

# LENZINGER BERICHTE

---

## Inhaltsverzeichnis

(Ausgewählte Vorträge der 25. ICT-Dornbirn 1986, 1. Teil)

	Seite
25 Jahre Chemiefasernforschung – Entwicklung und Weg in die Zukunft Prof. Dr. Wilhelm Albrecht, Wuppertal, Bundesrepublik Deutschland .....	5
Leistungsfähigkeit von Fasern und die dafür verantwortlichen Strukturelemente Dr. Hans Berg, Königstein/TS, Bundesrepublik Deutschland .....	13
Konsument-Textilhandel-Bekleidungsindustrie: Wünsche und Forderungen an die Chemiefaser- und Textilindustrie Dr. Ing. Dietrich Markert, Textile Unternehmensberatung, Frankfurt, Bundesrepublik Deutschland .....	29
Die Bedeutung der Chemiefasern für die europäische Textilindustrie mit besonderer Berücksichtigung der Viskose- und Modalfasern Dr. Hans Winter, Generaldirektor der Lenzing AG, Lenzing, Österreich .....	35
Fasern aus Cellulose mit unterschiedlichen Querschnitten: Herstellung, Eigenschaften, Einsatz Dipl.-Ing. I. Pechárová, CSc., Dipl.-Ing. I. Kollár, CSc., Dipl.-Ing. R. Simo, CSc., Forschungsinstitut für Chemiefasern, Svit, ČSSR Prof. Dipl.-Ing. M. Jambrich, DrSc., Slowakische Technische Hochschule, Bratislava, ČSSR .....	39
Der Erfolg der Viskose- und Modalfasern aus anwendungstechnischer Sicht Dr. D. Mach, Ing. R. Kampl, Ing. A. Kossina, Lenzing AG, Lenzing, Österreich .....	46
Experimental Evaluation of Electron Beam Irradiation and Ultrafiltration in the Manufacture of Viscose Fibers Jaakko E. Laine, PhD., Esko Haukkovaara, MSc., Pekka Oraviita, MSc., Pentti Peltola, MSc., Kemira Oy, Säteri, Valkeakoski, Finnland .....	54
Angewandte Viskosetechnologie im internationalen Vergleich Dr. H. Faßbender, VIC Viscose Industry Consultants, Königswinter, Bundesrepublik Deutschland .....	58
Nylon 4 – Development and Commercialization Dr. C. Barnes, Barson Corporation, Stamford, CT, USA .....	62
Man-Made Shoulder to Shoulder with Naturals Dr. R. A. Haldon, ICI Fibres, Harrogate, U. K. ....	67
Aspekte für den Einsatz von Elasthan-Filamentgarn Dr. Heinz Gall, Bayer AG, Dormagen, Bundesrepublik Deutschland .....	70
High Strength/High Modulus Polyethylene Fibers Ir. Kirschbaum, DSM Research BV, Dr. H. Yasuda, Toyobo Research Center, Ir. E. H. M. van Gorp., Dyneema VOF, Sittard, Niederlande .....	74
Neuere Entwicklungen bei Polyesterspinnfasern – ein Überblick Dr. E. A. Albers, Hoechst AG, Werk Bobingen, Augsburg, Bundesrepublik Deutschland .....	84
Inserentenverzeichnis .....	89

## 25 Jahre Chemiefaserforschung – Entwicklung und Weg in die Zukunft

Prof. Dr. Wilhelm Albrecht, Wuppertal, Bundesrepublik Deutschland

Zur 25. Chemiefasertagung lohnt sich ein Rückblick auf die Entwicklung der Chemiefasern. Dabei wird sowohl die mengenmäßige Entwicklung als auch die qualitative sichtbar. Die Quantitäten haben den entscheidenden Beitrag zur Deckung des Bedarfs an Textilfasern geliefert, und ihre Qualität hat sowohl die klassische Textilwelt vielfältig beeinflusst als auch vollkommen neue Einsatzgebiete erschlossen.

Dies alles ist nicht aus sich selbst heraus gewachsen, sondern das Ergebnis von unermüdlicher Forschungs- und Entwicklungsarbeit. Sie gestattet heute nicht nur die Verbesserung bestimmter Chemiefasereigenschaften, sondern ermöglicht die Konstruktion von Fasern zur Lösung von Aufgaben, die die Bekleidung sowie Heim- und technische Textilien stellen. Damit hat die Textilwelt einen neuen Freiheitsgrad gewonnen, den die klassischen Textilien zu nutzen beginnen und der Ausgang für die Entwicklung neuartiger Textilien ist.

Somit wächst die Textilwelt in eine Zukunft, deren Wege in den vergangenen 25 Jahren entscheidend vorgezeichnet wurden und die noch viele Aufgaben stellen wird.

It seems worthwhile to take the 25th anniversary of the International Man-Made Fibres Congress as an occasion to review the development of man-made fibres. Both quantitative and qualitative developments have played an important role in this context. The ability to produce synthetic fibres in large quantities has played a decisive part in the textile industry's effort to meet market demands. Their quality has both influenced the world of classical textiles in many ways, and opened up wholly new areas of activity.

All this did not grow overnight, but is the fruit of an untiring labour of research and development. With today's technology, it is possible not only to improve given properties of man-made fibres, but to tailor them in accordance with the particular demands of clothing, domestic and industrial textiles manufacturers. The textile industry has thus achieved an unprecedented degree of technical freedom, of which the classical textiles industry has just begun to make use. It represents the starting point for the development of a completely new kind of textiles.

The world of textiles is thus stepping towards a future whose foundations were laid in the last twenty-five years, and which holds many more new tasks in store for us.

### Einleitung

„25 Jahre Chemiefaserforschung und -entwicklung, ihr Weg in die Zukunft“ ist das Thema meines Vortrages. Er könnte auf den zahlreichen Entwicklungen aufbauen, die die Chemiefaserindustrie in den vergangenen 25 Jahren dem Markt angeboten hat. Eine solche Konzeption erscheint mir aber nicht ausreichend. Die Chemiefaserindustrie ist nämlich, wie kaum eine andere Industrie, in die Gesellschaft eingebunden. Sie hilft nicht nur, Bedürfnisse zu befriedigen, sondern liefert gleichzeitig den Menschen vielfache Möglichkeiten, sich mit ihnen und in den aus ihren Produkten hergestellten Textilien auszudrücken. Deshalb ist es notwendig, bei der Behandlung des Themas auch das Umfeld der Chemiefaserforschung angemessen zu berücksichtigen und in Erinnerung zu rufen, wie die Lage Anfang der sechziger Jahre war.

Ein charakteristisches Bild der Situation 1962 vermittelt sicher das Programm der 1. Internationalen Chemiefasertagung in Dornbirn (Abb. 1). Es zeigt, daß damals schon die Faserarten und Fragenkreise angesprochen wurden, die auch in unserem diesjährigen Tagungsprogramm behan-

delt werden. Wir erkennen aber auch, daß sich die Schwerpunkte verschoben haben und die Entwicklungen in Richtungen verlaufen sind, die wir seinerzeit noch nicht einmal ahnen konnten.

Technischer Stand und Zukunftsaussichten der Chemiefaser

Prof. Dr. H. Hopff, Zürich

Chemiefasern als Rohmaterial für texturierte Garne

Rudolf Hagemann, Düsseldorf

Wie paßt man den Griff von Terylene-Geweben den Kundenwünschen an?

Geoffrey W. Manock, London

Erfahrungen und Erkenntnisse auf dem Gebiet der Chemiefaserverspinnung

Dr. Ing. E. Kirschner, Düsseldorf

Zellwolle – gestern – heute – morgen

Dr. Wilhelm Albrecht, Kassel

Die Chemiefaserindustrie in Japan

Dr. Minoru Nishio, Japan

Zellwolle rein und gemischt im Einsatz in der Wirkerei und Strickerei

Textilingenieur Fritz Bürkle, Hamburg

Heimtextilien und Chemiefasern

Ing. J. Nunnikhoven, Arnhem

Synthesefasern – technologisch gesehen

Prof. Dr. Ing. Helmut Köls, München

Die Einflüsse der Chemiefaserindustrie auf unser textiles Denken

Dr. Joseph Nüsselein, Frankfurt/Main

Chemiefaser und Letztverbraucher

Dr. Hans Leichum, Frankfurt/Main

Abb. 1: Internationale Chemiefasertagung 1962 in Dornbirn

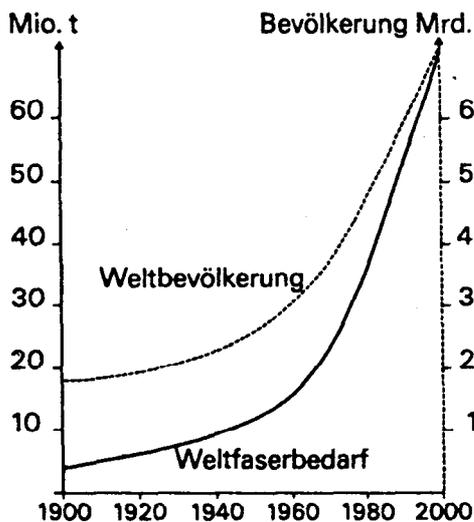
Solche Feststellungen lassen sich bei den verschiedensten Erzeugnissen anhand von Momentaufnahmen über die Zeit immer wieder machen. Wenn solche Aufnahmen dann durch Linien miteinander verbunden werden, gewinnen sie Gestalt und vermitteln eine interessante Rückschau. Aus ihr ließe sich viel lernen, wenn die Bereitschaft dazu vorhanden wäre. Nachdem es daran allerdings oft mangelt, ja das Handeln manchmal sogar vom „Nun-erst-recht“ oder „Nun-gerade-nicht“ bestimmt wird und „seltene Ereignisse“, ein Begriff, der uns aus der Textilwelt sehr gut bekannt ist, mitbestimmend sind, werden die gezogenen Schlüsse aus der Rückschau in die Zukunft unter Umständen zum Glücksspiel. Das soll nicht heißen, daß Generaltrends nicht erkannt werden, sondern es führt vielmehr dazu, daß spezielle Aussagen mit einer großen Unsicherheit belastet werden. Lassen Sie mich dies mit einem Beispiel erklären. Es gehört nicht viel dazu vorauszusagen, daß der Textilverbrauch in der Welt steigen wird. Ja, es läßt sich sogar mit befriedigender Genauigkeit angeben, wie hoch er im Jahr 2000 sein wird. Entsprechende Bilder (Abb. 2 und 3) benutze ich jetzt ca. 20 Jahre, ohne die Kurven verändert zu haben. Wenn wir aber Aussagen über die Entwicklung von speziellen Garntypen, z. B. luftgeblasene Filamentgarne, machen sollen, tun wir uns erfahrungsgemäß bereits schon sehr schwer. Deshalb erscheint es notwendig, sich immer wieder der Fundamente der Textilentwicklung zu erinnern und sich an ihnen bewußt zu machen, warum bestimmte Entwicklungen Bestand gehabt haben und andere nicht bzw. warum scheinbar klar abzusehende Trends sich dann doch nicht erfüllt haben. Innovationen sind zwar Voraussetzungen, aber allein für sich noch keine Garantie für den Erfolg.

### Rückschau

Textilien waren um die Jahrhundertwende noch knapp und demzufolge *kostbar*. Sie eigneten sich gut, besondere Ereignisse im Leben der Menschen und Unterschiede zwischen den Ständen auszudrücken. Der Wunsch nach mehr Textilien war deshalb menschlich und nicht nur ein Traum von Chemikern und Ingenieuren. Deshalb war es nahezu selbstverständlich nach Wegen zu suchen, wie dieser Wunsch, künstliche Fasern zu erzeugen, realisiert werden könnte. Dazu fehlten allerdings noch alle die *Konstruktionsvorlagen*, die wir heute besitzen und anwenden. Deshalb wurde nach bestem Wissen und Gewissen die Natur beobachtet und experimentiert. Der Begriff *Makromolekül* war noch nicht erfunden, ja, in dieser Zeit fühlte man sich sogar sicher, daß die Natur nur kleine Moleküle aufbauen kann – aber trotzdem gelang es, Fasern zu erzeugen.

Die Güte ihrer Eigenschaften war vergleichsweise zu den heutigen Produkten bescheiden. Daß der Markt diese Fasern aber trotzdem schnell angenommen hat, ist bereits ein

Beweis dafür, daß sie begehrt waren. Die laufende Produktion und Verarbeitung wiederum regten an und zwangen dazu, die Fasereigenschaften zu verbessern, wozu, mangels besserer Voraussetzungen, intensiv „gebastelt“ wurde. Diese Epoche ist also gekennzeichnet durch Nachmachen und Verbessern, weil die Bauprinzipien der Fasern noch nicht bekannt waren. Die Tatsache, daß vielerorts *Kunstseidefabriken* gebaut wurden und sich neue Unternehmen bildeten, Patente erteilt wurden und viel Geheimniskrämerie betrieben wurde und schließlich Fritz K l a t t e schon 1913 sein Patent zur Herstellung der ersten synthetischen Chemiefaser aus PVC erhielt, sind weitere Beweise für Bedarf und Interesse an diesem Industriezweig.



Quelle: Club of Rome

Abb. 2: Entwicklung der Weltbevölkerung und des Weltfaserbedarfs bis zum Jahre 2000

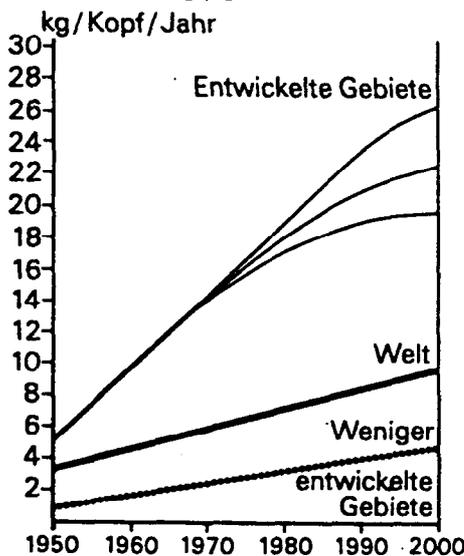


Abb. 3: Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Textilfasern bis zum Jahre 2000

Wenngleich diese Zeit des Aufbruchs beachtliche Ergebnisse geliefert hat, so hat sie aber auch gezeigt, daß es unerläßlich notwendig ist, das Erreichte auch zu verstehen.

Hierum wurde dann bis 1935 hart gerungen. Die dabei erarbeiteten Ergebnisse haben schließlich in die Chemiefaserentwicklung übergeleitet, d. h. vom Nachmachen und

Verbessern durch Basteln in die Zeit des Verstehens. Damit wurde das Fundament gelegt für einen Arbeitsstil, dem wir auch heute noch folgen und wodurch die Naturfasern mit den industriell erzeugten Fasern in eine Reihe gestellt werden. Diese Zusammenfassung von Natur- und Chemiefasern entspricht in ihrer Bedeutung in etwa der Wöhlerschen Synthese von organischem Harnstoff aus anorganischem Ammoniumcyanat, durch die 1828 die Naturstoffindustrie, der bis dahin die geheimnisvolle „vis vitalis“ angeeignet wurde, ihre besondere Stellung verlor und den allgemein gültigen Regeln der Chemie unterworfen wurde. Diese Entwicklung mußte zwangsläufig auch zu der Erkenntnis führen, daß die Natur ihre Erzeugnisse für ganz bestimmte Aufgaben geschaffen hat, aber die Menschen diese Produkte auch für Zwecke verwenden, für die sie ursprünglich gar nicht geschaffen worden sind. So hat die Natur die Baumwollfaser keineswegs für die Bekleidung der Menschen entwickelt, sondern zum Transport des Samens durch die Luft. Auch die Stengel- und Blattfasern wurden für andere Aufgaben konstruiert. Ja, sogar die tierischen Haare, die fraglos für den Schutz der Tiere von der Natur geschaffen wurden, erfüllen ihre Aufgabe optimal nur, wenn sie in der gewachsenen Vliesform vom Tier getragen werden. Für die Herstellung von Garnen sind sie sicher nicht konzipiert.

Mit diesen Erkenntnissen begannen sich auch die fachorientierten Denkmodelle der Textilkonstruktoren zu ändern und neue Vorstellungen von Textilien zu entwickeln.

Die Textilkonstruktoren fingen an, Anforderungsprofile von Fertigtextilien für die Bereiche Heim- und technische Textilien zu entwerfen und der Textil- und Chemiefaserindustrie die Aufgabe zu stellen, diese Anforderungsprofile zu realisieren. Es ging und geht also zunächst einmal darum, Textilien zu optimieren und dazu geeignete Rohstoffe und Herstellungsverfahren einzusetzen. Dieses Denkmodell begründet sich auf der Tatsache, daß alle technischen Erzeugnisse und Herstellungsverfahren noch verbesserungsfähig sind und die herkömmliche Textilwelt zwangsläufig auf angepaßten Grundlagen beruht. Die neu gewonnenen Konstruktionsparameter Chemiefasern ermöglichen es, nicht nur allein von dem auszugehen, was die Natur liefert, sondern aus einem größeren Angebot zielgerichtet auszuwählen, ja sogar speziell angepaßte Fasern zu konstruieren. Damit ist die Herstellung von Textilien zur ingenieurmäßigen Aufgabe geworden, einer Aufgabe, wie sie sich für die Metallindustrie seit eh und je stellte. Auch sie ist in verschiedene Produktionssparten gegliedert. In ihren Produkten haben Funktion und Ästhetik, wie wir alle wissen, unterschiedliches Gewicht. Diese Unterschiede sind in ihrer Vielfalt und ihren Auswirkungen bei Textilien allerdings viel stärker ausgeprägt. Bei genauerer Betrachtung der Textilwelt läßt sich sogar schnell feststellen, daß Funktion und Ästhetik bei den verschiedenen Textilien sehr unterschiedliche Stellenwerte haben. Dies gilt nicht nur für die drei Gruppen: Bekleidungs-, Heim- und technische Textilien, sondern auch innerhalb der einzelnen Gruppen. Sicher gibt es genügend Beispiele im Bereich Bekleidungstextilien, bei denen Ästhetik die Hauptfunktion sein soll. Aber auch bei vielen funktionsausgerichteten technischen Textilien spielt das Design eine wichtige Rolle. Das Element Ästhetik hat also in der Textilwelt einen besonderen Stellenwert und war und ist deshalb sogar Gegenstand echter Forschungsbemühungen. Denken wir nur an die Aufgabe, Textilien aus *pflgeleichter Seide* herzustellen.

Fassen wir die Rückschau kurz zusammen, so zeigt sich, daß wir bei weiterhin steigendem Bedarf an Textilien die Phasen *Nachmachen*, *Verbessern ohne nützliche Basiskenntnisse* und schließlich das *Verstehen von Ursache und Wirkung* bei Chemiefasern hinter uns gebracht haben und nun schon seit etwa zwei Jahrzehnten in der Epoche *Konstruieren mit Chemiefasern* leben. Beim Eintritt in diese Epoche hat es, wie nicht anders zu erwarten, einige Entwicklungen gegeben, die wir im Nachhinein als Fehlentwicklungen bezeichnen müssen. Zum einen haben die meisten bedeutenden Chemiefaserhersteller geglaubt, sie müßten auf allen Gebieten der Chemiefaserherstellung tätig

sein und zum anderen wurden die vorhandenen Möglichkeiten zum Konstruieren von Chemiefasern so weit ausgeschöpft, daß ihre Ergebnisse über die harten Marktgegebenheiten hinausgingen. Es gehörte einfach zum guten Ton, auf Tagungen immer wieder neue Fasertypen vorzustellen. Diese Euphorie ist inzwischen verflogen. Das alte Sprichwort „Begrenze dich, wenn du Erfolg haben willst“ wurde wieder einmal in mehrfacher Weise bestätigt. Und so wird heute intensiv an der Realisierung von zukunfts-trächtigen Anforderungsprofilen für Textilien gearbeitet. Das Programm dieser Tagung ist dafür ein interessantes Beispiel.

**Standortbestimmung**

Was hat sich nun konkret in den vergangenen 25 Jahren getan? Allein schon das Mengenwachstum (Abb. 4) baut auf intensiver Forschung auf. Wenn heute die Zahl der Düsenlöcher bei der Spinnfaserherstellung um ein Mehrfaches höher liegt als 1962, die Produktionsgeschwindigkeit allgemein gesteigert und gleichzeitig die Qualität verbessert worden ist, so ist dies letzten Endes das Ergebnis vielfacher chemischer, physikalischer und maschinenbaulicher Forschung.

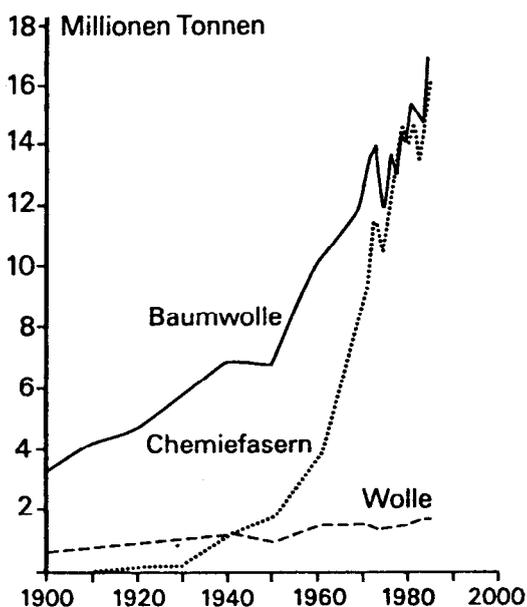


Abb. 4: Weltproduktion von Textilfasern in Millionen Tonnen

Außerdem wurde die Betriebssicherheit der Chemiefasern produzierenden Maschinen soweit erhöht, daß sie heute eigentlich überall auf der Welt aufgestellt und sicher betrieben werden können.

Das Ergebnis dieser Entwicklung zeigt die Abbildung 5. Sie macht deutlich, daß 1985 schon fast 50 % aller Chemiefasern in Ländern hergestellt wurden, die vor 15 Jahren nur eine geringe oder gar keine Chemiefaserproduktion hatten. Dieser Trend hält an und läßt erkennen, welche Bedeutung der Textilversorgung der Bevölkerung vielerorts zugemessen wird.

Die Abbildung 6 gibt das Mengenwachstum der fünf Chemiefaserarten wieder: Cellulose, Polyamid, acryl, Polyester und sonstige. Dabei hat, wie wir alle wissen in Zuge der Mengenentwicklung auch ein intensiver Wettbewerb zwischen den einzelnen Faserarten stattgefunden. Heute kennen wir die Stärken der einzelnen Faserarten und wissen auch, welche Modifizierungsmöglichkeiten sie noch bieten. Außerdem ist uns gerade im Bereich Bekleidungstextilien bewußt geworden, daß nicht alle Eigenschaften

der Naturfasern nachahmenswert, sondern einige sogar für die klassischen Einsatzgebiete verbesserungsbedürftig sind, was durch sinnvolle Faser- und Textilkonstruktionen durchaus möglich ist. Deshalb lassen sich heute Forschungsaufgaben auch besser formulieren als zu Beginn des Berichtszeitraumes. Hinzu gekommen ist weiterhin, daß zunehmend die überaus schnelle Entwicklung der Faserverarbeitungstechnologien in die Lösung der Aufgaben, bessere bzw. neuartige Textilien herzustellen, mit einbezogen wird. Dies alles macht es schwer, in einem kurzen Referat ein vollständiges Bild der Entwicklung zu vermitteln. Trotzdem soll es anhand einiger Abbildungen versucht werden.

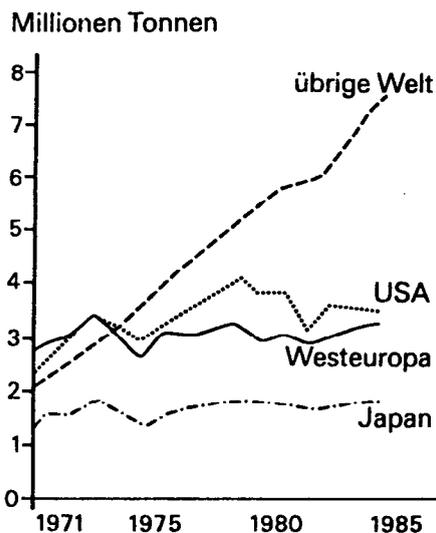


Abb. 5: Regionale Entwicklung der Chemiefaserproduktion

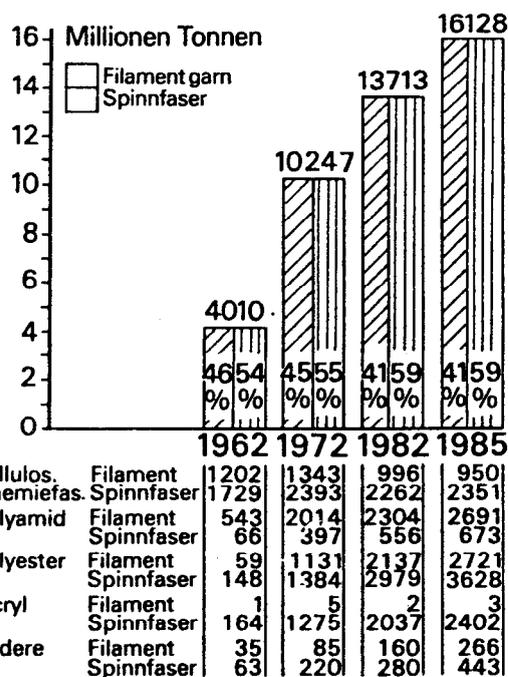


Abb. 6: Weltproduktion von Chemiefasern 1962 - 1985

Aus der Abbildung 6 können wir bereits einige grundsätzliche Erkenntnisse entnehmen:

- Am stärksten ist die Polyesterfaserproduktion gewachsen.

- Innerhalb der einzelnen Fasergruppen ist das Verhältnis Spinnfasern zu Filamenten sehr verschieden.
- Das Wachstum des Filamentanteils – eine herstellungsbedingte Besonderheit der Chemiefasererzeugung, die auch technisch vorteilhaft bei der Weiterverarbeitung genutzt werden kann – stagniert oder ist sogar etwas rückläufig. Diese Feststellung baut auf einer ganzen Reihe von Ursachen auf.
- Die Gruppe der sonstigen Fasern hat sich mengenmäßig nicht so entwickelt, wie vielleicht aufgrund von Veröffentlichungen angenommen wird. Trotzdem lehrt die Praxis, daß dieser Bereich Aufmerksamkeit verdient, zumal auch davon ausgegangen werden muß, daß sich das Marktgeschehen in den angegebenen Zahlen nicht vollständig widerspiegelt.

Unter dem Strich kann wohl aus der Abbildung 6 auch noch abgelesen werden, daß der Wettbewerb zwischen den einzelnen Fasergruppen dazu geführt hat, daß sie ihrer Eigenschaften wegen in einigen Einsatzbereichen dominieren. Außerdem wirft sie die Frage nach der oder den Ursachen für die Stagnation des Mengenwachstums der cellulosischen Fasern auf. Ferner regen die heute vorhandenen grundsätzlichen Kenntnisse dazu an, im Rahmen dieser Standortbestimmung die erzielten Fortschritte und ihre Ursachen eigenschaftsbezogen zu untersuchen. Dazu sollen die Fasereigenschaften in drei Gruppen eingeteilt werden:

- sicht- und fühlbare,
- durch physikalische Prüfungen zu ermittelnde und
- chemische Eigenschaften.

### Direkt sicht- und fühlbare Fasereigenschaften

Die direkt sicht- und fühlbaren Fasereigenschaften sind in Abbildung 7 zusammengestellt. Sie können und sollen hier nicht alle ausführlich besprochen werden, zumal sie auch nur teilweise wirkliche Themen für die Faserforschung waren bzw. sind. Die Feinheit der hergestellten Chemiefasern ist jedoch ein überaus interessantes Thema, weil sie den Bogen von den Matrixfasern für Poromerics bis hin zu groben Angelschnüren spannt. Die Matrixfasern sind nicht nur extra fein, z. B. feiner als 0,01 dtex für die bereits erwähnten Poromerics, sondern leiten auch über zu anderen Bikomponentenfasern, wie die Abbildung 8 zeigt. Solche Fasern finden Verwendung in Bekleidungstextilien als Fill-, Filter- und Binfasern. Ihre Herstellung war nicht nur ein apparatives Thema, sondern auch ein chemisches, physikalisches und ingenieurmäßiges.

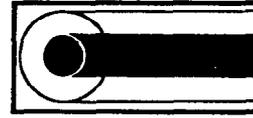
**Festigkeit**  
– trocken, naß und quer –  
**Dehnung**  
– trocken und naß –  
**Modul**  
**Schrumpfverhalten**  
**Pillingverhalten**  
**Temperaturverhalten**  
**Leitfähigkeitsvermögen**  
**für Energie**  
**Feuchtigkeitsaufnahme**

Abb. 7: Direkt sicht- und fühlbare Fasereigenschaften

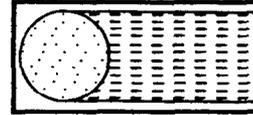
Seite an Seite



Mantel/Kern



fibrillar verteilt



endlose  
Fibrillen in einer  
Grundsubstanz

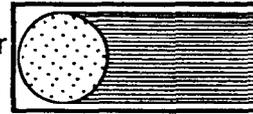


Abb. 8: Bikomponentenstrukturen und Querschnittsformen von synthetischen Chemiefasern

Kräuselung und Bausch von Spinnfasern waren zunächst wie die Faserpräparation eine wichtige verarbeitungsbestimmende Eigenschaft. Heute sind sie zusätzlich zunehmend gefragt, wenn Isolation, Deckkraft, gute Laufeigenschaften (vielleicht sogar auf schnellaufenden Nähmaschinen), Volumen und Griff gefordert werden. Für die Einstellung der gewünschten Werte werden verschiedene Wege begangen: Stauchen, Schrumpfen, Texturieren, Bikomponentenstrukturen, um nur die Oberbegriffe zu nennen, die sich noch vielfältig bei den verschiedenen Faserarten untergliedern lassen. Die Faserquerschnitte sind teilweise faserartypisch, teilweise können sie auch durch die Düsenlochformen und andere Herstellungsbedingungen modifiziert werden. Mit ihrer Variation werden sowohl spezielle Funktionen, z. B. Isolation, Schmutztarnung, als auch ästhetische Wirkungen, z. B. Glanz, Glitzer, Griff, angesprochen. Ihre zeitweise übertriebene Vielfalt hat der Markt inzwischen auch zurückgeschnitten, gleichzeitig allerdings haben sich neue Wünsche entwickelt.

Bei der Modifizierung der Faseroberfläche baut die Textilveredelung auf den u. U. speziell eingestellten Fasereigenschaften auf. So ist es z. B. gelungen, pflegeleichte seidige Textilien aus Polyesterfilamentgarnen her- und die verschiedensten Effekte einzustellen. Dazu zählt beispielsweise auch die Entwicklung von Fasern für die Beflockung.

Steifigkeit und Sprödigkeit sind Fasereigenschaften, die substanz- und herstellungsbedingt sind. Sie haben grundlegende Studien erforderlich gemacht, die inzwischen vielfältig nutzbare Ergebnisse geliefert haben. Auf sie soll bei der Besprechung des Festigkeits- und Dehnungsverhaltens noch eingegangen werden.

Der weite Bereich *Farbe* hat viele Aufgaben gestellt und stellt noch weitere. Er umfaßt die verschiedenen Arten der Farbgebung von der Spinn- bis zur Signierfärbung, um nur zwei extreme Vertreter zu nennen, und auch die Ermittlung des Farbeffektes. Die Lösung dieser Aufgaben war und ist nur durch intensive Grundlagen- und anwendungstechnische Forschung sowie viele nicht minder wichtige Entwicklungsarbeiten möglich. Struktur- und reaktionskinetische Fragen mußten dabei beantwortet werden. Es ist hier weder Zeit noch Raum, diesem weiten Feld der Forschung auch nur annähernd gerecht zu werden. Es läßt sich aber mit der dürren Feststellung umreißen: Fasern mit möglichst wenig Kosten angemessen echt zu färben. Die Kosten umfassen den Einsatz von Farbstoffen, Wasser, Hilfsmitteln, Energie, Maschinen und Arbeitskräften sowie selbstverständlich auch die Chemie und Physik der Fasern sowie die verschiedenen Bedingungen bei ihrer Pflege. Mit diesen Stichwörtern kann der vielschichtige Problembereich für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nur angedeutet werden.

**Eigenschaften, die erst mit physikalischen Meßmethoden erfaßt werden können**

Die Fasereigenschaften, die erst mit physikalischen Meßmethoden erfaßt werden können, sind vielfältig miteinander verknüpft und meistens substanzgebunden. Das bedeutet auch, daß diese Eigenschaften schon zur dritten Gruppe überleiten.

Die Abbildung 9 enthält eine Zusammenstellung der Eigenschaften, die hier kurz besprochen werden sollen. Zur Einstellung der gewünschten jeweiligen Werte wird mit den verschiedensten Maßnahmen in die Faserstruktur eingegriffen. Die Maßnahmen sind substanzbezogen und dem Herstellungsverfahren angepaßt. Sie bauen auf umfassenden Forschungsarbeiten auf.

- Faserfeinheit
- auch Tierschwankungen
- Faserlänge
- Kräuselung, Bausch
- Faserquerschnitt
- Faseroberfläche
- Steifigkeit
- Sprödigkeit
- Glanz, Glitzer, Glätte, Farbe

Abb. 9: Fasereigenschaften

Die Abbildung 10 enthält links die Maßnahmen, deren sich die Chemiefaserhersteller heute bedienen, und rechts die erzielbaren Effekte. Daß nicht alle angeführten Maßnahmen bei der Produktion der verschiedenen Faserarten angewandt werden, ist substanz- und verfahrensbedingt. Ein besonderes Thema für die Faserforschung war, wie bereits angedeutet, seit Aufnahme der Chemiefaserproduktion die Einstellung angemessener Faserfestigkeiten und Dehnungseigenschaften. Mit dem Eintritt in die Epoche des Verständnisses der Zusammenhänge von Ursache und Wirkung wurden zielgerichtete Maßnahmen eingeleitet und nach Auswertung immer weitergehenderer Untersuchungen zunehmend perfektioniert. So verfügen wir heute, wie die Abbildung 10 zeigt, über eine ganze Palette von Maßnahmen, die einzeln, meist aber kombiniert, erfolgreich angewandt werden. Dadurch gelingt es, auch spezielle technische Fasern mit sehr hohen Festigkeitswerten herzustellen, wozu nicht mehr nur ein Pauschalwert für die Kristallisation eingestellt wird, sondern auch noch die vorgegebene Kristallitgröße.

Die Erkenntnisse über die Feinstruktur von Fasern gehen heute bis zum Verständnis des Gelspinnens und seiner Ergebnisse. All diese Entwicklungen aber gestatten es erst, neue Werkstoffe, z. B. auch die Composites, zu schaffen und in Anwendungsbereiche vorzudringen, die neu und hoffnungsvoll sind.

Ein über die Zeit immer wieder diskutiertes Thema war und ist die Feuchteaufnahme von Fasern. Dabei wurde den Synthesefasern häufig das Verhalten der Baumwolle vorgehalten, deren Entwicklung, wie bereits ausgeführt, einem ganz anderen Zweck dient. Inzwischen versteht man aber, den Feuchtetransport da, wo er nötig ist, durch zweiflächige Textilien aus hydrophoben und hydrophilen Fa-

sern noch besser als mit einschichtigen Baumwolltextilien zu gestalten. Die hydrophoben Fasern auf der Haut halten sie weitgehend trocken und verhindern dadurch auch einen unangenehm großen Entzug von Energie aus der Haut. Dies Beispiel zeigt nicht nur, daß es hilfreich ist, alte zwangsläufige Vorstellungen naturwissenschaftlich zu durchleuchten, sondern daß es auch notwendig ist, bei der Erarbeitung neuer Textilösungen alle Möglichkeiten – Modifizierung von Fasern, Optimierung der Konstruktion von Textilien und die Beiträge, die die Textilveredelungsindustrie liefern kann – zu untersuchen. Diese Regel gilt für eine ganze Reihe von Textilbeispielen. Um sie erfolgreich bearbeiten zu können, bedarf es aber eindeutiger Anforderungsprofile für die jeweiligen Textilien und einer umfassenden Übersicht über die einsetzbaren Möglichkeiten zu ihrer Realisierung. Pauschalbetrachtungen werden immer weniger erfolgreich sein. Es gilt zunehmend, Einzelaufgaben zu lösen.

Polymerauswahl, u. U. Mischungen	Anfärbung/Farbausfall/ Farbechtheiten
Polymerzustand in Schmelze/Lösung	chemische und physikalische Fasereigenschaften wie z.B. thermisches Verhalten Chemikalienbeständigkeit
Zumischung von Zusätzen	Hydrophilie Anschmutzung
Temperaturführung und Verstreckungsbedingungen bei der Herstellung	
Nachbehandlung (chemisch/physikalisch)	

Abb. 10: Maßnahmen des Chemiefaserherstellers (links), erzielbare Effekte (rechts)

**Faserchemisch bedingte Eigenschaften**

Die dritte Gruppe Fasereigenschaften wird bevorzugt sichtbar, wenn die Fasersubstanz chemischen Reaktionen ausgesetzt wird. Diese chemischen Reaktionen sind substanz- und strukturspezifisch. Sie können durch Aktivierungsmaßnahmen noch gefördert werden. Die Abbildung 11 enthält links die Verfahrensmöglichkeiten und rechts die einstellbaren Effekte. Die angegebenen Verfahren können prinzipiell bei allen Faserarten angewandt werden. Die größte Bedeutung kommt der Polymerauswahl zu. Es lassen sich mit den Modifikationsmaßnahmen aber auch interessante und dauerhafte Effekte einstellen. Auch wenn sie manchmal nicht grundsätzlich vom Herkömmlichen abweichen, so können sie doch marktwichtige Bedeutung haben.

Polymerauswahl (Copolymere)	Verhalten gegenüber Chemikalien und physikalischen Kräften
Einlagerungen	Kristallinität Kristallitgröße Orientierung Porenvolumen
Auflagerungen/Pfropfen	
Aktivierungsmaßnahmen	
Faser-Herstellungs- bedingungen	

Abb. 11: Maßnahmen des Chemiefaserherstellers (links), erzielbare Effekte (rechts)

Hinter dem Begriff „thermisches Verhalten“ stehen nicht nur die Erweichungs-, Schmelz- und Zersetzungspunkte der ganzen Fasern, sondern auch von Faseranteilen, die wiederum, z. B. für die Bindung von Vliesstoffen, erfolgreich eingesetzt werden. Ähnliches gilt für die anderen angegebenen Effekte. Sie können hier nur Sammelbezeichnungen sein, die sich in weiten Grenzen und vielfältig variieren lassen. Die praktischen Grenzen setzt wiederum der

Markt. So hat sich beispielsweise das Pfropfen trotz einer Reihe guter Ansätze nicht so durchgesetzt, wie die Wissenschaftler erwartet haben. Die Ansätze wurden durch andere Problemlösungen, zum Teil aus anderen Forschungsdisziplinen, überholt.

### Gedanken für die Chemiefaserforschung der Zukunft

Wenngleich die Standortbestimmung nur kurz sein konnte, so hat sie sicher doch erkennen lassen, daß wir heute einen ganzen Katalog von Möglichkeiten haben, in sehr weiten Grenzen vorhandene Anforderungen zu realisieren. Man könnte sogar fast meinen, es gäbe nicht mehr allzuviel zu tun. Dem muß aber eine ganze Reihe von grundsätzlichen Überlegungen und bereits formulierten Fragestellungen entgegengehalten werden. Sicher werden die Aufgaben für die Faserforschung in der Zukunft ein anderes Gesicht haben als in der Vergangenheit: sie werden aber nicht minder bedeutungsvoll sein.

Der Fortschritt ist nicht aufzuhalten – selbst wenn er aus anderen Bereichen heraus initiiert wird. Es gibt nämlich kein Nebeneinander von einzelnen Forschungsdisziplinen. Sie sind als Netz miteinander verflochten, und jede Disziplin bringt zugleich Nachbardisziplinen weiter. Fragen wir uns nach Aufgaben, die sich aus grundsätzlichen Überlegungen für die Textilwelt stellen werden, so lassen sich heute schon einige formulieren:

- Der Maschinenbau wird der Chemiefaser-, Textil-, Veredelungsindustrie und der Konfektion zunehmend produktivere und automatisiertere Maschinen anbieten. Dies führt zu einer ganzen Reihe von Konsequenzen. Die Vorlagen von Garnen und Flächengebilden werden immer größer und schwerer. Dadurch wird die Kontrolle ihrer Eigenschaften auch immer schwieriger. Deshalb müssen die bereits reduzierten Fehlerzahlen noch weiter gesenkt und On-line-Prüfmethode sowie Steuergeräte zunehmend in die Produktionsmaschinen integriert werden. Mit dieser Entwicklung werden aber auch hohe Anforderungen an die Rohstoffe verbunden sein. Ihre Gleichmäßigkeit und Reinheit werden zu entscheidenden Kriterien werden. Der Qualitätsbegriff, auch für die Naturfasern, bekommt dadurch ein anderes Gewicht.
- Aufgaben, die uns aus der Sicherung unserer Umwelt erwachsen, wachsen mit der Produktion zwangsläufig. Abwasser, Abluft und Lärm werden uns zunehmend beschäftigen. Dabei werden wir sogar in Kauf nehmen müssen, daß Entwicklungen, die technisch vernünftig und verantwortbar sind, sich nicht durchsetzen lassen. Es ist wohl so, daß die Menschen wissenschaftliche und technische Entwicklungen umso skeptischer beurteilen, je höher entwickelt ihre Länder sind. Ein Ausweichen in andere Gebiete hilft nur temporär und ist deshalb keine Lösung. Dieser Aufgabenkreis endet nicht mit der Ablieferung des textilen Endproduktes, sondern schließt die notwendigen Pflegemaßnahmen ein. Zu ihrer Unterstützung sind Fortschritte im Faserbereich denkbar.
- Ein ebenfalls wichtiges Thema ist und bleibt, Energie einzusparen bei der Herstellung und dem Gebrauch von Textilien. Dazu ist es erforderlich, alle Energieverbrauchsstellen kritisch unter die Lupe zu nehmen. Das ist sicher nicht ganz einfach. Wenn wir aber die vergangenen zehn Jahre vor unseren Augen Revue passieren lassen, so kommen wir schnell zu der Erkenntnis, daß sich durchaus Ergebnisse erzielen lassen, die am Anfang einer Entwicklung oft als kaum erreichbar angesehen werden. Zur Realisierung denkbarer Erfolge gilt es auch, die Textilkonsumenten zu gewinnen. Bei dem Forschungsthema Energiesparen stellt sich nahezu zwangsläufig die Frage, wie es der Natur gelingt, bei Zimmertemperatur zu polymerisieren, und warum in der chemischen Technik viel höhere Temperaturen eingesetzt werden müssen. Die Beantwortung dieser Frage führt sogar über ihren vordergründigen Sinn hinaus und dürfte uns Wege weisen, wie wir unsere Versorgung mit Rohstoffen aus Wasser und Luft ohne großen Aufwand gewährleisten können.

- Wenngleich es zur Zeit so aussieht, daß die Versorgung der Chemiefaserindustrie mit aus Erdöl hergestellten Rohstoffen auf lange Zeit gesichert ist, so wissen wir doch heute schon, daß die Zeit danach nicht allzu fern ist. Deshalb gehört es sich für verantwortungsvolle Menschen, darüber nachzudenken und geeignete Forschungsarbeiten zur dauerhaften Rohstoffversorgung zu beginnen. Für ein einfaches Umkehren zur Textilwelt von gestern oder Hinterherlaufen hinter anderen fehlen später die Voraussetzungen. Außerdem gilt es dann auch noch, die gültigen Gebrauchsgewohnheiten zu erfüllen, was mit kurzfristigen Alternativlösungen sicher nicht ganz einfach ist.

Neben diesen grundsätzlichen Aufgaben gibt es noch eine Reihe textilspezifischer, die zwar auch mit den aufgezeigten Trends verknüpft sind, deren Anstöße aber doch direkter aus der Textilwelt kommen:

- Die Gewichte von Textilien lassen sich sicher in einer ganzen Reihe von Fällen noch senken, ohne daß ihre Funktionstüchtigkeiten gemindert werden. Damit würden nicht nur Beiträge zur Lösung von bereits angeschnittenen Aufgaben geleistet, sondern kommen wir auch Wünschen der Träger und Verwender entgegen. Solche Entwicklungen laufen bereits, ließen sich aber sogar mit den vorhandenen Mitteln noch ausbauen. Durch angepaßte Faserkonstruktionen und Faserkombinationen könnten die inzwischen erreichten Grenzen noch nach niedrigeren Flächengewichten verschoben werden. Daß dadurch die Herstellungs- und Verarbeitungskosten nicht über Gebühr erhöht werden dürfen, ist selbstverständlich.
- Die meisten Textilien werden nicht isoliert eingesetzt. Sie befinden sich in einem Verbund. Deshalb muß zunehmend in Systemen gedacht werden. Dies gilt für Bekleidungs- und Heimtextilien, aber besonders ausgeprägt für technische Textilien. Das Denken in Systemen erfordert die Beurteilung der Eigenschaften der verschiedenen Elemente und zuweilen auch die Anpassung der Fasern durch Modifikation. Dies Denken in Systemen hat aber auch noch weiterreichende Konsequenzen. Es erfordert die Erarbeitung von größeren Know-how-Paketen, die bekanntlich wieder zu neuen Einsatzgebieten führen, zumal die Know-how-Pakete nur die sichtbaren Spitzen von umfassenden Erkenntnissen sind.
- Ein weiteres wichtiges Thema für die Forschung wird die für Verarbeitung und Gebrauch jeweils notwendige Formstabilität von Fasern, Garnen und Flächengebilden sein. Dabei werden sowohl hochschrumpfende wie wenig schrumpfende und sehr formstabile Textilien benötigt, wobei die Schrumpfbedingungen zum Teil recht verschieden sind. Bei der Realisierung solcher Wünsche müssen auch die verschiedenen Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien der Textilien und der Systeme, die sie bilden sollen, berücksichtigt werden.
- Die Medizin wird auch noch weitere Anforderungen an Textilien stellen. Deshalb dürfte es interessant sein, mit den verschiedenen Experten zu sprechen. Das Spektrum reicht von chirurgischem Nahtmaterial über Folien und Composites bis hin zu elastischen Vliesstoffen, künstlichen Gefäßen und für die Trennung von Substanzen geeigneten Fasern und Membranen. Diese Entwicklungen verbinden die Medizin mit den Arbeiten für neue Werkstoffe bzw. neue Trennmethode. Daß dann sogar aus der Entwicklung semipermeabler Membranen geeignete Materialien für die Bekleidung abfallen, sei nur als Beweis für die vielseitige Verflechtung der Forschung angeführt.
- Mengenmäßig wesentlich größere Bedeutung als die Medizin hat das Gebiet der Hygiene für die Textilwirtschaft. Die Zunahme der Bevölkerung in weniger entwickelten Gebieten, die schnell fortschreitende Verstärkung und die Verschiebung des Altersaufbaus der Bevölkerung zwingen dazu, der Hygiene wachsende Aufmerksamkeit zu schenken. Bei der Lösung dieser

Aufgabe spielen Textilien zwar nur eine, aber dafür wichtige und vielfältige Rolle, deren Formen noch nicht für alle jetzt schon bekannten Fälle entwickelt sind.

- In der Technik wird die Bedeutung von Verbundstoffen mit Fasern im weitesten Sinne zunehmen. Dies führt zwangsläufig dazu, die Haftung der beiden Materialien so optimal wie überhaupt möglich zu gestalten. Die bei der Erforschung der Grenzflächenverhältnisse gewonnenen Erkenntnisse werden sicher auch den Druckvorgang auf Textilien und ihre Veredelungsfähigkeit beeinflussen sowie neue Wege zur Aktivierung der Grenzflächen im gewünschten Sinne weisen. Zur Bearbeitung dieses Themas gehören eine angemessene Analytik und Anleihen bei der Festkörperchemie und -physik.
- Bekleidungs- und Heimtextilien werden nach Optik, Griff und Preis gekauft, wobei Optik und Griff allerdings über die Zeit keine Konstanten sind. Deshalb kommt es darauf an, sie den jeweilig gültigen Vorstellungen leicht anpassen zu können. Dies betrifft sowohl die Herstellungstechnologien als auch die Möglichkeiten, die die Textilchemie bietet.

Über die nur kurz skizzierten Faserthemen hinaus gibt es noch spezielle Fragen. Sie werden sich sicher im Laufe der Zeit vermehren.

Heute lassen sich schon folgende erkennen:

- die Einstellung spezieller Eigenschaftskombinationen bei Fasern aus organischen Polymeren, z. B. sehr hohe Festigkeiten bei ebenfalls sehr hohem Modul, hoher Druckfestigkeit und moderater Dehnung,
- die Erzeugung energieleitender Fasern aus organischen Polymeren. Dabei sind auch Fasern von Interesse, die nicht die Leitfähigkeit von Kupfer oder Aluminium besitzen.

Dies alles erfordert zunächst einmal gut ausgebildete Naturwissenschaftler, die bereit sind, in einem Team Gleichgesinnter an Systemen zu arbeiten. Da ihre Aufgaben in Zukunft mehr denn je der Markt stellt, müssen sie in der Lage sein, sich für ihre Lösungen das notwendige Basiswissen zu erarbeiten und gleichzeitig Verständnis für seine praktische Anwendung aufbringen. Dazu gehören Phantasie und der Einsatz modernster Analytik, sowie ein Umfeld, in dem Innovationen gedeihen können.

Großforschungseinrichtungen und viel Geld sind allein keine Gewähr für verwertbare Innovationen. Hinzu kommt, daß sie zwangsläufig mit bürokratischen Maßnahmen verbunden sind, die bewußt oder unbewußt hemmen und den technischen Fortschritt zu lenken versuchen. In unserer Welt gibt es aber keine Instanz – und kann es auch keine geben, die den Fortschritt lenkt. Uns bleibt nur das Gewissen jedes einzelnen: und das gilt es zu schärfen.

Der zunehmende Absatz an Chemiefasern ist bereits eine Verpflichtung zu ihrer Weiterentwicklung und damit zur Forschung. Der durch sie initiierte Fortschritt wurde und wird uns nicht geschenkt, wir müssen ihn erarbeiten.

Dabei sind Organisationen gut daran, die die Möglichkeit haben, die Innovationskräfte dezentral zu nutzen und die vielschichtigen Herausforderungen elastisch anzunehmen. Dies wiederum motiviert auch die Menschen, die den Fortschritt in der Zukunft tragen. Hermann Hesse hat es, wie folgt, formuliert:

„... nur, wer bereit zu Aufbruch ist und Reise, mag lähmender Gewöhnung sich entrafen.“

Lassen Sie uns so die nächsten 25 Jahre Chemiefaserforschung beginnen.

## Leistungsfähigkeit von Fasern und die dafür verantwortlichen Strukturelemente

Dr. Hans Berg, Königstein/TS, Bundesrepublik Deutschland

Die Leistungsfähigkeit von Fasern – z. B. ihre Tüchtigkeit gegenüber mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen bei der Verarbeitung und im Gebrauch oder auch die Tiefe, die Echtheit und die Brillanz ihrer Färbungen – wird von ihren im Laufe der Zeit immer differenzierter meßbar gewordenen Eigenschaften bestimmt.

Es leuchtet ein, daß die Faserforschung sich seit vielen Jahrzehnten mit der Frage beschäftigt, von welchen strukturellen Einflußgrößen im Aufbau der Fasern nun ihrerseits die Fasereigenschaften abhängen. Ihre Beantwortung müßte für eine gezielte *Konstruktion* dieser Eigenschaften von großem Wert sein, vor allem dann, wenn es gelänge, auch die Zusammenhänge der Strukturmerkmale der Fasern mit den Parametern ihrer Herstellverfahren aufzuklären. Der hierzu in den Forschungsabteilungen von Industrie, Instituten und Hochschulen eingesetzte Forschungsaufwand war in den vergangenen 40 Jahren dementsprechend groß.

Von einem Teil der bisher bekannt gewordenen Ergebnisse dieser Arbeiten wird in dem Vortrag berichtet. Wegen der Breite des Themas beschränken sich die Ausführungen bei den Fasern auf Polyester (Polyäthylenterephthalat und Polybutylenterephthalat), Polyamide (Nylon 6 und 66, aromatische Polyamide), Polyacrylnitril und Polypropylen. Nach einem Überblick über die heutigen Modellvorstellungen zum Faseraufbau, die aus den Untersuchungen der Ordnungszustände und der Orientierungen der Makromoleküle bzw. ihrer Segmente sowie der kristallinen Bereiche abgeleitet wurden, werden die Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Strukturelementen hinsichtlich einiger mechanischer Eigenschaften (Kraft-Dehnungsverhalten und Erholung nach Deformation), thermischer Eigenschaften (Schrumpfkraft, Schrumpf, Kräuselungsbeständigkeit und thermischer Beständigkeit) und schließlich färberischer Eigenschaften (Färbbarkeit in tiefen Tönen, echte Färbung und radial inhomogene Färbung) besprochen.

Dabei ergibt sich die überragende Bedeutung der Beweglichkeit der Molekülsegmente – beschrieben durch die Glastemperaturen der Polymeren in den nichtkristallinen Anteilen der Fasern – für die Herbeiführung der Orientierung und der Ordnungszustände, die für die Fasereigenschaften verantwortlich sind, sowie die ganz besondere Rolle der nichtkristallinen Bereiche der Faserstruktur.

The performance of fibers – their resistance against mechanical, thermal and chemical stresses during processing and in use for example, as well as depth, fastness and brilliance of their dyeings is determined by their properties which became more and more differentially measurable in the course of time. It is evident, that fiber research since many decades is engaged with the question on which parameters of the fiber structure the fiber properties in their turn depend. Answering this question should be of great value for an aimed *construction* of these properties, the more, if research could be successful in clarifying the relationships between the structural characteristics of the fibers and the parameters of their production processes. The research expenses during the past 40 years spend by industry, research institutes and universities were accordingly high.

In the lecture a part of the results of these investigations will be reported. With regard to the wide field on the subject the statements relating to the fibers are limited to polyesters (polyethylene terephthalate and polybutylene terephthalate), polyamides (Nylon 6 and 66, aromatic polyamides), polyacrylonitrile and polypropylene. Following a short survey concerning the fiber model conceptions of the present time,

which were derived from the investigations of the states of order and the orientations of the macromolecules respectively their segments and the crystalline regions, the relations between properties and elements of structure with respect to some mechanical properties (stress-strain behaviour and recovery after deformation), thermal properties (shrinkage force, shrinkage, crimp stability and thermal stability) and finally dyeing properties (dyeability in deep shades, dyeing fastness and radial inhomogeneous dyeing) will be discussed.

Consequently is stressed the exceeding importance of the molecule segments' mobility – characterized by the glass temperature of the polymers in the noncrystalline parts of the fibers – for the creation of the orientation and the states of order, which are responsible for the fiber properties, and the specific role of the noncrystalline regions of the fiber structure.

### Einleitung

Die Leistungsfähigkeit der Fasern – damit sind alle Fasern, also Naturfasern, cellulosische Chemiefasern und synthetische Chemiefasern, gemeint – ist Voraussetzung für ihren zweckmäßigen Einsatz in der Bekleidung, in Heimtextilien und in technischen Textilien. Wesentliche Aspekte sind dabei unter vielen anderen:

- Formbeständigkeit gegenüber mechanischen und thermischen Beanspruchungen,
- problemlose Färbung.

Damit sind aber bereits Eigenschaftskomplexe angesprochen, die ihrerseits in vielfältiger Weise mit wohldefinierten und im allgemeinen gut meßbaren Fasereigenschaften zusammenhängen. So gehen in die Formbeständigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen vor allem das Kraft-Dehnungsverhalten der Fasern bei Zug bzw. Stauchung und ihr Erholungsverhalten nach einer Deformation ein, deren Abhängigkeit von der Temperatur bei Belastung und vom zeitlichen Ablauf der Belastung bzw. Entlastung hier schon erwähnt seien. Thermische Beanspruchungen wirken sich unter anderem aus in Schrumpfkraft und Schrumpf, Kräuselungsbeständigkeit und thermischer Beständigkeit ganz allgemein. Auch dabei soll schon auf die Bedeutung der zeitlichen Geschichte der Beanspruchung hingewiesen werden. Unter dem Färbeverhalten wollen wir hier hauptsächlich die Färbbarkeit in tiefen Tönen, die Echtheit der Färbung und die Durchfärbung beziehungsweise Ringfärbung verstehen.

