogen in Phosphorverbindungen wird der Wasserstoffgehalt dieser Substanzen erniedrigt und damit der Flamm-schutzeffekt erhöht. Durch Kombination zweier flammhemmender Elemente in einer Verbindung ist es in vielen Fällen auch möglich, mit geringeren Auflagemengen auszukommen. Die Phosphor-Halogen-Verbindungen sind deshalb reinen Phosphorverbindungen und reinen Halogenverbindungen bei Synthesefasern vorzuziehen, auch wenn keine echten synergistischen Effekte vorliegen. Außerdem ist eine Ausrüstung mit reinen Halogenverbindungen wegen des erforderlichen hohen Halogengehalts und wegen der Bildung toxischer und korrodierend wirkender Zersetzungsprodukte in vielen Fällen nicht empfehlenswert.

Über den Mechanismus eines Phosphor-Halogen-Synergismus existieren nur vage Vorstellungen, die weitgehend einer experimentellen Grundlage entbehren. Es wird angenommen, daß aus den Phosphor-Halogen-Verbindungen $POCl_3$ bzw. $POBr_3$ gebildet

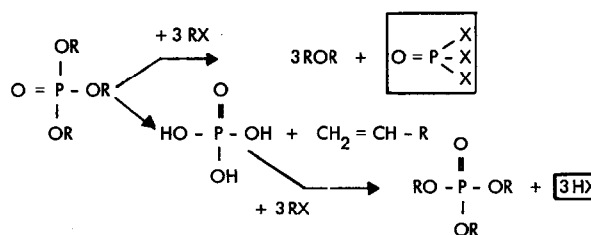


Abb. 18: Mögliche Mechanismen beim Halogen-Phosphor-Synergismus

wird, die in der Gasphase als Radikalfänger wirken können. Eine andere Hypothese geht davon aus, daß durch die Phosphorverbindungen die Bildung von HCl bzw. HBr begünstigt wird (Abb. 18).

5. 2. 3. Halogen-Antimon-Synergismus

Während bei Kombinationen von Phosphor- und Halogen-Verbindungen oft schwer festzustellen ist, ob nun ein echter synergistischer Effekt vorliegt, sind die Verhältnisse bei Halogen-Antimon-Kombinationen viel eindeutiger. Dies hängt damit zusammen, daß die eine der beiden Komponenten, nämlich die Antimonverbindung, praktisch keinen Flammschutzeffekt zeigt, sodaß eine Verbesserung der Wirkung durch die Antimonverbindung eindeutig als Synergismus erkannt werden kann.

Als Antimonverbindung wird in erster Linie das Antimontrioxid verwendet, das zusammen mit aliphatischen oder aromatischen Chlor- und Bromverbindungen eingesetzt wird. Optimale synergistische Effekte erhält man bei einem Atomverhältnis von Sb:Halogen = 1:3. Von diesem Verhältnis wird in der Praxis aus preislichen oder anwendungstechnischen Gründen häufig abgewichen. Vor allem bei Bromverbindungen kommt man im allgemeinen mit weniger Sb₂O₃ aus als bei analogen Chlorverbindungen. Durch Anwendung von Kombinationen aus Sb₂O₃ und Halogenverbindungen läßt sich der Halogengehalt nicht selten um über 50 % reduzieren.

Über den Mechanismus des Halogen-Antimon-Synergismus besitzt man schon einigermaßen fundierte Vorstellungen^{8,9} (Abb. 19). Die Wirksamkeit der Antimonverbindung wird darauf zurückgeführt, daß sie mit der Halogenverbindung unter Bildung von SbOCl reagiert, welches dann bei höherer Temperatur in flüchtiges SbCl₃ zerfällt. Daß tatsächlich flüchtiges SbCl₃ gebildet wird, geht daraus hervor, daß bei Abwesenheit von Halogenverbindungen das Antimon im Rückstand verbleibt, während in Gegenwart von Halogenverbindungen praktisch kein Antimon im Rückstand zu finden ist. Als eigentliches Flammschutzmittel wirkt das SbCl₃, das in der Gasphase als Radikalfänger auftritt.

Der synergistische Effekt beruht auch hier wie beim P/N- und P/Halogen-Synergismus auf der Bildung wirksamer Flammschutzmittel aus den ursprünglich eingesetzten Verbindungen. Die in der Praxis ein-

gesetzten Substanzen stellen fast nie die optimal wirksamen Verbindungen dar. Entscheidend bei der ganzen Flammschutzausrüstung ist, daß unter Pyrolysebedingungen aus den Ausgangssubstanzen, die nur Vorstufen der eigentlichen Flammschutzmittel darstellen, möglichst vollständig hochwirksame Verbindungen gebildet werden. Dies ist bei synergistisch wirkenden Kombinationen in ausgeprägtem Maße der Fall, sodaß synergistische Effekte für die Flammschutzausrüstung von größter praktischer Bedeutung sind.

Die Verwendung von Antimonverbindungen bei der Flammschutzausrüstung bringt verschiedene Nachteile mit sich. So sind Antimonverbindungen nicht gerade billig. Es treten auch Probleme der Toxizität auf, und die Rauchentwicklung bei der Zersetzung antimonhaltiger Textilien wird beträchtlich erhöht. Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, die erforderliche Menge an Antimontrioxid zu reduzieren oder das Sb₂O₃ durch andere Verbindungen zu ersetzen. Eine Verminderung des Antimontrioxidgehalts wird durch Verwendung von Kieselgur möglich, das fein verteiltes Sb₂O₃ enthält. Derartige Produkte sind billiger als reines Sb₂O₃ und genauso wirksam. Als Ersatz für Antimontrioxid wird Al(OH)₃ · 3 H₂O, SnO₂ · (H₂O)_x, ZnO und Zinkborat (2 ZnO · 3 B₂O₃ · 3 1/2 H₂O) empfohlen. Besonders das Zinnoxidhydrat zeigt in Verbindung mit bestimmten Halogenverbindungen die gleichen synergistischen Effekte wie Sb₂O₃.

5. 2. 4. Synergismus bei Radicalbildnern

Abschließend soll noch ein Synergismus erwähnt werden, der zwar bei Kunststoffen, insbesondere beim Polystyrol, schon längere Zeit bekannt ist, aber erst in jüngster Zeit auch bei Fasermaterialien untersucht wurde.

Bei Polystyrol haben Eichhorn¹⁰ und Ingram¹¹ festgestellt, daß die flammhemmende Wirkung von Halogenverbindungen durch Zusatz von Peroxiden, Chloramiden und anderen Verbindungen sehr stark erhöht werden kann (Tab. 8). Es handelt sich hierbei um die stärksten synergistischen Effekte, die bisher bekannt geworden sind.

Tabelle 8: Erforderlicher Halogengehalt für selbstverlöschendes Polystyrol bei Zusatz synergistisch wirkender Additive

Additiv	% Cl	% Br	% Additiv	Lit.
Kein	10 - 15	4 - 5		12
substit. Diphenyläthan		1	0,1	13
Mo (III), Mn (II) Cu (II), Cr (III)	4 - 8	1,5 - 3		14
N-Dichloramide		0,8 - 1	1 - 2	11
Peroxide	5	ca. 1	0,5	10
N-Nitrosamine		0,8 - 1	1	11

Die genannten Additive erlauben eine Verminderung des Bromgehalts von 4 bis 5 % auf zirka 1 % und des Chlorgehalts von 10 bis 15 % auf zirka 5 %. Die wirksamen Verbindungen bilden durchwegs bei höherer Temperatur Radikale, die für die gesteigerte Wirk-

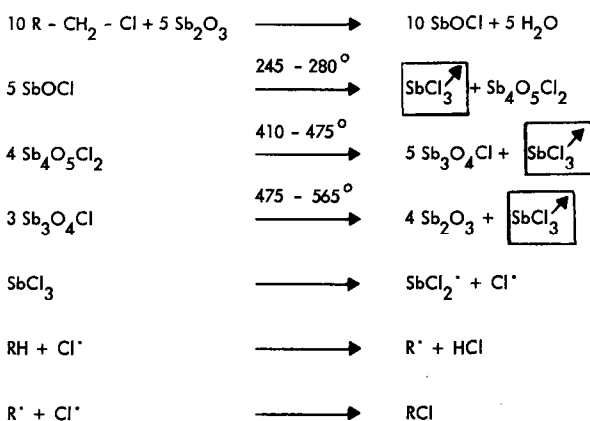


Abb. 19: Mechanismus des Halogen-Antimon-Synergismus

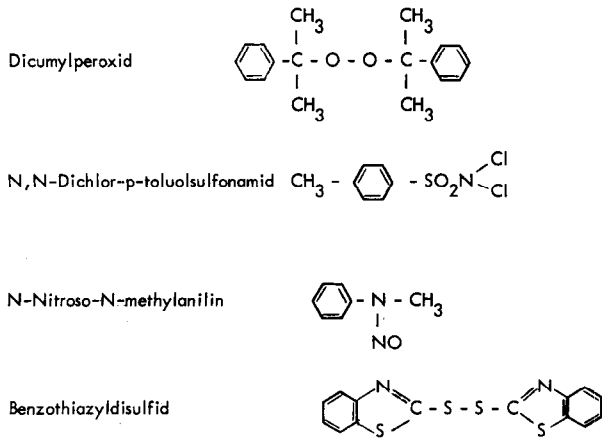


Abb. 20: Radikalbildende synergistisch wirkende Additive

samkeit verantwortlich sind. In Abbildung 20 ist die chemische Konstitution einiger typischer radikalbildender Synergisten angegeben.

Diese Verbindungen stellen in anwendungstechnischer Hinsicht sicher nicht das Optimale dar. So sind beispielsweise Peroxide nicht gerade dazu geeignet, die Eigenschaften von Fasern zu erhalten. Die Beispiele zeigen aber, daß es durch Anwendung synergistischer Kombinationen prinzipiell möglich ist, die erforderliche Auflagemenge an Flammschutzmittel drastisch zu senken.

Für den Mechanismus des Radikalsynergismus gibt es verschiedene Erklärungsmöglichkeiten, wobei die folgende am meisten plausibel erscheint (Abb. 21).

Die Radikalbildner greifen bei höherer Temperatur das Polymere an und fördern die Umsetzung mit der Halogenverbindung. Die Reaktion kann man sich so vorstellen, daß die primär gebildeten Radikale des Additivs sowohl beim Flammschutzmittel als auch bei der Faser Radikale erzeugen, die dann zu einem halogenhaltigen Polymeren bzw. zu einem Polymerfrag-

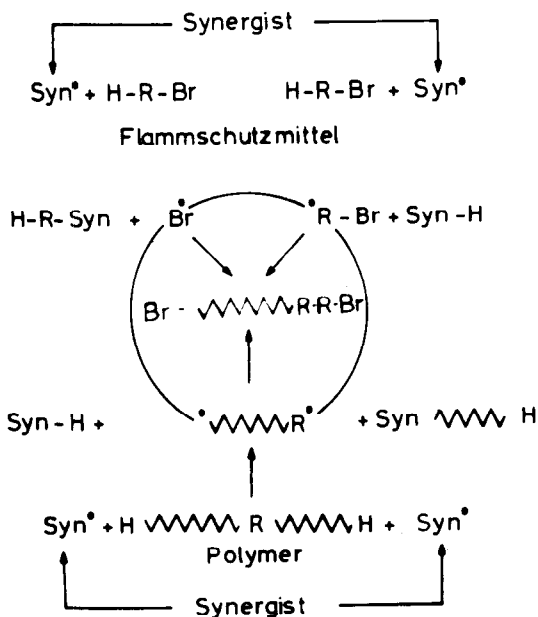


Abb. 21: Mechanismus des Radikal-Halogen-Synergismus

ment rekombinieren. Damit ist das Halogen chemisch in das Polymere eingebaut.

Dies hat den Vorteil, daß die weitere Zersetzung des Polymeren und der Halogenkomponente besser aufeinander abgestimmt sind, sodaß die HBr-Entwicklung zur rechten Zeit am rechten Ort erfolgt. Auch hier werden, wie bei den anderen synergistischen Effekten, wirksamere Zwischenprodukte gebildet, und zwar halogenierte Polymerbruchstücke. Es ist bekannt, daß chemisch gebundenes Halogen bei Polymeren besser wirksam ist als Halogen in Form von Additiven¹⁵.

Die positiven Ergebnisse, die man beim Polystyrol erhalten hat, lassen sich — wie aus der Patentliteratur hervorgeht — offenbar auch auf Chemiefasern übertragen. In Tabelle 9 werden Angaben über die erforderliche Menge an Flammschutzmitteln gemacht, die mit und ohne Zusatz synergistisch wirkender Additive erforderlich sind, um selbstverlöschende Fasern zu erhalten. Hierbei erfolgte die Applikation der Flammschutzmittel durch Zugabe zur Spinnmasse.

Tabelle 9: Synergistische Effekte durch Radikalbildner beim Einspinnen von Flammschutzmitteln in Chemiefasern

Faser	Flammschutzmittel	% Zusatz		Additiv	% Zusatz	Lit.
		ohne Add.	mit Add.			
PES	Triphenylphosphinoxid	> 10	5	Dibenzyl	1	16
CT, CA	Chlorparaffin	> 10	2	o-Phenylphenylbisphenylphosphat	1	17
CT, CA	Tris(dibrompropyl)-phosphat	> 8	5	Dicumylperoxid	0,25 - 1,5	18 19

Bei den Additiven handelt es sich ebenfalls um Radikalbildner, die aber offenbar nicht nur die Wirksamkeit von Halogenverbindungen, sondern auch die von Phosphorverbindungen steigern. Man erreicht mit Zusätzen von insgesamt 3 bis 6 %, bezogen auf das Fasergewicht, selbstverlöschende Eigenschaften. Diese Ergebnisse sind recht ermutigend, und man wird diesen synergistischen Kombinationen in nächster Zeit sicher noch viel Aufmerksamkeit schenken.

Zusammenfassend kann man sagen, daß alle bisher bekannten synergistischen Kombinationen in der Weise wirken, daß sie kurz vor oder während der

Tabelle 10: Synergistische Kombinationen mit flammschutzaktiven Folgeprodukten

Synergistische Kombination	geeignet für	gebildete aktive Verbindung
P/N	Zellulose	H ₃ PO ₄ , P-Amide
P/Halogen (X)	PP (PES, PAC, PA)	POX ₃ PX ₃
Halogen (X)/Sb ₂ O ₃	Synthesefasern bes. PAC, PP PA	SbOX → SbX ₃
Halogen/Radikalbildner	Synthesefasern bes. PES, CT, CA	Halogen. Polymer.

Pyrolyse des Polymeren aus den ursprünglich eingesetzten Verbindungen flammenschutzaktivere Verbindungen bilden, die einen höheren Wirkungsgrad aufweisen als die ursprünglich eingesetzten Verbindungen. In Tabelle 10 sind die besprochenen synergistischen Kombinationen und ihre aktiven Zwischenprodukte zusammengestellt.

Trotz gewisser Einblicke, die man schon in den Mechanismus der Flammenschutzmittel gewonnen hat, steckt die gesamte Flammenschutzrüstung noch voller Probleme, und man steht sicherlich erst am Anfang einer langen Entwicklung. Obwohl man sich schon vor 300 Jahren mit der Flammenschutzrüstung von Textilien befaßte, so blieb diese bisher doch nur ein unbedeutendes Randproblem der Textilveredlung. Erst seit ca. 10 Jahren arbeitet man intensiv und weltweit auf diesem Gebiet, und dieser Zeitraum ist relativ kurz im Vergleich mit anderen Gebieten der Textilveredlung, die schon jahrzehntelang intensiv bearbeitet werden, so daß man eigentlich gar nicht enttäuscht zu sein braucht, wenn noch so viele Probleme ungelöst sind.

Literatur:

- 1) St. M. Suchecki; *Textile Ind.*, August 1973, S. 37
- 2) D. E. Stueze; *Textile Information, Sources and Resources* 4, 8 (1972)
- 3) W. C. Kuryla, A. J. Papa: "Flame Retardancy of Polymeric Materials", Vol. 2, S. 105, Marcel Dekker Inc., New York 1973
- 4) M. P. Chouinard, D. C. Knodel, H. W. Arnold; *Melliand Textilber.* 55, 226 (1974)
- 5) G. C. Tesoro; *Text. Chem. and Col.*, 5, 235 (1973)
P. Hoffmann, R. Loss; *Textilveredlung* 8, 310 (1973)
- 6) US-P. 3, 527.564
- 7) J. W. Lyons: "Mechanism of Fire Retardation with Phosphorus Compounds — Some Speculations"; *Flame Retards*, Vol. 6; *Fire and Flammability Series Technical Publ. Co., Inc.* 1973
- 8) J. J. Pitts; *J. Fire and Flammability* 3, 1, 51—84 (1972)
- 9) S. K. Braumann; *Textile Information, Sources and Resources* 6, 30 (1974)
- 10) J. Eichhorn; *J. Appl. Polym. Sci.*, 8, 2497 (1964)
- 11) A. R. Ingram; *J. Appl. Polym. Sci.* 8, 2485 (1964)
- 12) J. W. Lyons: "The Chemistry and Uses of Fire Retardants"; S. 23, Wiley-Interscience, New York 1970
- 13) US-P. 3,441.524
- 14) Nl.-Anm. 6,400.412
- 15) US-P. 3,039.977
- 16) US-P. 3,681.281
- 17) US-P. 3,597.242
- 18) US-P. 3,615.746
- 19) US-P. 3,597.243

Diskussion

Albrecht: Wenn man Gelegenheit hat, den Fortschritt Ihrer Arbeit von Zeit zu Zeit mitzuerleben, dann muß man zugeben, daß hier ganz Erhebliches im Laufe der letzten

Jahre zusammengetragen und erarbeitet wurde. Herzliche Gratulation zu den Erkenntnissen, die Sie gesammelt haben.

Thater: Ich muß natürlich die alten Fragen stellen, die uns Veredler immer wieder bewegen, wenn wir solchen Entwicklungen begegnen: Haben Sie die Toxizität Ihrer Zusatzstoffe geprüft? Wir können unseren Auftraggebern natürlich in keiner Weise Veredlungen anbieten, die toxisch sind. Gibt es Bedenken beim Einsatz dieser Mittel, oder kann man diese Mittel freimütigst einsetzen?

Welche Spaltprodukte entwickeln diese Zusatzstoffe beim Verbrennen? Man wird nämlich dadurch letztlich vor die Entscheidung gestellt: Will man verbrennen oder lieber ersticken? Die Mengen an Bromwasserstoff, die sich hier bilden können, stellen ja eine gewisse Problematik dar, über die Sie sicher auch Untersuchungen angestellt haben.

Wenn auch die Grundlagenforschung, die Sie hier betrieben haben, erfolgreich abgeschlossen wurde, so würde doch die anwendungstechnische Arbeit, die dahinter oder parallel dazu laufen müßte, am Markt vorbeigehen, wenn diese Fragen nicht positiv beantwortet werden könnten.

Einsele: Die Frage nach der Toxizität dieser Flammenschutzmittel ist natürlich berechtigt. Bei Zellulosefasern werden ja seit Jahren Flammschutzmittel auf der Basis THPC und Alkylphosphonocarbonsäureamiden eingesetzt. Damit sind aber bisher keine nachteiligen Wirkungen festgestellt worden. Der Phosphor bleibt auch beim Verbrennen bis zu 80% in der festen Phase, und man braucht deshalb nicht die Entstehung toxischer Phosphorverbindungen in der Gasphase zu befürchten.

Anders ist es bei den Synthesefasern, wo zum Teil auch die Phosphorverbindungen in die Gasphase überwechseln; hier ist es bedenklicher. Es liegen aber meines Wissens noch nicht genügend Untersuchungen vor, um darüber ein endgültiges Urteil abgeben zu können. An unserem Institut werden ganz allgemein, also nicht speziell im Hinblick auf Flammenschutzmittel, auch Untersuchungen über die Abgabe toxischer Gase bei der Verbrennung von Textilfasern durchgeführt. Auch ohne Flammenschutzmittel entstehen natürlich ganz beachtliche Mengen an toxischen Gasen. Dieses Problem wird man kaum aus der Welt schaffen können.

Im Hinblick auf die Flammenschutzmittel ist man aber nach wie vor auf Phosphor- und Bromverbindungen angewiesen, wenn man flammhemmend ausrüsten will.

Albrecht: Wir unterhalten uns hier über organische Substanzen schlechthin. Wenn wir aber organische Substanzen zersetzen, das heißt verbrennen, dann kommen wir am Kohlenmonoxid nie vorbei — das müssen wir einmal ganz deutlich festhalten. Entweder laufen wir in einer Panzerweste aus Aluminium oder aus Stahlfasern herum, oder wir erkennen einmal ganz klar, welche Grundprobleme hier vorliegen.

Ich weiß nicht, ob Sie Gelegenheit haben, die Arbeiten an den verschiedenen Instituten, beispielsweise in Stuttgart oder auch in Tallinn, von denen Herr Professor Kirret im vergangenen Jahr hier berichtete, zu verfolgen. Da würden Sie sehen, wie sehr man bemüht ist, primär einmal den Synergismus zu erforschen und zu erkennen. Lassen Sie doch, bitte, die Leute einmal arbeiten, um hier genaue Erkenntnisse zu erzielen! Der Radikalsynergismus, der als letzter Punkt von Dr. Einsele vorgestellt wurde, enthält doch eine Reihe von brauchbaren Erkenntnissen, die wir zuerst einmal erforschen und weiter bearbeiten müssen, um sie dann anwenden zu können.

Die praktische Seite, die Sie natürlich brennend interessiert, müssen wir auch in der weiteren Folge erarbeiten. Der Fortschritt, der einstweilen in der Forschungsarbeit erzielt wird, kann im Moment noch nicht die Anwendungstechnik beinhalten.

Thater: Natürlich, wenn Sie diesen Bericht als ein Zwischenergebnis ansehen auf dem Wege zu einem praktischen Ausrüstungsverfahren, dann akzeptiere ich das. Es wäre natürlich schön, da alle Welt davon spricht, wenn die Anwendungstechnik parallellaufen könnte und nicht verspätet einsetzte — denn wir werden mit Aufträgen konfrontiert und müssen diese ablehnen; umso mehr, als natürlich viele Leute diesen Vortrag gehört haben und man auch sieht, was bereits in den USA gemacht wird.

Albrecht: Die Amerikaner kochen auch nur mit Wasser,

und ich würde sagen, daß wir mit diesen Arbeiten hier einen kleinen Beitrag zu dem Kochprozeß in Amerika leisten.

Jach: Wie verhält sich die optische oder spezifische Rauchdichte beim Einsatz verschiedener Flammschutzmittel? Wir haben festgestellt, daß es bei Kunststoffen bzw. bei brennbaren Stoffen, die sich durch eine geringe Rauchdichte auszeichnen, durch Zusätze von Flammschutzmitteln zu einer rasanten Erhöhung der spezifischen Rauchfluktuation, das heißt der physikalisch definierbaren, also der optischen oder spezifischen Rauchdichte, kommen kann.

Mir scheint es auch ganz wichtig zu sein, daß sich die Grundlagenforschung vor allem auch der Reaktionskinetik des Brandprozesses zur Entwicklung von Flammschutzmitteln angenommen hat, denn das ist nötig, wenn wir dabei weitere Fortschritte erzielen wollen. Ich hatte erst vor kurzem Gelegenheit, mit Leuten, die über Flammschutzmittel arbeiten, zu reden und war sehr erstaunt, daß man bisher eigentlich kaum viele Erkenntnisse über die Reaktionskinetik von Bränden klassischer oder moderner Materialien erworben hatte. Die Erforschung der Reaktionskinetik ist aber doch die Voraussetzung, daß man nicht mehr empirisch, sondern gezielt Flammschutzmittel entwickeln kann. Gott sei Dank, bei Herrn Dr. Einsele ist bereits dieser Ansatz vorhanden.

Albrecht: Das wollte ich auch eben unterstreichen.

Einsele: Wir selbst haben zur Rauchdichtebestimmung noch keine Untersuchungen durchgeführt, aber aus der Literatur geht eindeutig hervor, daß bei vielen flammhemmend ausgerüsteten Textilien die Rauchentwicklung erhöht wird. Das ist richtig, und da stimme ich mit Ihnen überein. Es gibt ganz wenige Ausnahmen, beispielsweise wenn man Zellulosefasern mit Cyanamid-Phosphorsäure ausrüstet, geht die Rauchentwicklung zurück.

Herlinger: Herr Dr. Thater, es ist nicht die Aufgabe von Forschungsinstituten, Rezepturen zu entwickeln. Sie können auch keine Anwendungstechnik, die unmittelbar in die Praxis umgesetzt werden könnte, betreiben, denn dazu ist das Haushaltsvolumen dieser Institute nicht geeignet. Vergleichen Sie es nur mit dem von Forschungszentren großer Betriebe, die sich auch seit vielen Jahren mit einem Vielfachen von Leuten mit diesen Problemen herumschlagen. — Die Produktentwicklung und die Anwendungstechnik ist und bleibt Sache der Industrie. Man kann hier nur eine Hilfestellung geben, indem man aufzeigt, wo die Chancen relativ groß und wo sie relativ klein sind. Vor fünf Jahren stellte uns der Phosphor-Stickstoff-Synergismus vor ein empirisches Ausprobieren; heute wissen wir aber doch um einiges mehr, wie man dabei weiterkommen kann.

Albrecht: Wir wollen nun aber doch auch nicht ganz aneinander vorbeireden, denn ich glaube, daß auch hier eine glückliche Kooperation zwischen den Forschungsinstituten und der Anwendungstechnik garz wesentlich ist.

Carl: In einem Dia wurde der Apex-Test erwähnt. Können Sie dazu etwas Näheres sagen?

Einsele: Der Apex-Test ist eine relativ strenge Prüfmethode, die zwar nicht genormt ist, aber in den USA bereits häufig für interne Zwecke verwendet wird. Dabei wird das Gewebe auf eine Glasfaservliesunterlage gebracht, wodurch das Abtropfen und Wegschmelzen des Textilmaterials von der Zündflamme verhindert wird. Der Apex-Test ist daher wesentlich strenger als die DIN 53 906, bei der das Gewebe frei hängt und vor der Zündflamme zurückweichen kann, wenn es sich um thermoplastische Fasern handelt. Es ist also nur eine strengere Prüfmethode, die wir am Institut für unsere Zwecke verwendet haben.

Schwerentflammbare Viskosefasern

Professor Dr. Ing. habil. T. Skwarski
 Dozent Dr. Ing. habil. B. Laszkiewicz
 Dr. Ing. H. Struszczyk
 Polytechnische Hochschule Lodz, Institut für Kunstfasern

Der Bedarf an schwerentflammbaren Fasern und Textilien stellt auch die Viskosefaserindustrie vor die Aufgabe, die Entflammbarkeit ihrer Produkte zu verringern. Flammschutz-ausrüstungen für Viskoseartikel sind zwar bekannt, viel wirksamer und zweckmäßiger ist jedoch die Verringerung der Entflammbarkeit durch Einlagerung flammhemmender Chemikalien in die Viskosefasern über die Spinnlösung. Diese Methode wurde bei den referierten Untersuchungen angewandt.

Als flammhemmende Mittel kamen Flammex T23P, sowie einige andere, am Institut für Kunstfasern der Polytechnischen Hochschule Lodz entwickelte Phosphornitrilchlorid-derivate und organische Phosphate zur Anwendung. Es wurde ein Verfahren zur Einführung der oben genannten Mittel in die Viskose erarbeitet, und im kleintechnischen Maßstab wurden Viskose-seide und Zellwolle er-spinnen.

Die Untersuchungen umfaßten den Einfluß der eingeführten Zugaben auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der erhaltenen Fasern, auf ihre Entflammbarkeit und auf die Waschbeständigkeit. Die Entflammbarkeit wurde über die kritische Sauerstoffkonzentration beurteilt.

According to the growing demand of flame-retarding fibres and textile fabrics, the viscose fibre industry too has to deal with the task of reducing the flammability of its products. Though flame-proof finishes for viscose fibres are known, an addition of flame-retardants to viscose fibres via the spinning dope is still more effective. This method has been used in the present investigation.

The following products have been used as flame-retardants: Flammex T23P, some derivatives of phosphoronitrile chloride, prepared at the Man-made Fibre Institute, Politechnika Lodzka (Lodz), and organic phosphates. A process of incorporating these flame-retardants into the viscose has been developed and verified by producing rayon and staple fibres on an experimental scale.

The effect of incorporated flame-retardants on the physico-mechanical properties of fibres has been investigated. The flammability of fibres was evaluated by determination of the Limiting Oxygen Index (LOI). Durability of the flame-retardants in fibres after repeated launderings was also examined.

Einleitung

Herr Dr. Lysy ist hier in Dornbirn bereits in seinem Vortrag bei der 12. Chemiefasertagung in sehr ausführlicher Weise auf die grundlegenden Erkenntnisse beim Verbrennungsprozeß textiler Fasern und auf die Prinzipien des Flamm-schutzes sowie auf die gesetzlichen Maßnahmen verschiedener Länder im Hinblick darauf eingegangen¹.

Auf derselben Tagung hat auch Herr Dr. Harms das Problem des Flamm-schutzes von Zellulosefasern

in Einzelheiten besprochen². Ferner hat auch Herr Dr. Krässig voriges Jahr in Bratislava in seinem Vortrag „Stand und Zukunft zellulosischer Chemiefasern“ auf die Herstellung schwerentflammbarer Viskosefasern hingewiesen³.

Die Viskosefasern bildeten 1973 33 % der Weltproduktion aller Chemiefasern⁴. Es wird geschätzt, daß sie 1980 noch etwa 26 % der Weltproduktion an Chemiefasern ausmachen werden⁵. Der Bedarf an schwerentflammbaren Fasern und Textilien stellt also auch die Viskosefaserindustrie vor die Aufgabe, die Brennbarkeit ihrer Produkte zu verringern.

Ich möchte hier kurz zwei Statistiken zeigen, von denen die erste aus dem Artikel von Nunikhoven und Albrecht⁵ stammt und die Quote an Opfern durch Textilbrände pro Jahr auf eine Million Einwohner in verschiedenen Ländern wiedergibt (Tab. 1).

Tabelle 1: Quote von Opfern durch Textilbrände (pro Jahr/Mill. Ew.)

USA	10 bis 15
England	6 bis 8
Schweiz	1 bis 2
BRD	1 bis 2

Die zweite Zusammenstellung stammt aus den vom National Bureau of Standards gesammelten Daten⁶ und zeigt den prozentualen Anteil der verschiedenen Artikel an Textilbränden (Tab. 2).

Aus diesen Statistiken wird ersichtlich, daß die meisten Textilbrände in den USA notiert werden, und daß drei Viertel dieser Unfälle die Kleidung betreffen. Es ist also kein Wunder, daß die strengsten Vorschriften für den Flamm-schutz von Textilien in den USA gelten. Es zeigt sich jedoch, daß diese Verordnungen noch nicht ausreichend und die Prüfmethoden der Entflammbarkeit noch unvollkommen sind.

Tabelle 2: Prozentueller Anteil verschiedener Artikel an Textilbränden

Artikel	Anteil in %
Nachtkleidung	25,8
Mäntel und Jacken	2,8
Hosen	7,1
Kleider	7,2
Hemden	19,2
Unterwäsche	4,1
übrige Kleider	7,3
somit Kleider insgesamt:	73,5
Bettbezüge	2,2
Decken	1,6
Matratzen	4,3
übrige Bettwäsche	3,6
somit Betttextilien insgesamt:	11,8
Vorhänge	2,8
Teppiche	1,5
Polsterstoffe	8,6
andere Heimtextilien	1,7
somit Heimtextilien insgesamt:	14,7

Ein interessantes Beispiel hat Dr. Carroll-Porczyński⁷ im Jahr 1971 gegeben. Er macht uns hier auf die Tatsache aufmerksam, daß sich die Prüfung der Entflammbarkeit nicht nur auf den Brennprozeß beschränken darf. Sehr oft ist nicht das Feuer der Grund des Unfalls oder des Todes, sondern die während des Brennens entstehenden giftigen Verbrennungsprodukte, sowie der Rauch.

So war es auch im Jahre 1970 beim Brand eines Kinderspitales in Marietta/Ohio. Dort haben sich die Nylonteppeiche entzündet, und es entwickelte sich dichter Rauch. Von den 46 Patienten sind 32 gestorben, und in den meisten Fällen war das Einatmen des Rauchs die Todesursache. Das erstaunlichste war aber dabei, daß die brennenden Teppiche laut "Methanamine Pill-Test" als „unbrennbar“ qualifiziert worden waren.

Deswegen meint Dr. Carroll-Porczyński, daß sich die Klassifizierung der Textilien hinsichtlich ihrer Entflammbarkeit auf einen Untersuchungskomplex stützen sollte, der außer der Schwerentflammbarkeit auch viele andere Faktoren, wie beispielsweise Menge und Dichte des entstandenen Rauchs sowie die Toxizität der Verbrennungsprodukte, erfassen müßte. Alle diese Faktoren sollten also bei der Bewertung der Brennbarkeit von Materialien und Textilien aus Viskosefasern berücksichtigt werden.

Die heute gebräuchlichste Methode zur Herstellung von schwerentflammbaren Textilien aus Zellulosematerialien besteht in der Imprägnierung mit Flammenschutzmitteln. Dieses Verfahren ist auch auf Textilartikel aus Viskosefasern anwendbar. Die Flammschutz-ausrüstungen von Viskoseartikeln weisen aber oftmals geringe Waschbeständigkeit auf und können gewisse Nachteile bezüglich des textilen Griffes zur Folge haben. Für die Herstellung von schwerentflammbaren Viskosefasern sind daher folgende zwei Möglichkeiten viel wirksamer und zweckmäßiger:

1. die physikalische Einlagerung flammhemmender Chemikalien in die Faser durch Zugabe des Flammschutzmittels zur Spinnlösung,
2. die chemische Bindung von flammhemmend wirkenden Verbindungen an das Zellulosemolekül (z. B. mittels Pfropfreaktion).

Das zweite Verfahren befindet sich noch im Stadium kleintechnischer Untersuchungen, das erste Verfahren wird jedoch bereits großtechnisch eingesetzt, wobei man seine schnelle Entwicklung voraussehen kann. Aus diesen Gründen beschränke ich mich auf die Besprechung des zuerst genannten.

Die Flammschutzmittel und die Herstellung schwerentflammbarer Viskosefasern

Die Anforderungen, die an die in die Viskose eingeführten Flammschutzmittel gestellt werden, und deren Einfluß auf die Fasereigenschaften wurden bereits in vielen Artikeln besprochen⁸⁻¹². Ich kann mich daher kurz fassen und werde mich nur auf solche Flammschutzmittel konzentrieren, die schon in der Industrie Verwendung finden, sowie auf Untersuchungen, die in unserem Institut durchgeführt worden sind.

Als Flammschutzmittel werden Phosphor-, Stickstoff- und Chlorverbindungen verwendet. Oftmals wird ein

Synergismus bei diesen Elementen beobachtet. In bezug auf ihren chemischen Aufbau können diese Mittel in drei Gruppen unterteilt werden:

1. organische Phosphate bzw Phosphonate und ihre Halogenderivate,
2. Phosphornitrilchloridderivate,
3. andere.

Die amerikanische Firma American Viscose Division FMC begann 1971 mit der Produktion von schwerentflammbarer Zellwolle und Viskoseseide unter dem Namen Avisco PFR[®].

Bei der Herstellung von Avisco-Fasern wird das im Wasser unlösliche Flammenschutzmittel in Form einer flüssigen organischen Phosphorverbindung in die Viskose eingetragen. Diese Verbindung enthält keine Halogene. Die Zufügung der Verbindung in solcher Menge, daß das Verhältnis des Phosphorgehalts zur Fasermasse 2 bis 3 % beträgt, gibt schon einen guten Flammschutzeffekt.

Tabelle 3 zeigt die Eigenschaften der Avisco PFR-Seide laut den Angaben des Herstellers. Die Zersetzung der Avisco-Faser beginnt bei 270 bis 280 °C. Die Fasern behalten die schwerentflammbaren Eigenschaften auch nach mehrmaligem Waschen und nach der Trockenreinigung. Das Waschen verursacht auch keinen merklichen Festigkeitsabfall.

Tabelle 3: Die Eigenschaften der Viskoseseide Avisco PFR

Dichte	(g/cm ³)	1,45
Reißfestigkeit		
— konditioniert	(g/dtex)	2,7—3,00
— naß		1,4—1,80
Reißdehnung		
— konditioniert	(%)	12,0—15,0
— naß		14,0—20,0
Zersetzungstemp.	(°C)	270—280
LOI		0,264

Die Fasern zeigen nach einer solchen Ausrüstung auch eine gute Beständigkeit gegen Licht- und Witterungseinflüsse. Die Belichtung mit Sonnenstrahlen bewirkt nach 100 Stunden nur einen Festigkeitsabfall von 5 %.

Zu anderen Vorteilen der Avisco-Fasern gehören:

- leichte Anfärbbarkeit unter Normalbedingungen für Viskosefasern,
- Beständigkeit gegen die Einwirkung von Bleichmitteln und anderen Nachbehandlungskemikalien,
- Verarbeitbarkeit auf dem Standard-Maschinenpark,
- Ungiftigkeit und
- Fehlen einer allergischen Wirkung auf die Menschenhaut.

Aus diesen Gründen können die Avisco-Fasern zur Herstellung von Kindernachtwäsche, Bettbezugs- und Matratzenstoffen, Schutzkleidung, Teppichen, Decken, Vorhang- und Dekostoffen verwendet werden. Diese Erzeugnisse können, abhängig vom Verwendungszweck, aus 100%igen Avisco-Fasern oder aus deren Mischung mit anderen Fasern hergestellt werden. Auch Gemische aus normalen Fasern, die über 70 %

Avisco-Fasern enthalten, sind schon schwerentflammbar. Die Zugabe von Nomex-Fasern zu den Gemischen bewirkt einen Anstieg der Reißfestigkeit und der Verschleißbeständigkeit sowie eine weitere Verringerung der Entflammbarkeit.

Eine andere amerikanische Firma, die Michigan Chemical Corporation, empfiehlt als Flammenschutzmittel für Viskosefasern Tris-dibrompropylphosphat. Diese Verbindung wird in Europa von der Firma Berk hergestellt und ist unter dem Handelsnamen Flammex T23P und Flammex LV-T23P bekannt. Diese Substanzen sind zähflüssig, in Wasser unlöslich und besitzen einen Siedepunkt von 180° C. Beide Substanzen enthalten 68,7 % Brom und 4,4 % Phosphor¹³. Die Einführung von 25 % Flammex, bezogen auf α-Zellulose, in die Spinnlösung ergibt schwerentflammbare Viskosefasern^{14, 15}. Diese Fasern haben auch eine gute Affinität zu den Farbstoffen.

Godfrey machte auf die Phosphornitrilchlorid-derivate als Flammenschutzmittel für Viskosefasern aufmerksam^{10, 16}. Die von ihm erhaltenen Phosphornitrilchloridderivate gehören zu den Phosphazenenverbindungen und können mit der allgemeinen, in Abbildung 1 gegebenen Formel dargestellt werden.

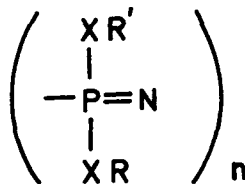


Abb. 1: Phosphazenenverbindungen

- X = Sauerstoff- oder Schwefelatom
- R,R' = Alkyl- oder Arylrest (auch entsprechend halogeniert)
- n = 3 (Mindestwert)

Die oben genannten Phosphazenenverbindungen werden üblicherweise durch Veresterung eines hauptsächlich cyclisch vorliegenden trimeren Chlorphosphazens (Phosphornitrilchlorids) hergestellt. Godfrey hat ferner festgestellt, daß die besten flammhemmenden Eigenschaften die Alkoxi-, die Chloralkoxi- und die Alkylthiophosphazenenverbindungen aufweisen.

In Tabelle 4 wird die Flammhemmung der von Godfrey bei Verwendung einiger Phosphazenenverbindungen erhaltenen Viskosefasern wiedergegeben. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die größte Flammhemmung jene Fasern mit einem Zusatz von Hexapropylcyclotriphosphazatrien und Hexachloräthylcyclotriphosphazatrien aufweisen. Die zuletzt genannte Verbindung ist günstiger, da sie beim Verspinnen und bei der Nachbehandlung weitaus weniger ausgewaschen wird.

In neueren Patenten werden als flammhemmende Mittel für die Viskosefasern wasserunlösliche Phosphazenenoligomere und Phosphazenenpolymere mit einem Molekulargewicht bis zu ca. 1200^{17, 18} empfohlen.

Von anderen, in Literatur und Patenten beschriebenen Substanzen, die die Entflammbarkeit der Viskosefasern hemmen, werden Mischungen von Tris-Kresylphosphat mit chlorierten Paraffinen sowie chlorierte Phosphonate und Kondensationsprodukte des Tetra-

Tabelle 4: Flammbeständigkeit der Fasern mit Phosphazenenverbindungen

Verbindung	Einsatzmenge (% prodl)	Fasertiter dtex	Gehalt in Fasern (% der Einsatzes)	Flammbeständigkeit
$\text{P}_3\text{N}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_6$	20	30	9,6	schwach
$\text{P}_3\text{N}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)_6$	20	30	58,1	sehr gut
$\text{P}_n\text{N}_n(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)_{2n}$	15	30	76,7	sehr gut
$\text{P}_3\text{N}_3(\text{SCH}_2\text{CH}_3)_6$	15	1,5	75,6	gut
$\text{P}_3\text{N}_3(\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_6$	15	1,5	97,1	sehr gut

hydroximethylphosphoniumchlorids mit Harnstoff- oder Thioharnstoffverbindungen erwähnt¹⁹⁻²⁴.

Eigene Untersuchungen

In unseren Untersuchungen verwendeten wir für Viskosefasern als flammhemmende Mittel Flammex T23P und die in unserem Institut entwickelten Phosphornitrilchloridderivate PNX₁, PNX₂ sowie den modifizierten organischen Phosphorsäureester POX.

Alle diese Flammenschutzmittel waren zähflüssige Substanzen, wobei die Dichte unserer Produkte kleiner war als die Dichte von Flammex T23P.

Das erste Problem war, die Eintragung des Flammenschutzmittels in die Viskose auszuarbeiten. Die Eintragsweise des Flammenschutzmittels soll keine Änderungen im technologischen Prozess verursachen und zugleich eine gleichmäßige Dispergierung der Zusätze in der Viskose sichern. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Zusätze nach der dritten Filtration einzurühren. Es ist zu erwarten, daß das Rühren sowohl auf den Dispergiergrad als auch auf den Reifegrad der Viskose einen Einfluß ausübt.

Weiters wurde festgestellt, daß das Einrühren der Zusätze in die Viskose einen schnellen Anstieg des Viskosereifegrades sowie einen Abfall der γ-Zahl bewirkt. Diese Veränderungen traten besonders in der Viskose bei der Zugabe von Flammex T23P auf. Die Bewertung des Dispergiergrades der Zusätze erfolgte mikroskopisch. Nach 30 Minuten Rühren war eine Tropfengröße an PNX₁, PNX₂ und POX von 2,5 bis 3,0 μ erreicht, und auch ihre gleichmäßige Einlagerung in der Viskose. Die Dispergierung von Flammex T23P gestaltete sich schwieriger. Die Tropfengröße betrug etwa 5 μ, und dieser Zusatz neigte dazu, sich auf dem Behälterboden niederzuschlagen. Teilweise hydrolysierte auch das Flammex T23P.

Aus der so vorbereiteten Viskose wurden im kleintechnischen Maßstab Viskoseseide, Zellwolle, Polynosics und technische Seide ersponnen. Wegen der be-

Tabelle 5: Eigenschaften von mit verschiedenen Flamm-
schutzmitteln ausgerüsteter Viskoseseide

Flamm- schutzmittel	Einsatz- menge % pro d	Faser- titer dtex	Relative Festigk.		Reissdehnung	
			trocken %	nass %	trocken %	nass %
Kein	0	1,1	100	100	22,2	40
Flammex T23P	15	1,1	92	93	22,1	42,7
	20	1,2	92	95	21,7	39,7
	24	1,3	87	86	21,4	39,2
PNX ₁	19	1,1	77	72	20,2	33,4
	24	1,2	74	74	18,5	31,6
	29	1,4	73	70	16,3	34,2
PNX ₂	19	1,2	77	77	17,6	30,4
	24	1,2	79	74	16,7	29,9
	29	1,3	73	70	15,6	29,3
POX	15	1,2	94	94	20	36
	20	1,2	90	90	20	36
	25	1,3	85	87	18	36

schränkten Zeit werde ich hier lediglich die bisher erhaltenen Ergebnisse für Viskoseseide und Zellwolle besprechen. Das Spinnen wurde unter den für jede Faserart geeigneten Standardbedingungen durchgeführt, einschließlich Nachbehandlung, das heißt inklusive Wäsche, Entschwefelung und Bleiche. Während des Spinnens der Viskosefasern mit flammhemmenden Zugaben wurden keine Störungen beobachtet. In Tabelle 5 werden die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Viskoseseide mit verschiedenen Mengen an flammhemmenden Zugaben gezeigt. Die Reißfestigkeit wurde als relativer Wert in % im Verhältnis zur Seide ohne flammhemmende Zugabe angegeben.

Aus der Tabelle geht hervor, daß mit dem Mengenanstieg des in die Viskose eingeführten Zusatzes der Fasertiter wächst, das heißt, die Reißfestigkeit und die Dehnung nehmen im trockenen wie im nassen Zustand ab. Die unvorteilhaften Festigkeitsabfälle treten besonders bei PNX₁- und PNX₂-Zugaben auf. Die POX-Zugabe verursacht dagegen analoge Veränderungen zu jenen, die durch Flammex hervorgerufen werden.

In Tabelle 6 wird die Menge des in der Faser übriggebliebenen Flammenschutzmittels im Verhältnis Faser-masse zu eingeführter Menge sowie die durch die kritische Sauerstoffkonzentration (LOI-Wert) ausgedrückte Faserentflammbarkeit gezeigt. Da die Ergebnisse der LOI-Messungen in hohem Grade von der Form des untersuchten Stoffes abhängen und die Literatur nicht angibt, auf welche Weise die Messungen an Fasern durchgeführt werden sollen, wurde für das Garn folgendes Verfahren angenommen:

Die Seidenfäden wurden in 3 m lange Stücke geschnitten, aus denen man ein 5 cm langes Bündel machte, das in horizontaler Stellung im Griff des Apparates untergebracht wurde, um den LOI-Wert zu bestimmen. Alle Proben wurden auf diese Weise gemessen.

Die Tabelle zeigt ferner, daß während des Spinnens

Tabelle 6: Flammbeständigkeit von mit verschiedenen Flamm-
schutzmitteln ausgerüsteten Viskosefasern

Flamm- schutzmittel	Einsatz- menge (% pro d)	FSM in der Faser (%)	FSM in der Faser (% der Einsatzm)	LOI
Kein	0	0	0	0,180
Flammex T23P	15	7,2	47,5	0,210
	20	9,6	50,0	0,216
	24	12,4	51,8	0,234
PNX ₁	19	4,4	22,6	0,205
	24	8,4	34,6	0,222
	29	14,5	49,5	0,227
PNX ₂	19	6,3	34,5	0,200
	24	10,3	43,1	0,211
	29	11,4	39,6	0,228
POX	15	12,5	85,0	0,225
	20	18,3	90,0	0,235
	25	21,4	90,0	0,243

und der Nachbehandlung der Faser die Zusätze PNX₁ und PNX₂ am leichtesten ausgewaschen werden, Flammex T23P und vor allem POX dagegen in viel geringerem Maße.

Die Menge der in der Faser nach dem Spinnprozeß und der Nachbehandlung übriggebliebenen POX-Zugabe beträgt 85 bis 90 %. Werden 15 % dieser Zugabe im Verhältnis zu der Zellulose eingeführt, kann schon eine selbsterlöschende Seide (LOI = 0,23) erhalten werden.

Im Zusammenhang damit wurde in den weiteren Untersuchungen nur POX eingesetzt. Abbildung 2 zeigt die kritische Sauerstoffkonzentration für Vis-

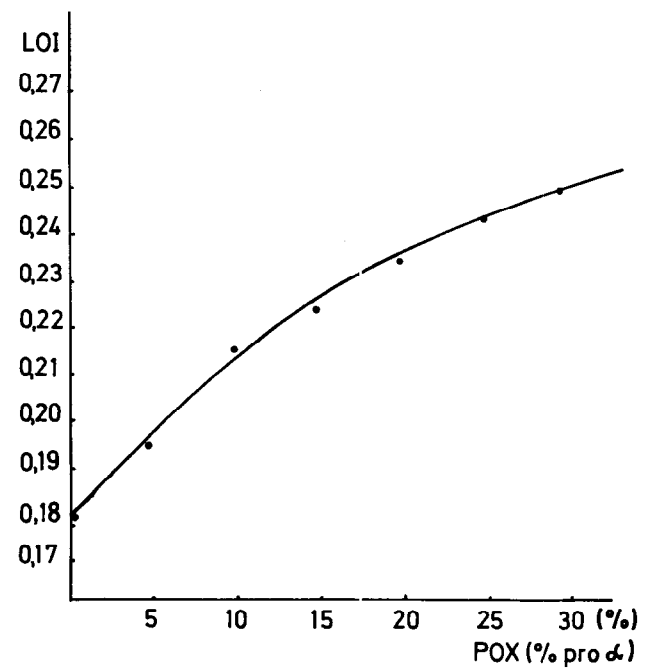


Abb. 2: Der LOI in Abhängigkeit von der POX-Menge in der Viskose

koseseide in Abhängigkeit von der in die Viskose eingeführten Menge an POX in den Grenzen von 5 bis 35 %.

Das Flammenschutzmittel POX wurde auch zur Erspinnung einer baumwollartigen Zellwolle verwendet. Es wurde festgestellt, daß dabei die in der Faser verbleibende Flammenschutzmittelmenge etwas größer ist als in der Seide. Dies läßt sich durch eine weniger intensive Nachbehandlung bei der Herstellung der Zellwolle im Vergleich zu der von Seide erklären.

In Abbildung 3 wird die relative Festigkeit der schwerentflammablen Viskosefasern gezeigt bzw. das Verhältnis der Festigkeit der schwerentflammablen Fasern zu der der Standardfasern (in %) in Abhängigkeit von der zur Viskose zugegebenen Flammenschutzmittelmenge. Daraus ist ersichtlich, daß die Reißfestigkeit im trockenen Zustand nur unbedeutend sinkt, während sie dagegen im nassen Zustand erst nach Überschreiten von 15 % des in die Viskose eingeführten Zusatzes abfällt.

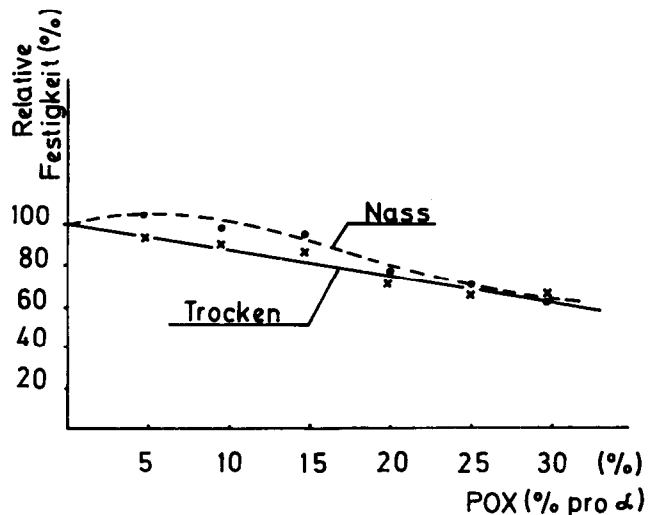


Abb. 3: Relative Festigkeit der Zellwolle in Abhängigkeit von der POX-Menge

Eine wichtige Gebrauchseigenschaft der aus schwerentflammablen Fasern hergestellten Textilien ist die Waschbeständigkeit des Flammenschutzmittels. Um den Einfluß des Waschens auf die Auswaschbarkeit des POX-Zusatzes zu bestimmen, wurden mehrere Wäschen von derartigen Textilien durchgeführt. Im Anschluß daran wurde der darauf verbliebene Rest des Zusatzes gemessen. Das Waschen wurde bei Temperaturen von 70 bis 75 ° C, 30 Minuten lang, in einem 5 g Pretepon G pro Liter enthaltendem Bad durchgeführt (Flottenverhältnis 1 : 30). Die Untersuchungsergebnisse sind in Abbildung 4 im Vergleich zur Auswaschbarkeit von Flammex T23P dargestellt.

Man sieht daraus, daß POX waschbeständiger ist als Flammex. Nach 25 Wäschen verbleiben in den Fasern davon noch 80 %, und sie behalten daher auch weiterhin die Schwerentflammbarkeit.

Flammex T23P wird dagegen viel leichter ausgewaschen. Man beobachtet hierbei eine sehr große Abnahme von Flammex in der Faser, besonders nach dem ersten Waschen.

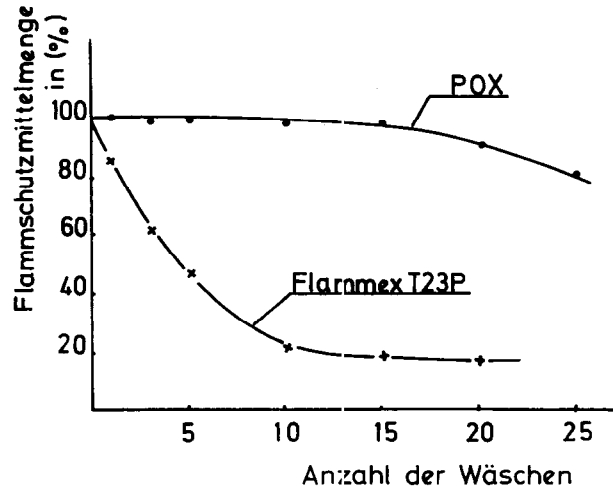


Abb. 4: Waschversuche an schwerentflammablen Zellwollen

Auch das Anfärbevermögen von schwerentflammbarer Seide wurde untersucht. Das Färben wurde unter den für Zellulosefasern normalen Bedingungen ausgeführt, indem hierzu der Direktfarbstoff Chlorantinlichtrot 6BLI verwendet wurde. Dabei wurde festgestellt, daß sich die schwerentflammbare Seide sogar besser als die Standardseide anfärbt und daß die erreichten Ausfärbungen tiefer und lebhafter sind. Aus der gefärbten schwerentflammbaren Seide wurden auf Raschelmaschinen Gewirke hergestellt. Dabei traten während des Wirkprozesses keinerlei Störungen auf, obwohl doch die mit den flammhermenden Zugaben ausgerüstete Seide einen höheren Reibwert besaß als normale Viskoseseide und einen gewissen Trend zu elektrostatischer Aufladung aufwies. Diese Effekte zeigten sich jedoch in geringerem Maße nur bei der Verarbeitung der gefärbten Seide. Die daraus hergestellten Gewirke waren sehr weich und hatten einen angenehmen seidigen Griff, ähnlich wie Gewirke aus natürlicher Seide.

Die Entflammbarkeit von Geweben oder Gewirken ist normalerweise geringer als die der Fasern, aus denen sie hergestellt wurden, und hängt von dem Flächengewicht und der Struktur des Materials ab. Es wurde eine Reihe von Gewirken unterschiedlichen Flächengewichts aus schwerentflammbarer Seide, deren kritische Sauerstoffkonzentration 0,25 betrug, hergestellt und ihre Entflammbarkeit mit jener von Gewirken aus Standardseide gleichen Flächengewichts verglichen.

Tabelle 7: Der LOI von Strickwaren

Flächengewicht g/m ²	LOI	
	Normale Viskoseseide	Schwerentflammbare Viskoseseide
1360	0,203	0,361
920	0,203	0,348
620	0,197	0,293
240	0,190	0,264

Die Ergebnisse werden in Tabelle 7 zusammengefaßt. Sie bestätigen sehr gut die Wirksamkeit des POX-Mittels. Auf Grund all dieser Untersuchungen kann man schließen, daß das Flammenschutzmittel POX ähnlichen, im Handel vorhandenen Mitteln nicht nachsteht, ja sie sogar in mancher Hinsicht übertrifft. Ein wichtiger Vorteil von POX ist die Tatsache, daß während der Verbrennung solcher Fasern nicht mehr Rauch als bei der von Standardseide entsteht.

Schlußfolgerungen

Einer Übersicht über Literatur und Patente kann man entnehmen, daß in den letzten Jahren in vielen Ländern und in vielen wissenschaftlichen Zentren intensive Untersuchungen zur Entwicklung von flammhemmenden Mitteln für die Viskosefasern durchgeführt worden sind. Es gibt auch schon eine Reihe großtechnisch hergestellter Flammenschutzmittel für Viskosefasern. Um eine entsprechende Herabsetzung der Entflammbarkeit von Fasern zu erreichen, muß man in die Viskose ca. 20 % flammhemmende Zusätze einführen. Alle diese Zusätze verursachen einen gewissen Festigkeitsabfall der Viskosefasern.

Die in der Faser nach dem Spinnprozeß und der Nachbehandlung verbleibende Menge an Flammschutzmittel ist je nach eingesetztem Mittel unterschiedlich. Sie unterscheiden sich nämlich in der Auswaschbarkeit voneinander. Ihre leichte Auswaschbarkeit erschwert die Verwendung schwerentflammbarer Seide zur Produktion von Kleidungsstücken, besitzt aber für technische und für Dekostoffe geringe Bedeutung. Deswegen sind weitere Untersuchungen von reaktiven, das heißt von sich chemisch mit der Zellulose verbindenden Flammschutzmitteln zweckmäßig. In solchen Fällen sind die Verluste an Flammschutzmittel während des Verspinnens und beim Waschen minimal.

Am Ende meiner Ausführungen möchte ich hinzufügen, daß es nicht meine Absicht war, die in meinem Vortrag erwähnten handelsüblichen schwerentflammbaren Fasern, wie zum Beispiel die Avisco-Fasern, oder Flammschutzmittel, wie Flammex T23P, zu beurteilen, zu kritisieren oder zu empfehlen. Man muß sie nur als Beispiele betrachten; es gibt natürlich auch noch andere schwerentflammbare Viskosefasern sowie andere Flammschutzmittel, die ich aber in der kurzen Zeit nicht imstande bin, ausführlich zu besprechen.

Literatur:

- 1) T. Lyssy: „Flammschutz synthetischer Fasern“; Lenzinger Ber. 36, 197—213 (1974)
- 2) J. Harms: „Schwer entflammbare Zellulosefasern“; Lenzinger Ber. 36, 214—221 (1974)
- 3) H. Krässig: „Stand und Zukunft zellulosechemischer Chemiefasern“; Fibrichem, Bratislava, Juni 1974
- 4) R. H. Seidl; Eröffnungsansprache zur 13. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn, Lenzinger Ber. 38, 5—7 (1974)
- 5) I. Nunninkhoven, W. Albrecht; Melliand Textilber. 53, 95 (1972)
- 6) NBS; Technical Note 810
- 7) C. Z. Carroll-Porczynski; Textile Inst. Ind., Juli 1971
- 8) J. W. Schappel; Mod. Text. Mag. 49, 54 (1968)
- 9) T. C. Defosse, J. W. Welch; Mod. Text. Mag. 52, 65 (1971)
- 10) L. E. A. Godfrey, J. W. Schappel; Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop. 9, 426 (1970)
- 11) G. C. Tesoro, S. B. Sello, I. I. Willand; Text. Res. J. 39, 180 (1969)
- 12) B. Laszkiewicz, H. Struszczyk; Przegląd Włok. 28, 92 (1974)
- 13) Informationsblatt der Firma Berk Ltd., Chem. Manuf. Division, TB/3/71, TB/9/71, TB/13/72, TB/15/72
- 14) US-F 3,266.918 (1966)
- 15) Amer. Dyest. Rep. 62, 13 (1973)
- 16) US-P 3,532.526 (1970)
- 17) DOS 2,306.510 (1973)
- 18) DOS 2,310.278 (1973)
- 19) Jap. F. 466.104 (1972)
- 20) DP 1,169.491 (1972)
- 21) Jap. P. 7,106.104 (1971)
- 22) Jap. F. 7,204.725 (1972)
- 23) DOS 2,139.180 (1972)
- 24) L. E. A. Gofrey; Text. Res. J. 40, 116 (1970)

Diskussion

Gotschy: Sie haben in Ihrem Referat Waschversuche erwähnt, bei denen Sie Ihr Flammschutzmittel POX dem Flammenschutzmittel Flammex gegenübergestellt haben. Hat es sich hierbei um Kochwäschen oder um Hauswäschen gehandelt?

Außerdem habe ich entnommen, daß Sie Ihre Seiden relativ rasch verarbeitet haben. Wurde auch der Versuch gemacht, Stapelfasergarne herzustellen? Und wenn ja — wie sind deren Laufeigenschaften, verglichen mit jenen von normaler Zellwolle?

Skwarski: Die Waschttemperaturen betragen zwischen 70 und 75 ° C, 30 Minuten lang, in einer Lösung von 5 g/l Pretegon G als oberflächenaktives Mittel.

Wir haben keine Stapelfasergarne erzeugt. Die Gewirke wurden aus Seide hergestellt.

Albrecht: War die Seide gedreht oder ungedreht, bzw. wenn gedreht, wie hoch gedreht?

Skwarski: Die Seide wurde auf den Zentrifugalspinnmaschinen gesponnen und nachher noch nachgedreht.

Krässig: Als Ergänzung und Erklärung zu der Frage von Herrn Dr. Gotschy möchte ich anführen, daß wir beobachtet haben, daß flüssige Flammenschutzmittel beim Lagern und beim Verarbeiten partiell herausdiffundieren. Hierdurch wird das Spinnverhalten von mit deren Hilfe hergestellten schwerentflammbaren Viskosestapelfasern deutlich erschwert. Dies wirkt sich speziell bei der Herstellung sehr feiner Garne hoher Nummern aus.

Interessant war für mich vor allem der von Ihnen festgestellte Einfluß des Flächengewichtes auf den LOI-Wert. Das deutet darauf hin, daß bei textilen Substraten der LOI-Wert nicht generell als Materialkonstante anfällt. Es müßte daher das Brennverhalten im Senkrechttest zu den LOI-Werten in Beziehung stehen.

Skwarski: Wir haben unsere Gewirke auch mit Hilfe der Standardprüfmethoden untersucht, das heißt im Brennkasten nach den Senkrecht- und den Horizontalmethoden. Die Übereinstimmung zwischen diesen verschiedenen

Untersuchungsmethoden und den LOI-Wertbestimmungen war sehr befriedigend.

Albrecht: Sie haben uns die Auswaschkurven gezeigt und uns mitgeteilt, daß sich POX besonders günstig verhält. Wie erklären Sie das im Vergleich zu anderen Produkten? Finden hier Agglomerationen in der Faser statt, das heißt, wird eine Teilchenvergrößerung erzielt, oder gehen sogar Reaktionen zwischen POX und der Zellulose vor sich?

Skwarski: Es ist für mich sehr schwer, dieses Verhalten zu erklären. Dies hängt sicher mit der chemischen Zusammensetzung von Flammex und unserem POX zusammen, obwohl beide zur selben Gruppe von Flammschutzmitteln gehören.

Krässig: Nach unseren Erfahrungen spielen immer zwei Faktoren mit: einerseits die Löslichkeit des verwendeten Flammschutzmittels in Wasser bzw. in der Waschlösung und andererseits die Hydrolysestabilität. Es ist ja bekannt, daß diese sehr stark von der Substitution am Phosphor beeinflusst wird. Wenn es sich um einen sterisch sehr hindernden Substituenten handelt, dann wird die Verseifung des Esters schwerer vor sich gehen als bei einem kleineren Substituenten oder einem sterisch weniger hindernden. Dafür liegen einige Erfahrungen vor.

Skwarski: POX ist relativ hydrolysebeständig, während wir bei Flammex schon beim Einrühren in die Viskose eine geringfügige Hydrolyse beobachteten.

Albrecht: Sie haben gesagt, daß der Reifegrad schon beim Einrühren sehr rasch ansteigt. Ist es eine pH-Abhängigkeit? Handelt es sich dabei um einen Koagulationseffekt? Oder wie können Sie das anders erklären?

Skwarski: Den genauen Mechanismus dieser Erscheinung haben wir nicht untersucht, doch gehen die Änderungen des Reifegrades und der Gammazahl nicht so weit, daß der Spinnprozeß dadurch beeinflusst würde.

Albrecht: Zum Spinnbad möchte ich noch eine Frage

stellen: Sie haben gezeigt, daß relativ wenig des Flammschutzmittels (50—60 %) in der Faser wieder gefunden wird, das heißt, es müßten doch 40 bis 50 % davon im Spinnbad vorliegen?

Skwarski: Nur im Falle eines schlechten Flammschutzmittels!

Albrecht: Ja, genau. Machen nun diese Mengen Schwierigkeiten, wenn das Spinnbad eingedampft oder dem Abwasser zugeführt wird?

Skwarski: Wir haben unsere speziell vorbereitete Viskose nur an einem Spinnpunkt der industriellen Spinnmaschine eingesetzt und haben daher die Zusammensetzung des Fällbades und die Auswirkungen in diesem besonderen Fall nicht kontrolliert.

Albrecht: In Ihren Festigkeitswerten waren relative Werte angegeben, in den Dehnungswerten aber absolute Werte, das heißt die absolute Dehnungshöhe. Handelte es sich bei den relativen Werten um jene einer Faser mit sehr hoher Ausgangsfestigkeit? Oder war es eine normale Zellwolle?

Skwarski: Es war eine Normalzellwolle.

Harms: Wie verhält sich die Verspinnbarkeit der Fasern, insbesondere bei flüssigem Flammschutzmittel? — Wie verhalten sich die Fasern in bezug auf ihre Gebrauchseigenschaften, das heißt beispielsweise hinsichtlich Sprödigkeit, Abriebfestigkeit und Schlingenfestigkeit?

Albrecht: Es war immer nur von Seide die Rede, und es wurde kein Fasergarn hergestellt.

Skwarski: Die Gewirke, die aber aus diesen Seiden hergestellt wurden, fühlen sich ziemlich weich an. Daraus würde ich schließen, daß die Sprödigkeit relativ gering ist.

Albrecht: Haben Sie Meßwerte für die Schlingenfestigkeit vorliegen?

Skwarski: Nein, die haben wir nicht untersucht.

Probleme bei der Herstellung und anwendungstechnische Erfahrungen beim Einsatz schwer entflammbarer Viskosefasern

Dozent Dr. habil. Hans Krässig
Chemiefaser Lenzing AG, Lenzing

Herrn Professor Dr. K. Krazl, Wien, zum 60. Geburtstag gewidmet.

Der Mechanismus der Pyrolyse bzw. der Verbrennung zellulosischer Substrate und deren Beeinflussung durch flammhemmend wirkende Substanzen wird kurz besprochen.

Durch differential-thermoanalytische und durch thermogravimetrische Untersuchungen an Flammenschutzmitteln, an Mischungen von Flammenschutzmitteln mit Zellulose bzw. an durch Inkorporation von Flammenschutzmitteln schwer entflammbar gemachten Viskosefasern wird die Wirkungsweise verschiedener Flammenschutzmittel demonstriert. Diese Untersuchungen werden den Ergebnissen von Flammhemmungsuntersuchungen an Geweben aus schwer entflammbaren Viskosefasern mit bestimmtem Gehalt an Flammenschutzmittel gegenübergestellt. Daraus leitet sich eine Beziehung zwischen der zu einer festgelegten Flammhemmung notwendigen Einspinnmenge und der thermischen Wirkungsweise ab.

Als Ergebnis dieser Bewertung stellt sich eine phosphorhaltige organische Verbindung, deren chemische Struktur vom Hersteller bisher nicht mitgeteilt wurde, als gut wirksam heraus. Diesem Flammenschutzmittel wird aus vielfachen Gründen, wie gute Einspinnausbeute, hohe Alkali- und Säurestabilität, gute Wasch- und Bleichstabilität und geringe Beeinflussung der Färbbarkeit, der Vorzug gegeben.

In einem abschließenden Kapitel werden anwendungstechnische Erfahrungen mit verschiedenen schwer entflammbaren Viskosefasern mitgeteilt, die sich auf die Beeinflussung der Eigenfarbe der Fasern, das Bleichverhalten, das Garnspinnverhalten und das Verhalten beim Waschen oder Chemisch-Reinigen beziehen.

The mechanism of the pyrolysis or burning of cellulosic substrates and the effect of flame-retardant additives are discussed.

By differential thermoanalysis (DTA) and by thermogravimetric studies (TGA) on flame-retardant additives, on mixtures of flame-retardant additives with cellulose and on viscose fibres, containing flame-retardant additives, the effect of various flame-retardant compounds has been investigated. The results of such investigations were related to the results of measurements of the flame-retardant properties of fabrics made from flame-retardant viscose fibres containing a certain amount of flame-retardant. A relation is found between the necessary content of flame-retardant additives in viscose fibers to achieve the desired flame-retardancy and the results of the thermocharacteristics found by DTA and TGA.

As result of such investigations, a phosphorous containing organic compound, the structure of which has not been released by the manufacturer, was found especially active. The use of this solid flame-retardant for the manufacture of flame-retardant viscose fibres, is suggested also by a good incorporation yield, a high alkali- and acid-stability, an excellent laundering and bleaching stability and by a tolerable change in dyeing properties.

In a final chapter, application experience with different flame-retardant viscose fibres, is reported, especially with respect to the effect of the flame-retardant on the brightness of the fibres, on the response to bleaching, on the spinning behaviour of the fibres to yarn and on the laundering and dry cleaning behaviour.

Einleitung

Warengesetzliche Vorschriften in vielen Ländern schreiben in zunehmendem Maße vor, daß Textilien ebenso wie andere Gebrauchsgüter bezüglich ihrer Entflamm- und Brennbarkeit keinen außergewöhnlichen Gefahrenfaktor darstellen dürfen¹. Hierüber wurde in den vorangegangenen Vorträgen bereits erschöpfend berichtet.

Es war im Rahmen dieser Entwicklung nur natürlich, daß sich alle Hersteller von Chemiefasern, darunter auch die Hersteller zellulosischer Fasern, seit längerem um die Entwicklung schwer entflammbarer Chemiefasern bemühen.

Zur Herstellung schwer entflammbarer Viskosefasern stehen prinzipiell zwei Wege zur Verfügung:

- einmal die rein physikalische Einlagerung flammhemmender Mittel in die Faser durch Zufügung zur Spinnlösung, und
- zum anderen die chemische Bindung flammhemmender Substituenten oder Seitenketten an das Zellulosemolekül mittels Substitution oder Pffropfung.

Hierüber — über einige Probleme der Herstellung, der Weiterverarbeitung und der Eigenschaften — hat Dr. Harms bereits auf der 12. Internationalen Chemiefasertagung im Jahre 1973 berichtet².

In der Zwischenzeit haben wir diese beiden Wege zur Herstellung schwer entflammbarer Viskosefasern weiterverfolgt. Aus Gründen der Verfügbarkeit hochwirksamer Flammenschutzmittel, der schwer löslichen verarbeitungstechnischen Probleme sowie zum Teil auch aus wirtschaftlichen Überlegungen traten die Einspinnung flüssiger Flammenschutzmittel sowie das Schwerentflammarmachen durch Pffropfmodifikation für uns neuerdings etwas in den Hintergrund.

In diesem Referat soll über Erkenntnisse, die wir bei der Anwendung fester Flammenschutzmittel zur Herstellung schwer entflammbarer Viskosefasern gewonnen haben, berichtet werden. Hierbei werden wir Probleme der Einspinnung solcher Flammenschutzmittel, die Eigenschaften der mit ihnen erhaltenen Fasern und Erfahrungen bei deren Weiterverarbeitung und Veredelung behandeln.

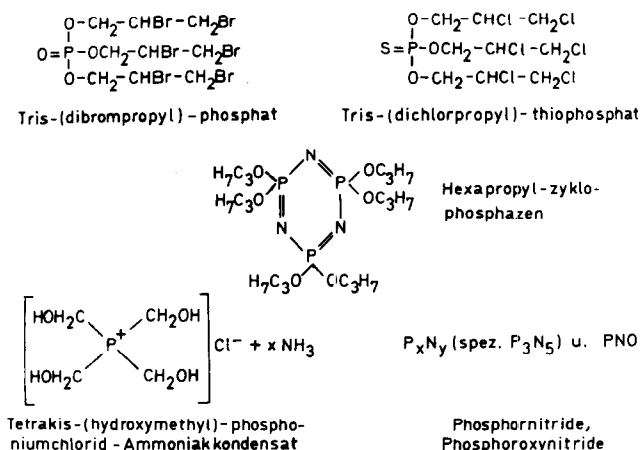


Abb. 1: Formelschemata diverser fester und flüssiger Flammenschutzmittel

Wirkungsweise der Flammschutzmittel

Die Wirksamkeit von Flammschutzmitteln in ihrem Zusammenspiel mit dem textilen Substrat kann man mit Erfolg mittels Differentialthermoanalyse und Thermogravimetrie studieren und verfolgen³. Wir haben die uns interessierenden festen Flammschutzmittel — und zum Vergleich einige der als hochwirksam bekannten flüssigen Einspinnmittel — auf diese Weise untersucht.

Wechselwirkung: Zellulose — Flammschutzmittel

Die Untersuchungen erstreckten sich auf die in Abbildung 1 angeführten festen und flüssigen Flammschutzmittel, wie Kondensate des Tetrakis-(hydroxymethyl)-phosphoniumchlorids, einige Phosphornitride bzw. Phosphornitridoxide, und auf ein phosphor-organisches Produkt unbekannter Struktur als uns interessierende feste Einspinnmittel. Zum Vergleich wurden herangezogen: Tris-(dibrompropyl)-phosphat, Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat und Hexapropyl-cyclo-phosphazen als bereits länger bekannte flüssige Einspinnmittel. Letztere waren Gegenstand des Vortrags von Professor Dr. Skwarski.

Die thermoanalytischen Untersuchungen wurden sowohl an rein physikalischen Gemischen als auch an

Viskosefasern durchgeführt, die die Flammschutzmittel in feinstdisperser Form eingesponnen enthielten.

Nach der Art der Wechselwirkung kann man die von uns untersuchten Flammschutzmittel in zwei Gruppen einteilen:

- a) Die erste Gruppe (vgl. Abb. 2) umfaßt Flammschutzmittel, die im Verein mit Zellulose letztere veranlassen, sich schon im Bereich von 220 bis 280° C statt erst bei 330 bis 360° C thermisch zu zersetzen. Der prinzipiell endotherme Charakter der pyrolytischen Zersetzungsreaktion der Zellulose wird hierbei nicht geändert. Zu dieser Gruppe gehören das Tris-(dibrompropyl)-phosphat, das Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat, die Tetrakis-hydroxymethyl-phosphoniumchloridkondensate und das phosphor-organische Produkt, dessen Struktur uns nicht genau bekannt ist. Letzteres zeigt im Thermogramm des Gemisches mit Zellulose bei 230 bzw. 282° C noch erkennbare Reaktionen, die dem Flammschutzmittel allein zuzuordnen sind.
- b) Die zweite Gruppe (vgl. Abb. 3) umfaßt Flammschutzmittel, die gleichfalls die Zersetzung der Zellulose bei erniedrigter Temperatur veranlassen, dabei aber gleichzeitig eine deutliche Änderung der Wechselwirkung im Sinne des Auftretens starker exothermer Vorgänge hervorrufen. Zu dieser Gruppe gehören speziell das Hexapropyl-cyclo-phosphazen und das Phosphornitrid. Ersteres leitet die nunmehr exothermen Zersetzungs Vorgänge schon bei etwa 250° C ein, während das Phosphornitrid — wahrscheinlich seiner schon erwähnten thermischen Stabilität wegen — die Zellulose erst bei etwa 290° C zur pyrolytischen Zersetzung veranlaßt.

Es muß erwähnt werden, daß das exotherme Verhalten, zum Beispiel im Falle des Phosphornitrids, auch dann auftritt, wenn das Flammschutzmittel allein bei Hitzeeinwirkung keine derartige Reaktion zeigt.

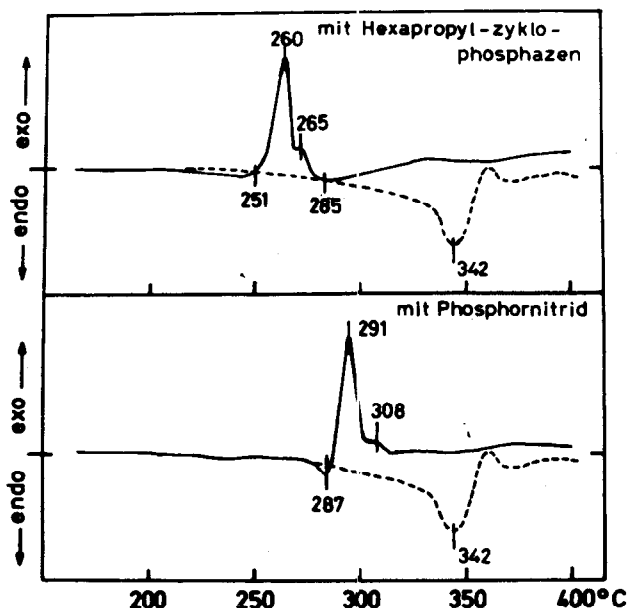
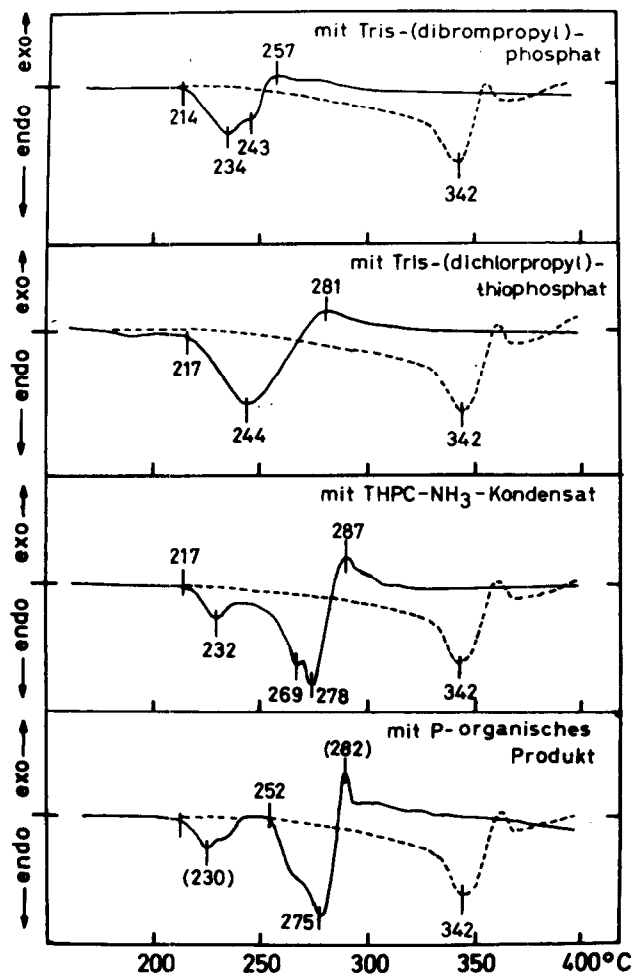


Abb. 2: Ergebnisse differential-thermoanalytischer Untersuchungen über die Wechselwirkung zwischen Zellulose und verschiedenen Flammschutzmitteln (überwiegend endotherme Reaktion)

Abb. 3: Ergebnisse differential-thermoanalytischer Untersuchungen über die Wechselwirkung zwischen Zellulose und verschiedenen Flammschutzmitteln (überwiegend exotherme Reaktion)

Wir haben Grund zu der Annahme, daß im Falle des Hexapropyl-cyclo-phosphazens und des Phosphornitrids ein von den anderen Flammenschutzmitteln, in denen Phosphor und Stickstoff entweder nicht vorhanden sind oder in keiner direkten Atombindung stehen, unterschiedlicher Wirkungsmechanismus zur Geltung kommt. Bei diesen der zweiten Gruppe zugehörigen Verbindungen dürfte die weitgehende Dehydratisierung der Zellulose ohne Depolymerisation und ihre Überführung in Kohlenstoff bei gleichzeitiger Bildung von Phosphorsäure die vorrangige Reaktion sein. Die schnellere Ausbildung eines Kohlenstoffgerüsts ist in diesem Falle die Ursache der Flamm- und Brennhemmung.

Demgegenüber darf angenommen werden, daß die Wirkungsweise der zuerst genannten Gruppe von Flammenschutzmitteln darauf beruht, daß die normale pyrolytische Zersetzung unter dehydratisierender Depolymerisation und Bildung flüchtiger Spaltprodukte schon bei Temperaturen einsetzt, bei denen für viele von ihnen der Flammpunkt noch nicht erreicht ist.

Thermoanalyse und Thermogravimetrie

Die Verbindung von thermoanalytischen mit thermogravimetrischen Untersuchungen zeigt, wie die Beispiele in Abbildung 4 belegen, daß die im Thermogramm beobachtete, vorzeitig erfolgende thermische Reaktion der Zellulose im Verein mit den Flammschutzmitteln eine tatsächlich früher einsetzende Zer-

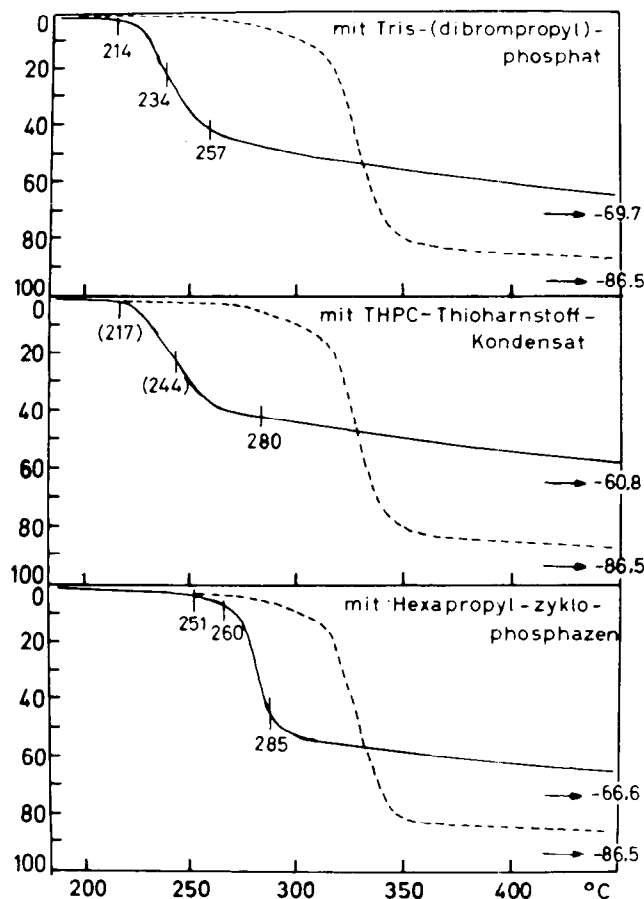


Abb. 4: Verlauf der pyrolytischen Zersetzung von Zellulose allein (---) und in Gegenwart verschiedener Flammschutzmittel (—), verfolgt mit Hilfe von thermogravimetrischen Untersuchungen

setzung ist, die unter Substanzverlust abläuft. Dieser Substanzverlust findet, wie die in die Darstellungen aufgenommenen Temperaturangaben zeigen, im selben Temperaturbereich statt, in dem die Thermoanalyse das Auftreten endo- bzw. exothermer Reaktionen anzeigt.

Die Ergebnisse der Gravimetrie belegen weiter, daß bei pyrolytischer Zersetzung in Gegenwart von Flammschutzmitteln wesentlich größere Pyrolysenrückstände zurückbleiben als bei der pyrolytischen Zersetzung der Zellulose allein.

Diese wenigen Beispiele der Ergebnisse thermogravimetrischer Untersuchungen, die wir fremden Arbeiten⁴ entnommen haben, weisen darauf hin, daß thermoanalytische Untersuchungen und die dabei beobachteten Temperaturbereiche pyrolytischer Reaktionen durchaus für sich allein als Indikation für die Wirksamkeit von Flammschutzmitteln in Verbindung mit Zellulose angesehen werden können.

Herstellungsprobleme schwer entflammbarer Viskosefasern

Bei der Herstellung schwer entflammbarer Viskosefasern durch Einspinnung flammhemmender Verbindungen ergeben sich eine Reihe von Problemen.

Thermische Wirkungsweise und benötigte Einspinnmenge

Zur Erreichung einer den bisher bestehenden Vorschriften entsprechenden Hemmung des Entflammungs- und Brennverhaltens von Geweben oder Gewirken ist ein Mindestgehalt an Flammschutzmittel innerhalb oder auf der Faser notwendig. Diese Mindestmenge ist von der Wirksamkeit des Flammschutzmittels und der Natur der in ihm enthaltenen wirksamen Atome bzw. Atomgruppierungen und ihren Bindungsverhältnissen abhängig.

Um zu entsprechen, sollte ein Gewebe oder Gewirke mit einem Flächengewicht von ca. 200 g pro Quadratmeter beim Senkrechttest nach der DIN 53 906 in Anlehnung an die amerikanischen Bestimmungen für Kindernachbekleidung folgende Bedingungen erfüllen:

- a) die durchschnittliche Verkohlungszone von 5 Proben darf in keinem Falle länger als 178 mm (= 7 inch) sein,
- b) keine Einzelprobe darf eine Verkohlungszone länger als 254 mm (= 10 inch) ergeben, und
- c) keine Einzelprobe darf nach Entfernung der Zündflamme länger als 10 Sekunden nachbrennen.

Gemäß der DIN 53 906 wird ein Gewebestreifen von 5 x 35 cm aufrecht in einen genormten Halter eingespannt und in einem Brennkasten genau festgelegter Größe und Bauart für jeweils 3 bzw. 15 Sekunden an der unteren Kante mit einer ebenfalls detailliert festgelegten Propangasflamme von 4 cm Länge beflammt. Die Nachbrenndauer nach Wegnahme der Zündflamme und die Länge der angebrannten Zone nach einem genormten Aufreißvorgang unter festgelegter Gewichtsbelastung werden gemessen.

In der folgenden Tabelle (Tab. 1) sind die Ergebnisse von Einspinnversuchen mit verschiedenen flammhemmend wirkenden Einspinnmitteln, die wir an einer speziell hierfür adaptierten Einstellenspinnan-

Tabelle 1: Ermittlung des nötigen Gehaltes an Flammenschutzmittel (FSM) für Viskosefasern, damit sie in ihrer Entflamm- und Brennhemmung der DIN 53 906 entsprechen

1.) Für Phosphornitrid

% FSM in atro Faser g pro m ²	8,2				13,0				16,6				18,0			
	3"		15"		3"		15"		3"		15"		3"		15"	
DIN 53 906	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI
250	brennt	brennt	brennt	brennt	brennt	brennt	brennt	brennt	0	14	0	89				
330	brennt	brennt	brennt	brennt	0	110	3	37	0	72	0	9	0	96		

2.) Für phosphor-organisches Produkt

% FSM in atro Faser g pro m ²	12,5				14,7				16,3					
	3"		15"		3"		15"		3"		15"			
DIN 53 906	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI	Bd	EI		
250*			11	183	0	145	2	9	0	164	3	10	0	110
330			brennt	brennt	3	39	0	90	3	33	0	70		

* = Gewirke Bd = Nachbrenndauer (sec) EI = Einbrennlänge (mm)

lage zur Ermittlung der zur Erreichung genügender Zünd- und Brennhemmung notwendigen Mindestmenge an Flammenschutzmittel durchführten, zusammengestellt.

Die Ergebnisse, an zwei Beispielen demonstriert, zeigen, daß die Viskosefasern zur Erfüllung der eben erwähnten Bedingungen von dem leichter zersetzlichen, festen phosphor-organischen Produkt deutlich geringere Mengen, nämlich nur 18 bis 19%, zu enthalten brauchen als bei Verwendung des wesentlich thermostabileren Phosphornitridprodukts, von dem 20 bis 21% benötigt werden.

Betrachtet man die Ergebnisse solcher Bestimmungen der für eine ausreichende Hemmung des Entzündens und Brennens notwendigen Mindestmengen an Flammenschutzmittel in der Faser, die wir auch für die übrige

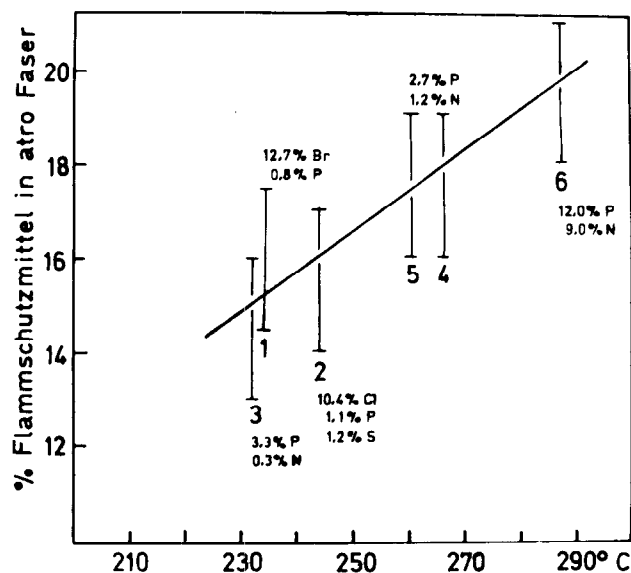


Abb. 5: Beziehung zwischen der Temperatur, bei der die thermische Wechselwirkung zwischen Zellulosesubstrat und Flammenschutzmittel einsetzt, und dem zur genügenden Flammhemmung nötigen Gehalt an Flammenschutzmittel

- 1 = Tris-(dibrompropyl)-phosphat
- 2 = Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat
- 3 = THPC-NH₃-Kondensat
- 4 = P-S-haltiges Produkt
- 5 = Hexapropyl-cyclo-phosphazen
- 6 = Phosphornitrid

gen, von uns näher untersuchten Zusatzmittel durchführten, im Zusammenhang mit den Ergebnissen der schon geschilderten thermoanalytischen Untersuchungen, so ergibt sich eine interessante Beziehung, die in Abbildung 5 wiedergegeben ist.

Je früher bei Hitze einwirkung die Wechselwirkung zwischen Fasersubstrat und Flammenschutzmittel einsetzt, umso geringere Mengen an letzterem werden offensichtlich benötigt, um eine zufriedenstellende Hemmung der Entzündung bzw. des Brennens zu erreichen.

Einspinnverluste

Nach diesen Ergebnissen allein zu urteilen, wäre den flüssigen Einspinnmitteln, speziell den halogenhaltigen Alkylphosphatesteren, ein Vorrang einzuräumen. In seinem Vortrag bei der 12. Chemiefasertagung hatte Dr. Harms jedoch bereits darauf hingewiesen, daß flüssige Inkorporationsmittel zur Flammfestmachung in die Faser nicht vollständig eingelagert werden. Speziell bei der Anwendung modifizierter Spinnweisen zur Erhaltung hochfester Fasern, wie zum Beispiel der Hochmodulspinnweise, bei der die frisch ersponnene Faser in ausgeprägter Gelform anfällt, und bei der Herstellung niedrigtitriger schwer entflammbarer Fasern treten bedeutende Einspinnverluste auf. Diese Einspinnverluste müssen durch entsprechend erhöhte Einsatzmengen des Flammenschutzmittels zur Viskose ausgeglichen werden, wie dies Tabelle 2 zeigt.

Bei festen Flammenschutzmitteln treten solche Einspinnverluste, wenn überhaupt, nur bei der Einspinnung niedrigtitriger Fasern auf. Hierin liegt ein wesentliches Plus für die festen Einspinnmittel, das speziell bei der Herstellung niedrigtitriger schwer entflammbarer Viskosefasern in deutlich niedrigeren Einsatzmengen seinen Niederschlag findet. Hinzu kommt noch, daß verringerte Einspinnverluste eine Reduzierung der Gefahr, der Verunreinigung der Spinn- und Nachbehandlungsbäder bzw. der Abwässer bedeuten.

Kostensituation

In engem Zusammenhang mit den erforderlichen Einsatzmengen an Flammenschutzmitteln steht ein Problem, das allen schwer entflammbaren Fasern heute leider noch eigen ist, nämlich das Problem der Kosten. Die in

Tabelle 2: Theoretisch notwendiger Mindestgehalt, Einspinnverluste und praktische Einsatzmengen an Flammenschutzmittel sowie die sich daraus ergebende Kostensituation für schwer entflammbare Viskosefasern

Flammenschutzmittel	% FSM notwendig in Faser		% Einspinnverlust		% Einsatz bez. auf 100% Fas.		Zusatzmenge z. Viskose/100% z.		Rel. Faserpreis (nZW=100)
	>4 dtex	<4 dtex	>4 dtex	<4 dtex	>4 dtex	<4 dtex	>4 dtex	<4 dtex	
Tris-(dibrompropyl)-phosphat (= 375)	14,5	17,5	10	27	16	24	19	31	156 - 219
Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat (= 400)	14,0	17,0	8	22	15	23	18	28	158 - 216
Hexapropyl-zyklo-phosphazen (= 800)	15,0	18,0	7	20	16	23	19	29	237 - 311
THPC-NH ₃ -Kondensat (= 1110)	13,0	16,0	-	10	13	18	15	22	255 - 357
Phosphor-organisches Produkt	16,0	19,0	-	2	16	19	20	23	
Phosphornitrid (= 490)	18,0	21,0	-	-	18	21	22	27	194 - 240

Bemerkung: >4 dtex auf Basis Normalfaserverfahren <4 dtex auf Basis HWM-faserverfahren

Tabelle 2 bei den Flammenschutzmitteln in Klammer angegebenen Zahlen bedeuten deren relativen Kaufpreis, bezogen auf den Preis von Normalzellwolle = 100. Wie Sie daraus erkennen, sind die Flammenschutzmittel um ein Vielfaches teurer als der Verkaufspreis der Viskosefasern.

Der relativ großen Einspinnmenge wegen ergeben sich daher für die schwer entflammaren Fasern Verkaufspreise, die um mehr als das Eineinhalbfache, ja bis über das Dreifache über den Preis normaler Zellwollfasern hinausgehen. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß auch nachträgliche Ausrüstungen von Zellwollgeweben, um sie schwer entflammbar zu machen, relativ teuer sind. In einer Studie der amerikanischen LeBlanc Research Corporation aus dem Jahre 1972 sind hierfür Preise von 25 bis 50 Cent per Yard erwähnt.

Es wird nun sehr von den für die verschiedenen Einsatzgebiete erlassenen Bestimmungen und den damit verbundenen Prüfmethode n abhängen, ob und wo man mit geringeren Einspinnmengen an Flammenschutzmitteln auskommen kann, oder ob man auf teurere Lösungen zurückgreifen muß. Hier gilt — wie vielfach im Leben — der Grundsatz: „Sicherheit kostet Geld, und absolute Sicherheit kostet sehr viel Geld.“

Spezielle Eigenschaftsprobleme

Die Herstellung schwer entflammarer Viskosefasern bietet bezüglich deren Eigenschaften einige spezifische Probleme. Hier kann, der Kürze der Zeit wegen, nur auf einige eingegangen werden, wie auf das Pro-

blem der Beeinflussung der Festigkeit durch das eingelagerte Flammenschutzmittel, auf das Problem der Übertragung einer Eigenfarbe des Flammenschutzmittels auf die resultierende Faser, auf das Problem der Bleichempfindlichkeit gewisser Flammenschutzmittel, sowie auf das Problem der Lichtstabilität von schwer entflammaren Fasern in bezug auf Vergilbung bzw. Festigkeitsverlust.

Festigkeitsbeeinflussung: In dem schon erwähnten, von Dr. Harms bei der 12. Chemiefasertagung hier in Dornbirn vor Jahren gehaltenen Vortrag hatten wir das Problem der Erniedrigung der Reißfestigkeit durch das eingesponnene Flammenschutzmittel bereits angesprochen. Nach unserer damaligen Erfahrung stellten wir fest, daß feste Flammenschutzmittel bei gleicher Einspinnung einer höheren Abfall der Reißkraft bzw. der titerbezogenen Reißfestigkeit zur Folge haben als flüssige Flammenschutzmittel.

Wie Abbildung 6 demonstriert, kann diese im Prinzip richtige Aussage heute dahingehend modifiziert werden, daß es durchaus auch feste Einspinnmittel gibt, die bei genügender Feinheit und optimaler Dispersion in der Faser in bezug auf die Festigkeitsbeeinflussung flüssigen Einspinnmitteln gleichkommen, wie zum Beispiel das phosphor-organische Produkt.

Durch die Wahl eines für den zu erspinnenden Fasertyp optimal geeigneten Spinnverfahrens, durch den Einsatz der für den erforderlichen Effekt nötigen Mindestmenge an Flammenschutzmittel sowie durch die Erreichung einer idealen Verteilung des letzteren im Faserverband ist es, wie in Tabelle 3 an zwei Beispielen illustriert, mit praktisch allen von uns untersuchten flüssigen und festen Flammenschutzmitteln prinzipiell möglich, den üblichen Viskosespinnfasern in ihren mechanisch-physikalischen Eigenschaften ebenbürtige Fasern herzustellen.

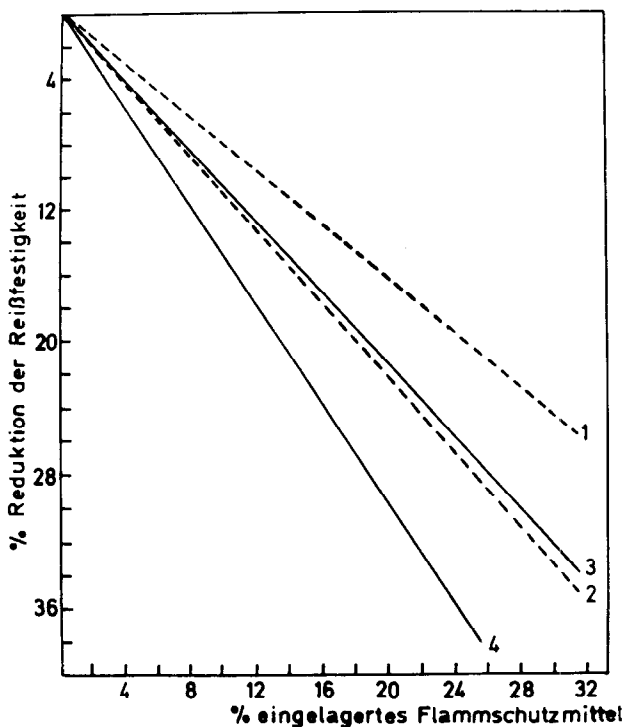


Abb. 6: Beeinflussung der titerbezogenen Festigkeit durch eingelagertes Flammenschutzmittel

- 1 = Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat
- 2 = Tris-(dibrompropyl)-phosphat
- 3 = P-S-haltiges Produkt
- 4 = Phosphornitrid
- 1 u. 2 = flüssig (- - -); 3 u. 4 = fest (—); 3,3-dtex-Fasern; HWM-Verfahren

Tabelle 3: Vergleich der Fasereigenschaften schwer entflammbarer mit denjenigen unmodifizierter Viskosefasern

Fasertyp Angewandtes Spinnverfahren Titer und Schnittlänge % FSM (P-organisches Produkt)	Flammfaseren		Vergleichsfasern		
	HWM 3,3/60 19	Normal 8,9/120 16	HWM 3,3/60 —	Normal 3,3/60 —	Normal 8,9/120 —
Titer (dtex)	3,47	9,28	3,52	3,38	9,01
± VB	0,06	0,18	0,06	0,11	0,20
Reißfestigkeit, kond. (p/tex)	26,50	18,40	26,80	22,80	19,40
± VB	0,40	0,30	0,80	0,50	0,60
Reißfestigkeit, naß (p/tex)	17,00	11,40	22,10	12,50	10,50
± VB	0,40	0,40	0,70	0,50	0,70
Relative Naßfestigkeit (in %)	64,00	62,00	82,10	54,80	54,10
Reißdehnung, kond. (in %)	16,80	16,80	13,80	20,10	22,50
± VB	0,30	1,00	0,80	1,20	0,70
Reißdehnung, naß (in %)	17,70	26,40	14,70	25,30	26,50
± VB	0,40	1,30	0,50	1,10	1,20
Schlingenfestigkeit, kond. (p/tex)	7,80	5,20	9,50	6,10	6,80
Relative Schlingenfestigkeit (in %)	24,50	28,30	26,70	28,80	34,00
Naßmodul (p/tex)	—	—	85,00	—	—
Bogenzahl	—	3,30	—	—	3,70

Eigenfärbung: Das Tris-(dibrompropyl)-phosphat, das Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat und die Phosphornitride bzw. Phosphoroxynitride zeigen je nach Reinheit und Konstitution eine ins Gelbliche bzw. ins Graue gehende Eigenfarbe. Diese überträgt sich mehr oder weniger stark auf die durch Einspinnung schwer entflammbar gemachte Viskosefaser.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der farbmetrischen Messungen für die ohne Hypochloridbleiche ersponne-

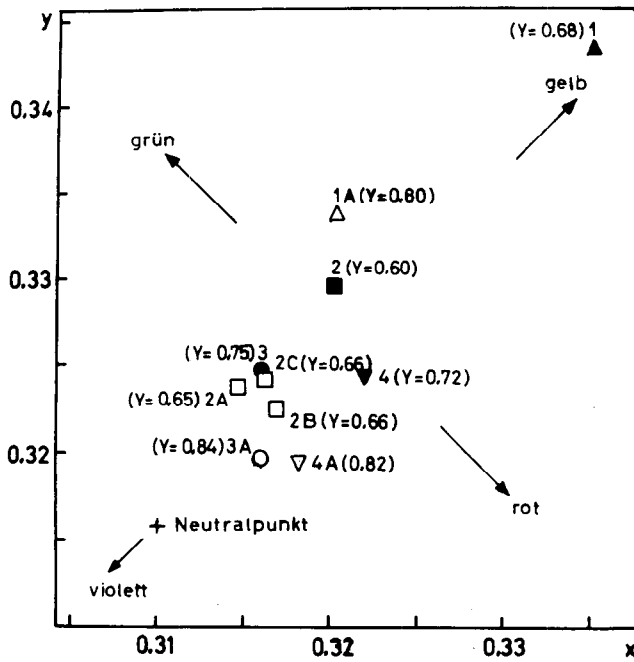


Abb. 7: Eigenfarbe schwer entflammbarer Viskosefasern und ihre Beeinflussung durch verschiedene Bleichbehandlungen

- 1 = Fasern mit Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat
- 2 = Fasern mit Phosphornitrid
- 3 = Fasern mit P-S-haltigem Produkt
- 4 = Hochmodulfasern zum Vergleich
- A = Natriumchloritbleiche (1,5 g/l)
- B = Natriumchloritbleiche (3,0 g/l)
- C = Wasserstoffperoxidbleiche

nen Fasern wiedergegeben. Bezüglich der Farbe bzw. dem Weißendruck schneiden die mit Hilfe der Einspinnung von Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat hergestellten schwer entflammbaren Fasern am schlechtesten ab. Etwas besser sind in dieser Hinsicht die Fasern, die mittels des Phosphornitridproduktes ersponnen wurden. Am besten schneidet bezüglich der Rohweiße der sich ergebenden Fasern das phosphororganische Produkt ab.

Bleichfähigkeit: Die Bleichfähigkeit unter Erhalt des FlammSchutzeffektes ist sowohl für die Herstellung schwer entflammbarer Viskosefasern als auch für deren Anwendung und Gebrauch von Bedeutung. Besonders interessiert hat uns diese Eigenschaft vor allem im Hinblick auf Fasern, die ein FlammSchutzmittel enthalten, das diesen eine unerwünschte Farbtönung verleiht.

In Abbildung 7 haben wir auch die farbmetrischen Ergebnisse an gebleichten schwer entflammbaren Geweben, die entsprechenden Bleichbehandlungen mit Wasserstoffperoxid oder mit Natriumchlorit unter üblichen Bedingungen unterworfen worden waren, aufgenommen. Sie zeigen, daß weder für die Proben aus tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat-haltigen Fasern noch für Proben aus phosphornitridhaltigen Fasern Weißgrade zu erreichen sind, wie sie Artikeln aus normalen Viskosefasern eigen sind. In dieser Eigenschaft befriedigen nur die schwer entflammbaren Fasern, die durch Einspinnung des festen phosphororganischen Produkts erhalten wurden, voll.

In diesem Zusammenhang war es auch wichtig, zu

prüfen, inwieweit Bleichbehandlungen zu einer Beeinträchtigung der Zünd- und Flammhemmung führen. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse diesbezüglicher Untersuchungen wiedergegeben.

Diese zeigen, daß Artikel aus mittels Phosphornitrid oder phosphororganischem Produkt schwer entflammbar gemachten Fasern einer Wasserstoffperoxidbleiche bzw. milden Natriumchloritbleiche unter den üblichen Bedingungen ohne Beeinträchtigung der Flammhemmung unterworfen werden können. Eine Verdoppelung der Natriumchloritkonzentration auf 3 g/l führt bei Gewirken aus phosphornitridhaltigen Fasern zu Anzeichen einer Beeinträchtigung des FlammSchutzeffektes. Gewebe aus mittels Einspinnung von Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat schwer entflammbar gemachten Fasern halten dagegen weder eine Bleiche mit Wasserstoffperoxid noch eine solche mit Natriumchlorit aus.

Tabelle 4: Einfluß von Bleichbehandlungen auf das Zünd- und Brennverhalten (gem. DIN 53 906) von Geweben bzw. Gewirken aus verschiedenen schwer entflammbaren Viskosefasern

FlammSchutzmittel in Faser Probe Behandlung	Flächen- gewicht g/m ²	% P	Beflammung	
			3''	15''
Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat:				
Unbehandeltes Gewebe	190		113 (7)*	129 (0)*
Schuß			115 (8)	121 (0)
--- H ₂ O ₂ -Bleiche			270 (18)	brennt
Schuß			brennt	207 (0)
--- Chloritbleiche			brennt	187 (0)
1,5 g/l			Schuß	brennt
--- Chloritbleiche			brennt	137 (0)
3,0 g/l			Schuß	brennt
Phosphornitrid:				
Unbehandeltes Gewebe	300	7,8	5 (1)	115 (0)
Schuß			7 (0)	53 (0)
--- H ₂ O ₂ -Bleiche			17 (7)	67 (0)
Schuß			7,2	77 (0)
--- Chloritbleiche				
1,5 g/l				
--- Chloritbleiche				
3,0 g/l				
Phosphororganisches Produkt:				
Unbehandeltes Gewebe	215		17 (2)	114 (0)
Schuß			18 (2)	97 (0)
--- H ₂ O ₂ -Bleiche			10 (1)	128 (0)
Schuß			12 (1)	118 (0)
--- Chloritbleiche			18 (3)	133 (0)
1,5 g/l			Schuß	13 (1)

* Einbrennlänge in mm (Nachbrenndauer in Sekunden)

Lichtstabilität: Eine für den Gebrauch wichtige Eigenschaft eines textilen Rohstoffes ist sein Verhalten bei längerer Belichtung. Um auch über das diesbezügliche Verhalten schwer entflammbarer Viskosefasern Aufschluß zu erhalten, wurden am Xenotester Belichtungsversuche an Garnen und Geweben bzw. Gewirken über eine Zeitdauer von 14 bzw. 28 Tagen durchgeführt. Die Untersuchungen erstreckten sich auf Proben aus Fasern, die als FlammSchutzmittel Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat, Phosphornitrid bzw. das phosphororganische Produkt eirgesponnen enthielten.

An den bestrahlten Garnen wurde der hierdurch bewirkte Festigkeitsabfall gemessen und mit dem Festigkeitsabfall verglichen, den Garne aus mit Titan-dioxid mattierte konventionellen Viskosefasern bei gleicher Behandlung zeigen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefaßt. Sie zeigen, daß durch Einspinnung schwer entflammbar gemachte Viskosefasern bei längerer Belichtung einem Festigkeitsabfall unterliegen, wie er für mattierte Zellulosefasern bekannt ist. Einen markanten Einfluß eines der drei FlammSchutzmittel gibt es hierbei nicht.

Tabelle 5: Festigkeitsabfall durch Belichtung (Xenotest) für Garne (Nm 10) aus verschiedenen schwer entflammaren Viskosefasern

Flammschutzmittel Behandlung	Festigkeit		Dehnung	
	p/tex	± VB	%	± VB
Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat:				
vor der Belichtung	8,44	0,25	7,65	0,30
nach 14 Tagen Belichtung	7,04	0,43	5,76	0,53
Veränderung in %:		-24,70		
Phosphornitrid:				
vor der Belichtung	7,50	0,60	10,10	0,35
nach 14 Tagen Belichtung	6,15	0,28	7,48	0,29
Veränderung in %:		-35,80		
Phosphor-organisches Produkt:				
vor der Belichtung	10,10	0,45	8,71	0,37
nach 14 Tagen Belichtung	8,44	0,37	7,87	0,48
Veränderung in %:		-9,60		
Normale Viskosefaser, glz.:				
vor der Belichtung	13,15	0,37	11,80	0,27
nach 14 Tagen Belichtung	12,63	0,48	10,90	0,41
Veränderung in %:		-7,60		
Normale Viskosefaser, matt:				
vor der Belichtung	11,80	0,39	11,20	0,44
nach 14 Tagen Belichtung	10,44	0,29	9,80	0,60
Veränderung in %:		-12,50		

Ein aus den drei verschiedenen schwer entflammaren Viskosefasern hergestelltes Gewirke wurde nach Bestrahlung farbmetrisch auf eine eventuelle, auf das jeweils verwendete Flammschutzmittel zurückführbare Vergilbungstendenz untersucht. Die in Abbildung 8 zusammengefaßten Ergebnisse lassen keinerlei nachteiligen Effekt erkennen. In allen Fällen hat die Bestrahlung eine eher aufhellende Wirkung — ähnlich der Bleiche. Diese ist beim Gewirke aus Fasern, die

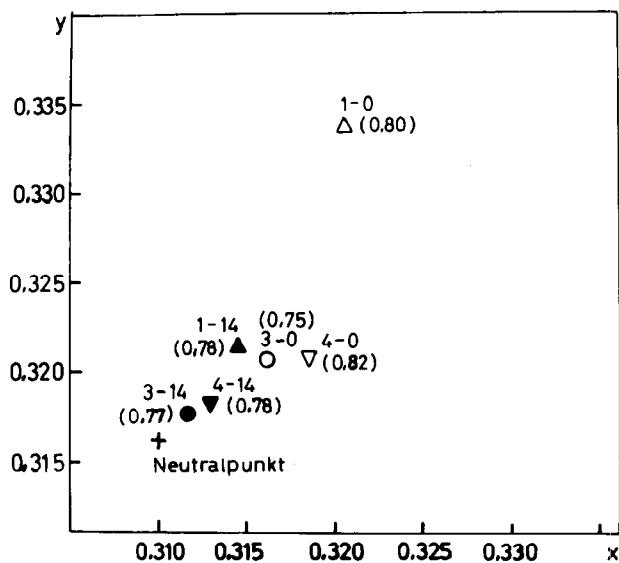


Abb. 8: Farbtonänderung schwer entflammaren Viskosefasern bei längerer Belichtung

1 = mit Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat
 3 = mit P-S-haltigem Produkt
 4 = Hochmodulfasern zum Vergleich
 (△ ○ ▽ = unbleicht; ▲ ● ▼ = 14 Tage belichtet)

das phosphor-organische Flammschutzmittel enthalten, am stärksten und bei dem Gewirke aus phosphornitridhaltigen Fasern am geringsten ausgeprägt.

Probleme der Verarbeitung schwer entflammaren Viskosefasern

Betreffend die Verarbeitung schwer entflammaren Viskosefasern, die durch Einspinnung verschiedener flüssiger bzw. fester Flammschutzmittel erhalten werden können, haben wir uns in unseren bisherigen Arbeiten vor allem auf

- das Verhalten bei der Erspinnung von Garnen,
- die Färbbarkeit und den Farbausfall,
- die Licht- und Waschechtheit von Färbungen,
- die Wasch- und Reinigungsstabilität, speziell in bezug auf eine eventuelle Reduzierung des Flamm-schutzeffektes, sowie auf
- das Gebrauchsverhalten, gemessen über das Scheuerschadensbild nach vielfacher Wäsche,

konzentriert.

Das Bleichverhalten haben wir bereits im vorhergehenden Kapitel im Zusammenhang mit den Herstellungsproblemen schwer entflammaren Fasern durch Inkorporation von Flammschutzmitteln behandelt.

Spinnverhalten in der Garnherstellung

Prinzipiell muß festgestellt werden, daß die Verarbeitung von schwer entflammaren Viskosefasern — nach dem heutigen Stand der Technik — Probleme mit sich bringt. Die Ursachen hierfür liegen in dem hohen Gehalt dieser Fasern an Flammschutzmitteleinlagerung, der im Falle flüssiger Einspinnmittel durch herausdiffundierende Anteile, im Falle fester Einspinnmittel durch aus der Faserfläche herausragende Partikel die Faserauflösung und die Verzugseigenschaften nachteilig beeinflußt. Nach unserer bisherigen Erfahrung sind diese Probleme für Fasern, die flüssige Einspinnmittel enthalten, größer und auch kaum durch Avivagewahl bzw. -auftragsmenge vollständig lösbar. Vor allem besteht bei diesen auch die Gefahr, daß sich das ursprünglich optimal eingestellte Haft-Gleit-Verhalten bei der Lagerung durch das Herausdiffundieren weiteren Flammschutzmittels unkontrollierbar ändern kann.

Die in Tabelle 6 zusammengefaßten Spinn-daten und Garnqualitäts-werte lassen erkennen, daß allein die mit dem festen phosphor-organischen Flammschutzmittel hergestellten Viskosestapelfasern ein durchaus akzeptables Spinnverhalten zeigen. Dennoch wird man sich bei der Verarbeitung einer solchen Faser, speziell nach dem Dreizylinderspinnverfahren, mit geringeren Produktionsgeschwindigkeiten in allen Verarbeitungsstufen der Garnherstellung zufriedengeben müssen.

Die Färbbarkeit und der Farbausfall

In der Regel erweisen sich durch Einspinnung von Flammschutzmitteln schwer entflammare gemachte Viskosefasern leichter und tiefer anfärbbar als normale Viskosefasern.

Um einen Überblick zu erhalten, wurden mit Blau-, Rot- und Gelbfarbstoffen aus der Klasse der substantiven, der reaktiven und der Indanthrenfarben orientierend diesbezügliche Versuche an schwer entflamm-

Tabelle 6: Daten über Spinnverhalten und Qualität aus schwer entflammaren Viskosefasern

Faser- bzw. Garn-type	Garnreißfestigkeit kond. p/tex	Garnreißdehnung kond. %	Usterwert %	Dünnstellen	Dickstellen	Noppen	Fadenbrüche pro 1000 Spindelsturen/ Stunde
3,3 dtex/60 mm [Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat] Garn tex 59 (Nm 17)	9,3	15,4	13,8	16	164	44	60
3,3 dtex/60 mm [Phosphornitrid] Garn tex 59 (Nm 17)	9,3	13,4	13,4	28	209	20	45
3,3 dtex/60 mm [Phosphororganisches Produkt] Garn tex 59 (Nm 17)	11,4	15,1	11,3	8	32	8	15
3,3 dtex/60 mm [HM 333] Garn tex 59 (Nm 17)	19,0	13,7	10,0	8	0	4	3

baren Fasern durchgeführt, die mittels Einspinnung von Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat bzw. mit dem phosphororganischen Produkt erzeugt worden waren.

Hierbei zeigt sich generell, wie in Tabelle 7 zusammenfassend nachgewiesen, daß die flammgehemmte Viskosefaser, die Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat als Flammschutzmittel enthält, gegenüber einer vergleichbaren Viskosefaser nur geringfügige Anfärbeunterschiede aufweist, die je nach Farbton Abweichungen von nur 3 bis 10 MAE betragen. Demgegenüber zeigen Fasern, die mittels Einspinnung des phosphororganischen Produkts schwer entflammbar gemacht worden waren, bei den Färbungen mit substantiven bzw. mit reaktiven Farbstoffen, unabhängig vom Farbton, große Anfärbeunterschiede, wobei es sich hier nicht nur um einen Helligkeitsunterschied, sondern vor allem um Farbtonverschiebungen handelt. Die Unterschiede sind hier mittels MA-Einheiten nicht mehr ausdrückbar, da sie größer als 10 sind. Beim Färben mit Indanthrenfarbstoffen hingegen konnten wir nur geringfügige Anfärbeunterschiede beobachten, die je nach Farbton 5 bis 10 MAE betragen.

Licht- und Waschechtheit von Färbungen

Sicherheitshalber haben wir auch geprüft, inwieweit

Tabelle 7: Anfärbeeigenschaften schwer entflammbarer Viskosefasern im Vergleich zum Färbeverhalten vergleichbarer üblicher Viskosefasern

	FÄRBEART		
	substantiv	reaktiv	indanthren
Fasern mit: Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat	geringfügige Anfärbeunterschiede je nach Farbton: ΔE = 3-10 MAE	geringfügige Anfärbeunterschiede je nach Farbton: ΔE = 2-7 MAE	geringfügige Anfärbeunterschiede je nach Farbton: ΔE = 5-10 MAE
Phosphororganisches Produkt	große Anfärbeunterschiede bei jedem Farbton: ΔE = > 10 MAE	große Anfärbeunterschiede bei jedem Farbton: ΔE = > 10 MAE	
Die angeführten Anfärbeunterschiede sind nicht nur Helligkeitsunterschiede sondern vor allem Farbtonverschiebungen.			

die Einspinnung von Flammschutzmitteln die Licht- und Waschbeständigkeit von Färbungen beeinflusst. Wir haben uns davon überzeugt, daß sich weder die Lichtechtheit noch die Waschechtheit, zumindest betreffend die von uns durchgeführten Färbungen mit ausgewählten Substantiv-, Reaktiv- und Indanthrenfarbstoffen, gegenüber der Licht- und Waschechtheit einer normalen Viskosefaser kaum ändert. Die Licht- und Waschechtheit liegen bei den substantiven Farbstoffen durchwegs zwischen 5 und 6, bei den reaktiven Farbstoffen zwischen 5 und 7 und bei den Indanthrenfarbstoffen zwischen 6 und 7, wie wir dies für die gleichen Färbungen an normalen Viskosefasern fanden.

Die Washstabilität des Flammschutzes

Die amerikanischen Bestimmungen, betreffend die zulässige Zünd- und Brenncharakteristik für Kinder-nachtbekleidung, enthalten die Vorschrift, daß die Gewebeprouben auch nach 50 Standardwäschen bei 60°C den Bestimmungen des Senkrechttests bezüglich Einbrennlänge und Nachbrenndauer in dem bereits früher erwähnten Maße entsprechen müssen.

Um das Verhalten der mit den verschiedenen von uns untersuchten Flammschutzmitteln durch Einspinnung schwer entflammbar gemachten Viskosefasern in dieser Hinsicht kennenzulernen, haben wir Gewebe bzw. Gewirke, die daraus hergestellt waren, Standardwaschbedingungen bei 60°C und Kochwaschbedingungen bei 95°C unterworfen. Die Standardwäschen bei 60°C wurden auf 50 Wäschen und die Kochwäschen bei 95°C auf 25 Wäschen ausgedehnt. Die Prüflinge wurden nach jeweils 10, 25 und 50 Wäschen dem Brenntest nach DIN 53 906 unterworfen.

Tabelle 8: Stabilität des Flammschutzeffektes schwer entflammbarer Viskosefasern gegenüber Wasch- und Reinigungsbehandlungen

Behandlung	Beflammungszeit (Sekunden)	Tris-(dibrompropyl)-phosphat		Phosphornitrid			P-organisches Produkt				
		% P	Bd	% P	Bd	EI	% P	Bd	EI		
Wasche bei 60°C:	10-mal	3	1,14	2	21	7,80	0	6	2,80	4	19
		15	0	111	0	55	0	73			
	25-mal	3	1,10	7	86	7,81	1	7	2,98	7	14
		15	0	106	0	55	0	55			
50-mal	3	0,94	brennt	7,48	0	3	2,95	10	153		
	15	0	154	0	61	0	104				
Kochwasche bei 95°C:	10-mal	3	0,84	brennt	6,37*	0	25	3,18	0	22	
		15	0	82	0	82	0	83			
	25-mal	3	0,68	brennt	6,43	2	32	3,09	0	17	
		15	0	83	0	83	0	107			
	50-mal	3	0,40	brennt	6,60	1	25	2,83	0	23	
		15	0	85	0	85	0	128			
Chemische Reinigung:	3	1,12	brennt	7,04	2	70	2,95	9	71		
	15	0	188	0	99	0	145				

Bd = Nachbrenndauer in Sekunden, EI = Einbrennlänge in mm, * = aus einer anderen Faserprobe hergestellt.

Wie Tabelle 8 zeigt, entsprechen die den Standardwäschen unterworfenen Gewebe bzw. Gewirke aus Fasern, die Phosphornitrid oder das phosphororganische Produkt als Flammschutz enthalten, bis zu 50 Wäschen den Vorschriften der für Kinder-nachtbekleidung geltenden amerikanischen Vorschriften, das heißt, sie halten diese Wäschen bei 60°C ohne Beeinträchtigung des Flammschutzeffektes aus. Gewebe bzw. Gewirke, die aus Fasern hergestellt sind, die Tris-(dichlorpropyl)-thiophosphat enthalten, halten hingegen nur 25 derartige Waschbehandlungen aus.

Gewebe bzw. Gewirke, die das Phosphornitrid bzw. das phosphor-organische Produkt als Flammenschutzmittel enthalten, stehen hingegen auch 25 Waschbehandlungen sogar unter Kochbedingungen ohne Verlust an Flammenschutzmittel und ohne Verlust der Flammhemmung durch.

Gebrauchsverhalten

Im Zusammenhang mit den Waschbehandlungen wurden auch Bewertungen des Schadensbildes durchgeführt, wie es sich nach vielfacher Wäsche ergibt. Es zeigte sich, daß erste Schäden in Form von gebrochenen Fäden an abgenähten Kanten erst zwischen der 40. und 50. Wäsche in geringfügigem Maße auftreten. In der Naßscheuerempfindlichkeit gleichen die Gebrauchseigenschaften von Geweben oder Gewirken aus schwer entflammaren Viskosefasern denjenigen Geweben oder Gewirken aus normalen Viskosefasern.

Einfluß von Konstruktionen und Anwendung in Mischtextilien

Zum Schluß sei noch kurz bemerkt, daß man bei der Anwendung schwer entflammbarer Fasern beachten muß, daß die Entflamm- und Brennbarkeit von Textilien sehr stark von der Konstruktion, der Dichte und der Oberflächenbeschaffenheit des zum Einsatz gelangenden Gewebes, Gewirkes oder Vliesstoffes abhängt bzw. davon beeinflußt wird. Diesen Tatsachen muß hier in besonderem Maße Rechnung getragen werden, wobei die Empfehlungen des jeweiligen Faserherstellers strikt zu beachten sind.

Analoges gilt für die Anwendung schwer entflammbarer Fasern in Mischung mit normalen Natur- bzw. Chemiefasern. Nach unseren eigenen Erfahrungen sind zum Beispiel Mischungen aus schwer entflammbaren Viskosefasern mit normalen Polyesterfasern nur bis zu einer Zumischung der letztgenannten von 10 % tolerierbar. Wenn möglich, sollten solche Mischungen vermieden bzw. es sollte durch entsprechende Vorversuche das Zünd- und Brennverhalten einer beabsichtigten Mischung mit normalen oder anderen schwer entflammbaren Fasern im geplanten Artikel geprüft werden. Beachtung muß auch dem Einfluß von Nahtmaterial, Futterstoffen und anderem Zubehör bei der Konfektionierung schwer entflammbarer Textilien gewidmet werden.

Zusammenfassung

1. Thermoanalytische Untersuchungen an Gemischen von Zellulose und Flammenschutzmitteln bzw. an Flammenschutzmitteln enthaltenden Zellulosefasern sind ein ausgezeichnetes Instrument zur Charakterisierung der Wirkungsweise eines Flammenschutzmittels.
2. Die flammhemmende Wirkungsweise eines Flammenschutzmittels beruht auf der Verlagerung der pyrolytischen Zersetzung der Zellulose zu niedrigeren Temperaturen. Zu je tieferen Temperaturen der Beginn der pyrolytischen Zersetzung der Zellulose verlagert wird, umso wirkungsvoller scheint ein Flammenschutzmittel zu sein und umso geringere Mengen werden davon benötigt.
3. Unter den von uns untersuchten flüssigen und festen Flammenschutzmitteln schnitt in der Gesamt-

bewertung ein phosphor-organisches Produkt, dessen Struktur uns nicht genau bekannt ist, im ganzen gesehen als Bestes ab. Diese Entscheidung basiert vor allem auf der guten Wirksamkeit, den sich daraus ergebenden relativ geringen Einspinnungen, dem guten Einspinnverhalten, der großen Feinheit und Gleichmäßigkeit der Verteilung, den sich daraus ergebenden guten physikalischen Eigenschaften der erhaltenen Fasern und deren problemloses Verhalten bei der Weiterverarbeitung in der Garnspinnerei sowie bei der Gewebe- bzw. Gewirkeherstellung, aber auch dem relativ problemlosen Verhalten bei Ausrüste- und Gebrauchsbehandlungen, wie zum Beispiel Färben, Waschen, Reinigen.

Literatur:

- 1) "Textile Flammability — A Handbook of Regulations, Standards and Test Methods"; American Association of Textile Chemists and Colorists 1974
G. Stamm: „Heutiger Stand der Brenn- und Entflammbarkeitsprüfung an Textilien“, 1., 2. u. 3. Mitteilung; *Textilveredlung* 6 (2) 103 (1971); 6 (10), 656 (1971); 10 (5), 201 (1975)
- 2) J. Harms und H. Krässig: „Schwer entflammbare Zellulosefasern“; Vortrag auf der 12. Internationalen Chemiefasertagung vom 18. bis 20. September 1973 in Dornbirn; *Lenzinger Ber.* 36, 214—221 (1974)
- 3) R. M. Perkins, G. L. Drake jr. und W. A. Reeves; *J. Appl. Polymer Sci.* 10, 1041 (1966)
A. E. Lipska und F. A. Wodley; *J. Appl. Polymer Sci.* 13, 851 (1969)
A. E. Lipska und G. E. McCasland; *J. Appl. Polymer Sci.* 15, 419 (1971)
J. E. Hendrix, J. E. Bostie jr., E. S. Olson und R. H. Barker; *J. Appl. Polymer Sci.* 14, 1701 (1970)
J. E. Hendrix und G. L. Drake jr.; *J. Appl. Polymer Sci.* 16, 41 (1972)
J. E. Hendrix, G. L. Drake jr. und R. H. Barker; *J. Appl. Polymer Sci.* 16, 257 (1972)
L. E. A. Godfrey; *Textile Res. J.* 40 (2), 116 (1970)
J. K. Smith, H. R. Rawls, M. S. Felder und E. Klein; *Text. Res. J.* 40, 211 (1970)
Y. Tsuchiya und K. Sumi; *J. Appl. Polymer Sci.* 14, 2003 (1970)
D. F. Arseneau; *Canadian J. Chem.* 49 (4), 632 (1971)
L. K. M. Lam, D. P. C. Fung, Y. Tsuchiya und K. Sumi; *J. Appl. Polymer Sci.* 17, 391 (1973)
F. L. Wodley; *J. Appl. Polymer Sci.* 15, 835 (1971)
M. M. Birky und K.-N. Yeh; *J. Appl. Polymer Sci.* 17, 239 (1973)
K.-N. Yeh, M. M. Birky und C. Huggett; *J. Appl. Polymer Sci.* 17, 255 (1973)
I. L. Ewäntowa et al.; *Chimitscheskie Wolokna* 4, 29 (1974)
- 4) L. E. A. Godfrey; *Textile Res. J.* 40 (2), 116 (1970)

Diskussion

Studt: Wir haben soeben von Herrn Dr. Krässig gehört, daß man heute schon in der Lage ist, Zellwollfasern herzustellen, die hinsichtlich Schwerentflammbarkeit allen Anforderungen gerecht werden. Die Kernfrage, die sich hier aber immer wieder erhebt, ist: Kann man das bezahlen, oder kann man das nicht bezahlen?

In einem Gewebe mit einem Quadratmetergewicht von 250 g, beispielsweise einem Deko- oder Möbelbezugsstoff, sind für ungefähr 4 Schilling Viskosefasern enthalten, wenn man es ganz aus Zellwolle herstellen will. Dieser Preis würde sich durchschnittlich um 2 Schilling (d. h. auf 6 oder — hoch gerechnet — auf 7 Schilling) erhöhen. Diese 3 Schilling dürften sich doch im Grund genommen auf den Endverbraucherpreis eines Gewebes kaum auswirken, zumal die Färbe-, Verspinnungs- und Webkosten gleich bleiben.

Ich hätte ganz gern einmal die Meinung von maßgeblichen Herren aus der Textilindustrie zu diesem Problem gehört.

Albrecht: Darf ich noch eine Frage vorwegnehmen? Dieser relative Preis, den Sie hier angegeben haben, Herr Dr. Krässig, enthält dieser nur die substantiellen Kosten oder auch Kosten für Spinnbad, Abwasser, Eindampfer und alle die damit zusammenhängenden Probleme?

Krässig: Die Verarbeitungskosten sind durchaus miteingerechnet worden.

Der Grund, warum wir uns schon vor einigen Jahren für feste Einspinnmittel entschieden haben, war der, daß wir der Ansicht sind, daß hier weniger Umweltprobleme und damit geringere Mehrkosten entstehen als im Falle der Verwendung flüssiger Einspinnmittel. Im Grunde spinnen wir feste Mittel zu 100 % ein, und es kommen keine Substanzen in die Bäder und somit ins Abwasser.

Albrecht: Darf ich nun auf die Frage von Herrn Dr. Studt zurückkommen? Ihre Berechnungen enthalten somit Material-, Spinn- und Nachbehandlungskosten, sodaß sich effektiv die Frage stellt, ob eine 50- bis 100%ige Preiserhöhung von der reinen Kostenseite her den Textilartikel umwerfen würde. Ich würde sagen: Ja, Herr Doktor Studt.

Ich habe in meiner langjährigen anwendungstechnischen Tätigkeit gelernt, daß diese 3 Schilling nicht als 3 Schilling weitergegeben werden, sondern daß diese irgendwelche Zusatzfaktoren erfahren, die ich selbst nicht kenne, sodaß solche Aufpreise meistens potenziert werden.

Von Herrn Dr. Tovey haben wir gehört, daß mehrere Milliarden Dollar vom Konsumenten für die Realisierung der entsprechenden Gesetze ausgegeben werden müssen, sodaß also mit einer Weitergabe von nur 3 Schilling nicht zu rechnen sein dürfte. Oder gibt es einen Kaufmann, der als Kaufmann diese 3 Schilling nur als 3 Schilling weitergäbe?

Keller: Da die Textilindustrie in bezug auf Preisgestaltung angesprochen wurde, erlaube ich mir dazu ein Wort zu sagen. Ich spreche aus der Sicht eines Spinners. Die Werte, die Sie uns für die Verspinnbarkeit angegeben haben, zeigen doch einen sehr deutlichen Unterschied zur Verspinnbarkeit einer Hochmodulfaser. Übertragen auf einen modernen Betrieb, bedeutet das, daß die Leistung des Betriebes heruntergesetzt werden muß. Eine normale Zellwolle kann als Durchlaufsortiment gehandhabt werden, während diese neuen Fasern sicher noch eine ganze Menge von Entwicklungen brauchen, bis sie so weit sind, sodaß man hier doch mit einer Erhöhung der Kosten — sowohl bei der Verarbeitung als auch beim Vertrieb — zu rechnen hat.

Ähnliche Effekte werden sicher auch in den Nachverarbeitungsstufen auftreten. Sicher wird auch der Färber vor einige Probleme gestellt, bis er die richtige Farbzusammenstellung findet, um die Kollektion in mehreren Farbnuancen so herauszubekommen, daß die Farben dem entsprechen, was er sich vorgestellt hat, denn Sie haben ja selbst gesagt, daß Abweichungen im Farbton auftreten können.

Albrecht: Hier haben Sie, Herr Dr. Studt, die Erklärung, warum aus den 3 Schilling bis zum Ende doch um etliche mehr werden.

Krässig: Ich glaube, wir sind uns alle im klaren, daß die Einführung einer solchen Faser als Massenartikel im großen Umfang erst dann in Europa wirklich kommen wird, wenn es auch bei uns Gesetze hierfür gibt. Jeder große Faserhersteller muß aber zur gegebenen Zeit das Know-how für schwer entflammbare Fasern bereit haben, falls ein derartiger Fall eintritt.

Natürlich ist ein Markt — wenn auch beschränkt auf spezielle Einsatzgebiete — heute sicher schon vorhanden, zum Beispiel im Bereich öffentlicher Verkehrsmittel, von Hotels, Theatern und anderen Versammlungsräumen. In diesen Bereichen sind die diskutierten Preiserhöhungen durchaus tragbar. Es handelt sich dabei aber um relativ kleine Bedarfs- bzw. Produktionsvolumen.

Albrecht: Herr Dr. Krässig, sie hatten darauf hingewiesen, daß die Konstruktion des Flächengewebes eine erhebliche Rolle spielt. Haben Sie beispielsweise Untersuchungen über den Einfluß der Garndrehung bei konstantem Gewicht gemacht?

Krässig: Nein, das haben wir noch nicht gemacht.

Ich möchte aber an einem anderen Beispiel erläutern, welcher Art von Problemen man hier begegnen kann: Wir hatten im Zuge der Entwicklung nach einer schnellen Bewertungsmethode für solche Fasern gesucht und hatten die Idee entwickelt, Vliesstoffe mit Flächengewichten von 80 und 90 g zu Entflammungsbewertungen heranzuziehen. Dabei dachten wir vorerst, daß dies ein besonders kritischer Test sein müsse. Die Vliesstoffe schnitten jedoch weitaus besser ab, als wir ursprünglich erwarteten. Wir haben immer wieder beobachtet, daß das Brennverhalten eines Flächengebildes sehr stark davon beeinflußt wird, ob die Rauchgase in Hohlräume des Flächengewebes eindringen und die Luft dort verdrängen können oder nicht. Bei den weniger dichten, genadelten Vliesstoffen war dies offensichtlich der Fall. Die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit war deshalb geringer, als man dies von dem relativ niedrigen Flächengewicht her erwartet hätte.

In Beantwortung Ihrer Frage würde ich theoretisch annehmen, daß — je höher die Garndrehung bei sonst gleicher Konstruktion und gleichem Flächengewicht ist — ein Gewebe umso leichter brennen dürfte.

Albrecht: Wie waren Ihre Vliesstoffe gebunden?

Krässig: Die waren nur vernadelt; es war kein Binder vorhanden.

Albrecht: Haben Sie auch an OE-Maschinen Spinnversuche gemacht. Da Sie Haftungs- und Verzugsschwierigkeiten beobachten konnten, würde ich ein ähnliches Verhalten wie bei mattierten Fasern erwarten.

Krässig: Ich würde vermuten, daß diese Auswirkungen sich speziell an den Auflösewalzen und dem Rotor bemerkbar machen und es hier zu Abrieberscheinungen kommen könnte. Wir haben das aber noch nicht untersucht.

Tovey: Eine Ergänzung zu dem Problem „Auswirkung des Flächengewichts auf die Brennbarkeit“: Wir haben gefunden, daß innerhalb der normalen Konstruktion — also keine speziell für flammgehemmte Textilien entwickelte, sondern für glatte Gewebe, Twilgewebe usw. — die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit eine sehr kostspielige Methode ist, um das Flächengewicht zu bestimmen.

Vandebosch: Sie sprachen von Ausrüstungsprozessen und Färbeprozessen. Haben Sie auch Hochveredlungen durchgeführt? Und haben Sie beobachtet, ob durch die Kondensation weitere Flammenschutzmittel ausgetrieben werden und ob die Reißfestigkeit stark herabgesetzt wird?

Krässig: Wir haben Hochveredlungsprozesse, wie Knitterfest- bzw. Wash-and-wear-Ausrüstungen, bislang nicht durchgeführt.

Albert: Ich kann vielleicht ergänzen, daß man hier wohl keine negativen Auswirkungen anzunehmen braucht. Sie müssen zwar angepaßte Rezepturen entwickeln, brauchen aber keine negativen Ergebnisse erwarten.

Erzeugung schwerbrennbarer Polyesterfasern mittels chemisch modifiziertem Polymeren

Professor Dr. Kazuo W a t a n a b e
 Dr. Katsuhiko K a t o
 Katata Research Center, Toyobo Co., Ltd., Shiga/Japan

Phosphor (P) und Brom (Br) sind bekanntlich die wirksamsten Elemente zur Hemmung der Entzündlichkeit von Polyesterfasern. Einige charakteristische Eigenschaften der P- und Br-Verbindungen als flammhemmende Additive sind im allgemeinen folgende:

1. Phosphor ist wirksamer als Brom und kann in geringeren Mengen eingesetzt werden.
2. Phosphor funktioniert als Flammenschutzmittel in der Gasphase genauso wie in der kondensierten Phase, wobei er die Zersetzung des Polyesters beschleunigt.
3. Brom wirkt nur in der Dampfphase.
4. Da Phosphorverbindungen gegenüber Licht stabiler sind als Bromverbindungen, ist die Lichtbeständigkeit von phosphormodifizierten flammgeschützten Polyesterfasern besser als die von solchen, die mit Brom modifiziert wurden. Diese Eigenschaften deuten an, daß sich Polyesterfasern, die mit Phosphor modifiziert und schwer brennbar gemacht wurden, für die Herstellung von Bekleidung und Innenausstattung besser eignen.

Phosphorenhaltende Polymere, besonders Polyphosphonate, zeigen nachgewiesenermaßen viele hervorragende Eigenschaften, wenn man sie als Flammenschutzmittel für Polyesterfasern einsetzt.

Die Toyobo-„HEIM“-Faser ist eine von Haus aus schwerbrennbare Polyesterfaser, die durch Beimischung von Polyarylphosphonat als Flammschutzadditiv in der Schmelze hergestellt wurde. Sie hat gute physikalische und chemische Eigenschaften, die fast identisch sind mit denen gewöhnlicher Polyesterfasern. Außerdem besitzt sie eine gute Formbeständigkeit.

Phosphorus (P) and bromine (Br) are known to be effective elements to retard the flammability of polyester fibers. Some characteristic properties of P- and Br-compounds as a flame retardant additive are, in general, as follows:

1. P is more effective than Br and can be used in less amount.
2. P functions as flame retardant agent in a gas phase as well as in a condensed phase where it accelerates the decomposition of polyester.
3. Br functions only in the vapor phase.
4. As P-compounds are more stable against light than Br-compounds, the light stability of P-modified flame retardant polyester fiber is superior to that of Br-modified one. These characteristics suggest that P-modified flame retardant polyester fibers are useful for flame retardant apparel and interior end uses.

P-containing polymers, especially polyphosphonates, have proved to have many excellent properties when used as a flame retardant additive for polyester fibers.

Toyobo "HEIM" is an inherently flame retardant polyester fiber made by melt-blending polyarylphosphonate as a flame retardant additive. It has good physical and chemical properties which are almost identical to those of ordinary polyester fiber as well as durable flame retardancy.

1. Einleitung

Die Notwendigkeit, Polyester schwerbrennbar zu machen, wird jetzt immer größer, da viele gesetzliche Bestimmungen die Verwendung von entzündlichen Textilien für Kleidung und Innenausstattung einschränken. In Japan sind es vor allem Vorhänge, die den gesetzlichen Bestimmungen der Feuerbehörde unterliegen. In den Vereinigten Staaten steht dagegen Schlafbekleidung für Kinder an erster Stelle.

Es gibt eine Anzahl von Patenten über schwerbrennbare Polyesterfasern. Hierin wird klar gesagt, daß Brom und Phosphor zwei überaus wirksame Elemente sind, die die Polyesterfaser schwerbrennbar machen.

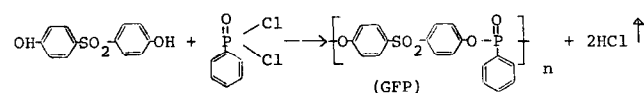
Brom ist bekannt als Radikalfänger, um die Oxidationsreaktion in der Flamme zu beenden. Über den Mechanismus der Reaktion von Phosphor auf Polyester wurde bis jetzt noch wenig berichtet.

Es gelang uns, eine schwerbrennbare Polyesterfaser zu entwickeln, indem wir Polyphosphonat als Flammenschutzmittel einsetzten, und wir begannen auch schon mit der kommerziellen Produktion der schwerbrennbaren Polyesterfaser Toyobo-„HEIM“. Dieser Bericht beschäftigt sich mit einigen technischen Problemen bei der Modifizierung von Polyester bezüglich Schwerbrennbarkeit mit Hilfe von Phosphorverbindungen, abgeleitet aus unseren Forschungsarbeiten an der „HEIM“-Faser.

2. Experimente

2.1 Herstellung von phosphorhaltigem Polymeren als Flammenschutzmittel — Poly[phenyl(sulfon-bis-4-phenyl)phosphonat]:

10 Mol Bisphenol S wurden in einem Reaktionskolben getrocknet; anschließend wurden 3 l Tetrachloräthan, 7 g CaCl₂ und 10 Mol Benzolphosphorsäuredichlorid zugesetzt. Danach wurde die Temperatur der Reaktionsmischung allmählich auf Siedetemperatur des Tetrachloräthans erhöht und ca. 8 Stunden auf dieser Temperatur gehalten. Nach Beendigung der Reaktion wurde die Polymerlösung in eine große Menge von gut gerührtem Methanol gegossen, um das Polymere auszufällen. Dieses wurde dann mehrere Male mit Methanol gewaschen und 24 Stunden lang unter Vakuum getrocknet. Das Molekulargewicht des Polyphosphonats (GFP), das mittels Dampfdruckosmometrie gemessen wurde, betrug 12.000.



2.2 Flammhemmend ausgerüstete Polyesterzusammensetzungen:

Ein bestimmtes Verhältnis Polyäthylenterephthalat (PÄT) und ein Flammenschutzmittel wurden vermischt und in einem Vakuumtrockner getrocknet. Das Gemisch wurde dann durch einen Schneckenextruder schmelzextrudiert, in einem Wasserbad abgeschreckt und dann in schwerbrennbare Polyesterschnitzel geschnitten. Diese flammgeschützten Polyesterschnitzel wurden dann

schmelzgesponnen und nach dem herkömmlichen Schmelzspinnverfahren gestreckt.

2.3 Entzündlichkeitstest:

Viele Faktoren, wie z. B. Konstruktion, Gewicht oder Volumen von Geweben ebenso wie die chemische Zusammensetzung selbst, beeinflussen bekanntlich die Entzündlichkeit der Textilien. Bis jetzt haben wir nicht die Möglichkeit, die „absolute Entzündlichkeit“ von Textilien zu bestimmen, da das grundlegende Verständnis der Vorgänge beim Brennen fehlt. Vor allem bei brennbaren Stoffen, wie Polyester oder Nylon, machten einige physikalisch-chemische Vorgänge die Situation sehr kompliziert. Diese Stoffe schrumpfen oder tropfen ab, wenn sie mit der Flamme in Kontakt kommen. Folglich ist es sehr schwierig, eine Probe effektiv als schwerbrennbar zu bezeichnen, weil dies nur im Hinblick auf die Kriterien einiger spezieller Methoden zur Prüfung der Entzündlichkeit klassifiziert werden kann.

Bei unseren nächsten Experimenten verwendeten wir die folgenden Testmethoden:

a) die Korbmethode:

1 g einer pulverisierten Probe wurde in einen Korb aus Drahtnetz (50 Maschen) gegeben. Eine Mikrobrennerflamme wurde 20 sec lang an den Boden des Korbes gehalten und dann weggenommen (Abb. 1). Die Nachbrennzeit, das Gewicht des Abgetropften und das Gewicht des verkohlten Rückstandes wurden als charakteristische Parameter gemessen. Bei diesem Versuch war eine gleichzeitige Beurteilung von Entzündlichkeit und Abtropftendenz möglich.

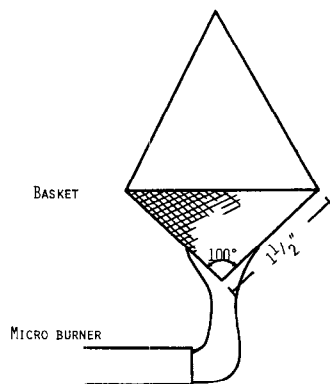


Abb. 1: Korbmethode für den Entzündlichkeitstest

b) Test mit um 45°-geneigter Spirale:

Nach der Testmethode der japanischen Industriennorm L 1091 D wurde die Anzahl der Flammeneinwirkungen auf eine Probe in einer um 45°-geneigten Spule gemessen (Abb. 2). Jene Gewebe, die mehr als 3 Flammeneinwirkungen benötigten, um 9 cm der Probe zu verbrennen, wurden von der Feuerschutzbehörde Japans als flammgeschützte Materialien für Vorhangstoffe anerkannt.

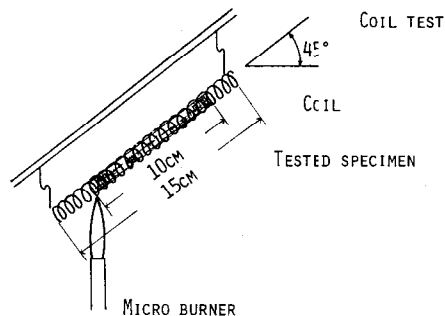


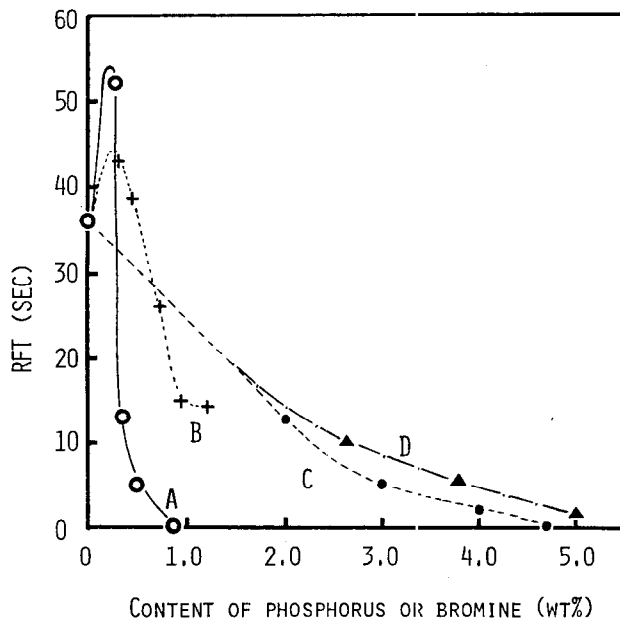
Abb. 2: Apparatur für den 45°-Spiralenversuch (basierend auf dem japanischen Feuerschutzgesetz)

c) der Vertikal-Test:

Für den vertikalen Flammenversuch wurde der Standardtest für Kinderschlafwäsche in den USA, DOC FF 3-71, angenommen.

d) der Sauerstoffindex (OI):

Der Sauerstoffindex der Proben wurde nach der Testmethode JIS K7201-1972, B-2, bestimmt. Dieses Prüfverfahren wurde nach der ASTM D2863-70 festgelegt, nach der die Proben mit Glasfasern zusammengenäht wurden. Im allgemeinen werden jene Stoffe, die einen OI über 27 haben, als „flammgeschützte Materialien“ bezeichnet.



CONTENT OF PHOSPHORUS OR BROMINE (WT%)

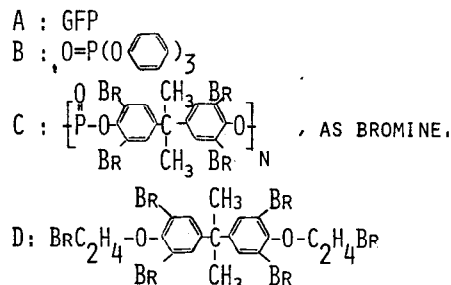


Abb. 3: Veränderung der Nachbrennzeit (RFT) mit dem Gehalt an Flammschutzelementen

2.4 Die thermische Analyse:

Das Wärmeverhalten der Proben wurde durch die Differentialthermoanalyse (DTA) sowie durch die thermogravimetrische Analyse (TGA) unter Verwendung der DTA/TGA-Ausrüstung der Firma Rigaku Denki Co., Ltd., bestimmt.

3. Die Auswirkung von Elementen mit flammhemmenden Eigenschaften auf die Entzündlichkeit von Polyester

In Abbildung 3 wird die Nachbrennzeit im Korbversuch als eine Funktion des Phosphor- und Bromgehaltes des modifizierten Polyesters gezeigt. Wenn man dem Polyester Phosphor zusetzt, nimmt die Nachbrennzeit bei anfänglich geringer Erhöhung der beigefügten Phosphormenge zu, erreicht ein Maximum und nimmt dann wieder ab. Das bedeutet, daß sich der Polyester leichter entzündet, wenn man nur eine geringe Phosphormenge zusetzt. Dieses Verhalten ist für Phosphorverbindungen charakteristisch — egal, um welche Verbindungen es sich dabei handelt. Der Zusatz von Bromverbindungen führte dagegen mit steigendem Bromgehalt zu einer ständigen Abnahme der Nachbrennzeit. Aus den Ergebnissen in Abbildung 3 geht klar hervor, daß Phosphor zur Herabsetzung der Entzündlichkeit von Polyester viel wirksamer ist als Brom.

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse des Korbversuches und der Spiralenmethode auf Polyester, der mit einem Phosphorflammschutzmittel modifiziert worden war, nämlich mit Poly[phenyl(sulfon-bis-4-phenyl)phosphonat] (GFP). Das Gewicht des verkohlten Rückstandes nahm bei geringem Phosphorzusatz ab und stieg dann mit zunehmendem Phosphorgehalt. Umgekehrt nahm die Nachbrennzeit und die Abtropfmenge bei niedrigem Phosphorgehalt zu und dann ab.

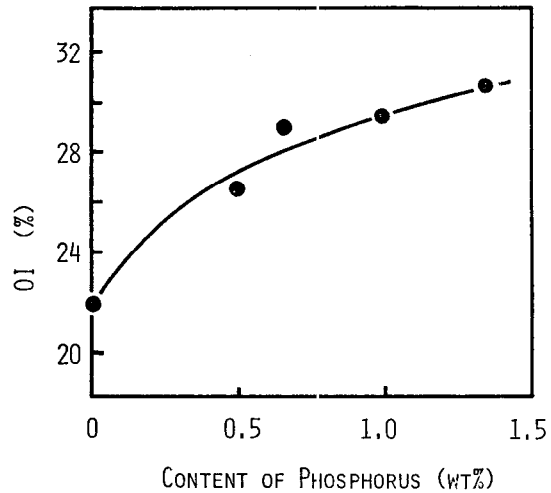


Abb. 5: Beziehung zwischen Sauerstoffindex (OI) und Phosphorgehalt (PE/GFP-Mischgarn)

Die Anzahl der Flammeneinwirkungen beim Spiralenversuch stieg bei Zugabe einer geringen Menge von GFP zuerst steil von 1 auf 3,5 an und nahm dann bei weiterem Zusatz des Flammschutzmittels allmählich weiter zu. Der Sauerstoffindex von Polyester nahm mit steigendem Phosphorgehalt gleichmäßig zu (Abb. 5).

Diesen Ergebnissen kann entnommen werden, daß — obwohl sich Polyester leichter entzündet, wenn weniger als 0,3 % Phosphor zugesetzt wurden — die zunehmende Abtropftendenz jedoch die Abnahme der Entzündlichkeit übertrifft, wodurch Polyester bei bestimmten Tests als schwer brennbar erscheint.

Wie im folgenden Abschnitt erwähnt werden wird, besteht eine Wirkung des Phosphors darin, die thermische Zersetzung des Polyesters in der kondensierten Phase katalytisch zu beschleunigen. Darauf könnte

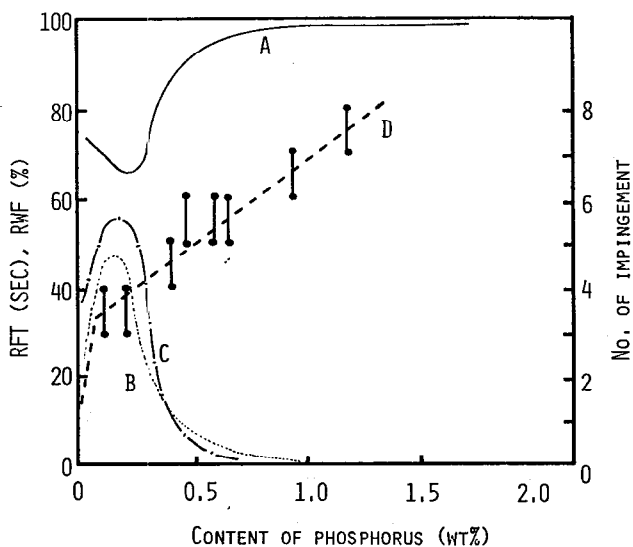


Abb. 4: Veränderung der Schwerbrennbarkeit mit dem Phosphorgehalt

- Korbmethode: A — Gesamtrückstand (RWF)
- B — Gewichtsanteil des Abgetropften (RWF)
- C — Nachbrennzeit (RFT)
- Spiralenversuch: D — Anzahl der Flammeneinwirkungen

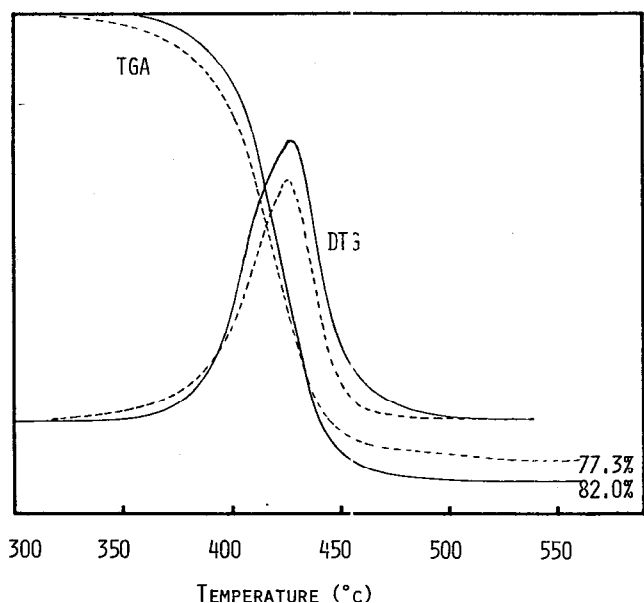


Abb. 6: TGA- und DTG-Kurven der Polyester- und der PE/GFP-Probe in Argon
 Temperaturanstiegsrate: 5° C/min
 — Polyester
 --- PE/GFP (0,67 % Phosphor)

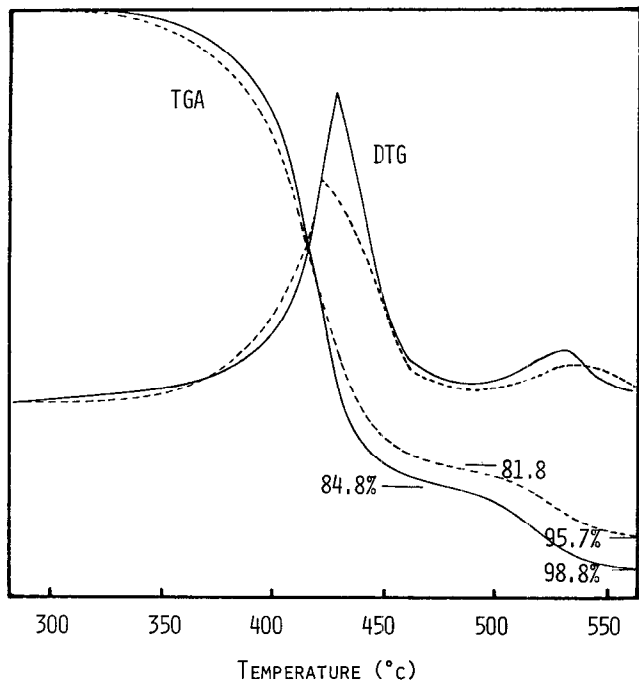


Abb. 7: TGA- und DTG-Kurven der Polyester- und der PE/GFP-Probe in Luft
 Temperaturanstiegsrate: 5° C/min
 — Polyester
 --- PE/GFP (0,67 % Phosphor)

die zunehmende Abtropftendenz zurückzuführen sein. Bei einem Phosphorgehalt von mehr als 0,4 % wird Polyester tatsächlich schwer brennbar.

In den Abbildungen 6 und 7 sind die TGA-Kurven dargestellt, sowie die Differentialkurven der TGA (DTG) in Argon und in Luft für normalen und mit Phosphor modifizierten Polyester.

Die Anfangstemperatur beim Gewichtsverlust, die Höchsttemperaturen der DTG- und DTA-Kurven und der Gewichtsverlust bei jeder Zersetzungsstufe (in %) sind für verschiedene Phosphorgehalte in Tabelle 1 zusammengefaßt.

In Argonatmosphäre begann der Polyester bei 350° C

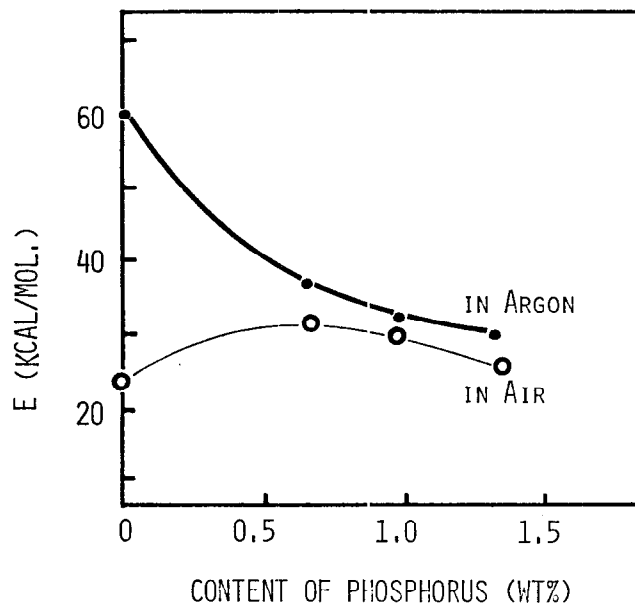


Abb. 8: Veränderung der scheinbaren Aktivierungsenergie (E) bei Gewichtsverlust (PE/GFP-Mischung) Temperaturanstiegsrate: 5° C/min

an Gewicht zu verlieren, und das DTG-Maximum erscheint bei 430° C. In Luft erfolgte der Gewichtsverlust schrittweise in 2 Stufen; er begann bei 300° C und erreichte sein Höchstmaß bei 420 bzw. bei 535° C.

Die DTA-Werte zeigen, daß der Gewichtsverlust in Argon ein endothermer Prozeß ist, während er in Luft exotherm verläuft. Ersteres entspricht der Zersetzung von Polyester bei Hitze und letzteres der Thermooxidation.

Die TGA-, DTG- und DTA-Kurven sowie die Höchsttemperaturen von Polyester, der mit Phosphorverbindungen modifiziert wurde, unterscheiden sich nur wenig von jenen nichtmodifizierten Polyesters, nur daß das Gewicht in der Argonatmosphäre bei einer etwas niedrigeren Temperatur abzunehmen begann.

Die Änderung der scheinbaren Aktivierungsenergie des Gewichtsverlustprozesses ist in Abbildung 8 als

Tabelle 1: Werte der thermischen Analyse

Phosphorgehalt (%)	0		0,67		1,0		1,3	
	Argon	Luft	Argon	Luft	Argon	Luft	Argon	Luft
Ts (°C) ¹	346	291	327	303	316	314	317	287
Maximum I (°C) ²	434	424	438	423	436	419	439	424
(%) ³	85,4	85,4	79,3	83,6	81,8	77,7	73,7	78,0
DTA (°C) ⁴	428 ED	406-448 EX	430 ED	425 EX	427 ED	424 EX	426 ED	380-426 EX
Maximum II (°C)	—	535	—	537	—	539	—	539
(%)	—	12,5	—	14,4	—	16,3	—	16,5
DTA (°C)	—	530 EX	—	532 EX	—	540 EX	—	537 EX

¹ Temperatur, bei der der Gewichtsverlust einsetzt

² Maximum der DTG-Kurve

³ Gewichtsverlust in dieser Stufe (in %)

⁴ Maximum der DTA-Kurve (ED = endotherm; EX = exotherm)

eine Funktion des Phosphorgehaltes dargestellt. Die scheinbare Aktivierungsenergie nahm in der Argonatmosphäre mit steigendem Phosphorgehalt deutlich ab, während sie in Luft konstant blieb.

Das deutet auf folgendes hin: Die Beigabe von Phosphor zum Polyester beschleunigt dessen thermischen Abbau zu gasförmigen Produkten, wobei aber die thermooxidative Zersetzung durch die zugegebenen Phosphorverbindungen nicht wesentlich beeinflußt wird.

Nach Erhitzung auf 550°C enthielt der mit GFP modifizierte Polyester, dessen Phosphorgehalt ursprünglich 0,65% betrug, nur noch 0,104% Phosphor, was nur 16% der zugesetzten Menge bedeutet. Folglich wurde der Großteil der Phosphorverbindungen im Polyester in Gas umgewandelt. Zusammen mit der vorhin erwähnten Tatsache, daß die Nachbrennzeit auf Null abfällt, wenn dem Polyester nur eine ausreichende Menge an GFP zugesetzt wird, zeigt dieses Ergebnis, daß Phosphor auch in der Gasphase als Flammenschutzmittel wirkt.

Aus den oben beschriebenen Resultaten kann folgendes über den Mechanismus der Flammenschutzwirkung von Phosphorverbindungen ausgesagt werden:

a) in kondensierter Phase:

- Phosphor beschleunigt den thermischen Abbau des Polyesters und läßt ihn leichter abtropfen, was ebenfalls die Entzündlichkeit hemmen kann.
- Phosphor verändert wahrscheinlich den Zersetzungsmechanismus von PÄT und macht die gasförmigen Produkte weniger entzündlich.

b) in der Gasphase:

- Phosphor verzögert wahrscheinlich die Verbrennungsreaktion in der Gasphase. Eine Abnahme des RFT beim Korbversuch bei ausreichender Phosphormenge sowie die Tatsache, daß der Großteil des Phosphors bei höherer Temperatur in gasförmigen Produkten vorliegt, deutet auf eine etwaige Aktivität des Phosphors in der Gasphase hin.

Bis jetzt hat man allerdings noch keinen direkten Beweis für den Flammenschutzmechanismus des Phosphors, und es wird noch viel Arbeit notwendig sein, um die flammhemmende Wirkung von Phosphorverbindungen zu klären.

4. Die Wahl der Methoden zur Flammfestausrüstung von Polyester

Wie vorhin festgestellt wurde, ist Phosphor, gemessen nach der Korbmethode, viermal so wirksam wie Brom. Da aber der Anteil der flammhemmenden Elemente (Phosphor oder Brom) in Flammschutzmitteln im allgemeinen bei Bromverbindungen viel größer ist als bei Phosphorverbindungen, wird die Menge des Flammschutzmittels, die dem Polyester zugesetzt werden muß, in beiden Fällen ungefähr in derselben Größenordnung liegen. Daher müssen bei der Auswahl der Flammschutzmittel auch noch einige andere Kriterien berücksichtigt werden.

So sind beispielsweise Phosphorverbindungen, was die Farbeigenschaften und die Lichtbeständigkeit betrifft, den Bromverbindungen überlegen. Andererseits

neigen erstere dazu, die thermische Zersetzung des Polyesters katalytisch zu beschleunigen bzw. direkt mit Polyester zu reagieren und dadurch das Molekulargewicht herabzusetzen. Bei Bromverbindungen hingegen geschieht dies selten.

Weiters ist auch auf die Durchführbarkeit der Produktionsmethoden, die Waschfestigkeit, die Beständigkeit der guten physikalischen und ästhetischen Eigenschaften der Polyesterfaser, sowie auf Giftigkeit, Rauch- und Gasentwicklung usw. zu achten.

Das vorhin beschriebene Polyphosphonat GFP hat sich als bestes Flammenschutzmittel erwiesen, das mit Polyester schmelzvermischt werden kann. Es zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- a) Es ist sehr beständig, auch bei den Temperaturen, bei denen Polyester schmelzgesponnen wird.
- b) Es verträgt sich mit Polyester so gut, daß es bei den Faser- und Gewebeproduktionsvorgängen nicht ausläuft. Außerdem stört es die Einheitlichkeit der Faser nicht.
- c) Es ist in Wasser wie in Perchloräthylen unlöslich. Folglich ist die Flammschutzausrüstung des Polyesters gegen Waschen und Trockenreinigen beständig.
- d) Es ist so lichtbeständig, daß die Lichtechtheit des modifizierten Polyesters mit der des nichtmodifizierten Polyesters fast identisch ist.

Toyobos „HEIM“-Faser wird jetzt durch Schmelzmischung des GFP in Polyester auf der herkömmlichen Schmelzspinnmaschine erzeugt. Einige typische Eigenschaften der „HEIM“-Faser werden im Vergleich zu den üblichen Polyesterfasern in den nun folgenden Abschnitten beschrieben.

5. Eigenschaften und Verhalten der „HEIM“-Faser

5.1 Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften der „HEIM“-Faser, die in den Tabellen 2 und 3 dargestellt sind, sind mit jenen der herkömmlichen Polyesterfasern fast identisch.

Tabelle 2: Physikalische Eigenschaften des „HEIM“-Endlossgarns (150 den)

Eigenschaften		„HEIM“-Faser Type 448	herkömml. Polyester
Reißfestigkeit	(g/d)	4,2—4,7	4,8—5,0
Dehnung	(%)	25—28	25—26
Knotenfestigkeit	(g/d)	3,2—3,7	3,8—4,0
Knotendehnung	(%)	10—12	13—15
Schrumpf	(%)		
in kochendem Wasser		8,0—10,0	8,0—9,0
trocken - bei 320°F (160°C)		13,0—15,0	11,0—12,0
Ausgangsmodul	(kg/mm ²)	1200	1200
Erholung bei 3% Dehnung	(%)	100	100
Schmelzpunkt	(°F)	486	500
	(°C)	252	264

Tabelle 3: Physikalische Eigenschaften der „HEIM“-Stapelfaser (1,5 den)

Eigenschaften		„HEIM“-Faser Type 441	herkömml. Polyester
Reißfestigkeit	(g/d)	4,0—4,5	5,5—6,0
Dehnung	(%)	32—37	25—30
Knotenfestigkeit	(g/d)	3,5—4,0	4,5—5,0
Knotendehnung	(%)	25—30	20—25
Schrumpf in kochendem Wasser trocken - bei 320°F (160°C)		0 3—4	0 2

5.2 Anfärbbarkeit

Die „HEIM“-Faser läßt sich leichter mit Dispersionsfarben färben als die herkömmlichen Polyesterfasern und ihre Weiße wird durch eine Chloritbleiche noch erhöht. Zum Beispiel beträgt die Farbbaderschöpfung, gemessen unter den nachstehenden Bedingungen, 74,6 %, was viel größer ist als bei den herkömmlichen Polyesterfasern, bei denen sie nur 27,8 % ausmacht (Tab. 4).

Färbemethode:

Rezept: Dispersol Fast
Scarlet B* 4,0 % o. w. f.
Sumipon W
(Dispersionsmittel) 1,0 g/l

Bedingung: Badverhältnis für 90 Minuten bei Kochtemperatur

Tabelle 4: Farbbaderschöpfung der „HEIM“-Stapelfaser (1,5 den)

Probe	Farbbaderschöpfung (%)
„HEIM“-Stapelfaser	74,6
herkömmliche Polyesterfaser	27,8

5.3 Farbechtheit gegenüber Licht

Das ist einer der charakteristischsten Vorteile der „HEIM“-Faser. Die Farbechtheit von dispersionsgefärbten „HEIM“-Produkten entspricht ungefähr jenen aus herkömmlichen Polyesterfasern. In Tabelle 5 sind einige der Testwerte dispersionsgefärbter „HEIM“-Produkte dargestellt.

5.4 Verarbeitung

„HEIM“-Endlos Garn kann auf den üblichen Falschdrahtzwirnmachines verarbeitet werden. Die „HEIM“-Stapelfasern können — zu Garn versponnen — nach den gleichen Verfahren wie die herkömmlichen Polyesterstapelfasern gewirkt oder gewebt werden.

* d. i. eine Dispersionsfarbe von ICI (Großbritannien)

Tabelle 5: Farbechtheit von dispersionsgefärbten „HEIM“-Geweben

Farbechtheit gegenüber:	Sumikaron Brill Rot S-2BL Cl-Disp.Farbst. Rot 189	Sumikaron (Gelb E-FG Cl-Disp.Farbst. Gelb 8	Dianix Blau HB-FS Cl-Disp.Farbst. Blau 191
Licht (40 Std.)	4	4	4
Waschen (verbleichen/verschmutzen)	5/5	5/5	5/5
Schweiß (verbleichen/verschmutzen)	5/5	5/5	5/5
Heißbügeln (verbleichen/verschmutzen)	5/5	5/3	5/5
Färbebedingungen	Testmethoden	Prüfgerät	
Farbstoff (2 % owf)	Licht	JIS L-0842-Fade-O-meter (40 Std.)	
Disp. Farbstoff TL (1 g/l)	Waschen	JIS L-0844 A-4-Lander-O-meter (0,5 g Waschpulver bei 70°C bzw. 160°F, 30 min lang)	
Tetrasin W (2 g/l)	Schweiß	JIS L-0848	
Flüssigkeitsverhältnis (1 : 50)	Abrieb	JIS L-0849	
Kochen (60 min lang)	Heißbügeln	JIS L-0850-Bügeltestgerät (bei 160°C bzw. 320°F)	

5.5 Schwerbrennbarkeit

In Tabelle 6 sind die Prüfergebnisse des Spiralen-tests mit Stoffen aus der „HEIM“-Faser dargestellt. Wie daraus hervorgeht, bleibt die Schwerbrennbarkeit der „HEIM“-Faser nach verschiedenen Verarbeitungsvorgängen und wiederholtem Waschen und Trockenreinigen erhalten.

Die Ergebnisse des Entzündlichkeitstests, basie-

Tabelle 6: Die Haltbarkeit des Flammenschutzes eines „HEIM“-Spitzenvorhangs nach verschiedenen Behandlungen

Muster	Behandlungsbedingungen	Anzahl der Spiralenversuche
gestrickt	176°F (80°C) — 20 min	5
ausgekocht	176°F (80°C) — 20 min	5
gebleicht	Chlorit (gekocht) — 90 min	5
gefärbt	Träger (gekocht) — 90 min 230°F (110°C) — 60 min	5 5
gewaschen	134°F (60°C) — 50mal	5
trocken gereinigt	87°F (30°C) — 50mal	5
Fade-O-meter	200 Stunden	5
erhitzt	248°F (120°C) — 48 Std.	5

Tabelle 7: Die Entzündlichkeit von „HEIM“-Produkten laut DOC FF 3—71

Muster*	Gewicht (oz/yd ²)	DOC FF 3—71**	
		RFT (sec)	CL (in)
Gewebe:			
Batist	2,54	0	3,7
Popeline	2,95	0	3,7
Gewirke:			
glatt (einfach)	5,58	0	3,2
interlock	7,35	0	2,8

* nach 50 Waschkörfängen

** RTF = Nachbrennzeit;

CL = verkohlte Länge

rend auf der DOC FF 3-71, die für Kinderschlafwäsche in den USA vorgeschrieben ist, sind in Tabelle 7 dargestellt. Auch bei dieser Prüfung zeigten sich die ausgezeichneten flammhemmenden Eigenschaften der „HEIM“-Faserstoffe.

6. Schlußfolgerung

Verschiedene Arten von Entzündlichkeitstests sowie die thermische Analyse können uns einen Hinweis über den Mechanismus von Phosphorflammschutzmitteln auf Polyester geben. Phosphor reagiert als Flammschutzmittel sowohl in kondensierter Phase als auch in Gasphase, wenn er in ausreichender Menge eingesetzt wird.

Polyphosphonat ist eines der wirkungsvollsten Phosphorflammschutzmittel, das mit Polyester schmelzvermischt wird.

Einige Eigenschaften der von der Firma Toyobo erzeugten „HEIM“-Faser, die aus der Schmelzmischung von Polyphosphonat mit Polyester ersponnen wird, wurden beschrieben. Sie weist beständige, ausgezeichnet flammhemmende sowie gute physikalische und ästhetische Eigenschaften auf.

Diskussion

Keller: Ich habe verstanden, daß die Faser „Heim“ bereits für den kommerziellen Gebrauch hergestellt und auch schon verkauft wird. Kann diese Faser mit normalen Fasern, wie beispielsweise mit Zellwolle, im Verhältnis 70/30 oder einem ähnlichen gemischt werden, ohne daß die Flammenwiderstandsfähigkeit zu stark beeinträchtigt würde? Welche Mischungen werden für die Verarbeitung von Stapelfasern in Japan empfohlen? Wie verhält sich der Preis der „Heim“-Faser zu dem einer normalen Polyesterfaser, beispielsweise mit 1,5 Denier?

Wada: Die Faser „Heim“ ist eigentlich nicht für Mischungen geeignet. Die Schwerbrennbarkeit der „Heim“-Faser beruht vorwiegend auf der Eigenschaft, daß bei thermischer Belastung ein Abtropfen der Brennstelle eintritt, und der Flammschutzwirkung von Phosphor im Gaszustand. In Mischungen mit Baumwolle wird nun dieses Abtropfen verhindert, sodaß die Mischung weitaus leichter brennbar ist als die ursprüngliche Faser.

Im Moment liegt der Preis ungefähr um 300 Yen höher als der von normalen Polyesterfasern. Wenn wir aber die Produktionskapazität vergrößern, dann erwarten wir, daß dies eine erhebliche Reduzierung des Preises mit sich bringen wird.

Brown: Auf welche Menge beziehen sich die 300 Yen? Auf 1 Kilogramm oder auf 1 Pfund?

Wada: Auf 1 Kilogramm.

Hoffmann: Sie haben gezeigt, wie groß die Änderung des LOI ist, wenn die Faser 1,5 % Phosphor enthält. Dieser Wert würde aber doch darauf hinweisen, daß sich eine solche Faser auch in Mischung mit Baumwolle recht interessant verhält. Bezieht sich nur Ihre erste Bemerkung über die leichtere Entflammbarkeit in der Mischung auch auf eine Faser, die soviel Phosphor enthält? Außerdem hätte es mich interessiert, ob der Zusatz von so großen Mengen an flammhemmenden Reagenzien nicht doch auch die physikalischen Eigenschaften dieser Faser beeinflußt. Es müßten ja meiner Meinung nach bis zu 30 % an flammhemmendem Agens zugesetzt werden.

Wada: Wir haben Mischungen selbst auch schon untersucht. So wurde beispielsweise Polyester mit einer Baumwolle, die eine flammhemmende Ausrüstung erfahren hatte, gemischt. Auch in diesem Fall war das Brennverhalten nur von der Entflammbarkeit der Baumwolle abhängig, sodaß die günstigen Eigenschaften der „Heim“-Faser nicht zum Tragen kamen und wir auch in diesem Fall eine Mischung nicht empfehlen können. Durch das Erwärmen wird nämlich eine Schmelze gebildet, die eine sehr niedrige Viskosität besitzt, wodurch die Brandstelle nach unten abreißt und abtropft. Wenn aber dieses Abreißen auf irgendeine Art unterbunden ist — sei es durch das Aufsaugen dieser Schmelze durch Wolle oder durch etwas anderes —, dann ist eine echte Gefährdung vorhanden. Aus diesem Grund ist diese Faser am besten für Gardinen geeignet, wo dieser Flammenherd sofort abreißt und abtropft.

Zu Ihrer zweiten Frage: Die Faser, die wir für den praktischen Einsatz empfehlen, enthält nicht 1,5, sondern 0,6 bis 0,7 % Phosphor.

KORROSIONSSCHUTZ
W. HÖHNEL KG.

Sandstrahl-, Flammstrahl-, mechanische Entrostung,
staubreiches Sandstrahlen mit Vacu-Blast,
Naßstrahlen, Schutz- und Industrieanstriche aller Art,
Behälterauskleidungen mit Lösungsmittelfreiem
Kunststoff,
Holzschutz, Isolierungen und Streichgummierungen,
Metallspritzen von Zink, Aluminium und Aluminium-
legierungen, kathodischer Korrosionsschutz,
Klimatisierung zur Trockenlegung von
schwitzwasserfeuchten Anlageteilen.

A-4021 LINZ/DONAU, BISCHOFSTRASSE 5
Tel. 07222/22 101, 22 102, 28 174; FS 02 1469
Postfach 202, Telegrammadresse: Höhnel KG Linz
Korrosionsschutzwerk: Linz, Zamenhofstraße 41

Die chemothermische Behandlung — ein aussichtsreicher Weg zur Herstellung von schwer entflammaren Fasern und Faserstoffen

Professor Dr. A. S. Tschegolja und
Dipl.-Chem. O. I. Fetissof
Allunionsinstitut für Synthesefaserforschung, Kalinin,
UdSSR

In der vorliegenden Arbeit wird die Möglichkeit der Herstellung von schwer entflammaren Fasern aus dem aromatischen Polyamid, aus Polyacrylnitril u. a. durch chemothermische Behandlung aufgezeigt. Einige Versuchsergebnisse werden angeführt.

Ferner werden die künftigen Einsatzgebiete des Verfahrens besprochen.

In the present paper the possibility of producing high-temperature fibres from aromatic polyamid, polyacrylonitrile etc. by the chemo-heat treatment are considered. Some experimental results are given.

The prospects of employing the above method are discussed.

Die Entwicklung der Technik, der Industrie und des Bauwesens verlangt nach der Schaffung neuer Textilstoffe mit spezifischen Eigenschaften. So wird in den letzten Jahren beispielsweise der Entwicklung von thermostabilen und schwerbrennbaren Textilstoffen sehr große Aufmerksamkeit geschenkt. Es genügt, darauf hinzuweisen, daß im letzten Jahrzehnt solche Fasern wie Konex (Japan), Kermel (Frankreich), Nomex, Kynol, Durette, PBI bzw. die Polybenzimidazol-faser (USA) u. a. entwickelt und auf den Markt gebracht worden sind^{1, 2, 3}.

Bekanntlich sind Nomex, PBI und Kermel für den Einsatz bei höheren Temperaturen bestimmt. Sie zählen zu den thermostabilen Fasern. Fasern wie Enkatherm, Kynol und Durette, die für andere Zwecke bestimmt sind, wurden eigens als schwerbrennbare Fasern entwickelt. Laut einer Werbeinformation können sie kurzzeitig der Einwirkung der offenen Flamme ausgesetzt werden, ohne dabei zu verbrennen oder ihre Form zu verändern^{4, 5}.

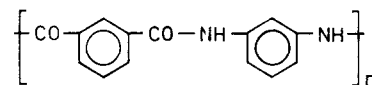
Demnach ist auf diesem Gebiet ohne Zweifel schon viel erreicht worden, doch sind hier noch nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft. Hochinteressant sind die im Zusammenhang damit durchgeführten physikalisch-chemischen und technologischen Untersuchungen. Es geht aus der Literatur hervor, daß bei der Entwicklung von Fasern und Faserstoffen mit erhöhter Schwerbrennbarkeit prinzipiell drei Wege beschrritten werden können⁶⁻⁸:

a) *die Herstellung von Fasern aus neuen schwerbrennbaren Polymeren:* Dieser Weg führt zur Herstellung von Fasern mit hohen LOI-Werten und benötigt meist neue Monomere. Die Beschreitung dieses Weges ist infolgedessen mit hohen Kosten verbunden, wodurch auch die Preise der Fasern hoch ausfallen;

- b) *die Einführung von Flammschutzmitteln in das Polymere oder ihre Aufbringung auf die Oberfläche von Polymererzeugnissen:* Diesen Weg kann man mit Erfolg beschreiten, wenn man die Brennbarkeit von Faserarten, die in großen Mengen erzeugt werden, herabsetzen will. Das Schmelzen und die rasche Zerstörung des Textilmaterials wird jedoch durch diese Maßnahme nicht verhindert;
- c) *die spezielle chemische Behandlung der Faserstoffoberfläche:* Die Arbeiten in dieser Richtung haben keine große Verbreitung erfahren. Dennoch berechtigen die Ergebnisse, die man beim Entwickeln von Durette-Fasern erzielt hat, zur Erstellung sehr optimistischer Prognosen, besonders wenn es darum geht, die Formbeständigkeit des Materials und hohe LOI-Werte miteinander zu verknüpfen.

Die vorliegende Mitteilung befaßt sich mit einigen Ergebnissen, die bei Versuchen, durch eine chemothermische Behandlung der Polymeraußenschichten auf der Faseroberfläche eine flamm-schützende Hülle zu erhalten, erzielt wurden. Diese Methode ist für die Behandlung verschiedener Fasertypen geeignet, doch zeigt sie den größten Effekt bei aromatischen Polyamiden, obwohl auch bei der Behandlung von Polyacrylnitrilfasern gewisse Erfolge zu verzeichnen sind.

Nachfolgend wird die Rede von Resultaten sein, die hauptsächlich mit Fasern auf der Basis von Poly-m-phenylenisophthalamid erhalten wurden:



Diese Fasern werden aus Lösungen des Polymeren in Dimethylacetamid entweder nach der Naßspinnmethode oder durch Spinnen über eine Luftzwischen-schicht hergestellt. Die Struktur sowie die Porosität der Fasern können auf deren Eigenschaften einen wesentlichen Einfluß ausüben.

Die Grundlagen des Schwerbrennbarmachens von Fasern aus aromatischen Polyamiden durch chemo-

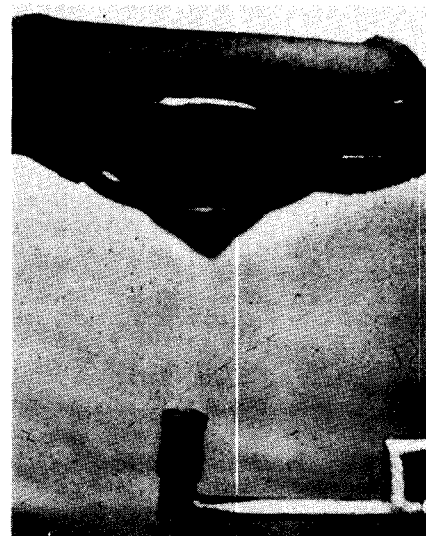


Abb. 1: Prüfung des behandelten Materials mittels offener Flamme

thermische Behandlung wurden anhand einer ganzen Reihe von Versuchsserien erarbeitet, die in den letzten Jahren im WNIISW durchgeführt worden waren. Das Wesentliche dieser Methode liegt in der kombinierten Einwirkung hoher Temperaturen (350—370° C) und halogenhaltiger Verbindungen (z. B. von Thionylchlorid) auf die Fasern bzw. auf die Gewebe. Das so behandelte Material behält im wesentlichen seine **physikalisch-mechanischen** Eigenschaften, erwirbt aber noch eine neue Eigenschaft dazu, nämlich die **Schwerbrennbarkeit**^{9,19}.

Als Illustration **dazu** kann man das Verhalten des Ausgangs- und des behandelten Materials in einer 1000 bis 1100° C heißen Flamme vergleichen. Das behandelte Material brennt darin nicht und wird auch während des einige Minuten dauernden Kontakts mit der Flamme nicht zerstört. Es behält in zufriedenstellendem Maße seine Struktur und seine Form (Abb. 1).

Das nichtbehandelte Material wird hingegen innerhalb weniger Sekunden vollständig zerstört (Abb. 2).

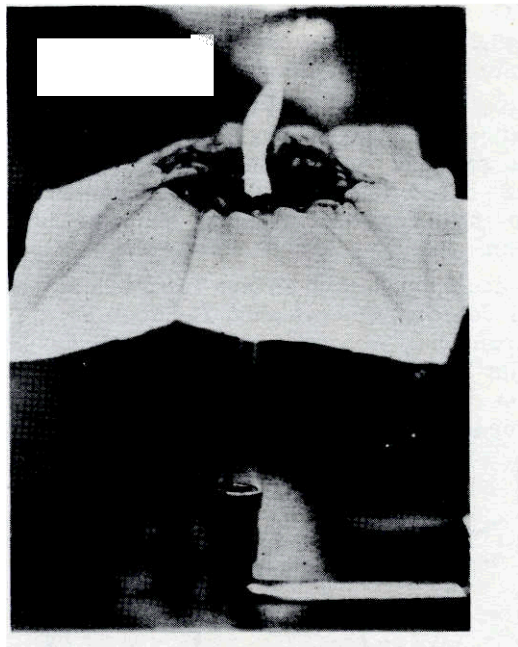


Abb. 2: Prüfung des Ausgangsmaterials mittels offener Flamme

Es ist nach diesem Verfahren möglich, Materialien herzustellen, die hinsichtlich ihres LOI-Wertes den besten schwerbrennbaren Faserarten gleichzusetzen sind.

Es sei hier — außer auf den LOI-Wert — nochmals ausdrücklich auf eine sehr wichtige Eigenschaft der behandelten Fasern verwiesen: Gewebe aus solchen Fasern behalten bei der Einwirkung einer offenen Flamme in hohem Maße ihre Struktur und Form. Dieser Umstand kann bei der Verwendung von aus solchen Fasern hergestellten Textilien eine **sehr wichtige** Rolle spielen. Unserer Meinung nach gehört die **Formbeständigkeit** zu den wichtigsten Eigenschaften schwerbrennbarer Textilmaterialien. Der von uns erhaltene Faserstoff unterscheidet sich beispielsweise von PBI, mit dem er fast denselben LOI-Wert hat,

Tabelle 1: LOI-Werte von aus verschiedenen Faserarten hergestellten Geweben

Faserart	LOI-Wert
Flammfeste Baumwolle	31-32
Nomex	26—28
PBI	38
Kynol	30
Fypro	30
Durette	35
Chemothermisch behandelte Faser aus aromatischem Polyamid	38

sehr stark hinsichtlich der thermischen Schrumpfung. Gewebe aus PBI schrumpfen doppelt **so** stark wie Gewebe aus dem von **uns** erhaltenen Material.

Die chemothermische Behandlung wird unter extremen Bedingungen, unter denen das Polymere **sehr** heftig reagiert, vorgenommen. Deshalb büßen die Fasern bei der Behandlung teilweise ihre Festigkeit, Bruchdehnung, Biegefestigkeit, Scheuerfestigkeit und andere Eigenschaften ein. Die Eigenschaften werden umso stärker verändert, je härter die Behandlungsbedingungen sind (s. Abb. 3). Folglich muß man bei der Behandlung eine optimale Wahl der Parameter treffen, damit die Fasern zwar die erforderliche Schwerbrennbarkeit erlangen, gleichzeitig jedoch ihre physikalischen Kennwerte in zufriedenstellendem Maße beibehalten.

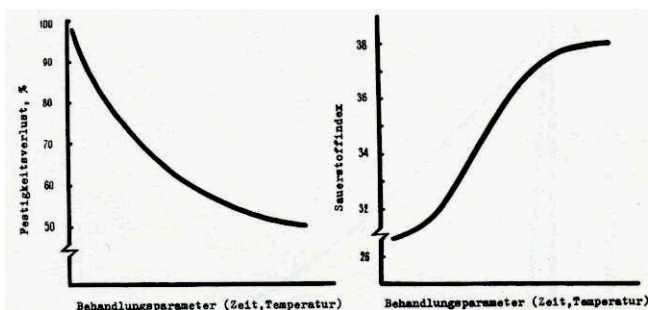


Abb. 3: Veränderung von Festigkeitsparametern (links) und der Flammfestigkeit (rechts) während der chemothermischen Behandlung

Eine detaillierte Untersuchung des Eigenschaftskomplexes behandelter Materialien hat gezeigt, daß man, wenn man die Temperatur/Zeit-Parameter des Behandlungsprozesses variiert, die eine oder die andere Kombination **physikalisch-mechanischer** Eigenschaften mit der Schwerbrennbarkeit erzielen kann. Dadurch wird es möglich, ein breites Sortiment von Textilmaterialien herzustellen, in denen die Schwerbrennbarkeit mit textilen Eigenschaften in bestimmter Weise kombiniert ist.

Es ist durch eingehende physikalisch-chemische Untersuchungen möglich gewesen, die Art der bei chemothermischen Behandlungen stattfindenden Umwandlungen der Faserstruktur zu ermitteln.

Aus licht- und elektronenmikroskopischen Aufnah-

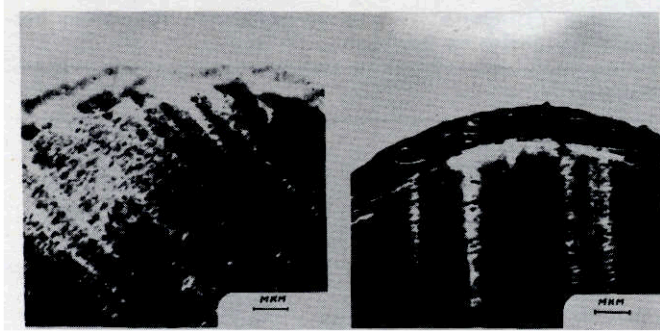


Abb. 4: Faserquerschnitt vor (links) und nach der chemothermischen Behandlung (rechts)

men von Faserquerschnitten sieht man, daß sich auf der Faseroberfläche infolge der chemothermischen Behandlung eine gleichmäßige 1 bis 1,5 µm starke Mantelschicht ausbildet (Abb. 4).

Unserer Meinung nach besteht dieser Mantel aus einem strukturierten Polymeren. Das Polymere, das die Mantelschicht bildet, erfuhr wesentliche chemische Veränderungen und enthält bedeutende Mengen gebundenen Chlors. Die Quervernetzungen werden darin durch den gebundenen Schwefel gebildet. Außerdem können in der Mantelschicht infolge von Hydrogenisierungsprozessen Polyenfragmente gebildet werden. Die Oberflächenschicht der Fasern ist in konzentrierter Schwefelsäure unquellbar und auch nicht löslich, während der Kern quillt. Falls die Behandlung unter milderer Bedingungen erfolgt, ist sie auch teilweise löslich (Abb. 5).

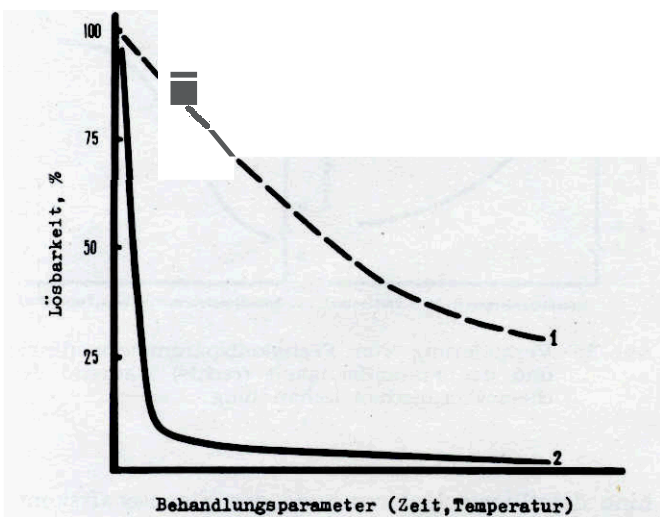


Abb. 5: Löslichkeit der Faser in Schwefelsäure nach der thermischen (1) und nach der chemothermischen Behandlung (2)

Obwohl die Behandlungstemperatur im Bereich der Polymerdestruktion liegt, soll man die Ausbildung des Mantels nicht nur mit einer Carbonisierung in Zusammenhang bringen. Fäden im Polymeren allein die von der Bildung langer Konjugierungsketten begleiteten Prozesse statt, müßte im EPR-Spektrum ein schmales Singlett (5—10 Oe) auftreten (s. Abb. 6). Man sieht, daß das Spektrum der behandelten Faser

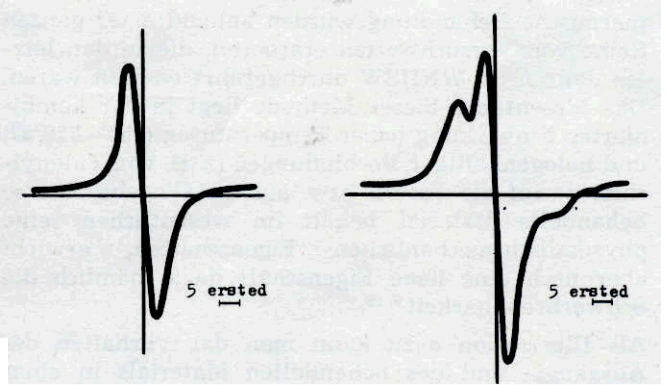


Abb. 6: EPR-Spektren nach der thermischen (links) und nach der chemothermischen Behandlung (rechts)

eine komplizierte Struktur aufweist. Es kann als eine Überlagerung des schmalen Singletts (das den konjugierten Blöcken mit delokalisiertem Elektron zuzuschreiben ist) mit dem schlecht aufgelösten, 30 bis 40 Oe breiten Signal aufgefaßt werden. Dieses breite Signal kann man den freien Radikalen oder den Komplexen mit Ladungsübertragung zuordnen.

Die Analyse der EPR-Spektren sowie der Konzentrationsverhältnisse berechtigt zu der Annahme, daß das schmale Singlett dem Polymeren im Faserkern und das breite Signal dem chemisch modifizierten strukturierten Mantel zugeschrieben werden kann.

Es deuten auch noch andere Tatsachen darauf hin, daß bei der chemothermischen Behandlung die Carbonisierung nur eine geringe Rolle spielt. So findet man beim Vergleich der IR-Spektren vom Ausgangs- und vom behandelten Polymeren keine großen Unterschiede (Abb. 7).

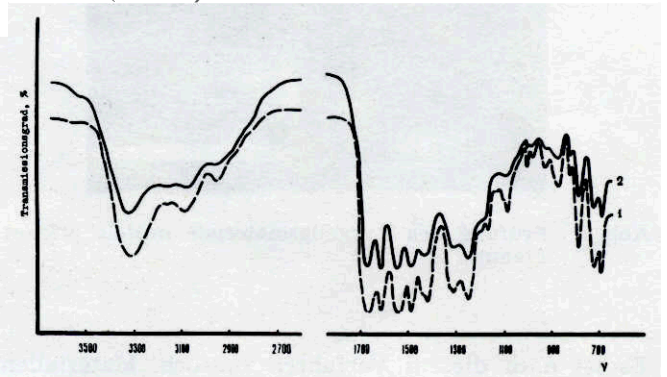


Abb. 7: IR-Spektrum der Ausgangsfaser und der behandelten Faser
 — = Ausgangsfaser
 - - - = behandelte Faser

Die Analyse der Röntgendiagramme hat gezeigt, daß nach der chemothermischen Behandlung ein beträchtlicher Teil der kristallinen Phase des Polymeren in der Faser erhalten bleibt, allerdings ist ihre Orientierung längs der Faserachse etwas schlechter (Abb. 8). Die Änderung der Orientierung kann wahrscheinlich durch die bei hohen Temperaturen stattfindenden Relaxationserscheinungen erklärt werden. Verständ-

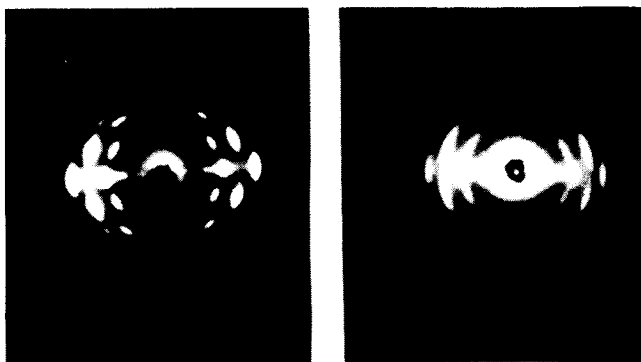


Abb. 8: Röntgenaufnahme der Ausgangsfaser (links) und der behandelten Faser (rechts)

licherweise bleibt in dem beträchtliche Mengen Cl- und S-Atome enthaltenden strukturierten Mantel die ursprüngliche kristalline Struktur nicht erhalten.

Daraus läßt sich eindeutig folgern, daß die zu beobachtende kristalline Phase dem Kern zuzuschreiben ist. Der ringförmige, diffuse Lichthof auf dem Röntgendiagramm stammt nach unserer Meinung von der Streuung der Röntgenstrahlen an der dreidimensionalen vernetzten Hülle, die einen beträchtlichen Anteil an nichtorientierter amorpher Polymerphase aufweist.

Es kann anhand der erhaltenen Information somit ein Strukturmodell der chemothermisch behandelten Faser entworfen werden. Nach diesem Modell, das in Abbildung 9 gezeigt wird, besteht die Faser nach der Behandlung aus einem etwa 10 Vol.-% ausmachenden Mantel und einem Kern. Der Mantel, der aus einem chemisch modifizierten Polymeren aufgebaut ist, sichert die Unschmelzbarkeit und die Schwerbrennbarkeit.

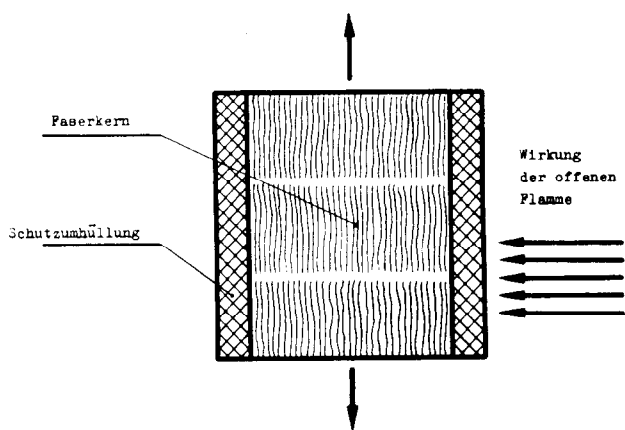


Abb. 9: Strukturmodell der behandelten Faser

Der Faserkern besteht aus dem chemisch und strukturell nur geringfügig veränderten Ausgangspolymeren. Die Veränderungen des Polymeren im Faserkern rühren von der hohen Aktivität der verwendeten Agenzien sowie von der hohen Behandlungstemperatur her, die zweifelsohne auch die inneren Bereiche der Faser erfassen. Laut unseren Ergebnissen kommt es im Faserkern infolge der Relaxation zu einer teilweisen Desorientierung der amorphen wie

auch der kristallinen Bereiche, während die chemischen Veränderungen hauptsächlich mit dem beginnenden thermischen Abbau sowie mit der Wechselwirkung der in die größeren Faserporen eindiffundierten chemischen Agenzien in Zusammenhang zu bringen sind. Es muß vermerkt werden, daß sowohl die Relaxation als auch der Abbau jene Prozesse sind, die für eine gewisse Verschlechterung der physikalisch-mechanischen Fasereigenschaften infolge der chemothermischen Behandlung verantwortlich sind.

Die Untersuchung der Wachstumsdynamik und der Eigenschaften des während der chemothermischen Behandlung auf der aromatischen Polyamidfaser entstehenden Mantels zeigt, daß das Material dann am schwersten zu entzünden ist, wenn der Mantel eine Dicke von 1 bis 1,5 µm erreicht. Die Schwerbrennbarkeit kann zwar durch eine weitere Zunahme der Manteldicke noch beachtlich gesteigert werden, doch tritt dadurch eine merkliche Verschlechterung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften ein. Es muß unterstrichen werden, daß die bereits erwähnte Dicke des Mantels ein Optimum für das Polymersystem darstellt.

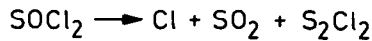
Der Faserkern „arbeitet“ dem vorgeschlagenen Modell entsprechend wie eine normale Faser, während der Mantel bei Einwirkung einer offenen Flamme die Schutzfunktion übernimmt. Bei der Einwirkung hoher Temperaturen gewährleistet die Mantelschicht durch die darin vorhandenen Chloratome die völlige Unbrennbarkeit des Materials, während ihre unschmelzbare dreidimensionale Struktur für dessen gute Formbeständigkeit sorgt.

Leider wird die Palette der Fasern, auf die die chemothermische Behandlung angewendet werden kann, durch zwei Kriterien, die sie erbringen müssen, nämlich hohen Behandlungstemperaturen (350—375° C) zu widerstehen sowie große Reaktionsfähigkeit mit den verwendeten halogenhaltigen Verbindungen zu besitzen, eingeschränkt. Die Idee jedoch, eine kombinierte Faser zu schaffen, in der der Faserkern die Belastung trägt und der Mantel eine Schutzfunktion ausübt, ist nach unserer Meinung sehr interessant und kann bei entsprechender Wahl von Agenzien und Bedingungen bei der Behandlung von Faserstoffen auf der Basis verschiedenster Polymersysteme erfolgreich verwirklicht werden.

Wir haben Versuche unternommen, deren Ziel es war, dieses Prinzip auch zum Schwerbrennbarmachen anderer Synthesefasern zu nutzen. Natürlich mußten die Behandlungsparameter bei Verwendung thermisch unbeständiger Faserarten geändert werden. So haben wir beispielsweise unter anderem versucht, Polyacrylnitrilfasern zu behandeln. Durch Variieren der Zeit/Temperatur-Parameter wurden Behandlungsbedingungen gefunden, die es erlaubten, modifizierte Fasern mit einem Schutzmantel herzustellen. Die Schwerbrennbarkeit dieses Materials war jedoch etwas schlechter als jene der behandelten Fasern aus aromatischen Polyamiden.

Im Zusammenhang damit scheint es uns zweckmäßig, auf folgende Tatsachen hinzuweisen: Wie bereits gesagt, werden bei der Behandlung aktive halogenhaltige Verbindungen, wie z. B. Schwefelmonochlorid, Thionylchlorid, Sulfurylchlorid u. a., verwendet. Diese Verbindungen werden bekanntlich als Chlorierungsmittel in der organischen Chemie eingesetzt. Die

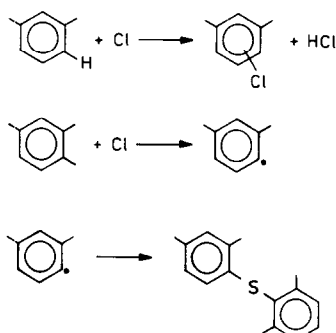
Halogenierung von polymeren Systemen gestaltet sich jedoch wesentlich schwieriger. In unserem Fall wird die Halogenierung durch die kombinierte Hochtemperaturbehandlung unterstützt. Das Thionylchlorid (SOCl₂) liefert beispielsweise bei Temperaturen über dem Siedepunkt atomares Chlor, SO₂ und Schwefelmonochlorid:



Bei 440° C ist dieser Zerfall vollständig. Auf der Faseroberfläche kann die Zersetzung natürlich auch nach einem anderen Schema verlaufen, denn die Faseroberfläche kann gleichzeitig als Katalysator und als Reaktionspartner fungieren.

Sehr interessant scheint uns die Möglichkeit zu sein, solche Verbindungen zu finden, die auf der Oberfläche des Polymeren analoge chemische Umsetzungen sichern, für deren Aktivierung jedoch bereits eine niedrige Temperatur genügt. Dadurch wird es möglich, auch für die chemothermische Behandlung von Fasern aus anders aufgebauten Polymeren optimale Bedingungen zu schaffen. Dabei soll man aber auch nicht alle übrigen Möglichkeiten zur Erhöhung der Aktivität von Agenzien (z. B. die Anwendung von Initiatoren, die Bestrahlung u. a.) außer acht lassen. Allerdings jetzt schon von entsprechenden Versuchsergebnissen berichten zu wollen, wäre aus verschiedenen Überlegungen heraus noch verfrüht.

Vom theoretischen wie vom praktischen Standpunkt aus wäre die eingehende Untersuchung der Besonderheiten bei den chemischen Umsetzungen, die das Polymere bei der chemothermischen Behandlung erfährt, sicher sehr aufschlußreich. Vieles muß hier noch untersucht und geklärt werden. Im allgemeinen stellen wir uns jedoch den Charakter der stattfindenden Wechselwirkung so vor: Wie bereits gesagt, zerfällt das Ausgangsagens bei hohen Temperaturen in seine einzelnen aktiven Komponenten, das heißt — anders ausgedrückt —, es wird aktiviert (z. B. Cl₂). Auch die Oberfläche des Polymeren wird infolge der hohen Temperaturen aktiviert. Dadurch werden günstige Bedingungen für den Ablauf topochemischer Reaktionen sowie für Umsetzungen in den Poren des Polymeren geschaffen. Es kann sich daher in der Oberflächenschicht des Polymeren eine ganze Reihe von Substitutions-, Anlagerungs-, Eliminierungs- und anderen Reaktionen abspielen, darunter folgende:



Dabei tritt das Chlor an die Stelle von Wasserstoff, während der Schwefel aller Wahrscheinlichkeit nach

die Strukturierung des Polymeren an der Faseroberfläche bewirkt. Solche Prozesse stimmen mit dem vorgeschlagenen Modell sowie mit der Schutzwirkung des entstehenden Mantels gut überein.

Bei der Betrachtung der chemothermischen Behandlung kann man auch kurz bei einigen technologischen Aspekten der Methode verweilen. Praktische Untersuchungen haben gezeigt, daß die vorliegende Modifizierungsmethode auf verschiedene Formen des Materials anwendbar ist. Es wurden mit gutem Erfolg Fasern, Gewebe verschiedener Bindungen sowie Gewirke behandelt. Man kann das Material grundsätzlich in all seinen Formen behandeln, aus technischen Überlegungen eignen sich hierzu jedoch Gewebe am besten.

Fasern kann man nach folgenden zwei Methoden behandeln:

1. *diskontinuierlich*, wobei es schwierig ist, die gleichmäßige Diffusion der Agenzien und folglich auch eine völlig gleichmäßige Behandlung aller Faserschichten zu gewährleisten. Es kommt vor allem dann zu Problemen, wenn die Fasern in Form von Garnen oder besonders von Garnen unterschiedlicher Aufmachung vorliegen.
2. *kontinuierlich*. Diese Methode zeigt leider eine geringere Produktivität, da die Behandlungsdauer niedrige Fadenlaufgeschwindigkeiten erfordert.

Anhand der gesammelten Erfahrungen können wir sagen, daß diese Schwierigkeiten mehr oder weniger gut beseitigt werden, wenn man die Behandlung an Geweben vornimmt. Diese Verfahrensweise ist auch deshalb vorzuziehen, weil sie einen wesentlichen Faktor, nämlich die Beschädigung der Fäden während der textilen Verarbeitung, ausschließt.

Das allgemeine Schema des Prozesses zeigt uns Abbildung 10.

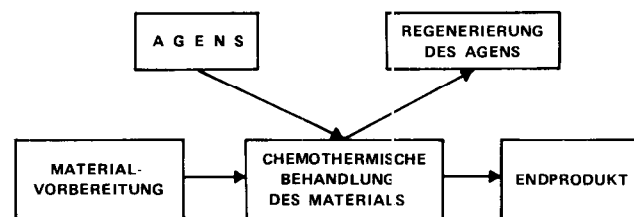


Abb. 10: Grundsätzliches Schema der chemothermischen Behandlung

Nach der Vorbereitung kommt das Material in den Reaktor, in dem die erforderlichen Behandlungsbedingungen (Temperatur, Konzentration) herrschen, wo es modifiziert wird. Bei der anschließenden Nachbehandlung wird das Agens deaktiviert und regeneriert. Natürlich kann dieses Schema, das die angewandte Technologie nur ganz allgemein wiedergibt, ohneweiters durch verschiedene apparative Lösungen verwirklicht werden.

Dieser Bericht berührt nur die wichtigsten und charakteristischsten Merkmale dieses Verfahrens zur Modifizierung von Faserstoffen. In relativ vollem Umfang schildert er jedoch die Ergebnisse der chemothermischen Behandlung von aromatischen Polyamiden. Es muß jedoch unterstrichen werden, daß der

weiteren allseitigen Untersuchung von Möglichkeiten, dieses Verfahren auf andere Faserarten, in erster Linie jedoch auf konventionelle synthetische Faserstoffe, zu übertragen, die größte Bedeutung zukommt.

Der erste Schritt ist getan. Wir hoffen, daß weitere Anstrengungen in dieser Richtung dazu beitragen werden, dieses Problem erfolgreich zu lösen.

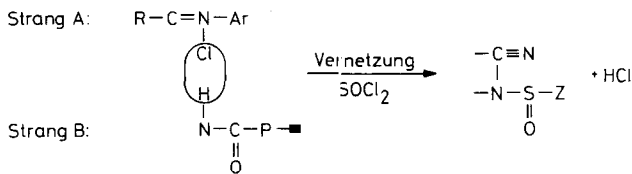
Literatur:

- 1) J. R. Collins; *Plast and Polymers* **40** (149), 283 (1972)
- 2) J. H. Ross, S. Schulman, R. M. Stanton; *Text. Res. J.* **41** (2), 146—153 (1971)
- 3) *Text. World* **122** (6), 87 (1972)
- 4) *Text. Chem. and Color.* **4** (1), 65 (1972)
- 5) J. Preston (ed.); *Appl. Polymer Symposia* Nr. 21 (1973)
- 6) R. Aenishänslin; *Melliand Textilber.* **49** (10), 1210 (1968)
- 7) S. C. Temin; *J. Fire Flammability* **3**, 19 (1972)
- 8) D. W. van Krevelen; *Angew. Makromol. Chem.* **22**, 133 (1972)
- 9) O. I. Fetissov u. a.; *Chim. Volokna* **1**, 31 (1974)
- 10) A. S. Tschegolja; Vorabdrucke der beim Internationalen Chemiefasersymposium in Kalinin 1974 gehaltenen Vorträge, Bd. 4, S. 72
- 11) E. R. Kaswell; *Text. Chem. and Color.* **4** (1) 33 (1972)

Diskussion

Herlinger: Wir danken Ihnen für diesen ausgezeichneten Vortrag, der ein ganz neues Prinzip beinhaltet, nämlich die Hochvernetzung an der Oberfläche, um damit einen Flammschutzeffekt zu erzielen. Außerdem sagen wir herzlichen Dank für die Mühe, daß Sie Ihren Vortrag in Deutsch hielten.

Darf ich gleich eine Frage an den Anfang stellen, da auch wir ähnliche Untersuchungen mit folgendem System machen: Wenn man nämlich auf aromatische Polyamide in Lösung beispielsweise Phosgen einwirken läßt, dann erhält man an der Oberfläche die Imidchloride dieser Aromaten. Wir haben auch noch weitere Vernetzungen mit einer dritten Komponente durchgeführt. Würden Sie mit der Annahme übereinstimmen, daß mit Thionylchlorid bei hohen Temperaturen eine einfache Vernetzung in der Form erfolgt, daß die Imidchloride mit nichtumgesetzten Säureamidgruppen reagieren und so ein dreidimensionales Netzwerk ausbilden, also folgender Formulierung entsprechend



Die Vernetzung würde daher zwischen dem Polymerstrang A und dem Polymerstrang B, deren Aromaten jeweils senkrecht auf den Ebenen stehen, durch eine einfache Abspaltung von HCl bei hohen Temperaturen erfolgen. Es entstehen dadurch thermisch sehr stabile Strukturen im Polymeren.

Ich glaube mich zu erinnern, daß Sie in Ihrem Referat von einer Radikalreaktion gesprochen haben. Könnte man sich das nicht auch als eine ionische Vernetzung dieser Art vorstellen?

Tschegolja: Ich bin nicht der Meinung, daß diese Reaktion ausschließlich eine radikalische Reaktion ist, es sind auch andere Prozesse möglich.

Herlinger: Gut.

Tschegolja: Ich glaube vielmehr, daß hier ein ganzer Komplex von Reaktionen möglich ist, der bei höheren Temperaturen abläuft. Einige davon können sich sicher in den Poren abspielen. Es kann aber auch zu einer direkten Chlorierung des aromatischen Kerns kommen.

Falls dabei aktivierte schwefelhaltige Verbindungen vorhanden sind, kann es zu Quervernetzungen kommen. Andererseits können aber auch Austauschreaktionen vorliegen, darunter auch solche, wie Sie sie soeben gezeigt haben.

Wir haben mit verschiedenen Polymeren gearbeitet. In etlichen Fällen ist es uns gelungen, eine gute Ummantelung der Faser zu erzielen. Abbildung 6 zeigt dies ganz deutlich, vor allem die sehr scharfe Abgrenzung zwischen Kern und Mantel, was uns vermuten läßt, daß aus irgendeinem Grund eine weitere Diffusion erschwert wird. Wir vermuten, daß die Poren, die eine Tiefe von einigen Mikron besitzen, eine Reihe von Reaktionen ermöglichen, sodaß sich eine verdichtete Struktur bildet, die in der weiteren Folge das Eindringen von Reagenzien in das Faserrinnere verhindert. Diese Verhältnisse sind für die Schaffung eines Systems optimal.

Laube: In Abbildung 10, in der die Debye-Scherer-Aufnahmen dargestellt waren, zeigt die behandelte Faser einen polykristallinen Anteil, während die unbehandelte Probe eher orientierte Kristallite aufweist. Ist das erste — Ihrer Erfahrung nach — auf ein eventuelles Verstrecken zurückzuführen? Und wird die Polykristallinität durch eine thermische Behandlung erzielt, oder ist sie ein direkter Ausdruck der Quervernetzung?

Tschegolja: Beide Fasern hatten den gleichen Verstreckungsgrad. Würde man die Hülle der behandelten Faser unter einem Mikroskop abschälen, so würde sich die kristalline Struktur des Kerns von jener des Ursprungsmaterials praktisch nicht unterscheiden. Daher steht der große Halo, der beobachtet wurde, in direktem Zusammenhang mit der Bildung der Außenschicht.

Herlinger: Ich darf Ihnen nun abschließend noch einmal — auch für diese ausführliche Diskussion — allerherzlichst danken.

Schwerbrennbare Textilmaterialien

Dozent Dr. M. A. Tjuganova, I. A. Kopjev
und Professor Dr. S. A. Rogovin
Moskauer Textilinstitut, Moskau

Die Methoden, um flammresistente Zellulose- und Wollmaterialien zu erhalten, werden mittels Synthese gepfropfter Copolymerer von Zellulose und Wolle mit verschiedenen, Phosphor und Halogene enthaltenden Polymeren erarbeitet.

Die wichtigsten physikalisch-mechanischen Kennwerte zur Erhaltung textiler Stoffe und gepfropfter Polymeren sowie deren Einfluß auf die Flammresistenz der erhaltenen Textilien werden untersucht.

The methods of obtaining fire-resistant cellulose- and wool-materials are elaborated by some syntheses of grafted copolymeres of cellulose and wool with different phosphorus and halogenes containing polymeres.

The principal physical-mechanical characteristics of obtaining textiles and grafted polymer-types, as well as the influence thereof on fire-resistant properties of the obtained flame-resistant textiles are investigated.

Dem Problem der Herstellung schwerbrennbarer Materialien werden in vielen Instituten der Welt zahlreiche Untersuchungen gewidmet. Über manche dieser Arbeiten wurde bereits hier in Dornbirn anlässlich der Chemiefasertagungen berichtet. Es würde zu weit führen, wollte ich jetzt eine Übersicht über all diese Arbeiten geben, ich möchte vielmehr von unseren eigenen Untersuchungen berichten.

Zu den wichtigsten Forschungsrichtungen, die am Lehrstuhl für Technologie der Chemiefasern und im Forschungslaboratorium des Moskauer Textilinstituts verfolgt werden, gehört die Herstellung schwerbrennbarer Textilmaterialien auf der Basis verschiedener Chemie- und Naturfaserstoffe.

In diesem Beitrag sollen nun die Ergebnisse, die wir beim Ausarbeiten von Methoden zur Herstellung schwerbrennbarer Materialien aus Zellulose und Wolle erzielt haben, von der halbtechnischen Überprüfung dieser Methoden sowie von den Eigenschaften der erhaltenen Materialien berichtet werden¹.

Beim Entwickeln von Verfahren zum Herstellen schwerbrennbarer Textilien werden von uns folgende Gesichtspunkte beachtet:

1. der Preis und die Zugänglichkeit des für die Behandlung verwendeten Präparats,
2. die Einfachheit des Verfahrens,
3. die apparative Lösung des Problems und schließlich
4. die Möglichkeiten von Abwasser- und Abluftreinigung bei der industriellen Nutzung der Verfahren.

Die wichtigste Methode, deren wir uns beim Herstellen schwerbrennbarer Materialien bedienen, ist die Synthese von Pfropfcopolymeren der Zellulose

bzw. des Wollkeratins mit verschiedenen Vinylmonomeren.

Die Pfropfcopolymerisation wird in wässrigem Medium bei mäßigen Temperaturen (80—90° C) durchgeführt und kann in Apparaturen erfolgen, die beim Färben von Faserstoffen unter Druck üblich sind. Durch diesen Umstand wird die industrielle Realisierung der Verfahren wesentlich erleichtert.

Das Aufpfropfen kann grundsätzlich auf Gewebe, auf Gespinste oder auf Fasern erfolgen. Die physikalische Form des Textilgutes, für die man sich beim Pfropfen entschließen wird, hängt von der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsfaserstoffes ab. Soll ein schwerbrennbares Gewebe aus Zellulosefasern hergestellt werden — es müssen in diesem Fall nicht weniger als 20 bis 30 Prozent an synthetischem Flammenschutzmittel aufgebracht werden —, so muß das Aufpfropfen auf die Faser erfolgen, da das Aufbringen einer solchen Menge an Flammenschutzmittel auf das fertige Gewebe in der Regel zu einer Abnahme der Einreißfestigkeit führt².

Beim Modifizieren von Wolle ist das Aufpfropfen auf die Faser nicht zweckmäßig. Die Entflammbarkeit der Wolle ist nämlich relativ gering³, sodaß man auf sie beim Herstellen schwerbrennbarer Materialien wesentlich weniger Flammenschutzmittel aufbringen muß. Hierbei können Gewebe oder Gespinste gepfropft werden, ohne daß ihre physikalisch-mechanischen Kennwerte verschlechtert werden.

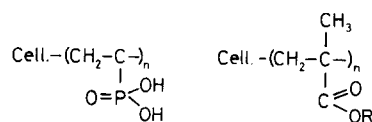
Neben der Synthese von Pfropfcopolymeren ist auch die Entwicklung anderer Methoden zum Herstellen von schwerbrennbaren Produkten der Zellulose bzw. des Wollkeratins sehr interessant. Praktische Bedeutung können Flammenschutzmittel erlangen, die neben Stickstoff bzw. Halogenen Phosphor enthalten. Beim Verwenden solcher Verbindungen kann die Menge des aufzubringenden Flammenschutzmittels wesentlich niedriger gehalten werden. Gegenwärtig arbeitet man daran, schwerbrennbare Zellosederivate unter Verwendung wirksamer, verhältnismäßig billiger Flammenschutzmittel herzustellen. Die bisher erzielten Ergebnisse berechtigen uns dazu, die halbtechnische Produktion solcher Materialien schon für die nächste Zukunft zu planen.

Die Herstellung schwerbrennbarer Zellulosematerialien

Die wirksamsten Flammenschutzmittel für Zellulose sind Phosphor bzw. Phosphor und Stickstoff enthaltende Verbindungen. Es ist bekannt, daß die Wirksamkeit der Flammenschutzmittel durch den Stickstoff erhöht wird und daß die Menge des aufzubringenden phosphorhaltigen Polymeren durch Stickstoffbeigabe verringert werden kann.

Wir stellten verschiedene schwerbrennbare Pfropfcopolymere der Zellulose her:

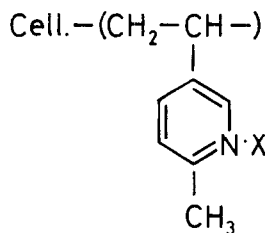
1. solche, in denen der Phosphor an die aufgepfropfte Kette chemisch festgebunden ist⁴, zum Beispiel



R - phosphorhaltiges Radikal

Bei einem Phosphorgehalt von 3,5 bis 4,0 Prozent sind die Pflropfcopolymeren bereits schwer brennbar, der Flammschutzeffekt bleibt nach wiederholten Wäschen bzw. Chemisch-Reinigungen erhalten. Solche Materialien können für die Herstellung von Berufskleidung verwendet werden.

- solche, die basische Gruppen enthalten, an die phosphorhaltige Säuren gebunden bzw. organische Phosphor-Halogen-Verbindungen angelagert werden können. Als Beispiel dafür können Pflropfcopolymere der Zellulose mit Polymethylvinylpyridin dienen⁵:



X - (HPO₃)_n; H₃PO₄
- phosphorbromhaltige Säuren

Bei Verwendung von Meta- oder Orthophosphorsäure muß man, um ein schwerbrennbares Material zu erhalten, 17 bis 20 Prozent Polymethylvinylpyridin auf die Zellulose aufpfropfen. Behandelt man hingegen das Pflropfcopolymere mit Phosphor-Brom-Verbindungen, dann kann die Menge des aufzupfropfenden Polymethylvinylpyridins auf 7 bis 10 Prozent verringert werden. In diesem Fall tritt der Synergismus in Erscheinung.

Dadurch, daß die Phosphorsäuren salzartig gebunden werden, nimmt bei wiederholten Wäschen der Flammschutzeffekt allmählich ab. Durch Nachbehandeln des gewaschenen Gutes mit verdünnten Lösungen der genannten Säuren kann er aber völlig wiederhergestellt werden. Die Behandlung geschieht ganz ohne Erwärmen, sodaß die mechanischen Eigenschaften des Materials dadurch keine Verschlechterung erfahren.

Wiederholtes Chemisch-Reinigen ruft bei solchen Materialien keine Minderung des Flammschutzeffektes hervor.

Diese Art schwerbrennbarer Pflropfcopolymeren setzt man zweckmäßigerweise nur für das Anfertigen von solchen Erzeugnissen ein, die nicht oft gewaschen werden müssen. In der Sowjetunion werden aus derart modifizierten Faserstoffen hergestellte Vliesstoffe in Theatern verwendet.

In letzter Zeit wurde in einer Reihe von Veröffentlichungen über die Verwendung von Phosphornitrilchloridderivaten (PNCl) zur Herstellung von schwerbrennbaren Zellulosefaserstoffen und -geweben berichtet. In den meisten Fällen setzten die Autoren ziemlich teure PNCl-Präparate ein.

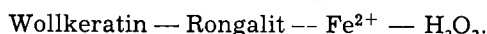
Wir haben in unserem Laboratorium eine Methode ausgearbeitet, nach der man billige wasserlösliche PNCl-Derivate herstellt, die sowohl für die Behandlung von Zellulose- als auch von Mischgeweben eingesetzt werden können. Die Behandlung kann in wäß-

rigem Medium auf in der Textilindustrie üblichen Apparaturen erfolgen. Man kann dank der hohen Wirksamkeit des PNCl und seiner Derivate schon durch Aufbringen verhältnismäßig kleiner Mengen an Flammschutzmittel schwerbrennbare Materialien erhalten.

Die Herstellung schwerbrennbarer Erzeugnisse aus Wolle

Um schwerbrennbare Produkte aus Wolle zu erhalten, haben wir Pflropfcopolymere aus Wollkeratin und Phosphor bzw. aus Halogene enthaltenden Monomeren synthetisiert. Die Pflropfcopolymerisation wurde mittels zwei verschiedenen, in unserem Laboratorium entwickelten Redoxsystemen⁶ ausgelöst:

- eine komplexe Verbindung:

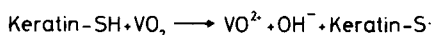


Diesen Komplex erhält man, wenn man Wolle mit wäßrigen Lösungen des zweiwertigen Eisens behandelt, die geringe Mengen Rongalit enthalten. Nach dem Entfernen der nichtgebundenen Fe²⁺-Ionen wird das Material mit einer wäßrigen Emulsion des Monomeren oder mit dessen Lösung in wäßrigem Aceton (die Acetonkonzentration liegt nicht über 5%) in Anwesenheit von Wasserstoffperoxid behandelt. Durch die Verwendung von Rongalit beim Initiieren der Pflropfcopolymerisation war es möglich, die Fe²⁺-Konzentration wesentlich herabzusetzen und die Bildung des Homopolymeren zu verhindern.

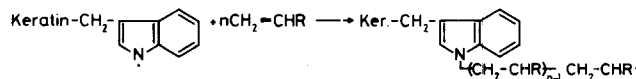
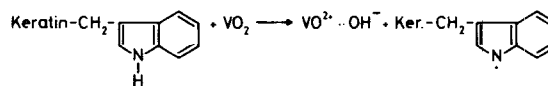
Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, daß es in zwei Stufen abläuft.

- Wollkeratin — Vanadinsäure.

Nach Angaben der Autoren⁷ wird die Pflropfcopolymerisation nach folgendem Schema ausgelöst:



An den Indol-NH-Gruppen des Keratins, die die aktiven Zentren bilden, verläuft die Reaktion wahrscheinlich nach dem Schema:



Der Abbruch der wachsenden Kette erfolgt anscheinend durch Disproportionierung und Umsetzung mit dem Ion des Oxidationsmittels.

Bei der Anwendung des gezeigten Initiierungssystems läuft die Pflropfcopolymerisation in einer Stufe aus wäßrigen Emulsionen bzw. acetonischen Lösungen des Monomeren bei 60 bis 65° C ab.

Nach dem beschriebenen Verfahren wurden schwerbrennbare Wolle, Wollgespinste und -gewebe erhalten⁸. Besonders interessant ist diese Pflropfcopolymerisationsmethode für die Herstellung von schwer-

brennbaren Geweben, aus denen Schutzkleidung für in Betrieben mit großer Hitzeeinwirkung Beschäftigte angefertigt wird. Üblicherweise werden dazu dichte, schwere Gewebe (bis 600 g/m²) verwendet. Man geht hier am besten von leichteren Geweben aus, die nach der Behandlung die erforderliche Dichte erlangen. Durch Verwenden zugänglicher Monomere, die billiger als Wolle sind, kann man Wolle einsparen und dennoch Gewebe mit hohen physikalisch-mechanischen Kennwerten erhalten (Tab. 1).

Tabelle 1: Die wichtigsten physikalisch-mechanischen Kennwerte des Ausgangsgewebes und des schwerbrennbaren Gewebes

Gewebe	Bruchlast kp		Bruchdehnung mm		Dichte		Scheuerfestigkeit Anzahl der Touren
	Kette	Schuß	Kette	Schuß	Kette	Schuß	
Ausgangsgewebe	94,3	16,6	13,0	12,0	38,0	54,0	56200
Schw. brennb. Gewebe	98,9	18,4	12,0	15,0	39,0	58,0	57080

Will man leichte Gewebe herstellen, so ist es am zweckmäßigsten, schon die Ausgangsfaser oder das Gespinnst zu modifizieren und diese bzw. dieses der textilen Verarbeitung zuzuführen. Die Fasern erfahren infolge der Modifizierung keine Veränderung ihrer mechanischen Eigenschaften, sieht man davon ab, daß ihr Durchmesser durch die Anlagerung des synthetischen Polymeren etwas zunimmt.

Die Menge des Flammenschutzmittels, die man auf das Wollgewebe aufbringen muß, um es schwer brennbar zu machen, kann unterschiedlich sein und hängt von der Art des Mittels ab (Tab. 2).

Tabelle 2: Vergleich der Wirksamkeit von Flammenschutzmitteln

Art des Flamm- schutzmittels	Flammschutzmittel- menge % v. Warengewicht	LOI-Wert
Phosphorhaltig	18-20	27-28,5
Phosphor- und brom- haltig	8-10	28-29
Chlorhaltig	34-36	29-30
Phosphor- und chlor- haltig	15-16	28,2

Die schwerbrennbaren Gewebe wurden wiederholt gewaschen und chemisch gereinigt. Eine Verschlechterung ihrer Eigenschaften infolge der erwähnten Behandlungen wurde nicht beobachtet.

Untersuchung der Schwerbrennbarkeit modifizierter Materialien

Zur Beurteilung der Schwerbrennbarkeit modifizierter Zellulose- und Wollgewebe wurden einige Kriterien herangezogen, nämlich

1. der LOI-Wert,
2. die Kinetik der Abspaltung gasförmiger Produkte bei der thermischen bzw. bei der thermooxidativen

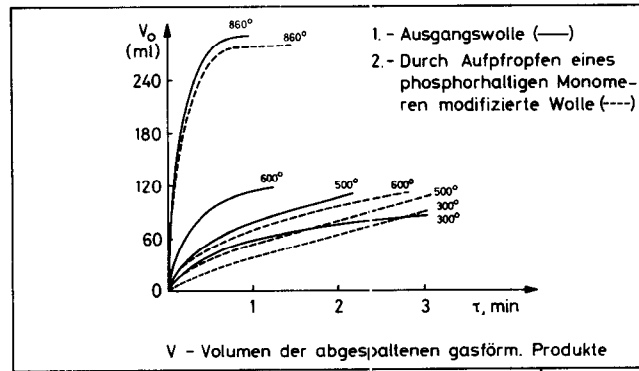


Abb. 1: Die Kinetik der Abspaltung gasförmiger Produkte aus Zellulosematerialien

Zersetzung sowie bei der Flammenverbrennung und

3. die Zusammensetzung sowie die Menge der bei der Zersetzung abgespaltenen gasförmigen Produkte.
- Nach unserer Meinung stellt der LOI-Wert (d. i. jene minimale Sauerstoffkonzentration im Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch, die für ein beständiges Brennen der Probe erforderlich ist) das genaueste Kriterium für die Brennbarkeit dar.

Durch Verändern der aufgetragenen Flammenschutzmittelmenge kann man schwerbrennbare Materialien mit unterschiedlichen LOI-Werten herstellen. Bei Wollgeweben steigt zum Beispiel der LOI-Wert von 26,5 auf 34,0, wenn man auf sie 15 bis 30 Prozent Flammenschutzmittel aufpfropft. Durch zusätzliche Nachbehandlung kann der LOI-Wert von Pfropfcopolymeren des Keratins auf 43 bis 46 angehoben werden. Bei Zellulosematerialien spielt, wie unsere Untersuchungen gezeigt haben, die Zusammensetzung des Flammenschutzmittels eine große Rolle.

Bei Verwendung phosphorhaltiger Flammenschutzmittel lag der LOI-Wert nicht höher als 28 bis 30. Mit Flammenschutzmitteln, die viel Phosphor und Stickstoff enthielten, konnten hingegen schwerbrennbare Zellulosegewebe mit LOI-Werten von 40 bis 45 erhalten werden.

Durch das Einbringen des Flammenschutzmittels in das Wollkeratin bzw. in das Zellulosemolekül wird der Charakter der thermischen und der thermooxidativen Zersetzung sowie der Verbrennung des Materials wesentlich verändert: der Verkokungsrückstand wird

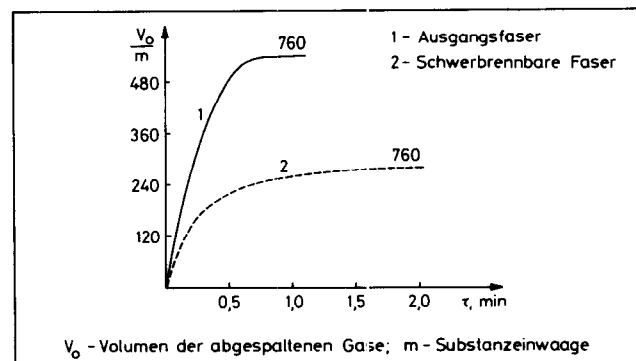


Abb. 2: Die Kinetik der Abspaltung gasförmiger Produkte aus Wolle

Tabelle 3: Einfluß der Temperatur des Hitzeschocks bei thermischer Zersetzung der Ausgangs- bzw. der schwerbrennbar ausgerüsteten Wolle auf die Höhe des festen Rückstands sowie auf Menge und Zusammensetzung der abgespaltenen gasförmigen Produkte

Temperatur, °C	Ausgangswolle												Schwerbrennbare Wolle													
	Gasförmige Produkte			Zusammensetzung der gasförmigen Produkte, Vol.%									Gasförmige Produkte			Zusammensetzung der gasförmigen Produkte, Vol.%										
	Koks, Gew. %	Gew. %	Vol., ml/g	CO ₂	NH ₃	HCN	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂	CH ₄	CO	Koks, Gew. %	Gew. %	Vol., ml/g	CO ₂	NH ₃	HCN	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂	CH ₄	CO
400	18	42	93,7	35	39	-	-	-	1,3	-	-	1,04	23,6	30	35	94,5	28	33	-	-	3,9	-	-	-	2,0	33,0
500	14	43	105,3	35	30	-	0,8	0,7	0,7	5,3	1,1	4,2	22,3	24	39	96,0	35	31	-	0,9	0,8	0,8	7,8	0,7	4,4	18,0
600	12	48	113,7	35	32	-	0,6	0,7	0,9	5,0	1,05	4,9	19,8	20	41	108,0	40	32	1,0	0,5	0,3	0,4	9,2	0,6	4,0	12,1
700	11	54	154,7	25	36	0,6	0,6	0,9	0,4	11,3	0,6	3,8	21,4	18	44	160,0	26	31	1,4	0,7	1,4	0,3	11,5	2,1	3,6	18,0
800	9	59	279,0	24	25	3,0	0,3	1,4	0,3	15,0	1,2	4,0	27,0	15	61	265,5	23	18	2,3	0,9	3,3	0,2	16,4	3,4	10,2	21,5

größer, es verringert sich das Gesamtvolumen der abgespaltenen gasförmigen Produkte, und die Geschwindigkeit ihrer Abspaltung wird kleiner⁹.

Auf den Abbildungen 1 und 2 sind Kurven gezeigt, die die Geschwindigkeit der Abspaltung von Gasen aus den Ausgangs- und den schwerbrennbaren Zellulose- und Wollfasern bei der thermischen Zersetzung veranschaulichen.

Die Untersuchung der Zusammensetzung von aus schwerbrennbaren Materialien abgespaltenen Gasen hat gezeigt, daß sich die qualitative Zusammensetzung der gasförmigen Produkte beim Einführen des Flammenschutzmittels nur unwesentlich verändert und daß nur die Menge des Verkokungsrückstandes beeinflußt wird (Tab. 3).

Für schwerbrennbare Zellulosematerialien lag der Verkokungsrückstand zwischen 19 und 30 Prozent. Für Wolle machte er bei 400 bis 500° C 35 bis 37 Prozent aus und sank bei einer Temperaturerhöhung auf 700 bis 800° C auf 20 bis 18 Prozent ab, wodurch das Volumen der abgespaltenen Gase entsprechend größer wurde.

Literatur:

- 1) S. A. Rogovin: „Chemische Umwandlungen und Modifizierung der Zellulose“; Moskau 1967
- 2) T. J. Sharova, M. A. Tjugarova, S. A. Rogovin; *Tekstilnaja Prom.* 6, 67—68 (1967)
- 3) H. Heiz; *Textilveredlung* 6 (10), 646—651 (1971)
- 4) S. A. Rogovin, T. J. Sharova, M. A. Tjugarova, B. B. Levin; *Vysokomol. Soed.* 3, 698—703 (1967)
- 5) SUP 344.053 (Urheberschein) — 1972
- 6) SUP 401.675 (Urheberschein) — 1973
- 7) S. F. Sadova, A. A. Konkin, W. D. Aldoschin, S. J. Frenkel; *Vysokomol. Soed.* 11B, 11 (1969)
- 8) M. A. Tjugarova, M. A. Kopjev, T. J. Koshanova; *Trudy MTI, Ausg. 1*, 47—51, S. 205 (1974)
- 9) P. P. Schtscheglov, T. A. Ioffe, M. P. Pen'kova, M. A. Tjugarova; *Faserforsch. u. Textiltechn.* 24 (6), 297—304 (1973)

Die Prüfung der Entflammbarkeit von für Bekleidung bestimmten Textilien

Dr. Frank Holmes
Shirley Institute, Manchester/England

Dieses Referat umreißt die Ergebnisse eines Forschungsprojektes, das im Auftrag des Home Office des Britischen Innenministeriums gemeinsam vom Shirley Institut und dem HATRA-Forschungsverband mit dem Ziel durchgeführt wurde, verbesserte und realistischere Verfahren für die Prüfung der Brennbarkeit von Bekleidungstextilien zu erarbeiten. Es wurden Messungen zur Bestimmung des Grades der Entzündlichkeit, der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit und der erzeugten Wärmemenge an zahlreichen Einzeltextilien sowie an Kombinationen aus zweierlei Textilien vorgenommen.

Dabei stellte sich heraus, daß viel mehr Proben als gewöhnlich erforderlich waren, um die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit mit den tatsächlichen Verhältnissen des täglichen Lebens in Beziehung zu bringen. Verschiedenartige Stoffe zeigten erhebliche Unterschiede in ihrem Brennverhalten. Zwecks ausreichender Charakterisierung war es daher nötig, zweidimensionale Flammenausbreitungsmessungen an den Textilien durchzuführen (d. h. sowohl in senkrechter als auch in waagrechter Richtung).

Wenn ein verhältnismäßig feuersicheres Textilmaterial mit einem brennbaren in Berührung gebracht wurde, konnte die Kombination gewöhnlich entzündet werden und zeigte eine weitgehende Ausbreitung der Flammen. Flammenausbreitungsmessungen an Polyamid- und Polyesterstoffen mit Glasfaserverstärkung werden ebenfalls besprochen.

Neue Prüfverfahren, die auf Grund dieser Prinzipien entwickelt worden waren, wurden ausgedehnten Laborversuchen unterworfen, deren Ergebnisse umrissen werden.

Die schwierige Übereinstimmung von Wirklichkeitsnähe und Wiederholbarkeit bei Versuchsverfahren für das Brennverhalten wird besprochen.

This paper outlines the results of a research project, conducted jointly by the Shirley Institute and HATRA for the Home Office, with the aim of providing improved and more realistic methods of test of the fire hazard of textile fabrics; the fabrics, studied singly and as two-layer assemblies, were of the types used in ordinary apparel. Measurements of ease of ignition, rate of spread of flame and amount of heat evolved were made on numerous fabrics and assemblies; in the measurement of flame spread, the effects of shape and size of the specimen were studied.

It was found that specimens much wider than those commonly used were necessary if the rate of spread of flame was to be related to real-life situations. Different materials could differ considerably in their manner of burning, and for an adequate characterization it was necessary to measure flame spread over the fabric in two dimensions (e. g. both upwards and sideways). When a relatively safe fabric was held in contact with a combustible one, the assembly could usually be ignited and allowed flame to spread extensively. Measurements of flame spread on nylon and polyester fabrics were rendered much more precise if a glass reinforcement was used; this controversial technique for making internal comparisons between thermoplastics is discussed.

New tests, devised according to these principles, were subjected to a more extensive interlaboratory trial; the results are outlined. On the basis of the results, a draft British Standard has been issued for comment, embodying tests of ease of ignition and of rate of spread of flame. This draft, if approved, will not add further to the multiplicity of tests, but will replace two existing British Standard methods.

The difficult compromise between realism and reproducibility in test methods of burning behaviour is discussed.

Einleitung

Man kam schon vor längerer Zeit zu der Erkenntnis, daß die im Vereinigten Königreich Großbritannien bestehenden Prüfverfahren für die Entflammbarkeit von Textilien unzureichend waren, und zwar besonders in bezug auf thermoplastische Textilien. Das System der bestehenden Prüfungen und die auf diesen beruhenden Vorschriften sind an anderer Stelle zusammengefaßt worden¹. Bereits begonnene Arbeiten einer Arbeitsgemeinschaft des englischen Textilinstituts wurden von den Textilforschungsverbänden weitergeführt und dadurch erweitert, darunter auch jene über die Entflammbarkeit.

Im Rahmen eines dreijährigen Projektes, das zum Teil vom Home Office (des Britischen Innenministeriums) finanziert wurde, sind diese Forschungen in enger Zusammenarbeit von einer gemeinsamen Forschungsgruppe des Shirley Instituts und des Hatra-Forschungsverbandes ausgeführt worden.

Außer einer Verbesserung der Untersuchungsmethoden für thermoplastische Textilien wollte man auch feststellen, ob das Brennverhalten von Kleidungsstücken durch übliche Muster von Textilien auch ausreichend veranschaulicht wurde und ob eine Kombination aus zwei verschiedenen, miteinander in Berührung stehenden Textilien sich so verhält, wie man dies auf Grund der Eigenschaften der Einzelbestandteile erwarten könnte. Als Versuchsmaterialien wurden handelsübliche Textilien gewählt, wie sie zur Herstellung von Kleidern, Röcken, Unterröcken und Nachthemden verwendet werden. Die Faserstoffe bestanden aus Baumwolle, Viskoseseide, Acetat Kunstseide, Triacetat, Wolle, Polyacryl, Polyamid oder Polyester bzw. aus verschiedenen Mischungen, wie beispielsweise Polyester/Baumwolle, Polyester/Wolle oder PVC/Polyamid.

Die Textilien bzw. die Kombinationen zweier verschiedener, miteinander in Berührung stehender Textilien wurden in Form von senkrechten, flachen Streifen (wie bei vielen bestehenden Versuchsmethoden), Zylindern (die das Tragen eines Rockes oder Kleides darstellen)

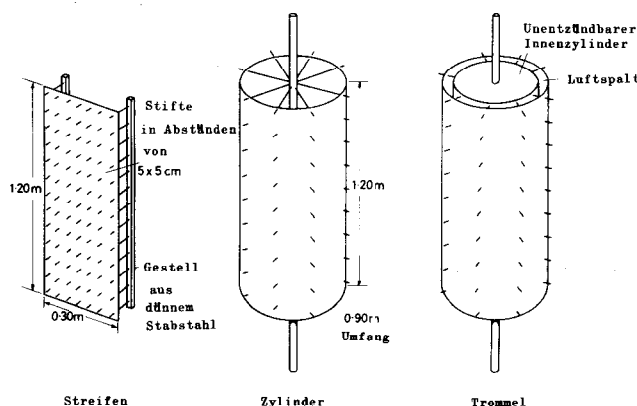


Abb. 1: Einige Formen der untersuchten Textilproben

und „Trommeln“ oder ausgefüllten Zylindern (die vom Rumpf des Körpers etwas abstehende Kleidungsstücke simulieren), untersucht. Alle diese Formen besaßen eine reale Größe (Abb. 1). Sämtliche Zylinder und Trommeln waren unten offen. Einige waren auch oben offen; andere, „abgedeckte“, waren oben durch einen Deckel verschlossen.

Umfang und Ergebnisse der Untersuchungen

Es wird allgemein angenommen, daß die folgenden Kriterien verschiedene Gesichtspunkte des Brennverhaltens eines Textilstoffes charakterisieren:

- den Grad der Entzündlichkeit,
- die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit und
- die Wärmekapazität.

Diese Kriterien wurden daher mit Hilfe verschiedener Verfahren an einer großen Anzahl von Einzeltextilien, aber auch an Kombinationen gemessen. Das gesetzte Ziel war es, diese Untersuchungen wiederholbar und die dabei erhaltenen Ergebnisse reproduzierbar zu gestalten.

Bei Textilien, die nur im begrenzten Maße brannten, waren die für die Darstellung des Brennverhaltens gemessenen Parameter am besten geeignet:

- der Grad der Entzündlichkeit,
- die Brenndauer und
- das Ausmaß des Schadens.

Weitere Kriterien, die zwar gemessen, aber als Grundlage für Prüfverfahren als ungeeignet befunden wurden, waren:

- die vom Material erreichte Temperatur, sowie
- die Leichtigkeit der Selbstverlöschung.

Grad der Entzündlichkeit

Die Entzündung stellt das erste Stadium eines jeden Brennvorgangs dar, und es liegt aus diesem Grunde auf der Hand, daß die Leichtigkeit, mit der die Entzündung stattfinden kann, die wichtigste Eigenschaft zur Charakterisierung eines Textilmaterials darstellt.

Die üblichsten Zündmittel für Versuche zur Bestimmung der Brennbarkeit von Textilien sind Gasflammen. Verschiedenartige kleine Butan- oder Leuchtgasflammen wurden ausprobiert. Diese Flammen waren entweder leuchtend oder durchlüftet, das Gas strömte aus Brennerrohren verschiedener Durchmesser und Neigungswinkel. Es stellte sich heraus, daß Einzelheiten, die die Entzündungsquelle betrafen, bei Baumwolle, Viskoseseide, Acetatkunstseide, Triacetat und Polyacrylstoffen unbedeutend waren. Die Entzündung fand statt, sobald die Zündflamme einige Sekunden lang mit dem Material in Berührung gebracht worden war, und die folgende Ausbreitung der Flammen über den Textilstoff war beinahe unabhängig von den Umständen bei der Entzündung. Einige thermoplastische Textilien (z. B. Polyamid, Polyester oder die PVC/Polyamid-Mischung) konnten nur schwer entzündet werden. In diesen Fällen erwies sich, daß eine kleine Zündflamme, die kurzzeitig mit dem Material in Berührung gebracht wurde, im allgemeinen am wirksamsten war. Wie zu erwarten war, schwankte die erforderliche Beflammungszeit (d. i. die Berührungsdauer der Flamme mit dem Material) bei den verschiedenen

Faserarten und Konstruktionen der textilen Flächengebilde.

Ein stabartiges elektrisches Heizelement wurde ebenfalls als Zündquelle ausprobiert, und zwar wurde es entweder ganz nahe an den Textilstoff herangeführt oder sogar in Berührung mit ihm gebracht. Baumwolle, Viskoseseide, Acetatkunstseide, Triacetat und eine Mischung aus Polyester/Baumwolle (67/33 %) entzündeten sich dann am schnellsten, wenn sie mit dem heißen Heizelement in Berührung kamen. Andere thermoplastische Textilien (Polyacryl, Polyamid, Polyester, PVC/Polyamid und Polyester/Wolle) entzündeten sich bei Berührung des Heizelementes gewöhnlich nicht, schmolzen jedoch, als ob sie mit einem Messer zerschnitten worden wären.

Daraus wurde der Schluß gezogen, daß eine kleine Gasflamme eine geeignete Zündquelle zur Beurteilung der Entzündlichkeit von Textilien darstellt und außerdem zur Inangangsetzung eines Versuchs geeignet war, bei dem andere Eigenschaften, wie beispielsweise die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, gemessen werden konnten.

Die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit in senkrechter Richtung

Diese Eigenschaft gibt einige Andeutungen über das Ausmaß der Hautverbrennungen, die eine Person innerhalb einer bestimmten Zeit bei einem Brandunfall erleidet, oder — umgekehrt ausgedrückt — die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit ist ein reziprokes Maß für die Zeitspanne, die zum Ergreifen wirksamer Rettungsmaßnahmen zur Verfügung steht.

Zwei experimentelle Verfahren wurden unter verschiedenen Gesichtspunkten der Forschungsarbeiten zur Erfassung und Aufzeichnung der Flammenausbreitung eingesetzt:

- Das erste von diesen war das Auslösefaden-Verfahren, bei dem Baumwollfäden verwendet wurden, die waagrecht in verschiedener Höhe und mit geringem Abstand von dem senkrechten Stoffstreifen angeordnet waren. Sobald die Flammenspitze des brennenden Textils die Höhe eines Auslösefadens erreicht, brennt dieser schnell durch, wobei ein Mikroschalter betätigt wird, der ein elektrisches Zählwerk stillsetzt.
- Das zweite Verfahren bediente sich einer Recording-Kamera, mit der das brennbare Material in Abständen von 2 bzw. 4 Sekunden fotografiert wird. Die Aufnahmen veranschaulichen sämtliche Merkmale des Brennvorgangs: die Lage der Spitze und der Basis der Flamme, die Flammenbreite sowie Form und Größe der verkohlten Fläche des Textilstoffes.

Das gemeinsame Merkmal dieser beiden Verfahren besteht darin, daß keine subjektiven Beurteilungen, beispielsweise von Zeitdauer oder der Abschätzung der Flammenlage durch die den Versuch durchführende Person, gemacht werden müssen. Das Auslösefaden-Verfahren ist zweckdienlicher, wenn nur die senkrechte Ausbreitung der Flamme gemessen werden braucht und ein sofortiges Ergebnis gewünscht wird. Das photographische Verfahren ist hingegen für eine umfassendere Charakterisierung unumgänglich.

Der Einfluß der Form und Größe von Streifenproben

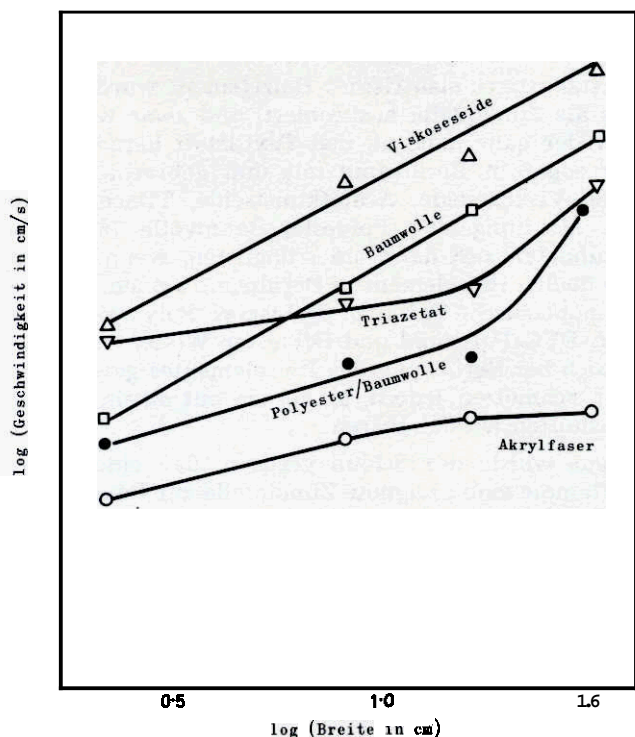


Abb. 2: Der Einfluß der Streifenbreite auf die Flammengeschwindigkeit

auf die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit wurde untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß die Flamme gewöhnlich mit zunehmender Geschwindigkeit am Streifen emporsteigt. Um daher für die Praxis nützliche Ergebnisse zu erzielen, sollten die Proben aus Bekleidungstextilien eine den Kleidungsstücken entsprechende Länge besitzen. Bei zunehmend breiter werdenden Streifen ergab es sich, daß sich die Flammen in senkrechter Richtung viel schneller ausbreiten (Abb. 2).

Dieses Phänomen ist durch erleichtertes Mitreißen von Luft mit der Flamme und der schnelleren, wirbelnden Aufwärtsströmung der heißen Gase bei zunehmender Weite des Streifens erklärt worden. Die praktische Bedeutung besteht darin, daß eine Probe eine wirkliche nahe Breite besitzen muß, wenn aus den Versuchen nützliche Rückschlüsse für Bekleidungsgegenstände gewonnen werden sollen.

Bei den Proben, deren Formen und Größen in Abbildung 1 dargestellt sind, stieg die Flamme bei vielen Einzelstoffen bzw. bei Kombinationen aus zwei Textilstoffen mit zunehmender Geschwindigkeit an der Probe empor; bei einigen war die Geschwindigkeit gleichmäßig, und bei einer kleinen Anzahl nahm sie sogar ab (Abb. 3).

Viele Systeme konnten daher nur durch ein vollständiges Aufzeichnen der Flammenlage in bezug auf Zeitdauer ausreichend charakterisiert werden. Für etliche Vergleiche war es jedoch oft günstiger, das System jeweils durch die Zeit, die die Flammenspitze zur Erreichung einer genormten Höhe (z. B. 60 oder 120 cm) benötigte, zu charakterisieren.

Der Verlauf eines Brandschadens wurde für verschiedenartig befunden. So war zum Beispiel die anfängliche Flammenausbreitung an einem Zylinder aus Viskoseseidenstoff fast völlig senkrecht. Abbildung 4 (links) zeigt die senkrechten Brennkanten, die sich anschließend langsam um den Zylinder herum bewegen.

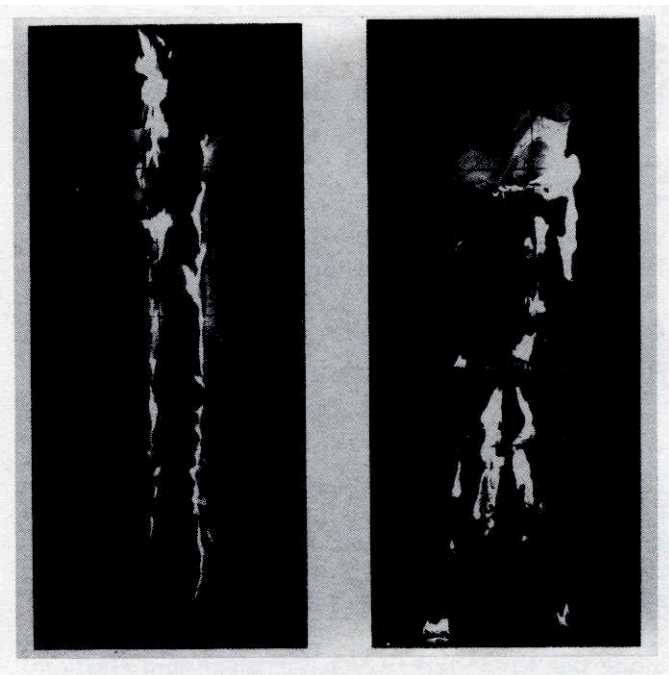


Abb. 4: Senkrechte Brennkanten (links), oberer Teil fast unversehrt (rechts)

Andererseits breitete sich die Flamme an einem Zylinder aus einem Acetatkunstseidenstoff vom Anfang an sowohl waagrecht als auch senkrecht aus, sodaß das obere Drittel des Zylinders fast unversehrt blieb, obwohl der übrige Teil vollständig verbrannte (Abb. 4, rechts). Bei einigen anderen Textilien verlief der Schaden völlig unregelmäßig (Abb. 5).

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß für eine vollständige Beschreibung der Flammenausbreitung sowohl Messungen der Ausbreitung in waagrechter als auch in senkrechter Richtung erforderlich sind.

Bei der Verbrennung unterschiedlich geformter Proben aus ein und demselben Textilstoff war der senkrechte Fortschritt der Flamme am Streifen und am Zylinder gewöhnlich schneller als an der Trommel

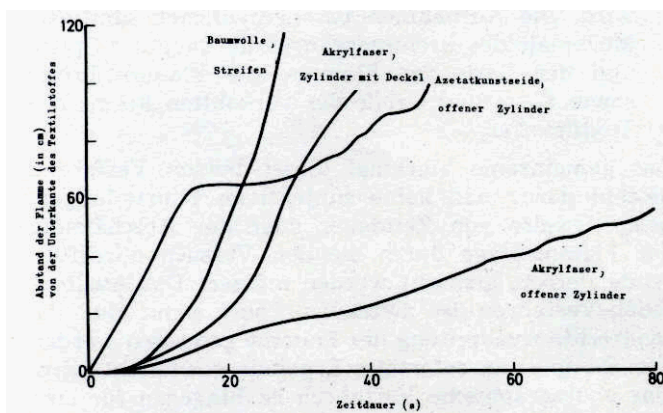


Abb. 3: Beschleunigende, gleichförmige und verzögernde Bewegung der Flamme

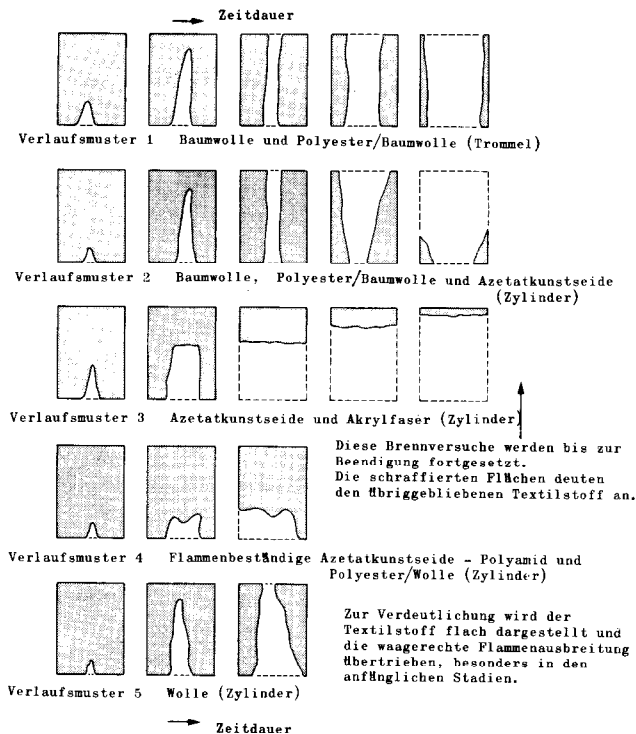


Abb. 5: Brennweise von Textilien (in Form von Zylindern und Trommeln)

(Abb. 6), das heißt, er war an denjenigen Formen am schnellsten, die den größten Luftzutritt zu den Textilien gestatteten.

Viele wirklichkeitsnahe Kombinationen von zwei Textilien wurden nach den gleichen Verfahren, die für Einzeltextilien eingesetzt wurden, untersucht. Die meisten der Kombinationen bestanden aus Textilien, die für ein Kleid oder einen Rock mit Unterrock oder Innenfutter typisch sind; einige simulierten einen Arbeitsmantel mit darunter getragenen Kleid oder Rock, andere wiederum einen Schlafrock mit einem Nachthemd darunter.

Die bedeutendste Feststellung bestand darin, daß eine Kombination eines Polyamid-, Polyester- oder Wollstoffes in Verbindung mit einem Baumwoll-, Acetat-kunstseiden- oder Polyacrylstoff gewöhnlich zu ausgehnter Flammenausbreitung führte, obwohl Polyamid, Polyester oder Wolle, wenn jedes für sich allein geprüft wurde, nach kurzer Zeit von selbst erlosch.

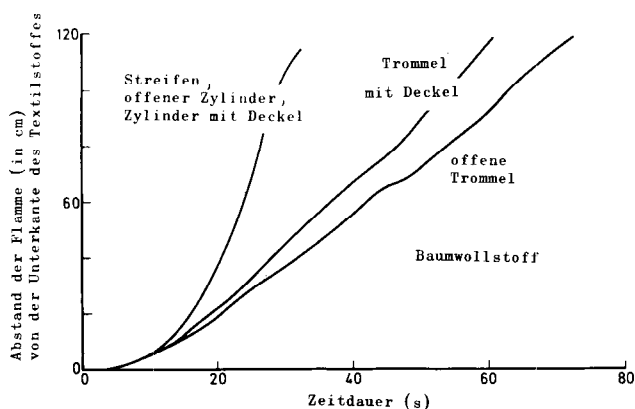


Abb. 6: Der Einfluß der Probenform auf die Flammenbewegung

Aus diesen Versuchsergebnissen ziehen wir für die Praxis den Schluß, daß Rockware (z. B. Polyester/Wolle, Polyester oder PVC/Polyamid), die allein nur langsam oder in begrenztem Ausmaß brennt, beträchtlich gefährlicher werden kann, wenn ein brennbarer Futterstoff (z. B. Triacetat) eingenäht ist. Drückt man diese Tatsache formeller aus, dann kann festgestellt werden, daß die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit bei einer Kombination gewöhnlich zwischen den für die Einzeltextilien ermittelten Geschwindigkeiten lag.

So war zum Beispiel die Zeit für einen Aufstieg von 60 cm an Zylindern

- bei einem schweren Polyester > 180 Sekunden,
- bei einem leichten Triacetat 12 Sekunden und
- bei einer Kombination der beiden 72 Sekunden.

Qualitativ überraschen diese Beobachtungen gar nicht, und es ist natürlich auch niemals behauptet worden, daß ein schwer entflammbarer Textilstoff eine positive Feuerlöschwirkung hat. Was jedoch als bemerkenswert verzeichnet werden muß, ist die starke Wirkung, die von einem leichten, brennbaren Innenfutter ausgeübt werden kann.

Auf gleiche Weise ziehen wir aus den Ergebnissen den Schluß, daß ein verhältnismäßig sicherer Arbeitsmantelstoff (z. B. aus Polyamid), der über einem brennbaren Kleiderstoff (z. B. aus Polyacrylfasern) getragen wird, oft nur wenig Schutz bietet und bei ausreichender Luftzufuhr die Verbrennung nur in geringem Maße verzögern kann.

Zur Veranschaulichung dienen Zeitangaben für eine Flammenausbreitung von 60 cm an folgenden Proben:

- Polyamidgewebe — die Flamme erreichte 60 cm gar nicht,
- Polyacrylfaserstoff — die Flamme erreichte 60 cm nach 35 Sekunden,
- Kombination PA/PAC — die Flamme erreichte 60 cm nach 45 Sekunden.

Der Verlauf der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit und des Brennschadens sowie der Einfluß der Probenform bei den Kombinationen waren den an Einzeltextilien festgestellten Ergebnissen ähnlich.

Die waagrechte Flammenausbreitungsgeschwindigkeit

Bei den meisten Versuchen an Einzeltextilien bzw. an Kombinationen wurde aus den bereits erwähnten Gründen die waagrechte Flammenausbreitungsgeschwindigkeit zusätzlich zu der senkrechten gemessen. Das interessanteste Merkmal der Ergebnisse war die Tatsache, daß das größte Verhältnis zwischen waagrechter und senkrechter Flammenausbreitung — mit anderen Worten: der am meisten verbreitete Schaden an Einzeltextilien aus Polyacrylfasern oder aus Polyester/Wolle-Mischung und an Kombinationen, die Polyacrylfasern oder ein schweres Polyester material enthielten — verzeichnet wurde. Der Einfluß der Probenform und der Vergleich zwischen Kombinationen und Einzeltextilien war für die waagrechte wie auch die senkrechte Flammenausbreitung ähnlich.

Die Flammenausbreitung an thermoplastischen Textilien

Dieses Thema wurde einer besonderen Untersuchung unterzogen, weil die bestehenden Untersuchungs-

methoden größte Schwankungen im Brennverhalten an thermoplastischen Textilien liefern.

Wurden senkrecht hängende Streifen aus Polyamid, Polyester oder PVC/Polyamid erfolgreich angezündet, so schmolz das Material örtlich, es bildete sich ein Loch, aber es fand gewöhnlich keine umfassende Ausbreitung der Flammen statt. Eine örtlich begrenzte Flamme bewegte sich an den geschmolzenen Rändern auf und ab; aber es war nicht mehr zweckdienlich, eine Flammenausbreitungsgeschwindigkeit zu messen. Die Nachbrennzeit (d. i. die Zeit, die der Textilstoff zum Verlöschen braucht) sowie Höhe und Flächeninhalt der beschädigten Stelle wurden als passendere Charakterisierung der Verbrennung gemessen. Aber auch diese Eigenschaften unterlagen oft übermäßigen Schwankungen zwischen verschiedenen Proben ein und desselben Textilstoffes, sodaß kein sinnvolles Ergebnis zustande kam.

Um bei thermoplastischen Textilien ein gleichmäßigeres Brennverhalten zu erzielen, wurden in der Folge solche mit unterschiedlichen Verstärkungen geprüft.

Eine brennbare Verstärkung aus Glasseide oder einem leichten Glasfasergewebe bewirkt, daß Textilien aus Polyamid bzw. aus Polyester weitgehender und mit erhöhter Reproduzierbarkeit brannten, als dies bei unverstärkten Textilien der Fall war. Die Verbrennung fand oft über die gesamte Länge statt. Mehrere Kombinationen von Glasseide oder Glasfasergewebe mit verschiedenen Textilien aus Polyamid ergaben Werte, mit deren Hilfe eine Rangordnung von Polyamidtextilien nach ihren Flammenausbreitungsgeschwindigkeiten — von der schnellsten bis zur langsamsten — aufgestellt werden konnte.

Wenn thermoplastische Textilien mit einem leichten Baumwollstoff — also einer brennbaren Verstärkung — gefüttert wurden, lief die Flamme jedesmal an der gesamten Länge der Probe mit guter Reproduzierbarkeit hinauf. Auch die baumwollgefütterte Kombination reihte Textilien aus Polyamid bzw. aus Polyester in derselben Weise von der höchsten bis zur geringsten Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, wie das bei dem glasfaserverstärkten System erfolgt war.

Die Ergebnisse zeigten, daß sowohl die Kombination mit einem Baumwollfutter als auch das System mit einer Glasfaserverstärkung einen gleichen „wahren“ Maßstab der relativen Entflammbarkeit dieser thermoplastischen Textilien lieferte. In beiden Systemen nahm die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit für ein und dasselbe Fasermaterial bei zunehmendem Flächengewicht beträchtlich ab.

Das baumwollgefütterte System stellt offensichtlich eine sehr strenge Prüfung für thermoplastische Textilien dar, weil es mit den gefährlichsten Verwendungsverhältnissen übereinstimmt. Das glasfaserverstärkte System fördert ein regelmäßiges Brennverhalten des thermoplastischen Textils, ohne diesem zusätzlich ein brennbares Material hinzuzufügen.

Der Einsatz von Verstärkungsmaterialien bei der Prüfung thermoplastischer Textilien

Brennbare Unterlage

Die Verstärkung eines thermoplastischen Textilstoffes mit einem Baumwollstoff für einen Brennversuch kann nur dann als realistisch und geeignet betrachtet

werden — selbst wenn diese strenge Prüfung reproduzierbare Ergebnisse liefert —, wenn es bekannt ist, daß Kombinationen aus einem thermoplastischen Textilstoff mit einem Baumwollstoff in der Praxis Verwendung finden. Solche Versuchsanordnungen können daher nicht als allgemein anwendbar betrachtet werden.

Nichtbrennbare Unterlage

Für die Verstärkung eines thermoplastischen Textilstoffes mit Glasfasergewebe kann eine stärkere Verteidigung vorgebracht werden. Wir wollen versuchen, die verschiedenen Gründe, die zugunsten dieses Verfahrens sprachen, und die Gegenargumente so neutral wie möglich darzulegen.

1. *ein Argument für die Glasfaserverstärkung:* Die Durchführung von Brennversuchen mit einer Glasverstärkung bei thermoplastischem Material wird nur als eine zusätzliche fakultative Prüfung vorgeschlagen, und zwar nur im Anschluß an eine bereits erfolgte Prüfung des thermoplastischen Textilstoffes allein. Die Glasverstärkung bietet besondere und strenge Prüfbedingungen, die eine regelmäßige und weitgehendere Ausbreitung der Flamme fördern, als dies bei der Prüfung des thermoplastischen Textilstoffes ohne Verstärkung der Fall ist.

Die erhaltenen Ergebnisse beziehen sich nur auf die benannten Prüfbedingungen, sind jedoch für Vergleiche von thermoplastischen Textilien untereinander sehr nützlich. Die Rangfolge der Entflammbarkeit, in die die verschiedenen Textilien eingeordnet werden, hat allerdings eine umfassendere Gültigkeit. Das Glasfasergewebe — obgleich in gewisser Beziehung ein künstliches Hilfsmittel — stellt die Haut der das Kleidungsstück tragenden Person dar und steht mit dem Kleidungsstück in Berührung.

Gegen die Glasfaserverstärkung spricht, daß das Verfahren vollkommen unrealistisch ist. In der Wirklichkeit brennt nämlich ein thermoplastischer Textilstoff auch nicht auf diese Art und Weise, das heißt in Kontakt mit einem Glasfasergewebe. Das durchbrochene Glasfasergewebe, das freien Luftzutritt gestattet, simuliert nämlich die menschliche Haut nicht völlig exakt. Außerdem findet die zufällige Entzündung eines textilen Stoffes gewöhnlich im unteren Teil (beispielsweise) eines Kleides statt, das heißt dort, wo er nicht mit der Haut in Berührung steht. Aus diesem Grunde ist der Einsatz einer Glasfaserverstärkung sinnlos und unnötig. Ein thermoplastischer Textilstoff sollte entweder allein oder als Bestandteil einer der Wirklichkeit entsprechenden Kombination geprüft werden.

2. *Argumente, die für die Verwendung einer Glasfaserverstärkung sprechen:* Wenn der thermoplastische Textilstoff für sich allein geprüft wird, liefert er äußerst schwankende Ergebnisse, soweit es die Flammenausbreitung betrifft. Die Glasverstärkung — wenn auch unrealistisch — gestattet zumindest eine verbesserte Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und ermöglicht dadurch Vergleiche zwischen verschiedenen thermoplastischen Textilstoffen.

Gegen sie spricht, daß die Ergebnisse der in Laboratorien mehrerer Forschungsanstalten durch-

geführten Versuche zeigten, daß der baumwollene Heftfaden, der den thermoplastischen Textilstoff am Glasfasergewebe festhielt, das Brennverhalten stark beeinflusste. Tatsächlich war die senkrechte Flammenausbreitung besser reproduzierbar als bei der Prüfung des thermoplastischen Textilstoffes allein; jedoch erwies sich die waagrechte Flammenausbreitung als äußerst veränderlich, und die Gesamtergebnisse waren nicht sehr vertrauenerweckend. Außerdem stellten sich bei der Vorbereitung des Glasfasergewebes, insbesondere beim Zusammenheften des thermoplastischen Textilstoffes mit dem Glasfasergewebe, gravierende Schwierigkeiten für die Praxis heraus.

3. *noch ein Argument für die Glasfaserverstärkung:* Obgleich eine Glasfaserverstärkung unrealistisch sein mag, bedeutet die Alternative, daß einige thermoplastische Textilstoffe mit anorganischen Fasern (z. B. mit Asbestfasern) von vornherein unentflammbar eingestuft werden — was einen noch weitaus unrealistischeren Standpunkt darstellt.

Gegen sie spricht, daß wenn eine kleine Zündflamme an ein vorschriftsmäßig konfektioniertes thermoplastisches Kleidungsstück herangebracht wird und dieses nicht entzündet, so ist es durchaus realistisch und als vollkommen unentflammbar zu klassifizieren.

Vom Standpunkt des Verfassers aus bleibt daher die Diskussion über die Prüfprinzipien noch offen; die praktischen Ergebnisse der Versuche in verschiedenen Laboratorien mehrerer Forschungsanstalten machen aber die Verwendung einer Glasfaserverstärkung viel weniger anziehend, als sie früher erschien.

Die reale Wärmekapazität

Diese Eigenschaft, obgleich früher bei der Prüfung von Textilien nur selten gemessen, wurde untersucht, weil die bei Brandunfällen auf die Haut übertragene Wärme die unmittelbare Ursache der Hautverletzungen darstellt. Die bei der vollständigen Verbrennung von verschiedenen Faserstoffen erzeugten Wärmemengen sind bereits bekannt. Bei Brandfällen in der Praxis ist die Verbrennung jedoch gewöhnlich unvollständig; einige Rückstände — entweder verkohltes oder geschmolzenes und wiedererstarrtes Material — bleiben zumeist übrig. Die Menge der in der Praxis erzeugten Wärme wird daher oft beträchtlich geringer als die bei vollständiger Verbrennung erzeugte Wärme sein.

Um die unter realistischen Brennverhältnissen erzeugte Wärmemenge zu messen, wurde ein im voraus gewogener Streifen eines Textils in einem abgeschlossenen Blechkasten mit ausreichendem Luftvolumen brennen gelassen. Das Wärmeaufnahmevermögen des Kastens war bekannt. Die Temperaturanstiege wurden mittels Thermoelementen an zahlreichen Stellen (z. B. am Deckel, am Boden und an den Seiten) des Kastens gemessen, und die beim Brennen erzeugte Gesamtwärme wurde durch geeignete Berechnungen festgestellt.

Die Ergebnisse zeigten, daß ein brennender Baumwollstoff eine Wärmemenge erzeugt, die beinahe so groß ist wie der bei vollkommener Verbrennung erzielbare Wert; Textilien aus Polyester/Baumwolle bzw. aus

Polyacrylfasern erzeugten nur etwa die Hälfte der bei vollkommener Verbrennung freiwerdenden Wärme, und Stoffe aus Acetat Kunstseide bzw. aus Triacetat fielen innerhalb diese äußersten Werte. Unter den aus zwei Textilien bestehenden Kombinationen, die untersucht wurden, erzeugten diejenigen, die Zellulose enthielten, beträchtlich weniger Wärme, als es bei vollkommener Verbrennung der Fall gewesen wäre.

Auf Grund der praktischen Brandgefahr erwies es sich als nützlich, die gemessenen Wärmemengen auf die Flächeneinheit der Textilien anstatt auf deren Gewichtseinheit zu beziehen. Es stellte sich heraus, daß Kombinationen, die einen schweren Polyacrylstoff enthielten, die weitaus größten Wärmemengen pro Flächeneinheit erzeugten, und es kann vielleicht noch einmal bemerkt werden, daß man bereits eine ziemlich hohe Flammenausbreitungsgeschwindigkeit an diesen Kombinationen festgestellt hatte. Andererseits erzeugten leichte Textilien aus Acetat Kunstseide und Triacetat, mit ihren sich sehr schnell ausbreitenden Flammen, nur verhältnismäßig kleine Wärmemengen pro Flächeneinheit.

Diese Ergebnisse veranschaulichen, daß die erzeugte Wärmemenge und die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit verschiedene, jedoch komplementäre Maßstäbe für die Gefahr von Hautverbrennungen darstellen.

Mit Hilfe der gemessenen Wärmemengen pro Flächeneinheit und medizinischer Daten über die Haut war es möglich, die verschiedenen Einzeltextilien und Kombinationen auf Grund der Tiefe der Hautverbrennungen, die von ihnen verursacht werden konnten, zu gruppieren. Die wesentlichste klinische Beurteilung des Ausmaßes von Verletzungen erfolgt nach Verbrennungen, die nur eine „teilweise Zerstörung der gesamten Haut“ zur Folge haben. Letztere erfordern jedoch eine operative Hautübertragung und bergen außerdem eine sehr große Infektionsgefahr in sich. Viele der untersuchten Kombinationen von Textilien — und ganz besonders solche, die einen schweren Polyacrylstoff als einen ihrer Bestandteile aufwiesen — verursachten Verletzungen „mit Verlust der gesamten Haut“.

Vorschläge für neue Prüfverfahren

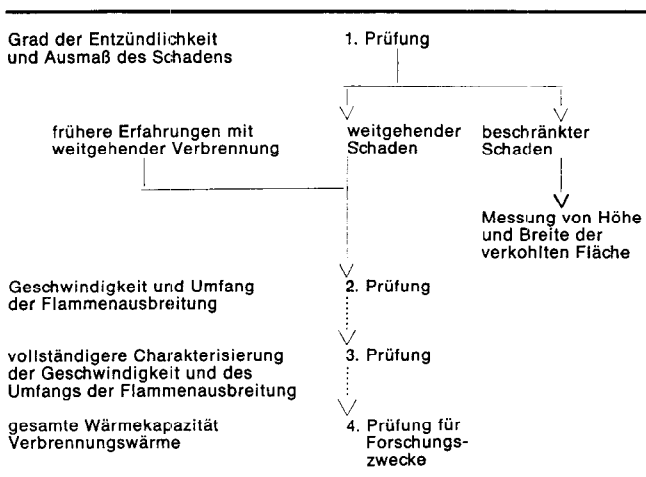
Die Ergebnisse der Forschungen über Prüfmethoden wiesen den Weg nach den Verfahren, mit denen drei Eigenschaften, die das Brennen von Textilien charakterisieren, auf nützliche Art und Weise gemessen werden können. Es handelt sich dabei um

- den Grad der Entzündlichkeit,
- die Geschwindigkeit und den Umfang der Flammenausbreitung, sowie
- die Menge der erzeugten Wärme.

Diese Eigenschaften liefern verschiedene, jedoch komplementäre Maßstäbe für die Gefahr für den Menschen, Hautverbrennungen zu erleiden. Keine einzige Eigenschaft allein genügt, um eine vollständige Charakterisierung zu liefern. Ein einfaches Versuchsschema ist daher zur Messung dieser Eigenschaften bzw. einer Auswahl von diesen in logischer Reihenfolge aufgestellt worden (Tabelle 1).

Die Messung der Flammenausbreitung ließ erkennen, daß aus großen und besonders aus breiten Proben weitaus mehr Rückschlüsse erhalten werden können, als es bei den schmalen Streifen der bisher üblichen

Tabelle 1: Schema der vorgeschlagenen Prüfungen



Versuche der Fall war. Die neuen Versuche schreiben daher breite Proben mit mäßiger Länge vor, falls genügend Textilstoff zur Verfügung steht. Es wurde jedoch in Betracht gezogen, daß das Material manchmal knapp sein kann, und aus diesem Grunde sieht das Prüfschema auch eingeschränkte Prüfungen mit kürzeren Proben vor.

Sämtliche vorgeschlagenen Prüfverfahren können für Einzeltextilien oder Kombinationen aus zwei Textilien angewendet werden. Bei allen Prüfungen besteht die Probe aus einem flachen senkrechten Streifen, der auf zugespitzten Stiften sitzt, die in ein Traggestell eingelassen sind. Die Probe wird dadurch angezündet, daß eine kleine Butanflamme mit der Vorderseite des Textilstoffes in Berührung gebracht wird.

Diese Prüfverfahren beurteilen das Verhalten der aus ein oder zwei Textilien bestehenden Systeme natürlich nur bei deren Kontakt mit einer kleinen Zündflamme. Die Ergebnisse beziehen sich in keiner Weise auf Umstände, unter denen die Textilien für längere Zeit einer großen und intensiven Wärmequelle, beispielsweise einem Großfeuer, ausgesetzt werden.

1. Prüfung: Grad der Entzündlichkeit und Ausmaß des Schadens

Bei dieser Prüfung wird die Zeit (Beflammungszeit) gemessen, während der eine normale Butanflamme mit der Oberfläche des Materials in Berührung stehen muß, um diese zu entzünden. Die Entzündung wird dann als erfolgt betrachtet, wenn die Probe nach dem Erlöschen der Butanflamme 1 Sekunde lang oder noch länger weiterflammt. Das Ergebnis stellt eine wesentliche Eigenschaft (Entzündlichkeit) für sich allein dar, die die primäre Brandgefahr des Materials ausdrückt und weiterhin als Hinweis für die Durchführung der weiteren Prüfungen (2 und 3) dient.

Eine vertikale Probe im Ausmaß von 17 cm x 17 cm (eine Größe, geeignet zum Aufsetzen auf zugespitzte Stifte, die in Abständen von 5 cm angeordnet sind) wird mit einer kleinen Butanflamme aus einem waagrechten Brennerrohr an einer Stelle der rechten Oberfläche in Berührung gebracht, die etwa 4 cm oberhalb der Unterkante der Probe liegt. Beflammungszeiten von 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 und 12 Sekunden werden der Reihe nach automatisch geregelt ausprobiert, bis die kürzeste Zeitspanne ermittelt ist, die die Probe zur

Entzündung bringt. Bei jedem Versuch wird an der Probe eine neue Stelle benutzt.

Das Verfahren wird (mit vernünftiger Ausschaltung unzutreffender Zeitspannen) wiederholt, um festzustellen, ob die Ergebnisse reproduzierbar sind. Sollten außerdem Zweifel bestehen, welche Fläche die Oberfläche des Textilstoffes in der Praxis darstellt, so muß das Verfahren wiederholt werden, indem dabei auch die zweite Seite mit der Zündflamme in Berührung gebracht wird.

Es wird weiterhin genau beobachtet, ob brennende Stücke von der Probe abfallen und ob diese nach Erreichen der Unterlage des Versuchssystems dort noch weiterbrennen. Außerdem ist es wesentlich, ob der Brandschaden an der Probe bis an die Oberkante oder nur bis an eine der senkrechten Kanten heranreicht. Sollte der Schaden an eine dieser Kanten heranreichen, dann lohnt es sich, das Material auch noch nach dem 2. Prüfverfahren weiterhin zu untersuchen. Ist der Schaden begrenzt, dann werden Maximalhöhe und -breite der beschädigten Fläche gemessen.

2. Prüfung: Geschwindigkeit und Umfang der Flammenausbreitung

Diese Prüfung ist eine schnelle, jedoch begrenzte Prüfung der Flammenausbreitung, die nur eine verhältnismäßig geringe Materialmenge erfordert und sich besonders für Überwachungszwecke, beispielsweise bei der Qualitätskontrolle, eignet. Dieser Test dient zur Messung der Geschwindigkeit und des Umfangs der senkrechten und waagrechten Flammenausbreitung an Textilstoffen, die weitgehender Verbrennung unterliegen.

Die Probengröße beträgt 62 cm (in senkrechter) mal 17 cm (in waagrechter Richtung). Baumwollene Auslösefäden sind waagrecht in verschiedenen Höhen an der Probe vorgesehen und mit Mikroschaltern und elektrischen Zeitwerken verbunden. Gleichartige Fäden sind senkrecht in der Nähe der Seitenkanten der Probe angebracht. Die Probe wird an ihrer Außenoberfläche entzündet. Das Brennverhalten wird visuell beobachtet, und gleichzeitig werden durch das Durchbrennen der Baumwollfäden mittels automatisch angehaltener Zeitwerke die Zeitpunkte registriert, an denen die Flammenspitze senkrechte Höhen von 15, 30 und 60 cm erreicht bzw. sich waagrecht über eine Entfernung von 7,5 cm ausbreitet. Die maximale Ausdehnung sowohl in senkrechter als auch in waagrechter Richtung des verursachter Schadens wird an der Probe gemessen.

Sollte das für die 2. Prüfung zu verwendende Material nicht ausreichen oder erfahrungsgemäß nicht in großem Umfang brennen, so können Proben von 32 cm Länge verwendet werden.

3. Prüfung: Vollständigere Charakterisierung der Geschwindigkeit des Umfangs der Flammenausbreitung

Diese Prüfung, die sich für Einzeltextilien und Kombinationen eignet, die der Flarame eine umfangreiche Ausbreitung ermöglichen, stellt eine wahlweise anzuwendende Erweiterung der 2. Prüfung dar. Sie bietet eine vollständigere Charakterisierung als die 2. Prüfung und wird als ein geeignetes Mittel zur Untersuchung neuer Erzeugnisse, wie zum Beispiel von

Faserstoffen, Mischungszusammenstellungen, Gewebekonstruktionen und Ausrüstungen, vorgeschlagen. Sie erfordert mehr Material und mehr Arbeit als die 2. Prüfung, liefert aber auch entsprechend mehr Ergebnisse.

Die Probengröße beträgt 122 cm x 32 cm. In derselben Ebene wie die Probe wird ein senkrechter (an einer Seite der Probe) und ein waagrecht Meßstab (unterhalb der Probe) angeordnet. Ein elektrisches Zeitwerk wird nahebei aufgestellt. Probe, Meßstäbe und Zeitwerk befinden sich innerhalb des Gesichtsfeldes einer Filmkamera mit einem Aufwindfortschaltmechanismus, der schnell betätigt werden kann.

Die Probe wird angezündet, und es werden in Zeitabständen von ca. 4 Sekunden so lange Lichtbildaufnahmen gemacht, bis die Verbrennung zur vollen Höhe und über den größten Teil der Probenbreite fortgeschritten ist.

Die entwickelten Negative werden mit ungefähr der Hälfte ihrer natürlichen Größe projiziert und die folgenden Maße von jedem Negativ abgelesen:

- der senkrechte Abstand der Flammenspitze über der ursprünglichen Unterkante der Probe (mit Hilfe des senkrechten Meßstabes),
- die größte waagrechte Ausdehnung der Flamme (mit Hilfe des waagrechten Meßstabes),
- die Zeit (die vom Zeitwerk angezeigt wird),
- die zerstörte Fläche (dadurch, daß man den Umriß des zerstörten Teils der Probe von Hand auf Papier zeichnet und die auf diese Weise gewonnene Form ausschneidet und wiegt).

Aus den Ergebnissen sämtlicher Negative für das betreffende Material werden die drei gemessenen Werte (senkrechter Abstand der Flammenspitze, waagrechte Flammenausbreitung und Ausmaß der zerstörten Fläche) in einem Koordinatensystem über der Zeitachse aufgetragen. Die erhaltenen Kurven veranschaulichen die Ergebnisse vollkommen; sollte es jedoch erwünscht sein, jede Kurve durch einzelne Punkte zu beschreiben, dann werden diejenigen Zeiten abgelesen, die den ausgewählten Werten des senkrechten Flammenanstiegs, der waagrechten Flammenausbreitung und des zerstörten Flächeninhalts entsprechen.

4. Prüfung für Forschungszwecke: Messung der Verbrennungswärme von Einzeltextilien und Kombinationen, welche die Ausbreitung der Flamme über die gesamte Probe gestatten

Aus den bereits beschriebenen Versuchsverfahren ist es wohl offensichtlich, daß die Messung der Verbrennungswärme unter realen Verhältnissen eine recht umständliche und empfindliche Apparatur erfordert und notwendigerweise ziemlich zeitraubend ist. Wir sind daher der Ansicht, daß sich diese Messung für eine Routineprüfung nicht eignet und daher für Forschungszwecke und nach den jeweiligen Erfordernissen als eine besondere Prüfung in Reserve gehalten werden soll.

Ergebnisse von Versuchen, die in mehreren Laboratorien ausgeführt wurden

Unter Verwendung von 16 Einzeltextilien und 8 Kombinationen aus zwei verschiedenen Textilien nahmen

sechs Laboratorien an einem gemeinsamen Versuchsprogramm für die 1. und 2. Prüfung teil.

Bei der 1. Prüfung (Grad der Entzündlichkeit unter oben angeführten Bedingungen) stimmten alle Laboratorien bezüglich der Frage, ob sich das Textilstoffsystem entzündet oder nicht, mit Ausnahme von einem überein. Für die verschiedenen entzündbaren Systeme lag die Standardabweichung der erhaltenen Minimalbrennzeit zwischen 0,5 und 1,0 Sekunden.

Bei der 2. Prüfung (Messung von Geschwindigkeit und Umfang der Flammenausbreitung) wurde für diejenigen Systeme, die eine umfangreiche Ausbreitung der Flamme gestatteten, festgestellt, daß die Variationskoeffizienten* der Zeitspannen, die für einen senkrechten Flammenanstieg von 60 cm erforderlich waren, bei den verschiedenen Systemen zwischen 8 und 42 lagen — ein ähnlicher Bereich, der bei der bestehenden Prüfung nach der Britischen Norm BS 2963, Verfahren A, festgestellt wurde.

In einem weiteren Stadium der gemeinsamen Laboratoriumsversuche wurden sechs Textilstoffsysteme von sechs Laboratorien gemäß der 3. Prüfung geprüft (die im wesentlichen eine erweiterte Ausführung der 2. Prüfung darstellt) und ein verbessertes Entzündungsverfahren verwendet. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurde ebenfalls sehr verbessert. Die Variationskoeffizienten für die Zeitspannen des senkrechten Flammenanstiegs über einen Abstand von 60 cm lagen zwischen 9 und 19; diejenigen für eine waagrechte Flammenausbreitung von 12,5 cm ergaben Werte zwischen 7 und 26, und diejenigen für eine zerstörte Fläche von 600 cm² Werte von 8 bis 21. Die Wertschwankungen zwischen den einzelnen Laboratorien waren größer als die innerhalb der Laboratorien.

Es wurde daraus geschlossen, daß die 1. Prüfung mit einem festgelegten Entzündungskriterium und die 2. und 3. Prüfung mit Verfahrensverbesserungen für den gewünschten Zweck als einwandfrei betrachtet werden können.

Ein Entwurf für eine Britische Norm², in der die Verfahren der 1. und 2. Prüfung niedergelegt sind, ist zur allgemeinen Stellungnahme herausgegeben worden und steht zur Zeit in intensiver Diskussion. Im Falle ihrer Genehmigung wird diese Norm mit der Zeit die Britischen Normen 2963 und 3119 ersetzen und die Vielfältigkeit der Prüfverfahren vermehren.

Wirklichkeitsnähe und Reproduzierbarkeit der Prüfverfahren

Bei den Brennbarkeitstests muß immer eine angemessene Übereinstimmung zwischen den einander widersprechenden Anforderungen für die Wirklichkeitsnähe sowie die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erzielt werden. So weichen zum Beispiel fast sämtliche Verfahren willkürlich von den wirklichkeitsgetreuen Umständen — unter Bevorzugung der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen — dadurch ab, daß sie ortsfeste Proben sowie eine festgelegte, einfache geometrische Anordnung der Zündflamme und Probe verwenden. Es besteht jedoch allgemein Übereinstimmung dar-

* Variationskoeffizient = $100 \cdot \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}}$

über, daß genormte Forderungen nötig sind, wenn wir eine quantitative Prüfung und nicht nur die bloße Beobachtung eines Ereignisses erzielen wollen. Wie weit sollen wir gehen, um das System noch weiter zu vereinfachen?

Anläßlich kürzlich geführter Diskussionen innerhalb einer ISO-Arbeitsgemeinschaft kam eine interessante Meinungsverschiedenheit in bezug auf folgende Gesichtspunkte beim Messen der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit an Bekleidungstextilien zum Vorschein:

Orientierung und Größe der Probe:

Auf Grund der im Vereinigten Königreich angestellten und in diesem Referat bereits umrissenen Forschungen ist die dort herrschende Ansicht, daß ein wirklichkeitsnahes Verhalten nur durch den Einsatz von senkrechten Proben, die viel breiter als die üblicherweise verwendeten sind und zum Beispiel eine Breite von 15 cm oder darüber haben, erzielt werden können.

Nach einem anderen Standpunkt wird eine schmalere Probe bevorzugt, die unter einem Neigungswinkel von 45° zur Senkrechten gehalten wird. Es wird behauptet, daß auf diese Weise eine verbesserte Reproduzierbarkeit und Unterscheidungsmöglichkeit zwischen den Textilien gewonnen wird — jedoch unter Einbuße eines gewissen Grades an Wirklichkeitsnähe.

Entzündungsstelle:

Die bei Brandunfällen festgestellten Tatbestände haben gezeigt, daß die Entzündung selten an der unteren Kante eines Kleidungsstückes stattfindet, sondern viel häufiger an der Oberfläche des Textilstoffes. Aus diesem Grunde bevorzugt eine Meinungsrichtung (zu welcher das Vereinigte Königreich gehört) die Entzündung an der Oberfläche. Die Entzündung an der Oberfläche führte anfänglich oft nur zur Ausbreitung der Flamme auf einer Oberfläche des Textilstoffes. Zu einem späteren Zeitpunkt bricht die Flamme dann zur anderen Oberfläche durch, woraufhin dann die Ausbreitung über beide Seiten der Flamme erfolgt.

Eine andere Meinungsrichtung befürwortet die Kantenanzündung mit gleichstarker Betonung, weil diese eine strengere und reproduzierbarere Prüfung darstellt. Die Entzündung findet in diesem Falle prompter statt, und die Flammenausbreitung verläuft von Anfang an beiderseits.