Alle diese Verhaltensweisen der Fasern, die ihrerseits den Gebrauchswert mitbestimmen, resultieren aus den Fasereigenschaften, für die jeweils der strukturelle Aufbau der Faser verantwortlich ist.

Es ist verständlich, daß die Zusammenhänge zwischen Fasereigenschaften und Faserstruktur ganz besonders in den vergangenen 25 Jahren Gegenstand intensiver Forschung in Industrie, in Instituten und Hochschulen waren<sup>1</sup>, konnte doch erwartet werden, daß ihre Aufklärung Wege zu einer gezielten *Konstruktion* von Fasereigenschaften eröffnete, vor allem dann, wenn die Zusammenhänge zwischen den Parametern der Herstellverfahren bzw. der textiltechnischen Verarbeitungs- und Veredlungsverfahren der Fasern einerseits und der Faserstruktur andererseits bekannt wären. Dieser Komplex (Abb. 1), in dessen Zentrum die Faserstruktur mit ihren Elementen *Molekülorientierung* und *Ordnungszustände* in kristallinen, parakristallinen und nichtkristallinen Bereichen sowohl als Ergebnis (Faserherstellung, -verarbeitung und -veredlung) als auch als verantwortlich für die Fasereigenschaften und damit für die Leistungsfähigkeit der Fasern steht, ist das Thema dieses Vortrages.

Hier sollen zunächst einige allgemeine Bemerkungen zum Faseraufbau, zu ihrer Feinstruktur und ihrer Morphologie, das heißt zur Anordnung ihrer Bausteine vom Makromolekül bis zu den Fibrillen bzw. auch den Lamellen-Schichten, vorausgeschickt werden.

Der immer weiter verfeinerte Blick auf die Faser und in das Faserinnere offenbart immer weiter aufgelöste Einzelhei-

ten (Abb. 2). So zeigt das Lichtmikroskop die ganze Faser (Durchmesser im  $\mu$ -Bereich [ $1 \mu = 10^{-4} \text{ cm} = 10^4 \text{ \AA}$ ]) und Einzelheiten mit Ausdehnungen hinunter bis zu  $0,2 \mu$ , das Elektronenmikroskop zeigt Einzelheiten von Schnitten beziehungsweise Oberflächen mit Dimensionen bis in den  $100 \text{ \AA}$ -Bereich hinab. Die Röntgenstruktur-Analyse erschließt mit der Kleinwinkelmethode den  $1000\text{-}10 \text{ \AA}$ -Bereich in der Überstruktur und mit der Weitwinkelmethode vorwiegend die Anordnung der Makromoleküle im  $10\text{-}1 \text{ \AA}$ -Bereich in der kristallinen Struktur. Die Ordnungszustände im nicht-kristallisierten Anteil der Faser sind einer Beschreibung im allgemeinen nicht so anschaulich bzw. eindeutig zugänglich. Hier werden meist Kombinationen der bisher erwähnten Untersuchungsverfahren mit der Infrarotspektroskopie, der Kernresonanz-Spektroskopie, der dielektrischen oder auch der dynamisch-mechanischen Meßverfahren, die letztlich alle die besonders im nichtkristallinen Anteil möglich werdenden Bewegungen von Gruppen oder Teilen der Makromoleküle verfolgen, eingesetzt. Vervollständigt werden die Informationen dann durch die Messung der Molekülorientierungen mit der Röntgenmethode, der Messung der Doppelbrechung, der Schallgeschwindigkeit und der Infrarotspektroskopie. Auch hier werden Kombinationen verschiedener Verfahren und auch indirekte, aus Zusammenhängen, die aus dem Praxisverhalten erschlossen wurden, entwickelte Meßverfahren (z. B. Färbung, Anfangsmodul der KD-Linie) angewandt.

Strukturelement	Methode	Dimensionen
Faser	Lichtmikroskopie	$> 0,2 \mu$
Fibrillen	Elektronen-Mikroskopie (Durchstrahlung, Raster-EM)	$> 100 \text{ \AA}$
Lamellen		
Hohlräume	Röntgen-Kleinwinkel	$1000\text{-}10 \text{ \AA}$
Kristalline Bereiche	Röntgen-Weitwinkel	$10\text{-}1 \text{ \AA}$
Nichtkristalline Bereiche	Röntgen-Kleinwinkel	$100\text{-}10 \text{ \AA}$
	Spektroskopie (IR, Kernresonanz, Dielekt., Dyn.-mech. usw)	Molekülgruppen
Orientierung	Röntgen- Weit- und -Kleinwinkel	Lamellen, Kristallite
	Infrarot, Doppelbrechnung, Schallgeschwindigkeit	Molekül-Segmente oder -Gruppierungen

Abb. 2: Faseraufbau und Untersuchungsmethoden

einige der Pioniere zu nennen – zu immer weiter verfeinerten Strukturmodellen geführt. Hier sollen nur einige wenige charakteristische Stationen aufgezeigt werden, nämlich Modellvorstellungen von Hosemann<sup>7</sup>, Bonart<sup>8</sup>, Pechold<sup>9</sup>, Peterlin<sup>10</sup>, Prevorsek<sup>11</sup> und Hearle<sup>12</sup> (Abb. 3). Diesen letzteren in der Zeit ab etwa 1960 erarbeiteten Modellen ist gemeinsam, daß sie das 1957 von Till, Keller und Fischer<sup>13</sup> entdeckte Phänomen der Molekülfaltung enthalten.

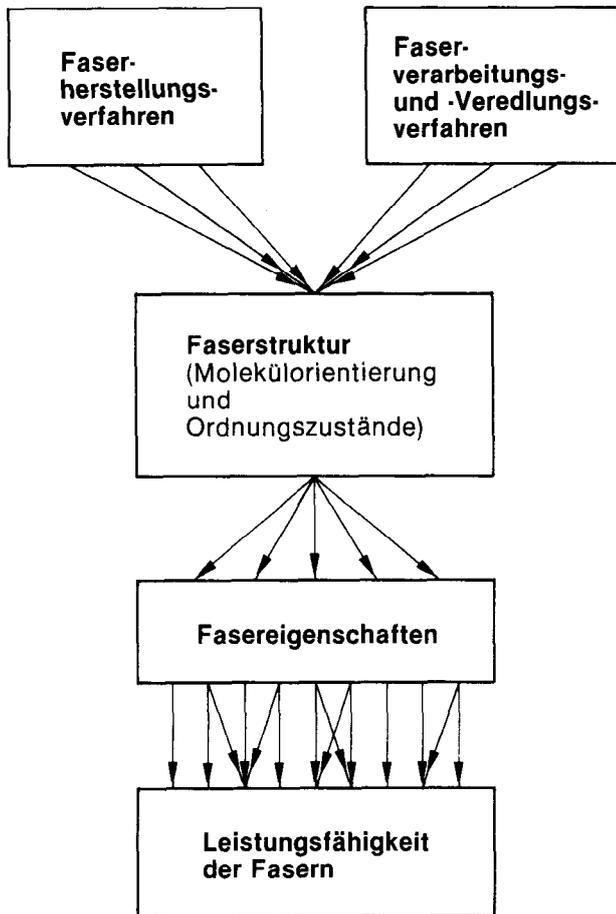


Abb. 1: Faserstruktur als Ergebnis von Faserherstellung, -verarbeitung und -veredlung, verantwortlich für Eigenschaften und Leistungsfähigkeit der Fasern

Alle diese Einblicke haben besonders im Verlauf der vergangenen 25 Jahre – aufbauend auf den Modellvorstellungen von Gerngroß, Herrmann und Abitz<sup>2</sup>, Frey-Wissling<sup>3</sup>, Mark<sup>4</sup>, Hess und Kiessig<sup>5</sup>, Hess, Mahl und Gütter<sup>6</sup>, um nur

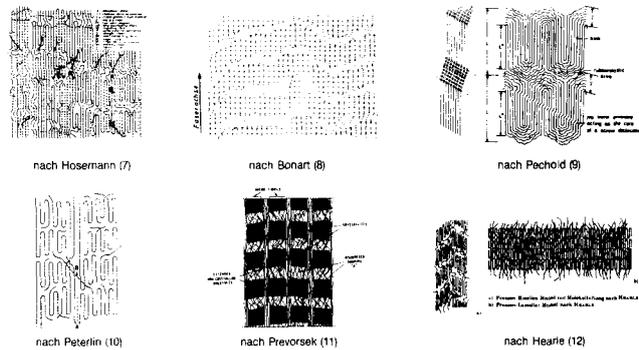
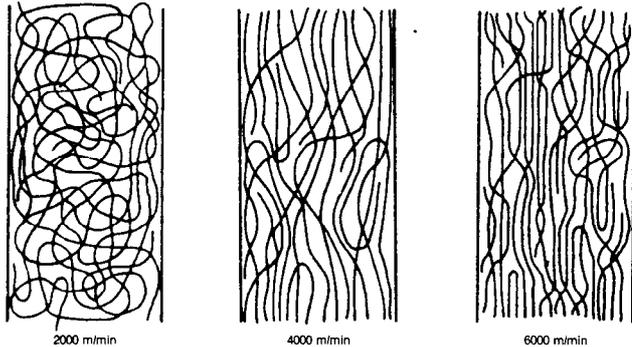


Abb. 3: Fasermodelle nach Entdeckung der Kettenrückfaltung<sup>13</sup>

Die Herstellung von Fasern geht von der Verspinnung von Schmelzen, flüssigkristallinen oder normalviskosen Lösungen von Faserpolymeren aus. In diesen Flüssigkeiten, die durch Düsenlöcher gepreßt und anschließend verfestigt und – bei der Lösungsverspinnung unter gleichzeitiger Entfernung des Lösungsmittels beziehungsweise Koagulation – verzogen werden, so daß sich der gewünschte Faserdurchmesser einstellen kann, liegen für die Makromoleküle bei klassischer Verspinnung im allgemeinen Nahordnungen, jedoch keine Fernordnungen vor (Abb. 4). Das gilt aber nicht für höhere Abzugsgeschwindigkeiten ( $> 2000 \text{ m/min}$ ) aus der Schmelze, die schon zu relativ hohen Molekülorientierungen und deutlicher lateraler Ordnung führen. Ab etwa  $5000 \text{ m/min}$  setzt dann im allgemeinen bereits eine dreidimensionale Kristallisation ein. Solche Phänomene, laterale Ordnung bzw. Kristallisation, beobachtet man bei der Verspinnung von schnell kristallisierenden bzw. besonders auch flüssigkristallinen Polymeren bereits bei normalen niedrigen Abzugsgeschwindigkeiten direkt unter der Spinnöse.

Spinnfäden werden dann diskontinuierlich oder auch kontinuierlich verstreckt (Abb. 5). Aufgabe dieser Operation ist stets, soweit nötig und möglich, die weitere Erhöhung der Molekülorientierung, die bei vielen Polymeren mit ei-

ner deutlichen Zunahme der Kristallinität verbunden ist. Beim Verstrecken erweist sich als verfahrensbestimmende Grundcharakteristik der Polymeren die Beweglichkeit ihrer Molekülsegmente, beschrieben durch die Glastemperatur. Der in diesem Verfahrensschritt geschaffene Zustand stellt den Ausgang für diskontinuierlich oder kontinuierlich sich anschließende Folgeoperationen dar. Das sind in einigen Fällen zunächst Verformungen der noch endlosen Filamente durch Kräuselung beziehungsweise, heute meist gekoppelt mit der Verstreckung, auch die Texturierung (Abb. 6).



Vorschlag von Heuvel, H. M. und R. Huisman: J. appl. Polym. Sci. 22 (1978), 2240

Abb. 4: Molekülanordnungen in PÄT-Spinnfäden, aufgespult mit verschiedenen Geschwindigkeiten

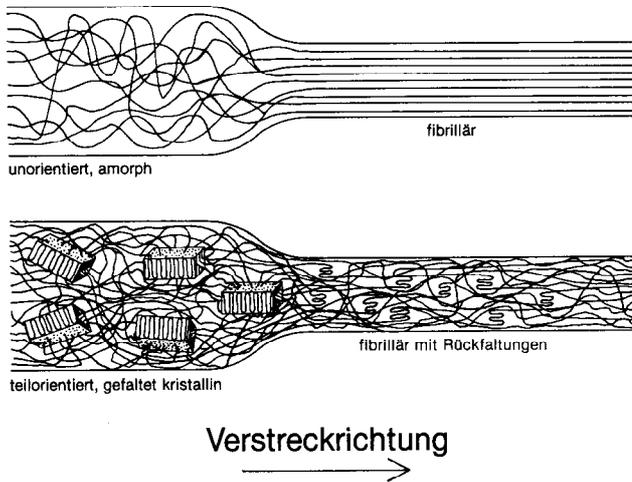


Abb. 5: Strukturaufbau beim Verstrecken (schematisch)

Am Ende der Strukturbildung bei der Faserherstellung stehen schließlich in den Fällen, in denen die Formstabilität der Fasern erhöht werden soll, Fixierprozesse (Wärmebehandlungen mit konstanter Länge oder auch unter Schrumpfungszulassung), die zu weiteren Änderungen von Orientierung und/oder Ordnungszuständen führen (Abb. 7). Diese Schritte beeinflussen dann jedoch außer der Schrumpfkraft und dem Schrumpf bei nachfolgenden Wärmebehandlungen, wie vorher schon die Verstreckung, auch das mechanische und das färberische Verhalten der Fasern.

Der Herstellung im Faserwerk beziehungsweise beim Texturieren folgen dann in der textilen Verarbeitung Prozesse, die zum Teil wiederum tief in die Faserstruktur eingreifen. Hier seien beispielsweise genannt:

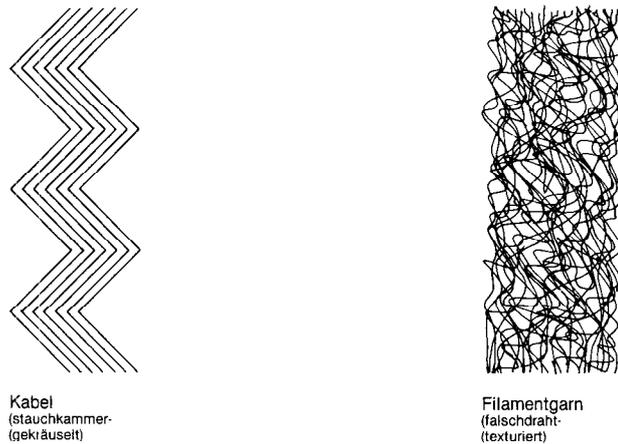


Abb. 6: Gekräuselte Filamente (schematisch)

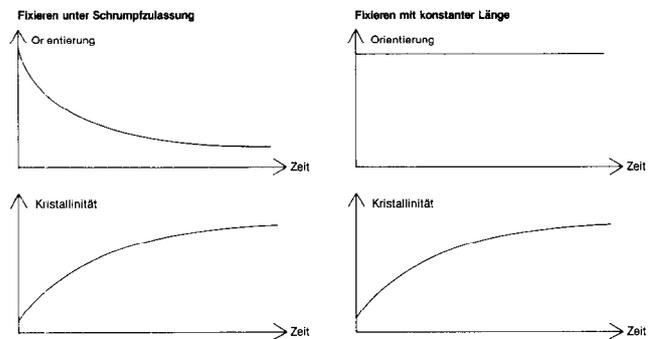


Abb. 7: Strukturbeeinflussung beim Fixieren

- das Sekundärspinnen (Orientierungsänderungen in nichtkristallinen Bereichen möglich),
- das Färben (Änderung ebenfalls vor allem der Orientierung in nichtkristallinen Bereichen),
- das Ausrüsten (Änderung der Molekülorientierung und der Ordnungszustände).

Zu registrieren ist, daß die Faserstruktur und damit die von ihr abhängigen Fasereigenschaften bei der Mehrzahl der vor allem in der Bekleidung und in Heimtextilien eingesetzten Fasern von der Sekundärverspinnung bis zum fertigen Textil weitere Veränderungen erfahren, die wiederum ihre Leistungsfähigkeit beeinflussen können. Diesen strukturverändernden textilen Verarbeitungen folgen dann schließlich weitere Struktureingriffe beim Gebrauch der Fasern, zum Beispiel bei mechanischen Belastungen (Biegung mit Stauchung und Zug, Scheuerung usw.) und thermischen Beanspruchungen (Waschen, Trocknen usw.).

### 1. Mechanisches Verhalten und Strukturelemente

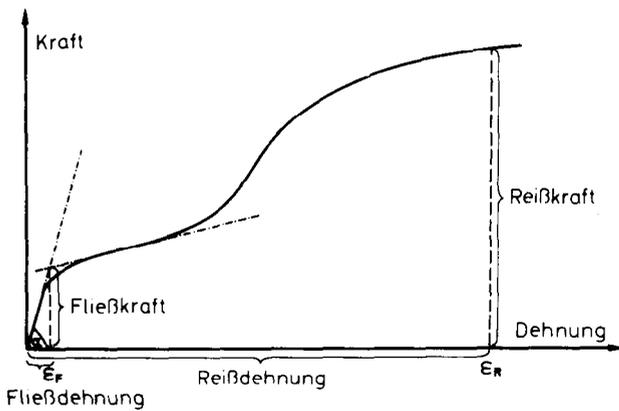
Aus dem großen Komplex des mechanischen Verhaltens sollen in diesem Vortrag speziell das Kraft-Dehnungsverhalten und das Erholungsverhalten nach Deformation behandelt werden. Die getrennte Diskussion beider Verhaltensweisen ist sicher recht willkürlich, da sie über das Relaxationsverhalten eng miteinander verknüpft sind. In der Faser durch die Deformation aufgebaute Spannungen, die während der Deformation beziehungsweise beim Verweilen im deformierten Zustand relaxieren, können nach der Wegnahme der die Deformation erzeugenden Kraft bei der Erholung nicht mehr für die Rückführung in den Ausgangszustand zur Verfügung stehen. Ebenso wenig werden Deformationen, die mit irreversiblen Platzwechseln von Faserbausteinen verbunden sind, danach völlig rückgängig gemacht werden können. Diese sicher noch recht oberflächliche Betrachtung zeigt aber doch schon, daß die in der

Meßtechnik übliche, zeitlich nacheinander erfolgende Untersuchung von KD- und Erholungsverhalten dann sinnvoll ist, wenn sie die Betrachtung der zeitlichen Abläufe von Belastung (Deformation), Aufrechterhaltung der Belastung (Deformation) und Entlastung (Deformations-Rückführung) einschließt. Deshalb soll im Folgenden auch so vorgegangen werden.

1. 1. Kraft-Dehnungs-Verhalten und Strukturelemente

Zur Charakterisierung der mechanischen Tüchtigkeit von Fasern begnügt man sich in vielen Fällen mit der Angabe ihrer aus Reißversuchen – entweder mit zeitlich konstanter Dehnungs- oder auch Kraftzunahme – gewonnenen Reißwerte, nämlich der Höchstzugkraft und der Höchstzugkraft-Dehnung (Reißkraft und Reißdehnung).

Diese Größen sind, wie man aus langjährigen Erfahrungen weiß, abhängig von der Verstreckung der Fasern und damit vor allem von der Orientierung der Makromoleküle. Sie können also durchaus zur Produktionskontrolle dienen. Zur Beschreibung der Fasereigenschaften ist die ganze Kraft-Dehnungslinie, die eine Kennkarte der Faser darstellt, wesentlich geeigneter (Abb. 8). Sie enthält Informationen nicht nur zum mechanischen, sondern auch zum thermischen und zum faserischen Verhalten sowie zur Vorgeschichte der Faser.



Anfangsmodul	$M_A = \tan \alpha$	} Vorwiegend: Orientierungs- abhängig
Fließdehnung	$E_F$	
Fließkraft	$P_F$	
Fließfestigkeit	$\sigma_F = \frac{P_F}{\text{Ausgangstiter}}$	
Fließspannung	$\sigma_F(1 + E_F) = \frac{P_F}{\text{Fließtiter}}$	} Orientierungs- und Kristallini- tätsabhängig
Reißdehnung	$E_R$	
Reißkraft	$P_R$	
Reißfestigkeit	$\sigma_R = \frac{P_R}{\text{Ausgangstiter}}$	
Reißspannung	$\sigma_R(1 + E_R) = \frac{P_R}{\text{Bruchtiter}}$	
Spannungsfaktor	$\sigma_R \sqrt{E_R}$	
Arbeitsaufnahme	$\int_0^{E_R} \sigma dE$	

Abb. 8: KD-Linie (schematisch)

Den typischen Verlauf von Kraft-Dehnungslinien mit einem sogenannten Schrumpf-Sattel besitzen verstreckte mittelfeste Fasern aus schmelzgesponnenen Polyamiden und auch den Polyestern Polyäthylenterephthalat (PÄT) und Polybutylenterephthalat (PBT), besonders dann, wenn sie nach der Verstreckung einer Schrumpfbehandlung un-

terworfen wurden. Der Schrumpfsattel deutet schon darauf hin, daß solche KD-Linien aus mehreren *diskreten* aufeinanderfolgenden Abschnitten bestehen. Der Verlauf der ersten Ableitung der auf den Ausgangstiter bezogenen Kraft  $\sigma$  nach der Dehnung  $\epsilon$   $\sigma' = d\sigma/d\epsilon$ , entsprechend dem momentanen Dehnungswiderstand<sup>14</sup> bzw.  $1/\sigma'(\epsilon) = d\epsilon/d\sigma$ , entsprechend der momentanen Nachgiebigkeit, zeigt, wie in Abbildung 9 für das Beispiel einer PBT-Faser dargestellt, diese Abschnitte deutlicher. Im Abschnitt 1 wird der Dehnungswiderstand kleiner, im Abschnitt 2, dem Verfestigungsabschnitt, nimmt er wieder zu und im Abschnitt 3 wird er dann wieder kleiner. Schultze-Gebhardt, der in seinen Veröffentlichungen<sup>15</sup> diese Einteilung der KD-Linie vornahm, interpretierte die Abschnitte (ich schließe mich dieser Interpretation gern an) als Auswirkungen der Strukturveränderungen in nichtkristallinen und kristallinen Bereichen während der Dehnung.

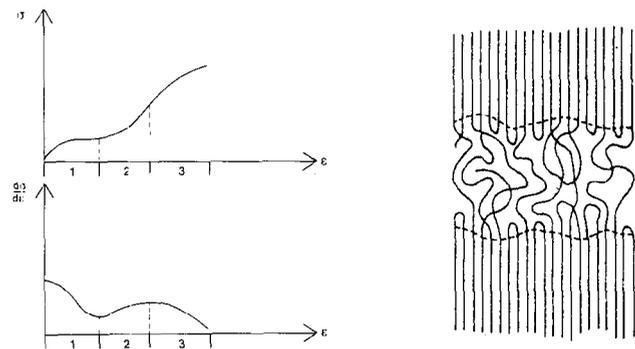


Abb. 9: KD-Linie: momentaner Dehnungswiderstand und Modell des Aufbaus der nichtkristallinen Bereiche von PBT-Fasern<sup>15</sup>

Der Bereich 1 wird als Bereich der quasielastischen Dehnung beschrieben, als der Bereich, in dem die tie-Moleküle, die über die nichtkristallinen Bereiche die kristallinen Bereiche miteinander verbinden, belastet werden. Je nach ihrer Konformation und ihrem Spannungszustand übernehmen sie die Last nacheinander, so daß eine Reihe von Bindungen erst dann zum Tragen kommt, wenn andere bereits gebrochen sind. Im nichtkristallinen Bereich findet auf diese Weise eine Homogenisierung statt, die schließlich zur gleichmäßigen Belastung des Anteiles der molekularen Bindungen führt, der ähnliche Konformationen und Vorspannungen besitzt.

Der Bereich 2, der Bereich der Verfestigung, summiert nun die weitere Beanspruchung der noch intakten tie-Moleküle (sie werden orientiert) und der kristallinen Bereiche. Wir beobachten bei unserem Beispiel PBT reversible Vergrößerungen der Identitätsperiode. Hier wird ein für das KD-Verhalten der Fasern wesentliches Strukturelement, nämlich der chemische Aufbau der Fasermoleküle, sichtbar. PBT unterscheidet sich vom PÄT vor allem durch die Glykolkomponente, die beim PÄT mit zwei Methylengruppen im nichtkristallinen Zustand in der gauche- oder der trans-Form, im kristallinen Zustand ausschließlich in der trans-Form, vorliegen kann. Beim PBT liegen wegen der durch zwei weitere Methylengruppen erhöhten Beweglichkeit die Glykolgruppen auch im kristallinen Bereich in der trans-gauche-trans-Form vor. Diese Formen können bei der Dehnung reversibel in den All-trans-Zustand übergehen, was erhebliche Auswirkungen auf das später zu diskutierende Erholungsverhalten hat.

Im Bereich 3 haben wir es dann schließlich mit im Nichtkristallinen und im Kristallinen sowie auch bei interfibrillären tie-Molekülen stattfindenden irreversiblen Gleitprozessen zu tun. Bei PBT, einem Polymeren mit relativ niedri-

ger Glastemperatur und entsprechend hoher Kristallisationsgeschwindigkeit, sind diese Vorgänge in erheblichem Maße mit der Entfaltung von bei der Kristallisation rückgefalteten Molekülen verbunden. Hier gibt es deutliche Parallelen zu den Polyamiden vom 6-Typ.

PÄT mit seiner im Vergleich zu PBT um etwa 40° C höheren Glastemperatur kristallisiert erheblich langsamer. Es ist deshalb leicht möglich, Spinnfäden, die mit Geschwindigkeiten niedriger als 2000 m/min abgezogen wurden, weitgehend amorph zu halten. Man kann sie dann hochverstrecken und dabei die Moleküle orientieren und die Kristallisation durch die Wahl geeigneter Arbeitsmedien und -temperaturen erst eintreten lassen, wenn man sie für die Gestaltung der Fasereigenschaften benötigt. Hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften soll das durch die Abbildung 10 verdeutlicht werden. Beide PÄT-Fasertypen sind orientiert und teilkristallin. Die drei Teilbereiche der KD-Linien sind qualitativ durchaus ähnlich ausgebildet. Quantitativ kommt in ihnen die unter anderem aus Röntgenkleinwinkeluntersuchungen erschlossene unterschiedliche Zahl von tie-Molekülen in den nichtkristallinen Bereichen sowie die durch partielle Unterdrückung der gefalteten Kristallisation bei der Verspinnung und Verstreckung möglich gewordene hohe Orientierung dieser Molekülteile, hier besonders im hochverstreckten Faden, zum Ausdruck. Schon der quasielastische Bereich der KD-Linie ist steiler und kürzer. Im Verfestigungsbereich zeigt uns die Röntgenweitwinkeluntersuchung in beiden Fällen eine Zunahme der Orientierung der kristallinen Bereiche und das Auftreten von Gitterstörungen<sup>15</sup>. Im dritten Bereich der KD-Linie verlaufen die Gleitprozesse in den nichtkristallinen und den kristallinen Bereichen sowie auch in interkristallinen Fibrillen bei beiden Fasertypen grundsätzlich ähnlich, jedoch unterschiedlich durch den geringeren Anteil der rückgefalteten Moleküle im hochverstreckten Filament<sup>16</sup> im Vergleich zur geringer verstreckten Wolltype. Die bei PÄT statistisch ablaufenden Gleitprozesse sind wie bei allen gefaltet kristallisierenden Polymeren mit Entfaltungen verbunden. Die höhere Kristallinität der hochverstreckten Faser (Dichte: 1,394 g/cm<sup>3</sup> im Vergleich zu 1,378 g/cm<sup>3</sup> der normal verstreckten Wolltype) begrenzt die Gleitprozesse im Kristallinen, was sich in der relativ kleinen Reißdehnung – Fehlen des flachen Endteiles der KD-Linie – äußert.

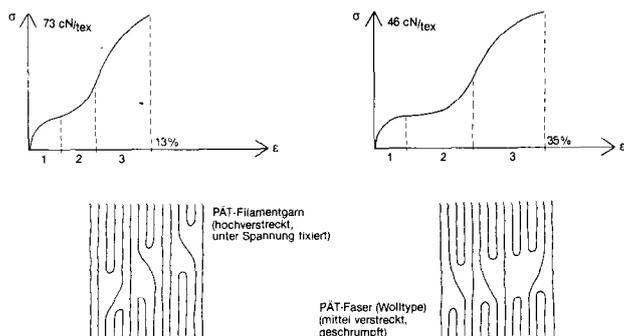


Abb. 10: KD-Linien und Modelle des Aufbaus der nichtkristallinen Bereiche von PÄT-Fasern

Zusammenfassend kann man sagen, daß bei den bisher angesprochenen Polyesterfasern ebenso wie bei den Polyamid-Fasern (6 od. 6/6) das grundsätzlich ähnliche KD-Verhalten auf eine weitgehend übereinstimmende Struktur mit in Faserrichtung aufeinander folgenden kristallinen und nichtkristallinen Bereichen zurückgeführt werden kann. Die kristallinen Bereiche haben in Kettenrichtung bei den Polyestern Längen zwischen 80 und 100 Å, bei den Polyamiden zwischen 30 und 70 Å. Die nichtkristallinen Bereiche enthalten von Kristallit zu Kristallit durchlaufende tie-Moleküle und auch Faltenbögen, deren Zahl vorwie-

gend von der Glastemperatur der Polymeren und damit von der Kristallisationsgeschwindigkeit, die im allgemeinen mit abnehmender Glastemperatur zunimmt, sowie von der Verstreckung abhängt. Die Länge der das KD-Verhalten dieser semikristallinen Fasern im quasielastischen und im Verfestigungsbereich prägenden nichtkristallinen Bereiche beträgt, in Faserrichtung gemessen, durchwegs zwischen 20 und 30 Å. Damit ergibt sich bei diesen Fasern eine Langperiode (defect spacing), die um etwa 20 – 30 Å größer ist als die Kristallitlänge (correlation length).

Eine andere Gruppe von Fasern, die der Hochleistungsfasern aus sehr steifen Molekülen, soll hier angeschlossen werden. Als Beispiel wurde Polyphenylterephthalamid (PPTA) gewählt. Fasern aus diesem Polymeren besitzen bekanntlich bei kleinen Reißdehnungen sehr hohe Festigkeiten.

Die Abbildung 11 zeigt die KD-Linie einer sehr hoch geordneten PPTA-Faser und ein Struktur-Modell ihres Aufbaus<sup>17</sup>. Wir können diese Faser als vollkristallin und ihre Moleküle als hochorientiert bezeichnen. Durch die Verspinnung aus einer flüssig-kristallinen Lösung, in der die Moleküle bereits ein- bzw. zweidimensional geordnet vorliegen, ordnen sie sich nach dem Austritt der Lösung aus der Düse in Flüssigkristallen parallel zueinander an. Der Kristall besteht damit aus gestreckt-Ketten (extended chains). Diese Ketten laufen als tie-Moleküle durch Defektschichten hindurch und stellen den Zusammenhalt des Konglomerats von Kristallbausteinen her. Die Defektschichten ihrerseits enthalten möglicherweise 50 % der Kettenenden. Man sieht aus dem Modell der Faser, daß die Langperiode hier wiederum als defect spacing den mittleren Störstellenabstand beschreibt. Sie ist mit ca. 350 Å er-

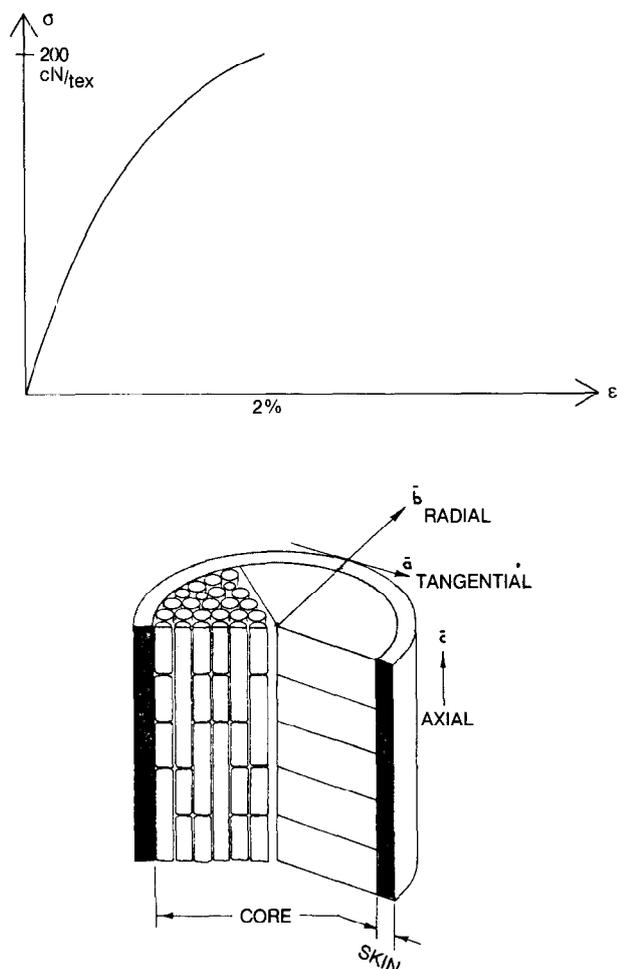
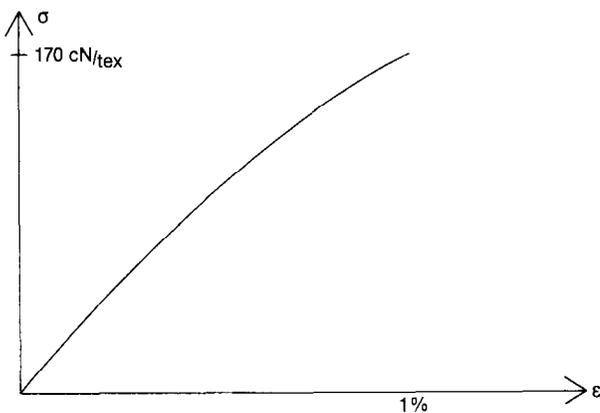


Abb. 11: KD-Linie und Modell des strukturellen Aufbaus von PPTA-Fasern<sup>17</sup>

heblich kleiner als die die mittlere Kristallitlänge charakterisierende und von der Längenverteilung der *extended chains* abhängige *correlation length*, die zwischen 800 und 2100 Å beträgt. Die KD-Linie mit ihrer monoton abnehmenden Steigung gehorcht demnach auch nur einem Mechanismus, der im wesentlichen aus der Beanspruchung der zwischenmolekularen Bindungen einerseits und Brüchen von tie-Molekülen andererseits besteht.

Bei den Beanspruchungen einer Faser in der Praxis – sei es bei der Herstellung, Verarbeitung, Veredlung oder im Gebrauch – kommen nun nicht nur Zug- sondern auch Druck- oder Biegebelastungen vor. Es ist verständlich, daß in das Studium des Verhaltens der Faserstruktur gegenüber solchen Beanspruchungen schon viel Mühe investiert wurde<sup>18</sup>

Bei der *radialen Druckbeanspruchung* im „elastischen“ Verformungsbereich unterhalb des Yield-points wurde im Vergleich zur axialen Zugbeanspruchung in einer neueren Arbeit der Quermodul  $E_{\perp}$  für PÄT, Nylon 66, PPTA und Kohlenstoff stets kleiner als der Längsmodul  $E_{\parallel}$  gefunden<sup>19</sup>. Das Verhältnis  $r = E_{\parallel}/E_{\perp}$  ergab sich mit 9 am kleinsten bei Nylon 66. Es folgten PÄT mit 56, Kohlenstoff mit 75 und schließlich PPTA mit 171. Die Quermoduli selbst lagen dabei im Bereich von  $0,24 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$  für Nylon 66 bis  $0,76 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$  für PPTA relativ dicht beieinander. Lediglich Kohlenstoff lag mit  $6,0 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$  um etwa eine Zehnerpotenz höher. PPTA-Filamente blieben auch bei sehr hohen radialen Kräften – offenbar wegen ihres fibrillären Aufbaus – intakt, wenn die Kohlenstofffilamente bereits zu Pulver zerfallen waren (Abb. 12).



nach Perret, R. und W. Ruland: Journal Appl. Cryst. 3 (1970), 525

Abb. 12: KD-Linie und Modell des Aufbaus von Kohlenstofffasern

Aus zwei weiteren Arbeiten<sup>20,21</sup> geht hervor, daß das Quermodul von der Orientierung abhängt. Die Autoren nehmen an, daß das Nachgeben (Beginn der Fibrillierung) mit der Entwicklung von Regionen zusammenhängt, in denen die Deformation hoch konzentriert wird. Wenn wir berücksichtigen, daß mit zunehmender Orientierung beim Verstrecken von PÄT, PBT und Polyamiden vom 6-Typ der Orientierungswinkel zwischen Schichtebene und Faserachse (Abb. 13) immer kleiner wird, am kleinsten bei PÄT, dann wird verständlich, daß PÄT bei diesen Untersuchungen hinsichtlich der Fibrillierung empfindlicher als Nylon 66 befunden wurde. PBT mit seiner dem Nylon physikalisch ähnlicheren Struktur sollte sich da günstiger verhalten.

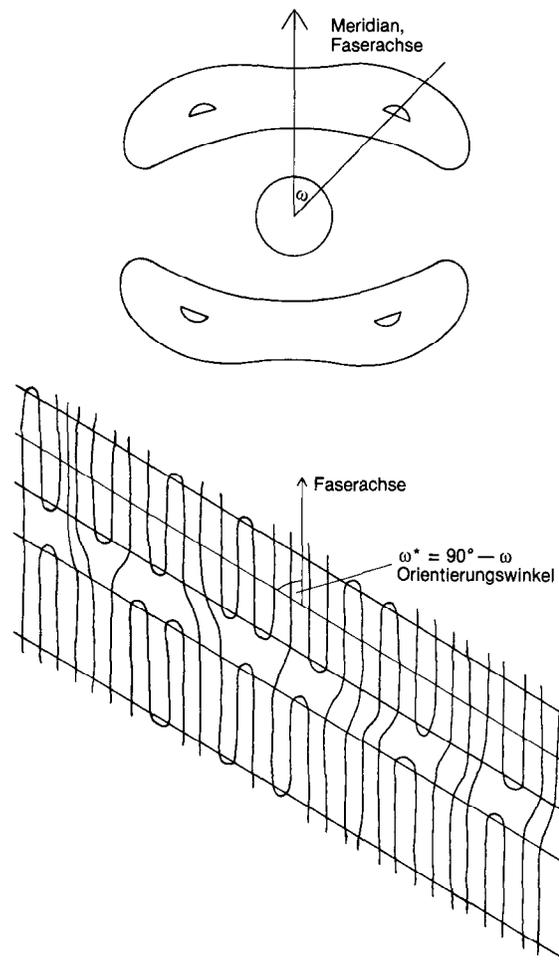


Abb. 13: Schichtstruktur und Röntgen-Kleinwinkel-Diagramm

Die *Biegung einer Faser* vereint die Zugbeanspruchung mit der axialen Druckbeanspruchung (Stauchung). Sie ist wohl die Verformung der Faser, die bezüglich dessen, was man mit ihr erreichen will – zum Beispiel bei der Kräuselung –, die widersprüchlichsten Ansprüche stellt. Für die Verarbeitung der Spinnfaser brauchen wir die Kräuselung, so wie wir die Texturierung der Filamentgarne im allgemeinen für die Ästhetik des Textils benötigen. Die Kräuselung ist wichtig auch für die bekleidungsphysiologischen Eigenschaften des Textils. Das heißt also, daß es erforderlich war zu lernen, wie wir die Faser so zu texturieren bzw. zu kräuseln und in der neuen Form zu fixieren haben, daß sie dabei nicht beschädigt wird und daß sie diese Form beibehält. Andererseits haben wir aber durch die Schaffung der geeigneten Faserzustände auch dafür zu sorgen, daß spätere weitere Querverformungen beim Tragen, Waschen oder Trocknen möglichst gar nicht eintreten können oder daß

die Faser, wenn diese Querverformungen geschehen sind, sich erholt und ihre alte Form wiedergewinnt. Wir reden bei diesem Komplex also über die Verarbeitbarkeit und den Gebrauchswert, die Formbeständigkeit und die Pflegeleichtigkeit.

Das Bild zweier Fasern (Abb. 14), die einem Stauchkammerkräuselprozeß unterworfen wurden, soll etwas von der Problematik der Biegung und der Stauchung zeigen. Die hochkristalline PÄT-Faser mit überkristallinen Schichten annähernd senkrecht zur Faserachse zeigt, wie es auch eine heißluftgekräuselte Polyamid 6- oder 66-Faser tun würde, einen runden, von der Stauchung schon teilerholten Bogen. Die normalkristalline PÄT-Faser mit Röntgenkleinwinkel-Vierpunkt-Diagramm hat einen schärferen Bogen und an der Innenseite – der Stauchseite – Überschichtungen, also bleibende Verformung durch Gleitprozesse. Es liegt nahe, sich für die Veränderungen der Faserstruktur bei der Stauchung bzw. auch für die Beeinflussung des Stauchvorganges durch die Strukturelemente zu interessieren. Versuche dazu hat es schon eine Reihe gegeben<sup>23-25</sup>, Übereinstimmung in den bisher veröffentlichten Ergebnissen scheint es lediglich bei PÄT gegeben zu haben. Bei Fasern aus diesem Polymeren wurden wie bei Polyamidfasern Struktur- und Eigenschaftsänderungen monoton von der Dehnung in die Stauchung, jedoch mit gegenüber dem Dehnungsbereich erheblich geringerer Steigung im Stauchungsbereich verlaufend, gefunden. Die Strukturänderungen bezogen sich auf die Langperiode und den Winkel zwischen Schichten und Faserachse. Es wäre wünschenswert, und auch Schultze-Gebhardt wies in einer seiner jüngsten Veröffentlichungen darauf hin<sup>26</sup>, wenn diese Veränderungen und die ihnen zugrundeliegenden Mechanismen eingehender untersucht würden.

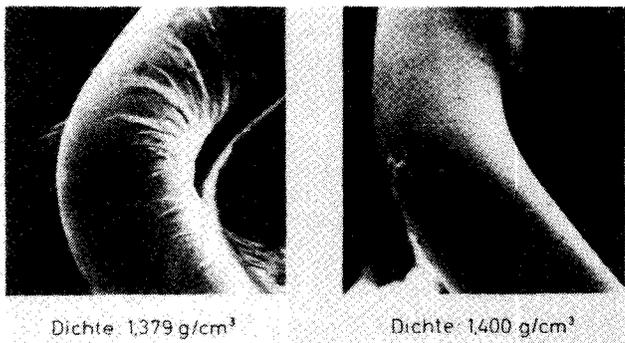


Abb. 14: Stereoscan-Aufnahmen der Kräuselbögen zweier PÄT-Fasern mit unterschiedlichen Dichten

Beim gegenwärtigen Kenntnisstand muß leider immer noch zu qualitativen Ansätzen, wie in der gezeigten Stereoscan-Aufnahme, oder auch zu halbquantitativen, wie in einer neueren Arbeit<sup>27</sup> (u. a. zur Knittererholung von PÄT als Funktion des Grades der lateralen Ordnung<sup>28</sup> bzw. des Kristallinitätsgrades), gegriffen werden (Abb. 15). Beide Ansätze sind plausibel, sie bedürfen aber sicher erheblicher Absicherung und Erweiterung auf weitere Strukturelemente, wie z. B. die Orientierung der Makromoleküle in den nichtkristallinen Bereichen und die Anordnung kristalliner Schichten zur Faserachse, um allgemeinere Aussagen zum Verhalten von Fasern aus verschiedenen Polymeren zu erlauben.

Bei allen bisher angesprochenen Beanspruchungen spielt für die Praxis offensichtlich die Erholungsfähigkeit nach Deformationen eine wesentliche Rolle. Wenden wir uns also nun diesem Komplex zu.

1. 2. Erholungsverhalten nach Deformation und Strukturelemente

Für jeden von uns ist es trivial, daß ein gedehnter Kautschukfaden, allgemein ausgesprochen ein Elastomerefaden, nach Wegnahme der Dehnkraft seine ursprüngliche

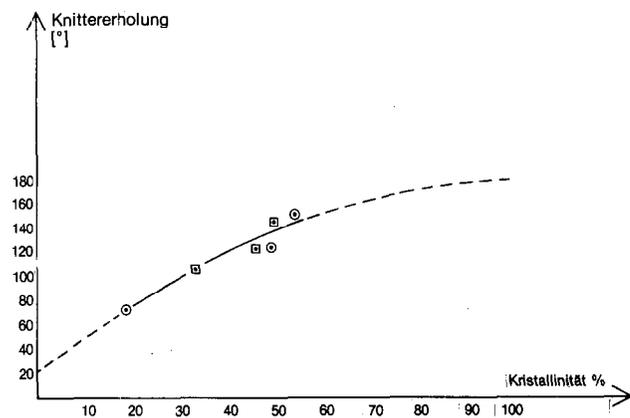
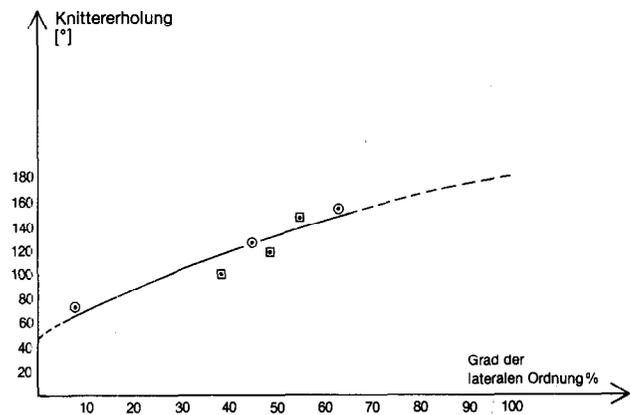


Abb. 15: Knittererholung von PÄT und Ordnungszustand der Fasern<sup>27</sup>

Form wieder einnimmt, er erholt sich. Entsprechendes gilt auch für den zusammengedrückten bzw. den gebogenen Elastomerestab. Bei unseren semi- bis vollkristallinen Filamenten beobachten wir qualitativ eine solche Erholung ebenfalls, quantitativ gibt es jedoch deutliche Unterschiede zum klassischen Elastomerefaden. Wir beobachten nach einer spontanen Erholung eine weitere, die verzögert abläuft, bis schließlich nach einer gewissen Zeit eine bleibende Längung übrigbleibt. Von einem vollelastischen Verhalten, wie bei Stahl (Energieelastizität) oder unserem Kautschuk (Entropieelastizität), können wir bei unseren Faserpolymeren mit viskoelastischem Verhalten auch bei kleinen Deformationen nicht sprechen. Das gilt grundsätzlich für die Dehnung, die Querkompression, die Stauchung in Richtung der Faserachse und für die komplexeste der mechanischen Beanspruchungen, die Biegung. Beschränken wir uns deshalb wegen der Übersichtlichkeit auf die durch Zugbeanspruchung bewirkte Dehnung.

Das Schema der von Susich und Backer<sup>29</sup> vorgeschlagenen Methode zur Messung der sofort erholbaren ( $\epsilon_{sof}$ ), der verzögert erholbaren ( $\epsilon_{verz}$ ) und der bleibenden Dehnung ( $\epsilon_{bl}$ ) zeigt Abbildung 16. Die Gesamterholung für jede untersuchte Dehnung  $\epsilon_0$  ergibt sich damit zu  $\epsilon_{ges} = \epsilon_{sof} + \epsilon_{verz}$ .  $\epsilon_{ges}$  wird textil oft als Elastizitätsgrad bezeichnet.

Wir denken daran, daß alle diese Größen Zeitfunktionen sind und damit von der Dehnungsgeschwindigkeit  $d\epsilon/dt$ , der Verweildauer im gedehnten Zustand  $t_{verw}$  und der Geschwindigkeit der Rückführung in den Ausgangszustand abhängen. Für  $d\epsilon/dt = 100\%/min$ ,  $t_{verw} = 0$  und die Rückführung mit der Dehnungsgeschwindigkeit ergibt sich das Susich-Backer-Diagramm eines verreckten und geschrumpften PÄT-Filaments, wie beispielsweise in Abbildung 17 dargestellt. Man erkennt sehr anschaulich, daß, jedenfalls bei diesem Filament, der verzögert erholbare Dehnungsanteil etwa beim Fließpunkt der KD-Linie (erster Yield-point) einsetzt. Der bleibende Dehnungsanteil wird

unter den hier gewählten Bedingungen erst vom Minimum der Steigung der KD-Linie, d. h. vom Beginn des zweiten, des Verfestigungsabschnittes an, meßbar. Wir sehen hier die Überlagerungen von zunächst entropie- und enthalpieelastischen, dann mit Gleitprozessen im Nichtkristallinen und schließlich mit Gitterstörungen- und Gleitprozessen im Kristallinen verbundenen Mechanismen.

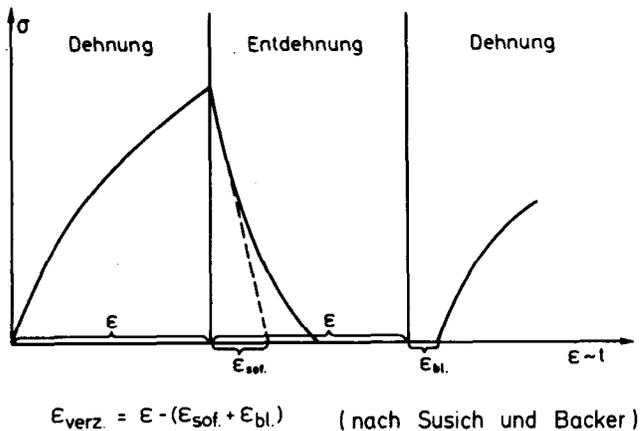


Abb. 16: Schematische Darstellung der Untersuchung des Erholungsverhaltens von Fasern und Fäden<sup>29</sup>

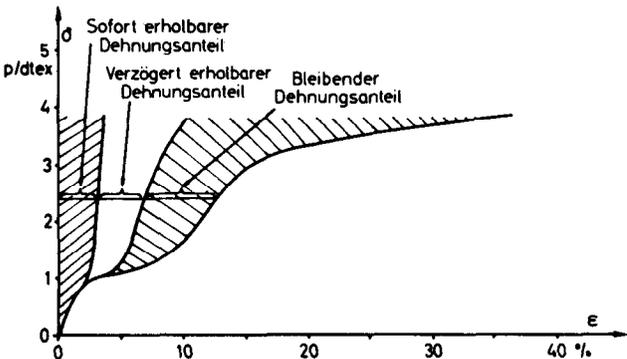


Abb. 17: Susich-Backer-Diagramm eines verreckten PÄT-Fadens

Die quantitative Auswertung bezüglich der einzelnen Anteile bei Filamenten aus PÄT und Polyamid 6 zeigt die Abbildung 18. Aus diesen Darstellungen geht hervor, daß sich die sofort erholbaren Dehnungsanteile beider Fasern, außer in der Spannungsabhängigkeit des Verlassens der 100 %-Linie, nicht wesentlich unterscheiden. Erheblich größer sind die Unterschiede dagegen in der verzögert erholbaren Dehnung. Diese ist bei dem PA 6-Filament von einer Dehnung von etwa 5 % an rund doppelt so hoch wie bei dem PÄT-Filament. Hier kommt offenbar die bei PA 6 erheblich niedrigere Glasstemperatur zum Ausdruck. Das Lösen zwischenmolekularer Bindungen und die Änderung von Molekülkonformationen sind bei Fasern aus diesem Polymeren wegen der hohen Beweglichkeit der Molekülsegmente sicherlich sowohl bei der Dehnung zwischen etwa 5 % und dem zweiten Fließpunkt ebenso leicht möglich wie auch bei der Rückgängigmachung der Dehnung. Der demnach bei PA 6 durch die höhere Beweglichkeit der Moleküle bewirkte höhere, verzögert erholbare Dehnungsanteil ist damit offenbar im Vergleich zum PÄT für die erheblich höhere Gesamterholung von Dehnungen ab etwa 5 % bzw. Kräften ab etwa 10 cN/tex verantwortlich.

Es erscheint angebracht, die Zusammenhänge zwischen KD-Verhalten, Relaxationsverhalten und Kriechverhalten

eingehender zu betrachten. Ein Schema soll die meßtechnischen Zusammenhänge verdeutlichen (Abb. 19).

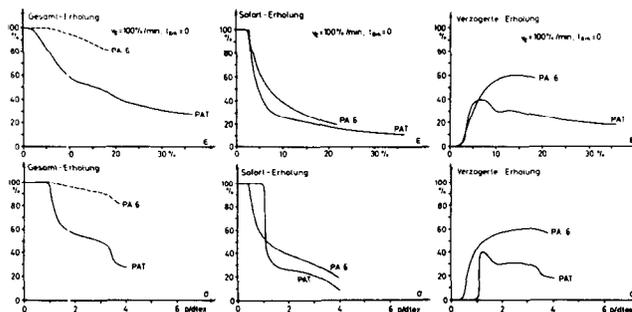


Abb. 18: Gesamterholung sowie sofort und verzögert erholbare Dehnungsanteile verreckter Polyamid 6- und PÄT-Fäden

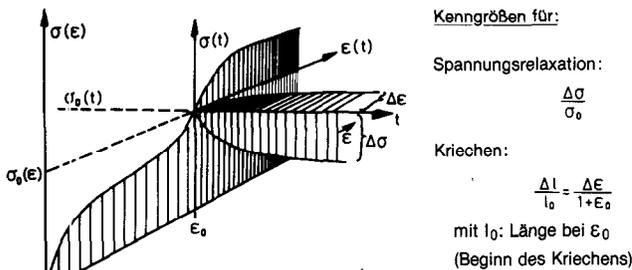


Abb. 19: Untersuchung des Relaxations- und Kriechverhaltens in den verschiedenen Abschnitten der KD-Linie (schematisch)

Die Unterbrechung der  $\sigma(\epsilon)$ -Funktion bei  $\sigma_0$  und  $\epsilon_0$  ermöglicht sowohl die Aufnahme einer  $\sigma(t)$ -Funktion bei  $\epsilon_0$  (Spannungsrelaxation) als auch die einer  $\epsilon(t)$ -Funktion bei  $\sigma_0$  (Kriechen). Beispielhaft sollen hier für unser PÄT-Filament einige Relaxations- und Kriechkenngrößen als Funktion von  $\sigma_0$  und  $\epsilon_0$  zusammen mit dem Verlauf von  $d\sigma/d\epsilon$  wiedergegeben werden (Abb. 20). Man erkennt, daß die Verläufe von  $\Delta\sigma/\sigma_0$  (Relaxation) und  $\Delta l/l_0$  (Kriechen) vor allem im Bereich der Dehnungen bis zu etwa 15 % sowie der Spannungen bis zu etwa 20 cN/tex (Maximum von  $d\sigma/d\epsilon$ ) diese Zusammenhänge unterstreichen. Auch hieraus geht hervor, daß KD-Verhalten, Erholungsverhalten und Relaxationsverhalten – jedenfalls für unser PÄT-Filament im

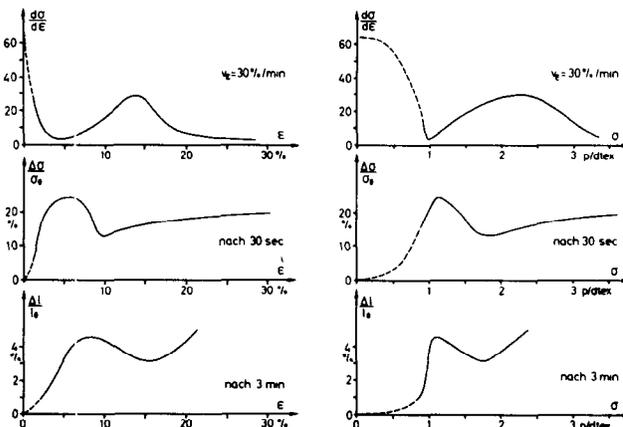


Abb. 20: Verlauf des „momentanen“ Moduls und der Relaxations- und Retardationskenngrößen verreckter PÄT-Fäden in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten Dehnungs- bzw. Spannungszustand

Bereich der Dehnungen bis etwa 15 % und Spannungen bis etwa 20 cN/tex, also bis zur Verfestigung der Struktur der nichtkristallinen Bereiche – auf Strukturänderungen eben dieser Bereiche zurückgeführt werden können. Daß diese Strukturänderungen bereits bei sehr kleinen Dehnungen – Dehnungen weit unter 1 % schon bei Spannungen von 0,3 cN/tex – eintreten, konnte für PA 6-Filamente schon vor 25 Jahren gezeigt werden<sup>30</sup>. Grundsätzlich unterscheiden sich die hier angesprochenen Mechanismen, wenn man das bisher Ausgeführte jeweils berücksichtigt, für PÄT und PA vom 6-Typ nicht.