Eine weitere, bereits erwähnte Frage befaßt sich mit der

Verstärkung von thermoplastischen Textilien:

Wir möchten noch einmal daran erinnern, daß die Argumente für eine Glasfaserverstärkung bei der Prüfung von thermoplastischen Textilien hauptsächlich auf der Frage der Reproduzierbarkeit beruhen, während die Gegenargumente die Wirklichkeitsnähe heranziehen.

Jedes dieser Merkmale — die Probe, die Entzündungsstelle und die Glasfaserverstärkung — besitzt starke Befürworter für seine Vorzüge. Über die technischen Tatsachen besteht weitgehend Übereinstimmung. Die verschiedenen Bevorzugen — sei es die Wirklichkeitsnähe oder die Reproduzierbarkeit — veranschaulichen die Unterschiede in den grundsätzlichen Einstellungen vor allem im Hinblick auf den Zweck einer Prüfung. Niemand ist im Unrecht, dennoch müssen

wir versuchen, zu einer Übereinkunft zu kommen, auf welche Weise wir recht haben wollen.

Literatur:

- 1) F. H. Holmes: "Flammability and the Law"; Shirley Institute Bull., Vol. 41/5, 137—142 (1968)
- 2) British Standards Institution, Doc 74/35997DC: "Draft British Standard Methods of Test for Flammability of Textile Fabric and Fabric Assemblies Subjected to a Small Igniting Flame"

Diskussion

Jach: Die Tatsache, daß die senkrechte Probenlage zu einer rascheren Flammenausbreitung führt als die waagrechte, haben wir auch in Kiel festgestellt. Wir verwenden daher für die Beurteilung eines in der Praxis vorliegenden Brandrisikos eines Stoffes, Baumaterials oder Textils immer die senkrechte Probenlage. Erst zur Bestimmung sehr feiner Materialunterschiede — also wenn wir eher Forschung betreiben — ziehen wir auch die waagrechte Probenlage heran.

Herlinger: Es erhebt sich natürlich immer wieder die Frage, ob es zweckmäßig ist, neue Prüfmethode auszuarbeiten. Selbstverständlich sind diese Methoden sehr praxisnah, aber dann könnte man natürlich auch den nächsten Schritt machen und die Du Pont'sche Prüfapparatur — die Nachbildung eines Menschen — heranziehen, die angezogen und angezündet wird, während ein Computer an einigen hundert Stellen die Temperatur erfassen kann, sodaß damit das tatsächliche Brandgeschehen an der Kleidung überwacht werden kann. Diese Apparatur ist natürlich ausgesprochen aufwendig, sie kostet größenordnungsmäßig einige hunderttausend Dollar, während die andere sicher für DM 20.000,— herstellbar ist.

Stamm: Es war sehr interessant, die Bestätigung zu erhalten, daß viele Textilien sehr leicht und in Schichten oder Kombinationen fast noch leichter brennbar sind als Einzeltextilien. Ich möchte gerne wissen, mit wieviel Aufwand Sie schwer brennbare Stoffe prüfen müssen, um festzustellen, ob diese den Minimalanforderungen einer gesetzlichen Verordnung genügen oder nicht. Haben Sie überhaupt schwer brennbare Textilien untersucht? Das wird neben der Forschungsarbeit sicher auch unsere zukünftige Aufgabe im Testwesen sein.

Holmes: Wir waren primär davon ausgegangen, leicht brennbare Stoffe und Stoffkombinationen zu untersuchen, um deren Brandverhalten besser charakterisieren zu können. Erst in zweiter Linie interessierten uns schwer brennbare Materialien. Selbstverständlich haben wir auch eine große Anzahl von Ergebnissen an Thermoplasten, die eine reduzierte Flammenausbreitungsgeschwindigkeit besitzen, wie zum Beispiel Nylon, Polyester, PVC, sowie an flammhemmend ausgerüsteter Baumwolle ausgewertet.

Hinsichtlich der Forderungen an das Brennverhalten, die den Gesetzen entsprechen sollen, müssen wir noch einige Probleme lösen. Primär angestrebte Ziele waren Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung des Brennverhaltens, und erst in zweiter Linie befaßten wir uns mit der Aufgabe, Bedingungen an das Brennverhalten zu stellen.

Der gegenwärtige Stand läßt uns mit dem Erfolg, den wir bei der Erarbeitung von Untersuchungsmethoden erzielten, zufrieden sein, und wir beginnen nun die verschiedenen Anforderungen, die an das Verhalten bei verschiedenen Einsatzzwecken gestellt werden, zu untersuchen. Wir gehen dabei von dem Standpunkt aus, daß die Anforderungen an das Brennverhalten eines Materials seinem Verwen-

dungszweck angepaßt sein müssen und daß eine Einzelanforderung nicht ausreichend ist.

Mehrmann: Der erste Thermomann, der von Du Pont gebaut wurde, hat zwar einige hunderttausend Dollar gekostet, doch werden jetzt in Kalifornien schon derartige Apparate weitaus preisgünstiger gebaut; allerdings kosten sie auch noch um die 70.000 Dollar.

Sie haben auch an einer Stelle von Qualitätskontrolle gesprochen. Glauben Sie, daß diese Methode, der Test zur Prüfung des Grades der Entzündlichkeit und der Flammenausbreitung, einen LOI-Test ersetzen könnte oder nicht?

Holmes: Was die Qualitätskontrolle betrifft, so habe ich persönlich mehr Vertrauen zu dieser Art von Untersuchung als zu dem LOI-Test. Diese Methoden sind weit aus sachdienlicher, da sie Probenstücke verwenden, die den realen Verhältnissen besser entsprechen, was wir aus unseren Ergebnissen als unbedingt notwendig ersehen.

Eine reale Probengröße, eine reale Orientierung der Probe und auch eine reale Atmosphäre bzw. Umgebung sind Faktoren, die prinzipiell für den vorgeschlagenen Test sprechen. Für laufende Qualitätskontrollen bevorzuge ich daher diesen Test vor dem LOI-Test.

Kerres: Ich kann mir schon vorstellen, daß Sie und die britischen Standardorganisationen sich über diesen neuen Test sehr freuen, aber welche Einstellung vertritt dazu die britische Textilindustrie? Vor allem, wie stellt sie sich zu den Kosten? — Wenn 2 m pro Versuch benötigt werden, so ergibt das am Ende bei fünf Wiederholungen ungefähr 10 m Stoff pro Test. Ich kann mir nicht vorstellen, daß solche realistischen Ausmaße wirklich nötig sind.

Holmes: Der wesentlichste Punkt dabei betrifft die Extrapolation von kleinen zu großen Probenstücken. Unsere Ausführung und Abbildung 2 zeigten ja gerade, daß sich die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit vergrößert, wenn das Probenstück breiter wird. Sie ist also eine ansteigende Funktion in Abhängigkeit von der Breite des Musterstückes. Bei verschiedenen Materialien kreuzen sich aber diese Kurven, das heißt, der Anstieg der Geschwindigkeit mit zunehmender Breite ist von der Art des Materials abhängig. Wenn aber die Untersuchungen an einem schmalen oder kleinen Musterstück ausgeführt werden, und der Stoff erhält eine bestimmte Flammenausbreitungsgeschwindigkeit zugeteilt, so wäre diese bei großen Stoffbreiten unter realistischen Bedingungen entsprechend anders. Man kann daher unter bestimmten Umständen aus Prüfungen an kleinen Prüfungsstücken sogar ein falsches Ergebnis erhalten.

Der zweite Grund, warum wir ein großes Musterstück bevorzugen, ist der, daß dieses nur in einer gewissen Größe die für dieses Material typischen Brennverhaltenscharakteristika aufweist. Probenstücke im Ausmaß von 30 x 5 cm zeigen keine Eigenschaften, wie sie von einem Kleidungsstück beim Tragen an den Tag gelegt werden. Natürlich wollen wir nicht so extravagant sein, daß wir unbedingt 10 m eines Stoffes brauchen, um einen Test durchführen zu können. Verglichen mit früheren britischen Standardmethoden, die diese Untersuchungen vielleicht ablösen werden, brauchen wir natürlich mehr Material, aber 1,5 oder 2 m² sind mehr als ausreichend, um den Entzündungstest und den Flammenausbreitungstest für eine Qualitätskontrolle durchführen zu können.

Natürlich sind wir uns bewußt, daß das ein Problem ist, aber es gibt meiner Meinung nach noch keine ökonomische Lösung, die in jeder Weise zufriedenstellend wäre.

Kerres: Wenn man aber ganz realistisch denkt, dann ist ja doch auch die Form des Kleidungsstückes wesentlich. Somit wäre der nächste Schritt der zum fertigen Kleidungsstück.

Holmes: Ich gebe gerne zu, daß sogar ein kurzes Kleid ganz andere Gefahren mit sich bringt als ein langes, und daher auch ein anderes Verhalten zeigen wird. Ihr Argument zeigt aber nur, wie schwer es ist, Anforderungen für das Brennverhalten zu erstellen. Es ist sicher ebenso schwierig wie die Aufgabe, gute Untersuchungsmethoden auszuarbeiten. Ich teile gerne Ihren Standpunkt.

Gotschy: Ist es nötig, einen bestimmten Raum allein schon wegen der relativ großen Flammen- und Rauchentwicklung für diese Versuche zu benützen? Könnten Sie, bitte, eine Angabe machen, wieviel die gesamte Prüfausrüstung,

einschließlich Kamera, automatische Zeitnehmung usw., kosten würde?

Holmes: Wir sind in der glücklichen Lage, ein relativ großes Labor für diese Prüfungen zur Verfügung zu haben. Natürlich ist es notwendig, einen relativ hohen und vor allem gut belüfteten Raum zur Verfügung zu haben. Aber dies ist ja auch schon für die Prüfung von kleineren Musterstücken als es die sind, über die wir hier sprechen, erforderlich. Die Anleitung zur Durchführung dieser Tests sieht auch zwischen den einzelnen Brennversuchen eine gute Belüftung des Raumes vor. Wir bevorzugen einen Raum, der ungefähr 150 m³ beinhaltet, das erhält ohne extreme Belüftung den Raum während des Brennens einer Probe erträglich.

Natürlich haben wir auch hier wieder eine Schwierigkeit zu bewältigen: Ein Gerät, um den Grad der Entzündlichkeit zu prüfen und eine Qualitätskontrolle durch Überwachung der Flammenausbreitung mit dem größten Umfang der Flammenausbreitung durchzuführen, würde derzeit ungefähr 10.000 DM kosten.

Stamm: Nach Ihrer Aussage werden diese Versuche in einem mit Ventilatoren versehenen Raum ausgeführt. Laufen diese Ventilatoren während der Versuche? Wie können Sie das Personal, das die Versuche ausführt, vor den Rauchgasen schützen?

Holmes: Der Raum, in dem unsere Versuche durchgeführt werden, umfaßt ungefähr 150 m³ und ist 5 Meter hoch. Der Laborant, der den Versuch, der ungefähr 1/2 Minute oder 1 Minute beim Flammenausbreitungstest dauert, ausführt, schaltet erst in dem Augenblick, wenn der Versuch abgeschlossen ist, die Ventilatoren ein. Während des Tests versuchen wir, die Luft nicht zu zirkulieren. Erst wenn der Versuch abgeschlossen ist, wird die Belüftung in Betrieb genommen.

Auch bemühen wir uns, daß das Personal, das die Versuche ausführt, nach dem Experiment den Raum so rasch wie möglich verläßt. Das führt uns aber zum Problem der kontrollierten Umwelteinflüsse: einerseits soll die Luftzufuhr genau kontrolliert sein, andererseits bedingt jede Verbrennung eine Änderung der Luft — beide Faktoren sollen aber in Einklang gebracht werden.

Wir haben auch die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit für den Prüfraum festgesetzt. Die Werte wurden so gewählt, daß man ohne Ventilation auskommt. Wir setzten ein Temperaturintervall von 15 bis 30 °C und ein Feuchtigkeitsintervall von 25 bis 65 % relativer Luftfeuchtigkeit fest. Solange die Luft nicht zu feucht ist, gibt es kaum Probleme. Bei Wolle und Rayon haben wir gefunden, daß bei höherem Feuchtigkeitsgehalt das Brennen verzögert ist. Daher versuchten wir maximal 65 % relative Luftfeuchtigkeit bei Wolle und Rayon aufrechtzuerhalten. Bei anderen Textilien können wir aber auch unter 40 % relative Luftfeuchtigkeit gehen.

Brown: Vielleicht gäbe es hier auch eine andere Lösung zu diesem Problem, dessen Schwierigkeiten doch ganz deutlich sind. Ist es doch sehr schwierig, die Verbrennungsgase aus einem großen Raum vollständig auszutreiben, und es benötigt lange Zeit. Auch die Gefährdung für das Bedienungspersonal ist außerordentlich groß, es sei denn, man wartet entsprechend lange Zeiten zwischen den einzelnen Versuchen ab.

Es bietet sich — meiner Meinung nach — daher nur eine Lösung an, nämlich das Abschließen eines kleineren Raumes als Verbrennungskammer in diesem großen Raum. Wesentlich ist dabei nur das Mindestausmaß von 4 bis 6 m³. Stimmen diese Größen?

Holmes: Ich glaube, daß diese Zahlen, die zwar zitiert werden, viel zu niedrig sind. Früher hat man immer gesagt, es soll genügend Luft zur Verfügung stehen, um das Brennen zu unterhalten.

Brown: Wenn man einen abgeschlossenen Raum mit einem vernünftigen Volumen innerhalb des Labors abtrennen kann, dann sind alle Probleme im Grunde relativ einfach gelöst. Man kann die Verbrennung auch in einem abgeschlossenen Raum durchführen. Diesen reinigt man weit aus einfacher, und die Laboranten sind außerhalb der Verbrennungszonen, außerdem kann man einen Verbrennungsvorgang nach dem anderen relativ rasch hintereinander durchführen.

Holmes: Ich stimme Ihnen vollkommen zu, Mr. Brown. Ich glaube aber trotzdem, daß das Minimum an Luft-

volumen doch weit über 4 m³ liegen sollte, sodaß der gesamte Sauerstoffgehalt in diesem Raum beim Verbrennen in seinem merkbaren Verhältnis erschöpft werden kann.

In einem zu kleinen Raum könnte ein verminderter Sauerstoffgehalt zu falschen Resultaten führen, das heißt, es würde der Brand erlöschen, obwohl er noch gar nicht erlöschen sollte. Ich würde daher das Volumen weit über 4 m³ ansetzen. Natürlich ist es weitaus günstiger, sowohl Laboranten als auch alle anderen Kontrollmittel außerhalb des Brennraumes anzuordnen.

Brown: Wollen Sie dieses Minimum des Volumens nicht doch definieren, um den Leuten zu helfen, mit ihren Problemen fertig zu werden?

Holmes: Ich würde vorschlagen, daß das Volumen bei 10 m³ angesetzt werden soll und nicht bei 4 m³.

Rieber: Das eben angesprochene Problem wurde in der ISO TC 38 SC 19 ausführlich diskutiert. Dabei wurde weltweit beschlossen, daß die Prüfung des Brennverhaltens so durchgeführt werden muß, daß das Bedienungspersonal nicht mit den Brenn- und Rauchgasen in Kontakt kommt. Das heißt, bei der Prüfung ist zwischen der Bedienungsstelle und der Brandstelle streng zu trennen. Das kann

aber nur erzielt werden, wenn die Untersuchungen in einem Brennkasten ausgeführt werden. In diesem Kasten können Sie auch die Luftgeschwindigkeit genau und exakt definieren. Diese ist nach der deutschen Norm mit 0,05 bis 0,2 m/sec festgelegt; bei 0,5 m/sec haben Sie bereits eine deutliche Veränderung des Brandablaufes.

Außerdem wurde beschlossen, daß die Versuche nach der Formulierung von Herrn Holmes unter "*Simple Reference Tests*", das heißt als einfache, praxisnahe Referenzversuche, unter genormten Bedingungen durchgeführt werden sollten, um einen Zusammenhang zwischen dem Großexperiment und dem Kleinexperiment, das heißt dem Labortest, zu finden.

Weiters wollte man darangehen, diese Untersuchungen im englischen Sprachgebrauch als "*Real Life Tests*" zu bezeichnen und unter Praxisbedingungen durchzuführen.

Nach diesen drei Gesichtspunkten sollte jedes Material geprüft werden. Man war sich doch auch einig, daß das, was normungswürdig ist, einzig und allein der Labortest sein kann — durchgeführt in einem Brennkasten mit kleinen Proben. Daß natürlich die Probleme dort, wo es um Sicherheitsmaßnahmen geht, durch zusätzliche wissenschaftliche Untersuchungen ergänzt werden müssen, steht außer Zweifel.

Über die Probleme des Schlichtens aus Lösungsmitteln aus der Sicht des Umweltschutzes

Dr.-Ing. Franz-Josef Gierse
Gebrüder Sucker, Mönchengladbach

Es wird gezeigt, daß die beschriebene neuentwickelte Lösungsmittel-Schlichtmaschine in der Lage ist, den Prozeß des Schlichtens aus Lösungsmitteln, der aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen interessant ist, so zu realisieren, daß keine über die gesetzlich zulässigen Werte hinausgehende Umweltbelastung eintritt. Da hiermit die zum Schutz der Gesundheit und des Lebens aufgestellten ökologischen Forderungen sicher erfüllt sind, können die wirtschaftlichen und textiltechnologischen Vorteile des neuen Verfahrens und der neuen Anlage voll zur Geltung kommen.

It is shown hereby that the described newly developed solvent sizing machine is capable to perform the process of solvent sizing, which is attractive for technological and economical reasons, in such a way that it does not exceed the lawfully permissible value of surrounding pollution. As herewith all ecological demands for health and life protection have been complied with, the economical and textile-technological advantages of this new method and this new plant become fully evident.

Industrielle Prozesse ohne Veränderung und damit Belastung unserer Umwelt sind nicht möglich. Diese Veränderung oder Belastung kann einerseits von dem Ablauf und den meist unerwünschten Abfallprodukten oder -effekten des betreffenden Prozesses ausgehen, andererseits von dessen beabsichtigten Erzeugnissen hervorgerufen werden.

Beim Berücksichtigen solch absoluter Maßstäbe muß auch der aus ökologischer Sicht recht unbedenkliche Prozeß des Be- und Entschlichtens textiler Ketten mit herkömmlichen Schlichtefлотten als umweltbelastend angesehen werden: Beim Zubereiten und Verarbeiten der Schlichtefлотten aus Naturstoffen und aus Syntheseprodukten und zum Entschlichten der fertigen Gewebe wird dem Kreislauf der Natur Wasser entzogen und in mehr oder weniger verunreinigter Form wieder zugeführt. Selbst biologisch abbaubares natives Schlichtemittel belastet den Sauerstoffhaushalt unserer Gewässer und mit Schlichtestaub vermischter Wasserdampf die Atmosphäre.

Seit vielen Jahren wird aus diesen und weiteren — technologische und energietechnische Vorteile herausstellenden — Gründen mit periodisch wechselnder Intensität über Versuche berichtet, aus Lösungsmitteln zu schlichten. Diese Veröffentlichungen — ergänzt durch solche aus den schon viel weiter erforschten und realisierten Bereichen der Lösungsmittelausrüstung textiler Flächengebilde — zeigen, daß die obengenannten Umweltbelastungen — besonders des Wassers — weitgehend vermieden werden können.

1. Schlichten aus wäßrigem Medium

Besondere Aktualität haben diese Überlegungen durch das zum 1. 1. 1976 in der Bundesrepublik Deutschland in Kraft tretende Abwasserabgabengesetz erhalten. Darin werden die Kosten für das Einleiten mit Schadstoffen belasteter Abwässer in öffentliche Gewässer in einer Berechnungsgleichung festgelegt und nach dem Verursacherprinzip den betreffenden Unternehmen angelastet^{1,2}.

Umweltbelastungen treten beim **Beschlichten** erfahrungsgemäß besonders auf

- in der Schlichteküche in Form von schlichtbelastetem Spülwasser vom Reinigen der Kocher, Rohrleitungen, Pumpen und übrigen Geräte,
- an der Schlichtmaschine beim Reinigen von Vorratsbehältern, Schlichtetrogen, Leitungen und Pumpen sowie beim Ablassen von Schlichteresten bei Schichtende,
- am Trockner durch das Wasserdampf-Schlichtestaub-Gemisch, das über Dach abgeblasen wird und
- an der Bäummaschine durch Belästigung des Bedienungspersonals durch Staubabfall, besonders vom Trockenteilfeld her.

Bis auf den letzten Punkt, der durch eine (nicht generell durchführbare) echte Naßreinigung und wirkungsvolle Staubabsaugung im Bereich des Trockenteilfeldes weitgehend vermeidbar ist, können die anderen Einflüsse nicht ausgeschaltet werden, ohne die derzeit übliche Technologie zu ändern.

Den größten Anteil an Umweltbelastung ergibt jedoch das **Entschlichten**. In dem Abwasser sind die gesamten ausgewaschenen Schlichtemittel als Hauptbestandteil enthalten^{3,4}.

Schlichtemittel auf Naturstoffbasis sind zwar biologisch abbaubar, doch muß der Sauerstoffbedarf hierfür in unseren stark sauerstoffverarmten Gewässern berücksichtigt werden. Obwohl durch Vorklärung in betriebseigenen oder kommunalen Kläranlagen mehr als 90 % dieser Schlichtemittel biologisch abbaubar sind⁵, und sich damit die Kosten für diese Abwässer stark reduzieren, bleibt doch ein nicht zu vernachlässigender Rest, da die sehr große Wassermenge hierdurch nicht reduziert werden kann.

Synthetische Schlichten müssen durch andere Verfahren aus dem Abwasser entfernt werden, da sie auf biologische Klärung oder — wie bei PVA — sogar auf chemische Fällung nur ungenügend ansprechen¹. Im Fall einer direkten Einleitung in öffentliche Gewässer müßten also die vollen Kosten aufgebracht werden. Daß die Schadstoffe damit jedoch nicht verschwinden, sondern dann tatsächlich und auf lange Zeit unsere Umwelt belasten, soll über allen Kostenüberlegungen nicht vergessen werden. Beim Trocknen der Gewebe nach dem Entschlichten und Waschen wird dann nochmals Wasserdampf in die Atmosphäre geleitet, der aber jetzt nicht — wie beim Trocknen der textilen Kette — mit Staub vermischt ist.

2. Schlichten aus organischem Lösungsmittel

Die bisher beschriebenen Schwierigkeiten können dadurch umgangen werden, daß man von Wasser als Medium abgeht und beispielsweise organische Lösungsmittel verwendet, wie das beim Reinigen, Ausrüsten und Färben in Lösungsmitteln teilweise schon seit

vielen Jahren geschieht⁶⁻⁸. Als Begründung für den Übergang auf organische Lösungsmittel reicht dieser Gedanke jedoch nicht aus: energietechnische, technologische und damit wirtschaftliche Überlegungen haben entscheidende Impulse für Neuentwicklungen auf diesem Gebiet gegeben. Es würde jedoch den Rahmen der vorliegenden Abhandlung sprengen, auf diese weiter einzugehen.

Geht man also davon aus, daß das Schlichten aus Lösungsmitteln im Prinzip sinnvoll ist^{5,9} (falls man ein für die Praxis geeignetes Verfahren anwendet^{10,11}), und liegt ein derartiges bis zur Praxisreife entwickeltes und in der Produktion erprobtes Verfahren vor, dann ist es erforderlich, die neu entstehenden Umwelt-schutzprobleme aufzuzeigen und nachzuweisen, daß die summarische Anzeugschuldigung, bei Lösungsmittel-techniken (hier: Färben) würde die Wasserverschmutzung durch Luftverschmutzung ersetzt¹², auf die neue Technologie des Schlichtens nicht zutrifft. Bezüglich des größten Teils der Umweltprobleme unterscheidet sie sich nicht von den seit langem gelösten der Lösungsmittelreinigung und -ausrüstung^{6,13}.

2.1. Verfahren zum Schlichten aus einem Lösungsmittel

Das obengenannte Verfahren¹⁰ arbeitet mit Perchloräthylen als Lösungsmittel und mit Polystyrol als Schlichtemittel. Die bekannten Eigenschaften des Perchloräthylens, nach denen zum Erwärmen bis zum Siedepunkt nur ca. 1/4, zum Verdampfen ca. 1/11 der Wärmeenergie im Vergleich zu Wasser aufzuwenden ist, sein niedriger Dampfdruck und seine geringe Viskosität, verbunden mit Auflösungsvermögen für Fette und Öle, lassen es — neben anderen günstigen Eigenschaften — also besonders geeignet erscheinen, in kurzer Tauchzeit in das Innere der Kettfäden einzudringen (man denke z. B. an die Schwierigkeiten, texturiertes Garn benetzfähig zu machen) und mit geringem Energieaufwand wieder zu verdampfen. Polystyrol, das sich ohne Aufheizen des Lösungsmittels in diesem löst, hat sich in Dauerversuchen in der Weberei als geeignetes Schlichtemittel erwiesen. Es läßt sich nach dem Verweben wieder mit Perchloräthylen aus dem Gewebe auswaschen¹¹. Danach kann das Gewebe konventionell — gegebenenfalls unter Wegfall bestimmter durch das Behandeln im Lösungsmittel

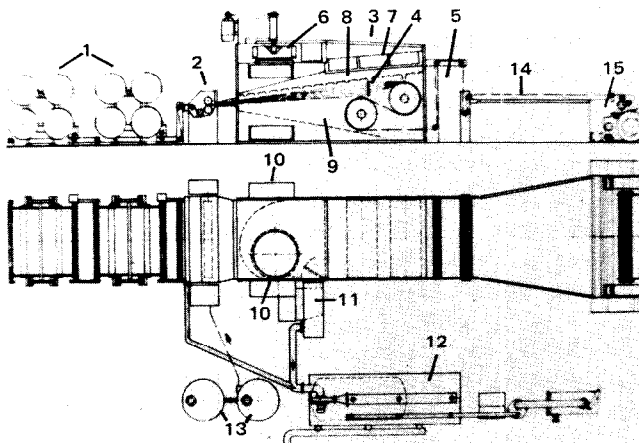


Abb. 1: Lösungsmittel-Schlichtmaschine LMS für das Rimar-Sucker-Lösungsmittel-Schlichtverfahren

überflüssig werdender Arbeitsgänge — oder weiter im Lösungsmittel ausgerüstet werden.

2.2. Die Maschine zum Ausüben dieses Verfahrens

ist in Abbildung 1 im Prinzip dargestellt. Die Garnkette läuft vom Ablaufgestell 1 über Laufsteg und Eingangswalze in den allseitig geschlossenen Schlichtetrog 2.

Durch eine in der Höhe verstellbare Tauchwalze kann die Benetzung der Garnkette eingestellt werden. Ein Quetschwalzenpaar aus einer unteren Remanitwalze und einer oberen lösungsmittelbeständigen Gummivalze übernimmt das Abquetschen.

Die obere Quetschwalze wird pneumatisch be- und entlastet. Unterschiedliche Abquetschdrücke für Stillstand bzw. Kriechgang und Normalgang sind wählbar und werden automatisch in Abhängigkeit von den Betriebszuständen der Bäummaschine eingehalten.

Alle Teile der Schlichtvorrichtung, die mit der Lösungsmittelschlichte in Berührung kommen, sind aus nichtrostenden Werkstoffen gefertigt.

Die Zugänglichkeit zu den Walzen und der Garnkette über die ganze Breite ist durch eine pneumatisch zu öffnende Abdeckhaube gewährleistet. Durch eingebaute Fenster kann die Garnkette während des Laufs beobachtet werden (Abb. 2).

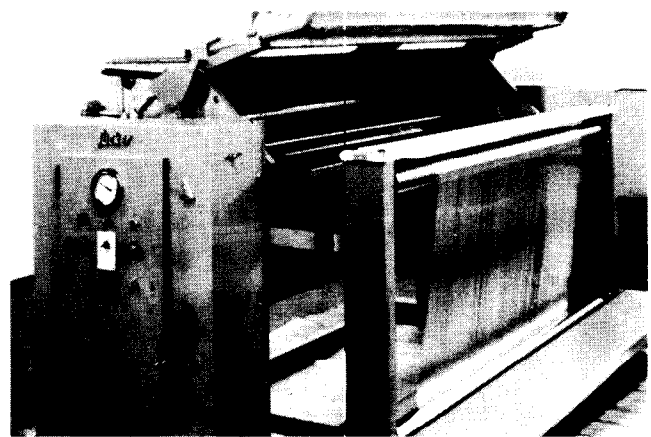


Abb. 2: Schlichtvorrichtung für Lösungsmittel

Die Höhe des Schlichtestandes im Trog wird mittels Schwimmerregelung der Schlichtezufuhr konstant gehalten. Die nicht verbrauchte Schlichte kann bei Partieende in den Vorratsbehälter zurückgepumpt werden; danach werden durch Sprührohre Trog und Walzen mit reinem Perchloräthylen gereinigt.

Die Quetschwalzen werden von der Bäummaschine aus über eine Längswelle angetrieben. Eine Schaltkupplung ermöglicht ein Abkuppeln der Quetschwalzen, wenn beispielsweise die Tauchwalze abgesenkt oder die Garnkette eingezogen werden muß.

Nach dem Verlassen der Schlichtvorrichtung wird die Garnkette in die Trockenkammer 3 (Abb. 1) geführt. Durch acht teflonierte, langsam rotierende Teilstäbe 4 wird die Garnkette aufgeteilt, um ein Zusammenkleben benachbarter Einzelfäden zu vermeiden (*echte Naßteilung*). In diesem aufgeteilten Zustand wird die Garnkette mit perchloräthylenhaltiger Warmluft im

Umluftbetrieb vorgetrocknet, danach auf zwei teflonierten, dampfbeheizten angetriebenen Trockenzyklindern fertiggetrocknet. Über eine Desodoriereinrichtung 5 verläßt sie schließlich die Trockenkammer.

Alle Teile der Trockenkammer, die mit Perchloräthylendämpfen in Berührung kommen, sind aus nichtrostenden Werkstoffen gefertigt. Zur Wärmedämmung ist die Kammer außen mit Isolierplatten verkleidet. Eine Tür gestattet das Begehen. Zum Einlegen der Teilstäbe sind beidseitig kleinere Türen vorgesehen.

Alle Türen sind durch Endschalter so gesichert, daß beim Öffnen das Perchloräthylendampf-Luftgemisch aus der Kammer abgesaugt wird.

Die Vortrocknung der Garnkette geschieht konvektiv. Ein Radialventilator 6 fördert das Perchloräthylendampf-Luftgemisch durch einen dampfbeheizten Wärmetauscher 7 über Verteilerschlitze 8 durch die aufgeteilte Garnkette. Dieses Gemisch wird dann durch Absaugverteilerschlitze 9 und seitlich angeordnete Kanäle 10 wieder angesaugt und nach Kondensieren 11 des überschüssigen Perchloräthylens teilweise dem Kreislauf wieder zugeführt (Umluftbetrieb), teilweise von einem gesonderten Ventilator über die Rückgewinnungsanlage 12 (Aktivkohlefilter) abgesaugt und nach Adsorption des restlichen Perchloräthylens ins Freie geblasen.

Hierdurch wird ein leichter Unterdruck in der Trockenkammer erzeugt, der ein Austreten der gesundheitsschädlichen Perchloräthylendämpfe aus Trockenkammer und Schlichtetrog verhindert.

Das kondensierte Perchloräthylens wird in einer Wanne unterhalb des Kondensators aufgefangen und zum Vorratstank 13 zurückgeführt.

Eine Meßsonde überprüft ständig das Kammerklima (d. h. den Perchloräthylengehalt in der Kammerluft), und eine Regeleinrichtung hält es (auf einem vorwählbaren Wert) konstant.

Mit dieser Maschinenkonzeption sind neben einem einwandfreien Beschlichten als Hauptfunktion der Anlage, auf die aber hier nicht näher eingegangen wird, die technischen Mittel gegeben, mögliche negative Einwirkungen auf die Umwelt im Rahmen der geltenden gesetzlichen Bestimmungen zu vermeiden.

3. Umweltschutz beim Schlichten aus Perchloräthylen

Obwohl im Schrifttum immer wieder auf die geringe Toxizität von Perchloräthylen hingewiesen wird¹³, ist dieses doch nicht unbedenklich. So wird bei MAK-Werten (maximale Arbeitsplatzkonzentration) oberhalb der in der Bundesrepublik Deutschland zulässigen Grenze von 100 ppm (670 mg/m³ Luft) über folgende Krankheitserscheinungen berichtet¹⁴:

200 ppm: schwache Augenreizung, geringe Gleichgewichtsstörung,

400 ppm: deutliche Augenreizung, leichte Irritation der Nasenschleimhäute, nach 2 Stunden deutliche Koordinationsstörungen,

600 ppm: deutliche Reizung der Nasen- und Augenschleimhäute, Benommenheit, Entthemungsanzeichen,

1000 ppm: starke Reizung der Augen und Atemwege, nach 2 Minuten Benommenheit, Schwindelgefühl,

1500 ppm: unerträgliche Reizung von Augen und Nase, völliger Verlust der Koordinationsfähigkeit, Bewußtlosigkeit innerhalb von 30 Minuten,

5000 ppm und mehr: Tod möglich.

Im Handlexikon der Arbeitsmedizin¹⁵ werden als Symptome angegeben:

„Reizzustände der Schleimhäute der Augen und Atemwege, narkotische Wirkung, Kopfschmerzen, Schwindel, Brechreiz, Übelkeit; angeblich keine Dauerschäden, jedoch bei starker Einwirkung leichtere degenerative Veränderungen an der Leber möglich, aber keine Nekrosen wie durch Tetrachlorkohlenstoff (angebliche Ungefährlichkeit kann jedoch noch nicht als erwiesen angesehen werden, deshalb entsprechende Schutzmaßnahmen!).“

Bestätigungen dieser Angaben sind in Arbeiten von W. Wirth et al.¹⁶ und S. Moeschlin¹⁷ zu finden. Als Vorteil wird auf den niedrigen Dampfdruck (14,2 Torr bei 20° C) hingewiesen¹⁴, der geringe Flüchtigkeit im kalten Zustand zur Folge hat. Da nach der gleichen Quelle die Geruchsschwelle bei 50 ppm liegt, ist eine einfache „olfaktorische Messung“ des zulässigen MAK-Wertes mit dem Sicherheitsfaktor 2 in erster Näherung möglich, wenn der Geruchssinn durch Aufenthalt in der belasteten Umgebung noch nicht abgestumpft ist.

Über Allergien, Hautreizungen usw. durch Perchloräthylen, das im Gewebe zurückbleibt, da es (insbesondere bei Behandlung von Polyesterfasermaterial) zu einer Sorption des Lösungsmittels kommt¹⁸, konnte in dem angegebenen Schrifttum kein Hinweis gefunden werden. Nach H. Steitz⁹ kann man jedoch davon ausgehen, daß die nach guter Belüftung (Desodorierung und Kühlung des behandelten Textilgutes noch auf der Ware befindlichen 1 bis 20 ‰ Perchloräthylen gesundheitlich unbedenklich sind, da gleiche Werte in chemisch gereinigten Kleidungsstücken vorliegen.

3.1. Die Lösungsmittelschlichtmaschine LMS aus der Sicht des Umweltschutzes

Soll eine Umweltbelastung beim Be- und Entschlichten aus Perchloräthylen vermieden werden, so müssen folgende Bedingungen von dem Verfahren und der Maschine erfüllt werden:

- Schutz der Bedienungspersonen,
- Vermeiden von unzulässigen Lösungsmittelkonzentrationen in der Abluft, in den — geringen — Abwassermengen, in der textilen Kette sowie in dem auf dieser aufgetragenen Schlichtemittel,
- Regenerieren von Lösungsmittel und Schlichtemittel zum Zweck einer weitgehenden Verwendung in Kreisprozessen und endlich
- gefahrloses Beseitigen der Verunreinigungen und des nicht mehr regenerierbaren Schlichtemittelanteils.

Aus der konstruktiven Ausführung gemäß Abbildung 1 ist zu ersehen, daß sich die textile Kette vom Eintritt in den Schlichtetrog bis zum Austritt aus der Trockenkammer in einem geschlossenen System befindet, in dem Lösungsmittel, Luft und Spuren von Wasserdampf als wesentlichste Medien zirkulieren. Wegen des leichten Unterdrucks in Schlichtetrog und Trockenkammer kann in die Ein- und Austrittsschlitze für die textile Kette Frischluft eintreten, wobei die mit Per-

chloräthylen beladene Luft über die Aktivkohlefilter ins Freie abgeblasen wird, nachdem das Perchloräthylen von der Aktivkohle adsorbiert worden ist. Da durch zyklische Vertauschung von drei Aktivkohlefiltern immer zwei hintereinandergeschaltet bleiben, während der jeweils dritte durch Wasserdampf regeneriert wird, ist immer für maximale Reinigung der Abluft gesorgt. In der Bundesrepublik Deutschland sind durch das Immissionsgesetz als obere Grenze 30 ppm (200 mg/m³ Luft) zugelassen. Sollte aus irgendwelchen Gründen der Schlichtetrog oder die Trockenkammer geöffnet werden müssen (z. B. zum Beseitigen von Wicklern o. ä.), so reichen die Kapazitäten von Absaugventilator und Aktivkohlefiltern aus, die Innenräume in kürzester Zeit von perchloräthylenhaltiger Luft zu befreien.

Die Lagerungen von Quetsch-, Tauch- und Leitwalzen sowie Teilstäben sind entweder durch Abdichtungen nach außen verlegt oder in einer für das Arbeiten in der entsprechenden Umgebung geeigneten Version ausgeführt.

Letzte Perchloräthylenspuren werden in der Desodorierstrecke entfernt, indem ein separater Ventilator mit hoher Geschwindigkeit Frischluft durch die Garnkette saugt. Die anschließend nur diese Lösungsmittelspuren enthaltende Abluft wird ins Freie abgeführt.

Mit diesen Maßnahmen ist der Schutz des Bedienungs-personals und der Umgebung der Anlage gesichert.

Die einzigen Stellen der Anlage, an denen Wasser mit Perchloräthylen in Berührung kommt, sind der jeweils mit durchströmendem Wasserdampf regenerierte Aktivkohlefilter (wo nach Kondensation ein Lösungsmittel-Wasser-Gemisch anfällt, bei dem nach Trennung der Phasen noch 0,015 Gewichtsprozent Perchloräthylen im Abwasser bleiben⁶⁾ sowie der Kondensator, in dem auch die geringen, in der Kammer befindlichen Wasserdampfmen gen kondensiert werden. Nach Verdünnung mit anderen Abwässern kann in dem von diesen beiden Stellen entnommenen Wasser kein Lösungsmittel mehr nachgewiesen werden. Bei einer eventuellen Verschärfung der Gesetze könnten jedoch auch diese geringen Mengen noch wirtschaftlich beseitigt werden.

Sollten die — besonders im Polyesterfilamentgarn — noch vorhandenen Lösungsmittelreste aus gesundheitlichen Gründen entfernt werden müssen, so ergäben sich beträchtliche Schwierigkeiten¹⁸⁾, weil eine restlose Entfernung aus diesem kritischen Material nicht möglich ist.

Betrachtet man aber die Bedingungen, unter denen das Perchloräthylen in die Polyesterfasern eindringt, so liegt bei den aufgefundenen Schriftumsstellen¹⁹⁾ ein Verweilen in gesättigtem bzw. überhitztem (140 °C) Perchloräthylendampf bzw. in kochendem (121 °C) flüssigem Perchloräthylen vor, das nach ca. 10 Sekunden Kontaktzeit zu einer Absorption von ca. 2 % Lösungsmittel führte.

Die Verhältnisse in Schlichtetrog und Trockenkammer weichen jedoch beträchtlich von den oben zitierten Versuchsbedingungen ab: im Schlichtetrog ist die Temperatur ca. 20 °C bei einer Kontaktzeit von ca. 2 Sekunden (bei 100 m/min Kettgeschwindigkeit). In der Trockenkammer besteht die Möglichkeit, durch Regelung des Kammerklimas eine gewünschte Kühlgrenztemperatur einzuhalten (im Beispiel von Abb. 3: 70 bis

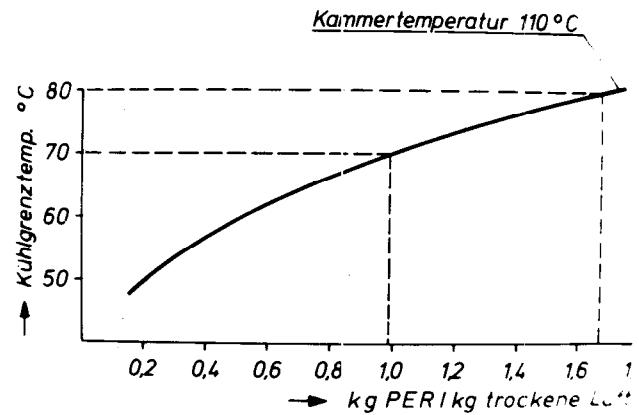


Abb. 3: Kühlgrenztemperatur von Perchloräthylen als Funktion des Kammerklimas

80 °C), die solange auf der Fadenoberfläche vorhanden bleibt, wie noch unverdampfte Perchloräthylenmengen auf dem Faden sind. Für diese Bedingungen sind bisher offenbar keine Untersuchungen gemacht worden, doch ist anzunehmen, daß die Perchloräthylenaufnahme während der weiteren 2 Sekunden im Naßteilm Bereich weit unterhalb 0,1 % liegt. Erst nach fast völligem Abtrocknen des Fadens (d. h. beim Auflaufen auf den ersten Trockenzyklus) stellt sich eine höhere Temperatur ein. Dann aber ist nur noch das weit von der Sättigung entfernte Perchloräthylen-Luft-Gemisch vorhanden, das wieder kein nennenswertes Eindringen von Lösungsmittel in den Faden gestattet.

Diese Überlegungen gelten nur für Polyester und einige andere Faserarten¹⁹⁾. Bei Polyamid 6.6, Wolle, Polyacrylnitril, Baumwolle und Viskose konnte in der gleichen Untersuchung „keine ins Gewicht fallende Absorption von Perchloräthylen festgestellt“ werden.

Durch Untersuchungen des Schlichtemittels Polystyrol auf Baumwollfäden wurde ein Chlorgehalt von 390 ± 35 ppm (d. s. 0,039 %) festgestellt. Das entspricht einem Perchloräthylenrest von 89,70 ± 8,05 ppm (0,009 %) in dem System Faden/Schlichtemittel.

Die Geschwindigkeit eines „Ausdunstens“ von Perchloräthylen aus dem System Faden/Schlichtemittel muß noch durch Versuche bestimmt werden. In jedem Fall kann sich bei den geringen Mengen im Faden keine gefährliche Konzentration in der Luft des Web-saales entwickeln — selbst wenn die Webbäume dort wochenlang verweilen.

Auf die Wahl der Kühlgrenztemperatur und deren Einhalten durch Regelung des Kammerklimas aus energietechnischen Gründen sei nur kurz hingewiesen. Die von M. P a b s t²⁰⁾ für H₂O-Dampf erstellten Überlegungen und Geräte wurden auf die bei Perchloräthylen geltenden Verhältnisse übertragen und hier mit Erfolg eingesetzt.

Für das Regenerieren (Destillieren) des Lösungsmittels gelten die gleichen Möglichkeiten wie bei der Ausrüstung, sodaß auf die dortigen Erfahrungen und Methoden verwiesen werden kann⁶⁾.

Durch neuere Entwicklungen hat sich gezeigt, daß das Schlichtemittel zu einem Teil ebenfalls in einem Kreisprozeß zirkulieren kann. Daran wird die Menge des in üblichen Anlagen (z. B. durch Verbrennen) zu beseiti-

genden, nicht mehr regenerierbaren (aus Fett, Fasern und sonstigen Verschmutzungen zu trennenden) Schlichtemittels beträchtlich reduziert und erfüllt neben den großen wirtschaftlichen Vorteilen eine der Forderungen nach möglichst geringer Umweltbelastung.

Alle Rückstände aus dem Destillationsprozeß des Lösungsmittels und der Aufarbeitung des Schlichtemittels sind lösungsmittelfrei und können in üblicher Weise verbrannt oder deponiert werden.

In Abbildung 1 ist zwischen der Trockenkammer 3 und der Bäummaschine 15 noch das übliche Trockenteilfeld 14 eingezeichnet. Obwohl in der Praxis auch hier Teilstäbe eingelegt werden, haben diese doch nicht mehr die übliche Funktion einer Trockenteilung mit dem Auseinanderreißen miteinander verklebter Nachbarfäden, da das durch die Naßteilung in der Trockenkammer nicht mehr nötig ist. Entsprechend gering ist demnach auch der Staubanfall im Trockenteilfeld, der üblicherweise ohne eine zusätzliche Absaugung beherrscht werden kann.

Eine nicht eingezeichnete Wachsvorrichtung sorgt für eine Verbesserung der Gleiteigenschaften der Kettfäden, da die Fäden durch das Eintauchen in Perchloräthylen vollständig entfettet wurden.

Da das Entschlichten — bis auf das Regenerieren des Schlichtemittels — keine neuen Umweltschutzprobleme gegenüber denen beim allgemein bekannten Ausrüsten im Lösungsmittel aufwirft, soll hier nicht näher darauf eingegangen werden.

Als indirekter Umweltschutzeffekt sei allerdings noch kurz auf den Umstand hingewiesen, daß die Vorbehandlung im Lösungsmittel zu einer Verminderung des Gehalts an Monomeren bzw. Oligomeren auf den Polyesterfasern führt, die bekanntlich das Färben — auch in wäßrigem Medium — beträchtlich erschweren²¹.

Literatur:

- 1) F. Bayerlein und P. Haberer: „Das Abwasserabgabengesetz“; *Textilpraxis Int.* **29** (10), 1411—1413 (1974); **30** (1), 70—73 (1975)
- 2) E. Toplisek: „Das Abwasserabgabengesetz aus der Sicht des Abwassereinleiters“; *Chemiefasern/Text.-Ind.* **25/77** (5), 451—453 (1975)
- 3) J. Trauter u. Mitarbeiter: „Überlegungen zum Abwasserabgabengesetz“; *Textilpraxis Int.* **30** (1), 47 (1975)
- 4) H. Grunert: „Technologie und Praxis des Entschlichtens unter den Aspekten der Rationalisierung in Weberei und Ausrüstung“; *Melliand Textilber.* **56** (1), 22—25 (1975)
- 5) M. Denkler und P. Haberer: „Ist die Stärkeschlichte tot?“; *Textilpraxis Int.* **30** (5), 577—578 (1975)
- 6) H. Steitz: „Wo steht die Lösungsmittelausrüstung heute?“; *Textilveredlungs-Praxis, ITB Färberei/Druckerei/Ausrüstung* **10** (4), 372—386 (1972)
- 7) J. Mecheels, J. Kurz und D. Troska: „Untersuchungen über die praktische Anwendungsmöglichkeit von organischen Lösemitteln in der Textilfärberei“; *Textil-Ind.* **73** (6/7), 458—462; (9), 593—596 (1971)

- 8) H. H. Hofstetter und E. Rössler: „Lösemittelveredlung — Stand der Technik“; *Chemiefasern/Textil-Ind.* **25/77** (5), 443—457 (1975)
- 9) C. Klyszejko: „Solvent Sizing“; *Shirley Institute Bull.*, Vol. 47, Sept. 1974, S. 90—93
- 10) G. Dalla Vecchia: „Verfahren zum Schlichten und Entschlichten von Garnen aller Art“; DOS 2,318.651
- 11) G. Dalla Vecchia: „Verfahren und Vorrichtung zum Entschlichten von Stoffen“; DOS 2,456.132
- 12) W. Kothe: „Färben aus organischen Lösemitteln — eine kritische Bilanz“; *Melliand Textilber.* **54** (8), 849—853 (1973)
- 13) J. Müller: „Textilveredlung in organischen Lösungsmitteln — eine kritische Bestandsaufnahme“; *Chemiefasern* **22** (1), 55—60 (1972)
- 14) Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, 1. Ausgabe: Oktober 1971, 2. Ergänzung: Juni 1974: „Gefährdung durch Tetrachloräthylen (Perchloräthylen)“ — Fassung September 1973; A. W. Gentner Verlag, Stuttgart
- 15) H. Buckup; *Handlexikon der Arbeitsmedizin*, 2. Aufl., S. 147; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1966
- 16) W. Wirth, G. Hecht und Ch. Gloxhuber; *Toxikologie-Fibel*, 2. Aufl., S. 193; Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- 17) S. Moeschlin; *Klinik und Therapie der Vergiftungen*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1972
- 18) K. Brederick und E. Koch: „Zur Sorption und Desorption von Perchloräthylen in Polyäthylenterephthalatfasern“; *Melliand Textilber.* **55** (2), 157—162 (1974)
- 19) J. Moreau und F. Somm: „Neue Aspekte des kontinuierlichen Färbens von synthetischen Fasern aus organischen Lösungsmitteln“; *Textilveredlung* **7** (4), 211—226 (1972)
- 20) M. Pabst: „Die Kostenoptimierung von Trocknungsprozessen durch energiebewußte Abluftregelung“; *Melliand Textilber.* **55** (3), 291—294 (1974)
- 21) H. Jedraszcyk, T. Zyniewski und Z. Kubacki: „Untersuchung des Einflusses einiger Lösungsmittel auf die Struktur der Polyesterfasern“; *Textiltechnik* **21** (4), 233—238 (1971)

Diskussion

Anonym: Handelt es sich bei der von Ihnen beschriebenen Lösungsmittel-Schlichtmaschine um eine auf dem Brett stehende, das heißt konzipierte, oder um eine bereits in der Praxis erprobte Anlage?

Gierse: Das vorgestellte Schlichtverfahren wird sowohl von anderen Firmen als auch von uns schon seit mehreren Jahren in der Praxis in Großversuchen erprobt und hat sich eigentlich bereits bewährt.

Anonym: Wie sieht die Kompatibilität zwischen Lösungsmittelschlichten und Ausrüstungen in wäßrigem Medium aus? Kommt es zu besonderen Schwierigkeiten, beispielsweise wenn ein Ausrüstungsprozeß in wäßrigem Medium mit einem Schlichtevorgang in einem Lösungsmittel kombiniert wird?

Gierse: Nach dem Entschlichten mit Lösungsmittel kann die Ware entweder wie bisher in wäßrigem Medium oder in einem Lösungsmittel ausgerüstet werden. Es können allerdings nach allen Lösungsmittelschlichten auf Grund der bekannten Wirkung des Lösungsmittels bestimmte Prozesse, wie beispielsweise das Entfetten oder das Reinigen von Maschinenöl, entfallen.

Kann die Lösemitteltechnologie Wege weisen, mit einer Universal-Maschinenausstattung sowohl Maschenware als auch Webware vorzubehandeln und auszurüsten?

Textiling. Winfried Steitz
Böhler & Weber KG — Maschinenfabrik — Augsburg

Die Lösemitteltextilausrüstung ist auf Grund des einfachen physikalischen Ablaufs besonders für die Vorbehandlung von universeller Anwendungsbreite. Durch den Einsatz spezifischer Hilfsmittel und Appreturmittel können vollstufige Ausrüstungsverfahren durchgeführt werden. Die maschinelle Einrichtung der Lösemittelbehandlungsstufe eignet sich für die Bearbeitung unterschiedlicher Textilien und Aufmachungen. Es wird zwischen Trommelmaschinen und Kontinueanlagen unterschieden. Rückgewinnung und Wiederverwendung des Lösemittels sind wirtschaftliche Voraussetzungen und werden in drei Systemen verwirklicht. Gegenüber herkömmlichen Ausrüstungsverfahren bieten Lösemittelverfahren organisatorische, wirtschaftliche und ökologische Vorteile. Eine immer größere Einsatzbreite entwickelt sich aus dem gemeinsamen Engagement aller mit der Textilindustrie verflochtenen Industriezweige.

Due to the simple physical cycle solvent textile finishing is particularly suitable for the pretreatment of universal application width. Full-stage finishing processes can be carried out by adding specific aids and finishing agents. The equipment of the solvent treatment stage is suitable for the treatment of differing fabrics and make-ups. We distinguish between rotary machines and continuous plants. The recovery and reuse of the solvent are an economic necessity and are realised in three systems. Solvent processes offer organisational, economic and environmental advantages over traditional finishing processes. A growing range of applications is developing from the joint engagement of all branches of industry connected with textiles.

1. Einleitung

Der Einfluß der Maschenware auf die Textilausrüstung zwingt zu einer Umorientierung des Maschinenparks. Spannungsarm arbeitende Färbe-, Wasch- und Trocknungsaggregate sind notwendig, um den technologischen Forderungen zu entsprechen. Durch die zeitlich begrenzte, meist modisch beeinflusste textile Entwicklung können sich die maschinentechnischen Forderungen schnell ändern. Zum Beispiel ist es ein wesentlicher Unterschied, ob Textilien aus reiner Wolle oder aus Polyamid verarbeitet werden sollen.

Die Textilausrüstung in Perchloräthylen hat sich in einem jahrelangen Einführungsprozeß Anerkennung verschafft. Eine der bekanntesten Eigenschaften ist die spontane und hohe Löslichkeit von Fett und Öl. Da praktisch alle Strickartikel Spinnpräparationen und Spulöle enthalten, sind diese Artikel für eine Vorbehandlung in Perchloräthylen besonders gut geeignet. Weniger bekannt ist der inerte Charakter chlorierter Kohlenwasserstoffe, insbesondere von Perchloräthylen, und das völlig indifferente Verhalten dieses Lösemittels gegenüber Textilfasern. Dieses unkomplizierte physikalische Verhalten ermöglicht die Behandlung empfindlicher Fasern, wie Wolle,

Viskose, Acetat, ohne jede Faserquellung, Sensibilisierung oder sonstige Beeinträchtigung der faserspezifischen Eigenschaften.

Ebenso unbeeinflusst durch die Einwirkung von Perbleiben synthetische Fasern, wie zum Beispiel Polyamid, Polyacryl und Polyester. Polyester neigt jedoch leicht zu einer Perchloräthylenabsorption, wenn bei Behandlungstemperaturen über 60° C und über längere Behandlungszeiten gearbeitet wird. Höhere Behandlungstemperaturen und Behandlungszeiten über 30 Sekunden sind jedoch bei der Lösemittelvorbehandlung und Ausrüstung nicht erforderlich. Es ergibt sich hieraus eine universelle Anwendungsbreite, die über die Anwendungstechnologie hinaus bei Berücksichtigung einiger konstruktiver Merkmale auch auf die Produktionsmaschinen übertragen werden kann.

2. Methoden der Lösemitteltextilbehandlung

Die Arbeitsmethoden leiten sich von der Chemischreinigung, die schon vor Jahrzehnten von Benzin auf chlorierte Kohlenwasserstoffe, insbesondere auf Perchloräthylen, umgestiegen ist, ab. Perchloräthylen hat besonders textilfreundliche und physikalisch handliche Eigenschaften. Es ist eine farblose, wasserklare Flüssigkeit von aromatischem Geruch, flüchtig, unbrennbar und in seiner Wirkungsweise als Lösemittel außergewöhnlich. Die spezifische Lösewirkung für Öl, Fett, Wachs, Harz, Teer, sowie die fast völlige Indifferenz gegenüber den meisten Textilfasern grenzt die Textilanwendungstechnologie von Perchloräthylen gegenüber der herkömmlichen Wasserbehandlung scharf ab.

In Abbildung 1 sind die gegenüber Wasser unterschiedlichen Eigenschaften von Perchloräthylen gezeigt.

Bezeichnung	Dimension	Per	Wasser
Konstitutions-Formel		$\begin{matrix} \text{CL} & & \text{CL} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = & \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{CL} & & \text{CL} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{H} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{H} \end{matrix}$
Molekulargewicht		166	18
Spezifisches Gewicht	g/cm ³	1,6	1
Kochpunkt	°C	121	100
Verdampfungswärme	Kcal/kg	50	540
spez. Wärme der Flüssigkeit	Kcal/kg°C	0,2	1
Oberflächenspannung	dyn/cm	32	72
Dielektrizitäts Konst. der FL		24	81
Flammpunkt in Luft	°C	nichtentflammbar	nichtentflammbar
Zersetzungsbeginn	°C	150	>2000
MAK-Wert	ppm/m ³	100	
Mischbarkeit mit Fettstoffen		unbegrenzt	nicht mischbar
Kauri-Butanol -Wert		90	
		Werte aufgerundet	
Vergleich physikalischer Eigenschaften von Perchloräthylen und Wasser			

Abb. 1: Vergleich physikalischer Eigenschaften von Perchloräthylen und von Wasser¹

2. 1. Trommelmaschinen

Wie schon angedeutet, sind die von der Chemischreinigung her bekannten Trommelmaschinen auch für die Textilveredlung geeignet. Hier ist zwischen der Reinigung von konfektionierten bzw. teilkonfektionierten Artikeln und von Meterware zu unterscheiden. Darüberhinaus eignen sich die Trommelmaschinen für die Behandlung von Hutstumpen ebenso wie für die von Teppich- bzw. Strickgarnen in Strangform. Die

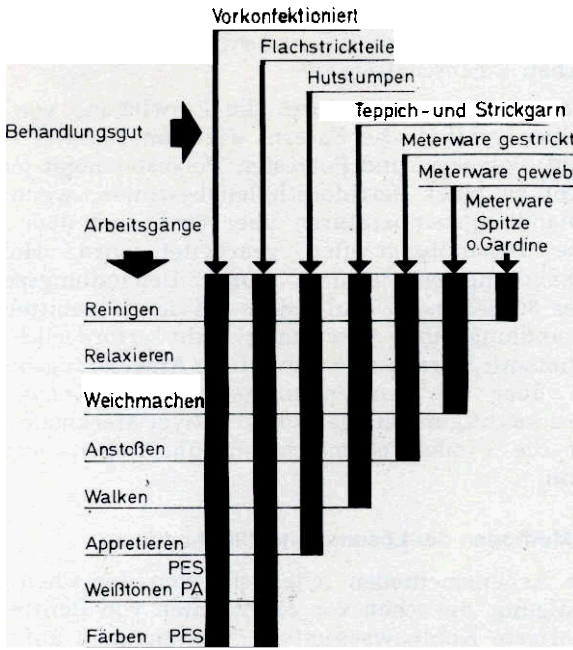


Abb. 2: Möglichkeiten der Textilbehandlung auf Trommelmaschinen

in der Praxis bis heute durchgeführten Arbeitsgänge sind in Abbildung 2 dargestellt.

Charakteristisch für den Verfahrensablauf ist der Trocken-zu-Trocken-Prozess. Dabei wird während der einzelnen Behandlungsstufen weder das Textilgut transportiert noch durch Öffnen der Maschine in den Arbeitsablauf eingegriffen. Nach Ablauf aller programmkartengesteuerten Einzelfunktionen wird das Behandlungsgut trocken, belüftet und gekühlt der Behandlungstrommel entnommen.

Abbildung 3 zeigt eine BÖWE ST-Trommelmaschine während der Entnahme des Behandlungsgutes.

Nachteilig ist bei der Behandlung von Meterware die Verschlingung des Warenstranges. Hier kann durch den Einsatz von Netzbeuteln die Verschlingung verschiedener Stücke untereinander vermieden werden.

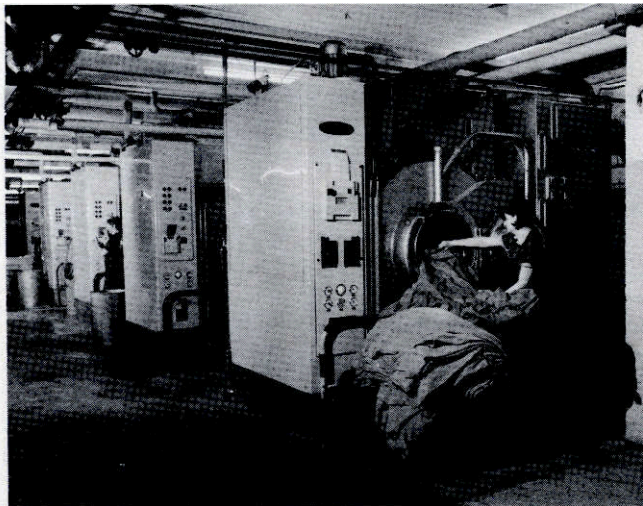


Abb. 3: BÖWE ST-Trommelmaschinen in der Textilvorbehandlung

Die markantesten technologischen Eigenschaften einer Trommelbehandlung sind die absolute Relaxation des Behandlungsgutes und der hervorragende Reinigungseffekt. In der Praxis wird aber das manuelle, arbeitskraftbenötigende Öffnen und Breitschlagen der Stränge für größere Metragen ungern durchgeführt.

Es muß auch darauf hingewiesen werden, daß bei der sonst universellen Einsatzmöglichkeit der Trommelmaschine außer dem Weichmacher und einfachen Präparationen auf Meterware keine Appreturen aufgebracht werden können. Infolge der wirren, verschlungenen Aufmachung des Behandlungsgutes ist ein gleichmäßiges Auftrocknen von Appretur und Hilfsmitteln nicht möglich. Ausnahmen bieten Produkte mit entsprechend hoher Substantivität und ohne Versteifung für das Textilgut.

2.2 Breitbehandlungsanlagen

Die Lösemittel-Breitbehandlungsanlagen schalten die Nachteile der Trommelmaschinen für Meterware aus, besitzen aber sonst alle Vorteile der Trocken-zu-Trocken-Ausrüstungstechnik. Derzeit gibt es kontinuierlich arbeitende Lösemittelbreitbehandlungsanlagen, in erster Linie Reinigungsanlagen, auf denen die Vorbehandlung für Färbung oder Druck durchgeführt werden kann.

Durch Einschalten eines geeigneten Applikationssystems zwischen Reinigung und Trocknung wird die Lasemittel-Kontinuevorbehandlungsanlage zu einer geschlossenen Ausrüstungsanlage. Verfahren, die nach dem Stand der Technik in der Praxis angewandt werden, sind in Abbildung 4 gezeigt.

Ein permanentes Problem für den universellen Ein-

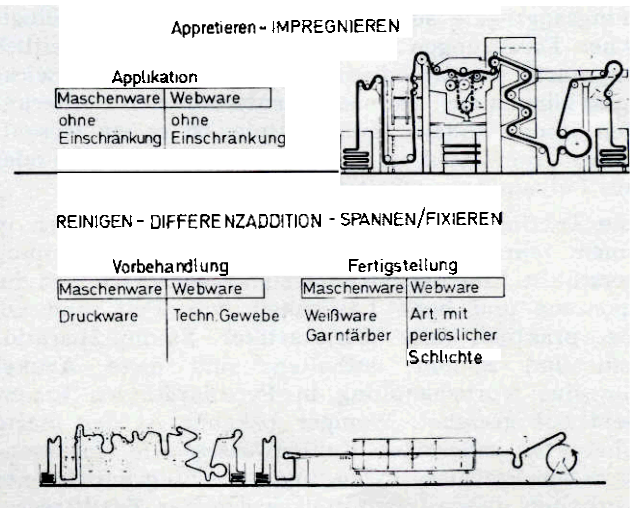
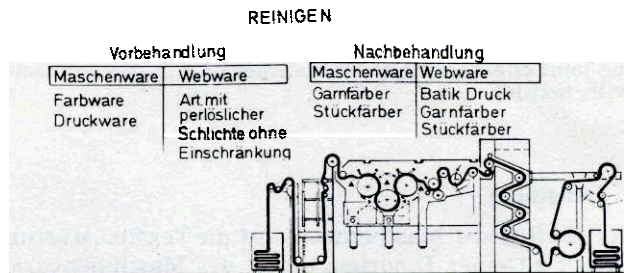


Abb. 4: Übersicht über praktisch angewandte Verfahren auf Lösemittel-Kontinueanlagen

satz von Kontinue-Breitbehandlungsanlagen ist die Art des Warentransportes. Für Gewebe ist eine gebundene, ausgebreitete Warenführung selbstverständlich. Auch wird eine gewisse, die Sicherheit des Warenlaufs fördernde Kettspannung gewünscht.

Anders verhält es sich bei Maschenartikeln. Um eine voluminöse elastische Ware mit gleichmäßigem Maschenbild zu erhalten, sind Spannungszustände während der Behandlung zu vermeiden, oder es müssen diese nach kurzer, vorübergehender Dauer wieder aufgehoben werden. Auch den unliebsamen Rollkanten spezieller Maschenartikel ist durch eine geeignete Warenführung Rechnung zu tragen.

Diese Voraussetzungen für Gewebe und Strickartikel sind auf der BÖWE/Küsters Contisol-Anlage gegeben. Ein Warenlaufschema dieser Anlage zeigt Abbildung 5.

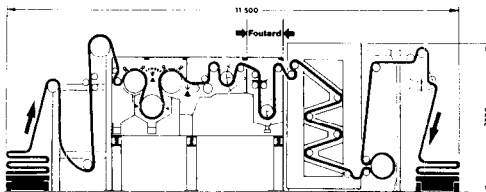


Abb. 5: BÖWE/Küsters-Contisol-Breitbehandlungsanlage (Warenlaufschema)

Innerhalb des Behandlungsteiles zeigt die ausgezogene Linie den vollen Wareneinzug, zum Beispiel für Webware. Die gestrichelte Linie zeigt eine Möglichkeit, Rundstrickware mit verminderter Warenspannung durchlaufen zu lassen. Während die Ware auf den Siebwalzen aufliegt, wird mit einem Düsendruck von 3 bis 4 atü über Detachierdüsen gereinigt. Bei horizontaler Warenführung (Maschenartikel) ist die Warenbahn zwischen zwei Siebwalzen durch ein Flüssigkeitsbreitband abgestützt und wird gleichzeitig ausgebreitet. Der Reinigungseffekt ist ausgezeichnet. Auch Anstrickverschmutzungen werden vollständig entfernt.

Im Applikationsteil und im Trockner ist der Wareneinzug für alle Warenarten gleich. Eine völlige Entspannung im Trockner wird durch die besondere Art

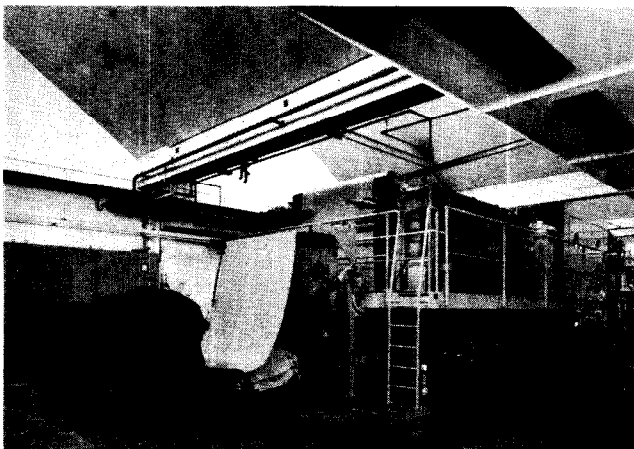


Abb. 6: BÖWE/Küsters-Contisol-Breitbehandlungsanlage

der Warenführung, verbunden mit einem Luftkissen-effekt innerhalb des Trockenkanals, möglich.

Maschenware wird vor der Abzugswalze in einer freien Warenschlaufe geführt. Unter Vermeidung jeglicher Zugspannung kann das Behandlungsgut vom Trocknereingang bis zu Belüftung und Kühlung relaxieren. Die gekühlte Ware wird meist gefaltelt, kann aber auch auf Großdocke gerollt werden.

Abbildung 6 zeigt die Anlage während des Betriebes. Vorbildlich sind die Möglichkeiten der Naß-in-Naß-Appretur auf einer vollstufigen Lösemittel-Kontinue-anlage. Exakte Abquetschwerte, hohe Penetrationsgeschwindigkeit und Ausschluß jeglicher Faserquellung ermöglichen eine gleichmäßige Verteilung der Appreturmittel auf der gesamten Textilfläche. Die Art der Ausstattung entscheidet dabei über die universelle Einsatzbreite. Eine etwas aufwendige, jedoch technisch vollkommene Lösung ist die Quetsch/Nipp-Kombination der Firma E. Küsters in der BÖWE/Küsters-Contisol-Anlage.

In dieser Einheit spielen Warengewicht, Fahrgeschwindigkeit, Warenart, Provenienz und andere warespezifische Faktoren für die gewünschte Produktauflage keine Rolle. Abbildung 7 zeigt die Zusammenhänge.

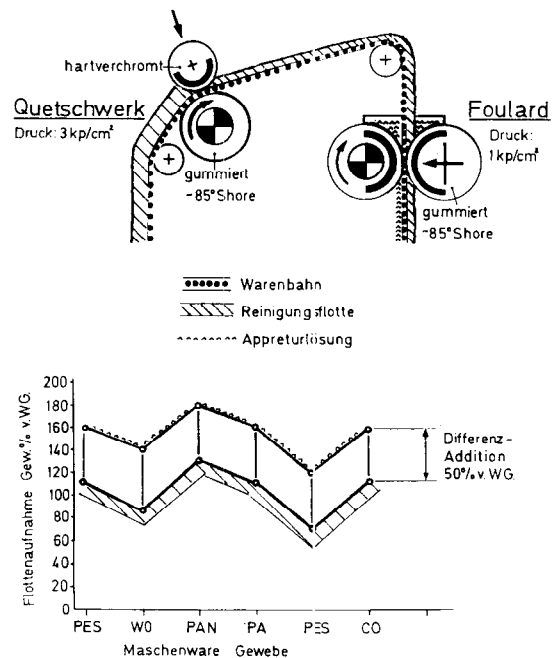


Abb. 7: Unabhängig gleichbleibender Appreturauftrag durch Quetsch/Nipp-Applikation

Die „Differenzaddition“ zwischen Quetschwerk und Nippwerk ist immer die gleiche, sofern nur der Walzendruck beider Werke konstant gehalten wird. Variiert man den Druck am Nippwerk (Foulard) bei konstantem Druck des Quetschwerkes, so erhält man unterschiedliche Flottenadditionswerte. Auf diese Weise kann der produktabhängigen Löslichkeit von Appreturmitteln Rechnung getragen werden, indem man das Lösungsvolumen durch höhere Additionswerte (bis zu maximal 45 Vol.-%) erhöht. Eine Übersicht der minimalen und maximalen Additionswerte gibt Abbildung 8.

Testartikel: Maschenware PE
 Maschenware Wolle 100 %
 Warenbreite 1800
 Druckeinstellung Waschmaschinen-
 Quetschwerk: $3,5 \text{ kp/cm}^2 \pm 65 \text{ kp/cm}$

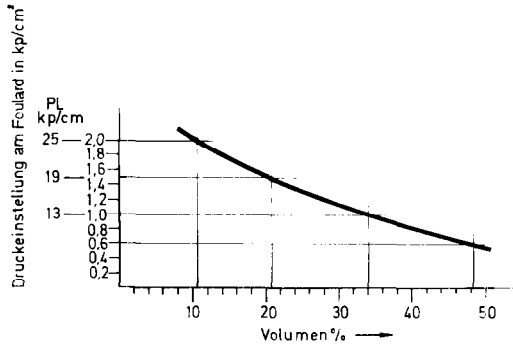


Abb. 8: Flüssigkeitsdifferenzaufnahme der Contisol-Anlage zwischen Waschmaschinenquetschwerk und Appreturfouillard

Mit der Küsters-Quetsch/Nipp-Kombination ist eine äußerst einfache Errechnung der Appreturansätze sowie ein nahtloser Übergang verschiedener Qualitäten und Warengewichte mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten gegeben. Das vereinfacht auch den Einsatz automatisch arbeitender Flottenansatz- und Versorgungsstationen.

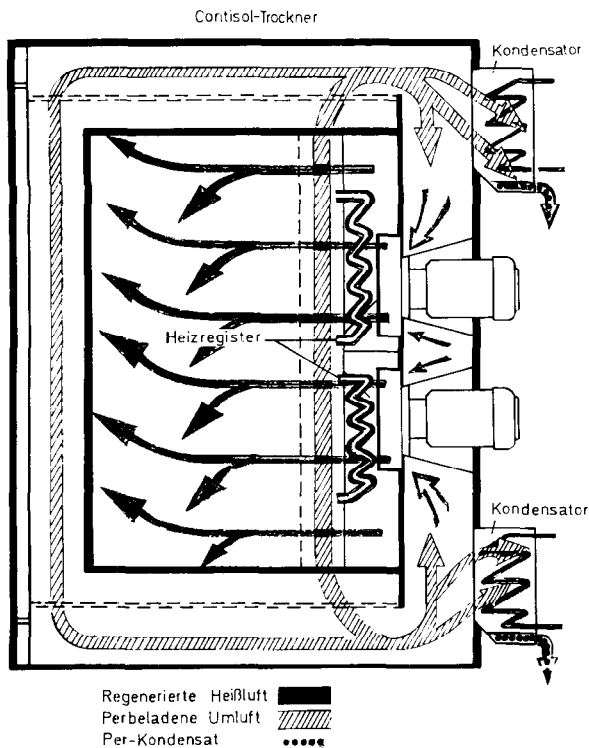


Abb. 9: Regeneration der Trockenluft im BÖWE-Contisol-Trockner

3. Rückgewinnung und Wiederverwendung des Lösemittels

Für ein wirtschaftliches Arbeiten mit Perchloräthylen ist die möglichst vollständige Rückgewinnung und Wiederverwendung unerlässlich. Dies geschieht in verschiedenen Stufen und auf unterschiedliche Weise.

3.1. Bei der Trocknung

In einem abgeschlossenen Kreislauf mit interner Umwälzung wird Luft als Wärmeträger und Stoffträger verwendet. Aus diesem System wird das vom Trockengut verdampfte Lösemittel durch Kondensation laufend ausgeschieden. Abbildung 9 zeigt schematisch die Luftzirkulation im Trockner der BÖWE/Küsters-Contisol-Anlage.

Die aus dem Trockenraum angesaugte pergashaltige Luft (im Schema mit Raster) regeneriert sich beim Passieren der Kondensatoren und wird trockenungsaktiv (im Schema schwarz) dem Düsensystem zugeführt.

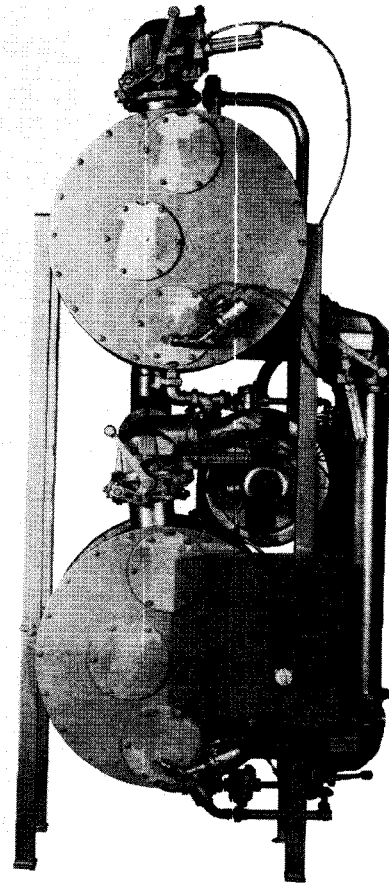


Abb. 10: BÖWE-Aktivkohle-Luftfilteranlage 125-2d

3.2. Aktivkohle-Luftfilter

Die den Trockner verlassende Ware enthält noch Lösemittelgas, das der im Trockner herrschenden relativen Luftsättigung entspricht. Durch Absaugen mit Raumluft wird die Ware einer Luftwäsche ausgesetzt und dabei gleichzeitig auf 40°C abgekühlt. Die angesaugte Luft durchströmt dann eine Aktivkohleschicht, wobei die anteiliger Pergase bis auf eine

Grenzkonzentration von 10 bis 30 ppm von der Aktivkohle adsorbiert werden.

Eine BÖWE-Aktivkohle-Luftfilteranlage, Typ A 125-2d, wird in Abbildung 10 gezeigt.

3.3. Destillation

Das bei der Reinigung des Textilgutes anfallende Schmutzper wird durch Destillation gereinigt. Das anfallende Destillat enthält weniger als 0,002 % nichtflüchtiger Anteile und ist frischer Ware gleichwertig. Der Destillationsrückstand ist bei der Reinigung stuhlröhrer Textilien in der Regel flüssig oder wachsartig und kann, zumindest im heißen Zustand, leicht in einen Sammelbehälter abgepumpt werden. Von den örtlichen Altölvornichtungsbetrieben werden die Destillationsrückstände kostenlos abgeholt, sofern nicht mehr als 10 Gewichts-% Lösemittel oder Feststoffe darin enthalten sind. In Abbildung 11 ist eine BÖWE D 500 mit einer maximalen Leistung von 5000 Liter Per pro Stunde gezeigt.

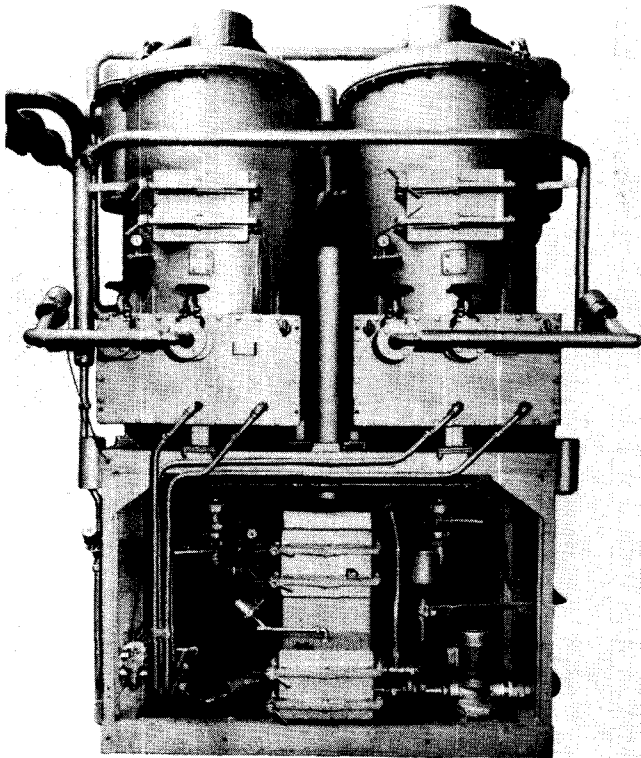


Abb. 11: BÖWE-Destillation D 500

3.4. Keine umweltschädigenden Auswirkungen

Die Textilausrüstung mit Perchloräthylen ist eine umweltfreundliche Technik. Es entstehen dabei keine verschmutzten Abwässer. Das benötigte Kühlwasser hat Frischwasserqualität und wird entweder über einen Wärmeaustauscherkreis ständig wiederverwendet, oder aber mitsamt der gebundenen Wärme im Naßveredlungsbetrieb (Färberei oder Wäscherei) weiterverwendet.

Die bei der Warenbelüftung abgestoßene Luft entspricht den Bestimmungen der Immissionsschutzgesetze. Für die in die Atmosphäre gelangenden Per-

gase ist bewiesen, daß sich Perchloräthylen durch Einwirkung von Licht und Luftfeuchte während einer Halbwertszeit von drei Monaten in Kohlendioxid und Chlor zersetzt. Das sehr häufig angewandte Pflanzenschutzmittel DDT hat beispielsweise zum Vergleich eine Halbwertszeit von fünf Jahren².

4. Unterschiede gegenüber Wasserbehandlung

Öl, Wachs, Fett, Polyesteroligomere und unfixierter Farbstoff können durch Behandlung mit Per in Behandlungszeiten von 6 bis 10 Sekunden bis auf eine unbedeutende Restauflage entfernt werden. Durch den Einsatz von Hochdrucksprühdüsen wird auch Pigmentschmutz erfaßt. Die Scherwirkung des durch die Ware strömenden Lösemittels reißt den Pigmentschmutz von der Oberfläche. Hoher Reinheitsgrad und Erhaltung des natürlichen Maschenbildes sind Folgen der quellenfreien Behandlung. Eine Lockerung der Maschen- bzw. der Gewebestruktur und eine hohe Bauschentwicklung sind besondere Merkmale der Trommelmaschinenbehandlung, die qualitativ durch keine andere Behandlungsart erreicht werden können.

Sowohl Reinigung als auch Appretur aus Per ist ein sicher ablaufender Prozeß der keiner besonderen Überwachung bedarf. Bei der Reinigung bildet das Behandlungsmedium gleichzeitig die aktive Komponente. Die Appreturmittel sind durchwegs in Per löslich und können mit Hilfe einer Dosierstation direkt mit Per vermischt dem Verbraucher zugeführt werden.

Bei geeigneter Applikationseinrichtung ist Fleckenbildung ausgeschlossen. Die Praxis hat gezeigt, daß die Perreinigung und -appretur auf Trommel- bzw. Kontinuemaschinen im Gegensatz zur wäßrigen Behandlungstechnik Ausschußware und Rückläufer wesentlich reduziert.

4.1. Unterschiede in den Verfahrenskosten

Die Verfahrenskosten von Ausrüstungsprozessen in Per liegen in der Regel unter jenen einer wäßrigen Behandlung. Ursache hierfür ist der sichere, größtenteils automatische Prozeßablauf, die kurzen Behandlungszeiten, der geringere Energieaufwand bzw. die Möglichkeit der Energiespeicherung und -weiterverwendung sowie der Trocken-zu-Trocken-Prozeß mit entsprechend geringeren Personalkosten. Zwei Beispiele aus diskontinuierlicher und kontinuierlicher Vorbehandlung und Appretur sollen dies zeigen.

Abbildung 12 zeigt das Verhältnis der Kosten, ausgedrückt in Kreisflächen. Innerhalb jeder Fläche ist der Prozentsatz der Kosten, bezogen auf die wäßrige Behandlung = 100 %, angegeben. Der helle Ring um die Kreisflächen für Perbehandlung betont graphisch die Differenz zu den Kosten der Wasserbehandlung.

Die Perreinigung auf Trommelmaschinen weist eine Ersparnis von 20 bis 24 % gegenüber einer vergleichbaren wäßrigen Behandlung aus. Die Lösemittel-Kontinuebehandlung liegt um 9 bis 20 % günstiger gegenüber einer wäßrigen Kontinuebehandlung. Die Kosten beinhalten den gesamten Verfahrensablauf für texturierte Polyester-Maschenware einschließlich Thermofixieren.

Beim Vergleich der Kreisflächen zwischen Diskontinue und Kontinue ist auch zu erkennen, daß die Kontinuebehandlung nur etwa 60 % der Kosten einer Diskontinuebehandlung ausmacht.

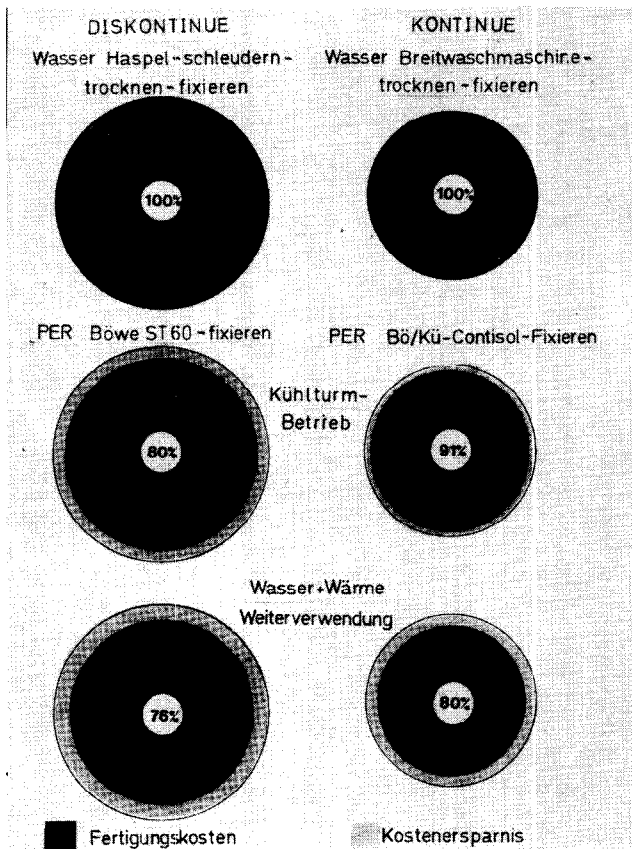


Abb. 12: Fertigungskosten einer Textilverbehandlung in Perchloräthylen gegenüber einer solchen in Wasser

Wie sich die Kosten im einzelnen aufbauen bzw. welchem Kostenträger die größte Beachtung zu schenken ist, zeigt ein Vergleich zwischen Wasser- und Perausrüstung auf vergleichbaren Maschineneinrichtungen modernster Bauart.

Fertigungsdaten 24.001 PES-Maschenware - 2 Schichtbetrieb 3850 St/Jahr - 80% NE-3080 Masch. Std.		Investitionskosten für Wasserbehandlung		Investitionskosten für Perchloräthylenbehandlung	
Kontinuierbreitwaschmaschine		Endquetschwerk und Applikationsfouillard		Flottenansatz und Flottenversorgung	
13-Felder-Trocken- und Fixierrahmen		13-Felder-Trocken- und Fixierrahmen		13-Felder-Trocken- und Fixierrahmen	
Installationskosten		Installationskosten		Installationskosten	
Gesamtinvestition	DM 1.324.000	Gesamtinvestition	DM 1.495.000	Gesamtinvestition	DM 1.495.000
Mehrinvestition	—	Mehrinvestition	DM 171.500	Mehrinvestition	DM 171.500
Raumbedarf (238 m ²)	DM 11.400	Raumbedarf (225 m ²)	DM 10.800	Raumbedarf (225 m ²)	DM 10.800
DM 48/m ² /Jahr	—	Personal (2 Personen)	DM 108.000	Personal (2 Personen)	DM 108.000
Personal (3 Personen)	DM 163.000	DM 14/Person	—	DM 14/Person	—
Wasser (6 m ³ /h)	DM 14.000	Wasser (20 m ³ /h)	—	Wasser (20 m ³ /h)	—
DM 0,80/m ³	—	Wärme (171/h)	DM 16.000	Wärme (171/h)	DM 16.000
Dampf (0,4 t/h-Waschen)	DM 37.000	DM 30/t Verlust bei Weiterverw. 10%	—	DM 30/t Verlust bei Weiterverw. 10%	—
DM 30/t (131/h-Trock./Fix.)	DM 120.000	Strom (85 kW L.M. Anlage)	—	Strom (85 kW L.M. Anlage)	—
Strom (35 kW Waschen)	—	DM 0,12/kWh (92 kW Fix-Rahmen)	DM 65.000	DM 0,12/kWh (92 kW Fix-Rahmen)	DM 65.000
DM 0,12/kWh (170 kW Trock./Fix.)	DM 76.000	Per-Verbrauch 3 Gew.% v.WG	DM 73.000	Per-Verbrauch 3 Gew.% v.WG	DM 73.000
Waschhilfsmittel (0,5% v.WG)	DM 37.000	DM 1,02/kg	—	DM 1,02/kg	—
DM 2/kg	—	Mehraufwand 18% von DM 171.500	DM 31.000	Mehraufwand 18% von DM 171.500	DM 31.000
Summe	DM 458.400	Summe	DM 303.800	Summe	DM 303.800

Abb. 13: Investitionsaufwand — Produktionsaufwand — Verfahrenvergleich für Polyester-Maschenware bei einer Wasser- bzw. Perchloräthylenbehandlung

In Abbildung 13 sind Investitionen und Kosten für eine Jahresproduktion von 2400 t Rundstrickware im Zweischichtbetrieb für wäßrige- bzw. für Perbehandlung zusammengestellt. Bei höherem Investitionsaufwand für die Perbehandlung sind bei den Betriebskosten auf der Lösemittelseite erhebliche Ersparnisse im Sektor Personal — Energie — Wasser möglich.

5. Ausblick

Die eingangs gestellte Frage nach einer Universal-Maschinenausstattung für Maschenware und Webware beantwortet sich nach den gemachten Ausführungen von selbst. Bestimmte Ausrüstungsstufen und Arbeitsgänge lassen sich nach einem Universalkonzept durchführen. Hierzu gehören Vorreinigen, Reinigen und Appretieren von synthetischen Materialien und Wolle. Vorbereitende bzw. abschließende Arbeitsgänge, wie Rohware vorbereiten, spannen und fixieren und andere mehr, werden dem Arbeitsfluß entsprechend vor- bzw. nachgeschaltet.

Der Prozeß Färben muß zunächst ausgeklammert werden. Er wird nach wie vor im Wasser durchgeführt. Für die erwähnten universellen Teilkonzeptionen bestehen noch Einschränkungen bezüglich Webwaren, für die eine perlösliche Schlichte gefordert werden muß. So lange hierfür keine Voraussetzungen geschaffen sind, ist an eine Vorbehandlung von Webware in Per nicht zu denken. Die weitere Entwicklung universell einsetzbarer Lösemittelausrüstungsanlagen hängt wesentlich vom Engagement der Textilindustrie ab. Je mehr Gebrauch von der Textil-Lösemitteltechnik gemacht wird, umso größer wird die Entwicklungs- und Investitionsbereitschaft der Maschinenindustrie.

Gegenwärtig werden Versuche durchgeführt, die das Reinigen von thermosolierten bzw. HT-gefärbten Artikeln unter Umgehung der reduktiven Nachreinigung zum Ziel haben. Unter gleichzeitigem Einschluß der Appretur könnten viele Artikel nach dem Färben durch Lösemittelnachreinigung und Appretur in einem Zug fertiggestellt werden. Es ist auch nicht einzusehen, warum in absehbarer Zeit keine perlöslichen Schichten bzw. Druckverdickungen entwickelt und erfolgreich eingesetzt werden könnten.

Die Möglichkeit, mit Hilfe der Perbehandlung zu einer universell verwendbaren Textilausrüstungstechnik zu gelangen, kann also nicht vom Maschinenhersteller allein gelöst werden. Es ist ein gemeinsames Unternehmen sämtlicher mit der Textilindustrie verflochtenen Bereiche, mit dem Bestreben nach rationaler, sicherer und umweltfreundlicher Arbeitstechnik.

Literatur:

- 1) „Chlorkohlenwasserstoffe in der Textilveredlung“; Wacker-Chemie GmbH, München
- 2) Lecture, presented at the DCRO Conference on the environment, present and future; London, March 1975

Ausrüsten und Färben aus organischen Lösemitteln?

Dr. rer. nat. Jürgen Mecheels
Dr. rer. nat. Jürgen Rieker
Hohensteiner Institute

Die Textilveredlung aus organischen Lösemitteln wurde vor fünf Jahren außerordentlich optimistisch beurteilt. In jüngerer Zeit hat sich eine reserviertere Beurteilung durch die Fachwelt eingestellt, besonders weil sich auf dem Gebiet des Färbens erhebliche Probleme gezeigt haben. Trotzdem führt sich die Reinigung und Ausrüstung aus Perchloräthylen immer weiter ein.

Das Referat untersucht die Kriterien für den Übergang auf Textilveredlungsprozesse in organischem Lösemittel, stellt fest, daß zunächst nur das Perchloräthylen in Frage kommt, und beschäftigt sich mit dem aktuellen Umweltproblem. Dann werden einzelne Veredlungsprozesse von der Vorbehandlung über das Färben und die Nachbehandlung bis zur Ausrüstung auf ihre Anwendung im Lösemittelbad geprüft.

Daraus wird der Schluß gezogen, daß sich die Vorreinigung und die Ausrüstung aus organischem Lösemittel bereits bestätigt haben, daß die Nachbehandlung von Färbungen mit Perchloräthylen interessante Aspekte aufweist, daß aber die diskontinuierliche Färbung zur Zeit an ihrem Entscheidungspunkt steht. Das kontinuierliche Färben wird noch lange nicht in Lösemitteln durchgeführt werden.

Langfristig wird jedoch für die Textilindustrie kein Weg an der Textilveredlung aus organischen Lösemitteln vorbeiführen.

Textile finishing in organic solvents was assessed very optimistically five years ago. Recently experts have been showing more reserve, especially since major problems have arisen in dyeing. In spite of this, cleaning and finishing in perchlorethylene is gaining ground.

This paper is examining the criteria for the change-over to textile processes in organic solvents, finds that for the time being only perchlorethylene is possible, and deals with the topical problem of environmental pollution-control. Then individual finishing processes ranging from preliminary treatment to dyeing and finishing are tested for their application in the solvent bath.

The conclusion drawn is, that pre-cleaning and finishing in organic solvents have already asserted themselves, that the finishing treatment of dyeings with perchlorethylene shows interesting aspects, but that batch-dyeing is at its critical point at present. Continuous dyeing will not be carried out in solvents for a long time yet.

In the long run there will, however, be no by-pass to finishing in organic solvents.

Einleitung

Jede neue Entwicklung, sei es in der Technik, in der geistigen oder in der politischen Welt, kennt mehrere charakteristische Stadien: Begeisterung — Ernüchterung — Suche nach den Schuldigen — Bestrafung der Unschuldigen — Auszeichnung der Nichtbeteiligten.

Fast wäre auch die Textilveredlung aus organischen Lösemitteln diesen Weg gegangen. Erinnern wir uns an das geradezu historische Symposium der SVF 1969 in Zürich, an das dreitägige Internationale Seminar

des Shirley-Instituts in Manchester im Herbst des gleichen Jahres, an ähnliche Veranstaltungen des VTCC in Baden-Baden mit einer Podiumsdiskussion und an viele andere solche Tagungen in anderen Ländern 1969/70.

Die Begeisterung über die neuen Möglichkeiten des Färbens aus organischen Lösemitteln war groß. Man sah der baldigen industriellen Einführung entgegen; nur noch wenige Entwicklungsprobleme schienen gelöst werden zu müssen. Die folgenden Jahre waren gekennzeichnet durch ein „Warten auf Farbstoffe“. Obwohl mehrmals angekündigt, waren doch marktfähige Sortimente nicht zu haben. In den ersten Jahren der Entwicklung erfolgte eine Flut von Patentanmeldungen; zahlreiche Veröffentlichungen beschäftigten sich mit der Theorie und Praxis der Lösemittelfärberei. Und doch färbt bis heute noch niemand industriell und außerhalb des Versuchsstadiums aus organischen Lösemittelfloten.

Vielmehr wich die Begeisterung der Ernüchterung. Man erkannte zahlreiche neue Probleme, welche die Forschung erst lösen mußte, bevor narrensichere und zuverlässige Färbeverfahren auf Lösemittelbasis eingeführt werden können. Die Veröffentlichungen der siebziger Jahre wurden immer kritischer und Stimmen mehrten sich, wonach die Färberei aus organischen Lösemitteln niemals eine Zukunft habe. Das Forschungskuratorium Gesamttextil in Deutschland beschloß vor drei Jahren, keine Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet mehr zu finanzieren, und Professor H. Zahn formulierte damals: „Keine Mark würde ich mehr in dieses Verfahren investieren!“

Veröffentlichungen aus Forschungsgruppen, die sich vorher recht intensiv mit der Färberei aus Lösemitteln beschäftigt hatten, wiesen auf einmal nach, daß schon auf Grund theoretischer Überlegungen die Färberei aus Lösemitteln keine Chance habe. Ich erinnere nur an die Arbeit von Kothe in den Melliand Textilberichten vom August 1973¹.

Bei der Suche nach dem Schuldigen stieß man auf immer mehr Unschuldige, die es eigentlich gleich mußten. Als schuldig wurden schließlich diejenigen angesehen, die mit Enthusiasmus und Optimismus Ende der sechziger Jahre an die Sache herangegangen waren.

Zur Zeit sind wir bei der Bestrafung der Unschuldigen. Der Textilindustrie nämlich bleiben aussichtsreiche Veredlungsverfahren vorenthalten oder diese werden zumindest viel langsamer eingeführt, als wenn man die Frage der Verwendung organischer Lösemittel in der Textilveredlung objektiv und emotionslos sehen würde. Ich erwähne in diesem Zusammenhang nur die Vorteile der Vorbehandlung, der Nachbehandlung und der Ausrüstung aus Perchloräthylenflotten, die sich ganz abseits der Diskussion über das Färben immer aussichtsreicher entwickeln und deren Einführung in die Praxis nicht zuletzt dank der kürzlich erfolgten Vorstellung der Böwe/Küsters-Contisol-Anlage eine neue Basis gefunden hat². Die Ausrüstung aus Lösemitteln wurde zweifellos durch die Diskussion über die Färbeprobleme in ihrer Entwicklung gehemmt.

Kommen wir schließlich in dieser Einleitung zur Auszeichnung der Nichtbeteiligten. Abgesehen davon, daß viele „es ja gleich gesagt haben“ und nun zu den

Nichtbeteiligten gehören wollen, ist hier aber auch eine durchaus erfreuliche Entwicklung zu verzeichnen: Die Forschungsarbeiten und die Diskussion um die Färberei aus organischen Lösemitteln haben nämlich zu neuen Entwicklungen in der Färberei aus wässriger Phase geführt, welche diese Technologie erheblich und viel schneller als sonst weitergebracht haben. Wir kennen heute Kurzzeitfärbeverfahren, weil gerade die kurzen Färbezeiten als besonderer Vorteil der Lösemittelfärberei betrachtet wurden, wir haben heute Färbeverfahren aus extrem kurzen Flotten, weil beim Lösemittelfärben auf Energieersparnis infolge der geringeren spezifischen Wärmen beim Aufheizen hingewiesen worden ist. Wir kennen heute Versuche, aus Schaum zu färben, damit Abwasser- und Trocknungsprobleme gelöst werden. Also eine rapide Entwicklung auf dem Gebiet des wässrigen Färbens!

Was ist aber nun wirklich auf dem Gebiet des Färbens und Ausrüstens aus organischen Lösemitteln los? Wie kann man die Entwicklung grundsätzlich sehen?

Ihnen, sehr verehrte Zuhörer, darüber Informationen zu geben, habe ich mir für diesen Vortrag vorgenommen. Als mich Herr Dr. Albrecht auf der letztjährigen Tagung dazu aufforderte, sagte ich ihm zu unter dem Hinweis, man könne wohl im Herbst 1975 wieder Neues über das Färben sagen, weil bis dahin die ersten Erfahrungen mit industriell betriebenen Anlagen zu erwarten seien.

Ich bin wie viele vor mir einer trügerischen Hoffnung erlegen. Bis zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Vortrages (Juni 1975) färbt niemand mit allgemein zugänglichen, handelsmäßig angebotenen Farbstoffsortimenten auf Produktionsmaschinen. Den Farbenfabriken scheint einfach das Risiko zu groß zu sein, bei der Einführung einer so neuen Technologie anwendungstechnische Schwierigkeiten zu bekommen. Auf einen einfachen Nenner gebracht, kann man das auch verstehen: *Gefärbt werden muß allemal; warum soll man sich also Schwierigkeiten mit einer neuen Technologie aufladen, solange man glaubt, mit wässrigen Färbeverfahren brauchbare Alternativen anbieten zu können?*

So muß ich heute wohl eher auf die unter der Oberfläche stattfindenden Entwicklungen und auf die Aussichten der Lösemitteltextilveredlung eingehen, was allerdings auch außerordentlich interessant ist. Daraus erklärt sich die Änderung meines Vortragsthemas gegenüber der Vorankündigung für diese Dornbirner Tagung.

Obwohl sich in den Hohensteiner Instituten eine Arbeitsgruppe seit 1967 mit der Textilveredlung aus organischen Lösemitteln befaßt, möchte ich Sie doch in diesem Vortrag nicht zu sehr mit experimentellen Daten eines Teilaspekts des Ganzen belasten, sondern Ihnen einen Überblick aus einem vielleicht nicht uninteressanten Blickwinkel geben.

Mein Vortrag soll unterteilt sein in folgende Kapitel:

1. Wann Veredlung aus organischen Lösemitteln?
2. Welches Lösemittel?
3. Umweltschutzfragen
4. Vorbehandlung
5. Färben
6. Nachbehandlung
7. Ausrüstung

1. Wann Veredlung aus organischen Lösemitteln?

Besser gesagt: Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn eine völlig neue Technologie wie die Textilveredlung aus organischen Lösemitteln erfolgreich eingeführt werden kann?

Drei Voraussetzungen müssen für das neue Verfahren gegeben sein:

1. niedrigere Prozeßkosten,
2. umweltfreundlicher als bisherige Verfahren,
3. gegenüber der Wassertechnologie mindestens gleichwertige (vorzugsweise bessere) Veredlungseffekte bei gleicher (vorzugsweise besserer) Verfahrenssicherheit.

Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen über die Prozeßkosten bei Lösemittelveredlungsprozessen³. Sie alle zeigen, daß aus den verschiedensten Gründen und bei richtig geleiteter Anwendung die Prozeßkosten gegenüber herkömmlichen Veredlungsverfahren gesenkt werden können. Erinnern wir nur an die Energieeinsparungsmöglichkeiten beim Aufheizen von Flotten oder beim Trocknen auf Grund der niedrigeren spezifischen und Verdampfungswärmen des organischen Lösemittels, speziell des Perchloräthylens. Verzeichnen wir hier auch die im allgemeinen kürzeren Prozeßzeiten und die Möglichkeit (gleichzeitig Notwendigkeit) des Arbeitens von Trocken zu Trocken. Schließlich sei in diesem Zusammenhang auch jetzt schon an die möglichen Senkungen der Frisch- und Abwasserkosten erinnert, die ja bei der Lösemitteltechnologie praktisch gar nicht anfallen.

Halten wir also fest: *Niedrigere Prozeßkosten gegenüber der wässrigen Technologie sind bei der Anwendung der Lösemitteltextilveredlung durchaus im Bereich des Möglichen.*

Kommen wir zur zweiten Bedingung, der Umweltfrage.

Hierauf werde ich im zweiten Kapitel noch detailliert eingehen. So viel soll aber jetzt schon gesagt werden: Die künftig zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Frischwasserversorgung sowie die wegen der neuen Gesetzgebung in verschiedenen Ländern für Textilveredlungsabwässer zu erwartenden Auflagen und insbesondere hohen Abgaben galten für viele Vorkämpfer der Textilveredlung aus Lösemitteln als grundlegend wichtige Argumente.

Da bei der Lösemitteltechnologie das Behandlungsmedium durch Destillation rückgewonnen wird, entfallen die Frisch- und Abwasserprobleme. Neuere Stimmen allerdings weisen darauf hin, daß man bei Anwendung von Perchloräthylenflotten sozusagen „den Teufel mit dem Beelzebub austreibe“: Per in Abluft und Abwasser schade mehr, als es die Schadstoffe aus wässrigen Behandlungsbädern überhaupt könnten.

Hinsichtlich der Umweltfrage herrschen also gewisse Unsicherheiten, die aber heute doch weitgehend als entkräftet gelten können. Also doch Lösemitteltextilveredlung?

Selbst wenn die beiden vorhergehenden Fragen im Einzelfall positiv beantwortet werden können, ist die Einführung einer neuen Technologie noch nicht gerechtfertigt. Es muß vielmehr auch die unter Punkt 3 genannte Bedingung zutreffen. Und zwar reicht es

nicht aus, gegenüber der Wassertechnologie gleichwertige Veredlungseffekte bei gleicher Verfahrenssicherheit zu erzielen. Dies allein ist schon bei der Färberei aus Lösemitteln schwierig zu erfüllen; aber die folgende Minimalforderung ist unverzichtbar: *Entweder die Qualität der erwünschten Veredlungseffekte oder die Verfahrenssicherheit muß im Vergleich zum wässrigen Prozeß deutliche Vorteile bieten.*

Und hier, sehr geehrte Zuhörer, liegt der Grund für die zögernde Einführung dieser Verfahren. Hier liegt der Grund, warum in Deutschland ein hoher staatlicher Kredit an diejenige Firma verfiel, die als erste unter Produktionsbedingungen aus organischem Lösemittel färbt. Das Geld wurde nicht in Anspruch genommen. Wir wollen in den Kapiteln 4 bis 7 die einzelnen möglichen Veredlungsprozesse ganz besonders nach dieser hier aufgestellten dritten Bedingung untersuchen und können so entscheiden, welche Ausichten die Textilveredlung aus organischen Lösemitteln in ihren verschiedenen Varianten hat.

Aber noch ein weiterer Gesichtspunkt wird bei den Überlegungen zum Für und Wider der Lösemittelveredlung meistens übersehen: Man sollte nämlich Veredlungsprozesse nicht voneinander isoliert sehen, sondern überlegen, welche Prozesse sich bei der Lösemitteltechnologie unter Umständen zusammenlegen lassen. Damit wäre nämlich ein erheblicher Verfahrensvorteil verbunden. Vorreinigen und Färben, Färben und Fixieren (im heißen Lösemitteldampf), Fixieren und Nachbehandeln lassen sich schon jetzt verschiedentlich zusammenlegen. Auch darauf wird weiter unten näher eingegangen werden.

2. Welches Lösemittel?

Zukunft in der Lösemitteltextilveredlung hat ganz vornehmlich das Perchloräthylen. Alle weiteren in großer Zahl diskutierten Lösemittel, sei es auf Basis chlorierter Kohlenwasserstoffe, seien es Alkohole oder Ester, werfen bei ihrer Anwendung unter Produktionsbedingungen so große technologische Probleme auf, daß die oben genannte Bedingung 3, ja oft auch die Bedingung 2, nicht als erfüllt gelten können. Geringe Chancen außer dem Perchloräthylen haben nur solche Lösemittel, deren Beherrschung beim Behandlungsprozeß, bei der Trocknung und bei der Rückgewinnung bereits aus der Chemischreinigung oder Industriereinigung gewährleistet ist.

Aus diesem Grund haben auch die früher viel diskutierten Zugaben von Lösungsvermittler oder Hilfslösemittel in nennenswerten Mengen zum Perchloräthylen keine Chance⁴. Sie erschweren die Trocknung, versehen die Rückdestillation mit unvorhergesehenen Schwierigkeiten, belasten unter Umständen die Umwelt und sind vielfach auch teuer.

Zukunft haben jedoch auch mehr oder weniger große Wasserzusätze zum Perchloräthylen, entweder in Form eines Solubilisats oder in Form einer Emulsion unter Verwendung eines Tensids als Emulgator.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist auch der Siedepunkt des Perchloräthylens mit 121°C. Damit sind insbesondere Färbeprozesse ohne Druck bei höheren Temperaturen möglich als aus wässrigen Flotten.

3. Umweltschutzfragen

Ich kann mich an eine Veranstaltung der holländischen

Färbereifachleute in Wageninngen erinnern, bei der ich zusammen mit den Kollegen Gebert, Kuth und Sieber über die (damals noch durchaus in günstigem Ruf stehende) Textilveredlung aus organischen Lösemitteln referieren sollte. Vor uns sprachen zwei holländische Umweltschützer. Holländisch verstanden wir aber nicht, und erst beim Essen erfuhren wir, daß uns die Umweltschützer vorab völlig den Wind aus den Segeln genommen hatten: Die Textilveredlung aus organischen Lösemitteln, sagten sie, sei unverantwortlich, denn Per im Abwasser verursache Langzeitschäden, Per in der Luft würde vom Sonnenlicht in Phosgen und Salzsäure zerlegt, also in ein Giftgas und in eine äußerst aggressive Substanz. Beim Textilveredlungsprozeß käme es aber zu einem Lösungsmittelverlust von mindestens 6 bis 8% des behandelten Warengewichts, und diese Mengen von Perchloräthylen in Abwasser und Atmosphäre seien absolut indiskutabel.

Diese Meinung hat sich künftig immer mehr verbreitet. Insbesondere auch die Tatsache, daß in siedendem Perchloräthylen behandeltes Polyester nach dem Trocknen noch etwa 6% Per hartnäckig festhält, hat Bedenken erzeugt, weil diese Menge — zwar langsam — schließlich doch wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.

Wie sind diese Umweltgefahren aber nach neueren Erkenntnissen zu sehen?

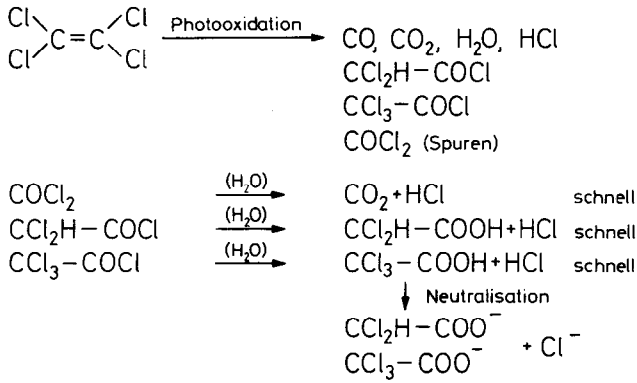
3.1. Perchloräthylen in der Atmosphäre

Über das Auftreten chlorierter aliphatischer Kohlenwasserstoffe in der Atmosphäre sind mehrere Untersuchungen bekannt⁵⁻⁸. Sie führen übereinstimmend zu dem Ergebnis, daß die Verteilung der gebräuchlichsten Chlorkohlenwasserstoff-Lösemittel, also auch von Per, mit der Verteilung ihrer Produktions- und Einsatzgebiete auf der Erde parallel geht. Dies ist einfach darauf zurückzuführen, daß in geographischen Regionen, in denen diese Lösemittel hergestellt und für technische Zwecke verwendet werden, zwangsläufig Verluste auftreten. Die Konzentration von Per in der Atmosphäre liegt jedoch auch in diesen Gebieten im Bereich zwischen 1 ng/l und 10 ng/l, also bei sehr kleinen Konzentrationen.

Weitgehend unbekannt ist bis heute ein Untersuchungsbefund von Lovelock, wonach Chloroform und Tetrachlorkohlenstoff ebenfalls in der Atmosphäre vorkommen, obgleich diese chlorierten Kohlenwasserstoffe für technische Prozesse selten Verwendung finden und daher nur in begrenztem Maße Lösemittelverlusten unterliegen. Aus diesem Ergebnis ist zu schließen, daß die genannten chemischen Verbindungen auf natürlichem Wege entstehen; denkbar wäre eine geochemische Reaktion zwischen Chlor und Methan, von Stoffen also, die in der Atmosphäre ohnedies vorhanden sind⁶.

Welche Zersetzungsprodukte können nun aber beim Verfall von Per in der Atmosphäre entstehen?

Man weiß heute, daß als Zersetzungsprodukte vorwiegend Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasser und Chlorwasserstoff entstehen, somit also Stoffe, die natürlicher Bestandteil der Atmosphäre sind⁹. Daneben bilden sich relativ stabile chlororganische Zerfallsprodukte, wie Di- und Trichloracetylchloride, sowie Spuren von Phosgen.



Neuere Arbeiten, insbesondere von McConnell, Ferguson und Pearson⁹ haben gezeigt, daß sowohl das Phosgen als auch die Chloracetylchloride sehr rasch hydrolysieren. Mit Kohlendioxid und Chlorwasserstoff entstehen aus dem Phosgen Hydrolyseprodukte, die natürliche Bestandteile der Atmosphäre darstellen. Die Chloressigsäuren werden durch basische Bestandteile der unteren Schichten der Atmosphäre neutralisiert. Ihre Anionen besitzen zwar unter normalen Umgebungstemperaturen eine sehr große Halbwertszeit, sie eliminieren sich jedoch von alleine zum Beispiel durch biologischen Abbau in Meerwasser, wobei eine vollständige Oxidation stattfindet⁹.

Es scheint also, daß das zur Diskussion stehende Per in der Atmosphäre einer photooxidativen Zersetzung unterliegt und daß von den Zersetzungsprodukten keine Gefahr ausgeht. Gefahr wäre allerdings auch nur dann überhaupt zu diskutieren, wenn wirklich nennenswerte Mengen an Per in die Atmosphäre entweichen würden. Man kann aber heute Lösemittelveredlungsanlagen so gut beherrschen, daß praktisch überhaupt kein Ausblasen des Lösemittels erfolgt. Dazu baut man Aktivkohlefilter in die Ausblaseleitungen ein. Sofern diese richtig gewartet werden (und oft arbeiten sie automatisch), treten auf diesem Wege keine nennenswerten Mengen an Per aus. Auch andere etwaige Undichtigkeiten der Maschine lassen sich heute sehr gut beherrschen. Insofern entstehen auch keine Bedenken über Per in der Abluft im Hinblick auf die Immissionsschutzverordnungen.

Gewisse Verluste an Lösemittel treten bei der Rückdestillation insofern ein, als der Destillierschlamm nur mit relativ großem Aufwand perfrei zu erhalten ist. Nachdem dieser Schlamm aber heute zum Sondermüll gehört und auf speziellen Aufbereitungsanlagen bearbeitet wird, bestehen auch von dieser Seite keine Umweltgefahren. In einigen Gegenden ist die Abholung und die Aufbereitung dieses Sondermülls sogar für den Verursacher kostenlos möglich.

3.2. Perchloräthylen im Abwasser

Die bereits genannten britischen Autoren haben sich mit den Mengen an organischen Lösemitteln in den Zellgeweben des Menschen und in den Gewässern beschäftigt. Obwohl auch schon jetzt die Weltproduktion von Perchloräthylen über eine Million Tonnen beträgt, finden sich nur Mikromengen in menschlichen beziehungsweise tierischen Zellgeweben oder in Nahrungsmitteln und Gewässern. Diese Mengen sind weit unter der Bedenklichkeitsgrenze. Die Autoren erklä-

ren dies einestells mit der geringen Löslichkeit des Per in Wasser — und damit mit der geringen Transportleistung — und zum anderen mit dessen biologischer Abbaubarkeit⁹.

Wenn man also bedenkt, daß in der Chemischreinigung und in der Industriereinigung der ganzen Welt schon jetzt eine Million Tonnen Per pro Jahr verbraucht werden und dort daraus keine bedenkliche Umweltgefahr entstanden ist, dürfte eine zusätzliche Technologie der Textilveredlung aus organischen Lösemitteln keine weiteren Gefahren bringen.

3.3. Perchloräthylen im Wasserabscheider

Es hat auch Stimmen gegeben, die dies zwar für die Chemischreinigung als gültig ansehen, denn dort werden nur Perchloräthylen, Wasser und Emulgator verwendet, und im übrigen sei nur Schmutz beteiligt. In Textilveredlungsflotten jedoch seien Hilfslösemittel, Hilfsmittel sowie Veredlungsagentien enthalten, welche die Verhältnisse am Wasserabscheider stören, der bei der Destillation des Lösemittels oder bei der Trocknung die aus der Dampfform frisch kondensierten Flüssigkeiten trennt. Hier könne die Löslichkeit von Per in Wasser so weit erhöht werden, daß eben doch größere Mengen Per ins Abwasser gelangen. Wir haben dazu eigene Versuche durchgeführt¹⁰.

In Abbildung 1 ist ein Wasserabscheider schematisch dargestellt.

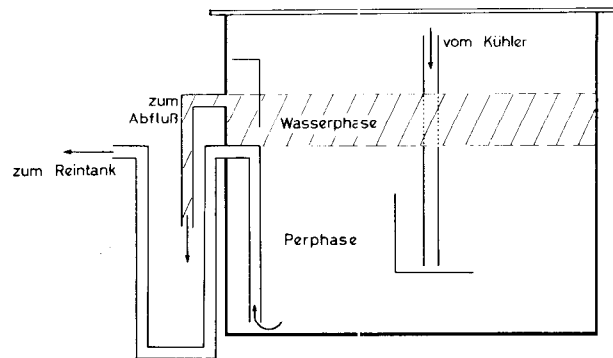


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Wasserabscheiders

Das Funktionsprinzip des Wasserabscheiders beruht bekanntlich darauf, daß sich das spezifisch schwerere Perchloräthylen von dem spezifisch leichteren Wasser abtrennt. Dabei bilden sich zwei Schichten, von denen die obere die Wasserphase und die untere die Perchloräthylenphase darstellt. Jede der beiden Phasen verläßt den Wasserabscheider durch einen gesonderten Ablauf: das Wasser gelangt zum Abfluß, das Perchloräthylen fließt zum Reintank zurück.

Unter normalen Destillationsbedingungen, das heißt, wenn die Lösemittelrückgewinnungsanlage unter Befolgung der Betriebsanleitung bei regelmäßiger und sachgerechter Wartung betrieben wird, befinden sich die beiden Phasen praktisch in Ruhe. Ferner beträgt die Temperatur des Wasserabscheiderinhalts maximal 30° C, außerdem sind Durchmischungs- und Überkochvorgänge ausgeschaltet. Von der Hilfsmittel-seite her können die Betriebsbedingungen dann als „normal“ eingestuft werden, wenn die Konzentration

an niedersiedenden wasser- und perchloräthylenlöslichen Fremdlösemitteln in den angewandten Hilfsmitteln so bemessen sind, daß sie im Perchloräthylendestillat und damit auch in der Perchloräthylenphase des Wasserabscheiders in Mengen um maximal 1,0 Gew. % auftreten¹¹.

Wir führten nun Modellversuche in der Weise durch, daß wir reines Perchloräthylen sowie Perchloräthylen mit Anteilen an i-Propanol und Hilfsmittel mit Wasser überschichteten und die sich einstellenden Perchloräthylenkonzentrationen in der Wasserphase gaschromatographisch bestimmten. Bei den Versuchen mit reinem Perchloräthylen waren maximal Werte in der Größenordnung der Löslichkeit von Perchloräthylen in Wasser, zum Beispiel 170 ppm bei 30° C³⁰, zu erwarten. Das nächste Bild (Abb. 2) zeigt, daß bei der zulässigen Maximaltemperatur des Wasserabscheiderinhalts von 30° C die Perchloräthylengehalte der Wasserphase um 30 ppm betragen.

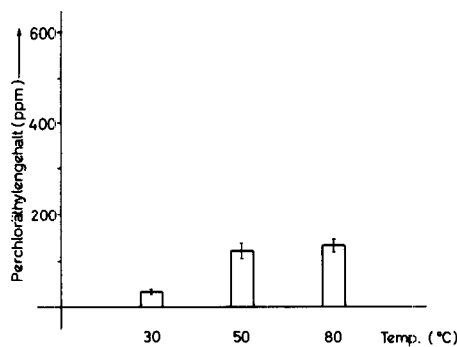


Abb. 2: Perchloräthylengehalt (ppm) von Wasser im ungestörten Phasenkontakt mit dem Lösemittel in Abhängigkeit von der Temperatur

Das folgende Bild (Abb. 3) illustriert die Verhältnisse in Gegenwart von 1,0 Gew. % i-Propanol als Hilfslösemittel: Wie man sieht, erhöht sich die Perchloräthylenkonzentration auf zirka 79 ppm. In beiden Fällen bleibt der Wert weit unter dem Löslichkeitswert des Perchloräthylens in Wasser zurück. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß im ruhenden Kontakt der beiden Phasen nach anfänglich hoher Lösegeschwindigkeit diese sich nach wenigen Stunden infolge Perchloräthylenanreicherung in der Umgebung der Phasengrenze so verlangsamt, daß praktisch ein Gleichgewichtszustand angenommen werden kann.

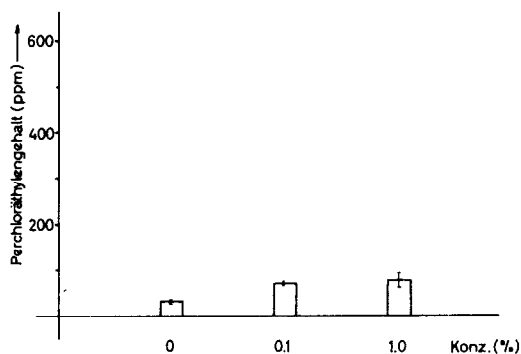


Abb. 3: Perchloräthylengehalt (ppm) von Wasser im ungestörten Phasenkontakt mit dem Lösemittel in Gegenwart von i-Propanol (30° C)

Wir simulierten im Modellversuch auch extrem anormale Betriebsverhältnisse, wie beispielsweise das „Überkochen“ der zu destillierenden Flotte und die Durchmischung der Wasser- und Perchloräthylenphase im Wasserabscheider. Im ersteren Fall ist mit einer Anreicherung von grenzflächenaktiven Substanzen in der Perchloräthylenphase des Wasserabscheiders zu rechnen.

Das folgende Bild (Abb. 4) zeigt Ihnen, welche Perchloräthylenkonzentrationen sich in der Wasserphase des Wasserabscheiders einstellen, wenn Chemischreinigungshilfsmittel („Reinigungsverstärker“) in der Perchloräthylenphase vorhanden sind. Anschaulich geht aus der Graphik hervor, daß sich für den hypothetischen Fall einer extrem hohen Reinigungsverstärkerkonzentration in der Perchloräthylenphase (75 g/l) je nach Reinigungsverstärker Perchloräthylengehalte im Bereich zwischen 80 ppm und 620 ppm einstellen. Man sieht, daß unsachgemäße Destillation zu einem starken Anstieg der Perchloräthylenkonzentrationen in der Wasserphase des Wasserabscheiders führt. Das Lösemittel ist dabei im Wasser solubiliziert.

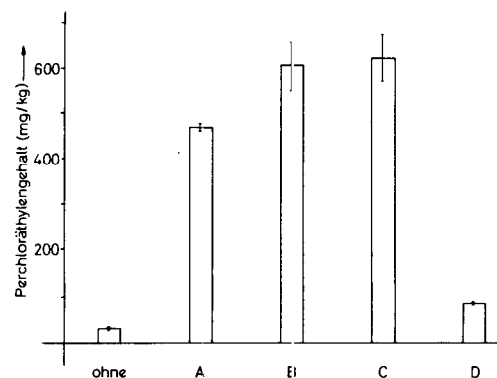


Abb. 4: Perchloräthylengehalt (ppm) von Wasser im ungestörten Phasenkontakt mit dem Lösemittel in Gegenwart von Reinigungsverstärkern (RV B, E, H, K; 30° C; 75 g/l)

Ein besonders extremer Störfall wäre darin zu sehen, wenn sich zu der Anreicherung von Reinigungsverstärker im Wasserabscheider auch noch starke Durchmischungsvorgänge hinzugesellen würden. Unsere Modellversuche zeigten, daß in einem solchen Fall mit der Bildung von langlebigen Perchloräthylen-in-Wasser-Emulsionen mit Perchloräthylengehalten von weit über 10 Gew. % zu rechnen wäre.

Welche Verhältnisse in der Praxis anzutreffen sind, zeigt das nächste Bild (Abb. 5). Wir entnahmen in sieben Chemischreinigungsbetrieben, die als repräsentativ gelten können, den Wasserabscheidern von Chemischreinigungsmaschinen bzw. Lösemittelrückgewinnungsanlagen Wasserproben und bestimmten gaschromatographisch den Perchloräthylengehalt. Man sieht, daß die ermittelten Perchloräthylenkonzentrationen meist entweder größenordnungsmäßig der Wasserlöslichkeit von Perchloräthylen bei 30° C, nämlich 170 ppm, entsprechen, oder gar wesentlich unter diesem Sättigungswert liegen.

Es muß jedoch an dieser Stelle ausdrücklich betont werden, daß sich diese mitgeteilten Ergebnisse ausschließlich auf die Wasserphase des Wasserabschei-

ders beziehen. Noch keine Aussagen liefern diese Daten über den Perchloräthylengehalt des aus der Lösemittelanlage abfließenden Gesamtabwassers. Unberücksichtigt blieb nämlich bisher, daß der überwiegende Teil des Gesamtabwassers aus lösemittelfreiem Kühlwasser besteht, das das Wasser aus dem Wasserabscheider und damit auch die in ihm befindlichen Perchloräthylenanteile erheblich verdünnt. Berechnungen, die wir für Chemischreinigungsmaschinen anhand deren Daten für Dampf- und Kühlwasserverbrauch angestellt haben, führten zu dem Ergebnis, daß eine Verdünnung um den Faktor zirka 1000 in Ansatz zu bringen ist.

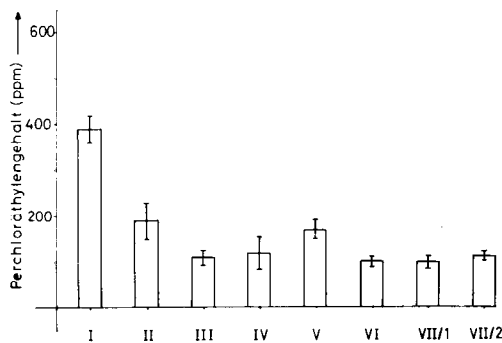


Abb. 5: Perchloräthylengehalt (ppm) der Wasserphase in Wasserabscheidern von Lösemittelrückgewinnungsanlagen der Praxis (Betriebe I—VII)

Ausgehend von den gezeigten Werten an Chemischreinigungsanlagen ist daher festzustellen, daß die Perchloräthylengehalte unter 1 ppm liegen. Besonders bemerkenswert ist, daß nach neuesten Untersuchungen von McConnell, Ferguson und Pearson⁹ diese Mikromengen die biologische Klärung nicht beeinträchtigen, da generell Perchloräthylenkonzentrationen im Abwasser unter 10 ppm den mikrobiellen Abbau unter aeroben Bedingungen nicht beeinträchtigen.

Unsere Untersuchungen lassen die Feststellung zu, daß das **Prinzip der Lösemittelrückgewinnung** im Hinblick auf das Abwasser unter bestimmten Voraussetzungen als **umweltfreundlich** zu betrachten ist. Diese Voraussetzungen sind in Gestalt normaler Betriebsbedingungen gegeben, die sich dann einstellen, wenn die Lösemittelrückgewinnung unter Beachtung der Bedienungs- und Wartungsvorschriften gestaltet wird. Während bei der Wassertechnik zur Aufbereitung des Abwassers kostspielige Anlagen erforderlich sind, ist in der Lösemitteltechnik ein Recycling ohne großen technischen Aufwand möglich. Die Entschärfung der Abwasserproblematik hat daher als einer der gravierendsten Vorzüge der Lösemitteltechnik gegenüber der Wassertechnik zu gelten. In Anbetracht der großen Erfolge auf dem Gebiet der Chemischreinigung sollte auch auf anderen Anwendungsgebieten der Lösemitteltechnik von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht werden.

3. 4. Perchloräthylen-Retention an der Faser

In der Chemischreinigung findet keine Rückhaltung nennenswerter Permengen durch die Faser der behandelten Textilien statt. Dort arbeitet man ja auch bei

Temperaturen unter oder um 50° C, also unterhalb des Glasumwandlungspunkts. Bei der Behandlung insbesondere von Polyesterfasern mit Perchloräthylen im Bereich des Siedepunkts jedoch findet eine Einlagerung des Lösemittels in die Faser in einer Form statt, die zum hartnäckigen Festhalten des Lösemittels unter Trocknungsbedingungen, bei Polyester am meisten, führt^{4, 12-15, 17}. Auch hierzu haben wir schon vor geraumer Zeit eigene Arbeiten durchgeführt^{14, 17}.

Diese Untersuchungen erstreckten sich auf Maschenware aus texturiertem Polyestermaterial. Wir prüften die Geschwindigkeit der Perchloräthylen-desorption während einer Behandlung mit Trockenhitze und bestimmten ferner die Perchloräthylenrestgehalte nach Abschluß der Trocknung sowohl in Trockenhitze als auch nach einer Behandlung mit Wasserdampf. Die Ausgangsproben enthielten jeweils zirka 4,5 bis 5,0 Gew. % Perchloräthylen.

Das nächste Bild (Abb. 6) zeigt Ihnen den Verlauf des Perchloräthylengehalts auf dem Fasermaterial in Abhängigkeit von der Trocknungszeit und Trocknungstemperatur bei der Behandlung in Trockenhitze.

Erwartungsgemäß bleibt der Perchloräthylenrestgehalt der Faser bei Trocknungstemperaturen unterhalb des Glasumwandlungspunkts des Systems Perchloräthylen/Polyester (ca. 60° C)¹⁶, also bei den Trocknungstemperaturen 22° C und 50° C, nahezu unverändert; nach einer Stunde befinden sich immer noch zirka 4 Gew. % Perchloräthylen in der Faser. Erst bei Temperaturen über 80° C ist eine ausgeprägte Zunahme der Desorptionsgeschwindigkeit und ein starker Abfall der Restperchloräthylengehalte zu verzeichnen:

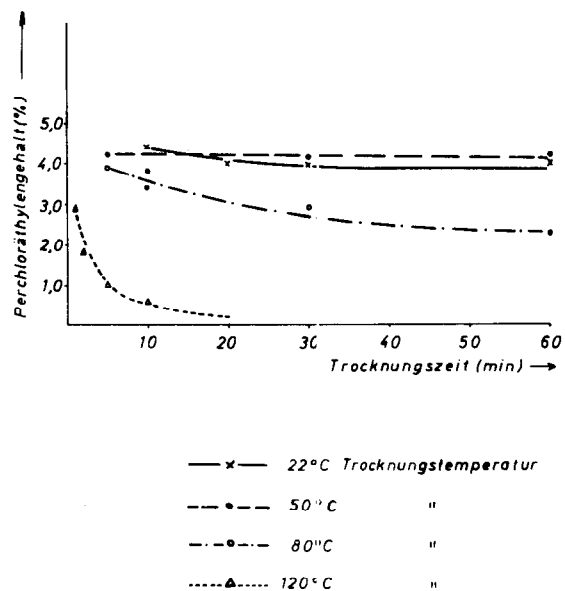


Abb. 6: Perchloräthylenretention von texturiertem Polyester nach einer Lösemittelbehandlung in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur und der Trocknungszeit (Behandlungstemperatur und -zeit: 120° C, 30 min)

Die Trocknung bei 80° C gibt nach einer Stunde eine Lösemittelrestmenge von zirka 2 Gew. %. Bei 120° C ist der Perchloräthylengehalt bereits nach 10 Minuten auf unter 1% abgefallen¹⁷.

Um im Hinblick auf den Umweltschutz und die physiologische Unbedenklichkeit der lösemittelbehandelten Ware eine vollständige Austreibung des Perchloräthylens aus der Faser zu erreichen, müssen andere Trocknungsbedingungen angewandt werden. Unsere Untersuchungen zeigten, daß mit Naßdampf als Trocknungsmedium eine vollständige Eliminierung des Perchloräthylens gelingt. Wichtig ist bei der Durchführung dieses Verfahrens, daß kein zu trockener Dampf zur Anwendung kommt und daß Kondenswasser verfügbar ist, welches gleichsam als Schleppmittel für das inkludierte Perchloräthylen fungiert¹⁴. Unsere Untersuchungsergebnisse stehen in Einklang mit Angaben von Sieber²³, wonach es möglich ist, mit dieser neuartigen Trockentechnik im Färbeapparat, je nach Faserart und Färbeverfahren, in 10 bis 30 Minuten absolut lösemittelfreies Färbegut zu erhalten.

Im Hinblick auf die Perchloräthylenretention in der gefärbten Ware sind also recht positive Entwicklungen zu verzeichnen.

4. Vorbehandlung

Wenn hinter dem Titel meines Vortrages ein Fragezeichen steht, dann bezieht es sich sicher nicht auf die Vorreinigung von Geweben und Maschenwaren aus synthetischen Fasern oder ihren Mischungen. Auf diesem Gebiet hat sich das Lösemittel schon verbreitet durchgesetzt. Es gibt Textilveredlungsfirnen, die ohne eine Vorreinigung im Lösemittel ihren Umweltverpflichtungen nicht mehr nachkommen könnten, verhindert doch dieses Verfahren eine oft äußerst unangenehme Rauchentwicklung beim Fixieren oder Thermosolieren. Und in aller Kürze wird wegen der hohen Belastung der Vorreinigungsabwässer mit öligen Verschmutzungen eine erhebliche Abwassergebühr auf den Verursacher zukommen, abgesehen davon, daß das Einleiten öligter Abwässer in die öffentliche Kanalisation ohnehin immer schwieriger wird, auch wenn das Öl in Form stabiler Emulsionen gebunden ist.

Wenn wir also die Vorreinigung nach den vorhin erwähnten Gesichtspunkten betrachten, müssen wir alle drei Positionen positiv einsetzen; kein Wunder also, wenn sich die Vorreinigung aus Lösemitteln immer mehr durchsetzt.

Die Prozeßkosten sind eindeutig niedriger als bei der wässrigen Vorreinigung. Im wesentlichen sind dabei niedrigere Personal- und geringere Energiekosten (der größte Teil der eingesetzten Wärmeenergie kann zur Herstellung von warmem, sauberem Wasser für andere Teile des Betriebes gewonnen werden) zu verzeichnen. Ferner werden Waschchemikalien eingespart, und schließlich fallen keine belastenden Abwässer an. Auch die Investitionskosten sind kaum höher als beim wässrigen Reinigungsprozeß, wenn man berücksichtigt, daß die Ware die Lösemittelmaschine trocken verläßt und in einem kurzen Spannrahmen fixiert werden kann; bei der wässrigen Reinigung muß die Ware ja auf einem mindestens doppelt so langen Rahmen zunächst getrocknet und dann fixiert werden.

Prozeßkosten sind bei der Lösemittelvorreinigung aber auch durch die Zusammenlegung sonst getrennt anzuwendender Prozesse einsparbar: man kann näm-

lich in einem Zug mit der Reinigung auch appretieren, man kann hydrophobieren, Wolle filzfrei ausrüsten, die Nähfähigkeit, den Griff und die Maschenstabilität von Maschenwaren verbessern. Dabei entstehen praktisch außer dem Chemikalienaufwand keine zusätzlichen Kosten.

Umweltfreundlich ist dieses Verfahren zweifellos, weil nur Kühlwasser anfällt. Die öligen Rückstände werden bei einigen Betrieben im Auftrage des Staates kostenfrei abgeholt und aufbereitet, andere müssen — bezogen auf das Kilogramm behandelter Ware — Pfennigbruchteile dafür bezahlen.

Kommen wir zu den Effekten und zur Verfahrenssicherheit:

Die Ölentfernung bei der Lösemittelwäsche ist wesentlich wirksamer als bei der wässrigen Vorreinigung. Dadurch ist die Ware bei einer künftigen Veredlungsstufe, beispielsweise für den Druck, besser geeignet. Die Reib- und Detachierereigenschaften von garngefärbtem Material werden besser. Der Trocknungs- und Thermofixieraufwand für die im Lösemittel vorbehandelte Ware wird niedriger, weil die von Vorreinigung besser befreite Ware weniger Frischluft und damit weniger Energie erfordert. Wolle und Acryl sowie deren Mischungen fallen im Griff wie im Aussehen deutlich besser aus als bei der wässrigen Behandlung. Die Verfahrenssicherheit ist bei der Lösemittelbehandlung heute durchaus gegeben. Maschenwaren lassen sich auf der neuen Böwe/Küsters-Contisol-Anlage sicherer, verzugsfreier und schrumpfärmer behandeln als bei der wässrigen Vorwäsche².

Die vorstehenden Angaben gelten für die moderne kontinuierliche Vorbehandlung von Geweben und Maschenwaren — insbesondere auf der Contisol-Anlage. Die diskontinuierliche Behandlung wird aber ebenfalls bei kleineren Metragen mit Erfolg durchgeführt. Hier sind die Maschineninvestitionen wesentlich niedriger, dafür die Personalkosten etwas höher als bei der kontinuierlichen Vorbehandlung, weil die Warenballen von Hand nach Entnahme aus der Maschine aufgerollt und entwirrt werden müssen.

Auch das Entschlichten mit Hilfe von Perchloräthylen wird immer mehr angestrebt. Die Entschlichtungsabwässer gehören ja zu den am meisten schadstoffbelasteten der gesamten Textilindustrie. Im Lösemittel könnte man ja — geeignete Schlichtemittel vorausgesetzt — das Schlichten und das Entschlichten miteinander kombinieren, sodaß das Schlichtemittel mindestens einige Male wiederverwendet werden kann. Auch Verfahrenskombinationen Entfetten/Entschlichten oder Entfetten/Entschlichten/Bleichen in Perchloräthylen nach dem Beispiel der Markal-Prozesse wären ein großer Fortschritt²⁸.

Unsere drei Bedingungen sind somit auch für das Entschlichten als positiv zu bewerten, allerdings verlangt die Verwendung des Schlichtemittels im Recycling eine örtliche Kombination von Schlichten und Entschlichten, was nur bei Vertikalbetrieben möglich ist, weil das Schlichten dem Bereich der Weberei und das Entschlichten dem Bereich der Textilveredlung zuzuordnen ist.

5. Färben

So vielversprechend das Färben aus organischem Lösemittel ist, so wenig hat es sich bisher unter Produk-

tionsbedingungen eingeführt. Den Grund finden wir schnell, wenn wir unsere drei Bedingungen betrachten:

- Selbst wenn man berücksichtigt, daß die Farbstoffpreise — wenn einmal kommerziell anwendbare Farbstoffe auf dem Markt sein sollten — höher sein werden als diejenigen herkömmlicher Sortimente und daß außerdem die Baderschöpfung geringer sein wird, ergeben sich hinsichtlich der Prozeßkosten wegen der mit Perchloräthylen möglichen Verfahrensverkürzungen günstige Perspektiven.

- Umweltfreundlicher ist zum zweiten das Färben aus Lösemittel ebenfalls, denn Färbereiabwässer gelten ja durchaus als schadstoffbeladen und verursachen hohe Kosten.

- Die dritte Bedingung hingegen läßt sich für das Färben aus Lösemittel nicht uneingeschränkt bejahen: Gleichwertige oder bessere Effekte ließen sich zwar vielleicht noch erzielen — das letztere besonders bei Polyester und bei empfindlichen Waren —, aber mit der Verfahrenssicherheit steht es zur Zeit noch nicht zum Besten.

Welches sind nun die Probleme der Färberei aus Perchloräthylen?

Wir wollen uns im Rahmen dieses Vortrags nur mit den diskontinuierlichen Verfahren beschäftigen. Die Kontinuierfärberei aus Perchloräthylen oder auch anderen organischen Lösemitteln liegt noch in der Ferne. Beim geringen Wassereinsatz der kontinuierlichen Verfahren wirken sich etwaige Vorteile des Lösemittelsystems nicht entscheidend aus. Stattdessen hat man aber beim Trocknen weitgehend noch ungelöste Migrationsprobleme mit Farbstoffwanderungen, die abhängig von der Luftführung im Trockner sind. Die kontinuierliche Färberei unter Einsatz eines Lösemittels ist erst dann interessant, wenn es gelingt, auf eine wässrige Nachbehandlung überhaupt verzichten zu können. Darauf werde ich im Kapitel Nachbehandlung kurz eingehen.

5.1. Baderschöpfung beim Auszieh färben

Man hatte anfangs oft die Meinung vertreten, das Lösemittelfärben sei dem wässrigen Verfahren deshalb überlegen, weil beim Färben synthetischer Fasern mit dem dazu notwendigen unpolaren Farbstoff dieser sich leicht im ebenfalls unpolaren Perchloräthylen löse und somit nach einem echten Ausziehverfahren gearbeitet werden könne; beim wässrigen System müsse man dagegen nicht unerhebliche Komplikationen beim Herstellen und Stabilisieren der Farbstoffdispersion im Färbemedium Wasser überwinden.

Und in der Tat: Auszieh färben auf Polyester aus Per erbrachten hohe Ausziehgeschwindigkeiten, damit kurze Färbezeiten bis zum weitgehenden Erreichen des Gleichgewichts, gute Echtheiten (überraschenderweise auch Lösemittellechtheiten) und gute Farbbrillanz. Man konnte wegen des höheren Siedepunkts des Per (121 °C) in offenen Apparaturen bei höherer Temperatur färben, man hatte keine Probleme mit Oligomeren, erzielte einen besseren Warengriff und konnte in bestimmten Fällen Vorbehandlung, Färbung und Nachbehandlung kombinieren. Besonders günstige Aspekte versprach man sich von der nachträglichen Färberei von Fertigartikeln, die fully fashioned kurzfristig marktgerecht hergestellt werden konnten.

Das Problem der Baderschöpfung, also der Farbstoff-

ausnutzung, hatte man aber zunächst übersehen. Man glaubte nämlich, mit den bereits im Handel befindlichen Dispersionsfarbstoffsortimenten auskommen zu können. Diese sind jedoch aus Gründen kurzer Färbezeiten und großer Farbtiefen so konzipiert, daß sie eine möglichst hohe Affinität zur synthetischen Faser haben, also in einem unpolaren Medium gut löslich sind.

Damit sind sie jedoch auch in Perchloräthylen gut löslich, und während die Baderschöpfung beim wässrigen Färben meist in der Nähe von 90% liegt, wurden nun auf einmal nur 30 oder 50 und nur in Einzelfällen mehr Prozent Baderschöpfung erzielt¹. Ein außerordentlich ungünstiger wirtschaftlicher Aspekt!

Betrachten wir noch einmal die Parameter, die die Baderschöpfung bestimmen:

$$\text{Verteilungs-} \quad = \frac{\text{Farbstoffkonz. in Faser } C_F}{\text{Farbstoffkonz. in Färbebad } C_B}$$

$$\text{koeffizient } K$$

Der Verteilungskoeffizient ist eine reine Folge der Farbstofflöslichkeit in der Faser bzw. im Färbebad. Er liegt bei wässrigen Dispersionsfärbungen im Bereich von etwa 500; verwendet man die gleichen Dispersionsfarbstoffe im Per, sinkt K bis zu zwei Zehnerpotenzen¹.

Die Baderschöpfung hängt aber außer vom Verteilungskoeffizienten K auch vom Flottenverhältnis ab:

$$\% \text{ Baderschöpfung} = \frac{100 \text{ K}}{K + 1/\text{Flottenverhältnis}}$$

Man erkennt, daß niedrige K-Werte durch ein kürzeres Flottenverhältnis kompensiert werden können, aber es verlangt außerordentlichen Aufwand, das Flottenverhältnis gegenüber den wässrigen Färbemethoden um mehr als den Faktor 2 oder 3 zu verändern.

Was bleibt also für die Auszieh färben aus reinem Per zu tun?

Es können entweder die K-Werte durch Verwendung anderer Lösemittelsysteme unter Beibehaltung der bisherigen Dispersionsfarbstoffe geändert, oder es müssen neue Farbstoffe mit K-Werten von mindestens 100 synthetisiert werden.

Die Verwendung von anderen Lösemitteln als Per oder von Lösemittelgemischen sehe ich zunächst als praktisch nicht realisierbar an. Zu viele technische Probleme türmen sich auf. Destillation, Trocknung, Migration, Probleme der Toxizität, der Trennung im Wasserabschneider oder die Fragen des Siedepunkts oder des Preises sind nur einige davon. Hingegen dürfte in der Neusynthese von Farbstoffen der geeignete Weg zum Ziel liegen. Und hier sind alle Farbstofffabriken eifrig dabei, aber die Probleme haben sich schwieriger als eingeschätzt herausgestellt. Physikochemisch ist dies leicht einzusehen: Wenn ein Farbstoff schnell und gut, also weitgehend in der unpolaren Faser löslich ist, hat er eben eine relativ große Löslichkeit im unpolaren Per.

Die Farbenfabriken müssen also den günstigsten Löslichkeitskompromiß finden. Wenn dabei aber noch gute Echtheiten, gleichmäßige Aufzieheigenschaften eines ganzen Farbstoffsortiments (nur so kann man Mehrkomponentenfärbungen durchführen), Sublimierechtheiten und gute Fixierung sowie ein akzep-

tabler Preis angestrebt werden sollen, engen sich die Möglichkeiten schon sehr stark ein. Das ist der Grund, weshalb bis heute nur Versuchsfarbstoffsortimente zu haben sind.

Die Färberei aus Per in Gegenwart von Wasser^{25, 26} löst die Verwendung üblicher Dispersionsfarbstoffe auch nicht schlagartig. Zwar sind graduelle Verbesserungen durchaus beobachtet worden (zum Beispiel scheint das Wasser als Carrier zu wirken), aber der Wasserzusatz ändert an der zu guten Löslichkeit der üblichen Dispersionsfarbstoffe wenig.

Völlig anders liegen die Verhältnisse bei den ionischen, also bei den polaren Farbstoffen. Man kann mit ihnen Baumwolle, Wolle, Acryl oder Polyamid färben¹⁸⁻²¹. Zwar wird die Baumwolle immer wieder ausdrücklich aus den Überlegungen der Lösemittelfärberei ausgenommen, was ich nicht ganz verstehe; denn warum soll man auch sie in Ausnahmefällen nicht umweltfreundlich und vielleicht fully fashioned färben?

Aber die anderen genannten Fasern stellen durchaus interessante Substrate dar, Wolle insbesondere wegen der Faserschonung in Per. Es scheint, daß sich die Färberei aus Lösemitteln zunächst über den Weg ionischer Farbstoffe und der genannten Fasern praktisch einführen wird. Aber auch das ist nicht ohne Schwierigkeiten: Das Emulsionsfärben aus Per erfolgt praktisch nach dem gleichen Mechanismus wie die wässrige Färbung, nur daß es aus extrem kurzer Flotte erfolgt. Das Wasser/Farbstoff/Hilfsmittel-System muß jedoch mit sehr raffinierten Emulgatoren in Per genügend stabil vorliegen.

Um die Lebensdauer der Emulsion gegenüber der Färbezeit größer zu halten, ist es notwendig, für eine vorgegebene Färbetemperatur einen bestimmten Mindestdruck anzuwenden und so das Sieden und als Folge davon das Brechen der Emulsion zu verhindern. Menold und Hildebrand haben in diesem Zusammenhang bahnbrechende Entwicklungsarbeiten durchgeführt^{22, 24}.

Andererseits stellt die Anwendung von Druckapparaten kein großes Problem dar, weil ja bei Verwendung von Lösemitteln ohnehin im geschlossenen System gearbeitet werden muß.

Natürlich hat es auch nicht an anderen Tricks gefehlt, den ionischen Farbstoff ohne Wasser in das Per zu bekommen. Man hat polare Hilfslösemittel, zum Beispiel Alkohole, Formamid u. ä. zunächst zum Lösen des Farbstoffes verwendet und diesen dann mit ihnen im Per verteilt. Dabei eröffnete sich auch noch eine feine Methode, die Löslichkeit des Farbstoffs im Färbebad während des Färbeprozesses laufend durch Abdestillieren des Hilfslösemittels herabzusetzen und damit eine noch bessere Baderschöpfung zu erzielen²⁷. Aber in der Verwendung von Hilfslösemitteln sehe ich aus den bereits erwähnten Gründen keine Zukunft.