Für PBT sind im quasielastischen Bereich wegen der vorher schon angesprochenen Konformationsänderungen in der Glykolkomponente geringfügige Unterschiede gegeben. In diesem Bereich sollte jedoch auch nicht übersehen werden, daß Wassermoleküle die polymerspezifischen zwischenmolekularen Bindungen, z. B. Wasserstoffbrücken bei Polyamiden, und damit KD-, Erholungs- und Relaxationsverhalten sehr unterschiedlich beeinflussen können. Im Verfestigungs- und im kristallinen Gleitbereich der KD-Linie entspricht das Erholungsverhalten von PBT grundsätzlich dem von Polyamiden vom 6-Typ. Die verzögerte Komponente wird jedoch von den bei PBT besonders im Kristallverband ablaufenden Konformationsänderungen beeinflusst.

An dieser Stelle erscheint es interessant, einen kurzen Seitenblick zu Fasern aus Polyolefinen, hier speziell aus Polypropylen (PP), zu werfen. Diese Fasern sind strukturell ähnlich den bisher behandelten Polyamid- bzw. Polyesterfasern aufgebaut (Abb. 21)<sup>31</sup>. Sie enthalten je nach ihrer Verstreckung Lamellen aus partiell noch rückgefalteten Molekülen mit tie-Molekülen, die sie in Richtung der Faserachse verbinden; die Langperiode beträgt je nach vorausgegangener Wärmebehandlung zwischen 100 und 200 Å.

kristallinen Bereiche in Fibrillen – Fibrillenabstand senkrecht zur Faserachse zwischen 40 und 50 Å – ist ausgeprägter als bei Polyamiden und Polyestern (Abb. 22). Dieser Aufbau, zusammen mit den bei Polyolefinfasern zwischen benachbarten Molekülteilen ausschließlich gegebenen Van der Waals-Bindungen, begünstigt vom Beginn der Dehnung an molekulare und später auch fibrilläre Gleitprozesse. Damit werden bleibende Verformungen schon bei Raumtemperatur leicht möglich, was sich in einer relativ hohen Neigung zum Kriechen äußert. Bereiche von Dehnungen mit gleichzeitigen Verfestigungen wie bei PÄT nach dem Durchlaufen eines Schrumpfsattels gibt es bei PP-Fasern, wie die Abbildungen 23 und 24 zeigen, nicht. Eine Verringerung der Kriechneigung ist bei PP-Fasern offenbar vor allem durch die Herstellung möglichst zahlreicher zwischenmolekularer Bindungen (hohe Kristallinität) erreichbar.

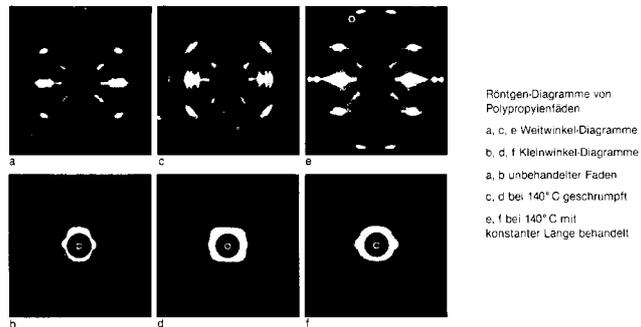
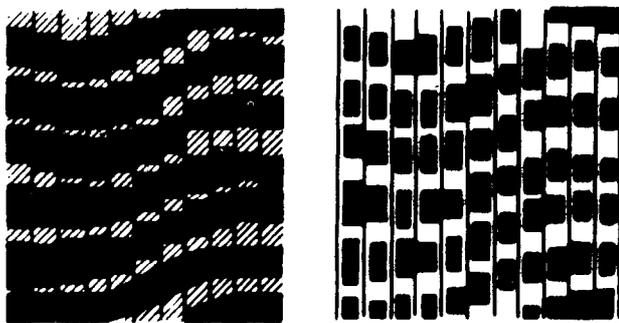


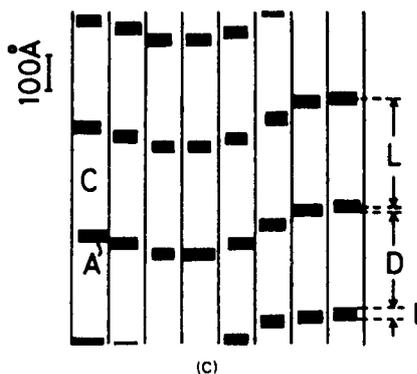
Abb. 22: Röntgendiagramme von Polypropylenfilamenten



nach Hosemann  
J. appl. Phys. 34  
(1963), 25

Polyäthylen

nach Takayanagi et al.  
J. Polym. Sci. C,  
15 (1966), 263



Polypropylen  
(nach [31])

Abb. 21: Strukturmodelle für Polyolefinfasern

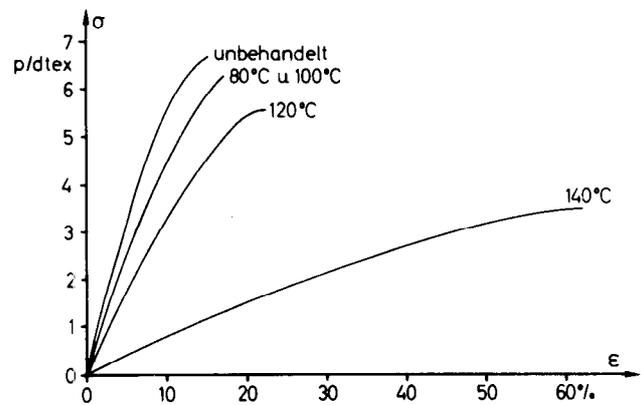


Abb. 23: KD-Linien mit freiem Schrumpfung wärmebehandelter Polypropylenfäden

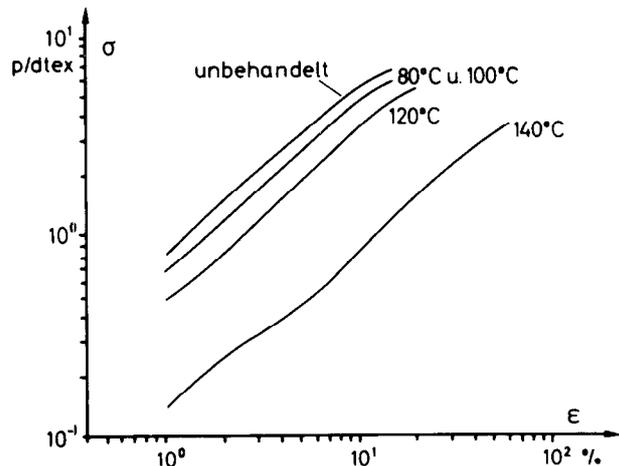


Abb. 24: KD-Linien mit freiem Schrumpfung wärmebehandelter Polypropylenfäden (logarithmischer Maßstab)

Am Beispiel einer ganz speziellen physikalischen Modifikation der Polyolefinfasern – hier ganz speziell der Fasern aus Polypropylen –, den sogenannten *hartelastischen Fasern*, soll nun noch ganz kurz demonstriert werden, welche Wirkungen, besonders bezüglich des Erholungsvermögens, mit dem Aufbau einer geeigneten physikalischen Struktur erzielt werden können. Es ist seit vielen Jahren in einer Reihe von Laboratorien festgestellt worden, daß hartelastische Fasern nicht nur aus Polyolefinen, sondern auch aus Polyvalolacton, Poly-4-methylpenten-1 und sogar aus Polyamiden vom 6-Typ hergestellt werden können<sup>32</sup>. An vielen Stellen der Literatur (u. a. 33, 34, 35, 36), auch der Patentliteratur, ist in den vergangenen fünfundzwanzig Jahren darüber berichtet worden. Am eingehendsten dürfte aber die hartelastische Faser aus Polypropylen erforscht worden sein. Compostella und seine Mitarbeiter haben 1962 zum ersten Mal über die sogenannte gekreuzte Orientierung berichtet<sup>37</sup>. In den darauffolgenden zwei Jahrzehnten wurde dann der Mechanismus der außerordentlich hohen Erholungsfähigkeit Gegenstand der Forschungsarbeiten<sup>38</sup>. Lenz und seine Co-Autoren Schurz und Wrenschur haben sich vor kurzer Zeit nochmals mit dieser interessanten Materie beschäftigt<sup>39</sup>.

Gesichert ist, daß hartelastische Polypropylenfasern durch Tempern von wenig spinnorientierten oder auch von kaltverstreckten PP-Fasern unter Spannung bei Temperaturen kurz unter dem Schmelzpunkt, bevorzugt 150°C, erzeugt werden können<sup>40</sup>. Dabei stellt sich ein Teil der gekreuzt orientierten Kristallite mit den Molekülachsen in die Faserachse ein, und die Orientierung der nichtkristallinen Ketten nimmt zu. Bei der Dehnung einer so strukturierten Faser bei Raumtemperatur erfolgen im Anfangsbereich der KD-Linie ( $0 < \epsilon < 10\%$ ) weiterhin die gleichen kristallinen Rotationsprozesse (Abb. 25). Im Dehnungsbereich  $10 < \epsilon < 40\%$  werden dadurch, daß sich Lamellen voneinander trennen, Hohlräume gebildet, und bei der weiteren Dehnung überwiegen dann schließlich plastische (bleibende) Deformationen. Besonders Samuels wies darauf hin, daß für die elastischen Eigenschaften der Faser die nichtkristallinen Bereiche wesentlich sind. Wir haben mit diesen Fasern wohl das eindrucksvollste Beispiel für das Wechselspiel von energie- und entropieelastischen Mechanismen, Kristallformen und -orientierungen sowie Molekülkonformationen und -orientierungen vor uns.

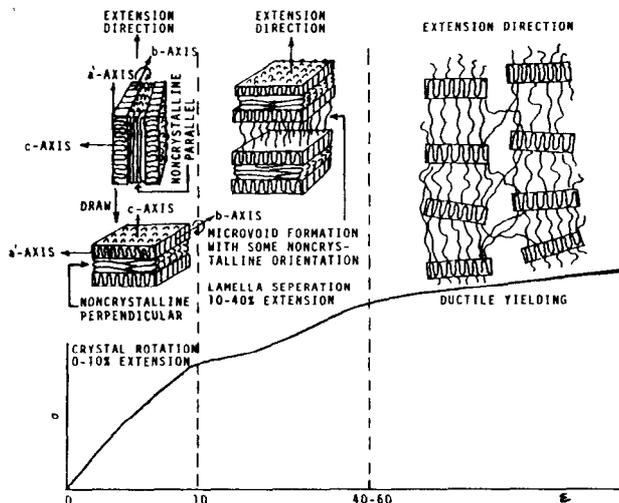


Abb. 25: Schematische Darstellung der Strukturänderungen bei der Dehnung von hartelastischen Polypropylenfasern<sup>40</sup>

Die Diskussion einiger mechanischer Eigenschaften der Fasern und ihrer Abhängigkeit von den Strukturelementen hat uns bereits gezeigt, welche eine große Palette von Möglichkeiten uns für ein gegebenes Polymeres – und wir soll-

ten natürlich die *Konstruktion* des Polymeren entsprechend vornehmen – zur Steuerung der Fasereigenschaften bei der Herstellung der Fasern und ihrer Anwendung zur Verfügung steht.

## 2. Thermisches Verhalten und Strukturelemente

Auch bei der Diskussion des thermischen Verhaltens, gemeint sind damit das Verhalten der Struktur unter dem Einfluß von zu- oder abgeführter Wärme und die daraus folgenden Dimensions-, Form- oder allgemein Eigenschaftsänderungen der Fasern, wird deutlich werden, daß Komplexe, wie Schrumpfkraft und Schrumpf, Kräuselungsbeständigkeit und ganz allgemein thermische Beständigkeit, sehr eng miteinander verknüpft sind. Es soll dennoch der Versuch unternommen werden, die Schwerpunkte bei den Entropiemechanismen (Orientierung von Molekülsegmenten) und Energiemechanismen (Ordnungszustände) deutlich zu machen.

### 2. 1. Schrumpfkraft, Schrumpf und Strukturelemente

Betrachten wir nochmals einen der wichtigsten Schritte bei der Herstellung einer Chemiefaser, den Verstreckungsschritt. Bei diesem Vorgang – und legen wir dabei den einfachsten Fall, nämlich den des nichtkristallinen Spinnfadens zugrunde – bringen wir unter gleichzeitiger Fadenverlängerung die Makromoleküle aus dem weniger orientierten Zustand im Spinnfaden in den höher orientierten Zustand des verstreckten Fadens. Führen wir diese Operation bei einer Temperatur niedriger als die Glasatemperatur durch, das heißt, nehmen wir eine sogenannte Kaltverstreckung vor und kühlen wir den verstreckten Faden zur Sicherheit noch ab, dann beschränken wir uns auf diese Orientierung, die in unserem Faden eine Entropieerniedrigung bedeutet, und unterdrücken die bei höherer Verstrecktemperatur ( $T > T_g$ ) und relativ hoher Kristallisationsgeschwindigkeit des Polymeren einsetzende orientierungsinduzierte Kristallisation, die in unserem Faden eine Enthalpieerhöhung mit sich brächte. Dieser verstreckte Faden muß nun für alle weiteren Verarbeitungsschritte (z. B. Kräuselung, Texturierung, Sekundärverspinnung, Veredelung, Waschen, Trocknen) vor allem gegen jeweilige thermische Folgebeanspruchungen stabilisiert werden. Eine der wichtigsten Fasereigenschaften, die zu steuern sind, ist das Schrumpfvermögen. Als Stabilisierungsverfahren vor der nächsten Beanspruchung, das dazu in vielfältiger Form eingesetzt wird, ist eine Wärmebehandlung der Faser am besten geeignet.

Diese bei Temperaturen oberhalb  $T_g$  durchgeführte Wärmebehandlung erfolgt entweder unter Zulassung von Schrumpf, das heißt mit freien Faserenden, unter Begrenzung des Schrumpfs, d. h. mit belasteten Faserenden, oder unter Ausschluß des Schrumpfs, also mit festen Faserenden. Im ersteren Falle beobachten wir im allgemeinen eine molekulare und gegebenenfalls auch kristalline Desorientierung, die mit weiterer Kristallisation verbunden sein kann. Spezialfälle, wie z. B. nichtkristalline PÄT-Hochschrumpf-Fasern, bei denen beim Schrumpfen unter gleichzeitiger Kristallisation erhebliche Orientierungszunahmen eintreten können, sind in der Literatur an anderer Stelle behandelt (z. B. Lit. 28). Die thermische Stabilisierung mit belasteten oder festen Enden dagegen bewirkt neben noch möglicher Desorientierung vor allem Relaxationsprozesse und weitere Kristallisation. Mit zunehmender Vorspannkraft werden die Längenabnahme und damit auch die Desorientierung immer kleiner, bis sie bei einer Vorspannkraft, die in ihrer Größe der sogenannten Schrumpfkraft (Entropiekraft) entspricht, schließlich zu Null werden.

Diese Methoden werden nicht nur zur Vorbereitung auf folgende Verfahrensschritte bei der Herstellung, sondern besonders auch zur Fixierung der den Fasern aufgeprägten Formen oder Zustände angewandt. Dabei werden schnelle Desorientierungsvorgänge meist durch eine *Schockschrumpf-Behandlung* herbeigeführt.

Bei dieser schockartigen Wärmezufuhr kann die schrumpfbegrenzende Kristallisation, die im allgemeinen langsamer abläuft als die Desorientierung, sich weniger auswirken als bei langsamem Aufheizen. Bei der Fixierung mit konstanter Länge bleibt die Orientierung praktisch erhalten. Die Schrumpfbegrenzung erfolgt ausschließlich durch Relaxation und Kristallisation; diese Wärmebehandlung erfordert deshalb für gleiche Auswirkungen auf den Restschrumpf gegenüber der Schrumpfbehandlung einen größeren Zeitaufwand. Die prinzipielle Auswirkung auf das KD-Verhalten, hier von PÄT-Filamenten, zeigt die Abbildung 26. Aus ihr geht das Auftreten und die Zuordnung des sogenannten *Schrumpfsattels*, der beim mechanischen Verhalten schon wiederholt angesprochen wurde, deutlich hervor.

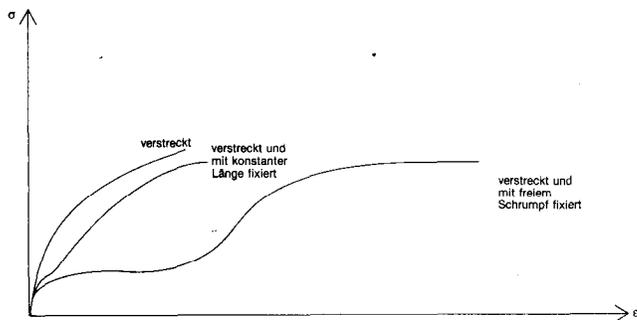


Abb. 26: KD-Linien von thermisch stabilisierten PÄT-Filamenten (schematisch)

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Schrumpfkraft als eine im wesentlichen thermisch erzeugte Entropiespannung, der Schrumpf dann als eine Auswirkung dieser Entropiespannung in Richtung auf Entropievergrößerung und meist auch Enthalpievergrößerung zu interpretieren ist.

## 2. 2. Kräuselungsbeständigkeit und Strukturelemente

Die Kräuselungsbeständigkeit wurde bereits bei der Diskussion der KD-Eigenschaften (Dehnung, Stauchung) angesprochen. Sie begegnet uns hier nun noch einmal, weil es in vielen Fällen, nämlich dann, wenn eine stabile Kräuselung erwünscht ist, erforderlich wird, die Kräuselung zu fixieren.

Betrachten wir zunächst die Stauchkammerkräuselung. Bei der Anwendung dieses Verfahrens wird jedes Filament mit einem sehr kleinen Krümmungsradius unter Bedingungen gebogen, die bewirken, daß der Kräuselbogen nach dem Verlassen der Kräuselkammer im allgemeinen nur geringfügig aufspringt. Das Aufspringen wird von den in dem Volumen außerhalb der neutralen Zone gespeicherten Dehnspannungen bzw. innerhalb der neutralen Zone noch nicht abgeklungenen Stauchspannungen bewirkt. Die Fixierung soll auch hier den deformierten Zustand zum Normalzustand machen, den die Faser nach weiteren mechanischen oder auch thermischen Beanspruchungen wieder einnimmt (Abb. 27). Nimmt man nun die Fixierung mit freiem Schrumpf vor, dann beobachtet man bei PÄT im allgemeinen eine nur noch geringfügige Vergrößerung des Winkels zwischen den Schenkeln des Kräuselbogens. Bei Polyamiden vom 6-Typ vergrößert sich der Winkel erheblich, die Kräuselung wird flacher. Da eine Fixierung der Kräuselung bei solchen Polymeren – Polymeren, die bei der Kräuseldeformation im allgemeinen eine geringere bleibende Verformung erfahren – mit konstanter Länge verfahrenstechnisch schwierig durchzuführen ist, zwingt eine gegebenenfalls gewünschte intensive Kräuselung mit hoher Stabilität zur Kräuselung und auch zur Fixierung in Anwesenheit von heißem Wasserdampf, der Wasserstoffbrücken löst.

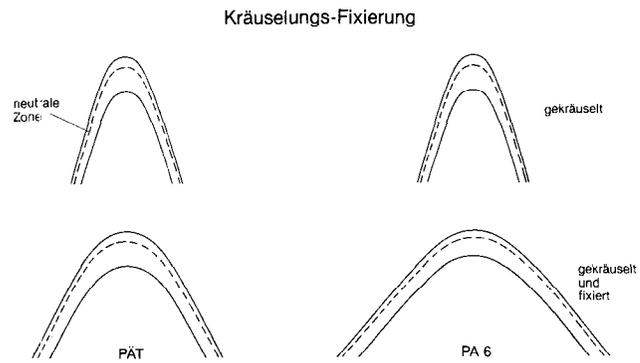


Abb. 27: Fixierung von stauchgekräuselten Fasern

Ganz analog liegen die Verhältnisse bei der Falschdrahttexturierung von Filamentgarnen. Hier erfolgen Deformationen, die, über den Filamentquerschnitt gesehen, zu unterschiedlichem Schrumpfvormögen und damit bei der Wegnahme der Texturierspannung zu einer räumlichen Kräuselung führen (Abb. 28). Ein solcher Faden, den man hier bei uns einen hochelastischen Faden nennt, hat eine intensive Kräuselung und ist in hohem Maße dehnbar. Diese Dehnung ist wegen der beim Texturierungsvorgang angewandten Temperaturen (erster Heizer), soweit sie lediglich zu einer Streckung der Kräuselbögen führt, weitgehend erholbar. Auch hier wendet man Fixierverfahren (z. B. im zweiten Heizer) an, die eine Verflachung, dabei jedoch eine Stabilisierung der Kräuselung gegenüber nachfolgenden thermischen Beanspruchungen bewirken (Set-Garn).

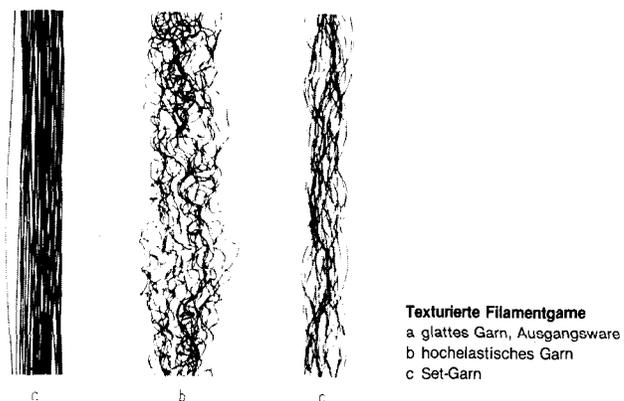


Abb. 28: Texturierte Filamentgarn: nach H. Sattler in Winkacker-Küchler, Chemische Technologie, Bd. 6, 4. Aufl. (1982), Hanser Verlag, München, S. 667

Wesentliche Stabilisierungsmechanismen sind bei allen diesen Verfahrensschritten weitergehende Kristallisation und/oder Relaxationen über temporäre Lösungen von höher belasteten Bindungen, z. B. bei Polyamiden Wasserstoffbrücken. Die sich dabei ergebenden für die Kräuselungsbeständigkeit verantwortlichen Strukturelemente sind gut ausgebildete kristalline Bereiche und nichtkristalline Bereiche mit entspannten Molekülsegmenten (sowohl als tie-Moleküle als auch als gefaltete Moleküle).

## 2. 3. Thermische Beständigkeit und Strukturelemente

Auskünfte über die thermische Beständigkeit von Fasern erhalten wir dann, wenn wir die Temperaturen bei der Messung ihrer Eigenschaften gegenüber den in den Nor-

men festgelegten Normaltemperaturen von  $20^\circ\text{C} + 2^\circ\text{C}$  deutlich erhöhen. Dies geschieht im allgemeinen mit dem Ziel, die Eigenschaften unter Verarbeitungs- oder auch manchen Gebrauchsbedingungen kennenzulernen. Dabei interessieren wir uns besonders für die Gebiete der Glas- bzw. der Kristallisationstemperaturen. Thermisch besonders hohe Belastungen erfolgen gelegentlich sogar im Bereich der Schmelz- oder auch Zersetzungstemperaturen.

Für diese Schmelztemperatur gilt im thermodynamischen Gleichgewicht:

$$T_s = \frac{\Delta H_s}{\Delta S_s}$$

mit  $\Delta H_s$ : Schmelzenthalpie, abhängig von den molekularen Wechselwirkungen  
und  $\Delta S_s$ : Schmelzentropie, abhängig von der Kettensteifheit.

Dabei ist  $\Delta H_s$  durch den Aufbau und die Größe des kristallinen Anteiles definiert – dort sind die Wechselwirkungen zahlreich und deshalb in der Summe groß – und  $\Delta S_s$  durch den Entropienunterschied zwischen dem kristallinen Anteil und der Schmelze.

Ganz grob gilt für unsere faserbildenden Polymeren die sogenannte (empirisch ermittelte) 2/3-Regel

$$\frac{T_g (\text{°K})}{T_s (\text{°K})} \approx 2/3$$

oder auch

$$T_s (\text{°K}) \approx 3/2 T_g (\text{°K}).$$

Da  $T_g$  ein brauchbares Maß für die Kettensteifheit ist, erkennen wir auch aus dieser Beziehung, daß  $T_s$  von dieser Moleküleigenschaft stark abhängen muß.

Betrachten wir einige Ergebnisse der zahlreichen Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen dem Schmelzverhalten und der Faserstruktur sowie – hier ein willkürlich herausgegriffenes Beispiel – einige Einzelheiten der thermischen Beständigkeit der mechanischen Eigenschaften.

#### Schmelzverhalten und Strukturelemente

Eine Reihe von Polymeren, z. B. Polyamid 6, kristallisieren in verschiedenen Modifikationen. Bei Polyamid 6 wurde gezeigt<sup>41</sup>, daß den einzelnen Modifikationen diskrete Schmelztemperaturen zugeordnet sind. Proben mit ausschließlich Kristalliten der monoklinen  $\alpha$ -Modifikation besaßen einen Schmelzpunkt von  $223^\circ\text{C}$ , andere, die dagegen lediglich Kristallite der hexagonalen  $\gamma$ -Modifikation enthielten, schmolzen bei  $215^\circ\text{C}$ .

Auch die Kristallitlänge beeinflusst bei Polyamid 6 die Schmelztemperatur. Aus Röntgenkleinwinkelmessungen ergab sich durch Extrapolation auf den in Kettenrichtung unendlich ausgedehnten Kristalliten (wie an anderer Stelle aus kalorischen Messungen<sup>42</sup>) eine Schmelztemperatur von etwa  $260^\circ\text{C}$ .

Für PÄT-Fasern wurde dagegen bei DTA-Messungen keine Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Kristallinitätsgrad gefunden<sup>43</sup>. Die gleiche Arbeit zeigte jedoch einen Anstieg der Schmelztemperatur mit zunehmender Verstreckung, d. h. mit zunehmender Orientierung und Spannung der die Kristallite verbindenden tie-Moleküle.

Wir erkennen schon aus diesen wenigen Untersuchungsergebnissen, daß der Aufbau und die Größe der kristallinen Bereiche sowie die Spannungen, die auf die in ihnen enthaltenen Molekülteile von den tie-Molekülen ausgeübt werden, den Schmelzpunkt in erheblichem Maße beeinflussen können.

Hier fügt sich nahtlos ein, daß Fasern aus aromatischen Polyamiden vom PPTA-Typ Schmelz- bzw. Zersetzungstemperaturen von etwa  $550^\circ\text{C}$  aufweisen. Bei der Herstellung dieser Fasern werden bekanntlich extrem steife Moleküle (niedrige Schmelzentropie) aus flüssig-kristallinen Lösungen versponnen, die in der Faser dann in vollausgestreckter Form vorliegen. Dadurch ist die Kristallinität mit fast 100 % (hohe Schmelzenthalpie) extrem groß.

#### Thermische Beständigkeit der mechanischen Eigenschaften

Die Bedeutung der Glasstemperatur (Molekülsteifheit) für die mechanischen Eigenschaften soll die schematische Darstellung in Abbildung 29 wiedergeben. Sie soll zeigen, daß der Anfangsmodul der KD-Linie einer Faser aus einem Standardpolymeren, wie PÄT, PBT oder PA vom 6-Typ, als Funktion der Meßtemperatur im Glasübergangsbereich – Beweglichwerden der Molekülsegmente im nichtkristallinen Bereich – und natürlich auch im Schmelzbereich deutlich abnimmt. Hier haben wir nun aber den Übergang zum Färbeverhalten unserer Fasern.

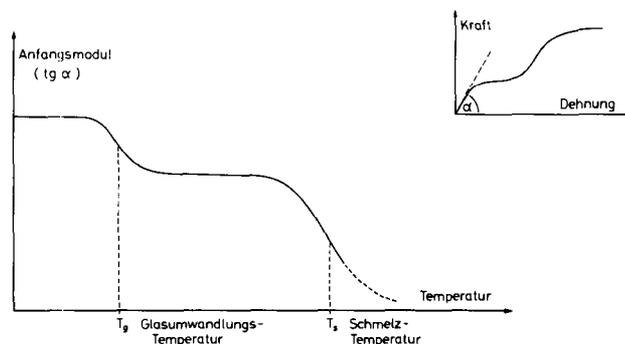


Abb. 29: Schematischer Verlauf des Anfangsmoduls kristallisationsfähiger Synthesefasern in Abhängigkeit von der Temperatur

### 3. Färberische Eigenschaften und Strukturelemente

Während die mechanischen Eigenschaften der Fasern, besonders bei technischen Textilien und Heimtextilien, sowie gleichermaßen die thermischen Eigenschaften in Bekleidungs- und Heimtextilien und im technischen Sektor von Bedeutung sind, fallen die färberischen Eigenschaften, besonders bei Bekleidungs- und Heimtextilien, ins Gewicht. Hier kommt es vor allem darauf an, die Textilien problemlos in tiefen Tönen färben zu können. Diese Färbungen sollen die Echtheitsanforderungen – in erster Linie bei Wasch- und Lichtechtheiten – erfüllen und sich schließlich hinsichtlich ihrer Farbtiefe bei Wärmebehandlungen in Anwesenheit von Wasser, organischen Lösungsmitteln oder Luft nicht verändern. Diese drei Komplexe sollen im dritten und letzten Teil des Vortrages behandelt werden.

#### 3. 1. Färbbarkeit in tiefen Tönen und Strukturelemente

Nach allem, was wir bisher über den strukturellen Aufbau der Fasern erfahren haben, ist es leicht zu erkennen, daß für die Ermöglichung der Diffusion und die Ein- bzw. Anlagerung der Farbstoffe vor allem mikroskopische und submikroskopische Hohlräume sowie die nichtkristallinen Bereiche dienen. Vor allem in den letzteren finden wir neben weniger beweglichen tie-Molekülen Faltenbögen sowie gespannte und bewegliche Molekülsegmente und bei ionisch färbaren Fasern auch die ionische Gruppierungen tragenden Molekülendgruppen.

Die Erfahrung lehrt, daß eine Färbung in tiefen Tönen erst bei Temperaturen etwa  $50^{\circ}\text{C}$  oberhalb der Glastemperatur der Faserpolymeren möglich ist. Als Beispiele dafür seien die Polyamidfasern vom 6-Typ mit  $T_g$  zwischen  $30$  und  $50^{\circ}\text{C}$  sowie Polybutylenterephthalatfasern mit  $T_g$  im gleichen Bereich angeführt. Beide Fasertypen sind offen, d. h. in kochendem Wasser in tiefen Tönen färbbar. Polyäthylenterephthalatfasern dagegen mit je nach Orientierung und Kristallinität  $T_g$  zwischen  $70$  und  $100^{\circ}\text{C}$  sind ohne weitere Hilfsmittel bei Kochtemperatur nur in mittleren Farbtiefen färbbar. Zur Erzielung tiefer Färbungen im kochenden Wasser ist entweder die Anwendung von Carriern, die die Struktur der nichtkristallinen Bereiche auflockern und während ihrer Anwesenheit die Glastemperatur der in ihnen enthaltenen Molekülsegmente erheblich senken, oder die Erhöhung der Färbetemperatur auf  $130$  bis  $135^{\circ}\text{C}$  erforderlich.

Im Einklang mit diesen Erfahrungen steht, daß das Farbstoffaufnahmevermögen von PÄT-Filamenten mit zunehmender Molekülorientierung und Kristallinität (Verstreckung) abnimmt. Desorientierung (Schrumpf) läßt die Farbstoffaufnahme wieder zunehmen, ganz besonders, wenn sie bei hoher Temperatur erfolgt. Bei der dabei zu beobachtenden erheblichen Kristallinitätszunahme wird durch Rückfaltung von Molekülen das freie Volumen für die Farbstoffmoleküle stark vergrößert. Dieses freie Volumen und damit die hervorragende Färbbarkeit bleiben auch nach Wiederverstreckung der Faser erhalten (Abb. 30)<sup>44</sup>.

Über dieses eindrucksvolle Beispiel einer physikalisch modifizierten PÄT-Faser habe ich schon vor dreizehn Jahren hier in Dornbirn berichtet, ebenso wie zwei Jahre vorher ausführlicher Jakob<sup>45</sup> über einige der Ansätze zur chemischen Modifizierung dieses Faserpolymeren, z. B. durch Blockcopolymkondensation mit Polyäthylenglykol.

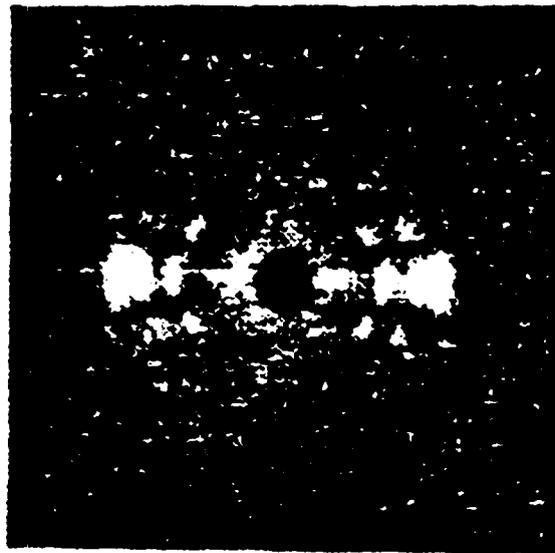
Wir sehen, daß PÄT ein schönes Beispiel dafür ist, daß das Farbstoffaufnahmevermögen einer Faser vor allem von der Beweglichkeit und Orientierung der Molekülsegmente in den nichtkristallinen Bereichen sowie von der Größe und der Zugänglichkeit des freien Volumens in den nichtkristallinen Bereichen und in sonstigen, z. B. zwischenfibrilläre Hohlräume, abhängt.

### 3. 2. Echtheit der Färbung und Strukturelemente

Es verwundert vielleicht ein wenig, daß in diesem Vortrag auch Beziehungen von Echtheitseigenschaften und physikalischer Struktur angesprochen werden sollen, ist man es doch im allgemeinen gewohnt, Echtheiten der Färbungen auf den Bau der Farbstoffe und auf Wechselwirkungen zwischen ihren chemischen Gruppierungen und den farbstoffaffinen Gruppen der Faser sowie ihren Nachbargruppierungen zurückzuführen. Diese Abhängigkeiten sind gegeben und, unter Berücksichtigung der komplexen Problematik, an vielen Stellen erforscht. Sie sollen deshalb hier nicht behandelt werden.

Auch spezielle Schwierigkeiten, wie z. B. die wesentlich geringeren Lichtechtheiten von kationischen Färbungen auf anionisch modifiziertem PÄT, verglichen mit denen der entsprechenden Färbungen auf Polyacrylnitril, sind bekannt<sup>45</sup>. Bei allen diesen Diskussionen der Wechselwirkungen Farbstoffmolekül-Fasermolekül, ob es sich nun um ionische oder Dispersionsfärbungen handelt, tritt jedoch immer wieder die Frage nach der Anordnung der Farbstoffmoleküle in der Faser auf. Bei ionischen Farbstoffen kann sich diese Frage vor allem auf den gelegentlich nicht salzartig an das Fasermolekül gebundenen Farbstoff beziehen.

Diese Frage führt uns nun aber wieder in die Thematik dieses Vortrages hinein. An dispers gefärbten PÄT-Folien wurde beobachtet, daß das nach Thermofixierprozessen für eine Fixiertemperatur von etwa  $180^{\circ}\text{C}$  zu beobachtende Farbstoffaufnahmeminimum mit einem Minimum des Farbstärkeverlustes bei Xenotest-Bestrahlung zusammenfällt<sup>46</sup>. Die Autoren sehen die Ursache dieses Verhaltens in der ausschließlichen Abhängigkeit des Ausbleichens von der Anordnung des Farbstoffes in der Faser. Solange sich



Dichte  $1398\text{ g/cm}^3$

Röntgen-Weitwinkel- und -Kleinwinkel-Diagramm einer verstreckten hochkristallinen Polyäthylenterephthalatfaser mit hoher Färbbarkeit für Dispersionsfarbstoffe

Abb. 30: Röntgendiagramme: PÄT-Fasern mit hoher Färbbarkeit

der Farbstoff noch ausschließlich in den nichtkristallinen Bereichen befindet, wird sein Ausbleichverhalten allein von der Farbstoffkonzentration bestimmt. Nach Überschreiten des Farbstoffaufnahmeminimums (Fixiertemperatur  $> 180^{\circ}\text{C}$ ) verschwinden nichtkristalline Bereiche progressiv durch Kristallisation, und die Farbstoffmoleküle ordnen sich mehr und mehr in den sich bildenden großen Hohlräumen an. Damit verliert die Farbstoffaggregation wie für einen pulverartigen Farbstoff ihren Einfluß auf das Ausbleichen. Im Nebensatz sei hinzugefügt, daß mit dieser Strukturänderung sicher auch erhebliche Änderungen der Wasch-, Thermofixier-, Sublimiererechtheiten und weiterer Echtheiten verbunden sein werden.

Die bei Vorhandensein von großen interfibrillären Hohlräumen in der Faser auf dem Aquator ihres Röntgen-Kleinwinkel-Diagramms auftretende kontinuierliche Streuung macht den Faserforscher deutlich auf solche möglichen Probleme aufmerksam. Ein Lichtmikroskop mit Dunkel-feld-Kondensator leistet in dieser Hinsicht oft ebenfalls schon wertvolle Dienste.

### 3. 3. Radiale Homogenität der Färbung und Strukturelemente

Wir haben nun bereits bei einer Reihe von Fragestellungen die Orte der Einlagerungen der Farbstoffe in die Faser angesprochen, jedoch bisher noch nicht die Problematik der Gleichmäßigkeit der Färbung über den Faserquerschnitt berührt. Dieser Sachverhalt (Durchfärbung oder Ringfärbung) wird dann besonders interessant, wenn z. B. mittels einer Wärmebehandlung durch Wanderung eines Dispersionsfarbstoffes aus einer Ringfärbung eine Durchfärbung wird (Abb. 31). Dabei ändert sich bekanntlich die Farbtiefe, die Durchfärbung wirkt dunkler. Mit diesem Phänomen<sup>47</sup> und mit seinen strukturellen Ursachen<sup>48, 49</sup> haben sich in den letzten Jahren einige Forscher beschäftigt. In den Stuttgarter Arbeiten zu den Zusammenhängen zwischen der Farbstoffdiffusion und der Faserstruktur beim Färben von PÄT-Fasern mit Dispersionsfarbstoffen wurde davon ausgegangen, daß aufgrund der Herstellungsbedingungen der Fasern eine radiale Strukturabhängigkeit zu erwarten ist.

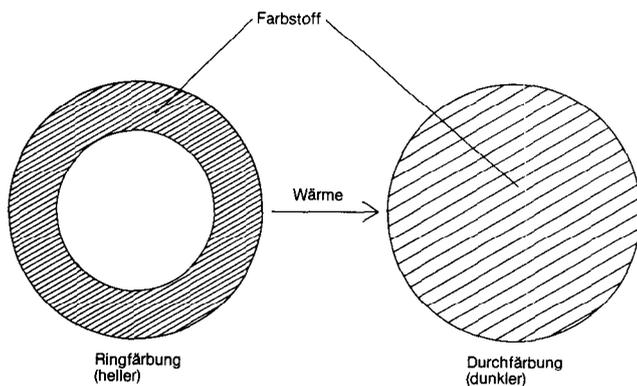


Abb. 31: Farbtiefeänderung durch Farbstoffwanderung (Homogenisierung)

Diese Abhängigkeit ist, wie die dortigen interferenzmikroskopischen Untersuchungen und auch eine große Zahl von entsprechenden Untersuchungen in unserem Hause zeigten, gegeben. Durch das Zusammenspiel zwischen der Abkühlung der gerade gesponnenen Filamente (Wärmefluß von innen nach außen) und der Beschleunigung der Volumenelemente durch hohe Umfangsgeschwindigkeiten der abziehenden Galette (bevorzugte Orientierung der durch Abkühlung mit höherer Schmelzviskosität ausgestatteten oberflächennahen Volumina) stellt sich eine Verteilung der Orientierung über den Querschnitt des Spinnfilaments ein, die in der Abbildung 32 schematisch wiedergegeben wird. Bei der nachfolgenden Verstreckung bleibt dann der bereits orientierungsinduziert vorkristallisierte Mantel in der Orientierung gegenüber dem Faserkern zurück, was bei der Anwendung spezieller Verfahrensbedingungen bis zu der ebenfalls in Abbildung 32 wiedergegebenen Verteilung führen kann. Man erkennt leicht, daß durch solche *Schalen-Orientierungen*, die im allgemeinen mit unterschiedlicher Kristallisation verbunden sind, über den Faserquerschnitt Orientierungs- und Ordnungsgefälle geschaffen werden, die bei den gegebenen Abhängigkeiten der Farbstoffdiffusion von der Molekülorientierung sowie der Sättigungskonzentration vom Ordnungszustand durchaus Kern-, Durch- oder Ringfärbungen bewirken können.

Die Abhängigkeit der Färbereigenschaften von den Strukturelementen der Faser stellt sich damit einigermaßen komplex dar. Das Farbstoffaufnahmevermögen wird von der Beweglichkeit und der Orientierung der Molekülsegmente in den nichtkristallinen Bereichen sowie von der Größe und der Zugänglichkeit des freien Volumens in den

nichtkristallinen Bereichen und sonstigen, z. B. zwischenfibrilläre Hohlräume, bestimmt. Die Echtheiten der Färbungen werden wesentlich von eben diesen Hohlräumen beeinflusst. Die Homogenität der Färbung über den Faserquerschnitt schließlich hängt vorrangig von der durch Herstellung, Verarbeitung und Veredlung geschaffenen Orientierungs- und damit Kristallinitätsverteilung über den Faserquerschnitt ab.

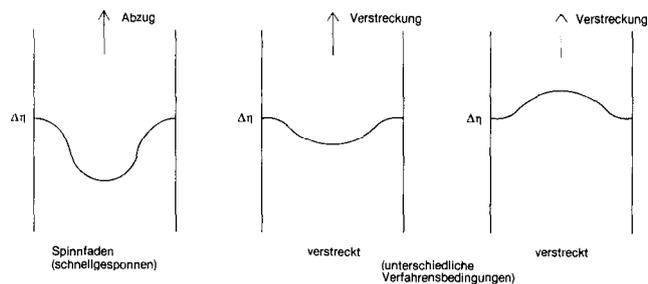


Abb. 32: Verteilung der Doppelbrechung über den Filamentquerschnitt (schematisch)

### Zusammenfassung

Durch diese kurze Diskussion der Abhängigkeiten der Komplexe

- mechanische Eigenschaften,
- thermische Eigenschaften,
- färberische Eigenschaften

von den Elementen der Faserstruktur dürfte deutlich geworden sein, daß allgemeine und detailliert formulierte Zusammenhänge zwischen diesen Eigenschaften und der Molekülbeweglichkeit und -orientierung, den nichtkristallinen Bereichen mit tie-Molekülen und Faltenbögen, der Kristallinität mit Kristallit Aufbau, -größe und -orientierung sowie der überkristallinen Struktur mit Lamellen, Fibrillen und Hohlräumen im Rahmen eines solchen Übersichtsvortrages nicht gegeben werden können. Da, wo es möglich war, wurden solche Abhängigkeiten jedoch aufgezeigt.

Es lassen sich aber in der Kürze wenigstens einige allgemeine Feststellungen treffen:

- Wenn wir die Synthesefasern nach ihrem KD-Verhalten zusammenfassen wollen, dann können wir das, wie in Abbildung 33 schematisch dargestellt, in vier großen Gruppen tun:
  - Hochleistungsfasern (Hochmodulfasern),
  - Standardfasern,
  - hartelastische Fasern,
  - segmentierte Elastomerfasern.

Für diese Fasern ergeben sich die ebenfalls in Abbildung 33 aufgeführten Hauptanforderungen an die Orientierung und die Kristallinität. Einige dort angeschlossene Bemerkungen sollen durch die Darstellung verdeutlicht werden.

Hinzugefügt sei hier eine Darstellung der KD-Linien dieser Hauptgruppen im logarithmischen Maßstab. Eingefügt wurden auch die Endpunkte der KD-Linien weiterer Fasern (Abb. 34). Diese Darstellung soll zeigen, daß der Bereich der Fasern klar gegliedert und gut überschaubar ist. Einige der Zusammenhänge zwischen dem KD-Verhalten und den Strukturelementen sind in der Tabelle aufgeführt, die in der Abbildung enthalten ist.

- Entscheidend für die Herstellung der erforderlichen Ordnungszustände ist die Steifheit der Makromoleküle und ihre Beweglichkeit in der Schmelze bzw. in der Lösung, charakterisiert durch die Glastemperatur.

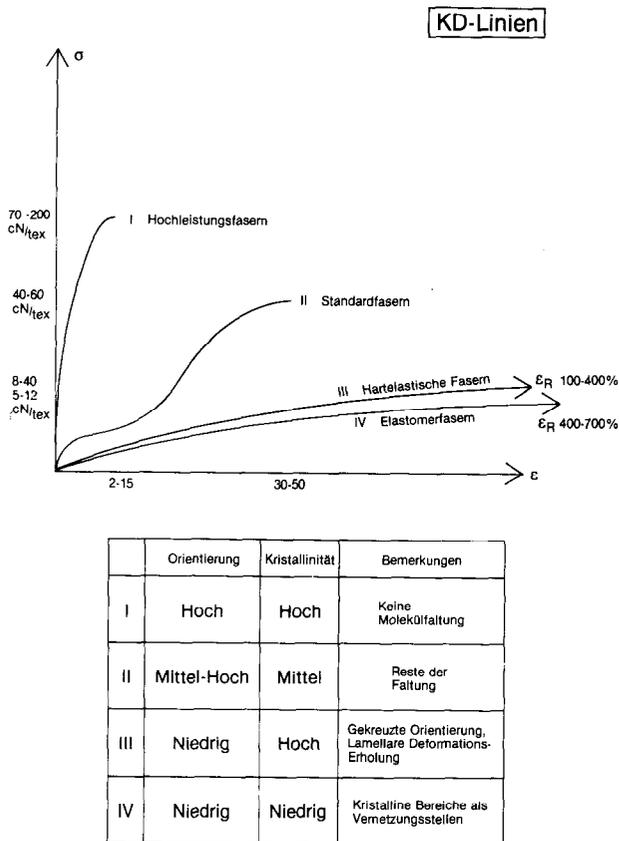


Abb. 33: Hauptgruppen der Synthefasern und Anforderungen an die Grundelemente der Faserstruktur (schematisch)

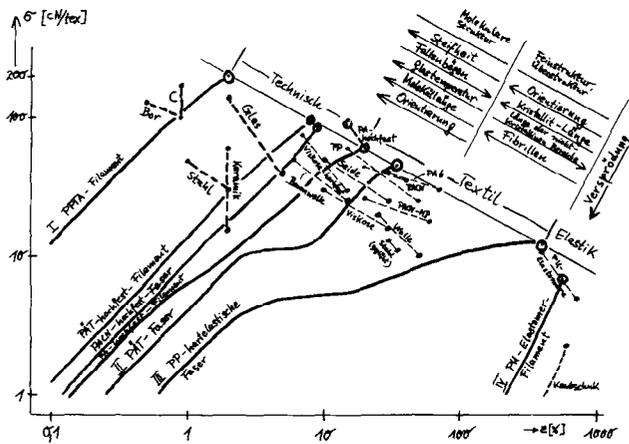


Abb. 34: KD-Verhalten der Fasern im logarithmischen Maßstab und Zusammenhänge mit ihren Strukturelementen

- Die Eigenschaften von Hochleistungsfasern, besonders das Kraft-Dehnungsverhalten, ergeben sich vor allem aus ihren steifen Molekülen und der durch die Verspinnung flüssig-kristalliner Lösungen dieser Moleküle aufgebauten nahezu vollkristallinen Struktur aus gestreckten Ketten.
- Der durch den chemischen Aufbau der Standard- und der Elastomerefasern (Glastemperatur) und die Führung der Herstellverfahren (Temperatur, Medium, Spannung) hergestellte Strukturaufbau – dabei in ganz besonderem Maße der Volumenanteil und die Struktur der

nichtkristallinen Bereiche mit tie-Molekülen und Faltenbögen – ist über die maßgebliche Beeinflussung der Formbeständigkeit gegenüber mechanischen und thermischen Beanspruchungen hinaus verantwortlich für die Färbbarkeit und die Pflegeleichtigkeit moderner Textilfasern.

**Literatur:**

- 1) Klare H.; Geschichte der Chemiefasernforschung (1985), Akademie-Verlag, Berlin, S. 334 ff (dort zahlreiche weitere Literaturangaben)
- 2) Gerngroß, A., Herrmann K., Abitz W.; Z. phys. Chem. **10**, 371, 1930; Naturwiss.; **18**, 754, (1930)
- 3) Frey-Wissling, A.; Protoplasma **25**, 261, (1936)
- 4) Mark, H.; J. phys. Chem. **44**, 764 (1940)
- 5) Hess, K., Kiessig H.; Z. phys. Chem. (A) **193**, 196 (1944)
- 6) Hess, K., Mahl H., Gütter E.; Koll. Z. **155** (1957), 1; **158**, 115, (1958)
- 7) Bonart, R., Hosemann R.; Makromol. Chem. **39**, 105, (1960); Hosemann, R.: Polymer **3**, 349 (1962) J. appl. Phys. **34**, 25 (1963)
- 8) Bonart, R.; Kolloid-Zs. u. Zs. f. Polym. **211**, 14 (1966); **231**, 438 (1969); Bonart, R., F. Schultze-Gebhardt; Angew. Makromol. Chem. **22**, 41 (1972); Bonart, R. in v. Falkai, B.; Synthefasern (1981), Verlag Chemie, Weinheim, siehe Kap. 2
- 9) Pechold, W., Blasenbrey S.; Angew. Makromol. Chem. **22**, 3 (1972)
- 10) Peterlin, A.; J. Macromol. Sci. **B6**, 583 (1972)
- 11) Prevorsek et al.; J. Macromol. Sci. (Phys.) **B8**, 127 (1973)
- 12) Hearle, I.W.S.; „Polymers and Their Properties“, Vol. I, „Fundamentals of Structure and Mechanics“, Ellis Horwood Ltd., Chichester (1982), S. 310 ff
- 13) Till, P.H.; J. Polym. Sci. **24**, 301, (1957); Keller, A.; Phil. Mag. **2**, 1171 (1957); Makromol. Chem. **34**, 1 (1959), Sonderbd. IUPAC-Sympos. über Makromol., Wiesbaden; Fischer, E. W.; Naturforsch. **12a**, 753 (1957)
- 14) Bonart, R., Schultze-Gebhardt F.; Angew. Makromol. Chem. **22**, 41 (1972); Berg, H.: 3. Stuttgarter Textil-Symposium (1973), S. 3 ff
- 15) Schultze-Gebhardt, F.; Faserforsch. Textiltechn. **28**, 471 (1977); **30**, 658 (1979)
- 16) Prevorsek, D. C., Sibila J. P.; J. Macromol. Sci. (Phys.) **B5**, 617 ff (1971)
- 17) Li, L.-S., Allard L. F., Bigelow, W. C.; J. Macromol. S. (Phys.) **B22(2)**, 288 (1983); Panar, M., Avakian P., Blume, R. C., Gardner, K. H., Gierke, T. D., Yang, H. H.; J. Polymer Sci. (Phys.) **21**, 1955 – 1969 (1983)
- 18) Freeston, W. D. jun., Schoppee, M. M.; Text. Res. J.; 314 – 317 (1972)
- 19) Phoenix, S. L., Skelton J.; Text. Res. J. 939 (1974)
- 20) Headley, D. W., Ward, I. M., Ward, J.; Proc. Royal Soc. (London) **A285**, 275 (1965)
- 21) Pinnock, P. R., Ward, I. M., Wolfe, J. M.; Proc. Royal Soc. (London) **A291**, 267 (1966)
- 22) Batra, S. K., Syed, N.; J. Poly. Sci. (Phys.) **13**, 369 – 386, (1975)
- 23) Ishikawa, K., et al.; J. Pol. Sci. **A2**, 1259 (1969) 7
- 24) Berg, H.; Mell. Textilber. 453 (1971)
- 25) Bobeth, W., Faulstich, H., Tausch-Marton, H.; Faserf. Textiltechn. **26**, 28 – 37 (1975)

- 26) Schultze-Gebhardt, F., in v. Falkai, B.; *Synthesefasern* (1981), Verlag Chemie, Weinheim, S. 78
- 27) Rao, M. V. S., Chauhan, R. S., Dweltz, N. E.; *Text. Res. J.*; 488 (1985)
- 28) Berg, H.; *Chemiefasern/Text. Ind.*; **74**, 220 (1972)
- 29) Susich, G., Backer, S.; *Text. Res. J.* **21**, 482 – 509 (1951)
- 30) Juilfs, J., Berg, H.; *Kolloid-Z.* **179**, 32 (1961) Berg, H.; *Dissertation Technische Hochschule Hannover* 61, 86 (1961)
- 31) Nagou, S., Oba, S.; *J. Macromol. Sci. (Phys.)* **B18(2)**, 285 (1980)
- 32) Cannon, S. L., Mc Kenna, G. B., Statton, W. O.; *J. Pol. Sci., Macromol. Rev.* **11**, 209 – 275 (1976)
- 33) Quynn, R. G., Brody H.; *J. Macromol. Sci. (Phys.)*, **B5**, 721 ff (1971)
- 34) Noether, H. D., Whitney, W.; *Kolloid-Z. u. Z. Polym.* **251**, 991 (1973)
- 35) Göritz, D., Müller, F. H.; *Kolloid-Z. u. Z. Polym.* **252**, 862 (1974), **253**, 844 (1975)
- 36) Noether, H. D., Brody, H.; *Text. Res. J.* 467 (1976)
- 37) Compostella, M., Coen, A., Bertinotti, F.; *Angew. Chem.* **74**, 16 (1962)
- 38) Sprague, B. S.; *J. Macromol. Sci. (Phys.)* **8**, 157 (1973)
- 39) Lenz, J., Schurz, J., Wrentschur, E.; *Text. Res. J.*; 74 (1984)
- 40) Samuels, R. J.; *J. Pol. Sci. (Phys.)* **17**, 535 (1979)
- 41) Weigel, P., Hirte, R., Ruscher, Ch.; *Faserforsch. Textiltechn.* **25**, 198 (1974)
- 42) Illers, K. H., Haberkorn, H.; *Makromol. Chem.* **142**, 31 – 67 (1971)
- 43) Schauler, W., Liska, E.; *Faserforsch. Textiltechn.* **26**, 225 – 232 (1975)
- 44) Kurzke, H., Sattler, H.: „Wandel in der chemischen Technik“, *Farbwerke Hoechst AG* 352 – 355 (1963), DBP 1.248855
- 45) Jakob, F.: *Lenzinger Ber.* **32**, 56 (1971)
- 46) Vicini, L., Sadocco, P., Canetti, M., Galli, R., Seves, A.; *Acta Polymerica* **35**, 588 – 592 (1984)
- 47) Goldfinger, G., Lau, K. Ch., Mc Gregor, R.; *J. appl. Polym. Sci.* **18**, 1741 – 1751 (1974)
- 48) Beier, M., Schollmeyer, E.; *Angew. Makromol. Chem.* **128**, 15 – 45 (1984)
- 49) Kühnle, G., Schollmeyer, E., Herlinger, H.; *Makromol. Chem.* **179**, 661 – 675 (1978); **180**, 473 – 490 (1979); **180**, 491 – 499 (1979)
-

## Konsument-Textilhandel – Bekleidungsindustrie: Wünsche und Forderungen an die Chemiefaser- und Textilindustrie

Dr. Ing. Dietrich M a r k e r t, Textile Unternehmensberatung, Frankfurt, Bundesrepublik Deutschland

Chemiefaser- und Textilindustrie sind hochmodern und kapitalintensiv. Für beide sind eigentlich große, rationell zu arbeitende Serien, kontinuierliche Beschäftigung und Vierschichtbetrieb an sieben Wochentagen erforderlich.

Demgegenüber will der Konsument bei vollen Kleiderschränken immer individuellere Kleidung, schnellen Wechsel, keinen Mode-Einheitsbrei, Abwechslung in Farben, Stil und Dessin. Er stellt, launisch wie der April, den Textilhandel mit seinen Wünschen immer wieder vor schwer zu lösende Probleme. Werden seine Vorstellungen nicht realisiert, gibt er sein Geld anderswo aus.

In der Praxis heißt das für den Handel: immer öfter meist in kleineren Dosierungen, und immer differenzierter einzukaufen, dabei ständig nach gut verkäuflichen Neuheiten auszuspähen, neue Lieferanten zu suchen, alte auszutauschen. Durch eine Flut von Messen und messeähnlichen Veranstaltungen, Modezentren mit Tausenden ständig präsenten Modellen und mehrfacher bis permanenter Musterung sucht die Bekleidungsindustrie den ständig steigenden Forderungen des Handels zu entsprechen.

Die Folgen sind: kleinere Serien, die noch kleiner werden, permanenter Einkauf von Stoffen, Schnellschüsse, dazu eine schwierige Logistik, die zwischen Eigenproduktion, passiver Lohnveredelung, Beschäftigung von Zwischenmeistern, Zukauf, Joint Ventures u.a.m. wechseln muß. Dies alles geschieht im internationalen Rahmen unter Berücksichtigung von Zöllen, Quoten u.ä.

Die Bekleidungsindustrie braucht dazu eine hochmoderne Chemiefaserproduktion und eine äußerst flexible Textilindustrie, die ihr industriell verarbeitbare Stoffe liefern kann. An dieser Nahtstelle gibt es Probleme, die sich in Zukunft verstärken werden. Sie werden an Hand von Untersuchungen dargestellt, Lösungsmöglichkeiten angeschnitten und die Auswirkungen auf die Chemiefaserindustrie beschrieben. Ein Szenarium, das die Gefahren der unterschiedlichen technischen Entwicklungen der Gegenwart und der kommenden Jahre in Textil- und Bekleidungsindustrie berücksichtigt, beschließt den Vortrag.

The man-made fibre and textile industries are highly modern and capital-intensive. In fact, both would require production in large series under streamlined production conditions and continuous work in four shifts seven days a week.

In an affluent society, however, the consumer calls for increasingly individualistic cloths, rapid change, less uniformity in fashions and more variety in colour, style and design. Changeable like an April day he confronts the textile trade with demands that are hard to satisfy. And if the trade does not comply with his wishes he will spend his money elsewhere.

For the textile trade this means that the individual shop owner has to stock smaller quantities of highly differentiated goods, being constantly on the look-out for novelties that sell well, and looking for new suppliers to replace old ones. The clothing industry tries to meet these more and more exacting demands by a host of fairs and similar events, by fashion centres featuring thousands of up-to-date models and by constantly reviewing its product range.

As a consequence series are getting smaller and smaller, new materials have to be purchased all the time, lead times become minimal, logistic problems mount and require rapid changes from in-company production and contract processing, intermittent employment of job masters to outside purchasing and joint ventures etc., with customs duties, quota requirements and the like thrown into the bargain whenever international transactions are concerned.

### Einleitung

Ich kann mein Thema ganz kurz abhandeln:

- Aus heutiger Sicht sind die künftigen Wünsche der Vorstufen fast unerfüllbar.
- Die Forderungen werden unermeßlich steigen.

Trotzdem sagen wir sicher zur fünfunddreißigsten Tagung, also in zehn Jahren: Welch ein Traumjahr war doch 1986; bescheidene Wünsche der Vorstufen und ein lieber Verbraucher! Man sieht, Optimismus ist weiter gefragt.

### Der Konsument

Konsument und Konsumverhalten wären schon allein, besonders mit Blick auf die Zukunft, Themen für einen ganzen Kongreß. Ich kann deshalb nur stichwortartig einige Trends aufzeichnen, die Einfluß auf unser Thema haben.

1) In Ländern mit hohem Lebensstandard und entsprechendem Wohlstand nehmen die Ausgaben für Bekleidung und Nahrung, am gesamten Haushaltsbudget gerechnet, ab. Dies ist unabhängig vom gesellschaftlichen System. Zur Erläuterung seien einige Zahlen aus der Bundesrepublik Deutschland in der Tabelle 1 angeführt.

**Tabelle 1: Ausgaben für Bekleidung und Nahrung, gerechnet am gesamten Haushaltsbudget**

	1970	1980	1984	1988/89*
Ausgaben für Bekleidung und Schuhe in % des Privatverbrauchs	10,6 %	9,2 %	8,5 %	8,0 %
Index (1970 = 100)	100	120	121	124
Zum Vergleich:				
Index Verkehr/Nachrichtenübermittlung	100	253	299	350
Index Reisen (In- und Ausland)	100	355	373	410

Quelle: Statistisches Bundesamt der BRD  
\* = geschätzt.

2) Bei Wohntextilien, besonders bei hochpreisigen, reagiert der Verbraucher außerordentlich elastisch. In Zeiten schlechter Konjunktur werden größere Anschaffungen oft weit hinausgeschoben. So war man beispielsweise bei Auslegeware in den Wohnungen von einer Erneuerung zwischen sechs und acht Jahren ausgegangen, heute sind zwölf bis vierzehn Jahre realistisch.

3) Mit steigendem Wohlstand werden die Familien kleiner, zugleich steigt die Zahl der berufstätigen Frauen weiter. Dies hat z. B. Auswirkungen auf:

- die Wohnkultur (bessere Qualitäten, pflegeleicht)
- die modische Ausrichtung (mehr Mode als Standard; bei Kindern werden nicht mehr Sachen vom kleinen Bruder oder der kleinen Schwester aufgetragen).

4) Die Zahl der sehr individuellen Singles wächst.

5) Die selbstbewußte Jugend (mit viel mehr Geld) entwickelt ihre individuellen Bekleidungsstile.

6) Die Altersstruktur ändert sich weiter. Hier ist die gesamte Entwicklung dramatisch. Senioren als Verbraucher gewinnen eine ungeheure Bedeutung. Je stärker sie einmal aus der Jeansgeneration kommen, wird es dann eine Umstrukturierung von zeitlos-klassischer auf eine Senioren-Freizeitbekleidung mit viel modischen Einfluß geben. Trotz einiger guter Ansätze ist dieses Feld noch nicht erschlossen.

7) Eine Wegwerfmode wird es bei uns nur in ganz bescheidenem Umfange geben. Das Nebeneinander vieler Be-

kleidungsstile verhindert die optische Veralterung. Außerdem hat auch die modische Kundin gelernt, wie man mit bescheidenen Mitteln immer wieder seine Kombinationsmode aktualisieren kann.

8) Stark vereinfacht wird es zwei Hauptrichtungen geben:

- erstens den Konsumenten, der eine Erlebniswelt beim Einkauf von Textilien mit guter Beratung sucht,
- zweitens den Konsumenten, der auf ein ganz ausgefeiltes Preis/Leistungsverhältnis achtet.

Dabei kann derselbe Verbraucher je nach Laune, Rolle oder Planung zwischen Erlebniswelt und aggressiven Preisen pendeln. Der Porsche vor dem Aldi-Geschäft ist dafür ein Beispiel.

9) Mode bleibt der große belebende Faktor unserer Branche; es gibt jedoch kein Modediktat. Nicht nur emanzipierte Frauen, sondern auch Männer kleiden sich immer stärker so, wie es ihnen gefällt.

10) Trotz dieser Tatsache werden Modefarben immer wieder ganz schnell aufsteigen und noch viel schneller als in der Vergangenheit als Ausdruck der Sättigung verschwinden. Das macht also auch in der Zukunft, bei Artikeln aus Buntgeweben, besondere „Freude“ bei allen Betriebstechnikern.

11) Die „Entmassung“, wie es die Fachzeitschrift *Textil-Wirtschaft* treffend kennzeichnete, individualisiert den modischen Bedarf. Das bedeutet: Der Konsument kommt bei geplantem Einkauf mit ganz festen Vorstellungen ins Geschäft (besonders zwölf- bis fünfzehnjährige junge Damen). Findet er nicht den gewünschten Artikel, verläßt er den Laden und sucht woanders sein Glück. Bei Spontankäufen, die nicht realisiert werden können, gibt er auch sein Geld für Nichttextilien aus. Der Ruf nach individueller Kleidung wird noch stärker. Über die Auswirkungen werden wir noch sprechen.

Lassen wir es bei diesen elf Punkten. Sie sind natürlich keine komplette Konsumentenanalyse, genügen jedoch als Basis für unsere Betrachtungen.

**Tabelle 2: Order- und Preisgestaltung im Textileinzelhandel**

1. früher					
1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat
Vordispositionen			Nachorders		
relativ stabile Preise			Schlußverkauf		
2. heute/morgen					
neue Ware	neue Ware	neue Ware	neue Ware	neue Ware	neue Ware
	neue Ware	neue Ware	neue Ware	neue Ware	neue Ware
		neue Ware	neue Ware	neue Ware	neue Ware
			neue Ware	neue Ware	neue Ware
				neue Ware	neue Ware
					neue Ware

Volle Kalkulation, dazu laufend Aktionsware

Abschriften auf „Alt“ware steigen mit dem Alter. Neue Ware zur Belebung der zweiten Saisonhälfte wird deutlich stärker unter Preisgesichtspunkten eingekauft.

(Anm.: Je nach Artikel, Genre, Geschäft etc. sind zum Teil erhebliche Abweichungen möglich.)

**Der Handel**

In einer Untersuchung für die Igedo, das ist eine der größten DOB-Modemessen der Welt, hat Fuchsberger nachgewiesen, daß etwa jedes zweite Bekleidungsstück in der DOB nicht zum normal kalkulierten Preis verkauft wird. Derartig hohe Abschriften schlagen voll auf das Ergebnis durch. Diese Tatsache führte in den letzten Jahren zu einem dramatisch geändertem Einkaufsverhalten des Handels mit ganz starken Auswirkungen auf die folgenden Stufen. Dieser Prozeß ist noch nicht abgeschlossen. Zwei stark schematisierte Beispiele sollen dies auch optisch klarstellen (Tab. 2).

Um die Änderungen besonders plastisch herauszustellen, wurde auf Mengenangaben verzichtet. Früher waren Vordispositionen in Höhe von 70 – 80 % des Saisonbedarfes normal. Bei marktstarken Lieferanten disponierte man oft den gesamten Saisonbedarf. Diese Werte sind je nach Artikel, Lieferanten und Marktstärke des Kunden auch bei modischer Ware stark zurückgegangen. Sie liegen hier oft nur bei 20 – 40 %. Eine Reihe von Artikeln werden überhaupt nicht mehr vordisponiert.

Der Textileinzelhandel macht dies nicht zum Spaß. Er richtet sein Verhalten auf den Konsumenten aus. Hinzu kommen noch eine Reihe zusätzlicher Probleme, die ich wie folgt kurz zusammengefaßt habe.

*Brennende Probleme des Textileinzelhandels:*

- Unsicherheit im Sortimentsaufbau,
- hohe Abschriften,
- schlechte Leistungszahlen,
- stagnierende Umsätze,
- Flächenexplosion (entspricht Überkapazitäten),
- neue, aggressive Konkurrenten,
- Probleme beim Fachpersonal,
- wenige Rationalisierungsmöglichkeiten beim Personal,
- Furcht vor weiterer Konzentration,
- Unterkapitalisierung u.a.m.

Daraus ergibt sich für heute und für die Zukunft ein Verhalten, das stark auf die nachfolgenden Stufen ausstrahlt. Dort muß man sich auf folgendes Verhalten einstellen:

- Der Handel wird zukünftig noch später und in kleineren Mengen ordern.
- Er wird viel öfter und gezielter einkaufen. Hierbei gewinnen die Modezentren mit ihrer Lagerware noch größere Bedeutung.
- Das Interesse an optimalen Vorinformationen, wie Mode, Preisspiegel, wirtschaftliche Trends, Kundenverhalten u.a.m., wächst. Demzufolge treten auch die Informationsstellen mit Ware (Messen, Modezentren, Hotelschauen, Vorlage von Kollektionen beim Kunden) in immer stärkeren Wettbewerb. Die Flut der weltweit stattfindenden Fachmessen für Bekleidungstextilien sind dafür ein Beispiel. Informationsvermittelnde Medien, wie etwa Fachzeitschriften, Informationen der Hersteller oder neue Medien, gewinnen – Qualität und Kompetenz vorausgesetzt – noch an Bedeutung.
- Die modische und betriebswirtschaftliche Durchleuchtung von Sortimenten und Lieferanten (auch mit Datenaustausch von Konkurrenten) wird vorangetrieben, und zwar mit einem vorzüglichen Rechnungswesen. Ich verweise besonders auf die Abverkaufsstatistik pro Lieferant.
- Entscheidend für die weitere Zusammenarbeit und damit auch für die Existenz des Lieferanten werden sein:
  - Abverkauf
  - Preis/Leistungsverhältnis,
  - modische Aussage und Kompetenz,
  - Lieferfähigkeit,
  - zeitliche und regionale Abstimmung des Angebots.
- Wer als Lieferant die zehn essentiellen Forderungen des Handels auch nur in wenigen Punkten nicht erfüllt, wird schnell ausgewechselt.

**Essentielle Forderungen des DOB-Handels\***

1. Modischer Schick der Kollektion	1,2
2. Abverkauf	1,2
3. Komplette Auslieferung, besonders bei Kombinationsteilen	1,2
4. Gute Paßform	1,2
5. Preis/Leistungsverhältnis	1,2
6. Fachhandelstreue	1,3
7. Pünktliche Lieferung	1,3
8. Gute Stoffqualität	1,3
9. Leistung bei Sofortprogrammen	1,5
10. Gute Nachordermöglichkeiten	1,6
:	
19. Langjährige Geschäftsverbindung	2,6

(1 = sehr wichtig; 2 = wichtig; 3 = weniger wichtig; 4 = unwichtig)

Gegenüber vergleichbaren Untersuchungen aus dem Jahr 1978 gab es bei folgenden Positionen besonders große Änderungen:

- Preis/Leistungsverhältnis von 1,7 auf 1,2,
- Leistung bei Sofortprogrammen von 1,9 auf 1,5,
- gute Nachordermöglichkeiten von 2,0 auf 1,6 und
- Abverkauf von 1,5 auf 1,2.

● Besonders mittlere und kleinere Geschäfte können aus Kostengründen nicht mehr jede Messe besuchen. Sie werden sich deshalb eine in der Nähe liegende Hauptmesse auswählen und noch stärker als bisher in Modezentren oder vergleichbaren Orten ordern und sich informieren.

An eines glaube ich nicht im Textileinzelhandel, nämlich an eine vergleichbare Konzentration wie im Lebensmittelhandel. In der Bundesrepublik Deutschland sank die Zahl der Lebensmittelgeschäfte in den letzten zwanzig Jahren von 180.000 auf unter 80.000. Die sieben großen Gruppen vereinigen über 90 % des Umsatzes auf sich. Was diese Nachfragemacht bedeutet, können eigentlich genau nur die Betroffenen sagen. Trotzdem geht die Konzentration auch bei Textilien weiter. Ein *Gründerzweig* wird besonders davon betroffen sein: Ich rechne damit, daß in Westeuropa in den nächsten Jahren viele tausend kleine Handstrickgeschäfte schließen müssen.

**Die Bekleidungsindustrie**

Aufgrund der geschilderten Anforderungen aus dem Handel hat sich die Bekleidungsindustrie in den letzten Jahren stark verändert. Sie hat dabei wohl die höchste Flexibilität der gesamten Bekleidungsirtschaft erreicht. Am besten ist dies an Musterung und Herstellung der Modelle ersichtlich. Besonders die regionalen Möglichkeiten werden hier voll ausgenutzt, wie im folgenden aufgeführt wird:

**Musterung, Produktion und Zukauf in der DOB**

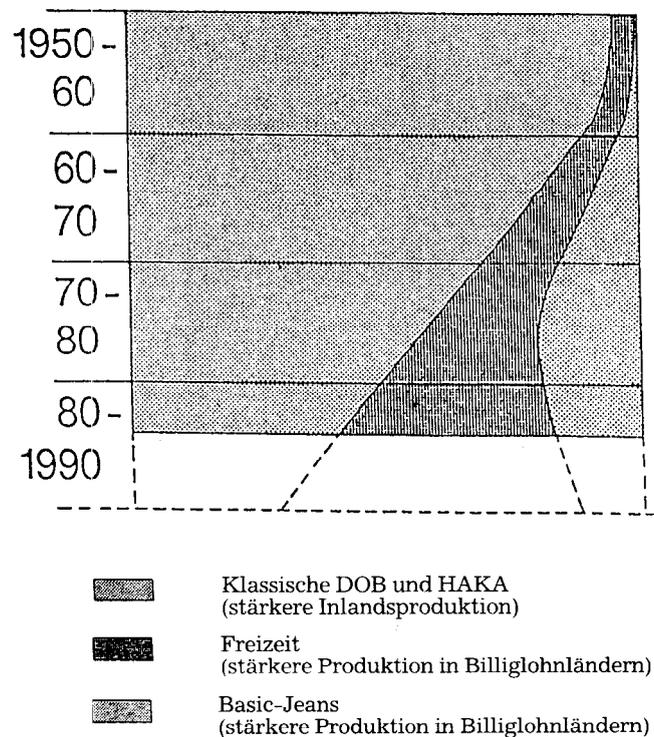
- Eigene Musterungsabteilung mit weltweiten Informationen
- Zusammenarbeit mit Fremddesignern
- Eigene Produktion, zum Teil an verschiedenen Orten im Inland und Ausland
- Lohnkonfektionäre im Inland
- Lohnfabrikanten in Europa und Nordafrika (vorwiegend passive Lohnveredelung)
- Joint Ventures weltweit.
- Lohn- oder eigene Produktion in Billigländern (selten passive Lohnveredelung, Zukauf von Stoffen auch Eigendessinierung; Herstellung in verschiedenen Ländern, z. B. Stoffeinkauf und Druck in Japan, Konfektionierung dieser Ware in Hongkong)
- Zukauf weltweit

(Anmerkung: Nur größere Firmen praktizieren alle Möglichkeiten).

Sicher spielte zusätzlich auch die Entwicklung des Oberbekleidungsmarktes seit 1950 eine große Rolle (Tab. 3).

\* Quelle (DFV/Markert): Einkaufsentscheidungen in der Textilbranche, ca. 30 Untersuchungen über viele Sparten. Hier: Einkaufsentscheidungen im Textileinzelhandel - DOB).

**Tabelle 3: Entwicklung des Oberbekleidungsmarktes von 1950 bis 1990\***  
(\*Quelle: Lauffenmühle European Fabric News)



In den meisten europäischen Bekleidungsärkten haben sich in den letzten 10 bis 15 Jahren entscheidende Strukturveränderungen abgespielt. Die Nachfrage in traditioneller Bekleidung hat sich zwischen 1960 und 1980 praktisch halbiert. Ein Ende der Entwicklung ist nicht abzusehen; die Übergänge zwischen klassischer Kleidung und Freizeitkleidung verwischen sich. Die regionale Aufteilung von Produktionen und die soeben beschriebenen Strukturveränderungen stellen an die meist mittelständische Industrie hohe Anforderungen in der Logistik.

Modische Ware schnell an den Ladentisch zu bringen, bedeutet heute teure Inlandsproduktion oder Produktion in nahe gelegenen Ländern mit günstigeren Lohnkosten, aber fester und deshalb risikoreicherer Reservierung von Kapazitäten. In den bekannten Entwicklungsländern Asiens oder Südamerikas produziert man zwar wesentlich billiger, hat aber dann andere Probleme, wie z. B. Überwachung der Qualität, lange Transportwege, Gefahr der Kopierung. Trotzdem ist man aus Gründen des Wettbewerbs auf einen solchen Produktionsmix mit entsprechender Mischkalkulation angewiesen.

Welche Forderungen der Bekleidungsindustrie an die Vorstufen ergeben sich unter Einbeziehung der geschilderten Entwicklung beim Verbraucher und im Handel?

● Oberstes Gebot ist die erhöhte Flexibilität. Darunter ist zu verstehen:

- Öfter kleinere modisch-aktuelle Stoffkollektionen als Sonder- oder Zwischenmusterung, wie dies unsere Drucker praktizieren,
- universell einsetzbare Garne entwickeln,
- schnelles Reagieren auf die Notwendigkeit kleinerer Serien, besonders für die modische DOB,
- kurzfristige, kleinere Dispositionen einplanen,
- späte, oft unerträglich späte Einteilung zu berücksichtigen,
- Rückgang der Stammaufträge.

● Kommunikation: noch wesentlich stärkere Zusammenarbeit zwischen Bekleidungsindustrie und ihren Vorlieferanten.

Die Partner reden immer noch viel aneinander vorbei. Kommunikation bedeutet auch praxisnahe Marktbeobachtung der ganzen Pipeline, also vom (Konsumenten) Handel bis zur Textilindustrie. Dies sollte auch Pflicht für mittlere und kleinere Betriebe der Textilindustrie sein. Man kann dies über gute Institute machen. Fehlen dazu die Mittel, genügen auch intelligente, sozusagen hausgemachte Systeme, da es hier nicht wie bei einer Wahl um die letzten 0,1 Prozent geht. Im Handel überspielen sich konkurrierende Gruppen aktuellste Ergebnisse des Abverkaufs und andere „Geschäftsgeheimnisse“ laufend per EDV. Betriebsvergleiche gibt es in allen Bereichen der Textil- und Bekleidungsindustrie. Was jedoch meist fehlt, ist das permanente Übertragen oder Überspielen von wichtigen Daten (vorwiegend aus Vertrieb/Produktion) auf die ganze Schiene (Konsument) – Handel – Bekleidungsindustrie – Textilindustrie – Chemiefaserhersteller. Dies sollten keine zu großen Gruppen sein, sondern eher viele gleichartige, die sich ständig gegenseitig über die Entwicklung orientieren. Dort, wo dies praxisnah bereits betrieben wird, spart man viel Geld und ist sicherer in den Dispositionen.

● **Auslieferung von industriell verarbeitbarer Meterware:** Für diejenigen, die mit den Verarbeitungsproblemen in der Bekleidungsindustrie nicht vertraut sind, einige Worte der Erklärung: In zunehmendem Maße wird in der Haka, der Hemdenproduktion und anderen Branchen, wo man noch Großserien auflegen kann, mit Computern gearbeitet. Sie führen einerseits schnellstens die Vergrößerung der Schnitte durch und erreichen andererseits eine optimale Ausnutzung der Stoffe mit wenig Abfall. Was jedoch die Fehler in der Meterware angeht, ist der leistungsfähigste Schnittcomputer doch noch ein „Blechidiot“. (Beispiel: Bei einer Jacke aus einem Stückfärber plazierte er wegen der optimalen Ausnutzung des Stoffes vielleicht den Kragen von Größe 48 auf Meter 1,2 an die Seite des Zuschnittes und den linken Ärmel auf Meter 44,0). Sie haben sicher schon einmal davon gehört, daß es bei Stückfärbern Farbabweichungen von Kante zu Kante oder Stückanfang zu Stückende geben kann. Was der Zuschneidemeister früher sah und ausgleichen konnte, merkt der Computer nicht. Wenn es das Unglück will, werden die zugeschnittenen Einzelteile zum Lohnfertigungsbetrieb ins Ausland gebracht, genäht – und erst bei der Endkontrolle merkt man das „prächtige“ Farbenspiel.

Das Problem industriell verarbeitbarer Meterware ist in den letzten Jahren mehrfach behandelt worden. Ich verweise dabei besonders auf die von den Zeitschriften Chemiefasern/Textilindustrie und Melliand durchgeführten Eschborner Tagungen mit den sich anschließenden zahlreichen Arbeitskreisen.

Vor kurzem ist in der Bundesrepublik Deutschland vom Verband der Damenoberbekleidungsindustrie e. v. und der Forschungsgemeinschaft Bekleidungsindustrie unter dem Titel „Warenpaß für DOB-Artikel aus Kleider- und Blusenstoffen“ eine bemerkenswerte Ausarbeitung erschienen, die allen Mitgliedern des Verbandes als Empfehlung für die Zusammenarbeit mit ihren Stofflieferanten zugeht.\*

Als kleine Einleitung für das nächste Kapitel soll noch die Forderung „Auslieferung des kompletten Auftrages“ erwähnt werden. Der hier geschilderte Fall ist nicht alt. Ein Konfektionär orderte für insgesamt 10.000 Kleider sieben Farben eines bestimmten Stoffes. Sechs davon wurden gerade noch in der achtzehntägigen Nachlieferungsfrist, die die Einheitsbedingungen bei uns vorsehen, geliefert. Die siebente Farbe ging daneben. Zum Pech war es eine sogenannte Ausputzfarbe, die für jedes Modell benötigt wurde. Vorgesehen war eine Lohnproduktion in Südeuropa; diese hatte man fest gebucht. Ergebnis: Die Lohnproduktion war nicht möglich, sie mußte aber dennoch bezahlt werden, da

sie fest reserviert und anderweitig nicht zu belegen war. Inlandsproduktion pro Modell war etwa um 6,- DM teurer. Dazu kamen Stornierungen aus dem Einzelhandel wegen der zu späten Lieferung. Sie können sich den Schaden in etwa ausrechnen!

### Wer wird künftig als Lieferant für die Bekleidungsindustrie interessant sein und bestehen bleiben?

Die Antwort ist im Prinzip die gleiche wie in der Vorstufe Handel/Bekleidungsindustrie: jener, der die essentiellen Punkte bei den Einkaufsentscheidungen optimal erfüllt.

*Essentielle Forderungen der Bekleidungsindustrie für die Lieferantenauswahl bei DOB-Stoffen\**

1. Preis/Leistungsverhältnis	1,2
2. Kreative modische Leistung	1,3
3. Schnelle Reaktion auf Modetrends	1,3
4. Pünktliche Lieferung von Mustercoupons	1,3
5. Leistungsfähigkeit bei Schnellschüssen	1,4
6. Problemlose Verarbeitung	1,4
7. Qualität der Stoffe	1,4
8. Nachordermöglichkeit	1,5
9. Kulante Erledigung von Reklamationen	2,0
10. Kulante Behandlung von Sonderwünschen	2,0
:	
Langjährige Geschäftsverbindung	2,4
:	
... und bei Haka-Stoffen*	
1. Preis/Leistungsverhältnis	1,2
2. Kreative modische Leistung	1,2
3. Qualität der Gewebe	1,4
4. Problemlose Verarbeitung	1,4
5. Rechtzeitige Lieferung von Mustercoupons	1,5
6. Nachordermöglichkeit	1,6
7. Leistungsfähigkeit bei Schnellschüssen	1,7
8. Schnelle Reaktion auf Modetrends	1,7
9. Kulante Behandlung von Reklamationen	1,9
10. Sorgfältige Behandlung von Sonderwünschen	2,0
:	
Langjährige Geschäftsverbindung	2,4

(\* Quelle: Einkaufsentscheidungen in der Bekleidungsindustrie a.a.O.)

Die Bekleidungsindustrie hat zusätzlich noch eine große Anzahl von Problemen, die indirekt auf sie ausstrahlen:

- Für die erwähnten immer kleineren Serien in der DOB ist ein Cutter im Zuschnitt oft nur unrationell einzusetzen. Wenn ich richtig informiert bin, hat aus diesem Grunde auch die größte europäische Bekleidungsgruppe in der DOB keinen Cutter.
- Die Nähmaschinenindustrie hat zahlreiche gute Spezialmaschinen entwickelt. Bei oftmals kleinen Einheiten in der DOB lohnt sich der Einbau in das Band nicht. Man läßt die Maschine im Keller, eine gute Näherin erledigt das billiger auf einer universell einsetzbaren Maschine. Dies gilt nicht für Nähmaschinen, mit denen man drei Stoffarten (Oberstoff, Einlage, Futterstoff) auf einmal zusammennähen kann.
- Moderne Schnellläufer können so fix arbeiten, daß sie auch von einer gut ausgebildeten Fachkraft nicht optimal ausgenutzt werden können.
- Der Einsatz von Nährobotern ist bei den kleiner werdenden Serien nicht möglich.
- Ein besonders schwieriges Problem ist, daß es noch nicht gelungen ist, Transportroboter zu entwickeln, die die zugeschnittenen Teile in der richtigen Reihenfolge zusammentragen, damit sie dann von Nährobotern genäht werden können. Man scheiterte hier an den unterschiedlichen Stoffstrukturen und -gewichten. Praktikable Lösungen sind noch nicht in Sicht. Das gilt auch für die wichtige Entwicklung sich selbst programmierender Nähroboter, besonders für kleine Serien. Der Maschinenbau ist hier herausgefordert.

(\* Zu beziehen über den DOB-Verband, Mevissenstraße 15, D-5000 Köln 1, ca. 120,- DM)

So bleibt die Bekleidungsindustrie trotz vieler Fortschritte ein lohnintensiver Partner. Im Vergleich dazu hat man in den meisten Bereichen Lohnquoten, von denen die Bekleidungsindustrie auch 1990 noch träumen wird.

Eine neuere Entwicklung wirkt sich dennoch positiv aus. Wegen der schnellen Mode kann man eine gewisse Rückkehr der Produktion von Oberbekleidung aus weit entfernten Gebieten feststellen. Arbeiten wir gemeinsam daran, daß sich dieser Effekt weiter verstärkt und mittelfristig auch die erwähnten technischen Probleme der Konfektion gelöst werden. Gelingt dies nicht, gibt es Ende des Jahrhunderts eine modisch aufgeschlossene, mit Spitzentechnologie rationell und flexibel produzierende europäische Textilindustrie und äquivalente Partner bei Chemiefasern. Nur würden große Teile der kreativen Kunden, besonders

die DOB, in Ostasien, Mittel- und Südamerika, Indien oder Mittelfrika produzieren und den größten Teil der Stoffe auch dort kaufen. Fürwahr ein schreckliches Szenario.

Was hier zu tun ist, wurde bei den Einkaufsentscheidungen und bei der Forderung nach einer verbesserten Kommunikation in der gesamten textilen Pipeline dargestellt. Ich rechne mit einer Lösung der aufgezeigten technischen Probleme in der Bekleidungsindustrie aber noch nicht vor 1995/2000. Bis dahin müssen wir verstärkt am Informationssystem arbeiten und möglicherweise auftretende Informationsverluste so stark reduzieren, daß auch beim fünfzigsten Jubiläum dieser Veranstaltung noch Hunderte europäische Firmen ihre Mitarbeiter ins schöne Dornbirn schicken können.



**AUSTRIA FASERWERKE Gesellschaft m.b.H.**  
A-4860 Lenzing

Herstellung und Vertrieb von Polyester-Stapelfasern sowie -Konvertekabeln und -Konverterzügen



## Die Bedeutung der Chemiefasern für die europäische Textilindustrie mit besonderer Berücksichtigung der Viskose- und Modalfasern

Dr. Hans Winter, Generaldirektor der Lenzing AG, Lenzing/Austria

Zuerst wird die *weltweite* Entwicklung des Faserverbrauches beschrieben, welcher derzeit bei 33 Mio. Jahrestonnen liegt. Er wird bis zum Jahre 2000 selbst unter der pessimistischen Annahme, daß der Pro-Kopf-Verbrauch nicht weiter zunimmt, auf mindestens 42 Mio. Jahrestonnen ansteigen.

Auch unter Berücksichtigung, daß ein Teil dieses Mehrverbrauches durch Baumwolle (größere Anbauflächen, höhere Erträge) gedeckt werden kann, ist anzunehmen, daß der Großteil dieses Verbrauchszuwachses auf Chemiefasern, in erster Linie auf Polyesterfasern, entfällt.

In Westeuropa ist der Chemiefaserverbrauch besonders hoch (62% des gesamten Fasereinsatzes). Eine weitere Zunahme des Faserverbrauches ist nicht zu erwarten; er ist bei stagnierendem Bedarf infolge der Zunahme der Importe von Garnen und textilen Fertigprodukten eher rückläufig, obwohl die europäische Textilindustrie durchaus konkurrenzfähig ist. Der Bedarf an Viskose- und Modalfasern ist leicht steigend, wobei innerhalb dieser beiden Sparten eine Verschiebung zugunsten der Modalfasern zu erwarten ist.

Die Produktion von Viskosefasern verlagert sich, mittelfristig und weltweit gesehen, von Westeuropa nach Osteuropa, Indien und Ostasien. Die Modalfaser dagegen, welche in ihren Eigenschaften der Baumwolle am nächsten kommt und die in Mischungen mit dieser die Schaffung besonders hochwertiger Produkte ermöglicht, findet zunehmend Absatz in Westeuropa. Ihr sind daher steigende Absatzchancen mit vernünftigen Erlösen einzuräumen.

At first the *worldwide* development of fibre consumption amounting presently to 33 million t.p.y. is dealt with. Up to 2000 the fibre consumption will increase to at least 42 million t.p.y. even on the pessimistic assumption that the per-capita-consumption will not continue to grow.

Even in consideration of the fact that a part of this additional consumption is covered by cotton (larger cultivated areas, higher earnings) it is to be assumed that the major part of this consumption increase is accounted for by man-made, mainly by polyester fibres.

In *Western Europe* man-made fibres are used to a very high extent (62% of the total of fibres used). A further growth of fibre consumption is not to be expected; with a sluggish demand due to import rises of yarns and finished textile products fibre consumption is rather declining although the European textile industry is definitely competitive.

The production of viscose and HMW-fibres is slightly on the upgrade, with a displacement to be expected within these two sectors in favour of HMW-fibres.

The medium-term production of viscose fibres on a worldwide scale is shifting from Western Europe to Eastern Europe, India and East Asia. On the other hand HMW-fibres, with properties very similar to those of cotton, thus facilitating the creation of special high-quality products in blends with cotton, are sold more and more in Western Europe. Therefore, increasing sale prospects with reasonable returns are to be conceded to HMW-fibres.

### 1. Entwicklung des Faserverbrauches weltweit

Fasern für Textilien haben einen entscheidenden Anteil an der Befriedigung der drei Grundbedürfnisse des Menschen: Ernährung, Bekleidung, Obdach.

Noch zur Jahrhundertwende war die Menschheit ausschließlich auf Naturfasern angewiesen; 81% entfielen auf Baumwolle, 19% auf Wolle. Heute wäre eine Bedarfsdeckung mit diesen Fasern allein überhaupt nicht mehr denkbar. Die Chemiefasern haben weltweit einen Anteil von fast 50%; in den hochindustrialisierten Ländern liegt er deutlich höher (Tab. 1 u. 2).

Tabelle 1: Weltproduktion Fasern in 1000 Tonnen  
(Quelle: CIRFS, Enka AG)

Jahr	Baumwolle	Wolle	Chemiefasern		Total
			Synthetics	Cellulosics	
1900	3.162	730	—	1	3.893
1940	6.907	1.134	5	1.127	9.173
1980	14.042	1.608	10.625	3.557	29.832
1985	17.137	1.670	12.827	3.301	34.935

Tabelle 2: Weltproduktion Fasern in Prozent  
(Quelle: CIRFS, Enka AG)

Jahr	Baumwolle	Wolle	Chemiefasern	
			Synthetics	Cellulosics
1900	81	19	—	—
1940	76	12	—	12
1980	47	5	36	12
1985	49	5	37	9

Zu Beginn dieses Jahrhunderts war bei einer Weltbevölkerung von 1,6 Milliarden der Faserverbrauch 4 Mio. Tonnen, das entspricht einem Pro-Kopf-Verbrauch von 2,5 kg. Heute liegt bei einer Weltbevölkerung von 4,5 Milliarden der *Faserverbrauch* bei 33 Mio. Tonnen, die *Produktion* bei 35 Mio. Tonnen. Der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch beträgt also etwa 7 kg (Tab. 3).

Tabelle 3: Entwicklung des Faserverbrauches pro Kopf  
(Quelle: CIRFS, diverse Studien)

Jahr	Weltbevölkerung in Mrd.	Faserverbrauch in Mio. to	Pro-Kopf-Verbrauch in kg
1900	1,6	4,0	2,5
1950	2,5	9,0	3,6
1985	4,5	33,0	7,3
2000	6,0	42—60	7—10

Dieser Durchschnitt weist allerdings regional enorme Schwankungen auf, die sich zwischen 2 kg in bestimmten Entwicklungsgebieten und 25 kg, beispielsweise in den USA, bewegen. In Westeuropa ist der Pro-Kopf-Verbrauch seit 1970 von 12 kg auf derzeit 15 kg gestiegen; er ist abhängig vom Klima, Lebensstandard und von den Lebensgewohnheiten.

Bis zum Jahr 2000 wird die Weltbevölkerung auf rund 6 Milliarden ansteigen. Ob sich auch die bisher stetige Steigerung des Pro-Kopf-Verbrauches weiter fortsetzen wird, ist eine nicht so einfach zu beantwortende Frage. Bei einer Steigerung des Pro-Kopf-Verbrauches auf 10 kg würde sich ein Gesamtfaserverbrauch im Jahr 2000 in der Größenordnung von 60 Mio. Tonnen ergeben. Aber selbst die moderatere Einschätzung, nämlich ein unveränderter Pro-Kopf-Verbrauch, würde infolge der Steigerung der Weltbevölkerung für das Jahr 2000 einen Faserverbrauch von 42 Mio. Tonnen ergeben, das ist gegenüber 1985 ein Plus von 27 % (Tab. 4).

**Tabelle 4: Verbrauchsentwicklung Fasern in Mio. Tonnen**  
(CIRFS, diverse Studien)

Jahr	Baumwolle	Wolle	Synthetics	Cellulosics	Total
1980	14,0	1,6	10,7	3,6	29,9
1985	15,6	1,7	12,8	3,3	33,4
1990	16,5	1,7	14,5	3,3	36,0
2000	19,0	1,7	17,5	3,8	42,0

Trotz des derzeitigen Überangebotes an Baumwolle kann man davon ausgehen, daß die Zunahme des Faserverbrauches im wesentlichen durch Chemiefasern abzudecken sein wird, zumal die dafür erforderlichen Rohstoffe *jederzeit* in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen. Die Versorgung mit den nötigen Rohstoffen ist vor allem deshalb ungefährdet, da der Anteil dieser Rohstoffe für die Faserproduktion im Gesamtverbrauch von Erdöl und Holz nur eine untergeordnete Rolle spielt. Allerdings kann die Preisentwicklung der Rohstoffe durch den Wettbewerb mit anderen Einsatzgebieten, z. B. Energie oder Papier, stark beeinflusst werden. Eine höhere Nachfrage nach Papier führt zu einer Preiserhöhung bei Papierzellstoff und in der Folge auch bei Kunstfaserszellstoff, obwohl sich die Faserindustrie möglicherweise in einem Tief befindet – eine Tatsache, welche gerade derzeit beobachtet werden kann. Die Unsicherheit der Preisentwicklung gilt jedoch, wie gerade die letzten Jahre gezeigt haben, auch für die Baumwolle, deren Preis stark von den schwankenden Anbauflächen und Ernteerträgen abhängig ist.

Der Schwerpunkt des Mengenzuwachses wird, zumindest für textile Einsatzzwecke, auf die Polyesterfasern entfallen. Die cellulosischen Fasern werden ihren festen Platz behalten; sie können allerdings mit keinem bedeutenden Mengenzuwachs rechnen (15 % gegenüber 1985).

**2. Die Situation in Westeuropa**

Der gesamte *Textilverbrauch* in Westeuropa für Bekleidung, Heimtextilien, technische Textilien und Vliesstoffe liegt derzeit über 5 Mio. Tonnen (Tab. 5).

Aufgrund der negativen Entwicklung der westeuropäischen Außenhandelsbilanz bei Textilien und Bekleidung liegt der *Faserverbrauch* in Westeuropa mit rd. 4,7 Mio. Tonnen deutlich unter dem Gesamttextilverbrauch. Die Fehlmenge wird durch den Import textiler Halbfertig- und Fertigprodukte gedeckt. Die Nettoimporte (Bruttoimporte

minus Exporte) sind von 395.000 Tonnen im Jahre 1975 auf nunmehr 715.000 Tonnen gestiegen.

**Tabelle 5: Verbrauch von Textilfasern in Westeuropa 1985**  
(Quelle: CIRFS)

	in 1000 to	(%)
<b>Gesamtverbrauch</b>	<b>4.678</b>	<b>100</b>
<b>davon:</b>		
<b>Synthetics</b>	<b>2.327</b>	<b>50</b>
<b>Cellulosics</b>	<b>566</b>	<b>12</b>
<b>Wolle</b>	<b>505</b>	<b>11</b>
<b>Baumwolle</b>	<b>1.280</b>	<b>27</b>

Vom Gesamtfasereinsatz in Westeuropa entfallen 62 % auf Chemiefasern; Baumwolle hat einen Anteil von etwa einem Viertel. Die Wolle, mit einem Anteil von über 10 %, liegt in Europa traditionell sehr hoch.

Man rechnet in Europa mit keiner nennenswerten Erhöhung des Gesamttextilverbrauches in den nächsten Jahren. Die Bevölkerung stagniert, und geringe Konsumsteigerungen werden kompensiert durch den Trend zu leichteren Textilien.

Will man von dieser Annahme die Entwicklung des Faserverbrauches in Europa ableiten, so kommt der Einschätzung der Entwicklung der Nettoimporte eine besondere Bedeutung zu. Mit der vor kurzem verabschiedeten Verlängerung des Multifaserabkommens ist eine Regelung für die nächsten Jahre getroffen worden, die zwar eine Steigerung der Importe beinhaltet, jedoch in kontrolliertem Ausmaß. Ob es nach dem MFA IV zu einer weiteren Verlängerung kommen wird, ist derzeit schwer abschätzbar, aber eher unwahrscheinlich. Man wird also in den nächsten Jahren darüber nachdenken müssen, wie man verhindern kann, daß es nach dem Auslaufen des Multifaserabkommens infolge wettbewerbsverzerrender handelspolitischer Praktiken zu einem sprunghaften Anstieg der Importe kommt.

Grundsätzlich ist die europäische Textilindustrie bei fairem Wettbewerb aufgrund des hohen Standes der Technologie absolut konkurrenzfähig, auch gegenüber Niedriglohnländern. Es wurde enorm viel investiert, und es hat sich ein deutlicher Wandel von einer ursprünglich sehr lohnintensiven zu einer sehr kapitalintensiven Industrie ergeben.

Auch in der Konfektion, die heute noch sehr lohnintensiv ist, zeichnen sich ähnliche Entwicklungen ab. Hier wird man in den nächsten fünf bis zehn Jahren mit Hilfe von Robotern und Mikroelektronik ebenfalls in eine Situation kommen, wo der Lohnkostenanteil an den Gesamtfertigungskosten stark zurückgedrängt werden wird. Eine wettbewerbsfähige und starke Konfektionsindustrie in Europa ist eine wichtige Basis für die europäische Textilindustrie.

**3. Die besondere Rolle der Viskose- und Modalfasern**

Wie schon erwähnt, haben die Cellulosics (Stapelfasern und Filamente zusammen) *weltweit* ihren festen Platz. Die Weltproduktion liegt seit 1970 jeweils zwischen 3,6 Mio.

Tonnen und 3,3 Mio. Tonnen. Die Prognose für das Jahr 2000 liegt bei 3,8 Mio. Tonnen. Die Stapelfasern, allein betrachtet, liegen in diesem Zeitraum zwischen 2,1 und 2,4 Mio. Tonnen (mit einer Prognose von 2,7 Mio. Tonnen für das Jahr 2000) (Tab. 6).

**Tabelle 6: Weltproduktion von Cellulosics in 1000 Tonnen**  
(Quelle: CIRFS, Enka AG)

Jahr	1970	1980	1985	2000
Cellulosics gesamt	3.579	3.557	3.301	3.800
nur Stapelfasern	2.187	2.409	2.351	2.700

In Westeuropa ist das Bild jedoch anders: Der Anteil der Viskosefasern ist seit Jahren rückläufig. Er ist in den letzten 10 Jahren um 14 % gesunken, obwohl die Produktion weltweit im selben Ausmaß gestiegen ist (Tab. 7).

**Tabelle 7: Regionale Struktur der Produktion von cellulosischen Stapelfasern in 1000 Tonnen**  
(Quelle: CIRFS, Enka AG)

Jahr	Westeuropa	USA	Japan	Restliche Länder	Welt total
1975	509	304	288	964	2.065
1980	574	389	313	1.133	2.409
1983	503	347	308	1.148	2.306
1985	438	321	290	1.302	2.351
Veränderung in (%) 1985/75	- 14	+ 5	+ 1	+ 35	+ 14
Veränderung in (%) 1985/80	- 24	- 17	- 7	+ 15	- 2

In den letzten fünf Jahren zeigt sich auch in USA und Japan, wenn auch nicht so stark wie in Westeuropa, ein deutlicher Rückgang. Die Produktionsstätten wurden und werden immer mehr nach Osteuropa, nach Indien und nach Ostasien, speziell in Länder mit hohem Bevölkerungswachstum, z. B. Indonesien, oder mit großen Exportchancen, z. B. Taiwan, verlagert. Der Zuwachs in den letzten zehn Jahren liegt in diesen „restlichen Ländern“ bei 35 %, in den letzten fünf Jahren bei 15 %.

Während sich diese Entwicklung nach neuesten Mitteilungen in Japan noch weiter fortsetzt, war man bis vor kurzem der Meinung, daß sie in Westeuropa im wesentlichen abgeschlossen sei. Dies trifft meines Erachtens jedoch nicht zu: Wenn, wie anzunehmen ist, die gegenwärtige Situation (extrem niedrige Baumwollpreise bei niedrigem Dollarkurs) längerfristig anhält, wird es auch in Westeuropa zu weiteren Kapazitätseinschränkungen kommen. Ein geringer Teil derselben kann allerdings, dem Trend zu höherwertigen Fasern folgend, durch entsprechende Produktionserhöhungen bei Modalfasern zumindest teilweise kompensiert werden.

Heute dienen die erzeugten Viskose- und Modalfasern weniger dem Export als der Bedarfsdeckung der westeuropäischen Spinnereien. Wurden 1980 noch 205.000 Tonnen exportiert, so waren es 1985 nur noch 95.000 Tonnen. Heuer (1986) wird die Exportquote noch geringer sein (Tab. 8).

**Tabelle 8: Marktentwicklung cellulosischer Stapelfasern Westeuropa in 1000 Tonnen**  
(Quelle: CIRFS)

	1975	1980	1983	1984	1985
Produktion	459	504	424	417	354
Lieferungen total	438	500	427	403	374
Westeuropa	318	295	256	266	279
Restliche Länder	120	205	171	137	95

In Westeuropa selbst haben sich die Viskose- und Modalfasern einen festen Platz gesichert, da sie den künftigen Anforderungen an die Herstellung hochwertiger Textilien in besonderem Maße entsprechen.

Ein ganz wesentlicher Aspekt ist dabei die Anpassungsfähigkeit dieser Fasern an die Entwicklung der Verarbeitungstechnologien. Gerade in den letzten Jahren haben sich durch die Automatisierung in der Spinnerei, die Entwicklung neuer, moderner Rotorspinnmaschinen sowie ganz neuer Spinntechnologien neue Anforderungen an die Faserqualität ergeben.

In der Bekleidung sowie bei den Heim- und Haushaltstextilien geht der Trend zu leichteren Gewichten und höherem Tragekomfort bei optimaler Pflegeleichtigkeit, Gebrauchstüchtigkeit und Formstabilität. Der Konsument wird zunehmend Wert auf die Funktionalität der Textilien legen. Hierunter sind sowohl die Eignung für bestimmte Verwendungszwecke, z. B. Arbeitsschutzbekleidung oder sportliche Bekleidung, als auch die Trage- und Pflegeeigenschaften zu verstehen. Diese Entwicklung wird den Einsatz von Fasermischungen weiter begünstigen. Viskose- und Modalfasern sind mit ihren maßgeschneiderten Eigenschaften optimale Mischungspartner für Naturfasern und Synthetischen.

In Westeuropa spielt ferner die Mode für den Absatz bei der Bekleidung und in zunehmendem Ausmaß auch für die Heim- und Haushaltstextilien eine immer größere Rolle. Der rasche Modewechsel zwingt die Textilhersteller zum Ausschöpfen aller verfügbaren Variationsmöglichkeiten. Die Viskose- und Modalfasern sind in Westeuropa ein fester Bestandteil der modischen Gestaltungsmöglichkeit in Form von Effekten, Optik, Farbe und Griff geworden. Schließlich ist die Entwicklung verschiedener Sondertypen, wie flammhemmende Fasern, besonders saugfähige Fasern, Fasern für medizinische Zwecke, zu erwähnen. Auch am nichttextilen Sektor zeigen sich immer wieder neue Einsatzgebiete.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte sind wir überzeugt, daß Viskose- und Modalfasern auch in Zukunft einen wesentlichen Anteil an der Faserpalette haben werden. Es sind Fasern, die problemlos zu verarbeiten und sehr anpassungsfähig an geänderte Anforderungen sind. Sie bringen durch das hohe Wasseraufnahmevermögen ideale Voraussetzungen für einen hohen Tragekomfort der daraus hergestellten Textilien, was sich z. B. in der zunehmenden Verwendung bei anspruchsvoller Sportbekleidung zeigt.

Die Viskose- und Modalfaserproduzenten versuchen heute, die Zusammenarbeit mit allen Stufen der Textilindustrie, den Textilhilfsmittelherstellern und den Maschinenherstellern weiter zu vertiefen. So ist beispielsweise die optimale Nutzung der neuesten Generation von Open-end-Spinnmaschinen nur in Verbindung mit einer entsprechenden Anpassung der zu verarbeitenden Faser in Richtung feinerer Titer möglich.

So unternehmen alle Produzenten große Anstrengungen, die sich verändernden Marktfordernisse rechtzeitig zu erkennen und mit einer Vielfalt von Typen, unterstützt von einem ständig erweiterten Serviceangebot, auf die jeweiligen Anforderungen zu reagieren. Sie haben sich ganz darauf eingestellt, ihre Rolle als Partner der Textilindustrie im hartumkämpften westeuropäischen Textilmarkt voll zu erfüllen.



**ALLGEMEINE BAUGESELLSCHAFT — A. PORR AKTIENGESELLSCHAFT**

**RAINERSTRASSE 22 POSTFACH 19  
A-4020 LINZ 4663 LAAKIRCHEN  
TELEFON 07 32/66 44 91-0 TELEFON 0 76 13 / 24 36 / 366**

**SPEZIALIST IN PLANUNG UND AUSFÜHRUNG**

**HOCH — TIEF — STRASSENBAU**

- Hochbau
- Industriebau
- Straßenbau
- Kraftwerksbau
- Tunnelbau
- Kanalbau
- Brückenbau
- Konstruktion

## Fasern aus Cellulose mit unterschiedlichen Querschnitten - Herstellung, Eigenschaften, Einsatz

Dipl.-Ing. I. Pechárová, CSc., Dipl.-Ing. I. Kollár, CSc., Dipl.-Ing. R. Šimo, CSc.,  
Forschungsinstitut für Chemiefasern, Svit/ČSSR  
Prof. Dipl.-Ing. M. Jambrič, DrSc.,  
Slowakische Technische Hochschule, Bratislava/ČSSR

Auf Regeneratcellulosebasis wird ein verschiedenartiges Fasersortiment hergestellt, das durch den Einsatz unterschiedlicher Herstellungsverfahren erzielt wird. Dafür charakteristisch sind Querschnitte, die sich aus einem Komplex von technologischen Bedingungen ergeben.

Unsere Aufmerksamkeit wurde den Hohlfäden gewidmet. Diese können mit unterschiedlichem Querschnitt hergestellt werden, wobei die Fadeneigenschaften in Abhängigkeit von der Fadenform verändert werden. Gegenstand unserer Untersuchung war die Feststellung, wie durch die Veränderung technologischer Bedingungen der Fadenquerschnitt, physiko-mechanische Eigenschaften und Sorptionseigenschaften verändert werden, und wie sich die Fadenstruktur verändert.

Die Bildung eines Fadenhohlraumes wird sowohl durch die Celluloselösung als auch durch Formgebungsbedingungen verursacht. Bei der Lösung ist vor allem der Gehalt der gasbildenden Komponente, das Verhältnis der Alkalität zum faserbildenden Anteil und auch der kolloid-chemische Viskosezustand wesentlich. Bei der Formgebung spielt der Einfluß der Koagulationsbedingungen und besonders des Fadenorientierungsprozesses im Plastifikationsbad eine wichtige Rolle.

Der Einfluß von technologischen Faktoren wurde durch seinen Komplex physikalischer Methoden ausgewertet. Die Verbesserung der Bildung eines regelmäßigen Hohlraumes mit Erhöhung des Fadendeformationsgrades wurde durch die REM und Lichtmikroskopie untersucht. Bei der Erhöhung des Deformationsgrades werden die mechanischen Eigenschaften von Fäden unter Erhöhung der Orientierung des ganzen Polymerensystems verbessert. Der kristalline Anteil im Faden und das Wachstum der Kristallite wurden durch röntgenographische Messungen festgestellt. Die lamellare Fadenstruktur wurde durch die Auswertung von SAXS festgestellt.

Auf Grund von Untersuchungen der physikalischen Charakteristika haben wir technologische Bedingungen ausgearbeitet, durch die unterschiedliche Sorptionseigenschaften vom Faden erzielt werden konnten.

On the basis of regenerated cellulose different fibre types are obtained by different preparation methods. Cross sections, as a result of complex technological conditions, are typical for these different types of regenerated cellulose fibres.

Our attention has been concentrated on hollow cellulose fibres. They can be prepared with a different cross-section, changing the fibre properties in dependence on its form. We have investigated the influence of changing technological conditions on fibre cross-section, on physico-mechanical and sorption properties as well as the relation to changes in the fiber structure.

Regular hollow space formation in the fibre depends on the cellulose solution as well as on conditions of fiber forming. In the solution the content of gas-forming components, alkalinity ratio to fibre-forming proportion, and the colloid-chemical viscose state are important. During formation it is the influence of the whole complex of coagulation conditions and mainly the process of fibre orientation in a plastification bath, that counts.

The influence of technological factors has been evaluated using a number of physical methods. An improvement of the regular

hollow space formation by increasing the degree of fibre deformation has been proved by REM and by light microscopy. Mechanical fiber properties are improved by increasing the deformation degree while increasing the orientation of a whole polymer system. The crystalline proportion in the fibre as well as the crystallite size were determined by X-ray measurements, the lamellar fibre structure by SAXS.

Different fibre sorption properties were obtained by technological conditions which had been worked out while investigating physical characteristics.

### Einleitung

In den letzten zwei Jahrzehnten sind intensivere Bestrebungen zu verzeichnen, die auf neue Verfahren zur Herstellung cellulosischer Chemiefasern aus neuartigen Lösungen orientiert sind, was zum Ersatz der klassischen Produktion von Cellulose regeneratfasern aus Xanthogenatlösungen führen soll<sup>1-5</sup>. Diese Neuentwicklungen konnten jedoch bisher mit einer kommerziellen Produktionsaufnahme, die mit dem Viskoseverfahren in ihren Auswirkungen voll vergleichbar wäre, nicht befriedigend abgeschlossen werden.

Aus diesen Gründen widmet man auch weiterhin große Aufmerksamkeit der Entwicklung neuer Sortimente von Regeneratcellulosefasern wie auch der Aggregierung der betreffenden Produktionsverfahren, verbunden mit einer Lösung der beim Viskoseverfahren auftretenden Belastung der Umwelt.

Das Sortiment interessanter Cellulose regeneratfasern erweitern u. a. auch die Hohlfasern. Zu ihrer Zubereitung sollen verschiedene Herstellungstechnologien<sup>6,7</sup> dienen. In unseren Untersuchungen konzentrierten wir uns auf das Erspinnen von Hohlfasern unter Anwendung von Treibmitteln<sup>8</sup>.