5.2. Verfahrenstechnik

Neben den erwähnten Farbstoffproblemen hat die diskontinuierliche Färberei aus organischem Lösemittel verfahrenstechnische Schwierigkeiten zu überwinden. In jedem Fall muß bei verhältnismäßig hohen Lösemitteltemperaturen gearbeitet werden. Dabei stellen sich erhebliche Dichtungs-, Warenführungs-, Pumpen- und Ventilprobleme ein, die aber von der Maschinenindustrie allmählich gelöst worden sind.

Zusätzliche Anforderungen ergeben sich aus der vorhin erwähnten Notwendigkeit, bei vielen Verfahren unter Druck zu arbeiten.

Als weitere verfahrenstechnische Schwierigkeit sei die Reinigung der Färbeapparate erwähnt. Die als besonderer Vorteil der Lösemittelfärberei erwähnten kurzen Prozeßzeiten sind nur dann realisierbar, wenn man zwischen zwei verschiedener Chargen nicht erhebliche Zeiten zur Reinigung der Apparate aufwenden muß. Da die gesamte Reinigung jedoch im geschlossenen System zu erfolgen hat, müssen hier noch technologische und chemische Probleme erfolgreich gelöst werden.

Schließlich soll die Notwendigkeit nicht unerwähnt bleiben — gerade bei der Färberei aus Lösemitteln, wo also hohe Dampfdrucke auftreten können —, daß das damit befaßte Personal besonders ausgebildet und ausgewählt werden muß.

5.3. Aussichten der Färberei aus organischem Lösemittel

Ich konnte in den vorhergehenden Abschnitten die Probleme der Färberei aus organischem Lösemittel nur andeuten; wir wollen uns ja nicht mit verfahrenstechnischen Einzelheiten befassen, sondern einen Überblick über den Stand der Lösemitteltechnologie gewinnen. Dabei ergibt sich gerade für das Färben keine sehr optimistische Prognose. Wenn wir aber wissen wollen, wie es weitergeht, dann müssen wir die erwähnten drei Punkte betrachten:

- Wie oben schon erwähnt, ist die Verfahrenssicherheit derzeit noch nicht garantiert. Wenn also der Färbeprozess isoliert betrachtet wird, wird er sich im Lösemittel erst einführen, wenn auch dieser Punkt positiv bewertet werden kann. Und es ist ein schmaler Grat, auf dem die Verantwortlichen der Farbwerke und der Maschinenindustrie zwischen den erheblichen Entwicklungsaufwendungen und den später noch nicht gesicherten wirtschaftlichen Erfolgen wandern.

- Anders sieht es natürlich aus, wenn die Färberei aus Lösemitteln entweder neue Effekte bringt, die bisher noch nicht realisiert werden konnten, oder wenn mit dem Färbeprozess andere Veredelungsprozesse kombiniert werden können. Nur hier kann ein Erfolg erwartet werden, und ich glaube, daß wir gerade davon zu einem Zeitpunkt viel erfahren werden, zu dem die Textilindustrie hoffentlich wieder investitionsfreudiger wird.

6. Ausrüstung

Wie eingangs schon erwähnt, ist neben der Vorreinigung die Ausrüstung der derzeit am weitesten entwickelte Zweig der Lösemitteltextilveredlung.

Die Ausrüstung ist deshalb zur Zeit im großen Vorteil, weil sie nicht auf die Verwendung von heißem Lösemittel angewiesen ist. Damit erledigt sich die Frage der Per-Retention, und es erübrigen sich eine ganze Reihe maschinentechnologischer Schwierigkeiten. Tabelle 1 gibt über die heute schon technisch durchgeführten Ausrüstungsverfahren aus Lösemittel Auskunft. Gerade bei der Ausrüstung bewähren sich kontinuierliche Verfahren, obwohl vielfach auch diskontinuierlich behandelt wird. Dies trifft hauptsächlich auf das Filzen von Wollfertigartikeln, auf die Filzfreiausrüstung und auf die Verfahren zur Griffverbesserung zu.

Aus Tabelle 1 ist zu ersehen, welche Vielfalt von Ausrüstungsverfahren möglich sind²⁹. Viele davon werden bereits für die laufende Produktion angewandt.

Betrachten wir sie wiederum im Zusammenhang mit drei Kriterien:

Die niedrigen Prozeßkosten sind zweifellos erreichbar. Aufbauend auf das früher zur Vorbehandlung Gesagte, gelten auch bei der Ausrüstung zwar höhere Investitionskosten, aber niedrigere Personal- und Wasserkosten. Der besondere Vorteil der Lösemittelausrüstung besteht aber darin, daß sich bei ihr mehrere Verfahren im allgemeinen sicherer und mit besseren Effekten kombinieren lassen als bei der Ausrüstung aus wässrigen Bädern. Die Ausrüstungsmittel sind im allgemeinen lösemittellöslich, und es gibt so keine

Tabelle 1: Ausrüstungsprozesse aus Perchloräthylen nach diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Verfahren

Prozeß	Substanz + Perchloräthylen
Nachreinigung (siehe auch „Nachbehandlung“)	(+ RV + Wasser)
Walke von Wollartikeln, insbesondere Fertigartikeln	Emulgator + Wasser, Mechanik durch Trommelmaschine
Filzfreiausrüstung von Wolle und Mischungen, auch von Fertigartikeln	reaktive Vorkondensate (+ Weichmacher), Sprühverfahren
Füllappretur, Griffverbesserung	Polymerisate und Vorkondensate, Siliconelastomere
Weichmachen, Glätten	Öle, Fette, Paraffine, Wachse (in Kombination mit Waschen oder Walken)
Hydrophobieren	„aufgefettete“ Kunstharz-vorkondensate + Katalysator, Silicone
Schiebefestausrüstung	Kunstharzvorkondensate + Katalysator, Kombination mit anderen Prozessen
Fleckschutzausrüstung	Fluorcarbonvorkondensate oder Harze, Kombination mit anderen Prozessen
Antipillingausrüstung	Siliconelastomere, Filmbildner, insbesondere auf Fertigartikeln
Fixierung	im heißen Lösungsmitteldampf

Schwierigkeiten mit instabilen Emulsionen oder mit Reaktionen zwischen Applikationsmittel und Badmedium. Dadurch ist insbesondere unser Punkt 3 hinsichtlich besserer Verfahrenssicherheit angesprochen.

Da auch die Effekte in der Lösemittelausrüstung oft besser als aus Wasser ausfallen und die Umweltfreundlichkeit, wie bereits ausgeführt, gegeben ist, verwundert es nicht, daß bereits viele Firmen die mit der Umstellung auf ein grundsätzlich neues Verfahren zwangsläufig verbundenen Umstände auf sich genommen haben.

Bei den diskontinuierlichen Verfahren, also in Trommelmaschinen, wird häufig das Appreturmittel durch Sprühen auf der Ware verteilt, was eine gute Homogenität sichert. Die kontinuierlichen Verfahren arbeiten im allgemeinen mit sehr konzentrierten Behandlungsflotten nach dem Klotzverfahren, aber auch nach dem Ausziehverfahren, wenn es sich um gut ziehende Appreturmittel handelt.

Bei garngefärbten Waren empfiehlt es sich, die Reinigung und Ausrüstung „naß-in-naß“ zu kombinieren. Gerade dabei bestehen allerdings einige technisch noch nicht ganz gelöste Probleme hinsichtlich der Konstanthaltung der Konzentrationen von Appreturmitteln in den Klotzflotten. Da hierbei die Abquetscheffekte eine wesentliche Rolle spielen, muß auch

gesichert sein, daß diese über die ganze Warenbreite gleichmäßig sind.

7. Nachbehandlung

Besonders große Mengen an farbstoff- und hilfsmittelhaltigen Abwässern fallen in Textilfärbereien u. a. in Verbindung mit Nachbehandlungs- bzw. Nachreinigungsprozessen an. Dieser Umstand ist für den Einzelbetrieb besonders in wirtschaftlicher Hinsicht bedeutsam, da die Anwendung des Verursacherprinzips durch den Gesetzgeber und die daraus resultierende Auflage zur Entrichtung von Abwasserabgabegebühren eine erhebliche Kostenbelastung bedeuten. Ich sehe daher in einer Kombination von Wasserfärberei und Lösemittelnachbehandlung einen besonderen Vorteil.

Wie bereits meine Ausführungen über die Vorreinigung andeuteten, ist die Lösemitteltechnik heute besonders für solche Prozesse interessant, die kontinuierlich und mit relativ hoher Geschwindigkeit ablaufen können. Die Anwendung der Lösemittelnachbehandlung bietet sich daher besonders für die konventionelle Thermosolfärberei von Polyester an. Gelingt es, auch bei der Nachreinigung von Polyester-Thermosolfärbungen befriedigende Ergebnisse zu erzielen, so können die bisher nur zu Vorreinigung und Ausrüstung eingesetzten Lösemittelkontinueanlagen auch in der Nachbehandlungsstufe Verwendung finden. Neben der Beseitigung des Abwasserproblems durch die Eliminierung des Wassers als Trägermedium könnten die bekannten Vorzüge der Lösemitteltechnik, wie zum Beispiel kurze Prozeßzeiten durch geringen Trocknungsaufwand, genutzt und gleichzeitig auch die Auslastung vorhandener Lösemittelvorreinigungs- und Ausrüstungsanlagen wesentlich vergrößert werden.

Natürlich gilt auch hier die Forderung, daß die erzielten verfahrenstechnischen Effekte, das heißt der allgemeine Farbausfall und die Echtheiten, denen der Nachreinigung in Wasser mindestens ebenbürtig, möglichst jedoch überlegen sein sollten.

Und hier liegen die Probleme: Die zur Anwendung kommenden Dispersionsfarbstoffe und Hilfsmittel sind für eine Anwendung im wässrigen Milieu konzipiert, ihre Entfernung bei der Nachreinigung ist also aus physikalischen Gründen in Perchloräthylen allein nicht möglich. In der Verwendung von Wasser-in-Per-Emulsionen bzw. -Solubilisaten kann ein Ausweg gesehen werden; aus der Chemischreinigung und Lösemittelindustrie liegen in diesem Zusammenhang einschlägige Erfahrungen vor. Andererseits macht man jedoch durch die Verwendung des unpolaren Perchloräthylen als Trägermedium für den nichtfixierten Farbstoff von dem gegenüber Wasser wesentlich höheren Lösevermögen Gebrauch.

Welche Effekte sich durch die Lösemittelnachreinigung tatsächlich erzielen lassen, ist bis heute noch nicht systematisch untersucht. Am Bekleidungsphysiologischen Institut Hohenstein werden in naher Zukunft diesbezüglich Forschungsarbeiten in Angriff genommen.

Schlußbemerkung

Ich habe einen Überblick über die Möglichkeiten, den Stand der Technik und die Zukunftsaspekte der Textilveredlung aus organischem Lösemittel zu geben versucht. Auf viele technische Einzelheiten und Verfahren konnte ich im Hinblick auf den breiten Bogen der Zusammenhänge nicht eingehen. Die physi-

kalischen und chemischen Grundlagen der Lösemitteltechnologie und allgemeine Informationen über die zur Verfügung stehenden Maschinen kann man heute bei Textilfachleuten als bekannt voraussetzen.

Nun aber zur wichtigsten Frage: Was wird kommen?

Die Ausrüstung aus Lösemitteln ist schon da; sie wird sich noch breiter durchsetzen. Es besteht kein konkreter Anlaß für eine Zurückhaltung beim Übergang auf die Lösemittelausrüstung, wenn im Einzelfall unsere drei erwähnten Kriterien positiv bewertet werden können, und das ist schon bei einer ganzen Reihe von Verfahren der Fall.

Zur Ausrüstung gehört in gewissem Sinne auch die Vorreinigung, über deren praktische Anwendbarkeit und Vorteile vor allem bei Maschenwaren kein Zweifel mehr besteht. Auch die Nachbehandlung von Thermosolfärbungen weist interessante Wege.

Anders liegen die Dinge beim Färben. Ich glaube nicht, daß sich die Kontinuerfärberei aus Lösemitteln in den nächsten Jahren bereits technisch einführt. Bei den hier zur Anwendung kommenden kleinen Wasser- und noch kleineren Abwassermengen lohnt sich die Entwicklung der komplizierten Lösemitteltechnologie und die Herstellung von in Lösemitteln hochlöslichen Farbstoffen wohl nicht. Allerdings wird sich hier die Nachbehandlung aus Lösemitteln als interessante Alternative anbieten.

Die diskontinuierliche Färbung aus Lösemittelfloten steht gerade jetzt am Scheideweg: Es ist klar, daß man mit üblichen Dispersionsfarbstoffen synthetische Fasern nicht mit befriedigender Ausbeute färben kann. Also müssen sehr aufwendig neue Farbstoffe synthetisiert werden. Ob sich hierzu der Aufwand lohnt und sich die zu erwartenden kostspieligen anwendungstechnischen Beratungen im Hinblick auf einen späteren wirtschaftlichen Erfolg rechtfertigen, können nur die Farbenfabriken entscheiden. Deshalb werden wohl zunächst die Emulsionsfärbeverfahren mit polaren Farbstoffen interessant sein, die es schon gibt und die nur entsprechend stellmittelfrei oder mit neuen Stellmitteln aufbereitet werden müssen. Die Färberei von Polyamid, Acryl und auch von Wolle nach diskontinuierlichen Verfahren steht durchaus bevor. Trotzdem wird sich die Textilindustrie erst dann aus der Reserve locken lassen, wenn mit dem Färben noch andere Veredelungsprozesse, also etwa das Vorreinigen oder ein Ausrüstungsprozeß, verbunden werden kann!

Es ist einfach falsch, Lösemittelveredelungsprozesse für sich isoliert mit entsprechenden konventionellen wässrigen Verfahren zu vergleichen. Vielmehr muß man alle neuen Möglichkeiten, die der Lösemittelprozeß bringt, und das sind eben solche Kombinationsmöglichkeiten, mit in die Überlegungen einbeziehen. Man darf also nicht horizontal denken, sondern muß versuchen, durch die Lösemittelveredelung den vertikalen Produktionsprozeß zu verkürzen. Wenn das gelingt, kann man auch einzelne Entwicklungsschwierigkeiten leichter überwinden.

Um es zusammenzufassen: Hinsichtlich der diskontinuierlichen Färberei aus Perchloräthylen (und nur das kommt in Frage) ist der heute viel gebrauchte Ausdruck „gedämpfter Optimismus“ am Platze.

Das gilt mittelfristig. Langfristig, das heißt in den nächsten Jahrzehnten, wird an der Lösemitteltextilveredelung trotz Immissionsschutzverordnungen und

Angst der Textilveredelungsindustrie vor dem grundsätzlich neuen Verfahren kein Weg vorbeiführen. Wasser wird immer knapper und teurer, und schadstoffbeladene Abwässer darf es immer weniger geben. Die Lösemitteltextilveredelung verschmutzt kein Abwasser.

Literatur:

- 1) W. Kothe; Melliand Textilber. **54**, 849—853 (1973)
- 2) Anonym; Chemiefaser/Textilind. **25/77**, 68—70 (1975)
- 3) z. B. H. H. Hofstetter; Melliand Textilber. **54**, 738—741 (1973)
J. Müller; Chemiefasern **22/74**, 55—60 (1972)
- 4) B. Milicevic; J. Soc. Dyers and Col. **87**, 503—508 (1971)
- 5) J. P. Riley, A. J. Murray; Nature **242**, 37 (1973)
- 6) J. E. Lovelock, R. J. Maggs, R. J. Wade; Nature **241**, 194 (1973)
- 7) P. E. Wilkniss et al.; Nature **245**, 45 (1973)
- 8) P. G. Simmonds, S. L. Kerrin, J. E. Lovelock, F. H. Shair; Atmosph. Environment **8**, 209 (1974)
- 9) G. McConnell, D. M. Ferguson, C. R. Pearson; Endeavour **121**, 13—18 (1975)
- 10) Untersuchungen des Bekleidungsphysiologischen Instituts Hohenstein e. V., durchgeführt im Auftrag des Landes Baden-Württemberg; Veröffentlichung in Vorbereitung
- 11) Normvorhaben „Tetrachloräthen (Perchloräthylen) — Anforderungen und Prüfung für Destillate“; Fachnormenausschuß Materialprüfung, Unterausschuß c 12 d („Prüfung von Hilfsmitteln für die Chemischreinigung“, Obmann: Dr. A. Gänssle)
- 12) J. Moreau, F. Somme; Textilveredlg. **7**, 211—216 (1972)
- 13) G. Reinert, U. Müller, R. Keller, K. Schaffner; Textilveredlung **7**, 678—692 (1972)
- 14) Untersuchungen des Bekleidungsphysiologischen Instituts Hohenstein, unveröffentlicht
- 15) K. Bredereck, E. Koch; Melliand Textilber. **55**, 157—162 (1974)
- 16) R. Weingarten; Textil-Praxis **28**, 231 (1973)
- 17) J. Rieker, M. Terlinden; Melliand Textilber. **56** (1975) im Druck
- 18) H. Pantke, K. Vogel; Bayer Farben-Revue, **23**, 10—16 (1973)
- 19) S. Rosenbaum; Textile Res. J. **42**, 238—240 (1972)
- 20) D. Hildebrand; Bayer Farben-Revue, Sonderheft 13, 2—22 (1971)
- 21) D. Hildebrand, R. Kuth; Melliand Textilber. **53**, 569—573 (1972)
- 22) R. Menold, D. Hildebrand; Textilind. **73**, 278—287 (1971)
- 23) J. H. Sieber; Melliand Textilber. **53**, 915—919 (1972)
- 24) R. Menold; Bayer Farben-Revue, Sonderheft 13, 23—59 (1971)
- 25) K. Gebert; Melliand Textilber. **52**, 710—715 (1971)
- 26) K. Gebert; J. Soc. Dyers and Col. **87**, 509—513 (1971)
- 27) OS 1964 592 vom 23. 12. 1969/1. 7. 1971 (Brückner-Apparatebau, M. Schuierer)
- 28) E. Brunnschweiler; Textilveredlg. I, 757—771 (1970)
- 29) H. H. Hofstetter, H. Kurz; Melliand Textilber. **53**, 1143—1151 (1972)
- 30) „Chlorkohlenwasserstoffe in der Textilveredelung“, Broschüre der Wacker-Chemie GmbH, München 1974, 2. Auflage, S. 72

Diskussion

Köb: Gibt es wirklich Möglichkeiten, einen Farbstoff zu entwickeln — abgesehen von den ionischen Farbstoffen — und diesen dazubringen, daß er die richtige Lösemittel-unlöslichkeit hat, aber auf Polyester doch gut aufzieht?

Mecheels: Dieses Problems haben sich die Farbenfabriken besonders angenommen. Man kann durch Variation bekannter oder durch Synthese neuer Farbstoffe durchaus dieses Problem optimieren. Es ist dabei nur zu beachten, daß ein ganzes Farbstoffsortiment in unterschiedlichen Tönen die gleichen Löslichkeits- bzw. Aufzieheigenschaften haben muß. Im Versuch sind jedoch schon Farbstoffpaletten, die auch unter industriellen Bedingungen bereits erprobt worden sind oder erprobt werden. Aber diese Sortimente haben noch zu kleine Gammen. Man kann mit ihnen nicht jede Farbe färben. Aber das ist kein grundsätzliches Problem, sondern eine Frage der Entwicklung.

Bevor man wirklich große Farbstoffpaletten hat, mit denen man praktisch alles aus synthetischen Fasern färben könnte, ist noch eine erhebliche Entwicklungsarbeit notwendig. Für die Farbenfabriken stellt sich eben die Frage, ob sie das auf sich nehmen wollen, denn die Entwicklung würde erhebliches Geld kosten, wobei es im Augenblick noch nicht sicher ist, ob sich dieses Geld irgendwann einmal wieder einspielt. Jedoch ist diese Kombination nur eine Vermutung von mir. Das können die Farbenhersteller besser sagen, aber sie sagen es nicht.

Lebensaft: Sie haben erwähnt, daß vielleicht einmal die Möglichkeit bestehen wird, mit ionischen Farben aus Lösemitteln zu färben. Das Färben von Zellulosefasern aus Lösemitteln erscheint mir sehr unwahrscheinlich, weil zur Färbung eine gewisse Quellung gehört, die ja im Lösemittelbad nicht oder kaum stattfindet.

Mecheels: Von den zellulosischen Fasern habe ich die Baumwolle bereits genannt. Ich sehe eigentlich nicht ein, warum man im Zusammenhang mit der Lösemittelfärberei überhaupt nicht an die Baumwolle denkt. Man könnte in Ausnahmefällen durchaus auch diese nach Art der fully-fashioned-Artikel färben. Dazu wird es notwendig sein, immerhin nennenswerte Wassermengen in das Lösemittelbad einzubringen. Man braucht diese aber auch, um den Farbstoff zu lösen und um das Hilfsmittel aufzunehmen. Ich bekomme damit größere Mengen Wasser in das Färbebad. Ich arbeite also praktisch mit einem wäßrigen Färbeprozess mit extrem kurzem Flottenverhältnis, weil das Lösemittel als Flotte praktisch ausfällt und nur der Energieträgerverteiler der ganzen Anordnung ist. Natürlich trifft es zu, daß sich wahrscheinlich die Färberei von Baumwolle oder auch von Zellulose regeneratmaterialien aus Lösemitteln in großen Mengen wohl kaum durchsetzen wird, weil bei der Färbung aus wäßrigen Flotten nur wenige Probleme existieren. Aber warum nicht aus Perchloräthylenflotten irgendwelche fully-fashioned-Artikel färben?

von der Eltz: Eigentlich müßte ich jetzt sagen: Ich bin der Schuldige. Ich bin es aber gar nicht. Zunächst einmal glaube ich, daß die „Buhmacherei“ gegen die Farbenfabriken im Zusammenhang mit der Lösemittelfärberei absolut nicht angebracht ist. Wir haben gestern so zwingende Vorträge über die Situation gehört, in der sich die Textilindustrie allgemein befindet, und Sie wissen, daß auf dem Gebiet der wäßrigen Färberei in den letzten Jahren gewaltige Fortschritte erzielt wurden. Wenn aber diese Fortschritte schon nicht wahrgenommen werden können, weil sie außerordentlich investitionsreich sind und derzeit von vielen Betrieben nicht getragen werden können, muß man sich umso mehr fragen, ob solche Beträge für Lösemittelfärbearbeiten überhaupt diskutabel sind. Aus diesem Grunde, nur weil die Vernunft irgendwann einmal zwingt, auch die Forschung dahin zu lenken, wo sie sinnvoll angewandt werden kann, haben alle Farbenfabriken diesen Weg ein bißchen abgesprochen.

Was das Färben aus polaren Färbeflotten mit ionischen Farbstoffen aus Lösemitteln allgemein oder aus Lösemittelmischungen anbelangt, so hat uns die ITMA in Paris einige neue Wege gezeigt. Realistisch sind sie nicht. Der große Durchbruch ist nicht erfolgt. Auch die Emulsionsfärberei ist nicht der „letzte Jakob“. Im Hinblick auf die kontinuierliche Lösemittelfärberei möchte ich allerdings

eines sagen, was im gewissen Widerspruch zu den Ausführungen steht: Wenn ein Lösemittelfärbeprozess wirklich kontinuierlich möglich wäre und damit die immense Wasserbelastung der Nachbehandlung, die ja eine vielfache Wasserbelastung gegenüber dem Färbeprozess darstellt, reduzieren könnte, dann hätte auch das kontinuierliche Färben wirkliche Zukunftschancen. Aber das sind so viele „Wenn“, daß ich am Schluß sagen möchte: Sie haben ein Fragezeichen hinter den Titel Ihres Referates gestellt, ich möchte da noch zwei weitere hinzufügen.

Auf die Frage von Herrn Lebensaft im Hinblick auf die fully-fashioned-Färberei kann ich Ihnen noch etwas ganz Neues sagen: Sie erwähnten die Schaum-Methode — es gibt in der Zwischenzeit einer ganz neuen Weg, einen Trommelapparat, wie man ihn in Italien auf der ITMA in wenigen Wochen zeigen wird. Sie können dort sehen, wie man fully-fashioned-Zelluloseartikel im Flottenverhältnis 1 : 1 aus Wasser färbt, und zwar mit Reaktivfarbstoffen. Ich glaube, daß es dann sehr schwer fallen wird, auch hier eine Motivation zu finden, warum ich ausgerechnet zum Flottenverhältnis 1 : 1 auch noch Lösungsmittel zugeben soll.

Alles in allem möchte ich sagen: Bis jetzt ist dies das Schlußresultat. Es ist sicher angebracht, wir sollten nicht länger nach Schuldigen, sondern nach neuen Wegen suchen. Gestern hat Herr Rebenfeld einen interessanten Hinweis geliefert. Ich glaube, ich darf mit einigem Optimismus sagen: Vielleicht kommt eines Tages doch ein anderes Lösemittel mit anderen Qualitäten, das die Faser in einen Zustand versetzt, bevor wir sie in der Textilindustrie zu verarbeiten haben und das dann vielleicht doch etwas günstigere Verarbeitungsaspekte liefert.

Mecheels: Im Prinzip ist dies alles akzeptiert, was Sie sagen, nur würde ich die Schlußfolgerung nicht ziehen. Ich habe volles Verständnis dafür, wenn man die Lage so realistisch wie möglich darstellt, und Sie haben uns gerade gezeigt, wie man realistisch sieht. Was Sie aber über Kontinuierfärbung, Nachbehandlung und Vorbehandlung sagten, scheint mir gerade ein ganz großer Vorteil der Lösemittelbehandlung zu sein. Man kann sich überlegen, ob man den eigentlichen Färbeprozess, das heißt die Klotzflotte, aus Lösemittel machen muß, oder ob man nicht einfach ein wäßriges Bad verwenden kann, denn es fällt ja beim kontinuierlichen Färbeprozess praktisch kein Abwasser an. Wenn man aber die viel Abwasser liefernde Nachbehandlung kontinuierlich aus Lösemittel machen könnte, dann wäre dies ein Fortschritt.

von der Eltz: Dann müßten Sie allerdings neue Individuen schaffen. Dispersionsfarbstoffe heißen so, weil sie im Wasser dispergiert werden. Sie können in einem organischen Lösemittel nämlich in nicht vorliegender Dispersion, also in reinem Lösemittel appliziert werden. Das würde bedeuten, daß sie alle Dispergiermittel und auch alle anderen Hilfsstoffe, nämlich die, die das Haften des Farbstoffes auf der Oberfläche zur Folge haben, aus dem Farbstoffindividuum herauslassen könnten. Darin sehe ich die Chance, das wäre auch ein neuer Gesichtspunkt.

Mecheels: Wenn man Polarfarbstoffe aus Lösemitteln nachbehandeln würde, müßten wir dies mit Emulsionsflotten machen, damit wir sie herunterbekommen. Aber bezüglich der Dispersionsfarbstoffe haben Sie recht!

Harms: In Ihrem Vortrag gaben Sie an: 3% Verlust vom Verbrauch an Lösemittel. Stimmt das? Ist das so hoch? 3% — bezogen worauf? Das wären immerhin doch erhebliche Mengen.

Mecheels: 3% bezogen auf das behandelte Warengewicht, also nicht auf die vorhandene Lösemittelflotte, die ja nach Flottenverhältnis ein Mehrfaches des Warengewichts ausmacht. 3% sind eine verhältnismäßig gute Zahl. Man kann sie jedoch nicht für sämtliche Lösemittelprozesse verallgemeinern.

Steitz: Wir haben schon Färbearbeiten gefahren mit Lösemittelverlusten von nur 2%. Mir scheinen die 2 oder 3% Verlust kein Betrag.

Mecheels: Das sind aber gleichzeitig die Verlustraten, die Sie auch bei einem Chemischreinigungsprozess ansetzen müssen. Das heißt also, die in der Textilveredlung aus Lösemittel anfallenden Verlustwerte sind nicht höher als die in der Chemischreinigung.

Steitz: Der Verlust bei einer Kleiderreinigung liegt normal bei 4%.

Mecheels: Wenn ich in den Laden einer Chemischreinigung hineinkomme, dann weiß ich, wieviel Lösemittelverluste dort auftreten. Man riecht es. Oftmals wird in solchen Kleiderreinigungen nicht so sorgfältig hinsichtlich des Lösemittelverlustes gearbeitet. Man kann also die vorhin genannten 4% mit einiger Mühe verringern.

Mir scheinen aber auch 2 oder 3% Verlust bei der Löse-

mittelbehandlung kein Betrag der in irgendeiner Weise gegen die Vorreinigung oder Nachreinigung oder auch gegen die Ausrüstung aus Lösemitteln sprechen würde, und zwar deshalb: Dieser Verlust geht nur zum kleinen Teil in die Umwelt über, ein Großteil dieser Beträge nämlich befindet sich im Destillierschlamm, der ohnehin als Sondermüll behandelt wird.

W. J. ROHRBECK'S NF.

1052 WIEN – WEHRGASSE 18

TELEFON (0222) 575515 TELEX 011561

GEGR. 1865

- ◆ Apparate und Geräte für Labors der Industrie und Wissenschaft
- ◆ Feinchemikalien und Reagenzien der Fa. Merck
- ◆ Eigene Glasbläserei für chemische und technische Apparate
- ◆ Käfige und Zubehör zur Versuchstierhaltung
Spezial-Futtermittel und Versuchstiere
- ◆ Baustoffprüfgeräte, Normen-Siebsätze, Labormöbel

Kontinuierliche Behandlung zur Entwicklung von textilen Flächengebilden mit latentem Schrumpf

Dr. Eberhard K r a t z s c h
Enka Glanzstoff AG, Textiltechnisches Institut,
Wuppertal

Bei der Behandlung von Flächengebilden aus Chemiefasern in der Ausrüstung spielt der Schrumpf eine ausschlaggebende Rolle. Er wird von den eingesetzten Fasern und der gewählten Konstruktion des Artikels unter anderem mitverantwortlich für die Eigenschaften, die eine Ware charakterisieren. Es ist bekannt, daß durch die Variation des Schrumpfes Optik, Griff und technologische Eigenschaften beeinflußt werden können.

Anhand von Artikeln aus *producer texturized yarns* aus PES (DIOLEN BC®) und PA (ENKA CRÉPE®, EMERA®) werden Für und Wider einer kontinuierlichen und diskontinuierlichen Arbeitsweise in der gesamten Ausrüstung einander gegenübergestellt und diskutiert. Ebenso werden die hierfür geeigneten Ausrüstungsmaschinen behandelt.

For the finishing treatment of man-made fibres, shrinkage plays a very important part. Besides the fibres used and the design selected for an article, shrinkage is also responsible for the properties that qualify an article. It is well known that by varying the shrinkage, appearance, handle and technological properties can be affected.

By means of articles from *producer texturized yarns* of PES (DIOLEN BC®) and PA (ENKA CRÉPE®, EMERA®), the pros and cons of continuous and batch-finishing processes are compared and discussed. Suitable finishing machinery is also dealt with.

Einleitung

Bei der Behandlung von Flächengebilden aus Chemiefasern in der Ausrüstung spielt ihr Schrumpfvormögen eine ausschlaggebende Rolle. Es ist neben dem eingesetzten Material und der gewählten Konstruktion der textilen Flächengebilde für die Eigenschaften, die eine Ware auszeichnen, mitverantwortlich. Es ist bekannt, daß durch die Variation des Schrumpfes Optik, Griff und technologische Eigenschaften der Fertigware beeinflußt werden können.

Der Gesamtschrumpf eines textilen Flächengebildes setzt sich aus dem **Materialschrumpf** und dem **Konstruktionsschrumpf** zusammen. Bei speziellen Garnen werden in der Herstellung, das heißt beim Spinnen oder bei der Verstreckung bzw. Nachbehandlung, die Garne so beeinflußt, daß die Auslösung des Schrumpfes in der Ausrüstung, insbesondere jedoch in der Vorbehandlung, zusätzliche Effekte bringen kann. Angesprochen sind hier in erster Linie die klassisch texturierten Garne und die sogenannten *producer texturized yarns*.

Während sich bei den klassisch texturierten Garnen im wesentlichen nur das Volumen im Verlauf der Ausrüstung zurückbildet, erfolgt bei den *producer texturized yarns* primär die Auslösung ihres Schrumpfes und damit die Bildung des Volumens, das die Garne in der Rohware im glatten Zustand einnehmen. Han-

delt es sich bei Artikeln aus falschdrahttexturierten Garnen in erster Linie um den Konstruktionsschrumpf, der ausgelöst wird, so gilt es bei Qualitäten aus *producer texturized yarns* beide — also den Konstruktionsschrumpf und den Materialschrumpf — zielbewußt zu beherrschen.

Die Garne haben herstellungsbedingt unterschiedliche Eigenschaften, wie beispielsweise eine unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber Zugbeanspruchung bei der Schrumpfauslösung. Dies ist besonders bei den *producer texturized yarns* zu beachten, nachdem sich Spannungen im Verlauf einer kontinuierlichen Arbeitsweise nicht ganz vermeiden lassen.

Was versteht man eigentlich unter "producer texturized yarns"?

Eine einheitliche Definition für diesen Begriff gibt es bisher nicht, man versteht jedoch im deutschsprachigen Raum im allgemeinen darunter Garne, denen während oder in Kombination mit dem Spinnprozeß ein gewisses Schrumpfvormögen verliehen wurde, das so eingestellt ist, daß es bei einer späteren Auslösung der Ware einen textilen, voluminösen Griff gibt. Zum heutigen Zeitpunkt sind im wesentlichen nachstehende Typen von *producer texturized yarns* auf dem Markt:

- Bikomponentengarne,
- Bishrumpfgarne,
- zahnradgekräuselte Garne,
- Garne, die eine asymmetrische Erhitzung erfahren haben, und
- Falschdrahtgarne, die in Kombination mit dem Spinnprozeß hergestellt wurden.

Die Reihenfolge dieser Aufzählung entspricht jedoch nicht der zeitlichen Entwicklung der Typen und ihrer Marktbedeutung.

Voraussetzungen zur Schrumpfauslösung

Bereits an dieser Stelle muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß sich die verschiedenartigen Herstellungsbedingungen auch bei der Schrumpfauslösung bemerkbar machen. Deshalb kann hier keine Universalbetrachtung angestellt, sondern sollen nur einzelne Garntypen besprochen werden. Im einzelnen sind dies DIOLEN BC® als Vertreter für Polyester, sowie ENKA CRÉPE® und EMERA®, die aus Polyamid bestehen.

Was ist nun nötig, um die latent vorhandenen Effekte im Verlauf der Ausrüstung auszulösen?

Im Zusammenhang mit dieser Fragestellung ist es angebracht, vorab an eine Artikelgruppe zu erinnern, die bereits im großen Maßstab produziert wird. Sie zu erwähnen, erscheint deshalb ratsam, weil sie im Hinblick auf die Volumenentwicklung ausrüstungstechnisch ähnliche Voraussetzungen erfordert wie die hier zu behandelnden Garntypen. Gedacht ist da an die klassisch texturierten Polyestergarne. Der Maschinenbau hat sich auf diese flexiblen und zum Teil auch spannungsempfindlichen Artikel erfolgreich eingestellt. Deshalb ist es lohnenswert, auf diesen Entwicklungen aufzubauen und dabei lediglich das besondere Verhalten der *producer texturized yarns* zu berücksichtigen.

Die Ausrüstungsschritte, die zur Auslösung der von

der Spinnerei mitgegebenen Fasereigenschaften notwendig sind, werden wie folgt durchgeführt:

1. Schrumpfauslösung in Kombination mit Vorwäsche und/oder anderen Naßbehandlungsprozessen. In Einzelfällen kann auch noch eine Turmbleher-Behandlung vorausgehen.
2. Weiterführung der Schrumpfauslösung beim Trocknen und Fixieren. Hierbei kann schnell festgestellt werden, daß sich DIOLEN BC® als Vertreter für ein Polyester Garn im Vergleich zu den Polyamidgarnen ENKA CRÊPE® und EMERA®, in seiner Bereitschaft zu schrumpfen und den gewünschten Effekt auszubilden, grundsätzlich von den zuletzt genannten Garnen unterscheidet. Der Unterschied liegt in folgendem:

DIOLEN BC® nimmt in Abhängigkeit von Temperatur und Spannung den Schrumpf auf, unabhängig von Zeit und mechanischen Einwirkungen.

Die Auslösung der angestrebten Effekte bei ENKA CRÊPE® und EMERA® ist dagegen auch von der Behandlungszeit und der mechanischen Bearbeitung abhängig.

DIOLEN BC®:

Zunächst soll die Ausrüstung von Artikeln aus DIOLEN BC® behandelt werden. DIOLEN BC® ist ein Filamentgarn, dessen einzelne Filamente unter gleichen Bedingungen unterschiedlich schrumpfen. Der Kräuseleffekt wird also dadurch hervorgerufen, daß der stärker schrumpfende Partner den geringer schrumpfenden sozusagen aus dem Garnkörper als kleine Schlinge hinauspreßt. Dieser Vorgang ist mit dem Schrumpfen von Spinnfasergarnen aus Hochschrumpffasern und normal schrumpfenden Fasern zu vergleichen. DIOLEN BC® ist ein vornehmlich für die Weberei entwickeltes Garn, deshalb sollen auch Webartikel Gegenstand der folgenden Betrachtung sein.

Nachdem der Schrumpf — wie bereits ausgeführt — bei DIOLEN BC® eine Momentreaktion darstellt und die Höhe des Schrumpfes von der Behandlungstemperatur abhängig ist, würde bei vollkommen spannungsloser Arbeitsweise in kochendem Wasser schlagartig ein unerwünschter, wilder Crêpe-Charakter entstehen. Abbildung 1 zeigt rechts einen solchen Artikel ausfall.

Wird unter etwas mildereren Bedingungen gearbeitet,

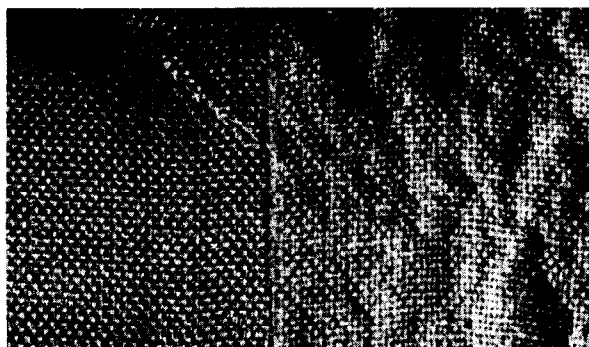


Abb. 1: Webware aus DIOLEN BC®, 66 dtex, f28 — Taftbindung erwünschter Ausfall (links), unerwünschter Ausfall (rechts)

so entsteht eine sandige Oberfläche, die den angestrebten seidigen Griffvorstellungen ebenfalls nicht entspricht. In Abbildung 1 links wird der gewünschte Effekt wiedergegeben. Nach den bereits gemachten Ausführungen ergibt sich, daß die Schrumpfauslösung bei hohen Temperaturen keinesfalls schockartig erfolgen darf. Nur eine stufenweise Entwicklung führt zum optimalen Ergebnis.

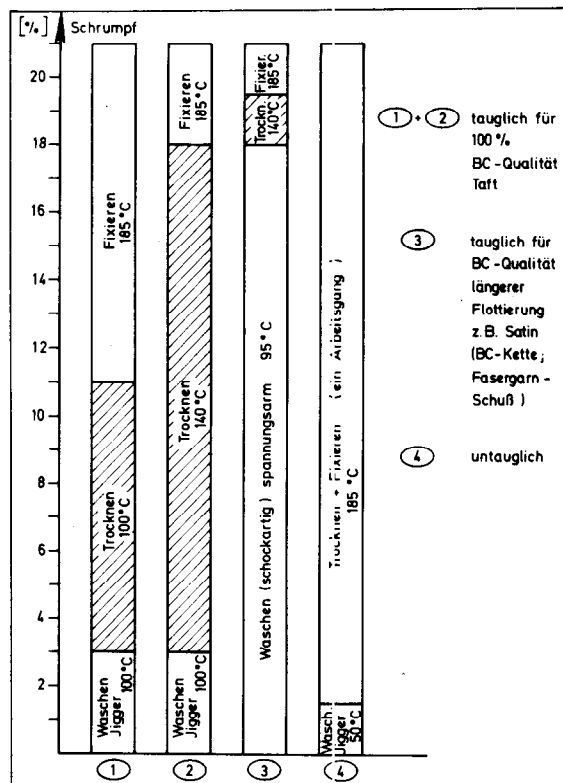


Abb. 2: Methoden zur Schrumpfauslösung bei Geweben aus DIOLEN BC®

Abbildung 2 zeigt, wie die Schrumpfauslösung zweckmäßigerweise vorgenommen wird. In der ersten Phase — der Naßbehandlung — wird stufenweise unter Temperaturerhöhung zirka 1/4 des Gesamtschrumpfes ausgelöst. Der Hauptschrumpf erfolgt dann beim Trocknen und der Rest beim Thermofixieren. In diesem Falle wurde die Trocknung auf dem Spannrahmen durchgeführt, jedoch ist das Trocknen auch auf Aggregaten ohne Kettenführung, zum Beispiel auf Hängeschleifentrocknern, möglich.

Bei allen schrumpfauslösenden Prozessen ist es aber eine unabdingbare Voraussetzung, daß die Ware entsprechend ihrer Schrumpfkraft auch Gelegenheit bekommt, so zu schrumpfen, wie es unter den eingestellten Bedingungen möglich ist. Schrumpfbehinderungen führen zu Problemen.

Welche Vorbehandlungsmaschinen können nun eingesetzt werden?

Unter Berücksichtigung des bisher Gesagten kann für DIOLEN BC® folgender Grundsatz gelten:

- Geeignet sind alle Vorbehandlungsmaschinen, die es bei spannungsarmer Arbeitsweise und gebundener Warenführung ermöglichen, den im ersten

Teil der Abbildung 2 beschriebenen Schrumpf aufzunehmen. Als günstig erwies sich dabei noch die Möglichkeit, die Temperatur stufenweise erhöhen zu können. Dabei können sowohl diskontinuierlich als auch kontinuierlich arbeitende Maschinen eingesetzt werden.

- In der Praxis werden beispielsweise in Ermangelung geeigneter Kontinuaschneidmaschinen auch gut regulierbare spannungsarm arbeitende Jigger verwendet.
- Als kontinuierlich arbeitende Maschinen eignen sich im Grunde genommen einfache Konstruktionen, die die Möglichkeit besitzen, die Temperatur in hintereinandergeschalteten Abteilen zu variieren und bei denen die Transportelemente getrennt steuerbar sind. Durch eine solche Steuerung läßt sich sicherstellen, daß der gewünschte Schrumpf auch aufgenommen werden kann. (Die gemachten Angaben beziehen sich auf Artikel in Taftbindung aus DIOLEN BC[®], dtex 66, f28, in Kette und Schuß.)

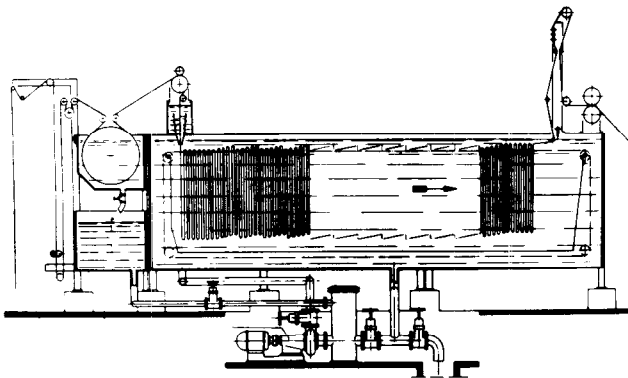


Abb. 3: Gerät zur Schrumpfauslösung — Mezzera

Da aber auch andere Artikel auf dem Markt sind, beispielsweise solche mit längeren Flottierungen und/oder Fasergarnen in einer Webrichtung, so enthält die Abbildung 2 in Säule 3 auch noch eine Empfehlung für die Ausrüstung solcher Artikel, die sich inzwischen bewährt hat. Danach wird entgegen der bereits beschriebenen Methode die Ware direkt in ein möglichst heißes Wasserbad (90 bis 95° C) eingebracht. Dafür sind Maschinen vom Typ Javatex (Abb. 4) und Javatex (Abb. 4) geeignet.

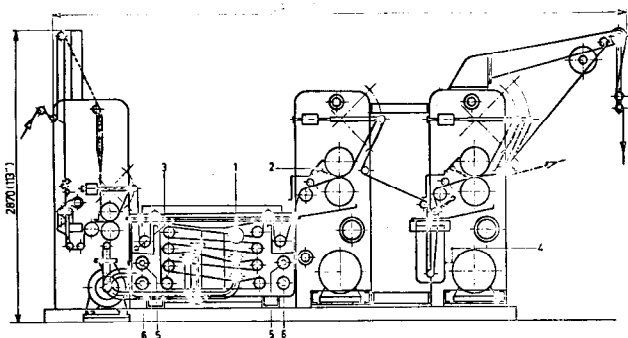


Abb. 4: Gerät zur Schrumpfauslösung — Javatex

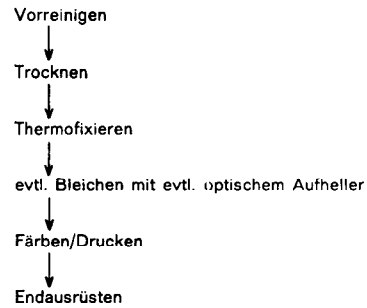


Abb. 5: Ausrüstungsschema für Gewebe aus DIOLEN BC[®]

Werden die gemachten Ausführungen zusammengefaßt, so ergibt sich folgendes Ausrüstungsschema für DIOLEN BC[®]-Webwaren (Abb. 5):

ENKA CRÊPE[®] und EMERA[®]:

ENKA CRÊPE[®] und EMERA[®] werden fast ausschließlich in der Kettenwirkerei eingesetzt. Beide Garntypen werden nach dem Zahnradverfahren texturiert, wobei es sich im Falle von ENKA CRÊPE[®] um ein monofiles, im Falle EMERA[®] um ein multifiles Garn handelt. Dementsprechend sind auch die Einsatzgebiete. ENKA CRÊPE[®] wird zu Wäschestoffen und EMERA[®] für die DOB verarbeitet.

Auf Grund der bereits erwähnten Garneigenschaften müssen folgende Voraussetzungen für die Behandlung dieser Artikel in einer Maschine vereint sein:

- äußerst geringe Spannungsbeanspruchung,
- genügend lange Verweilzeit (mindestens 10 min),
- hohe Temperatur und
- zusätzliche mechanisch wirkende Hilfen.

Der Wichtigkeit halber soll auch hier nochmals hervorgehoben werden, daß sich der angestrebte Effekt bei diesen Polyamidartikeln nicht schlagartig, sondern erst während einer mindestens 10 Minuten andauernden Behandlung entwickelt. Um eine Vorstellung davon zu geben, welches Ziel angestrebt wird, sind in Abbildung 6 Roh- und Fertigware dargestellt.

Interessant und von großer Wichtigkeit für den Ausrüster ist, daß der gezeigte Textur-Artikeleffekt nicht nur von der Oberfläche her gebildet wird. Mithin entscheidend für die Güte des Ausfalls ist auch die Dickenzunahme, die neben einer grifflichen Beurteilung

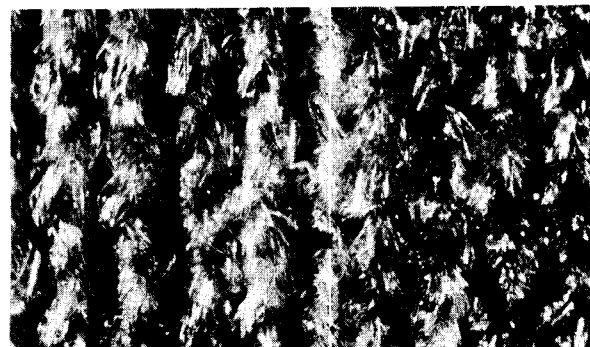


Abb. 6: EMERA[®]-Rohware (links), EMERA[®]-Fertigware (rechts)

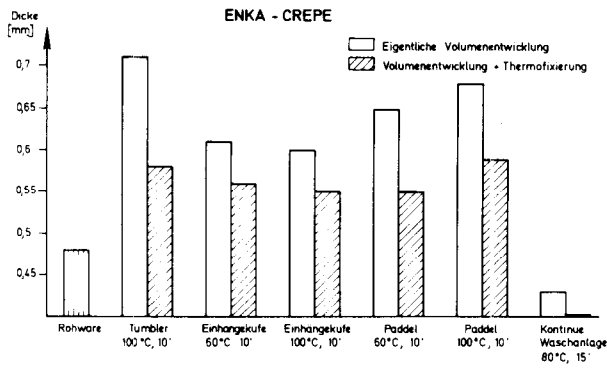


Abb. 7: Einfluß verschiedener Behandlungen auf die Entwicklung des Volumens bei Kettenwirkware aus ENKA CRÉPE®

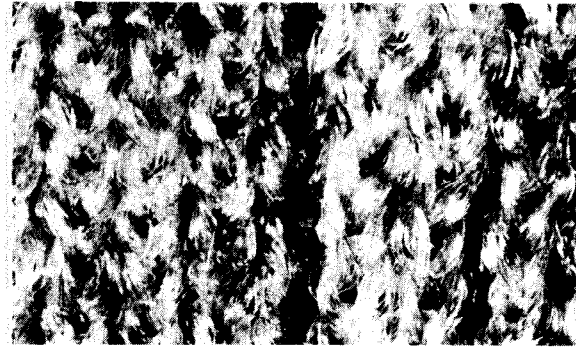


Abb. 9: EMERA®-Fertigware — gut (links), ungenügend (rechts)

lung technologisch durch eine Dickenmessung erfaßt werden kann. So sind beispielsweise Fälle bekannt, bei denen bei gleicher Ausgangsware und gleichem Flächenschrumpf doch Volumenunterschiede festgestellt werden konnten, was sich dann im Griff deutlich auswirkte.

Die Abbildungen 7 und 8 veranschaulichen das Ergebnis von Dickenmessungen an Artikeln mit variiertem Vorbehandlung. Sie lassen erkennen, daß zur Erzielung einer optimalen Qualität alle vier weiter vorne genannten Voraussetzungen in einer Maschine erfüllt sein müssen. Bei der Behandlung auf einer nicht geeigneten Kontinueanlage mit ungenügender mechanischer Bearbeitungsmöglichkeit wurde zum Beispiel ein Warenausfall erzielt, der unter dem Niveau des Ausgangsstoffes lag.

Abbildung 9 demonstriert ein optimales und ein ungenügendes Resultat.

Aus den geschilderten Erkenntnissen heraus werden diese Artikel bis heute vorzugsweise diskontinuierlich auf Düsenfärbearbeiten, Aggregaten vom Typ Over-flow oder sogar noch auf klassischen Haspelkufen ausgerüstet. Zwar ist der Wunsch, kontinuierlich zu arbeiten, groß, mit der kontinuierlichen Arbeitsweise konnte jedoch bisher kein diskontinuierlicher Ausfall — auch nicht annähernd — erhalten werden. Mitentscheidend für den Mißerfolg auf kontinuierlichen Maschinen sind nach den getroffenen Beobachtungen schon geringe Zugbeanspruchungen beim Spülen und/oder beim Maschinenauslauf, selbst

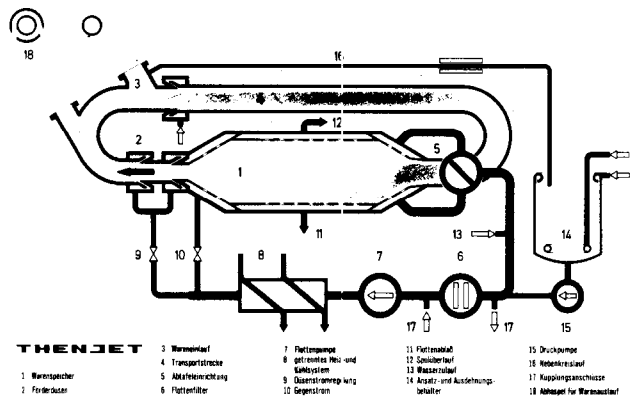


Abb. 10: Gerät zur Schrumpfauslösung — Then-Jet

wenn zuvor eine gute Volumenentwicklung im eigentlichen Schrumpfabteil stattfand. Dies ist darauf zurückzuführen, daß solche Stoffe in zwar entwickeltem, aber noch nassem und nicht stabilisiertem Zustand gegenüber Zugbeanspruchungen besonders empfindlich sind. Deshalb stellt auch der Ausrüster an den Maschinenbauer die Forderung, Anlagen zu konzipieren, die eben die geforderte extrem niedrige Zugbeanspruchung besitzen.

Bei der praktizierten diskontinuierlichen Arbeitsweise ergab sich, daß eine Reihe von Maschinen durchaus geeignet ist, einen optimalen Ausfall herauszufahren. So sind zum Beispiel unter den vollgefluteten Jet-Anlagen nach den gemachten Erfahrungen solche

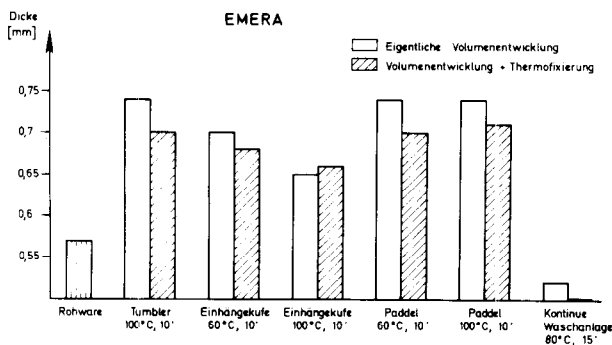


Abb. 8: Einfluß verschiedener Behandlungen auf die Entwicklung des Volumens bei Kettenwirkware aus EMERA®

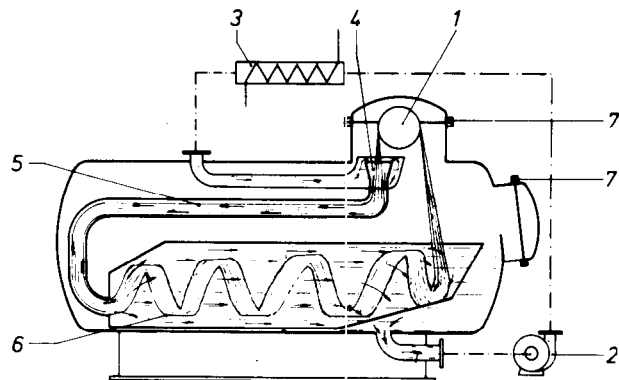


Abb. 11: Gerät zur Schrumpfauslösung — Over-flow

mit horizontalem Warenspeicher auf Grund des geringeren Packungsgewichtes gut geeignet (Abb. 10).

Des weiteren haben sich HT-Färbeanlagen mit schonender Warenoberflächenbeanspruchung als vorteilhaft erwiesen. Auf diesen Aggregaten erfolgt gleichzeitig mit der Volumenentwicklung der Färbeprozess (Abb. 11).

Da diese Polyamidartikel nicht HT-gefärbt werden, sind auch Maschinenkonstruktionen zu beachten, die allein schon von der Investition her interessant erscheinen. Abbildung 12 gibt ein Beispiel dieser Maschinengruppe.

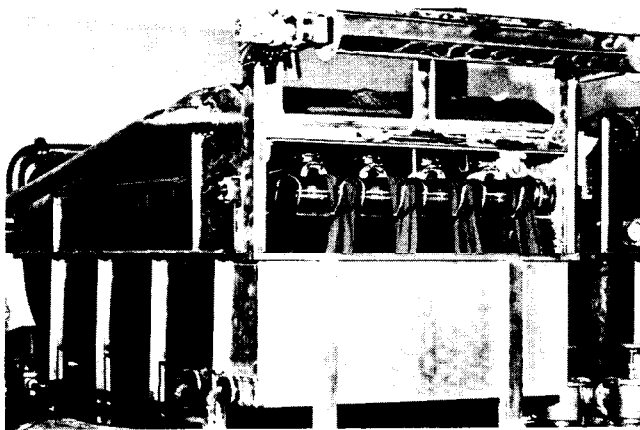


Abb. 12: Gerät zur Schrumpfauslösung — Multinello-Jet

Beim Zusammenfassen der gemachten Ausführungen über die Ausrüstung von ENKA CRÉPE®- und EMERA®-Artikeln lassen sich die in den Abbildun-

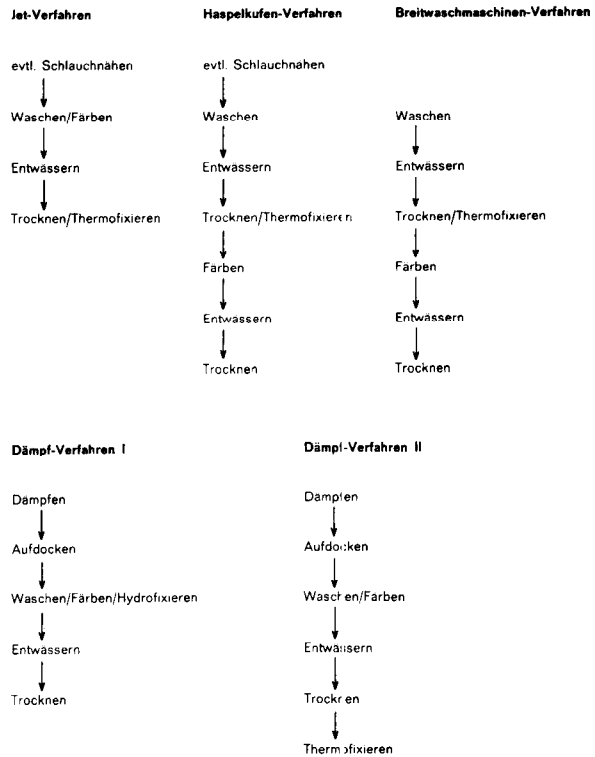


Abb. 14: Ausrüstungsschemata für Kettenwirkware aus EMERA®

gen 13 und 14 skizzierten Schemata aufstellen. Bei ihrer Realisierung gilt es jedoch, die deutlich herausgehobenen Schwerpunkte gewissenhaft zu beachten.

Zusammenfassung

Aus den geschilderten Ergebnissen der Ausrüstung der Webware aus DIOLLEN BC® und Kettenwirkware aus ENKA CRÉPE® und EMERA® geht hervor, daß nur im Zusammenwirken von Ausrüster, Maschinenproduzent und Faserhersteller der echte Erfolg zu gewährleisten ist. Dies trifft insbesondere für Garn Typen zu, aus denen effektvolle Endartikel hergestellt werden sollen. Dabei kommt es jedoch darauf an, die Arbeitsweise auf den gewünschten Effekt einzustellen.

Diskussion

Mecheels: Sie sagten gerade, die zahnradgekräuselte Ware sei im nassen Zustand empfindlich. Wie verhält sie sich beim Waschen? Verzieht sie sich?

Kratzsch: Bei Ihrer Frage denken Sie wahrscheinlich an die Wäsche beim Gebrauch. Dann ist die Ware aber fixiert. Somit ist auch das Volumen fixiert. Mit anderen Worten: Es ergeben sich keine Probleme.

Herlinger: Wenn normal texturiertes Polyester plissiert ist, gehen die Falten nicht mehr heraus. — Wie ist dies bei den von Ihnen beschriebenen Garn Typen?

Kratzsch: Sie denken, wenn ich Sie recht verstanden habe, an Polyester, gekrumpft, und vergleichen es mit Polyester, texturiert. Unser Fall liegt anders. Das Entscheidende ist, daß zwar glatte Filamentgarne vorliegen, daß aber —

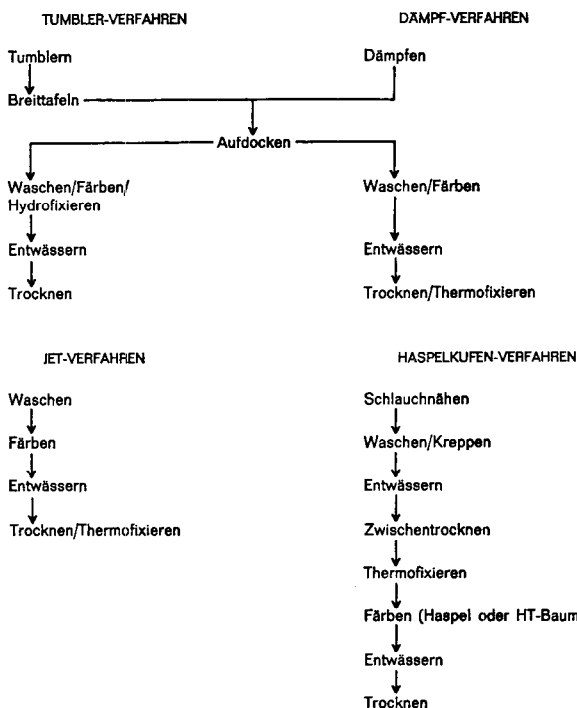


Abb. 13: Ausrüstungsschemata für Kettenwirkware aus ENKA CRÉPE®

sagen wir — die Hälfte der Filamente geschrumpft ist. Speziell bei langen flottierenden Bindungen, beispielsweise bei Satinbindung, verkürzt man nachher den Faden und schiebt ihn auf. Durch das damit verbundene Auf-schieben der anderen Filamente zu „kleinen Punkten“ ergibt sich der Griff. Der Daumen spürt die „kleinen Höcker“, was den bekannten rutschigen synthetischen Griff der glatten Filamentgarne „zerstört“.

Anonym: Bei dem „producer texturized yarn“ haben Sie die Behandlungstemperatur von 100° C angegeben, aber auch gesagt, daß eine Schockbehandlung zu einer unruhigen Oberfläche der Flächengebilde führt. Ich entnehme daraus, daß Ihre Angabe „bei 100° C“ beispielsweise für längere Aufheizzeiten gilt. — Habe ich Sie richtig verstanden, und wie lange sind gegebenenfalls die Aufheizzeiten?

Kratzsch: Die Angabe „10 Minuten“ bezog sich auf den zweiten Teil meines Referates: das zahnradtexturierte Polyamid in einer Wirkware. Die unruhige Oberfläche beobachteten wir am Gewebe aus dem Bischerumpfgarn. Die Unruhe ergab sich, weil beim schockartigen Eingehen bei Kochtemperatur völlig spannungslose Gewebe in 1:1-Bindung keine Zeit haben, ihre Spannungen auszugleichen und einzelne Bindungspunkte schlagartig herauschieben, was das Bild kraus macht. Wenn Sie Satinewebe herstellen, schieben sie keine Bindungspunkte, sondern Fäden. Deshalb, bitte, schrittweise vorgehen, dann bleibt die Oberfläche ruhig.

Anonym: Sie sprachen davon, daß bei der Naßbehandlung von Diolen BC Spannungen auftreten. Können Sie diese Spannungen in Zahlen ausdrücken?

Kratzsch: Wir haben einen klassischen, spannungsarm arbeitenden Jigger verwendet. Die Spannung kann ich Ihnen nicht präzise angeben. Wir haben in diesem Fall ganz empirisch gearbeitet.

Uhlinger: Was ist beim texturierten Polyester gefährlicher: zuerst die Spannung aufbauen und dann schrumpfen — oder umgekehrt?

Kratzsch: Bei welchem Material? Meinen Sie das Falschdraht- oder dieses mit Schrumpfdifferenzen? Das ist ganz entscheidend. Im einen Fall — beim „producer texturized yarn“ haben wir einen glatten Faden, der an sich gar kein Volumen hat und nie hatte. Beim falschdrahttexturierten Filamentgarn haben wir ein Material, das schon ein Volumen besitzt und in dem eine gewisse Spannung drinliegt. Ich habe es nur „ausgezogen“.

Spannungen aufbauen sollten wir eigentlich überhaupt nicht. Wir sollten sowohl im Webprozeß als auch im Ausrüstungsprozeß möglichst spannungsarm arbeiten. Ich weiß, daß es nicht geht, völlig spannungsfrei zu fahren, deshalb empfehle ich, möglichst spannungsarm zu arbeiten. Das ist in beiden Fällen Voraussetzung für eine gute Lösung.

Anonym: Wenn dieses Material in Polyamidschlauchware vorliegt, besteht dann die Gefahr, daß sich bei sehr hoher Temperatur in der Rohware Falten fixieren? Wie ist das zu beheben?

Kratzsch: Nehmen Sie jetzt den Fall der zahnradgekräuselten Polyamidware als Wirkware, schlauchgewirkt, an?

Anonym: Nicht schlauchgewirkt, sondern schlauchgestrickt. Sie kommt von der Strickmaschine herunter und soll auch als Schlauch bleiben. Es gibt ja Artikel, die im Schlauch verarbeitet werden. Wenn ich jetzt auf 100° C — wie vorher erwähnt — gehe, besteht die Gefahr, auch bei einer relativ langen Aufheizzeit — 10 Minuten sind auf jeden Fall zu wenig — Falten hineinzubekommen.

Kratzsch: Wir haben dieses Material als Schlauchstrickware nicht eingesetzt. Dies hat aber nichts mit dem von Ihnen und mit Recht erwähnten Umstand zu tun, sondern hängt damit zusammen, daß das Garn dort keinen Vorteil bringt. In der Schlauchstrickware gibt klassisch texturiertes Polyester das richtige Volumen.

Heinen: Geben Sie diesem Garn eine Chance zum Einsatz im Teppich? Wenn ja, wo soll dann der Schrumpfprozeß erfolgen? Ich könnte mir vorstellen, daß es interessiert, ein noch geschlosseneres Warenbild im Tuftingsektor zu erreichen.

Kratzsch: Bei Teppichgarnen handelt es sich um ganz andere Garnfeinheiten. Ich habe über Garne zwischen

44 und 78 dtex vorgetragen. Die Teppichgarne liegen zwischen 1000 und 3000 dtex. — Im Prinzip führen Sie aber auch dort einen Stauchkräuselprozeß durch und erhalten Zick-Zack-Bögen.

Eine geschlossenerere Oberfläche erhalten Sie demzufolge auch mit angemessen groben Garnen beim Tuftingteppich nicht.

ING. GOTTFRIED TSCHAMLER

POSTFACH 134

DÖBLINGER GÜRTEL 3

A-1191 WIEN

TELEFON 34 66 65

TELEX 07-5364

● TEXTILTECHNISCHES BÜRO

● SCHWEIZER TEXTILMASCHINEN

Färben und Bedrucken von Transferpapier mit Hilfe des Magnetrollsystems

Heinrich Hartmann
 Maschinenfabrik Johannes Zimmer, Klagenfurt

Einleitend erläutert der Autor den terminus technicus „Transferdruck“ und zeigt dessen Vorteile in bezug auf den Umweltschutz gegenüber anderen Verfahren, wobei er sich mit den Problemen Abwasser und Abgas beim Direktdruck befaßt. Nach einer Betrachtung des Bedruckens und Färbens von Transferpapier nach den üblichen Methoden wendet er sich insbesondere der mit Hilfe des Magnetrollsystems zu.

Direktdruck und Transferdruck werden abschließend in drucktechnischer wie ökonomischer Hinsicht miteinander verglichen.

At the beginning the author explains the technical term „transfer printing“ and demonstrates its advantages over other processes as far as pollution control is concerned by discussing the problems of waste water and air-pollution in direct printing. After dealing with printing and dyeing of transfer-paper according to the conventional methods, he particularly considers the method using the magnet-roll system.

Direct printing and transfer printing are finally compared both in technical and economic respects.

Das Leitmotiv dieser Tagung ist die immer dringender werdende Forderung des Umweltschutzes — auch für die Textilindustrie. In diesem Rahmen ist es sicher interessant, das Thema „Transferdruck von Textilien“ — wenn auch nur als kleinen Beitrag — in den Raum zu stellen und zu untersuchen. Als Basis unserer Ausführungen lassen Sie uns zuerst auf die Frage eingehen:

Was ist Textil-Transferdruck?

Wie der Name bereits zum Ausdruck bringt, handelt es sich um ein Druckverfahren durch Übertragung, also um ein sogenanntes indirektes oder Umdruckverfahren.

Wie jedes Umdruckverfahren, so ist auch der Transferdruck zweistufig. In der ersten Stufe wird geeignetes Papier, das als Trägermaterial dient, mit speziellen Farbstoffen bedruckt oder eingefärbt. Im zweiten Arbeitsgang, in der zweiten Stufe, der zeitlich und eventuell auch räumlich von der ersten Stufe getrennt durchgeführt werden kann, erfolgt dann die Übertragung des am Papier aufgedruckten Musters oder der Färbung auf das Textil. Diese Übertragung geschieht in der Regel durch eine 30 Sekunden dauernde Hitzeeinwirkung bei 205 ° C, wobei Papier und Textil in engen Kontakt miteinander gebracht werden.

Was dieses Verfahren von anderen Umdruckverfahren prinzipiell unterscheidet, ist der Umstand, daß die aufgedruckten Farbstoffe unter obigen Übertragungsbedingungen vom Papierträger wegdampfen, sublimieren und in das entsprechende Textilmaterial hin-

eindiffundieren und sich darin auflösen. Dies erklärt das für den unbefangenen Beobachter erstaunliche Phänomen, daß die am Papier aufgedruckten Farbtöne stumpf und matt aussehen, während sie nach der Übertragung auf das Textil gleichsam zu leben beginnen, leuchtend und brillant werden (Abb. 1).

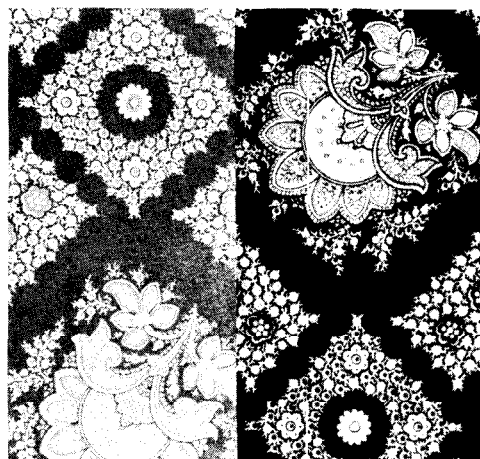


Abb. 1: Bedrucktes Papier (links) — derselbe Druck auf ein Textil übertragen (rechts)

Wo liegt nun in diesem Verfahren der wesentliche Punkt in bezug auf den Umweltschutz?

Man kann sagen, daß es mehrere wesentliche Punkte sind, die über beide Verfahrensstufen verteilt sind. Es soll nun versucht werden, diese jeweils — auch von der technologischen Sicht her — herauszuarbeiten.

Technologisch gesehen, liegt das Schwergewicht beim Transferdruck in der ersten Verfahrensstufe, also beim Bedrucken des für die Übertragung notwendigen Papiers. Die mit dem Papier- oder dem Textildruck „vorbelasteten“ Zuhörer werden aus eigener Erfahrung wissen, daß der Druck — als schwierigstes Veredlungsverfahren —, egal auf welchem Material er ausgeführt wird, immer Probleme mit sich bringt. In den letzten Jahren gehört auch der Umweltschutz hier mit dazu. Aus dieser Problematik heraus sind

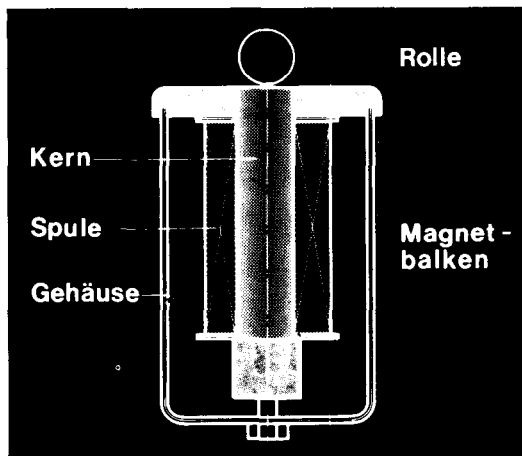


Abb. 2: Schema einer Magnetrolle

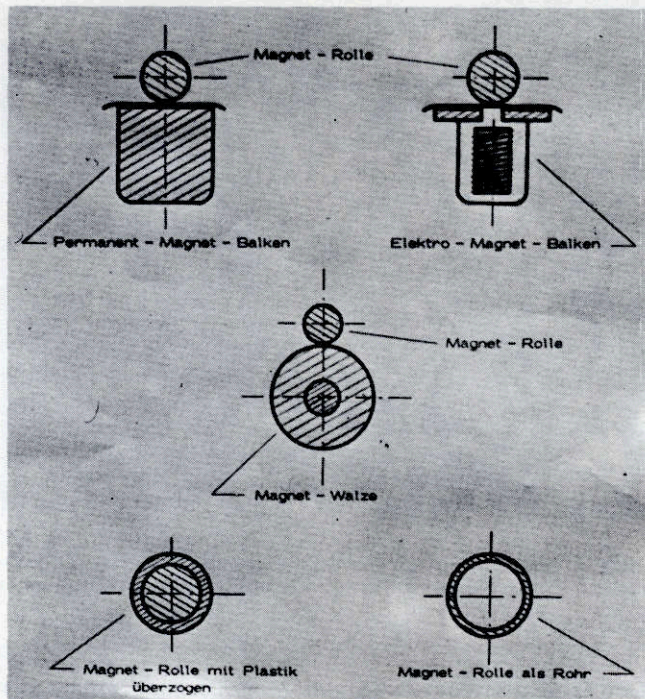


Abb. 3: Anwendungsmöglichkeiten des Magnetrollsystems

denn auch in bezug auf den Transferpapierdruck neue zukunftsweisende Applikationsmethoden und Drucktechnologien entstanden, die für den Umweltschutz sehr wesentlich sind.

Ich spreche hier vom Bedrucken des Transferpapiers mit Rundschablonen im allgemeinen und vom Druck solcher Papiere mittels Rundschablonen und dem Magnetrollsystem im besonderen. Der Rundschablonendruck auf Papier mit dem Magnetrollsystem als Farbauftragungselement ist auch unter der markenrechtlich geschützten Bezeichnung „Rotascreendruck“ am Markt eingeführt.

Während das Prinzip des Rundschablonendruckes als bekannt vorausgesetzt werden darf, möchte ich doch die Funktion des Magnetrollsystems in den Grundzügen umreißen. Ich werde dabei auch auf die neue-

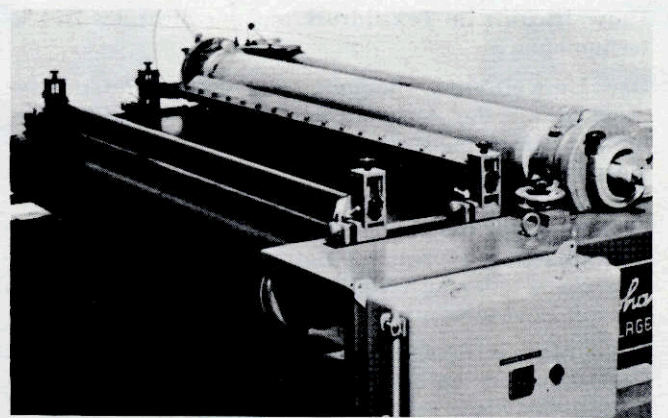


Abb. 5: Beschichtungsaggregat

sten Entwicklungen im Bereich dieses bewährten Farbauftragungssystems zu sprechen kommen.

Was ist und wie wirkt das Magnetrollsystem?

Das Magnetrollsystem ist eine Funktionseinheit zweier Komponenten. Diese Komponenten sind:

- 1. ein Permanent- oder Elektromagnetsystem und
- 2. eine Rolle aus magnetisierbarem Material (Abb. 2).

Im dynamischen Zusammenwirken beider Komponenten ergeben sich eine Vielzahl von praktischen Anwendungsmöglichkeiten (Abb. 3). Aus Rolle, Substrat und Magnetsystem erhält man so je nach Anordnung verschieden wirkende Konzeptionen.

Typische Vertreter sind beispielsweise unser Magnetwalzenfoulard (Abb. 4) oder unser Beschichtungsaggregat (Abb. 5).

Aus der Konzeption Rundschablone/Rolle/zu bedruckendes Material/Druckunterlage/Magnetsystem ergibt sich ein Druckwerk für den Druck von Transferpapier (Abb. 6). Damit können auch mit einer vollkommen perforierten Rundschablone Vollflächendrucke für Färbungen nach der Transferdruckmethode durchgeführt werden. Mehrere Druckwerke hintereinandergeschaltet, ergeben eine Druckmaschine für den Transferdruck.

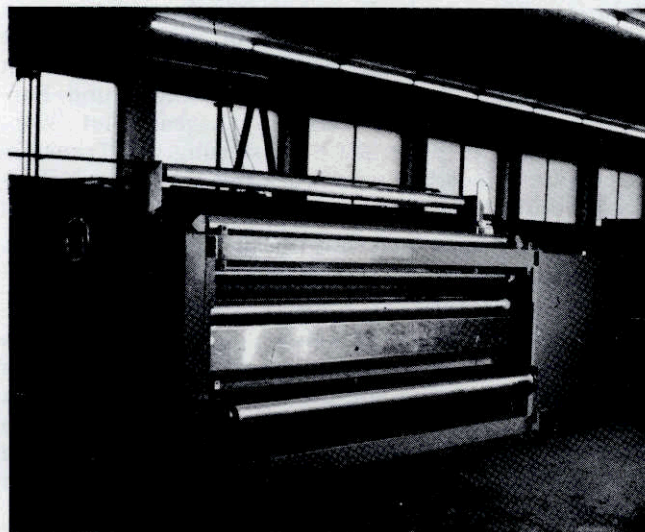


Abb. 4: Magnetwalzenfoulard

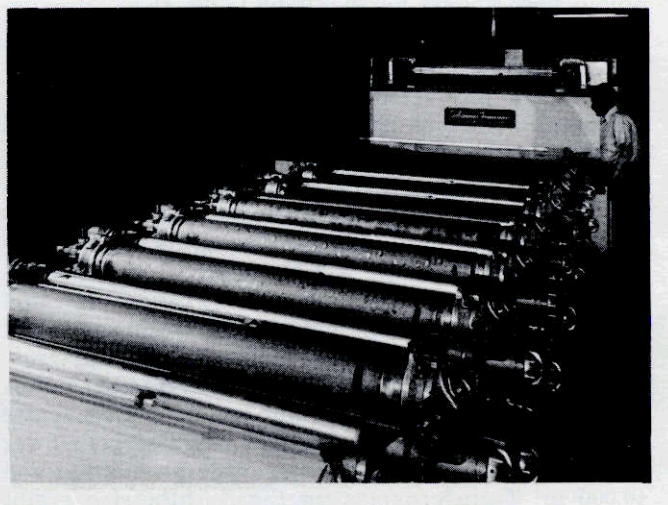


Abb. E: Druckwerk für das Bedrucken von Transferpapier

Umweltschutz im Textildruck aus der Sicht des Drucktechnologen

Der Umweltschutz beginnt, aus dieser Perspektive gesehen, mit der Auswahl der richtigen Drucktechnik, die für das zu bedruckende Material geeignet ist. Eine wesentliche Komponente der Drucktechnik ist jedoch die Art der Auftragung der erforderlichen Druckpastenmenge, das heißt mit anderen Worten, welche Druckmaschinentypen im Betrieb zur Verfügung stehen. Sie werden sich vielleicht fragen: „Was hat denn das mit Umweltschutz zu tun?“

Ein einfaches Beispiel soll diese Frage beantworten. Viele Druckereien bedrucken heute zum Beispiel Fellimitate. Meistens soll bei diesen Qualitäten der Faserflor bis zum Boden durchgefärbt sein. Man kann nun diesen Anforderungen gerecht werden, indem man durch oftmaliges Rakeln (z. B. mit einer Streich rakel) den Faserflor einfach mit Farbe füllt. Man kann jedoch das gleiche Substrat mit dem Magnetrollsystem so bedrucken, daß durch die Pression der Rolle eine große Tiefenwirkung erzielt wird. Bei dem ersten Druckverfahren beträgt der Druckpastenauftrag zirka 200 %, im zweiten Fall nur ca. 100% vom Warengewicht.

Es liegt auf der Hand, daß der im ersten Fall aufgebrauchte Farbüberschuß nicht nur die Trocknerabluft und das Waschwasser schwer belastet, sondern auch die Quantität des Waschwassers stark erhöhen wird.

Sie sehen hier den direkten Zusammenhang zwischen der Wirkungsweise des Farbauftragssystems und dem Umweltschutz. Aus diesem Grund ist hier ein Hinweis auf die vorhin angekündigte Neuentwicklung im Bereich des Magnetrollsystems notwendig.

Das neu entwickelte Farbauftragssystem für den Rundschablonendruck ermöglicht dem Drucktechniker eine maximale Abstimmung des Rakelsystems auf die zu bedruckende Warenqualität.

Dies ist ein Umstand, der für den Umweltschutz im Textildruck — wie wir gesehen haben — von sehr großer Bedeutung ist. Bisher mußte sich der Druckereileiter nämlich fragen: „Drucke ich diese Qualität besser auf der Streich rakel- oder auf der Magnetroll rakelmaschine?“ — Diese Frage ist jetzt hinfällig geworden, denn das neue Farbauftragssystem schließt beide Möglichkeiten in sich ein und eröffnet darüber hinaus noch andere Perspektiven (Abb. 7).

Abbildung 7 zeigt zur Illustration des eben Gesagten Drucke auf Polyestergewirke im Rundschablonen-Direktdruck mit verschiedenen Varianten des neuen Magnetrakelsystems bei gleicher Geschwindigkeit und gleicher Druckpasteneinstellung.

Durch die Anwendung dieser besonderen neuen Technik ergeben sich auch neue Perspektiven im Transferpapierdruck. Im Rundschablonendruck von Transferpapier wurden bisher mit Magnetrolle oder Streich rakel Druckpastenauftragswerte zwischen 17 und 25 g/m² gemessen. Mit dem neuen Farbauftragssystem werden im Rundschablonendruck erstmals Auftragsmengen von 7 bis 10 g/m² möglich gemacht. Damit wird praktisch eine Einsparung von 10 g Druckpaste pro Quadratmeter erzielt. Bei einem Wassergehalt der Druckpaste von 80% und einer Tagesproduktion von 40.000 m² Transferpapier im Einschichtbetrieb ergibt sich, daß die Trocknerabluft täglich um 320 kg Wasser entlastet wird.



Abb. 7: Varianten mittels Magnetrakelsystem beim Rundschablonen-Direktdruck auf ein Polyestergewebe

Der Druckpastenauftrag von 7 bis 20 g/m² entspricht etwa den Auftragswerten, die im Flexodruckverfahren üblich sind. Flexodruck und auch Tiefdruck sind ja bekanntlich die heute noch zum großen Teil benutzten Druckverfahren für Transferpapier. Leider arbeiten diese Verfahren jedoch mit rein lösemittelhaltigen Druckpasten, sodaß diese Druckverfahren vom Standpunkt des Umweltschutzes aus als nicht ideal bezeichnet werden müssen. Dem Rundschablonendruck blieb es vorbehalten, hier eine entscheidende Wendung einzuleiten.

Wir wurden bereits sehr früh mit der prinzipiellen Entscheidung konfrontiert: Rundschablonendruck auf Papier mit lösemittelhaltigen oder mit wäßrigen Druckpasten? (Es ging damals um den Tapetendruck — vom Transferpapierdruck war noch keine Rede.)

Unsere Entscheidung, mit wäßrigen Druckpasten auch auf Papier zu arbeiten, hat sich, auf lange Sicht gesehen, als richtig erwiesen. So hatten wir dann auch, als wir mit der Entwicklung des Transferpapierdruckes begannen, bereits viele Erfahrungen auf diesem Gebiet sammeln können, und was noch vor einigen Jahren in Kreisen des Transferpapierdruckes niemand für möglich gehalten hatte, ist in der Zwischenzeit Tatsache geworden: In enger Zusammenarbeit von Papierfabriken, Druckmaschinenherstellern und Farbenfabriken ist eine Technik ausgearbeitet worden, die es ermöglicht, die Bemusterung von Transferpapier im Rundschablonendruck mit wäßrigen Druckpasten durchzuführen.

Daher kann erst jetzt mit Recht von der Umweltfreundlichkeit des Transferdruckes in der ersten Verfahrensstufe gesprochen werden.

Bei Gesprächen und Diskussionen über das Thema „Transferdruck und Umweltschutz“ taucht auch ab und zu eine Meinung auf, die ich hier kurz besprechen möchte. Es heißt dann zum Beispiel: „Was wollen Sie denn mit Transferdruck und Umweltschutz? Sehen Sie sich doch an, wie Papier hergestellt wird! Da kann doch von Umweltfreundlichkeit keine Rede sein!“

Sehr geehrte Damen und Herren, so pauschal gesehen, ist dies natürlich richtig. Jedoch trifft dies nicht nur

für die Papierfabrik zu, sondern auch für jene Anlagen, die den Rohstoff für die Polyesterfaser herstellen; also für jenes Material, auf welchem der Transferdruck vorwiegend praktiziert wird!

Die Vertreter dieser Meinung lassen jedoch noch zwei andere wichtige Punkte unberücksichtigt:

- Erstens ist der Ausstoß einer Papierfabrik sicher ausreichend, um sämtliche Transferpapierdrucker eines Landes mit Papier zu versorgen. Die umweltstörenden Faktoren treten in diesem Fall — geographisch gesehen — nur an einer bestimmten Stelle in Erscheinung und nicht — wie im Falle des Textildirektdruckes — an vielen Orten eines Landes.
- Zweitens ist bekannt, daß für die Nachbehandlung von Polyestergeweben oder Gewirken, die im Direktdruck bemustert wurden, sehr große Wassermengen erforderlich sind. Im Durchschnitt benötigt man ca. 45 Liter Wasser pro m² bedruckten Polyesterstoff. Für die Herstellung von 1 kg Transferpapier werden ca. 40 Liter Wasser benötigt. Da 1 m² Transferpapier 70 g wiegt, erhält man aus 1 kg Papier ca. 14 m² Transferpapier. Das bedeutet, daß für die Herstellung von 1 m² Transferpapier — mit dem man nach dem Bedrucken 1 m² Polyesterstoff bemustern kann — nur 2,8 Liter Wasser braucht.

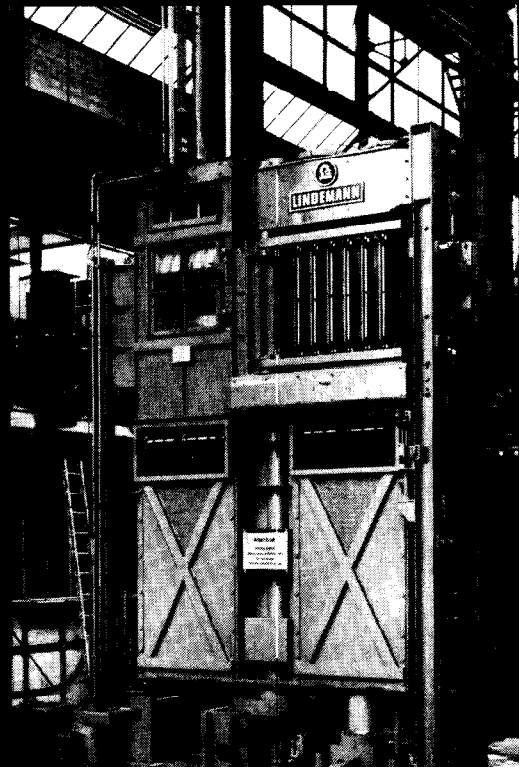
Aus dieser Tatsache geht hervor, daß im Direktdruck von Polyestergeweben oder -gewirken ca. 15mal soviel Abwasser entsteht wie beim Transferdruckverfahren.

Es würde im Rahmen dieses Vortrages zu weit führen, das Problem "Air-Pollution" in diesem Zusammenhang anzuführen bzw. Vergleiche zu ziehen zwischen Direktdruck und Transferdruck.

Schlußbetrachtung

Auf Grund neuer zukunftsweisender Drucktechnologien im Zusammenhang mit dem Magnetrollsystem ist es in Zusammenarbeit mit Papierherstellern und Farbenfabriken gelungen, den Transferdruck von Textilien zu einem umweltfreundlichen Druckverfahren zu machen. Der Transferdruck weist also aus der Perspektive des Umweltschutzes entscheidende Vorteile gegenüber dem Textildirektdruck auf.

ober- und unter- druck



Wir bauen Ballenpressen in zwei Grundtypen: Oberdruck- und Unterdruckpressen. Beide haben vieles gemeinsam. Beide vereinigen jahrzehntelange Erfahrungen in sich und sind nach modernsten Gesichtspunkten gebaut.

Aus den ersten Pressen für Naturfasern über weitere für Kunstfasern entwickelten sich die heutigen modernen Ballenpressen für Chemiefasern, die den Forderungen für weitgehend automatischen Betrieb entsprechen. Die abgebildete Presse, Modell BUDOM 10 L, hat eine Preßkraft von 215 t. Die Vorpressung erfolgt von oben, die Fertigpressung von unten.

Diese Presse kann auch mit vollautomatischer Bandverschürung ausgerüstet werden.

Fragen Sie nach weiteren interessanten Modellen, oder fordern Sie unseren ausführlichen Prospekt an.

LINDEMANN KG



4000 Düsseldorf, Erkrather Str. 401, Postfach 5229
Telefon: (02 11) 2 10 51, Telex: 08 581 318

Die Färbung von Polyamidfasern nach dem Ausziehverfahren auf der Basis neuer Erkenntnisse

Fritz Lesszinsky
BAYER AG, Leverkusen

Unter diesem Thema wird ein Verfahren beschrieben, mit dessen Hilfe das Färben von Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen nach dem Ausziehverfahren sicher und wirtschaftlich gestaltet werden kann. Nach der Beschreibung der mehr theoretischen Zusammenhänge, die im Färbesystem Säurefarbstoff/Polyamid zu beachten sind, wird die Möglichkeit aufgezeigt, diese Vielzahl entscheidender Faktoren in eine für die Praxis nutzbare und einfach anzuwendende Form zu überführen. Hierzu werden sowohl farbstoff- als auch faserspezifische Kenngrößen und darüberhinaus der Einfluß farbstoffaffiner Hilfsmittel auf die Kombinierbarkeit der Säurefarbstoffe berücksichtigt. Das Ergebnis sind sogenannte Kombinations- bzw. Kreisdiagramme, aus denen die für einen optimalen Färbeablauf notwendigen Daten abgelesen werden können.

This article describes a process, with the aid of which the dyeing of polyamide fibres with acid dyestuffs can be carried out reliably and economically. After describing the rather more theoretical connections which have to be considered in the acid dyestuff/polyamide dyeing system, the possibility is presented of converting these many essential aspects into a form which is both useful and simple to apply. In addition, consideration is given to factors relating specifically to the dyestuffs and fibres. Also dealt with is the influence exerted by auxiliaries having affinity for the dye on the combination possibilities of the acid dyestuffs. This results in the so-called combination or circular diagrams from which it is possible to read off the data needed for an optimum dyeing process.

Betrachtet man das Färben von Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen nach dem Ausziehverfahren — wie es heute in der Praxis gehandhabt wird — aus der Sicht des Verfahrenstechnikers, so kann man ohne Übertreibung sagen, daß die Polyamidfärberei im Gegensatz zur Acryl- bzw. Polyesterfärberei immer noch ein ziemlich unbeschriebenes Blatt in der Synthesefaserfärberei ist. Dies ist letzten Endes dadurch zu erklären, daß die bisher durchgeführten und veröffentlichten Untersuchungen, die sich mit dem Mechanismus des Färbens von Polyamiden mit Säurefarbstoffen befaßt haben, doch ziemlich kompliziert waren und keine direkte Beziehung zur Praxis zeigten. Sie gaben dem Praktiker im Endeffekt eine ziemlich begrenzte Anleitung zum Handeln. Das heißt, Färbungen auf Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen aus langer Flotte ließen sich auf Grund zahlreicher Einflußgrößen, deren Auswirkungen nicht hinreichend überschaubar waren, nur nach allgemeinen Richtlinien oder auf der Basis eigener Erfahrungen durchführen.

Es kann zwar gesagt werden, daß die Entwicklungen geeigneter Farbstoffe und Hilfsmittel entscheidend mit dazu beigetragen haben, eine Vielzahl von Schwierigkeiten in der Polyamidfärberei aus dem Wege zu räumen, aber jeder, der sich Tag für Tag mit dem

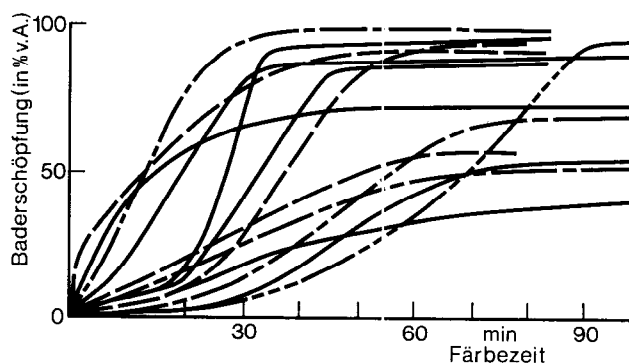


Abb. 1: Aufziehkurven von Säurefarbstoffen auf Polyamid (Streubereich von Fraxisfärbungen)

Färben von Polyamidfasern beschäftigt, kann bestätigen, daß es doch hin und wieder zu Problemen kommt, die keinen einwandfreien Färbeablauf erwarten lassen. Derartige Färbungen erreichen weniger in ihrer Qualität, aber auf jeden Fall in ihrer Wirtschaftlichkeit nicht das Optimum, das eigentlich nach Waren- und Maschinenart zu erwarten gewesen wäre.

Inwieweit gerade die Wirtschaftlichkeit beim Färben von Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen oft noch zu wünschen übrig läßt, zeigen Messungen von Aufziehkurven an Kreuzspul- und Baumfärbeapparaten sowie an Haspelkufenfärbungen in verschiedenen Betrieben.

Abbildung 1 zeigt deutlich die großen Streuungen und Abweichungen von einem anzustrebenden Optimum.

Bei Betrachtung der Abbildung 2 wird verdeutlicht, welche Fehler im einzelnen gemacht werden können:

- zu schnelles Aufziehen der Farbstoffe (Kurve 2) — Gefahr für die Egalität;
- zu langsames Aufziehen (Kurve 3) — Zeitverlust;
- unzureichende Endbaderschöpfung (Kurve 3). Dies bedeutet unnötige Abwasserbelastung, schlechte Reproduzierbarkeit und unkontrolliertes Nachziehen der Farbstoffe beim Abkühlen der Färbeflotte. Darüberhinaus ist beim Einsatz von Farbstoffen unterschiedlicher Affinität eine erhöhte Neigung zu Blockierungen gegeben;
- lange Totzeit vor Beginn des Aufziehvorganges (Kurve 4), dies bedeutet wiederum Zeitverlust;
- große Anfangsadsorption der Farbstoffe durch zu hoch gewählte Starttemperatur (Kurve 5) — Gefahr für die Egalität;

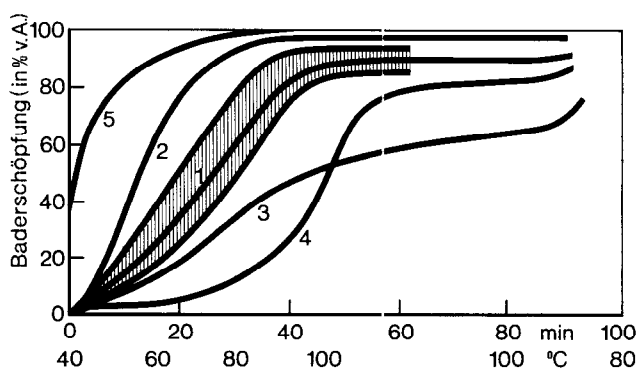


Abb. 2: Aufziehkurven von Säurefarbstoffen auf Polyamid (idealer Bereich: schraffiert)

- Einsatz von Farbstoffen, die nach Art der Kurven 2 und 4 aufziehen, das heißt schlecht kombinierbare Farbstoffe. Dies bedeutet wiederum Gefahr für die Egalität.

Insgesamt gesehen, ist das Resultat all dieser Punkte immer das gleiche, nämlich mangelhafte Egalitätserwartungen und ungenügende Wirtschaftlichkeit.

Anzustrebendes Ziel ist eine Färbemethode, bei der die Farbstoffe so aufziehen, wie es mit der schraffierten Aufziehkurve 1 dargestellt ist. Das heißt, die Farbstoffe sollen von Anfang an mit gleichbleibender Geschwindigkeit und ohne Zeitverlust vom Färbebeginn an bis zu der gewünschten Endbaderschöpfung aufziehen. Dabei soll die Egalität der Färbung an jedem Punkt dieser Aufziehkurve gegeben sein.

Wenn man versucht, eine Färbemethode auszuarbeiten, bei der die Farbstoffe analog der Aufziehkurve 1 aufziehen sollen, sind letztlich fünf Punkte zu beachten, durch die ein derartiger Färbeverlauf charakterisiert wird. Im einzelnen sind dies folgende Faktoren:

1) Der Beginn des Färbeprozesses

Durch die Wahl der richtigen Starttemperatur werden sowohl Totzeiten als auch zu hohe Anfangsadsorption vermieden.

2) Die Steilheit der Aufziehkurve

Sie ist ein sichtbares Zeichen der Färbegeschwindigkeit, die durch die Wahl der richtigen Temperatursteigerungsrate in °C/min festgelegt werden muß.

3) Die Bandbreite der Aufziehkurve

Sie stellt eine Aussage über die Kombinierbarkeit der Farbstoffe dar. Bei der Optimierung des Färbeprozesses muß diese Bandbreite in engen Grenzen gehalten werden, das heißt, bei Kombinationsfärbungen sollten die Farbstoffe möglichst Ton-in-Ton auf die Faser ziehen.

4) Die Endbaderschöpfung

Sie wird über den eingestellten pH-Wert des Färbebades erreicht und muß in einem möglichst engen Bereich liegen, um optimale Reproduzierbarkeit der Färbungen zu gewährleisten.

5) Die Färbezeit bei Maximaltemperatur

Sie ist letztlich so zu wählen, daß eine Durchfärbung der Faser und die Stabilisierung des Farbtones erzielt wird.

Im folgenden soll nun beschrieben werden, wie diese Faktoren bestimmt und zu einem systematischen Färbeverfahren zusammengefügt werden können.

Wie bereits angedeutet, ist es zur Erzielung einer optimalen Aufziehkurve unbedingt notwendig, bei Kombinationsfärbungen nur solche Farbstoffe einzusetzen, die in ihrem Aufziehverhalten ähnlich oder gleich sind, das heißt annähernd oder vollkommen Ton-in-Ton auf die Polyamidfaser aufziehen. Die Vorhersage über das Aufziehen der Farbstoffe untereinander setzt jedoch voraus, daß ihr Kombinationsverhalten bekannt ist.

Genau wie in der Acrylfärberei ist das Problem **Kombinierbarkeit** der Farbstoffe auch in der Polyamid-

färberei gelöst worden, nämlich mit Hilfe von sogenannten Kombinationskennzahlen, kurz K-Wert genannt. Jedem Säurefarbstoff ist eine Kombinationskennzahl zugeordnet worden, die zum Beispiel bei den monofunktionellen Farbstoffen vom Typ der [®]Telonlicht- und [®]Telonecht A-Farbstoffe zwischen 1 und 6 liegen kann. Diese K-Werte geben also an, inwieweit Farbstoffe miteinander kombiniert werden können. Gleicher K-Wert bedeutet dabei kombinierbar, bei unterschiedlichem K-Wert zieht der Farbstoff mit kleinerem K-Wert vor^{1,2}.

In der folgenden Tabelle (Tab. 1) sind diese K-Werte in der zweiten Spalte aufgeführt. Durch die Querstriche ist gleichzeitig auch angedeutet, daß die praktisch bewährten Kombinationsfarbstoffe auch tatsächlich in ihren K-Werten weitgehend übereinstimmen.

Tabelle 1: Kennzahlen von [®]Telon-Farbstoffen

Farbstoff	f	K	K ₁ unter 1% Farbstoff bei einem Angebot von Levegal FTS von			K ₂ über 1% Farbstoff bei einem Angebot von Levegal FTS von			Arel.
			0,5%	1,0%	2,0%	0,5%	1,0%	2,0%	
Telonlicht -									
gelb NG	0,49	6	3,5	3,5	3	5	4,5	4	0,42
rot BL	0,44	5,5	4	3	2,5	4,5	4	3,5	0,20
blau BN	0,44	5	3	2,5	2	4	3,5	3	0,32
gelb FG 200%	0,64	4,5	2	1,5	1	3	2,5	2	0,46
goldgelb GL	0,37	4	2	1,5	1	3	2,5	2	0,62
rot FRL	0,44	3,5	2,5	2	2	3	3	2,5	0,58
violett 4B	0,70	4,5	2,5	2,5	1,5	3,5	3	2,5	0,17
blau GGL	0,34	4	2	2	2	3	2,5	2,5	0,51
blau RR	0,45	3,5	2	2	2	3	2,5	2,5	1,00
gelbbraun 3G	0,22	4,5	2	2	1	3,5	3	2	0,59
gelb NL	0,40	2,5	2,5	2	2	2,5	2,5	2,5	1,3
rot FBL	0,29	3	2,5	2,5	3	3	3	3	1,5
blau AN	0,54	3	1,5	1,5	1	2,5	2	2	1,0
Telonecht -									
scharlach A 4GL	0,26	3,5	2,5	3	3,5	3,5	4	4	5,1
rot AFG	0,31	3,5	2,5	2,5	3	3,5	3	3	1,6
violett A 2B	0,14	4,5	3	3	3,5	4	4	4	1,5
blau A 3GL	0,18	4	3	3	3,5	4	4	4	2,1
gelb A 2RL	0,25	2	1,5	2	2,5	2	2,5	2,5	3,4
orange AGT	0,27	2	2,5	3	3,5	3	3	3,5	7,3
rubin A 5BL	0,34	2,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	4,2
blau AFN	0,28	2	1,5	2	2,5	2	2,5	2,5	5,2
blau ARW	0,31	3	2,5	2,5	3	3	3	3	3,0
gelb ARL	0,28	1	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	6,5

Neben coloristischen Eigenschaften, wie Neutralziehvermögen, Naechtheiten und Migriervermögen, geben also die K-Werte in erster Linie über das Aufziehverhalten eines Farbstoffes gegenüber anderen Auskunft. Diese Aussagen über das Kombinationsverhalten haben ihre Gültigkeit jedoch nur im anionischen System, das heißt, wenn zum Beispiel ohne oder mit einem faseraffinen Hilfsmittel gefärbt wird.

Es sind jedoch hauptsächlich nichtionogene Hilfsmittel, die zum Färben von Polyamidfasern herangezogen werden, und zwar deshalb, weil sie die Kombinierbarkeit der Säurefarbstoffe in vielen Fällen verbessern. Wenn jedoch durch den Zusatz derartiger Hilfsmittel das Aufziehverhalten anionischer Farbstoffe in Kombination beeinträchtigt werden kann, so ergibt sich zwangsläufig, daß die K-Werte in einem derartigen System ihre Aussagefähigkeit hinsichtlich ihres Kombinationsverhaltens verlieren. Die K-Werte verändern sich bei Zusatz nichtionogener Hilfsmittel zu sogenannten K'-Werten.

Tabelle 1 zeigt nun, daß es mehrere K'-Werte gibt, je nachdem wieviel nichtigenes Hilfsmittel eingesetzt wird. Sie zeigt jedoch auch, daß diese K'-Werte noch von der Farbtiefe abhängen, und ebenso wird deutlich, daß die K'-Werte enger zusammenrücken als die K-Werte, das Kombinationsverhalten also positiv beeinflusst werden kann.

Nichtigene Hilfsmittel sind in der Regel farbstoffaffin. Daher müssen mit steigendem Farbstoffangebot auch höhere Mengen derartiger Hilfsmittel eingesetzt werden, um optimales Kombinationsverhalten zu erzielen. Anhand der folgenden Abbildung (Abb. 3) ist der Einfluß von [®]Levegal FTS, einem farbstoffaffinen Produkt, auf die Kombinierbarkeit am Beispiel einer praktisch bewährten Farbstoffkombination demonstriert.

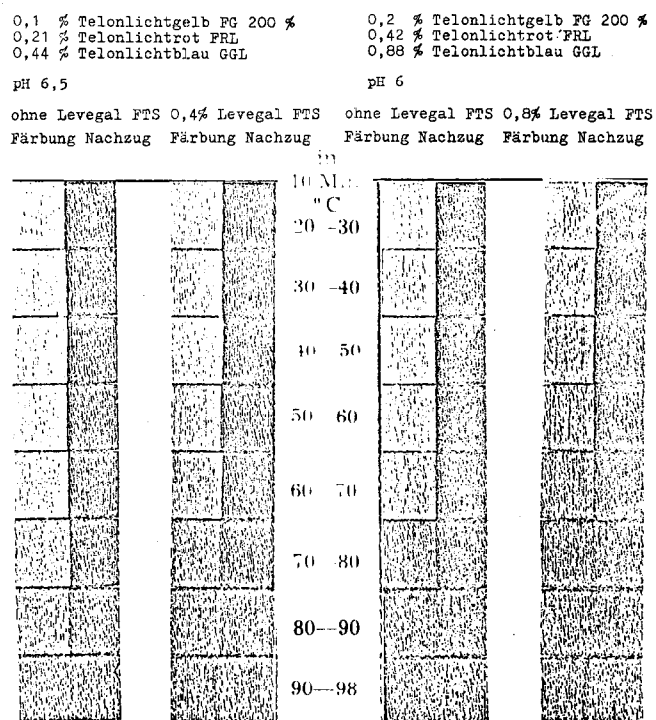


Abb. 3: Wirkung von [®]Levegal FTS auf die Kombinierbarkeit von [®]Telon-Farbstoffen

Es ist zu erkennen, daß durch eine gezielte Einsatzmenge dieses Hilfsmittels die Reihenfolge des Aufziehens der Einzelkomponenten aufgezeigter Kombination angeglichen und damit ein Ton-in-Ton-Aufziehen der Farbstoffe erreicht werden kann.

Ebenso zeigt diese Abbildung, daß bei steigendem Farbstoffangebot auch die farbstoffaffine Hilfsmittelmenge entsprechend erhöht werden muß, um ein gleich gutes Kombinationsverhalten in beiden Fällen zu erreichen³.

Gleicher K'-Wert, also gute Kombinierbarkeit, ist jedoch noch keine Gewähr für eine einwandfreie Färbung. Es ist darüberhinaus von ausschlaggebender Bedeutung, daß die Endbaderschöpfung besonders beachtet wird. Beim Färben von Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen kommt der Endbaderschöpfung, die über den pH-Wert des Färbebades gesteuert wird,

besondere Bedeutung zu, und zwar deshalb, weil im Gegensatz zur Acryl- bzw. Polyesterfärberei das Farbstoffaufnahmevermögen der Polyamidfaser direkt von der jeweiligen Acidität der Färbeflotte abhängt. Das heißt: niedrige pH-Werte erhöhen das Farbstoffaufnahmevermögen, durch höhere pH-Werte wird es beeinträchtigt.

Bei einem Färbeprozess, der unter anderem auf Wirtschaftlichkeit hinzielt, sollte die Endbaderschöpfung möglichst hoch liegen, ohne jedoch das Ausgleichsvermögen der Farbstoffe negativ zu beeinflussen. Wird eine zu geringe Endbaderschöpfung durch den pH-Wert eingestellt, so kann es, wie bereits erwähnt, zu folgenden Nachteilen kommen:

- mangelhafte Farbstoffausbeute, also überhöhte Kosten,
- unnötige Abwasserbelastung,
- schlechte Reproduzierbarkeit von Farbpartie zu Farbpartie und mangelhafte Übertragung von Laborrezepturen in die Praxis,
- erhöhte Gefahr von Blockierungserscheinungen, sowie
- unkontrolliertes Nachziehen der Farbstoffe beim Abkühlen der Färbeflotte am Ende des Färbeprozesses.

Um eine bestimmte Endbaderschöpfung zu erzielen, muß man — wie beim Färben von Acrylfasern mit kationischen Farbstoffen — die Polyamidfaser bis zu einem bestimmten Grad absättigen. Man benötigt also eine Kennzahl für die Farbstoffaufnahme-fähigkeit der Faser, und dies ist — wie bei den Acrylfasern — die **Fasersummenzahl S_F**. Sie ergibt sich für die jeweilige Faser aus der Beziehung

$$S_F = p_s \cdot f.$$

Dabei ist „p_s“ die im Sättigungszustand von der Faser aufgenommene Farbstoffmenge in Prozent unter bestimmten Bedingungen (diese sind pH-Wert 4,7, Flottenverhältnis 1 : 40, Temperatur 100° C). „f“ ist ein Umrechnungsfaktor vom Handelsfarbstoff in molare Mengen Reinfarbstoff und wird als farbstoffspezifische Kerngröße als **Sättigungsfaktor** des Farbstoffes bezeichnet².

Bietet man ein beliebiges Farbstoffangebot „p“ an, so tritt unter den erwähnten Standardbedingungen eine 90%ige Baderschöpfung ein, sofern

$$S_F = p \cdot f$$

ist. Das Produkt p · f wird einfachheitshalber wie in der Acrylfärberei auch als **Farbstoffrichtwert R_F** bezeichnet.

Bei Farbstoffkombinationen werden die einzelnen Farbstoffrichtwerte addiert zum sogenannten **Kombinationsrichtwert R_K**.

Das Verhältnis aus Farbstoffangebot, ausgedrückt durch den Kombinationsrichtwert, und der Fasersummenzahl S_F wird als **relative Absättigung S_{rel}** bezeichnet. Es ergibt sich demnach

$$S_{rel} = \frac{R_K}{S_F}$$

Diese Aussagen beziehen sich, wie schon erwähnt, auf bestimmte Bedingungen unter anderem auf pH 4,7. Es muß also noch der bereits angedeutete Einfluß der

Acidität des jeweiligen Färbebad es berücksichtigt werden. Die ursprüngliche Bezeichnung für die relative Absättigung

$$S_{rel} = \frac{R_K}{S_F}$$

ändert sich auf Grund des pH-abhängigen Farbstoffaufnahmevermögens der Polyamidfaser zu

$$S_{rel} = \frac{R_K}{S_F \cdot s_{(pH)}}$$

Aus dieser Gleichung ist letztlich zu erkennen, daß als Steuerelement für die richtige Faserabsättigung nur der pH-Wert verantwortlich zeichnet, da sowohl die Farbstoffmenge R_K als auch die zu färbende Faser, das heißt ihre Fasersummenzahl, konstant ist. Der Korrekturfaktor $s_{(pH)}$ ist in entsprechende Tabellen eingearbeitet, aus denen die für eine Endbaderschöpfung von 90 bis 95 % benötigten pH-Werte direkt abgelesen werden können.

Zur Bestimmung des optimalen pH-Wertes werden folgende Größen benötigt:

- a) das Farbstoffaufnahmevermögen der PA-Faser, ausgedrückt durch die Fasersummenzahl S_F ,
- b) die Kombinationskennzahl K der einzusetzenden Farbstoffe als Ausdruck ihrer Affinität,
- c) das Gesamtfarbstoffangebot als Kombinationsrichtwert R_K bezeichnet,
- d) die einzusetzende Hilfsmittelmenge.

Abbildung 4 zeigt die Zusammenhänge am Beispiel der [®]Telonlicht-Farbstoffe auf. Wird demnach eine Faser mit der Fasersummenzahl $S_F = 2,1$ mit [®]Telonlicht-Farbstoffen vom K-Wert 4 unter Zusatz von 0,5 % [®]Levegal FTS gefärbt, so muß bei einem Farb-

stoffangebot von $R_K = 1,0$ ein pH-Wert von 5,5 eingestellt werden, um eine günstige Endbaderschöpfung von 90 bis 95 % zu erreichen. Wird auf Grund optimaler Kombinierbarkeit mehr als 0,5 % farbstoffaffines Hilfsmittel benötigt, so ist der in der Tabelle angegebene pH-Wert zu senken, und zwar bei 1 % Hilfsmittel um 0,5, bei 1,5 % um 1 Einheit.

Mit den bisherigen Aussagen kann die Färbebadzusammensetzung, bestehend aus

1. Farbstoffart und Farbstoffmenge,
2. Farbstoffaufnahmevermögen der Faser,
3. pH-Wert und
4. Färbereihilfsmittel,

so gestaltet werden, daß zwei Punkte der anzustrebenden Aufziehkurve optimiert sind, und zwar die Endbaderschöpfung und die Bandbreite der Aufziehkurve als Zeichen für die Kombinierbarkeit der Farbstoffe.

Es gilt also, noch die Fragen zu beantworten, die die **Prozeßsteuerung** betreffen, das heißt bei welcher Temperatur mit dem Färben begonnen werden muß, wie die Heizgeschwindigkeit einzustellen ist und wie lange bei Maximaltemperatur gefärbt werden muß.

Die **Starttemperatur** (T_{Start}), also die Temperatur, bei der die Farbstoffe auf die Faser zu ziehen beginnen, wird durch die Anfärbegeschwindigkeit V der Faser, ihrem Farbstoffaufnahmevermögen S_F und durch die Farbtiefe bestimmt. Es ergeben sich Zusammenhänge², die in Tabelle 2 gezeigt sind.

Tabelle 2: Zusammenhänge zwischen Anfärbegeschwindigkeit und Farbstoffaufnahmevermögen

1) Einfluß der PA-Faser						
S_F	V = 0,25	0,35	0,5	0,7	1,0	1,5
2,1 (°C)	65	55	45	35	25	15*
1,4 (°C)	45	45	35	25	15	5**
1,0 (°C)	55	35	25	15*	5**	

* oder 20° C + 5 Minuten Verweilzeit
 ** oder 20° C + 15 Minuten Verweilzeit

2) Einfluß der Farbtiefe								
R_K	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75
T_{Start} (°C)	-15	-10	-5	0	+5	+10	+10	+15

Faser S_F	Farbstoff K	Einstellender pH-Wert bei einem Kombinationsrichtwert R_K von							
		0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	
2,1	3	7,5	7,0	7	6	6	5,5	5	
	4	7,0	7	6,5	6	5,5	5	4,5	
	5	7,0	6,5	6	5,5	5	4,5	4	
	6	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	
1,7	3	7,0	6,5	6,5	6	5,5	5	4,5	
	4	6,5	6,5	6	5,5	5	4,5	4	
	5	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	
	6	6,0	5,5	5	4,5	4	3,5	3	
1,4	3	6,5	6,0	6	5,5	5	4,5	°	
	4	6,0	6,0	5,5	5	4,5	4	°	
	5	6,0	5,5	5	4,5	4	3,5	°	
	6	5,5	5,0	4,5	4	3,5	3	°	
1,0	3	6,0	5,5	5,5	4,5	*	°	°	
	4	5,5	5,5	5	4	*	°	°	
	5	5,5	5	4,5	3,5	*	°	°	
	6	5,0	4,5	4	3	*	°	°	

* fast gesättigt oder leicht übersättigt
 ° übersättigt

Abb. 4: Ermittlung des pH-Wertes ([®]Telonlicht-Farbstoffe mit 0,5 % [®]Levegal FTS)

Die angegebenen Werte für die Starttemperatur gelten für [®]Telonlicht-Farbstoffe. Beim Einsatz von langsamer ziehenden [®]Telonecht A-Farbstoffen können diese Temperaturen um 10° C erhöht werden. Soll demnach eine Faser mit $S_F = 2,1$ und der Anfärbegeschwindigkeit $V = 0,5$ mit einem Farbstoffangebot von $R_K = 0,75$ gefärbt werden, so beträgt die Starttemperatur je nach Farbstoffgruppe 45° C bzw. 55° C. Bei höherem oder niedrigerem Farbstoffangebot muß die Farbtiefe berücksichtigt und die Starttemperatur entsprechend korrigiert werden.

Mit diesen Angaben kann nun die günstigste Start-

temperatur ermittelt werden. Die Maximaltemperatur ist letztlich bekannt, denn sie liegt in der Regel bei Kochtemperatur bzw. oberhalb 95° C.

Wichtig ist nun noch die Aufheizgeschwindigkeit, und hier hilft die Erfahrung und Kenntnis, die bei der Acryl- und Polyesterfärberei über den Zusammenhang zwischen Flottenumwälzung und möglicher Heizgeschwindigkeit gesammelt werden konnte.

Eine zunehmende Flottenumwälzung ermöglicht höhere Heizgeschwindigkeiten und damit immer geringer werdende Baderschöpfungszeiten. Im folgenden sind einige Werte angegeben:

Tabelle 3: Abhängigkeit der Baderschöpfungszeit von Flottenumwälzung und Temperatursteigerungsrate

Umlaufgeschwindigkeit (U/Min.)	1	2	4
Temperatursteigerungsrate (°C/Min.)	0,5	1	2
Baderschöpfungszeit (Min.)	90	45	20

Als allgemeine Regel ist also zu erkennen, daß bei einer Verdoppelung der Flottenumlaufgeschwindigkeit auch die Heizgeschwindigkeit verdoppelt werden kann. Die angegebenen Werte führen zu einer zirka 10%igen Baderschöpfung pro Flottenumwälzung. Sie können jedoch nur Anhaltspunkte sein, da neben dem Maschinentyp auch die Strömungsverhältnisse in bezug auf die zu färbende Ware selbst und ihre jeweilige Aufmachungsform eine große Rolle spielen^{4,5}.

Die in Abhängigkeit zur Flottenumlaufgeschwindigkeit stehende geregelte Heizgeschwindigkeit muß von der berechneten Starttemperatur ausgehend bis 50° C über T_{Start} genau eingehalten werden. Danach kann schneller geheizt werden (Abb. 5).

Man beginnt mit dem Färben beispielsweise bei 30° C, heizt geregelt je nach Umlaufgeschwindigkeit der Flotte bis 50° C oberhalb der Starttemperatur, also auf 80° C, auf und geht dann möglichst schnell auf Maximaltemperatur. Nach dieser Prozeßsteuerung gearbeitet, ist eine ausgedehnte Egalisierzeit bei Maximaltemperatur nicht erforderlich. Eine Färbezeit von 10 Minuten bei Kochtemperatur (oberhalb 95° C) ist für eine vollständige Diffusion der monofunktionalen Farbstoffe vom Typ der ®Telonlicht- und Telon-

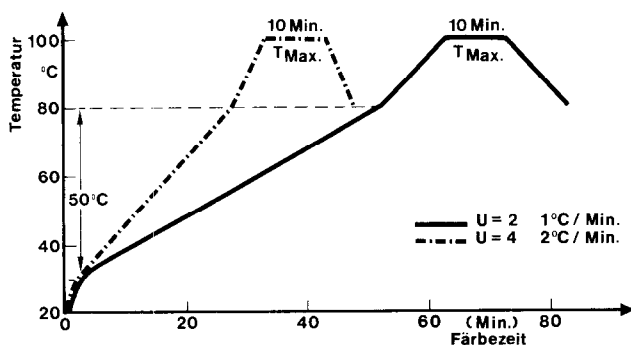


Abb. 5: Temperaturführung beim Färben von Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen

echt A-Farbstoffe ausreichend. Ausnahmen ergeben sich dann, falls die Maximaltemperatur weniger als 50° C über der Starttemperatur liegt. In einem solchen Fall verlängert sich die Färbezeit bei T_{Max}, und zwar um jeweils 10 Minuten für jede 5° C, um die diese notwendige Temperaturdifferenz von 50° C unterschritten wird.

Mit diesen Angaben über Starttemperatur, Heizgeschwindigkeit und Färbezeit bei Maximaltemperatur, die man als Prozeßsteuerung bezeichnen kann, sind die noch ausstehenden Punkte zur Erzielung eines optimalen Färbeverlaufes erklärt.

Es galt nun, diese Vielzahl an entscheidenden Faktoren in ein System überzuführen, welches für den Praktiker bei gleich guter Information ein einfach zu benützendes Werkzeug ist. Mit Hilfe von sogenannten Kombinationsdiagrammen, in denen zwei Farbstoffkombinationen berücksichtigt werden, die sich besonders zum Färben von Polyamidfasern eignen, ist es gelungen, die relativ schwierigen Zusammenhänge darzustellen und entscheidend zu vereinfachen. Wie so etwas aussieht, ist an folgender Abbildung (Abb. 6) zu sehen.

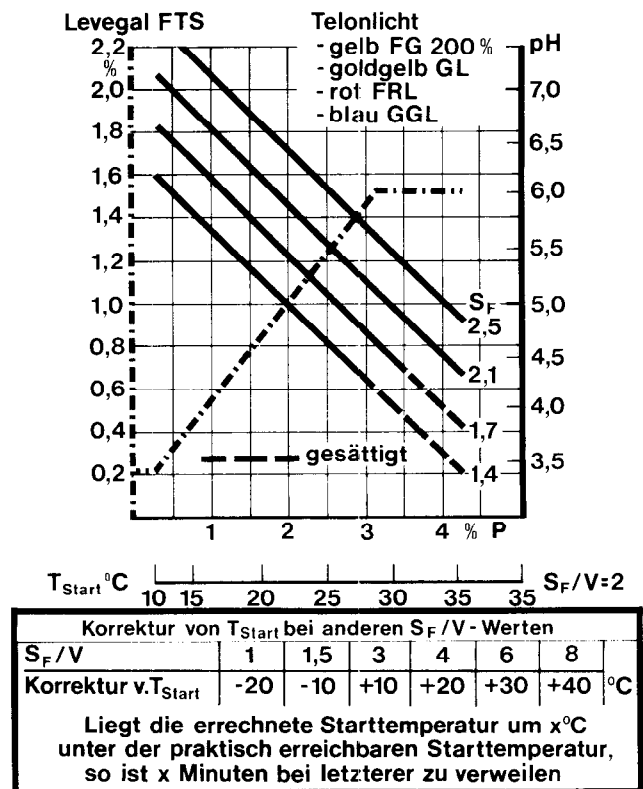
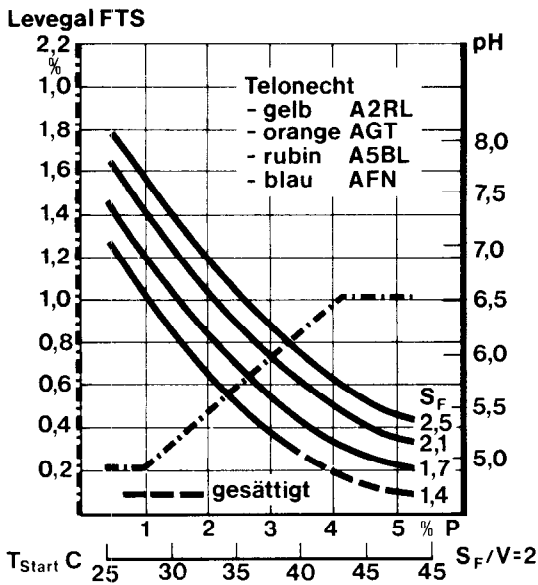


Abb. 6: Kombinationsdiagramm 1 — ®Telonlicht-Farbstoffe

Hier sind aus dem Sortiment der Egalisierfarbstoffe die zum Färben von Polyamidfasern besonders geeigneten Farbstoffe herausgestellt. Die Farbstoffauswahl wurde damit festgelegt. Als variable Größen zur Bestimmung der für optimale Kombinierbarkeit notwendigen nichtionogenen Hilfsmittelmengen und des pH-Wertes, der für eine Endbaderschöpfung von 90 bis 95 % vom Farbstoffangebot sorgt, bleiben nur noch die Faser selbst und die Farbtiefe⁶.



Korrektur von T _{Start} bei anderen S _F /V- Werten						
S _F /V	1	1,5	3	4	6	8
Korrektur v.T _{Start}	-20	-10	+10	+20	+30	+40
Liest die errechnete Starttemperatur um x°C unter der praktisch erreichbaren Starttemperatur, so ist x Minuten bei letzterer zu verweilen						

Abb. 7: Kombinationsdiagramm 2 — [®]Telonecht A-Farbstoffe

Zur Handhabung der Diagramme werden im Labor wie üblich die für den gewünschten Farbton notwendigen Farbstoffmengen p (in % vom Warengewicht) bestimmt. Die einzelnen Farbstoffmengen p werden zur Gesamtfarbstoffmenge P addiert. Ferner ermittelt man die Faserdaten S_F und V der farbfertigen Ware (siehe Anhang).

Danach ergibt sich folgendes Vorgehen:

a) Bestimmung der optimalen Hilfsmittelmenge

Das Gesamtfarbstoffangebot P sucht man auf der Basisgeraden. Von diesem Punkt geht man senkrecht nach oben bis zum Schnittpunkt mit der ununterbrochenen [®]Levegal FTS-Geraden und liest dann am linken Schenkel die für die optimale Kombinierbarkeit notwendige Hilfsmittelmenge ab.

b) Bestimmung des pH-Wertes

Vom gleichen Farbstoff-Prozentwert auf der Basisgeraden ausgehend, sucht man den Schnittpunkt mit der entsprechenden durchgezogenen S_F-Linie (ermitteltes Farbstoffaufnahmevermögen der Faser) und erhält so am rechten Schenkel den pH-Wert, der für eine Endbaderschöpfung von 90 bis 95 % vom Angebot erforderlich ist.

c) Bestimmung der Starttemperatur

Die Starttemperatur wird, wie bereits erwähnt, durch das Farbstoffaufnahmevermögen der Faser, ihrer Anfärbegeschwindigkeit V und durch die Farbtiefe bestimmt. Sie wird unterhalb der Basisgeraden angegeben, und zwar für normal anfärbares Polyamid 6, das heißt bei einem Quotienten S_F/V = zirka 2. Bei anderen S_F/V-Werten ist jeweils die weiter unten

aufgeführte Korrektur vorzunehmen. Vom Gesamtfarbstoffangebot P senkrecht nach unten gehend, findet man nun die günstigste Starttemperatur. Damit ist bis auf die Heizgeschwindigkeit, die letztlich vom jeweiligen Färbeapparat abhängt, alles aus diesem Kombinationsdiagramm abzulesen.

Auf die gleiche Art und Weise ist die Vereinfachung auch für eine Kombination höher affiner Säurefarbstoffe vom Typ der [®]Telonecht A-Farbstoffe möglich⁶ (Abb. 7).

Unterschiede ergeben sich lediglich in der für eine optimale Kombinierbarkeit notwendigen farbstoffaffinen Hilfsmittelmenge und im pH-Wert, der auf Grund verschiedener Affinität der in den Kombinationsdiagrammen berücksichtigten Farbstoffe höher bzw. tiefer eingestellt werden muß, um die anzustrebende Endbaderschöpfung zu erzielen.

Schwieriger wurde es, ein relativ einfaches und gut funktionierendes System für alle Farbstoffe eines Sortiments zu finden. Das Hauptproblem war, übersichtlich darzustellen, welche Farbstoffe miteinander kombiniert werden können und wie Farbstoff und farbstoffaffines Hilfsmittel voneinander abhängen. Mit Hilfe von sogenannten Kreisdiagrammen ist eine Vorhersage über das Kombinationsverhalten von Säurefarbstoffen möglich. Abbildung 8 macht diese Zusammenhänge am Beispiel der [®]Telonecht-Farbstoffe deutlich⁷.

1. Farbstoffauswahl hinsichtlich Kombinierbarkeit

a) Relativ gut kombinierbar sind solche Farbstoffe,

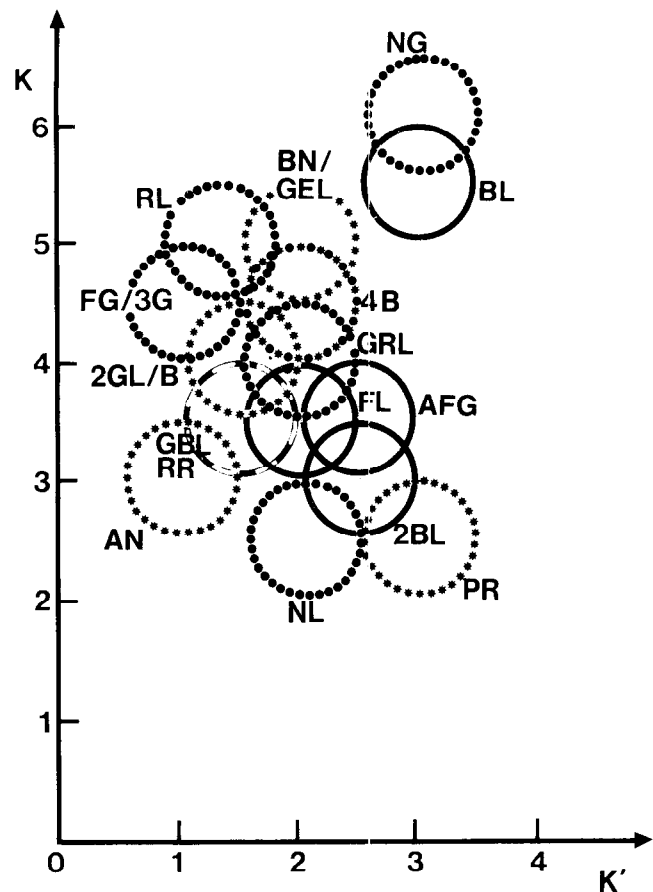


Abb. 8: Auswahl kombinierter [®]Telonecht-Farbstoffe

deren Kreise möglichst nahe beieinanderliegen.

- b) Durch Zusatz eines farbstoffaffinen Hilfsmittels vom Typ [®]Levegal FTS kann die Kombinierbarkeit beeinflusst werden.
- c) Farbstoffe, deren Kreise auf einer Waagrechten liegen, sind im anionischen System, also ohne farbstoffaffine Hilfsmittel, kombinierbar.
- d) Farbstoffe, deren Kreise auf einer Senkrechten liegen, sind nur mit einem Überschuß [®]Levegal FTS kombinierbar.
- d) Farbstoffe, deren Kreise auf Verbindungslinien liegen, die von links oben nach rechts unten abfallen, sind dann kombinierbar, wenn mit zunehmender Steilheit dieser Verbindungslinie auch mehr nichtionogenes Hilfsmittel eingesetzt wird. In der Senkrechten wird wieder der Maximalwert an [®]Levegal FTS erreicht.

2. Bestimmung der für optimale Kombinierbarkeit notwendigen Hilfsmittelmenge

Die einzusetzende farbstoffaffine Hilfsmittelmenge ist, wie bereits festgestellt, kein Absolutwert, sondern sie ist direkt von der Farbstoffmenge (Kombinationsrichtwert R_K) abhängig. In Abbildung 9 ist aufgezeigt, wie die Berechnung der für optimale Kombinierbarkeit notwendigen Hilfsmittelmenge erfolgt.

Man gelangt zur richtigen [®]Levegal FTS-Menge, wenn man den errechneten Kombinationsrichtwert R_K einer Farbstoffkombination mit dem sogenannten [®]Levegal

Berechnung der für optimale Kombinierbarkeit notwendigen Menge Levegal FTS

1 % Telonlichtblau AN	$R_{F1} = p_1 \cdot f_1 = 1,0 \cdot 0,54 = 0,54$
0,5 % Telonlichtgelb NL	$R_{F2} = p_2 \cdot f_2 = 0,5 \cdot 0,4 = 0,20$
$R_K = 0,74$	

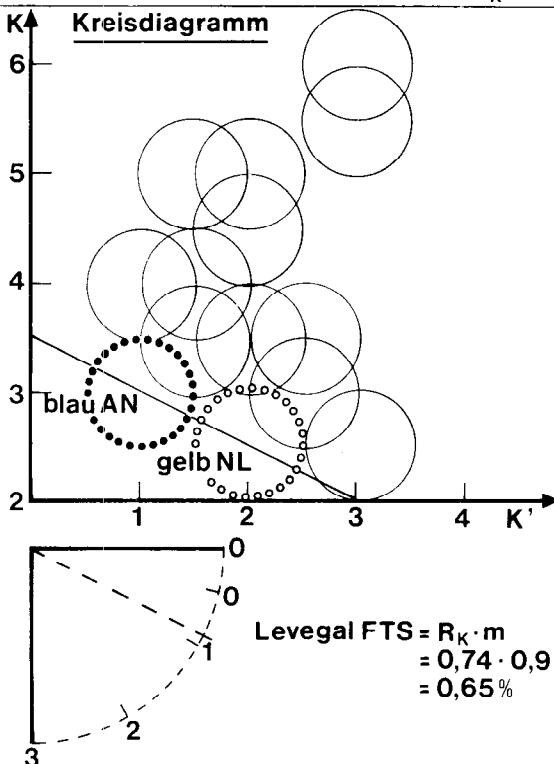


Abb. 9: [®]Levegal FTS-Faktordiagramm

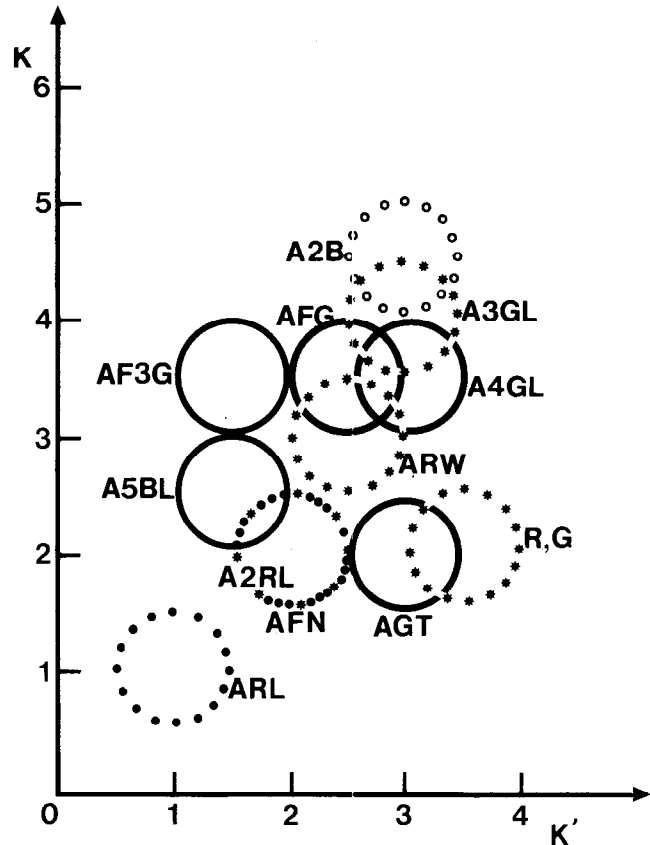


Abb. 10: Auswahl kombinierbarer [®]Telonecht A-Farbstoffe

FTS-Faktor multipliziert, der sich aus dem Schnittpunkt der Farbstoffverbindungsline des Kreisdiagramms mit der [®]Levegal FTS-Faktorkurve durch Parallelverschiebung ergibt:

$$\% \text{ Levegal FTS} = R_K \cdot m$$

Bei diesem Beispiel (Abb. 9) ergibt sich demnach ein Hilfsmittelfaktor von $m = 0,9$, welcher nun mit dem errechneten R_K -Wert von $0,74$ multipliziert werden muß, um die für bestmögliche Kombinierbarkeit notwendige Hilfsmittelmenge zu erhalten.

3. Bestimmung des pH-Wertes

Für die Bestimmung des pH-Wertes, der eine Endbaderschöpfung von 90 bis 95 % vom Farbstoffangebot bewirkt, werden entsprechende Tabellen herangezogen, von denen bereits diejenige für Egalisierfarbstoffe vom Typ der Telonlicht-Farbstoffe (Abb. 4) gezeigt wurde.

4. Bestimmung der Starttemperatur

Die Starttemperatur hängt, wie bereits erwähnt, von der Fasertyp, der Farbstoffgruppe und von der Farbtiefe ab. Sie ist aus den Kombinationsdiagrammen oder den entsprechenden Tabellen zu entnehmen.

Ähnliche Kreisdiagramme gibt es auch für höher affine Säurefarbstoffe vom Typ der [®]Telonecht A- (Abb. 10) und der [®]Telonecht-Farbstoffe (Abb. 11). Mit ihnen ist ebenfalls die Möglichkeit gegeben, die Kombinierbarkeit von Säurefarbstoffen aufzuzeigen und zu beurteilen, inwieweit sie durch Hilfsmittelzusatz verbessert werden kann.

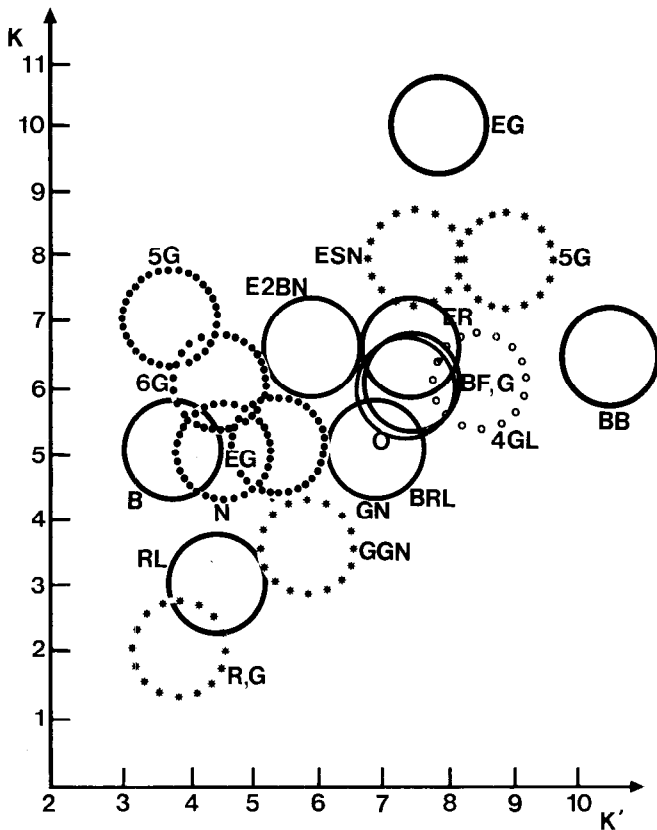


Abb. 11: Auswahl kombinierbarer [®]Telonecht-Farbstoffe

Zusammenfassung

Mit diesen Angaben ist es gelungen, die schwierigen chemisch-physikalischen Zusammenhänge im Färbesystem Säurefarbstoff/Polyamid in eine für die Praxis relativ einfach zu handhabende Form überzuführen. Durch die Optimierung der für die Polyamidfärberei entscheidenden Faktoren werden folgende Vorteile erreicht:

Verkürzte Färbezeiten

- durch Vermeidung von Totzeiten vor Beginn der Baderschöpfung,
- durch Reduzierung der Färbezeit bei Maximaltemperatur, da ausgedehnte Egalisierphasen entfallen können.

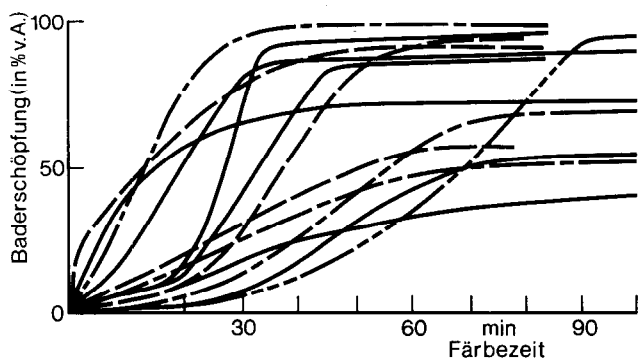


Abb. 12: Aufziehkurven von Säurefarbstoffen auf Polyamid (Streubereich von Praxisfärbungen)

Egalität von Färbebeginn an

- durch gesteuerten Färbeprozess,
- durch optimale Kombinierbarkeit der Farbstoffe.

Hohe Farbstoffausbeute -- geringe Abwasserbelastung -- gute Reproduzierbarkeit

- durch standardisierte Endbaderschöpfung über den pH-Wert.

Verglichen mit der derzeitigen Situation, wird dieses Verfahren dem Praktiker vor allem größtmögliche Sicherheit beim Färben von Polyamidfasern ermöglichen.

So stellte sich die Polyamidfärberei häufig in der Praxis dar (Abb. 12), und so (Abb. 13) können die Farbstoffaufziehkurven mit Hilfe des beschriebenen Verfahrens werden. Dieses Bild zeigt letztlich, daß es mit diesen Informationen möglich ist, das Färben von Polyamidfasern mit Säurefarbstoffen nach dem Ausziehverfahren kalkulierbar, sicher und wirtschaftlich zu gestalten.

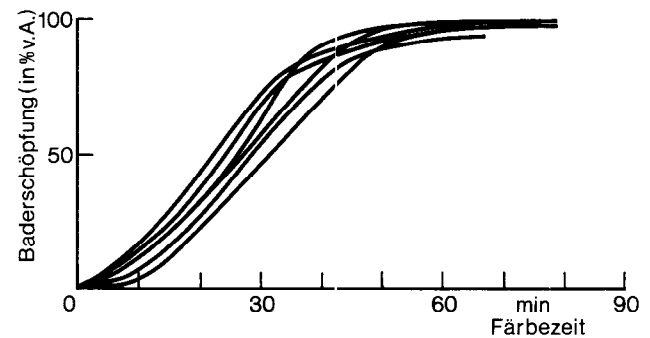


Abb. 13: Aufziehkurven von Säurefarbstoffen (Praxisfärbungen nach dem beschriebenen Verfahren)

Obwohl ein Färben von Textilmaterialien nach dem Ausziehverfahren, verglichen etwa mit kontinuierlichen Arbeitsmethoden, nur mit Einschränkungen mit dem hochaktuellen Thema „Umweltschutz“ in Einklang zu bringen ist, bietet das beschriebene Verfahren die Möglichkeit, durch konstant hohe Endbaderschöpfung, das heißt durch große Farbstoffausbeute und geringe Abwasserbelastung, doch einen nicht unwesentlichen Schritt in Richtung Umweltschutz zu tun. Es soll jedoch klar herausgestellt werden, daß es noch eine Reihe von Problemen gibt und daß die Erfahrungen des Praktikers durch dieses Verfahren nicht überflüssig werden.

ANHANG

Ermittlung der Faserdaten S_F und V

Die Fasersummenzahl S_F und die Anfärbegeschwindigkeit V von Polyamidfasern lassen sich photometrisch ermitteln. Wenn kein Photometer zur Verfügung steht, können sie mit ausreichender Genauigkeit nach der hier beschriebenen Methode bestimmt werden. Dazu ist ein Vorrat einer Standardfaser erforderlich. Sie sollte den am häufigsten eingesetzten

Fasern der betreffenden Färberei möglichst ähnlich sein.

Fasersummenzahl S_F

a) *Standard-Färbungen*

Aus 6 Proben der vorgereinigten Standardfaser wird eine Schattenreihe erstellt: je 1 Probe wird mit 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6 bzw. 0,9 % [®]Telonlichtblau AN (Sättigungsfaktor $f = 0,54$) bis zu 100%iger Baderschöpfung gefärbt.

b) *unbekannte Faser*

6 Proben der vorgereinigten Faser werden mit 1, 1,5, 2,5, 3,5, 4,5 bzw. 5,5 % [®]Telonlichtblau AN 4 Stunden bei Kochtemperatur (Rückfluß) gefärbt, bei einem Flottenverhältnis von 1 : 100 und pH 4,7 (gepuffert mit zum Beispiel 6 % Essigsäure, 60 %ig, und ca. 10 % Natriumacetat calc.). Jede Flotte wird mit einer Probe der Standardfaser erschöpft, die das gleiche Gewicht hat wie die vorher gefärbte Probe der unbekanntes Faser. Die Nachzüge werden mit den Standardfärbungen verglichen und ergeben den S_F -Wert wie folgt:

Färbung mit	S_F -Wert					
	bei gleichen Farbtiefen von Nachzug und Standard-Färbung mit					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,9 % AN
1 % AN	0,6	0,5				
1,5 % AN	1,0	0,8	0,7			
2,5 % AN		1,5	1,4	1,3		
3,5 % AN			2,1	1,8	1,7	
4,5 % AN			3,0	2,7	2,4	2,1
5,5 % AN				3,5	3,1	2,8

Zwischenwerte können geschätzt werden.

Da S_F -Werte häufig zwischen 1,7 und 2,1 liegen, reicht als Schnelltest oft eine einzige Färbung des unbekanntes Materials mit 3,5 % [®]Telonlichtblau AN aus.

Anfärbegeschwindigkeit V

a) *Standardfaser*

2-g-Proben der Standardfaser werden verschiedene Zeiten gefärbt. Die Flotten werden mit je einer zweiten 2-g-Probe dieser Faser erschöpft. Die Färbebedingungen sind: 2 % [®]Telonlichtblau AN ($f = 0,54$), Flottenverhältnis 1 : 100, 60 °C und pH 7 (gepuffert z. B. mit 2 ml einer 50 g/l $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ -Lösung und ca. 1,5 ml einer 50 g/l $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -Lösung). Temperatur und pH-Wert sollten möglichst genau eingestellt werden. Jede Färbung wird mit ihrem Nachzug verglichen und die Zeit $t_{50\%}$ bestimmt, nach dem 50 % Baderschöpfung erreicht sind, das heißt Färbung und Nachzug die gleiche Farbtiefe aufweisen.