Zur Charakterisierung verschiedener Typen von Cellulose regeneratfasern dienen u. a. auch die Faserquerschnitte, die die angewandten verfahrenstechnischen Bedingungen teilweise zeigen. Die normalen, klassischen Viskosefasertypen und zum Teil auch die Hochnaßmodulfasern zeichnen sich durch einen meistens stark gegliederten Querschnitt aus, während beispielsweise Polynosicfasern einen fast runden Faserquerschnitt aufweisen (Abb. 1).

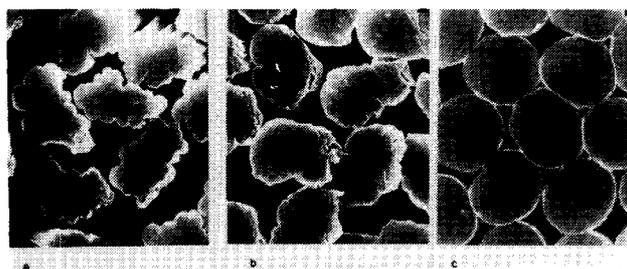


Abb. 1: Querschnitte von Cellulose regeneratfasern  
a – Normalfaser  
b – Hochnaßmodulfaser  
c – Polynosicfaser

Durch einen Treibmittelzusatz zur Viskose und durch eine geeignete Wahl verfahrenstechnischer Bedingungen kann eine Hohlfaser mit einem regelmäßigen, aber auch mit einem unregelmäßigen Querschnitt erspinnen werden (Abb. 2).

Den Querschnitt einer Faser kann man durch Anfärben besser sichtbar machen. Hohlfasern mit einem unregelmäßigen Querschnitt weisen im allgemeinen einen höheren Quellwert auf, was bei der Anfärbung der Faserquerschnitte wieder besser zum Ausdruck kommt (Abb. 3).

Die einzelnen Cellulosefasertypen unterscheiden sich nicht nur durch die Form des Faserquerschnittes, sondern sie sind auch in ihren Abmessungen unterschiedlich (Tab. 1).

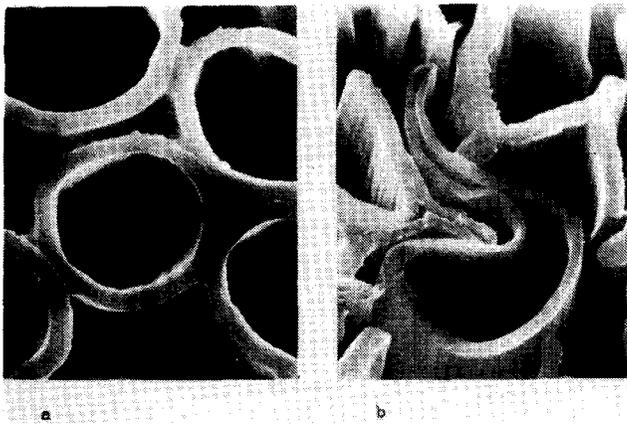


Abb. 2: Querschnitte von cellulosischen Hohlfasern  
a – reguläre Querschnittsform  
b – unregelmäßige Querschnittsform

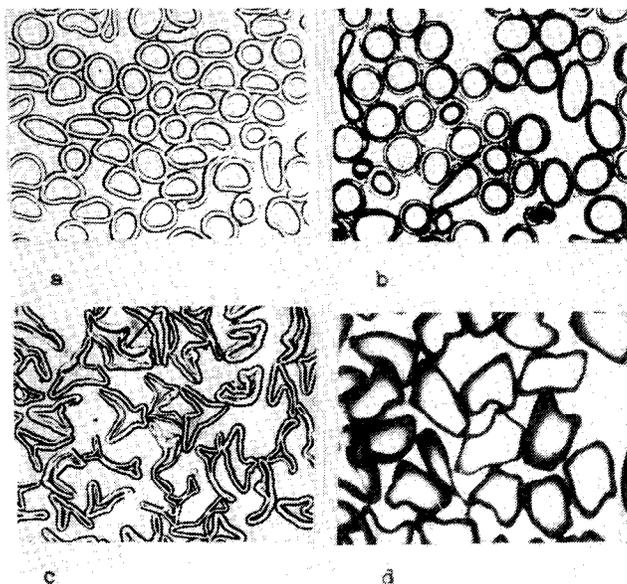


Abb. 3: Querschnitte von Hohlfasern  
a – reguläre Form, ohne Ausfärbung  
b – reguläre Form, mit Ausfärbung  
c – unreguläre Form, ohne Ausfärbung  
d – unreguläre Form, mit Ausfärbung

Tabelle 1: Querschnittsabmessungen verschiedener Cellulose-regeneratfasern

Fasertyp	Feinheit (dtex)	Außenabmessungen (µm)	Wanddicke (µm)
Normalfaser	1,7	6 – 18	–
HWM-Faser	1,7	10 – 17	–
Polynosicfaser	1,7	12 – 14	–
Hohlfaser	1,7	20 – 25	2 – 3

Hohlfasern mit einem regulären Faserquerschnitt weisen eine unterschiedliche übermolekulare Struktur der inneren Mantelwand auf, was sich wieder durch einen deutlichen Skin-Effekt auswirkt. Ein solcher Effekt konnte bei Hohlfasern mit unregulären Querschnitten nicht beobachtet werden (Abb. 3).

Der Zubereitung von cellulosischen Hohlfasern unter Zusatz von Treibmitteln und Modifiziermitteln wurde – und wird auch heute noch – große Bedeutung in der Forschung gewidmet<sup>9</sup>. Ein zu niedriger, aber auch ein zu hoher Treibmittelgehalt in der Viskose führt kaum zur Bildung einer Hohlfaser. Desgleichen behindert auch ein zu hoher Gehalt an Modifiziermitteln, die den Regenerierungsprozeß retardieren, die Bildung einer Hohlfaser, was auch die Ergebnisse unserer experimentellen Arbeiten bestätigt haben (Abb. 4).

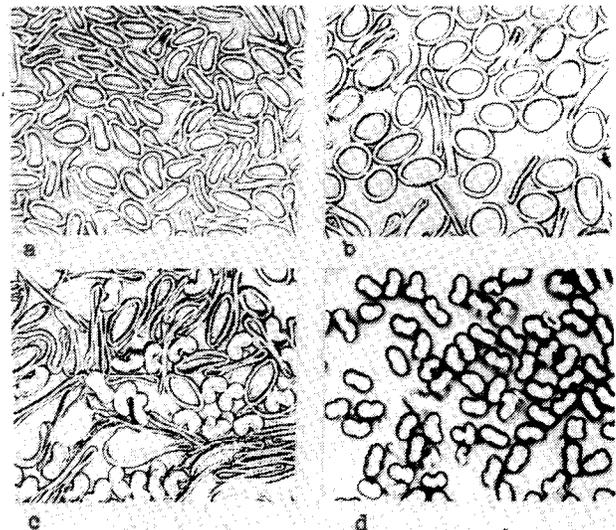


Abb. 4: Einfluß der Modifizierungsmittelkonzentration auf die Änderung des Faserquerschnitts  
a – ohne Modifizierungsmittelzusatz  
b – 1 % Modifizierungsmittel (auf Alpha-Cellulose bezogen)  
c – 3 % Modifizierungsmittel (auf Alpha-Cellulose bezogen)  
d – 5 % Modifizierungsmittel (auf Alpha-Cellulose bezogen)

### Bedingungen für die Bildung von cellulosischen Hohlfasern

Vor allem dem Einfluß der Koagulationstemperatur, der Spinnengeschwindigkeit und des Deformationsgrades haben wir unsere Aufmerksamkeit gewidmet. Wir verfolgten den Einfluß der genannten Parameter auf die Änderung der übermolekularen Struktur und der Faserquerschnittsgeometrie.

Die experimentell gewonnenen Ergebnisse aus diesen Untersuchungen werden in den nachfolgenden Abbildungen veranschaulicht (Abb. 5).

Zur Herstellung der Hohlfasern verwendeten wir Viskose mit einer Zusammensetzung: 7 % Alpha-Cellulose, 5,5 % NaOH und 4 % Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (alles in Masse-%, bezogen auf die Viskose), mit einem Zusatz von 1 % Modifizierungsmittel (bezogen auf den Alpha-Cellulosegehalt); die Spinnviskose wurde auf einen Gamma-Wert von rund 50 eingestellt. Die Parameter des Koagulationsbades entsprachen der Zusammensetzung der Viskose wie auch den Bedingungen für die Bildung einer Hohlfaser (Abb. 6).

Die Koagulationstemperatur und die Faserdeformation im Spinprozess haben einen eindeutigen Einfluß auf die übermolekulare Struktur (Orientierung und kristalliner Anteil), auf die physikalisch-mechanischen Fasereigenschaften (Festigkeit, Dehnung, Quellwert) und auf die Regelmäßigkeit der Querschnittsgeometrie (Abb. 7).

Die Koagulationsbedingungen und die Faserdeformation haben Einfluß u. a. auch auf die Kristallitdimensionen. Ein größerer Verstreckungsgrad und eine höhere Modifizierungsmittelkonzentration wirken sich auf die Kristallitgröße positiv aus, während die Koagulationstemperatur in entge-

gengesetzter Weise wirkt. Die Querdimension der Kristallite, gemessen anhand der Röntgenweitwinkelstreuung, erreicht den Wert von etwa 2 – 7 nm (Abb. 8 u. 9).

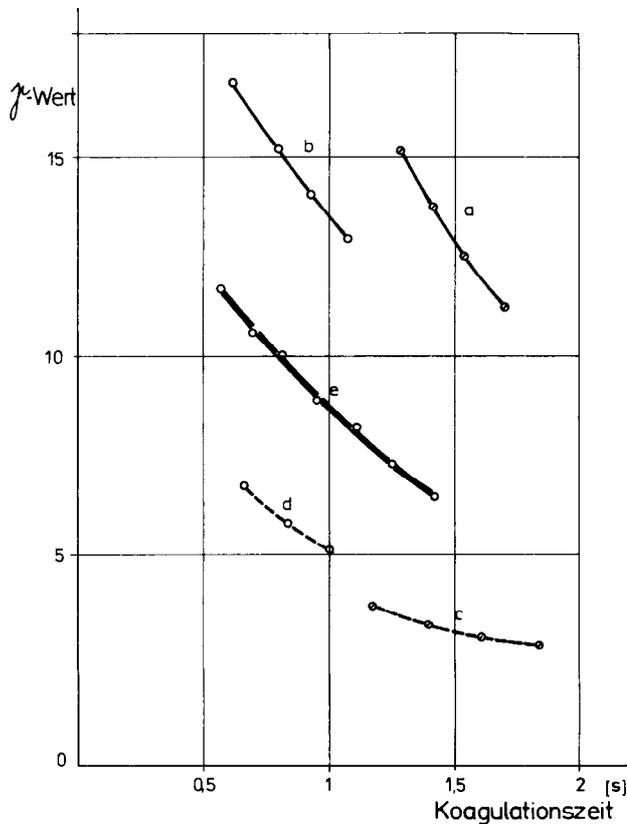


Abb. 5: Gamma-Wert der Faser in Abhängigkeit von den Koagulationsbedingungen (Verweilzeit bzw. Spinnengeschwindigkeit; Temperatur)  
 a – 25 m/min, 30° C; b – 50 m/min, 30° C  
 c – 25 m/min, 50° C; d – 50 m/min, 50° C  
 e – Viskose ohne Treibmittelzusatz; 25 m/min, 30° C

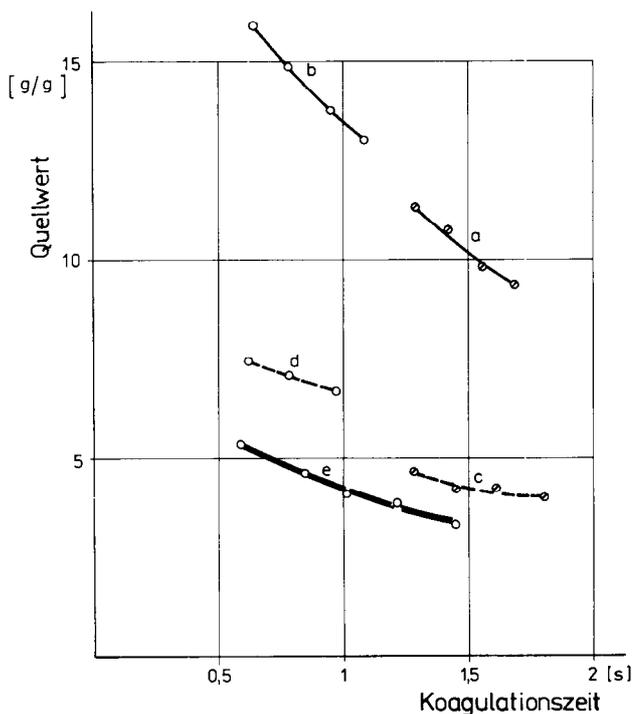


Abb. 6: Faserquellvermögen in Abhängigkeit von den Koagulationsbedingungen (Spinnengeschwindigkeit, Temperatur)  
 a – 25 m/min, 30° C; b – 50 m/min, 30° C  
 c – 25 m/min, 50° C; d – 50 m/min, 50° C  
 e – Viskose ohne Treibmittelzusatz; 25 m/min, 30° C

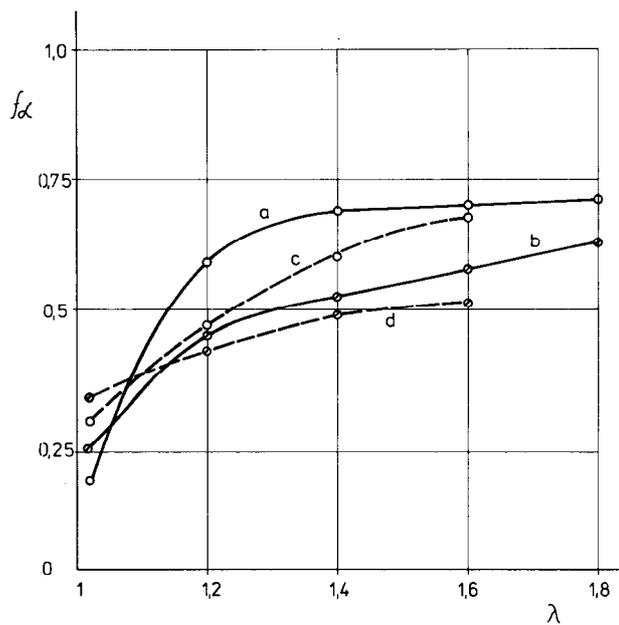


Abb. 7: Beeinflussung der mittleren Faserorientierung ( $f_\alpha$ ) durch den Verstreckungsgrad (ausgedrückt durch das Streckverhältnis  $\lambda$ )  
 a – Viskose mit Modifizier- und Treibmittelzusatz; Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ C$   
 b – Viskose mit Treibmittel, ohne Modifiziermittel;  $T_K = 30^\circ C$   
 c – Viskose mit Modifizier- und Treibmittelzusatz;  $T_K = 50^\circ C$   
 d – Viskose mit Treibmittel, ohne Modifiziermittel;  $T_K = 50^\circ C$

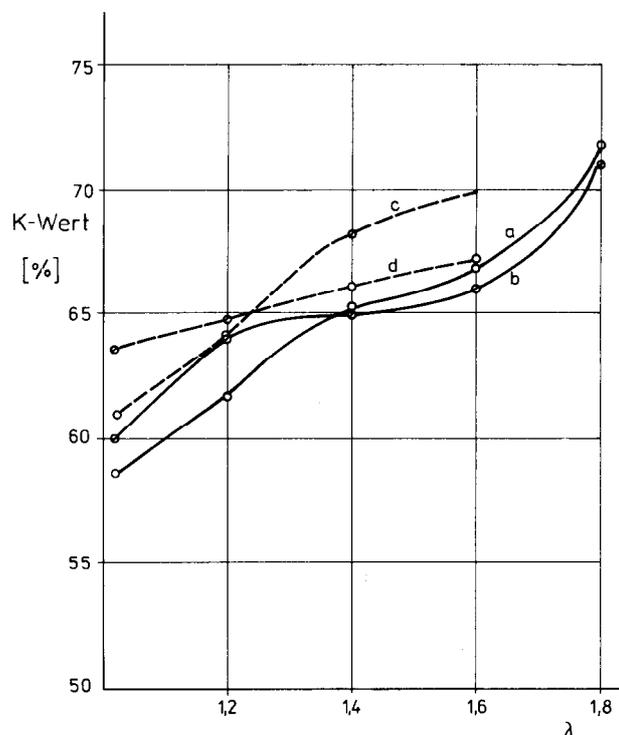


Abb. 8: Kristalliner Anteil (K-Wert) in Abhängigkeit vom Streckverhältnis  
 a – Viskose mit Modifizier- und Treibmittelzusatz; Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ C$   
 b – Viskose mit Treibmittel, ohne Modifiziermittel;  $T_K = 30^\circ C$   
 c – Viskose mit Modifizier- und Treibmittelzusatz;  $T_K = 50^\circ C$   
 d – Viskose mit Treibmittel, ohne Modifiziermittel;  $T_K = 50^\circ C$

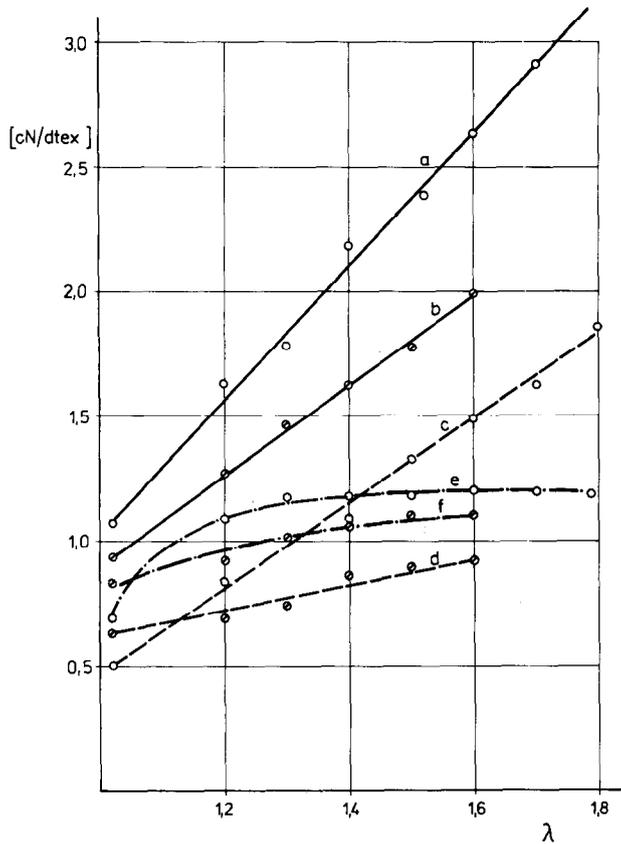


Abb. 9: Reißfestigkeit cellulosischer Hohlfasern in Abhängigkeit vom Streckverhältnis (Viskose mit Modifizier- und Treibmittelzusatz)  
 a – Reißfestigkeit im konditionierten Zustand; Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 b – Reißfestigkeit, kond.;  $T_K = 50^\circ\text{C}$   
 c – Reißfestigkeit, naß;  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 d – Reißfestigkeit, naß;  $T_K = 50^\circ\text{C}$   
 e – Schlingenfestigkeit;  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 f – Schlingenfestigkeit;  $T_K = 50^\circ\text{C}$

Die nach unserem Verfahren hergestellten cellulosischen Hohlfasern zeichnen sich durch eine fast zweifach höhere Schlingenfestigkeit aus (mit rund 1,2 cN/dtex), und ihre Scheuerfestigkeit liegt im Vergleich zu einem Polynosic- oder Normalfasertyp wesentlich höher.

Die angeführten Unterschiede ergeben sich aus der abweichenden übermolekularen und morphologischen Struktur der betreffenden Hohlfasern (Abb. 10 – 13).

Die vorgeführten elektronenmikroskopischen Aufnahmen deuten auf einen negativen Einfluß der Koagulationstemperatur auf die regelmäßige Gestalt des Hohlfaserquerschnitts. Mit steigender Temperatur wird die Regeneration der Hydratcellulose beschleunigt, wodurch sich das Deformationsverhalten und damit auch der Wirkungsgrad des Treibmittels verschlechtern.

Die Hohlfasern mit dem höheren Streckverhältnis zeigen hier eine höhere Orientierung der morphologischen Gebilde in Faserlängsrichtung (Abb. 14).

**Zusammenfassung**

Die Hohlfasern aus Regeneratcellulose stellen ein spezifisches innovatives Chemiefasersortiment dar.

Verfahren zur Herstellung von cellulosischen Hohlfasern, insbesondere unter Anwendung geeigneter Treibmittel, sind schon seit einigen Jahren prinzipiell bekannt. Derzeit kommen weitere wissenschaftliche Erkenntnisse zur Geltung, die vor allem zur Erzielung eines höheren synergischen Effektes der Modifiziermittel und Treibmittel in

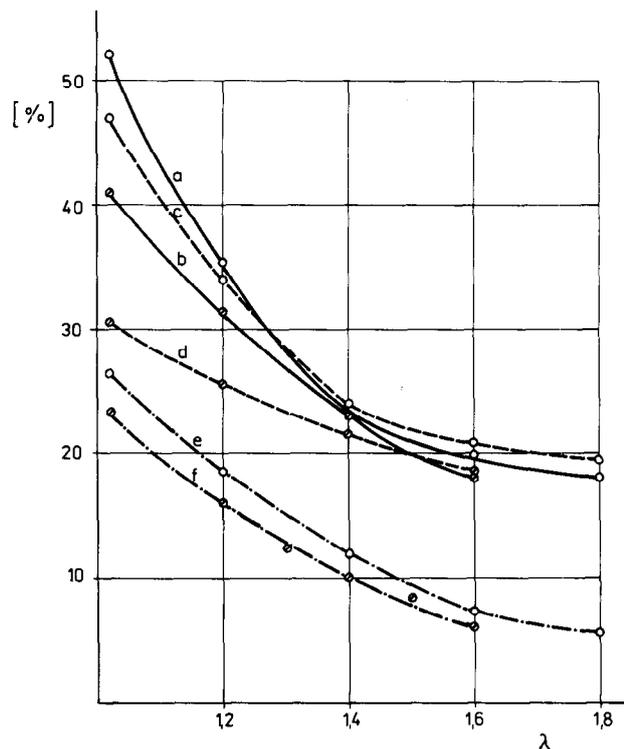


Abb. 10: Reißdehnung cellulosischer Hohlfasern in Abhängigkeit vom Streckverhältnis (Viskose mit Modifizier- und Treibmittelzusatz)  
 a – Reißdehnung im konditionierten Zustand; Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 b – Reißdehnung, kond.;  $T_K = 50^\circ\text{C}$   
 c – Reißdehnung, naß;  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 d – Reißdehnung, naß;  $T_K = 50^\circ\text{C}$   
 e – Schlingendehnung;  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 f – Schlingendehnung;  $T_K = 50^\circ\text{C}$

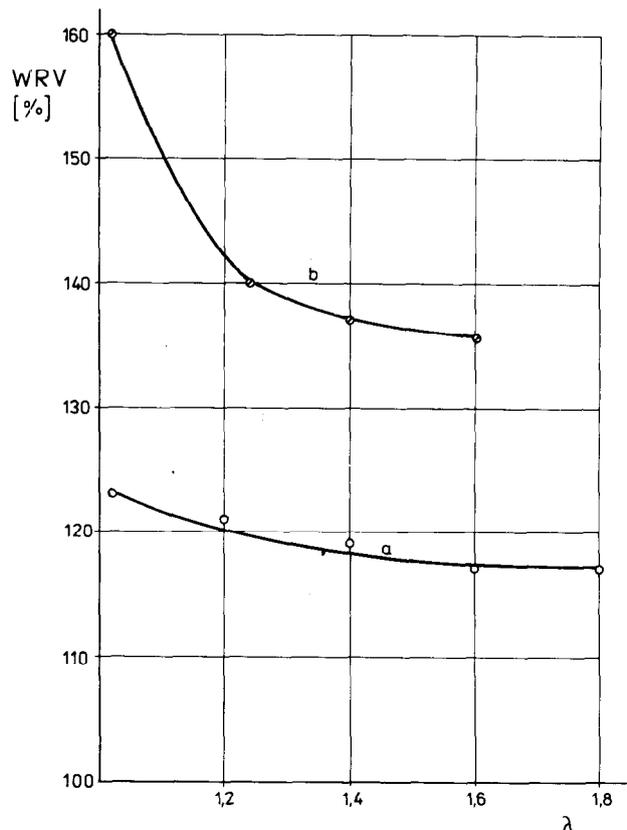


Abb. 11: Wasserrückhaltevermögen (WRV) cellulosischer Hohlfasern in Abhängigkeit vom Streckverhältnis  
 a – Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ\text{C}$   
 b – Koagulationstemperatur  $T_K = 50^\circ\text{C}$

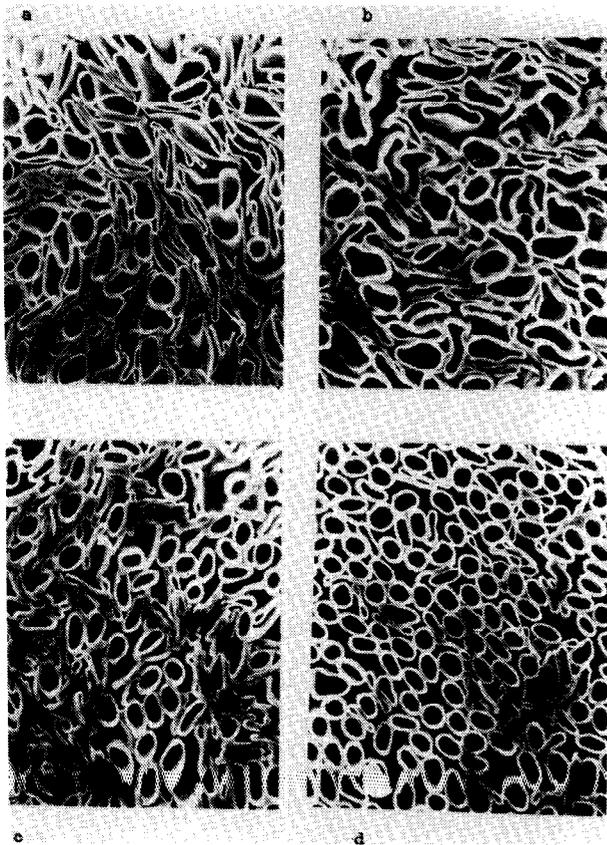


Abb. 12: Elektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen von Hohl-faser-Querschnitten in Abhängigkeit vom Ver-streckungsgrad  
(Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ \text{C}$ )  
a – Streckverhältnis  $\lambda = 1,03$   
b – Streckverhältnis  $\lambda = 1,2$   
c – Streckverhältnis  $\lambda = 1,4$   
d – Streckverhältnis  $\lambda = 1,6$

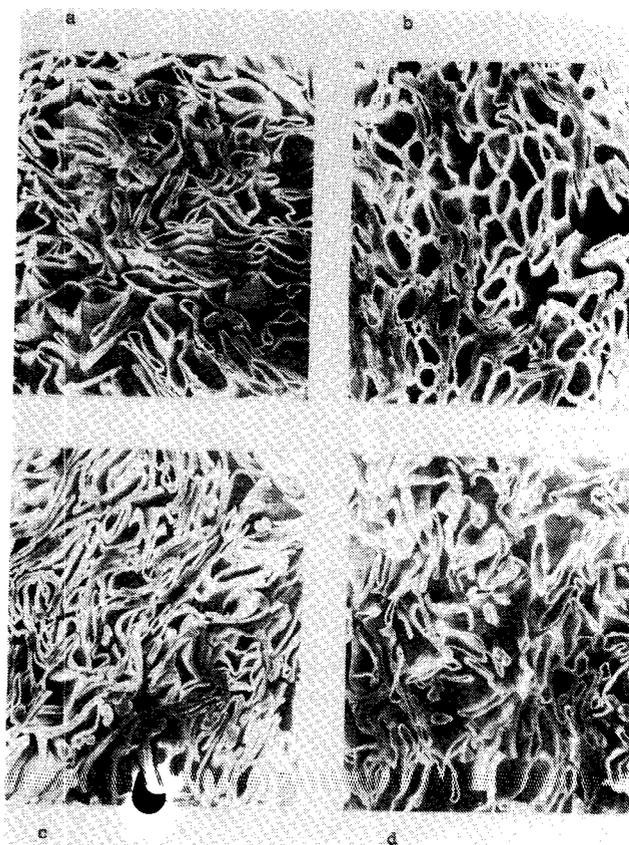


Abb. 13: Elektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen von Hohl-faser-Querschnitten in Abhängigkeit vom Ver-streckungsgrad  
(Koagulationstemperatur  $T_K = 50^\circ \text{C}$ )  
a – Streckverhältnis  $\lambda = 1,03$   
b – Streckverhältnis  $\lambda = 1,2$   
c – Streckverhältnis  $\lambda = 1,4$   
d – Streckverhältnis  $\lambda = 1,6$

Kombination mit weiteren Faktoren zur Beeinflussung der übermolekularen und morphologischen Struktur bei der Herstellung von Cellulosehohlfasern mit einer regulären Querschnittsgeometrie beitragen können. Das Ziel dieser Untersuchungen liegt in der Formulierung der technologischen Parameter für die Massenhersteller cellulosischer Hohlfasern. Dank ihrer guten physikalisch-mechanischen Eigenschaften, wie z. B. der günstigen Schlingenfestigkeit, der hohen Scheuerbeständigkeit, aber auch noch weiterer Gebrauchseigenschaften, sollen sich diese Chemiefasern bei der Massenfertigung textiler Erzeugnisse gut bewähren.

Die unterschiedlichen physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Hohlfasern im Vergleich zu den Normalfasern, den Hochnaßmodulfasern und den Polynosicfasern sind auf die abweichende übermolekulare und morphologische Faserstruktur zurückzuführen.

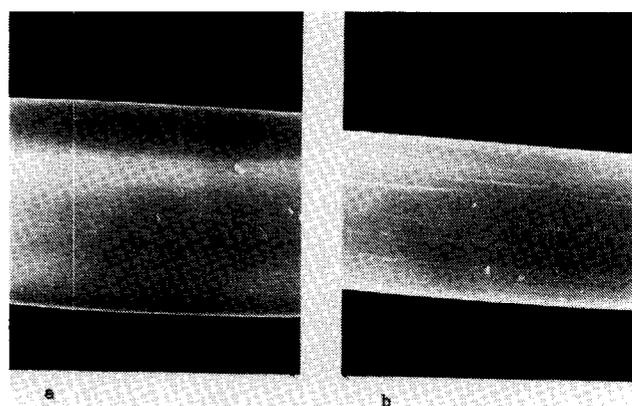


Abb. 14: Elektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen von Cellulosehohlfaser-Oberflächen  
(Koagulationstemperatur  $T_K = 30^\circ \text{C}$ )  
a – Streckverhältnis  $\lambda = 1,03$   
b – Streckverhältnis  $\lambda = 1,6$

## Literatur

- 1) Hudson, S. M., Cuculo, J. A., J. Macromol. Sci., Rev. Macromol. Chem. C 18 (1), A 82 (1980)
- 2) Phillip, B., Schleicher, H.; Textiltechnik 29, 2, 89 – 93 (1979)
- 3) Tschegolja, A. S.; Mell. Textilber. 62, 10, 781 (1981)
- 4) Turunen, O. T., Fors, J., Kulloo, N. O.; Lenzinger Ber. 59, 111 – 117 (1985)
- 5) Navord, P., Haudin, J. M.; Polym. Process Eng. 3, 3, 291 – 301 (1985)
- 6) DE 2 725 865, International Paper Co., 8. 8. 1977
- 7) OE 332 526, Svenska Träforskaigsinstitutet, 15. 1. 1976
- 8) US 3 626 045, Courtaulds, 15. 12. 1969
- 9) Woodings, C. R., Bartholomew, A. J.; Lenzinger Ber., 58, 33 – 39 (1985)

**Diskussion**

**Herlinger:** Sie haben das Wasserrückhaltevermögen diskutiert, aber nicht über die Wasseraufnahmegeschwindigkeit gesprochen. Es ist ja zu erwarten, daß bei solchen Systemen vor allem die Sorptionskinetik, d. h. das Wasseraufnahmevermögen, extrem groß ist. Wurden solche Messungen durchgeführt?

**Pechárová:** Sehr eingehend wurde diese Problematik nicht untersucht, es wurden nur gewisse Vergleichsversuche

durchgeführt. Jedenfalls ist die Wasseraufnahmegeschwindigkeit auch hier höher als bei den konventionellen Fasern.

**Mach:** Haben Sie auch Untersuchungen an fertigen Geweben angestellt? Vor allem an hochveredelten Geweben? Wie stellen sich dabei die Querschnitte dieser Hohlfasern dar? Es wurden Gewebe von diesen Hohlfasern mit unterschiedlicher Konstruktion hergestellt, und die unterschiedlichen Querschnitte machten sich durch ein unterschiedliches Deckvermögen bemerkbar. Aber auch das Wasserrückhaltevermögen war dann unterschiedlich.

---

## Der Erfolg der Viskose- und Modalfasern aus anwendungstechnischer Sicht

Dr. D. Mach, Ing. R. Kampl, Ing. A. Kossina,  
Lenzing AG, Lenzing/Austria

In den letzten Jahren haben die Viskosefasern in der Bekleidung modebedingt eine Renaissance erlebt. Von dieser Entwicklung haben die Modalfasern vom HWM-Typ überproportional profitiert. Aus unserer Sicht haben dabei sowohl die europäische Textilindustrie als auch der Endverbraucher die Vorteile der Viskose- und Modalfasern wieder entdeckt und schätzen gelernt. Das schlechte Nachkriegsimage der Zellwolle sollte damit endgültig überwunden sein.

Die Anpassungsfähigkeit der Herstellungsverfahren an die ständig gestiegenen und weiter steigenden Anforderungen in der Verarbeitung und im Endprodukt hat maßgeblichen Anteil an dem Erfolg der Viskose- und Modalfasern.

Im ersten Teil des Vortrages wird am Beispiel der Mischungen Baumwolle/Viskose und Baumwolle/Modal demonstriert, daß Bekleidungstextilien aus bzw. mit diesen Fasern bei dem heute erreichten Qualitätsniveau nicht nur modisch attraktiv und angenehm zu tragen sind, sondern auch die Anforderungen an die Gebrauchstüchtigkeit moderner Textilien erfüllen.

Im zweiten Teil wird über vergleichende Ausspinnungen von Viskose und Modal im Feintiterbereich bis Nm 80 nach dem OE-Rotorspinnverfahren berichtet. Die dabei erzielten Ergebnisse bestätigen uns, daß die Viskose und im besonderen Maße die Modalfasern auch dieser neuen Herausforderung gewachsen sind. Mit dem verstärkten Einsatz von Feintitern erhält die Bedeutung der Viskose- und Modalfasern für die Bekleidung und den Heimtextilienbereich eine neue Dimension.

In recent years viscose fibres have experienced a revival in the apparel sector thanks to fashion. By this development the HWM-type of modal fibres has especially profited. From our point of view the European textile industry as well as the end user have discovered and learned to appreciate the advantages of viscose and modal fibres. The negative post war image of rayon fibres must be considered as finally overcome.

The adaptability of production processes to the continuously increased and further increasing demands in fibre processing and in the end product has contributed to a large extent towards the success of viscose and modal fibres.

In the first part of this paper it will be demonstrated with examples of blends of cotton/viscose and cotton/modal that apparel textiles containing these fibres – given the high quality standard reached nowadays – are not only fashionable and pleasant to wear, but that they also fulfil the high wearability standards of modern textiles.

The second part will report on comparable OE-rotor spinning trials with fine denier viscose and modal fibres in the fine count range up to Nm 80. The results obtained thereby confirm that viscose and in particular modal fibres, meet this new challenge likewise. With the increased use of fine deniers the significance of viscose and modal fibres in the apparel and home textile fields acquire a new dimension.

### 1. Einleitung

Die aus dem gleichen Rohstoff wie Baumwolle hergestellten cellulosischen Fasern haben den Vorteil, daß ihre Eigenschaften, den jeweiligen Anforderungen entsprechend (Spinntechnologie, Mischungspartner, Endprodukteigenschaften), maßgeschneidert angepaßt werden können. Die Faserherstellungsverfahren haben sich dabei als äußerst flexibel erwiesen.

Im Vergleich zur Baumwolle können die Viskose- und Modalfasern außerdem sehr rein und gleichmäßig produziert werden, Vorteile, die durch die hochproduktiven Spinnverfahren einen neuen Stellenwert bekommen haben.

Sie übertreffen die Baumwolle in der Saugfähigkeit und haben eine Reihe von weiteren spezifischen Eigenschaften, auf die im modischen Bereich nicht verzichtet werden kann. Dieses Potential ist in der Textilindustrie und den Konsumenten wohlbekannt und kam in der jüngsten Glanzwelle voll zum Tragen.

Aus der Sicht des Anwendungstechnikers haben sich die Viskose- und Modalfasern besonders in Westeuropa als eigenständige Fasergattung etabliert, die das Angebot an Baumwolle unterschiedlichster Qualität auf verschiedene Art und Weise ergänzen. Die folgenden Ausführungen demonstrieren dies beispielhaft.

### 2. Baumwolle/Viskose- und Baumwolle/Modal-Mischungen

Das Zumischen entsprechender Prozentsätze von Viskose- und Modalfasern zu Baumwolle führt zu einer Stapelaufbesserung und damit zu besserem Laufverhalten in der Spinnerei mit günstigeren Garn gütewerten und gleichmäßigerem Warenausfall. Dies gilt insbesondere für die Baumwolltypen niedrigerer und mittlerer Qualität. Je nach Mischungsanteil kommen dabei im Endprodukt auch die spezifischen Eigenschaften der Viskose- und Modalfasern zum Tragen in Form der Änderungen des Griffs, der Erhöhung der Farbbrillanz u. a. Diese Mischungseffekte sind wohl bekannt und wurden erst kürzlich am Beispiel der Verspinnung von *Low-Grade*-Baumwollen nach dem Rotorspinnverfahren ausführlich behandelt<sup>1</sup>.

Weniger bekannt scheint uns die Tatsache, daß die Viskose- und natürlich vor allem die Modalfasern auch in der Gebrauchstüchtigkeit mit der Baumwolle mithalten können. Maßgeblichen Anteil daran haben die Qualitätsverbesserungen, die in den letzten fünfundsiebzig Jahren, vor allem bei den Viskosebaumwolltypen, erzielt werden konnten (Abb. 1)<sup>2</sup>.

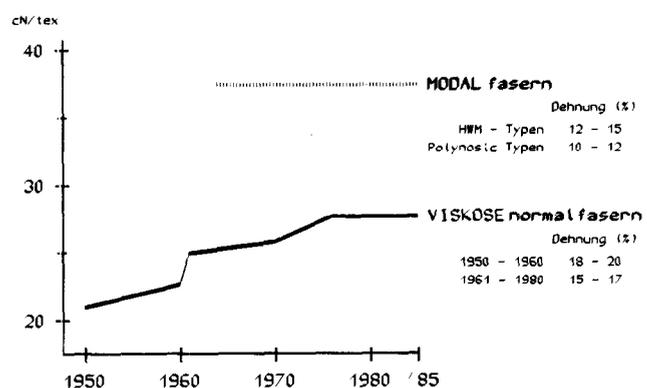


Abb. 1: Faserfestigkeit: 1950 – 1985

Wir wollen dies an Hand der Mischung Baumwolle/Viskose beispielhaft demonstrieren. Die Mischung einer kardierten Baumwolle mittlerer Qualität (1) mit einer sehr guten Viskose-Baumwoll-Type (2) führt innerhalb eines bestimmten Bereichs zu einem qualitativ höherwertigen Mischartikel ohne nennenswerten Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften der daraus hergestellten Artikel. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Ergebnisse (3) zeigen dies sehr eindrucksvoll:

- Festigkeit und Dehnung der Garne zeigen nur eine geringe Abhängigkeit vom Viskoseanteil (Abb. 2). Die Garn gleichmäßigkeit und -reinheit nimmt, wie bekannt, mit steigendem Viskoseanteil deutlich zu (Abb. 3).

● In den folgenden Abbildungen 4 bis 7 sind die Gewebedaten (4) im entschlichteten und ausgerüsteten Zustand einander gegenübergestellt:

- Festigkeit der Gewebe im konditionierten Zustand in Kettrichtung und Schußrichtung (Abb. 4 u. 5)
- Elmendorf in Kettrichtung, konditioniert und naß (Abb. 6)
- Berstdruck und Berstwölbhöhe, konditioniert (Abb. 7)
- Accelerotor-Scheuerung, Zeit bis Lochbildung und Masserest, konditioniert (Abb. 8)

- (1) Pervy 1 1/16 "
- (2) Lenzing Viskose ZS 1,7 dtex/40 mm glzd.
- (3) Ringgarn Nm 50/1
- (4) Leinwand, 39/25 Fäden/cm, Nm 50/1

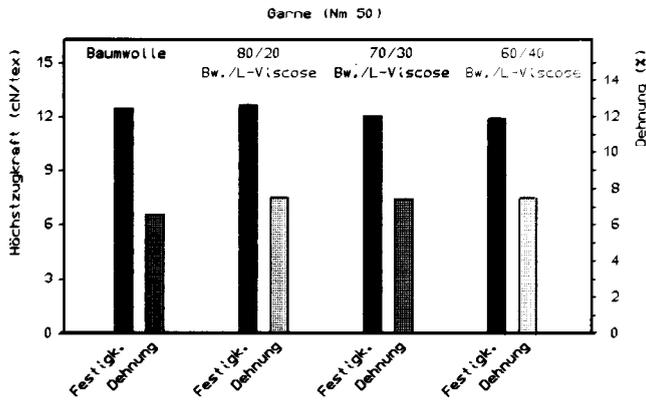


Abb. 2: Festigkeit und Dehnung

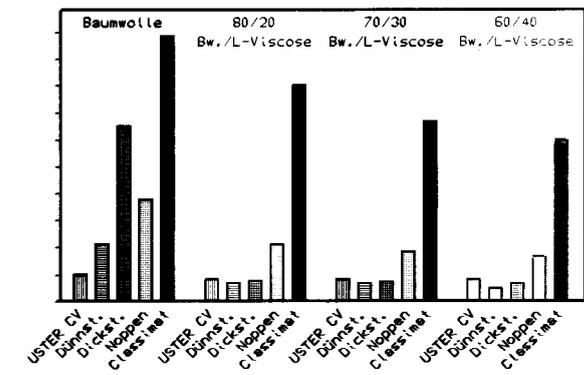


Abb. 3: Gargüte (Nm 50)

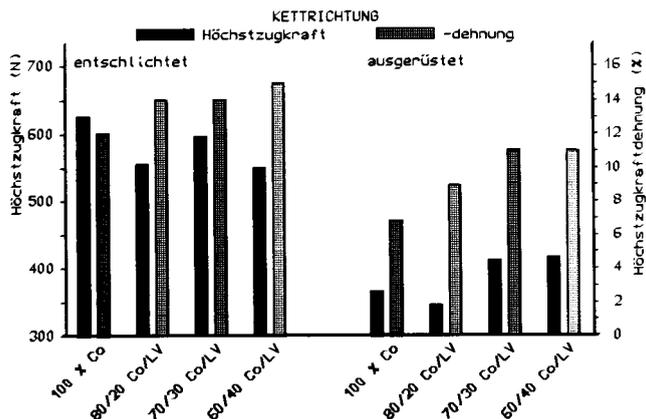


Abb. 4: Zugversuch

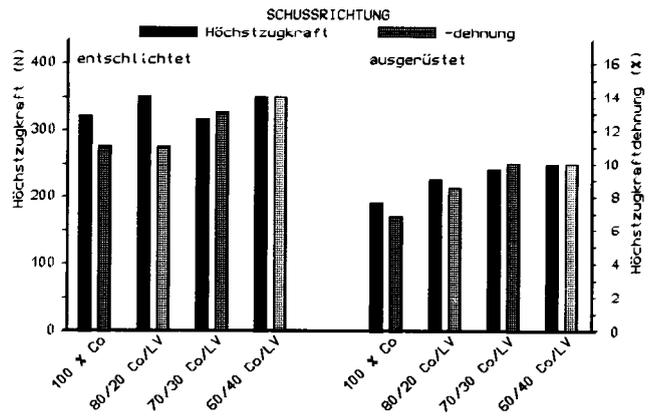


Abb. 5: Zugversuch

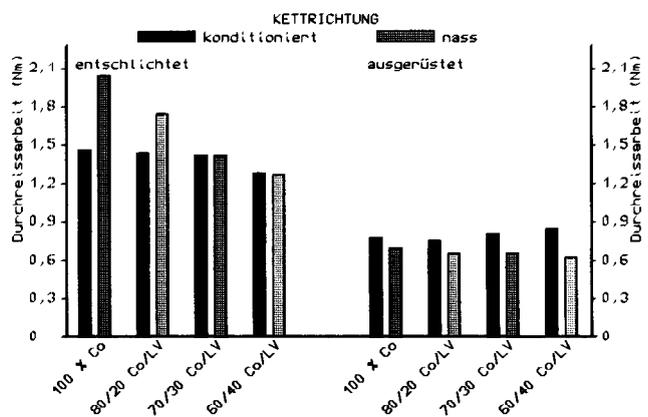


Abb. 6: Elmendorf-Test

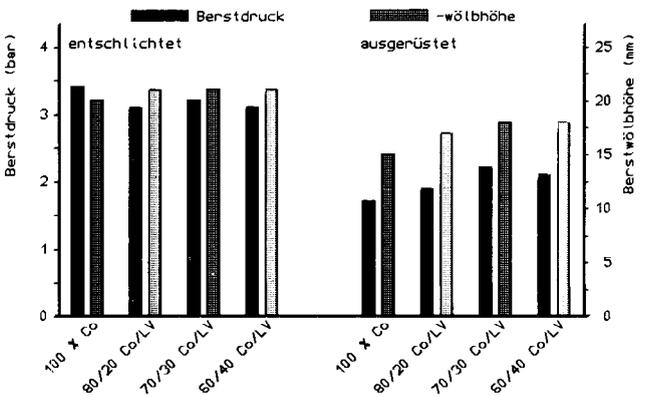


Abb. 7: Berstversuch

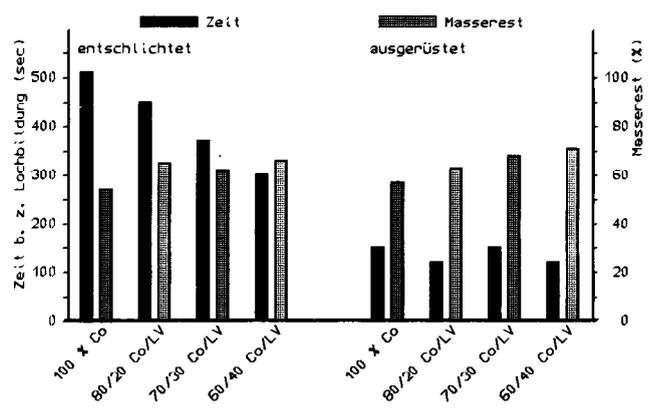


Abb. 8: Accelerotor-Scheuerung

Der generelle Niveauabfall zwischen entschlichtetem und ausgerüstetem Zustand ist auf den Einfluß der Harzausrüstung zurückzuführen. Während die technologischen Daten der entschlichteten Gewebe keinen oder nur einen geringfügigen Abfall mit zunehmendem Viskoseanteil zeigen, kehren sich die Verhältnisse nach der Veredelung um. Die entsprechenden Werte im ausgerüsteten Zustand sind entweder unabhängig vom Viskoseanteil oder werden mit zunehmendem Viskoseanteil sogar besser. Dies ist auf die bessere Widerstandsfähigkeit der Viskosefasern gegen die Harzausrüstung zurückzuführen. Die Abbildung 9 zeigt dies nochmals sehr deutlich am Beispiel des Elmendorf-Tests.

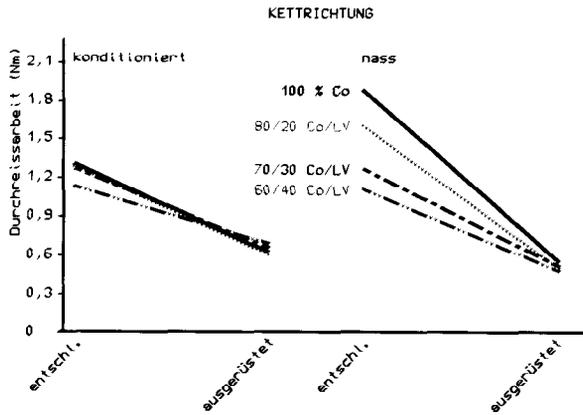


Abb. 9: Elmendorf-Test

Die Maßänderung der ausgerüsteten Gewebe in Kett- und Schußrichtung nach der ersten und fünfundzwanzigsten Maschinenwäsche bei 60° C mit Tumbeln zeigt die Abbildung 10. Hier ist eine leichte Zunahme des Gewebeschrumpfes mit steigendem Viskoseanteil zu erkennen, wenn auch in einem durchaus akzeptablen Rahmen.

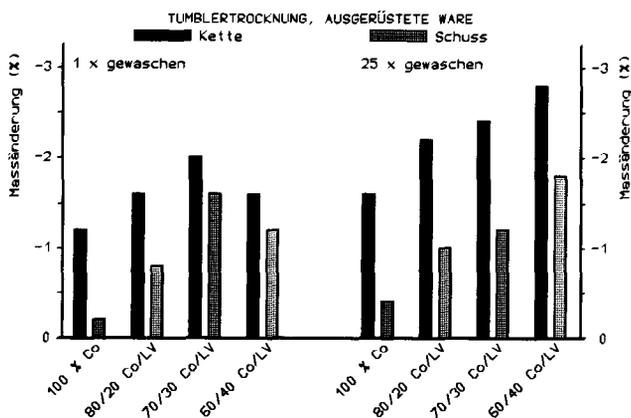


Abb. 10: 60 Grad-Wäsche

Die Elmendorf-Werte nehmen durch mehrfaches Waschen ab, mit zunehmendem Viskoseanteil etwas stärker, man kann jedoch auch hier von keiner deutlichen Verschlechterung durch die Viskosebeimischung sprechen (Abb. 11 u. 12).

Zusammenfassend lassen diese Ergebnisse den Schluß zu, daß kardierte Baumwolle mittlerer Qualität durch eine hochqualitative Viskosefaser bis zu einem Mischungsanteil von 30 bis 40 % entsprechend aufgewertet werden kann, wobei die mechanischen Eigenschaften der daraus hergestellten Mischgewebe praktisch unverändert bleiben.

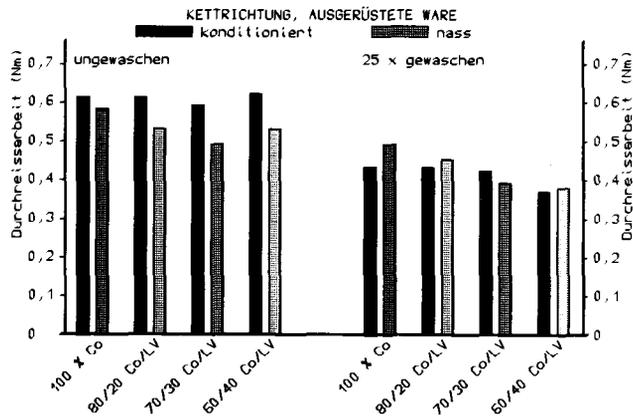


Abb. 11: Elmendorf-Test

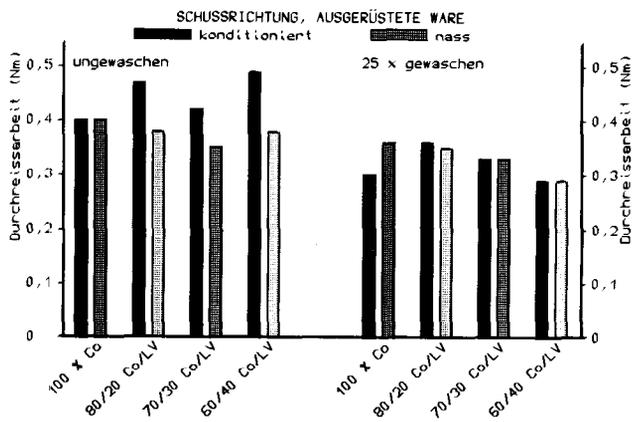


Abb. 12: Elmendorf-Test

Um mit einer sehr guten Baumwolle analoge Mischungseffekte zu erzielen, muß auf die höherwertigen Modalfasern vom HWM-Typ zurückgegriffen werden. Dies läßt sich schon aus der Gegenüberstellung der Garnfestigkeiten (1) vergleichbarer Mischungen in Viskose und Modal (2) mit der selben sehr guten Baumwolle (3) erkennen (Abb. 13).

- (1) Ringgarne Nm 50/1
- (2) Lenzing Viskose und Lenzing Modal, jeweils 1,7 dtex/40 mm glzd.
- (3) Vorwiegend ägyptische Baumwolle 1 5/32" - 1 6/32"

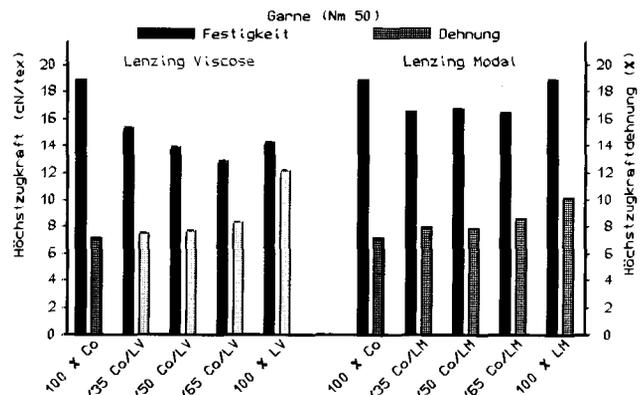


Abb. 13: Festigkeit und Dehnung

In der Mischung 50/50 % ergänzen hochwertige Baumwolle und Modal einander optimal, sie zählt bereits zu den klassischen Fasermischungen. Bezüglich ihrer Vorteile sei auf

die verschiedenen Vorträge verwiesen, die u. a. auch in Dornbirn über dieses Thema in den letzten Jahren gehalten wurden<sup>3-6</sup>.

### 3. Viskose- und Modalfteintiter für die OE-Rotor-spinnerei

Die Stoffe werden sowohl in der Bekleidung als auch bei den Heim- und Haushaltstextilien immer leichter. Für die Herstellung von feinen Garnnummern werden feine Fasern hoher Gleichmäßigkeit und Reinheit benötigt<sup>7, 8</sup>. Es ist durchaus realistisch anzunehmen, daß der Standardtiter in der Kurzstapelspinnerei in 3 bis 5 Jahren bei 1,3 dtex liegen wird (bis ca. Garnfeinheit Nm 60, falls sich feinere Garne durchsetzen, ist ein feinerer Titer erforderlich).

Baumwolle, die diese Anforderungen erfüllt, steht nur in begrenztem Umfang zur Verfügung<sup>9</sup>.

Wir haben auf der 24. Chemiefasertagung 1985 in einem Vortrag die Frage „Muß die Viskosefaser den neuen Spinn-technologien angepaßt werden?“ diskutiert und sind zu dem Schluß gekommen, daß sich diese Fasern mit feinerem Titer für das Spinnen von feineren Nummern nach dem OE-Rotor- und dem OE-Frikions- und Air-Jet-Spinnverfahren sehr gut eignen werden<sup>10</sup>.

Von den oben angeführten Spinnverfahren ist in Westeuropa bisher nur das OE-Rotor-Spinnverfahren eingeführt und hat sich in den letzten Jahren einen imponierenden Marktanteil erobert; dieser liegt derzeit bei ca. 28 %, und man rechnet bis 1995 mit noch wesentlich größeren Quantitäten in Westeuropa.

Es war naheliegend, daß wir uns zunächst auf die Überprüfung der Vorteile von Viskose- und Modalfteintitern in der OE-Rotor-Spinnerei konzentrierten.

Ziel dieser Untersuchung war, Unterlagen über den Einfluß der Feintiter auf

- Kardierfähigkeit,
- Garneigenschaften bei gleicher Garnnummer,
- Ausspinn Grenzen,
- Produktivitätssteigerungen über höhere Rotortouren und
- Produktivitätssteigerungen über niedrigere Garndrehungsbeiwerte zu ermitteln.