V ergibt sich wie folgt:

$t_{50\%}$ (min)	3,5	7	14	28	56	112	224
V	2	1,4	1	0,7	0,5	0,3	0,25

b) *unbekannte Faser*

2 g der unbekanntes Faser und 2 g der Standard-

faser werden in getrennten Bädern mit 2 % [®]Telonlichtblau AN, bei Flotte 1 : 100, 60 °C und pH 7 (siehe oben) gefärbt. Wichtig ist, daß die Fasern vorgereinigt und die Färbebedingungen für beide Bäder gleich sind. Sobald für die schneller anfärbende Faser eine Baderschöpfung von zirka 40 bis 70 % vom Angebot erreicht ist, werden beide Färbungen gleichzeitig abgebrochen. Beide Bäder werden mit je 4 g (!) der Standardfaser erschöpft. Die Nachzüge werden mit den Standardfärbungen (die zur S_F -Bestimmung erstellt wurden) verglichen und die von den Nachzügen aufgenommenen Farbstoffmengen p (in % vom Warengewicht) bestimmt.

Der V-Wert der unbekanntes Faser ist:

$$V = \frac{1 - p(\text{unbek. Faser})}{1 - p(\text{Standardfaser})} \cdot V(\text{Standardfaser})$$

Literatur:

- 1) H.-G. Otten; Bayer Farben-Revue **21**, 32 (1972)
- 2) W. Beckmann, F. Hoffmann, H.-G. Otten; Melliand Textilber. **54**, 641 (1973)
- 3) F. Lesszinsky; Bayer Farben-Revue **25**, 24—31 (1975)
- 4) J. Boulton, J. Crank; J. Soc. Dyers Col. **68** (1972)
- 5) J. Carbonell, R. Hasler, R. Walliser, W. Knobel; Melliand Textilber. **54**, 68 (1973)
- 6) Broschüre Sp 481, Teil 1 (1974)
- 7) W. Beckmann, F. Hoffmann, K.-J. Rohr; Melliand Textilber. **55**, 51—55 (1974)

Diskussion

Köb: Mit Formeln in eine derartig schwierige Materie Ordnung zu bringen, ist ja im Grunde eine wissenschaftliche Arbeit. Sie haben anschließend hierfür entsprechende Richtlinien aufgestellt, die man aus Diagrammen entnehmen kann.

Ist nun die Theorie, die Sie im ersten Teil gezeigt haben, für die Schulung von Färbereingenieuren und Färbereileitern als Lehre gedacht, oder darf man das nur als eine Erklärung betrachten, wie Sie zu diesen Diagrammen gekommen sind?

Ist diese wissenschaftliche Vorarbeit bereits als eine Theorie anzusehen, die auch von anderen Firmen gehandhabt werden könnte, oder gehört sie bloß zu den auf Ihre eigenen Produkte bezogenen Diagramme?

Lesszinsky: Jeder Vortragende hat natürlich das Bestreben, zuerst einmal die Schwierigkeiten der Zusammenhänge im allgemeinen darzustellen und dann eine Möglichkeit aufzuzeigen, wie trotz dieser Schwierigkeiten ein System auszuarbeiten sei, das in der Praxis angewendet werden kann. Die theoretischen Zusammenhänge, die meinem Vortrag zugrunde liegen, sind für die Praxis weniger interessant, da sie in dieser Form doch relativ kompliziert sind. Natürlich sind sie für die Schulung von Färbereingenieuren geeignet, da sie trotz eines gewissen Näherungscharakters die chemisch physikalischen Zusammenhänge im Färbesystem Säure-Farbstoff/Polyamid auf-

zeigen und verdeutlichen. Für die Belange der Praxis reichen die gezeigten Diagramme vollkommen aus.

Kubanik: Wenn ich Sie richtig verstanden habe, dann haben Sie in Ihrem Vortrag die Kontrolle der Adsorptionsphase eines Farbstoffes beschrieben. Sie ersparen sich dadurch bei Erreichung der Maximaltemperatur eine lange Egalisierphase. Wie liegen die Verhältnisse, wenn Sie bei einer Partie Farbstoff zusetzen müssen?

Wie sieht es aus, wenn Sie ein anderes Egalisiersystem einsetzen, beispielsweise ein anionisches Produkt? Was macht in der Praxis ein Lohnfärber, der verschiedene Polyamidqualitäten vorliegen hat?

Lesszinsky: Ich beginne mit der letzten Frage: Wir sind uns darüber im klaren, daß die Bestimmung der Faserdaten, wie S_p und V , doch recht kompliziert und aus der Sicht des Färbers ziemlich abstrakt ist. Dadurch wird die notwendige Bestimmung der faserspezifischen Kenngrößen gerade bei Lohnfärbern, mit relativ großen Schwankungen im zu färbenden PA-Material, zu Schwierigkeiten führen. Wir sind jedoch derzeit gerade dabei, eine wesentliche Vereinfachung dieser Faserbestimmungen auszuarbeiten, und wir stehen vor dem Abschluß. Dadurch wird dann jedes Färbereilabor in der Lage sein, anhand von maximal drei Färbungen mit Nachzug sowohl den Quotienten S_p/V für die Bestimmung der Starttemperatur als auch den S_p -Wert zur Festlegung des pH-Wertes leichter zu bestimmen.

Ihre zweite Frage betrifft das Hilfsmittel. Bei der Optimierung des Färbeprozesses ist die Kombinierbarkeit der Farbstoffe von ausschlaggebender Bedeutung. In dem beschriebenen Verfahren wird die Kombinierbarkeit der Farbstoffe über eine gezielte Einsatzmenge eines nicht-ionogenen, das heißt farbstoffaffinen Hilfsmittels gesteuert. Wenn Sie rein anionische, das heißt faseraffine Hilfsmittel einsetzen, bewegen Sie sich wieder im sogenannten K-Wert-System, das heißt, die Farbstoffe sind nicht mehr ganz so gut kombinierbar wie im nicht-ionogenen, das heißt K'-Wert-System.

Vielleicht sollte man in diesem Zusammenhang auf die Schwierigkeiten hinweisen, die sich in Verbindung mit den auftretenden Affinitätsproblemen im System Säurefarbstoff/anionisches Hilfsmittel ergeben. Die Wirkungsweise eines derartigen faseraffinen Hilfsmittels besteht ja letzten Endes darin, daß das anionische Hilfsmittel entweder durch Vorlaufenlassen bzw. durch einen Vorkochprozeß auf die Faser aufgebracht und anschließend durch den zugegebenen Farbstoff langsam von der Faser verdrängt wird. Eine derartige, bestmögliche Verdrängungsreaktion setzt jedoch voraus, daß die Affinität des anionischen Hilfsmittels möglichst genau auf die Affinität der Farbstoffe abgestimmt ist.

Wenn Sie sich nun ein Sortiment von Farbstoffen, z. B. Egalisierfarbstoffe vom Typ der Telonlicht-Farbstoffe, ansehen, dann werden Sie zu der Feststellung kommen, daß selbst innerhalb eines einzigen Sortimentes eine mehr oder weniger starke Streuung von Affinitäten vorkommen kann. Das heißt, daß Sie die optimale Wirkungsweise eines derartigen anionischen Hilfsmittels in einer Kombinationsfärbung eventuell bei einer Farbstoffkomponente erreichen, hingegen die zweite mehr oder weniger blockiert wird, die dritte jedoch zu rasch aufzieht, da die Affinität entsprechend hoch liegt. Das sind die Probleme, die in einem anionischen System auftreten können.

Zu Ihrer Frage bezüglich eines Farbstoffnachsatzes möchte ich folgendes sagen:

Viele Praxisfärbungen haben bewiesen, daß es ohne weiteres möglich ist, ohne Farbstoffzusätze eine geforderte Farbnuance zu erreichen. Voraussetzung hierzu ist jedoch, daß bereits die Laboreinstellung nach den Richtlinien des beschriebenen Verfahrens durchgeführt und damit u. a. die über den pH-Wert gesteuerte Endbaderschöpfung besonders beobachtet wird.

Möth: Wenn man trotzdem nachsetzen muß, wurde diese Frage eigentlich nicht beantwortet.

Kubanik: Darf ich noch einmal zurückgehen: Wird bei der Adsorptionsphase bei gegebenem pH-Wert und bestimmter Einsatzmenge von Levegal FTS die Egalisierphase eines Telonlichtfarbstoffes berücksichtigt?

Setzen Sie also bei Kochtemperatur zu und hoffen, daß der Farbstoff egalisiert, oder kühlen Sie auf 70 oder auf 40 ° C ab und beginnen Sie dann wieder das Verfahren von Anfang an?

Es wäre doch vernünftiger, von der Egalisierphase auszugehen oder vom Egalisiervermögen eines Farbstoffes Gebrauch zu machen, als wieder abzukühlen und von neuem zu beginnen, denn ich habe hierdurch einen großen Zeitverlust, den ich durch die Egalisierphase ohne weiteres auffangen kann!

Möth: Das ist ja auch der Kernpunkt meiner Frage.

Lesszinsky: Bei den Erfahrungen, die wir bisher mit diesem Verfahren gesammelt haben, kommt ein Nachsatz — wie bereits erwähnt — nur in seltenen Fällen vor. Ist ein Farbstoffzusatz, aus welchen Gründen auch immer, notwendig, so kühlen wir das Färbebad ab, und zwar auf 70 bis 80 ° C. Dies reicht aus, ohne die Egalität der Färbung negativ zu beeinflussen.

Möth: Wie verhält sich das dann mit dem Gehalt an Levegal FTS, der für den Nachsatz wahrscheinlich zu niedrig ist, bzw. mit dem pH-Wert aufgrund Ihres Diagrammes?

Lesszinsky: Bei geringfügigen Farbstoffnachsätzen kann sowohl die farbstoffaffine Hilfsmittelmenge als auch die Acidität der Färbeflotte unberücksichtigt bleiben. Bei größeren Nachsätzen, die z. B. durch Rechen- bzw. Abwiegefehler notwendig werden, muß die Levegal FTS-Menge und der pH-Wert entsprechend korrigiert werden.

Kubanik: Wie steht es mit dem pH-Wert? Wird hier eine Kontrolle bzw. eine Korrektur durchgeführt?

Lesszinsky: Sie müssen den pH-Wert vom Färbebeginn an während der gesamten Aufheiz- und Diffusionsphase konstant halten.

Haas: Sie sprechen hier zweimal von je vier Farbstoffen. Die Sortimente der Säurefarbstoffe sind aber eigentlich umfangreicher, und eine ganze Anzahl von Farbtönen werden nur durch Farbstoffe erreicht, die hier gar nicht angeführt sind. Sind diese Farbstoffe auch in dieses System einzuordnen?

Lesszinsky: Aufgrund der mir zur Verfügung stehenden Zeit habe ich den Vortrag bei den Kombinationsdiagrammen abbrechen müssen. Es gibt natürlich eine Möglichkeit, alle Farbstoffe eines Sortimentes in ein derartiges System einzuordnen. Das Hauptproblem war hierbei, darzustellen, welche Farbstoffe miteinander kombiniert werden können und inwieweit Farbstoff und farbstoffaffines Hilfsmittel voneinander abhängen. Mit sogenannten Kreisdiagrammen, die im Gesamtmanuskript enthalten sind, ist dies möglich.

Beckmann: Ist in diesem Färbesystem auch der Aspekt der Streifigkeit in der Färberei berücksichtigt? Das heißt nicht nur die Egalität von rechts nach links, also die bekannten Kantenabläufe, sondern auch die im Polyamid auftretende Streifigkeit? Muß dagegen ein übriges getan werden?

Lesszinsky: Ihre Frage kann man sowohl mit Ja als auch mit Nein beantworten. Mit Nein in den Fällen, bei denen die Streifigkeit durch den Einsatz eines anionischen Hilfsmittels gedeckt werden soll, da in dem beschriebenen Verfahren kein derartiges faseraffines Produkt berücksichtigt wird. Eindeutig muß die Frage jedoch mit Ja beantwortet werden, da durch gezielte Einsatzmenge eines farbstoffaffinen Produktes bei Kombinationsfärbungen ein Ton-in-Ton-Aufziehen der Einzelfarbstoffe erreicht wird. Durch diese Optimierung der Kombinierbarkeit der Farbstoffe kommt es beim Färben von Polyamid an materialbedingten Unregelmäßigkeiten im Extremfall lediglich zu Farbtiefendifferenzen, die sich verhältnismäßig leicht ausgleichen lassen. Werden dagegen nicht bzw. schlecht kombinierbare Farbstoffe eingesetzt, so kommt es außer zu Farbtiefen- noch zu Farbtondifferenzen, die sich nur sehr schwer ausgleichen lassen. Neben der Optimierung der Kombinierbarkeit der Farbstoffe ist bei dem beschriebenen Verfahren durch kontrollierte Reduzierung der Endbaderschöpfung noch eine Möglichkeit gegeben, materialbedingte Streifigkeit beim Färben zu überdecken.

Klotz-Kurzverweil-Verfahren sparen Energie und Wasser

Dr. Hans-Ulrich von der Eltz
Hoechst Aktiengesellschaft, Frankfurt am Main

Nach einem kurzen Überblick über das Klotz-Kurzverweil-Verfahren und seine Bedeutung wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand von Kostenrechnungen durchgeführt. Die Überlegenheit des Klotz-Kurzverweil-Verfahrens zeigt sich auch beim Färben von Mischgeweben aus Polyester/Zellulosefasern. Die Kostenanalyse bestätigt den Trend zu Jet-Färbeanlagen mit großem Fassungsvermögen und kürzerem Flottenverhältnis.

Following a brief survey of the short time pad-batch process and its importance a profitability exercise is carried out with the aid of costings.

The superiority of the short time pad-batch process is also apparent in the dyeing of polyester/cellulosic fibre blends. The cost analysis confirms the trend towards jet-dyeing machines with large capacities and short liquor ratios.

1. Einleitung

In der Textilindustrie haben sich die ständig erweiterten Erkenntnisse der Chemie, Faserchemie, Verfahrenstechnologie und des Textilmaschinenbaus besonders stark ausgewirkt. Nicht selten stellt die praktische Verwendung dieses Wissensstandes die Textilindustrie vor große Probleme. Das gilt im besonderen Maße für eine Zeit, in der mancher Textilbetrieb auf das Äußerste in seiner Existenz bedroht ist. Wer wollte nicht rationell arbeiten? Aber nicht überall ist die Zusammenarbeit zwischen Betriebswirten und Technikern schon so weit gediehen, daß die Betriebe aus eigenen Unterlagen gemäß der vorhandenen Produktionsmittel das wirtschaftlichste Veredlungsverfahren herausuchen können. So werden noch immer jahrelang Irrwege eingeschlagen, nur weil irgendjemand nicht zugeben möchte, daß er eine falsche oder zumindest nicht optimale Entscheidung getroffen hat.

Entscheidungen aus Tradition oder ein gefühlsmäßiges Handeln kann sich heute ein Textilbetrieb nicht mehr leisten. Nur, wenn ein Betrieb produktiv und wirtschaftlich arbeitet, wenn letztlich auch Gewinn erarbeitet wird, sind die Arbeitsplätze in diesem Textilbetrieb gesichert. Um wirtschaftlich optimal arbeiten zu können, müssen aber Techniker und Betriebswirtschaftler eng zusammenarbeiten.

2. Kurzer Überblick über das Klotz-Kurzverweil-(KKV)-Verfahren

Um es gleich vorwegzunehmen und keine falschen Hoffnungen zu nähren, soll gleich gesagt werden, daß es uns nicht gelungen ist, auch Polyesterfasern nach einem Klotz-Kurzverweil-Verfahren zu färben. Es handelt sich bei diesen Ausführungen um Färbereverfahren für Zellulosefasern, die aber dennoch auch

für die Mischgewebefärberei große Bedeutung erlangten. Zuerst aber ein Überblick über dieses Färbereverfahren auf Zellulosefasern.

2.1. Das KKV-Verfahren mit Reaktivfarbstoffen

Mit dem Erscheinen der Reaktivfarbstoffe für Zellulosefasern setzte Ende der fünfziger Jahre eine ungeheure Belebung der Verfahrensentwicklung auf dem Gebiet des Färbens von Baumwolle und Zellwolle ein. Sie führte schon nach kurzer Zeit zu einer verblüffend einfachen Arbeitsweise, über die wir im Falle der [®]Remazol-Farbstoffe bereits ausführlich berichtet haben^{1,2}.

Farbstoff- und Alkalilösung werden getrennt zubereitet und mittels einer geeigneten Mischvorrichtung unmittelbar vor Einlauf in das Foulardchassis gemischt. Es wird geklotzt, und nach wenigen Stunden Lagerzeit bei Raumtemperatur ist der Farbstoff auf der Ware fixiert. Danach kann ausgewaschen werden. Abbildung 1 gibt den Verfahrensablauf schematisch wieder.

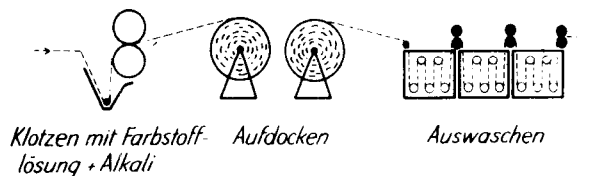


Abb. 1: Schematischer Verfahrensablauf beim Klotz-Kurzverweil-Verfahren

Ungermann² faßt die Vorteile des Klotz-Kurzverweil-Verfahrens wie folgt zusammen:

- geringer Energiebedarf,
- niedriger Arbeitsaufwand,
- beste Reproduzierbarkeit,
- hohe Fixiergeschwindigkeit, dadurch große Betriebssicherheit,
- sicheres Arbeiten auch bei 5000-m-Großdocken,
- günstige Kalkulation durch hohe Farbstoffausbeute,
- bestmögliche Durchfärbung; auch heikler Materialien,
- leichte Auswaschbarkeit, daher sicheres Erreichen hoher Naßechtheitswerte auch unter Praxisbedingungen.

Da sich diese Verfahrenstechnik seit mehr als 15 Jahren praktisch bewährt hat, soll für weitere technische Details auf die zahlreichen Informationschriften und Musterkarten verwiesen werden.

2.2. Das Kalt-Verweil-Verfahren mit anderen Farbstoffklassen

Es ist nur zu verständlich, daß man allorts bestrebt war, eine analoge Färbetechnik auch für andere Zellulosefaserfarbstoffe zu entwickeln.

® - Registriertes Warenzeichen

2. 2. 1. Das [®]Azanyl-Klotz-Verweilverfahren ([®]Azanyl-KV)

Dieses neue Färbeverfahren wird von Frey³ ausführlich beschrieben. Hierbei werden [®]Azanyl-Färbesalze nach Vorschrift gelöst. Die Klotzflotte wird danach mit warmem Wasser, Hilfsmittel, Natronlauge und Äthylalkohol versetzt und dann das nach der Kaltlösevorschrift ohne Formaldehyd gelöste [®]Naphthol-AS-Produkt hinzugegeben. Nach dem Klotzen läßt man 1 bis 2 Stunden auf der Docke verweilen und führt anschließend die Entwicklung und Nachbehandlung durch. Diese Verfahrensweise kann alternativ auch vollkontinuierlich (mit Luftgang anstatt Dockenverweilung) durchgeführt werden.

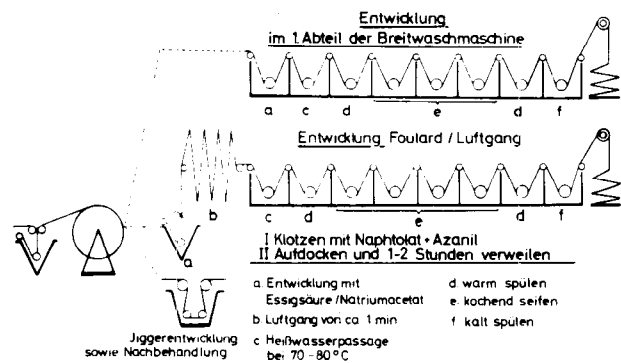


Abb. 2: Schematischer Verfahrensablauf der [®]Azanyl-Klotz-Kurzverweil-Verfahren

Die beiden Verfahrensalternativen sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

2. 2. 2. Das Kalt-Verweil-Verfahren mit Indanthren-Farbstoffen

Von der BASF AG wurde im Jahre 1972⁴ ein Kalt-Verweil-Verfahren für Indanthren-Farbstoffe mit und ohne Zwischentrocknung vorgestellt. Die Arbeitsweise unterscheidet sich jedoch von der mit Reaktivfarbstoffen dadurch, daß zweimal geklotzt werden muß, zum Beispiel im ersten Foulard mit 70 % und im zweiten Foulard mit 100 % Flottenaufnahme. Die Verweilzeit bei Raumtemperatur beträgt 90 Minuten. Bereits im Jahre 1968 wurde ein Kaltverweilverfahren für [®]Hydrosol-Farbstoffe beschrieben⁵.

Es ist jedoch nicht zu übersehen, daß diese Verfahren sich, ähnlich wie auch ein Kaltverweilverfahren mit [®]Cassulfon-Farbstoffen, bis heute in der Textilfärberei nicht in größerem Maße haben einführen lassen. Wenn man also vom Klotz-Kurzverweil-Verfahren spricht, meint man die bei Verwendung von Remazol-Farbstoffen bewährte Arbeitsweise.

3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Klotz-Kurzverweil-Verfahrens

Vor genau 12 Jahren hatte der Autor Gelegenheit⁶, die damals noch unter dem Namen Einbad-Klotz-Aufdock-Verfahren bekannte Arbeitsweise in einem Kostenvergleich dem Färben auf Haspelkufe und Jigger, also dem Ausziehverfahren, gegenüberzustellen. Tabelle 1 soll noch einmal die damaligen Ergebnisse in Erinnerung rufen, zumal sich das Interesse der Techniker im Jahre 1963 noch nicht so sehr auf Kostenvergleiche konzentrierte.

Seit jener Zeit haben sich nicht nur die Produkt- und Lohnkosten ganz wesentlich verändert, sondern auch die betriebswirtschaftlichen Berechnungsmethoden.

Tabelle 1: Kostenvergleiche von Remazol-Färbungen bei verschiedenen Färbeverfahren. Den Kalkulationen wurden Färbungen in mittlerer Farbtiefe zugrunde gelegt. Die fünf Färbungen eines jeden Farbstoffes lagen in gleicher Farbstärke vor. Bei den Ausziehverfahren wurde unter Verwendung der billigsten Chemikalien gefärbt (vgl. Tabelle I). In den Kalkulationen sind die Kosten für Nachwäsche und Ausrüstung nicht enthalten.

Färbeverfahren		Remazol-					
		gelb GR	brillant-orange 3R	brillant-rot 5B	brillant-violett 5R	blau 3R	schwarz B
Flotte 1 : 30 Haspelkufe	Chemikalienkosten	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
	40° C Variable und Fixkosten	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
	Farbstoffkosten	9,43	9,27	11,44	11,20	7,64	6,47
		18,40	18,24	20,41	20,17	16,61	15,44
	60° C Chemikalienkosten	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33
	Variable und Fixkosten	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60	7,60
Farbstoffkosten	11,10	9,00	9,67	13,28	9,46	7,90	
	20,03	17,93	18,60	22,21	18,39	16,83	
Flotte 1 : 5 Jigger	Chemikalienkosten	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
	40° C Variable und Fixkosten	8,80	8,80	8,80	8,80	8,80	8,80
	Farbstoffkosten	8,25	5,07	4,05	8,65	6,17	5,35
		17,29	14,11	13,09	17,69	15,21	14,39
	60° C Chemikalienkosten	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
	Variable und Fixkosten	8,80	8,80	8,80	8,80	8,80	8,80
Farbstoffkosten	7,30	5,52	4,26	9,63	7,04	6,60	
	16,33	14,55	13,29	18,66	16,07	15,03	
Einbad-Klotz-Aufdock-Verfahren AE 80 % 25 g/l Farbstoff (90 l Flotte)	Chemikalienkosten	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	20° C Variable und Fixkosten	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
	Farbstoffkosten	7,20	4,72	3,60	8,44	6,37	5,63
		10,54	8,06	6,94	11,78	9,71	8,97
Warengewicht: 100 g/m Die Preiszahlen bedeuten: Pfennig je 1 m Ware							

Heute bedient man sich des sogenannten Verfahrenskostenvergleiches. Es handelt sich hierbei um detaillierte Untersuchungen der einzelnen Verfahrensschritte.

3.1. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf der Basis von Kostenrechnungen

Mit Hilfe des Verfahrenskostenvergleiches können beispielsweise verschiedene Färbegeräte für den gleichen Artikel verglichen werden. Zur Durchführung eines Verfahrenskostenvergleiches benötigt man eine Reihe von Prozeßkennndaten. Es ist aber durchaus nicht notwendig, Verwaltungs- und Vertriebskosten mit in die Betrachtungen einzubeziehen. Die wichtigsten Einflußgrößen in der Textilveredlungsindustrie stellen zum Beispiel dar: Textilmaterial, Veredlungsverfahren, Färbeaggregat, Mengen, Flottenverhältnis, Gewichte, Breiten, Farbtiefen u. a.

Bartl, Capponi et al.⁷ haben bereits eine interessante Gegenüberstellung der Kosten bei Verwendung von Foulard bzw. Jigger in Abhängigkeit von der zu färbenden Metrage beschrieben. In der gleichen Arbeit ist auch eine Gegenüberstellung von Jigger- und Pad-Steam-Verfahren bei Küpenfarbstoffen enthalten.

Um der obigen Themastellung gerecht zu werden, sollen Jiggerfärbung, Zweibad-Klotz-Dämpf-, Zweibad-Naßfixier- und Klotz-Kurzverweil-Verfahren miteinander verglichen werden.

Folgende **Prozeßkennndaten** sollen als Grundlage dienen:

- Produktionsstunden pro Jahr:
 - bei einschichtigem Betrieb: $220 \times 8 = 1760$
 - bei zweischichtigem Betrieb: $220 \times 16 = 3520$
 - bei dreischichtigem Betrieb: $220 \times 24 = 5280$
- Textilmaterial: merzerisiertes Baumwollgewebe, 200 g/lfd m
Materialbreite: 140 cm
- Flottenaufnahme: 80 %
- Warengeschwindigkeit: 50 m/min
- Energiekosten:
 - Strom 0,10 DM/kWh
 - Dampf 22,— DM/t
 - Öl 0,15 DM/kg
 - Wasser 2,20 DM/m³
 - Lohnkosten 22,— DM/h
- Reinigungs- und Umrüstzeit bei Farbwechsel: 30 Minuten

Für die Kostenberechnung werden ferner nachstehende Investitionszahlen festgelegt, die in 10 Jahren abgeschrieben werden sollen.

- Foulard: DM 67.000.—
- Aufdockvorrichtung: DM 6.500.—
- Hotflue: DM 115.000.—
- Großdocken: DM 1.250.— (1 Dockengestell)
- Dämpfer: DM 230.000.—
- Breitwaschmaschine: DM 450.000.— (10 Kästen)
- Jigger: DM 65.000.—
- Naßfixiertrog: DM 20.000.—

Die vier zu vergleichenden Verfahren enthalten nachstehende Verfahrensschritte:

1. Jigger-Färbung

- 2. Foulard, Hotflue, Foulard, Dämpfer, Breitwaschmaschine
 - 3. Foulard, Hotflue, Naßfixiertrog, Breitwaschmaschine
 - 4. Foulard, Aufdockvorrichtung, Breitwaschmaschine
- Zur besseren Übersicht seien auch die Berechnungsformeln noch einmal wiedergegeben (Tab. 2).

Tabelle 2: Berechnungsformeln für die Verfahrenskosten

1. Abschreibung:	$R = \frac{\text{Kaufpreis} \times 100}{\text{Abschreibungszeitraum} \times \text{prakt. Produktion kg/h} \times \text{Jahresstunden}}$	
2. Gebäudekosten:	$R = \frac{\text{Gesamtplatzbedarf (m}^2\text{)}}{\text{Produktion (kg/h)}}$	(inklusive Platz für Begehung) R × 2,84 bei einschichtigem Arbeiten * R × 1,42 bei zweischichtigem Arbeiten * R × 0,95 bei dreischichtigem Arbeiten *
3. Energiekosten:		
a) Wasser	$R = \frac{\text{Wasserverbrauch (m}^3\text{/h)}}{\text{Produktion (kg/h)}}$	R × 220 = Dpf/kg
b) Strom	$R = \frac{\text{Stromverbrauch (kWh)}}{\text{Produktion (kg/h)}}$	R × 10 = Dpf/kg
c) Dampf	$R = \frac{\text{Dampfverbrauch (kg/h)}}{\text{Produktion (kg/h)}}$	R × 2,2 = Dpf/kg
d) Öl	$R = \frac{\text{Ölverbrauch (kg/h)}}{\text{Produktion (kg/h)}}$	R × 15 = Dpf/kg
4. Fertigungshöhe	$R = \frac{100 \times \text{Arbeiter}}{\text{Produktion (kg/h)}}$	R × 22 = Dpf/kg
* Faktor =	$\frac{1500 \text{ DM/m}^2 \times 100 \text{ Dpf/DM}}{30 \text{ Jahre} \times \text{h/Jahr}}$	

Im übrigen wurde die Zahl der erforderlichen Jigger aus der bei 50 m/min zu färbenden Tagesproduktion berechnet, wobei für Färbung und Nachbehandlung eine Gesamtbehandlungszeit von 6 Stunden angenommen wird. Hierbei wurden die eventuellen Verlustzeiten gegenüber den Normalschichtzeiten nicht berücksichtigt. Auf jeden Jigger sollen 200 kg, also 1000 m Ware, im Flottenverhältnis 1 : 2,5 (Gesamtflotte 500 l) gefärbt werden. Ferner wird bei Partienwechsel eine Zeit von 30 Minuten eingerechnet.

Für den **Wasserverbrauch** wird davon ausgegangen, daß auf dem Jigger insgesamt 14 Füllungen (wobei Bäder mit Überlauf entsprechend der Wassermenge berücksichtigt werden) à 500 l je Partie erforderlich werden (d. h. $14 \times 500 = 7000$ l je Partie, je Jigger).

Beim Wasserverbrauch bei den Klotzverfahren wurde nach folgendem Schema vorgegangen:

Verbrauchte Klotzflotte 480 l/h und eine Chassisfüllung von 50 l, desgleichen Rest in Leitung und Ansatzbehälter von 50 l; zusätzlich Wasser für Foulard- und Chassisreinigung je Partie 300 l ergibt 880 l Verbrauch im Naßfixiertrog je 960 l je Partie.

Rechnet man diese Werte um, dann ergibt sich für den Klotzvorgang einschließlich Reinigung ein Wasserverbrauch von 0,4 m³/h. Im Naßfixiertrog werden 0,5 m³/h und in der Breitwaschmaschine 10 m³ Wasser je Stunde verbraucht.

Diskussion der Ergebnisse von Tabelle 4:

Bedingt durch die deutlich niedrigeren Investitionskosten ergibt sich kostenmäßig ein Vorteil für das Klotz-Kurzverweil-(KKV-)Verfahren, der durch die

Tabelle 3: Grundlagen für die Kostenrechnung von vier verschiedenen Färbeverfahren

Färbeverfahren	Jigger-Verfahren			ZKD-Verfahren			Naßfixier-Verfahren			KKV-Verfahren		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl der Schichten	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Produktionsstunden pro Jahr	1760	3520	5280	1760	3520	5280	1760	3520	5280	1760	3520	5280
Zahl der Anlagen	12	12	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fassungsvermögen	200	200	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Warengeschwindigkeit m/min	—	—	—	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Färbezyklus in h	6	6	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
theoretische Produktion kg/h	—	—	—	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Praktische Produktion kg/h = 65 % der theoretischen Produktion	400	400	400	390	390	390	390	390	390	390	390	390
Gesamtinvestition TDM	780	780	780	862	862	862	652	652	652	536	536	536
Platzbedarf m ²	180	180	180	310	310	310	206	206	206	180	180	180
Energie: Wasser m ³ /h	14	14	14	10,8	10,8	10,8	10,9	10,9	10,9	10,4	10,4	10,4
Strom kW/h	60	60	60	92	92	92	64	64	64	48	48	48
Dampf kg/h	1140	1140	1140	1404	1404	1404	1304	1304	1304	560	560	560
Zahl der Arbeiter	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Tabelle 4: Kalkulationsvergleiche von vier verschiedenen Färbeverfahren

Färbeverfahren	Jigger-Verfahren			ZKD-Verfahren			Naßfixier-Verfahren			KKV-Verfahren		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Anzahl der Schichten	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Abschreibung	11,1	5,5	3,7	12,6	6,3	4,2	9,5	4,8	3,2	7,8	3,9	2,6
Gebäudekosten	1,3	0,6	0,4	2,2	1,1	0,8	1,5	0,8	0,5	1,3	0,7	0,4
Energie: Wasser	7,7	7,7	7,7	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	5,9	5,9	5,9
Strom	1,5	1,5	1,5	2,4	2,4	2,4	1,6	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2
Dampf	6,3	6,3	6,3	7,9	7,9	7,9	7,4	7,4	7,4	3,2	3,2	3,2
Zwischensumme	27,9	21,6	19,6	31,2	23,8	21,4	26,2	20,8	18,9	19,4	14,9	13,3
Fertigungskosten	22,0	22,0	22,0	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6	22,6
			(23,1)			(23,7)			(23,7)			(23,7)
Dpf/kg	49,9	43,6	41,6	53,8	46,4	44,0	48,8	43,4	41,5	42,0	37,5	35,9
			(42,7)			(45,1)			(42,6)			(37,0)
Dpf/m	10,0	8,7	8,3	10,8	9,3	8,8	9,8	8,7	8,3	8,4	7,5	7,2
			(8,5)			(9,0)			(8,5)			(7,4)
Anteil der Fertigungskosten in %	44	50	53	42	49	51	46	52	54	54	60	63
			(54)			(53)			(56)			(64)

niedrigeren Wasser- und Dampfkosten noch vergrößert wird. Die Wirtschaftlichkeit des KKV-Verfahrens wird von keinem anderen Verfahren erreicht. Das Färben nach dem Naßfixier-Verfahren entspricht bezüglich der Kosten etwa der Jigger-Ausziehfarbung, während das Zweibad-Klotz-Dampf-(ZKD-) Verfahren sogar noch etwas teurer ist. Allerdings sind die Farbstoffpreise nicht miteinbezogen, sodaß ein direkter Vergleich zu den bei Küpenfarbstoffen durchgeführten Vergleichen von Bartl et al.⁷ nicht möglich ist.

Vergleicht man andererseits die Kosten bei ein-, zwei- oder dreischichtigem Arbeiten, dann ergibt sich wegen der Nachtschichtzuschläge bei drei- oder zweischichtigem Betrieb (siehe Zahlen in Klammern) keine nennenswerte Veränderung der Verfahrenskosten. Es erscheint deshalb in der heutigen Zeit dringend überlegenswert, ob eine dritte Schicht in der Textilveredlung überhaupt noch sinnvoll ist, zumindest so lange die Investitionskosten (in obigem Beispiel DM 200.000,— pro Arbeitsplatz) nicht höher liegen.

3.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Hinblick auf Wasser- und Energiefragen

Eine genaue Betrachtung der in Tabelle 3 enthaltenen Angaben über den Wasserverbrauch führt nach Umrechnung zu nachstehenden Zahlen:

Wasserverbrauch in l Wasser/kg Ware:

Jigger-Verfahren	35
Pad-steam-Verfahren	28
Naßfixier-Verfahren	28
Klotz-KV-Verfahren	27

Diese Werte haben aber nur dann Gültigkeit, wenn die Ware mit einer Passage auf der Breitmaschine optimale Echtheitseigenschaften zeigt, was nicht bei allen Reaktivfarbstoffen gewährleistet ist. Der Vorteil der Klotzverfahren gegenüber der Jiggerfärberei ist deutlich. Durch moderne Intensivierung der Waschwirkung kann der Wasserverbrauch auf der Breitwaschmaschine noch verringert werden. Im Falle des Klotz-Kurzverweil-Verfahrens eignet sich auch die [®]Rotowa-Breitwaschmaschine von der Firma Heberlein & Co. AG, Wattwil, Schweiz, über die wir schon

früher berichtet und exakt gemessene Wasserverbrauchszahlen mitgeteilt haben* und die 100 plus-Einheit der Firma Kleinewefers.

Aus Tabelle 3 geht ebenfalls deutlich hervor, daß sich das Klotz-Kurzverweil-Verfahren gegenüber den anderen Klotzverfahren durch äußerst geringen Energieverbrauch bemerkbar macht. Im wesentlichen resultiert der Energieaufwand beim KKV aus dem elektrischen Antrieb und dem Heizen der Nachbehandlungsbäder. Joos⁹ weist besonders auf den außerordentlichen Energieaufwand für das Zwischentrocknen hin, weshalb Verfahren mit Zwischentrocknen besonders kostenintensiv sind.

Da jedoch der Trend immer stärker in Richtung Mischungen von Synthefasern mit Zellulosefasern geht, muß auch noch die Bedeutung des KKV auf die Mischgewebefärberei untersucht werden.

4. Welche Bedeutung hat das Klotz-Kurzverweil-Verfahren für Mischgewebe aus Polyester- und Zellulosefasern?

4.1. Das Thermosol-Klotz-Kurzverweil-Verfahren

Die Kombination des für Polyesterfasern wirtschaftlichsten Färbeverfahrens, des Thermosol-Verfahrens, mit dem Klotz-Kurzverweil-Verfahren drängte sich geradezu auf. Über die technischen und wirtschaftlichen Vorteile dieser Arbeitsweise wurde bereits mehrfach berichtet^{10, 11, 12}. Man arbeitet dabei so, daß man zunächst nur mit Dispersionsfarbstoffen klotzt, trocknet und thermosoliert. Auf diese Ware wird nun der Reaktivfarbstoff nach dem beschriebenen Klotz-Kurzverweil-Verfahren aufgebracht und die Nachbehandlung auf einer Breitwaschmaschine für beide Faserarten in einem Arbeitsgang durchgeführt. Eine ausführliche Betrachtung dieser Arbeitsweise im Vergleich zum Thermosol-Pad-Steam-Verfahren haben wir an anderer Stelle¹² beschrieben. An dieser Stelle soll das Ergebnis der Berechnungen in Tabelle 5 genügen.

Tabelle 5: Verfahrenskosten, Vergleiche bei Thermosol-Verfahren (ohne Farbstoffkosten), Warengeschwindigkeit: 30 m/min

Berechnungsgrundlagen	Pad- Steam- Verfahren	Thermosol- KKV- Verfahren	Einbad- Verfahren	Jigger- Verfahren
1. Abschreibung	7,4	6,2	5,8	7,6
2. Gebäudekosten	1,1	1,1	0,9	1,1
3. Energiekosten	Strom	3,9	3,5	3,5
	Dampf	8,8	7,3	7,3
	Gas	1,3	1,3	1,3
	Wasser	6,7	6,7	6,7
4. Fertigungskosten	37,7	37,7	31,4	50,3
Ergebnis	Dpf/kg	66,9	63,8	84,2
	Dpf/m	20,1	19,1	25,3
%-Anteil der Löhne	56,0	59,0	56,0	60,0

Bekanntlich ergibt das Thermosol-Pad-Steam-Verfahren auf Polyester/Zellwolle-Mischgeweben wegen des berechtigten Grauschleiers große Schwierigkeiten. Gerade bei diesem Artikel hat sich das Thermosol-Klotz-Kurzverweil-Verfahren hervorragend bewährt.

4.2. Das Klotz-Kurzverweil-HT-Verfahren

Trotz aller Vorteile des Thermosol-Verfahrens für Polyester ist man bei einigen, besonders bei schweren Polyester/Zellwolle-Geweben, aus technischen Gründen gezwungen, den Polyesterfaseranteil unter HT-Bedingungen nach dem Ausziehverfahren zu färben. Gerade in der Zeit, in der die Preise für Wolle außergewöhnlich stiegen, kam dem Polyester/Zellwolle-Mischgewebe bei einem Quadratmetergewicht von etwa 300 g eine steigende Bedeutung zu.

Um dem Polyester/Zellwolle-Mischgewebe einen möglichst wollähnlichen Charakter zu verleihen, wurde der Polyesterfaseranteil auf dem HT-Färbebaum (vorwiegend in Frankreich und Italien) oder auf einer Jet-Färbeanlage gefärbt.

Ein großer Vorteil der ®Remazol-Farbstoffe ist die Tatsache, daß die mit ihrer Hilfe zu erreichende Farbstoff/Faser-Bindung auch im sauren Bereich beim Färben unter HT-Bedingungen stabil ist, das heißt keine Verseifung oder Hydrolyse erfährt. So bietet sich mit dem KKV-Jet-Färbverfahren eine äußerst interessante und wirtschaftliche Arbeitsweise an.

Es wird dabei zunächst der ®Remazol-Farbstoff nach der nun schon bekannten Weise nach dem KKV-Verfahren gefärbt. Nach der entsprechenden Verweilzeit erfolgt das Neutralisieren oder Auswaschen.

In der Praxis haben sich zwei Arbeitsweisen eingeführt. Ein Teil der Betriebe läßt die Ware mit hoher Warengeschwindigkeit über eine Breitwaschmaschine laufen, um den größten Teil des unfixierten Farbstoffes, vor allem aber das Alkali durch Neutralisieren und heißes Spülen herauszuholen. In anderen Betrieben wiederum wird die Ware direkt von der Kaule (Großdocke) in eine Jet-Färbeanlage eingezogen und dabei gespült und neutralisiert. Danach erfolgt aber auf jeden Fall die Überfärbung des Polyesterfaseranteils in gewohnter Weise unter HT-Bedingungen. Der Verfahrensablauf wird in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

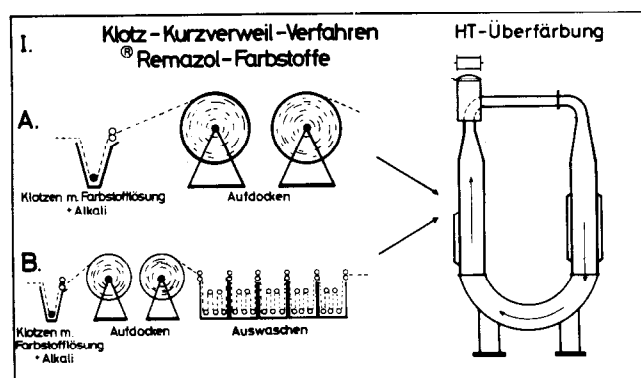


Abb. 3: Schematischer Verfahrensablauf des KKV-Jet-Verfahrens

Um die Stabilität der Farbstoff/Faser-Bindung von ®Remazol-Färbungen auch unter HT-Bedingungen bei pH 5 und verschiedenen Temperaturen während zwei Stunden zu demonstrieren, haben wir Färbungen in 1/1 Richttyptiefe nachträglich verschiedenen HT-

Tabelle 6: Einfluß von HT-Bedingungen auf die Farbtiefe von ®Remazol-Färbungen. (Behandlungszeit: 120 Minuten bei pH 5; ursprüngliche Farbtiefe = 100; die Zahlen geben die Farbtiefe in % an, gemessen durch Remissionswertbestimmungen)

Färbetemperatur	120° C	125° C	130° C	135° C	140° C
®Remazolbrillantgelb GL	99,5 %	101,5 %	97,7 %	99,7 %	97,2 %
®Remazolgelb GR	101,6 %	101,2 %	100,2 %	100,0 %	100,6 %
®Remazolbrillantoranger 3R	99,6 %	98,7 %	101,3 %	101,5 %	98,5 %
®Remazolbrillantrot BB	102,3 %	101,8 %	101,8 %	101,9 %	102,1 %
®Remazolbordo B	101,9 %	100,7 %	100,7 %	100,8 %	102,0 %
®Remazolrubin GR	102,2 %	97,2 %	99,8 %	105,0 %	101,6 %
®Remazolbrillantviolett 5R	97,9 %	98,7 %	101,8 %	100,0 %	100,5 %
®Remazolblau 3R	102,6 %	99,1 %	99,9 %	104,9 %	97,3 %
®Remazolbrillantblau R	102,4 %	104,2 %	101,6 %	101,7 %	101,2 %
®Remazoltürkisblau G	101,1 %	100,1 %	103,9 %	103,3 %	100,5 %
®Remazolbrillantgrün 6B	104,5 %	104,7 %	105,6 %	105,9 %	104,3 %
®Remazolbraun GR	102,2 %	101,0 %	100,0 %	100,4 %	102,3 %
®Remazolschwarz B	106,1 %	101,1 %	104,7 %	106,4 %	101,6 %
®Remazolschwarz RL	98,9 %	97,1 %	102,1 %	102,5 %	99,0 %

Erfahrungsgemäß ist eine Toleranz von ± 5 % anzusetzen.

Bedingungen unterworfen und dann die Farbausbeute durch Remissionsmessungen mit der Originalfärbung verglichen. In Tabelle 6 ist das Ergebnis bei den wichtigsten Farbstoffen zusammengefaßt.

4.3. Vergleich von Thermosol-KKV- mit KKV-Jet-Verfahren

Der Berechnung werden folgende Prozeßkennndaten zugrundegelegt:

- Produktionsstunden pro Jahr: 5280
- Textilmaterial PES/Zellwolle: 300 g/dfd. m
- Materialbreite: 150 cm
- Maschinenabschreibung: 10 Jahre
- Warengeschwindigkeit: a) 30 m/min
b) 50 m/min

Investitionen:

- a) für Warengeschwindigkeit von 30 m/min
- b) für Warengeschwindigkeit von 50 m/min

	a)	b)
Foulard	67.000.—	67.000.—
IR-Schacht	85.000.—	85.000.—
Hotflue	115.000.—	160.000.—
Thermosolanlage*	380.000.—	380.000.—
Aufdockanlage	6.500.—	6.500.—
Dockwagen	12.500.— ¹⁰	17.500.— ¹¹
Breitwaschmaschine	450.000.—	790.000.—
Jumbo-Jet 150 kg	180.000.—	
Jumbo-Jet 300 kg	245.000.—	
R-Jet 140 300 kg	210.000.—	
R-Jet 140 600 kg	315.000.—	
HT-Baumfärbeapparat + 2 Bäume + Zubehör		130.000.—
200 kg		
Baumwickelmaschine		
Abschreibung über 10 Jahre		

* RT-Anlage mit Verweilabteil, geeignet für eine Warengeschwindigkeit bis zu 64 m/min.

Tabelle 7: Grundlagen für die Kostenrechnung von Färbverfahren für Mischgewebe aus Polyester-/Zellulosefasern

Färbverfahren	Thermosol-KKV		KKV-Jet		KKV-Jet (neu)		KKV-HT-Baum	
	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280
Produktionsstunden im Jahr	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280	5280
Zahl der Thermosolanlagen	1	1	—	—	—	—	—	—
Zahl der Jets (HT-Anlagen) (Fassungsvermögen)	—	—	3 3×300	5 5×300	2 1×600 1×300	3 3×600	6	10
Zahl der KKV-Anlagen	1	1	1	1	1	1	2	2
Flottenverhältnis	—	—	1 : 15	1 : 15	1 : 6	1 : 6	1 : 12	1 : 12
Warengeschwindigkeit in m/min	30	50	30	50	30	50	30	50
Färbezyklus in h	—	—	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5	3,5
theoretische Produktion kg/h *	540	900	540	900	540	900	540	900
praktische Produktion kg/h * (65 % der theoretischen Produktion)	351	585	351	585	351	585	351	585
Gesamtinvestition in TDM	1183	1568	821	1311	611	926	960	1490
Energie: Wasser (m³/h)	10,6	15,6	32,0	53,1	13,0	21,5	25,3	42,1
Strom (kW/h)	101	137	192	312	192	312	132	216
Dampf (kg/h)	1454	2071	2250	3750	900	1500	2100	3500
Platzbedarf in m²	390	420	235	335	205	285	180	260
Zahl der Arbeiter	7	7	5	7	5	7	8	10

* bezogen auf die Produktion auf dem Foulard

Tabelle 8: Kalkulationsvergleiche von Färbeverfahren für Mischgewebe aus Polyester- und Zellulosefasern

Färbeverfahren	Thermosol-KKV		KKV-Jet		KKV-Jet neu		KKV-HT-Baum	
	30	50	30	50	30	50	30	50
1. Abschreibung	6,4	5,1	4,4	4,2	3,3	3,0	5,2	4,8
2. Gebäudekosten	5,6	3,6	3,4	2,9	2,9	2,4	2,6	2,2
3. Energiekosten:								
Wasser	6,6	5,9	20,0	19,9	8,1	8,0	15,9	15,8
Strom	2,9	2,3	5,5	5,3	5,5	5,3	3,8	3,7
Dampf	9,1	7,8	14,1	14,1	5,6	5,6	13,2	13,2
1. bis 3. Zwischensumme	30,6	24,7	47,4	46,4	25,4	24,3	40,7	39,7
4. Fertigungskosten	43,9	26,3	31,3	26,3	31,3	26,3	50,2	37,6
Dpf/kg	74,2	51,0	78,7	72,7	56,7	50,6	90,9	77,3
Dpf/m	22,3	15,3	23,6	21,8	17,0	15,2	27,3	23,2
% Anteile der Fertigungskosten	59	52	40	36	55	52	55	49

Bei der Berechnung wurden Farbwechsel usw. nicht berücksichtigt.

Die in Tabelle 7 enthaltenen Grundlagen wurden auf der Basis vielseitiger Informationen und Berechnungen zusammengestellt.

Trotz aller Vorbehalte gibt uns Tabelle 8 einen interessanten Kalkulationsvergleich. Es zeigt sich, wie auch nicht anders zu erwarten, daß das KKV-Jet-Verfahren doch bisher teurer liegt als das Thermosol-KKV-Verfahren, besonders bei der für das KKV-Verfahren üblichen Warengeschwindigkeit von 50 m/min. Aber im wesentlichen rührt diese Verteuerung von zwei Einflußgrößen her, vom hohen Wasserverbrauch und von dem höheren Dampfverbrauch.

Damit konnte gezeigt werden, daß das Klotz-Kurzverweil-Verfahren sogar mit einem aus Artikelgründen erforderlichen HT-Färbeprozess wirtschaftlich kombiniert werden kann.

Die Konsequenz daraus muß also heißen, daß man Jet-Färbeanlagen mit größerem Fassungsvermögen bauen muß, die vor allem das Arbeiten in einem kürzeren Flottenverhältnis erlauben. Die R-Jet-Kurzflottenfärbeanlage aus dem Hause Thies, Coesfeld, BRD, kommt diesem Wunsch nach. Mit Hilfe dieser Kurzflottenfärbeanlage kann das Kostenniveau des Thermosol-KKV-Verfahrens erreicht werden.

Wie bereits früher erwähnt, wird in der Textilindustrie auch eine Färbetechnik eingesetzt, bei der das Färben des Polyesterfaseranteils auf dem Färbebaum erfolgt. In die Tabellen 7 und 8 wurden auch die Zahlenwerte für dieses Färbeverfahren aufgenommen. Rein kostenmäßig verhält sich auch dieses Färbeverfahren wie die KKV-Jet-Methode. Die Unterschiede, die bei verschiedenen Qualitäten sehr entscheidend sein können, liegen in der gegenüber der Jet-Behandlung auf dem HT-Baum vorliegenden höheren Spannung der Ware in der Gefahr einer Alkali-Moiré-Bildung und in der weniger intensiven Waschwirkung.

5. Ausblick auf die Zukunft und Zusammenfassung

Nach einem Überblick über das Klotz-Kurzverweil-Verfahren, das sich bei Reaktivfarbstoffen voll bewährt und durchgesetzt hat, wurde eine Wirtschaft-

lichkeitsbetrachtung angestellt, die den praktischen Erfolg nachhaltig begründet. Es wurde erneut bestätigt, daß das Klotz-Kurzverweil-Verfahren ein kostensparendes Färbeverfahren mit niedrigem Wasser- und Energieverbrauch darstellt.

Es kann somit nicht verwundern, wenn dieses attraktive und in seiner Sicherheit und Reproduzierbarkeit kaum erreichte Färbeverfahren auch in der Mischgewebefärberei eingesetzt wird. Die entsprechenden Thermosol-Klotz-Kurzverweil- und Klotz-Kurzverweil-HT-Verfahren für Dispersions- und Remazol-Farbstoffe wurden diskutiert und in einer Kostenbetrachtung einander gegenübergestellt. Der neue Trend, Jet-Färbeanlagen mit großem Fassungsvermögen unter kürzerem Flottenverhältnis herzustellen, zeigt auch in einer Kostenanalyse seine absolute Berechtigung.

Denjenigen Betrieben, die trotz aller Vorteile der KKV-Technik dennoch eine kontinuierliche Arbeitsweise anstreben, hoffen wir in absehbarer Zeit eine interessante Neuentwicklung anbieten zu können. Während beispielsweise in der Polyamid-Teppichfärberei eine Kaltverweiltechnik schon so gut wie produktionsreif ist, muß man bei Polyesterfasern wohl alle kühnen Erwartungen in dieser Hinsicht begraben.

Abschließend soll noch einmal mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, daß die errechneten Zahlen nur jeweils in einer Gegenüberstellung vergleichbar sind. Sie stellen keine effektiven Kostenrechnungen dar und sagen insofern auch nichts Konkretes über die wirklichen Herstellungskosten aus. Diese Gegenüberstellungen, die im übrigen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sind aber ein gutes Orientierungsmittel und bei wichtigen Entscheidungen oft unentbehrlich.

Dank

Für die freundliche Unterstützung bei der Zusammenstellung des Zahlenmaterials möchte ich den Firmen A. Monforts, Mönchenglöblich, Fleissner GmbH. & Co., Egelsbach bei Frankfurt, und der Thies KG, Coesfeld, herzlich danken. Besonderen Dank schuldet der Autor Herrn Textil-Ing. R. Wassner für seine Mitarbeit bei den Berechnungen.

Literatur:

- 1) H.-U. von der Eltz, E. Ungermann: „Das Klotz-Kurzverweilverfahren für Remazol-Farbstoffe“; Textil-Praxis **18** (12), 1189—1197 (1963)
- 2) E. Ungermann: „Die Anwendung der Remazol-Farbstoffe nach dem Klotz-Kurzverweil-Verfahren“; Textil-Praxis **27** (6), 374—377; (7), 424—427; (8), 492—496; (9), 562—564; (10), 620—622 (1972)
- 3) P. Frey: „Das Azanil-Klotz-Verweilverfahren. Ein wirtschaftliches Verfahren zum Färben von Stückware aus Zellulosefasern und deren Mischungen mit Polyesterfasern“; Textilbetrieb **91** (12), 59—62 (1973)
- 4) S. Weigold, H. Brandt: „Wirtschaftliche Methoden zum Kontinuierfärben von Geweben und Gewirken aus Cellulosefasern mit Indanthren-Farbstoffen“; Vortrag anlässlich des Textil-Symposiums vom 20. bis 21. April 1972 in Ludwigshafen
- 5) C. Heid: „Neue Anwendungsmöglichkeiten von Hydrosol- und ®Hydrosollicht-Farbstoffen beim kontinuierlichen und halbkontinuierlichen Färben cellulosehaltiger Stückware“; Zeitschr. ges. Textilind. **70** (9), 626—630 (1968)
- 6) H.-U. von der Eltz: „Ökonomisches Färben mit Remazol-Farbstoffen“; Zeitschr. ges. Textilind. **65** (10), 833—836 (1963)
- 7) O. Bartl, M. Capponi, W. B. Egger, W. Joos: „Foulard oder Jigger? Versuch eines Kostenvergleiches von Färbemethoden“; Textilveredlung **9** (4), 147—151 (1974)
- 8) H.-U. von der Eltz, H. Walbrecht: „Die Nachbehandlung von Färbungen und Drucken mit Remazol-Farbstoffen nach Verfahren Heberlein mit der Rotowa-Breitwaschmaschine“; Melliand Textilber. **46**, 1074—1076 (1965)
- 9) W. Joos: „Das Färben von Zellulosefasern mit Reaktivfarbstoffen nach dem Kaltlagerverfahren“; Textilveredlung **10** (2), 72—74 (1975)
- 10) H. Helling: „Das Färben von Polyester-/Zellulosefaser-Mischgeweben nach dem Thermosol-/Klotz-Kurzverweil-Verfahren“; Deutscher Färberkalender 1968, 144—151
- 11) H.-U. von der Eltz, J. Jeths, K. Petersen: „Einbad-Thermosol-Verfahren mit Dispersions- und Reaktivfarbstoffen für Polyester-/Cellulosefaser-Mischgewebe im Lichte ihrer praktischen Bedeutung“; Textil-Praxis **23** (11), 765—770 (1968)
- 12) H.-U. von der Eltz, H. Helling, R. Wassner: „Mehr Sicherheit im Thermosol-Verfahren; X. Wann ist der Thermosol-Prozeß wirtschaftlich?“; Textil-Praxis **30** (1975), z. Zt. im Druck
- 13) Anonym: „Rationelle Großkaulen im Einsatz von der Weberei bis zum Zuschneidetisch“; Textilveredlung **9** (4), 190—191 (1974)

Diskussion

Bennighoff: Die Frage der Partiegroße ist zwar immer aktuell, wurde aber nie angesprochen.

von der Eltz: Das Wort „nie“ darf ich korrigieren. Ich habe mich in Köln am 19. Oktober 1974 sehr deutlich zur Partiegroße geäußert und habe das auch im Melliand publiziert. Es wird aber immer in Diskussion bleiben, denn die Behauptung der Amerikaner, man brauche mindestens 10.000 bis 12.000 m, um Thermosolpartien wirtschaftlich färben zu können, gilt wohl nur dann, wenn wir amerikanische Warengeschwindigkeiten einbeziehen. Wenn wir in Europa Umschau halten, dann finden wir ganz wenige Häuser, in denen eine Warengeschwindigkeit von mehr als 50 m/min bei Polyester/Zellulosefasern realisiert wird. Es genügen meines Erachtens schon Partiegroßen von 2000 m.

Wenn man nun 2000 m mancher Qualität auf einem anderen Aggregat färbt, so bedeutet das recht oft einen materiellen Aufwand gegenüber der vorhandenen Thermosolanlage, für die ich ja letztlich auch Abschreibungen, das heißt Arbeit, brauche. Wenn wir davon ausgehen, daß wir heute eine Auslastung der Thermosolanlagen bis zu 65 % ausweisen, dann nur in solchen Fällen, für die das Thermosolverfahren wirklich geschaffen wurde. Man kann schnell einige in Europa stehende Thermosolanlagen nennen, deren Effizienz weit unter 50 % liegt. — Mit anderen Worten: Es kann nur im Hause selbst entschieden werden, welche Bedeutung der Warenmenge für ein Kontinuerfahren beigemessen wird.

Auf der anderen Seite bleibt jedem Praktiker die Möglichkeit, neben der reinen Kontinuetchnik die zumindest halbkontinuierliche Technik des Kaltverweil-Jet-Verfahrens auszunützen. Gerade die augenblickliche Situation mit verkürzten Metragen hat zu diesem Schritt sehr deutlich beigetragen.

Um die Menge hier zu diskutieren, müßten wir genau berücksichtigen, wie groß das Chassis ist, mit welchen Warengeschwindigkeiten gearbeitet wird, usw.

Bennighoff: Ich will kein Mißverständnis hier aufkommen lassen. Meine Frage war präzise zu den Zahlen in Pfennig pro Laufmeter, die Sie gegeben haben. Die Dimension der Partielänge fehlt hier, wenn man diese Zahlen in Vergleichen einsetzt. Habe ich Sie richtig verstanden, daß 2000 m Ihre Definition ist?

von der Eltz: Nein. Die Rechnungen basieren zwar auf einer Partiegroße von 2000 m, wir haben diese Berechnungen aber sowohl für 10.000 m als auch für niedrigere Metragen durchgeführt. Auf die 2000-m-Werte haben wir uns nur für die Vergleichsbetrachtungen festgelegt, und zwar wegen der Zeit, die für die Reinigung der Aggregate, für das Wiederfüllen des Chassis, für die Reinigung des Foulards usw. verloren geht.

Alle diese Faktoren vernünftig einzubeziehen, ist fast unmöglich, denn ich kann Ihnen aus dem Stegreif verschiedene Färbereien im mitteleuropäischen Raum nennen, in denen die Reinigung der Thermosolanlage zwischen 20 Minuten und 1 1/2 Stunden variiert. Auch ist es eine Frage der betrieblichen Organisation, inwieweit es möglich ist, das Fahren von Hell nach Dunkel mit dem Produktionsplan in Einklang zu bringen. Diese Frage können Sie für einen solchen Vergleich mit Zahlen gar nicht erfassen.

Wir werden uns jedoch bemühen, daß alle Vergleichszahlen erscheinen und veröffentlicht werden. Über Wirtschaftlichkeitsvergleiche beim Thermosolverfahren erschien bereits im Septemberheft der „Textilpraxis“ eine Publikation.

Optimales Färben von Polyester/Zellwoll-Mischgeweben nach Foulard-Verfahren

Text. Ing. (grad.) H. Lehmann und
Text. Ing. (grad.) C. Oschatz
SANDOZ AG, Basel (Schweiz)

Die Grundlage dieses Vortrags bilden verschiedene Verfahrensweisen der Stückfärberei kontinuierlicher oder halbkontinuierlicher Art, die, in Tabellen zusammengefaßt, auf ihre Eignung für die Erzielung eines „wollartigen“ Griffs hin untersucht werden. Gleichzeitig wird auch die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren beleuchtet.

Die Diskussion ergibt die Schlußfolgerung, daß es als Alternative einer Ausziehfarbung auf der Jet- oder Overflow-Färbeanlage durchaus auch Möglichkeiten gibt, auf kontinuierliche Weise schwere, voluminöse PES/Zellwolle-artikel mit dem gleichen Ausfall, aber wirtschaftlicher zu färben.

This paper is based on various continuous and semi-continuous processes of piece dyeing which are summarized in tables and tested for their suitability for obtaining a "woollen" hand. At the same time the economics of these processes are examined.

In the discussion the conclusion was reached that as an alternative to exhaust dyeing on a jet or overflow dyeing plant, it is also possible to dye heavy, voluminous PES/cellulose articles in a continuous process and obtain the same quality more economically.

1. Einleitung

Immer mehr wird Zellwolle in Mischungen mit Polyester eingesetzt. Solche Gewebe finden für Damenoberbekleidung und für Herrenkonfektion Verwendung. Bei diesen Mischungen ist die Art des Vorbehandelns, des Färbens und des Ausrüstens, das heißt die mechanische Behandlung des Materials, für den Griff des fertigen Artikels wesentlich.

Die Ansprüche an den Griff eines Polyester/Zellwoll-Artikels sind außerordentlich vielfältig; man erwartet ein Verhalten, das einem Polyester/Woll-Artikel möglichst ebenbürtig sein sollte.

Die technologischen Eigenschaften der Zellwolle und der Wolle sind jedoch völlig verschieden. So sind beispielsweise die Bauschelastizität und die Knittererholung der Wolle auch durch optimale Veredlung der Zellwolle kaum zu erreichen. Mischungen von Zellwolle mit Polyesterfasern im Verhältnis 30:70 verhalten sich in dieser Hinsicht etwas günstiger. Da es noch keine objektive Prüfmethode für die Griffqualität gibt, darf man behaupten, daß praktisch jeder Ausrüster und jeder Kunde seine eigene Vorstellung vom optimalen Ausfall eines Polyester/Zellwoll-Artikels hat.

Entsprechend den maßgebenden Kriterien

- Warengewicht (schwer/leicht)

ergibt sich die Wahl des besten Verfahrens. In der Folge werden verschiedene Verfahren der Stückfärberei kontinuierlicher oder halbkontinuierlicher Art auf ihre Eignung für das Erzielen eines „wollartigen“ Griffs untersucht. Als Vergleichsbasis dient der Warenausfall, der auf einer Jet- oder Overflow-Färbeanlage erzielt wird.

Eine Reihe von Veredlern wird entscheiden müssen, ob für das Verarbeiten von Polyester/Zellwoll-Artikeln eine kontinuierliche oder eine halbkontinuierliche Färbeweise wirtschaftlicher und vorteilhafter ist, oder ob allenfalls umfangreiche Investitionen (Anschaffung von HT-Färbeapparaten) getätigt werden sollen, um den notwendigen Warenausfall und die erforderliche Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten. Deshalb sollen der Verfahrensanalyse noch einige wirtschaftliche Überlegungen angeschlossen werden.

2. Verfahrensvarianten für das Färben von Polyester/Zellwoll-Stückware; ihr Einfluß auf den Warenausfall

Allgemeines

In der folgenden Übersicht (Abb. 1) sind alle prinzipiellen Möglichkeiten kontinuierlicher und halbkontinuierlicher Verfahren für das Färben von Polyester/Zellwoll-Mischgeweben aufgeführt und dem normalen Ausziehfarbverfahren auf einer HT-Färbeanlage gegenübergestellt. Neben dem Thermosolverfahren gibt es noch andere praktikable Möglichkeiten des kontinuierlichen und des halbkontinuierlichen Färbens; eine an das Thermosolieren anschließende Behandlung gestattet ebenfalls die Beeinflussung des Warengriffs.

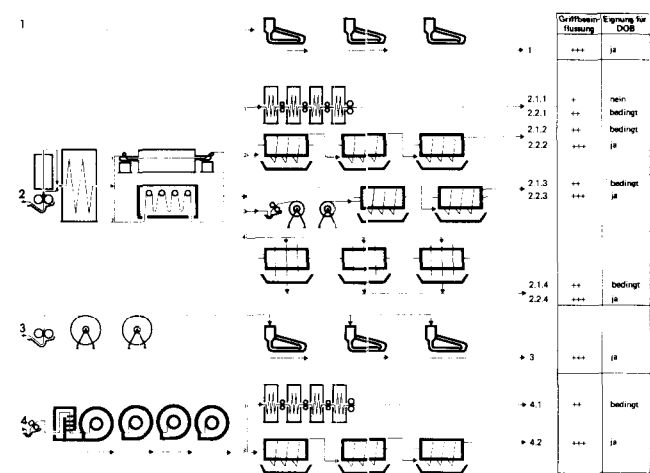


Abb. 1: Verfahrensvarianten für das Färben von PES/Zellwoll-Geweben

Im einzelnen sind folgende, zum großen Teil in der Praxis verwendete Verfahrensvarianten möglich, wobei als Maßstab für den Warenausfall das HT-Ausziehfarben (Variante 1) gilt:

Thermosolverfahren (1- und 2stufig): Variante 2. Ta-

temperatur von 180—190 °C und einen spannungsarmen Warenlauf durch einen Hängeschleifendämpfer eine wesentliche Annäherung an den Warenausfall des HT-Verfahrens erzielen. Dies ist beim Einsatz mittelsublimierender Farbstoffe (z. B. ®Foron-SE-Farbstoffe in Anwesenheit eines sogenannten „Thermosol-Carriers“, z. B. ®Printogen HD) möglich, wobei sich die Dispersionsfarbstoffe optimal fixieren lassen. Das Material kann in Länge und Breite frei schrumpfen, was zu einer Volumenvergrößerung führt. Im Gegensatz dazu bewirkt jede Spannrahmenbehandlung einen flachen, harten Warenausfall. Schließlich verhindert der Dampf als Fixiermedium ein völliges Austrocknen des Zellwollanteils, was die Qualität ebenfalls fördert.

Auch im zweiten Teil des Färbeverlaufs, dem Färben des Zellwollanteils, wirkt sich eine mechanische Behandlung des Materials auf der Haspelkufe vorteilhaft auf das Volumen aus. Dabei ist die Art und Weise der Anfärbung der Zellwolle von sekundärer Bedeutung.

Tabelle 1: Halb- und vollkontinuierliche Thermosol-Verfahrensvarianten

Verfahrensschema (siehe Abb. 1)	Verfahrensbezeichnung	einbadig/zweibadig	einstufig/zweistufig	Farbstoffe
2. 1. 1 / 2. 1. 2	TTE*	einbadig	einstufig	®Terindosol
2. 2. 1 / 2. 2. 2	Drimafon R/Z	einbadig	einstufig	Foron/ ®Drimaren R/Z
2. 1. 3 / 2. 2. 3	Thermosol-Kaltverweil	zweibadig	zweistufig**	Foron/ Drimaren R
2. 1. 3 / 2. 2. 3	Thermosol-Alkaliklotz	einbadig	zweistufig	Foron/ Drimaren R
2. 1. 4 / 2. 2. 4	Thermosol-Auszieh	zweibadig	zweistufig**	Foron/ ®Solar/Cuproxif C

* Terindosol-Trockenentwicklung
** reduktive Zwischenreinigung möglich

Kaltverweil-/HT-Ausziehverfahren (Variante 3)

Das Kaltverweil-/HT-Ausziehverfahren ist eine weitere interessante Variante. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von HT-Färbeapparaten. Es handelt sich um ein zweistufiges Färbeverfahren, bei dem das Anfärben des Zellwollanteils außerhalb des HT-Färbeapparates durch eine Kaltverweil-Operation mit überfärberechten Drimaren R-Farbstoffen vorweggenommen wird. Daraus resultieren kürzere Färbezeiten für den Polyesteranteil auf den HT-Färbeapparaten und eine positive Griffbeeinflussung.

Pad-Roll-Färbeverfahren (Variante 4)

Das Pad-Roll-Verfahren darf nicht unerwähnt bleiben; seine Bedeutung hat gerade in jüngster Zeit wieder zugenommen. Schon zu Beginn der Pad-Roll-Ära, vor etwa 12 Jahren, war versucht worden, Polyester und Polyester-Mischgewebe auf diese Art zu färben. Die damaligen Ergebnisse wurden jedoch angesichts der großen Erfolge des Thermosolverfahrens nicht weiter beachtet. Eine ganze Reihe von Foron-Farbstoffen lassen sich bei einer Warentemperatur von 100 °C fixieren. Die Verweilzeit beträgt allerdings, unabhängig von der Farbtiefe, zirka 6 Stunden. Das bedeutet, daß

Nach dieser Methode lassen sich sowohl Gewebe aus Reinpolyester als auch aus Polyester/Zellwollmischungen einbadig mit Foron- und Solar- oder ®Cuproxif C-Farbstoffen färben. Dabei wird das Verköchen der Direktfarbstoffe durch eine schwach sauer eingestellte Klotzflotte vermieden.

Die Nachwäsche des Materials, sei es auf einer Breit- oder auf einer Strangwaschmaschine, beeinflusst den endgültigen Warenausfall ebenfalls. Das Aufwickeln des Materials in der Verweilkammer bei einer Temperatur von 100 °C bewirkt eine Verflachung, die nur durch eine mechanische Behandlung aufgelöst werden kann.

Ein Vergleich der Griffbeeinflussung durch die verschiedenen Verfahrensvarianten ist in Abbildung 1 enthalten. Nach unseren bisherigen Erfahrungen läßt sich mit den Varianten 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 3 und 4.2 der Warenausfall einer HT-Ausziehfarbung (Variante 1) in einem gewissen Ausmaß erreichen.

3. Wirtschaftlichkeit

Die endgültige Entscheidung über die für einen bestimmten Betrieb optimale Färbeweise wird nicht zuletzt von wirtschaftlichen Überlegungen bestimmt. Gestattet der vorhandene Maschinenpark nicht, eine der besten Varianten auszuwählen, so stellt sich für die Verarbeitung von Artikeln aus Polyester/Zellwollmischungen sofort die Frage nach den notwendigen Investitionen, um den Maschinenpark zu ergänzen, und nach der Wirtschaftlichkeit der einen oder anderen Färbeweise. An dieser Stelle können nur Hinweise auf die Punkte gegeben werden, die eine Entscheidung

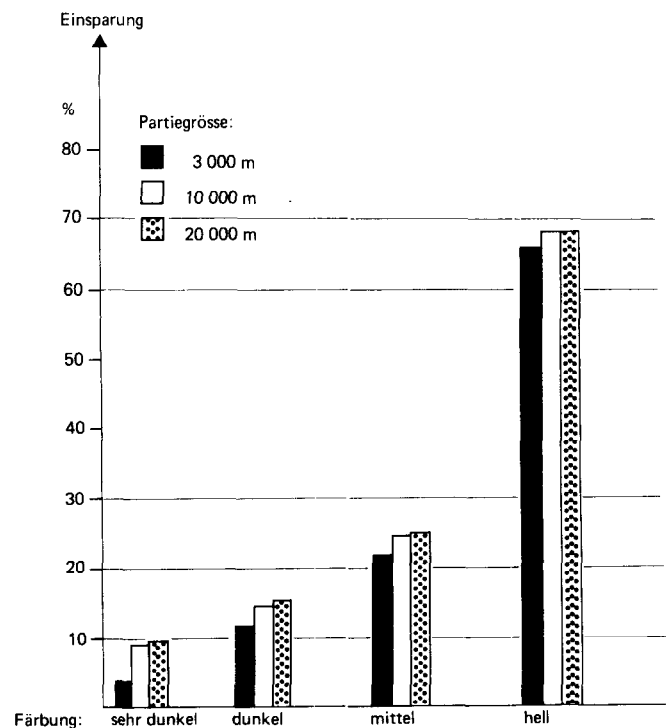


Abb. 2: Einsparungsmöglichkeiten beim Einsatz eines von PES/Zellwoll-Mischgeweben im Vergleich zum HT-Ausziehverfahren, am Beispiel der Kosten

direkt beeinflussen. Folgende Faktoren treten dabei in den Vordergrund:

- Die Investitionskosten für HT-Färbeapparate (Jet oder Overflow) sind ungefähr doppelt so hoch wie diejenigen für eine Kontinue-Färbeanlage (optimale Auslastung vorausgesetzt). Entsprechend gestaltet sich auch die Entwicklung der damit zusammenhängenden Kapitalkosten.
- Der Personalbedarf für eine HT-Färberei beträgt unter den gleichen Voraussetzungen etwa das Anderthalbfache bis das Doppelte.
- Die Farbstoff- und Chemikalienkosten sind von Partiegroße und Warengewicht abhängig und stellen sich, je nach Variante, für Auszieh- oder Kontinue-Färbung günstiger.
- Die eigentlichen Prozeßkosten (Kosten für Energie, Wasser, Unterhalt, Material usw.) sind ebenfalls bei jeder Variante von Partiegroße, Warengewicht und Maschinenpark abhängig.

Durch systematische Berechnungen unter Einbezug aller maßgebenden Größen kann gezeigt werden, für welche Partiegroßen und welches tägliche Produktionsvolumen die kontinuierliche Färbeweise wirtschaftlicher ist als die HT-Ausziehfärbung.

Die Abbildung 2 zeigt die Einsparungsmöglichkeiten am Beispiel der Farbstoff-, Chemikalien- und Wasserkosten bei einer vollkontinuierlichen Färbung eines Polyester/Zellwollewebes mit einem Gewicht von 300 g/m² in Abhängigkeit von der Tiefe der Färbung und der Partiegroße.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß eine systematische Analyse der verfahrenstechnischen Möglichkeiten, ausgehend sowohl von den Farbstoffen einerseits als auch von den Maschinen andererseits, einen Entscheid über die optimalen Verfahrensbedingungen ermöglicht, die sowohl dem gewünschten Warenausfall als zugleich auch den wirtschaftlichen Erfordernissen entsprechen.

Die Einfärbung von Fasern in der Schmelze

Dipl.-Chem. Heinrich Schneider
 Ing. (grad.) Wolfgang Fuchs
 Chemie Linz AG, Linz

Die Einfärbung von Fasern in der Schmelze mit Pigmenten wird schon seit Jahren in größerem Umfang mit Erfolg praktiziert. Gehen wir von der Voraussetzung aus, daß jeder Energie- und Wasserverbrauch die Umwelt beeinflusst, gehört dieses Verfahren zu den umweltfreundlichsten. Die Notwendigkeit der Farbumstellungen führt bei in der Schmelze eingefärbten Fasern zu gewissen Problemen in der Disposition bei der Herstellung und Verarbeitung.

Die Ver- und Zerteilung der Pigmente in den Fasern beeinflussen die Farbstärke.

Die Verwendung von Pigmenten verschiedener Zusammensetzung (organische und anorganische Verbindungen verschiedener chemischer Natur bzw. Ruß) führt sowohl bei der Herstellung als auch bei Lichtbeanspruchung zu einem Polymerabbau, der mit Hilfe der Gelpermeationschromatographie erfaßt wird.

Melt dyeing by added pigments has been successfully used for melt spun fibres. Inasmuch as energy and water consumption are not without ecological consequences, the melt dyeing process is — from an ecological viewpoint — very favorable.

Colour changes in the production of melt dyed fibres produce a number of problems in the economical disposition of production and processing.

The degree of distribution and dispersion of pigments affects the colour intensity.

Pigments of various compositions (organic and inorganic compounds and carbon black) lead to varying degrees of degradation in the course of processing and during light exposure, which was followed by gelpermeation-chromatography in this investigation.

Einleitung

Bei der Fasererzeugung und in der Textilveredlung hat sich bei der Herstellung von gefärbten Fasern und Faserprodukten das Verhältnis zwischen den Leistungsanteilen Löhne, Energie, Farbstoffe, Investitionen und Wasserverbrauch im Laufe der Zeit ständig geändert.

Während die Arbeitskosten in der Industrie je Erzeugungseinheit in den letzten 10 Jahren eine ständig steigende Tendenz zeigt (in Abbildung 1 wird dieser Anstieg für Österreich, die BRD und die Schweiz gezeigt, wo sich trotz aller Rationalisierungen und Anstieg der Produktivität die Arbeitskosten um 40 bis 50 % erhöht haben¹⁾ und der Anstieg der Investitionskosten etwa der Inflationsrate der einzelnen Länder entspricht, sind die Energiekosten erst durch die Ereignisse der letzten zwei Jahre bedeutend in die Höhe geschneit. 1973 betrug der Energiekostenanteil zwischen 6 und 9 % vom Auftragsveredlungsumsatz; heute beträgt dieser Anteil zwischen 8 und 11 %²⁾.

Auf die Frage der Energienutzung aber ist bei allen Überlegungen hinsichtlich Produktivitätssteigerung bisher nur wenig Rücksicht genommen worden. Man könnte sogar behaupten, daß die Energiefrage ebenso

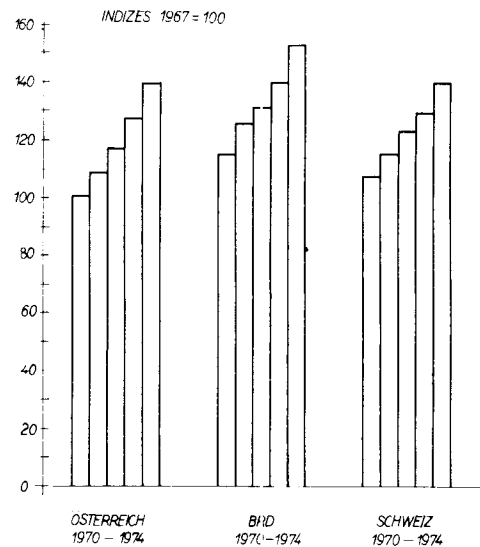


Abb. 1: Arbeitskosten je Erzeugungseinheit in der Industrie (in nationaler Währung)

wie in anderen Wirtschaftszweigen bisher stark vernachlässigt wurde.

Die Textilindustrie als großer Energieverbraucher müßte alles unternehmen, um Energie einzusparen, da die Kostenentwicklung bei der Energie in der heutigen Lage noch nicht absehbar ist und angenommen werden muß, daß die Steigerungsraten beträchtlich sein werden. Die zunehmende Anzahl an Veröffentlichungen, die sich mit dem Energieverbrauch befassen, weist ebenfalls auf die immer größer werdende Bedeutung dieses Problems hin.

Auch muß von der Voraussetzung ausgegangen werden, daß jede Energieerzeugung einen beträchtlichen Eingriff in das ökologische Gleichgewicht der Natur darstellt — unabhängig davon, ob die Energie aus Kohle, Öl, Wasserkraft oder Kernspaltung hergestellt wird, wobei die Abführung des Überschusses an Wärme, der zwangsläufig bei der Energieerzeugung durch Brennstoffe und Kernspaltung anfällt, durch den Wärmeaustausch über das Kühlwasser eine nicht unbedeutende Veränderung in der Natur hervorruft. Durch die Verminderung der Löslichkeit des Sauerstoffes in Wasser um ca. 2 % je 1 °C bei einer Wassertemperatur von 15 bis 30 °C³⁾ wird die Selbstreinigungskapazität der Gewässer dementsprechend heruntersetzt, was die Qualität des Wassers stark beeinflusst.

Sowohl die wachsenden Kosten bei der Energieerzeugung als auch die Umweltprobleme, die sich daraus ergeben, werden uns dazu zwingen, energiesparenden Technologien in Zukunft immer mehr Vorrang zu geben.

Vergleiche des Energieverbrauches bei textiler Färberei und Einfärbung in der Schmelze

Vom Gesichtspunkt des Energieverbrauches wurde die textile Färberei und Einfärbung in der Schmelze betrachtet, wobei neben eigenen Arbeiten wegen der Vielfalt der Fasern, des Farbstoffsortiments und der existierenden Färbverfahren auch Angaben der Maschinenhersteller, der Farbstoffherzeuger und Lite-

raturangaben herangezogen wurden. Dazu muß bemerkt werden, daß diese Angaben in allen Fällen mit den eigenen Ergebnissen größenordnungsmäßig Übereinstimmung zeigten.

Da sich für die Polyolefinfasern die Einfärbung in der Schmelze geradezu zwingend anbietet, wurde diese als Beispiel gewählt. Die Technologie und die Methoden der Einfärbung in der Schmelze werden als bekannt vorausgesetzt, und es wird aus diesem Grunde nicht näher darauf eingegangen.

1. Der Einfluß von Pigmentzerteilung und -verteilung

Da der Energieverbrauch von der erreichten Pigmentzerteilung und -verteilung abhängig ist, möchten wir kurz auf dieses Problem eingehen.

Die Arbeitsweise bei der Pigmenteinmischung wurde bei gleichen Faserherstellungsbedingungen so gewählt, daß in der Faser drei verschiedene Zerteilungen und Verteilungen des Pigments erreicht wurden.

Die Faserherstellung wurde auf einer konventionellen Schmelzspinnanlage mit einem PP-Granulat mit einem Melt-Flow-Index (MFI; 230° C/2,16 kp) von 12 g/10 min vorgenommen, die Pigmentkonzentration betrug 2 %.

Die Herstellungsbedingungen, die Fasereigenschaften und die Pigmentzerteilung sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Abbildung 2 zeigt mikroskopische Aufnahmen

Tabelle 1: Herstellungsbedingungen, Fasereigenschaften und Pigmentzerteilung verschiedener Polypropylenfasern

Bedingungen, Fasereigenschaften, Pigmentzerteilung	Zerteilungen		
	A	B	C
Massetemperatur (°C)	225	225	225
Druck zwischen Spinnpumpe und Düse (kp/cm²)	18	20	21
Siebe (M/cm²)	1 × 900 2 × 6400	1 × 900 2 × 6400	1 × 900 2 × 6400
Faserart	PP	PP	PP
Einzelfasertiter (dtex)	17	17	17
Faserquerschnitt	trilobal	trilobal	trilobal
Reißfestigkeit (p/dtex)	3,48	3,51	3,53
Reißdehnung (%)	28,95	28,15	27,61
Pigmentzerteilung			
Linsen bis (längs) (µ)	12	30	44

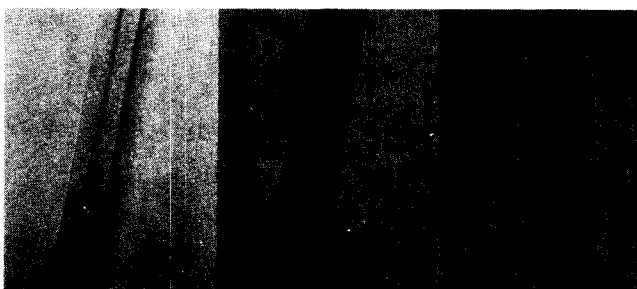


Abb. 2: Verschiedene Pigmentzerteilungen in PP-Garnen

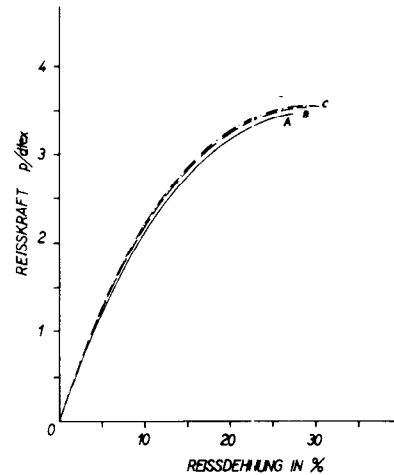


Abb. 3: Kraft-Dehnungsverhalten von Propylenfasern bei unterschiedlichen Pigmentzerteilungen

men der pigmentierten Fasern bzw. der Pigmentverteilung und -zerteilung.

Bei diesem Vergleich ist feststellbar, daß beim Erspinnen keine nennenswerten Unterschiede, beispielsweise im Druck vor der Spinndüse, auftraten.

Auch die Kraft-Dehnungsdiagramme dieser Fasern sind identisch, wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist. Beträchtliche Unterschiede ergeben sich aber in der Farbstärke, wobei von der Pigmentzerteilung A zur Pigmentzerteilung C ein deutlicher Farbstarkeabfall entsteht (Abb. 4).

Eine Ausmessung der Farborte auf einem Dreifilter-Farbmeßgerät zeigte die in Tabelle 2 dargestellten Ergebnisse.

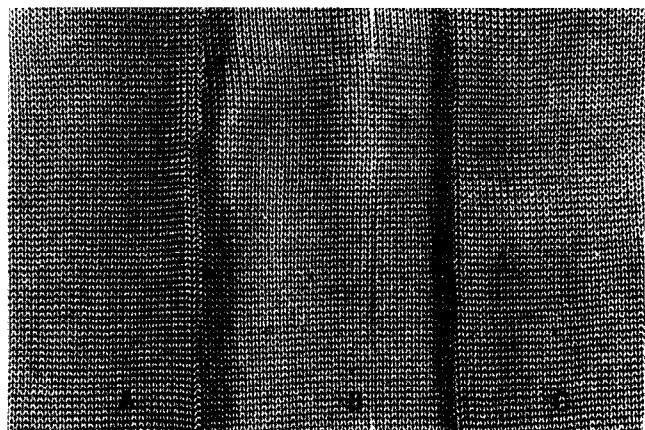


Abb. 4: Einfluß der Pigmentzerteilung auf die Farbstärke

Tabelle 2: Einfluß der Pigmentzerteilung auf die Farbstärke (Ausmessung der Farborte auf einem Dreifiltermeßgerät)

Nr.	Verteilung	X	Y	Z	Δ E
1	A	8,83	16,89	15,48	4,43
2	B	8,44	15,50	13,94	3,39
3	C	7,94	15,37	13,91	

$$\Delta E = 40 \left\{ [0,23\Delta V_y]^2 + [\Delta(V_x - V_y)]^2 + [0,4\Delta(V_z - V_y)]^2 \right\}^{0,5}$$

Die Auswertung nach der Adam-Nickersen-Stultz-Formel^{4,5} ist im unteren Teil der Tabelle angegeben. Der Farbunterschied zwischen der Pigmentzerteilung A und der Pigmentzerteilung C entspricht bei gleicher Pigmentzerteilung einem Konzentrationsunterschied von ca. 20 %.

2. Energiebilanz

Der Energieverbrauch bei der Einfärbung in der Schmelze gliedert sich in

- Energie zur besseren Pigmentzerteilung vor der Verspinnung und
- Energie beim Verspinnen der eingefärbten Schmelze.

Der Energieaufwand zum Verspinnen einer pigmentierten Schmelze liegt aber im Vergleich zur Schmelze ohne Pigmentzusatz nur um ca. 1 % höher. Dieser Wert erfährt bei guter Pigmentzerteilung und bei Pigmentkonzentrationen von 0,1 bis 4,0 % keine wesentlichen Veränderungen.

Als Maß für den Energieverbrauch wurden Kilokalorien pro Kilogramm (kcal/kg) gefärbter Fasern verwendet.

Bei den drei Pigmentzerteilungen (A, B, C) beträgt der Unterschied im Energieverbrauch von einer Zerteilung zur anderen ca. eine Zehnerpotenz (Tab. 3).

Tabelle 3: Energieverbrauch bei der Einfärbung der PP-Faser in der Schmelze

Pigmentzerteilung			Energieverbrauch in kcal pro kg Fasern		
Nr.	Probe	Linsengröße bis (μ)	vor der Verspinnung	bei der Verspinnung	total
1	A	12	395,6	3,9	399,5
2	B	30	19,8	3,9	23,7
3	C	44	0,0	3,9	3,9

Vergleicht man aber den Energieaufwand der Pigmentzerteilung A mit der textilen Färberei, so ergibt sich die in Tabelle 4 dargestellte Situation.

Tabelle 4: Vergleich von Energieverbrauch, textiler Färbung und Einfärbung in der Schmelze

Nr.	Faserart	Färbung	Energieverbrauch (kcal/kg)
1	PA	textile Färbung	1009,0
2	PE	textile Färbung	1141,0
3	PC	textile Färbung	1224,0
4	PP	textile Färbung	1200,0
5	PP	Schmelze	399,5

Für die Berechnungen des Energieverbrauches bei der textilen Färberei wurden sogenannte energiesparende Färbeverfahren und dementsprechende Anlagen herangezogen⁷⁻¹¹. Bei den Energieberechnungen für die Einfärbung in der Schmelze wurde der Energieverbrauch für die Spülung der Aggregate bei Farbum-

stellungen mitberücksichtigt. Bei beiden Verfahren beruhen die Zahlen auf üblichen Partiegößen.

Die Untersuchungen und Berechnungen ergaben, daß der Energieaufwand für die Einfärbung in der Schmelze um 600 bis 800 kcal/kg gefärbte Faser geringer ist als bei der textilen Färberei.

Ziehen wir dabei in Betracht, daß eine Energieeinsparung bei der textilen Färberei von ca. 250 kcal/kg als nennenswert betrachtet wird¹⁰, kann man aus den oben genannten Zahlen ersehen, wie beträchtlich erst die Energieeinsparungen bei der Einfärbung in der Schmelze sind.

Nur nebenbei sei erwähnt, daß bei der textilen Färberei die Farbstoffkosten doppelt so hoch bzw. die Lohnkosten um ein Vielfaches höher anzusetzen sind als bei der Einfärbung in der Schmelze¹² und daß die Einfärbung in der Schmelze weder Wasserverbrauch oder Textilhilfsmittel kennt, noch die Abwässer mit Laugen, Säuren, Salzen, Bleichmitteln, oberflächenaktiven Stoffen, Carrier oder Fetten belastet.

Dispositionsprobleme bei der Einfärbung in der Schmelze

Es muß aber zur Einfärbung in der Schmelze einschränkend gesagt werden, daß Farbeinstellungen, die Warendisposition und die damit verbundenen Lagerkosten sowie die Produktionsmöglichkeit von anlagenabhängigen Mindestmengen die Kosten erhöhen und die Mobilität beim Farbsortiment bedeutend einengen.

Beim vorliegenden Beispiel gehen wir von einem Farbsortiment von 30 Farben aus (bei einer Faserstraße und einer Jahreskapazität von ca. 6000 jato) bei dem die Verteilung der Farben dem Modell in Tabelle 5 entspricht.

Tabelle 5: Modell einer Farbaufteilung bei 30 Farben

Anzahl der Farben	Anteile von der Gesamtproduktion	
	% je Farbe	% total
5	5,82	29,10
2	5,81	11,62
3	4,66	13,98
2	4,65	9,30
3	3,49	10,47
3	3,48	10,44
2	1,74	3,48
10	1,16	11,60

Erhöht man die Anzahl der Farben nur um 5 weitere (eine Zahl, die in der textilen Färberei als eine äußerst geringe Erweiterung der Farbpalette anzusehen ist), so tritt sofort eine Modellveränderung bei Verteilung der Farben ein (Tab. 6). Obwohl sich diese Verteilung von dem vorhergehenden Modell nur geringfügig unterscheidet, ergeben sich trotzdem folgende Konsequenzen:

- Die Anzahl der Farbumstellungen erhöht sich um 34 zusätzliche Umstellungen pro Jahr.
- Die Zahl der Farben, die mindestens 6 Monate auf Lager gehalten werden müssen, erhöht sich von 13 auf 16.

Tabelle 6: Modell einer Farbaufteilung bei 35 Farben

Anzahl der Farben	Anteile an der Gesamtproduktion	
	% je Farbe	% total
6	4,90	29,40
3	4,90	14,70
3	3,97	11,91
3	3,90	11,70
3	2,97	8,91
3	2,90	8,70
3	1,30	3,90
11	0,98	10,78

Selbstverständlich würden diese Zahlen anders aussehen, wenn die Berechnungen für zwei oder mehrere Faserstraßen gemacht worden wären. Ebenso ändern sich die Verhältnisse mit der Anzahl der Farben und der Anwendungsgebiete, die beliefert werden. Über dieses Modell, das etwa Wirklichkeitsverhältnissen entspricht, wurde der Versuch unternommen, die Probleme der Einfärbung in der Schmelze näher zu beleuchten.

Daraus ergibt sich die Folgerung, daß die Einfärbung in der Schmelze nur dann rationell einsetzbar ist, wenn eine relativ kleine Anzahl von Farben produziert werden muß.

Heute ist noch ein unbegrenztes Farbangebot weitgehend Trumpf, wie lange wir uns das aber leisten können, ist die Frage. Innerhalb der Denkräume unserer Industriegesellschaft ist es in letzter Zeit schon zu manchem Umdenken gekommen, und je mehr sich die Bestrebungen aus Kostengründen und Umweltproblemen zu energiesparenden Verfahren hinwenden, umso mehr wird sich die Einfärbung in der Schmelze anbieten.

Der Einfluß der Farbpigmente auf die Fasereigenschaften

Die chemische Zusammensetzung der Farbpigmente, die für die Einfärbung in der Schmelze zur Verfügung stehen, reicht vom Ruß über Metalloxide (z. B. Titan-dioxid, Eisenoxid) bis zu organischen Verbindungen (Phthalocyanine, Anthrachinonderivate, Diazopigmente). Dementsprechend vielfältig ist auch die Art und Weise, wie die Fasereigenschaften durch die Farbpigmente beeinflusst werden können.

Es wurde der Einfluß der Farbpigmente bei der

- Faserherstellung und beim
 - photooxidativen Abbau sowie
 - der Einfluß der Pigmentträgerstoffe auf den photooxidativen Abbau
- untersucht.

Die Faserherstellung wurde auf einer konventionellen Schmelzspinnanlage mit einem PP-Granulat mit einem MFI (230/2,16) von 12 vorgenommen, die Pigmentkonzentration betrug 2 %.

Die Herstellungsbedingungen sind in Tabelle 7 aufgezeigt.

Eingesetzt wurden die in Tabelle 8 angegebenen Farbpigmente. Das Kraft-Dehnungsverhalten der unter

Tabelle 7: Herstellungsbedingungen von Polypropylenfasern

Massetemperatur	(° C)	225
Druck zwischen Spinnpumpe und Düse	(kp/cm ²)	18
Siebe	(M/cm ²)	1 × 900 2 × 6400
Faserart		PP
Einzelfasertiter	(dtex)	17
Faserquerschnitt		trilobal
Reißfestigkeit	(F/dtex)	3,48
Reißdehnung	(%)	28,95

gleichen Bedingungen hergestellten Fasern weist keine wesentlichen Unterschiede auf (bei guter Pigmentverteilung bis zu einer Farbpigmentkonzentration von ca. 4 %; Abb. 5).

Tabelle 8: Pigmentarten

Nr.	Farbe	Pigment
1	Weiß	TiO ₂
2	Braun	Eisenoxid
3	Gelb	Diazopigment
4	Rot	Azofarblack
5	Blau I	Phthalocyanin
6	Blau II	Anthrachinonderivat
7	Grün	Phthalocyanin
8	Schwarz	Ruß

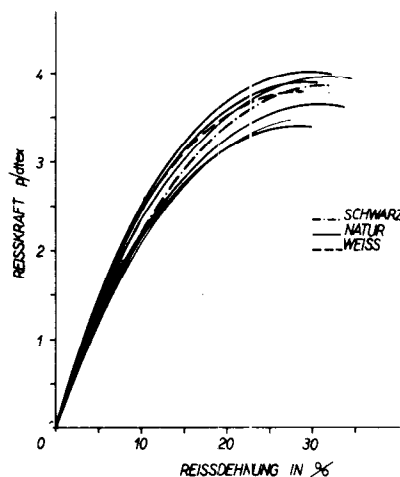


Abb. 5: Einfluß der Farbpigmente auf das Kraft-Dehnungsverhalten

Auch das Trägermaterial der Farbpigmente

- Polypropylen oder
- Hochdruckpolyäthylen (LDPE; Molekulargewicht über 15.000)

hat nach unseren Untersuchungen bei einem Verhältnis Farbpigment : Trägermaterial von 30 : 70 keinen signifikanten Einfluß auf das Kraft-Dehnungsverhalten der Fasern.

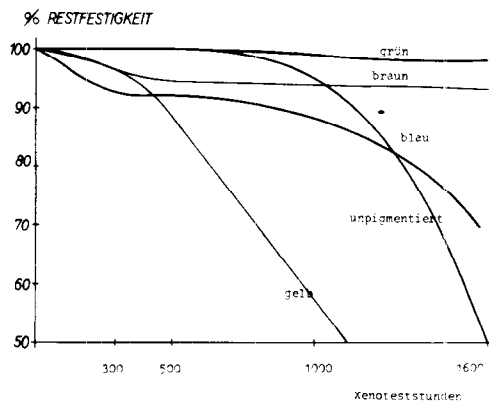


Abb. 6: Einfluß von Farbpigmenten auf den photooxidativen Abbau

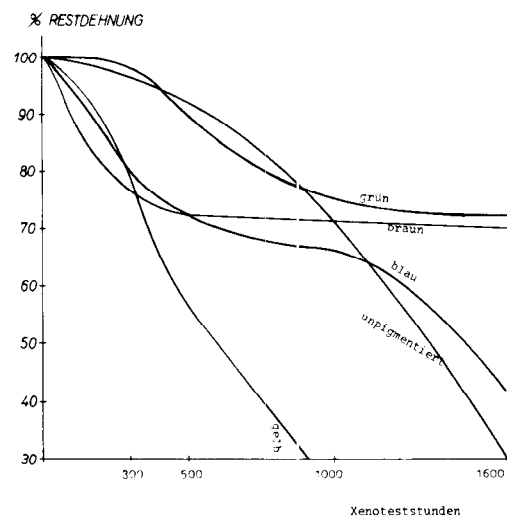


Abb. 7: Einfluß von Farbpigmenten auf den photooxidativen Abbau

Die Photooxidation wurde in einem Xenotestgerät 450 durchgeführt, und zwar bei 38° C (Schwarztafeltemperatur)⁸. Die Faserproben enthielten eine handelsübliche Thermo- und UV-Stabilisierung.

Die Untersuchungen beziehen sich auf die Messungen der mechanischen Eigenschaften (Kraft-Dehnungsverhalten) der Molekulargewichtsverteilung (G.P.C.) und der Grenzviskositätszahl η (in Dekalin bei 135° C).

Die Änderungen der mechanischen Eigenschaften sind in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß die Farbpigmente, im Vergleich zur unpigmentierten Faser, die Alterung in verschleunigter bzw. verlangsamter Form, eine gegenseitige Beeinflussung von Pigmenten und UV-Stabilisatoren ist nicht auszuschließen. Der Verlauf der Eigenschafts-

änderungen beim Kraft-Dehnungsverhalten ist spezifisch für jedes einzelne Farbpigment.

Am deutlichsten ist der Dehnungsverlust. Bei 1600 Xenoteststunden beträgt der Dehnungsverlust bei einigen pigmentierten Fasern über 90% der Ausgangsdehnung.

Das Trägermaterial der Farbpigmente PP und LDPE (Molekulargewicht über 15.000) hat keinen wesentlichen Einfluß auf den Abbau der pigmentierten Faser (Abb. 8).

Die Ergebnisse der Gelpermeationschromatographie

Tabelle 9: Ergebnisse der Xenotestalterung

Nr.	Faser	Xenoteststunden	Mw/Mn	G P C MW × 10 ⁵	(η)	Reißfestigkeit der Ausgangsfestigkeit (%)	Reißdehnung der Ausgangsdehnung (%)
1	unpigmentiert	0	3,5	2,59	1,61	100,0	100,0
		300	—	—	—	100,0	96,4
		500	—	—	—	100,0	92,5
		1600	3,0	2,11	1,49	49,6	30,0
2	Blau I	0	3,1	2,43	—	100,0	100,0
		300	—	—	—	93,0	78,5
		500	—	—	—	92,0	71,4
		1600	3,1	2,22	—	69,0	42,1
3	Gelb	0	3,1	2,29	1,61	100,0	100,0
		300	—	—	—	96,5	74,3
		500	—	—	—	87,4	56,2
		1600	3,2	2,07	1,38	21,5	11,6
4	Rot	0	3,3	2,35	1,62	100,0	100,0
		300	3,2	2,08	—	92,7	65,6
		500	—	—	—	84,6	53,9
		1600	3,6	1,59	1,32	24,6	13,1

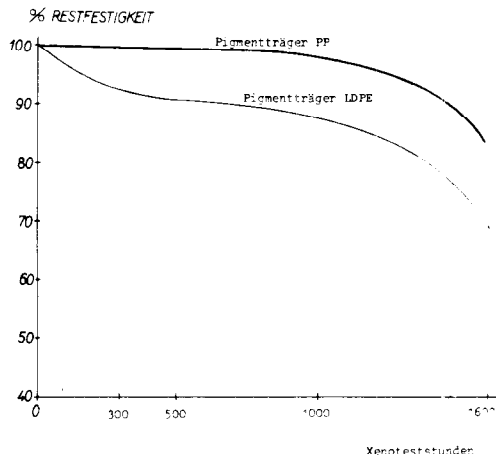


Abb. 8: Einfluß der Pigmentträgerstoffe auf den photooxidativen Abbau

und der Grenzviskositätsuntersuchungen sind in Tabelle 9 zusammengefaßt.

Auf Grund dieser Daten kann festgestellt werden, daß bei 1600 Xenoteststunden nur ein geringfügiger Abbau der Grenzviskosität eintritt, der von keiner Änderung der Molekulargewichtsverteilung begleitet wird (Abb. 9), obwohl die Reißfestigkeit und die Reißdehnung zu diesem Zeitpunkt minimale Werte erreicht haben.

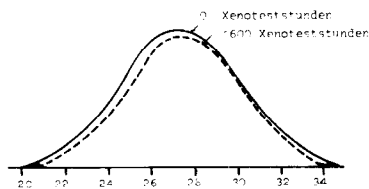


Abb. 9: GPC-Kurven

Die Änderungen des Molekulargewichtes können wahrscheinlich nicht allein für so wesentliche Änderungen der mechanischen Eigenschaften verantwortlich gemacht werden, dazu tragen vermutlich strukturelle Änderungen in der pigmentierten PP-Faser, die durch die Photooxidation hervorgerufen werden, bei. Würde man aus dem gealterten Polymeren mit den oben angegebenen Eigenschaften nochmals eine Faser herstellen, könnten die mechanischen Eigenschaften der Ausgangsfaser ohne weiteres erreicht werden, aber nicht die Alterungsbeständigkeit.

Sind die Einflüsse der einzelnen Pigmente beim photooxidativen Abbau bekannt, können in der Schmelze eingefärbte Fasern mit hoher Lichtbeständigkeit hergestellt werden, indem die UV-Stabilisierungen auf die pigmentierte Faser abgestimmt werden.

In dieser Arbeit wollten wir die Vor- und Nachteile einer energiesparenden, umweltfreundlichen Färbung aufzeigen, gleichzeitig aber auch die Grenzen und die Wirtschaftlichkeit ihrer Anwendung zur Sprache bringen.

Literatur:

- 1) Österr. Textilmitteilungen 1975
- 2) P. Senner; Chemiefasern 5, 414 (1975)
- 3) Handbook of Chemistry and Physics 1973—1974
- 4) D. J. Nickersen, K. F. Stultz; J. Opt. Soc. Amer. 34, 550 (1944)
- 5) DIN 54 001
- 6) D. Beckmann, H. Bieden; Chemiefasern 20, 553 (1970)
- 7) Kontinüefärbearanlage; Firmenschrift: Fleissner GmbH. & Co., Egelsbach — 1970
- 8) R. Bäuerle; Rundschau Ciba-Geigy 4, 27 (1974)
- 9) L. W. C. Miles; Rundschau Ciba-Geigy 2, 10 (1974)
- 10) K. H. Jakobs; Chemiefasern 5, 417 (1975)
- 11) J. Jettes; Chemiefasern 5, 434 (1975)
- 12) W. K. J. Teige; Referat, gehalten bei der Society of Plastics Engineers Inc.
- 13) Xenotest 450; Quarzlampen GmbH., Hanau

Diskussion

Köb: Das Thema „Spinnfärbung“ ist fast so alt wie unsere Geschichte, die wir aktiv verfolgen können. Wir haben bei der Viskose bereits davon gesprochen, es war bei Kupferacetatfasern möglich, es gibt aber auch spinngefärbte Fasern aus anderen Materialien, beispielsweise aus Polypropylen, wie wir gerade hörten.

Wenn man in der Schmelze färben will, dann muß man in sehr vielen verschiedenen Farben einspinnen, und der Gedanke, deren Anzahl auf ein Minimum zurückzuschrauben, ist zwar eine Möglichkeit für staatliche Organisationen, die das tun können, in einer konkurrierenden Wirtschaft ist das aber nicht möglich.

Wenn man große Mengen von gefärbten Fasern bereithalten und auf den Markt bringen muß, dann aber im gegebenen Fall gezwungen ist, alles umzuwerfen, weil beispielsweise die Mode andere Farben vorschreibt, dann ist es klar, welchen Schwierigkeiten man hier zu begegnen hat, obwohl diese Technik im Grunde genommen einfach und faszinierend ist.

Keck: Haben Sie die Pigmente als Vollpigmente, das heißt trocken auf das Granulat aufgedudert, zugegeben, oder in vordispersierter Form, das heißt in einer Art Masterbatch? Dadurch würde sich sicher ein ganz erheblicher Unterschied in der aufgewendeten Energie ergeben.

Sie erwähnten, daß bestimmte Pigmente den Abbau der Polypropylenfasern unterschiedlich beeinflussen. Bestehen da sehr große Unterschiede? Es gibt ja organische und anorganische Pigmente, die den Abbau der Polypropylenfaser sogar sehr fördern bzw. beschleunigen.

Sie erwähnen auch UV-Absorber, durch die man den Abbau etwas aufhalten kann. Haben Sie Untersuchungen gemacht, in welchem Umfang man den Abbau durch UV-Absorber kompensieren bzw. die Lichtechtheit der Fasern noch wesentlich verlängern kann?

Schneider: Zur Einarbeitung des Pigments wurden Masterbatches verwendet.

Keck: Sie sagten, Sie hätten eine Konzentration von 2% genommen. Das erschien mir für ein Vollpigment sehr hoch.

Schneider: Die 2% bezogen sich auf das Vollpigment. Wir haben echt solche Bedingungen geschaffen. Ich glaube, das hat man den Fasern angesehen. Die Masterbatch-Konzentration lag effektiv bei 4%. Bei kleinen Mengen ist die Beeinflussung sicher nicht so auffallend, wie sie hier dargestellt war. Wir wollten damit eine bestimmte Signifi-

kanz erzielen. Normalerweise wird nicht so viel eingebracht, es war hier auf Versuchsbasis.

Keck: In der Praxis ist eine Konzentration an organischen Vollpigmenten von 2% sehr hoch und teuer.

Schneider: Ja, das stimmt.

Keck: Das könnte natürlich Ihre berechnete Energieaufwendung doch auch wesentlich beeinflussen. In der Praxis wären damit die Energiekosten durch die geringere Konzentration herabgesetzt. Das würde sich natürlich bei Ihren sehr interessanten Gegenüberstellungen mit der Badfärbung noch zum Vorteil der Einspinnfärbung auswirken.

Schneider: Ich habe bei der Massefärbung maximale Werte genommen, und bei der Badfärbung minimale Werte. Die Gegenüberstellung sollte natürlich so deutlich wie möglich sein.

Zur zweiten Frage: Mit dem Problem der UV-Absorber beschäftigt sich bei uns eine andere Gruppe; wir haben diese Untersuchungen zwar auch durchgeführt, aber nur am Rande, da die meisten Untersuchungen mit UV-Absorbieren an Naturgranulat durchgeführt werden.

Meiner Meinung nach ist das aber falsch, da die Fasern, die UV-Absorber enthalten, schließlich doch immer als spinngefärbte oder als anders gefärbte Fasern verkauft werden. Die Daten nun aber vom Naturmaterial auf gefärbte Fasern zu übertragen, ist nur sehr schwer möglich, ja fast unmöglich. Deshalb müßte man — wie ich auch im letzten Teil meines Vortrags ausführte — jede einzelne Farbe auf ihren photooxidativen Abbau hin untersuchen. Wir haben solche Untersuchungen gemacht, und es liegen entsprechende Daten dazu vor, die besagen, daß man diesen negativen Einfluß von Pigmenten größtenteils durch Zugabe von UV-Stabilisatoren kompensieren kann.

Keck: Die Zugabe von UV-Stabilisatoren zu Polyolefinfasern in Naturfarbe wird vorwiegend deshalb vorgenommen, um die Wirksamkeit der verschiedenen UV-Absorber einander gegenüberzustellen und zu erkennen, welcher mehr oder weniger wirksam ist. Aber Sie haben schon recht, man sollte das mit den Pigmenten machen — doch wäre das ein sehr umfangreiches Programm, das sehr viel Zeit, Mühe und Kosten benötigen würde.

Zeisberger: Der Abbau des Polymeren durch Pigmente tritt besonders bei Gelb und Rot auf. Ich nehme an, daß Sie für Rot ein Pigment aus der Anthrachinonreihe benutzt haben, das auch nicht unbedingt die allerhöchste Lichtechtheit beansprucht. Was haben Sie benutzt?

Schneider: Die genaue chemische Zusammensetzung der Pigmente ist uns nicht bekannt, da diese vom Farbstoffhersteller geliefert werden, der uns nicht immer die genaue Zusammensetzung mitteilt. Wir selbst haben hier einen Farblack eingesetzt. Es gibt aber auch andere Rotpigmente, die man verwenden kann.

Zeisberger: Ich muß mich natürlich auf Vermutungen beschränken, doch würde ich meinen, daß gerade das Gelb- und das Rotpigment nicht die Lichtechtheit 8 aufwies, und ich vermute dadurch gewisse Zusammenhänge mit dem verhältnismäßig starken Abbau des Polymeren.

Haben Sie schon einmal versucht, mit einem absolut lichtechten Gelbpigment, zum Beispiel mit Kadmiumsulfid, einzufärben? Welche Ergebnisse haben Sie dabei erzielt?

Schneider: Wir haben auch mit Kadmiumsulfid gearbeitet. Was die Lichtechtheit des Pigments als solches betrifft, möchte ich betonen, daß alle Pigmente eine Lichtechtheit über 6 hatten. Sowohl das eingesetzte Rot- als auch das eingesetzte Gelbpigment hatte eine Lichtechtheit von 7.

Normalerweise absorbiert Polypropylen kein UV-Licht. Erst wenn sich Abbauprodukte bilden und Carbonylgruppen vorhanden sind, dann beginnt es zu absorbieren, und auf diese Art beginnt der Abbau. Das ist der bekannte Abbaumechanismus des Polypropylen. Wenn aber Farbstoffe zugegeben wurden, verändert sich damit auch die UV-Absorption. Wir führen das eher auf die veränderte UV-Absorption in der Faser zurück als auf einen Abbau bzw. auf einen Abbau des Pigments.

Zeisberger: Gerade daß sich bei Blau und bei Eisenoxiden, das heißt bei Pigmenten, die die Lichtechtheit 8 haben, ein gewisser Unterschied gegenüber denen mit der Lichtechtheit 6 zeigt, läßt vermuten, daß dieser Unterschied doch irgendwie verbindlich sein könnte.

Für mich überraschend war Ihre Aussage, daß bei der

Dispergierung Linsen bis zu 43μ auftreten können. Haben Sie dabei keine Düsenverstopfung festgestellt?

Schneider: Nein. Ich habe deshalb auch die Herstellungsbedingungen angegeben. Bei der von uns verwendeten Siebkombination gab es keine Probleme. Wenn Sie aber ein 16.000-Maschen-Sieb verwenden, dann könnte ich mir schon vorstellen, daß Verstopfungen auftreten. Aber das halten wir nicht für notwendig.

Seyfriedsberger: Wie groß war die Feinverteilung Ihrer Pigmente in dem Masterbatch?

Schneider: Im Masterbatch war die Feinverteilung weitaus besser als in der Faser, denn in der Faser liegen Agglomerate vor. Die Feinverteilung wies dort 4 bis 6μ auf. Beim Herstellungsprozeß bilden sich Agglomerate — das ist nicht zu verhindern.

Daß so große Linsen noch keine Veränderung des Kraft-Dehnungsverhaltens der Faser bewirken, war auch für uns überraschend. Wir haben das mehrmals untersucht, und die Untersuchungen haben das immer wieder bestätigt.

Zeisberger: Das heißt also, daß die Feinverteilung in den Masterbatches gar nicht so fein sein muß, wie man immer annimmt?

Schneider: Ja, das ist richtig.

Köb: Die Feinverteilung hängt ja auch vom Fasertiter ab. Es war hier offensichtlich ein Titer von 17 dtex hergestellt worden — also im textilen Sinn ein Prügel —, und dabei ist die Verteilung natürlich nicht so dramatisch. Wir machen ja auch Fäden mit Spinnwarzteinlagerungen, und da haben wir seit Jahren sehr sauber auf die Verteilung gesehen. Wenn da große Teilchen enthalten sind, die von den Linsen weit entfernt sind, dann reißt die Kapillare sehr rasch ab. Es hängt natürlich davon ab, was für Fäden man herstellt.

Schneider: Wir haben vorwiegend Fäden mit 17 dtex untersucht, es wurden aber auch Fäden mit 6, 3 und 2 dtex nach der gleichen Methode hergestellt. Wir haben die 17 dtex deshalb gewählt, weil es ein realistischer und der am meisten verbreitete Fasertiter für Polypropylen ist.

Anonym: Ich möchte noch etwas zum Einfluß der Pigmente auf die Lichtechtheit ergänzen: Ich glaube nicht, daß ein Pigment, das eine geringere Lichtechtheit besitzt, einen nachteiligen Einfluß auf die Beständigkeit des Polymeren bewirkt bzw. den Abbau des Polymeren fördert. Es gibt zum Beispiel Pigmente der Chinacridonreihe, die auch rot sind und die die sehr hohe Lichtechtheit von 8 besitzen. Diese fördern den Abbau des Polymeren ganz beträchtlich — fast würde man glauben, sie katalysieren ihn. Das heißt, sie sind für Produkte, die eine gute Lichtechtheit haben sollen, nicht zu empfehlen.

Auf der anderen Seite beeinflussen UV-Absorber die Lichtechtheit der Pigmente nach unseren Feststellungen praktisch nicht. Selbst wenn man UV-Absorber dazugibt, läßt die Farbintensität nach, während das Polymere weiterhin in Ordnung bleibt.

Schneider: Ich will jetzt nicht über Absorber und Quantencher eine Theorie entwickeln. Bestimmte Substanzen, die die UV-Stabilität der Fasern verbessern — ob sie jetzt Quantencher oder Absorber sind —, verbessern gleichzeitig auch die Beständigkeit der Pigmente in dieser Faser — das sind Feststellungen. Ich habe das bloß aus dem Grund nicht erwähnt, weil unsere Untersuchungen dazu noch nicht abgeschlossen sind. Wir wissen noch nicht genau, warum das so ist, das müssen wir erst herausfinden, nur der Effekt, der ist festgestellt.

Köb: Ich glaube, hier fehlen die Kollegen, die die Einkaufstiten machen sollen, die von selbst zerfallen. Hier ergeben sich neue Möglichkeiten durch den Aufdruck.

Anonym: Der Reinheitsgrad beim Einsatz von Pigmenten ist bekanntlich auch wesentlich; so kann man beispielsweise durch Einpolymerisieren oder Einkondensieren von Kadmiumpigmenten (die Verunreinigungen enthalten) in Polyester einen Abbau des Polymeren erzielen. Ich meine, daß man diese Frage nach dem Einfluß von Pigmenten generell nur dann beantworten kann, wenn man auch den Reinheitsgrad der Pigmente kennt. Es ist sehr leicht möglich — beispielsweise bei Kupferphthalocyaninen oder ähnlichem —, daß der Gehalt an ionogenem Kupfer eine sehr große Rolle spielen kann.

Schneider: Das stimmt im Prinzip, nur ist das Beispiel der

Phthalocyanine nicht sehr günstig gewählt, da sich gerade mit diesen die besten Lichtechtheiten ergeben.

Anonym: Das macht nichts, es sollte ja nur als Beispiel gelten.

Peters: Zunächst möchte ich daran anknüpfen, daß wohl das Hauptproblem in den dispositiven Fragen steckt, was zum Schluß Ihres Vortrags auch angeklungen ist: das heißt im Energieaufwand und in den Echtheiten.

Beim Energieaufwand für die Zerteilung gehen Sie wohl davon aus, daß die Energie ab Zerteilung per Masterbatch gemessen wurde. Oder haben Sie schon vorher die Zerteilungsenergie gemessen?

Schneider: Ganz richtig, ab Herstellung des Masterbatches.

Peters: Der Pigmentpreis beinhaltet ja auch schon Kosten für die Zerteilungsenergie, die nötig ist, um vom rohen Farbstoff zum Pigment zu gelangen, was sich in einem höheren Kilopreis gegenüber normalen Farbstoffen auswirkt. Bei der Pigmentherstellung müssen eben spezielle Energien aufgewendet werden, um zu der entsprechenden spezifischen Oberfläche zu gelangen.

Wie weit ist Polypropylen in der Schmelze mit löslichen Farbstoffen, beispielsweise mit Dispersionsfarbstoffen, färbbar? Welche Energien sind in diesem Fall — im Vergleich zu Pigmenten — zum Zerteilen nötig?

Abgesehen davon, daß hier mehrfach Lichtechtheit und Lichtbeständigkeit durcheinandergebracht wurde — was ja öfters passiert —, glaube ich nicht, daß der Farbstoff, ob es sich nun um blaue, gelbe oder rote Azofarbstoffe, Farblacke oder Chinacridone handelt, wesentlich ist, sondern vielmehr die Art und Weise der Kristallinität, der Feinverteilung usw. Ich würde daher nicht unbedingt behaupten, daß die Farbe eine Rolle spielt, das heißt die Absorptionseffekte. Bei Polypropylen sind zwischen dem sichtbaren und dem UV-Bereich derartige Unterschiede, daß die kleine Verschiebung zwischen Rot, Blau und Gelb

keinen solchen Einfluß besitzen kann; ich würde vielmehr vermuten, daß hier andere Faktoren dazukommen.

Schneider: Ich beginne von hinten nach vorne. Auch ich glaube nicht, daß die Rot- oder die Blauadsorption sehr wesentlich ist, sondern nur, daß das Pigment als solches eine Adsorption aufweist. Diese UV-Adsorption des Pigments kann von der Farbe unabhängig sein, kann aber auch durch andere Einflußgrößen bestimmt werden. Das Weitergeben dieser Adsorption an die Faser beeinflusst diese, obwohl die Faser selbst im UV keine Adsorption aufweist, wenn sie nicht verunreinigt ist.

Bezüglich der Zerteilung der Pigmente stimme ich Ihnen zu. Der Preisunterschied zwischen Pigmenten und Farbstoffen ist sicher vorhanden, aber die Energien, die zur Feinzerteilung aufgewendet werden müssen, scheinen nicht ausschlaggebend, da keine Größenordnungen im Preisunterschied aufgezeigt werden.

Untersuchungen mit Dispersionsfarbstoffen wurden in unserem Haus nicht durchgeführt.

Anonym: Die Verschlechterung der Beständigkeit muß doch etwas mit der Adsorption zu tun haben. Nach unseren Erfahrungen haben Gelb und Rot auch bei Substanzfärbungen von Nylon den gleichen Effekt gezeigt, und auch eine Badfärbung mit Gelb führt grundsätzlich zu schlechteren Lichtbeständigkeiten.

Müller: Wir haben auch Untersuchungen mit der Lichtbeständigkeit bei schmelzgesponnenem Polypropylen gemacht und dabei festgestellt, daß Gelb- und Rotfärbungen etwas schlechter ausfallen. Wir haben auch anorganische Farbstoffe, darunter Kadmiumsulfid, untersucht, und auch diese weisen in dieselbe Richtung, obwohl es graduelle Unterschiede gibt. Man kann hier nicht sagen, daß anorganische oder organische Farbstoffe besser wären. Es ist hier noch keine einheitliche Linie in diesen Untersuchungen zu erkennen.

Die brandtechnische Klassifizierung von brennbaren Stoffen, unter besonderer Berücksichtigung der Textilien

(Erfahrungen aus dem brandtechnischen Laboratorium eines Sachversicherers)

Dr. rer. nat. Dipl.-Chem. Wilhelm J a c h
Zentralinstitut für Schadenforschung und Schadenverhütung, Kiel

Verschiedene Methoden zur Untersuchung von Brennzeit, Flammenausbreitungsgeschwindigkeit und Brennverhalten, die zum Teil Inhalt von DIN-Normen sind, werden besprochen und ihre Vor- und Nachteile zur Diskussion gestellt.

Various test methods for the combustion-time, flame-propagation speed and burning behaviour, some of which are contained in DIN-standards, are dealt with and their advantages and disadvantages are discussed.

Einleitung

Die moderne Sachversicherung benötigt dringend definierte Kenntnisse über das Brandverhalten brennbarer Stoffe unter verschiedenen Brennverhältnissen. Deshalb soll im Rahmen des gewählten Themas nicht über Brandschadenfälle diskutiert werden, in denen Textilien möglicherweise eine Rolle bei der Brandentstehung, der Brandentwicklung und der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit gespielt haben. Derartige Erörterungen gleiten nur zu leicht in den Bereich einer subjektiven Polemik ab. Auch ist eine klare Abgrenzung des tatsächlichen Anteils einzelner brennbarer Stoffe am Komplex des Brandgeschehens mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet. Eine zusammenfassende Betrachtung der brandtechnischen Prüfmethoden erscheint mir deshalb nützlicher zu sein.

Priifmethoden

Folgende Parameter sind für eine reale Risikobeurteilung der Versicherungspraxis von entscheidender Bedeutung:

1. die Entflammbarkeit eines brennbaren Stoffes,
2. die Brenngeschwindigkeit eines brennbaren Stoffes,
3. die Raumdichte bei verschiedenen Brennbedingungen eines brennbaren Stoffes,
4. die Giftigkeit bzw. die Korrosionsaktivität der Verbrennungsprodukte.

Innerhalb des breiten Spektrums brennbarer Stoffe werden im Brandschutzlaboratorium der Arbeitsgruppe öffentlich-rechtlicher Sachversicherer in Kiel folgende Stoffgruppen besonders intensiv untersucht:

- a) der Gesamtbereich von duroplastischen und thermoplastischen Kunststoffen,
- b) der Gesamtbereich von Textilien aus Natur- und Kunstfasern.

Unsere brandtechnischen Untersuchungen begannen etwa 1956 nach der DIN 53 906, als wir uns mit neuen, weitgehend waschfesten Flammenschutzmitteln für Textilien auseinandersetzen mußten. Diese Norm arbeitet

- a) mit einem Priifkasten (75×35×35 cm), mit einem Beobachtungsfenster,
- b) mit Probestreifen (Größe: 20×40 cm), sowie
- c) mit einer Priifflamme (Hohe: 4 cm), die durch einen normalen Bunsenbrenner erzeugt wird.
- d) Die Beflammungszeit beträgt je nach Flächengewicht des Priifkorpers 4 bis 14 Sekunden (Abb. 1).

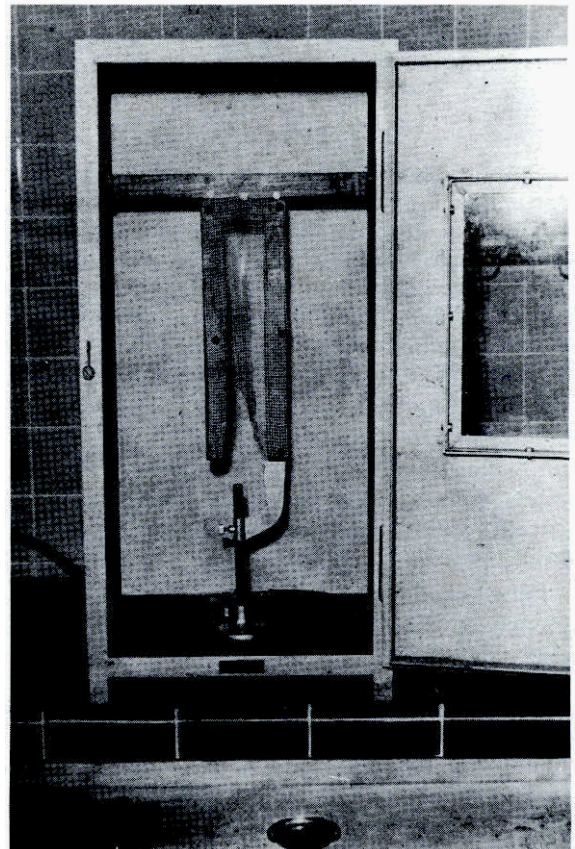


Abb. 1: Alter Priifkasten mit altem Brenner und Probenhalter (DIN 53 906)

Klassifiziert wurde nach folgenden Verhaltensgruppen:

1. nicht entflammbar,
2. selbstverloschend.
3. Probe brennt ab.

Die Ergebnisse, die wir mit dieser Methode erzielen konnten, waren aber durchaus unbefriedigend.

Die Weiterentwicklung der Priifmethoden mit der Flammenbelastung erfolgte zunächst im Fachnormenausschuß 4.10 „Brandverhalten von Kunststoffen“.

Der Priifkasten der DIN 53 906 wurde zunächst beibehalten. Die Entwicklungsarbeiten konzentrierten sich vielmehr auf die Konstruktion eines Kleinbrenners, der vorerst für Stadtgas als Brenngas eingerichtet wurde. Die Brennerflamme wurde in einem Winkel von 45° auf die Probe gerichtet, um ein Verstopfen

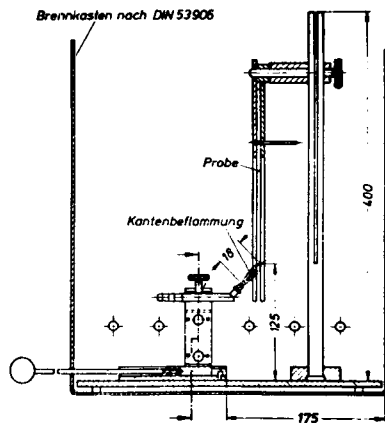


Abb. 2: Alter kleiner Prüfkasten mit Stadtgasbrenner und Probenhalter (DIN 53 438)

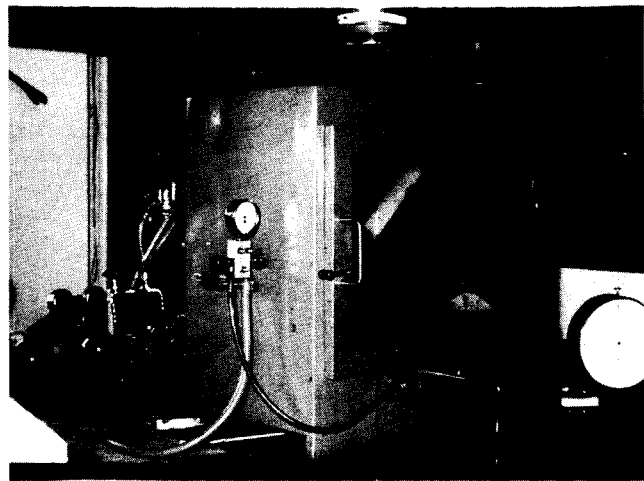


Abb. 3: Großer Universalbrennkasten (DIN 50 050) mit Universalkleinbrenner (DIN 50 051) und Gasregel-einrichtung

der Brennerdüse durch abtropfendes Material zu verhindern. Die Flammenlänge betrug 20 mm, die Beflammungszeit 15 Sekunden. Die Probengröße wurde in einer Länge von 160 mm bei einer Probenbreite von 60 mm gewählt. Auf der Probe wurde eine Meßmarke bei 50, 100 und 150 mm Abstand vom unteren Probenrand aufgetragen. Es wurde sowohl eine Flächen- als auch eine Kantenbeflammung durchgeführt.

Die untersuchten Materialien wurden bei Kantenbeflammung in die Verhaltensgruppe K_1 , K_2 und K_3 eingeteilt, wobei die Gruppe K_2 die Materialien erfaßt, die mehr als 20 Sekunden benötigen, um beim Brennen die Marke M_3 zu erreichen. Solche Stoffe werden als „normal entflammbar“ bezeichnet.

Die Flächenbeflammung wurde in die Ergebnisse F_1 , F_2 und F_3 unterteilt, wobei auf die Gruppe F_2 die normal entflammbaren Stoffe entfielen (Abb. 2).

Die umfangreichen Rundversuche mit der alten DIN 53 438, wie sie vorstehend beschrieben wurden, erbrachten eine ganze Reihe von Schwierigkeiten hinsichtlich einer reproduzierbaren Auswertung der Ergebnisse:

1. Das geringe Volumen des Brennkastens führte wegen mangelhafter Luftbewegung und ungenügender Luftzufuhr zu Brennstörungen.
2. Es erwies sich als äußerst schwierig, am Kleinbrenner eine stabile Flamme mit reproduzierbarer Brandbelastung auf die Probe einzustellen.

Es ist das unbestreitbare Verdienst von Rieber (Farbwerke Hoechst), die Entwicklung entscheidend vorangetrieben zu haben, sodaß die DIN-Ausschüsse 4.10 „Brandverhalten von Kunststoffen“ und C 9i „Brandverhalten von Textilien“ die weiteren Arbeiten gemeinsam durchführen und dies zum Teil erstmalig auch unter Mitwirkung ausländischer Fachkollegen.

Als wesentliches Ergebnis dieser Bemühungen kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt mitgeteilt werden:

- a) die erfolgreiche Entwicklung eines großen Universalbrennkastens (DIN 50 050; Abb. 3), sowie
- b) die Entwicklung eines Universalkleinbrenners (DIN 50 051) für Reinpropanbetrieb, der die Bedingungen der DIN 51 622 erfüllt.

Zu a:

1. Der große Brennkasten hat eine Größe von $40 \times 70 \times 75$ cm. Er wird an einen Abzug angeschlossen, sodaß im Kasten eine Luftströmung von 0,05 bis 0,2 m/sec von unten nach oben erfolgt, um eine gleichmäßige Verbrennung zu erzielen.
2. Die Bodenplatte ist als Rost mit definierter Rasterweite ausgebildet. Diese Maßnahme soll eine gleichmäßige Luftverteilung und Luftführung im Brennkasten während des Versuchsablaufs gewährleisten.
3. In der Mitte des Brennkastens kann eine geschlossene Bodenplatte von $45,5 \times 21,0$ cm eingesetzt werden, auf die die verschiedenen Probenhaltevorrückungen für die einzelnen Prüfmethode montiert werden können.

Der große Brennkasten wurde von neun Laboratorien in Rundversuchen eingehend überprüft. Die Versuchsergebnisse waren in ihrer Übereinstimmung so ausgezeichnet, daß dieser Brennkasten sowohl vom DIN-Ausschuß 4.10 als auch vom DIN-Ausschuß C 9i als „Normgerät“ anerkannt und eingeführt wurde.

Zu b:

Die Brennerentwicklung gestaltete sich allerdings wesentlich schwieriger, da wegen der Umstellung der Stadtgasnetze auf Erdgas mit unterschiedlichen Heizwerten auf Propan als Brenngas umgeschaltet werden mußte. Es wurden insgesamt vier Brennertypen entwickelt und in Rundversuchen eingehend getestet:

1. ein Kleinbrenner für Propan mit Lochkranz für Luftzuführung dicht unterhalb der Brennermündung,
2. ein Kleinbrenner für Propan ohne spezielle Luftzuführung,
3. ein Kleinbrenner mit geregelter Propan- und Luftzufuhr (aus einer Preßluftflasche) mit Vormischkammer, sowie
4. ein Universalbrenner für Reinpropan nach DIN 50 051.

Das Ergebnis der Rundversuche kann wie folgt zusammengefaßt werden:

Zu 1:

Die Brennerart 1 zeigte keine befriedigenden Ergebnisse und wurde deshalb verworfen.

Zu 2:

Die Brennerart 2 zeigte ebenfalls keine reproduzierbaren Flammenverhältnisse und wurde ebenfalls verworfen.

Zu 3:

Diese Brennerart mit geregelter Gas- und Luftzufuhr arbeitete grundsätzlich sehr gut. Die Einstellung der Flamme sowie die Bedienung des Brenners war aber schwierig, deshalb wurde diese Type nicht als Norm eingeführt.

Zu 4:

Die Brennerart 4 zeigte in einigen Rundversuchen ausgezeichnete Versuchsdaten und eine hervorragende Reproduzierbarkeit der Flammen- und Temperaturverhältnisse. Sie wurde deshalb als „Universalbrenner“ DIN 50 051 für Kunststoffe und Textilien verbindlich im deutschen Prüfraum eingeführt.

Dieser interessante Brenner sei in seinen wesentlichen Funktionsteilen kurz beschrieben. Er besteht aus:

- einem Feineinstellventil für Brenngas (eingestellt meist auf 50 mbar Austrittsdruck, bei einem Mindesteintrittsdruck von 500 mbar),
- einer Brenngasdüse,
- einer Mischkammer mit turbulenter Luftzuführung,
- einem Brennerrohr,
- einem Beschleunigerteil mit Austrittsöffnung und aus
- einem Austrittsbeschleuniger.

Dieser Brenner hat sich auch bereits in der Prüfpraxis hundertprozentig bewährt, sodaß die Brennerentwicklung für Kleinbrennermethoden im Labor für Kunststoffe und Textilien endgültig als abgeschlossen betrachtet werden kann.

Welche Prüfeinsätze können nun in den Universalprüfkasten eingebaut werden:

Hier sind als wichtigste zu nennen:

I. Methoden mit senkrechter Probenlage (Abb. 4):

1. die DIN 53 438 (für Kunststoffe und schwere Textilien) und
2. die DIN 54 332 (für textile Fußbodenbeläge).

Zu 1:

- a) In einem doppelteiligen Prüfraum von 240 mm Länge und 104 mm Breite wird die Probe fest eingespannt, sodaß nur die untere Probenkante frei ist.
- b) Die Probengröße beträgt 190×90 mm für die Kantenbeflammung und 230×90 mm für die Flächenbeflammung.
- c) Der Universalbrenner wirkt mit einer Flammenlänge von 20 mm unter einem Winkel von 45° auf die untere Probenkante 15 Sekunden lang ein.
- d) Die Probe trägt im Abstand von 150 mm von der unteren Probenkante eine Marke. Es wird beobachtet, ob und wie schnell diese Marke durch den Brennvorgang erreicht wird.
- e) Klassifiziert wird nach:

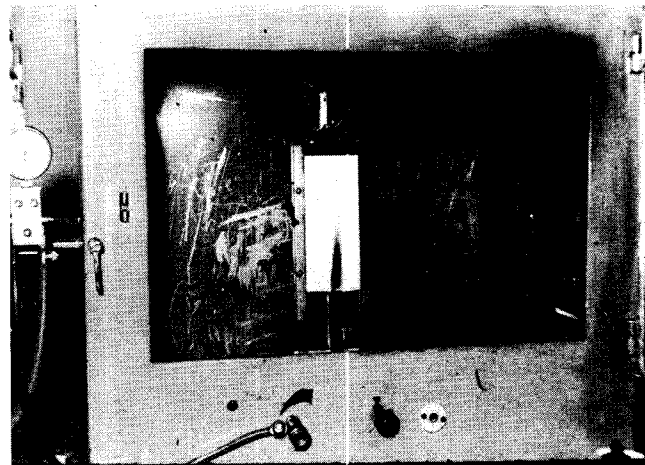


Abb. 4: Großer Prüfkasten mit Probenhalterung für Bautenbeflammung (neue DIN 53 438)

- K_1 = selbstverlöschend (die 150-mm-Marke wird nicht erreicht),
- K_2 = die 150-mm-Marke wird in mehr als 20 Sekunden erreicht (normal entflammbar),
- K_3 = die 150-mm-Marke wird in weniger als 20 Sekunden erreicht (leicht entflammbar).

f) Für die Flächenbeflammung (Abb. 5), bei der die Flamme 40 mm oberhalb der unteren Probenkante die Probenfläche berührt wird entsprechend nach F_1 , F_2 und F_3 klassifiziert.

Die Kantenbeflammung wurde im Rundversuch mit etwa 20 verschiedenen Stoffen (Kunststoffen und Textilien) in neun Instituten überprüft. Die Auswertung der Versuchsergebnisse über eine EDV-Anlage ergab derart geringe Fehlerstreuungen, daß man sicher sein kann, daß diese Prüfmethode ausgezeichnete, exakte und verlässliche Ergebnisse liefert. Die Flächenbeflammung zeigt in der EDV-Auswertung eine etwas größere Streuung, lag jedoch noch im sicheren Aussagebereich.

Zu 2:

a) Nach dieser Methode werden Teppichwaren mit und ohne Polschicht, sowie bestimmte Erzeugnisse



Abb. 5: Großer Prüfkasten mit Probenhalterung für Flächenbeflammung (neue DIN 53 438)

der Filztechnik und Fußbodenbeläge auf textiler Basis geprüft.

- b) Bestimmt werden dabei die Brennzeit, die Glimmzeit und das Ausmaß der beschädigten Flächen der Probe.
- c) Die Probengröße beträgt 330×90 mm, die Probe liegt im senkrechten Probenhalter bündig an eine 340×104-mm-große Asbestplatte von 3 bis 5 mm Stärke an, um die Fußbodensituation zu simulieren.
- d) der Universalbrenner wird im herausgezogenen Zustand auf eine Flammenlänge von 20 mm eingestellt.
- e) In 290 mm Entfernung von der unteren Probekante wird ein genormter Baumwollfaden mit 15-g-Gewichten beidseitig gespannt, die beim Durchbrennen des Fadens, das heißt, wenn die Flamme die Oberkante der Probe bei dieser Marke erreicht, herabfallen.
- f) Nunmehr wird der eingestellte Brenner in 45°-Stellung mit der Mündung auf 5 mm an die Probekante herangebracht. Nach dieser Einstellung wird 15 Sekunden lang beflammt. Brennen von 5 Proben 3, so werden 5 weitere Proben 5 Sekunden lang beflammt.
- g) Bewertet wird das brandtechnische Risiko bzw. die brandtechnische Klassifizierung der geprüften Fußbodenbeläge, und zwar:
 - nach der festgestellten Eigenbrennzeit und
 - nach der festgestellten Eigenglimmzeit der Probe.

Da die Prüfung der Fußbodenbeläge — im Gegensatz zur horizontalen Verlegungssituation in der Praxis — in senkrechter Probenlage vorgenommen wird, macht sie deren Brandverhalten gut erkennbar, da diese Prüftechnik eine schärfere brandtechnische Belastung der Probe zuläßt.

II. Methoden mit um 45°-geneigter Probenlage (Abb. 6):

Hier steht die DIN 54 335 im Mittelpunkt des Interesses. Die wichtigsten Angaben über die Durchführung dieser Prüfung können wie folgt zusammengefaßt werden:

- a) Nach dieser Methode werden folgende Textilien

geprüft: Gewebe, Geflechte und Maschenware. Besonders wichtig ist sie für die brandtechnische Beurteilung von Gardinen.

- b) Die Proben sind 60 cm lang und 90 mm breit und werden in einem um 45°-geneigten Prüfrahmen eingespannt.
- c) In 50, 250 und 500 mm Entfernung von der unteren Probekante werden Baumwollfäden mittels 15-g-Gewichten gespannt.
- d) Geprüft wird nach folgenden Gesichtspunkten: Bestimmung der Brennzeit, der Glimmzeit, der Brennrecken, der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit, des Grades der Zerstörung, des Schmelzverhaltens und anderer auffälliger Eigenschaften des Probenmaterials.

III. Waagrecht-Methoden mit Universalkleinbrenner bzw. Bunsenbrenner (Abb. 7):

Hier sind im Rahmen unserer Zusammenfassung folgende Prüfverfahren zu nennen:

- 1. die DIN 54 333 — Zündung durch Kantenbeflammung für Gewebe aller Art, auch für Verbundstoffe, und
- 2. die DIN 75 200 — Brandverhalten von Ausstattungsstoffen für Kraftfahrzeuge.

Zu 1:

Diese Methode kann wie folgt charakterisiert werden:

- a) Sie wird im großen Universalprüfkasten, wie oben beschrieben, durchgeführt.
- b) Die Probengröße beträgt 350×100 mm.
- c) Die Proben werden mit drei Meßmarken versehen: $M_1 = 40$ mm, $M_2 = 125$ mm und $M_3 = 250$ mm hinter der Probenvorderkante.
- d) Gemessen werden folgende Versuchsdaten:
 - 1. die Brennzeit,
 - 2. die Brennrecke,
 - 3. die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit,
 - 4. Besonderheiten während des Brandablaufes.
- e) Die Probe wird mit dem Universalkleinbrenner 15 Sekunden lang beflammt (Abb. 7). Diese Methode ist aber noch im Vornormstadium und wird

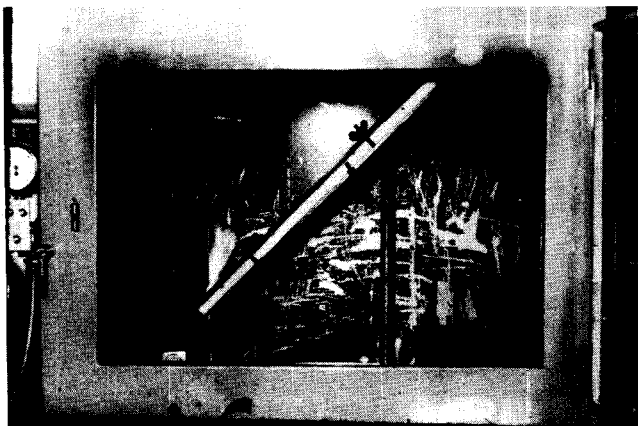


Abb. 6: Flächenbeflammung nach DIN 54 335 (erfolgreicher Probenabbrand)

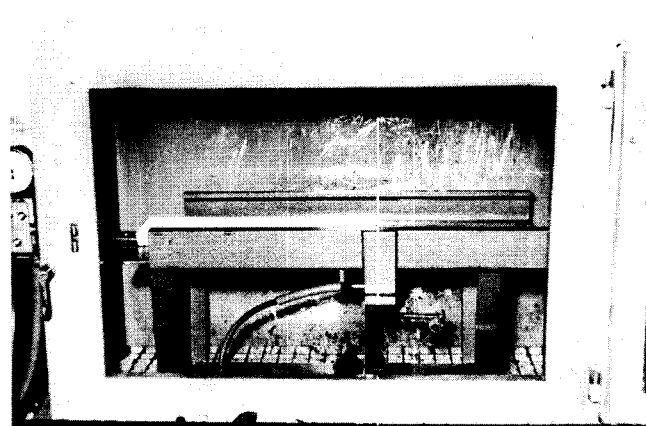


Abb. 7: Waagrecht-Methode — Probenhalter mit Beflammungseinrichtung (DIN 54 333)

derzeit in zahlreichen Laboratorien — auch bei uns — für die Prüfpraxis umfangreich erprobt. Sie ist nach den bisherigen Versuchsergebnissen zur Gewinnung gewisser Aussagen für die Praxis durchaus anwendbar.

Z12:

Diese Methode ist eine Abwandlung der Methode MVSS 302 (USA). Sie kann hinsichtlich der Prüfverfahrenschriften wie folgt charakterisiert werden:

- a) Der Prüfkasten mißt $363 \times 204 \times 360$ mm und hat somit ein Luftvolumen von 26,5 l.
- b) Die Proben sind 356×100 mm groß und werden im Abstand von 28, 165 und 254 mm von der Probenvorderkante gemessen und mit einer Meßmarke versehen, sodaß sich für die Versuchsbeobachtung zwei Brennrecken von je 121 mm Länge ergeben.
- c) Der Spezialbunsenbrenner hat eine Lichtbrenneröffnung von 9,5 mm. Sie soll bei sauberer Versuchsdurchführung 19 mm unterhalb der Probenunterkante liegen.
- d) Das Probenmaterial wird mit diesem Brenner 15 Sekunden lang beflammt.
- e) Ausgewertet wird nach folgenden Versuchsdaten:
 1. nach der Brennzeit,
 2. nach der **Flammenausbreitungsgeschwindigkeit**.