Zum Einsatz gelangten Viskose- und Modalfasern, glänzend, mit jeweils 1,0, 1,3 und 1,7 dtex/40 mm. Die 1,3 und 1,7 dtex-Typen stammten aus der laufenden Produktion, die 1,0 dtex-Fasern wurden auf einer Versuchsanlage hergestellt. Die Viskose- und Modalfasern mit den unterschiedlichen Titern wiesen jeweils sehr gut vergleichbare Fasereigenschaften auf, sodaß die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse praktisch allein auf den Titereinfluß zurückzuführen sind.

Alle Faserpartien wurden im Technikum der Firma Trützschler auf einer Hochleistungskarde DK 715 kardiert und im Technikum der Firma Schlafhorst am Autocoro ausgesponnen.

Begonnen wurde mit den kritischsten 1,0 dtex-Typen. Aufgrund der Reinheitswerte der Kardenbänder eines Vorversuchs wurden Versuche mit 25, 40 und 55 kg pro Stunde gefahren. In den nachfolgenden Ausspinnungen am Autocoro konnte weder in den Stapelinkürzungen an der Karde und den zwei Streckpassagen, noch im Laufverhalten und den Garngütedaten ein gravierender Einfluß des Kardendurchsatzes festgestellt werden. Alle Daten dieser Ausspinnungen waren voll zufriedenstellend (Tab. 1). Die Versuche mit den 1,3 und 1,7 dtex-Typen wurden daher einheitlich mit 40 kg pro Stunde kardiert. Die folgenden Ausführungen, Graphiken und Tabellen zeigen jeweils die optimalen Ergebnisse, unabhängig von den gewählten Parametern an der Rotorspinnmaschine. Sie beziehen sich ausschließlich auf Versuche, die mit 40 kg Stundenproduktion an der Trützschlerkarde gefahren wurden.

Der Rotor-Spinnmaschine wurden Streckenbänder der zweiten Streckpassage vorgelegt.

Tabelle 1: Abhängigkeit von der Kardenproduktion (Lenzing Modal, 1,0 dtex)

Kardenproduktion (kg/h)	25,5	40	50
Garnfeinheit (Nm)	50	50	50
Rotortype	36SB	36SB	36SB
Rotortouren (1/min)	80.000	80.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.500	8.500	8.500
Spinnalpha metrisch	110	110	110
Garnfestigkeit (cN/tex)	14,8	14,8	14,6
Garndehnung (%)	9,9	10,5	9,9
Uster CV (%)	11,9	12,2	12,4
Uster IPT			
Dünnstellen/1.000 m	2	3	1
Dickstellen/1.000 m	7	11	14
Noppen/1.000 m	2	3	4
Garnfeinheit (Nm)	60	60	60
Rotortype	T36SB	T36SB	T36SB
Rotortouren (1/min)	80.000	80.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.500	8.500	8.500
Spinnalpha metrisch	110	110	110
Garnfestigkeit (cN/tex)	14,4	14,1	14,3
Garndehnung (%)	9,7	9,9	9,9
Uster CV (%)	13,3	13,7	13,7
Uster IPT			
Dünnstellen/1.000 m	7	12	9
Dickstellen/1.000 m	21	35	39
Noppen/1.000 m	5	12	19
Garnfeinheit (Nm)	70	70	70
Rotortype	T36SB	T36SB	T36SB
Rotortouren (1/min)	80.000	80.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.500	8.500	8.500
Spinnalpha metrisch	110	110	110
Garnfestigkeit (cN/tex)	13,7	13,5	13,5
Garndehnung (%)	9,5	10,0	9,6
Uster CV (%)	14,0	14,6	14,4
Uster IPT			
Dünnstellen/1.000 m	19	39	31
Dickstellen/1.000 m	41	58	53
Noppen/1.000 m	10	20	28
Garnfeinheit (Nm)	80	80	80
Rotortype	T36SB	T36SB	T36SB
Rotortouren (1/min)	80.000	80.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.500	8.500	8.500
Spinnalpha metrisch	110	110	110
Garnfestigkeit (cN/tex)	13,5	12,9	13,3
Garndehnung (%)	8,5	8,9	8,5
Uster CV (%)	14,9	15,4	15,5
Uster IPT			
Dünnstellen/1.000 m	44	57	56
Dickstellen/1.000 m	55	91	39
Noppen/1.000 m	17	30	51

## Ergebnisse

### a) Garndaten

Wie die Abbildungen 14 bis 17 zeigen, verbessern sich mit feinerem Titer (bei gleicher Garnfeinheit, Nm 50) und vergleichbaren Ausspinnbedingungen die

- Garnfestigkeit,
- Garndehnung,
- Garn gleichmäßigkeit und
- Garnreinheit.

Dies gilt für Viskose und Modal. Die Festigkeiten liegen bei Modal wie erwartet deutlich höher, bei der Garn gleichmäßigkeit und -reinheit ist ein leichter Vorteil zugunsten von Viskose gegeben.

Die wichtigsten Spinnparameter sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

### b) Ausspinn Grenzen

Die Abbildungen 18 und 19 demonstrieren sehr deutlich den Einfluß des Fasertiters auf die Ausspinn Grenze.

Sehr bemerkenswert ist die Tatsache, daß sich die Garndaten bei feiner werdender Garnnummer und gleichzeitiger Titerverfeinerung keinesfalls verschlechtern, wie das Beispiel Lenzing Modal zeigte, bzw. bei Lenzing Viscose sogar noch etwas besser werden. Bezüglich dieser Aussagen sind die Spinnparameter in den Tabellen 3 und 4 festgehalten.

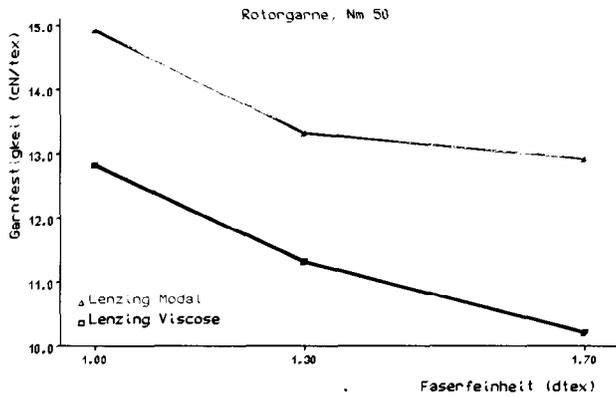


Abb. 14: Garnfestigkeit in Abhängigkeit vom Titer

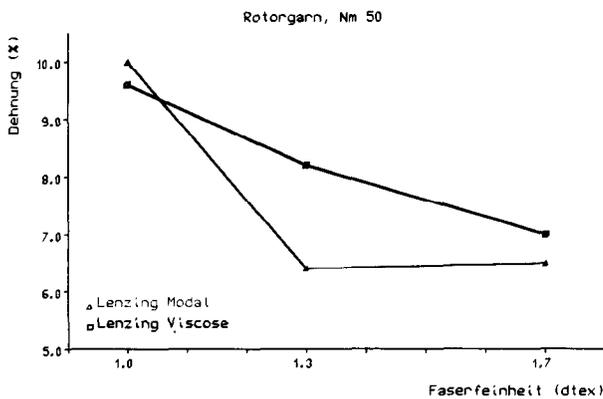


Abb. 15: Dehnung in Abhängigkeit vom Titer

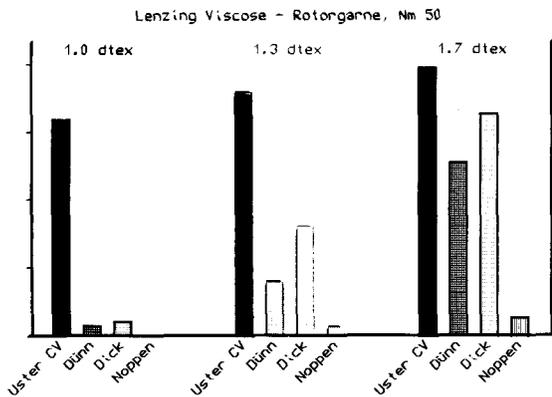


Abb. 16: Garnüte in Abhängigkeit vom Titer

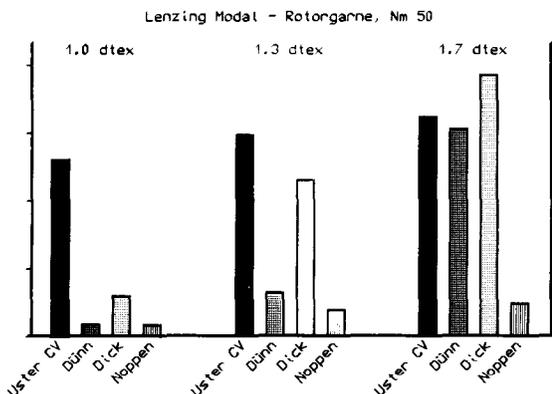


Abb. 17: Garnüte in Abhängigkeit vom Titer

Tabelle 2: Garnüte in Abhängigkeit vom Titer (Rotorgarn, Nm 50)

	Lenzing Viscose	Lenzing Modal
Faserfeinheit (dtex)	1,0	1,0
Rotortype	T360	36SB
Rotortouren (1/min)	90.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.000	8.500
Spinnalpha metrisch	110	110
Garnfestigkeit (cN/tex)	12,9	14,8
Garndehnung (%)	9,6	10,5
Uster CV (%)	11,9	12,2
Uster IPI		
Dünnstellen/1.000 m	2	3
Dickstellen/1.000 m	3	11
Noppen/1.000 m	0	3
Faserfeinheit (dtex)	1,3	1,3
Rotortype	T400	T400
Rotortouren (1/min)	80.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.000	8.000
Spinnalpha metrisch	115	115
Garnfestigkeit (cN/tex)	11,2	13,2
Garndehnung (%)	8,2	6,4
Uster CV (%)	13,5	13,9
Uster IPI		
Dünnstellen/1.000 m	12	12
Dickstellen/1.000 m	24	43
Noppen/1.000 m	2	7
Faserfeinheit (dtex)	1,7	1,7
Rotortype	T400	T400
Rotortouren (1/min)	80.000	80.000
Auflösewalze	OS U DN	OS U DN
Auflösewalzetouren (1/min)	8.000	8.000
Spinnalpha metrisch	115	115
Garnfestigkeit (cN/tex)	10,0	12,8
Garndehnung (%)	7,0	6,5
Uster CV (%)	14,8	15,1
Uster IPI		
Dünnstellen/1.000 m	38	57
Dickstellen/1.000 m	49	72
Noppen/1.000 m	4	9

c) Mögliche Leistungen

Die Untersuchung der Leistungssteigerung auf dem Autocoro mit feinerem Titer konzentrierte sich auf Grund des günstigeren Laufverhaltens von Lenzing Modal auf entsprechende Versuche mit 1,0 dtex Modal.

Die Abbildung 20 zeigt, daß mit Lenzing Modal, 1,0 dtex, 100.000 Rotortouren/min ohne nennenswerte Festigkeitsverluste bzw. Dehnungsänderung realisierbar sind (T33 Rotor). Die gleiche Aussage gilt im Prinzip auch für die Abbildung 21, die die Garnfestigkeit und -dehnung in Abhängigkeit vom Spinnalpha zeigt (Rotor T40).

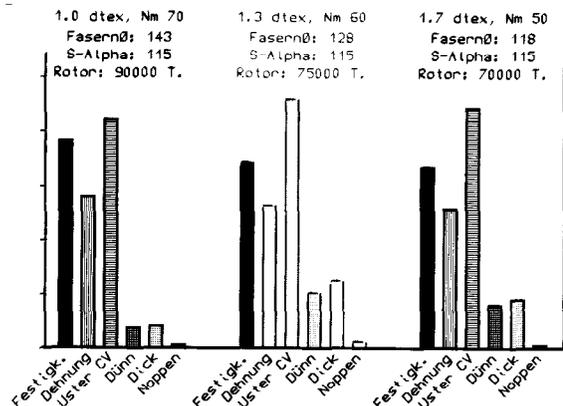


Abb. 18: Garnfeinheit und Titer - Lenzing Viscose

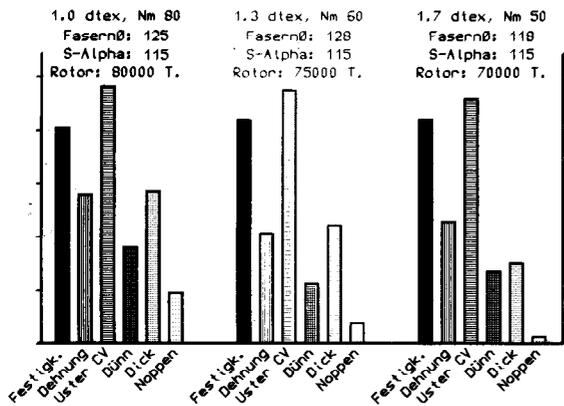


Abb. 19: Garnfeinheit und Titer – Lenzing Modal

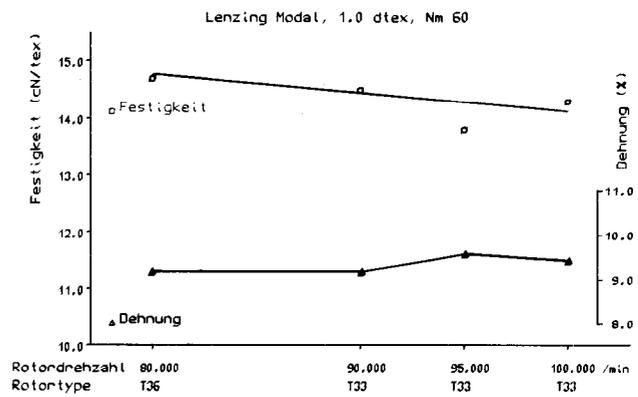


Abb. 20: Abhängigkeit von der Rotordrehzahl

Tabelle 3: Garnfeinheit und Titer – Lenzing Viscose

Garnfeinheit (Nm)	70	60	50
Faserfeinheit (dtex)	1,0	1,3	1,7
Fasern im Querschnitt	143	128	118
Auflösewalze	OS 21	OS 21	OS 21
Touren (1/min)	8.000	8.000	8.000
Rotortype	T36	T40	T40
Touren (1/min)	90.000	75.000	70.000
Spinnalpha metrisch	115	115	115

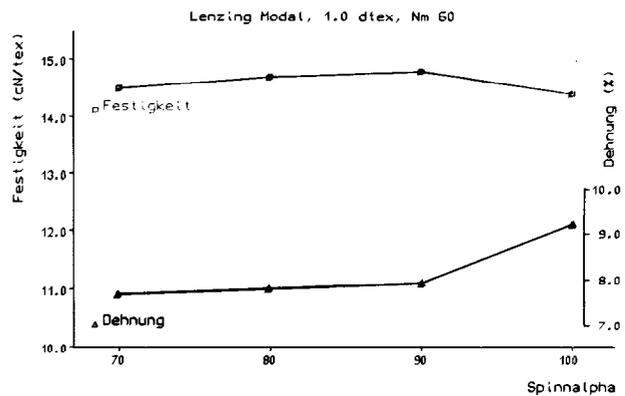


Abb. 21: Abhängigkeit vom Spinnalpha

Garnfestigkeit (cN/tex)	12,2	11,0	10,7
Garndehnung (%)	8,9	8,4	8,2
Uster CV (%)	13,5	14,7	14,2
Uster IPI			
Dünnstellen/1000 m	12	33	26
Dickstellen/1000 m	13	40	29
Noppen/1000 m	2	4	2

Tabelle 4: Garnfeinheit und Titer – Lenzing Modal

Garnfeinheit (Nm)	80	60	50
Faserfeinheit (dtex)	1,0	1,3	1,7
Fasern im Querschnitt	125	128	118
Auflösewalze	OS 21	OS 21	OS 21
Touren (1/min)	8.500	8.500	8.500
Rotortype	T36	T40	T40
Touren (1/min)	80.000	75.000	70.000
Spinnalpha metrisch	115	115	115
Garnfestigkeit (cN/tex)	12,9	13,4	13,4
Garndehnung (%)	8,9	6,6	7,3
Uster CV (%)	15,4	15,2	14,7
Uster IPI			
Dünnstellen/1000 m	57	36	43
Dickstellen/1000 m	91	71	48
Noppen/1000 m	30	12	4

d) **Schlußfolgerung**

Diese Untersuchungen demonstrieren überzeugend die hervorragende Eignung der Viskose- und vor allem der Modalfasern für das OE-Rotorspinnverfahren im Feingarnbereich. Mit 1,0 dtex Lenzing Modal sollte es wie mit hochwertiger Baumwolle möglich sein, die sich abzeichnende Leistungsgrenze für das OE-Rotorspinnverfahren mit 120.000 Touren/min und einem entsprechenden Rotordurchmesser voll auszufahren.

Es ist bemerkenswert, daß die mit der Titerverfeinerung bei Viskose und Modal eintretenden Verbesserungen praktisch ausschließlich auf den positiven Titereinfluß zurückzuführen sind. Die in dieser Untersuchung eingesetzten Viskose- und Modalfasern mit unterschiedlichem Titer wiesen jeweils vergleichbare Festigkeits- und Dehnungseigenschaften auf. Es muß allerdings auch darauf hingewiesen werden, daß diese Ergebnisse eine sehr sorgfältige Kardierung mit Garnituren, die auf Feintiterfasern abgestimmt sind, voraussetzen.

Um Mißverständnisse auszuschließen, sei abschließend vermerkt, daß die 1,0 dtex Viskose- und Modalfasern un-mittelbar noch nicht kommerziell zur Verfügung stehen werden. Die 1,3 dtex Viskose- und Modalfasern sind Bestandteil des Standardproduktionsprogramms der Lenzing AG.

**Zusammenfassung**

Zunächst wird gezeigt, daß Baumwolle in Mischung mit Viskose und Modalfasern bei Einhalten bestimmter Mischungskriterien eine entsprechende Aufwertung erfährt, wobei besonders auf die mechanischen Eigenschaften der daraus hergestellten Mischartikel eingegangen wird.

Anschließend wird über neueste Ausspinnergebnisse auf dem Autocoro berichtet, wobei Viskose- und Modalfeinti-

ter bis 1,0 dtex in 100 % zum Einsatz gelangten. Nach den Ergebnissen dieser Untersuchung eignen sich Viskose- und besonders Modalfasern hervorragend für das OE-Rotorspinnverfahren im Feingarnbereich bis Nm 80. Hochwertige Baumwolle, die diese Anforderungen erfüllt, steht nur in begrenztem Umfang zur Verfügung.

Mit diesen Ausführungen sollte beispielhaft begründet werden, warum sich die Viskose- und Modalfasern als eigenständige Fasergattungen am Markt etablieren konnten und, bedingt durch die neuesten Entwicklungen bei den Spinntechnologien, eine weitere Aufwertung erfahren sollten.

Es war im Rahmen dieses Vortrages leider nicht möglich, auf das Potential dieser Fasern für die modische Artikelgestaltung im Detail einzugehen. Sie gehören diesbezüglich sicher mit zu den attraktivsten Fasern. Mit welchen anderen Fasern wäre es denn sonst möglich, in 100 % oder in Mischungen mit Naturfasern oder Synthetiks alternativ seidige, baumwollige, wollige oder Stoffe mit Leinencharakter bei angenehmem Griff und ausgezeichnetem Tragekomfort herzustellen? Aus anwendungstechnischer Sicht sollten die Viskose- und vor allem die Modalfasern in den nächsten Jahren ihre Position am europäischen Markt weiter festigen können.

#### Literatur:

- 1) Thamas, H.: Verbesserungen des Laufverhaltens von „Low-grade“-Baumwollen durch Beimischung geringerer Prozentsätze von Chemiefasern. Vortrag anlässlich des Kolloquiums „Neue Spinnverfahren“ des Institutes für Textiltechnik/Denkendorf, 26. u. 27. Mai 1983, Eningen, Bundesrepublik Deutschland
- 2) Studt, H. J.; Lenzinger Ber., 50, 86 – 91 (1980)
- 3) Ernst, A.; Lenzinger Ber., 52, 13 – 19 (1982)
- 4) Kossina, A.; Lenzinger Ber., 54, 36 – 42 (1983)
- 5) Kossina, A.; Melliand Textilber. 64, 746 – 751 (1983)
- 6) Ernst, A., Kossina, A., Lejeune, J.; Melliand Textilber., 66, 264 – 269 (1985)
- 7) Derichs, J.; Theoretische und praktische Grenzen des Rotorspinnens bei der Feingarnherzeugung. Schlafhorst Dokumentation a141d-11.85
- 8) Mandl, G.: Anforderungen beim Spinnen feiner Rotorgarne, Standortbestimmung. Referat am 6. OE. – Kolloquium, 3./4. 12. 1985, Eningen, Bundesrepublik Deutschland
- 9) Schoeller, L.; Melliand Textilber., 6, 383 – 386 (1986)
- 10) Kampl, R., Leitner, J.; Lenzinger Ber. 60, 74 – 79 (1986)

#### Diskussion:

**Herlinger:** Haben Sie Dank für Ihr Referat, das gezeigt hat, daß die maßgeschneiderten Modalfasern die Leistungsfähigkeit der modernen Rotormaschinen auch ausnützen können. Darin lag und liegt ja ein gewisses Problem der Faserindustrie, weil ja die Maschinenentwicklung der Qualität der Faserentwicklung vorausgeeilt ist.

**Mach:** Ja, das ist eigentlich richtig.

**NN:** Herr Dr. Mach, können Sie uns Angaben machen, auf welchen Strecken das von Ihnen durchgeführte Versuchsmaterial verarbeitet wurde und ob bei dieser Verarbeitung genau so gute Ergebnisse hinsichtlich Geschwindigkeit und Spinnplanhaltung erzielt wurden?

**Mach:** Vielleicht darf ich das Wort an Herrn Maurer weitergeben, da die Streckenbänder im Technikum der Firma Zinser hergestellt wurden.

**Maurer:** Wir haben in diesem Zusammenhang keine Streckversuche durchgeführt. Wir haben eine normale Liefergeschwindigkeit von 200 m/min bei allen Versuchen eingehalten, um hier vergleichbare Maßstäbe zu haben. Unsere Aufgabe war festzustellen, wie sich die Parameter bei unterschiedlichen Rotordrehzahlen verändern oder auch nicht verändern.

**Rebenfeld:** Können Sie etwas zur Färbbarkeit der Mischungen gegenüber 100 % Baumwolle oder 100 % Modal sagen? Besteht ein Unterschied in der Farbaufnahme?

**Mach:** Wäre diese Frage unabhängig vom Fasertiter zu verstehen?

**Rebenfeld:** Ja, unabhängig vom Titer nehmen wir die beste Fasermischung.

**Mach:** Dann sprechen wir von der Mischung 50/50 % Modal/Baumwolle. Allgemein ist zu sagen, daß das Anfärbeverhalten unserer Modalfasern sehr gut auf die Baumwolle abgestimmt ist. Je nach Färbeverfahren, Farbstoffen und vor allem der Qualität der Baumwolle gibt es jedoch mehr oder weniger große Unterschiede. Für eine optimale Ton-in-Ton-Färbung ist besonders bei kritischen Konstruktionen eine gewisse Auswahl von Farbstoffen und Färbebedingungen erforderlich. Im Laufe der Jahre – die Mischung läuft ja schon seit vielen Jahren – wurden jedoch ausreichende experimentelle Unterlagen dafür erarbeitet, die nicht nur bei uns, sondern auch über die Farbstoffhersteller zur Verfügung stehen und abrufbereit sind. Eine entsprechende Baumwollmindestqualität vorausgesetzt, stellt dies heute kein Problem mehr dar.

**Herlinger:** Sie haben uns berichtet, wie sich die Ausrüstung auf Baumwolle/Viskose-Mischungen auswirkt. Ich nehme an, Sie haben die Hochveredelung gemeint. Die festgestellten Effekte könnten auf eine ungleichmäßige Verteilung der Hochveredelungsprodukte zurückzuführen sein, weil die Hauptmenge bevorzugt auf die Baumwolle geht. Haben Sie dazu irgendwelche Unterlagen oder Untersuchungen gemacht?

**Mach:** Spezifische Untersuchungen, die ganz genau diese Frage beantworten können, sind mir nicht bekannt.

**Herlinger:** Gewundert hat mich die Reduktion der Dickstellen schon bei einem Anteil von 20 % Viskosefasern. Ist das üblich?

**Mach:** Das ist durchaus ein typisches Bild, das wir bei Mischungen von kardierter Baumwolle mit Viskose immer erhalten. 20 % Viskose kann man etwa als Untergrenze ansehen, wo man bereits einen deutlichen Effekt nachweisen kann.

**Herlinger:** Sie haben auch Trends zu feineren Titern unter 1,0 dtex, erwähnt. Wie wird sich wohl bei diesen Fasern die Kardierbarkeit entwickeln, wenn sie unter 1,0 dtex kommen?

**Mach:** Wir haben festgestellt, daß sich bei der Reduktion auf 1 dtex im wesentlichen die Fasern vergleichbar kardieren lassen wie bei 1,3 dtex. Darunter liegen natürlich einsteilen noch keine Erfahrungswerte vor. Vielleicht kann aber Herr Ing. Kampl etwas dazu sagen.

**Kampl:** Unsere Versuche hierzu wurden bei der Firma Trützschler mit einer Kardengarnitur mit 800 Spitzen pro Quadrat Zoll gefahren. Natürlich müssen Sie darauf achten, diese Parameter einzuhalten. Wenn Sie jetzt unter 1,0 dtex herabsinken, wird es sicher nötig sein, die Spitzenanzahl an der Karde weiter zu erhöhen.

## Experimental Evaluation of Electron Beam Irradiation and Ultrafiltration in the Manufacture of Viscose Fibers

Jaakko E. Laine, PhD., Esko Haukkovaara, MSc., Pekka Oravita, MSc., Pentti Peltola, MSc., Kemira Oy, Säteri, Valkeakoski, Finland

The adjustment of the degree of polymerization of cellulose chains takes place conventionally in large rotating drums. Inherently, this leads to a need of large space and a relatively complicated regulation of DP, particularly, in case of changing from one DP-level to another. In order to avoid these problems electron-beam irradiation has been studied on a laboratory scale. These results and further plans will be discussed in the paper.

The cost of pulp raw-material is the largest single contributor to the production costs of viscose fibers. To be able to vary the type of pulps conventionally employed in viscose fiber manufacture the possibilities to reduce the amount of hemicelluloses in steeping lye has been looked into. Both laboratory and pilot-scale studies have been encouraging and indicate that ultrafiltration might be a feasible method of hemicellulose separation. Closer details will be presented and discussed in the paper.

Der Polymerisationsgrad der Celluloseketten wird herkömmlich in großen rotierenden Trommeln bestimmt. Dies erfordert an sich viel Raum und eine relativ komplizierte Bestimmung des Polymerisationsgrads, vor allem, wenn sich dieser zwischen zwei Werten ändern soll. Zur Vermeidung dieser Probleme wurde die Elektronenstrahlung im Labor untersucht. Die Ergebnisse und weitere Pläne werden im Vortrag diskutiert.

Die Kosten des Zellstoffs als Rohmaterial sind der größte einzelne Faktor in den Herstellungskosten von Viskosefasern. Um die Auswahl der herkömmlichen benutzten Zellstoffe zu erweitern, wurde eine Verminderung der Hemicellulosemengen in der Löselaugung untersucht. Sowohl im Labor als auch in Pilot-Anlage waren diese Untersuchungen vielversprechend: Sie wiesen darauf hin, daß die Ultrafiltration eine nutzbare Lösung zum Entfernen von Hemicellulosen anbieten könnte. Nähere Einzelheiten werden im Vortrag vorgestellt und behandelt.

### Introduction

The adjustment of the degree of polymerization of cellulose chains takes place conventionally in large rotating drums. Inherently, this leads to a need of large space and a relatively complicated regulation of DP, particularly in the case of changing from one DP level to another. In order to avoid these problems electron beam irradiation has been studied on a laboratory scale. These results will be discussed in the following.

Another feature of the viscose process is the structure of production costs, where the cost of pulp is the largest single contributor. To be able to vary the type of pulps conventionally employed in viscose fiber manufacture and consequently the cost of pulp, a study was made to reduce the amount of hemicelluloses in the steeping lye. Results from these experiments will also be discussed in the paper.

### Electron Beam Irradiation

The ageing of alkali cellulose has remained virtually unchanged for decades. Only recently has the development of new techniques brought new possibilities also to this unit operation. One of these developments involves application of electron beam irradiation.

Many studies have been published during the years about the chemical reactions of cellulose caused by various types of irradiation. One of them has been presented in Dornbirn in 1984 by Fischer<sup>1</sup>. The possibility to apply electrons in substitution to conventional ageing of alkali cellulose by atmospheric oxygen became reality only after the invention of sufficiently effective electron beam apparatus. One such instrument is Electrocurtain from Charmilles<sup>2</sup>. Other manufacturers are Dürr Anlagenbau and RPC Industries.

With the above mentioned equipment electron beam treatment of pulp can be realized at high linear velocity of the pulp web. Consequently, the factory space required by electron beam equipment is remarkably reduced in comparison to rotating drums currently used in viscose mills for ageing of alkali cellulose.

Figure 1 shows the relationship between the viscosity of viscose and the level of irradiation with two different types of viscose. The kinds of irradiation doses presented in figure 1 can be obtained by a 250 kV acceleration voltage with a speed of the pulp web of 60 m/min. Inert gas is not necessary during the irradiation, although treatment in atmospheric oxygen may cause slight yellowing of the pulp during lengthy storage.

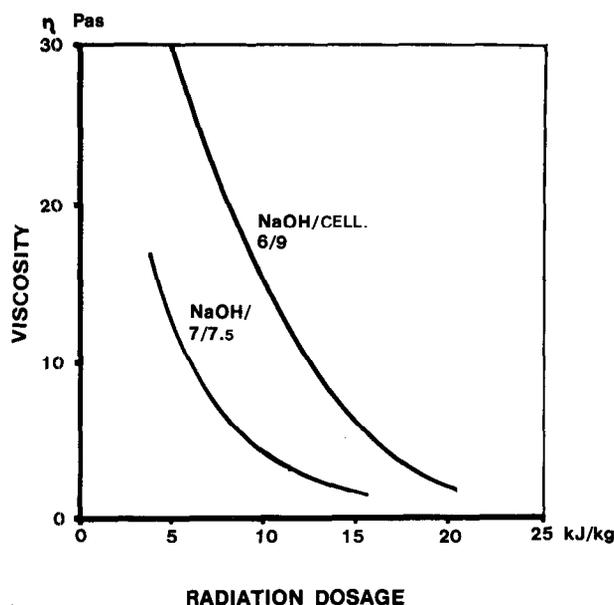


Fig. 1: The influence of EB irradiation on the viscosity of two viscose compositions

The energy requirement in pulp irradiation is approximately 10 Wh/kg pulp.

Electron beam irradiation will have an adverse effect upon the alkali-solubility of the pulp. For instance at 20 kJ/kg dosage the  $R_{18}$ -value of sulfite pulp is decreased by two percentage points and, furthermore, the color of the steeping lye shows a deeper shade of yellow. These changes are most likely due to a higher content of fragmented cellulose and hemicellulose chains present in irradiated pulp compared with the original pulp.

Figure 2 shows the influence of irradiation upon filterability of viscose as a function of CS<sub>2</sub> dosage. It can be seen that filterability of irradiated viscose deteriorates faster at low CS<sub>2</sub> charges, although the degree of substitution is slightly higher.

The textile values of fibers made from irradiated and conventional viscose are shown in table 1. The differences are of minor significance. The same is also true with the DP--distribution curves in figure 3. The only difference observed in the behaviour of the two types of fibers is their

dyeability. Fibers from irradiated viscose develop deeper shades, e. g. three percentage points higher remission value after dyeing with Solophenylblau AGFL is achieved.

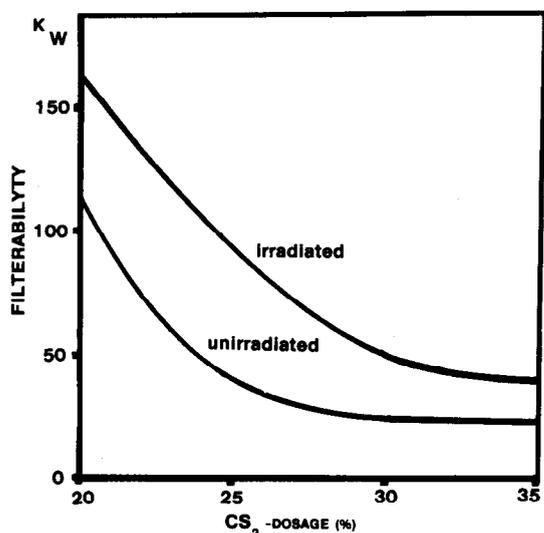


Fig. 2: The influence of CS<sub>2</sub> dosage on filterability of viscose

Table 1: Textile properties of HWM fibers (mean values of 6 trials)

	IRRADIATED	REFERENCE
DTEX	1,78	1,77
TENACITY, CONDITIONED (cN/DTEX)	4,19	4,20
TENACITY, WET (cN/DTEX)	2,76	2,92
ELONGATION, CONDITIONED (%)	20,4	20,7
ELONGATION, WET (%)	23,6	24,7
LOOP TENACITY, RELATIVE (%)	21,0	22,5

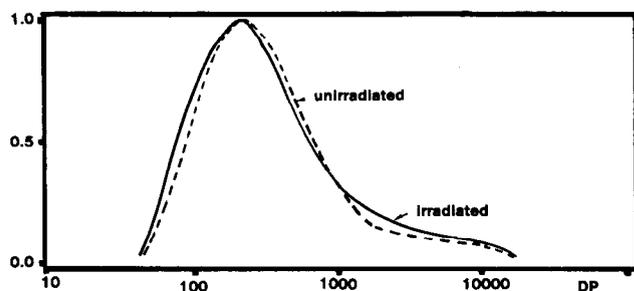


Fig. 3: Normalized DP distribution curves of viscose fibers

The results so far indicate that electron beam irradiation of pulp to the required level of DP is feasible and the properties of fibers remain practically unchanged. This experience together with the advantages of pulp irradiation will definitely warrant further investigations into its utilization in full mill-scale.

### Reduction of Hemicelluloses in Steeping Lye through Ultrafiltration

The amount of hemicelluloses that can be tolerated in the steeping lye has a definite limiting value. This concentration is determined by the viscosity of the steeping lye, the deleterious effect of hemicelluloses upon the behaviour of alkali cellulose in pressing, the increasing consumption of CS<sub>2</sub>, as well as the deteriorating fiber properties<sup>2, 3, 4</sup>.

Consequently the more hemicelluloses there are in the pulp the more difficulties will arise in particular with fibers of improved qualities, such as HWM fibers. On the other hand, the economy of a viscose mill requires low cost pulp, which again means high content of hemicelluloses. Therefore, to solve this dilemma one should find economical ways to reduce the amount of hemicelluloses in the viscose process.

The direction taken by Kemira Oy Säteri is to separate hemicelluloses from the steeping lye through ultrafiltration and thereby make it possible to use lower alpha pulps. This approach is by no means a novel one.

Ultrafiltration in conjunction with viscose fiber production has been studied in both laboratory and mill scale trials<sup>5, 6, 7</sup>. The goal at Säteri has been to study both technical and economical feasibility of ultrafiltration first in laboratory and then in pilot plant scale trials. The purpose is to separate hemicelluloses and then either put them back into the process when dissolving the xanthate or use them as a raw material in the chemical industry.

The separation experiments were made in DDS pilot facilities at the Finnish Pulp and Paper Research Institute. The membranes were of polysulfone from DDS and Kalle AG. Table 2 exhibits one series of experiments. In addition to ultrafiltration a few trials with diafiltration were also performed.

Table 2: Ultrafiltration of steeping lye

TEST RUN n:o	MEMBRANE TYPE	PRETREATMENT CUT OFF	INITIAL			
			CONCENTRATION HEMICELULOSE CONTENT g/l	VOLUME NaOH g/l		
67-UF-85	GR 81 PP	6.000	FILTRATED 100 µm + DILUTED	6,9	138	200
68-UF-85	GR 81 PP	6.000	---	9,3	228	285
69-UF-85	GR 81 PP	20.000	---	9,1	70	389
71-UF-85	GR 81 PP	20.000	---	10,0	213	388
72-UF-85	GR 81 PP	20.000	FILTRATED 100 µm	45,8	310	200
73-UF-85	UF-PBH 20/PP 100	20.000	---	48,4	207	200
74-UF-85	UF-PBH 20/PP 100	20.000	---	48,1	208	190
88-UF-85	GR 81 PP	6.000	FILTRATED 25 µm	36,8	208	200
90-UF-85	GR 81 PP	6.000	---	39,1	205	200
91-UF-85	GR 81 PP	6.000	---	107	184	35 *

\* DIAFILTRATION OF FINAL CONCENTRATE OF TEST RUN 90-UF-85

In figure 4 the flux has been depicted as a function of hemicellulose content in the concentrate. The dramatic decrease of the flux seen in figure 4 is due to a steep increase in the viscosity of the concentrate. The distribution of hemicelluloses between the permeate and the concentrate is illustrated in figure 5.

The behaviour of the concentrate under diafiltration conditions was also studied. The purpose of diafiltration was to purify the ultrafiltration concentrate from excess NaOH. The diafiltration was executed with water close to the point where hemicelluloses began to precipitate. In the figures 6 and 7 are shown the concentrations of hemicelluloses and NaOH as a function of diawashing. It can be seen that a major part of residual NaOH in the ultrafiltration concentrate can be removed reasonably easily through diafiltration.

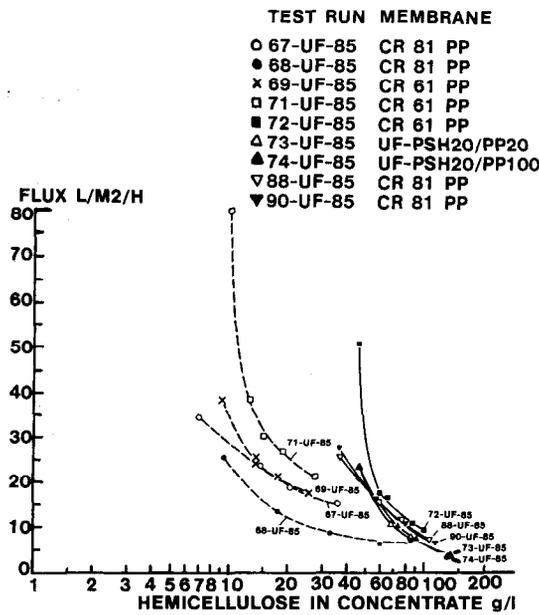


Fig. 4: The relationship between the concentration of hemicellulose and the flux

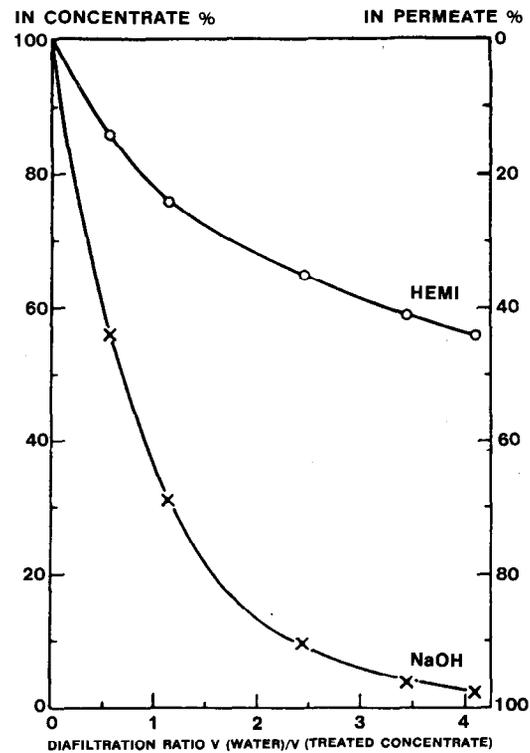


Fig. 7: Distribution of hemicellulose and NaOH in diafiltration

The results in laboratory and pilot plant scale trials of ultrafiltration of steeping lye have proved to be successful. Furthermore, the diafiltration of the concentrate removes NaOH very effectively.

**Conclusion**

Electron beam irradiation as a replacement for chemical ageing of pulp and the separation of hemicelluloses from steeping lye have proved to be promising both from a technical and an economical point of view. Further studies on a larger scale are under way to evaluate their ultimate impact on the viscose process and the properties of fibers.

**Literature:**

- 1) Fischer, K., Goldberg, W., Wilke, M.: Strahlenvorbereitung von Zellstoff für die Regenerationsfaserherstellung, 23. International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn, 26.-28. September 1984
- 2) Lämpü, Urs. V.: Das Electrocurtain-Verfahren zur Elektronenstrahlhärtung. - Trends of Radiation Research and Industrial Applications in Radiation Technology, Helsinki, 3.-6. April 1984
- 3) Nyrhilä, J. V.; Flow of Hemicellulose in Viscose Process, (Finnish) Diploma, Helsinki, 1966
- 4) Croon, I, Jonsen, H., Olofson, H. G.; Svenska Papperstidning 72, No 10, pp. 336-338 (1969)
- 5) Hurlen, S.; TAPPI Conference Papers, 5th International Dissolving Pulp, pp. 54-58 (1980)
- 6) Birger, Dahl; Borregaard Ind. Ltd., US Pat. 4270914, June, 1981
- 7) Lenz, J., RUF, H., Bauer, J., Wurtzel, H.; DE Patent 3405208 (840214)

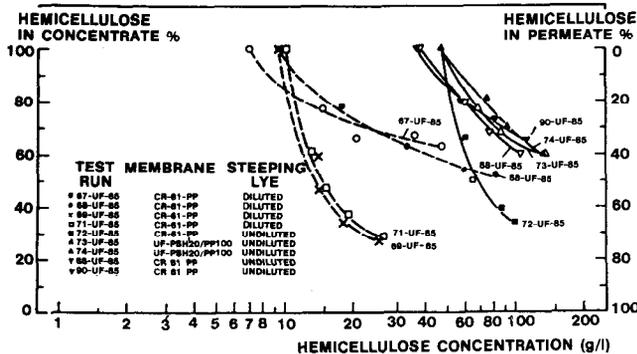


Fig. 5: Distribution of hemicellulose between permeate and concentrate

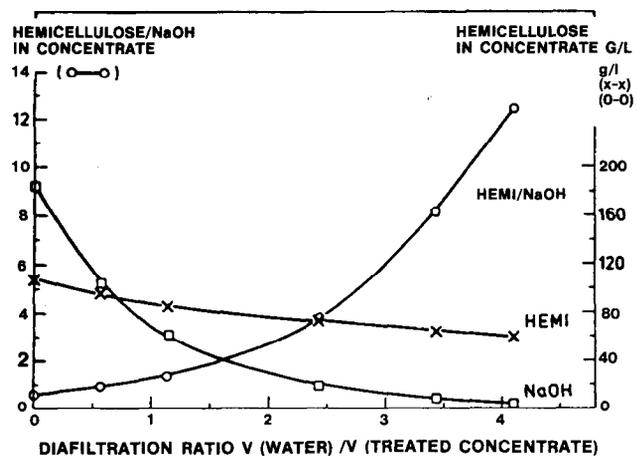


Fig. 6: Hemicellulose and NaOH concentrations in diafiltration

**Diskussion:**

NN: Do you expect any problems, as far as chain length distribution is concerned, by electron beam aging?

Laine: We really have not run any experiments on a large scale yet, but we really don't expect any problems. There is a pulp mill in the same city where Säteri is situated, owned by United Paper Mills, they do run a large scale electron

beam apparatus and we plan to use this apparatus in our mill scale trials. So let's say within a half year's time we will have an answer to that question. We expect that the outcome of aging by irradiation is actually more homogenous than the ordinary chemical aging. You have to realize that the retention time in the system is very short so that there is no time for distribution at all compared with a rotating drum. So actually here you have one cause less for heterogeneity.

**Gotschy:** You said that the hemicellulose concentrate is either used in the dissolving process or removed from the process at all. Which way do you think is more promising for the future?

**Laine:** Are you thinking of the fibre properties or the waste water problems? The answer will depend on economy. In the first case you use the hemicellulose in

dissolving of the xanthate; this you can do immediately. When you take hemicellulose out of the system you have to sell it to somebody. It is a sellable product but you have some marketing problems. So the first point is easy to do, the second is more promising and we have tried to go in this direction. But now we are using it in the dissolving of the xanthate. That's the way we are starting with.

**NN:** Did you always use one type of pulp and if, which type did you use?

**Laine:** We actually have worked with two or three types of pulp, all dissolving pulps. But most of the work was done with pulp where the alpha-content was 92 - 93 %.

**NN:** Is there a considerable difference between hard wood pulp and pine pulp?

**Laine:** We used soft wood pulp.

---

## Angewandte Viskosetechnologie im internationalen Vergleich

Dr. H. Faßbender, VIC Viscose Industry Consultants, Beratungsbüro für die Chemiefaserindustrie GmbH, Königswinter, Bundesrepublik Deutschland

Seit der Erfindung des Viskosespinnverfahrens Ende des vergangenen Jahrhunderts in England fand die erste im industriellen Maßstab hergestellte Chemiefaser in den folgenden fünfzig Jahren weltweite Verbreitung. Dabei sind die europäischen Unternehmen der *ersten Stunde* auf allen Kontinenten bei der Gründung und Errichtung neuer Produktionsstätten Pate gestanden, wobei sie jeweils ihr spezifisches Know-how in diese Unternehmen, an denen sie in der Regel mehrheitlich beteiligt waren, einbrachten. Die Besitzverhältnisse haben sich in vielen Fällen in den letzten Jahrzehnten geändert mit der Folge, daß häufig diese Unternehmen von den Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen der ehemaligen Muttergesellschaften abgeschnitten wurden.

Die rasante Entwicklung der Synthetiks nach dem zweiten Weltkrieg nahm entscheidenden Einfluß auf die weitere Entwicklung der Viskoseindustrie, insbesondere auf die europäischen Werke. Hier kam es einerseits in den sechziger und siebziger Jahren durch Stilllegung ganzer Fabriken zu drastischen Produktionseinschränkungen, gleichzeitig aber löste der Wettbewerb mit den Synthetiks einen Innovationsprozeß aus, der zu neuen Prozeßtechnologien und damit zu Produkten führte, die sich im textilen und technischen Bereich ihren festen Markt erobert haben.

Die Viskoseindustrie in den Niedriglohnländern hat zwar aus dem Kapazitätsabbau in den Industrieländern insofern Nutzen gezogen, daß sie ihre durchwegs qualitativ schlechteren Produkte heute auch in den traditionellen Märkten der führenden Viskoseunternehmen absetzen können, aber ihr Rückstand hinsichtlich Produktivität, technologischem Standard und Produktqualität ist in den letzten 30 Jahren deutlich gewachsen.

Since the invention of the viscose spinning process at the end of the past century in Great Britain the first man-made-fibre produced on an industrial scale was spread over the world within the following fifty years. The European viscose companies of the *first hour* were engaged in the foundation and erection of new production plants in all continents, contributing their own specific know-how to such joint ventures. In the past decades many of the European companies retired from such engagements with the consequence that the abandoned factories were cut off from research and development.

The rapid progress of synthetic fibres after World War 2 had a decisive influence on the development of the viscose industry worldwide, but especially on the European plants. In the sixties and seventies drastic reductions in production capacity took place, and many rayon filament and staple fibre plants were shut down. But at the same time influenced by the competition of the synthetic fibres, a process of innovation was released leading to completely new process technologies and to new products which now take a strong position in the market.

The viscose industry in the low wage countries derived benefit from the reduction of spinning capacity in the industrialized countries by easier selling of their products with lower quality standards in the traditional markets of the leading viscose companies. Their backlog regarding productivity, technological standard and quality of the products, however rose remarkably within the past 30 years.

Die weltweite Verbreitung textiler Viskoseprodukte nahm in den zwanziger und dreißiger Jahren ihren Ausgang von Europa. Dabei haben die europäischen Unternehmen der *ersten Stunde* auf allen Kontinenten bei der Errichtung neuer Produktionsstätten Pate gestanden, wobei sie jeweils ihr spezifisches Know-how in diese Unternehmen, an denen sie in der Regel mehrheitlich beteiligt waren, einbrachten. Aus mancherlei Gründen haben sich die Muttergesellschaften in den vergangenen Jahrzehnten mehr und mehr aus ihren außereuropäischen Beteiligungen zurückgezogen mit der Folge, daß diese Werke weitgehend vom weiteren Fortschritt in der Verfahrenstechnologie abgeschnitten wurden, wie im übrigen auch die Viskosefabriken, die mit Hilfe von Ingenieurbüros aufgebaut worden waren.

Sie alle kennen das Ergebnis des Wettbewerbs zwischen den Synthetiks und der Viskose, der bald nach dem Ende des zweiten Weltkrieges begann, in seiner einseitigen Dynamik aber seit einigen Jahren zum Stillstand gekommen ist. Er hatte mit seiner Produktsubstitution nicht nur einen negativen Effekt für die Viskoseindustrie, die in Westeuropa ca. 50 % ihrer textilen Kapazitäten stilllegen mußte, dieser Wettbewerb löste in geradezu klassischer Weise einen Innovationsschub aus, der zu neuen Verfahrenstechnologien und damit zu Produkten mit völlig neuen Eigenschaften führte, die sich längst im textilen und technischen Bereich ihren festen Markt erobert haben. Es sollte aber nicht übersehen werden, daß die Innovationsfähigkeit nur dort gegeben war, wo schon seit Jahrzehnten mit großem Aufwand Forschung und Entwicklung betrieben wurde, nämlich in den europäischen Werken der *ersten Stunde*, wie ich sie eingangs nannte. Deren Forschungs- und Entwicklungsabteilungen waren die Zentren des Fortschrittes in den westlichen Industrieländern, denen so manches Unternehmen sein Überleben angesichts des unwiderstehlich scheinenden Aufschwungs der Synthetiks verdankt.

Hochfeste und hochnaßfeste Fasern, die Supercordtypen und die Entwicklung von Rayonwebketten höchster Qualität für Futterstoffe sind nur die herausragenden Erfolge neben den vielen Rationalisierungsmaßnahmen zur Lohnkostenreduzierung, Energieeinsparung, Rohstoffrückgewinnung, aber auch neben den für die Existenz der Viskoseindustrie nicht weniger entscheidenden Verbesserungen auf dem Gebiet der Abluft- und Abwasserreinigung.

Das heutige Bild der weltweit installierten Verfahrenstechnik ist durch Extreme gekennzeichnet, wie man sie sich größer kaum vorstellen kann. Einerseits finden wir weitgehend automatisierte Prozesse, nicht nur im Spinnereibetrieb, was nicht so neu ist, sondern auch in der Viskosepräparation, wo vom Rohstoffeinsatz bis zur spinnfertigen Viskose die Betriebsparameter und der Mengenfluß automatisch gesteuert werden. Perfektionierte Spinnverfahren (Rohrspinnen, Mehrstufenverstreckung, 3-Bad-Spinnen, neuartige Spinndüsenkonstruktionen), die ein Verspinnen sehr unreifer Viskosen zur Erzielung hoher Festigkeitswerte erlauben, die Entwicklung der kontinuierlichen Sulfidierung (Maurer-Verfahren) und der Spinnbadeindampfer und -kristallisatoren mit extrem niedrigem Energieverbrauch von der Firma Ebner vervollständigen das Bild hochmoderner Viskosetechnologie. Andererseits arbeiten vor allem im außereuropäischen Raum noch Anlagen, die technisch dem Stand vor dem zweiten Weltkrieg entsprechen. Das gilt insbesondere für die Produktion von Textilrayon. Handbetriebene Alkalisierpressen, diskontinuierlich arbeitende Zerfaserer mit kleinster Chargengröße, in denen gleichzeitig die Vorreife ohne Temperatursteuerung erfolgt, Baratten ältester Bauart, Viskosefiltrationen mit einem Filterfaktor von 15 und höher vor allem dort, wo reiner Linterszellstoff versponnen wird, wie das in Südamerika häufig der Fall ist, Gespinstgewichte von 500 g, Spinnbadverluste in einer Menge, die keine Glaubersalzkristallisation zulassen. Dies, kombiniert mit veralteten Spinn schemata, führt zu Produktqualitäten, die in normalen Zeiten, z. B. in Westeuropa, nicht verkaufsfähig wären.

Es hat natürlich auch Anstrengungen in Werken gegeben, die keine Verbindung zu den führenden Viskoseunterneh-

men der Industrieländer besitzen, die rasante Entwicklung der Verfahrenstechnologie in den sechziger und siebziger Jahren, besonders auf den Gebieten des Reifengarns und der hochnaßfesten Fasern, möglichst schnell nachzuvollziehen. Diese Bemühungen sind größtenteils gescheitert an dem unvollkommenen Know-how, das diesen Werken zur Verfügung stand bzw. gestellt wurde.

Wenn man bedenkt, wieviel kostenintensive Arbeit in die produktionsreife Entwicklung einer neuen Garn- oder Fasertypen investiert werden muß, daß neue Verfahren sorgfältig und möglichst lange vor der Konkurrenz geschützt werden müssen, um auch die Früchte der Arbeit im Wettbewerb um den Markt ernten zu können, so ist verständlich, daß alle die Viskoseunternehmen in der Welt, denen der Zugang zu solchem Know-how versperrt geblieben ist, in einen immer größer werdenden technologischen Rückstand gekommen sind. Bruchstückweiser Know-how-Transfer über alle möglichen Kanäle führte zu den kuriosesten Verfahren. So habe ich zum Beispiel einmal der Betriebsleitung einer Reifengarn produzierenden Fabrik in Indien nach dem Studium der Produktionsparameter sagen müssen, daß ihre Anstrengungen, eine Super-3-Type zu produzieren, nicht erfolgreich sein könnten, solange sie eine Super-4-Viskose mit einem Textilrayon-Spinnschema in einem Super-1-Spinnbad verspinnen. Eine Textilrayonfabrik im selben Land hatte für ihre Rayonproduktion eine eigene Technik des Rohrspinnens entwickelt. Statt von unten nach oben oder nach schräg oben zu spinnen, wurde der Faden senkrecht von oben nach unten geführt, und dann wunderte man sich, daß die Ausbeute an erster Qualität 15 % nicht übersteigen wollte. Auch der Betrieb einer Rayonspinnerei, in der Nelson-, Spulen- und Zentrifugenspinnmaschinen mit einer Viskose und einem Spinnbad gespeist werden, entspricht nicht unseren Vorstellungen von optimalen Spinnbedingungen.

Ähnlich Überraschendes findet man noch heute in vielen Fabriken als Folge des Einsatzes von unzureichendem Know-how. Es genügt einfach nicht, die Zusammensetzung von Viskose und Spinnbad zu kennen, ohne gleichzeitig auch die Einhaltung der für die Herstellung sehr viel anspruchsvollerer Produkte notwendigen engen Grenzen der Prozeßparameter, wie Reife, Viskositäten und Temperaturen, garantieren zu können. Dazu sind aber nicht nur moderne Anlagen notwendig, sondern in erster Linie geschultes Betriebspersonal mit qualifizierten Führungskräften auf allen Ebenen, die gewillt sind, Verantwortung zu tragen. Das Fehlen einer organisierten Qualitätskontrolle ist typisch für Werke mit Unzulänglichkeiten im Personalbereich und verstärkt den ohnehin schon vorhandenen negativen Effekt ungemain.

Offensichtlich schwer zu behebbende Mängel dieser Art und noch andere Gründe sind letztlich mitverantwortlich für das stärker werdende Auseinanderklaffen einer technologisch bedingten Leistungsfähigkeit zwischen den Viskoseunternehmen in den Industrieländern und jenen in den Entwicklungs- und Schwellenländern. So hat der rasante Abbau der Viskosekapazitäten in den westlichen Industriestaaten während der letzten 20 Jahre als Folge des Substitutionsprozesses durch die Synthetika zu einer starken Verunsicherung in den übrigen Ländern geführt in der irrigen Meinung, schon das Sterbeglöcklein für die Viskoseindustrie schlechthin zu hören. Manche dringend notwendige und oft schon geplante Modernisierungsinvestition ist deshalb nicht getätigt worden.