Unsere bisherigen Versuchsergebnisse mit allen vorgenannten Methoden lassen anhand eines reichen Zahlenmaterials hinsichtlich des brandtechnischen Aussagewertes — das ist für die Sachversicherungspraxis von großer Bedeutung — folgendes erkennen:

- a) Methoden mit senkrechter und mit 45° -Probenlage ergeben sehr gute Aufschlüsse über das in der Praxis tatsächlich zu erwartende Brandrisiko der so untersuchten Stoffgruppen. Das gilt insbesondere für leicht entflammbare Stoffgruppen, weil die senkrechte Probenlage eine besonders zündbereite Position darstellt. Universalkleinbrenner und Universalgroßbrennkasten schaffen nach Vergleich zahlreicher Versuche die Voraussetzung für eine ausgezeichnete Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse.
- b) Die Methode DIN 54 333 mit waagrechter Probenlage im großen Prüfkasten läßt selbst geringe Unterschiede im stofflichen Verhalten bei Brennvorgängen von sich brandtechnisch ähnlich verhaltenden Stoffen gut erkennen. Sie ergeben jedoch nach unseren bisherigen umfangreichen Versuchen keinen echten und verbindlichen Überblick über das im Brandfall tatsächlich zu erwartende Brandrisiko derartiger Stoffe, insbesondere von Vorhang- und Bespannungstoffen und ähnlichen textilen Anwendungsbereichen.
- c) Die Methode DIN 15200 (bzw. MVSS 302) ergibt nach unseren bisherigen Erfahrungen nur sehr unsichere Werte. Dies geht aus einer Abschnittsarbeit von Dipl.-Chem. Dr. Jürgen Vesper „Vergleichende Untersuchungen über die Klassifizierungsergebnisse mit den horizontalen Prüfmethode ASTM 1692 und MVSS 302, unter besonderer Berücksichtigung von Schaumstoffen“ hervor. Unsere Untersuchungen, die Ursachen dieser Störung zu erkennen, führten zu dem Ergebnis, daß es wegen der geringen Größe des Prüfkastens schnell zu

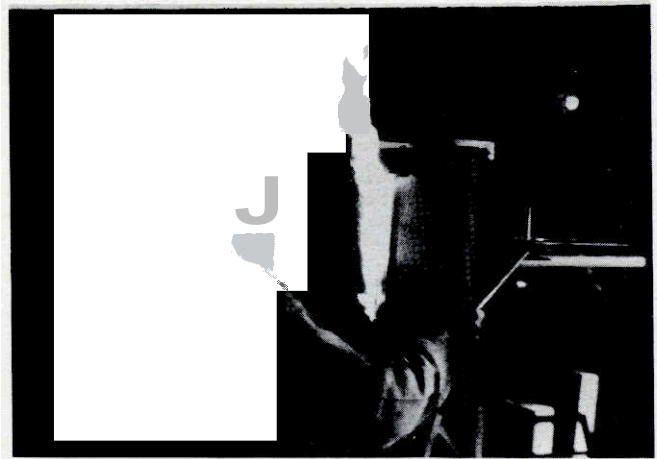


Abb. 8: Panneltest — Zündversuch der Pyrolysegase

einer starken und versuchsdatenfalschenden Aufheizung des Gerätes kommt. Auch wird während des Versuchsablaufs bei einer gut brennbaren Probe mit starker Raumentwicklung eine gestörte Sauerstoffzufuhr zur Probe hin beobachtet.

Die erhaltenen Versuchsdaten, die wir bisher sammeln konnten, lassen keine hinreichend sichere praxisnahe Beurteilung von Textilien und ähnlichen Stoffen mit Hilfe dieses Gerats zu.

IV. Methoden mit Wärmestrahlungsbelastung:

Es erweist sich aus brandtechnischen wie aus brandphysikalischen Gesichtspunkten als überaus wünschenswert, Methoden zur Anwendung zu bringen, die folgende grundsätzlichen Bedingungen erfüllen:

- a) eine streng reproduzierbare Warmebelastung, sowie
- b) eine in weiten Grenzen variierbare, reproduzierbare Warmebelastung.

Derartige Bedingungen können aber nur durch elektrisch beheizte Wärmestrahlungsgeräte erfüllt werden. Frühere Versuche mit strahlenden Keramikflächen, die durch flammlos-katalytische Verbrennung von Propan zum Glühen gebracht wurden, erfüllten diese Wünsche nur sehr bedingt, wie die Versuche im Otto-Graf-Institut, Stuttgart, bzw. jene von der Fire Research Group, Boreham-Wood, zeigen.

- a) der Pannel-Test des danischen *Materialprüfamtet*, Kopenhagen (Abb. 8):

Die Probe wird unter einem Winkel von 60° zur Strahlerfläche geneigt angebracht, sodaß bei Berühren des Prüflings mit einer Stichflammsonde sieben verschiedene Bestrahlungsstärken in einer Probenfläche gepriift werden können. Diese Methode versagt jedoch bei thermoplastischen Kunststoffen, insbesondere bei Schaumstoffen, völlig. Sie ist nur sehr bedingt für Textilien, wie zum Beispiel für Bespannungstoffe oder Raumverkleidungstoffe, anwendbar.

- b) der Test der Fire Research Group, Boreham-Wood (Abb. 9):

Die Strahlerwand nach B. St. M. arbeitet nach dem gleichen Verfahren wie unter a) angeführt, nur mit etwas größeren Probenflächen. Auch diese Methode ist für die Untersuchung brandtechnischer Eigenschaften von Textilien nicht besonders gut geeignet.

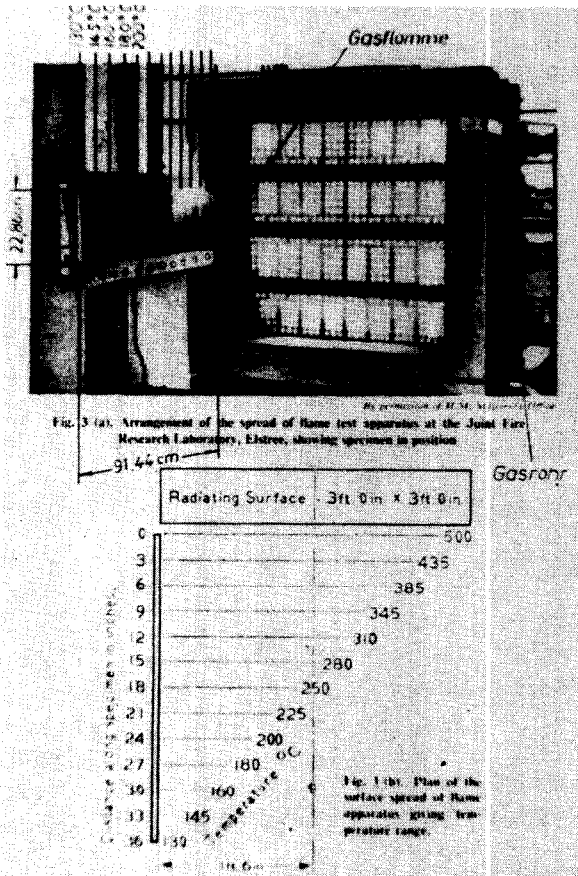


Abb. 9: Britische Strahlungswand der Fire Research Group, Boreham-Wood

Eine eingehende Kontrolle der Meßgenauigkeit von Wärmestrahlungsmeßsonden handelsüblicher Typen (Pyro-Werke - Hannover, Siemens - Berlin u. a.) hat gezeigt, daß sich zwischen den einzelnen Geräten unter Umständen in der Prüfpraxis große Unterschiede ergeben. Mit einer physikalisch einwandfreien Wärmestrahlungsstärkenmessung steht und fällt aber die praktische Anwendung dieser auch für Textilien sehr wünschenswerten Prüfmethode.

Es ist das besondere Verdienst von Teichgräber und Topf vom Institut für Holzforschung und Holztechnik der Universität München, eine allen Ansprüchen genügende Mikrostrahlungsmeßsonde konstruiert zu haben (Abb. 10 und 11). Diese besitzt als Akzeptor-

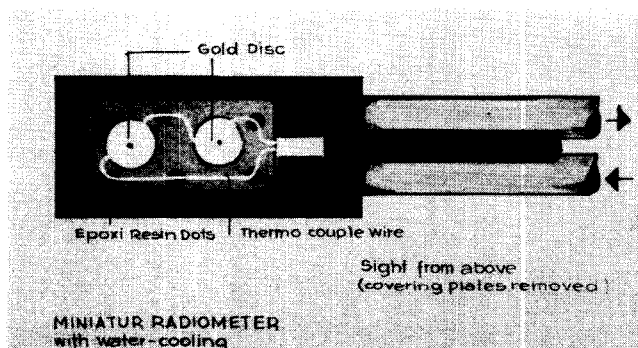


Abb. 10: Mikrosonde nach Topf/Teichgräber (Meßprinzip)

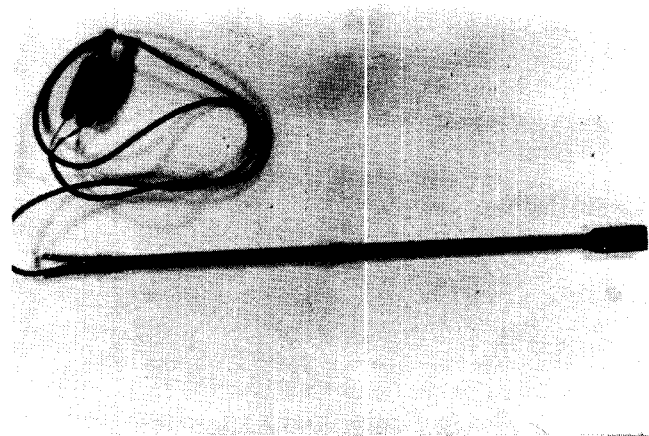


Abb. 11: Mikrosonde nach Topf/Teichgräber (Geräteansicht)

fläche ein geschwärztes Goldblättchen, das zur Erfassung der Umgebungstemperatur mit einem blanken Goldblättchen zusammengeschaltet ist. Ein verbindendes Thermoelement mißt die Temperatur beider Blättchen. Das Gerät wird durch einen laufenden Kühlwasserstrom gekühlt. Bis 6 W/cm^2 zeigt die Sonde nach den Veröffentlichungen von Topf und Teichgräber sowie unseren eigenen Eichmessungen eine ausgezeichnete Meßkonstanz.

V. Testgeräte, die im Kieler Institut entwickelt und erprobt wurden:

Wenn nun kurz auf unterschiedliche technologische Lösungsversuche, eine praktikable Strahlungswärmebelastung von Kunststoffen und Textilien durchzuführen, eingegangen wird, müssen folgende, im Kieler Institut erprobte Geräte genannt werden:

1. der Pyroprüfstrahler nach Professor Dr. Hase (Technische Hochschule Hannover, Institut für Elektrowärme; Abb. 12):

Dieses Gerät besteht aus einem elektrisch beheizten Bandofen, der eine intensive IR-Strahlung imitiert

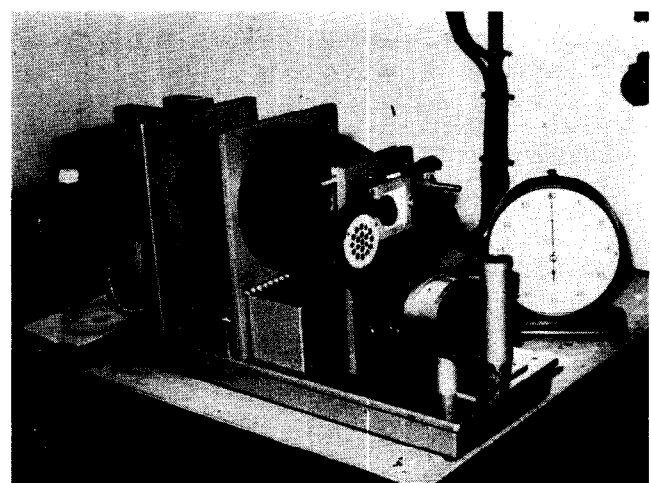


Abb. 12: Pyroprüfstrahler nach Professor Dr. Hase (Gesamtansicht)

(hochlegierter Spezialstahl), einem Rotationsellipsoidspiegel und einem Probenhalter für quadratische Proben (60x60 mm). Bandofen und Probenhalter sind in den Brennflächen des Rotationsellipsoidspiegels angebracht. Nach den Gesetzen der geometrischen Optik ergibt sich somit, daß theoretisch die gesamte vom Bandofen ausgehende Strahlung auf der Oberfläche der zu untersuchenden Probe gesammelt wird. Lediglich durch Absorption an der Spiegeloberfläche (hochpoliertes Aluminium) ergeben sich Strahlungsverluste von etwa maximal 5%.

Die Zündung der Pyrolysegase, die von der strahlungsbelasteten Probe entwickelt werden, erfolgt

- a) mit verstellbarer Funkenstrecke, die von einem Funkeninduktor betrieben wird, sowie
- b) mit Platinglihdraht, der mit Hilfe von Vorschaltwiderständen auf unterschiedliche Oberflächentemperaturen aufgeheizt werden kann (Selbstzündtemperatur).

Während die Einstellung unterschiedlich hoher Warmestrahlungsenergie über einen hochwertigen Regeltransformator erfolgt, wird die Strahlungsintensität auf der Probenoberfläche mit Hilfe eines eingebauten schwenkbaren Mikroradiometers, das mit einer Eichsonde geeicht werden kann, gemessen.

Bei der Klassifizierung nach verschiedenen Brandklassen bei einem kritischen Bestrahlungsgrenzwert von 3,0 W/cm² spricht man

- a) von **Leichtentflammbarkeit**, wenn die Entflammung innerhalb von 60 Sekunden eintritt; dann entspricht sie den Vorschriften der Seeberufsgenossenschaft Hamburg (Dr. Schubert); und wenn die Probe innerhalb 80 Sekunden brennt, den der Heeresbeschaffungs- und -kontrollstelle Kohlenz;
- b) von **Schwerentflammbarkeit**, wenn sich die Probe nach 300 Sekunden oder noch länger dauernder Bestrahlung entzündet.

Das Gerät gestattet eine hinreichend reproduzierbare Variation der Strahlungsintensität, und zwar von 0,5 bis 10,0 W/cm². (Allerdings zeigt es bei längerem Betrieb eine Ermüdungsgrenze des Bandofens. Dann sinkt die optimale Bestrahlungsstärke auf etwa 8 bis 8,5 W/cm² ab, und die Bandstrahler müssen ausgetauscht werden.)

In zahlreichen Versuchen erwiesen sich mittels dieses Gerätes folgende Materialien als durchaus prüfbar:

- feste brennbare Stoffe,
- Kunststoffe, soweit es sich um Duroplaste handelte,
- natürliche Textilfasern und Gewebe,
- duroplastische Kunstfasern und Kunstfasergewebe, sowie
- duroplastische **Schaumstoffe**.

Bedingt lassen sich aber auch **noch** andere Materialien mit dem Pyroprüfstrahler untersuchen, zum Beispiel:

- thermoplastische Kunststoffe mit relativ hoher **Wärmewiderstandsfähigkeit**,

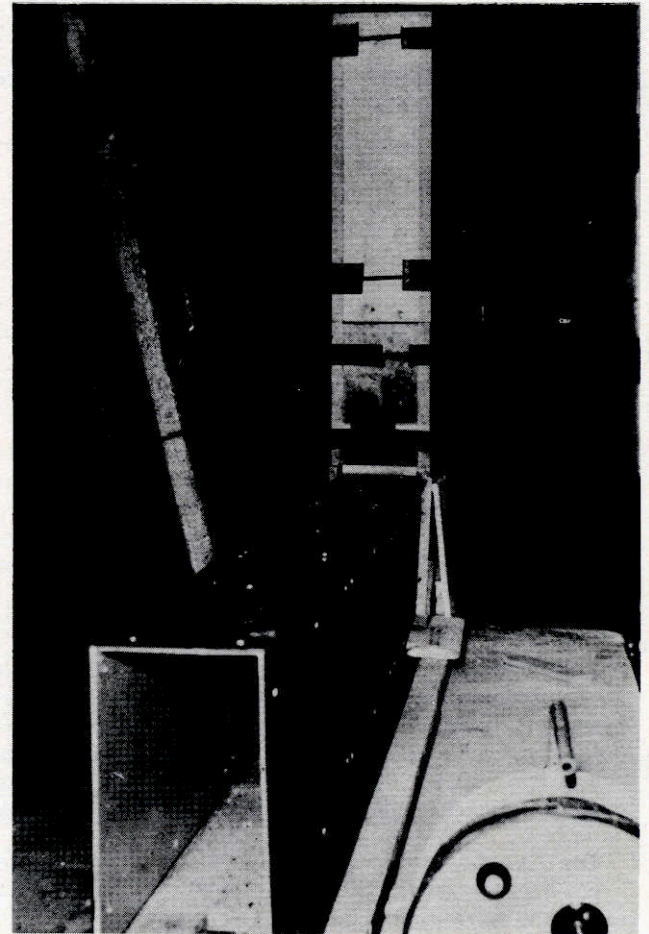


Abb. 13: Horizontal-Kanalofen (Gesamtansicht)

- Kunstfasern und Gewebe aus thermoplastischen Kunststoffen mit hoher Wärmewiderstandsfestigkeit, sowie
- thermoplastische Kunststoffe mit mittlerer **Wärmewiderstandsfestigkeit**.

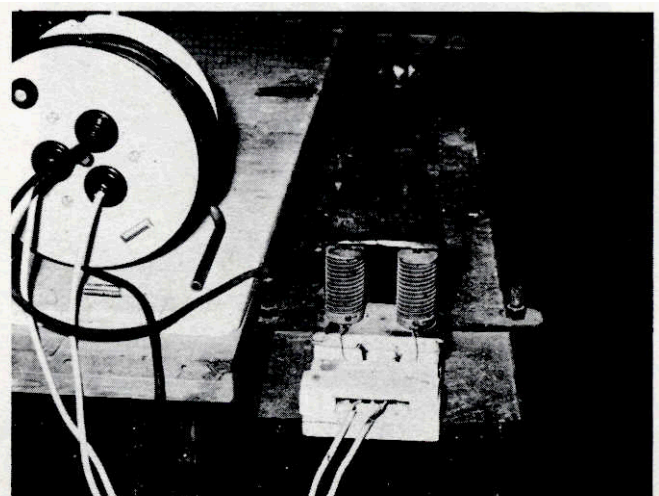


Abb. 14: Horizontal-Kanalofen (Wärmestrahlungszündeinrichtung)

Bei folgenden Materialien ließen sich kaum vernünftige Ergebnisse erzielen:

- bei thermoplastischen Kunststoffen mit geringer Wärmewiderstandsfestigkeit,
- bei thermoplastischen Kunstfasern und Kunstfasergeweben mit geringer Wärmewiderstandsfestigkeit,
- bei sehr dünnen Kunststoffolien, sowie
- bei thermoplastischen Schaumstoffen.

Mit speziellen Probenhaltern konnte man mit diesem Gerät auch an Papier (sogar an sehr dünnem Papier) sowie an Pappe Sonderprüfungen erfolgreich durchführen.

Dieses Gerät stellt heute aber noch keine Normapparatur dar, und es werden damit auch keine Normenprüfungen und Klassifizierungen durchgeführt. Trotzdem konnten wir und auch andere Laboratorien dieses Gerät seit langem für die vorgenannten Stoffe mit gutem Erfolg zum Einsatz bringen.

2. die horizontale Schachthapparatur (Abb. 13 und 14):

Eine interessante Variante zur Prüfung von Wandverkleidungen und Vorhängen sowie von Isolierbeschichtungen aus textilen Materialien, auch in Verbindung mit Kunststoffwänden und -decken, wurde von Renner, Jach und Gebhardt in den Jahren 1965/66 in Kiel bzw. in Hamburg entwickelt.

Die Anlage besteht aus einem 100-cm-langen, 15-cm-breiten und 30-cm-hohen liegenden Schacht aus 20-mm-starken Marinite-Platten, an den ein 100-

cm-hoher Schornstein, ebenfalls aus Marinite-Platten, angeschlossen ist. Vor dem liegenden Schacht wird ein 100-cm-langes Stück aus gleichem Material und mit gleichen Maßen zur Aufnahme des Probenmaterials rauchdicht angesetzt, das auf der rechten Seite ein 65-cm-langes und 10-cm-hohes Fenster aus feuerbeständigem Glas hat, sodaß man das Brennverhalten der Wand- und Deckenverkleidungen bzw. der Bespannungen beobachten, fotografieren und filmen kann.

Die Zündung der Probenflächen erfolgt durch zwei Quarz- bzw. Halogenstrahler, die einander gegenüberstehen und die, fixiert auf einem definiert auf Schienen geführten Wagen, in die Schachtöffnung gefahren werden können. Die Temperaturverhältnisse im Schacht und im Rauchabzug werden an mehreren Stellen mit Eisen/Konstantan-Thermoelementen bzw. mit Chromnickel/Chrom-Thermoelementen gemessen (Abb. 15).

Folgende Parameter kann man mit dieser Anlage bestimmen:

- die Brenntemperatur,
- die relative Verbrennungswärme,
- die reale Wärmekapazität
- die Rauchtemperatur,
- die Beflammungszeit bis zur Oberflächenzündung,
- die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit (rechnerisch),
- die Größe der brandzerstörten, verkohlten Flächen bzw. der nicht verbrannten Flächenanteile des eingesetzten Probenmaterials (durch Messung), sowie
- die Rauchdichte am Ausgang des Rauchabzugschachtes (durch Messung).

Das Gerät eignet sich sehr gut zur brandtechnischen Beurteilung von Verkleidungsstoffen aller Art, einschließlich Textilien und Isolierschäume, und wird für die sicherheitstechnische Klassifizierung dieser Stoffe für den Einbau auf Hochseeschiffen mit gutem Erfolg vom Hamburger Materialprüfamt eingesetzt. Auch dieses Gerät stellt keine deutsche Normprüfapparatur dar, ist aber für die Seegesellschaften verbindlich.

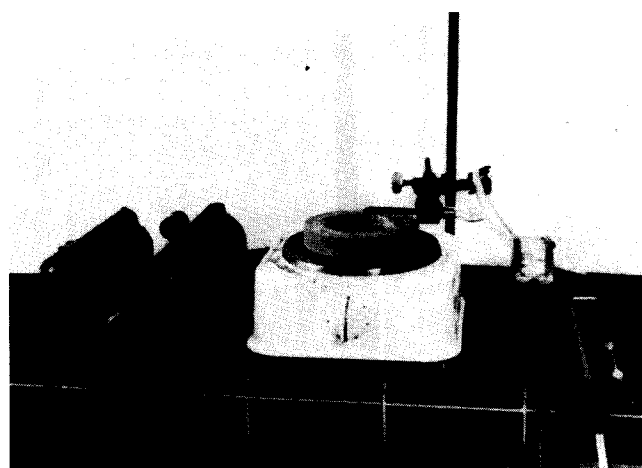
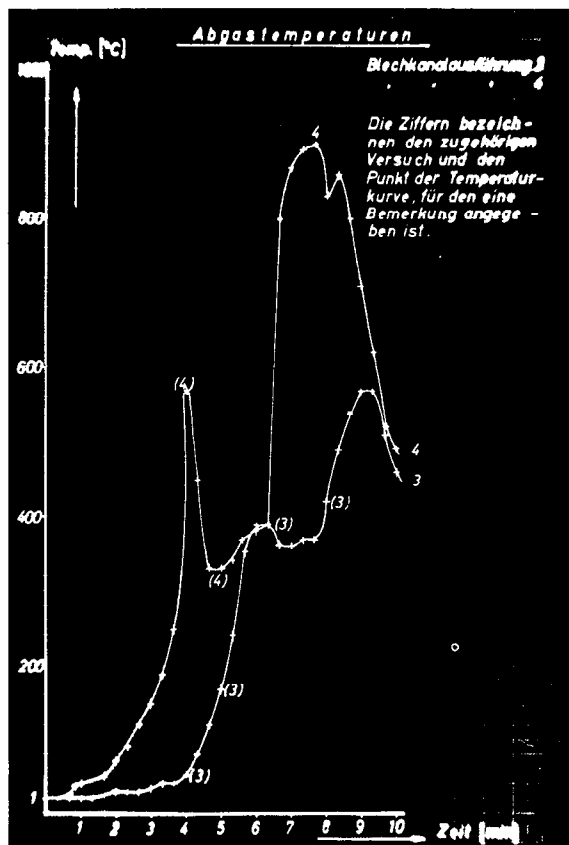


Abb. 15: Temperatur/Zeit-Kurven für typische Brandverläufe im Horizontal-Kanalofen

Abb. 16: Prüfvorrichtung nach Prendtke/Jach (offenes System mit Pilotflamme)

3. ein kombiniertes Wärmestrahlungs- und Wärmeleitungsbelastungsgerät nach Prentke und Jach, Kiel:

Dieses Gerät wurde im Rahmen einer Abschluß-

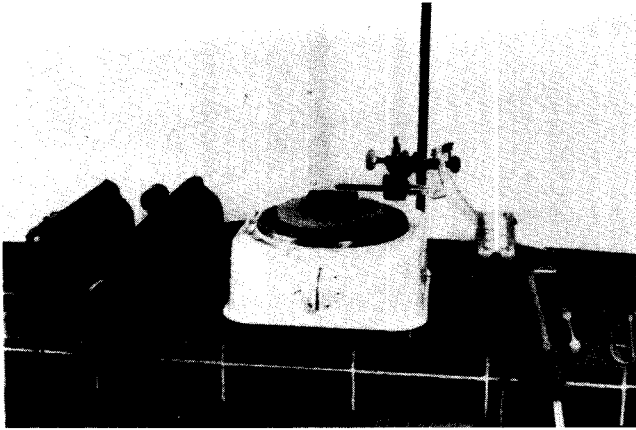


Abb. 17: Prüfvorrichtung nach Prentke/Jach (mit besonderem Probensteller)

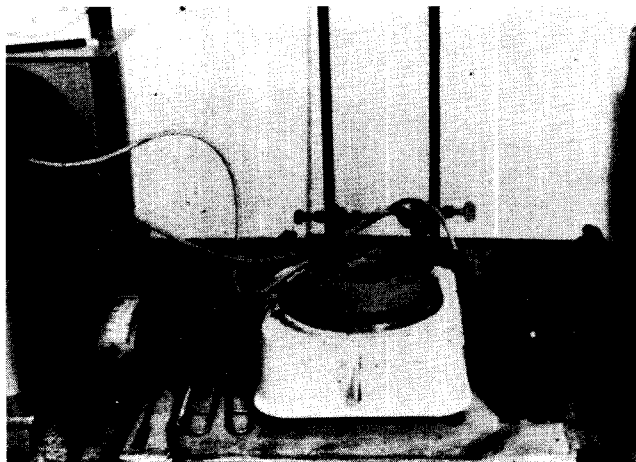


Abb. 18: Prüfvorrichtung nach Prentke/Jach (mit Funkenzündstrecke)

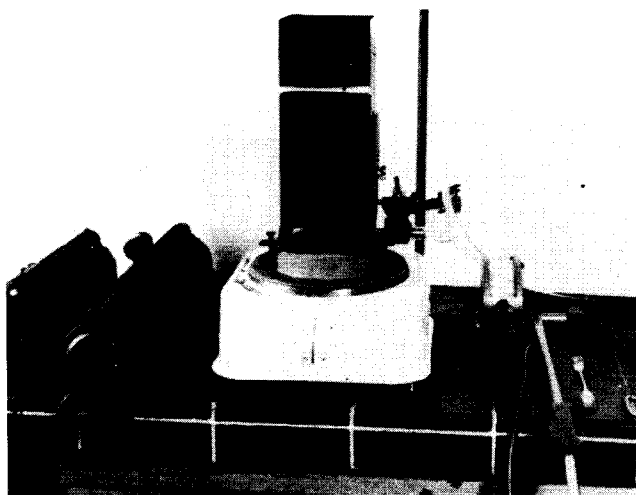


Abb. 19: Prüfvorrichtung nach Prentke/Jach (geschlossenes System mit Pilotflamme)

arbeit in Kiel entwickelt. Wir gingen von einer 2000-Watt-Heizplatte aus und brachten auf ihr verschiedene Probenfixiersysteme an:

- ein offenes System mit Prüfgefäß (Abb. 16),
- ein offenes System mit ausgearbeiteter Aluminiumblockplatte (Abb. 17),
- ein offenes System mit ausgearbeiteter Aluminiumblockplatte und Zündfunkenstrecke (Abb. 18), sowie
- ein geschlossenes System mit Mikrozündflamme (Abb. 19).

Bei unseren zahlreichen Untersuchungen ergaben sich mit diesem Gerät bei verschiedenen Wärmestrahlungsbelastungen typische Zeit-Wärmebelastungskurven für die Oberflächenzündung (Abb. 20 und 21). Auch sind die Werte sehr gut reproduzierbar. Das System ist allerdings wegen der Aluminiumblockplatte hinsichtlich Aufheizzeit etwas träge, weil nach Aufbau des Gerätes ziemlich lange Aufheizzeiten benötigt werden.

Die Anwendbarkeit dieses Gerätes ist sehr vielseitig, es läßt sich sowohl für die Untersuchung von Kunststoffen als auch für die von Textilien aller Art durchaus einsetzen. Auch hier handelt es sich um ein Gerät, das nicht genormt ist und jeweils nur für institutsinterne Untersuchungen eingesetzt wird.

4. das 45°-Bestrahlungsgerät nach Esser, Barthelsen, Jacobsen und Jach (Abb. 22 und 23):

In langjähriger Arbeit wurde in Darmstadt im anwendungstechnischen Laboratorium der chemischen Fabrik Röhm GmbH. das 45°-Gerät in seiner

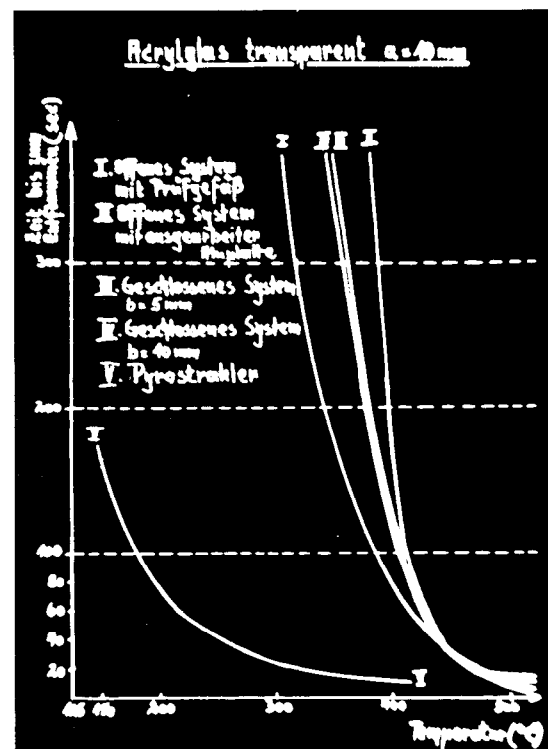


Abb. 20: Typische Temperatur/Zeit-Kurve für Pyrolyse-gaszündung (Acrylglas)

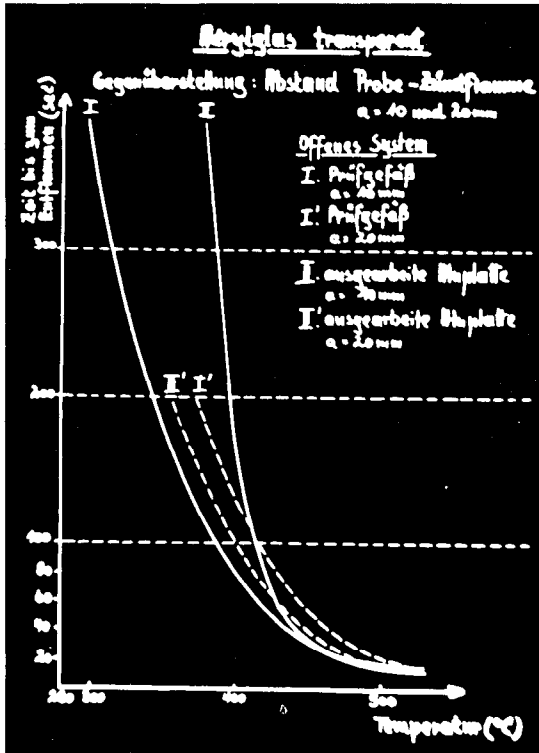


Abb. 21: Typische Temperatur/Zeit-Kurve für Pyrolyse-gazzündung (Acrylglas)

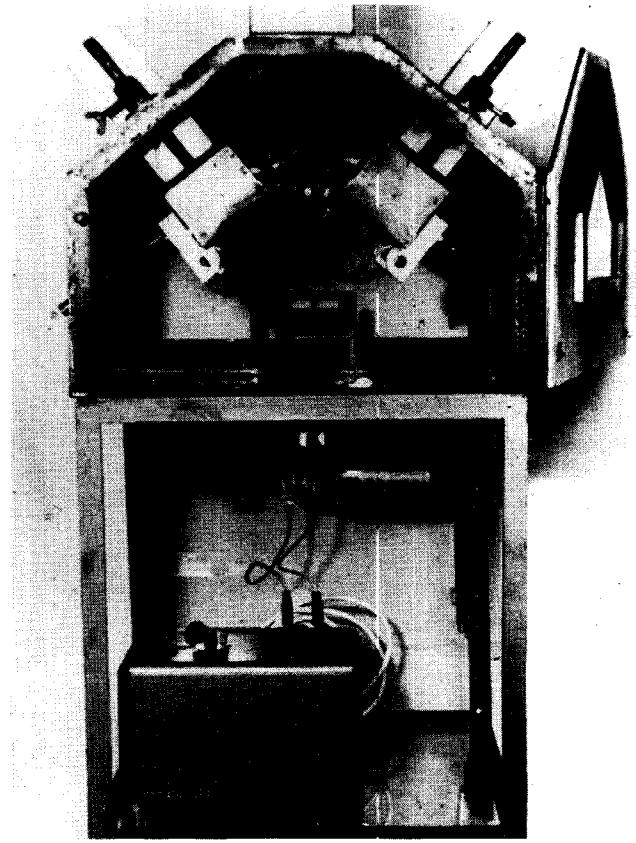


Abb. 23: Verbessertes Gerät mit programmierter Temperatursteuerung nach Einheitstemperaturkurve (DIN 4102)

Grundkonzeption getestet und in Kiel dafür geeignete Halogenstrahler ausgewählt. Das Gerät wird mit zwei 45°-Halogenstrahlern, deren Abstand von der Probenfläche variiert werden kann, bei einer Probengröße von 4×6 cm bestrahlt.

Die zu untersuchende Probe wird auf einem Suprasil-Probenteller horizontal fixiert, sodaß sie ihre Oberfläche und Dicke während des Schmelzens nicht verändern kann. Auch ist der Teller so eingerichtet, daß die Probengröße von 4×6 cm streng erhalten bleibt.

Der Strahler wird hinsichtlich seiner Strahlungsleistung mit einem Steuergerät so gelenkt, daß die Temperatureinheitskurve nach DIN 4102 echt durchfahren werden kann. Das ist ein großer Vorteil dieses Gerätes.

Die Probenhalterung und die Strahlerfixierung ist in einem ausreichend großen V₄A-Kasten untergebracht, dessen äußere Oberfläche zur Minderung der Wärmeabgabe mit Asbestpappe beklebt ist. Die Temperaturverhältnisse im Kasten selbst sowie die im Rauchabzug des Kastens werden mit Thermoelementen ständig gemessen.

Dieses Gerät gibt ähnliche Temperatur-Wärme-strahlungsbelastungskurven wie der Pyroprüfstrahler sowie das bereits beschriebene Gerät nach Prentke/Jach (Abb. 24). Die maximale Strahlungsbelastung, die mit den leistungsfähigsten Halogenstrahlern hier erreicht werden kann, beträgt etwa 6 W/cm².

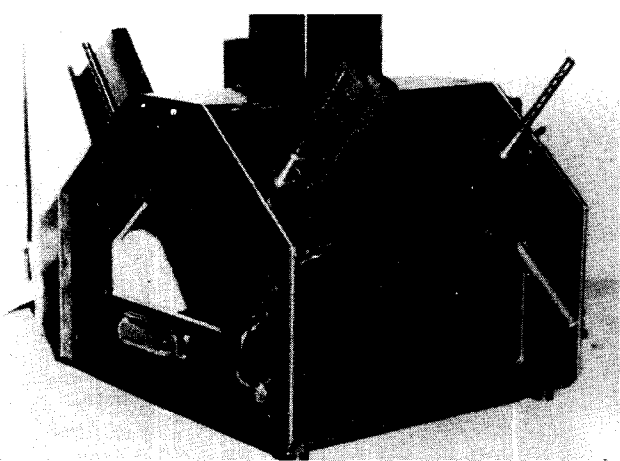


Abb. 22: 45°-Bestrahlungsgerät; 1. Prototyp nach Esser/Barthelsen/Jacobsen/Jach

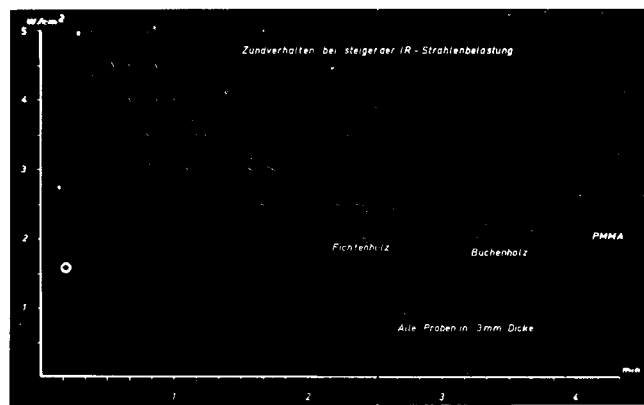


Abb. 24: Zündverhalten bei steigender Strahlungsbelastung im verbesserten Gerät (vgl. Abb. 23)

Die Überprüfung des Apparates im anwendungstechnischen Laboratorium in Darmstadt hat ergeben, daß damit neben Textilien und anderen brennbaren Stoffen auch thermoplastische Kunststoffe, Kunstfasern sowie Kunstfasergewebe mit äußerst geringer Wärmewiderstandsfestigkeit erfolgreich überprüft und untersucht werden können. Unbefriedigend ist dabei lediglich der erhebliche Aufwand, der zwar zu einem recht kostspieligen, dafür aber gut anwendbaren Gerät geführt hat.

5. das ISO-Bestrahlungsgerät nach australischer Standardnorm (Abb. 25 und 26):

Dieses Gerät wird von der ISO als verbindliche

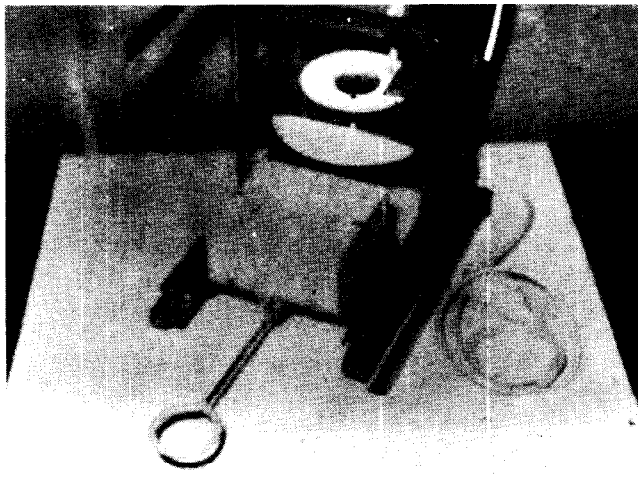


Abb. 25: Probenhalteransicht (australische Strahlungsbox)

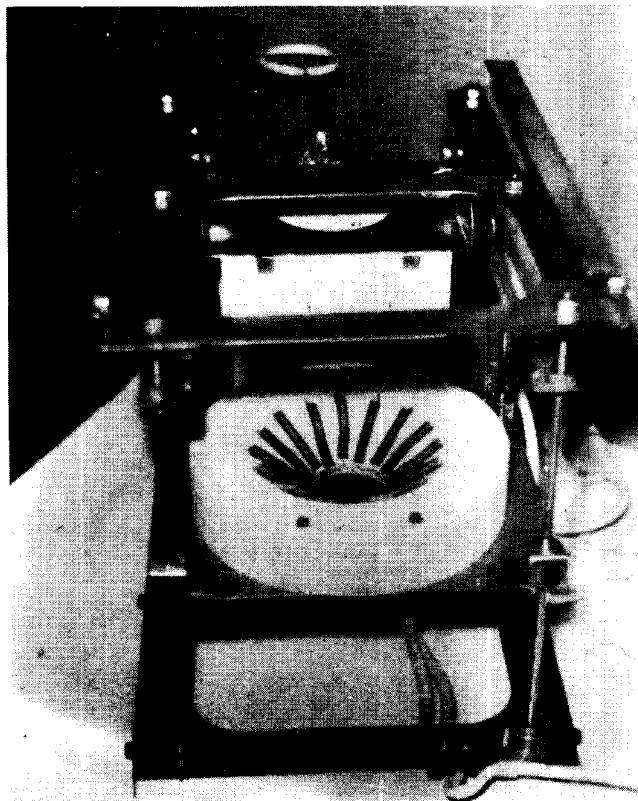


Abb. 26: Strahleransicht des Gerätes (90° von unten)

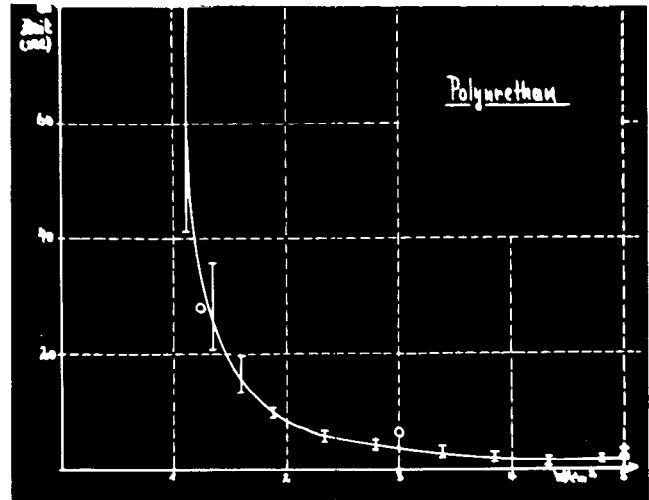


Abb. 27: Typische Temperatur/Zeit-Zündkurve von Polyurethan

europäische Prüfnorm für brennbare Stoffe, einschließlich Textilien und Kunststoffe, angeboten. Es besteht aus einem konischen Asbestzylinder, in dem Heizspiralen aus Widerstandsdraht angebracht sind. Die Proben (10×10 cm) sind in einem Asbestkasten untergebracht, der auf einem Wagen unter den Heizkörper gefahren wird, sodaß die Probe von oben her senkrecht bestrahlt wird. Sie wird mit Hilfe einer Feder gegen eine Asbestabdeckmaske mit einer Blendenöffnung von 10 cm Durchmesser gedrückt. Die optimale Strahlerleistung beträgt etwa 6,0 W/cm².

Nach den australischen, englischen und eigenen neuesten Meßerfahrungen und Ergebnissen werden typische Zeit-Bestrahlungskurven mit guter Reproduzierbarkeit erhalten. Die Zündung der von der Probe ausgestoßenen Pyrolysegase erfolgt durch eine Pilotmikroflamme, die mit Erdgas gespeist wird. Das Gerät ist für die brandtechnische Überprüfung von Textilien, Kunststoffen, thermoplastischen Kunststoffen, Kunstfasern und Kunstfasergeweben gut geeignet (Abb. 27 und 28).

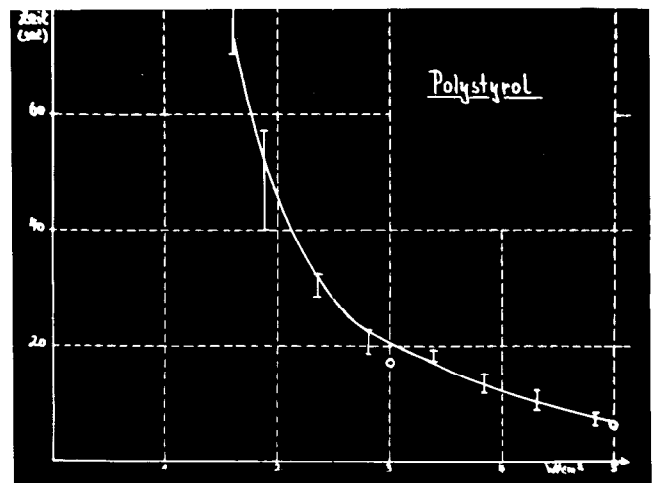


Abb. 28: Typische Temperatur/Zeit-Zündkurve von Polystyrol

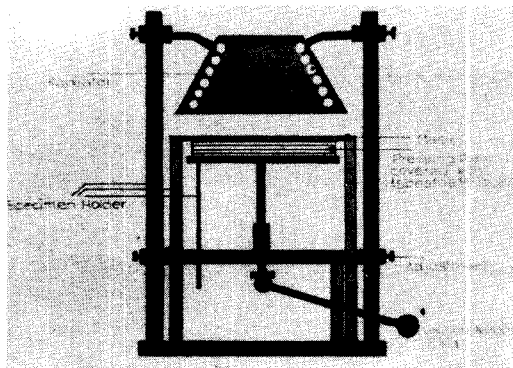


Abb. 29: Ignitability-Test nach Teichgräber/Topf

6. das Senkrecht-Bestrahlungsgerät nach Teichgräber und Topf (Ignitability-Test; Abb. 29 und 30):

Teichgräber und Topf gehen grundsätzlich von der Konzeption des australischen ISO-Gerätes aus, das heißt, sie behalten die Senkrechtbestrahlung der Probe unverändert bei; geändert wird lediglich das Gerät im Detail:

- Der Strahler, der nunmehr aus einem geschlossenen Heizwiderstand von 4000 Watt/Leistung besteht, ist in einer kegelförmigen Spirale gewickelt angebracht und anstatt in einem Asbestzementhalter in einem Strahlblechhalter befestigt. Er leistet nach unseren Erfahrungen und Informationen ebenfalls optimal etwa 6 bis 7 W/cm².
- Die Probenfixierung erfolgt nicht in einem Federkasten, sondern wird durch ein Gegengewicht von 2 kg bewirkt, das eine Platte mit der Probe gegen die obere Probenhalterungsmaske mit Blendöffnung drückt.

Das Gerät vereinigt nach bisherigen Versuchen folgende Vorteile in sich:

- Die Einfachheit des australischen Gerätes und des Versuchsaufbaus werden voll beibehalten.
- Es wird eine optimale und absolut sichere Strahlungsquellenkonstanz bei gut fixierter Probe erreicht.

- Die Herstellungskosten dieses Gerätes sind außerordentlich gering.

Nach ausgedehnten Versuchsserien im Institut für Holzforschung und Holztechnik der Universität München kann schon jetzt gesagt werden, daß dieses Gerät unseres Erachtens eine durchaus optimale und günstige Lösung eines Strahlungsprüfgerätes für die Prüfung von Textilien, Kunststoffen bzw. von brennbaren Stoffen aller Art darstellt. Aber auch für die Prüfung von thermoplastischen Kunststoffen, Kunstfasern oder Kunstfasergeweben, selbst wenn sie sich durch überaus geringe Wärme- widerstandsfestigkeit auszeichnen, ist es gut geeignet.

Schlußgedanken

Mit meinen Ausführungen ist die Palette der national und international praktizierten Testmethoden mit Mikroprüfflammen und Wärmestrahlungsgeräten natürlich nur in den interessantesten und wichtigsten Punkten erfaßt. Es mag daraus hervorgehen, wie groß die Problematik der brandtechnischen Überprüfung von brennbaren Stoffen, einschließlich der Textilien, auch heute noch ist. Die täglichen Brandkatastrophen in aller Welt führen uns plastisch, praktisch und drastisch immer wieder vor Augen, daß innerhalb der Brandforschung bei der Brandprüfung noch zahlreiche ungelöste Probleme auf uns warten.

Dank

Ich habe folgenden Mitarbeitern für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der zahlreichen, langwierigen Versuchsprogramme zu danken:

Den Herren Otto Wollrab, Chernotechniker, Peter Bastian, technischer Angestellter, Hermann Carle, Laborant, Gerd Wilckerling, Laborwerker, sowie folgenden technischen wissenschaftlichen Mitarbeitern auf Zeit: Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Vesper, Dipl.-Chem. von Schickfuß und Neudorff, Studienassessor (Biologie) Schneider, Dipl.-Ing. Schmidt, Dipl.-Ing. Günther, Dipl.-Ing. Völlinger, Dipl.-Ing. Karlsch, cand. Ing. Jauert und cand. Ing. Schwendt, Fachhochschule Flensburg - Fachbereich Chemie.

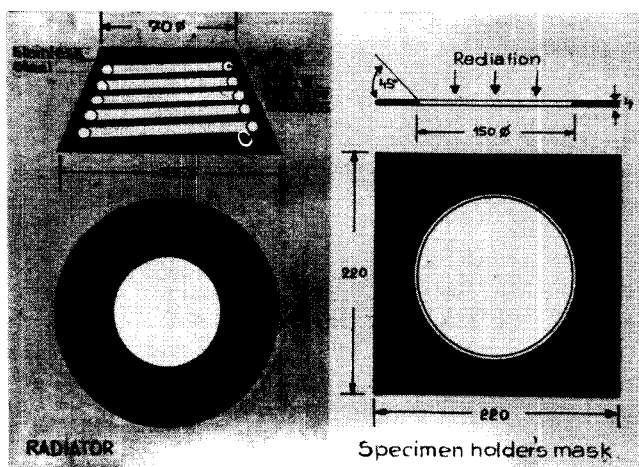


Abb. 30: Ignitability-Test nach Teichgräber/Topf (Detailansichten von Strahler und Probenhalter)

Literatur:

- 1) Unveröffentlichte Gutachten; Archiv des Zentralinstituts für Schadenverhütung und Schadenforschung e. V., Kiel
- 2) Unveröffentlichte Untersuchungsberichte und Untersuchungsprotokolle; Archiv des Zentralinstituts für Schadenverhütung und Schadenforschung e. V., Kiel
- 3) Abschnittsarbeit Dipl.-Ing. Schmidt, BF Berlin
- 4) Abschnittsarbeit Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Vesper, BF Köln
- 5) Abschnittsarbeit Studienassessor Schneider, BF Frankfurt
- 6) Abschnittsarbeit Dipl.-Ing. von Schickfuß und Neudorff, BF München

- 7) Abschnittsarbeit Dipl.-Ing. Günther, BF Kiel
- 8) Jach; Manuskript zum Vortrag anlässlich der 4. Internationalen Schaumstoff-Fachtagung 1974 in Düsseldorf
- 9) Jach; Manuskript zum Vortrag anlässlich der 3. Internationalen Fachtagung über die „Entflammbarkeit und Flammwidrigkeit von Kunststoffen“, Svit/Hohe Tatra/CSSR, 1974
- 10) Jach; Manuskript zum Vortrag anlässlich der 14. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn über die „Brandtechnische Klassifizierung von brennbaren Stoffen, unter besonderer Berücksichtigung von Textilien“
- 11) Jach: „Über die thermische Zersetzung von brennbaren Stoffen, unter besonderer Berücksichtigung der Kunststoffe“; veröffentlicht vom Schadenverhütungsdienst der Feuersozietät Berlin
- 12) Jach: „Versuche zu Brandabläufen in Großfahrzeugen“; VFDB-Zeitschrift 4, 128 ff. (1966); 1, 1 ff. (1967)

Diskussion

Albrecht: Herzlichen Dank für Ihre Ausführungen, die gezeigt haben, daß sich die Sachversicherer mit erheblichem Verstand und Aufwand dieser Probleme annehmen.

Kerres: Als Textilleute freuen wir uns natürlich darüber, wenn es zu möglichst internationalen Normen kommt und uns nicht jeder Exportmarkt eigene Normen vorschreibt. Diese Verhältnisse kann ich nur sehr begrüßen. Was ich aber nicht verstehe, ist Ihr Bemühen, nun doch die Strahlungswärme als weitere Zündquelle einzuführen.

Für das Entflammen von Textilien, soweit Textilien an einer Brandentstehung überhaupt beteiligt sind — es gibt noch viel zu wenig statistische Unterlagen darüber —, ist vor allem die offene Flamme als Ursache anzusehen.

Jach: Aus unseren Großbrandversuchen ging hervor, daß bei der meßtechnischen Auswertung neben einer direkten Flammenberührung auch die Wärmestrahlung von einer Wand zur anderen oder von oben nach unten einen nicht unerheblichen Beitrag zur Entstehung von Großbränden leistet. Wir sind natürlich bemüht, die ganze Palette der Entzündungsmechanismen und Abbrandmechanismen so einfach wie möglich darzustellen, und glauben, diese am besten mit Hilfe der Wärmestrahlung reproduzieren zu können.

Bei der Grundlagenforschung zur Untersuchung von Brandentstehungen und -weiterentwicklungen, die wir auch „Brandkinetik“ nennen, muß man auch alle Brandentstehungs- und Brandablaufmechanismen kennen. Ebenso ist es zur Klassifizierung von Materialien wichtig, deren Verhalten während der Wärmestrahlung zu untersuchen, was im Ausland bereits in großem Umfang durchgeführt wird (USA, England, Holland, Österreich, Frankreich).

Die exakte Erfassung einer definierten Flamme ist ein ausgesprochen schwieriges Problem. Es wäre daher wesentlich einfacher, wenn man mit genau vorgegebenen „Wärmestrahlungsmethoden“ arbeiten könnte.

Albrecht: Der Einwand von Herrn Kerres ist äußerst wichtig. Wenn Sie mit der Argumentation, daß eine definierte Prüf Flamme schwierig zu schaffen ist, dazu übergehen, zwar eine etwas definiertere Prüf Flamme einzusetzen, aber

dadurch nach einem unwirklicheren Prüfverfahren arbeiten, dann schütten Sie hier doch wahrscheinlich das Kind mit dem Bade aus! Wissenschaftlich haben Sie zwar etwas gewonnen, aber praktisch haben Sie sicher etwas verloren! Das ist meine Überzeugung.

Jach: Ich bin der Meinung, man sollte das „sowohl-als-auch“ machen.

Rieber: Die Frage der Strahlung wurde ja schon immer diskutiert. Auch eine Flamme besitzt eine gewisse Strahlung und hat dort, wo sie auf einen Prüfstoff einwirkt, eine bestimmte Dimension. Aus diesem Grunde kann man an der Strahlung sowieso nicht vorbeigehen. Die Frage ist nur die: *Wie ist es möglich, mit Hilfe der Strahlung definierte neue Aussagen zu treffen?*

Das Problem, eine Strahlungsquelle so reproduzierbar zu machen wie eine Flamme, wurde bisher noch nicht gelöst. Wenn Sie die physikalischen Grundprobleme, die darin stecken, auffächern, dann erkennen Sie hier deren Vielfältigkeit.

Die Möglichkeit, bei der Strahlung die Belastung pro Zeiteinheit zu variieren und dadurch den Bereich, der vor der Zündung liegt, aufzufächern, ist eine sehr interessante und notwendige Methode, um das Brennverhalten genauer studieren zu können. Ob diese nun in die Betrachtung aller Prüfmethode einbezogen werden muß, sollte jedoch durch wissenschaftliche Arbeiten zuvor noch belegt werden. Man kann nämlich nicht von vornherein ausschließen, daß die Strahlung nicht doch eine unbekannte Problematik beinhaltet, die eine große Bedeutung für das Brandgeschehen haben könnte.

Die einzige Version, die bisher einen praktischen Aspekt zeigte, ist der „Schwelbereich“. Den Schwelbereich können Sie durch die Strahlung wesentlich genauer definieren als durch eine Flamme, und aus diesem Grund werden beispielsweise zur Bestimmung der Rauchentwicklung vorzüglich Strahlungsquellen eingesetzt. In diesem Punkt besteht heute auch international schon eine weitgehende Einigkeit.

Ob eine Strahlung als Zündquelle benützt werden kann, wage ich im Augenblick noch leicht zu bezweifeln, denn in diesem Falle soll ja eine Überlastung der Zündstelle hervorgerufen werden, und diese können Sie durch eine definierte Flamme weit besser erreichen.

Jach: Eine Zwischenlösung scheint mir die Anordnung zu sein, die im Moment die Holländer in Delft verwenden. In der Brennkammer ist dort sowohl ein elektrischer Strahler als auch eine offene Flamme vorgesehen.

Hoffmann: Spielt die Strahlung nicht deshalb eine so große Rolle, weil sie im Augenblick des Feuersprunges ganz wesentlich ist? In dem Augenblick, in dem die Gefahr besteht, daß sich ein Kleinf Feuer zu einem Großbrand entwickelt, leistet nämlich die Strahlung einen ganz wesentlichen Beitrag, und somit kann auch durch sie im Kleinversuch eine für den Großbrand wesentliche Stufe erfaßt werden.

Jach: Ich stimme Ihnen durchaus zu.

Albrecht: Wir haben also wieder vernommen, wie komplex die Verhältnisse in Wirklichkeit sind. Wenn aber Vorgänge recht komplex sind, erhebt sich auch immer wieder die Frage, ob man sie praktisch weiter vertieft und dabei an der wirklichen, der realen Textilpraxis vorbeigeht, aber daraus wissenschaftliche Erkenntnisse zieht, oder ob man sich auf zwei Ebenen trifft — einmal auf der wissenschaftlichen, die zwingend notwendig ist, und einmal auf der praktischen. Diese Fragestellung würde sich sicher vor allem für den Handel und bei Artikelentwicklungen durchaus anbieten. Durch gewissenhafte Prüf- und Normungsarbeiten sollte diese Frage sogar noch untermauert werden.

Das Brandverhalten von Textilien aus der Sicht der Feuerwehr

Branddirektor Dipl.-Chem. Peter René Eulenb urg,
Essen

Textilien als Bestandteil des menschlichen Lebensbereiches stellen für diesen auch eine Gefahr dar. Als organische Materialien sind sie brennbar. Durch den engen Kontakt mit der Haut als Bekleidung führt die Einwirkung brennender Textilien zu schweren Verletzungen. Als Heimtextilien sind sie an der Brandausdehnung und der Entstehung von Großbränden beteiligt.

Als wichtigste Ursachen für die Entstehung einer Gefahr für den Menschen sind

- fahrlässiger Umgang mit offenem Feuer,
- die Einwirkung fester brennbarer Stoffe in Form von glühenden Holz- bzw. Metallteilen (Funken) beim Verbrennen, Schweißen bzw. Thermoschneiden usw.,
- die Einwirkung leicht entflammbarer gasförmiger oder flüssiger Stoffe bzw. von Sauerstoff, sowie
- die Einwirkung von Strahlungswärme

zu nennen.

Die Entzündung von Textilien zu verringern, das heißt, diese schwer brennbar zu machen, erscheint daher als ein Weg, die Gefahr, die diese darstellen, herabzusetzen. Darüber hinaus sind es aber auch vorbeugende Maßnahmen, die beispielsweise in Bauverordnungen bzw. Verhaltensverordnungen von Berufsgenossenschaften usw. enthalten sind, die verhindern sollen, daß die unmittelbare Umgebung des Menschen zu einer Gefahr für ihn wird.

Textiles as part of the human sphere of living also constitute a danger to it. As organic materials they are inflammable. By close contact of clothes with the skin, inflammable textiles can cause severe injuries. As domestic textiles, they promote fire propagation leading to large-scale fires.

Major causes for a fire hazard to the human being are:

- careless handling of open fire,
- exposure of solid combustible materials as glowing wooden or metal parts (sparks) during combustion, welding, thermocutting etc.,
- reaction of easily inflammable gaseous or liquid materials or of oxygen and
- radiation heat.

Reducing the inflammability of textiles, i. e. to make them flame-resistant, seems to be a way of decreasing the hazard they represent. Moreover, preventive measures as contained in building regulations or trade union regulations shall prevent that the immediate environment becomes a danger to the human being.

Textilien jeglicher Art nehmen im Lebensbereich des Menschen einen breiten Raum ein. Sie finden Verwendung zur Bekleidung, zur Gestaltung des Wohnbereiches als Vorhang- und Dekostoffe, zum Bezug von Möbeln, als Belag für Fußböden in Häusern, Verkehrsmitteln und anderen Einrichtungen im menschlichen Lebensbereich. Ohne Textilien sind Kultur und Zivilisation nicht denkbar. Textilien als

seignersreiche Ausdrucksform menschlicher Kultur können jedoch zu einer tödlichen Gefahr werden, wenn sie in Brand geraten. Das Feuer und seine unkontrollierte Erscheinungsform, der Brand, sind die ständigen Begleiter der menschlichen Kulturgeschichte seit alters her. Brände bedrohten stets das Leben des Menschen und vernichteten die von ihm geschaffenen Werte. Je höher eine Kultur entwickelt ist, desto verwundbarer wird sie durch die Einwirkung eines Brandes.

Die Zahl der Menschen, die bei Bränden ums Leben kommen, nimmt zu, die Schadenssummen bei Sachwerten vergrößern sich in beträchtlichem Umfang. Es erhebt sich nun die Frage, welche Rolle Textilien im Verlauf eines Brandes spielen und ob sie insbesondere eine vergrößerte Gefahr für den Menschen darstellen, wenn sie in Brand geraten sind.

Leider gibt es — zumindest bei den Feuerwehren im deutschsprachigen Raum — nur ungenaue und sehr unvollständige Angaben zur Beantwortung dieser Frage. Als Erklärung kann hier angeführt werden, daß die Feuerwehr auf einen Notruf hin zu einem Zimmer- oder Wohnungsbrand ausrückt. Hierbei wird nur in seltenen Fällen in späteren Eir.satzberichten der Einfluß von Textilien im Brandgeschehen untersucht; hier heißt es dann meistens lapidar: „Es brannten Mobilar und Einrichtungsggegenstände.“ Literaturangaben enthalten eine hohe Dunkelziffer, vermutlich auch deshalb, weil Unfälle durch brennende Textilien, insbesondere Kleidungsstücke, vom Betroffenen oft als naturgegeben hingenommen werden, nicht der Erwähnung für wert gehalten und deshalb nur in besonderen Fällen ihren Niederschlag in Berichten finden.

Vom Dokumentationsdienst „Aktion sicheres Haus“ wird beispielsweise für die beiden Monate Dezember 1972 und Januar 1973 eine Zahl von 21 Menschen, die bei Kleiderbränden und Bränden von Heimtextilien ums Leben kamen, für das Gebiet der BRD angegeben¹.

Wesentlich genauere Daten werden dagegen aus Großbritannien berichtet. Hier sind 1971 822 Tote bei 666 Bränden zu beklagen gewesen. Von diesen Toten waren 111 Kinder unter 5 Jahren und 321 Personen über 65 Jahre. Diese beiden Altersgruppen machen mehr als die Hälfte in der Gesamtzahl der Brandtoten aus. 272 Menschen (33,1 %) kamen bei Bränden von Kleidungsstücken, Bettmaterial oder anderen Textilien ums Leben. 596 Brände mit 726 Toten ereigneten sich in Gebäuden; davon in Hotels, Klubs, Restaurants 26 Brände mit 51 Toten. In Wohnhäusern und Wohnungen kamen bei 492 Bränden 560 Menschen ums Leben². Eine ähnliche Zahl von Textilbränden wird auch aus den davorliegenden Jahren berichtet. In England und Wales starben nach statistischen Angaben des Jahres 1971 im Durchschnitt: 200 bis 300 Menschen, weil ihre Kleidung Feuer fing³.

In Relation zur Bevölkerungszahl eines Landes finden auch in anderen Ländern eine entsprechende Anzahl von Menschen als Folge von Textilbränden den Tod. Für die Vereinigten Staaten wird zum Beispiel angegeben, daß dort 2000 bis 3000 Menschen im Jahr durch solche Ereignisse ums Leben kommen⁴.

Es erhebt sich nun die Frage, ob Textilien in ihrem Brandverhalten als gefährlicher einzustufen sind als andere brennbare Stoffe. Textilien sind ihrer Herkunft

bzw. ihrer stofflichen Beschaffenheit nach überwiegend als brennbar einzustufen. Wir finden hier einen weiten Bereich von leicht brennbaren Stoffen, wie zum Beispiel Zellulose- und Viskosefasern, auf der anderen Seite gibt es schwer brennbare Stoffe, wie zum Beispiel Wolle, und letztlich auch nichtbrennbare Fasern, wie zum Beispiel Asbest- und Glasfasern.

Die Brennbarkeit ist jedoch nicht allein von der stofflichen Beschaffenheit einer Textilfaser abhängig, sondern sie wird auch durch andere Einflüsse sehr stark verändert.

Eine sehr wichtige Frage ist hierbei die Volumenverteilung eines Gewebes oder — besser gesagt — seine spezifische Oberfläche. Ein kompakter Baumwollballen brennt wesentlich schwerer als ein weitmaschiges, leichtes Baumwollgewebe, obwohl der Grundstoff der gleiche ist. Für die Feuerwehr ist entscheidend, daß Textilien auf Grund ihrer Brenneigenschaften eine wesentliche Erhöhung der Brandlast in einem Raum oder in einem Gebäude darstellen und so zu einer Erhöhung des Risikos führen.

Für das Brennverhalten von Textilien ist es wichtig, sich die Vorgänge zu verdeutlichen, die bei ihrer Entflammung von Bedeutung sind.

Am Beispiel der Zellulose sei dies kurz erklärt. Zellulose wird, wie andere feste brennbare Stoffe auch, bei Zufuhr von Wärme zunächst zersetzt. Bei Temperaturen von 180° C findet hier zunächst ein Kettenabbau ohne Gewichtsverlust statt. Bei Temperaturen zwischen 200 und 300° C stellen wir eine langsam verlaufene Pyrolyse unter Abspaltung flüchtiger Produkte fest, die mit einer Gewichtsabnahme der Substanz verbunden ist. Bei Temperaturen über 350° C wird der Grad der Pyrolyse stark erhöht; es bilden sich brennbare Gasgemische, wobei gleichzeitig ein Kohlenstoffgerüst zurückbleibt⁴.

Eine Fremdzündung ist hier ohne weiteres möglich. Ab Temperaturen von 400° C kommt es dann zur Selbstentzündung; der Verbrennungsvorgang verläuft unter Wärmeabgabe und einer maximalen Flammentemperatur von 860° C, wobei sich die Pyrolyse der Ursprungssubstanz bei Temperaturen über 450° C noch fortsetzt.

Allgemein kann man sagen, daß brennbare Textilfasern bei Einwirkung höherer Temperaturen einer Zersetzung unterliegen, deren Art und Verlauf stark temperaturabhängig ist. Ab ca. 200° C bilden sich flüchtige Zersetzungsprodukte in Form brennbarer Gase und Dämpfe, wobei gleichzeitig eine mehr oder weniger starke Verkohlung der Substanz feststellbar ist. Bei Erreichung der Entzündungstemperatur der Pyrolyseprodukte findet dann durch Eigen- oder Fremdzündung die Entflammung der Substanz statt.

Entscheidend für die Brandgefährlichkeit eines Textilmaterials ist die Selbstentzündungstemperatur. Das Material ist umso gefährlicher, je niedriger diese Temperatur ist. In der Literatur finden wir zum Beispiel folgende Entzündungstemperaturen von Textilien angegeben:

238° C	für Viskose,
400° C	für Baumwolle,
475° C	für Zellulose,
508° C	für Polyester,
510° C	für Nylon 6,
590° C	für Wolle ⁵ .

Baumwolle gehört mit einer Selbstentzündungstemperatur von 400° C zu den Fasern, die sich bei verhältnismäßig niedriger Temperatur entzünden lassen. Wolle auf der anderen Seite gehört zu den schwer entflammbaren Fasern. Die Entzündungstemperaturen leicht brennbarer Textilfasern liegen in der Größenordnung der Zündtemperaturen von zum Beispiel Papier, Pappe, Holz, Stroh und Kunststoffen, wie Polyamide, Polyester, Polyäther usw. Bezogen auf Brennbarkeit und Entzündlichkeit sind Textilien also als nicht gefährlicher einzustufen als andere brennbare feste Stoffe.

Betrachtet man die Geschwindigkeit, mit der Textilien verbrennen, mit anderen Worten also ihre Brenngeschwindigkeit, so muß man sagen, daß sie als gefährlicher anzusehen sind als andere brennbare feste Stoffe. Dies wird durch die Tatsache erklärt, daß Textilien eine wesentlich größere spezifische Oberfläche haben als kompakte feste Stoffe. Dies wiederum macht es möglich, daß bei Textilien pro Zeiteinheit größere Gewichtsmengen an brennbarer Substanz verbrannt werden.

Nach einmal erfolgter Zündung breiten sich die Flammen auf Textilien rascher aus als auf anderen festen brennbaren Stoffen. Gleichzeitig wird durch die raschere Freisetzung der in der Substanz enthaltenen Verbrennungswärme die Verbrennungstemperatur höher. Ein leichtes, besonders weitmaschiges Gewebe aus Zellulose, aus Viskose oder auch aus Baumwolle kann so rasch verbrennen, daß sich der gesamte Verbrennungsvorgang in Form einer Stichflamme in wenigen Sekunden abspielt. Die rasche Verbrennung eines solchen Gewebes (z. B. in Form von Gardinen- oder Vorhangstoffen) führt wegen der schnellen Freisetzung der Verbrennungswärme und großer Mengen an gasförmigen Verbrennungsprodukten auch zu einem beträchtlichen Druckerstiege im Raum oder im Gebäude.

Bei Untersuchungen über das Verbrennen von Gardinengeweben wurde festgestellt, daß hier in Räumen Überdrücke bis 0,6 bar auftreten. Hält man sich vor Augen, daß bereits bei Überdrücken von 0,1 bar Fensterscheiben gesprengt und bei 0,3 bar leichte Zwischenwände oder Türen eingedrückt werden, bei Überdrücken von 0,7 bar jedoch bereits Zerstörungen tragender Bauteile festzustellen sind, so ist leicht vorstellbar, welche Schäden durch das rasche Verbrennen großflächiger Gardinen- oder Vorhangstoffe infolge des im Raum entstehenden Überdrucks auftreten können⁶.

Gerade diese Gefahren, die mit der leichten Entzündlichkeit von Textilien und ihrer großen Flammenausbreitungsgeschwindigkeit verbunden sind, sind eine Erklärung für das Entstehen von Brandkatastrophen, denen die Feuerwehr trotz aller Einsatzbereitschaft und trotz geeigneter Ausstattung zunächst hilflos gegenübersteht.

- Am 28. 11. 1942 wurden im Nachtclub Coconut Grove in Boston, USA, von 750 Gästen 432 getötet und 214 verletzt, weil die Stoffdekoration durch eine weggeworfene Zigarette in Brand geraten war⁷. — Dieses furchtbare Ereignis war Veranlassung, daß sich die USA als erstes Land der Welt intensiv mit dem Brennverhalten von Textilien befaßten.

- Am 1. 11. 1970 fanden in einem Tanzlokal in Saint-Laurent-du-Pont 147 junge Menschen den Tod, als entflammare Vorhänge, Dekorationen und Möbel durch Fahrlässigkeit in Brand gerieten und die außerordentlich rasche Flammenausbreitung auch hier den sich im Lokal befindlichen Menschen den rettenden Weg ins Freie versperrte⁸.
- Am 23. 9. 1973 kamen in einem Nachtclub auf Rhodos, Griechenland, 32 Menschen ums Leben⁹.

Das Innere des Nachtlokals war größtenteils mit entflammaren Materialien ausgestattet: Fußböden und Innenwände waren überwiegend mit Kunstsamt versehen und die Decken mit hängenden Dekorationen aus Samt und Stroh drapiert, die Tischflächen mit Baumwollstoff bedeckt, auf den Tischen standen elektrische Lampen mit Schirmen — ebenfalls aus brennbarem Material. Brandursache war die Überhitzung elektrischer Kabel, die unter dem Kunststoffußbodenbelag geführt waren.

Die Möglichkeit des raschen Verbrennens von Textilien stellt besonders bei Kleidungsstücken ein großes Risiko dar. Untersuchungen von Finley und Butts haben gezeigt, daß die Brenngeschwindigkeit von Kleidungsstücken nicht nur vom Material allein, sondern auch vom Schnitt und von der Verarbeitung dieses Materials wesentlich abhängt. Beim Puppen-test mit Hängekleidern wurde gezeigt, daß zum Beispiel schon die Verwendung eines Gürtels als Abtrennung eine deutliche Verlangsamung der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit mit sich bringt¹⁰.

Brennende Textilien bewirken eine weitere Gefahr, wenn bei ihrer Verbrennung toxische Gase entstehen. Auf Grund ihrer organischen Natur entstehen bei der Verbrennung von Textilien je nach Sauerstoffkonzentration neben Kohlendioxid erhebliche Mengen von Kohlenmonoxid in Konzentrationen, die gesundheitsschädlich, ja unter Umständen sogar lebensbedrohend wirken können. Diese Entstehung von gesundheitsschädlichen CO-Konzentrationen ist besonders bei Schwelbränden von Textilien festzustellen und wird meist dann kritisch, wenn Menschen während des Schlafes oder bei Bewußtseinstörung infolge Alkohol- oder Drogengenusses von der Gefahr überrascht werden. Viele tödliche Brandunfälle im Zusammenhang mit brennenden Textilien sind auf diese Ursache zurückzuführen.

Die Entstehung gesundheitsschädlicher oder letaler Konzentrationen von CO ist jedoch nicht das typische Risiko brennender Textilien, die Gefahr tritt vielmehr bei fast allen Bränden, insbesondere von festen Stoffen, auf. Bei Fasern aus Polyacrylnitril entstehen beim Verbrennen darüberhinaus auch Ausgasungen in Form von Cyan- und Cyanwasserstoffverbindungen. Diese Verbindungen wirken schon in geringer Konzentration tödlich und können daher eine zusätzliche Gefahr, beispielsweise bei der Verwendung solcher Fasern für großflächige Vorhänge oder Dekorationen, darstellen. Auch andere Kunstfasern können durch pyrolytische Zersetzung Stoffe entwickeln, die reizend oder ätzend auf die Atmungsorgane wirken und auf diese Weise einen Gesundheitsschaden herbeiführen können¹¹.

Ein weiteres Risiko im Brandfall von Textilien stellt die Erscheinung des Abschmelzens, Abtropfens oder brennenden Abtropfens dar. Diese Erscheinung findet man besonders ausgeprägt bei thermoplastischen Fa-

sern, wie zum Beispiel bei Nylon oder Polyester oder Polyamiden. Die durch Wärmeeinwirkung abschmelzenden oder abtropfenden Teile solcher Kunstfasergewebe besitzen noch einen hohen Energiegehalt, der die Toleranzgrenze der menschlichen Haut gegen solche Einwirkungen wesentlich übersteigt und somit zu sehr unangenehmen, schwer heilenden Brandwunden führt.

Die Einwirkung brennender Textilien auf Menschen führt oft zum tödlichen Ausgang eines Brandunfalls. Dieses Risiko ist naturgemäß bei den auf dem Körper als Bekleidung getragenen Textilien besonders groß. Die Schädigung des menschlichen Körpers durch Hitze einwirkung hängt jeweils von der Temperatur und von der Dauer dieser Einwirkung ab. Nach dem Entzünden beeinflussen die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit auf den Textilien sowie eventuell auch die Schmelzprodukte den Schweregrad einer Verbrennung. Je nach Tiefe der Hautzerstörung werden hier Verbrennungen ersten, zweiten und dritten Grades unterschieden. Verbrennungen dritten Grades, also von 10 bis 15 Prozent der Körperoberfläche, erfordern bei Kindern bereits intensive Überwachung und Schockbehandlung. Bei erwachsenen Patienten liegt diese Grenze bei etwa 20 bis 25 Prozent und sinkt im höheren Alter wieder. Patienten mit Verbrennungen von über 50 bis 60 Prozent ihrer Körperoberfläche haben selbst in Verbrennungszentren mit besten Behandlungsmöglichkeiten auch heute nur in Einzelfällen eine Überlebenschance¹².

Das Problem „Kleiderbrände“ ist bereits eingangs mit einigen Zahlen umrissen worden. In einer Arbeit von Martin aus dem Jahre 1969 werden Zahlen aus dem Einzugsbereich der Stadt Zürich mit rund 1 Mio. Einwohnern genannt¹³. Hiernach werden die durch Kleiderbrände verursachten Unfälle innerhalb eines 10-Jahres-Zeitraumes wie folgt beziffert:

Bei 1320 Brandunfällen kamen 168 Menschen ums Leben. Hiervon waren an 441 Unfällen brennende Kleider beteiligt, wobei 114 Menschen den Tod fanden. Diese Zahlen enthalten primäre und sekundäre Brandauswirkungen. Von 84 Unfällen durch brennende Kleider verliefen 36 tödlich. Nach Angaben von Segal wurden in Kalifornien in einer 3-Jahres-Periode 76 Kinder bei Kleiderbränden getötet. Darunter waren 5 Knaben und 59 Mädchen vom Kleinkindalter bis zum Alter von 9 Jahren und 12 Mädchen in der Altersgruppe von 10 bis 19 Jahren¹⁴.

Diese Ungleichheit der Unfallzahl zwischen den Geschlechtern kann durch die Tatsache erklärt werden, daß die Bekleidung für Mädchen meistens aus leichter entflammaren Materialien hergestellt wird als die für Knaben und daß auf der anderen Seite die bereits eingangs erwähnten Aspekte des Kleidungschnittes hier auch eine sehr wesentliche Rolle spielen. So kann zum Beispiel ein über die gesamte Körperlänge reichender Morgenmantel oder ein Kleid aus leicht entflammarem Material zu einer tödlichen Falle für den Menschen werden, der sie trägt, während die Gefahr bei einem Anzug oder bei Hemd und Hose aus gleichem Material längst nicht so groß ist.

Bei Betrachtung der eben genannten Zahlen kann man sagen, daß die Sterblichkeit aller Personen, bei denen entflammte Kleider oder Nachthemden die alleinige Hitzequelle bildeten, rund 43 Prozent beträgt, während die Sterblichkeit bei jenen Fällen, bei denen

brennende Kleider in unterschiedlichem Grad eine Rolle spielen, ca. 28 Prozent ausmacht.

Viele Unfälle im Zusammenhang mit brennenden Textilien geschehen während der Schlafenszeit im Bett. Hierbei sind die getragene Nachtwäsche und das Bettmaterial häufig Ursache für den fatalen Ausgang eines solchen Brandunfalls. Tyrrell berichtet 1974 über 1964 Brandunfälle in den USA im Januar 1973. Unter der Gesamtzahl dieser Unfälle befanden sich 434 Personen, die durch Entflammung von Nachtwäsche verletzt oder getötet worden waren. An diesen Unfällen, bei denen die Nachtwäsche brannte, waren 101 Kinder (23 %) im Alter bis zu 5 Jahren, 83 (19 %) Erwachsene über 66 Jahre, weitere 83 (19 %) Erwachsene von 46 bis 65 Jahren und 80 (19 %) Kinder im Alter von 6 bis 12 Jahren beteiligt. Bei allen Altersgruppen wurden weibliche Personen wesentlich öfter verletzt als männliche. Die getragene Nachtwäsche, meistens Pyjamas, bestand überwiegend aus Baumwolle bzw. aus Baumwollmischgeweben. Im Bericht wird angeführt, daß die Zahl der Opfer dieser Unfälle nur einen Bruchteil der angegebenen Zahl ausgemacht hätte, wäre die getragene Nachtwäsche schwer entflammbar ausgerüstet gewesen¹⁵.

Eine Vielzahl von Brandunfällen, bei denen Menschen durch Einwirkung brennender Textilien ums Leben kommen, wird durch die Gewohnheit, im Bett zu rauchen, ausgelöst. Hierbei ist oft neben der getragenen Nachtwäsche das Bettzeug das einzige Material, das durch den Brand zerstört wird. Aus der Sicht der Feuerwehr sind dies meist typische Schwelbrände, bei denen Bettbezüge und Matratzenmaterial selten mit Flamme oder Glut verbrennen, und bei denen nur Wärme- und Rauchentwicklung feststellbar sind.

Von Sumi und Williams-Leir wurden Versuche gemacht, Matratzen bzw. Bettzeug durch Auflegen von brennenden Zigaretten zu zünden. Die entstehenden Temperaturen und die Bildung von toxischen Rauchgasen, insbesondere von CO und CO₂, wurden gemessen. Es wurde gefunden, daß die tödlichen Konzentrationen von CO bzw. CO₂ in geschlossenen Räumen etwa 1 Stunde nach Versuchsbeginn erreicht wurden. Mit anderen Worten: Es wird eine Person, die beim Rauchen im Bett eingeschlafen ist, die durch die Zigarette hervorgerufene Entzündung der Matratze und des Bettzeuges nicht überleben, wenn sie nicht innerhalb einer Stunde aufwacht und sich aus dem Gefahrenbereich retten kann¹⁶.

Dieser Wert deckt sich recht gut mit den Erfahrungen der Praxis. Die Feuerwehr muß immer wieder Brandtote bergen, die betrunken oder unter Einfluß von Drogen vor dem Einschlafen geraucht haben und durch die Einwirkung toxischer Rauchgase, die bei dem durch die Zigarette verursachten Schwelbrand entstehen, nicht mehr rechtzeitig aufwachen. Hierbei tritt der Tod dieser Menschen meist durch Ersticken bzw. durch Rauchinhalation ein, seltener jedoch allein durch die Einwirkung der Brandhitze.

Dies heißt jedoch nicht, daß die Auswirkungen des Brennverhaltens vom Bettmaterial beim möglichen fatalen Ausgang eines Brandunfalls vernachlässigt werden können. Von Hilado¹⁷ wurde in ausführlichen Untersuchungen nachgewiesen, daß Federkernmatratzen bzw. Matratzen mit Urethanschaumkern in Verbindung mit Laken aus Baumwolle, Rayon oder

Polyamid durch glühende Zigaretten oder Streichhölzer entzündet werden können. Hierbei wird bei Zündung zwischen Kopfkissen und Laken die Entflammung des Kissens in einem Zeitraum von durchschnittlich 5 Minuten erreicht, während nach einem Zeitraum von etwa 7 bis 8 Minuten auch das Laken brennt. Das Übergreifen auf die Matratze geschieht durchschnittlich innerhalb von 8 bis 9 Minuten. An der Oberfläche des Bettzeugs können hierbei Verbrennungstemperaturen bis zu ca. 550° C entstehen, Temperaturen also, die selbst die Zündtemperaturen von schwer entflammbar ausgerüsteten Materialien überschreiten.

- In einer Internatschule in Heusen, Belgien, kam es am 23. 1. 1974 zu einem Brand, bei dem 23 Jungen im Alter von 14 bis 16 Jahren ums Leben kamen. Die Toten befanden sich im zweiten Obergeschoß in einem großen Schlafsaal mit 63 Betten. Die Abtrennung zwischen den Betten erfolgte durch Holzpaneele auf Holzrahmen. Die Matratzen der Betten waren teilweise mit Stroh, teilweise mit PU-Schaumstoff gefüllt.

Brandursache: Ein Junge hatte heimlich nach Beginn der Nachtruhe im Bett geraucht.

- In einem Altersheim in Essen konnte am 12. 5. 1971 eine folgenschwere Katastrophe nur durch einen Blitzeinsatz von Feuerwehr und Polizei verhindert und 28 zum Teil bettlägerige alte Menschen gerettet werden.

Brandursache: Ein 85jähriger Heiminsasse hatte geraucht und die noch glimmende Pfeife in seinen Kleiderschrank zwischen die Wäsche gelegt. Dann war er in einem Sessel eingeschlafen und hatte nicht einmal den Ausbruch des Brandes bemerkt, obwohl der Kleiderschrank zur Gänze brannte. Mit leichter Rauchvergiftung und einem Schock wurde der alte Mann ins Krankenhaus gebracht.

Ein weiteres, gravierendes Risiko brennender Textilien ist die Gefahr der Brandausbreitung:

- Am 29. 1. 1973 brach in einem Altenpflegeheim in Pleasantville, New Jersey, ein Brand aus, bei dem 10 der 16 Insassen den Tod fanden. Das zweistöckige Gebäude war fast vollständig in Holzbauweise errichtet, ordnungsgemäße feuerhemmende oder feuerbeständige Abtrennungen fehlten. So brannte das Gebäude völlig aus. Von den 10 Toten starben 7 durch thermische Verbrennungen, 3 durch Ersticken.

Diesmal waren Textilien Ausgangspunkt und Ursache für den Brand: Ein Insasse hatte in der Bettenkammer Feuer gelegt, indem er ein Bettlaken unter einem Wäscheregal ausbreitete und es mit Streichhölzern anzündete. Der Brand breitete sich von der Wäschekammer über die dort gelagerten Textilien auf das gesamte Gebäude aus.

Wie bereits dargelegt, sind Textilien oft Ursache für eine unter Umständen schlagartige Ausbreitung eines Entstehungsbrandes auf den gesamten Raum. Dies trifft besonders dann zu, wenn Textilien, großflächig, in Form von Vorhangs- oder Dekorationsmaterialien senkrecht hängend Verwendung finden.

Ein Entstehungsbrand im geschlossenen Raum wird entsprechend der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102 zunächst die Raumtemperatur bis auf eine Größenordnung von 500° C aufheizen und somit die Ent-

zündungstemperaturen von Textilien erreichen. Sauerstoffzufuhr, beispielsweise durch plötzliches Öffnen von Türen oder Zerplatzen von Fensterscheiben, bewirkt dann nach einem Zeitraum von etwa 10 bis 15 Minuten nach Brandausbruch den sogenannten "Flash-Over", der schlagartig die im Raum vorhandenen brennbaren Stoffe, insbesondere Textilien, in Brand setzt. Aus Öffnungen herauswehende brennende Gardinen oder Vorhänge können den Brand leicht in andere Geschoße des Hauses weitertragen. Textilbespannungen von Polstermöbeln können auf diese Weise ebenfalls rasch zur Brandausbreitung beitragen.

Die Frage der Brandausbreitung durch brennbare Fußbodenbeläge (z. B. Teppiche, Teppichböden u. a.) ist mehrfach Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Hierbei wurde festgestellt, daß textile Fußbodenbeläge nicht ohne weiteres eine Brandausdehnung bewirken können. Erst das Vorhandensein eines Stützfeuers aus anderen brennbaren Materialien verursacht die Brandausdehnung über textile Fußbodenbeläge¹⁸.

Dieser Erkenntnis stehen jedoch Erfahrungen der Praxis gegenüber, die gezeigt haben, daß Fußbodenbeläge doch zur Ausbreitung eines Brandes beitragen können. So wird über einen Hotelbrand in Hessen am 25. Juni 1974 folgendes berichtet¹⁹:

- Bei dem Objekt handelte es sich um ein viergeschoßiges Hotel mit 60 Gastzimmern. Hierbei wurde im Nord- und Südflügel hochflorige Auslegware als Mischgewebe aus Schafschurwolle, Evlan und Nylon verwendet, daneben eine andere Auslegware aus 80 % Schafschurwolle und 20 % Nylon. Im Haupttreppenraum wurde weiterhin eine Schlingenware auf Nesselrücken verwendet. Sämtliche textilen Fußbodenbeläge waren mit brennbarem PVC-Kleber verklebt.

In diesem Hotel kam es durch Fahrlässigkeit zu einem Zimmerbrand, bei dem die gesamte Zimmereinrichtung erfaßt wurde. Die aus dem Zimmer schlagenden Flammen zerstörten auch das Fenster des darüberliegenden Raumes, wobei jedoch hier lediglich die Gardinen dieses Zimmers abbrannten. Der Teppichboden zwischen dem Brandraum im ersten Obergeschoß und dem Vorraum der Haupttreppe im dritten Obergeschoß war durch Brandeinwirkung weitgehend zerstört.

Der vorliegende Fall hat gezeigt, daß bei bestimmter Materialbeschaffenheit textile Bodenbeläge zu einer direkten Brandausbreitung beitragen können.

Es erhebt sich nun die Frage, wie die vorher geschilderten Gefahren durch brennende Textilien entstehen können.

In erster Linie sind hier fahrlässiger Umgang mit Feuer oder starken Wärmequellen zu nennen. Viele Unfälle mit tödlichem oder lebensgefährlichem Ausgang geschehen im Bett, wobei das Rauchen, das Einschlafen bei brennenden Kerzen oder eingeschalteten Elektroheizgeräten, wie Heizkissen, Rheumadecken usw., die Ursache sind.

Die eingangs geschilderten Unfälle, die durch Einwirkung brennender Nachtwäsche vor allem Kinder betroffen haben, waren überwiegend durch Umgang mit brennenden Streichhölzern oder Feuerzeugen ausgelöst worden.

Eine häufige Ursache von Textilbränden ist der zu geringe Abstand von brennbaren Stoffen zu glühenden

oder mit offener Flamme brennenden Wärmequellen. In den Einsatzberichten der Feuerwehr gibt es eine Vielzahl von Fällen, wo Wäsche, die zu nahe am glühenden Ofen oder an einem Elektroheizgerät getrocknet wurde, sehr schnell Feuer fing und somit Ursache für die Entstehung eines Zimmerbrandes war.

Beim Kochen kommt es ebenfalls immer wieder zu Textilbränden, wenn Kleidungsstücke versehentlich in den Bereich offener Flammen oder glühender Teile des Ofens gelangen.

So manche fröhliche Party hat schon ein unliebsames Ende durch das Erscheinen der Feuerwehr gefunden, die einen Wohnungsbrand löschen mußte, der durch das Verhängen starker Lichtquellen mit Textildekorationen entstanden war. Auch das Abbrennen von Feuerwerkskörpern in Räumen mit brennbarer textiler Ausstattung hat unvergeßliche Höhepunkte hervorgerufen.

Im Zeitalter der Do-It-Yourself-Bewegung werden häufig elektrische Leitungen, die nicht den VDE-Bestimmungen entsprechen, unter textilen Fußbodenbelägen oder Wandbespannungen verlegt. Eine Überlastung dieser Leitungen oder ein Kurzschluß können dann sehr rasch die Entflammung der darüber befindlichen Textilien bewirken.

Zusammenfassend kann man hier sagen, daß Leichtsinn und Fahrlässigkeit im Umgang mit Zündquellen die häufigste Ursache für den oft fatalen Ausgang von Brandunfällen, an denen brennende Textilien beteiligt sind, darstellen.

Auch die Einwirkung brennbarer fester Stoffe, wie beispielsweise in Form glühender Holzkohle oder Metalle, bewirken sehr rasch die Entflammung von Textilien. Hier kommt es sehr oft zu Brandunfällen mit fatalem Ausgang, wenn durch die Einwirkung von Glut oder von brennenden Materialien Kleidungsstücke in Brand gesetzt werden. Auch Funken, wie sie zum Beispiel beim Brennen, beim Schneiden oder bei Schleifvorgängen entstehen, können die Entflammung von Kleidungsstücken, hier insbesondere von Arbeitskleidung, bewirken. Die immer wieder auftretenden tragischen Unfälle dieser Art sollen am Beispiel eines Einsatzes der Feuerwehr Gelsenkirchen geschildert werden:

- Eine 70jährige Frau, die eine Dachgeschoßwohnung eines Hauses bewohnte, wurde beim Anzünden des Küchenherdes von den Flammen eines Kohlenanzünders erfaßt. Der aus Synthetikfasern bestehende Schlafanzug der Frau geriet so schnell in Brand, daß ihr keine Zeit zur Flucht bzw. zu Hilferufen blieb. Die Brandeinwirkung war so intensiv, daß das Opfer nach wenigen Sekunden das Bewußtsein verloren haben muß. Der größte Teil des Schlafanzuges war verkohlt bzw. in die Haut eingebrannt.
- Ein ähnlicher Fall ist vor einigen Jahren ebenfalls in Gelsenkirchen passiert, als eine Frau ums Leben kam, als sie alte Zeitungen in einem Küchenherd verbrannte. Hierbei war ein brennendes Zeitungstück aus dem Ofen gefallen und hatte das Synthetiknachthemd der Frau in Sekunden in Brand gesetzt. Der Ehemann konnte trotz sofortiger Lösversuche das Leben seiner Frau nicht mehr retten. Die Haut war fast am ganzen Körper verbrannt, die Reste des Nachthemdes waren in die Haut eingebrannt.

Die Verbrennung gasförmiger oder flüssiger Stoffe kann die in ihrer Nähe befindlichen Textilien ebenfalls rasch in Brand setzen. Am Arbeitsplatz oder im Haushaltsbereich kann eine Stichflamme oder eine Verpuffung sehr leicht die Entflammung von Kleidungsstücken und damit einen fatalen Unfall bewirken.

- 1969 kamen in Norwegen bei zwei Explosionen mehrere Personen zu Schaden. Im ersten Fall ist vermutlich bei Schweißarbeiten Mehlstaub gezündet worden, bei dessen Explosion drei Personen schwere Verbrennungen erlitten. Im zweiten Fall explodierte Benzindampf in einem Raum, nachdem mehrere Liter Benzin versehentlich auf den Fußboden geschüttet worden waren. Die Explosion erfolgte vermutlich durch elektrostatische Funken eines Laboratoriumsmantels aus Polyamid. Bei dieser Explosion wurden sieben Frauen schwer verbrannt. Ein Opfer erlag 14 Tage später den erlittenen Verletzungen.

Bei der zuvor erwähnten Staubexplosion trugen zwei der Beschäftigten Arbeitsanzüge aus Polyamid, der Dritte war mit einem Baumwollanzug bekleidet. Die Polyamidanzüge waren so stark verbrannt und geschmolzen, daß beide Arbeiter schwere Brandwunden erlitten, während der Arbeiter mit dem Baumwollanzug nur Wunden im Gesicht und an den Händen davontrug.

Ähnliche Feststellungen wurden auch bei der Benzindampfexplosion gemacht: Von den zwei Frauen, die sich im Explosionszentrum befunden hatten, trug die eine einen Arbeitsmantel aus Baumwolle, die andere einen solchen aus Polyamid. Durch die Brandeinwirkung wurde der Polyamidmantel nahezu völlig vernichtet, wobei so schwere Verbrennungen am Oberkörper der Trägerin entstanden, daß sie diesen Verletzungen erlag. Im Gegensatz dazu blieb der Baumwollmantel verhältnismäßig unbeschädigt und gab dadurch einen guten Schutz. Von den sieben Frauen, die der Explosion ausgesetzt gewesen waren, trugen sechs Strümpfe oder Strumpfhosen aus Polyamid, die nach der Explosion verbrannt waren und schwere Brandwunden an den unteren Extremitäten verursacht hatten. Eine Frau trug keine Strümpfe und hatte deshalb wesentlich geringere Brandverletzungen an den Beinen.

Auf die Gefährlichkeit von Wärmequellen mit Strahlungswärme, wie zum Beispiel elektrische Heizsonnen, Infrarotstrahler o. ä., wurde in bezug auf die Entflammung von Textilien bereits hingewiesen. Es gibt Möglichkeiten, durch Zusätze, Beimischungen oder Faseränderungen dieses Risiko zu verkleinern, indem damit einer Herabsetzung der Entflammbarkeit bei gleichzeitiger Verminderung der Brenngeschwindigkeit angestrebt wird. Zusätze zur Verbesserung flammhemmender oder flammfester Ausrüstung von Textilfasern sind auf dem Markt und haben sich bewährt. Deren langzeitige Schutzwirkung, besonders nach mehreren Wäschen oder Reinigungen, ist jedoch nicht in allen Fällen unter Beweis gestellt worden.

Es gibt aber schon Textilfasern, die befriedigende flammhemmende bzw. flammfeste Eigenschaften haben. Hierzu gehören zum Beispiel Naturfasern, wie Wolle und mineralische Fasern (z. B. Glasfasern oder Silikatfasern). Synthetische Fasern, die aus dieser Sicht geeignet erscheinen, werden ebenfalls hergestellt

(z. B. Nomex, FPT, PTO). Der allgemeinen Verwendung solcher Fasern stehen jedoch der hohe Herstellungspreis sowie große Schwierigkeiten bei ihrer Produktion, Verarbeitung und in der Textiltechnik entgegen.

Eine Verkleinerung des Gefahrenrisikos erscheint nur durch präventive Maßnahmen möglich. Hierzu gehört vor allem die weitgehende und zweckentsprechende Aufklärung des Verwenders von Textilien. Eine intensive Zusammenarbeit von Herstellern, Sicherheitsbehörden, Prüfstellen, Sachversicherern, Berufsgenossenschaften usw. muß diese so notwendige Aufklärung sicherstellen. Zu den präventiven Maßnahmen gehört auch die ständige Fortschreibung von Sicherheitsvorschriften, wie zum Beispiel von Bauordnungen, Normen und anderen anerkannten Regeln der Technik.

Eine Herabsetzung der Brandlast in Wohngebäuden ist anzustreben. Hierzu gehört auch das Verbot, brennbare, unter Umständen leicht entflammbare Textilien in Räumlichkeiten einzusetzen, in denen sich viele Menschen aufhalten, wie beispielsweise in Theatern, Kinos, Gaststätten, Vergnügungsorten, Schulen, Kindergärten, Altersheimen, oder in Großverkehrseinrichtungen, wie Flughäfen usw. Hierbei spielt es keine Rolle, ob solche brennbare Textilien als Vorhang- oder als Dekorstoffe, für die Polsterung von Sitzmöbeln oder als Bodenbeläge verwendet werden.

Rettungswege in Gebäuden dürfen — unabhängig von der Zahl der Bewohner — nicht mit brennbaren Stoffen belegt oder verkleidet sein; dies gilt auch für textile Bodenbeläge.

Viele tödliche Unfälle bei Textilbränden geschehen während der Schlafenszeit, meist in Zusammenhang mit glimmenden Tabakresten oder offenem Feuer, wobei Bettmaterial und Nachtwäsche meist Ursachen für den fatalen Ausgang eines solchen Unfalles sind. Es ist daher vorzuschlagen, bei Kinderheimen, Schulheimen, Altersheimen, Krankenhäusern und eventuell bei Hotels usw. Bettwäsche aus schwer entflammbareren Materialien zu verwenden. Bei Kindern und alten Menschen, die bei eintretender Brandgefahr besonders hilflos sind, wäre überhaupt das Tragen von Nachtwäsche aus schwer entflammbarem Material wünschenswert.

In der **Nutzanwendung** all dieser von einem Feuerwehrmann gemachten Ausführungen bleibt abschließend zum Brandverhalten von Textilien folgendes zu sagen:

- Es ist immer wieder festzustellen, daß Textilien leicht in Brand geraten und unter Umständen nach ihrer Entflammung zu einer tödlichen Gefahr für Menschen werden können. Dies gilt besonders dann, wenn Kleidungsstücke in Brand geraten. Die Anzahl von Bränden mit tödlichem Ausgang ist hier sehr hoch. Es kommt hinzu, daß der überwiegende Teil dieser Brandtoten Kinder oder alte Menschen sind, Personen also, die sich des Risikos nicht bewußt und im Falle der Gefahr hilflos sind und sich nicht selbst retten können. Bei Ereignissen, bei denen eine größere Anzahl von Menschen gefährdet wird, kommen noch panische Reaktionen hinzu, die die Rettung erschweren oder völlig unmöglich machen.
- Diese Aspekte der unmittelbaren Einwirkung brennender Textilien auf den Menschen stellen die

Feuerwehr vor das Problem, vor allem die Textilien in ihrem Brandverhalten für gefährlicher anzusehen als andere, in den Wohnungen oder Gebäuden vorhandene feste brennbare Stoffe.

- Allgemein gesehen, können Textilien hinsichtlich ihres Brandverhaltens ähnlich wie Papier, Pappe, Holz oder Kunststoffe eingeordnet werden.
- Bei der Brandbekämpfung treten bei Textilien keine größeren spezifischen Probleme auf als bei anderen brennbaren Stoffen.
- Auch die Frage der Brandausbreitung durch brennende Textilien stellt sich keineswegs schwerwiegender dar als bei vergleichbaren brennbaren Stoffen.
- Die Verwender müssen sich jedoch des Brandrisikos von Textilien bewußter werden. Andererseits muß man sich auch stets vor Augen halten, daß die Textilien ein nicht wegzudenkender Bestandteil menschlicher Kultur und Zivilisation sind und daß es für sie keinen äquivalenten Ersatz gibt.

Literatur:

- 1) Anonym: „21 Textil-Tote in zwei Monaten“; Das sichere Haus 18 (2), 12 (1973)
- 2) Anonym: „Zahl der Toten und Verletzten bei Bränden im Jahre 1971“; Fire Research Technical Paper 30, 23 (1973)
- 3) Anonym: „Schutz gegen Verbrennungen“; Fire Prevention 90, 60—66 (1971)
- 4) L. Meckel: „Das Brennverhalten von Textilien“; Wissenschaftliche Berichte aus der Arbeit der Bundesanstalt für Materialprüfung, S. 29—32, 1974
- 5) H. Peters: „Die Brennbarkeit von Arbeitsschutzkleidung an wärmebelasteten Arbeitsplätzen“; Die Berufsgenossenschaft, S. 49, Februar 1975
- 6) H. Peters: „Untersuchungen über Drucksteigerungen bei schnellen Verbrennungen im geschlossenen Raum“; VFDB-Zeitschrift 15 (2), 42 (1966)
- 7) R. Skiba: „Entflammbarkeit von Textilien — eine ernste Gefahr“; Das sichere Haus 18 (6), 7 (1973)
- 8) Anonym: „Tanzsaalunglück in Frankreich“; Int. Zivilverteidigung 18 (189), 275 (1971)
- 9) Anonym: „Brand in griechischem Nachtclub fordert 32 Tote“; Fire International 40, 54 (1974)
- 10) E. L. Finley, C. T. Butts: „Kleiderschnitte und Brennbarkeit“; Fire Flammability 4, 145—155 (1973)
- 11) E. Rumberg: „Bildung von Qualm und Zersetzungsprodukten bei thermischer Beanspruchung von Kunststoffen“; Fachnormenausschuß Kunststoffe (FNK/FNM), Schriftstück 2-10-62 FNK/FNM 4.10—2
- 12) P. Matter: „Körperschädigung als Folge von Textilbränden“; Spinner, Weber, Textilveredelung 89 (1), 15—16 (1971)
- 13) E. P. Martin: „Die Gefährdung des Menschen durch brennbare Textilien“; CIBA-Rundschau 4, 2 (1969)
- 14) L. Segal: „Kleiderbrände“; Fire Journal 60 (4), 19—23 (1966)
- 15) E. A. Tyrrell: „Brandverletzungen durch Nachtbekleidung bei Kindern zwischen 6 und 12 Jahren bzw. Kindern unter 3 Jahren“; NBS Technical Note Nr. 815, 1973
- 16) K. Sumi, G. Williams-Leir: „Die tödliche Wirkung von Matratzenbränden“; Research Paper of the Division of Building Research, Nr. 402, S. 20, 1969
- 17) C. J. Hilado: „Brandversuche mit Bettenmaterial“; Fire Flammability, Bd. 4, S. 235—277, 1973
- 18) L. Meckel: „Zur Beurteilung der Brennbarkeit textiler Fußbodenbeläge“; Brandschutz 11, 307 (1974)
- 19) H. Rose: „Brennbarkeit textiler Fußbodenbeläge“; Brandschutz 5, 144 (1975)

Diskussion

Albrecht: Vielen Dank, daß Sie aus der Sicht der Feuerwehr zu diesem Problemkreis kritisch Stellung genommen haben — Ihre Ausführungen regen sicher dazu an, noch Fragen zu stellen.

Jach: Der Mangel an definiertem und gesichertem statistischem Material ist ja vielfach in meinem und auch in Ihrem Referat angeklungen. Ich weiß aber, daß sowohl in Berlin als auch in Hamburg vielversprechende Ansätze gemacht wurden, um ein EDV-auswertbares Brandursachen-Meldeformular auszuarbeiten. Wie steht es damit? Könnte dieses vielleicht eine umfassende Materialsammlung für das gesamte Bundesgebiet aufbauen helfen?

Wichtig scheint mir außerdem bei den Textilbränden schnellbrennender, leichter Gewebe in geschlossenen Räumen die Frage des Druckanstieges zu sein. Diese Druckerhöhung kann auch wesentlich zur Schadensausweitung beitragen. So ist mir beispielsweise bekannt, daß nichttragende Zwischenwände über einige Zimmer hinweg umgefallen sind und so praktisch aus einem Zimmerbrand ein Etagenbrand wurde.

Eulenburg: Das Problem einheitlicher Brandberichte ist schon seit Jahren ein Anliegen der Feuerwehr. Die Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes ist bereits mit dieser Angelegenheit befaßt. Es muß jedoch auch hier deutlich unterstrichen werden, daß die Brandschutzforschung den zuständigen Behörden — sprich: Ministerien — problematisch ist, was dazu führt, daß für dieses wichtige Projekt so verschwindend geringe Mittel zur Verfügung stehen.

Wir wären sehr dankbar, wenn Einrichtungen, wie beispielsweise Ihr Laboratorium, Herr Dr. Jach, oder andere Behörden und Institute, diese Forderung in der Öffentlichkeit wesentlich deutlicher unterstützen würden.

Ihre zweite Frage oder Ihr zweiter Kommentar brachte unbestreitbare Tatsachen, die man tatsächlich wirklich im Auge behalten muß.

Martin: Es wurden die verschiedensten Methoden angeboten, um verschiedene Textilien flammhemmend auszurüsten zu können; es wurde über viele Normen diskutiert, die Prüfmethode wurden behandelt, wobei sich zeigte, daß noch große Differenzen hinsichtlich Ihrer Bewertung bestehen.

Immerhin zeichnen sich aber schon konkrete Wege ab, um „die Brennbarkeit von Textilien“ in den Griff zu bekommen. Sind Sie heute schon so weit, daß rechtsverbindliche Vorschriften aufgestellt werden könnten? — Ich glaube fast, die Textilindustrie wäre dazu schon bereit. Dies wäre ein wichtiger Schritt, wenn eine Rechtsverbindlichkeit in bezug auf den Einsatz von Textilien in öffentlichen Gebäuden, für Labormäntel, Bettwäsche in Hotels und Anstalten usw. bestünde. Würden Sie auch einen Vorschlag zur Einführung rechtsverbindlicher Vorschriften für den Einsatz schwerbrennbarer Textilien auf ganz speziellen Gebieten unterstützen?

Albrecht: Dies ist eine sehr komplexe Frage, Herr Doktor Martin. Dazu ist es primär einmal erforderlich, eine Definition des Begriffes „schwerentflammbar“ für spezifische Einsätze festzulegen. Ich glaube, daß es nicht genügt, zum Beispiel mit dem Begriff „schwerentflammbare Berufsbekleidung“ zu argumentieren. Hier bedarf es einer weitgehenden Definition der Anforderungen an die jeweiligen verschiedenen Berufsbekleidungen.

Dabei ist es nämlich auch nötig, die Wäscherei- und die Pflegeeinrichtungen so in den Griff zu bekommen, daß den Basisforderungen — Schwerentflammbarkeit und Berufsbekleidung — wirklich entsprochen wird. So weit sind wir heute wohl nur in Ausnahmefällen.

Martin: Diese Frage ist sehr wichtig, und wir haben sie immer wieder besprochen. Ich weiß nicht, ob es so kompliziert ist, wie es hier dargestellt wird. Es müßte doch möglich sein, festzulegen, welche Art von Stoffen für einen bestimmten Einsatz zu verwenden ist oder nicht.

Wir hatten kürzlich einen Fall von zwei Toten in einem Hotel, wobei es durch die Entzündung eines Nitroverdünners zu einer Explosion gekommen war.

Ich bin auf Grund der Tests, die wir im Anschluß daran durchgeführt haben — wir machen nach Möglichkeit immer Rekonstruktionen nach solchen Vorfällen —, überzeugt, daß diese Leute heute noch leben würden, wenn die Überkleider dieser beiden flammhemmend ausgerüstet gewesen wären.

Albrecht: Ja, das kann sein — was wäre aber gewesen, wenn die beiden die Spielregeln der Berufsgenossenschaft bei der Handhabung von Chemikalien eingehalten hätten? Wahrscheinlich wäre es überhaupt nicht zum Brand gekommen!

Martin: Ganz richtig, die Schuld lag woanders. Leider denkt der Mensch nicht so viel und sieht die Gefahr erst, wenn es zu spät ist.

Albrecht: Das glaube ich Ihnen gerne, und gerade wenn man mit solchen Fällen zu tun hat, dann sieht man sie eben auch manchmal in überzeichneter Form. In diesem Zusammenhang möchte ich noch eine Frage an Herrn Eulenburg stellen: Würden Sie annehmen, daß das, was Sie alles berichtet haben, durch schwerentflammbare Textilien ausgeschaltet worden wäre?

Eulenburg: Sie haben mich vollkommen richtig verstanden. Ich bin der Meinung, daß sich der Einzelfall mit Sicherheit auch nicht durch die Verwendung von schwerentflammbaren Materialien wesentlich anders darstellen würde als ohne diese. Wenn man eine Nutzen-Kosten-Relation aufstellt, dann ist das sicher zu unterstreichen.

Worauf es uns aber ankommt, das sind die Schutzmaßnahmen für Menschen in Schulen, öffentlichen Gebäuden, Krankenhäusern, Großverkehrseinrichtungen, Theatern usw. Hier ist der Einsatz von schwerentflammbaren Materialien — auch bei höheren Kosten — durchaus vertretbar.

Albrecht: Wir kommen hier an die Basis des Problemkreises, der sicher noch einmal umrissen werden wird, wenn Herr Professor Meckel zu uns gesprochen hat.

Mehrmann: Zur Vereinheitlichung der Brandberichte ist die ISO-Working-Group 6 sehr stark engagiert. Als Vorsitzender dieser Gruppe habe ich sehr darunter gelitten, daß gerade von der deutschen Delegation keine große Bereitwilligkeit zur Vereinheitlichung gezeigt wurde.

Die Franzosen haben einen Computer rückwirkend auf das Problem "textiles first ignited" eingesetzt. Dabei haben sie herausgefunden, daß von 70.000 Brandfällen nur 3000 Textilien betrafen, und davon war nur eine ganz kleine Anzahl von Bränden, bei denen Textilien unmittelbar mit der Brandursache zusammenhingen.

Dr. Pied in England, einer der führenden Spezialisten für Hauttransplantationen, hat nach eingehenden Untersuchungen bei der letzten ISO-Sitzung gesagt, daß solche Verbrennungen zwar tiefgehend sind — sie gehen unter die Epidermis —, aber örtlich begrenzt bleiben.

Die letzten zwei Punkte wären: Bettbrände und Heimtextilien.

In den USA hat man die Veteranenspitäler mit schwerentflammbaren Leintüchern und Schlafanzügen ausgerüstet. Billiger wäre es aber, „schwerbrennbare Zigaretten“ zu verteilen. Die Zigaretten nämlich waren dort das Problem und nicht die Textilien. Deshalb dürften auch Sprinkleranlagen billiger und nützlicher in solchen Spitälern sein als schwerentflammbare Textilien.

Gierse: Meine Herren, ich habe das Gefühl, Sie treiben hier mit dem Entsetzen Scherz. Wenn ich eben die Bilder von Herrn Eulenburg gesehen habe und dann höre, daß hierbei von einer Kosten-Nutzen-Relation die Rede ist, dann möchte ich doch fragen: Was verstehen Sie eigentlich unter Nutzen in diesem Zusammenhang? — Ich wäre Ihnen dankbar, wenn Sie mir dazu eine befriedigende Erklärung geben könnten.

Albrecht: Hier stehen ein paar Fragen im Raum: die eine, daß wir uns mit Materialien bekleiden und umgeben, die in irgendeiner Form organisches Material in der Substanz enthalten und daher brennen.

Nun gibt es eine Reihe von Möglichkeiten diese Materialien in verschiedenen Stufen unbrennbar oder schwerbrennbar zu machen. Diese verschiedenen Stufen ändern zwar das Brennverhalten, haben aber andere, garantiert auch nicht gerade „nützliche“ Eigenschaften. So ist beispielsweise die Toxizität der Verbrennungsprodukte zu beachten. Weiterhin können diese Textilien nicht allein verarbeitet und getragen werden. Bekleidung und Heimtextilien sind ein komplexes Textilgut. — Außerdem ist zu berücksichtigen, daß — selbst wenn Schwerentflammbarkeit eingestellt ist, sie einer Prüfnorm entspricht und durch ein Etikett bestätigt wurde — sich dieser Zustand während der Gebrauchszeit ändert.

Wenn nun Herr Eulenburg von einer Kosten-Nutzen-Relation sprach, so hat er wohl kaum dabei an menschliches Leben gedacht. Ich glaube auch nicht, daß dies einer in diesem Saal hier tut. — Dennoch kommen wir nicht daran vorbei, eine möglichst objektive Risikoeinschätzung vorzunehmen, und dazu gehört auch eine angemessene Kosten-Nutzen-Überlegung, wobei es wiederum nicht darum geht oder gehen kann, das Leben mit Geld zu bewerten. Es kommt vielmehr darauf an, alle Details zu kennen und angemessen zu berücksichtigen.

Ich stelle immer wieder fest, daß wir selbst in naturwissenschaftlich-technischen Diskussionen auf Grund von persönlichen Erlebnissen bei der Behandlung von Bränden zu emotionsgeladenen Äußerungen kommen. Davon sollten wir wirklich Abstand nehmen. Uns stellt sich die Aufgabe, das Leben so zu nehmen, wie es ist — und es ist eben nicht gefahrenlos. —

Bei der Untersuchung der Gefahrenquelle sollten wir uns bemühen, die primären Ursachen herauszuarbeiten und dann auszuschalten. Der Vorschlag von Herrn Mehrmann, Sprinkleranlagen einzubauen, ist nicht zu belachen. Eine solche Anlage stellt einen wesentlich besseren Schutz dar als viele andere Maßnahmen.

Die Bewertung des Brandrisikos von Textilien

Professor Dr.-Ing. L. Meckel und
Dr. A. Rook
Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem

Die Berichte der Medien über Textilbrände haben u. a. bei dem Verbraucher und der Wirtschaft zu einer Unsicherheit geführt. Bei dem Brennverhalten sind neben der Entzündlichkeit und der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit die Wärmeentwicklung, das Schmelzverhalten und die Rauchentwicklung von unterschiedlicher Bedeutung. Wie an Beispielen erläutert wird, ist für das Brennverhalten keinesfalls der Rohstoff allein entscheidend. Die Problematik des Begriffes „Kleiderbrand“ wird aufgezeigt.

An Hand statistischer Unterlagen der Todesfälle bei Bränden wird für die Beurteilung der Risiken die Bedeutung des Unfallortes, der Zündquelle, des Lebensalters und anderer Einflüsse betrachtet. Dabei wird die Eintrittswahrscheinlichkeit des Brandunfalles mit der bei anderen Unfällen verglichen.

Die Bewertung eines Risikos hängt von vielerlei Überlegungen ab. Auf die allgemeine Bewertung von Risiken durch den Menschen, insbesondere im Zusammenhang mit der technischen Entwicklung, wird eingegangen. Bei Maßnahmen zur Vermeidung eines Risikos ist abzuwägen, inwieweit das dafür notwendige finanzielle und intellektuelle Potential nicht für die Allgemeinheit effektiver eingesetzt werden kann.

Abschließend werden nach einigen Betrachtungen über mögliche Veränderungen des Brandrisikos von Textilien in diesem Jahrhundert die Vor- und Nachteile von gesetzlichen Regelungen und Kennzeichnungen der Brennbarkeit der Textilien kurz aufgezeigt und die Notwendigkeit einer sachgerechten Information der Verbraucher, aber auch die Bedeutung der Werbung erwähnt.

Reports by the mass media about textile fires have amongst other things led to a feeling of insecurity amongst consumers and in the industry. Beside case of ignition and flame-spreading speed, heat development, melting behaviour and smoke production are of different importance for the burning behaviour. As is demonstrated by means of examples, the raw material itself is certainly not exclusively decisive for the burning behaviour. The problem of the term "clothes fire" is illustrated.

With the help of statistics about casualties caused by fire, the importance of the location of the accident, the source of ignition, of age and other influences for the assessment of hazards are considered. The probability of the fire accident is compared with that of other accidents.

Assessment of a hazard depends on many considerations. The general assessments of hazards by human beings, in particular in connection with the technical development, are discussed. When measures for the prevention of a hazard are taken, it needs to be considered how far the financial and intellectual resources required could not elsewhere be used more effectively for the general public.

Finally, after a few remarks about potential changes of the fire hazard of textiles in this century, the pros and cons of legal regulations and identifications of the case of ignition of textiles are briefly discussed, as well as the necessity of adequately informed consumers and the importance of advertising.

1. Die Brennbarkeit von Textilien

In den letzten Jahren ist in steigendem Umfang in der Fachpresse¹⁻⁴, aber auch in der Tagespresse, im Rundfunk und im Fernsehen über die Brennbarkeit

von Textilien berichtet worden. Vielfach wird über Brandunfälle berichtet, bei denen Textilien entweder die Ursache oder am Brand beteiligt waren. Wir lesen zum Beispiel, wie häufig Menschen verbrennen, oder es wird über große Brandkatastrophen (z. B. bei Hochhäusern) berichtet, und im nächsten Satz wird die Gefährlichkeit der brennbaren Textilien hervorgehoben.

So ist zu lesen: „*Sie brennen wie Fackeln*“, — „*Wenn Kleider aus Chemiefasern Feuer fangen*“, oder „*Warum sind Kleiderbrände so gefährlich?*“ — Die einmütige Antwort aller Fachleute lautet: „*Weil immer mehr Kunststofffasern verwendet werden.*“

Unter der Überschrift „*21 Textil-Tote in zwei Monaten*“ wird ausgeführt: „*Erwiesen ist jedenfalls längst, daß die Textilforschung auch bei uns seit Jahren die Voraussetzung dafür geschaffen hat, schwer entflammare Textilien ohne Minderung des sonstigen Gebrauchsverhaltens in Massen herzustellen.*“⁵

In einer Rundfunksendung unter dem Motto „*Lichterloh — die Feuergefährlichkeit von Chemiefasern*“ wurde gesagt: „*Ein Gespenst geht um in der Bundesrepublik und hinterläßt eine brandrote Spur.*“ Es sind aber auch Zitate zu finden wie „*Flammensichere Gewebe — gut für die Industrie, schlecht für den Verbraucher*“.

Die Anfrage im Deutschen Bundestag lautete: „*Sieht die Bundesregierung Möglichkeiten, durch Erlass von Schutzvorschriften dem entgegenzuwirken, daß immer mehr Menschen durch das Inbrandgeraten von leicht entflammaren Kunststofftextilien schwere bzw. tödliche Verletzungen erleiden?*“⁶

Diese fast beliebig fortzusetzende Liste von Zitaten soll nur andeuten, auf welcher Grundlage die Diskussionen zur Zeit geführt werden.

Welche Aussagen sind nun über die Brennbarkeit von Textilien tatsächlich möglich?

Alle Textilien sind als organische Stoffe in unterschiedlichem Maße brennbar. Selbst die anorganischen Fasern sind (z. B. bei Asbest) in textiler Verarbeitung durch sogenannte Spinnträger oder (z. B. bei Glasfasern) durch Präparation und Färbung mitunter nicht als unbrennbar zu bezeichnen.

Das Brennverhalten eines Textils wird durch

- die Entzündlichkeit,
- die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit,
- die Wärmeentwicklung,
- das Schrumpfen und Schmelzen,
- die Rauchentwicklung sowie
- die Bildung toxischer Gase

bestimmt. An einigen Beispielen soll deutlich gemacht werden, welche unterschiedliche Bedeutung diesen einzelnen Merkmalen bei Textilien zukommt.

Es ist zum Beispiel bekannt, daß ein schwer entflammbar ausgerüstetes Zellulosefasergewebe möglicherweise durch kurzzeitige Einwirkung einer kleinen Flamme entzündet werden kann, nicht jedoch mit einer größeren Flamme. Nach der Zündung eines Baumwollflanells kommt es vor, daß die Flamme mit extremer Geschwindigkeit über die Oberfläche streicht, wobei die Wärmeentwicklung nicht dazu ausreichen würde, auch nur das Grundgewebe zu zünden (Sengeffekt).

Je nach der Verbrennungswärme des Rohstoffs entwickeln zwei gleich schwere Gewebe bei gleicher Flammenausbreitungsgeschwindigkeit sehr unterschiedliche Wärmemengen und werden dadurch in sehr verschiedener Intensität zu Verbrennungen oder zur Zündung anderer Gegenstände beitragen.

Auch das Schmelzen und Schrumpfen thermoplastischer Materialien wirkt sich sehr differenziert aus; bei am Körper anliegenden Textilien können diese Eigenschaften zu schweren Verbrennungen führen, bei weitgeschnittenen Kleidungsstücken oder bei Gardinen führt das Schrumpfen aber dazu, daß das Material einer Zündquelle ausweicht, das heißt, in diesen Fällen sind diese Effekte positiv zu bewerten.

Die Bedeutung dieser einzelnen Merkmale ist bei verschiedenen Verwendungszwecken unterschiedlich und schwer zu beurteilen.

Verschiedene Eigenschaften der Textilien bestimmen wesentlich das Brennverhalten. Zu nennen sind

- die Struktur des Textils,
- das Fasermaterial (Rohstoff),
- die Präparation, Appretur, Färbung,
- die Verschmutzung,
- die Rückstände bei Wasch- und Reinigungsbehandlungen,
- die Anordnung — z. B. bei Kleidung der Schnitt, bei Vorhängen und Bespannungen die Anordnung, bei Teppichen die Lage (auf dem Fußboden oder an der Wand),
- die Kombination der Textilien,
- die Umgebungsbedingungen, insbesondere Luftzirkulation und Wärmeableitung.

Diese Aufzählung enthält keine Wertung, doch ist der Rohstoff bewußt nicht an erster Stelle angeführt. Die Bedeutung des Rohstoffes wird im Vergleich zur Struktur und zum Flächengewicht eines Textils häufig überschätzt. Hierzu sollte man selbst einen Brennversuch mit Baumwollwatte und mit einem dichtgeschlagenen Köpergewebe oder gar mit einem Baumwollgurt durchführen. Ein lockeres, leichtes Wollgewebe wird leichter entzündet als ein Baumwollgurt, obwohl bei gleicher Konstruktion eines Textilmaterials natürlich die Baumwolle leichter brennt.

Noch anschaulicher läßt sich dies am Beispiel des Stahls erläutern. Kein Mensch wird eine Stahlplatte mit einer kleinen Flamme entzünden wollen. Bei feiner Stahlwolle ist dies mit einem Feuerzeugfunken ohneweiters möglich. Besonders leicht wird die Stahlwolle bei Verschmutzung durch Öl brennen. Insofern ist es irreführend, diesen oder jenen textilen Rohstoff als „schwer brennbar“ oder dergleichen zu bezeichnen. In gewissen Grenzen vergleichbar sind die Rohstoffe nur in etwa gleichem Verarbeitungszustand. Doch auch dann können Appreturen, Färbungen oder Inkrustierungen vom Waschen die Verhältnisse erneut verschieben.

Bei Bekleidungstextilien ist für die Zündung und das Weiterbrennen der Schnitt und insbesondere die Kombination der Textilien entscheidend. So wird von einem Brandunfall berichtet, bei dem zwei Arbeiter in etwa gleicher Weise einer Stichflamme ausgesetzt waren⁷.

Der eine trug ein Nylonhemd über einem Baumwoll-Unterhemd. Der andere ein Baumwollhemd über einem Nylon-Unterhemd. Im ersteren Fall verhinderte das Nylonhemd die Entzündung des Baumwoll-Unterhemdes, und der Arbeiter erlitt lediglich einen Schock; im zweiten Fall brannte das leichter entzündbare Baumwollhemd und brachte das Nylon-Unterhemd zum Schmelzen, sodaß schwere Verbrennungen die Folge waren.

An diesem Beispiel wird die Komplexität der Beurteilung des Brennverhaltens von Bekleidungstextilien deutlich. Zwei Textilien aus verschiedenen Rohstoffen können je nach Art der Kombination — in diesem Fall auf dem menschlichen Körper — das Unfallgeschehen sehr unterschiedlich beeinflussen.

Das gleiche Teppichbodenmaterial kann bei einem Brand auf dem Fußboden unbedenklich, an der Wand oder an der Decke aber gefährlich sein. Dies ist durch die unterschiedliche thermische Beanspruchung am Fußboden bzw. an Decken und Wänden leicht erklärlich.

Zu den Umgebungsbedingungen sei nur erwähnt, daß viele größere Brände und Brandkatastrophen nur dadurch ausgelöst wurden, weil sich der Brand durch bauliche Gegebenheiten (wie z. B. Klima- oder Installationsschächte) unverhältnismäßig schnell ausbreiten konnte. Auch können durch falsches Verhalten oder unglückliche Umstände mehrere Fenster und Türen offen sein und dadurch eine schnelle Brandausbreitung ermöglichen oder stark begünstigen.

Der Begrenzung eines Brandes und insbesondere den Rettungsmöglichkeiten für Menschen gilt **die Arbeit des vorbeugenden Brandschutzes**. Dabei geht man von dem Bewußtsein aus, daß man sogenannte Entstehungsbrände nicht verhindern kann, doch soll jeder Brand leicht zu lokalisieren sein. Aus diesen Gründen müssen insbesondere durch Brandschutzmauern, durch feuerfeste Türen und Wände Brandabschnitte geschaffen werden.

Auf einen interessanten Gesichtspunkt hinsichtlich der Umgebungsbedingungen beim Zünden von Textilien wurde in jüngster Zeit von unserem Haus unter der Überschrift „Kleiderbrände mit schwerwiegenden Folgen“ hingewiesen⁸. Anhand einiger tödlicher Berufsunfälle — alles Textilbrände — wurde die Gefährlichkeit beim Arbeiten mit Sauerstoff aufgezeigt. Es seien hier drei Fälle zitiert:

- „Bei Arbeiten in einem etwa 45 m³ großen Kesselraum starben an den Folgen eines Kleiderbrandes ein Maschinenschlosser und sein Helfer.

Ursache für diesen Unfall war ein im Kesselraum liegender, betriebsmäßig angeschlossener Schweißbrenner, dessen Sauerstoffventil während der Mittagspause nicht völlig geschlossen war. Während der Mittagspause strömte Sauerstoff aus dem Brenner und reichte die Luft im Kesselraum mit Sauerstoff an. Nach Wiederbetreten des Kesselraumes und nach der Wiederaufnahme der Arbeiten durch den Maschinenschlosser und seinen Helfer wurde durch Funkenzündung die Kleidung sowohl des Maschinenschlossers als auch die seines Helfers in der mit Sauerstoff angereicherten Luft im Kesselraum in Brand gesetzt.

- Bei Montagearbeiten in einem 4,5 m tiefen Schacht sollte ein Motor, dessen Wicklungen verschmort waren, ausgewechselt werden. Bei dieser Arbeit starben zwei Arbeiter infolge schwerer Brandwunden, verursacht durch einen Kleiderbrand.

Wie kam es dazu? Wegen schlechter Luft im Schacht, verursacht durch die verschmorten Wicklungen, war zur Luftverbesserung zunächst Druckluft in den

Schacht geleitet worden. Da in der Kürze der Zeit eine merkliche Verbesserung der Luft im Schacht nicht zu erreichen war (geruchsmäßig), wurde daraufhin Sauerstoff in den Schacht geleitet. Nach der Wiederaufnahme der Arbeiten im Schacht entzündete während der weiteren Montagearbeiten einer der im Schacht befindlichen Arbeiter eine Flamme, um sich, trotz des bestehenden Rauchverbots im Werk, eine Pfeife anzuzünden. In der mit Sauerstoff angereicherten Luft im Schacht entzündete sich seine Kleidung sofort und brannte. Die Kleidung des zweiten tödlich verunglückten Arbeiters, der seinem Kollegen im Schacht zu Hilfe eilte, wurde gleichfalls in der im Schacht befindlichen sauerstoffreicheren Luft in Brand gesetzt.

- Bei Versuchen im Naval Air Center in Philadelphia erlitten vier Männer Verbrennungen zweiten Grades. Sie befanden sich beim Versuch in einer hundertprozentigen Sauerstoffatmosphäre. Beim Ersetzen einer ausgebrannten Birne fing die Isolation der Fassung Feuer. Beim Versuch, das Feuer mit einem Handtuch zu löschen, fing das Handtuch sofort an zu brennen, und die Kleidung des Löschenden geriet gleichfalls sofort in Brand. Auch eine Asbestdecke fing sofort Feuer.“

2. Statistik zur Beurteilung des Brandrisikos

Die letzten Beispiele wurden deshalb so ausführlich dargestellt, weil daran sogleich die Schwierigkeiten der Definition von Begriffen wie „Kleiderbrand“, „Textilbrand“, „Textiltote“ u. dgl. sowie die Problematik der statistischen Erfassung von Kleiderbränden aufgezeigt werden soll.

Einerseits ist jeder Brand, bei dem Kleidung brennt, ein Kleiderbrand. Problematisch wird dies nur dann, wenn daraus der Schluß gezogen wird, daß die Kleidung die Gefahrenquelle oder die Ursache des Brandunfalles sei. Bei den oben angeführten Beispielen wäre möglicherweise gar kein Unfall vorgekommen, wenn die Arbeitsschutzbestimmung für den Umgang mit Sauerstoff beachtet worden wäre. Die leichtere oder schwerere Entzündlichkeit bzw. Brennbarkeit hat dabei wahrscheinlich eine untergeordnete Rolle gespielt. Deutlich bringt dies der Brandfall mit der Asbestdecke zum Ausdruck.

Derartige Beispiele lassen sich auch aus Brandunfällen des privaten Bereichs beliebig ergänzen. Nicht selten gerät Kleidung in Brand, weil Spiritus zum Anfachen eines Feuers verwendet wird und dabei auf die Kleidung spritzt. Andere Kleider- und Textilbrände werden durch unsachgemäßen Umgang mit Reinigungsbenzin oder durch Heizstrahler verursacht. Bei vielen dieser Kleiderbrände wäre es zu den Unfällen gekommen, völlig unabhängig davon, ob es sich um leichter oder schwerer brennbare Textilien gehandelt hätte.

Besonders problematisch wird die Angelegenheit, wenn in diesem Zusammenhang von „Textiltoten“ gesprochen wird, weil dabei das „Textil“ als Ursache des Todes suggeriert wird. Unverständlich ist auch, daß die Opfer von Brandkatastrophen häufig in Zusammenhang mit der Gefährlichkeit der Textilien gebracht werden, weil sie in ihrer Bekleidung verbrannt sind. Auch die Zahl der in Unfallkrankenhäusern behandelten Personen, die Verbrennungen durch Textilien aufweisen, sind wohl kein rechtes Maß für die Bewertung der Textilien beim Brandunfall, da die meisten Menschen in der Regel 24 Stunden des Tages mit Textilien bekleidet sind. Diese Gesichtspunkte sollten

beachtet werden, wenn man die folgenden und anderen statistischen Angaben betrachtet.

Mit Recht wurde häufig das Fehlen eindeutiger statistischer Angaben zu Kleider- und Textilbränden bemängelt. Die Gründe wurden teilweise schon angedeutet. Es existiert aber einiges Material, das näheren Aufschluß zu der Problematik gibt. So gibt es Angaben über Todesopfer durch Textil- und Kleiderbrände aus verschiedenen Ländern. Doch sind die in Tabelle 1 wiedergegebenen Zahlen natürlich aus den bereits erläuterten Gründen mit Einschränkung zu betrachten. Wurden in der Literatur abweichende Angaben gefunden, so kommt dies in der Tabelle zum Ausdruck. Soweit bekannt, basiert keine dieser Zahlen auf eindeutigen Statistiken.

Tabelle 1: Todesfälle durch Kleider- und Textilbrände in einigen Ländern

Staat bzw. Land	Todesfälle im Jahr bei Kleider- bzw. Textilbränden*	Todesfälle/ Einwohner etwa im Jahr
USA	2000—4000 (3000)	1 : 60.000
Kalifornien	80	1 : 140.000
Kanada	120	1 : 170.000
Großbritannien	250	1 : 200.000
Schweden	100	1 : 80.000
Schweiz	2—15 (9)	1 : 700.000
Bundesrepublik Deutschland	20—120 (70)	1 : 900.000

* nach verschiedenen Angaben der Literatur

Aus später zu erläuternden Gründen sind einige dieser Zahlen über die Todesfälle sicher zu hoch gegriffen; vergleicht man nämlich diese Zahlen mit den im Fire Journal⁹ für 1972 angegebenen Todesfällen bei allen Bränden, so wären beim Vergleich mit den Angaben in Tabelle 1 in den USA 33 %, in der Schweiz 35 %, in der Bundesrepublik Deutschland 29 %, in Schweden 70 % und in Großbritannien 27 % aller Todesfälle auf Textilbrände zurückzuführen. Es wird später gezeigt werden, daß die Anteile auf gar keinen Fall so hoch sein können.

Trotz dieser Einschränkung soll vorerst davon ausgegangen werden, daß die Zahlen in Tabelle 1 in Näherung zutreffend sind. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen tödlichen Unfall durch einen Textil- oder Kleiderbrand liegt also höchstens bei etwa 1 : 100.000, für die Bundesrepublik Deutschland wahrscheinlich mehr bei 1 : 1 Million Einwohnern im Jahr.

In diesem Zusammenhang sind zwei Dinge klarzustellen:

- Mitunter wird der Vorwurf erhoben, es würde mit den bedauernswerten Todesopfern ein kaltes Zahlenspiel getrieben. Dies ist unsinnig. Für die Abschätzung von Risiken oder für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit gesetzlicher Maßnahmen kann nicht auf der Grundlage der Schilderung von Schadensszenen oder von grausamen Bildern, sondern nur durch sachliches Abwägen des Für und Wider ein Urteil gefällt werden.
- Zweitens wird häufig auf die Zahl der Verletzten, deren schwere Verbrennungen und die damit ver-

bundenen hohen Behandlungskosten hingewiesen. Dies ist einerseits richtig, andererseits sind darüber konkrete Angaben noch weniger greifbar, als dies schon mit den Angaben über die Todesopfer der Fall ist. Ferner gilt dies für alle Risiken. So sind zum Beispiel die Behandlungskosten bei Verkrüppelungen von Opfern des Straßenverkehrs oder die bleibenden Schäden und die langen Behandlungszeiten bei vielen Brüchen, Gehirn- oder Rückgratverletzungen, die durch Stürze im Haushalt verursacht werden, auch nicht gering zu werten.

Um die Ursachen der im Zusammenhang mit Bränden zu beklagenden Todesopfer etwas mehr in den Griff zu bekommen, können Zahlen der Berliner Kriminalpolizei (siehe Tab. 2) herangezogen werden. Dabei sind die entsprechenden Ergebnisse einer Großstadt sicher nicht vollständig auf andere Gebiete zu übertragen; andererseits sind gewisse Tendenzen so eindeutig, daß sie näherungsweise auch für die Bundesrepublik Deutschland gültig sein werden.

Tabelle 2: Todesopfer bei Bränden und durch Strom 1968, 1969 und 1970 in Berlin (West)

Jahr	Todesopfer durch	
	Brand	Strom
1968	30	4
1969	37	1
1970	52	5
	119	10

Als Ergebnis ist folgendes festzuhalten:

Der Hauptvorteil dieser Angaben ist, daß es sich um recht eindeutige und vollständige Zahlen für 2,1 Millionen Einwohner über mehrere Jahre handelt. Leider wurden die entsprechenden Statistiken mit 45 Rubriken über die Brandursachen, die Verteilung auf Altersgruppen usw. nur bis zum Jahre 1970 bzw. 1971 geführt. Ab 1972 wurden sie nicht mehr so ausführlich weitergeführt, da neben der Zahl der Todesopfer bei Bränden nur noch die Zahl der Todesopfer beim „Rauchen im Bett“ wesentlich erschien.

1. Nach Tabelle 3 wurde der überwiegende Anteil der Brandopfer in der Wohnung getötet. Größere Brandkatastrophen, zum Beispiel in Hotels oder in Warenhäusern, können natürlich die prozentualen Anteile einer regional begrenzten Statistik deutlich verändern. Die Zahl der Brandopfer an der Arbeitsstätte ist anteilmäßig geringer.

2. Etwa ein Drittel der Personen kommen bei Brandunfällen im Schlafzimmer um. Der Anteil der Opfer

Tabelle 3: Unfallorte bei den 119 Brandopfern 1968 bis 1970 in Berlin (West)

Brandort	Todesopfer	Anteil (%)
Küche	6	5
Schlafzimmer	40	34
Wohnzimmer	38	32
Arbeitsplatz	15	13
andere Orte (nicht Wohnung oder Lauben)	10	8

Tabelle 4: Zündquellen bei 119 Bränden mit Todesfolge in Berlin (West) in den Jahren 1968 bis 1970

Zündquelle	Todesopfer	Anteil (%)
Rauchen	51	43
Feuerstätte	15	13
offenes Licht	13	11
Elektrizität	18	15

in der Küche ist dagegen sehr klein. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Aufstellung des National Bureau of Standards¹⁰ über den Anteil von 15 verschiedenen Textilien bei Textilbränden. Addiert man aus diesen 15 Textilien, die dem Ruhebereich zuzuordnen sind (nämlich Nachtbekleidung, Bettbezüge, Decken, Matratzen, übrige Bettwäsche sowie Polsterstoffe), so sind diese bei 46 % der Brandfälle betroffen. Die genannten Textilien werden sicher nicht ausschließlich im Schlafzimmer verwendet, dafür wird ein Teil der übrigen Textilien gelegentlich auch im Schlafzimmer vorhanden sein.

Nach einem anderen Bericht des NBS¹⁴ brachen Brände mehr als doppelt so häufig im Schlafraum als in der Küche aus; insgesamt etwa ein Drittel der Brände.

3. Nach Tabelle 4 ist die weitaus häufigste Brandursache das Rauchen im Bett (43 %), danach folgen elektrische Zündquellen, wie Heizstrahler u. ä.

Der durch Rauchen im Bett verursachte hohe Anteil der Todesopfer ist in den Jahren bis 1974 noch etwas gestiegen.

4. Bei etwa 24 % der Opfer standen diese unter Einfluß von Alkohol bzw. Medikamenten. Bei etwa dem gleichgroßen Anteil waren die Opfer krank, altersschwach oder invalid (Tab. 5). Dieser zuletzt genannte Personenkreis und die Kinder sind als bevorzugt zu schützende Personen anzusehen.

Tabelle 5: Besondere Umstände bei den Todesopfern von Bränden in Berlin (West)

Umstände	Todesopfer	Anteil (%)
Alkoholgenuß	21	18
Medikamenteneinfluß	7	6
Krankheit, Invalidität oder Altersschwäche	26	22

5. Erschütternd ist die Tatsache, daß nach den Angaben der Kriminalpolizei bei etwa 80 % der Opfer Selbstverschulden oder Selbstmord vorlag (Tab. 6).

Tabelle 6: Verschulden bei Bränden mit Todesfolge — nach Ermittlungen der Kriminalpolizei

Ursache	Todesopfer	Anteil (%)
Selbstverschulden	85	71
Selbsttötung	9	8
Fremdursache	17	14

Dies deckt sich mit anderen Literaturangaben, wonach 90 % der Brandunfälle auf Unvorsichtigkeit zurückzuführen sind.

6. Hier nicht aufgeführte statistische Angaben zeigen, daß die Todesursache nahezu ebenso häufig auf Vergiftungen wie auf Verbrennungen zurückzuführen ist.
7. Aus Tabelle 7 ist erfreulicherweise zu erkennen, daß in Berlin Kinder nicht in verstärktem Ausmaß Todesopfer bei Bränden sind. Dagegen fallen ältere Frauen mehr als doppelt so häufig wie jüngere Frauen Bränden zum Opfer. Grundsätzlich ist die Eintrittswahrscheinlichkeit bei Männern größer als bei Frauen.

Tabelle 7: Verteilung der 196 Todesopfer bei Bränden der Jahre 1968 bis 1971 auf die Altersgruppen, einschließlich der Opfer durch elektrischen Strom

Alter	Einwohner (1000) in Berlin (West) 1972	Todesopfer	Eintrittswahrscheinlichkeit je Jahr, etwa
männlich:			
bis 10	116	12	1 : 40.000
10—60	591	62	1 : 40.000
über 60	202	31	1 : 26.000
weiblich:			
bis 10	109	6	1 : 70.000
10—60	634	32	1 : 80.000
über 60	411	53	1 : 30.000

Festzuhalten ist also: Die Eintrittswahrscheinlichkeit des Todes durch Textilbrände liegt in den verschiedenen Ländern bei ca. 1 : 100.000 bis zu 1 : 1 Million Einwohnern im Jahr.

Die Zahl der Todesopfer bei allen Bränden in Berlin von 1968 bis 1974 liegt bei 50 Todesopfern pro Jahr, das heißt, die Eintrittswahrscheinlichkeit ist etwa 1 : 40.000. Vergleicht man die Zahl mit den im Fire Journal 1973 veröffentlichten Todesfällen in anderen Ländern, so wären die Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Todesfalles bei allen Bränden

- in den USA 1 : 17.000,
- in Großbritannien 1 : 60.000,
- in der Bundesrepublik Deutschland 1 : 250.000,
- in der Schweiz 1 : 300.000.

Daraus geht hervor, daß entweder in Berlin-West wesentlich mehr Todesopfer bei Bränden zu beklagen sind als in der Bundesrepublik, oder die im Fire Journal für die Bundesrepublik Deutschland veröffentlichte Zahl ist zu niedrig. Mit Sicherheit ist in den westeuropäischen Ländern die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Todesfalles bei Bränden deutlich niedriger als in den USA.

Bei den in der Berliner Statistik angegebenen Zündquellen werden möglicherweise in vielen Fällen die Textilien am Körper zuerst gezündet worden sein, doch waren die Textilien nicht die Ursache des Brandes; allein in 80 % der Fälle war die Ursache Unvorsichtigkeit oder sogar Absicht. Könnte man die durch Unvorsichtigkeit verursachten Todesfälle vermeiden, so reduzierte sich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines

Todesfalles bei einem Brand schon damit auf etwa 1 : 200.000.

Man kann die mögliche Herabsetzung der tödlichen Unfälle auch in anderer Hinsicht überlegen: Könnte man die mehr als 40 % der durch das Rauchen im Bett verursachten Unfälle — mit oder ohne Selbstverschulden — vermeiden, so wäre ebenfalls die Eintrittswahrscheinlichkeit der Todesfälle bei allen Bränden bereits auf 1 : 100.000 vermindert.

Man kann nicht das Brandrisiko bzw. das durch Textilien verursachte Brandrisiko betrachten, ohne dieses mit den anderen Risiken zu vergleichen, denen der Mensch ausgesetzt ist (Tab. 8). Diese Unfallrisiken sind in der Bundesrepublik Deutschland in den letzten Jahren etwa konstant, das heißt, nach der Statistik¹¹ für 1972 sind über 91 % aller Todesopfer bei Unfällen den drei großen Gruppen, nämlich den Verkehrsunfällen (52 %), den Arbeitsunfällen (11 %) und den häuslichen Unfällen (29 %), zuzuordnen. Die Verkehrsunfälle haben 1974 gegenüber 1970 um etwa 4400 (d. s. etwa 23 %) abgenommen.

Auch aus den Angaben der Tabelle 8 ist bei grober Schätzung abzuleiten, daß die in Tabelle 1 angegebene Eintrittswahrscheinlichkeit für Todesfälle durch Textilbrände von etwa 1 : 1 Million Personen im Jahr für die Bundesrepublik Deutschland in der Größenordnung annähernd richtig ist.

Tabelle 8: Eintrittswahrscheinlichkeit von tödlichen Unfällen in der Bundesrepublik Deutschland* (nach Christian¹¹)

Unfallart	Tote pro Einwohner (im Jahr)
alle Unfälle	1 : 1.600
Verkehr	1 : 4.000**
Arbeit / Dienst	1 : 15.000
Haushalt und Freizeit,	1 : 6.000
davon Stürze	1 : 7.000
Feuer und Explosionen	1 : 200.000
Gas	1 : 400.000
Ersticken	1 : 90.000
elektrischer Strom	1 : 500.000

* nach verschiedenen Quellen
 ** 1974

3. Die Bewertung der Risiken

Bei den folgenden Betrachtungen über die Bewertung der Risiken wird im wesentlichen auf Jäger^{12, 13} Bezug genommen, der — ausgehend von den Sicherheitsanforderungen in der Reaktortechnik und im Bauwesen — wiederholt zu **Fragen der Sicherheit und des technischen Fortschritts** Stellung genommen hat.

Neben den Risiken, denen der Mensch seit jeher ausgesetzt ist (z. B. Krankheit), bringt jede technische Entwicklung neue Gefährdungen. Als Beispiele seien genannt: der Verkehr, die Energiegewinnung (Staudämme, Kernkraftwerke), der Transport von brennbaren oder von explosiven Gütern. Es liegt in der Natur des Menschen, Gefahren auf sich zu nehmen. Durch die Bereitschaft, Wagnisse zu übernehmen, wurde die Technik entwickelt und konnte der Mensch seine Lebensmöglichkeiten ständig erweitern.

Der Nutzen einer technischen Entwicklung muß daher

gegen das damit verbundene Risiko abgewogen werden. **Das Gefährdungsrisiko wird durch die Eintrittswahrscheinlichkeit des gefährlichen Ereignisses und das Ausmaß des Schadens charakterisiert.** Dabei wird die Frage aufgeworfen: „Wie sicher ist sicher genug?“ — Die Antwort: „Absolut sicher!“ ist verfehlt, da es keine absolute Sicherheit gibt. — „So sicher wie möglich!“ ist keine Antwort, da mit Geld und weiteren ingenieurmäßigen Anstrengungen jedes technische Risiko reduziert werden kann. Es stellt sich aber dann ebenfalls die Frage, ob das einzusetzende geistige und finanzielle Potential nicht anderweitig für die Gesellschaft effektiver eingesetzt werden kann. Als Beispiel sei ein Pressebericht angeführt, nach dem durch einen neu beschafften Notarztwagen in einem halben Jahr 33 bereits klinisch tote Personen gerettet werden konnten. Der finanzielle Aufwand für die Beschaffung und Unterhaltung eines derartigen Wagens ist sicher unverhältnismäßig geringer als der, der zur Verhinderung von 33 Opfern bei Kleiderbränden notwendig gewesen wäre.

Die Entscheidung über das den Menschen zumutbare Risiko liegt also weitgehend auf moralischer und politischer Ebene — ebenso wie die zur Verminderung des Risikos der Allgemeinheit aufzulegenden Lasten oder Einschränkungen der persönlichen Freiheit. Im Bereich des Technikers liegt es, wie weit mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Verminderung des Risikos erreicht werden kann.

Bei der Entscheidung über die Zumutbarkeit eines Risikos spielen auch **psychologische Faktoren** eine große Rolle. So ist der Mensch bei freiwilligen Aktivitäten, das heißt bei solchen, die er glaubt steuern zu können, bereit, ein wesentlich größeres Risiko zu übernehmen als bei Aktivitäten, die nicht von ihm beeinflußt werden können. So wird bei der Sportfliegerei oder allgemein bei privaten Verkehrsmitteln ein wesentlich größeres Risiko in Kauf genommen als in der Verkehrsluftfahrt oder in den anderen öffentlichen Verkehrsmitteln.

Sozialpsychologisch besteht nun die Möglichkeit, neue Risiken zu bewerten, indem diese an solchen bekannten Risiken gemessen werden, die der Mensch seit langem auf sich genommen hat. Allerdings fürchtet er Risiken viel weniger, wenn er sich an diese gewöhnt hat. Es ist der Öffentlichkeit eher akzeptabel, wenn 1000 Menschen bei kleinen Unfällen das Leben verlieren, als daß 100 Menschen bei einem einzigen seltenen Unfall getötet werden. Es werden auch Risiken in größerem Maß in Kauf genommen, wenn der Grad des Gefahrenbewußtseins geringer ist. So liegt die Wahrscheinlichkeit des Bruches großer Staumauern bei 1 : 10.000 im Jahr. Da es etwa 10.000 große Stauwerke in der Welt gibt, bricht etwa jedes Jahr eines mit allen verheerenden Folgen.

Sozialpsychologische Betrachtungen zeigen nach Jäger, daß bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit eines tödlichen Unfalls von 1 : 10.000 Personen im Jahr die Menschen willens sind, für die Kontrolle der Gefahr Geld, insbesondere öffentliche Mittel, auszugeben. Bei dem Unfallrisiko von 1 : 100.000 wird versucht, die Gefahren durch spezielle Warnungen oder durch Inkaufnahme von Unbequemlichkeiten gering zu halten.

Zu der Nutzen-/Risikoabwägung schreibt Jäger:

„Mit größeren Aufwendungen an Kapital und ingenieurmäßigen Anstrengungen läßt sich natürlich jedes tech-

nische Risiko reduzieren, jedoch sind die dafür erforderlichen Ressourcen an Geld, Material und Arbeitskraft in einer Gesellschaft begrenzt. Diese Beschränkung begrenzt die Reduzierbarkeit des technischen Risikos. Wenn man also das Risiko des Versagens von Bauwerken ganz allgemein durch Verdoppelung der Aufwendungen auf einen Bruchteil reduzieren würde, dann könnten nur halb so viele Projekte verwirklicht werden, also nur halb so viele Wohnhäuser, Krankenhäuser, Fabriken, Straßen, Brücken und Stauwerke gebaut werden; oder es können weniger Rettungshubschrauber für die Verkehrswacht gekauft werden, oder es können weniger künstliche Nieren angeschafft werden, oder es kann die Krebsforschung nur in wesentlich geringerem Maße gefördert werden, usw.

Höhere Anforderungen an die technische Sicherheit würden demnach zwar auf der einen Seite die direkten, mit technischen Systemen assoziierten Gefahren reduzieren, aber sie würden auf der anderen Seite auch eine Senkung des allgemeinen Lebensstandards bewirken und damit dem Trend zu einer Reduzierung der allgemeinen Mortalitätsrate durch verbesserte Lebensbedingungen entgegenwirken.“

Mit diesen Betrachtungen soll das Problem der Brennbarkeit von Textilien in den Gesamtrahmen der Risiken gestellt werden, denen der Mensch ausgesetzt ist. Dabei bleibt noch die Frage offen, wie weit die Brennbarkeit der Textilien durch die technische Entwicklung, das heißt durch die starke Verbreitung der Chemiefasern verändert wurde.

Hierzu soll zuerst die Welt-Wollgewinnung der Baumwollgewinnung gegenübergestellt werden. Das Verhältnis Wolle : Baumwolle betrug etwa

1920 1 : 5,

1950 1 : 6 und

1970 1 : 8.

Geht man davon aus, daß in der Regel Baumwolle wesentlich leichter brennt als Wolle, so wäre die Gefährdung angestiegen. Die Chemiefasern liegen — sehr verallgemeinert — in ihrer Brennbarkeit zwischen jener der Baumwolle und jener der Wolle. Berücksichtigt man dabei ferner, daß immer noch etwa 60 Prozent der verarbeiteten Fasern Naturfasern sind, so ist aus dieser Überlegung heraus keine grundsätzliche Veränderung der Brennbarkeit von Textilien anzunehmen.

Mit Sicherheit ist die Entwicklung in den letzten 40 Jahren zu leichteren und damit auch zu leichter brennbaren textilen Flächengebilden gegangen. Diese nicht zuletzt durch die Verbreitung der Zentralheizung und der privaten Verkehrsmittel mögliche Entwicklung hat aber mit dazu beigetragen, daß mit weniger Rohstoff mehr Menschen bekleidet werden können. Ob die Brennbarkeit der Textilien durch die verbreitete Verarbeitung von Plüsch und Florartikeln erhöht wurde, ist zu bezweifeln, da Planelle und Velours auch in der Zeit vor der Verbreitung der Chemiefasern in großen Mengen aus Baumwolle bzw. aus Wolle hergestellt wurden.

Die Zündgefahr durch offene Feuerstellen hat in den letzten Jahrzehnten sicher entscheidend abgenommen, andererseits wurde vielleicht in diesem Zusammenhang auch das natürliche Bewußtsein der Gefährdung durch Zündquellen geringer. Durch die Verbreitung des Zigarettenkonsums und die Verbreitung der Unsitte, im Bett zu rauchen, aber auch durch die Zunahme von Polstermöbeln ist die Gefährdung durch Feuer gestiegen.

Zusammenfassend hat mit großer Wahrscheinlichkeit nicht die technische Entwicklung, das heißt nicht die

Chemiefaser zur größeren Gefährdung durch Textilien beigetragen, sondern der höhere Komfort (leichtere und mehr Textilien, Polsterwaren) und besonders die veränderten Lebensgewohnheiten, in erster Linie das Rauchen im Bett.

4. Diskussion von Möglichkeiten zur Minderung des durch Textilien verursachten Brandrisikos

4.1. Industrielle Entwicklung und informative Werbung

In Zusammenarbeit der chemischen Industrie mit der Textilindustrie werden die Bemühungen um die Produktion modifizierter Fasern oder ausgerüsteter Produkte, die eine verminderte Brennbarkeit aufweisen, fortgesetzt werden. Die Anwendbarkeit ist aber häufig auf bestimmte Faserarten oder bestimmte Artikel begrenzt und in vielen Fällen nur mit Nachteilen für den Verbraucher zu erkaufen. So ist nicht sicher, ob der private Verbraucher bereit ist, sich beispielsweise mit höheren Preisen, verringerter Pflegeleichtigkeit, ungünstiger Farbgestaltung und — insbesondere bei Bekleidung — mit einem höheren Gewicht abzufinden.

Darüberhinaus müssen vor dem Einsatz mehr oder weniger permanent ausgerüsteter Textilien bzw. von Textilien aus modifizierten Fasern — insbesondere im Bereich der Bekleidung — sichere Angaben darüber vorliegen, daß sich derartige Produkte physiologisch nicht nachteilig verhalten.

Ferner muß für derartige Produkte untersucht sein, inwieweit sie bei unvermeidbaren Bränden, bei denen Textilien Brandlast sind und zwangsläufig mitverbrennen, größere Mengen giftiger thermischer Zersetzungsprodukte liefern.

In diesem Zusammenhang ist langfristig auch das Problem von der Seite der Umweltverunreinigung zu sehen, da die Vernichtung von PVC-Kunststoffen heute bereits Probleme aufwirft. Durch große Mengen Textilien, die aus den Flammenschutzmitteln bei der Verbrennung zum Beispiel Bromwasserstoff abspalten, würden vielleicht neue Schwierigkeiten geschaffen.

Oft wird angeführt, daß äußere Zwänge, wie zum Beispiel gesetzliche Vorschriften, zu neuen technischen Lösungen führen. Dabei darf aber nicht außer acht gelassen werden, ob nicht das — wie schon an anderer Stelle erwähnt — dafür notwendige geistige und wirtschaftliche Potential an anderen Stellen effektiver einzusetzen sei, zum Beispiel für die Verwendung zugänglicherer Rohstoffe zur Fasererzeugung oder zur Nutzbarmachung von Abfällen als Rohstoff.

Auch die informative Produktinformation, wie beispielsweise bei der Werbung, ist ein wichtiger Faktor bei der Risikominderung. Es ist eine unerläßliche Aufgabe, darauf hinzuweisen, daß durch Werbung nicht falsche Hoffnungen und Sicherheitserwartungen geweckt werden, wie zum Beispiel durch die Bezeichnungen „flammfest“, „schwer entflammbar“, „nicht brennbar“ u. dgl. Eine Werbung, bei der es heißt: „An Vorhängen aus der Faser X beißt sich das Feuer die Zähne aus!“, ist sachlich falsch; im Falle eines Brandes kommt es nur auf die Art des Feuers an, die das Brennen oder Verbrennen des Materials bewirkt. Genauso bedenklich ist der Werbeslogan: „Die Faser mit dem eingebauten Feuerlöscher“.

Zu den Möglichkeiten der Wirtschaft, das Brandrisiko

durch Textilien ohne finanzielle Aufwendungen noch weiter zu vermindern, gehört auch eine gewisse Produktsteuerung. Bereits bei der Produktentwicklung und im Verkauf sollte man gewisse Artikel für bestimmte Einsatzgebiete nicht empfehlen. So ist es sicher nicht nötig, für Restaurants Plüschvorhänge aus Baumwolle oder aus Acrylfasern, oder für Kinder bestimmte, sehr lockere plüschartige Hemden aus relativ leicht brennbaren Rohstoffen zu propagieren. Daher sollte versucht werden, die modische Entwicklung etwas unter diesen Gesichtspunkten zu beeinflussen.

4.2. Verbraucherinformation

Die statistischen Unterlagen zeigen unter anderem, daß viele Todesfälle bei Bränden — seien es Textilbrände oder andere — einerseits im Schlafzimmer und andererseits durch Rauchen verursacht werden. Es erscheint aber doch unsinnig, nur weil einige Menschen im Bett rauchen, die Bettausstattung (Bezug, Füllung, Matratze) generell schwerer brennbar machen zu wollen oder zu müssen. Zur Verminderung derartiger Unfälle ist als erstes Aufklärungsarbeit und als nächstes Selbstdisziplin notwendig. Der Ruf nach Gesetzen erscheint in diesem Fall nicht angebracht.

Für die Aufklärung zur Vermeidung von Gefahren kann die Arbeit der Medien sehr hilfreich sein. In Berlin weist beispielsweise die Tagespresse im Zusammenhang mit Todesfällen bei Bränden in Schlafzimmern immer wieder auf die Gefahren durch das Rauchen im Bett hin; dabei wird mit Recht nicht von der Gefahr der brennenden Betten gesprochen. Für die Verbraucherinformation könnten sich hier intensiv die Verbraucherorganisationen, die Stiftung Waren-test und vielleicht auch die öffentliche Hand einschalten.

Es wird aber sicher nicht sachlich aufgeklärt, wenn eine Organisation unter der Überschrift „21 Textiltote“ vom grauenvollen Flammentod, vornehmlich von Kindern und älteren Menschen — verursacht in der Hauptsache durch leicht entflammbare Heimtextilien, wie Kleider, Nachthemden, Blusen, Polsterstoffe und Gardinen —, schreibt. Eine Information muß immer sachlich bleiben und sollte, anders als in vorstehendem Beispiel, zwischen Ursache und Wirkung unterscheiden. Durch unsachliche Information ist dem Verbraucher in keiner Weise gedient; sie könnte sich sogar negativ auf eine Risikobeurteilung durch den Verbraucher auswirken.

4.3. Gesetzliche Regelungen

Aussagen hierzu müssen zwischen den verschiedenen Einsatzbereichen von textilen Erzeugnissen unterscheiden. Es gibt bisher für den Einsatzbereich Bekleidungstextilien und Textilien des privaten Bedarfs keine verlässliche Aussage darüber, ob diese Maßnahme in Ländern mit entsprechenden Gesetzen die Zahl der Unfälle vermindert hat. Bei einer Gesetzgebung für diesen Zweck mußte man sich auch am Stand der Technik orientieren und berücksichtigen, ob der Verbraucher gewillt ist bzw. dafür Verständnis hat, gegebenenfalls Nachteile, wie höhere Preise u. a., in Kauf zu nehmen.

Bei einer Abwägung zwischen dem Aufwand eines derartigen Gesetzes mit all seinen Folgekosten und dem möglicherweise dann verringerten Risiko kommt man bei Bekleidungstextilien und Textilien des pri-

vaten Bedarfs zu dem Schluß, daß eine derartige Maßnahme nicht angemessen wäre. Auch das Problem der Verhütung von Bränden bzw. von Personenschäden durch Rauchen im Bett dürfte aus den schon vorher erwähnten Gründen keine Aufgabe des Gesetzgebers sein.

Grundsätzlich sind in der Sicherheitstechnik alle Sicherheitsmaßnahmen — gesetzliche oder andersartige — primär gegen die Unfallursache gerichtet. Dieses Vorgehen ist meist erfolgreicher, als die Folgen bekämpfen zu wollen. An diesen Grundsatz sollte man auch bei Maßnahmen gegen Textilbrände denken. Wäre nicht ein Aufdruck auf allen Zigarettenschachteln wie: „Nicht mit der Zigarette einschlafen!“ diskutierbar? Diese Maßnahme würde praktisch nichts kosten und sich gegen einen großen Teil aller Brände richten.

Im Gegensatz zum vorerwähnten privaten Bereich sind auf speziellen Einsatzgebieten gesetzliche Regelungen hinsichtlich des Brennverhaltens von textilen Erzeugnissen nicht nur sinnvoll, sondern durchaus auch notwendig. In der Bundesrepublik Deutschland gibt es derartige Regelungen beispielsweise für bestimmte Arbeits- und Schutzkleidung oder für Dekorationsstoffe in Theatern und auf Schiffen.

Weitere Maßnahmen, insbesondere im Rahmen des vorbeugenden baulichen Brandschutzes, erscheinen zweckmäßig; es sei hier nur Dekorationsmaterial in Bars und Hotels erwähnt. Dabei geht der vorbeugende Brandschutz von der Realität aus, daß es aus den verschiedensten Gründen brennen kann; doch muß jeder Brand möglichst leicht zu begrenzen sein, und insbesondere müssen Fluchtwege für die Menschen frei bleiben. Dies heißt auf die Praxis bezogen: Man kann nicht generell verhindern, daß es in einem Hotel irgendwann einmal brennt. Man will und muß aber verhindern, daß dieser Brand kurzfristig das ganze Hotel erfaßt und Menschen gefährdet. Um dieses Ziel zu erreichen, könnten gewisse Auflagen, unter anderem auch an die Dekorationsstoffe, hilfreich sein, gegebenenfalls sogar notwendig werden.

4. 4. Kennzeichnung

Eine Kennzeichnung der Textilien hinsichtlich ihrer Brennbarkeit könnte auf Grund einer gesetzlichen Regelung oder auf freiwilliger Basis (wie bei der Pflegekennzeichnung) erfolgen. Grundsätzlich käme eine positive Kennzeichnung, das heißt eine Kennzeichnung der weniger zum Brennen neigenden Artikel, oder eine negative Kennzeichnung, das heißt eine Warnkennzeichnung von stärker zum Brennen neigenden Textilien, in Betracht. Forderungen nach einer Kennzeichnung werden in letzter Zeit verstärkt erhoben, um auf diese Weise die Sicherheit des Verbrauchers zu erhöhen.

Man muß aber auch in diesem Falle die mit einer derartigen Kennzeichnung verbundenen Nachteile betrachten. Abgesehen davon, daß diese Kennzeichnung in Ländern, in denen eine solche eingeführt ist, dem Verbraucher bisher wohl keinen wirklichen Vorteil gebracht hat, erweckten Ausdrücke wie „schwer entflammbar“ oder — wie mehrmals gefordert — „feuersicher“ eine ganz falsche Sicherheitsvorstellung und ein unangemessenes Sicherheitsgefühl. Vielleicht wird auch die notwendige Vorsicht im Umgang mit Zünd-

quellen dadurch noch mehr vernachlässigt. Eine derartige Kennzeichnung wäre auch nach dem Stand der Technik nur bei relativ wenigen Textilien möglich, oder — falls auch die nicht sehr leicht brennbaren Textilien so bezeichnet werden sollten — es müßten die Anforderungen so gering gehalten werden, daß es nahezu einer vorsätzlichen Gefährdung des Verbrauchers gleichkäme.

Ferner wissen wir, daß nicht nur die Verarbeitung und der Schnitt, sondern auch die Kombination der Textilien entscheidend für das Brennverhalten der Textilien sein können. Auf diese Eigenschaften hat aber der Lieferant der textilen Flächengebilde oder der Ausrüster keinen Einfluß. Nur diese Zweige der Wirtschaft kämen aber für eine verantwortliche Kennzeichnung der Textilien in Betracht.

Die verminderte Brennbarkeit kann sich ferner durch die Pflege (Waschen, Chemischreinigen) ändern, nicht nur indem eventuell flammhermende Substanzen entfernt werden, sondern auch durch Ablagerungen von Härtebildnern, Waschmittelresten oder durch Weichmacher. Verschmutzungen können die Brennbarkeit ebenfalls erhöhen. Die Beständigkeit von sogenannten „Flammfestausrüstungen“ ist in der Regel an bestimmte Waschverfahren und Waschmittel gebunden. Soll aber, wie in der Bundesrepublik Deutschland, aus ökologischen Gründen der Phosphatanteil in den Waschmitteln verringert werden, so können alkalischere Austauschstoffe in Waschmitteln zu einem deutlich schnelleren Abbau der Flammfestausrüstung führen. In diesen Fällen glaukt aber der Verbraucher weiterhin dem eingenähten Etikett und wiegt sich in einer nicht mehr gegebenen Sicherheit.

Eine Kennzeichnung zur Erhöhung der Sicherheit müßte wohl auch eingehalten, das heißt überprüft und kontrolliert werden. Ist allerdings der damit verbundene Aufwand und letztlich die preisliche Belastung der Produkte dem Risiko angemessen?

Schließlich ist zu bedenken, inwieweit der Verbraucher durch die Zahl und die Vielfalt der Etiketten überfordert ist. Für Textilien ist in der Bundesrepublik Deutschland das Etikett für die Rohstoffzusammensetzung gesetzlich vorgeschrieben; wünschenswert ist das Pflegekennzeichen, dazu kämen noch die verschiedenen, unterschiedlich informativen Warenzeichen, Gütezeichen u. dgl., wie „Wollsiegel“, „Sanfor“, „pflegeleicht“. Viele dieser Bezeichnungen sind echte Verkaufs- und Werbeargumente. Notgedrungen würde eine Angabe über die Brennbarkeit dazu führen, daß diese Eigenschaft in der Werbung stärker verwendet wird. Ist die Brennbarkeit aber dafür geeignet?

Sieht man diese Problematik und berücksichtigt, daß für manche Anwendungsgebiete der Bedarf schwerer brennbarer Textilien dringlicher ist als für andere Gebiete, so bietet sich eine gezielte Arbeit an. Bereiche mit einem besonderen Bedarf sind die Arbeitsschutzkleidung sowie Vorhang- und Gardinenstoffe.

Folgender Weg bringt möglicherweise mit einem Minimum an Aufwand auf diesen Gebieten eine echte Hilfe: **Im Rahmen des Deutschen Normenausschusses wurden Vorarbeiten geleistet, nach denen eine Klassifizierung hinsichtlich der Brennbarkeit in der Brandentstehungsphase möglich ist.** Dabei wurde so vorgegangen, daß bei Teppichen sowie bei Vorhang- und Gardinenstoffen ein nahtloser Übergang zu den Vor-

schriften des baulichen Brandschutzes möglich ist. Auf verbale Bezeichnungen, wie „schwer entflammbar“, wurde aus vielerlei Gründen vorerst verzichtet.

Sicherlich ist die beschlossene Einstufung nicht für eine Kennzeichnung in der häufig geforderten Art geeignet, doch könnte sie als erster Schritt insbesondere bei der Einrichtung von öffentlichen Gebäuden, wie Bürohochhäusern, Hotels, Restaurants, Krankenhäusern u. a., allen Anwendern eine Hilfe sein und eine Gefährdung in diesen Bereichen verringern. Außerdem wären die beschlossenen Normen dazu geeignet, in Spezialfällen die Grundlage zum Beispiel von Verordnungen zu sein.

Bisher sind folgende DIN-Entwürfe erschienen:

- 66 080 „Kennwerte für das Brennverhalten textiler Erzeugnisse — Grundsätze“,
- 66 081 „Kennwerte für das Brennverhalten textiler Erzeugnisse — Textile Bodenbeläge“,
- 66 082 „Kennwerte für das Brennverhalten textiler Erzeugnisse — Gardinen und Vorhangstoffe“.

Für die Arbeitsschutzkleidung sind die Arbeiten noch nicht abgeschlossen.

5. Zusammenfassung

Mit einer gefühlsmäßigen Beurteilung der Brennbarkeit von Textilien ist weder dem Verbraucher noch der Wirtschaft gedient. Der textile Rohstoff ist nur ein Faktor von mehreren, die die Brennbarkeit der Textilien beeinflussen, und es ist daher falsch, diesen häufig in den Vordergrund der Betrachtungen zu stellen.

Obwohl die statistischen Unterlagen über Textilbrände sehr dürftig sind, ist aus dem vorhandenen statistischen Material die relativ geringe Bedeutung der Textilbrände zu erkennen. Für die Verhütung von Unfällen müssen die Bemühungen primär bei den Ursachen einsetzen; so ist zu berücksichtigen, daß der größte Teil der Opfer von Bränden in Zusammenhang mit dem Rauchen und dem Schlafraum zu bringen ist und bei 80 Prozent der Opfer Selbstverschulden vorliegt.

Bei allen Maßnahmen muß stets erwogen werden, ob der erforderliche geistige und materielle Aufwand nicht effektiver an anderer Stelle eingesetzt werden kann. Unter diesem Gesichtspunkt scheinen gesetzliche Regelungen für alle Textilien oder für alle Bekleidungstextilien nicht angemessen. Für Einzelbereiche (z. B. im Zusammenhang mit dem vorbeugenden baulichen Brandschutz) sind geeignete Verordnungen oder dergleichen sicher zweckmäßig.

Notwendig für den Verbraucher ist eine verstärkte Aufklärung über die Gefahren. In der Werbung sollte nicht der falsche Eindruck erweckt werden, daß die für spezielle Einsatzzwecke entwickelten Textilien für alle Verwendungszwecke ohne andere Nachteile und ohne Preisunterschied zu verwenden seien. Eine Kennzeichnung aller Textilien hinsichtlich Brennbarkeit ist wegen der dargelegten Bedenken nicht zu empfehlen. Die Klassifizierung der Brennbarkeit von Textilien für spezielle Verwendungsbereiche wird in vielen Fällen einen gezielten Einsatz ermöglichen und die Grundlage für Richtlinien des vorbeugenden baulichen Brandschutzes sein können. Auf diese Weise könnte das Brandrisiko ohne überhöhten Aufwand verringert werden.

Da Forschung und Entwicklung der chemischen Industrie und der Textilindustrie weiterhin an schwer brennbaren Produkten für spezielle Anwendungsgebiete, insbesondere für technische Textilien und Schutzkleidung, arbeiten und arbeiten müssen, werden diese Entwicklungen langfristig auch zu weniger brennbaren Textilien für den täglichen Bedarf führen.

Literatur:

- 1) Th. Lyssy; *Textilveredlung* 8 (12), 593—605 (1973)
- 2) I. Nunnikhoven, W. Albrecht; *Melliand Textilber.* 53, 95—101 (1972)
- 3) L. Meckel; *Wissenschaftl. Ber. der BA f. Materialprüfung*, 1974
- 4) E. Kaswell; *Lenzinger Ber.* 33, 12—22 (1972)
- 5) N. N.; *Das Sichere Haus* 18 (2), 12 (1973)
- 6) Deutscher Bundestag, 7. Wahlperiode, 43. Sitzung, S. 2446
- 7) N. N.; *Wool Science Review* 40, 28—42 (1971)
- 8) K.-H. Möller; *Schadenprisma*, im Druck (1975)
- 9) *Fire Journal*, November 1973
- 10) J. Slater; *NBS-Technical Note* 810 (1973)
- 11) W. Christian; *Das Sichere Haus* 19 (5), 3—6 (1974)
- 12) Th. Jäger; *Qualität u. Zuverlässigkeit* 19, 2—9 (1974)
- 13) Th. Jäger; *Schweizer Archiv f. angew. Wiss. u. Technik* 36, 201—207 (1970)
- 14) J. Slater, B. Buchbinder, T. Tovey; *NBS-Technical Note* 750 (1972)

Diskussion

Albrecht: Ich bin sicher, daß Sie einiges, was heute im Laufe der Tagung etwas hochschwung, wieder an den richtigen Platz gerückt haben.

Dabei kann ich mich auch des Gedankens nicht erwehren, daß man in den USA aus emotionellen Gründen „etwas“ in Angriff nahm und erst anschließend über die Konsequenzen nachgedacht hat. Lassen Sie uns daraus lernen. Selbstverständlich soll etwas getan werden, aber zweckmäßigerweise dort, wo es nötig ist.

Adler: In Tabelle 1 erwähnten Sie 100 Todesfälle bei Kleiderbränden im Jahr in Schweden. Diese Zahl verwundert mich sehr; sie würde bedeuten, daß jeden vierten Tag in Schweden ein Mensch verbrannt. Erscheint Ihnen diese Zahl nicht zu hoch?

Meckel: Ich habe alle Zahlen der Literatur entnommen. Ich kann Ihnen im Moment nicht sagen, woher gerade diese Zahl stammt. Ich könnte sie aber belegen. Waren mehrere Zahlen in der Literatur zu finden, so habe ich im Zweifelsfall die höhere genommen oder ein Von-Bis eingesetzt. Für Schweden fand ich auch niedrigere Zahlen, aber eben auch diese Zahl. — Ich hatte ja auch gesagt, daß meines Wissen keine dieser Zahlen auf eindeutigen Statistiken basiert. Ich wollte mich aber nicht dem Vorwurf aussetzen, etwas herunterzuspielen, und habe daher eher die obere Grenze genommen. Sollten Sie aber als Schwede sagen, daß diese Zahl zu hoch gegriffen sei, dann nähme das Auditorium dies sicher zur Kenntnis. Darüberhinaus glaube ich, daß auch Schweden keine eindeutigen Statistiken besitzt.

Gierse: Ich wollte Ihnen in der vorangegangenen Diskussion auf keinen Fall unterstellen — denn ich kannte ja Ihren Vortrag noch gar nicht —, daß irgendwelche Unfälle in eine Statistik nicht aufgenommen würden. Selbstverständlich ist es üblich, alle Dinge mit Hilfe der Statistik anzugehen.

Weiters wurde durch Ihren Vortrag die Frage, die ich früher gestellt hatte, zumindest qualitativ geklärt. Ich hatte ja um eine Erklärung gebeten, was Sie unter der Kosten-Nutzen-Relation verstehen. Wenn Sie als „Nutzen“ das bezeichnen, was die Anzahl der Unfälle durch entsprechende Maßnahmen vermindert, dann ist das eine akzeptable Erklärung. Es wäre schwierig gewesen, darunter zu verstehen, daß der Nutzen auf Individuen zu übertragen wäre, das heißt, daß es Menschen gibt, die „mehr oder weniger wert“ sind.

Herr Dr. Albrecht, mir ist außerdem aufgefallen, daß Sie immer dann die Stimme ganz besonders heben, wenn es darum geht, die Industrie gegen irgendwelche Vorwürfe, die mir bis zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt waren, zu verteidigen. Es ist klar, daß alles, was man zusätzlich in Werkstoffe, in Materialien einbauen will, auch mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Wenn daher von gewissen Seiten diesbezüglich Vorwürfe entstanden sind, dann verstehe ich Ihre Reaktion.

Mir ging es in diesem Zusammenhang vor allem darum,

daß die Vorschläge, die auf eine geringere Gefährdung durch Textilbrände abzielen, wenigstens diskutiert werden und nicht einfach abgetan werden — ob das nun Sprinkler-Anlagen oder Vorschläge für gesetzliche Regelungen sind.

Ich halte es nicht für richtig, daß jemand, der einen Fehler macht, beispielsweise wenn er gegen die Vorschriften einer Berufsgenossenschaft verstößt, für diesen Fehler sofort und unbedingt mit dem Tod bestraft werden muß! Beim Auto zum Beispiel wird ja auch das Prinzip angewandt, daß man, selbst für den Fall, daß jemand einen Fehler macht, Sicherheitsfaktoren einbaut!

Es sollten jedenfalls die verschiedenen Möglichkeiten ausgeschlossen werden, durch nicht vorhersehbare Zufälligkeiten zusätzlich gefährdet zu werden, wenn sich dies irgendwie vermeiden läßt. Diese „Vermeidbarkeit“ scheint hier der entscheidende Begriff zu sein, um den man sich ganz sicher von Seiten der Industrie in der nächsten Zeit wird bemühen müssen.

Albrecht: Wir haben in das Programm der Dornbirner Tagung bewußt etwa zwölf Vorträge über dieses „heiße Eisen“ und alle Konsequenzen daraus aufgenommen. Das Thema sollte von allen Seiten beleuchtet werden. Wir wollen es damit versachlichen und einen Beitrag leisten zu vernünftigen und angemessenen Lösungen.

Lärmbekämpfung — ein Anliegen der Textilindustrie

Professor Dr. K. U. In g a r d
 Massachusetts Institute of Technology, Cambridge,
 Massachusetts/USA

Es wird zuerst kurz über die Geschichte von Lärm und Lärmbekämpfung gesprochen. Dann werden die Richtlinien für den Lärm an Arbeitsstätten und die allgemeinen Methoden der Lärmbekämpfung diskutiert. Zum Schluß werden diese Methoden an verschiedenen Beispielen illustriert.

At the beginning this paper deals with the history of noise and noise control. Then follows a discussion about noise at the working place and the general methods of noise control. Finally, these methods are illustrated with different examples.

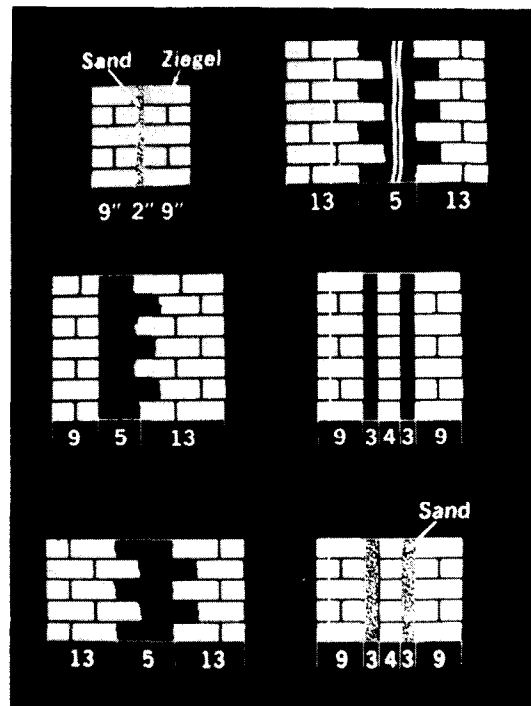


Abb. 1: Konstruktion schalldämmender Wände. Die Wände waren aus Ziegeln, deren Hohlräume (Zwischenräume) mit Sand ausgefüllt wurden. Außerdem überzog man sie noch mit Segeltuch.

Einige historische Bemerkungen

Wenn wir auf die Zeit der industriellen Revolution vor etwa 100 bis 150 Jahren zurückblicken, so finden wir, daß es bis zu diesem Zeitpunkt zum Thema „Lärmbekämpfung“ nicht viel zu sagen gibt. Das heißt jedoch nicht unbedingt, daß es keinen Lärm gab, den es zu bekämpfen galt. Vielmehr wird der Grund für die mangelnde Besorgnis um Lärm — zumindest zum Teil — wohl darin liegen, daß man damals industriellen Lärm als ein Zeichen des Fortschritts und sogar als Kulturmaßstab betrachtete. Unter derartigen Umständen bestanden keine Beweggründe und daher wenig oder gar kein Interesse, industriellen Lärm zu vermindern.

Nur wenn es um Probleme im Zusammenhang mit dem Bedürfnis nach akustischer Ungestörtheit in Wohngebäuden ging, war diese Einstellung etwas anders. Baukonstruktionen für Mehrfamilienhäuser, denen bereits im Entwurf Grundsätze für eine Schalldämmung zugrundeliegen, können bis ins 17. Jahrhundert zurückverfolgt werden und sind in der einschlägigen Literatur schon seit über 100 Jahren beschrieben worden. Zum Beispiel eine Fußbodenkonstruktion, die im 17. Jahrhundert für Arbeiterwohnungen in England verwendet wurde, war im Grunde genommen genau das, was wir heutzutage in der Bauakustik „schwimmenden Estrich“ nennen.

Akustische Störungsfreiheit war nicht nur in Privatwohnungen von Belang. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der Grundsatz der getrennten Einkerkelung von Gefangenen als ein bedeutsamer Schritt nach vorne in der Kriminalwissenschaft erachtet, und es wurde behauptet, daß es für die Trennung der Schwachen von den Bösartigen und auch für die Gewährleistung von Ordnung und Ruhe zu Meditationszwecken von großem Wert sei, wenn die Weiterleitung von verständlichen Mitteilungen zwischen den Häftlingen in den Gefängnissen verhindert würde.

Um das in die Wirklichkeit umzusetzen, trat der Kommissar für das Gefängnisweser in England im Jahre 1836 an keinen Geringeren als den großen Wissenschaftler Michael Faraday heran und nahm seine Dienste als akustischer Berater dafür in Anspruch, Wände mit hochgradiger Schalldämmung von einer Zelle zur anderen entwerfen zu helfen. Verschiedene Wandkonstruktionen (Abb. 1) wurden von Faraday ausprobiert. Seine intuitive Idee, die Wandoberflächen unregelmäßig zu gestalten und dadurch den Schall „aufzubrechen“, war allerdings nicht besonders gut begründet. Nichtsdestoweniger wurden seine Anstrengungen in Form seiner Doppel- oder Dreifachwandkonstruktionen von Erfolg gekrönt.

In der jüngeren Vergangenheit wurde — zumindest in Europa — das Interesse am Lärm und seiner Bekämpfung hauptsächlich durch das Bedürfnis nach Schalldämmung in Mietshäusern, die dem Großteil der Bevölkerung in Europa Obdach boten und immer noch bieten, angeregt. Dieses wurde besonders dringlich, als sich das Baugewerbe vor etwa 40 bis 50 Jahren immer mehr der Leichtbauweise zuwandte und es bald augenscheinlich wurde, daß man anfangen müsse, auch die akustischen Faktoren bei der Baukonstruktion ernstlich in Erwägung zu ziehen. Die Folge war, daß in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts in Europa akustische Laboratorien gegründet wurden, die über Einrichtungen zur Messung der Schalldämmung von Wänden sowie der Trittschalldämmung und der Schallschluckeigenschaften von Textilien, Fußbodenbelägen und anderen Materialien verfügten.

Ursprünglich erwuchs in den Vereinigten Staaten die Entwicklung der Schallregulierung nicht so sehr aus den akustischen Problemen in Mietshäusern, sondern vielmehr aus dem Verlangen, die akustischen Eigen-

schaften von Sälen zu verstehen. Die Grundlagen der Raumakustik wurden zu Beginn dieses Jahrhunderts von einem Physikprofessor der Harvard-Universität, Dr. W. Sabine, geschaffen. Sein Interesse an diesem Gegenstand wurde anfangs von dem Bemühen ausgelöst, die Verständlichkeit des gesprochenen Wortes in einem unglaublich schlechten Hörsaal dieser Universität zu verbessern, und wurde weiter angeregt, als er über die Akustik der Boston-Symphony-Hall zu Rate gezogen wurde. Sein Interesse an der Akustik vertiefte sich, und er führte in Harvard systematische Untersuchungen durch, wobei er einfache Vorrichtungen und Instrumente verwendete (Abb. 2). Er lernte die Nachhallzeit von Räumen sowie die Schalldämmung von Wänden genau zu messen. Auf Grund dieser Experimente und eines klaren Verständnisses der physikalischen Prinzipien, die dabei eine Rolle spielten, war er imstande, seine Resultate in Form der nunmehr als klassisch angesehenen Sabine-Formeln zu beschreiben.

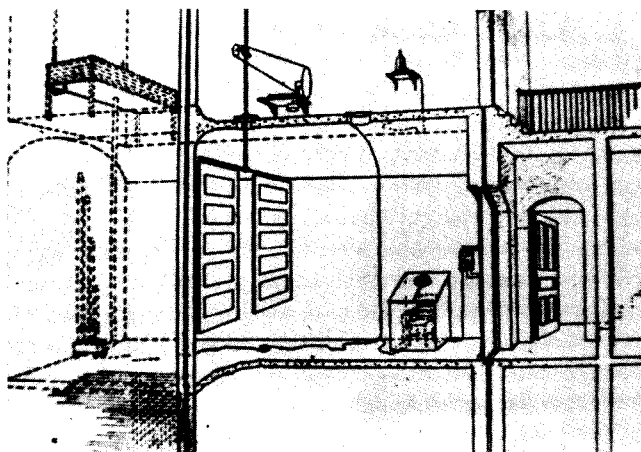


Abb. 2: Sabines Laboratorium. Er benützte Orgelpfeifen als Schallquelle und sich selbst als Mikrophon.

Lärmbekämpfung auf anderen Gebieten entwickelte sich in den Fußstapfen der Gebäudeakustik unter der Patenschaft verschiedener Industrien und Behörden. Die Einführung des kommerziellen Düsenflugverkehrs gab Anlaß für ausführliche Untersuchungen von aerodynamischem Lärm und dessen Bekämpfung. So kann es nicht wundernehmen, daß in den vierziger Jahren viele Laboratorien gegründet wurden, deren Ziel es war, verschiedene Aspekte der Lärmbekämpfung zu studieren, und zwar neben den physikalischen auch die psychologischen und die physiologischen. Solche Laboratorien wurden zum Beispiel in Harvard und am Massachusetts Institute of Technology ins Leben gerufen, in Rußland errichtete die Akademie der Wissenschaften ein großes Laboratorium für Akustik in Moskau, und in Deutschland wurde das bereits bestehende Laboratorium am 3. Physikalischen Institut in Göttingen erweitert. Etwas später wurde in Southampton, England, ein Institut für Schall und Vibration gegründet. Am MIT waren im Jahre 1950 nicht weniger als 125 Mitarbeiter mit dem Laboratorium für Akustik verbunden.

Seitdem haben, wie Sie wissen, sowohl staatliche als auch lokale Gesetze die Lärmbekämpfung in der Indu-

Walsh-Healey Public Contracts Act

FEDERAL REGISTER, VOL. 34, NO. 94
 TUESDAY, MAY 20, 1969
RULES AND REGULATIONS
 5 341-204.117 Occupational noise exposure.

(a) Protection against the effects of noise exposure shall be provided when the sound level exceeds those shown in Table 1 of this section when measured on the A scale of a standard sound level meter at slow response. When noise levels are determined by octave band analysis, the equivalent A-weighted sound level may be determined as follows:

(b) When employees are subjected to sound exceeding those listed in Table 1 of this section, feasible administrative or engineering controls shall be utilized. If such controls fail to reduce sound levels within the levels of the table, personal protective equipment shall be provided and used to reduce sound levels within the levels of the table.

(c) If the variations in noise level involve maxima at intervals of 1 second or more, the noise shall be considered intermittent and the duration of the maxima shall be taken into account in the determination of the duration of the exposure.

TABLE 1
 PERMISSIBLE NOISE EXPOSURES

Duration per day, hours	Sound level, dBA
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1 1/2	103
1	106
3/4	110
1/2 or less	115

When the daily noise exposure is composed of two or more periods of noise exposure of different levels, the combined effect should be considered, rather than the individual effect of each. If the sum of the following fractions: C1/T1 + C2/T2 + Cn/Tn exceeds unity, then, the noise exposure should be considered to exceed the limit value Cn indicates the total time of exposure at a specified noise level, and Tn indicates the total time of exposure permitted at that level.

Exposure to impulsive or impact noise should not exceed 140 dBA peak sound pressure level.

Abb. 3: Walsh-Healy Public Contract

strie obligatorisch gemacht. In den USA begann die staatliche Gesetzgebung mit der Lärmbescheinigung für Flugzeugmotoren seitens der amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA, und führte zum "Walsh-Healy Public Contract Act" (Abb. 3), der auch industriellen Lärm (die sogenannten OSHA-Erfordernisse) umfaßt, und wurde im Jahre 1972 zum Lärmgesetz.

Weitgehend als eine Folge der vorhin erwähnten Entwicklungen ist der Bedarf an Lärmbekämpfungstechnikern und -ingenieuren steil angestiegen. Das Fachgebiet der Akustik ist neu belebt worden, und Kurse über Lärmbekämpfung wurden an mehreren Hochschulen und Universitäten eingerichtet. In den USA wurde eine neue Gesellschaft, das Institut für Lärmbekämpfungstechnik, mit ihrer eigenen Zeitschrift "Noise Control Engineering" gegründet. Sie ist jetzt in vielen Aspekten dieses Fachgebietes tätig, unter anderem auch in der Beglaubigung von Lärmbekämpfungingenieuren.

Bevor ich Beispiele für die Lärmbekämpfung anführe, möchte ich eine kurze Beschreibung der allgemeinen Verfahrensweise geben, die der Schallingenieur gewöhnlich einhalten muß, wenn er mit einem Lärmproblem ringt, das heißt mit Lärmkriterien, mit der Lärmmessung sowie mit der Lärmabwehr mittels Dämpfungsvorrichtungen.

In seiner täglichen Arbeit wird der Lärmingenieur mit mindestens drei Arbeitsbereichen zu tun haben. Zunächst müssen Lärmkriterien, die für den in Frage stehenden Bereich angemessen sind, bestimmt werden. Dabei sind zwei verschiedene Arten von Kriterien zu berücksichtigen. Eine Art betrifft den Schutz von Arbeitnehmern vor Gehörschädigungen durch Lärmeinwirkung. In den Vereinigten Staaten wird dieses Kriterium als die „maximale Lärmeinwirkung“, die einer täglich achtstündigen Einwirkung von 90 dB(A) entspricht, ausgedrückt.

Die zweite Art ist ein Wohngebietskriterium, gewöhnlich in einer lokalen Vorschrift festgelegt, das darauf hinzielt, die Gemeinde vor Lärm zu schützen, der die Leute während des Schlafens oder bei normaler sprachlicher Verständigung stören könnte, und das damit die allgemeine Ruhe eines Wohngebietes aufrechterhält. Dieses Kriterium schwankt oft von einer Gemeinde zur nächsten, aber gemeinhin liegt es zwischen 40 und 50 dB(A) während der Nachtstunden und um ca. 10 dB(A) höher während des Tages.

Wenn Lärmmessungen darauf hindeuten, daß die Kriterien nicht ohne irgendeine Form von Schallregulierung erfüllt werden können, werden verschiedene Regulierungsalternativen untersucht. In der Industrie kann unter gewissen Bedingungen die Regulierung verwaltungstechnisch erfolgen, das heißt, man verhindert, daß ein Individuum dem kritischen Wert ausgesetzt ist, indem man die Tätigkeit einer Gruppe von Arbeitnehmern so plant, daß kein einziger von ihnen zu lange an einer Stelle mit hohem Schallpegel verbleiben muß. In den meisten Fällen bedeutet Lärmregulierung aber Lärmreduktion, und zwar entweder mittels schalldämpfender Vorrichtungen oder durch Abänderungen der Schallquelle.

Bevor eine solche Schallreduktion aber unternommen werden kann, ist es natürlich erforderlich, daß die Schallquellen zuvor festgestellt worden sind. In vielen Fällen ist es nicht ganz so einfach, herauszufinden, was den Hauptbeitrag zum erzeugten Lärm liefert. Wo Räume oder Fabriksabteilungen mit lauten Maschinen und Anlagen gefüllt sind, wird das Schallfeld nachhallend und verliert seine Richtcharakteristik. In der Praxis kann die Suche nach den größten Schallquellen manchmal zum wesentlichsten Teil der Schallregulierungsbemühungen werden.

Als Beispiel werden wir eine kürzlich in einer chemischen Fabrik in Holland vorgenommene Lärmstudie unter die Lupe nehmen, bei der die Suche nach der Schallquelle einen wichtigen, wenn auch nicht den wichtigsten Teil der Arbeit darstellte.

Eine gegenüber der Fabriksbegrenzung auf der anderen Straßenseite wohnende Familie beschwerte sich über einen ärgerlichen Niederfrequenzlärm, der durchs Haus drang und ihr großes Unbehagen verursachte. In der Beschreibung des Lärms behauptete die Familie, daß er oft als ein „Pulsieren“ aufträte. Außerhalb des Hauses war es schwer, den Niederfrequenzlärm zu hören oder gar zu messen, weil Windgeräusche höherer Frequenz sowie der Lärm von (fernem) Verkehr ihn verdeckten. Die Tatsache, daß der Niederfrequenzlärm innerhalb des Hauses sehr viel besser bemerkbar war als außerhalb, steht im Einklang mit der Tatsache, daß der Übertragungsverlust von Wänden für den Hochfrequenzschall höher ist als für den Niederfrequenzschall.

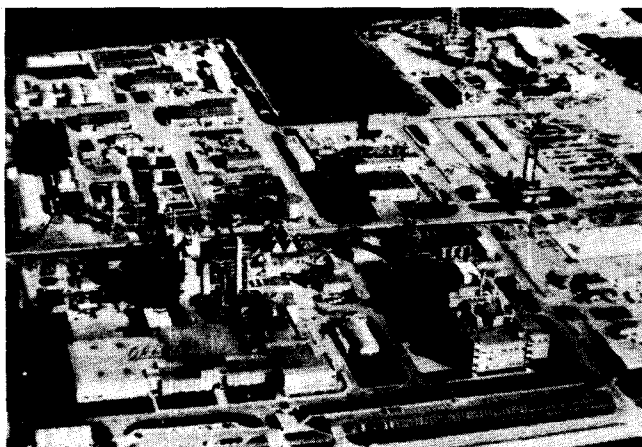


Abb. 4: Fabrikanlage; Verbrennungsanlage und Haus sind etwa 400 m voneinander entfernt.

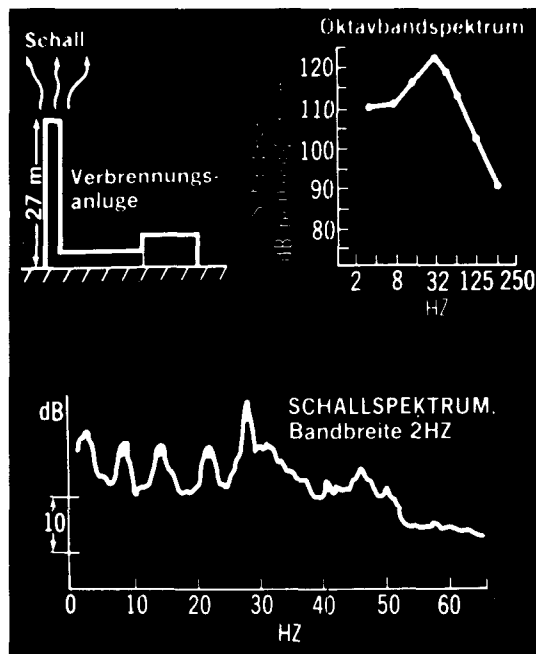


Abb. 5: Schallanalyse — Verbrennungsschall

Es war berichtet worden, daß die Beschwerden über den Lärm kurz nach der Inbetriebnahme einer Abfallverbrennungsanlage, etwa 400 Meter vom Haus entfernt, ihren Anfang genommen hatte, und es wurde als selbstverständlich angenommen, daß dieser Brenner die einzige Ursache für den Lärm sei (Abb. 4). Die Lärmstudie hatte sich daher auf diese Verbrennungsanlage konzentriert, ohne daß allerdings überzeugende Resultate erzielt worden waren. Diese Studien wurden durch ziemlich ausgedehnte Messungen der Schalleigenschaften des Brenners ergänzt. So wurden unter anderem Messungen des Schallspektrums am höchsten Punkt des 30 Meter hohen Schornsteins vorgenommen, und das Verhältnis zwischen Lautstärke und pro Stunde verbrannter Abfallmenge wurde festgestellt.

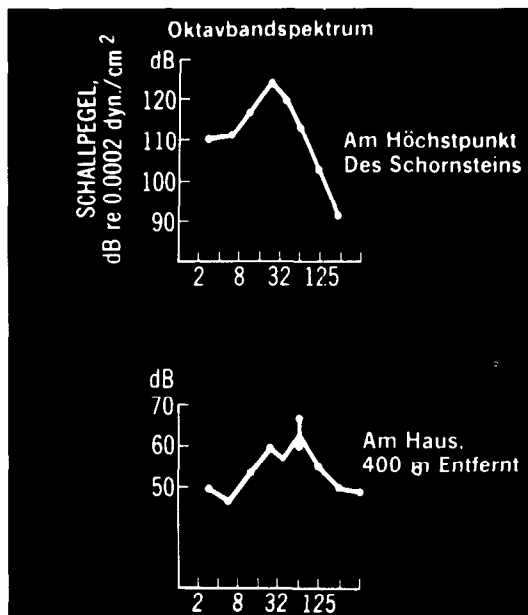


Abb. 6: Identifizierung von Schallquellen; Vergleich von Oktavbandspektren

Der Großteil des Lärms auf einem Oktavbandenniveau von ca. 122 dB war im 32-Hz-Band zu finden (Abb. 5). Vom Schmalbandenspektrum dieses Lärms kann man ablesen, daß verschiedene axiale akustische Resonanzen erregt waren. Ein Schmalbandenspektrum ist fast unumgänglich, wenn man versucht, die in Frage stehenden Lärmmechanismen zu verstehen, und es ist auch für die Unterscheidung der untersuchten Quelle von anderen Quellen von Nutzen (Abb. 6).

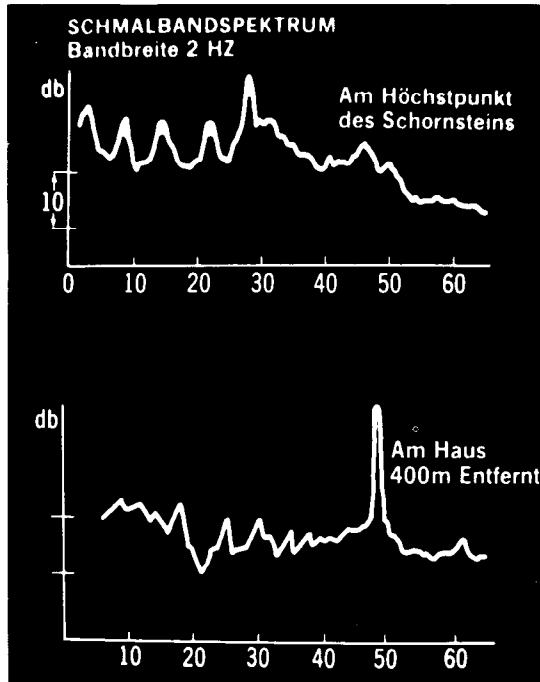


Abb. 7: Identifizierung von Schallquellen; Vergleich von Schmalbandenspektren

Das gemessene Schmalbandenspektrum im Hause (Abb. 7) enthielt einen deutlichen Ton von 50 Hz, der im Spektrum des Brenners nicht vorhanden war. Eine Suche wurde unternommen, um die Lärmquelle mit dieser Art Spektrum zu eruieren und nach erheblichen Bemühungen wurde sie auch gefunden: es waren zwei Silorüttler im dritten Stock eines Gebäudes, das etwa 200 Meter vom Haus entfernt war (Abb. 8).

Weitere Messungen und deren Analyse ergaben, daß sowohl der Brenner als auch die Silorüttler zum Niederfrequenzlärm im Haus beigetragen hatten und daß daher zur Beseitigung des Lärms Lärmbekämpfungsmaßnahmen an beiden Quellen ergriffen werden mußten.

Für die Lärmbekämpfung am Brenner bestanden unter anderem folgende Möglichkeiten:

1. Neuplanung der Betriebsstunden des Brenners, sodaß während des Tages mehr Abfall verbrannt wird als während der Nacht, womit der Lärmpegel in der Nacht herabgesetzt wurde;
2. Installation von Niederfrequenzschalldämpfern im Schornstein;
3. Ersatz des Abfallbrenners durch einen anderen Brenner, der sich als beträchtlich weniger geräuschvoll erwiesen hatte.

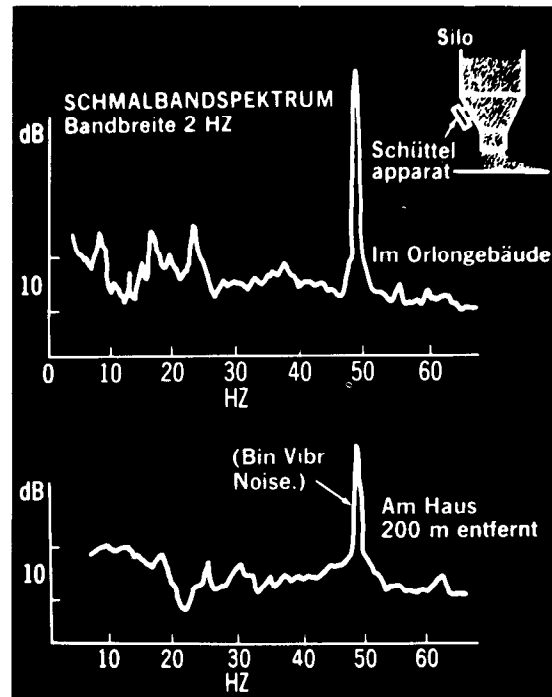


Abb. 8: Identifizierung von Schallquellen; Vergleich von Schmalbandenspektren. Das Schmalbandenspektrum des Rüttlers bzw. des Schüttelapparates zeigt, daß sein Ton mit dem Ton im Haus übereinstimmt.

Die Möglichkeiten für die Silorüttler waren folgende:

1. eine Schwingungsisolierung der Rüttler gegenüber dem Gebäude, um die Schallstrahlung zum Hause hin zu unterbinden;
2. ein Ersatz der Rüttler durch eine andere, geräuschärmere Methode zur Aktivierung des Pulvers in den Silos (Abb. 9).



Abb. 9: Apparat, der den Rüttler ersetzt. Seine Schallwellen werden im Inneren des Silos erregt, ohne dabei die Wände zu erschüttern.

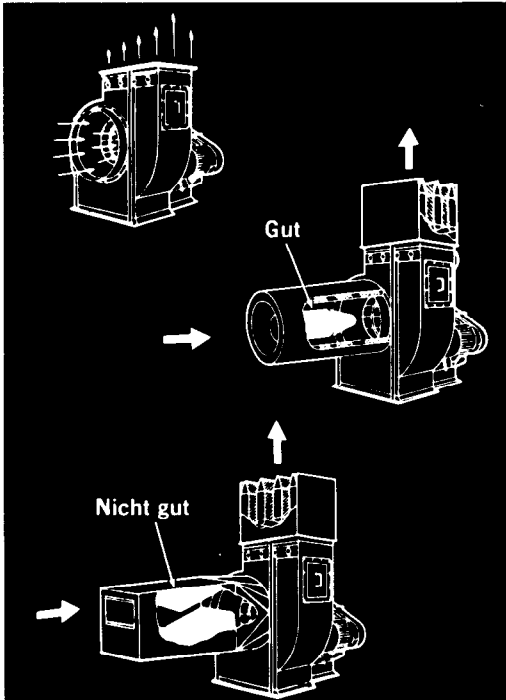


Abb. 10: Schalldämpfung eines Zentrifugalventilators. Es ist sehr wichtig, daß der Schalldämpfer die Luft-einströmung nicht verzerrt.

Oft sind die lärm erzeugenden Maschinen und Anlagen so komplex, daß es unklar ist, wie und wodurch der Lärm im einzelnen verursacht wird, und in solchen Fällen — besonders dann, wenn die Probleme sofort behoben werden müssen — hat man keine andere Wahl, als zu versuchen, dem Lärm mit Hilfe von Schalldämpfern, Schirmen und Umschließungen usw. beizukommen (Abb. 10—13).

Lärmbekämpfung im Kraftwerk einer Du Pont-Produktionsstätte in den USA

Die optimale akustische Planung einer Umschließung oder irgendeiner anderen Art Lärmverminde-

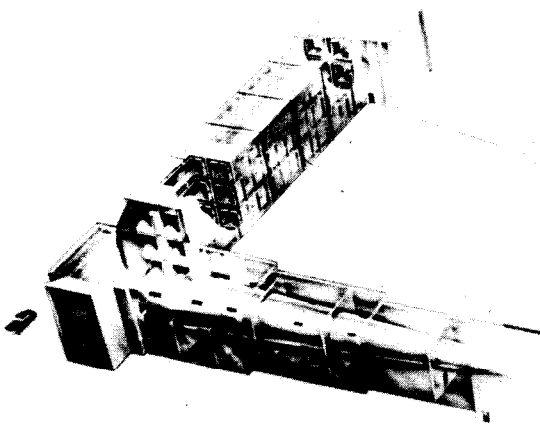


Abb. 11: Ungewöhnlich großer Schalldämpfer; seine Länge beträgt ungefähr die eines großen Autos. Diese Anordnung wird vom NASA-Laboratorium für Überschallströmungen in Cleveland zur Dämpfung von Niederfrequenzschall und -vibrationen empfohlen.

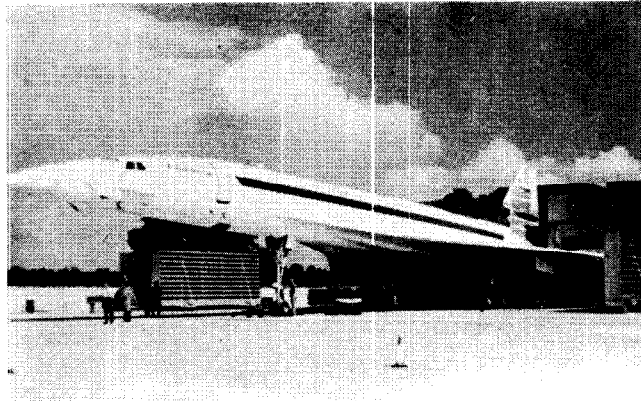


Abb. 12: Der "run-up"-Dämpfer für Concorde-Überschallflugzeuge

rungsvorrichtung soll natürlich die erforderliche Schalldämpfung stets mit minimalem Kostenaufwand erzielen. Es ist daher wichtig, daß zuerst einmal sichergestellt wird, ob die verschiedenen Linien der Schallübertragung durch Umschließung miteinander vereinbar sind. So wäre es zum Beispiel unwirtschaftlich, einen hohen Übertragungsverlust durch die Wände zu erreichen, wenn zur gleichen Zeit der Ventilations-schacht keine angemessene Behandlung erfährt.

Im Entwurf von Umschließungen und anderen Arten von Schallregulierungsvorrichtungen müssen viele nichtakustische Faktoren berücksichtigt werden. Die Vorrichtung muß robust gebaut sein, und das verwendete Material muß sich unter Umständen auch unter sehr schwierigen Funktionsbedingungen bewähren, etwa bei hohen Temperaturen, unter erodierenden Durchflüssen, reagierenden Chemikalien, ermüdender Belastung usw., und es muß dementsprechend ausgewählt werden. Das macht es notwendig, daß der Ingenieur für Lärmbekämpfung über gute Materialkenntnisse verfügt, denn bei vielen Lärmproblemen hängt deren wirtschaftliche und wirksame Lösung zu einem erheblichen Ausmaß von der Materialkenntnis ab.

Wenn auch im täglichen Kampf mit dem Lärm häufig Schalldämpfungsvorrichtungen verwendet werden, so gibt es doch Situationen, in denen es besser ist, zu

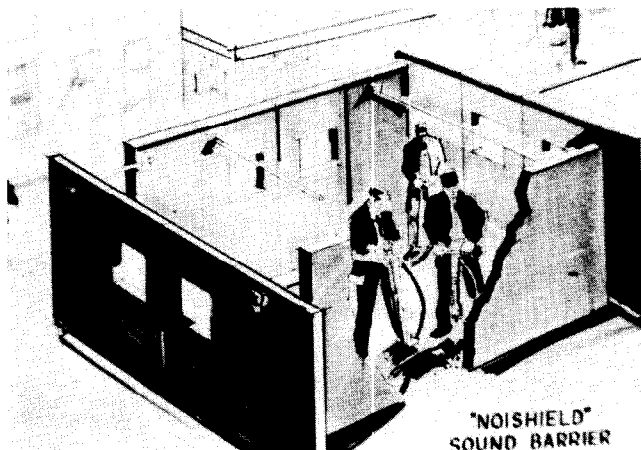


Abb. 13: Schalldämpfer mittels Umschließungen



Abb. 14: Schallabwehr bei Ventilschwingungen;

versuchen, den Schall schon durch eine Abänderung der Schallquelle von vornherein zu vermindern. Diese Methode ist sogar die einzig mögliche, wenn zum Beispiel für zusätzliche Installationen kein Platz vorhanden ist oder wenn eine SchalldämpfungsVorrichtung oder eine Umschließung den Betrieb oder die Wartung der Anlage beeinträchtigen würde.

Lärmverminderung an der Quelle

Den meisten industriellen Maschinen und Apparaten ist der Lärm, der von den zu ihrem Antrieb verwendeten Motoren und Übersetzungsgetrieben verursacht wird, gemeinsam. Oft wirken die Rahmen und die verschiedenen strukturellen Elemente der Maschinen auch noch als Schallverstärker. Diese Art von Lärm kann jedoch erheblich herabgesetzt werden, wenn man die Lager und andere Teile, die gewöhnlich direkt auf dem Maschinenrahmen montiert werden, mit einer geeigneten Vibrationsisolierung ausstattet.

Die ärgsten Lärmprobleme in der Industrie erwachsen aber normalerweise aus Vorgängen, die ihrem Wesen nach laut sind, beispielsweise an Maschinen und Anlagen wie Lochungspresen, Fräsen, Aufbäummaschinen, Kompressoren, Pumpen, Hochgeschwindigkeitsturbinen, Steuerventilen usw. Eine Lärmverminderung an der Quelle erfordert in diesen Fällen gewöhnlich beträchtliche Abänderungen an den Maschinen, und diesen Änderungen müssen natürlich stets ausge dehnte Studien der in Frage stehenden lärmverursachenden Mechanismen vorausgehen. Die „Lärmverminderung an der Quelle“ muß daher normalerweise als ein Projekt auf lange Sicht betrachtet werden, das oft eine jahrelange Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig macht.

Bemühungen mit dem Ziel der Lärmverminderung an der Quelle, die auf kurze Frist angelegt sind und nur verhältnismäßig geringe Änderungen erfordern sollen, können nur in Sonderfällen erfolgreich sein und nur dann, wenn intensive, reine Töne den Großteil des Lärms darstellen. Solche Töne werden manchmal durch die periodische Erregung einer Gassäule oder

einer anderen Struktur zu einer der Resonanzfrequenzen ausgelöst. In anderen Fällen sind es pfeifartige Oszillationen, die durch die Energie in steten Flüssigkeitsströmen oder durch Verbrennungshitze erregt und aufrechterhalten werden (Abb. 14).

Solche Oszillationen können sogar so intensiv werden, daß sie nicht nur zu Lärmproblemen führen können, sondern auch zu mechanischem Versagen struktureller Elemente (Abb. 15).

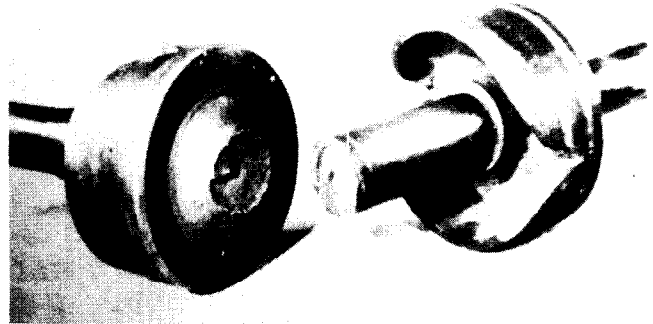


Abb. 15: Bruch durch Oszillation

Das oft vorkommende Versagen von Steuerventilen rührt gewöhnlich von solchen Oszillationen her (Abb. 16).



Abb. 16: Schallabwehr — Strömungsschall

Ähnlich ist es mit dem Versagen von Röhren in Wärmeaustauschern durch Materialermüdung, das durch die akustische Erregung des periodischen Wirbels (Karmann-Wirbelstraße), hinter der Röhre verursacht werden kann, der auftreten kann, wenn die Frequenz der Wirbelablösung mit der akustischen Querschwingungsresonanz zusammenfällt (Abb. 17).

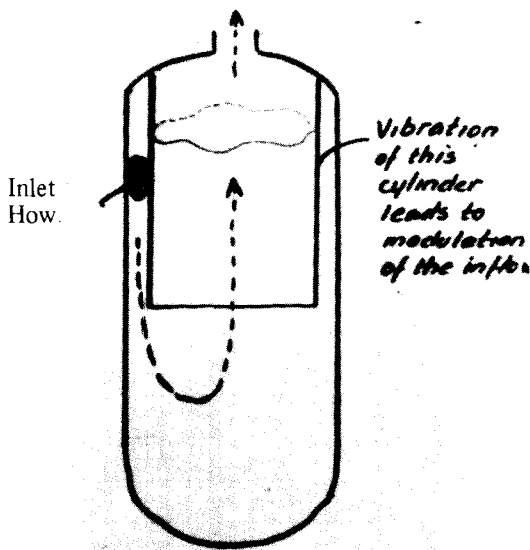


Abb. 17: Durch Strömung erregte Oszillation

Sich drehende Ströme, wie man ihnen oft in verschiedenen Modellen von Zentrifugalabscheidern in der chemischen Industrie begegnet, können ebenfalls instabil sein. Sie können durch eine durch akustische Rückkopplung akustischer Rohrresonanzen hervorgerufene Erregung in intensiver Oszillierung gehalten werden.

Ferner ist es auch möglich, daß eine periodische Erregung einer Resonanz nicht unmittelbar erkennbar ist, wie das folgende Beispiel, wiederum der Textilindustrie entnommen, zeigen soll. Es betrifft eine Schneidmaschine, die mehrere auf einem Laufrad montierte Messer enthält (Abb. 18). Die Messer beschreiben eine kreisförmige Bahn, die sich im Schneidbereich verengt. Jedes Messer muß diese Verengung einmal je Umdrehung des Laufrades durchlaufen.

Das gemessene Schallspektrum der Schneidmaschine wurde analysiert, wobei der Abhängigkeit des Spek-

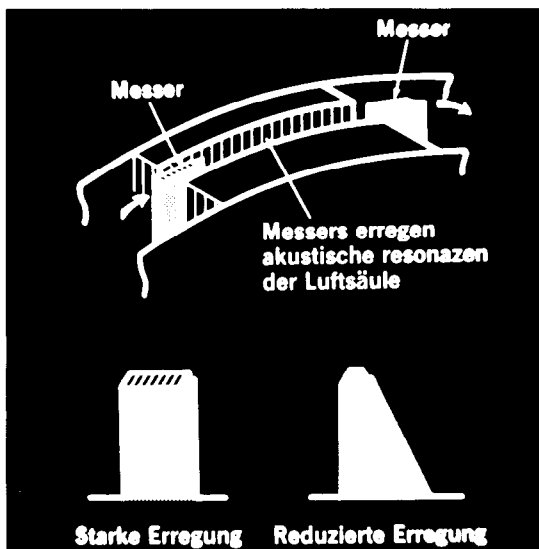


Abb. 18: Schallabwehr gegen den Lärm einer Schneidmaschine

trums von der Drehgeschwindigkeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Es schien, als sei der intensivste Lärm höchstwahrscheinlich eine Folge der akustischen Erregung der Luftsäule im verengten Bereich des Ringraumes. Immer wenn ein Messer in den verengten Bereich eintritt und wieder aus ihm austritt, ändert sich die Widerstandskraft am Messer ganz plötzlich, und diese Änderung wird sogleich auf die Luftsäule übertragen und erregt diese in ihren axialen akustischen Resonanzen. Die Frequenz der Erregung war beim höchsten Lärmpegel ungefähr 2000 Hz, und wie sich herausstellte, fiel diese Frequenz fast genau mit der Grundfrequenz der Luftsäule zusammen, sodaß die Bedingungen eine starke Erregung dieser Töne begünstigten. Auch hier kann die Tonintensität durch eine Geschwindigkeitsänderung der Maschine oder durch eine Verkürzung der Verengung erheblich vermindert werden.

Lärm und Vibration in Regulierungsventilen

Ventillärm ist eng mit dem Blendendurchflußlärm und dem Lärm in Durchflußverteilungssystemen verwandt und wird zur Zeit ebenfalls noch nicht besonders gut verstanden. Unter Anwendung dessen, was über Düsenlärm bekannt ist, sind in den letzten Jahren Versuche unternommen worden, um Ventile durch verschiedene Arten von zusätzlicher Ausstattung geräuscharmer zu machen (Abb. 19).

Im Grunde besteht eine solche zusätzliche Ausstattung aus einer großen Anzahl von relativ kleinen Einzeldüsen, die auf der stromabwärtigen Seite des Ventils herauskommen, wodurch viele kleine parallele Strömungen entstehen. Der Lärm dieser Strömungen hat eine weitaus höhere Frequenz als die größere Düse, und wenn die Löcher klein genug sind und nicht zu eng beieinander angebracht gewählt werden, wird sich der hörbare Bereich des Spektrums vermindern. In ähnlicher Weise versucht man bei den sogenannten

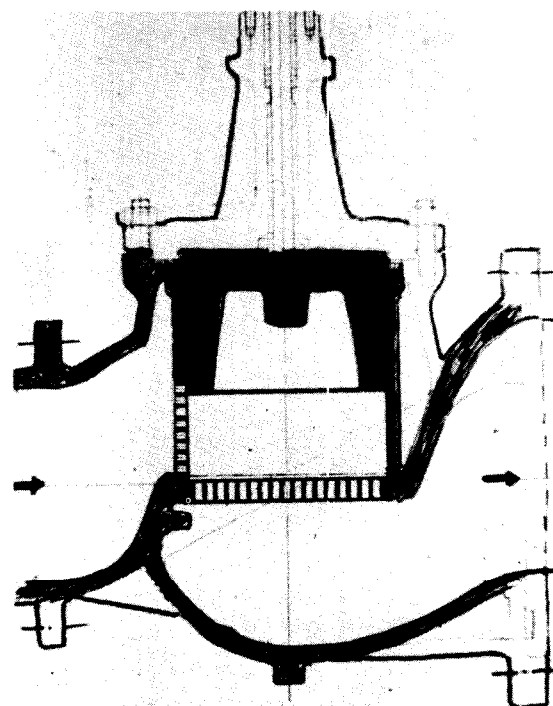


Abb. 19: Zusatzgerät zur Schallminderung des Düsenlärms

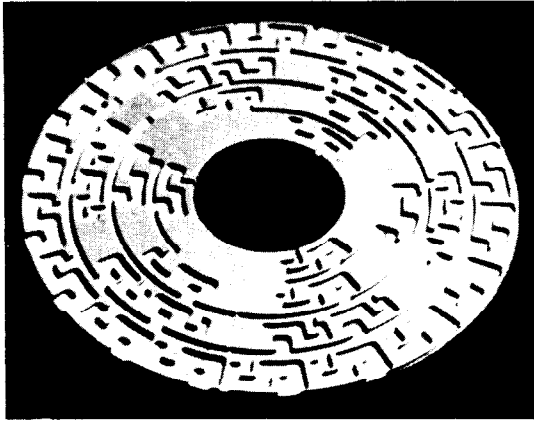


Abb. 20: Schallabwehr gegen Ventilschwingungen. Ein solches Ventil besteht aus vielen zusammengesetzten Platten; die Strömung verläuft radial durch kleine Labyrinth.

Schleppventilen den Durchfluß mit Hilfe von viskosem Widerstand anstelle von Turbulenz zu regulieren (Abb. 20).

Nichtsdestoweniger ist auf dem Gebiet der Lärmregulierung bei Ventilen noch viel zu tun. Auf dem Gebiet der Ventilschwingungen und -unwuchten haben wir in jüngster Zeit ein gründliches Verständnis von akustisch verursachten axialen und lateralen Ventilunwuchten gewonnen, und die Ergebnisse werden für die Aufnahme in die Du Pont-Konstruktionsnormen vorbereitet (Abb. 21 und 22).

Schließlich möchte ich noch eine kürzlich entwickelte Methode, die in der Textilindustrie gebräuchlich ist, zur Reduzierung des Schalls an einer Fadenabzuganordnung erwähnen (Abb. 23). Eine Untersuchung dieser Anordnung zeigte, daß die Schallabstrahlung mit der Strömungsgeschwindigkeit variiert. Unter normalen Bedingungen erhalten wir dadurch eine starke Schallabstrahlung. Diese Abstrahlung kann sehr einfach um mehr als 20 dB reduziert werden, indem man die Düse



Abb. 21: Axiale Ventilschwingungen

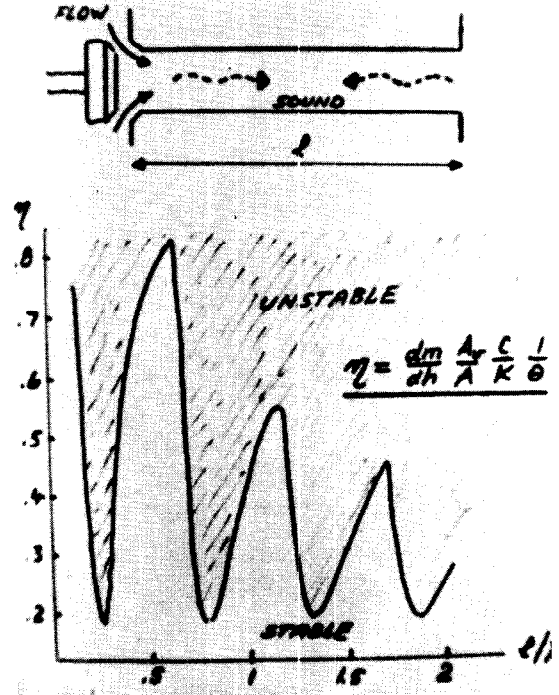


Abb. 22: Schwingungsstabilitätskurve (quantitativ). Man kann durch die Wahl einer geeigneten Rohrlänge ein gegebenes Ventil schallstabil machen.

so konstruiert, daß die Strömungsgeschwindigkeit in der Düse gleich der Schallgeschwindigkeit ist. Der Schall kann sich dann nicht durch die Düse hindurch fortpflanzen, und die Schallabstrahlung ist dadurch stark reduziert.

Schluß

Mit diesem Beispiel möchte ich meine Übersicht über die Lärmbekämpfung beschließen. Ich hoffe, Ihnen einen Eindruck über die Ziele der Lärmbekämpfung verschafft zu haben, mit dem Blick auf bereits Vollbrachtes und mit einigen Hinweisen auf möglicherweise Bevorstehendes, das heißt auf Dinge, die man von unserem gegenwärtigen Bemühen auf diesem Gebiet erwarten darf.

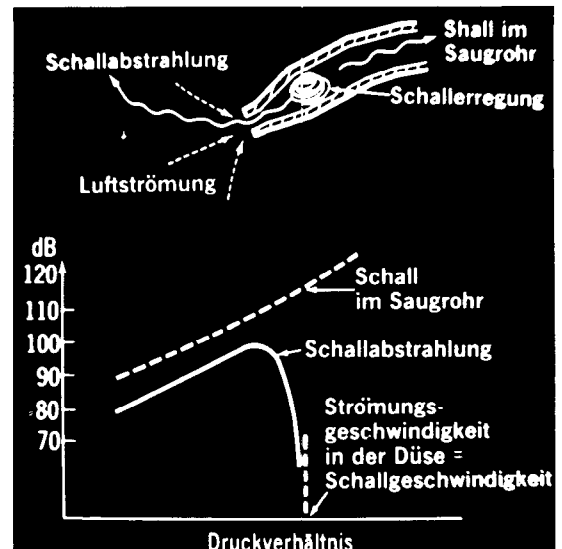


Abb. 23: Schallabwehr — Fadenabsaugvorrichtung

Ölaufsaugende Faservliese und ihr Einsatz im Umweltschutz

Professor Dr. G. Egbers

Dr. P. Ehrlers

Ing. (grad.) J. Janitzka

Institut für Textiltechnik der Institute für Textil- und Faserforschung Stuttgart

Wissenschaftliche Institute an der Universität Stuttgart, Reutlingen

Die Ölverschmutzung von Gewässern steigt ständig. Erntzunehmende Schätzungen gehen davon aus, daß jährlich ca. 6 Millionen Tonnen Erdölkohlenwasserstoffe in die Ozeane gelangen. Es werden vielerorts große Anstrengungen unternommen, die Ölverschmutzung der Gewässer einzudämmen bzw. zu verhindern. Bisher werden ölabsorbierende Chemikalien und Schäume sowie Emulgatoren eingesetzt, um im Wasser schwimmendes Öl zu entfernen.

Es wird über eine Entwicklung berichtet, bei der ölabsorbierende Matten aus Faservliesen verwendet werden. Das Preis-Nutzen-Verhältnis ist wegen der fast unbegrenzten Regenerierbarkeit günstig.

Es wird aufgezeigt, welche Faserarten und Vlieskonstruktionen sich für derartige Matten eignen und welche Ölmengen sich mit einem „Ölsauger“-Modell aus stehenden bzw. strömenden Gewässern entfernen lassen.

Oil contamination of water increases steadily. Serious estimates assume that every year about 6 million tons of petroleum hydrocarbons are flowing into the oceans. At many places great efforts are made to reduce or prevent water contamination by oil. So far oil-absorbing chemicals and foams as well as emulsifiers have been used to remove oil floating on water.

It has been reported that oil-absorbing mats from fibre fleeces have been used. Their usefulness as compared to their price is favourable on account of their almost unlimited regeneration.

It is demonstrated which types of fibres and fleece-structures are suitable for such mats and which quantities of oil can be removed with such an oil-absorbing model from stagnant and flowing water.

1. Einleitung

Mit dem zunehmenden Verbrauch an Öl ist die Gefahr der Umweltverschmutzung, besonders der Verschmutzung unserer Gewässer mit Öl, größer geworden. Fast täglich liest man Berichte über ausgelaufenes Heizöl oder über verunglückte Tankfahrzeuge. Weit größer ist jedoch die Menge an Öl, die durch das Fluten der Tanks von Öltankern sowie durch Off-shore-Bohrungen ins Wasser gerät. Die verschmutzten Badestrände legen ein Zeugnis davon ab. Man schätzt, daß jährlich etwa 5 bis 10 Millionen Tonnen Öl ins Meer gelangen — eine Menge, die 5 bis 10 Prozent des Rohölverbrauchs der BRD ausmacht. Dies war Anlaß, nach Systemen zu suchen, mit denen Öl aus Gewässern entfernt werden kann.

Gegenwärtig wird Öl, das in ein Gewässer gerät, überwiegend durch schaumstoffartige Materialien (zumeist Abfälle) zu entfernen bzw. durch Chemikalien zu bin-

den versucht. Im ersten Fall werden die Schaumstoffstücke von der Wasseroberfläche abgesaugt und verbrannt. Im zweiten Fall sinkt das gebundene Öl auf den Boden des Gewässers.

Großflächige Ölschichten mit entsprechender Dicke, die oftmals auf dem Meer schwimmen, werden abgebrannt. Bekanntgeworden sind auch Versuche mit Papierschnitzeln und Baumwollabfällen, die sich ebenfalls mit Öl vollsaugen und dann abgesaugt werden können. Wir wissen inzwischen aus vielen Gesprächen, daß sich eine Reihe von Firmen mit ölaufsaugenden Matten beschäftigt hat. Vielfach erfolglos, weil man die Probleme in der Matte selbst und nicht in der Anwendungstechnik gesehen hat.

Die „Ölmatten“ standen schon 1971 zur Diskussion, damals als Ölsperre für Forellenteiche und Schwimmbäder. Aus dieser Zeit stammt auch der erste Kontakt Dr. Ehrlers, der damals bei der Firma Enka-Glanzstoff war, mit den Ölmatten.

Vor einigen Wochen stellte schließlich das Battelle-Institut eine Methode vor, bei der das Öl durch eine Metallförderschnecke vom Wasser getrennt wird. Das Prinzip soll auf der höheren Adhäsion des Öls zum Metall beruhen.

2. Ziel der Arbeiten

Ziel unserer Arbeiten war es, ölaufsaugende Matten zu entwickeln, die folgenden Anforderungen genügen:

- hohe Öladsorption bei gleichzeitig geringer Wasseraufnahme,
- schwimmfähig,
- einsetzbar sowohl im stehenden wie im bewegten Wasser,
- regenerierbar, das heißt, das adsorbierte Öl muß leicht zu entfernen sein,
- einsetzbar für unterschiedliche Öle, wie Rohöl, Schweröl, leichtes Heizöl,
- einsetzbar auch bei geringen Mengen Öls im Wasser,
- weitgehende Entfernung des Öls aus dem Wasser,
- preiswürdig durch ausgeprägte Regenerierbarkeit und durch die Möglichkeit, das Öl kontinuierlich aus dem Wasser „abzuschöpfen“.

Basis unserer Entwicklungsarbeit war ein wohlbekanntes, aber stets negativ beurteiltes Phänomen: die starke Adsorption zwischen Fett und einigen Synthesefaserarten. Diese spezifische Adsorption ist für die genügend bekannten Anschutzungsprobleme mit verantwortlich. Wir nützten dieses Phänomen aus, nachdem wir in Vorversuchen beobachtet hatten, daß Fasernetzwerke aus einigen bestimmten Synthesefaserarten große Mengen Öls zu adsorbieren vermögen.

Die Einsatzgebiete für solche Vliesstoffe sind mehr oder minder spektakulär. So könnte man Feuerwehren mit derartigen Matten, die bei Ölalarm eingesetzt werden, ausrüsten. Es lassen sich einfache Vorrichtungen konstruieren, die ein kontinuierliches Abschöpfen des Öls ermöglichen.

Für den großindustriellen Einsatz sehen wir vier Bereiche, nämlich

- die Abschirmung von Badestränden,
- von Tankerhäfen und
- von Off-shore-Bohrungen sowie

- den Einsatz als Filtermaterial für an sich klare Industrieabwässer, die nach der Aufspaltung von verbrauchten Bohrölen anfallen.

Für den Einsatz von ölaufsaugenden Matten im großindustriellen Bereich erscheint die Konstruktion geeigneter Vorrichtungen vorrangig, obwohl sie auch problematisch erscheint. Denkansätze gibt es aber auch hierfür genug.

3. Versuchsbedingungen

Die Entwicklung solcher ölaufsaugender Vliesstoffe erfolgte durch eine systematische Variation der Parameter

- Faserart,
- Faserfeinheit,
- Faserkräuselung,
- Faseravivage,
- Vliesstoffgewicht und
- Vernadelungsdichte.

Das Aufnahmevermögen dieser Vliesstoffe wurde sowohl für Rohöl und Maschinenöl als auch für leichtes Heizöl ermittelt (Tab. 1).

Tabelle 1: Untersuchte Mineralöle

Mineralöl	Viskosität (cp) bei 20° C	spez. Gewicht bei 16° C
Prüfheizöl EI	2,6813	0,7989
Normalheizöl EI	4,1580	0,8202
Rohöl	7,7720	0,8542
Maschinenöl	275,7650	0,8955

Dabei wurden drei verschiedene Versuchsreihen gefahren:

- statischer Versuch (d. h. Eintauchen einer Probe in Öl und Ermittlung des Aufnahmevermögens),
- dynamischer Versuch am stehenden Wasser (d. h. kontinuierliche Entfernung einer Ölschicht aus einem stehenden Wasser; Ermittlung der Schöpfzeit und des Restölgehalts),
- dynamischer Versuch am strömenden Wasser (d. h. Entfernung einer Ölmenge aus strömendem Wasser; Ermittlung der Schöpfzeit und des Restölgehalts).

Die Fasern — es handelt sich ausschließlich um handelsübliche Fasern — wurden auf trockenem Wege zu Vliesstoffen unterschiedlichen Gewichts und unterschiedlicher Vernadelungsdichte verarbeitet (Tab. 2). Die Verfestigung wurde allein durch Vernadeln bewirkt; auf Bindemittel und Trägergewebe verzichteten wir.

Tabelle 2: Herstellung des Vliesstoffmaterials

Vliesstoffgewicht g/m ²	Vernadelungsdichte Stiche/cm ²		
	75	150	300
200			
400			
600			

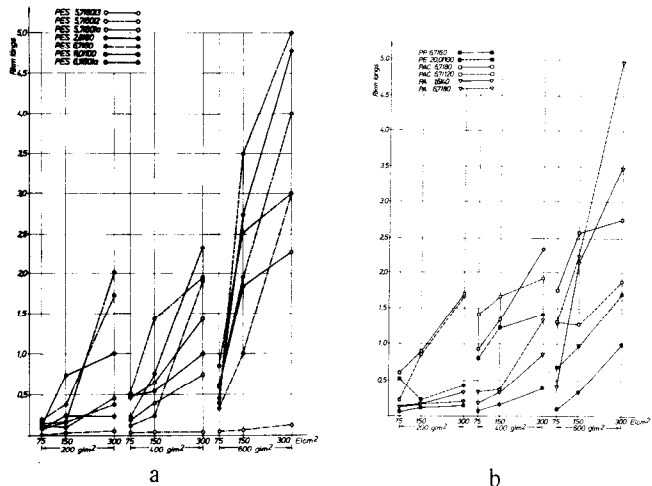


Abb. 1: Festigkeit der eingesetzten Vliesstoffe in Längsrichtung (a = PES; b = PP, PE, PAC und PA)

Durch die unterschiedlich intensive Vernadelung wurden das Porenvolumen und die Porengröße des Vliesstoffes variiert. Gleichzeitig ändern sich die Festigkeitseigenschaften des Vliesstoffes (siehe Abb. 1 und 2).

Die Ermittlung des Ölaufnahmevermögens erfolgte auf folgende Weise:

Ein Glasgefäß (30 × 50 × 45 cm) wurde bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Auf das Wasser wurde eine Ölschicht von 1 mm, 2 mm bzw. 30 mm aufgebracht. Auf die Ölschicht wurden Vliesproben der Größe 5 × 25 cm gelegt. Danach wurde die aufgenommene Öl- und Wassermenge nach einer Eintauchzeit von 30 bzw. 120 sec gemessen, wobei die Abtropfzeit vor der Wägung 10, 30 bzw. 120 sec betrug. Anschließend durchliefen die Matten ein Quetschwerk mit variabel einstellbarem Anpreßdruck. Die Durchlaufgeschwindigkeit betrug 8,5 m/min. Das aus dem Vliesstoff abgequetschte Öl und das Wasser wurden in einem Meßzylinder gesammelt und mengenmäßig bestimmt. Durch anschließende Wägung der Proben konnte der Rückstand in den Proben bestimmt werden. Die durch den Vliesstoff aufgenommene Öl- und Wassermenge und der Rückstand wurden dem Ausgangsgewicht gegenübergestellt.

Nachfolgend soll die Ölaufnahme in Abhängigkeit von den wichtigsten Einflußparametern beschrieben wer-

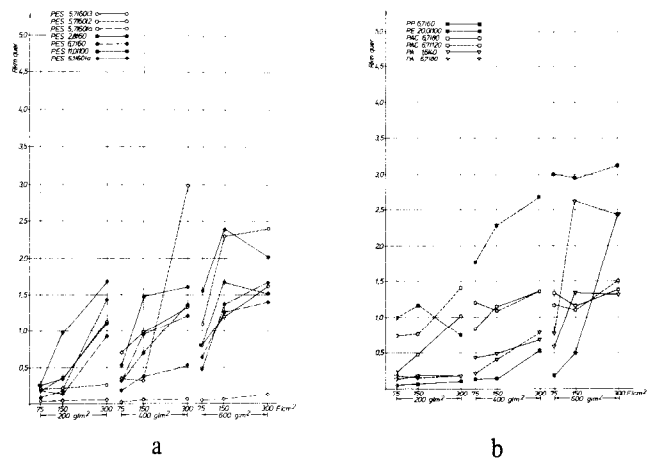


Abb. 2: Festigkeit der eingesetzten Vliesstoffe in Querrichtung (a = PES; b = PES, PE, PAC und PA)

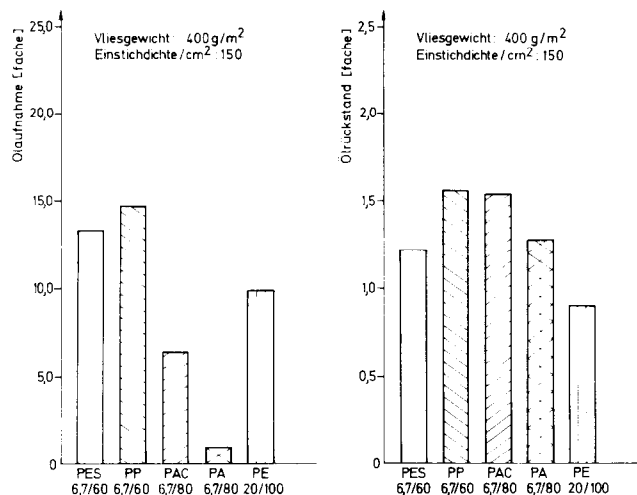


Abb. 3: Einfluß der Faserprovenienz auf die Ölaufnahme und den Ölrückstand

den. Eine komplette Zusammenstellung der Versuchsergebnisse verbietet sich aus Zeitgründen.

Alle Ergebnisse betreffen zunächst das leichte Prüfheizöl im statischen Versuch.

4. Einfluß der Faserprovenienz

Für die Versuche standen folgende handelsübliche Faserarten annähernd gleicher Länge und gleichen Titers zur Verfügung:

Polyester	6,7/60,
Polyacrylnitril	6,7/80,
Polyamid	6,7/80,
Polypropylen	6,7/60.

Polyäthylen war nur als Splittfaser mit einem Titer von 20 dtex und 100 mm Länge zu erhalten. Die Versuchsergebnisse für Polyäthylen sind dennoch — mit entsprechenden Einschränkungen — in Abbildung 3

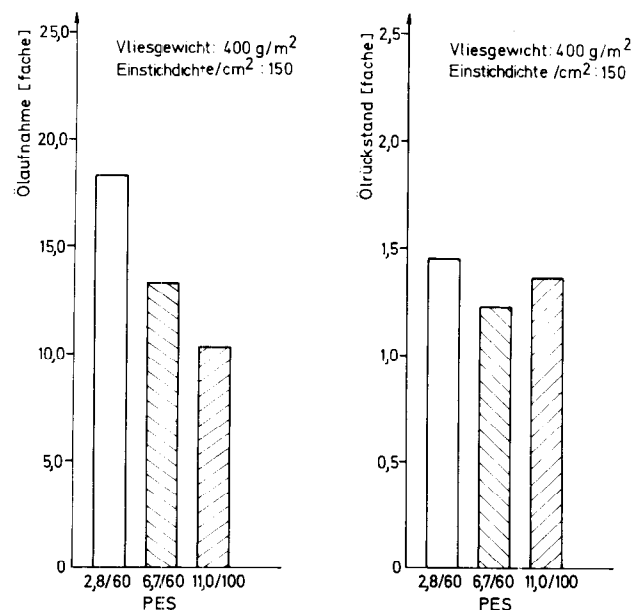


Abb. 4: Einfluß der Faserfeinheit auf die Ölaufnahme und den Ölrückstand

mit aufgeführt. Die Werte gelten für das mittlere Vliesgewicht von 400 g/m² und für die mittlere Vernadelungsdichte von 150 Stichen/cm².

Die Polyester- und die Polypropylenvliese haben das größte Ölaufnahmevermögen, das 15fache des Vliesgewichts, gefolgt von dem Polyäthylenvlies. Polyamid und Polyacryl halten wir für ungeeignet. Nach dem Abquetschen verbleibt ein Ölrückstand in den Vliesen, der zwischen 100 und 170 % des Vliesstofftrockengewichts liegt.

5. Einfluß der Faserfeinheit

Am Beispiel der Polyesterfaser soll der Einfluß der Faserfeinheit demonstriert werden. Variiert wurde die Faserfeinheit in den Stufen 2,8, 6,7 und 11,0 dtex (Abb. 4).

Je größer die Faser ist, desto geringer ist auch — wie nicht anders zu erwarten — die Menge an aufgenommenem Öl.

Hinsichtlich des Ölrückstandes nach dem Abquetschen ist kein wesentlicher Unterschied zwischen den Vliesen aus unterschiedlich feinen Fasern festzustellen.

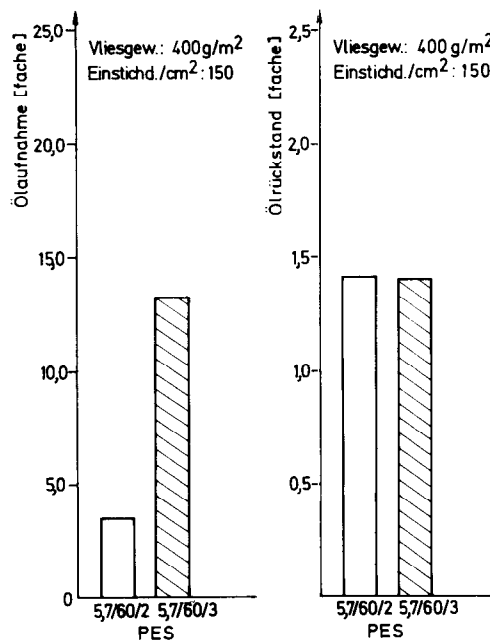


Abb. 5: Einfluß der Faserkräuselung auf die Ölaufnahme und den Ölrückstand

6. Einfluß der Faserkräuselung

Die Polyesterfaser 5,7 dtex/60 mm stand sowohl mit zwei- als auch mit dreidimensionaler Kräuselung zur Verfügung. Die unterschiedlichen Ölaufnahmemengen, wiederum für das mittlere Vliesgewicht und die mittlere Einstichdichte, sind in Abbildung 5 wiedergegeben. Die zweidimensional gekräuselte Polyesterfaser zeigt wegen des geringen Vliesstoffvolumens ein schlechteres Ölaufnahmevermögen als die dreidimensional gekräuselte Faser. Der Wert für die zweidimensional gekräuselte Faser ist sehr niedrig. Im Ölrückhaltevermögen bestehen keine Unterschiede.

7. Einfluß der Faserpräparation

Die Faserpräparation hat einen erheblichen Einfluß auf die Oberflächeneigenschaften. Dies hat uns veranlaßt, Vliese aus Polyesterfasern gleichen Titers und gleicher Länge, jedoch unterschiedlicher Präparation, auf die Ölaufnahmefähigkeit hin zu untersuchen. Eine der beiden Fasern war mit einer Spezialavivage präpariert. Es wurde eine erhöhte Ölaufnahme erwartet. Die Ergebnisse bestätigten unsere Erwartungen (Abb. 6). Gleichzeitig kann durch die Präparation der Ölrückstand im Vlies gesenkt werden.

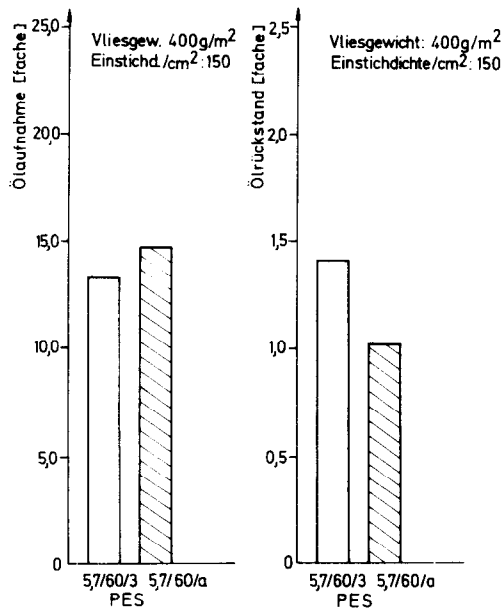


Abb. 6: Einfluß der Faserpräparation auf die Ölaufnahme und den Ölrückstand

8. Einfluß der Vliesstoffkonstruktion

Bisher wurden nur Ergebnisse vorgestellt, die bei gleichem Vliesgewicht und gleicher Vernadelungsdichte erhalten wurden. Am Beispiel der speziell präparierten und der feinen Polyesterfaser sowie der Polypropylen-

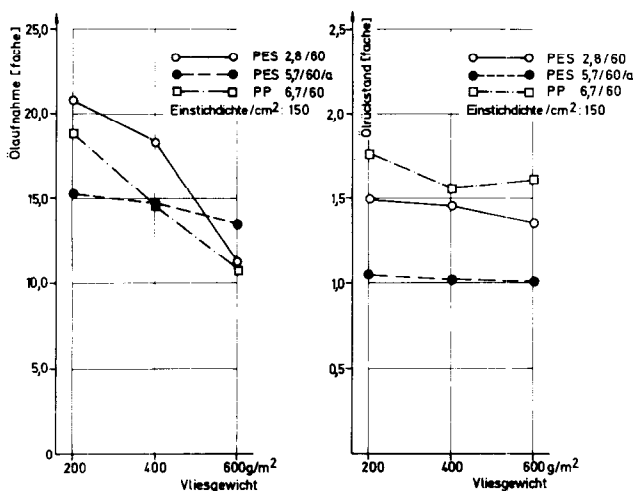


Abb. 7: Einfluß des Vliesstoffgewichts auf die Ölaufnahme und den Ölrückstand

faser soll der Einfluß der Vliesstoffkonstruktion erläutert werden.

Abbildung 7 gibt die Ergebnisse der Untersuchungen wieder, die bei gleicher Vernadelungsdichte von 150 Einstichen pro cm² mit unterschiedlichem Vliesgewicht erzielt wurden. Mit zunehmendem Vliesgewicht nimmt bei der feinen Polyesterfaser und der Polypropylenfaser die relative Ölaufnahmefähigkeit ab. Der Einfluß des Vliesgewichtes ist dagegen bei der speziell präparierten Polyesterfaser gering. Der Unterschied im Ölrückhaltevermögen zwischen normal und speziell avivierten Polyesterfasern tritt auch hier zutage.

Abbildung 8 enthält die Ergebnisse aus den Versuchen mit unterschiedlicher Vernadelungsdichte bei gleichem Vliesgewicht von 400 g/m². Mit zunehmender Vernadelungsdichte nimmt das relative Ölaufnahmevermögen ab. Eine Auswirkung auf das Ölrückhaltevermögen ist praktisch nicht festzustellen. Für die Ölaufnahme eines Vlieses ist also nicht nur die Adsorption zwischen Öl und Faser verantwortlich. Darüberhinaus spielen das Porenvolumen und die mittlere Porengröße des Vliesstoffes eine entscheidende Rolle. Je „schwammartiger“ der Vliesstoff ist, desto besser ist auch die Ölaufnahmefähigkeit.

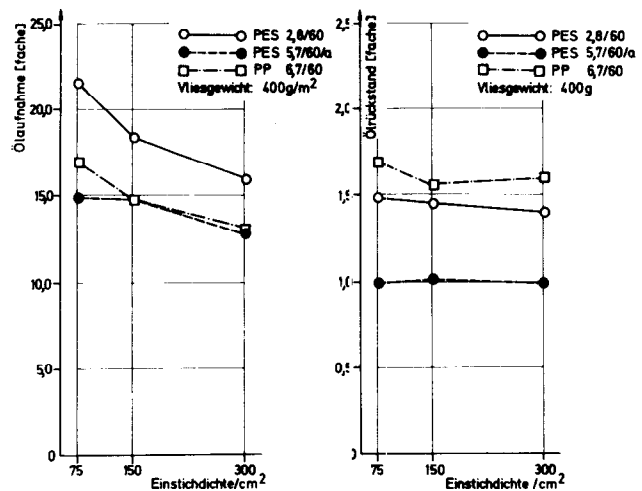


Abb. 8: Einfluß der Einstichdichte auf die Ölaufnahme und den Ölrückstand

9. Regenerierfähigkeit der Ölmatten

An den drei Beispielen — Polypropylen-, feine und speziell präparierte Polyesterfaser — soll die Regenerierfähigkeit der Ölmatten demonstriert werden. Unter Regenerierfähigkeit wird die Eigenschaft, auch nach mehrmaligem Abquetschen noch Öl aufzunehmen, verstanden. Die Wiederverwendbarkeit der Matten ist ausschlaggebend für deren wirtschaftlichen Einsatz.

Abbildung 9 veranschaulicht die Änderung der Ölaufnahmefähigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Abquetschzyklen. Unabhängig vom Vliesgewicht nimmt die Ölaufnahmefähigkeit der Vliesstoffe aus der feinen Polyesterfaser und aus dem Polypropylen mit zunehmender Abquetschzahl ab. Die Eigenschaften des Vliesstoffes aus der präparierten Polyesterfaser ändern sich dagegen durch das Abquetschen kaum. Auf das Ölrückhaltevermögen hat das Abquetschen

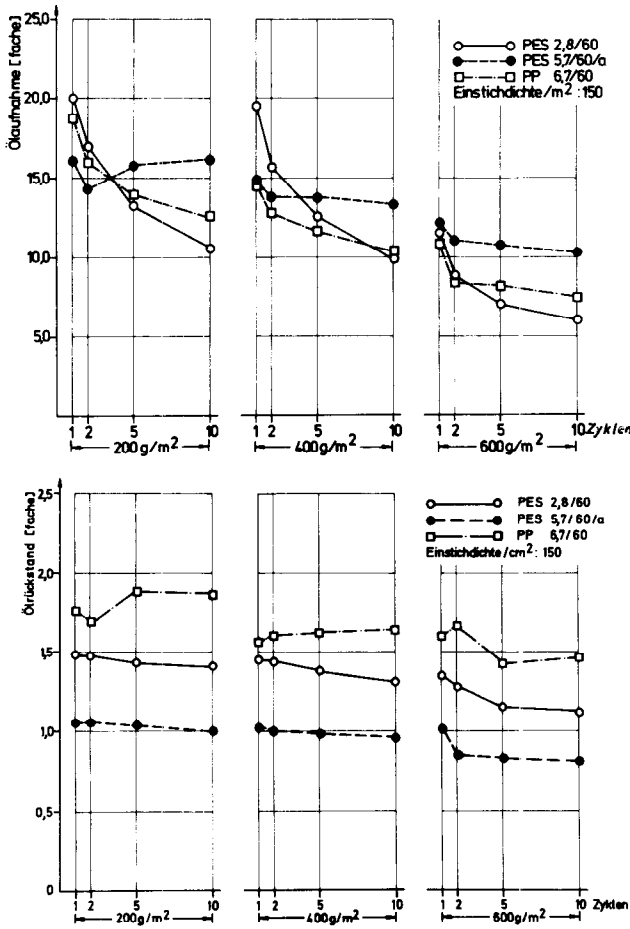


Abb. 9: Ölaufnahme (oben) und Ölrückstand (unten) in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Einsatzes

keinen Einfluß. Die Ergebnisse unterstreichen wiederum die Bedeutung des Porenvolumens für die Ölaufnahme.

10. Einfluß der Ölqualität auf die Ölaufnahme eines Vliesstoffes

Am Beispiel der feinen Polyesterfaser und des Poly-

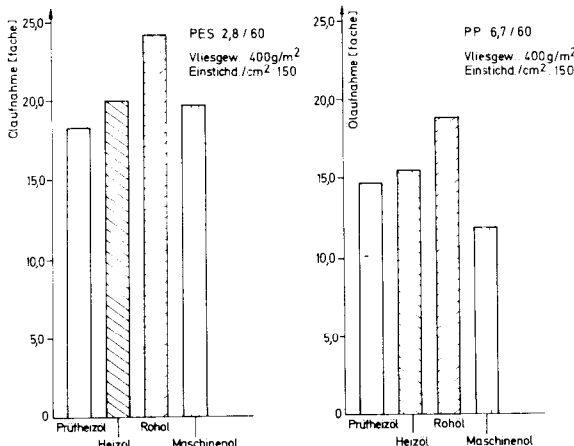


Abb. 10: Ölaufnahme und Ölrückstand für verschiedene Ölqualitäten

propylens wird deutlich (Abb. 10), daß die Art des Öls (d. h. die Viskosität) einen Einfluß auf die Ölaufnahmefähigkeit hat. Die höchsten Aufnahmewerte werden mit Maschinenöl erzielt, wenn die Eintauchzeit ausreichend lang gewählt wird. Bei kurzer Eintauchzeit (30 sec) erreichen wir mit dem Rohöl die höchsten Ölaufnahmewerte.

Eine Eintauchzeit von 30 sec reicht bei dem schweren Maschinenöl für eine maximale Ölaufnahme nicht aus. So führt eine Erhöhung der Eintauchzeit auf 120 sec bei den leichten Polyestervliesen aus den feinen Fasern zu einer Zunahme vom 29,5fachen auf das 51,2fache des Matteneigengewichts.

Um Ihnen solche Werte anders auszudrücken: Mit 1 m² Vliesstoff aus Polypropylen lassen sich bei einer Ölschicht von 30 mm Dicke 14,3 l Heizöl, 16,9 l Rohöl bzw. 18,2 l schweres Maschinenöl abschöpfen.

11. Wasseraufnahme der Vliesstoffe

Bei einer Verringerung der Ölschicht von 30 mm auf 2 mm adsorbieren die Vliesstoffe nicht nur Öl, sondern auch Wasser. Die mitaufgenommene Wassermenge liegt zwischen 1 und 12 % der Gesamtadsorption. Verringert man die Ölschicht noch weiter, so erhöht sich die mitaufgenommene Wassermenge beträchtlich. Eine Ausnahme bilden die Vliesstoffe aus dem speziell präparierten Polyester sowie aus dem Polyäthylen.

Quetscht man die Vliesstoffe mehrfach ab, so reduziert sich die mitaufgenommene Wassermenge von Zyklus zu Zyklus. Zudem ist die Menge an mitaufgenommenem Wasser bei den hochviskosen Ölen geringer als bei dem Prüflöl.

12. Ölrückstand auf dem Wasser nach der Adsorption

Für den Einsatz der Vliesstoffe zur Öladsorption ist die nach der Adsorption auf dem Wasser verbliebene Restölmenge das wichtigste Kriterium.

In einem Glasgefäß wurden von 2 l entkalktem Wasser (Oberfläche 500 cm²) 500 ml leichtes Heizöl so lange mit den Vliesstoffen abgeschöpft, bis beim Abquetschen der Vliesstoffe kein Öl mehr zurückgewonnen werden konnte. Bei jedem Abquetschzyklus wurde dabei die aufgenommene Öl- und Wassermenge ermittelt. Das im Glasgefäß verbliebene Wasser-Öl-System wurde in einen Scheidetrichter gefüllt und insgesamt 10mal mit 50 ml Petroläther (DAB 7, Kp 40-60° C) extrahiert. Der in zahlreichen Vorversuchen festgestellte Extraktionsfehler betrug zwischen 13 und 33 % der extrahierten Ölmenge. Dieser Fehlbetrag entstand vor allen Dingen dadurch, daß ein Teil des Öls mit dem Petroläther verdampfte.

Bei der Verwendung von Polypropylen und von speziell präparierten Polyesterfasern genügen 10 Abquetschzyklen, um die auf das Wasser aufgebraachte Ölmenge von 500 ml abzuschöpfen. Dagegen sind bei den wenig voluminösen, aus der groben Polyäthylenfaser (20 dtex) bestehenden Vliesstoffen 31 Abquetschzyklen notwendig, um das Öl abzuschöpfen. Dabei wird allerdings auch die geringste Menge an Wasser mit aufgenommen.

Die nach der Adsorption aus dem Wasser extrahierte Restölmenge betrug zwischen 18,5 und 53,6 mg (Tab. 3), wobei die Vliesstoffe aus Polyester 2,8/60 den gering-

Tabelle 3: Im Wasser nach der Adsorption verbleibende Restölmenge

Material	im Wasser verbliebene Ölmenge (mg)
PES 5,7/60/a	21,2
PES 2,8/60	18,5
PES 6,7/60	53,6
PP 6,7/60	30,1
PE 20,0	25,2

sten und die Vliesstoffe aus Polyester 6,7/60 den höchsten Ölrückstand zeigten.

13. Kontinuierliche Ölabschöpfung bei ruhendem Wasser

In der zweiten Phase der Untersuchung wurde eine kontinuierlich arbeitende Ölabschöpfvorrichtung entwickelt, die mit 125-cm-langen und 10-cm-breiten Proben arbeitet (Abb. 11). Die Proben werden zu einem endlosen Band zusammengenäht und über eine Abquetschvorrichtung sowie über drei Führungsrollen geführt. Die Abquetschvorrichtung wird auf einen Vorratsbehälter (50 × 10 cm) aufgesetzt, in den 3,5 l Wasser und 500 ml leichtes Heizöl gegeben werden.

Die Probe durchläuft die Ölschicht und transportiert das Öl zu der Abquetschvorrichtung. Mit Hilfe der Abquetschvorrichtung, deren Anpreßdruck stufenlos verstellbar ist, wird das Öl aus dem Vliesstoff herausgepreßt. Das ausgepreßte Öl und das Wasser werden von zwei unter dem Abquetschwalzenpaar angeordneten Auffangblechen aufgenommen und einem Meßzylinder zugeführt. Der Spalt zwischen den beiden Auffangblechen entspricht in etwa der Dicke des Vliesstoffes, sodaß ein Zurückfließen der abgequetschten Flüssigkeit in den Vorratsbehälter verhindert wird. Im Meßzylinder trennen sich Öl und Wasser voneinander. Dadurch ist eine genaue Bestimmung der Mengen möglich.

Die Versuchsdurchführung erfolgte in drei Abschnitten. Zunächst wird die aufgebrachte Ölschicht mit einer neuen Probe so lange abgeschöpft, bis das Öl aus dem Vorratsbehälter entfernt ist. Man bestimmt die dafür benötigte Zeit und die im Meßzylinder vorhandene Öl- und Wassermenge. Nach Beendigung dieses Versuchs verbleibt die Probe in der Vorrichtung, wobei erneut 500 ml leichtes Heizöl in den Vorratsbehälter gegeben werden. Die Probe durchläuft wie im ersten Versuch so lange die Vorrichtung, bis kein Öl mehr auf dem Wasser sichtbar ist.

Tabelle 4: Untersuchungen am Ölabschöpfgerät

Material	Vliesgewicht/ Stichdichte	1. Versuch			2. Versuch			Durchschneiden und Abquetschen		insgesamt	
		Öl ml	neu Wasser ml	Zeit	Öl ml	Wasser ml	Zeit	Öl ml	Wasser ml	Öl %	Wasser %
PES 5,7/60/a	400/150	430,0	55,0	4'11"	514,0	10,0	4'27"	51,0	16,0	99,50	8,14
PES 2,8	400/150	450,0	80,0	4'12"	497,0	25,0	2'46"	13,0	25,0	96,0	13,50
PES 6,7	400/150	425,0	55,0	4'02"	505,0	15,0	2'46"	27,0	22,0	95,70	9,61
PES 11,0	400/150	414,0	26,0	7'32"	511,0	15,0	5'33"	28,0	10,0	95,30	5,35
PE 20,0	400/150	445,0	2,5	3'19"	501,5	1,0	5'55"	6,9	0,1	95,34	0,37
PP 6,7	400/150	372,5	2,5	4'18"	534,0	20,0	3'02"	24,0	20,0	93,05	4,50

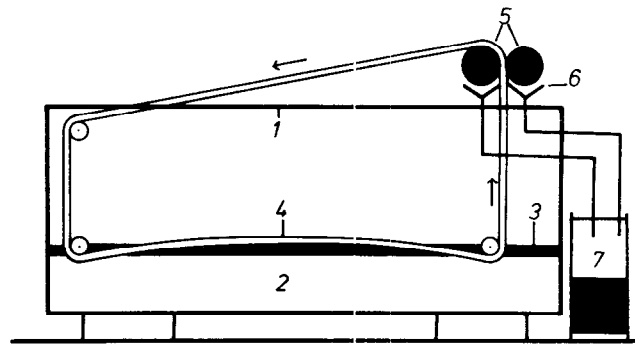


Abb. 11: Vorrichtung zur kontinuierlichen Rückgewinnung von Öl aus stehendem Gewässer

Auch hier werden die erforderliche Zeit und die abgegebene Öl- und Wassermenge ermittelt. Dann wird die Probe hinter der Abquetschvorrichtung durchgeschnitten und durchläuft noch einmal das Abquetschwalzenpaar. Hierbei wird ein großer Teil des sich noch im Vliesstoff befindlichen Öls und Wassers herausgepreßt und in einem Meßzylinder gesammelt.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen aufgezeigt.

Die abgequetschte Ölmenge ist bei einem neu eingesetzten Vliesstoff geringer als bei nochmaligem Einsatz des Vliesstoffes. Ein Teil des Öls verbleibt beim ersten Abquetschen in der Probe.

Im zweiten Versuch wird daher neben dem neu aufgenommenen Öl ein großer Teil des in der Probe verbliebenen alten Öls abgequetscht. Die zum Abschöpfen benötigte Zeit verringert sich beim erneuten Einsatz ebenso wie die mitaufgenommene Wassermenge. Die geringsten mitadsorbierten Wassermengen sind für Polyäthylen mit 0,3 bis 1,0 % (bezogen auf die abgequetschte Ölmenge) festzustellen. Bei diesen Vliesstoffen ist außerdem die durch das Abquetschen zurückgewonnene Ölmenge (im Extremfall 99,95 %) am höchsten. Es wird allerdings auch die längste Zeit benötigt. In kürzerer Zeit kann das auf dem Wasser schwimmende Öl mit Vliesstoffen aus Polypropylen und aus den speziell präparierten Polyesterfasern entfernt werden.

14. Kontinuierliche Ölabschöpfung am fließenden Gewässer

Um Aussagen über die ÖladSORPTION bei fließendem Gewässer machen zu können, wurde ein Wasserkanal gebaut (Abb. 12).

Tabelle 5: Untersuchungen am Ölabschöpfergerät (bei fließendem Gewässer)

Material		Öl ml	neu Wasser ml	Zeit	2. Versuch			Durchschneiden und Abquetschen		insgesamt	
					Öl ml	Wasser ml	Zeit	Öl ml	Wasser ml	Öl %	Wasser %
PES	5,7/60/a 400/150	442,0	35,0	4'17"	495,0	25,0	3'12"	15,0	10,0	95,20	7,35
PES	2,8 400/150	417,0	140,0	3'14"	500,0	65,0	3'12"	14,0	31,0	93,10	25,37
PES	6,7 400/150	402,0	20,0	3'09"	505,0	45,0	3'08"	21,0	15,0	92,80	8,62
PE	20,0 400/150	459,0	28,0	2'34"	505,0	50,0	5'56"	6,0	14,0	97,00	9,48
PP	6,7 400/150	417,0	25,0	3'19"	505,0	35,0	3'34"	7,0	15,0	92,90	8,07

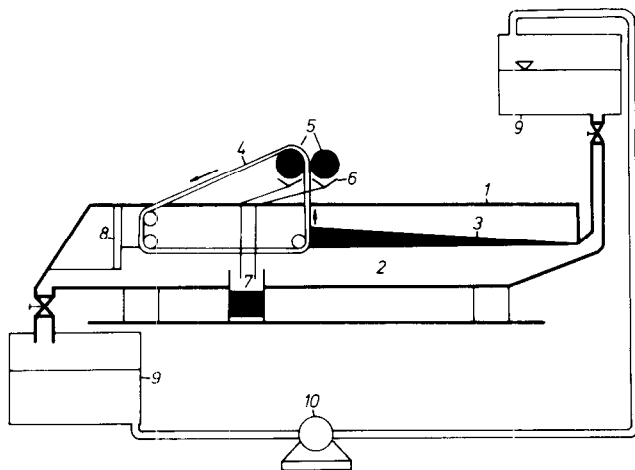


Abb. 12: Vorrichtung zur kontinuierlichen Rückgewinnung von Öl aus fließendem Gewässer

Aus einem Wasserbehälter wird Wasser in einen über dem Kanal liegenden zweiten Vorratsbehälter gepumpt, aus dem das Wasser in den Kanal strömt. Ein Schwimmregler und ein Regelventil gewährleisten eine gleichbleibende Strömungsgeschwindigkeit von 2,0 m/min. Das Öl wird, wie bei den Versuchen am ruhenden Gewässer, mit den zu einem endlosen Band zusammengenähten Proben aus dem Wasser entfernt. Die Vliesstoffe fungieren dabei als Öladsorptionsmedien und auch als Ölsperre. Hinter dem Ölabschöpfergerät wurde noch zusätzlich ein Wehr in den Kanal eingebaut. Zum Abquetschen des Öls aus den Vliesstoffen wurde die gleiche Abquetschvorrichtung wie bei den Versuchen am stehenden Gewässer verwendet.

Die Versuchsauswertung entsprach ebenfalls den Versuchen am stehenden Gewässer. Die ermittelten Öladsorptionen (Tab. 5) für die verschiedenen Vliesstoffe sind zum Teil etwas geringer als bei den Versuchen am stehenden Gewässer, wobei sich die Wassermittelaufnahme geringfügig erhöht. Aber auch hier wird das Öl weitgehend entfernt.

15. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Vliesstoffe

aus Synthesefasern auf ihr Adsorptionsverhalten gegenüber verschiedenen Mineralölen, die sich im Wasser befinden, geprüft.

Neben Faserarten, die sich auf Grund ihres geringen spezifischen Gewichts für solche Untersuchungen besonders empfehlen (Polypropylen und Polyäthylen), wurden auch Fasern aus Polyester, Polyamid und Polyacrylnitril in die Versuche einbezogen. Variiert wurden Faserfeinheit, Faserlänge, Kräuselungsform und Faserpräparation. Die Mattenherstellung erfolgte über Krempel, Vliesbildeaggregat und Nadelfilzmaschine.

Die im Labormaßstab erarbeiteten Ergebnisse haben gezeigt, daß solche Vliesstoffe hervorragend zur Öladsorption geeignet sind. Die aufgenommene Ölmenge liegt je nach Mattenkonstruktion, Ölart und Ölfilmstärke zwischen dem 5fachen und dem 50fachen des Mattengewichts.

Das Öl läßt sich mittels einer Abquetschvorrichtung weitgehend aus dem Vliesstoff auspressen, sodaß die Regenerierbarkeit gewährleistet ist.

Trotz der großen Anzahl von Einflußfaktoren ergeben sich eindeutige Tendenzen:

Mit größer werdender Faser nimmt die Ölaufnahme ab. Eine Reduzierung des Porenvolumens reduziert auch die Ölaufnahme.

Mit zunehmender Ölviskosität wächst, allerdings bei gleichzeitig sinkender Aufnahmegeschwindigkeit, das Öladsorptionsvermögen.

Mit speziellen Faserpräparationen kann die Wassermittelaufnahme wesentlich verringert werden, sodaß solche Vliesstoffe auch bei geringen Ölfilmstärken auf dem Wasser eine optimale Öladsorption gewährleisten.

Die im Rahmen dieser Untersuchungen entwickelte kontinuierliche Ölabschöpfvorrichtung ist zur Beseitigung von Ölverschmutzungen auf stehenden wie fließenden Gewässern gut geeignet, wobei das Öl zurückgewonnen wird. Ein oftmaliger Einsatz der Vliesstoffe ist möglich.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Umweltschutzprogramms des Landes Baden-Württemberg durchgeführt. Dem Land Baden-Württemberg danken wir für die finanzielle Unterstützung unserer Arbeit.

Textilzyklen und Kapazitätsausbau der Chemiefaserindustrie

Karl-Heinz Rönitz

Hoechst Aktiengesellschaft, Frankfurt (M.) — Hoechst

Anhand von internationalen Daten soll im Rahmen des vorgesehenen Referates unter langfristigen Aspekten untersucht werden, ob es einen Zusammenhang zwischen den zyklischen Veränderungen in der Textilindustrie und dem Ausbau der Chemiefaserkapazitäten gibt und wie er sich auswirkt.

With international data this paper is trying to investigate under long-term aspects whether there is a relation between the cyclic changes in the textile industry and the expansion of man-made fibre capacities and what its effects are.

Die ersten Überlegungen zu diesem Thema gehen auf eine Zeit zurück, als das Chemiefasergeschäft noch auf vollen Touren lief. Die Erhöhung des Ölpreises, der plötzlich ausbrechende Nahostkonflikt und das sich anschließende Ölembargo hatten in der gesamten Welt Befürchtungen ausgelöst, daß die vom Öl abhängigen Chemierohstoffe nicht ausreichend verfügbar und ganz bestimmt nicht mehr zum alten Preis erhältlich sein würden. Die Nachfrage zog daraufhin sprunghaft an und war nicht immer voll zu decken, zumal die erwarteten Schwierigkeiten bei petrochemischen Vorprodukten zeitweise tatsächlich auftraten.

Genauso überraschend und schnell wie der Ansturm auf Fasern und andere Produkte der Chemie eingesetzt hatte, brach er in weniger als einem Jahr wieder zusammen. Was folgte, ist jene tiefe und langanhaltende „Krise“, in der wir uns gegenwärtig befinden (wobei anzumerken ist, daß die Konjunkturtheorie den Begriff der Krise anders, nämlich als „Wendepunkt oder Mittelabschnitt zwischen Hochkonjunktur und Depression“ auffaßt). Drei Argumente sprechen jedoch für die im allgemeinen Sprachgebrauch heute benutzte Bezeichnung „Krise“: Einmal ist nach Schmolders¹ die Terminologie sowieso noch im Fluß, außerdem stehen die jüngsten Ereignisse ihrem Wesen nach den älteren Krisentheorien viel näher, und schließlich hängt der Krisenbegriff entscheidend davon ab, was man als Normalzustand der Volkswirtschaft ansieht: die Unterbeschäftigung wie früher oder die Vollbeschäftigung wie seit 1945.

Die heute herrschende Krise übertrifft in ihrer Dauer den abgelösten (Mini-)„Boom“ bereits um etliche Monate und muß in ihrem Ausmaß als die schlimmste weltwirtschaftliche Krise seit Beendigung des Zweiten Weltkrieges vor etwa 30 Jahren angesehen werden. Unseres Wissens gibt es nur einen einzigen, vergleichsweise milderen Parallellfall — nämlich jenen Boom, den 1950 der schlagartig losbrechende Koreakrieg auslöste und der etwa ein Jahr später mit der Stabilisierung der Front am 38. Breitengrad schnell wieder abflachte.

Beide Ereignisse trennt, das sollte man beachten, ein *relativ* friedliches und wirtschaftlich sehr erfolgreiches Vierteljahrhundert. In diesem Zeitraum hat sich die Situation der Verbraucher grundlegend geändert. Während 1950 die Menschen noch von den Kriegs- und Nachkriegserfahrungen der Knappheit und des Mangels geprägt waren und die damalige Hausse mitverursacht haben, reagiert heute eine mit den lebensnotwendigen Gütern reichlich ausgestattete Verbraucherschaft extrem nüchtern und gelassen auf ähnliche lokale Konflikte und ihre Folgeerscheinungen. Dieses Verhalten dürfte mitbestimmend dafür sein, daß die augenblickliche Krise auf so breiter Front eigentlich fast alle Industriezweige getroffen hat und besonders stark natürlich die sowieso schon zu einer größeren konjunkturellen Instabilität neigende Chemiefaserproduktion.

Die ursprüngliche Absicht, auf mögliche künftige Gefahren für die Chemiefaserindustrie durch den Textilzyklus aufmerksam zu machen, ist inzwischen von den Realitäten überholt worden. Veränderungen im Wirtschaftsablauf mit zyklischem Charakter stellen, wie im Grunde jedermann abnte und die Wirklichkeit jetzt deutlich genug demonstriert, eine erhebliche Gefährdung des vorhandenen starren Produktionspotentials für Chemiefasern und andere Chemierohstoffe dar.

Dabei ist es offensichtlich von untergeordneter Bedeutung, ob diese Schwankungen im Endeffekt von sogenannten *exogenen* Faktoren, wie es Kriege, Naturkatastrophen und Mißernten darstellen, ausgelöst werden, oder ob sie *endogen* und folglich systembedingt mit gewisser Regelmäßigkeit aufzutreten pflegen. Das Korea-Beispiel und besonders die jüngste Krise zeigen jedenfalls, daß auch der durch einen überraschenden Anstoß von außen in Gang gesetzte wirtschaftliche Mechanismus durchaus den üblichen auf- und abschwingenden Phasen des normalen Konjunkturverlaufs folgt. Das ist darum erwähnenswert, weil die exogene Verursachung von Konjunkturen und Krisen durch kriegerische Entwicklungen, beispielsweise wie in den angezogenen Fällen, *überhaupt nicht voraussehbar* war und es auch nie sein wird.

Es erscheint allerdings durchaus möglich, nach Eintritt derartig überraschender Ereignisse den weiteren Verlauf der wirtschaftlichen Entwicklung oder bestimmter rohstofforientierter Märkte besser abschätzen zu können, oder sagen wir es noch bescheidener: künftig davor bewahrt zu bleiben, eine psychologisch bedingte und spekulativ begründete Nachfrageentfaltung kurzfristigster Natur mit einem länger anhaltenden Trend zu verwechseln — was offenbar jüngst häufiger passiert ist, als allgemein zugegeben wird.

Noch eine weitere Erkenntnis läßt sich aus der Krise der Gegenwart ableiten: Der Ablauf, die Motivierungen, die möglichen „Ursachen“ zeigen eine frappierende Ähnlichkeit mit dem Phänomen des Textilzyklus, auch wenn in Zeitdauer und Ausmaß deutlich von den Erfahrungswerten abgewichen wird. Das läßt sich jedoch mit dem *exogenen* Charakter der Krise erklären. Diese Ähnlichkeit tritt insbesondere in bezug auf den sogenannten „Pipeline-Effekt“ auf, der als ausschlaggebend für die im Textilsektor herrschende konjunkturelle Instabilität angesehen wird.

Unter Pipeline-Effekt versteht man nach internen Aufzeichnungen unseres Kollegen Brose² folgenden Zusammenhang:

Allgemein gilt für alle Rohstoffe:

- je länger die Pipeline, das heißt je mehr Verarbeitungsstufen zwischen den Rohstoffanbietern und dem Endverbraucher liegen,
- je höher die Lagerbestände innerhalb dieses Systems,
- je größer die Preisschwankungen,
- je geringer das Trendwachstum,

desto konjunkturanfälliger ist die Eingangsstufe des Systems, das heißt die Stufe der Rohstoffanbieter.

Diese Feststellung gilt nicht nur für die Chemiefaserindustrie, sondern auch für andere Bereiche der chemischen Industrie. Denn viele chemische Produkte sind Rohstoffe, die inzwischen einen hohen Anteil am gesamten Rohstoffeinsatz ihrer Verarbeitungsstufen durch Substitution von natürlichen Rohstoffen erreicht haben und deren ständig fallender Preistrend zum ersten Mal umgeschlagen ist. Dabei sollte man auch beachten, daß die Chemie in sich selbst eine Art Pipeline-Struktur besitzt, bei welcher von den Rohstoffen ausgehend über eine oder mehrere Zwischenstufen die eigentlichen Verkaufsprodukte, wie beispielsweise Fasern oder Kunststoffe, für die weitere Verarbeitung in der Industrie entstehen. Die zyklischen Schwankungen der Abnehmerbranchen schlagen natürlich auch auf die Vor- und Zwischenstufen durch bis hin zum Bereich der Mineralölindustrie, wo über die Verknüpfung mit der Petrochemie die Abhängigkeit von der Mengen- und Preispolitik der erdöl-exportierenden Länder hergestellt wird. Diese Sachlage verdeutlicht im übrigen, warum von Absatzschwächen bei den Großprodukten Fasern und Kunststoffe ein wesentlich größerer Bereich der Chemieproduktion ungünstig beeinflusst wird.

Das Fazit dieser Überlegungen lautet jedenfalls, daß für die chemische wie auch für jede andere Industrie, auf die die hier skizzierten Bedingungen für den Pipeline-Effekt zutreffen, die Konjunktorempfindlichkeit künftig tendenziell zunehmen wird.

Natürlich wäre es verfehlt, die jüngsten wirtschaftlichen Probleme ganz allein auf konjunkturelle Momente zurückführen zu wollen. Zahlreiche latente Strukturprobleme sind gerade durch den Umbruch in den letzten Jahren erst richtig offenkundig geworden und erschweren jetzt die Rückkehr zu normalen Verhältnissen, wie Rogge³ in seinem aktuellen Buch „Tendenzwende — Wirtschaft nach Wachstum und Wunder“ stark pointiert herausgestellt hat. Wie immer man auch die Akzente verteilt, sie werden ganz gewiß von Land zu Land und von Branche zu Branche unterschiedlich sein. Mit großer Gewißheit wird man allerdings sagen können, daß in der Textilindustrie die zyklischen Schwankungen eher zunehmen als abnehmen werden und analog dazu die Probleme ihrer Rohstofflieferanten.

Der drohende Konflikt zwischen den uralten zyklischen Schwankungen des Textilsektors und den modernen Rohstoffkapazitäten der „man-made-fibres“ war im Grunde langfristig vorprogrammiert. Angekündigt hatte er sich bereits in den beiden letzten Rezessionen. Mit der wachsenden Bedeutung der Chemiefasern unter den Textilrohstoffen und dem sich abschwächenden Substitutionseffekt drohte das relativ starre Produktionspotential mehr und mehr in die Ab-

hängigkeit von der wechselnden Textilkonjunktur zu gelangen. Innerhalb einer Spanne von etwas mehr als einem Vierteljahrhundert ist damit eine der bedeutendsten Innovationen unseres Zeitalters — die Faser aus der Retorte —, ein im Gegensatz zur Naturfaser von Raum, Zeit und Klima weitgehend unabhängiger Rohstoff für eines der wesentlichsten Grundbedürfnisse der Bewohner dieses Erdballs, in den Sog der bis heute noch nicht vollkommen aufgeklärten Erscheinung der Textilzyklen geraten.

Die Rezession Anfang der siebziger Jahre signalisierte erstmals die sich künftig anbahnenden Veränderungen. Der Absatz von Chemiefasern stagnierte oder war sogar bei einigen Produkten erstmals rückläufig. Die Höhe der Lagerbestände und der Grad der Kapazitätsauslastung passierten alsbald ihre kritischen Schwellen, und damit fielen die Preise fast ins Bodenlose. Der oligopolistische Wettbewerb nimmt in solchen Fällen übrigens darwinistische Formen an und wird zum „Kampf ums Dasein“, zum Krieg aller gegen alle.

In diesem Zusammenhang darf vielleicht einmal daran erinnert werden, daß sich auf Grund dieser Entwicklungen bereits 1972 ein bedeutender europäischer Chemiefaserkonzern gezwungen sah, Reorganisationspläne zu entwickeln, deren Ausführung damals am Widerstand der Belegschaften und ihrer Gewerkschaft scheiterten. Seltsam genug mag es dem Beobachter dieser Szene erscheinen, daß im gleichen Zeitraum noch in anderen Regionen Westeuropas mit Unterstützung aus supranationaler oder nationaler Quelle Chemiefaserkapazitäten erweitert oder völlig neu geschaffen werden sollten. Unter diesen Umständen mag es auch nicht verwundern, daß intensiven Bemühungen, die europäischen Institutionen auf die besonderen Probleme dieses Industriezweiges aufmerksam zu machen, der Erfolg versagt blieb.

Die weitere Entwicklung schien zunächst all jenen recht zu geben, die allein dem Markt die entscheidende Funktion zur Lösung dieser Probleme anvertrauen wollten. Vorübergehend hatte sich das Bild plötzlich grundlegend gewandelt: Am Ende des Jahres 1972 begannen die Naturfaserpreise sehr stark anzuziehen, sodaß es für die Chemiefasern eine kräftige Erhöhung der Nachfrage gab. Als diese abzuflauen drohte und sich die nächste Rezession bereits ankündigte, brach der Nahostkrieg aus, und mit dem in seinem Gefolge verhängten Ölembargo setzte jener weltweite Ansturm auf alle Rohstoffe ein, die wegen ihrer Ölabhängigkeit knapp und teuer zu werden drohten. Als sich dann in der Mitte des Jahres 1974 herausstellte, daß die betreffenden Produkte weder so knapp noch so teuer werden würden, wie befürchtet oder erwartet worden war, zugleich aber die Nachfrage sich abzuschwächen begann, brach der Boom, der im Grunde gar keiner war, in einigen Monaten wie ein Kartenhaus zusammen.

Die Konsumenten hatten dieses Spiel sowieso nicht mitgemacht. Von geringen Angstkäufen an Heizöl und Benzin bei Beginn der Ölkrise abgesehen, reagierten sie sehr nüchtern und gelassen und begannen mit fortschreitender Krise die erhöhten Belastungen ihrer Haushaltsbudgets für Heizung und Verkehr durch Einschränkungen bei anderen Posten zu kompensieren. In erster Linie wurden davon langlebige Gebrauchsgüter (wie z. B. Autos, Elektrogeräte oder Heimtextilien) betroffen, aber auch bei vielen Ver-

brauchsgütern wurde Zurückhaltung geübt. Selbst der Verbrauch von Lebensmitteln stagnierte oder war sogar rückläufig, wie kürzlich publik gewordene Informationen von Nielsen⁴, einem der größten Marktforschungsinstitute der Welt, zu belegen scheinen. Im übrigen hatte die geringe Kaufneigung der Konsumenten auf vielen Gebieten bereits 1973 eingesetzt.

Für die Übernachfrage auf der Rohstoffseite gab es somit im Bereich der Endnachfrage keine reale Stütze. Das mag für viele Industrien eine neue Erfahrung gewesen sein. Es gilt jedoch nicht für den Textilbereich und für Markenartikel der Konsumgüterindustrie.

Die Markenartikler wissen seit langem, daß bei der Einführung neuer Produkte nicht die ursprüngliche Lagerauffüllung im Distributionsbereich und selbst nicht einmal der mit massiven Promotionsmaßnahmen geförderte Erstverkauf von Bedeutung ist, sondern nur die echte Nachfrage derjenigen, die den Kaufakt wiederholen. Das Schicksal aller neuen Marken und Produkte wird von diesen Faktoren entschieden, und für die schnellste Erkenntnis dieser Marktveränderungen ist den Markenartikelfirmen auch der größte Marktforschungsaufwand nicht zu viel. Denn diese Instrumente schaffen auf privatwirtschaftlicher Basis genau das, was fast allen amtlichen Statistiken völlig fehlt: klare und exakte Angaben über Wareneingang, Lagerbestand und tatsächlichen Warenabfluß für das eigene Produkt und den gesamten Markt.

Die Problematik der Textilzyklen ist ähnlich, aber doch von etwas anderer Natur. Wegweisend ist hierzu die grundsätzliche Untersuchung über das Phänomen des Textilzyklus von Lösch⁵. Nach seinen Feststellungen gibt es im Textilzyklus Veränderungen, die nicht endabsatzbedingt sind und die nach seinen Worten offenbar durch kollektive Fehldispositionen verursacht werden. Wenn man sich diese These zu eigen macht, dann ist jeder Zyklus — und nicht nur der textilspezifische — irgendwie auch ein massenpsychologisches Phänomen, bei dem sich die anfänglich nur zaghaft keimenden positiven Erwartungen schnell zu einem übersteigerten Optimismus entwickeln können. Da in dieser Phase die Aufträge tatsächlich wachsen, nimmt auf allen Stufen des verarbeitenden Gewerbes und des Handels die Lagerhaltung erheblich zu. Irgendwann später werden sich allerdings die Erwartungen als zu hoch und die vorhandenen Lager als zu groß erweisen, und mit dem notwendig werdenden Lagerabbau wird auch die Stimmung ins Gegenteil umschlagen. Die entstehenden Lagerzyklen beruhen offensichtlich auf Fehleinschätzungen und Irrtümern und verraten einen erheblichen Mangel an ausreichender und schneller Information über die tatsächlichen Gegebenheiten in den Transformationsstufen der Industrie bis hin zum Endverbrauch.

In diesen Erfahrungen steckt jedenfalls die gemeinsame Erkenntnis, daß gelegentlich die erfolgreich verkauften Waren oder Rohstoffe mengenmäßig nicht notwendigerweise mit der tatsächlichen Nachfrage des Endverbrauchers identisch sein müssen. Der Idealfall, auf den der Begriff der Pipeline zurückgeht, die Übereinstimmung von Rohstoffinput und Fertigwarenoutput an Konsumenten scheint in diesem System selten und mehr zufällig erreicht zu werden. Synchrone Abläufe funktionieren offenbar immer dann gut, wenn es sich um stark substitutionsträch-

tige, längerfristige Expansionstrends handelt, wie sie beispielsweise bei Chemiefasern oder Kunststoffen in den letzten Jahrzehnten auftraten. In Krisenfällen zeigen sich jedoch Probleme, die darüber hinaus bei vorwiegend exportintensiven Produktionen durch die langen Transportwege den Pipeline-Effekt besonders verstärken. Während die Monate vorher geordneten Lieferungen nach Ozeanien, Südostasien und Südamerika noch auf dem Seeweg unterwegs sind, ist bei einer weltweiten Krise auch in diesen Regionen die Nachfrage längst schon zusammengebrochen.

Bei normalen Konjunktur- und Textilzyklen war das früher anders. Glücklicherweise war ihr Ablauf nach Ländern und Kontinenten zeitlich verschoben. Bei einer Rezession in Westeuropa konnte man daher das „Exportventil“ öffnen und die in Westeuropa nicht nachgefragten Produkte nach Amerika oder Asien absetzen. Vor allem galt das für die vom Export stark abhängige Industrie der Bundesrepublik Deutschland.

Die gegenwärtige Krise hat inzwischen vieles verändert. Sie ist eine weltweit wirkende Realität, die alle ziemlich gleichmäßig und ohne Unterschied getroffen hat. Die Wirkungen sind für jedermann spürbar. Damit hier jedoch keine Mißverständnisse entstehen und insbesondere exogene Krisen mit endogenen Zykluserscheinungen nicht unkritisch in einen Topf geworfen werden, mußten wir aus aktuellen Gründen diesen etwas längeren Vorspann bringen.

Die Tatsache, daß es generell einen Textilzyklus gibt, soll hier in fünf knappen Thesen dargestellt werden. Einige Abbildungen (Abb. 1—5) sollen zusätzlich das belegen, was jedem im Textilbereich Tätigen seit lan-

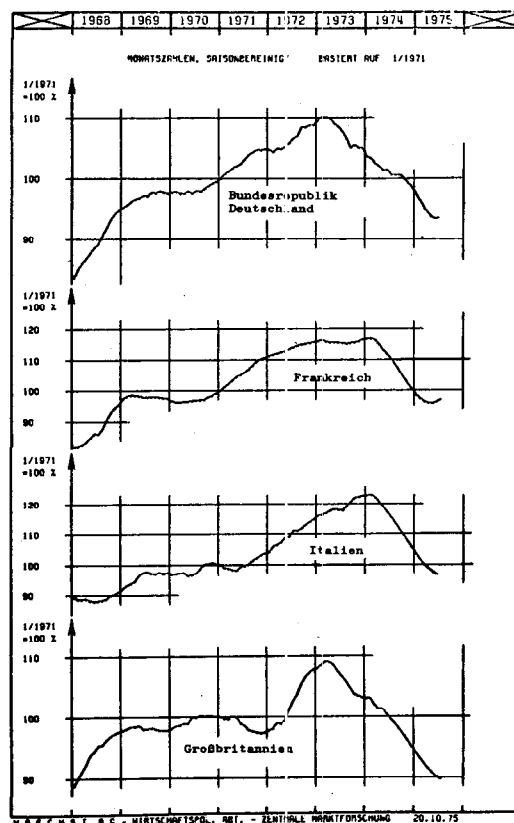


Abb. 1: Die Produktionsentwicklung in der Textilindustrie einiger EWG-Länder

gem geläufig ist. Dabei wurden die in Dornbirn im mündlichen Vortrag mit freundlicher Genehmigung von Professor Helmstädter⁶ von der „Forschungsstelle für allgemeine und textile Marktwirtschaft“ an der Universität Münster dargebotenen Schaubilder durch eigene, damals noch nicht verfügbare Kurvendarstellungen ersetzt.

Beide Darstellungen haben gemeinsam, daß die Entwicklungen des Textilgeschehens mit mathematischen Computerprogrammen saisonal bereinigt und anschließend auch vom Computer gezeichnet werden. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, daß wir etwas aktueller sind und außerdem nicht den langfristigen Trend eliminiert haben. In Anbetracht der außergewöhnlichen Ereignisse in den Jahren 1974 und 1975, die vermutlich doch in gewisser Weise einen Trendbruch darstellen, halten wir dieses Vorgehen für sinnvoller.

In diesem Zusammenhang möchten wir einmal die große Bedeutung der Forschungsstelle auf diesem Gebiet betonen. Autoren wie Lösch⁵, Helmstädter⁶, Frenzel⁷ und andere haben das Phänomen der Textilzyklen beschrieben, analysiert und zu erklären versucht. Auch unsere Darstellung basiert auf internen Ausarbeitungen eines ehemaligen Münsteraner Kollegen⁸.

Tabelle 1 beschreibt das Erscheinungsbild der Zyklen und teilweise auch deren Auswirkungen. Dabei sollte deutlich geworden sein, daß sich hier Lagerzyklen bilden, die nach Lösch⁵ von regelmäßigen „kollektiven Fehldispositionen“ hervorgerufen werden. Kom-

Tabelle 1: Fünf Thesen zur Textil- und Chemiefaserkonjunktur

1. Es gibt einen Textilzyklus von 2 1/2 bis 3 1/2 Jahren.
2. Der Textilzyklus ist in allen westeuropäischen Ländern zu beobachten. Er läuft teilweise synchron mit dem der Bundesrepublik.
3. Die Textilindustrie ist konjunkturell instabiler als die übrige Industrie. Sowohl die Intensität als auch die Häufigkeit der Konjunkturschwankungen ist größer.
4. Alle Textilbranchen werden von der Textilkonjunktur tangiert, aber in unterschiedlichem Maße. In den konsumfernen Sparten sind die Ausschläge stärker.
5. „Den Letzten beißen die Hunde.“ Der Chemiefaserabsatz wird von den Konjunkturschwankungen am stärksten betroffen.

men zu dieser generellen Tendenz noch Substitutions- und Resubstitutionsprozesse zwischen Chemiefasern und Naturfasern hinzu, so verstärkt sich der akzeleratorische Effekt, wie H. H. Kaup⁹ kürzlich nachgewiesen hat, um ein Mehrfaches.