Aber auch niedrige Löhne, mangelnder Wettbewerb durch enorm hohe Zollmauern und die schon erwähnten Personalschwächen hemmen die Betreiber technologisch rückständiger Fabriken, ihre Position durch Modernisierungsinvestitionen zu verbessern, obwohl ihnen ständig größer werdende Chancen zuwachsen, in diesem qualitativ sehr anspruchsvollen Markt stärker Fuß zu fassen wegen des in Westeuropa zu weit getriebenen Abbaus der Textilrayonkapazitäten. Es waren Garne, die nach hießigen Maßstäben als zweite und dritte Qualität beurteilt werden mußten, die in großen Mengen in der ersten Hälfte dieses Jahres wegen

der modisch bedingten überbordenden Rayon-Nachfrage aus solchen Werken auf den europäischen Markt kamen und dort zu Preisen abgesetzt wurden, die zum Teil 10 % über den Marktpreisen einheimischer Spitzenprodukte lagen! Mit dem starken Rückgang der Nachfrage seit Mitte des Jahres normalisiert sich die Situation wieder.

Aus dem Gesagten läßt sich ableiten, daß der in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu erwartende ansteigende Bedarf an textilen Viskosegarnen und Fasern jedenfalls nicht gedeckt werden wird durch nennenswerte Kapazitätsausweitungen jener Unternehmen in der Welt, die ein technologisches Schlußlicht darstellen. Sie sind dazu weder willens noch finanziell in der Lage, es sei denn, es würde ihnen abermals von den großen Viskoseunternehmen in den Industrieländern in Form von Beteiligung oder Übernahme unter die Arme gegriffen, weil man sich Standort- und Kostenvorteile in diesen Ländern verspricht, die identisch sind mit den Märkten zukünftiger überdurchschnittlicher Wachstumsraten. Ebenso kann man ausschließen, daß nennenswertes Privatkapital für neue Viskosekapazitäten angesichts genügend anderer Investitionsmöglichkeiten mit weitaus besseren Renditen zur Verfügung stehen wird, die weltweit genutzt werden können.

Es ist vielmehr damit zu rechnen, daß der zukünftige zusätzliche Bedarf an Textilrohstoffen auf Viskosebasis zum weitaus größten Teil von den Ländern Osteuropas, von China und vielleicht Indien gedeckt werden wird. Die hier und da zu hörende Meinung, Afrika könnte der Kontinent zukünftiger neuer Viskosefabriken werden, vermag ich aus meiner Einschätzung heraus nicht zu teilen. Es sind die schlechten Kapitalrenditen, der zu niedrige Industrialisierungsgrad der meisten afrikanischen Länder (der einen komplizierten 3-Schichtbetrieb sehr erschwert) und die zunehmende Schwierigkeit, eine ausreichende Zahl ausländischer Experten für die Ausbildung, die Inbetriebnahme neuer Anlagen und deren mehrjähriges Betreiben zu finden, um Afrika als Standort zukünftiger nennenswerter Viskosekapazitäten realistisch in Betracht zu ziehen.

Eine zugegebenermaßen spekulative Vision sei mir erlaubt. Sollten eines Tages völlig neue Autoreifenkonstruktionen den Markt beherrschen, die den Einsatz von Viskose-Cord überflüssig machten, so wäre es schade, wenn erneut hochtechnisierte Anlagen verschrottet werden würden, ohne zu versuchen, sie für die Produktion von Spezialfasertypen zu nutzen. Denn es ist der Tag abzusehen, an dem der Bedarf an Viskosefasern und Fäden die weltweit vorhandenen Kapazitäten übersteigen wird.

## Diskussion

**Mach:** Sie haben ja ein relativ pessimistisches Bild von der Konkurrenz außerhalb Europas gezeichnet. Die europäische Viskosefaserindustrie kann sich ja nur wünschen, daß das tatsächlich so in vollem Umfang zutrifft. Mir kamen allerdings diesbezüglich Ihre Aussagen etwas zu pessimistisch vor. Ich hätte daher gerne eine Frage an Sie gerichtet: Haben Sie sich hauptsächlich auf Filament-Rayon bezogen und weniger auf die Stapelfaserproduktion? Ist diese Annahme richtig?

**Faßbender:** Das hätte man vielleicht so aus dem Vortrag entnehmen können, es war aber sicher nicht so gemeint. Was die Stapelfasersituation betrifft, möchte ich vor allem hier Südamerika erneut ansprechen. Dort habe ich Produktionsstätten gesehen, wo die Stapelfaserproduktion im Verbund mit Reifengarn improvisiert wurde, zweite und dritte Qualität vom Überschuß an Reifengarn wurde später zu einem Kabel zusammengefaßt, gecrimpt also gekräuselt wie ein Synthesegarn, in Stapel geschnitten und dann als HWM-Faser auf den Markt gebracht. Das können Sie in Südamerika erleben, wo keine Konkurrenz vorhanden ist, bedingt durch hohe Zollmauern. Es gibt natürlich auch sehr pessimistische Einschätzung hinsichtlich der Stapel-

faserproduktion mit hohen Qualitätsansprüchen, wenn Sie sich z. B. die Situation in Jugoslawien, der Türkei oder Indien ansehen. Ich kann nicht näher darauf eingehen, weil das eine gewisse Vertraulichkeit gegenüber diesen Werken beeinträchtigen würde.

Hier besteht ein erheblicher Nachholbedarf an Know-how, an Technologie, an Anlagen. Es sind zwar in den letzten Jahren Versuche gemacht worden, HWM-Fasern zu produzieren, aber es hat meines Wissens nach keine wesentlichen Erfolge in diesen Ländern gegeben. Weder im südosteuropäischen Raum, in der Türkei oder in Indien. Meine Aussagen beschränken sich also keineswegs auf Textil-Rayon.

**Siegl:** Welchen Anteil hat eigentlich die Viskose heute an Reifengarn, verglichen mit anderen Fasern, die eingesetzt werden?

**Faßbender:** Meinen Sie Anteil bezüglich Viskosefilament oder als Konkurrenz im gesamten Bereich des Reifens als Konkurrenz zu Synthetik?

**Siegl:** Ja, das meine ich.

**Faßbender:** Das ist regional sehr unterschiedlich. Beispielsweise in den USA haben sie so gut wie kein Viskose-Rayon mehr, während in der Bundesrepublik gerade in der Konstruktion von Gürtelreifen eine ganze Menge von Super 3-, bzw. Super 4-Viskosecord im Einsatz ist. Wie hoch der prozentuelle Anteil ist, ist sehr schwer abzuschätzen.

**Klare:** Sie haben die Zweifachalkalisierung von Sihtola erwähnt. Darüber ist viel diskutiert worden. Wie schätzen Sie das ein? Wir haben auch Versuche gemacht und sind im Endeffekt dann doch wieder davon abgekommen, weil ökonomisch . . .

**Faßbender:** Im Grunde sehe ich es genau so wie Sie auch. Das was Sie erlebt haben, haben im Grunde alle erfahren, die sich damit befaßt haben. Obwohl man sagen muß, daß

das Verfahren als solches wissenschaftlich hoch interessant ist, und man muß berücksichtigen, welcher Ausgangspunkt vorhanden war, nämlich die Verfügbarmachung von Zellstoff minderer Qualität mit niedrigem Alpha-Gehalt durch das Doppelalkalisieren für einen höherwertigen Einsatz. Wenn man die Arbeiten von Sihtola liest, dann erhält man den Eindruck, daß das alles funktioniert, und wie sie wissen, ist jener von Werk zu Werk gereist, um das Verfahren anzupreisen und darüber zu diskutieren, aber ich muß Ihnen zugestehen, daß ich kein Werk kenne, das dieses Verfahren im Produktionsmaßstab einsetzt aus Gründen jener ökonomischen Schwierigkeiten, die auch Sie angedeutet haben.

**Gotschy:** Es wird ja heute an verschiedenen Orten der Welt zur Herstellung von Viskosefasern aus neuen Lösungsmitteln gearbeitet. Sie haben heute schon einige spekulative Aussagen gewagt.

Würden Sie aus Ihren Erfahrungen sagen, daß in den nächsten zehn bis fünfzehn Jahren eine ernste Bedrohung oder eine Substitution der Viskosefasern bestehen wird? Wie schätzen Sie diese Situation ein?

**Faßbender:** In Unkenntnis des Chemismus würde ich trotzdem zu dem Schluß kommen, daß in diesem für eine Faserentwicklung relativ kurzen Zeitraum von zehn bis fünfzehn Jahren eine ernste Bedrohung unter gar keinen Umständen entstehen kann. Das sehe ich nicht. Ich glaube, daß diese neuen Verfahren mit vielen Vorschußlorbeeren bedacht worden sind, und wie das immer ist bei neuen Verfahren, kommt man irgendwann einmal zum Alltag zurück, und dann zeigen sich Schwierigkeiten, die bekanntermaßen im Detail stecken. Ich kann mir nicht vorstellen, daß der klassische Viskoseprozeß von diesen neuen Verfahren, so wünschenswert sie wären aus Umweltschutzgründen, in den nächsten zehn bis fünfzehn Jahren verdrängt werden wird und daß man hier von echter Konkurrenz sprechen kann. Ich kann mir das nicht vorstellen.

## Nylon 4 – Development and Commercialization

Dr. C. E. Barnes, Barson Corporation, Stamford, CT, USA

The lecture will begin with a very brief history of the development of nylon 4 from its initial discovery to the present-day polymer where polymerization times have been reduced from the original 7 days to 3 hours and the thermal stability of the polymer improved to the point where melt spinning in an extruder is possible.

Polybutyrolactam (nylon 4) is basically a thermally unstable material and when melted it will revert to its thermodynamically stable 5-membered ring monomer. With properly prepared polymer however this process takes enough time to permit commercial melt spinning when a screw of optimized design is used in combination with a proper temperature profile and reduced dwell time.

Certain properties of the polymer which relate to its melt spinning will be discussed, e. g. molecular weight and molecular weight distribution (GPC), melt viscosity and shear as well as thermal characteristics (TGA and DSC).

Some of the properties of the fiber will be mentioned primarily from the point of view of why it is worthwhile to learn how to make this fiber commercially.

Der Vortrag gibt eine kurze geschichtliche Zusammenfassung der Entwicklung von Nylon 4 von der ursprünglichen Entdeckung bis zum heutigen Entwicklungsstand des Polymers, wobei die Polymerisationszeit von ursprünglich sieben Tagen auf drei Stunden reduziert wurde und die thermische Stabilität des Polymers so weit verbessert wurde, daß es sich zum Schmelzspinnen in einem Extruder eignet.

Polybutyrolactam (Nylon 4) ist grundsätzlich ein thermisch instabiles Material, welches im geschmolzenen Zustand in das thermodynamisch stabile Monomer mit seiner 5-Atom-Ringstruktur übergeht. In einem sorgfältig erzeugten Polymer läuft diese Depolymerisation so langsam ab, daß ein kommerzielles Schmelzspinnen in einem entsprechend ausgelegten Extruder mit entsprechendem Temperaturprofil und entsprechender Aufenthaltszeit möglich wird.

Die Eigenschaften des Polymers, welche Einfluß auf die Schmelzspinnbarkeit haben, werden diskutiert, zum Beispiel Molekulargewicht und Molekulargewichtsverteilung, Spinnviskosität und Scherkräfte sowie auch die thermischen Eigenschaften.

Einige interessante Eigenschaften der Nylon 4-Faser werden erwähnt, um den Anreiz zu unterstreichen, die Nylon 4-Faser bis zur kommerziellen Reife zu entwickeln.

Nylon 4 is the polymer of butanolactam, also known as butyrolactam, 2-pyrrolidinone and alpha or 2-pyrrolidone. I shall use the latter name for ease in pronunciation (Fig. 1).

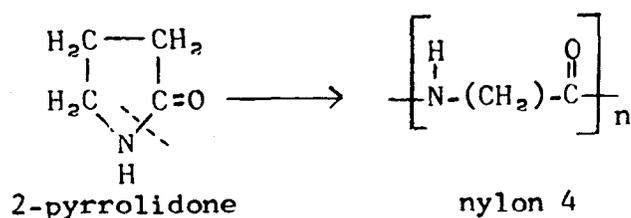


Fig. 1: Chemical formulas

Under certain conditions the 2-pyrrolidone ring can be opened as shown and the polymer formed. But for many years this was believed to be impossible. The discovery that this compound could, in fact, be polymerized has been described in the literature as *accidental*. This is not strictly true in the sense, that is, that the discovery of, say, polyethylene was accidental. On the other hand, after the convincing observations of Carothers<sup>1</sup> that 2-pyrrolidone is incapable of polymerizing, no polymer chemist would have deliberately set out to try to do it.

The history of the development of nylon 4 begins in the late 1940's when my research group at GAF was working on PVP (poly vinyl pyrrolidone). The monomer is made by pressing acetylene into an anhydrous solution of potassium pyrrolidonate in 2-pyrrolidone. Over a period of months I noticed that the yield of product was dependent on the amount of time which lapsed between making the catalyst solution and pressing in the acetylene. The longer the time lapse, the poorer the yield. And I wondered why. What could happen to pyrrolidone on standing under these anhydrous conditions?

Finally my curiosity reached the point where I asked Dr. W. O. Ney, who was the chemist preparing the monomer, to make up the catalyst solution in the usual way but to press in dry nitrogen instead of acetylene. The next morning he found a polymeric material in the reaction vessel! On heating it depolymerized to 2-pyrrolidone, leaving no doubt as to what it was. In December of 1951 we filed a patent application claiming simply *polypyrrolidone*<sup>2</sup>.

In making repeated preparations of this polymer we found that the yield varied considerably and was related to the purity of the monomer – the more *impure* the monomer, the better the yield. This of course suggested that some impurity was present which was beneficial. It seemed to me that the most likely impurity to be present would be the gamma butyrolactone from which the 2-pyrrolidone was made. Upon adding this compound the yield of polymer increased considerably. Not knowing at the time what role it played, we called it simply an *activator* – a term which is still in use. In retrospect probably *initiator* would have been a better term.

We then embarked on a program to find other activators with the objective of finding better ones. In a relatively short time we found over 25 compounds or classes of compounds which were capable of initiating this polymerization. Some were rather poor, causing rapid polymerization resulting in very low molecular weight, while others such as N-acetyl pyrrolidone acted somewhat more slowly and gave a higher molecular weight polymer. We then filed a patent application claiming acyl type activators for this polymerization. At the same time another patent application with different authors was filed covering suspension polymerization using the same activators<sup>3</sup>. Because these patent applications were sold to another company there were two patent firms involved and it turned out that the suspension polymerization patent issued a year and a half earlier than the activator patent, although both were filed on the same day. As a consequence the activator patent<sup>4</sup>, which carries the names of the actual inventors, has never been cited in the literature.

At this point the research project was terminated due to the sale of the company and the investigators relocated – each in a different company. The field of anionic polymerization of lactams had been opened up, however, and others carried on the work. The subsequent work has been well summarized by Sekiguchi<sup>5</sup> who cites more than 600 references.

Several years later, while at the 3M Company, I initiated a project on nylon 4 and I persuaded Dr. Ney to join 3M and work on it again. Other than to ask Dr. Ney to try to make the quaternary ammonium salt of 2-pyrrolidone<sup>6</sup> I left the direction of the project to others who did an excellent job. The 3M team succeeded in making polymer and melt spinning it which is the first time this had ever been done. However they had to resort to fractionating the

polymer<sup>7</sup> to remove low molecular weight material and even then losses during the spinning were high. But I saw fabrics and some garments made from 100 % nylon 4 for the first time. Many of the properties of the fiber and fabrics were established at 3M.

settings because of the moisture present – and there was no danger of melting a hole in the garment or for the fabric to stick to the iron as with a polyester fabric. It was, of course, these properties which provided the incentive for developing a commercial process for making polymer which could be melt spun.

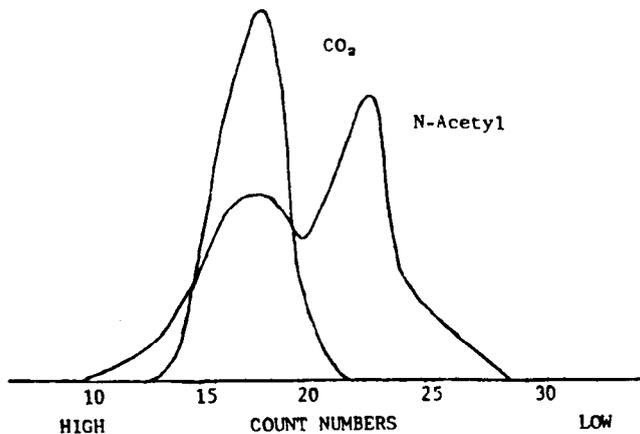


Fig. 2: Size exclusion chromatograms (GPC), CO<sub>2</sub> and N-Acetyl initiated polymers of 2-pyrrolidinone

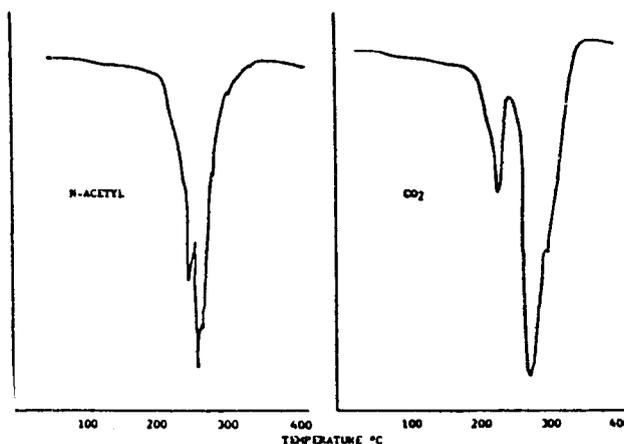


Fig. 3: DSC chromatograms

After retirement from industry and with the unique properties of the fiber which had been made at 3M in mind, I returned to the nylon 4 project again, this time working alone in my home. There I discovered that CO<sub>2</sub>, although it had been regarded as harmful, was actually not only a chain initiator but one which formed a different polymer. I filed a patent application<sup>8</sup> but my claim of a different polymer was not readily accepted until S c h i r a w s k i<sup>9</sup> confirmed it independently.

The actual initiator is the carboxylate salt formed by the addition of CO<sub>2</sub> to the alkali metal salt of 2-pyrrolidinone. Credit for isolating this salt and explaining its function has been given in the literature to K r a l i c e k, et. al.<sup>10</sup> who published his findings in 1980. But a full description of the function of this adduct and its isolation as a freeflowing white powder appeared in the CO<sub>2</sub> patent<sup>8</sup> which issued in 1973 and a mechanism, proposed by G e r v a s i, was published in 1972 before the patent issued<sup>11</sup>.

Figure 2 shows the difference in molecular weight distribution between an N-acetyl initiated polymer and a CO<sub>2</sub> initiated one<sup>12</sup>. The bimodal distribution curve for the N-acetyl initiated polymer is characteristic as is the very wide distribution in molecular weight. The polydispersity of this sample was 69.4 as opposed to that of the CO<sub>2</sub> initiated sample which was 2.5. These values hold only for the specific gel columns used and for the solvent which was m-cresol at 105° C. They are, however, strictly comparable with each other and show a very great difference between the two polymers.

The difference in thermal stability of the N-acetyl initiated polymer versus the CO<sub>2</sub> initiated is illustrated in the next two figures<sup>13</sup> (Figs. 3 and 4).

Considerable CO<sub>2</sub> initiated polymer was made in the early 1970's and this was spun into yarn at Southern Research Laboratories in Birmingham, Alabama. Several different fabrics, a sample of carpeting and some garments were made from this yarn and many properties of the fiber were more precisely determined. For example, the comfort was found to be equal to that of cotton when in staple form and much better than polyesters or conventional polyamides when in filament form. There was no static cling because of the normal moisture content which prevented the build-up of static electricity (Fig. 5). The fabrics were found to have good soil release and not to pick up body odors. The abrasion resistance was outstanding and recovery from strain was 100 % after 24 hours. It was also found that fabrics made from this fiber could be ironed at cotton

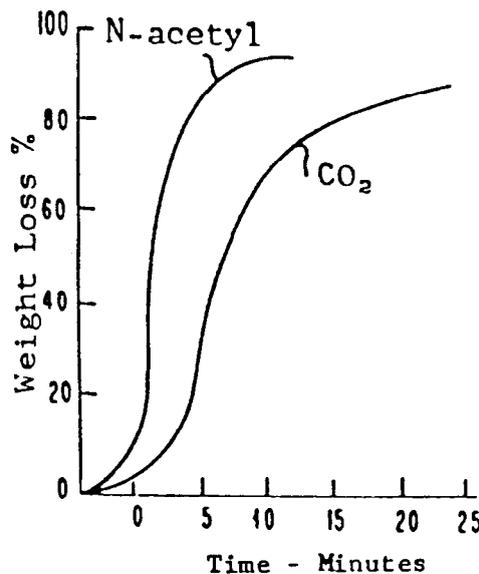


Fig. 4: Loss in weight; isothermal – 273° C

A summary of other fiber properties compared with those of some currently produced fibers is shown in figure 6. I should point out, however, that there has been relatively little work done on optimizing these properties whereas the fibers with which nylon 4 is compared have had the benefit of some 40 years or more study.

There are, of course, some properties of this fiber which need improvement. For example, the modulus tends to be low but there are indications that this can be improved. Highly oriented fibers will fibrillate on laundering but fibers have been made which will withstand 50 laundings without signs of fibrillation and further improvement is surely possible. Boil-off shrinkage, once a problem, has been reduced to 6 %. Texturizing needs further study but textured yarns have been made by both stuffer-box and false twist methods. The chief problem in this area is not the fibre but the finish. Very little work has been done on finishes and more is certainly needed.

The lack of incentive to commercialize this fiber was certainly not due to its properties – the difficult was still in

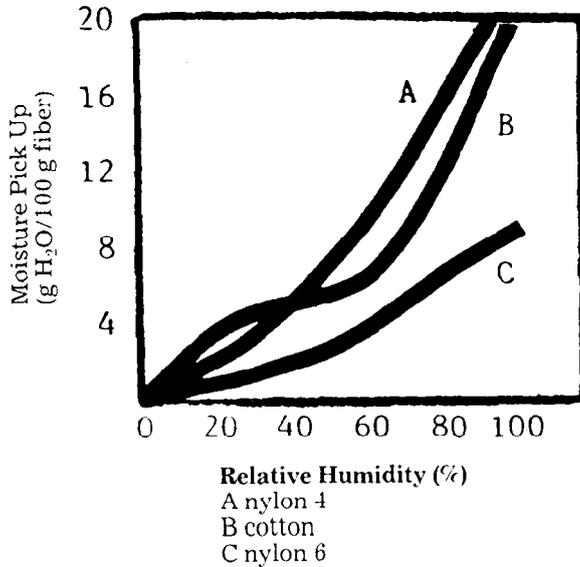
Heat Stability in Air

Hours in air  
at 170°C  
2  
3

Fig. 5: Properties of nylon 4

% Original Tenacity	
Nylon 4	Nylon 66
81.5	44.2
80.0	31.1

Moisture Regain



Creep Behaviour

At 20 % of Breaking Load:	
After 1 minute	4.8 %
After 24 hours	5.6 %
At 33 % of Breaking Load:	
After 1 minute	7.5 %
After 24 hours	8.2 %

the polymer area. The polymer of necessity must be made by the bulk method; suspension polymerization is not possible because the suspending liquid is encapsulated in the polymer. Because of the slow polymerization rate a continuous method was not practical and the batch method resulted in the usual batch-to-batch variations. These variations were serious for it was necessary to change the spinning conditions to suit each batch thus making continuous spinning impossible. An additional problem was that the tough polymer cake had to be ground which was difficult and accompanied by high losses due to the formation of particles too small to be fed to an extruder. What was needed was a method of speeding up the bulk polymerization to a point where a continuous process would be feasible.

It has been known ever since Dr. Ney prepared the first quaternary ammonium salt of 2-pyrrolidone that polymerization takes place more rapidly with these catalysts. But unfortunately due to the thermal instability of these salts it has been difficult to prepare more than a few grams of polymer at one time because the heating time required to remove all the water takes too long.

Sekiguchi<sup>14</sup> avoided this problem by making the pure quaternary ammonium salts of 2-pyrrolidone, storing them in a dry state, under vacuum and in the cold and then adding them to dry 2-pyrrolidone. The method works well but it is hardly a commercial process. Bacsai<sup>15</sup> came closer to a practical solution by attempting to form the quaternary ammonium salt *in situ* by adding a quaternary ammonium halide to the carbonated alkali metal salt. Some increase in the polymerization rate did occur.

Concurrent with this work we found that by adding certain very specific quaternary ammonium compounds to the polymerization mixture a tremendous increase in the polymerization rate could be obtained (Fig. 7).

This discovery has shortened the polymerization time from 2-3 days to 2-3 hours with conversions of over 70% while still maintaining the proper molecular weight and thermal

Fig. 6: Comparison of properties

\*Determined in accordance with ASTM Method D 3417

Property	COTTON	NYLON-6,6	NYLON-6	POLYESTER	NYLON 4
Melting Point °C	300 dec.	265	220	265	268*
Specific Gravity	1.54	1.14	1.14	1.38	1.25
Tenacity (g/d) Dry..... Wet (% of Dry)...	3.0 - 4.9 100 - 110	2.3 - 6.0 86 - 92	4.0 - 7.2 86 - 92	2.8 - 5.6 100	3.0 - 6.0 75 - 80
Elongation %	3 - 10	25 - 65	17 - 45	24 - 42	20 - 50
Loop Strength g/d	-	2.0 - 5.1	3.8 - 5.6	2.5 - 5.2	3.6 - 5.4
Knot Strength g/d	-	2.0 - 5.1	3.8 - 5.5	2.5 - 5.1	3.6 - 5.4
Initial Modulus g/d	60	5 - 24	18 - 23	10 - 30	15 - 20
Elastic Recovery (% recovery from 5% strain)	45	88 (at 3%)	99.5	60	100
Energy to Rupture (g-cm/den-cm)	0.06 - 0.17	0.8 - 1.25	0.67 - 0.9	0.4 - 1.1	0.60 - 0.93
Moisture Regain %	7.0 - 8.5	4.0 - 4.5	4.5	0.4	6.0 - 9.0
Ironing Characteristics	Recommended Ironing temperature: 400 - 450 °F	Melts at Cotton Setting	Melts at Cotton Setting	Melts and Sticks to Iron at Cotton Setting	Can be Ironed at Cotton Setting

stability of the polymer. These accelerators have been patented<sup>16</sup> but, although noted in the literature, the significance of this patent has not been recognized. The fact is that the discovery of these accelerators represents an important step in the commercialization of nylon 4. It is, I think, obvious that a continuous process for making polymer based on a 2-hour conversion time is more practical than one based on 2-days. Furthermore these accelerators make possible the predetermined control of the molecular weight.

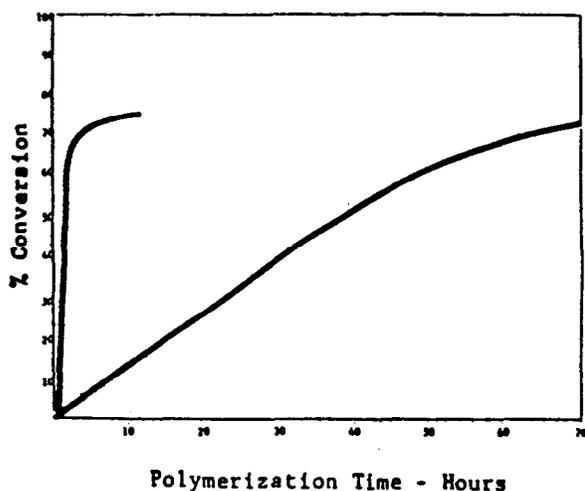


Fig. 7: Accelerated vs non-accelerated polymerization

The quaternary ammonium compounds which are effective in this new process are very specific. They are tetra-n-butyl-ammonium-sulfate or bisulfate or very close analogs. Only the sulfates and bisulfates perform well and while the tetra n-propyl compounds do cause acceleration, they are not as good.

It might be assumed that the addition of these compounds simply results in the formation of the quaternary ammonium salt of 2-pyrrolidone *in situ*, but this is not the case. For one thing, if this were so the chlorides should also be effective but they are very much slower. For another, on careful observation it is noticed that no precipitate of potassium sulfate is formed, although it is quite insoluble in 2-pyrrolidone. Furthermore the tetrabutyl ammonium salt of 2-pyrrolidone is reported to be less active than the tetramethyl ammonium salt<sup>17</sup> and yet tetramethyl ammonium sulfate is not very active.

The figure 8 is a comparison of the polymer formed when using these accelerators with that formed by the 2-day polymerization process (which has been improved somewhat over that originally disclosed in the patent). It can be seen that the accelerated polymer has about 30 % lower polydispersity.

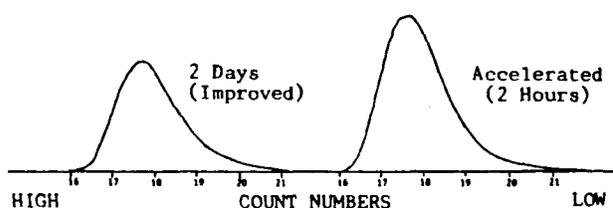


Fig. 8: Size exclusion chromatograms (GPC),  
Mw/Mn: - 2 days 7.1  
- 2 hours 4.9

In order to avoid any possible degradation these GPC's were made using HFIP (hexafluoroisopropanol) as the solvent at room temperature and are therefore not comparable with those made earlier in m-cresol.

Nylon 4 is, without question, a thermally unstable polymer. But this tendency to depolymerize at high temperatures is at a minimum with either CO<sub>2</sub> or SO<sub>2</sub> initiated polymers – providing, of course, that the alkaline catalyst is removed from the polymer by washing. Contrary to some reports in the literature<sup>18</sup> the alkali washes out very readily along with the unpolymerized monomer and washing is no problem.

The last two figures provide information on the thermal stability of the polymer formed by the accelerated method. Figure 9 shows the loss in weight with time at 273° C, the proper temperature to be used at the spinnerette, and clearly indicates the importance of a short dwell time in the extruder.

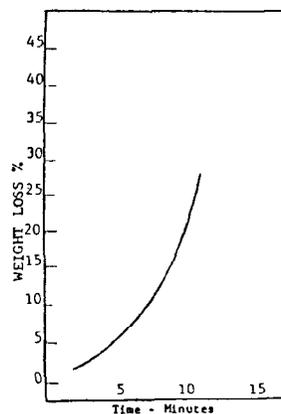


Fig. 9: Loss in weight 273° C; accelerated polymer

The dwell time is controlled primarily by the design of the screw and much emphasis must be put on the importance of screw design in the spinning of nylon 4.

In this figure you will note a considerable improvement in the thermal stability of this present polymer over that of the original CO<sub>2</sub> polymer (Fig. 4). The weight loss in 5 minutes is only about 5 % compared to 30 % in the early CO<sub>2</sub> polymer.

Figure 10 shows the drop in melt viscosity and shear strength at 273° C for two polymers. Note that the very high molecular weight polymer undergoes a rather dramatic drop in melt viscosity while the medium molecular weight one changes much less by comparison and is therefore more suitable for melt spinning. The literature would indicate that the higher the molecular weight the better but this is not true.

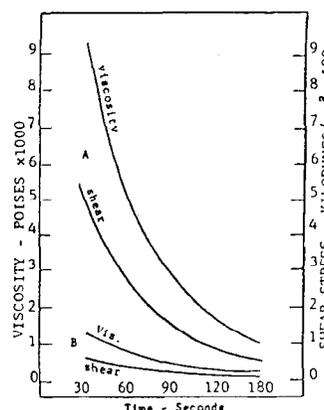


Fig. 10: Drop in melt viscosity and shear stress; for 2 polymers 273° C:  
- Polymer A - I. V. 6 +  
- Polymer B - I. V. 4.1

It is clear that there is an optimum molecular weight which is most suitable for melt spinning, and with the development of a rapid polymerization method which makes practical a continuous process thereby providing polymer with consistent properties, there would seem to be no further bar to the commercialization of nylon 4.

## References

- 1) Carothers and Berchet; J. Am. Chem. Soc. **52**, 5289 (1930)
- 2) Ney, Nummy and Barnes; U. S. Patent 2, 638, 463 (1953)
- 3) Ney and Crowther; U. S. Patent 2, 739, 959 (1956) Filed Feb. 24, 1953
- 4) Barnes, Ney and Nummy; U. S. Patent 2, 809, 958 (1957) Filed Feb. 24, 1953
- 5) Sekiguchi; *Ring Opening Polymerization*, Vol 2 (Ivin and Saegusa, ed.), Elsevier, London, 1984
- 6) Ney; U. S. Patent 2, 973, 343 (1961)
- 7) Riedesel; U. S. Patent 3, 072, 615 (1963)
- 8) Barnes; U. S. Patent 3, 721, 652 (1973); Chem. Week **16**, 67 (1970)
- 9) Shirawski; Makromol. Chem. **161**, 57 – 68 (1972)
- 10) Roda, Brozek and Kralicek; Makromol. Chem. Rapid Commun. **1**, 165 (1980)
- 11) Peters and Gervasi; Chemtech., Jan. 1972, 16 – 25
- 12) Plotted from Table in Exp. A and Table in Example 3, U. S. Patent 3, 721, 652 (Ref. 8)
- 13) Figures 2, 3A and 3B, U. S. Patent 3, 721, 652 (Ref. 8)
- 14) Sekiguchi, et. al.; U. S. Patent 3, 853, 100 (1974)
- 15) Bacskai; U. S. Patent 4, 098, 774 (1978)
- 16) Barnes, C. E. and Barnes; A. C.; U. S. Patent 4, 217, 442 (1980)
- 17) Ref. 5, p 836
- 18) Sekiguchi, et. al.; Bull. Soc. Chim. France, 1974, 2585

## Diskussion

**Siegrist:** Could you comment on the dyeability of nylon 4 compared with other nylon types.

**Barnes:** Dyeability of nylon 4 is one of the outstanding properties. It's more easily dyed than any other fibre, I suspect with some dyes it dyes even better than acetate yarn. It definitely is more readily dyeable than cotton. I can show you some dyed samples which may prove this. The socks I have here were dyed in one hour at 50° C, with no additives in the dye bath. But I also have dyed samples in 5 minutes.

**Benisek:** What is the moisture content of nylon 4 and is there a major fibre manufacturer evaluating the possibilities of producing this nylon 4 on a pilot plant scale?

**Barnes:** This slide shows the moisture-regain compared with cotton and you notice that the regain is somewhat higher than cotton at high humidities. Otherwise it's rather close to cotton. Now as far as the production is concerned we are waiting financially.

I might say that Lurgi has made a preliminary design for a plant and I think that they are waiting for someone to come up with the money so that we can build a 1 ton per day plant as soon as this is arranged.

**Riggert:** What kind of polymerization process are you using? Is it a polyaddition or a polycondensation or an ionic process?

**Barnes:** Technically it's a ring-opening polymerization, anionic. The ring opens and goes together again in a chain.

**Riggert:** Is it different from the normal nylon 6 process?

**Barnes:** Nylon 6 will polymerize this way, as well. But the usual method is a hydrolytic process and therefore, it is quite different. You cannot polymerize nylon 4 if there is a trace of water present. It must be strictly anhydrous. Well, it may tolerate a very small amount.

**NN:** Is there any comparison of this nylon with the other nylon?

**Barnes:** In the copy of this lecture to be given out there is a comparison of the properties of nylon 4 with those of nylon 6 and 6,6 as well as polyester and cotton.

**Barnes:** The conversion can be taken to about 80 % – 85 % is probably the limit – the molecules cannot get together anymore than that. We usually produce 70 – 75 % conversion in two hours. Other polymerizations can go to 90 or 95 %. I think you can get 95 % on nylon 6 but I am not that familiar with the polymerization of nylon 6. The removal of the monomer remaining in nylon 4 is very simple, because it washes out with water very easily along with the alkali and can be recovered by simple distillation. You should distill the monomer from alkali anyway. It's all set up for you to recover.

**Kirschbaum:** You showed a potential of nylon 4 in the textile fibre area but there is a patent in the US for solution spinning of nylon 4, giving rise to fibres of a strength of about 30 gram per denier. Could you comment on this?

**Barnes:** Of course, it is the ideal way to make fibres of nylon 4, by solution spinning, but the costs are prohibitive. I think you cannot consider anything other than highly specialized fibres made from solution spinning. Therefore, we have placed our efforts on melt spinning, because it's the only economic process. Of course as you mentioned there are other things you can get out of solutions. What would be far less expensive would be non-wovens made from fibrils precipitated from solutions.

Nylon 4 makes an excellent non-woven material. It bonds to itself without any additives, (no resin added) and from solutions this may be practical. But otherwise, solution spinning of fibres is too expensive.

**Kirschbaum:** I mention a strength of 30 g per denier and in this case you are able to afford an expensive process.

**Barnes:** For special applications you probably could. We can get 6 – 10 g/denier in the melt spun material. As I mentioned before, you run into fibrillation problems if you draw it too much. But this may not matter for some applications.

## Man-Mades Shoulder to Shoulder with Naturals

Dr. R. A. Haldon, ICI Fibres, Harrogate, U. K.

Man-made fibres have come of age in their own right and there are many segments of customer need where the best fit, the best advantage and the biggest opportunities for product differentiation come from man-mades. Nonetheless the European textile industry has not moved forward as rapidly as other industries and spends all too little resource in researching the best market segments for its products.

The industry is full of excellent examples where man-mades give the customer the best option; from the apparel area with ski wear and hosiery through carpets to industrials.

The growth potential for both natural and man-made fibre is secure. Consumption is expected to rise in the next decade by around 30 % shared largely between cotton and synthetics. Neither sector has anything to fear from the other. There are many good opportunities for synthetics. But we need to get our thinking straight, define the market segments where man-mades offer most and go out and promote them to improve the quality of our businesses.

Chemiefasern stellen heute ausgereifte und selbständige Produkte dar und bieten dem Kunden in vielen Bereichen beste Paßform, praktische Vorteile und die größten Möglichkeiten zur Produktdifferenzierung. Trotzdem hat sich die europäische Textilindustrie nicht im gleichen Maße wie andere Industrien weiterentwickelt und investiert nach wie vor zu wenig in die Erforschung der günstigsten Marktsegmente für ihre Produkte.

In der gesamten Branche gibt es eine Unzahl ausgezeichneter Beispiele dafür, daß Chemiefasern in vielen Bereichen die beste Lösung darstellen: von der Bekleidung – Skimode, Strick- und Wirkwaren – bis zu Teppichen und industriellen Anwendungen.

Das Wachstumspotential scheint sowohl für Naturfasern als auch für Kunstfasern gesichert. Der Verbrauch wird im nächsten Jahrzehnt wahrscheinlich um etwa 30 % steigen, wobei sich vor allem Baumwolle und Synthetiks diesen Zuwachs teilen werden. Die beiden Bereiche haben von einander nichts zu befürchten. Für Chemiefasern bieten sich viele gute Möglichkeiten. Doch müssen wir wissen, was wir wollen, die Marktsegmente definieren, in denen die Chemiefasern am meisten zu bieten haben, und aktive Verkaufsförderung für sie betreiben, um unsere Marktposition zu verbessern.

### 1. Theme

Man-made fibres have been with us now for four decades and for much of that time the industry has devoted an unreasonable amount of time and resource to the futile task of duplicating the properties of natural fibres. Time has shown that this is an exceedingly difficult target and failure to meet it has resulted in apologies, excuses and almost single-minded continuation of the same objective.

In a world of rapid technological change one would have expected the European textile industry to have moved much further than it has done to date. Massive changes have taken place in other industries. One of the best examples is the field of electronics and data processing.

Think of the role of the typewriter today. Nobody still uses it, certainly not if they have seen a word processor. The position of our industry could easily be described as analogous to the position of the typewriter in the arena of

data processing. This state of affairs exists even though enormous strides have undoubtedly been made in our various technologies of polymer, yarn and fabric making.

For this conference I want to put forward a theme which is far from being new, at face value is very simple, but which we all have the greatest difficulty in accepting.

- Man-made fibres have come of age in their own right and
- there are many segments of customer need where the best fit, the best advantage and the biggest opportunities for product differentiation came from man-made fibres.

Competition with natural fibres is not productive. Both offer the industry competitive advantages in specific market segments. We all need to get our thinking straight. We need to put much more effort into market segment analysis and product positioning to ensure that we have identified the competitive advantages of our various products. That way we can serve our customers better, maximise our returns, minimise the effects of imports and contribute to a healthy on-going European textile industry.

### 2. Exemplification

There are good examples of successful application of man-made fibres in specific segments. I will concentrate on those where we have direct experience and can talk from strength. Each of you can identify your own best examples.

#### 2.1 Apparel

The textile apparel area is the most difficult to analyse probably because preconceptions there are greatest. In many segments cotton is still perceived as the best material and man-mades are seen as very much second best. The truth is actually quite different. Natural fibres are unquestionably best in a number of market segments. Cotton in underwear and towelling and wool in overcoats and sweaters are perhaps the best examples. But there are numerous and increasingly important areas where man-made fibres offer significant benefits against the end-use criteria. Prime amongst these are hosiery, hose, swimwear and active sportswear.

The most obvious of these is hosiery where no other material can match the performance and appearance of polyamide. The major advantage is the stretch recovery property which allows the garment to fit and retain its shape in wear and wash. Of near equal importance with today's fashion trends are fineness, sheerness and easy dye to any shade. Nothing can match polyamide and nothing really tries!

Polyamide, usually in textured form, is used in socks to provide the fit and shape elements with a spun yarn either natural or man-made providing the bulk and warmth elements.

Without the filament yarn the socks need to be individually sized and retain neither size nor shape. Increasingly 100 % polyamide is being used in sports socks, such as football socks, to give a brightly coloured lustrous garment, capable of being worn and washed over and over again.

Swimwear is an excellent example where appearance, sheen, fit and resistance to degradation are all met by a man-made fibre, again in this instance polyamide.

Most recent and the most rewarding progress has been made in the field of active sportswear where it is essential that the correct aesthetics and performance are engineered into the particular yarn. An excellent example of this is Tactel which has taken 70 – 80 % of the market for top quality ski-wear. Tactel can be described as the *natural fibre for ski-wear*. The demand of that market segment was for a fabric which combined a modern aesthetic with performance and easy care characteristics. Neither cotton nor any available man-made came near to meeting the segment targets. But Tactel certainly does.

Similar demands exist in the market segments of track suits, golf-wear, rainwear and tennis wear.

Mitrelle yarns were designed initially to give very soft, elegant and lustrous fabrics in 100 % form. Now they are finding increasing use as a scaffold for a number of other yarns to obtain a fabric softness not achievable by any other route.

One very powerful example of man-made product advantage in the garment making industry is sewing thread. Even cotton garments are no longer sewn with cotton threads. The deficiencies of cotton threads – and prime among these is that the thread breaks too easily – means that they have been replaced by man-mades – polyester and core spun polyester – in modern high speed sewing equipment.

Lastly, in this market sector is the example of the use of effect fibres. The hand knitting and knitwear segments are the domain of wool and acrylic because they are best suited to the required fabric characteristic of bulk and warmth. But more and more polyamide effect fibres are being used in small proportions to enhance the yarn tactile and visual aesthetics. The effect is achieved by the variations in shape, lustre and colour available from that man-made fibre.

## 2.2 Carpets

The carpet sector is one served by a large number of fibres, some well suited to the end-use, and some quite unsuitable. Wool and polyamide are by far the best fibres for a carpet. Wool is very important in the UK with polyamide dominant elsewhere, particularly in Europe and the USA. The UK industry grew up with wool which is a very good fibre for the domestic segment, particularly using Wilton and Axminster weaving. It has excellent appearance, resilience and soil resistance but only moderate durability. For contract uses however it falls well short of modern polyamides which have been custom designed for this performance segment.

If the carpet industry were to start today from a green field site it would probably be based exclusively on polyamides particularly as the prime carpet making technology would be tufting. Polyamide fibres, based on recent technology advances offer significant competitive advantages (appearance, performance, easy dyeing, differential dyeing) and are in fact the only fibres which satisfy all carpet making technologies and carpet end-use requirements.

## 2.3 Upholstery

Today the dominant upholstery fibre, particularly for the large domestic velour market is acrylic. This choice is based on its lustre, appearance and appearance retention. The fact that its durability is moderate is only of secondary concern. The contract segment is, however, quite another matter. The requirements of durability and fire resistance cannot be met by acrylics and ensure that polyamides, FR viscose, modacrylic and wool/man-made blends are used.

## 2.4 Industrials

In the "industrial" business the acceptance of man-made fibres as the best products for many jobs is already complete.

Sailcloth is manufactured from polyester because of its stability to moisture and its high resistance to stretch. This latter property requirement even opens the door for aramides such as Kevlar in very high performance racing sails.

No parachutist would consider jumping with other than a polyamide parachute lightness and stretch recovery are the competitive advantages of polyamide for this segment.

The tyre industry has identified the needs of its market segments very well. Steel is used for large radials, rayon and polyester for the majority of SR tyres and nylon for high performance (HR/VR) and cross-ply.

## 3. The Future of Man-made Fibres

One thing that we can all be sure of is that the future demand for man-made fibres is secure. There is no doubt that year on year usage will increase.

The industry has grown from virtually nothing in 1950 through 750.000 to in 1960, 5 million tonnes in 1970, 12,5 million tonnes today and is expected to increase at approximately 3 % per annum over the next decade to around 17 million tonnes in 1995. So we have nothing to fear on volume and can therefore put all our efforts into describing the best markets and market segments for our products.

Here too we should have a quick word about natural fibres because their future is also secure, even though their share of the growing market will inevitably decrease. That is best exemplified by table 1 which indicates that in the last 20 years of this century the additional fibre needed to cloth the increasing population will be about 15 million tonnes per year. If that were supplied by cotton then a huge area of agricultural land, equivalent to 1.5 x the area of the UK would be lost to food production. But if man-made fibres took up the deficit that would require a mere 1 % additional annual oil usage.

Table 1: Will MMF usage increase?

World Fibre usage 1980 – 30 M tonnes/yr
2000 – 45
–
Extra fibre needed 15 M tonnes/yr
–

<p>Cotton uses agricultural land Cellulosic MMF use forest land Synthetic MMF use oil</p>
---

Impacts

15 M tonnes/year cotton	15 M tonnes/year man-made fibre
1.5 x area of UK lost to food production, despite extra 1500–2000 M extra mouths to feed	30 M tonnes/year more oil needed to make the fibre, which is only 1 % of the current world annual oil usage

The current glut in world oil consumption makes that seem like nothing and confirms that the real growth will be in man-mades.

Nonetheless, cotton consumption will continue to increase quite significantly from 15 million tonnes today to 20 million in 1995. It will be used, hopefully, in areas where it has a distinct product advantage – underwear, shirting, casual dress-wear, sheeting and towelling and not where man-mades do the job better.

Wool is quite another story. Its usage has been fairly constant for nearly 3 decades. And we should expect its future to remain very stable at ca. 1,7 million tonnes per year, dictated by availability of raw material and processing capacities.

Wool can be looked at as a speciality fibre with a precise package of product advantages notably warmth and appearance and it will remain the number one choice for overcoats, suitings and sweaters. The wool industry has probably completed its market segmentation!



## Aspekte für den Einsatz von Elasthan-Filamentgarn

Dr. Heinz Gall, Bayer AG, Dormagen, Bundesrepublik Deutschland

Elasthane verleihen Textilartikeln erhöhte elastische Dehnbarkeit und Rückstellkraft. Welche Anforderungen solche Artikel außerdem erfüllen müssen und sich hieraus auch für die Elasthane ergeben, soll gezeigt werden.

Am Beispiel der Badebekleidung wird der Weg für Entwicklung und Auswahl eines geeigneten Elasthans abgeleitet.

Ein weiterer Weg einer solchen *Garn-Evolution* folgt aus den Anforderungen für Miederwaren usw.

Ist es deshalb nötig, für jedes Einsatzgebiet nach einem Spezial-elasthan zu suchen? Das ist glücklicherweise nicht notwendig. Die Anforderungsprofile für die größten Einsatzgebiete von Elasthanen sind in den wichtigsten Punkten miteinander vereinbar und können durch *einen* Elasthan-Grundtyp erfüllt werden. Seine mattierte Spielart eignet sich vorwiegend für hochweiße Ware, die transparente Ausführung für farbenfrohe Artikel.

Elastanes increase the elastic extensibility and retractive force of textile fabrics. This paper will show the demands which such articles, and hence also elastanes, have to satisfy.

Using swimwear as an example, the criteria for the development and selection of a suitable elastane will be presented.

The demands made in the field of corsetry etc. provide a further example of the path leading to the *evolution of a yarn* of this type.

Is it therefore necessary to search for a special elastane for each field of application? Fortunately not. The most important demands made on elastanes in the main fields of application are compatible and can be satisfied by *one* basic type of elastane. The dull variety is mainly suitable for pure white goods and the transparent version for coloured articles.

Auf Variation und Selektion, Veränderung und Auslese beruht die Evolution, die Entwicklung der Lebewesen. Dem gleichen Grundgesetz sind im Wirtschaftsleben Firmen und von den Firmen angebotene Produkte unterworfen. Sobald es gelingt, mit einem neuen Produkt die Wünsche des Anwenders besser als bisher zu erfüllen, stellt sich nur noch die Frage, wieviel die Verbesserung kosten darf, damit sich das verbesserte Produkt durchsetzen kann.

So war es beispielsweise mit den seit etwa 25 Jahren zur Verfügung stehenden Elasthanen möglich geworden, feine leichte Kettenwirkware (Abb. 1) hochelastisch zu machen. Daraus gefertigte Badeanzüge legen sich faltenlos wie eine zweite Haut um den Körper und machen die Bewegungen reversibel mit. Kein Wunder, daß bald bei der Badebekleidung die bis dahin eingesetzten Strick- und Kettenwirkwaren ohne Elasthan fast ganz vom Markt verschwanden.

Die auf die Ware übertragenen Haupteigenschaften der Elasthane (ihre reversible Dehnbarkeit und ihre Rücksprungkraft) bedeuteten einen so entscheidenden Fortschritt, daß nicht nur die Vertueuerung des Artikels durch die vergleichsweise teuren Elasthane, sondern auch die kompliziertere Herstellung beim Wirkprozeß, beim Färben und Ausrüsten der Ware und beim Konfektionieren in Kauf genommen wurde.

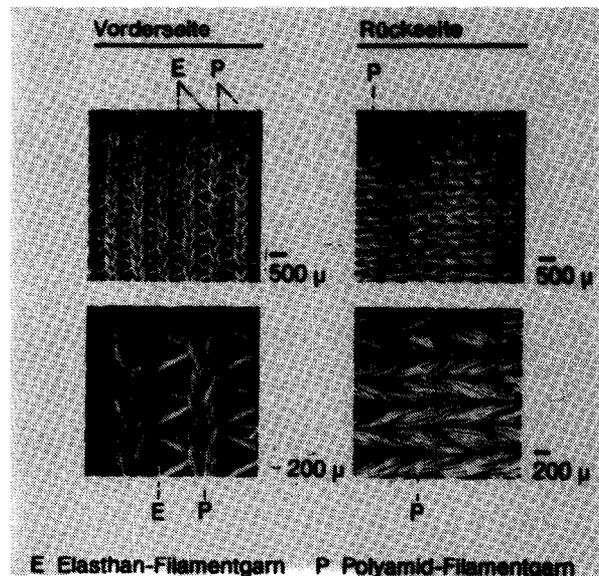


Abb. 1: Kettenwirkware (Charmeuse mit Elasthan, 45 dtex)

Da sich die handelsüblichen Hochmodul-Elasthane in Dehnbarkeit und Rückstellkraft nur wenig unterscheiden (Abb. 2) und die erreichbare Elastizität des Artikels den Anforderungen der Verbraucher genügt, die gewünschte Funktion also in jedem Falle gegeben ist, ist es nur folgerichtig, wenn seither das Augenmerk der Anwender sich auf die Eigenschaften richtet, die neben der Elastizität durch Elasthane in den Artikel kommen und sein Gesicht und Verhalten mitprägen. Die wichtigste dieser so umrisenen *Nebeneigenschaften* bei Badebekleidung ist zweifellos ihre Haltbarkeit, die in vielen Fällen vom Elasthan begrenzt wird. So können Chlorwasser oder Sonnenlicht oder – noch stärker – beides zusammen, Oxidationsvorgänge auslösen, welche im Laufe der Zeit zu einem Festigkeits- und Dehnbarkeitsabfall bei den Elasthanen führen können.

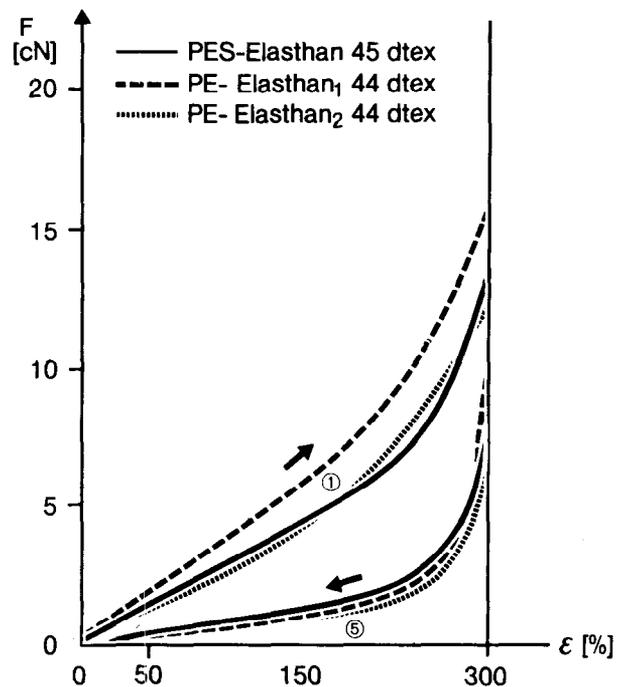


Abb. 2: Elastizitätsverhalten verschiedener Elasthane

Als erster wichtiger Aspekt für die Wahl des Elasthans sollen daher die chemischen Beständigkeiten betrachtet werden, für Badebekleidung ist besonders die Chlorbeständigkeit wichtig. Die Ergebnisse eines groß angelegten Trageversuchs zur Haltbarkeit von Badebekleidung sollen diesen Fragenkomplex abschließen.

Nach Funktion und Haltbarkeit steht als dritter Gesichtspunkt die Schönheit des Artikels. Deshalb soll im Anschluß gezeigt werden, daß Elasthan das Aussehen von Badebekleidung beeinflussen kann.

Schließlich soll der Schönheitsaspekt noch in einem anderen Einsatzgebiet für Elasthan, dem der Miederwaren, angerissen werden, bevor – in einer Übersicht zusammengestellt – alle wichtigen Anforderungen an Elasthane, jeweils für alle Einsatzgebiete aufgeschlüsselt, genannt werden und gezeigt wird, wie diese Anforderungen zu erfüllen sind.

**1. Der Haltbarkeitsaspekt**

Empfindlicher Bestandteil des aus Hart- und Weichsegmenten aufgebauten Elasthan-Moleküls (Abb. 3) ist eindeutig das Weichsegment. Üblich sind hier spezielle Polyether oder Polyester. Dabei bieten die Polyether höhere Sicherheiten gegen den Abbau durch Hydrolysevorgänge, Polyester die höhere Resistenz gegen Oxidationsvorgänge. Das wird im einzelnen durch die Tabelle 1 belegt. Scharfe anorganische Säuren und Laugen, besonders bei erhöhter Temperatur, schädigen Ester-Elasthane schneller als Ether-Elasthane. Die Resistenz gegen Fotooxidation und gegen Chlorwasser hängt bei Polyether-Elasthanen in stärkerem Maße von der speziellen Stabilisierung durch Additive als bei Ester-Elasthanen ab (worüber besonders die Behandlungen 8, 9, 10 und 4 Aufschluß geben).