Der Umfang der Lagerhaltung in den vielen Stufen der textilen Pipeline vom Faserhersteller bis zum Handel wurde von Kaup für ausgewählte Chemiefasern mit 70 bis 100 Prozent eines Jahresbedarfs beziffert. Das deckt sich mit amerikanischen Ermittlungen, wonach Chemiefasern je nach Art, Verarbeitung und Verwendung normalerweise zwischen 9 und 12 Monate benötigen, um die gesamte Pipeline zu durchlaufen. Es liegt auf der Hand, daß dieser Mittelwert beträchtlichen Spielraum nach oben und nach unten zuläßt. Seit der Ölkrise wissen wir, wie schnell

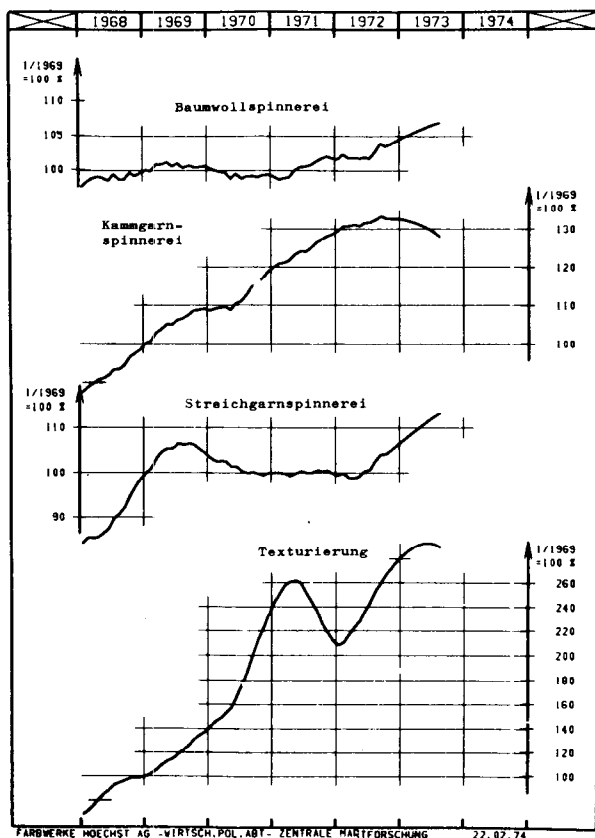


Abb. 2: Die Absatzentwicklung in der BRD — Spinnereien und Texturierung

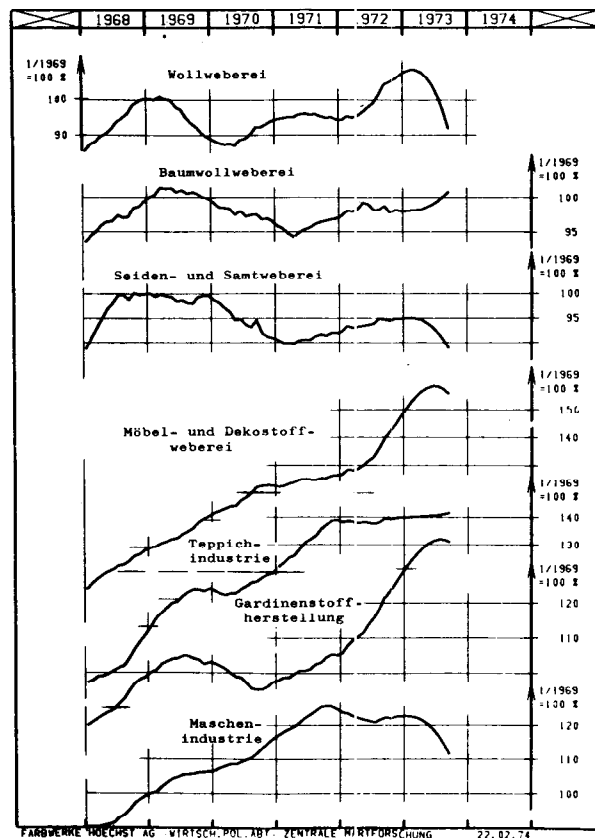


Abb. 3: BRD — Webereien und Maschinenindustrie (Garnverarbeitung = Produktion)

innerhalb relativ kurzer Zeitspannen Expansion und Kontraktion in der Pipeline möglich sind und wie steil der plötzliche Abschwung aus einer Übernachfrage sein kann, wenn die Industrie sich ihrer weit überzogenen Lagerpositionen bewußt geworden ist und gerade noch das Nötigste abrufft.

Nach den Entwicklungen der letzten drei Jahre ist es sicher nötig, die Ursachen für die Entstehung von Textilzyklen neu zu überdenken. Monokausale, das heißt auf eine Ursache allein zurückgehende Erklärungen dürften nicht zutreffend sein. Wir müssen uns wohl damit abfinden, daß ein ganzes Bündel von Einflüssen — unter Umständen sogar gegensätzlicher Natur — die Textilzyklen in Bewegung setzen. Wir haben dazu Auffassungen, Meinungen und Eindrücke, aber alles das ist nicht gesichert und wissenschaftlich bewiesen. Es sind allenfalls Spekulationen. Doch warum sollte das in einem erheblich von Erwartungen, Hoffnungen und viel Fingerspitzengefühl geprägtem Umfeld langer textiler Produktionsprozesse nicht einmal gestattet sein?

Der Textilzyklus wird unserer Meinung nach durch ein bestimmtes Grundmuster hervorgerufen und durch zusätzliche Einflußfaktoren verstärkt oder gebremst:

1. Die Grundthese lautet, daß sich in einem bis zu fast 12 Monaten erstreckenden Produktions- und Verteilungsprozeß mit vielen Stufen und Zwischenlagern der Ziehharmonika-Effekt von "Stop" und "Go", wie wir ihn vom Kolonnenfahren auf der Autobahn kennen, zwangsläufig ergibt. Was bei unmittelbarem Sichtkontakt nach vor und hinten in einer Autokolonne nicht einmal dem menschlichen Individuum möglich ist — nämlich stetig Anschluß an seinen Vordermann zu halten — erzeugt ganz gewiß bei jeder komplizierteren Organisationsstruktur größere Timelags in der Reaktion und somit automatisch stärkere, akzeleratorisch wirksame Ausschläge. Dieses Grundmuster für die Entstehung von zyklischen Schwankungen ist strukturbedingt und nur wenig beeinflussbar.
2. Jeder rohstoffmäßig, verfahrenstechnisch oder modisch verursachte Umstellungsprozeß in der Pipeline erzeugt systembedingt eine überhöhte Nachfrage für den präferierten Textilrohstoff und entsprechende schnell wirksam werdende Rückgänge für das substituierte Material. Die synthetischen Fasern haben natürlich in ihrer Entwicklungs- und Ausreifungsphase in den letzten 25 Jahren von diesem Substitutionseffekt profitiert. Sie haben sich im Grunde mit steigenden Anteilen bei Artikeln des Endverbrauchs und mit der Füllung der Pipeline für den wachsenden Bedarf überproportional verkauft. Inzwischen sind sie zum bedeutendsten Textilrohstoff in der Bundesrepublik und in Westeuropa geworden und bekommen bei Rückschlägen im Textilbereich bei einer Entleerung der Pipeline den umgekehrten Effekt verstärkt zu spüren.
3. Der langwierige Produktions- und Verteilungsprozeß im textilwirtschaftlichen Bereich hat zwangsläufig zur Folge, daß den Rohstoffpreisen und ihrer Entwicklung ganz besondere Bedeutung zukommt. Extreme Schwankungen in den Einstandspreisen von Textilrohstoffen, wie sie in den letzten Jahren
4. Ein besonders neuralgischer Punkt in der Textilpipeline ist sicherlich die Schaltstation, die zwischen den Erwartungen und Vorstellungen der Verbraucher und der Produktion von Bekleidung vermittelt. Der Textileinzelhandel hat hier eine große Aufgabe übernommen und sicherlich mit viel Geschick immer wieder gelöst. Ein wenig zweifelhaft bleibt trotzdem, ob die vom Handel getroffene Vorauswahl für das Angebot wirklich optimal ist. Die an sich recht flexible Pipeline ist, wie wir wissen, durchaus imstande, sich im Laufe einer Saison noch an besondere Schwerpunkte des Bedarfs anzupassen. Aber ob das ausreicht, die echten Bedürfnisse des Textilkonsumenten wirklich zu befriedigen, ist fraglich.

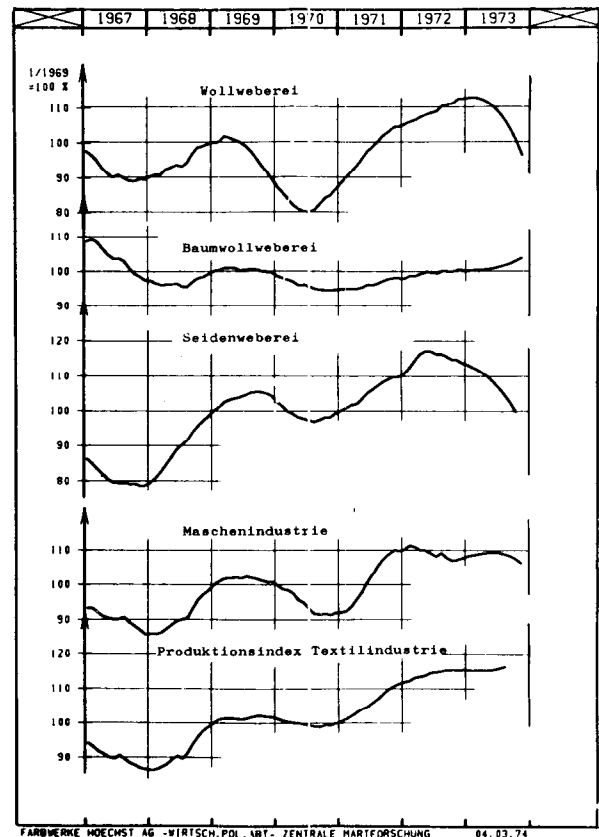


Abb. 4: Frankreich — Webereien

5. Ungewißheit und unvollkommene Information über die eigentlichen Wünsche des Verbrauchers scheinen in der Textilwirtschaft nach der Ölkrise gewachsen zu sein. Die Beeinflussbarkeit von Stimmungen, von sehr kurzfristigen Eindrücken hat Vorrang. Eine Ware, die fast ein Jahr braucht, um vom Rohstoffhersteller in die Hände des Konsumenten zu gelangen, stellt an sich schon ein außerordentliches Problem dar. Es im großen und ganzen immer wieder gelöst zu haben, ist ein bedeutendes Verdienst aller am Textilbereich partizipierenden Sparten. Trotzdem bleibt die Frage offen, ob und wie man den textilen Produktions- und Verteilungsprozeß noch verbessern könnte.

Wenn wir uns jetzt den Kapazitäten — den Chemiefaserkapazitäten im besonderen — zuwenden, müssen wir feststellen, daß wir uns auf unsicheren Boden wagen. Was technisch existent und leistungsbestimmend sowie volks- oder betriebswirtschaftlich relevant ist, existiert statistisch kaum. Kapazitäten erfährt man in der Bundesrepublik Deutschland aus der Fachpresse, die von den Firmen, gelegentlich von Verbänden und häufig generalisierend und meistens sehr unvollständig von Wirtschaftsinstituten gespeist wird.

Die vier Feststellungen zum Kapazitätsausbau bei Chemiefasern gehen deshalb im wesentlichen auf eine der wenigen empirischen Untersuchungen der deutschen Industrie zurück (Tab. 2).

Tabelle 2: Vier Feststellungen zum Kapazitätsausbau bei Chemiefasern

1. Kapazitäten orientieren sich grundsätzlich am Markt und seiner mittelfristigen Entwicklung.
2. Neben günstigen Absatzerwartungen spielen als Investitionsmotive auch die Verbesserung der Produktqualität und Kostensenkung durch technisch fortschrittlichere Verfahren eine wichtige Rolle.
3. Im Konjunkturaufschwung ist das Klima für Entscheidungen über Ausbauten immer günstiger als im Abschwung.
4. Wenn im Zuge eines abgeschwächten Trendwachstums die zyklisch bedingten Ausschläge zunehmen, erhöht sich der Einfluß der Textilizyklen auf Investitionsentscheidungen.

1. Chemiefaserkapazitäten werden in der Regel von den Gegebenheiten und Möglichkeiten des Marktes her geplant. Günstige Absatzerwartungen sind nach Gutenberg¹⁰ in den großen, mit Polymerproduktionen befaßten Chemieunternehmen das absolut ausschlaggebende Motiv für Erweiterungsinvestitionen. Am schwierigsten ist dabei immer der Anfang, wenn man vor der Entscheidung steht, ein neues Produkt aus der eigenen Forschung oder auf Grund einer Lizenz aus dem Stadium der Pilot-Plant in die großtechnische Produktion zu bringen. Man hat häufig nur ein paar Vergleichsdaten von zumeist nicht richtig geeigneten Ländern, in denen das neue Material unter den dort vorherrschenden Bedingungen irgendwelche Schwerpunkte zeigte. Und manchmal hat man gar nichts — nur ein Produkt, an das die Techniker glauben und auf das die Verkäufer hoffen.

Blicken wir zurück zum Start der synthetischen Fasern vor 25 Jahren in Deutschland, den Polyamiden, den Polyestern und den Polyacrylnitrilen, dann muß man zugeben, daß die damalige Entscheidung über Größenordnung, Typenprogramm,

Schwerpunkte und Zielrichtung der Marktbearbeitung tausendmal schwerer war als für jede Fabrik, die heute von irgendjemand bis zum Key-turnpoint irgendwo in der Welt auf die grüne Wiese gesetzt wird. Es war ein unternehmerisches Wagnis, das von vielen technischen und marktforscherischen Expertisen zwar gestützt, aber nicht absolut und endgültig abgesichert werden konnte. Dazu waren die Produkte zu neu.

2. Neben günstigen Absatzerwartungen, die vor allem für Erweiterungsinvestitionen gelten, treten in der Chemie und insbesondere im Chemiefaserbereich noch weitere Investitionsmotive auf, die vor allem bei Ersatzinvestitionen Bedeutung haben. Das ist einmal die Veränderung und die Verbesserung des neuen Produktes. Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet einer neuen Chemiefaser sind ständig bemüht, dem neuen Produkt aus der am Markt gewonnenen Erfahrung zusätzliche Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten zu verschaffen. Das kann sowohl aus eigener Erkenntnis wie aus der Konkurrenz zu anderen Fasern, mit denen man zwangsläufig im Wettbewerb steht, erfolgen. Man kann grundsätzlich sagen, daß sich ein Produkt, das auf Grund eigener Forschung und auf Grund von Lizenzen in die kommerzielle Produktion gegangen ist, gemäß seiner Bewährung im Verarbeitungsprozeß in Konkurrenz mit den vergleichbaren Produkten des Wettbewerbs häufig verändert. Die Polyesterfilamentgarne und -stapelfasern von heute haben beispielsweise kaum noch etwas mit den Produkten aus der Anfangszeit vor 20 bis 25 Jahren gemeinsam.

Ein weiterer Gesichtspunkt bei den Ersatzinvestitionen sind die produktionstechnischen Verbesserungen. Es leuchtet ein, daß man jede Möglichkeit wahrnehmen wird und wahrnehmen muß, die das komplizierte Produktionsverfahren synthetischer Fasern rationalisiert. Auch hier wirkt sich der Konkurrenzdruck mit erheblicher Schärfe aus. Die Vorstellung mancher volkswirtschaftlicher Theorien, daß Oligopole den Charakter eines sich auf den Lorbeeren der Vergangenheit ausruhenden Altherrenklubs haben, ist absolut irrig. Wahrscheinlich wird in keiner Marktform so hart und konsequent um das bessere Produkt und um die rationellere Herstellung gerungen als dort, wo ein halbes oder ein ganzes Dutzend internationaler Firmen auf dem Weltmarkt zusammentrifft und Tag für Tag an dem gemessen wird, was diese Firmen ihren Kunden an in Qualität und Preis konkurrenzfähigen Produkten liefern. Inwieweit das schwärmerisch verklärte Idealbild der totalen Konkurrenz aus den Anfängen der Industrialisierung Europas hier Berechtigung hat, ist sehr zweifelhaft. Man muß doch ernsthaft einmal fragen, wer denn jemals den Mut gehabt hätte, das Tor zum Reich der synthetischen Fasern aufzustoßen, wenn nicht einige, mit hoher Forschungskapazität ausgestattete Chemiekonzerne in Europa und USA hier den Anfang gemacht hätten!

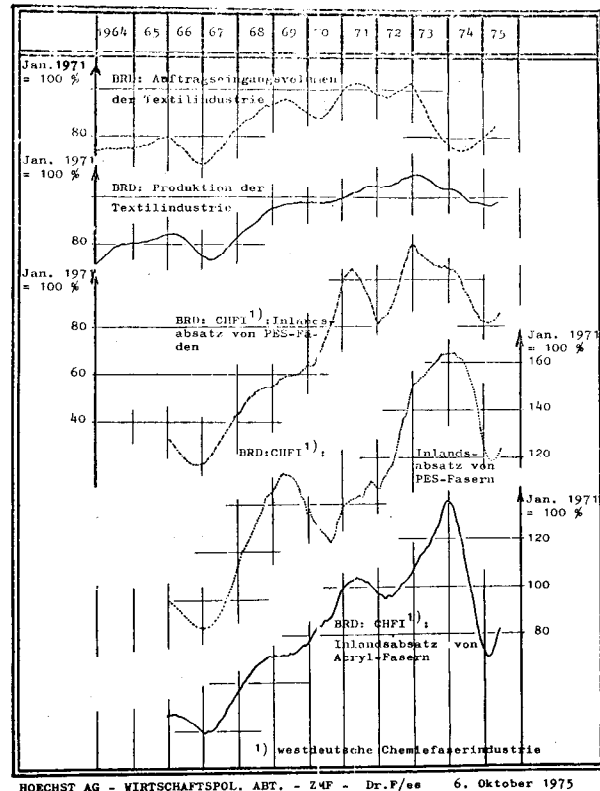
3. Bei aller Rationalität unternehmerischer Entscheidungen ist es ganz angenehm zu erkennen, daß die normale menschliche Komponente hier trotzdem irgendwie durchschlägt. In guten Zeiten, im Aufschwung, sind Unternehmer wie wir alle durch-

aus optimistisch gestimmt, und dementsprechend ist die Bereitschaft, neue Kapazitäten zu bauen, wesentlich größer. In schlechten Zeiten sind auch Unternehmer meistens genauso pessimistisch wie die Konsumenten, die dann sparen und Kaufenthaltung üben. Warum sollten sie eigentlich anders reagieren? Die Behauptung der Volkswirtschaftler und Marktforscher, daß der nächste Aufschwung bestimmt kommt, hat sich zwar immer als richtig erwiesen — aber Ausmaß, Umfang und Tiefe von Konjunktoren und Krisen hat bisher niemand mit ausreichender Sicherheit voraussagen können. In dieser Hinsicht besteht ein grundsätzlicher Konsens, daß wir uns alle geirrt haben, besonders wenn es um exogen verursachte Krisen — wie Korea und Nahost — ging.

4. Solange die auf Markterweiterung einerseits und auf Substitution andererseits beruhende Expansion der synthetischen Fasern sich im Rahmen eines starken Trendwachstums vollzog, spielten zyklische Erscheinungen kaum eine Rolle. Die Synthetics traten vor etwa 25 Jahren, als ihre kommerzielle Produktion in der Bundesrepublik Deutschland begann, nicht als Kinder der Not, nicht als Ersatz, an. Ihr Aufstieg begann in einer Welt, die damals keinen Mangel an natürlichen Faserrohstoffen und zellulosischen Fasern hatte. Sie mußten also irgendetwas Neues bieten: Eigenschaften und Vorteile, die die anderen Rohstoffe nicht besaßen. Wer wäre sonst bereit gewesen, die exorbitanten Preise dieser ersten vollsynthetischen Fasern zu bezahlen, die im Gegensatz zu den halbsynthetischen Produkten keine Umwandlung eines anderen Naturproduktes mehr waren, sondern voll aus der Retorte stammten — man-made-fibres — von Menschenhand erzeugte Textilfasern also, an deren Entdeckung die Chemie des an natürlichen Textilrohstoffen armen Europas einen bedeutenden Anteil hat?

So lange wie diese Produkte sich auf dem Wege der Substitution in immer neue Einsatzgebiete hinein-arbeiten konnten auf einem sowieso bedeutenden Expansionspfad der gesamten deutschen und westeuropäischen Wirtschaft, bedeutete jeder Abschwung im Textilzyklus nur eine kurze zeitweilige Verlangsamung der Ausbreitung. Je größer jedoch der Anteil der Chemiefasern und besonders der Synthetics in der Textilverarbeitung der westlichen Volkswirtschaften wurde, desto größer wurde auch die Anfälligkeit für zyklische Schwankungen. Nach 1967, als sich beispielsweise in der BR Deutschland ihr Anteil der 50-Prozent-Marke näherte und das Trendwachstum sich verlangsamte, wurde deutlich, daß jeder zyklische Ausschlag künftig auch für die Chemiefasern und besonders für die Synthetics Stagnation oder sogar Rückschläge bringt. Seit Anfang der siebziger Jahre ist es nun so weit, daß die Chemiefasern in Deutschland, die dort mit einem Anteil von zwei Drittel am Textilverbrauch vertreten sind, jede Talfahrt der Textilkonjunktur mitmachen — und das sogar infolge der Besonderheiten der textilen Pipeline überproportional.

In Anspielung auf unsere fünfte These und das dazugehörige Schaubild (Abb. 5) wird deutlich, daß „die



HOECHST AG - WIRTSCHAFTSPOL. ABT. - Z4F - Dr.F/ss 6. Oktober 1975

Abb. 5: Intensitätsvergleich von Konjunkturschwankungen: Textilindustrie — synthetische Fasern

Hunde, die den letzten beißen“, schnell größer und gefährlicher geworden sind.

In der heutigen Situation, wo die meisten Chemiefaserfirmen mit erheblicher Kurzarbeit und rigorosen Sparmaßnahmen die Fahrt durch das tiefste Tal seit Ende des Zweiten Weltkrieges durchstehen müssen, werden zweifellos auch Überlegungen nicht ausbleiben können, in welchem Umfang bestehende Investitionspläne gestreckt und zeitweilig aufgeschoben werden können.

Zusammenfassung

Auf einen allgemeinen Nenner gebracht, lautet das Fazit aus den hier vorgetragenen Thesen und Feststellungen wie folgt:

Wenn im Zuge eines abgeschwächten Trendwachstums die zyklisch bedingten Ausschläge zunehmen, erhöht sich der Einfluß der Textilzyklen auf Investitionsentscheidungen der Chemiefaserindustrie.

Für die Chemiefaserindustrie, aber auch für die Textilwirtschaft in ihrer Gesamtheit ergeben sich aus Darstellung und gegenwärtig herrschender Krise folgende Konsequenzen:

1. Zyklische Ausschläge im textilwirtschaftlichen Bereich treffen alle in der Pipeline, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß. Tatsächlich „sitzen wir alle in einem Boot“.
2. Die textile Pipeline ist ein sehr komplexes System, Demontagen in einzelner Stufen, wie z. B. bei der Bekleidung, gefährden langfristig alle Vorlieferanten.

3. Zyklen dämpfen heißt, Zyklen frühzeitig erkennen. Schnellste Information über Läger, Absatz, Produktion und Aufträge ist wichtiger als absolute Exaktheit. Wo staatliche Institutionen diese Forderung nicht erfüllen können, ist Selbsthilfe angebracht.

Die stärkere Einwirkung der Zyklen auf Produktion und Planung der Chemiefaserindustrie, mit der in Zukunft zu rechnen ist, wirft die Frage nach möglichen Frühwarn- oder Früherkennungssystemen für den Textilbereich auf (ähnlich bei Rogge³ oder Juvet¹¹, dem Generaldirektor des C. I. R. F. S.). Dabei gehen wir davon aus, daß auch andere Stufen und im Grunde die gesamte textile Pipeline an einem solchen System interessiert sind.

Die ersten Ansätze für eine Zusammenarbeit internationaler Textilfachverbände in dieser Richtung liegen inzwischen vor und sind ermutigend. Vor allem wird es künftig darum gehen, schnellere und bessere Informationsmöglichkeiten zu schaffen. Denn nur durch eine bessere Markttransparenz wird es möglich sein, die negativen Auswirkungen unseres textilen Produktions- und Verteilungssystems zu dämpfen und eventuell sogar einmal zu überwinden. Bis jetzt sind es nur Versuche — aber Versuche, die angesichts der bedrückenden Erfahrungen aller mit der jüngsten Krise nicht enden dürfen!

Literatur:

- 1) G. Schmölders: „Konjunktoren und Krisen“; Hamburg 1955
- 2) J. Brose: „Kurzfristige Prognose des Rohstoff-Verbrauchs“; unveröffentlichtes Manuskript eines haus-internen Referats, Frankfurt 1975
- 3) P. G. Rogge: „Tendenzwende — Wirtschaft nach Wachstum und Wunder“; Stuttgart 1975
- 4) A. C. Nielsen Company GmbH: „Die Absatzsituation im Lebensmittel-Einzelhandel“; Nielsen aktuell Nr. 34, Frankfurt 1975
- 5) H. P. Lösch: „Die Textilkonjunktur im Rahmen des allgemeinen Wirtschaftsablaufs“; Köln und Opladen 1969

- 6) E. Helmstädter: „Das Phänomen der Textilkonjunktur“; Referat anlässlich der Tagung der internationalen Chemiefaservereinigung (C.I.R.F.S.) über die Textilzyklen, Wien, April 1975
- 7) H. Frenzel: „Vergleichende Analyse der Textilkonjunktur in den EWG-Staaten“; unveröffentlichtes Manuskript einer Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft; Dissertation, Münster, Oktober 1974
- 8) F. Fabian; unveröffentlichtes Manuskript einer Präsentation über Textil- und Chemiefaserkonjunktur, Frankfurt 1972
- 9) H. H. Kaup: „Die Textilzyklen — Chemiefasern“; Referat anlässlich der Tagung der internationalen Chemiefaservereinigung (C.I.R.F.S.) über die Textilzyklen, Wien, April 1975
- 10) E. Gutenberg: „Untersuchungen über die Investitionsentscheidungen industrieller Unternehmen“; Köln und Opladen 1959
- 11) J. L. Juvet; unveröffentlichtes Manuskript eines Referats zum Thema „Textilzyklus und Chemiefaserindustrie“ auf der Tagung der EPCA, Marbella 1975

Diskussion

Seidl: Lassen Sie mich nun den Wunsch äußern, daß Sie uns im Rahmen des CIRFS weiterhin mit Ihren Arbeiten zur Verfügung stehen. Wo sich so viele Informationen ansammeln, sollte es doch möglich sein, auch einen Überblick zu bekommen. Trotz der Beobachtung verschiedener Zyklen ist die wirtschaftliche Lage nicht immer einfach zu beurteilen, denn es gibt sehr viele Entwicklungen, die einen Zyklus auch unterbrechen können. Auch die verschiedenen wirtschaftlichen Verhältnisse in den einzelnen europäischen Ländern machen es besonders schwierig, bezüglich des Zyklenverlaufes eine Voraussage zu erstellen. Ebenso sind wir durch den Pipelineeffekt geplagt. Gibt es eigentlich eine Schätzung, wie viele Tonnen in der Textilpipeline in Europa enthalten sind?

Rönitz: Wir haben jetzt den erschreckenden Eindruck, daß in der Pipeline — und zwar in der wirklich ganz extensiven, vom Rohmaterial bis zum Handel hin — eine gesamte Jahresproduktion steckt.

Seidl: Das wäre in Tonnen ausgedrückt?

Rönitz: Soviel wie Österreich im Jahr an Textilien produziert, liegt auch in der österreichischen Textilpipeline.

Seidl: Das sind also gigantische Mengen, was die derzeitige Absatzlage der Faser- und Garnproduzenten wesentlich erschwert.

Perspektiven in der Herstellung von Fasern, Garnen und textilen Flächengebilden

Armin H. Keller

Internationaler Textil-Service GmbH,
Schlieren/Zürich

Nachdem die heute weltweit verbreiteten sogenannten konventionellen Verfahren für die Herstellung von Fasern, Garnen und textilen Flächengebilden in den meisten Fertigungsstufen auf Leistungswerte gekommen sind, die nur noch Steigerungen in beschränktem Rahmen ermöglichen, werden in neuester Zeit Fertigungstechniken entwickelt, welche Prognosen erlauben, daß die Leistungssteigerung der kommenden 10 Jahre diejenige der letzten 100 Jahre, besonders auf den Gebieten der Spinnerei und Weberei, um ein Vielfaches übertreffen werden. Aber auch in der Zwirnerei, der Strickerei/Wirkerei und Färberei/Druckerei/Ausrüstung ist mit erheblichen Leistungssteigerungen zu rechnen. Unter Leistungssteigerung wird nicht nur die reine Produktivität verstanden, das heißt mehr Kilo- oder Meterleistung, sondern auch Einsparung an Personal, Zeit, Wasser, Kraft etc.

Since the world-wide known so-called conventional processes for the production of fibres, yarns and textile materials have in most stages of manufacture reached efficiency values which can be increased only to a limited extent, manufacturing techniques have recently been developed of which forecasts say that the increases in efficiency in the coming 10 years will many times exceed those that have occurred in the past 100 years, especially in the fields of spinning and weaving. But also in yarn twisting, knitting and dyeing/printing/finishing considerable increases in efficiency can be expected. By increase in efficiency not only productivity, i. e. more kilos or meters in a certain time, is meant but also savings in labour, time, water, energy etc.

Vom 6. bis 15. Oktober 1975* fand in Mailand die größte Textilmaschinenausstellung aller Zeiten, die ITMA '75, statt. Für die meisten Besucher war es eine Ausstellung, reich an Neuheiten und Weiterentwicklungen. Für den auf breiter Basis informierten Fachmann war sie außerdem die Bestätigung dafür, daß wir uns in einer Periode geradezu explosionsartiger Leistungssteigerungen befinden. Für diese Feststellung ist es jedoch notwendig, auch solche Entwicklungen zu kennen, die an der ITMA '75 noch nicht zu sehen waren. In einem früheren Vortrag wurde schon darauf hingewiesen, daß die Leistungssteigerungen der 70er Jahre diejenige der vorangegangenen 100 Jahre auf einzelnen Gebieten um ein Vielfaches übertreffen werden. Das sollen einige Leistungswerte beweisen, die diesem auf die ITMA bezogenen Referat vorausgeschickt werden sollen.

Der Vortrag ist im Sinne des Fertigungsablaufs gegliedert, das heißt von der Faserherstellung bis zum

textilen Flächengebilde, einschließlich Ausrüstung. Dabei kann allerdings nur auf Leistungssteigerungen in der Menge, Verkürzung von Prozessen und Einsparungen an Personal eingegangen werden. Zu erwähnen wäre schließlich noch, daß auch auf einige Entwicklungen der fernereren Zukunft oder sogar im utopischen Bereich eingegangen wird. Mit der Bezeichnung „utopisch“ muß man allerdings vorsichtig umgehen — einiges von dem, was vor Jahren als utopische Möglichkeit galt, ist inzwischen längst im industriellen Einsatz.

Zunächst soll auf einige allgemeine Entwicklungen hingewiesen werden, ohne auf bestimmte Konstruktionen oder Firmen einzugehen. Zu Beginn eine Entwicklung des Chemiefasersektors: In Erprobung steht eine Anlage zur Herstellung von Polyesterfasern, bei der durch Computereinsatz und Automation der Personalbedarf auf ein Drittel des heutigen Standes reduziert werden kann. Im Fertigungsprozeß wird man vom Rohmaterial bis zum fertig verpackten Garnkörper je Schicht nur noch einen Mann am Computer benötigen.

Nicht allen dürfte bekannt sein, daß zu der von der Firma E. I. Du Pont de Nemours & Co. Inc. entwickelten seidenähnlichen Polyamidfaser „Qiana“ nun noch eine Polyesterfaser mit der Bezeichnung „silkluster“ von einem japanischen Chemiefaserhersteller entwickelt wurde, die der Seide noch ähnlicher sein soll. Unter Verwendung eines Lösungsmittels wird dabei im Spinnprozeß eine Faserspaltung vorgenommen, wodurch Einzelfilamente mit Durchmessern von einem Hundertstel eines dtex (0,01 dtex) erzeugt werden können.

Ein Aufgabengebiet, dem die Chemiefaserindustrie vermehrte Bedeutung schenken muß, ist die Herstellung besonderer Faserkabel und Faserkombinationen als Ausgangsmaterial für neuartige Spinnprozesse. Neue Techniken sind bereits in der Entwicklung.

Dem Thema Chemiefasern soll noch eine Weiterverarbeitungsstufe angeschlossen werden, die sich zunehmend in diesen Produktionszweig eingliedert, und zwar das Texturieren. Vor etwa 20 Jahren begann das kontinuierliche Falschdraht-Texturierverfahren mit etwa 50.000 Spindeltouren/min. In Mailand haben nun die meisten Hersteller von Falschdraht-Texturiermaschinen eine Million Spindeltouren/min demonstriert. Eine Firma liegt schon bei 1,25 Mio. Touren/min, die durch die Verwendung von luftgelagerten Spindeln realisiert werden konnten. Wesentlich übertroffen wird dieses Verfahren durch die Friktionsmethode, bei der verschiedene Hersteller Texturiermaschinen mit bis zu 3 Mio. Drehungen/min gezeigt haben. Das dürfte aber nicht der höchsterreichbare Wert sein, denn 5 Mio. Drehungen/min wurden bereits vor mehr als zehn Jahren in Japan demonstriert. Die Liefergeschwindigkeiten bei Texturiermaschinen, die anfänglich bei 100 m/min lagen, wurden bis zur ITMA '75 auf 600 m/min gesteigert. Man darf aber nicht vergessen, daß an Ausstellungen oft Leistungswerte gezeigt werden, die wesentlich über denjenigen der Praxis liegen. Liefergeschwindigkeiten von 1000 m/min wurden aber als in nächster Zeit erzielbar angegeben.

Nun einige Werte über Leistungssteigerungen in der Spinnerei. Die meisten der heute im Einsatz stehenden Karden produzieren 5 bis 6 kg Kardenband per

* Das anlässlich der 14. Internationalen Chemiefasertagung 1975 in Dornbirn als Vorschau auf die ITMA '75 gehaltene Referat wurde in dieser schriftlichen Fassung auf den Stand der ITMA aktualisiert.

Stunde, Hochleistungskarden dagegen 35 bis 45 kg per Stunde. In Mailand wurde eine Karde mit 100 kg Kardenband Stundenleistung vorgestellt. Krempeln, die speziell für die OE-Rotorspinnerei entwickelt wurden, erreichen sogar 150 bis 200 kg pro Stunde. Das alles ermöglicht allerdings eine völlige Neugestaltung der Spinnereivorbereitungsmaschinen. Aber auch die der Karde nachgeordneten Spinnereimaschinen konnten ihre Leistungen beträchtlich steigern.

In der OE-Rotorspinnerei sind nicht nur die Leistungssteigerungen beeindruckend, sondern auch die Tatsache, daß es nun bereits 16 Hersteller von OE-Rotorspinnmaschinen gibt. 1967 zeigte die Elitex/Investa in St. Louis (anlässlich der ITMA in Basel) die erste OE-Rotorspinnmaschine mit der Modellbezeichnung BD 200. Sie arbeitete mit 30.000 Rotorumdrehungen/min und Liefergeschwindigkeiten von 76 m/min (Baumwoll-Ringspinnmaschinen haben eine Liefergeschwindigkeit von 20 m/min). In Mailand wurden Rotordrehzahlen bis 100.000 U/min gezeigt. Die Liefergeschwindigkeiten wurden auf das Dreifache, das heißt bis auf etwa 250 m/min, gesteigert. Mit anderen Spinnverfahren wird man sogar Liefergeschwindigkeiten von 600 m/min und mehr erreichen.

Das heute bekannte OE-Rotorspinnverfahren wird bereits mit neuen Systemen ergänzt. Während über das elektrostatische OE-Spinnen (Battelle-Rockwell-Electrospin Corp.) zur Zeit keine neueren Ergebnisse bekannt sind, erwartete man mit großem Interesse die polnische OE-Spinnmaschine, die auf dem Luftwirbelprinzip beruht.

Ein Blick auf die Leistungssteigerungen in der Weberei zeigt, daß hier beeindruckende Ergebnisse erzielt wurden. Um die weiter unten angeführten Zahlen besser beurteilen zu können, sollen Vergleichswerte gegeben werden: Von den etwa 3 Mio. in der ganzen Welt produzierenden Webmaschinen arbeitet der weit-aus größere Teil mit Arbeitsbreiten von 100 cm und Schußeintragsleistungen von etwa 200 m/min. Die zehnfache Leistung, also 2000 m/min, allerdings auf einer 330 cm breiten Webmaschine, sah man vor drei Jahren an der ATME 1973 in Greenville, USA. Das war die aufsehenerregende tschechische Wellenfach-Webmaschine „Kontis“. In Mailand wurden fünf Wellenfach-Webmaschinen mit Schußeintragsleistungen zwischen 1000 und 3000 m/min gezeigt. Als vor einem Jahr in einem Vortrag 6000 Schußmeter/min als utopisch bezeichnet wurden, wies ein maßgeblicher Konstrukteur von Wellenfach-Webmaschinen darauf hin, daß die Bezeichnung „utopisch“ nicht mehr angebracht sei. Das bestätigt auch die Tatsache, daß eine Wellenfach-Webmaschine mit Schußeintragsleistungen von 5000 bis 6000 m/min zur ITMA 1975 angekündigt war, dann aber nicht gezeigt wurde.

Daß Großrundstrickmaschinen etwa drei- bis viermal mehr produzieren als Webmaschinen, ist bekannt. Die Stoffe sind aber nicht miteinander vergleichbar. Auf der ITMA in Paris wurde eine 120systemige Interlock-Rundstrickmaschine gezeigt, die aber keinerlei Mustermöglichkeiten bietet. Bei den Singlejersey-Rundstrickmaschinen wurde als die höchste Systemzahl 108 Strickstellen registriert. Rechts/Rechts-Großrundstrickmaschinen, die kleine Muster, sogenannte Minijacquards, herstellen können, weisen bis zu 72 Systeme auf.

Viel produktiver als Großrundstrickmaschinen aber sind die Kettenwirkautomaten und Raschelmachines. Um der Kettenwirk- und Raschelware eine bessere Dimensionsstabilität zu geben, werden zusätzliche Quer- oder Füllfäden eingelegt. Während diese Bestrebungen bei Großrundstrickmaschinen jüngerer Datums sind, wurden Kettenwirkautomaten und Raschelmachines mit Querfadenvorlage auf der ITMA '71 in Paris in größerer Anzahl gezeigt. Diese Maschinen waren in Mailand mit höheren Legeschienen- und Tourenzahlen zu sehen.

In der Textilveredlung ist es gelungen, die Behandlungszeiten zum Teil bis auf die Hälfte zu verringern und den Wasserverbrauch drastisch zu reduzieren oder aber das Abwasser weitgehend zurückzugewinnen. Die Leistungen im Filmdruck sind, selbst bei zwölf Farben, auf 30 m/min angestiegen. Die Vorbereitungszeiten für die Herstellung der Druckschablonen konnten durch den Einsatz von Spezialcomputern bis auf ein Zehntel der bisher erforderlichen Zeit verringert werden.

Im heutigen Textilmaschinenbau kommen nicht nur Materialien zum Einsatz, die ursprünglich für die Raumfahrt entwickelt wurden, auch Ingenieure, die früher Weltraumraketen bauten, sind heute im Textilmaschinenbau tätig. Es ist daher nicht verwunderlich und überraschend, daß vollkommene neue Überlegungen im Textilmaschinenbau zur Anwendung kommen.

Texturieren

Nachdem der Streckprozeß von der Chemiefaser-Spinnmaschine immer mehr zur Texturiermaschine verlagert wird, gelangt auch das Texturieren in den Bereich der Chemiefaserindustrie. Das gilt besonders für die Garne, die in großen Mengen gefertigt sind.

An der ITMA '75 zeigten fast alle bisherigen Hersteller von Texturiermaschinen neben ihren bewährten Falschdrahtmodellen auch solche nach dem Strecktexturierverfahren arbeitende. Erweitert wurde das Angebot durch Konstruktionen der Firmen Cognetex, Italien, und Murata, Japan.

Abbildung 1 zeigt die Strecktexturiermaschine von Murata. Gegenüber einer Million Spindeltouren/min, die von anderen Herstellern genannt werden, beträgt

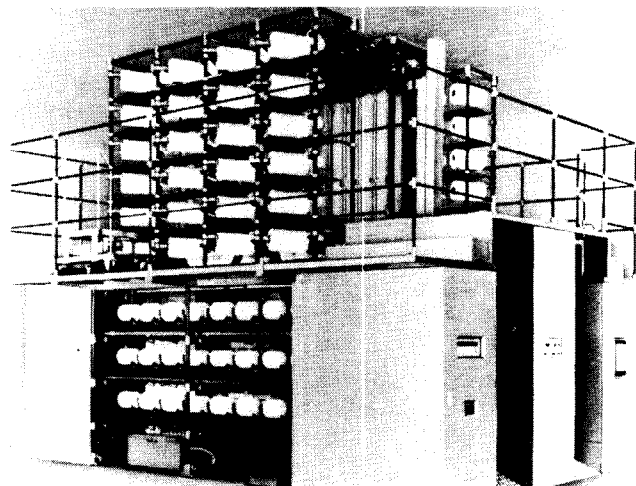


Abb. 1: Murata-Strecktexturiermaschine

die Spindeldrehzahl bei dieser Maschine 1,25 Mio. U/min. Als Neuheit wird an diesem Typ eine luftgelagerte Spindel verwendet. Die Aufwickelgeschwindigkeit geht bis zu 600 m/min.

In Abbildung 2 ist die Strecktexturiermaschine von ASA (vormals Sotexa), Frankreich, zu sehen, die mit dem Friktionssystem ausgestattet ist und mit drei Millionen Garndrehungen/min arbeiten kann. Auch diese Maschine erreicht Aufwickelgeschwindigkeiten von 600 m/min.

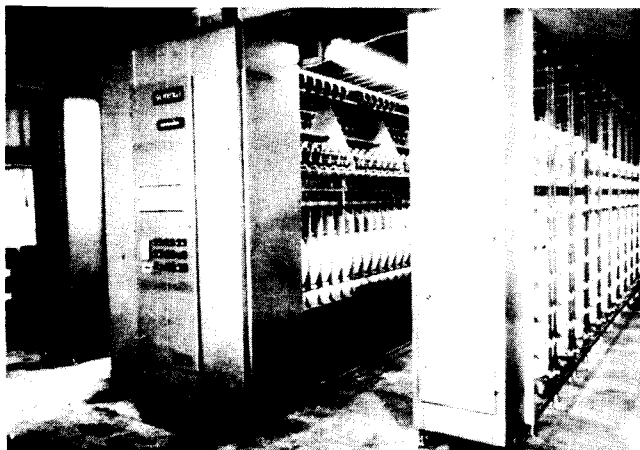


Abb. 2: ASA-(vormals Sotexa)-Strecktexturiermaschine

In diesem Rahmen bewegen sich ebenfalls die Leistungen der anderen Modelle, doch werden bereits Aufwickelgeschwindigkeiten von 1000 m/min genannt. Die Drehzahlen der Friktionstexturiermaschinen dürften gleichfalls ansteigen. Erwähnt wurde an anderer Stelle die schon vor Jahren erreichte Tourenzahl von 5 Mio. Garndrehungen/min bei der Fujiloft-Texturiermaschine. Probleme bei den höheren Drehzahlen geben noch die Schwankungen in der Gleichmäßigkeit der Drallerteilung bei Polyamidgarnen auf, die überwunden werden müssen.

Die meisten Texturiermaschinen können von Falschdrahtspindeln auf Friktionsaggregate umgerüstet werden oder umgekehrt. Viele Konstruktionen sind mit Spindeln von Heberlein & Co. AG, Schweiz, und Kugelfischer, BR Deutschland, ausgestattet.

Die immer weiter steigenden Liefergeschwindigkeiten bedingen aber auch immer kürzere Laufzeiten der Texturgarn-Kreuzspulen, oder — will man die Laufzeiten erhöhen — immer höhere Spulengewichte. Um dem Bedienungspersonal hier größeren Komfort zu bieten, haben sich verschiedene Firmen mit dem automatischen Spulenwechsel befaßt.

Die Firma Barmag, BR Deutschland, zeigte bereits auf der ITMA '71 in Paris den "crimper doffer", der an der Falschdraht-Texturiermaschine "autocrimper" einen vollautomatischen Spulenwechsel vornimmt. In Mailand stellte nun die Firma Heberlein & Co. AG, Schweiz, zur Erleichterung des Spulenwechsels eine Spulenentnahmeverrichtung vor, mit der Texturgarnspulen ordnungsgemäß aus der Maschine entnommen werden können, um Beschädigungen an Spulen oder an der Maschine zu vermeiden.

An den Falschdraht-Texturiermaschinen der Serie 31 der Firma ASA (früher Sotexa), Frankreich, werden die Texturgarnspulen, die ein Gewicht bis zu 5 kg erreichen können, von einem Abhebebügel getragen, der das Abnehmen der vollen Spule erleichtert. Das Ausschwenken des Abhebebügels löst das Ausschalten des Fadenwächter-Führers, das Entfernen des Fadens von der Avivierrolle, das Öffnen der Ansaugluftklappe und das Absaugen des Garns, das Ableiten des Fadens durch den Reservefadenführer und das Abschneiden des Fadens auf der fertigen Spule, das beim Abheben der Spule erfolgt, aus.

Mit dem "Superspeed-Crimper", einer Texturiermaschine, die nach dem Stauchkammerverfahren arbeitet, und den die Firma G. Sahn, BR Deutschland, auf der ITMA '75 vorstellte, sind Leistungen von 1000 m/min und mehr möglich. Als Vorlage dienen Polyamid- und Polyester-Filamentgarne im Feinheitsbereich von 44 bis 200 dtex (d. h. 40—180 den). Das mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ einstellbare Kräuselvolumen umfaßt einen Bereich von 5 bis 50%. Es können Spulen mit Gewichten bis zu 5 kg hergestellt werden.

Auf dem gleichen Prinzip basiert auch die Hochleistungs-Strecktexturiermaschine der Firma Neumag GmbH, BR Deutschland. Es werden Liefergeschwindigkeiten von 1600 bis 2500 m/min erreicht. Diese Texturiermaschine ist für die Herstellung von Bauschgarne für die Teppichindustrie konzipiert und kann Polypropylen- sowie Polyamid 6-Filamentgarne mit Feinheiten von 800 bis 4000 dtex (d. h. 720—3600 den) verarbeiten. In geringerem Umfang werden auch Polyamid 66-Filamentgarne vorgelegt. Versuche sind im Gang, um auch andere Synthetikfilamentgarne nach diesem Verfahren zu texturieren.

Der Stauchkräusel-Texturiermaschine der Firma J. Heathcoat & Co. Ltd., Großbritannien, können teilweise verstreckte oder unverstreckte Filamentgarne im Feinheitsbereich von 44 bis 4400 dtex (d. h. 40—4000 den) vorgelegt werden. Die Liefergeschwindigkeit beträgt nach Angaben der Firma bis zu 4000 m/min. Eine weitere Stauchkräusel-Texturiermaschine ist das Modell AB-3000 der Firma Mitsubishi Heavy Industries Ltd., Japan, die unverstrecktes Filamentgarn in Feinheiten bis zu 13.300 dtex (12.000 den) oder verstrecktes Garn in Feinheiten bis zu 4400 dtex (4000 den) mit Geschwindigkeiten bis zu 600 m/min verarbeiten kann.

Neue Spinnverfahren

Im Sektor Spinnerei sollen zunächst die Spinnverfahren besprochen werden, die an der ITMA '75 erstmals öffentlich gezeigt wurden.

Ein solches Verfahren hat die Firma Twilo in den Niederlanden entwickelt. Es handelt sich dabei um einen drehungslosen Spinnvorgang zur Herstellung von Spinnfasergarnen aus Chemiefasern, der auf dem Klebspinnverfahren beruht. Dabei wird eine Chemiefaserlunte (bisher Viskosefasern, später sollen auch andere Chemiefasern und Naturfasern verarbeitet werden können) mit einer Lunte aus Polyvinylalkoholfasern zusammengeführt. Beim Einlaufen in die Maschine werden die Luntten durch ein Wasserbad geführt, wobei sich die Polyvinylalkoholfasern auflösen und als Kleber wirken. Dem Befeuchten

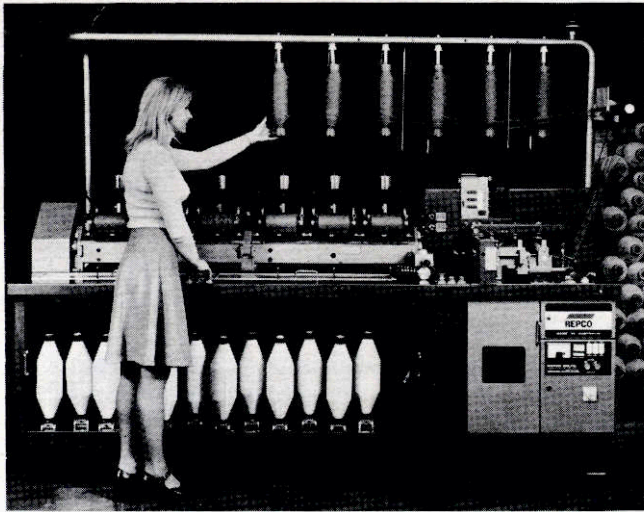


Abb. 3: "Repco-Selfil"-Spinnmaschine der Firma Platt-Saco-Lowell

folgt ein Streckprozeß, die Erteilung eines Falschdrahtes, eine Trocknung und schließlich das Aufwickeln. In der Ausrüstung wird der Klebstoff entfernt, das heißt ausgewaschen. Mit dem Twilo-Verfahren können Game in einem großen Feinheitsbereich mit Liefergeschwindigkeiten bis zu 400 d m i n hergestellt werden.

Auf einer Kombination von Wolle mit Chemiefasern beruht ein neuartiger Garntyp, der auf der "Repco-Selfil"-Maschine (Abb. 3) hergestellt wird. Während die bekannte "Repco"-Maschine der Firma Platt-Saco-Lowell vorrangig Garne für die Verarbeitung in der Weberei herstellt, ist die neue Maschine für die Fertigung von Stridgarnen konzipiert. Wie beim "Repco-Selftwist"-Verfahren wird auch beim "Selfil"-Prozeß von einer Lunte aus Wolle ausgegangen. Die Lunte wird in einem Streckwerk verstreckt und m e - Bend nach dem bekannten Selftwist-Verfahren mit einem Chemiefaser-Filament verzwirnt. Dieser Operation folgt ein zweiter Zwirnyorgang, wobei ein zweites Chemiefaser-Filament den ersten Zwirn umwickelt und dabei auch die erste Zwirndrehung wieder aufhebt. So entsteht ein offenes, weiches, speziell für die Maschinenindustrie geeignetes Garn.

Als neuartiges Verfahren stellte die Firma Dr. E. Fehrer, Österreich, das DREF-Spinnverfahren vor, das

auf der ITMA allerdings nicht gezeigt wurde. Es dient der Herstellung von Grobgarnen aus Chemiefasern, Wolle, Haaren und deren Mischungen im Feinheitsbereich von 200 bis 3000 tex (d. h. Nm 5 bis 0,3). In Abbildung 4, links, sieht man die Vorlage einer relativ groben Wirrfaserlunte, die anschließend in einem Streckwerk 1,2- bis 1,5fach verzogen wird. Eine mit 3000 U/min rotierende Auflösewalze löst die Lunte in Einzelfasern auf. Die Zentrifugalkraft schleudert die Fasern in den freien Raum. Durch die Schwerkraft und über einen Saugstutzen gelangen die Fasern auf zwei gegeneinander rotierende Siebtrommeln und bilden einen kontinuierlichen Faserbart. Die mechanisch-aerodynamische Einwirkung löst einen Faservlies-Abwälzeffekt aus. Unterstützt von einem Spinnriemenpaar erfolgt die Fadenbildung, die überraschend gleichmäßig ausfällt. Das Gam gleicht einem Streichgarn im entsprechenden Feinheitsbereich. Die Liefergeschwindigkeit wird mit 150 m/min angegeben, doch sind vermutlich wesentlich höhere Leistungen möglich (mit dem konventionellen Streichgarnverfahren erreicht man vergleichsweise etwa 30 m/min).

Die Spinnmaschine der Firma Bobtex Corp., Kanads, (Abb. 5) erregte an der ATME '73 als neuartiges Spinnverfahren Aufsehen. Diese Maschine kam nun in der zweiten, verbesserten Generation nach Mailand. Bei diesem Verfahren wird ein Filament- oder Spinnfasergarn in einen Extruder eingeführt, mit einem Polymeren ummantelt und auf die klebrige Polymermasse Kurzfasern durch Preßwalzen aufgepreßt. Neben der Tatsache, daß Abfallmaterial aller Art verwendet werden kann, beeindruckt die enorme Produktion von 600 m/min. Wenn bei einem Garn von z. B. 30 tex (Nm 34) nach dem konventionellen Verfahren 16 g, nach dem OE-Rotorspinnverfahren 120 g hergestellt werden, so produziert die Bobtex-Spinnmaschine 2000 g Gam pro Stunde. Das Gam

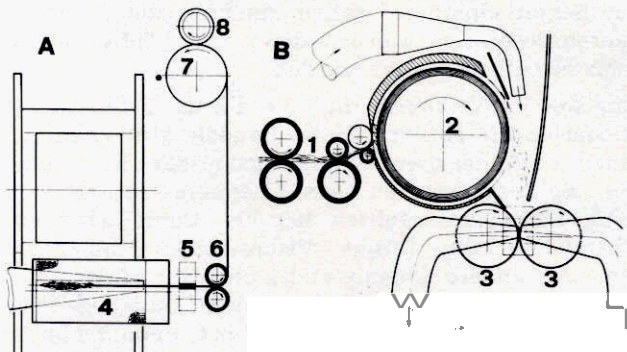


Abb. 4: Schema des DREF-Spinnverfahrens zur Herstellung von Grobgarnen

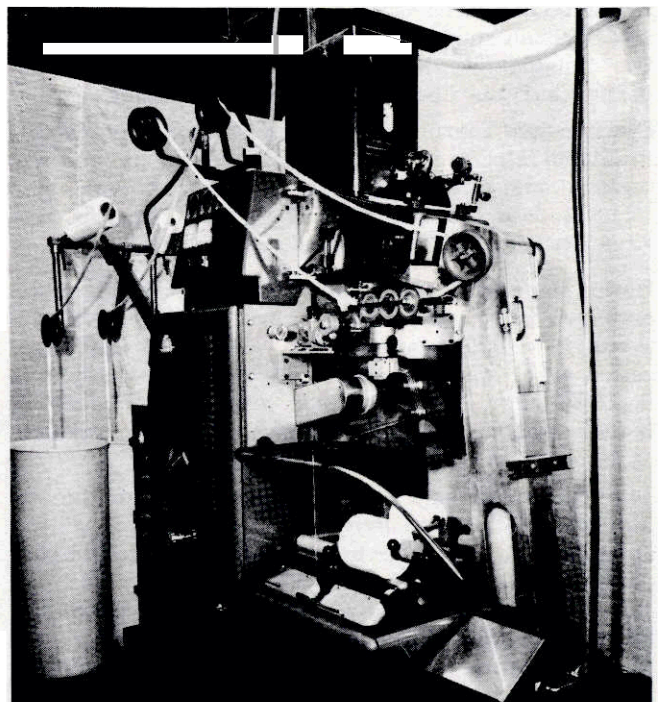


Abb. 5: Spinnmaschine der Firma Bobtex Corporation Ltd.

eignet sich zur Herstellung industrieller Gewebe, von Teppichen und Dekostoffen. Der Einsatzbereich wurde durch das neue Modell wesentlich erweitert. Wie auf der ITMA '75 bekanntgegeben wurde, hat die Firma Leesona Corp. die Lizenz zur Produktion dieser Maschine übernommen.

Konventionelle und OE-Rotorspinnerei

Hinsichtlich der Entwicklung neuer Spinnverfahren sei noch folgendes erwähnt:

- Das Rotofil-Verfahren der Firma E. I. Du Pont de Nemours & Co. Inc. zur Herstellung von fasciated yarn M zur Zeit eingestellt.
- Das Pavona-Verfahren, ein Klebspinnprozeß der Firma Rieter A&, ist nach wie vor in der Entwicklung.
- Vom elektrostatischen Spinnverfahren zur Herstellung von OE-Rotorgarnen, entwickelt im Battelle-Institut und erworben von der Electrospin Corp., USA, einer Tochtergesellschaft der Rockwell International, liegen keine neueren Angaben vor.

In der konventionellen Baumwollspinnerei ist die neue Hochleistungskarde von der Firma Schubert & Salzer AG, BR Deutschland, eine Neuentwicklung, die auch in der OE-Rotorspinnerei eingesetzt wird. Während auch heute noch der größte Teil aller in der Produktion stehenden Karden 5 bis 6 kg pro Stunde und Hochleistungskarden 35 bis 45 kg pro Stunde leisten, erreicht das Modell KU 12 bis zu 100 kg pro Stunde (Abb. 6). Diese Leistungssteigerung beruht auf einer größeren Kardierfläche durch einen auf 150 cm verbreiterten Tambour mit einer Drehzahl von 600 U/min. Eine wirkungsvolle Materialreinigung wird dabei von zwei Vorreißern und drei Abschlagkanten erzielt. Entscheidend ist auch der Querbandabzug des zweigeteilten Vlieses mit Ablage in zwei Kannen.

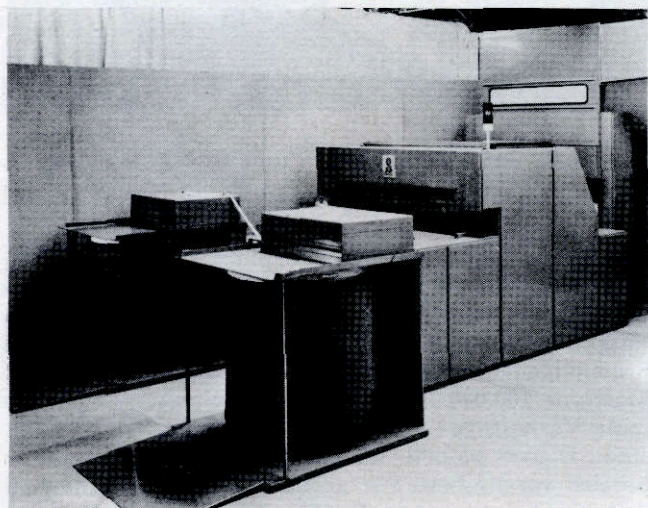


Abb. 6: Hochleistungskarde der Firma Schubert & Salzer AG, Modell KU 12

Speziell für die OE-Rotorspinnerei wurde von der Firma Hergeth KG, BR Deutschland, eine Walzenkrepfel entwickelt, die für die Verarbeitung von Chemiefasern und Baumwolle sowie deren Mischungen konzipiert wurde. Diese Maschine (Abb. 7) ist mit

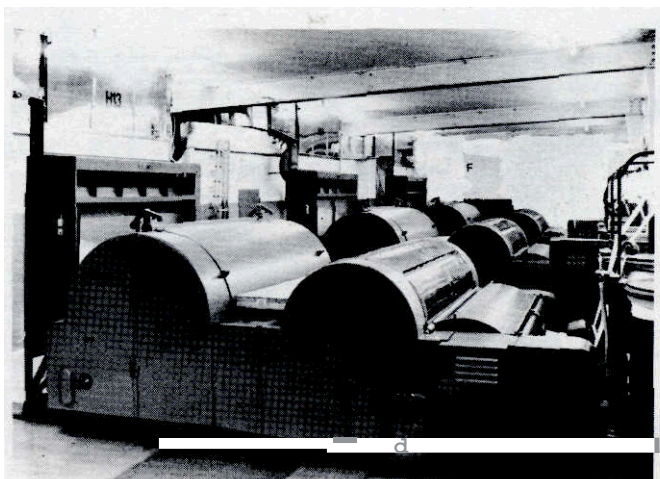


Abb. 7: Walzenkrepfel für die OE-Rotorspinnerei der Firma Hergeth KG, Type 850 DJkc (Arbeitsbreite: 2,5 m; Stapelbereich: 15—80 mm; Produktion: 80—150 kg/h)

einem 250 an breiten Tambour ausgestattet und erreicht je nach Material Produktionsleistungen von 150 bis 200 kg pro Stunde. Die Abgabe des hem-pelten Materials erfolgt in Form Lunte zur Weiterverarbeitung auf Regelstrecken oder direkt auf OE-Rotorspinnmaschinen. Zum Krepfeln von Chemie- und Naturfasern hat die Firma Krupp-Spinnbau, BR Deutschland, die vielseitig einsetzbare "System Card" neu entwickelt. Für die Verarbeitung kurzer Chemiefasern erhält diese Krepfel anstelle der üblichen Arbeiter- und Wenderwalzen stationäre Kardiersysteme. In Abhängigkeit von der Arbeitsbreite und den zu verarbeitenden Rohstoffen beträgt die Leistung bis zu 150 kg pro Stunde.

OE-Rotorspinnerei

Im Spinnereisektor konzentriert sich das Schwerkrieg der Entwicklungsarbeit auf die OE-Rotorspinnmaschinen. 1955 zeigte die Firma Spinnbau, BR Deutschland, an der ITMA in Brüssel das Meinberg-Modell einer OE-Rotorspinnmaschine. Im Jahr 1967 sah man in St. Louis anlässlich der ITMA in Basel die erste OE-Rotorspinnmaschine, das Modell BD 200, der Firma Elitex/Investa, Tschechoslowakei. Acht Jahre später, zur ITMA '75, waren es bereits 16 Firmen, die mit Kurz-, Mittel- und Langstapelversionen aufwarteten, und zwar die Firmen Elitex/Investa, San Giorgio, Rieter, Platt-Saco-Lowell, Schubert & Salzer, SACM, Howa, Krupp-Spinnbau, Houget-Duesberg-Bosson und Zinser. In Mailand waren erstmals die Firmen Barber-Colman, Marzoli, Roberts, Techmashexport, Toyoda und Varimex mit ihren OE-Rotorkonstruktionen vertreten. Von Krupp-Spinnbau wurde als Neuheit eine Kurzstapelmaschine gezeigt. Mehrere dieser Modelle sind mit Rotoren von SKF oder Süssen ausgestattet. Darüberhinaus haben weitere Firmen bereits Spinnmaschinen nach dem OE-Prinzip angekündigt.

Um die Fortschritte und Leistungssteigerungen besser bewerten zu können, seien einige Vergleichszahlen genannt: Konventionelle Baumwoll-Ringspinnmaschinen arbeiten mit durchschnittlichen Liefergeschwindigkeiten von etwa 20 m/min, Streichgarn-Ringspinnmaschinen mit etwa 30 m/min, Kammgarn-

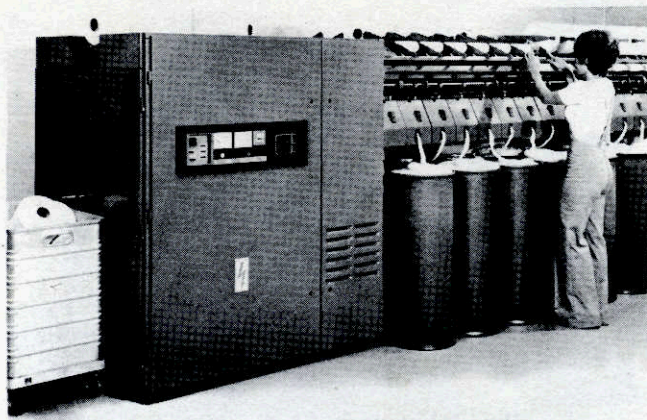


Abb. 8: Rotorspinner KU 11 der Firma Schubert & Salzer AG

Ringspinnmaschinen mit etwa 40 m/min. Die OE-Rotorspinnmaschinen der ersten Generation wiesen Liefergeschwindigkeiten von etwa 50 m/min auf, was sich bei den jüngsten Konstruktionen bis auf 200 m/min steigerte.

Bei den ersten, industriell eingesetzten OE-Rotorspinnmaschinen lagen die Rotordrehzahlen bei 30.000 U/min und die Liefergeschwindigkeiten bei 76 m/min, die wirtschaftlich zu fertigenden Feinheiten zwischen 25 und 142 tex (Nm 40 und 7). Dabei können alle Chemiefasern und Baumwolle sowie deren Mischungen bis zu 40 mm Stapellänge verarbeitet werden. Inzwischen können mit entsprechend angepaßten Rotordurchmessern Stapellängen bis zu 30 mm mit Kurzstapel-OE-Rotorspinnmaschinen, Stapellängen bis zu 120 (150, 200) mm mit Langstapel-OE-Rotorspinnmaschinen versponnen werden.

Der größte Teil aller heute in der Welt arbeitenden OE-Rotorspinnmaschinen, 1,4 Mio. Spinnstellen gegenüber rund 148 Mio. Spindeln, arbeitet in diesem Leistungsbereich. Inzwischen folgte der ersten Generation von OE-Rotorspinnmaschinen die zweite Generation, und die dritte Generation war ebenfalls bereits

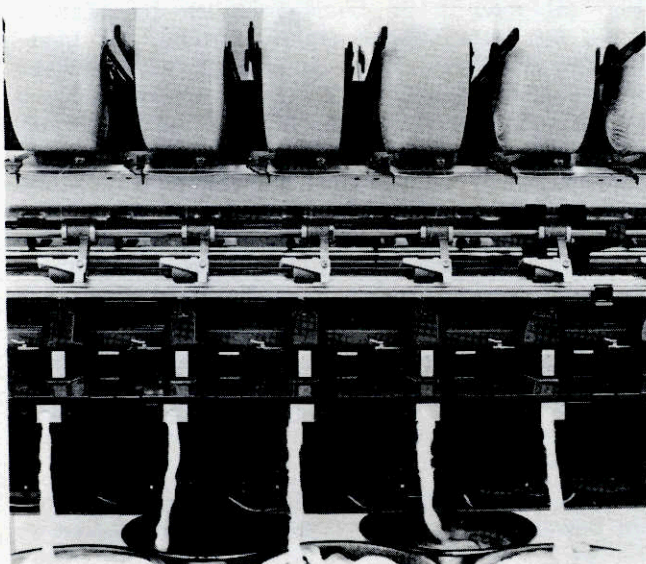


Abb. 9: OE-Rotorspinnmaschine der Firma Rieter AG, Modell M 1/1

in Mailand vertreten. Es ist schwer, die einzelnen Generationen genau gegeneinander abzugrenzen.

In Abbildung 8 wird die Maschine von Schubert & Salzer AG, BR Deutschland, das Modell RU 11, für Game im Feinheitsbereich von 17 bis 200 tex (d. h. Nm 60—5) und Stapellängen bis 80 mm gezeigt. Aufgewickelt wird auf Kreuzspulen mit Gewichten bis zu 4 kg. Für die Strickerei bestimmte Garne können paraffiniert werden. Erstmals wird auch die Möglichkeit einer Mitverarbeitung von Wolle erwähnt, wobei das Entfernen der natürlichen Wollfette bis auf etwa 0,9 % erforderlich ist.

Das Modell M 1/1 der Firma Rieter AG, Schweiz, (Abb. 9) ist die Weiterentwicklung des früheren Modells „Rotondo“. Es ist für gröbere bis mittelfeine Garnnummern im Bereich von 20 bis 167 tex (d. h. Nm 50—6) konzipiert. Die Rotordrehzahl beträgt 45.000 U/min, die Liefergeschwindigkeit reicht bis 150 m/min. Das Modell M 1/3 der gleichen Firma beruht auf der tschechoslowakischen Lizenz und ist für feinere Garne im Nummernbereich von 15 bis 142 tex (d. h. Nm 65—7) vorgesehen. Die Rotordrehzahl liegt bei 60.000 U/min, die Liefergeschwindigkeit geht bis 120 m/min.

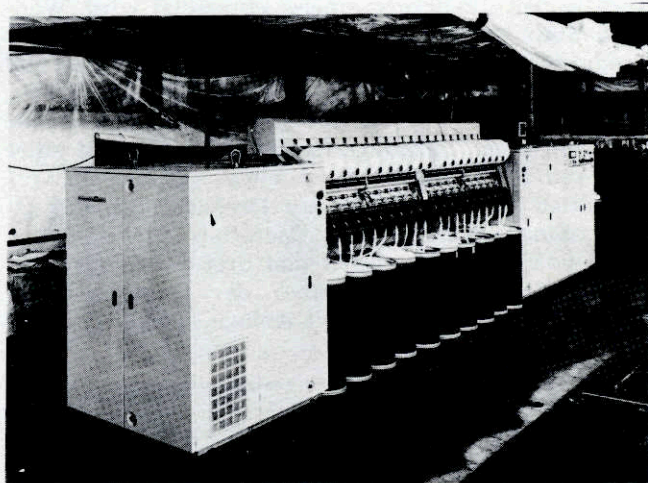


Abb. 10: Integrator 100 der Firma SACM, Mulhouse

Die Firma SACM, Frankreich, entwickelte zwei Modelle für den Kurzstapelbereich, von denen der Typ „Integrator 100“ (Abb. 10) mit dem Rotor von Süssen ausgerüstet ist. Diese Maschine erreicht, mit den firmeneigenen konstruktiven Verbesserungen an der Maschine 100.000 Rotorumdrehungen/min, wenn optimale Verhältnisse von der Rohstoffseite her gegeben sind. Dieses Modell ist für den feinen Nummernbereich vorgesehen. Für gröbere Garnnummern wird der Typ „Integrator 35/45“, für den Mittel- und Langstapelbereich das Modell „Integrator 300“ angeboten.

Erstmals war in Mailand die OE-Rotorspinnmaschine „Spin-Flex“ der Firma Barber-Colman, USA (Abb. 11), ausgestattet mit Süssen-Rotoren, geeignet für Rotordrehzahlen bis 80.000 U/min, zu sehen. Diese Parameter leiten bereits zur dritten Generation der OE-Rotorspinnmaschinen über. Auf dieser Maschine können Fasern mit Stapellängen bis zu 60 mm verarbei-

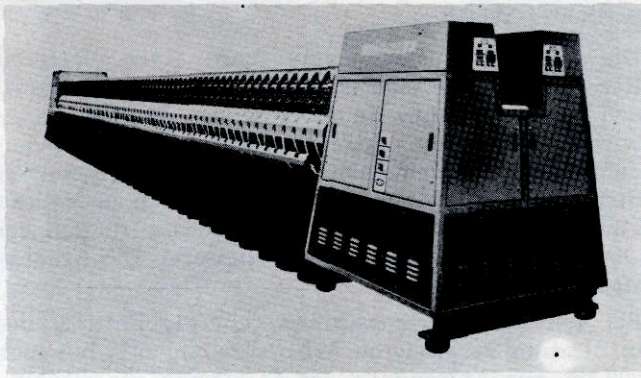


Abb. 11: Barber-Colman-Rotorspinnmaschine "Spin-Flex"

tet werden. In Anpassung an des Lieferprogramm stehen vier unterschiedliche Versionen zur Verfügung.

Die Firma Krupp-Spinnbau, BR Deutschland, hat ihre Langstapel-OE-Rotorspinnmaschine „Perfekt 300“ mit dem Modell „Perfekt 700“ (Abb. 12) für den Kurzstapelbereich ergänzt. Die neue Maschine verfügt über einen Süssen-Rotor, der mit 70.000 bis 80.000 U/min arbeitet und Liefergeschwindigkeiten bis 150 m/min erreicht. Das Ausschleiden von Materialunreinheiten erfolgt pneumatisch im Rotor. Die Maschine ist mit der automatischen Reinigungsvorrichtung „Cleancat“, einer Entwicklung von Süssen, ausgestattet. Dieser Reiniger nimmt die periodische Reinigung der Rotorboxen nach dem Wanderprinzip vor, ohne daß die Rotorbox abgestellt werden muß. Ein weiteres Hilfsaggregat ist die Anspinnvorrichtung „Spincat“, die dem Rotorreiniger auf der gleichen Schiene hinterherläuft. Die beiden Aggregate ergänzen einander, arbeiten aber völlig unabhängig voneinander.

Die Firma Marzoli & C. S.p.A., Italien, zeigte erstmals eine OE-Rotorspinnmaschine, das Modell KT 20, des mit SKF-Rotoren ausgestattet ist. Der Drehzahlbereich geht bis 60.000 U/min, während die maximale Liefergeschwindigkeit 150 m/min beträgt. Der Garnnummernbereich liegt zwischen 25 und 142 tex (Nm 40 und 7). Es lassen sich Fasern mit Stapellängen bis 60 mm verarbeiten.

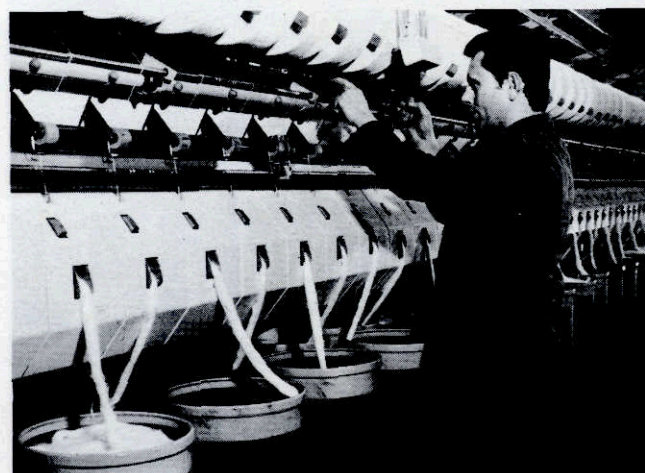


Abb. 12: Rotor-Spinnmaschine "Perfect 700" der Firma Krupp-Spinnbau

Die OE-Rotorspinnmaschine der Firma Zinser GmbH, BR Deutschland, arbeitet mit maximal 60.000 Rotorumdrehungen/min und Abzugsgeschwindigkeiten bis zu 150 m/min, einen Garnnummernbereich von 17 bis 100 tex (d. h. Nm 60—10) umfassend. Das Spulengewicht beträgt etwa 4 kg.

Die technischen Daten der OE-Rotorspinnmaschinen der Firma Roberts Italia S.p.A., Italien, entsprechen als Lizenzkonstruktionen denen der bekannten Modelle MS 400 S und MS 400 L der Firma Howa Machinery Ltd., Japan.

Nach diesen Ausführungen zeigt sich die Tendenz,

- Maschinen für gröbere Garne aus preisgünstigeren kurzfasrigen Rohstoffen mit vielen Unreinigkeiten und zusätzlichen Reinigungseinrichtungen sowie
- Maschinen für feinere Garne aus hochwertigen Rohstoffen mit konstruktiven Unterschieden

zu bauen. Deshalb haben die meisten der 16 Firmen, die bislang OE-Rotorspinnmaschinen herstellen, mehrere Typen in ihren Produktionsprogrammen, die Firma Elitex/Investa sogar 15 Modelle, die an den Endzweck der herzustellenden Garne angepaßt sind*.

Diese Übersicht soll mit der Zukunftsentwicklung der Firma Elitex/Investa, die in Mailand als OE-Rotorspinnmaschine der dritten Generation viel Beachtung fand, abgeschlossen werden. Am Ausstellungsmodell mit der Bezeichnung BDA (Abb. 13) fällt die besondere Gestaltung der Rotorbox mit den vertikalen, schallschluckenden Rippen auf, durch die der Ge-

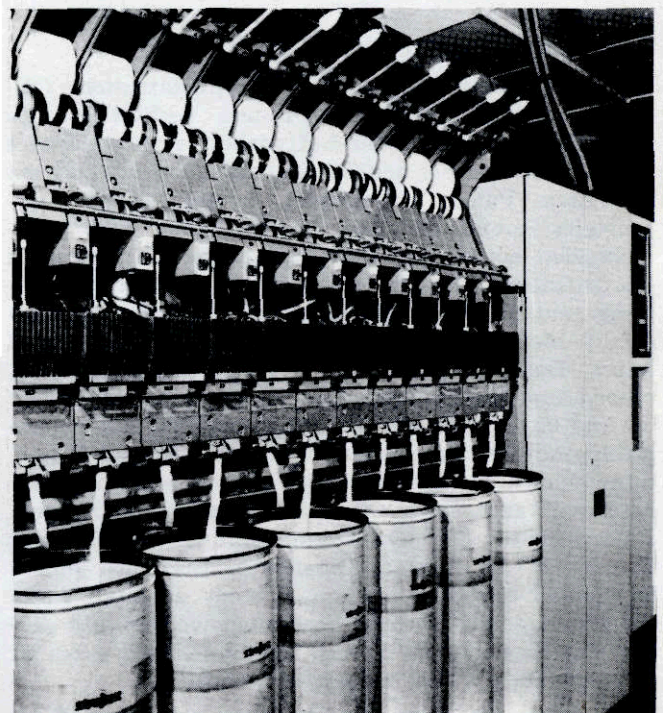


Abb. 13: Neukonzipierte Rotorspinnmaschine der Firma Elitex/Investa, Modell „BDA“

* Eine ausführliche Beschreibung aller OE-Rotorspinnmaschinen bietet das INTERNATIONALE TEXTIL-BULLETIN in einer der nächsten Ausgaben.

räuschpegel gesenkt wird. Der Rotor arbeitet mit 90.000 U/min und ist luftgelagert. Jeder Rotor verfügt über einen eigenen Antriebsmotor. Der Rotordeckel, aus dem das gut sichtbare, lange Leitrohr herausragt, kann zur Reinigung aufgeklappt werden. Die Garnaufwicklung erfolgt unter Verwendung eines Nutenzylinders zu Kreuzspulen mit einem Gewicht von etwa 2 kg. Der Nummernbereich umfaßt die Feinheiten zwischen 12 und 28 tex (Nm 85 und 35). Die Liefergeschwindigkeiten erreichen 225 m/min. Diese Maschine zeigt bereits konstruktive Merkmale, die man von der OE-Rotorspinnmaschine der Zukunft erwartet, und zwar:

- die Kannen werden automatisch vorgelegt und gewechselt,
- die Materialreinigung erfolgt im Rotor,
- nach manuellen Eingriffen wird halbautomatisch angesponnen,
- Fadenbrüche werden automatisch behoben,
- volle Aufnahmespulen werden automatisch abgenommen, abtransportiert, gestapelt und die Aufnahmehülsen eingesetzt,
- bei auftretenden Fehlern wird die Spinnstelle gestoppt und ein Signal ausgelöst.

Nur im feinen Nummernbereich, und wenn alle der vorgenannten Voraussetzungen erfüllt werden, kann diese Maschine die notwendige Wirtschaftlichkeit erbringen. Diese Konstruktion ist jedoch bereits ein Schritt in Richtung auf den sogenannten Einmannbetrieb.

Andere Spinnverfahren

Die Weiterentwicklung des elektrostatischen OE-Spinnverfahrens stagniert. Anders verhält es sich beim pneumatischen oder Luftwirbelverfahren. Dieses Verfahren wird bei der OE-Spinnmaschine der Firma Polmatex, Polen, angewendet. Anstelle eines hochtourigen Rotors ist diese Maschine mit einer stillstehenden aerodynamischen Spinnkammer ausgestattet. In dieser Kammer vollzieht sich die Faserbewegung und die Garnbildung durch einen Luftwirbel-effekt. Mechanische Abnützungprobleme gibt es also kaum. Das erste Modell war für Chemiefasern mit einer Länge bis zu 60 mm und Garnnummern zwischen 17 und 85 tex (Nm 60 und 12) konzipiert. Als Liefergeschwindigkeit wurde ein Wert von maximal 200 m/min genannt. In Mailand zeigte nun diese Firma überraschend auch eine OE-Spinnmaschine nach dem Rotorprinzip. Die OE-Spinnmaschine „DREF“ der Firma Dr. E. Fehrer, Österreich, die nach einem mechanisch-aerodynamischen System arbeitet, kann als neuartige OE-Technik bezeichnet werden. Mit dieser Maschine können Fasern mit Stapellängen bis zu 200 mm (auch Wolle) verarbeitet werden.

Alle bisherigen Aussagen bezogen sich auf Kurzstapel-OE-Rotorspinnmaschinen, die teilweise bis in den Mittelstapelbereich hineinreichen. Bei den Langstapel-OE-Rotorspinnmaschinen sind keine fundamentalen Neuheiten bekannt geworden, außer der Tatsache, daß man nun auch Game aus 100% Wolle, die entsprechend vorbehandelt wurde, nach dem OE-Rotorspinnverfahren verarbeiten kann.

Strickerei/Wirkerei

Die Maschenindustrie zeigte nach einer längeren Rezessionsperiode eine erfreuliche Marktbelebung. In den neuesten Pariser Kollektionen sind Maschenwaren wieder weit besser vertreten als in den vergangenen Jahren. Im allgemeinen sind die Hersteller von Strick- und Wirkmaschinen bestrebt, durch zusätzliche Fadensysteme und höhere Maschendichte (speziell bei Oberbekleidungsstoffen) eine bessere Dimensionsstabilität zu erreichen.

Bei den Flachstrickmaschinen geht die Entwicklung in Richtung zu größeren Arbeitsbreiten, z. T. bis über 200 cm, zur Anwendung der Elektronik für die Mustervorbereitung und die Nadelauswahl sowie die Substitution der Stahljequardkarten durch Lochstreifensteuerung. Dieser Trend, der bei den Großrundstrickmaschinen 1965 begann, hat nun auch den Flachstrickmaschinensektor erfaßt.

Von den Tschechen wurde an der ITMA '75 eine elektronische Gruppensteuerung für Kleinrundstrickmaschinen vorgeführt. Diese Steuerung bietet die Möglichkeit, daß jede Maschine einen anderen Artikel oder ein anderes Muster herstellt. Die Leistungen auf diesem Gebiet gehen bis 800 U/min.

Bei den Großrundstrickmaschinen geht der Trend zu sehr hohen Nadelfeinheiten. Das heißt zu mehr als E28 (Nadeln/"). Die Feinheit E34 zeigten an der ITMA viele Hersteller. Auf diesem Sektor ist die Marktbelebung bei den Singlejersey-Rundstrickmaschinen am markantesten. Bei den Hakastoffen geht man auf Feinheiten von E 28 bis 32 (Nadeln/"), da man mit E22 bis 24 zu niedrig lag. Auf Steigerungen der Systemzahlen wurde im Einleitungsteil bereits hingewiesen.

Zur Verbesserung der Dimensionsstabilität wurden für Großrundstrickmaschinen Zusatzaggregate entwickelt, welche das Einlegen oder Einbinden weiterer Fadensysteme ermöglichen. Bei einer Maschine, die anschließend besprochen wird, werden sogar drei Fadensysteme verwendet. Weitere Entwicklungen sind für die nahere Zukunft zu erwarten.

Abbildung 14 zeigt das Modell „Saturnia“ der Firma Matec-Billi, Italien, das in einer weiterentwickelten

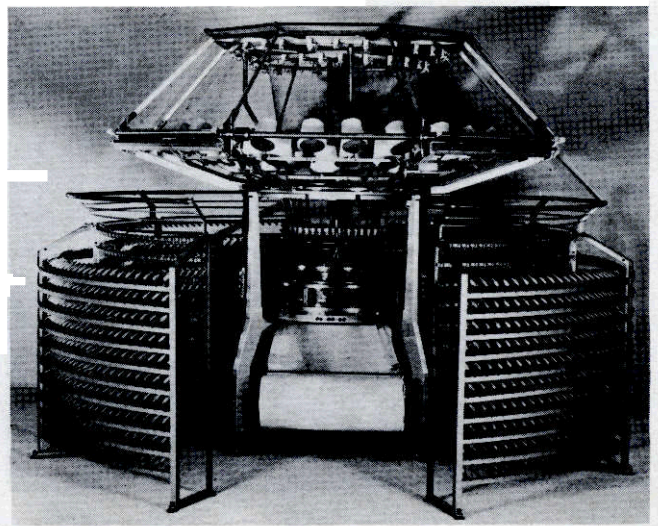


Abb. 14: Großrundstrickmaschine der Firma Matec-Billi, Modell „Saturnia“

Form in Mailand vorgestellt wurde. Diese Maschine arbeitet im Prinzip mit dem ersten Fadensystem wie eine normale Großrundstrickmaschine. Mit einem zweiten Fadensystem, das von einem kreisförmig angeordneten Spulengatter abgezogen wird, verstärkt man das erste Fadensystem zusätzlich. Das dritte Fadensystem wird wiederum von Spulen, die auf einem Spulenständer auf der Maschine aufgesteckt sind, abgezogen und liefert Einlagefäden, die nicht abgebunden werden. Es entstehen gewebeähnliche, stabile Stoffe vom Lodentyp bis zu schweren Kleider- und Möbelstoffen. Die Leittung dieser Maschine entspricht etwa der dreifachen Menge einer Sulzer-Webmaschine bei einem weitgehend ähnlichen Stofftyp.

Der Maschensektor soll mit Hinweisen auf die Kettenwirkautomaten und Rawhelmaschinen abgeschlossen werden, bei denen in die Wirkware zur Verbesserung der Stabilität Querfäden eingelegt werden. Diese Maschinen erregten schon an der ITMA '71 in Paris wegen ihrer hohen Produktion Aufsehen. Abbildung 15 zeigt eine solche Maschine der Firma K. Mayer GmbH, BR Deutschland, bei der die Vorlage des Fadens mechanisch erfolgt. Die in Mailand erwarteten Maschinen mit pneumatischer Querfadenvorlage, mit denen sich höhere Leistungen erreichen lassen, wurden nicht ausgestellt. Gegenüber Webmaschinen liegt die Produktion bei diesen Maschinen etwa sechs- bis achtmal höher, ungefähr in der Nähe der Wellenfach-Webmaschinen mit 3000 Schußmetern/min.

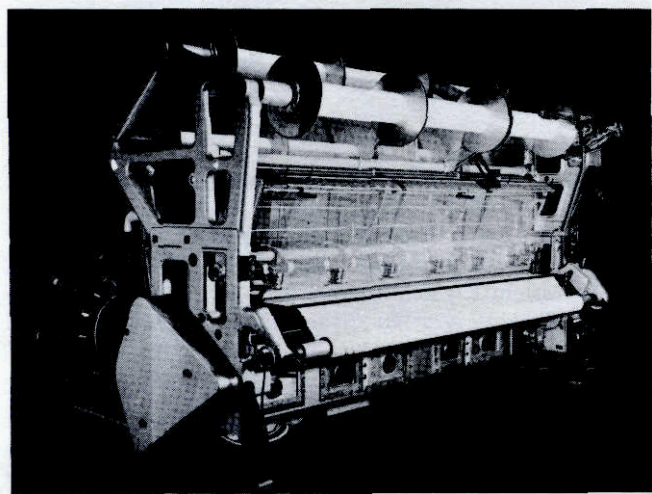


Abb. 15: Raschelmaschine mit Querfadenvorlage — Hersteller: Fa. K. Mayer GmbH, BRD

Weberei

Mit dem Sektor Weberei ist die Fachwelt am ehesten vertraut. Trotzdem ist die Entscheidung, welche Webmaschine angeschafft werden soll, bei den verschiedenen angebotenen Schußeintragsverfahren, die heute auf dem Markt sind, nicht leicht zu treffen. Außer dem bekannten Schußeintrag mit Webschützen gibt es jetzt etwa zehn verschiedene Verfahren dafür, nämlich

- Projektile,
- Greiferschützen,
- Greiferstangen,
- Greiferbänder,

- Luftdüsen,
- Wasserdüsen,
- Schußträgerkolonnen (Wellenfachprinzip),
- Rundwebmaschinen und
- kombinierte Systeme.

Damit man die Entwicklungen und Leistungssteigerungen besser vergleichen kann, sollen folgende Werte festgehalten werden:

Von den etwa drei Millionen Webmaschinen, die auf der ganzen Welt arbeiten, hat der weitaus größere Teil eine Arbeitsbreite von 100 cm und eine Schußeintragsleistung von etwa 200 m/min. Die meisten Entwicklungen der rund 60 Hersteller von Webmaschinen sind bekannt und im INTERNATIONALEN TEXTIL-BULLETTIN auch in Tabellenform mit allen technischen Daten veröffentlicht worden. Dieser Vortrag beschränkt sich daher auf Neu- und Weiterentwicklungen und wird mit Zukunftsentwicklungen ergänzt.

Die konventionellen Webmaschinen mit Schußeintrag durch Webschützen haben vom Verkauf her immer noch den größten Marktanteil. Sie werden konstruktiv ständig verbessert und zunehmend mit elektronischen Bauteilen zur Steuerung der Funktionen ausgestattet. Dadurch konnte die Schußeintragsleistung auf 600 m/min erhöht werden.

Bei den Projektilwebmaschinen wartete die Firma Gebr. Sulzer AG, Schweiz, mit 5 bis 10% höheren Tourenzahlen auf und zeigte ein Modell mit einer Leistung von 950 m/min. Bei einem anderen Modell können mit einem größeren und etwa 20 g schweren Projektil auch dickere Schußgarne (auch Noppengame) zu schweren Geweben verarbeitet werden.

Die Firma Omitta S.p.A., Italien, stellte in Paris erstmals eine Projektilwebmaschine aus, die in Mailand in neuer Version vorgeführt wurde. Bei diesem Typ sind neun Projektile in einem Trommelmagazin gelagert, die mit einem Torsionsstab durch das Webfach geschossen werden. Ein Transportband bringt sie wieder zurück in die Trommelzelle, wo sie für den erneuten Abschluß bereitstehen.

Über Zukunftsentwicklungen bei Projektilwebmaschinen soll im Verlauf dieser Zusammenstellung noch berichtet werden.

Bei den Stangengreifer-Webmaschinen zeigte die Firma Saurer-Diederichs S.A., Belgien, die weiterentwickelte Version „Versamat“. Sie erreicht nun eine Tourenzahl von 200 Schuß/min bei einer Arbeitsbreite bis zu 285 cm. Die Schußeintragsleistung erreicht 520 m/min.

Die Firma Lindauer Dornier Gesellschaft, BR Deutschland, stellte eine Frotlierwebmaschine mit Offenfach-Schußeintrag vor, der besonders gute Bedingungen für die Florbildung schafft. Die Schußeintragsleistung dieser Webmaschine liegt zwischen 370 und 440 m/min.

Die Firma SACM, Frankreich, zeigte mit ihrem Modell MAV-L eine Stangengreifer-Webmaschine, auf der mittelschwere bis schwere Gewebe mit Gewichten von 100 bis 1000 g/m² hergestellt werden können. Als Schußeintragsleistung werden, je nach Blattbreite und Schußmaterial, 430 bis 460 m/min angegeben.

Eine neue Stangengreifer-Webmaschine wurde von der Firma Jumbera S.A., Spanien, die als Hersteller

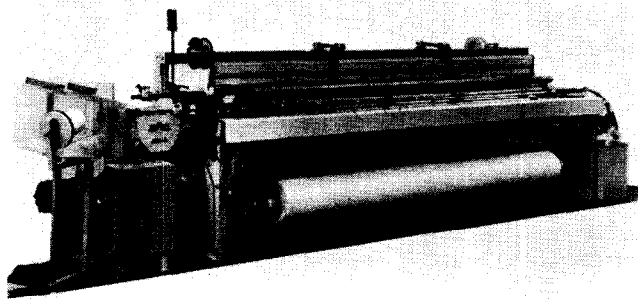


Abb. 16: Somet-Bandgreiferwebmaschine

von Großrundstrickmaschinen bekannt ist, erstmals vorgestellt. Diese Maschine wird in Breiten bis 330 cm und in fünf verschiedenen Versionen für die Herstellung von leichten bis zu schweren Geweben gebaut. Es wird eine Schußeintragsleistung von 500 m/min erreicht.

Bei den Bandgreifer-Webmaschinen zeigte die Firma Talleres Desveus, Spanien, mit 600 cm Arbeitsbreite die breiteste schützenlose Webmaschine. Sie wird speziell für die Herstellung von technischen Geweben eingesetzt und kann nach dem Baukastensystem auf Breiten bis zu 10 m ausgebaut werden.

Die Firma Somet, Italien, ergänzte ihr Webmaschinenprogramm, das Modelle für die Herstellung schwerer Kleider- und Möbelstoffe enthält, mit einem noch leistungsfähigeren Typ (Abb. 16). Er ist für die Verarbeitung von Baumwollgarnen bestimmt und erreicht bei einer Arbeitsbreite von 380 cm eine Schußeintragsleistung von 610 m/min.

Ein neuer Hersteller von Webmaschinen ist die Firma Meteor, Italien. Sie bringt eine Bandgreifer-Webmaschine (Abb. 17) auf den Markt, bei der die Bandführung im Bereich der Schußfadenübergabe durch ein magnetisches Feld verbessert wird. Die Arbeitsbreiten reichen bis 430 cm. Es werden Schußeintragsleistungen bis zu 500 m/min erzielt.

Neu als Hersteller von Webmaschinen ist auch die Firma Crippa & Figlio, Italien. Sie stellte ebenfalls eine Bandgreifer-Webmaschine robuster Bauart für

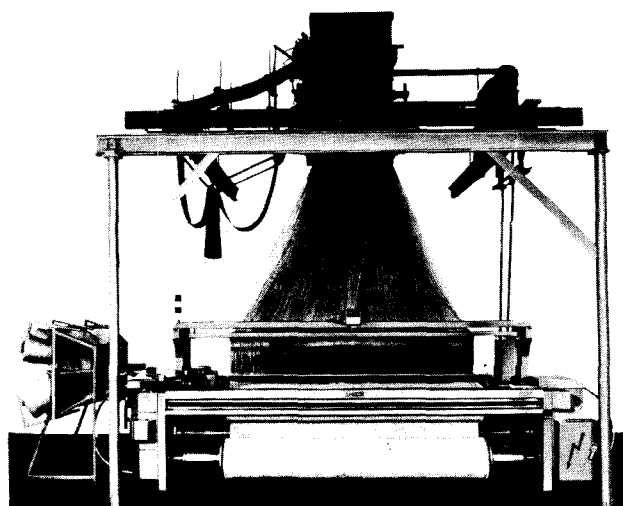


Abb. 17: Meteor-Bandgreiferwebmaschine

die Herstellung schwerer Gewebe, wie Wolldecken, Möbelstoffe und technische Gewebe, in Breiten bis zu 330 cm vor.

Mit dem Modell „President PGW“ war auch die Firma Picanol, Belgien, mit einer schützenlosen Webmaschine auf der ITMA vertreten. Es handelt sich ebenfalls um eine Bandgreiferversion (Abb. 18), deren Aufbau weitgehend auf dem bekannten konventionellen Typ „President“ beruht. Diese Webmaschine wird in Breiten bis 350 cm gebaut und erreicht Schußeintragsleistungen bis zu 500 m/min. Es können bis zu acht Farben oder Garnarten pic à pic eingetragen werden.

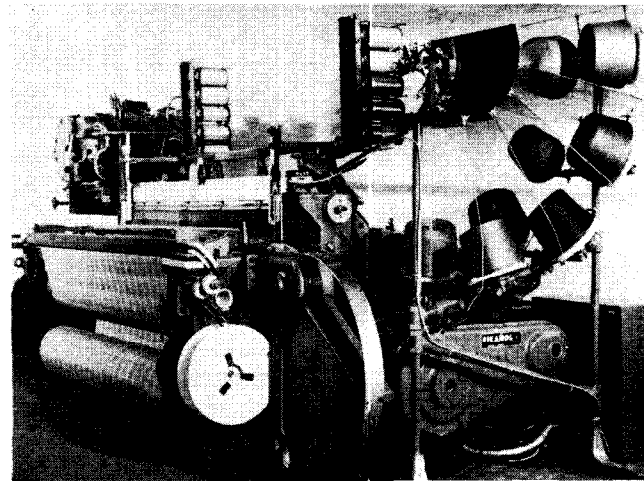


Abb. 18: Modell „PGW-4R-188“ der Firma Picañol — Webmaschine mit zwangsläufiger Schaffmaschine für 8 Schußfarben

Auch die Firma Vamatex Valentini S. p. A., Italien, trat bei der ITMA '75 als neuer Webmaschinen-Hersteller auf. Sie zeigte mit dem Modell „Propeller 201“ eine hochleistungsfähige Bandgreifer-Webmaschine, die Schußeintragsleistungen bis zu 830 m/min erreichte. Erzielt werden diese beachtlichen Leistungen durch einen neuen Greiferbandantrieb.

Luftdüsen-Webmaschinen sind eigentlich Parallelentwicklungen zu den Wasserdüsen-Webmaschinen. Sie haben aber bisher nur in den östlichen Ländern größere Verbreitung gefunden. Besonderes Interesse bringt man nun den weiterentwickelten Multidüsen-Webmaschinen entgegen. Die bekannteste Konstruktion unter diesen Modellen ist diejenige der niederländischen Firma Te Strake, die, von der Firma Rüti AG, Schweiz, übernommen, weiterentwickelt und bei der ITMA '75 als Modell L 5000 gezeigt wurde.

Die Rüti-Te Strake-Multidüsen-Webmaschine (Abb. 19) wird in Breiten bis zu 190 cm gebaut und erreicht mit 400 U/min eine Schußeintragsleistung von über 800 m/min. Bevorzugt wird sie für die Herstellung von leichten bis mittelschweren Geweben aus Spinnfaser- und Filamentgarnen eingesetzt.

Offensichtlich eignet sich das Multidüsen-System für große Breiten. Schon vor Jahren entwickelte der deutsche Erfinder Scheffel eine 5 m breite Mehrfarben-Multidüsen-Webmaschine, über die aber keine neueren Daten vorliegen.

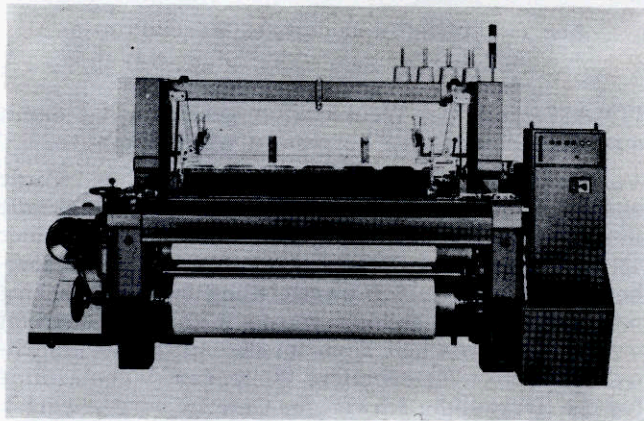
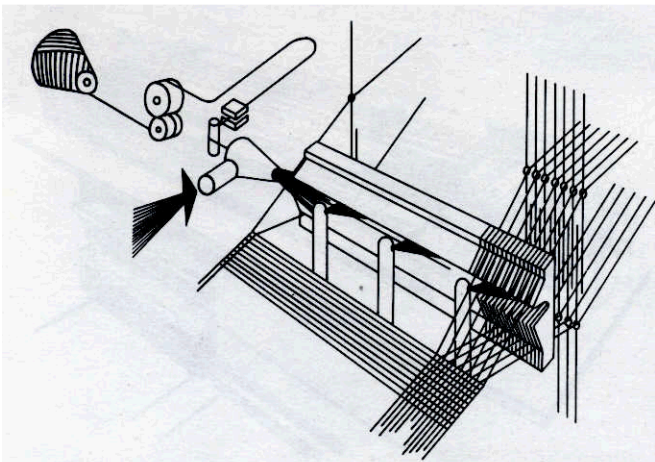


Abb. 19: Multidüse-Webmaschine der Firma Rütite Strake (oben: Schema, unten: Ansicht)

Eine multidüsenähnliche Entwicklung ist auch das Modell „Jettis“ (Abb. 20) der Firma Elitex/Investa, CSSR, die eine Weiterentwicklung der bekannten tschechischen Luftdüsen-Webmaschinen darstellt. Die neue „Jettis“ verfügt als Ergänzung zur Hauptdüse über eine zusätzliche Luftquelle in der Mitte der Weblade. Die 230 cm breite Maschine arbeitet mit 350 U/min und erreicht rund 800 Schußmeter/min.

Geradezu phantastisch anmutende Leistungssteigerungen weisen die Wasserdüsen-Webmaschinen auf. Erinnert sei an die Leistung konventioneller Webmaschinen mit 200 Schußmetern/min. In Mailand wurden

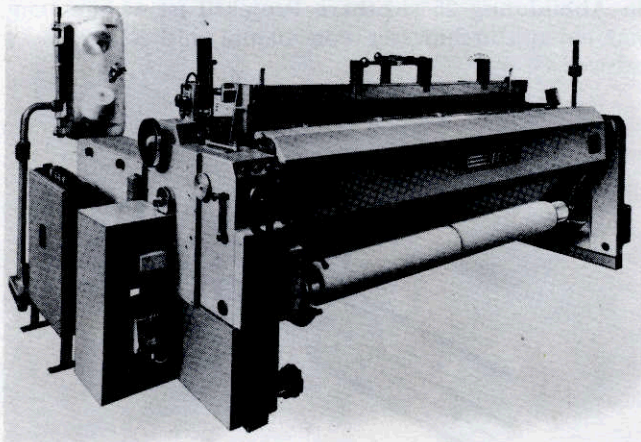


Abb. 20: Luftdüsen-Webmaschine der Firma Elitex/Investa, Modell „Jettis“

Wasserdüsen-Webmaschinen mit 1000 U/min und 1250 Schußmetern/min gezeigt.

Neu auf dem Gebiet der Wasserdüsen-Webmaschinen ist die Firma Galileo S. p. A., Italien. Sie baut eine solche Webmaschine in einer Breite bis 220 cm und erreicht mit 400 U/min Schußeintragsleistungen bis zu 900 m/min.

Die Firma Elitex/Investa, CSSR, entwickelt eine Wasserdüsen-Webmaschine mit einer Arbeitsbreite von 330 cm, die in der Warenbahnmitte mit einer Zusatzdüse ausgestattet ist. Damit hört man erstmals von einer hydraulischen Multidüsen-Webmaschine. Mit der obengenannten Breite und der beeindruckenden Tourenzahl von 600 U/min erreicht diese Maschine eine Leistung von rund 2000 m/min.

Die Firma Nissan, Japan, wartete auf dem Gebiet der Wasserdüsen-Webmaschinen gleich mit mehreren Neuheiten auf. Mit einer einzigen Düse wird eine Breite von 280 cm erreicht. Weiters wurde eine Wasserdüsen-Webmaschine für einen vierfarbigen Schußeintrag entwickelt, und als ITMA-Sensation zeigte diese Firma ein Modell mit 1000 U/min bei einer Arbeitsbreite von 140 cm. Bei dieser Tourenzahl wird für die Fachbildung eine Trittvorrichtung eingesetzt. Bei schmalen Maschinen können jedoch bis zu Tourenzahlen von 800 U/min Schaffmaschinen, z. B. das Modell 550 der Firma Stäubli AG, Schweiz, eingesetzt werden.

Beim Wellenfach-Webverfahren wird nicht mehr ein einzelnes Schußeintragungselement mit hoher Geschwindigkeit (18—75 m/sec) verwendet, sondern eine größere Anzahl von Schußträgern, die sich mit 1 bis 2,4 m/sec relativ langsam durch das Webfach bewegen. Auf einer Seite der Maschine befindet sich die Spulvorrichtung für die Schußträger.

Beim Modell R 6000 der Firma Rütli AG, Schweiz, ist es nur eine Spulstelle, bei dem Typ „Kontis“ der Firma Elitex/Investa, CSSR, sind es 16 und bei der spanischen Wellenfach-Webmaschine „Ona“ der Firma Maquinaria Textil del Norte de Espana (IWER) 2 x 10 Spulstellen, welche die Schußträger mit Schußmaterial versorgen. Anstelle einer Fachöffnung gibt es bei diesem Schußeintragsprinzip alle 100; 150 oder 200 mm eine solche, und ebensoviele Schußträger tragen gleichzeitig Schußmaterial ein. Die Schußträger werden beim Modell R 6000 durch einzeln bewegliche Blattzähne durch das Webfach transportiert, die auch gleichzeitig den Schußfaden andrücken. Beim Modell „Kontis“ verwendet man Transportketten zur Fort-

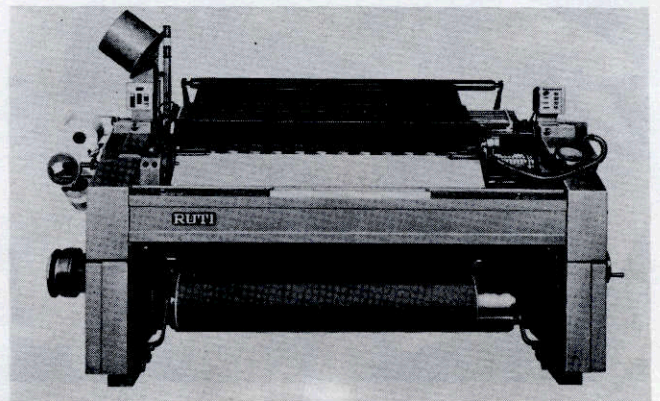


Abb. 21: Wellenfach-Webmaschine der Fa. Rütli, Modell „R 6000“

bewegung der Schußträger, beim Typ „Ona“ einzeln bewegliche Blattzähne. Beim **letzten** Typ wird der Schußfaden **durch** den Schußträger selbst an den Warenrand angedrückt. **W**e Wellenfach-Webmaschinen arbeiten geräuscharm.

Abbildung 21 zeigt die Wellenfach-Webmaschine der Firma Riti, das Modell R 6000. Die Fachlänge beträgt **100 mm**, **sodaß** je Meter aehn Schußträger im Einsatz sind. Links an der Maschine befindet sich das Spulaggregat. Pro Minute werden **500 Schüsse** eingetragen, was bei diesem **180 cm breiten Typ** eine Schuß-eintragsleistung von **900 m/min** ergibt. Die Maschine ist für einfache Bindungen mit bis zu sechs Schäften geeignet.

Bei dem neuesten Modell der Wellenfach-Webmaschine „Kontis“ (Abb. 22) beträgt die Fachlänge **200 mm**. **Es** sind jeweils **17 Schußträger** gleichzeitig im Einsatz.

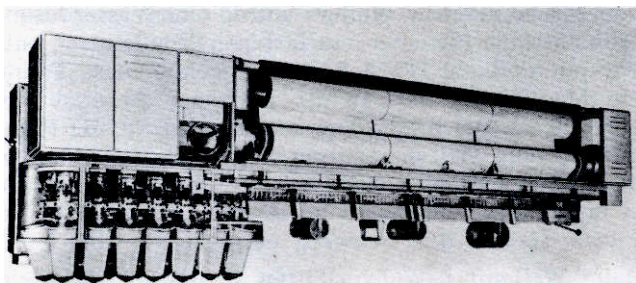


Abb. 22: Wellenfach-Webmaschine der Firma Elitex/ Investa, Modell „Kontis“

Abbildung 23 veranschaulicht die Transportkette mit den Schußträgern, die **sich** mit einer Geschwindigkeit von **2,3 m/sec** fortbewegen. Es ergeben **sich** bei einer Breite von **330 cm** je Minute **720 Schuß**einträge, das sind etwa **2400 Schußmeter/min** — mit anderen Worten: die Produktion von zwölf der anfänglich genannten konventionellen Webmaschinen. Anstelle der Blattzähne werden Kurvenscheiben verwendet. Als Neuheit gegenüber der ersten Version mit zwei Webeschäften wurde die Webmaschine „Kontis“ auf der

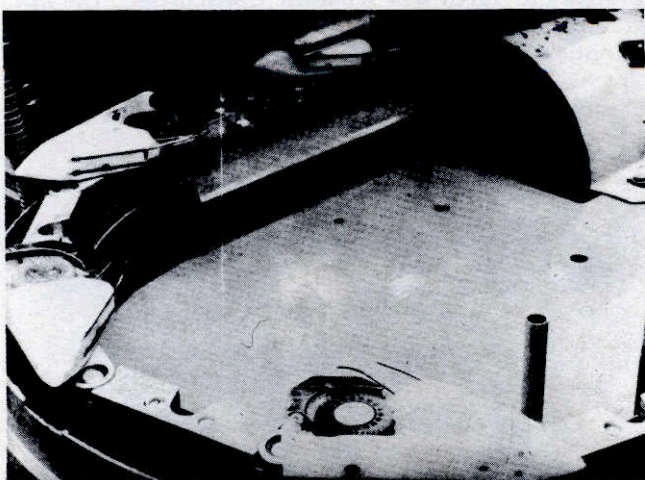


Abb. 23: Transportkette mit Schußträgern der Kontis-Wellenfach-Webmaschine

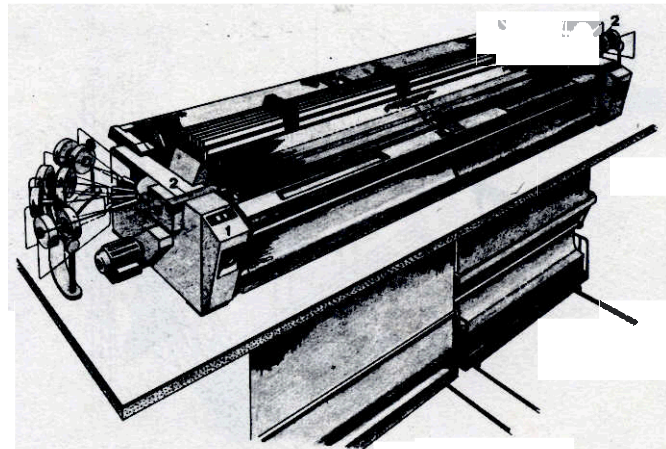


Abb. 24: Projektilwebmaschine (Wüger-Prinzip)

ITMA '75 mit vier Webeschäften gezeigt, **sodaß** damit auch Körperbindungen hergestellt werden können.

Von der Firma Nuovo Pignone SMIT, Italien, wurde ebenfalls eine Wellenfach-Webmaschine gezeigt, die in einer Breite von **330 cm** gebaut wird. Es sind immer **18 Schußträger** im Einsatz, die **sich mit 2 m/sec** fortbewegen. Die Schuß-eintragsleistung beträgt **2200 m/min**. Diese Webmaschine wurde in Zusammenarbeit mit dem sowjetischen Textilforschungsinstitut „Znich-by“ entwickelt. Eine weitere Wellenfach-Webmaschine für die Herstellung schwererer Gewebe wird erwartet.

Eine andere, sensationelle neue Webmaschine kündigte die italienische Firma Galileo an. Es wird von einem revolutionierenden Webverfahren gesprochen, das Schuß-eintragsleistungen von **über 3000 m/min** gestattet und **vielseitige Einsatzmöglichkeiten** bietet. Einzelheiten wurden aber bisher noch nicht bekanntgegeben.

In Abbildung 24 ist eine Projektilwebmaschine dargestellt, bei der das Projektil nicht mehr mechanisch, sondern pneumatisch durch das Fach geschossen wird. Die Konstruktion beruht auf dem Wüger-Prinzip und steht in den USA bei der Firma Crompton & Knowles in einer **schmäleren Version** in Entwicklung. Links und rechts sind auf den kastenförmigen Seiterwänden **(1)** die Kompressions- und Abschußkammern **(2)** sichtbar. Man verwendet ein symmetrisches Projektil, das von beiden Seiten abgeschossen werden kann. Das in Abbildung 25 sichtbare Projektil **ist 45 mm** lang, hat einen Durchmesser von **10 mm** und **ist nur 1,7 g** schwer.

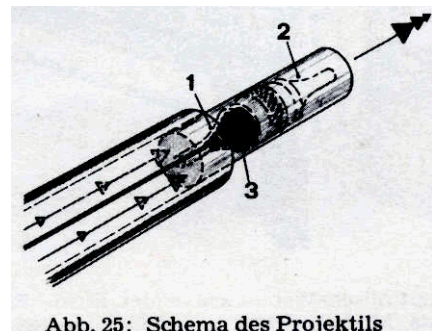
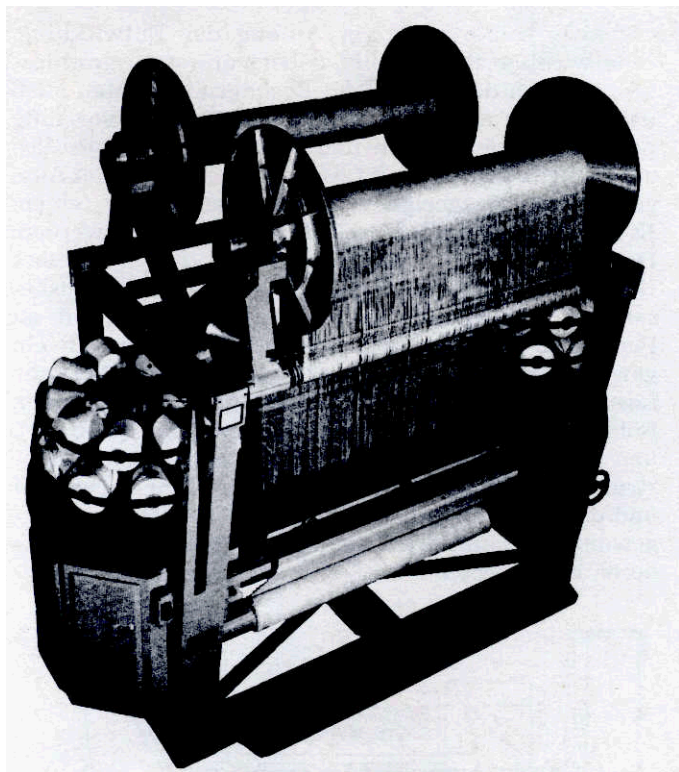


Abb. 25: Schema des Projektils



in einer Länge von 30 bis 40cm eingemgen wird. Anschließend erfolgt der Abschluß des Projektils, wobei der Schußfaden nicht gezogen wird, sondern im Luftzog dem Projektil folgt. Die Fadenreserve in der Kammer wird vollkommen verwertet. Es können bis zu 700 Schußeinträge/min und damit Schußeintragsleistungen von 2000 bis 3000 dmin, je nach Arbeitsbreite, erreicht werden. Dabei kann diese Projektilwebmaschine mit einer Schaffmaschine ausgestattet werden und eignet sich deshalb für die Herstellung von gemusterten Geweben.

Die spanische Wellenfach-Webmaschine „Ona“ (Abb. 26) der Firma Maquinaria Textil del Norte de España (IWER) ist von der ATME 73 her bekannt. Die Abbildung veranschaulicht die Verschiedenartigkeit des Prinzips gegenüber den anderen Wellenfachtypen, vor allem die doppelseitige Arbeitsweise und die vertikale Anordnung der Kette. Diese Maschine erreicht bei einer Arbeitsbreite von 2 x 330 cm eine Schußeintragsleistung von etwa 3200m/min. Die doppelseitige Konzeption einer Wellenfach-Webmaschine wurde schon 1950 von Cerdans in 9 m Breite entwickelt und in Patentschriften beschrieben.

Färberei, Druckerei, Ausrüstung

Abschließend soll noch kurz auf die Entwicklungen und Tendenzen im Veredlungssektor eingegangen werden. Obgleich auch hier maßgebliche Fortschritte festzustellen sind, kann nicht von so spektakulären Leistungssteigerungen gesprochen werden, wie in den anderen Sektoren. Es ist Tatsache, daß die Hersteller von Textilveredlungsmaschinen vom Boom der Maschinenwaren vor etwa zehn Jahren überrascht wurden und sich nunmehr konstruktiv auf die speziellen Belange dieser Ware einstellen.

Die vermehrte Verwendung von Synthetiks und der Wunsch, beim Farben der daraus hergestellten Textilien auf Carrier z. T. verzichten zu können, beschleunigte die Entwicklungsarbeiten an Färbeverfahren unter Druck. Die neuen Farbeapparate und -maschinen, dargestellt an Beispielen der Firmen Obermaier, BR Deutschland (Abb. 27), und Brückner, BR Deutschland (Abb. 28), helfen zugleich, den Färbeprozess in der Hälfte der sonst üblichen Zeit durchzuführen und erhebliche Mengen an Wasser und Hilfsmitteln einzusparen.

Abb. 26: Wellenfach-Webmaschine der Firma Maquinaria Textil del Norte de España (IWER), Modell „Ona“

Dieses Verfahren ermöglicht Schußeintragungsgeschwindigkeiten bis zu 75 m/sec, wobei allerdings eine Vorbeschleunigung des Schußfadens vorgenommen wird. Das Projektil ist aus einer Kohlenstofffaser gefertigt und daher widerstandsfähig gegen Erwärmung und Reibung. Links und rechts sind die kleinen Projektilkammern (1u. 2) zu erkennen, in die der Schußfaden (3)

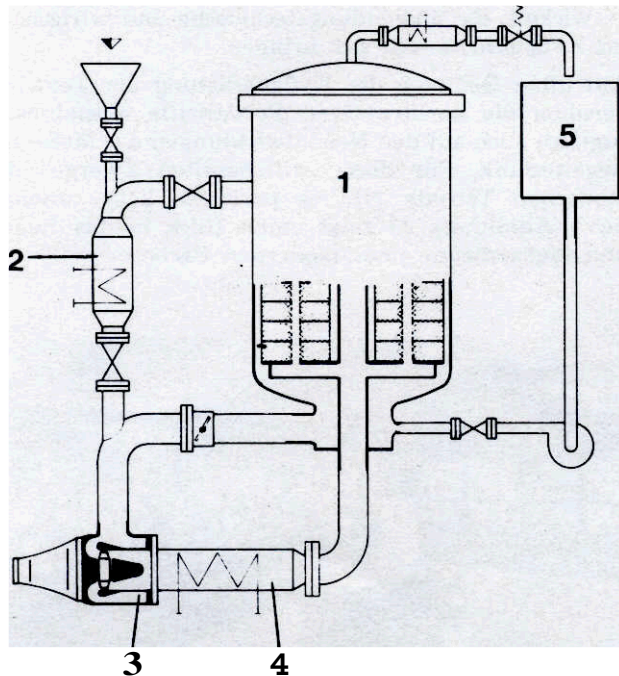


Abb. 27: Schema eines Apparates zum Schnellfärben bei Endtemperatur der Firma Obermaier & Cie.

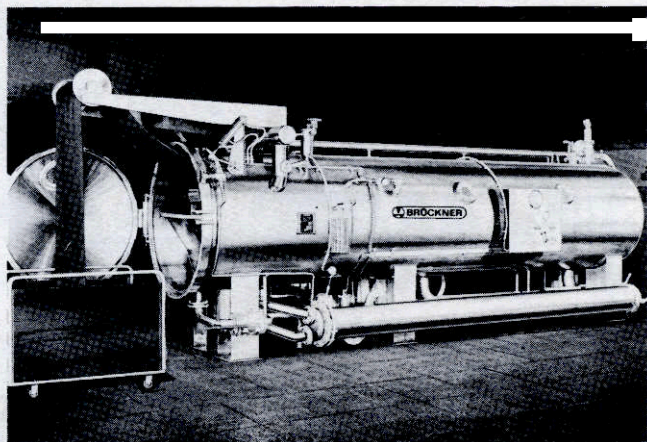


Abb. 28: Düsenfärbemaschine der Firma Brückner-Apparatebau GmbH, Modell „Supra-Jet“

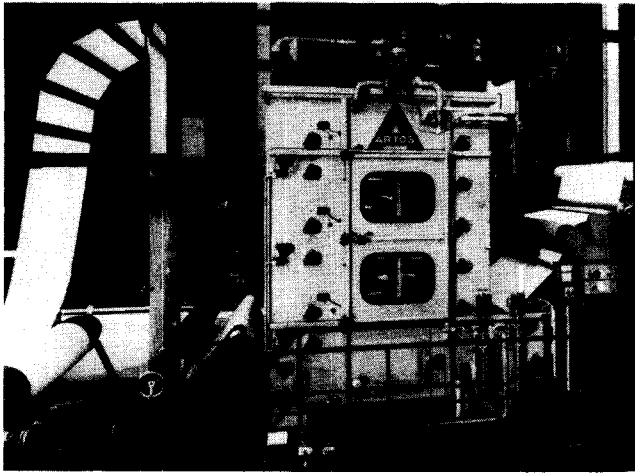


Abb. 29: Hydro-Tex-Hochleistungswaschmaschine der Firma Artos — Dr.-Ing. Meier-Windhorst KG

Dem Färben unter Druck folgte inzwischen das Waschen unter Druck, hier gezeigt an der Waschmaschine „Hydro-Tex“ der Firma Artos - Dr.-Ing. Meier-Windhorst, BR Deutschland (Abb. 29), bei dem sich ein ähnlicher Effekt, nämlich ganz erhebliche Einsparungen an Zeit, Wasser und Hilfsmitteln, ergab.

In logischer Weiterentwicklung bemühte man sich um eine konstruktive Lösung der Kombination von Waschen und Färben in einem Arbeitsgang, die von der Firma Kleinewefers Industrie-Companie, BR Deutschland, mit der Kontinue-Färbeanlage, kombiniert mit dem „100 plus system“ (Abb. 30), demonstriert wurde, was weitere ausrüstungstechnische Fortschritte und Kostenvorteile mit sich bringt.

Die Verwendung organischer Lösungsmittel in der Warenvor- und -nachbehandlung im Rahmen eines Kontinueprozesses machte zwar viel von sich reden,

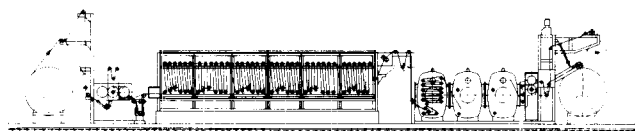


Abb. 30: Kleinewefers-Kontinue-Färbeanlage mit dem 100-plus-system für Naß-in-naß-Methode

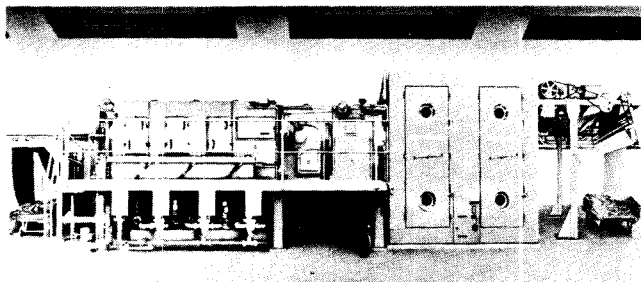


Abb. 31: BÖWE-Küstners-Vorbehandlungsanlage zum Reinigen und Ausrüsten von Maschenware in Perchloräthylen, Modell „CONTISOL 2“. Von links: Wareneinlauf — Reinigungsaggregat — Foulard — Trockner — Ablage. Bei einer maximalen Laufgeschwindigkeit von 50 m/min erbringt die CONTISOL 2 eine Leistung von 5—7 t Ware pro Schicht. Zur Bedienung der Anlage ist nur eine einzige Person nötig.

sie steht jedoch noch am Anfang der Entwicklung. Eine wichtige Stufe bleibt dabei vorerst ausgeschlossen, nämlich das Färben im Lösungsmittel. Man stieß dabei an die der Wissenschaft und Technik vorläufig noch gesetzten Grenzen und befindet sich hinsichtlich des Färbens im oder mit Lösungsmittel wieder am Ausgangspunkt, da geeignete Farbstoffsortimente fehlen. Es muß daher weiter gesucht und geforscht werden. Dagegen besitzen Kontinueanlagen zur Vor- und Nachbehandlung von textilen Flächengebilden, insbesondere von Maschenwaren, einen hohen Grad an Perfektion und sind wirtschaftlich und technisch ein gewichtiger Fortschritt. Als Beispiele seien die Lösungsmittel-Vorbehandlungsanlagen der Firmen Böhler & Weber-Küstners, BR Deutschland (Abb. 31), und Jawetex, Schweiz (Abb. 32), gezeigt. Je nach Konstruktion wird zum Teil kein Wasser mehr verwendet und das eingesetzte Lösungsmittel bis zu 97 % zurückgewonnen. Damit wird dem Umweltschutz im besonderen entsprochen.

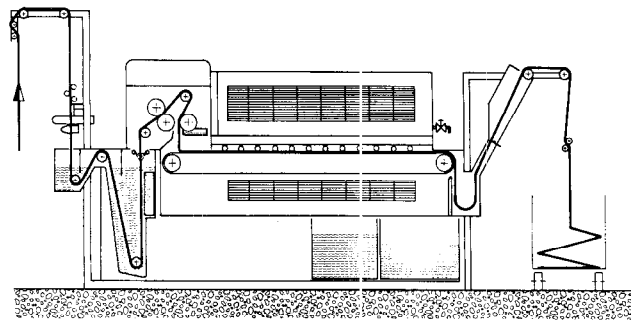


Abb. 32: Schema der JAWETEX-Lösungsmittel-Vorbehandlungsanlage, Modell „PERMASOL-F“

Für das Bleichen und Merzerisieren, z. B. hier die Kernmerzerisieranlage der Firma Kleinewefers Industrie-Companie für das Behandeln von Garnen und Geweben, wurden neue Maschinen und Verfahren entwickelt, die anwendungstechnische und wirtschaftliche Fortschritte mit sich bringen.

Auf allen Gebieten der Naßausrüstung der Textilien beruhen die konstruktiven Fortschritte ausnahmslos zugleich auch auf den Neuentwicklungen der Meß- und Regeltechnik. Für diese „hilfsbereiten Zwerg“ der modernen Technik gibt es praktisch kein „unmöglich“. Abbildung 33 zeigt einen Blick in das Regel- und Meßzentrum einer modernen Färberei.



Abb. 33: Regel- und Meßzentrum einer modernen Färberei

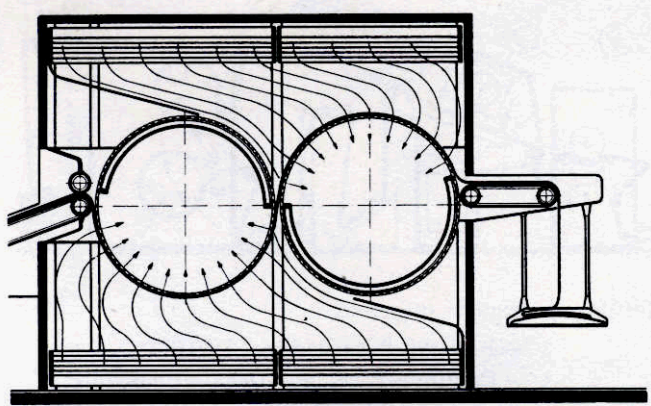


Abb. 34: Schema eines Fleissner-Siebtrommeltrockners

Auch für alle Trocknungs- und Wärmebehandlungsprozesse läßt sich eine Reihe von Entwicklungsstufen feststellen, die im Endeffekt Leistungssteigerungen und Kosteneinsparungen einschließt. Der Siebtrommeltrockner der Firma Fleissner, BR Deutschland (Abb. 34), und der Luftkissentrockner der Firma Brückner Trockentechnik, BR Deutschland (Abb. 35), sind Beispiele dafür. Aber noch ist vorläufig der Trocknungsprozeß der Flaschenhals in den meisten Ausriistungsbetrieben, und man sucht und forscht nach besseren Methoden. So sind z. B. zur Zeit Hochfrequenz-, Mikrowellen- und Flamm-trocknung im Gespräch. Parallel dazu wird von besseren Verfahren der Entfeuchtung gesprochen, die man mit Hilfe neuer Konstruktionselemente bereits entwickeln konnte, indem die in der Ware verbleibende Restfeuchtigkeit um bis zu 30 % und mehr, z. B. mit Hilfe eines Dampfstrahls (Abb. 36) in der „Machnozzle“-Anlage der Firma Brugman, Niederlande, oder des Luftkissen-Abquetschsystems der Firma Pletec, Frankreich (Abb. 37), reduziert wird. Hieraus ergibt sich ein beschleunigter Trocknungsprozeß. Aber auch neugewonnene wärmewissenschaftliche Erkenntnisse gilt es zu erwähnen, die zu gewichtigen Korrekturen im Energieverbrauch führten.

Für das Scheren, Rauhen, Relaxieren, Krumpfen und Dekatieren der Warenbahnen wurden neue Maschi-

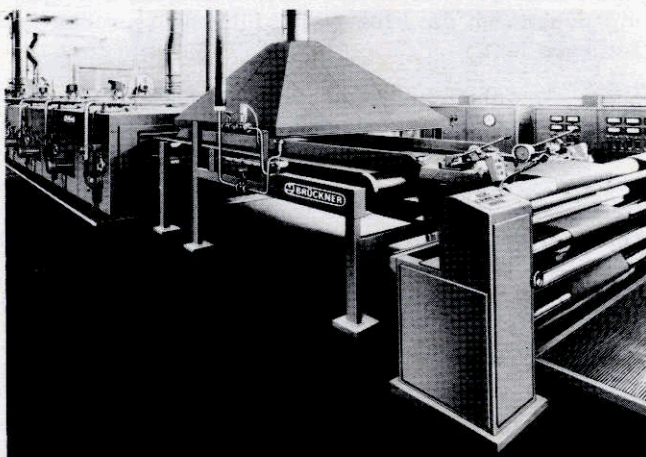


Abb. 35: Luftkissentrockner der Firma Brückner-Trocken-technik

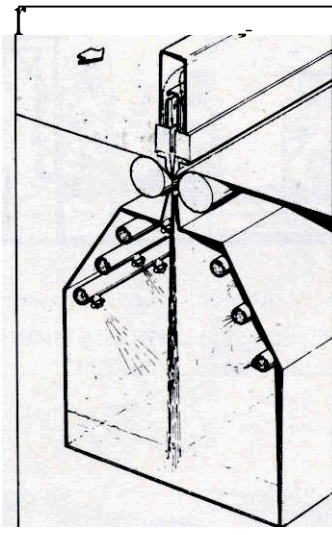


Abb. 36: Machnozzle-Anlage der Firma Brugmann

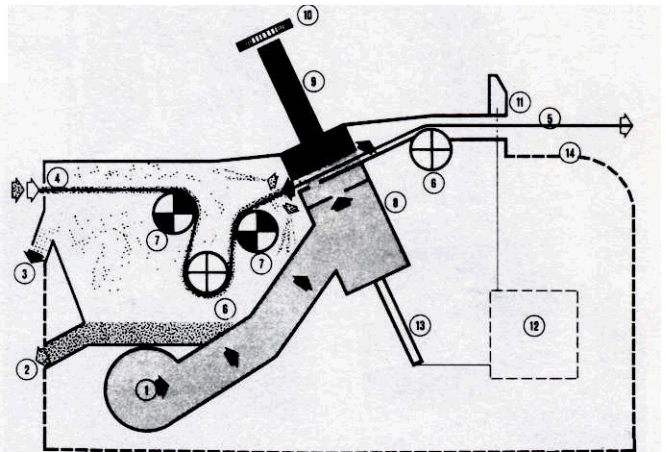


Abb. 37: Pletec-Luftkissen-Abquetschsystem

nen entwickelt und teilweise in sogenannte Ausrüstungsstraßen integriert. Abbildung 38 zeigt eine solche Ausrüstungsstraße der Firma Kettling & Braun, BR Deutschland.

Eine eigene Geschichte ergibt sich aus der Entwicklung im Textildruck. Jahrzehntlang war man mit der Technik und den Leistungen der Rouleauxdruckmaschinen, hier eine moderne Konstruktion der Firma Brückner, BR Deutschland (Abb. 39), zufrieden. Solange der Filmdruck eine vorwiegend manuelle Tätigkeit war, konnte er mit dem Rouleauxdruck bei weitem nicht konkurrieren. Dann begann vor etwa 15 Jahren die Automatisierung dieses Druckverfahrens, was bis zur heutigen Anwendungsform von Walzenschablonen führte und dem Rouleauxdruck nur noch Aufgaben am Rande überließ. Eine der neuesten Konstruktionen einer Rotationsfilmdruckmaschine der Firma Reggiani, Italien, zeigt die Abbildung 40. Schließlich tauchte um 1968 erstmals der Transferdruck auf, der sich anfangs mit der Übertragung kleinerer Motive auf Fertigtextilien mit Hilfe von Plattenpressen begnügte. Heute liegen Film- und Transferdruck im Wettstreit miteinander, wobei die größ-

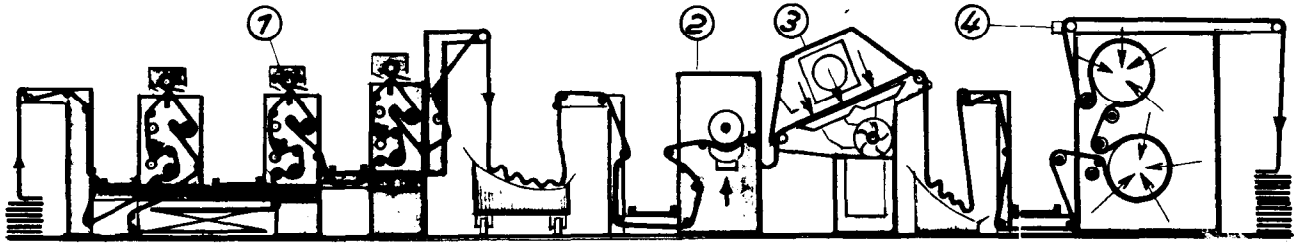


Abb. 38: Ausrüstungsstraße der Firma Ketting & Braun (Schema)

- 1 — Scherautomat „SHEARATRON®-3.12“
- 2 — Muldenpresse „ATLAS“
- 3 — Befeuchtungsmaschine „UNIFIT“
- 4 — Continue-Preßglanz-Dekatiermaschine „CONTIDEC-614“

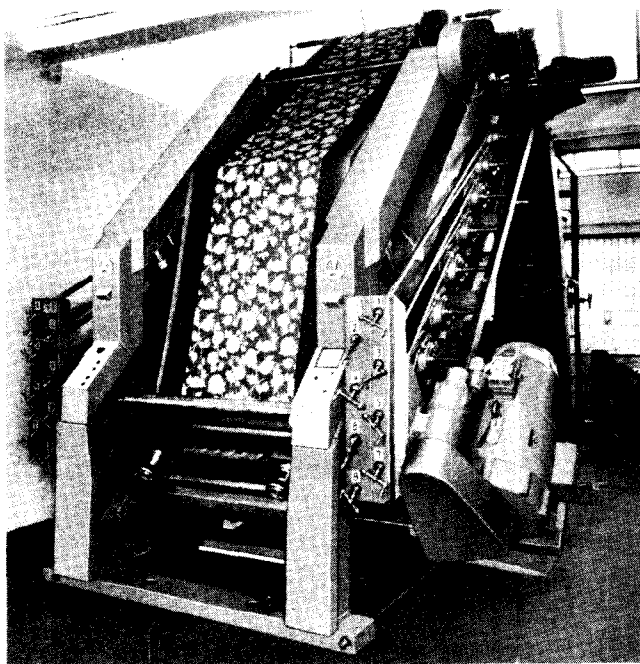


Abb. 39: Brückner-Rouleauxdruckmaschine

ßere Leistungsfähigkeit des Filmdrucks dadurch kompensiert wird, daß man transferbedruckte Textilien nicht nachbehandeln muß. Durch Konstruktion immer größerer Transferkalender und unter Verwendung entsprechender Hilfstechneken (z. B. Vakuum) wächst die Leistung der Transferdruckmaschinen ständig und erreicht neuerding fast die für Filmdruck geltenden Werte (bis 180 m/min, in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, wie Faserstoff, Farbstoff, Transferpapier, Stoffbreite). Das Beispiel einer modernen Transferdruckmaschine der Firma Welker, BR Deutschland, zeigt die Abbildung 41.

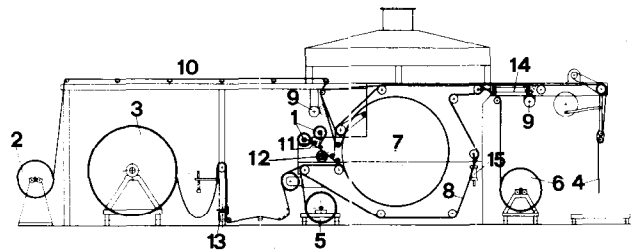


Abb. 41: Schema einer modernen Transferdruckmaschine der Firma Welker

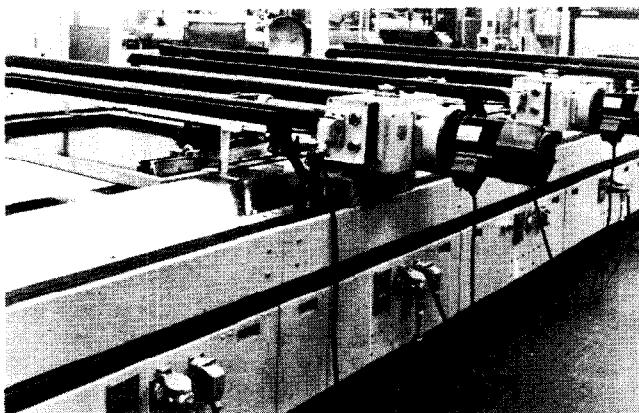


Abb. 40: Rotationsfilmdruckmaschine der Firma Reggiani

Ein letztes anerkennendes Wort muß der Labortechnik gelten, denn viele automatisierte Veredlungsprozesse sind nur mit Hilfe dieser Pilotgeräte möglich, mit denen sich die Prozeßdurchführung erproben und festlegen läßt.

Diese Ausführungen sind sicher insgesamt ein Beweis dafür, in welcher entscheidenden Weise der technische und wissenschaftliche Fortschritt und der daraus resultierende Bau neuer Textilmaschinen das Gesicht der Textilindustrie während der letzten Jahre veränderte. Dieser Entwicklungsprozeß hält an und wird der Textilindustrie noch weitere Impulse vermitteln, wie das z. B. der Einsatz von Laserstrahlen und der Isotopentechnik zur Steuerung von Textilmaschinen beweist.

Schlußwort

Generaldirektor KR. Rudolf H. Seidl
Präsident des Österreichischen Chemiefaser-Instituts,
Wien

Nun nach dem Dank an Herrn Rönitz lassen Sie, meine Damen und Herren, mich zum Schlußwort kommen. Wenn ich heute einige zusammenfassende Worte über unsere Tagung sagen darf, möchte ich diese damit einleiten, daß ich allen Vortragenden und auch Ihnen, dem Auditorium, einen herzlichen Dank für die intensive Mitarbeit ausspreche, die in diesen zweieinhalb Tagen geleistet wurde. Wir haben bei dieser 14. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn etwa 500 Fachleute aus 20 Staaten — aus West- und Osteuropa, aus den USA, aus Japan und aus der Sowjetunion — begrüßen können. Es war möglich, die aktuellen Probleme der Chemiefaser- und Textilindustrie eingehend zu erörtern. Wenn ich zuerst auf die wirtschaftlichen Aspekte eingehen darf, so möchte ich feststellen, daß es unsere vordringlichste Aufgabe ist, die Inflation einzudämmen und, wenn möglich, zu beseitigen. Nur dadurch können wir wieder zu gesunden wirtschaftlichen Verhältnissen in der westlichen Welt kommen. Die Inflation ist das schrecklichste Gift für unsere Wirtschaft und wirft natürlich in weiterer Folge große sozialpolitische Probleme auf. Der wirtschaftliche Fortschritt wird restlos zerstört, wenn man der Inflation nicht Herr wird; das Ende wäre ein Chaos, und es ergäbe sich daraus die Notwendigkeit, mit der Arbeit wieder von vorne zu beginnen, nachdem man viel Zeit und das Ergebnis wertvoller Arbeit verloren hat.

Ich unterstreiche hier besonders die Ausführungen von Herrn Prof. Juvet, daß wir erst wieder in der Lage sein werden, geordnete Verhältnisse zu schaffen, die einen ungestörten Welthandel ermöglichen, wenn die Inflation auf ein erträgliches Maß eingedämmt ist.

Ich wurde während dieser Tagung oft gefragt, wie ich die zukünftige Entwicklung sähe. Es ist beschämend, eingestehen zu müssen, daß man durch die Unsicherheit der gesamten weltwirtschaftlichen Verhältnisse eigentlich keine Prognose, auch nur für die nähere Zukunft, stellen kann. Wir wissen, daß das Entstehen von Arbeitslosigkeit in großen Industrieländern die Menschen veranlaßt, zu sparen und Reserven anzulegen, um für eventuell eintretende schwierige Verhältnisse gewappnet zu sein. Andererseits ist die Kaufkraft der Bevölkerung der Industrieländer noch sehr hoch, und die Lager, die in den Jahren 1973 und 1974 bei steigenden Preisen überall angelegt wurden, entleeren sich. Man sollte daher annehmen, daß das Jahr 1976 wieder eine gewisse Belebung des Geschäftes bringen würde, das heißt, wir erwarten für das Jahr 1976 vor allem das Einsetzen einer Mengenkonzunktur. Ich bin aber der Meinung, daß die bestehenden Produktionskapazitäten angesichts der gestörten Weltverhältnisse noch immer so hoch sind, daß das dringend notwendige Anheben der Preise nur langsam stattfinden kann.

Gerade den Ausführungen von Herrn Keller haben wir entnehmen müssen, welche revolutionäre Entwicklungen auf dem Sektor des Textilmaschinenbaues zu erwarten sind. Ohne entsprechende Investitionen würde damit die Textilindustrie der westlichen Länder sehr rasch in einen veralteten Zustand kommen. Die Ausführungen von Herrn Keller waren nahezu eine Vision der Zukunft, zeigten uns aber, daß wir auch Gewinne brauchen, um der technischen Entwicklung in entsprechendem Maße folgen zu können.

Herr Dr. Kerber informierte uns über die Rohstoffversorgung, insbesondere in der Chemiefaserindustrie. Es ist verständlich, daß bei dem hohen Rohstoffverbrauch der heutigen industrialisierten Welt immer weniger ergiebige Ölvorkommen aufgeschlossen werden müssen. Dies bedeutet, daß im Laufe der Zeit mit noch höheren Preisen für unsere Rohstoffe gerechnet werden muß. Jedenfalls ist in diesem Jahrhundert noch nicht mit einer solchen Verknappung an Rohöl zu rechnen, daß ernsthafte Versorgungsschwierigkeiten eintreten würden. Es wird aber notwendig sein, die immer weniger zur Verfügung stehenden Rohstoffe verstärkt für jene hochwertigen Einsatzzwecke zu reservieren, die die Petrochemie für uns schafft.

Wir haben uns in diesen zwei Tagen im Grundsatz auch mit den Fragen der Schwerentflammbarkeit von Textilfasern und mit dem Umweltschutz beschäftigt. Im allgemeinen konnten wir feststellen, daß das Brennen von Textilien, wirtschaftlich betrachtet, kein Problem allererster Ordnung ist. Im Falle der Brandgefahr bilden im wesentlichen andere Stoffe die Grundlage. Andererseits geht z. B. aus den Ausführungen von Herrn Tovey hervor, daß die USA einen gigantischen Betrag aufwenden müßte, um die Textilien allgemein schwer entflammbar zu machen. Damit ist aber noch nicht gesagt, daß die Produkte in ihren physiologischen Eigenschaften den Konsumenten nicht schwer enttäuschen würden. Und jetzt erlaube ich mir in diesem Abschlußwort einen sehr brutalen Satz: Ich halte es für wirtschaftlich nicht berechtigt, daß Hunderte Millionen Menschen Milliarden für das Schwerentflammbarmachen von Textilien aufwenden sollen, die sie für andere Dinge viel vordringlicher benötigen würden, nur weil sich einige wenige mit der brennenden Zigarette ins Bett legen. Es soll damit nicht das Problem vom Tisch gefegt werden; wir wissen, daß es gewisse textile Ausstattungen gibt, die schwer entflammbar sein sollen und müssen, um wirklich eine größere Anzahl von Menschen vor Brandgefahr zu schützen, doch dies wurde in mehreren Vorträgen immer wieder ausgeführt.

Unser anderes Hauptthema war der Umweltschutz. Wir wissen alle, daß sich in der chemischen Industrie und in der Chemiefaserindustrie besonders bei der Herstellung von Zellstoff und zellulosischen Fasern gewaltige Umweltprobleme ergeben, ebenso in der Textilindustrie aus dem Schlichten, Färben und Avivieren. Dies wurde im Saal B eingehend erörtert, und wir sind hier sicher noch nicht am Ende unserer Diskussion. Es wird dazu bei den kommenden Tagungen in Dornbirn immer wieder Debatten geben. Diesmal war es hier möglich, die Probleme zwischen Ost und West zu erörtern. Es war interessant festzustellen, daß man sich in beiden Bereichen intensiv mit den gleichen Problemen beschäftigt und sich darüber klar ist, daß man Lösungen finden muß, um

den zukünftigen Generationen ein lebenswertes Leben zu gewährleisten.

Als Parallelveranstaltung zur Dornbirner Tagung war heuer zum erstmal die CIRFS-Gruppe „Umweltschutz“ hier anwesend, die sich der Chemiefasertagung angeschlossen hat. Ebenso tagte der Europäische Ausschuß für die Brennbarkeit von Textilien, was Sie hier im Saal unter dem LOI sehr oft gehört und kennengelernt haben.

Herr Rönitz, welcher dem Statistischen Komitee des CIRFS vorsteht, gab uns aus der Sicht des Marktforschers einen Überblick über den Zusammenhang zwischen den zyklischen Veränderungen in der Textilindustrie und dem Ausbau der Chemiefaserkapazitäten — fußend auf dem hervorragenden Zahlenmaterial, das ihm zur Verfügung steht.

Wir sind somit am Ende unserer Tagung angelangt, und ich darf Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und für Ihre Mitarbeit nochmals herzlich danken. Ich hoffe, daß ich viele von Ihnen im Jahre 1976 hier wieder bei der Chemiefasertagung in Dornbirn begrüßen darf.

Zur Orientierung teile ich Ihnen noch mit, daß die 15. Internationale Chemiefasertagung vom 22. bis 24. September wieder in Dornbirn stattfinden wird. Das Thema für die nächste Tagung lautet „Faserlegierungen“, das heißt, wir werden uns eingehend darüber unterhalten, welche Eigenschaften wir durch Mischung der heute zur Verfügung stehenden Fasern erzielen können.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit und sage auf Wiedersehen im nächsten Jahr.

INSERENTENVERZEICHNIS

	Seite
BASF Österreich Ges. m. b. H., 1131 Wien	67/68
Chemiefaser Lenzing AG, 4860 Lenzing	
Faserverkauf	45
SFA/SFM	117
Chemische Fabrik Stockhausen & Cie., D-415 Krefeld	87
Hoechst Austria AG, 1071 Wien	29
Wilhelm Höhnel KG, 4021 Linz	141
Lindemann KG, D-4000 Düsseldorf	197
Ingenieure Mayreder, Kraus & Co., Baugesellschaft m. b. H., 4021 Linz	79
Wilhelm Neuber KG, Chemische Fabrik, 1061 Wien	21
Österreichische Chemische Werke Ges. m. b. H., 1151 Wien	21
W. J. Rohrbeck's Nachf., Laborbedarf, 1052 Wien	187
Semperit Aktiengesellschaft, 1041 Wien	95
Robert Streit, Büro – Organisation, 3302 Amstetten	101
Ing. Gottfried Tschamler, 1191 Wien	191
Tuflin-GmbH., Armaturen, D-8990 Lindau/Bodensee	163

*Wir laden nur jene Firmen ein, in dieser Hauszeitschrift zu inserieren,
die wir auf Grund jahrelanger Zusammenarbeit mit unserem Unternehmen unseren
Freunden und Lesern gewissenhaft weiterempfehlen können.*

DIE REDAKTION