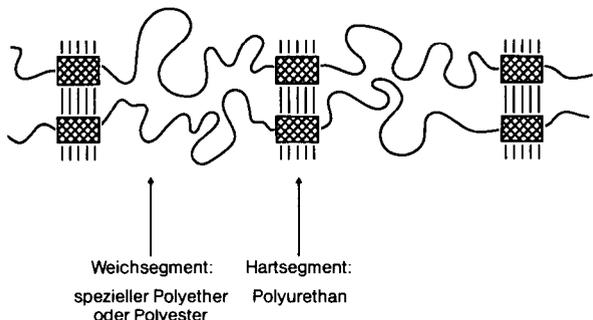


Abb. 3: Struktur von Elasthan-Molekülen

**1. 1 Chlorbeständigkeit**

Bei der Stabilisierung von Chemiefasern durch Additive stellt sich immer die Frage, inwieweit der erzeugte Schutz auch die Färbung und Ausrüstung der Artikel übersteht. Die Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse eines Versuches zur Bestimmung der Chlorbeständigkeit nach verschiedenen Blindfärbbehandlungen, denen die Elasthan-Fäden labormäßig unterworfen waren. Das Ergebnis läßt sich wie folgt interpretieren: Durch das Einspinnen von Zinkoxid gelingt es, auch Ether-Elasthane herzustellen, welche nach Färbung in normalem pH-Wertbereich eine den Ester-Elasthanen ebenbürtige Chlorbeständigkeit haben<sup>1</sup>. Lediglich bei zu saurer oder zu langer Färbezeit im pH-Grenzbereich bieten die Ester-Elasthane weiterhin die größere Sicherheit.

**1. 2 Ergebnisse eines Trageversuchs zur Haltbarkeit von Badebekleidung**

Interessant in diesem Zusammenhang ist auch das Ergebnis eines Langzeittrageversuches von Badebekleidung bei

einem Schwimmsportverein in Dormagen. Dabei ist zu beachten, daß die effektive Haltbarkeit von Badeanzügen im Gebrauch keineswegs nur auf die Chlorbeständigkeit zurückzuführen ist. Im Gebrauch wirken auch noch andere schädigende Einflüsse.

**Tabelle 1: Chemische Beständigkeit von Elasthan**

Nr.	Behandlung in	bei Konzentration	bei Temperatur	Dauer Std.	Festigkeitsabbau Polyether-Elasthan	Polyester-Elasthan	Bemerkungen
1	HCL	10%	20°C	24	gering	stark	
2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10%	20°C	24	gering	stark	
3	CH <sub>3</sub> COOH	10%	20°C	24	kein	kein	
4	Chlor-Wasser	20 mg/l	20°C	24	stark <sup>2)</sup> gering <sup>3)</sup>	gering	geringe Vergilbung
5	NaOH, dann spülen, absaugen, spülen	25%	20°C	5 min.	kein	kein	
6	extrahieren mit Perchloräthylen (siedend i. Soxhlet)				stark (z. T.)	gering	zusätzlich von Provenienz abhängig
7	Benzin-Reinigung				gering	kein	
8a	Xeno-Test <sup>1)</sup>			50	gering	gering	geringe Vergilbung
8b	Xeno-Test <sup>1)</sup>			100	stark	gering	geringe bis mäßige Vergilb.
9	Xeno-Test <sup>1)</sup> nach Behandlung 6			50	total	stark	Vergilbung
10	Xeno-Test <sup>1)</sup> nach Behandlung 7			50	stark	mäßig	Vergilbung

<sup>1)</sup>Typ Hanau 450 <sup>2)</sup>ohne <sup>3)</sup>mit spez. Chlorstabilisator

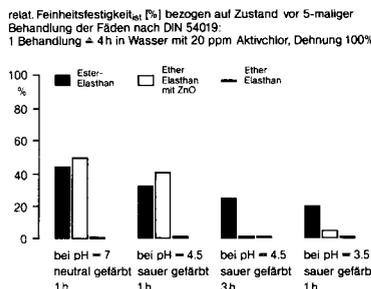


Abb. 4: Chlorbeständigkeit von Elasthanen, 45 dtex

Für den Versuch wurden zwei gleichartige Charmeusekettenwirkrohwaren, die alternativ ein Ester-Elasthan oder ein gegen Chlor mittels Zinkoxid stabilisiertes Ether-Elasthan enthielten, gemeinsam je zur Hälfte in einem pH-Bereich > 4,5 mit einer Färbedauer von einer bzw. drei Stunden in einem brillanten Blau eingefärbt. Von den aus den vier Fertigwaren hergestellten Badeanzügen und Badehosen wurde jedem Schwimmer je ein Badeanzug jeder Sorte zugeordnet, in rollendem Wechsel für das Training zur Verfügung gestellt und am Folgetag eingesammelt, gewaschen und auf Beschädigungen kontrolliert. Der Trageversuch wurde im Januar 1984 gestartet. Die Abbildung 5 zeigt das Ergebnis Anfang Juni 1986. In den verlorengegangenen oder aus organisatorischen Gründen aussortierten Badeanzügen war in allen Fällen das Elasthan zum Zeitpunkt des Ausscheidens noch unzerstört und funktionsfähig. Elasthan-Zerstörungen sind in den mehr als zwei Jahren nur bei den Waren mit Ether-Elasthan beobachtet worden. Bei der Wertung dieses Ergebnisses ist anzumerken, daß etwa ab 50 Tragetagen (was etwa 100 Stunden im Wasser entsprach) die blaue Farbe der Anzüge schon ziemlich stark ausgebleicht ist.

Nachdem im Markt als Folge des Wettbewerbsdrucks auch Ether-Elasthane zur Verfügung stehen, die für den Normalfall in Badebekleidung eine Haltbarkeit bieten, bis (bei nicht besonders echten Färbungen der Polyamid-Grund-

ware) die Schönheit des Artikels schon merklich gelitten hat, ist es verständlich, daß sich das Interesse der Anwender von der Haltbarkeit weg der Schönheit der Artikel zuwendet.

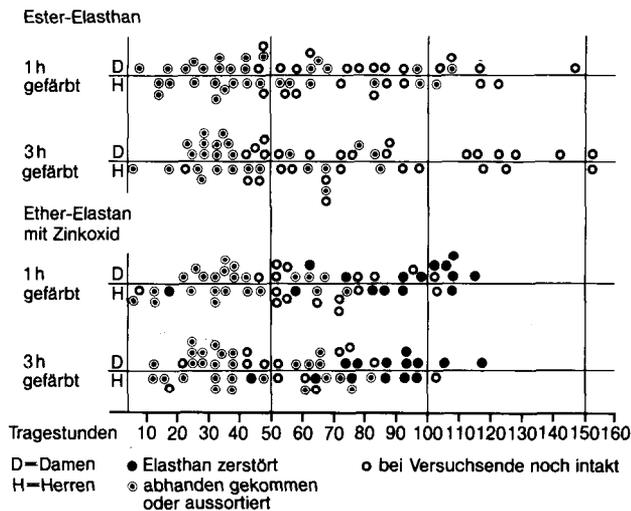


Abb. 5: Trageversuch: Schwimmbekleidung, vom 19. 1. 1984 - 5. 6. 1986

## 2. Der Schönheitsaspekt bei Badebekleidung

Erfahrungsgemäß werden für die Badebekleidung klare, frohe Farben bevorzugt. Gerade beim Einsatz in farbenfrohe Ware entstanden durch die bis etwa 1982 fast ausschließlich angebotenen tiefmattierten Elasthane für den Färber Probleme. Zunächst muß die Färberezeptur natürlich in erster Linie auf das unelastische Grundgarn des Artikels ausgerichtet sein. Wird ausschließlich dieses angefärbt, so entsteht abhängig von der Warenkonstruktion beim Verdehnen der Ware ein unschönes Bild, wenn das weiße Elasthan sichtbar wird. Nun kann durch Zugabe affinitätsausgleichender Färbehilfsmittel oder in schwierigen Fällen durch einen separaten Färbegang das Elasthan fast Ton-in-Ton mit dem Grundgarn angefärbt werden. Doch ist wegen des hohen Anteils an Titandioxid der Farbausfall bei einem mattierten Elasthan immer etwas milchig verwaschen. Darüber hinaus wird durch Anfärben des Elasthans in den meisten Fällen die Farbechtheit des Artikels vermindert.

Dagegen ist ein transparentes Elasthan, sei es angefärbt oder nicht, im farbigen Artikel praktisch unsichtbar. Damit der Artikel die bestmögliche Farbechtheit erhält, empfiehlt es sich dann, nach Farbstoffen zu suchen, die nicht auf das Elasthan aufziehen, es möglichst nicht einmal anschnutzen. Der Farbausfall des Artikels wird trotzdem klar und brillant, schöner als bei Einsatz eines Matt-Elasthans, selbst wenn dieses Ton-in-Ton mit dem Grundgarn angefärbt ist.

Hierzu die Ergebnisse eines Versuches (Tab. 2):

- Kettenwirkware mit 80 % Polyamid und 20 % mattiertem Elasthan wurde rot und blau eingefärbt. Dabei wurde durch Zugabe affinitätsangleichender Färbehilfsmittel eine Ton-in-Ton-Färbung des Elasthans mit dem Polyamid erzielt.
- Kettenwirkware mit 80 % Polyamid und 20 % transparentem Elasthan wurde in den gleichen Farben gefärbt. Dabei wurde das Elasthan bewußt nicht angefärbt. Der Nichtanfärbung des Elasthans wurde durch 20 % verringerte Farbstoffmenge Rechnung getragen.

Trotz geringerem Farbstoffverbrauch wirkte die Ware mit dem transparenten Elasthan farbintensiver und brillanter.

Dieser Effekt ließ sich auch durch Remissionsmessungen klar belegen. In Abbildung 6 sind die Farborte der vier Waren in einer Cie-Normfarbtafel aufgetragen. Da die Normfarbtafel sämtliche Farbtönungen umfaßt, gewissermaßen eine „Weltkarte der Farbtöne“ darstellt, es hier jedoch auf feinere Unterschiede ankommt, sind die Umgebungen der beiden Farblagen in zehnfacher Ausschnittvergrößerung dargestellt. Für beide Farben liegen die Farborte der Charmeuseware mit dem transparenten Elasthan in größerer Entfernung vom Unbuntpunkt. Die Ware mit dem transparenten Elasthan ist farbiger.

Tabelle 2: Rezept für Färbung in zwei Standardfarben (Beispiele)

Ware mit 20% Elasthan 45 dtex	rot	Färbung	blau
A matt	1 % *Avolan IW 2 % *Astragal PAN 2 % *Telon-Echtrrot ER		1 % *Avolan IW 2 % *Astragal PAN 1,25% *Telon-Echtblau ARW 1,25% *Telon-Echtblau ESN
	pH 5		pH 5
B transparent	1 % *Levegal FTS 1,6% *Telon-Echtrrot ER		1 % *Levegal FTS 1 % *Telon-Echtblau ARW 1 % *Telon-Echtblau ESN
	pH 4,5		pH 4,5

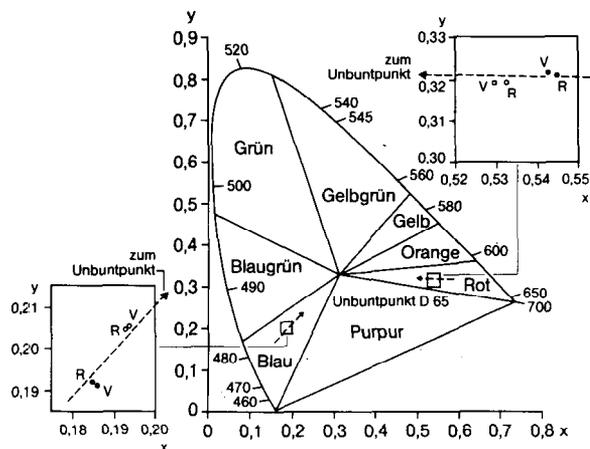


Abb. 6: Farbwertanteile von Vorderseite (V) und Rückseite (R) gefärbter Charmeuse-Kettenwirkwaren mit ● transparentem und o mattiertem Elasthan in (x, y)-Cie-Normtafel, Ausschnittvergrößerung 10fach

Die wichtigsten Echtheiten der Färbungen sind in Tabelle 3 einander gegenübergestellt. Die stärkste Echtheitsverbesserung ist hier bei der Rotfärbung eingetreten. Bei den blauen Mustern ist vor allem die Echtheitsverbesserung gegen alkalischen Schweiß deutlich.

Tabelle 3: Im Färbeversuch erzielte Echtheiten

Farbe	Elasthan	Lichte-echtheit Xenotest DIN 54004	Wäsche 40°C DIN 54014	Wasser schwer DIN 54006	Schweiß sauer DIN 54020	Schweiß alk. DIN 54020	Chlorbade-wasser DIN 54019
		a b c	a b c	a b c	a b c	a b c	a
rot	matt	4	4-5 4-5 4-5	4-5 4 4	4-5 4-5 4	4 3 3	4
rot	transp.	4-5	4-5 5 5	4-5 5 5	4-5 5 4-5	4-5 4 4	4-5
blau	matt	5	5 5 5	5 4-5 5	5 5 5	5 4 4	4-5
blau	transp.	6	5 5 5	5 5 5	5 5 5	5 5 5	4-5

a = Farbtonänderung  
b = Anbluten weißes PA  
c = Anbluten weiße Baumwolle

Transparente Elasthane bringen also für das Auge keine unerwünschten Nebeneigenschaften in den Artikel, anders als matte Elasthane, und kommen damit dem Ideal einer Elasto-Faser ohne *Nebeneigenschaften* wenigstens aus einer bestimmten Sicht schon sehr nahe. Welche Möglichkeiten ergeben sich aber hieraus für unsere beiden Elasthan-Typen für Badebekleidung?

Je nach eingesetzter Menge an Titandioxid läßt sich bei dem Polyester-Elasthan jeder beliebige Transparenzgrad vom glasklaren völlig unmattierten Elasthan bis zum tiefmatten weißen Elasthan wählen. Das Optimum liegt dort, wo der Elasthan-Faden im Gewirke aus dunkel angefärbtem Polyamid weder weiß durchgrinst, noch durch übermäßiges Glitzern (bei der glasklaren unmattierten Spielart) auffällt. Dieses Optimum läßt sich durch ganz geringe Mattierung, im Jargon sagen wir *Spurmattierung*, erreichen. Nicht so bei dem gegen Abbau durch Chlor durch ca. 3 % Zinkoxid geschützten Ether-Elasthan. Auch ohne Titandioxid, allein durch das weiße Pulver Zinkoxid, entsteht ein wenig transparentes halbmattes Elasthan.

Während beim Einsatz eines in dieser Weise hochentwickelten Ester-Elasthans die Funktion der Elastizität, gute Haltbarkeit und optimale Schönheit des Artikels miteinander vereinbar sind, muß bei Einsatz eines gegen Chlor geschützten Ether-Elasthans in der Transparenz des Elasthans und damit in der Klarheit der Farbe, der Schönheit des Artikels, ein Zugeständnis gemacht werden.

### 3. Ein Schönheitsaspekt für Miederwaren

Anders als bei Badebekleidung herrschen bei Miederwaren Weiß oder Pastellfarben vor. Hier wird ein deckend weiß mattiertes Elasthan Vorteile bieten. Das Weiß der Artikel ist bei längerer Lagerung besonders durch die Einwirkung Stickoxid-haltiger Abgase gefährdet. Bei der Stabilisierung gegen diesen Schönheitsmangel wirken erfahrungsgemäß bei Ester-Elasthanen schon einfachere Produkte als bei Ether-Elasthanen. Die Echtheiten weißer Artikel mit einem in dieser Hinsicht optimierten Ester-Elasthan werden bei identischem Aufbau des Artikels mit keinem verfügbaren Ether-Elasthan überboten.

### 4. Schlußfolgerung

In Tabelle 4 sind nun für ihre wichtigsten Einsatzgebiete die Anforderungen an Elasthane aufgelistet. Dabei kommt es darauf an, daß jeweils nicht nur eine Forderung, sondern die Kombination der geforderten Eigenschaften erfüllt wird. Alle aufgelisteten Kombinationen von Anforderungen werden von einem Ester-Elasthan erfüllt. Seine transparente Ausführung eignet sich für alle farbenfrohen Artikel, seine matte Spielart für weiße oder pastellfarbene Ware. Hersteller des Produktes ist die Bayer AG, sein Markenname ist Dorlastan®.

Tabelle 4: Einige wichtige Anforderungen an ein Elasthan

Anforderung	Wäsche	Badebe-Strumpf- kleidung bund	Bänder	Oberbekleidung (gewebt)
hohe Rückstellkraft		•	•	•
hohe Elastizität	•	•	•	•
hohe Erweichungs- temperatur (thermisches Ver- formen problemlos)		•		
gezielte Thermofixier- barkeit	•	•	•	•
gute Abgasechtheit (NO <sub>x</sub> , DIN 54025)	•	•		•
gute Beständigkeit gegen gechlortes Wasser		•		
Licht		•		•
Sonnenschutzmittel u. kosmetische Öle		•		
Hautfette (Squalen, Linolsäure- methylester)	•	•	•	•
chemische Reinigung Perchloräthylen (Lösungsmittelwäsche)		•	•	•
gute Anfärbbarkeit oder besser Transparenz		•	•	•

### Literatur

- 1) DE 31 24 197, Du Pont: Chlorbeständige Spandexfasern

### Diskussion

**Meckel:** Man weiß, wie problematisch Gebrauchsversuche sind. Gab es für die Versuchsperson eine Anweisung für das Ausspülen des Badeanzuges oder wurde das jedem selbst überlassen?

Zweitens: Sie sagten, bei dem einen Versuch sind relativ viele Stücke verlorengegangen oder aussortiert worden, obwohl sie alle in Ordnung waren. Wie konnten Sie das bei denjenigen, die verloren gegangen waren, überprüfen?

Eine wichtige Abschlußfrage: Empfehlen Sie das Esterelasthan für Badebekleidung?

**Gall:** Natürlich sind Trageversuche mühsam durchzuführen und schwer auszuwerten. Wir haben einerseits versucht, so praxisnah wie nur möglich zu sein, d. h., wir haben den Trägern keine Pflegeanweisungen gegeben. Andererseits wollten wir genau sein, was relativ schwierig ist, weil die Träger nicht genau sind. Dazu wurden die Artikel jeweils an dem Tag ausgegeben, an dem trainiert wurde. Am Folgetag wurden die Artikel eingesammelt, so wie sie waren. So verfahren wir über zweieinhalb Jahre. Während dieser Zeit sind die verschiedensten Vorfälle passiert, z. B. ist in der Badeanstalt eingebrochen worden, wodurch Badeanzüge verlorengegangen sind. Aussortiert mußten Anzüge beispielsweise deshalb werden, weil Träger aufhörten zu trainieren, weil sie zu faul waren. Der Badeanzug und das Elasthan waren aber in Ordnung. Bei anderen Anzügen sind Nähte aufgegangen oder es entstanden Hakenrisse, die das Elasthan aber in keiner Weise betrafen. Meine Aussage über den intakten Zustand bezog sich also nur auf das Elasthan, das mußte intakt sein. Zu Ihrer Schlußfrage: Wir sind Hersteller eines Esterelasthans und sind überzeugt, daß wir damit auf dem richtigen Produkt sind. Daher ist es unsere Empfehlung, Esterelasthan zu verwenden.

**Riggert:** Sie zeigten ein KD-Diagramm, und wenn ich mich richtig erinnere, war bei 300 % Dehnung praktisch nur sehr wenig bleibende Dehnung vorhanden. Was passiert, wenn man jetzt stärker dehnt, da wird ja die bleibende Dehnung zunehmen?

**Gall:** Die 300 % bei der Dehnungs-Pendel-Prüfung ist eine fast genormte Grenzbelastung, die ungefähr zwei Drittel der gesamten Dehnbarkeit des Elasthans ausmacht. Wenn man ein besonders langzügiges Elasthan hätte – es gibt solche – oder einen Gummifaden, dann könnte man vielleicht auch bei 400 % arbeiten. Im Gebrauch wird im Artikel diese 300 %-Dehnung nicht überschritten, das heißt, dieser Bereich umfaßt den Arbeitsbereich.

**Riggert:** Läßt sich, wenn eine bleibende Dehnung entsteht, diese bei Erwärmung zum Teil wieder abbauen?

**Gall:** Diese Frage muß ich zweiteilen: Natürlich wird in einem Elasthanfaden eine bleibende Dehnung, die durch Beanspruchung entstanden ist, im Laufe einer spannungslosen Lagerzeit wieder, zumindest teilweise zurückgehen. Im Artikel ist die Sache aber erheblich komplizierter, denn man hat das gesamte Gefüge des Artikels, in dem Reibung entsteht. Es hängt also in enormem Maße von der Konstruktion des Artikels ab, ob eine bleibende Dehnung zurückbleibt oder nicht. Webwaren sind hier ideal; weniger ideal sind Maschenwaren. In den Webwaren liegt der Elasthanfaden gerade, in den Strickwaren ist er krumm verformt, so daß die Kraftrichtung nicht ideal ist. Maschenwaren werden daher immer eine höhere Restdehnung haben als Webwaren. Bei Elasthanen selbst liegt die bleibende Dehnung nach fünf Pendelzyklen mit 300 % Dehnung im Bereich von 17 – 20 % absolut.

## High Strength/High Modulus Polyethylene Fibers

Ir. R. Kirschbaum, DSM Research BV,  
Dr. H. Yasuda, Toyobo Research Center,  
Ir. E. H. M. van Gorp, Dyneema VoF, P.O. Box. 599,  
6130 AN Sittard, Niederlande

Die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften durch Orientierung und Kettenverlängerung ist während der letzten Jahrzehnte eines der erheblichsten Forschungsthemen im Polymerbereich geworden. Hauptgegenstand der Untersuchungen war hierbei lineares Polyethylen großer Dichte, und zwar wegen seiner extrem hohen theoretischen Festigkeit und Steifigkeit.

Als ganz besonders geeignet zur Herstellung synthetischer Fasern mit außergewöhnlichen Festigkeits- und Modulwerten sowie besserem Kriechverhalten im Vergleich zu den aus der Schmelze gesponnenen Fasern erwies sich das Lösungsspinnen, und zwar ganz besonders das von DSM in den späten siebziger Jahren erfundene *Gelspinning*-Verfahren.

Auf das Gewicht bezogen, sind die gelgesponnenen Fasern über zehnmal zugfester als Stahl und etwa doppelt so stark wie Aramide; ihre Steifigkeit entspricht etwa derjenigen von Kohlenstofffasern. Darüber hinaus besitzen die mit Hilfe des Gelspinnverfahrens hergestellten synthetischen Fasern ausgezeichnete Abriebfestigkeit und Dauerbiegefestigkeit sowie hohe Bruchenergiewerte und überlegene Schlagzähigkeit.

Die Fasern bieten außerdem die Vorteile des Polyethylens, wie UV- und Chemikalienbeständigkeit.

Diese Überlegenheit der gelgesponnenen Polyethylenfasern im Vergleich zu anderen Hochleistungsfasern wird in folgenden Anwendungsbereichen erläutert: Seile und Angelschnüre, leichte Gewebe (Segel), Ballistik (kugelsichere Westen und Platten) sowie Verbundwerkstoffe mit erhöhter Schädigungstoleranz.

Es wird ein Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen in bezug auf die Anwendungsbereiche dieser hochfesten Polyethylenfaser gegeben, deren Vermarktung in enger Zusammenarbeit zwischen DSM (Niederlande) und Toyobo (Japan) betrieben wird.

Improvement of mechanical properties of polymers by orientation and chain extension has become a major research topic during the last decades. The prime candidate for these investigations has been linear high density polyethylene because of its extremely high theoretical strength and stiffness.

Solution processing, and more specifically the *gel-spinning process* – as invented by DSM in the late seventies – has proven to be an outstanding technology to produce fibers with ultra-high strength and moduli and low levels of creep compared to fibers made by melt processing techniques.

Based on weight, gel spun polyethylene fibers are more than 10 times stronger than steel, about twice as strong as the aramids, while their stiffness approaches that of carbon-fibers.

Moreover gel-spun polyethylene fibers exhibit excellent abrasion and flexural resistance, high values for work to break and superior impact properties.

The fibers exhibit the inherent advantages of polyethylene such as UV and chemical resistance.

These outstanding characteristics of gel spun polyethylene fibers compared with other high performance fibers will be highlighted in applications such as: ropes and fishing lines, light weight fabrics (sails), ballistics (bulletproof vests, hard armor), and composite structures with improved damage tolerance.

The future outlook for developments in applications for these high strength polyethylene fibers, being marketed in cooperation between DSM (Netherlands) and Toyobo (Japan), will be given.

## 1. Introduction

### 1.1. Research

Improvement of mechanical properties of polymers by orientation and chain extension has become a major research item during the last decades.

High density polyethylene was the prime candidate for these investigations, because of the highest theoretically attainable strength and modulus (Tab. 1).

Table 1: Mechanical properties of polymers

Polymer.	Theoretical		Commercial	
	Modulus (N/tex)	Strength (N/tex)	Modulus (N/tex)	Strength (N/tex)
PE	250-300	27-33	10	0.8
PP	35-50	~ 20	12	0.8
PVA	180-200	~ 21	27	1.0
PAN	150	~ 19	17	0.8
PAM-6	~200	~ 28	5	0.9
PET	80-100	~ 23	11	0.9
ARAMID	130	~ 23	90	2.0

The flexible/regular chains tend to fold during solidification, whereas chain extension is needed to exploit the intrinsic potential stiffness of a covalently bonded array of atoms (Fig. 1).

Dyneema SK60  
Crystallinity >70%



Normal PE  
Crystallinity <60%



Fig. 1: Fibre structure

### 1.2. Developments

The transformation of folded chain crystals (Fig. 2) into extended chain type structures has been of major interest to polymer scientists.

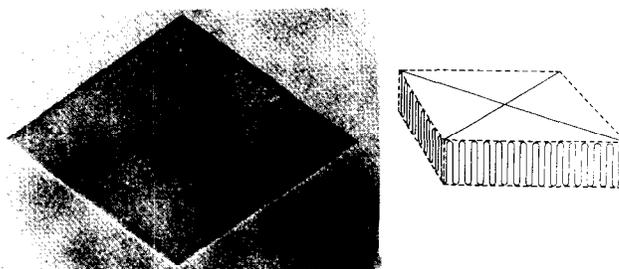


Fig. 2: Single crystal

Apart from the progress in meltspinning (Ward-Celanese-SNIA), which is outside the scope of this lecture, an important observation was that more or less oriented, so called, "shish-kebabs" could be produced by means of stirring-induced crystallization from dilute solutions (Fig. 3).

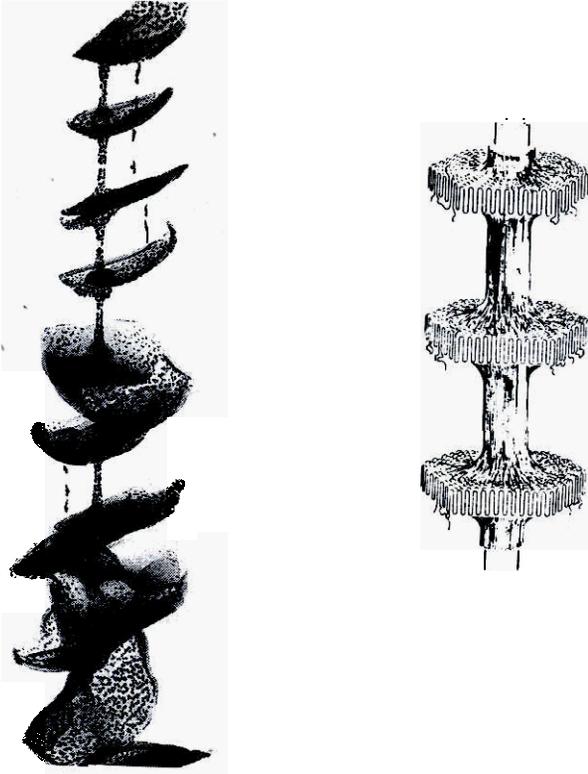


Fig. 3: Shishkebab structure

Solution spinning/ultra drawing of high molecular weight polyethylene proved to be a major technological breakthrough.

The basic principles of this process – now often referred to as “gel-spinning” (because of the gel-like appearance of the as spun/quenched filaments, figure 4) – were established in the late seventies at DSM Central Research

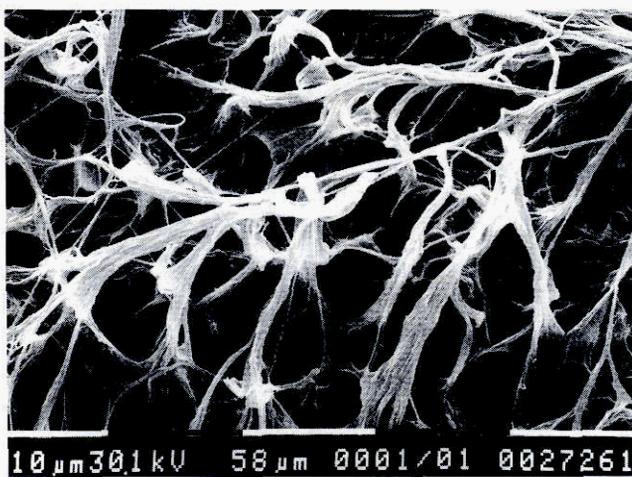


Fig. 4: As spun/quenched filament

The prime observation was that solution-spun/cast ultra high molecular weight polyethylene, even after complete removal of solvent, is ultra drawable compared with melt-crystallized samples of identical chemical composition. As the drawing ratio is raised the strength and modulus are increased (Fig. 5).

1.3. Activities

Since the invention of the gel spinning-process and patent filing by DSM in 1979, several companies have proceeded

with commercialization of the fiber (Table 2). Dyneema VoF, a joint venture between DSM and Toyobn formed in May 1986, is using UHMW-PE and a volatile solvent to produce high performance polyethylene fibers. These are characterised by high strength and modulus and good long term mechanical properties as will be discussed later.

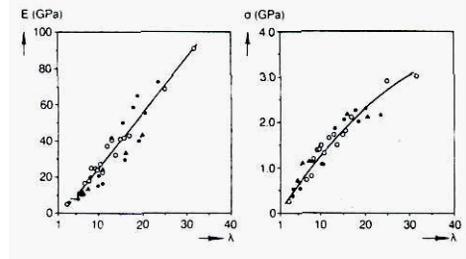


Fig. 5: Modulus/strength v. s. draw ratio; Stamicarbon USP 4, 422,993

Table 2: Actual status high strength PE fibres

Company	DSM+ Toyobo	Allied	Mitsui
Mol. Weight (g/mole)	~ 2×10 <sup>6</sup>	~ 2×10 <sup>6</sup>	≤ 1×10 <sup>6</sup>
Probable Solvent	Volatile	Paraffin Oil	ParaffinWax
Longterm-properties	++	+	-

2. Properties of High-Performance Polyethylene Fibers

2. 1. Strength and Modulus

Figure 6 shows the specific strength/modulus of polyethylene and some well known inorganic and organic fibers.

Polyethylene fibers cover the range from 1N/tex strength and 25 N/tex modulus upwards, going gradually from melt-spun polyethylene fibers to gel spun-high performance fibers.

The practical range for Dyneema SK 60 is > 3 N/tex specific strength and > 100N/tex specific modulus.

The stress-strain behaviour is given in figure 7.

Dyneema SK 60 shows the highest specific strength, of all man-made fibers at an elongation of approximately 3.5%, and its modulus is reaching the stiffness of HS carbon fibers.

2. 2. Impact Properties

In figure 8 impact properties of various fibers, measured according to JIS 4013, are compared.

Due to the high strength and modulus, Dyneema SK 60 has the highest energy to break, even at low elongation.

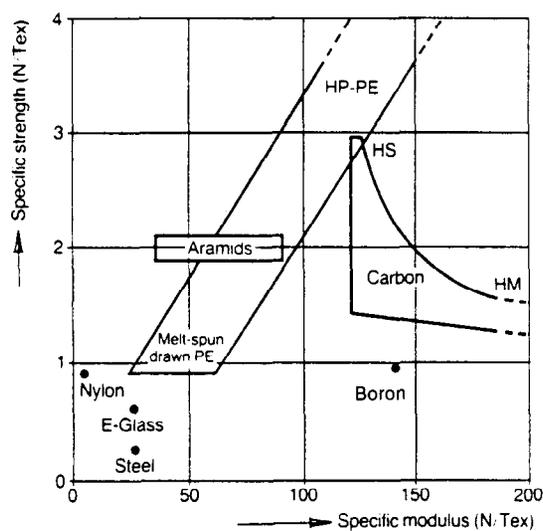


Fig. 6: Specific strength v. s. specific modulus

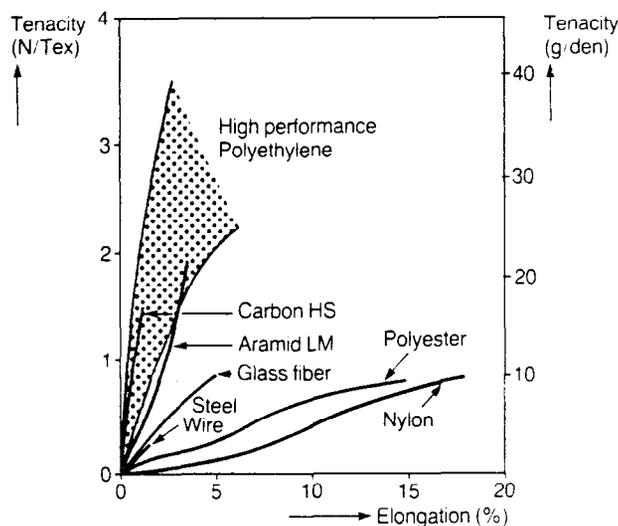


Fig. 7: Stress - strain behaviour

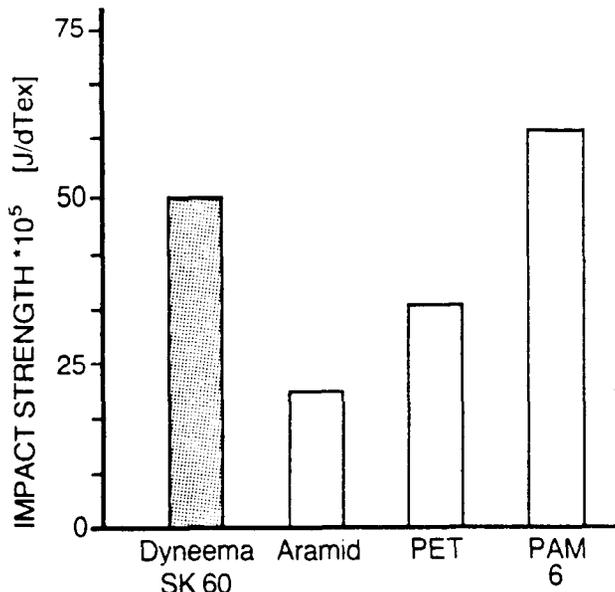


Fig. 8: Impact strength of yarns

2. 3. Processability

Loops and knots in glass and carbon fibers cause breakage and must be avoided. Also aramids tend to show filament breakage in loops and knots, whereas Dyneema SK 60 can be bent and knotted without breakage (Fig. 9, 10).

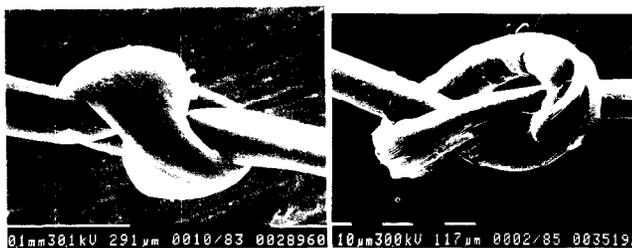


Fig. 9: Knotstrength



Fig. 10: Loopstrength

Because knots and loops affect the strength of all fibers, the knot strength and loop strength of some important fibers are given in table 3, in absolute values as well as in percentage of the original strength.

Table 3: Loopstrength/knotstrength

Material	Loopstrength		Knotstrength	
	N/tex	%	N/tex	%
Dyneema	1.3-2.0	40-65	1.1-1.7	35-55
Aramid	0.9-1.5	40-75	0.6-0.8	30-40
Carbon	0.01	~ 1	0	0
PET	0.6-0.7	70-75	0.4-0.5	50-60
PAM-6	0.6-0.7	70-75	0.5-0.6	60-65
PP	0.6-0.7	85-95	0.4-0.5	60-70

The highest value is reached by Dyneema SK 60, one of the reasons for its excellent potential particularly for ropes and cables as will be discussed later.

Due to the low friction coefficient (engineering plastics of the same polymer are famous for this) the abrasion resistance (JIS L1095-7.10.2) of Dyneema SK 60 is absolutely superior to other high performance fibers and approaches that of the commodity fibers such as polyester and nylon (Fig. 11).

Whereas the loop strength of polyethylene fibers is good, Dyneema SK 60 is also less vulnerable to repeated bending expressed in "flex-life", as measured according to JIS L-1095, 7.10.2 (Fig. 11).

2. 4. Light Resistance

It is a well established fact that due to the aromatic-amide structure aramids are sensitive to degradation by UV light, requiring the protection of aramid yarns, fabrics and ropes from direct exposure to sunlight.

Polyethylene being the base material, Dyneema SK 60 will only very gradually show some strength reduction as demonstrated in figure 12, where yarns have been exposed to artificial sunlight. An exposure time in this artificial environment of 1500 hrs will correspond to at least 1 year of outdoor exposure.

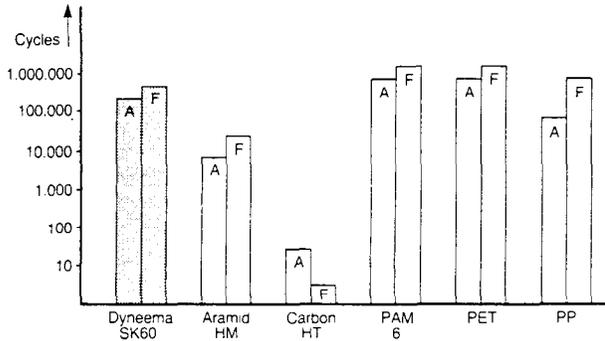


Fig. 11: Abrasion resistance/Flexlife

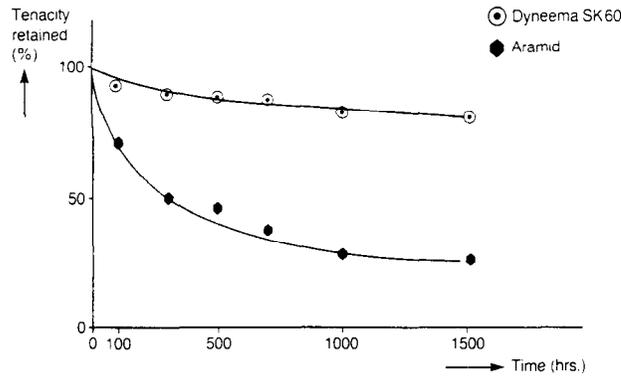


Fig. 12: Light resistance (Fadometer)

2. 5. Chemical Resistance

Due to the simple chemical structure of polyethylene with -C-C- and -C-H- bonds only, no chemical groups are available for attack in aggressive conditions. In figure 13 the effect of pH on the strength retention is compared for Dyneema SK 60 and aramid.

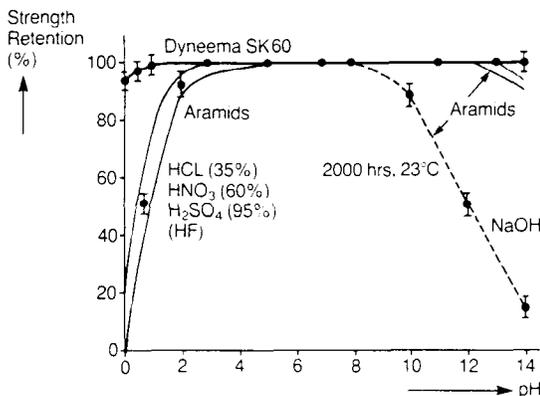


Fig. 13: Chemical resistance

Ropes made from Dyneema SK 60 will therefore not lose their strength due to contact with acids/alkali or polluted seawater. Filter cloth for filtration of various chemicals can be made from Dyneema SK 60.

2. 6. Thermal Properties

a) Annealing:

Dyneema SK 60 melts between 145° and 155° C, depending on the applied stress, it will however tolerate temperatures close to the melting point for short periods as shown in figure 14. This enables the reinforcement of composites with high performance polyethylene fibers up to a curing temperature of the resin of approximately 130° C.

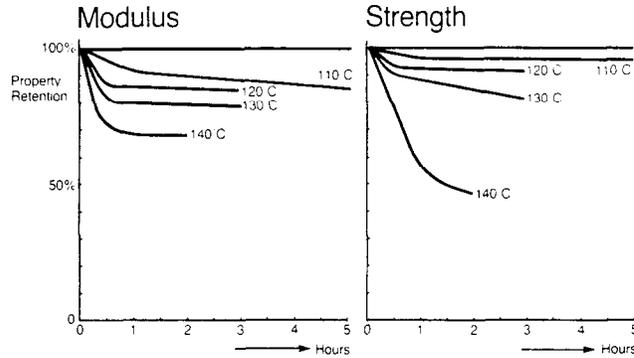


Fig. 14: Short term thermal exposure

In composites, as will be discussed later, the use of polyethylene yarns or fabrics will make it possible to attain considerable weight savings.

b) Properties versus temperature:

The strength and modulus of polyethylene as a function of the temperature is presented in figure 15. At high temperatures the point will be reached at which the fiber will melt, at low temperatures the point has not been reached yet where Dyneema SK 60 becomes brittle. This makes the application of Dyneema SK 60 at very low temperatures attractive.

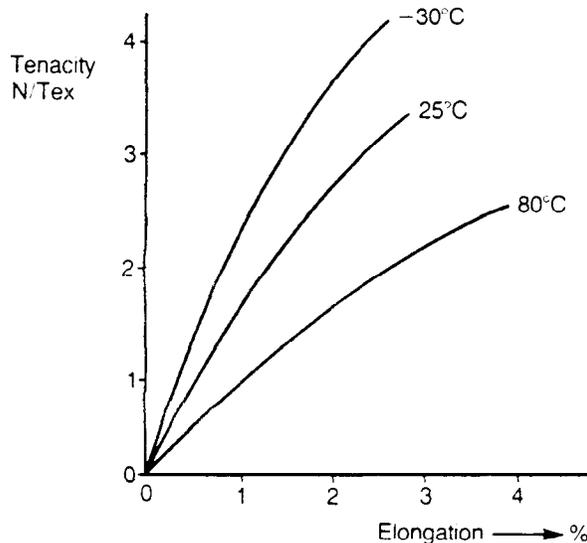


Fig. 15: Effect of temperature on tensile properties

Like other drawn fibers Dyneema SK 60 shows shrinkage with increased temperatures.

Shrinkage of Dyneema SK 60 and other fibers is illustrated in figure 16.

2. 7. Long Term Properties

It has been mentioned already that high performance polyethylene fibers can be made by the gel-spinning

process using different qualities of polyethylene and different solvents.

A consistent difference has been found in creep performance amongst the different polyethylene fibers (Fig. 17).

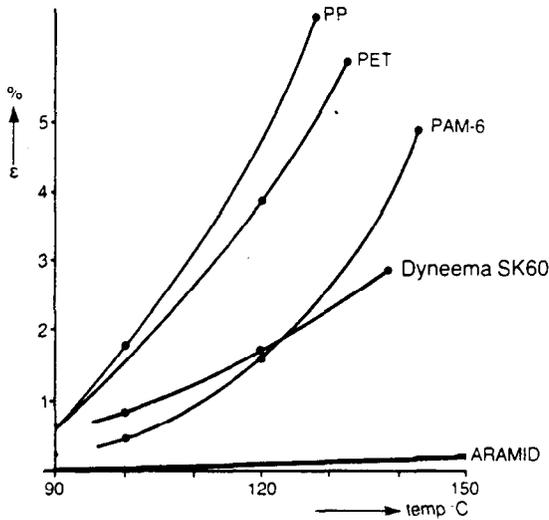


Fig. 16: Shrinkage as function of temperature (30 min, 1/30 g/d load)

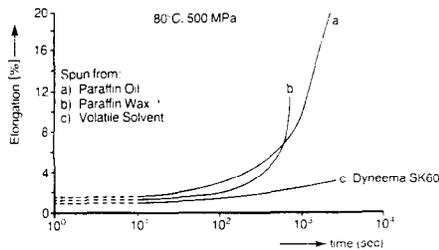


Fig. 17: Creep of HP-PE fibers

The reported creep data of fibers based on ultra high molecular weight polyethylene, using a volatile solvent – the way Dyneema SK 60 is being produced – are considerably better than those of the other fibers.

Still creep must be contended with when using high performance polyethylene. Creep however can be reduced successfully by making hybrids with aramid or carbon fibers, still retaining the considerable advantages of high performance polyethylene, such as weight saving and better processability (Tab. 4).

Table 4: Long term properties

Elongation in % at	Temperature 25°C Load as 20% % of tenacity		
	Dyneema SK60	Dyneema 90% Aramid 10%	Dyneema 50% Aramid 50%
1 hr	1	0.7	0.7
10 hrs	1.1	1.0	0.8
100 hrs	1.4	1.1	1.0
1000 hrs	2.6	1.6	1.0
5000 hrs	8	5	1.2

Summary of Properties (Tab. 5)

Some of the properties will limit the use of Dyneema SK 60 to certain applications, for example the creep and the temperature characteristics but its excellent properties will unquestionably make Dyneema SK 60 a fiber of the future.

Amongst the excellent properties the highest reported specific strength and its low density will make the fiber attractive for many applications, supported by its excellent processibility, the high work to break, the low moisture sensitivity, the excellent chemical and UV resistance, the electrical insulating properties and the X-ray transparency.

Table 5: Summary of properties Dyneema SK 60

Excellent	Good	Limiting
Specific strength	Specific modulus	Creep
Light resistance	Processability	Maximum use temp.
Abrasion	Work to break	Adhesion
Flexlife	(Low speed)	Compression
Chemical resistance	X-Ray transparency	Flammability
Knotstrength	Low temperature	
Floats on water	Mechanical properties	
Moisture sensitivity		
Electrical/insulation		
Work to break (high speed)		

3. Applications

3. 1. Ropes and Cables

The construction of light-weight, strong, durable and electrically insulating ropes and cables is an ongoing challenge for the offshore and yachting industry.

With Dyneema SK 60 a new fiber enters the field, demonstrating a free breaking length of as much as 336 km (Fig. 18), almost twice as high as aramid and 10 times more than steel.

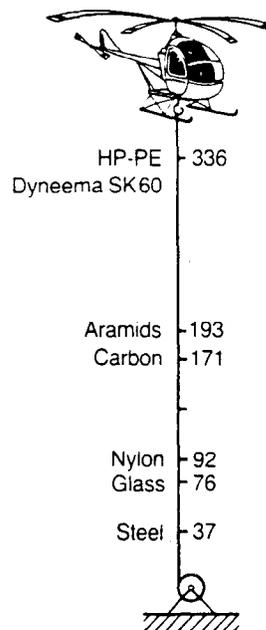


Fig. 18: Free breaking length (km)

In water Dyneema SK 60 will float and therefore will have infinite breaking length.

Comparing ropes of 160.000 tex, a Dyneema rope will support almost 54 tons, whereas the same steel rope, of smaller diameter, will only support 5.9 tons (Fig. 19).

performance also low moisture absorption and the resistance to UV light will contribute.

Table 6: Fabrics

Weaving

Types: Shuttle  
Rapiert  
Projectile  
Waterjet  
Areal density range: 50-500 g/m<sup>2</sup>

Knitting

Types: Circular  
Flat bed  
Warp  
3D  
Areal density range: 10-1000 g/m<sup>2</sup>

Nonwoven

Under investigation

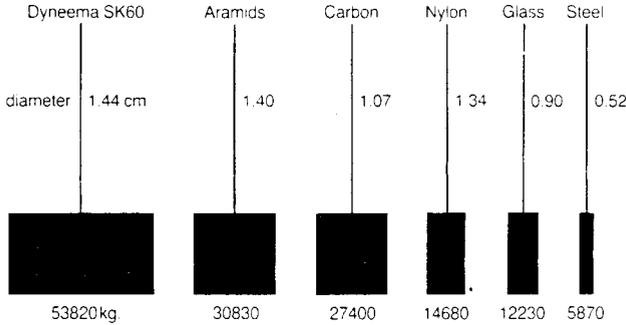


Fig. 19: Breaking strength comparison of 160.000 tex ropes

An important indication for the final strength retention in ropes is the strength in relation to the twist insertion. In figure 20 it is shown that Dyneema SK 60 will slightly increase its strength with low twist rates and at higher twist rates the majority of the strength will be retained. Dyneema SK 60 has ideal properties for processing into ropes and cables, with an abrasion resistance and flexlife about 20 times better than aramids and approaching the behaviour of polyester and nylon, as demonstrated earlier (Fig. 11).

Dyneema SK 60 is not degraded by UV light (ropes) and is a good electrical insulator (optical cables and tow lines).

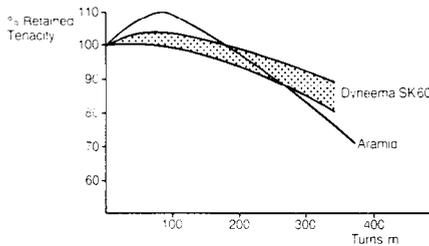


Fig. 20: Effect of twist on tensile strength

3. 2. Fabrics

The favourable flex properties, the high loop and knot-strength and the good abrasion resistance have already indicated the good processability of Dyneema SK 60.

In table 6 a number of weaving looms and knitting techniques are mentioned.

Experience with twisting, preparation and weaving confirmed that Dyneema SK 60 can easily be processed, provided that some basic guidelines are respected.

Fabrics have been made varying from 50 – 500 g/m<sup>2</sup>.

Less experience has been gained with knitting techniques, but yarn smoothness and flexibility indicate excellent knitting conditions.

Dyneema SK 60, having a melting point of 145–155 °C, can be thermally bonded into a non-woven, as well as by chemical bonding or combinations thereof. Applications could be in filter cloth, protective clothing or composite reinforcement.

In ballistics fabrics (Fig. 21) we do not only take advantage of the high energy absorption to break but for durable

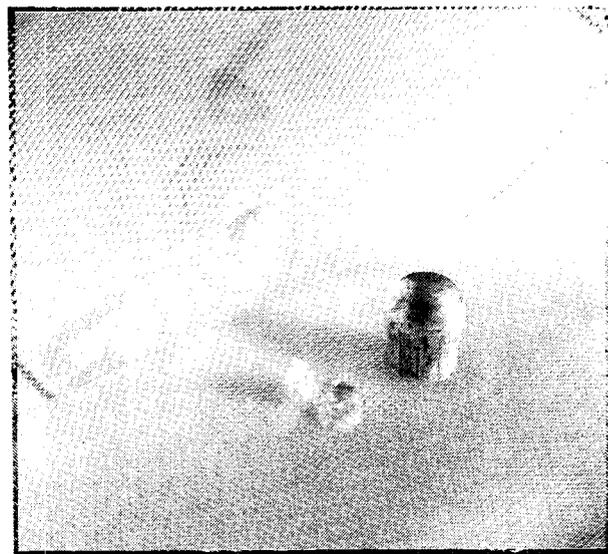


Fig. 21: Bulletproof fabric

In making-up, as in case of ballistic vests, off-cut waste can be reduced to a minimum since the fabrics do not fray with hot wire cutting. In figure 22 relative specific energy absorption data are provided for Dyneema SK 60 (HP-PE high modulus), for low modulus HP-PE, for Kevlar 29 and nylon 6.

In single-ply high speed impact tests, Dyneema SK 60 performs almost twice as good as the other fabrics. In multi-ply experiments the relative performances are changing but Dyneema SK 60 still performs about 30 % better than any of the other fabrics, and even better results are expected as indicated by the single-ply experiments.

Those active in ballistic protection will appreciate the empirical nature of ballistic protection and the care that should be taken with available data and conclusions thereof. Still with the limited number of test firing experiments done so far a preliminary V50 versus areal density can be drawn up (Fig. 23). Through optimization of sizing, bonding, weaving technique, and making-up, it is expected that substantial improvements can be made beyond the actual status.

Other applications for fabrics made from Dyneema SK 60 include cut resistant clothing and gloves, filter cloth for

corrosive environments, sail cloth, parachute cloth, geotextiles etc.

In these applications Dyneema SK 60's high strength and modulus, its chemical and UV resistance and easy processing will be highly valued.

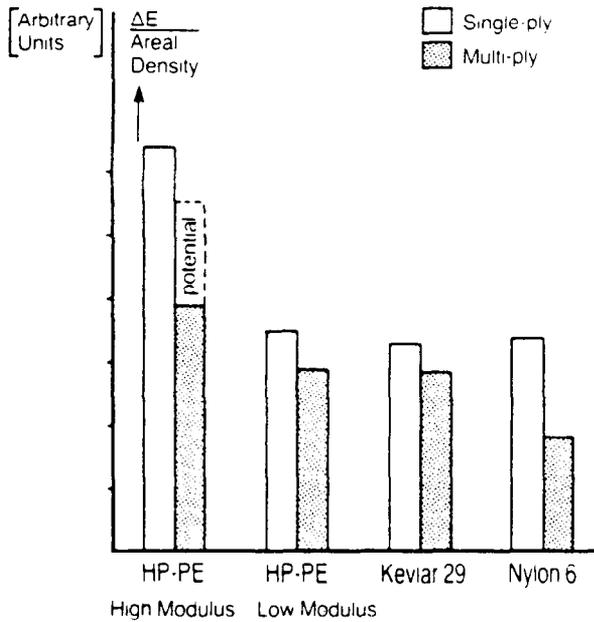


Fig. 22: Specific energy absorption

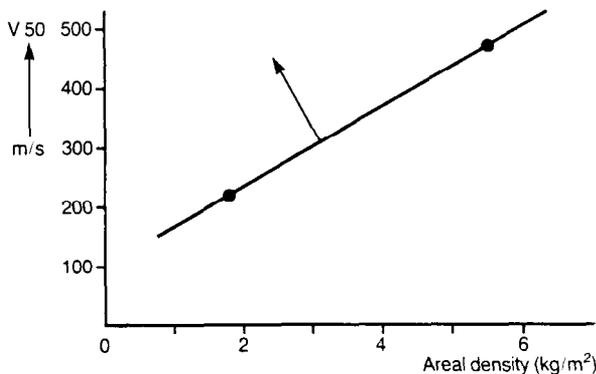


Fig. 23: Ballistic resistance

### 3. 3. Composites

The application of Dyneema SK 60 in composites is actively being pursued.

The features of Dyneema SK 60 in composites include weight reduction, impact improvement, the increase of damage tolerance, good damping properties, electrical insulating properties and X-ray transparency.

As an example a number of composites and their specific requirements will be presented.

For the sonic performance of loudspeakers, it is important how the sound is propagating in the speaker cone. The performance of a number of materials for speaker cones is plotted in figure 24, where the sonic velocity is presented versus the flexural rigidity. A high sonic velocity is required in combination with a high flexural modulus.

Composites based on Dyneema SK 60 do perform very well in this respect.

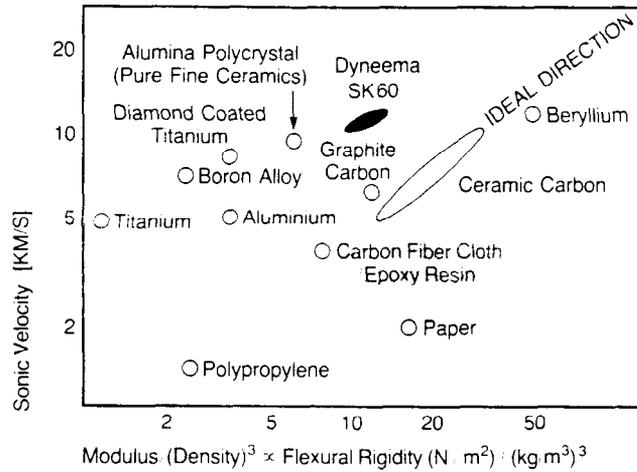


Fig. 24: Composites for speaker cones

Due to the high energy absorption of Dyneema SK 60 yarns and fabrics, especially in high speed impacts, Dyneema yarns and fabrics are attractive options for use in composites such as helmets, armor plates, protective shields, and impact plates (Fig. 24).

At reduced weight a similar protection can be offered, or at the same weight a higher level of protection.

For many sporting goods as for example in the bow string of an archery bow (Fig. 25) good vibration damping is essential for better performance and to prevent injuries.

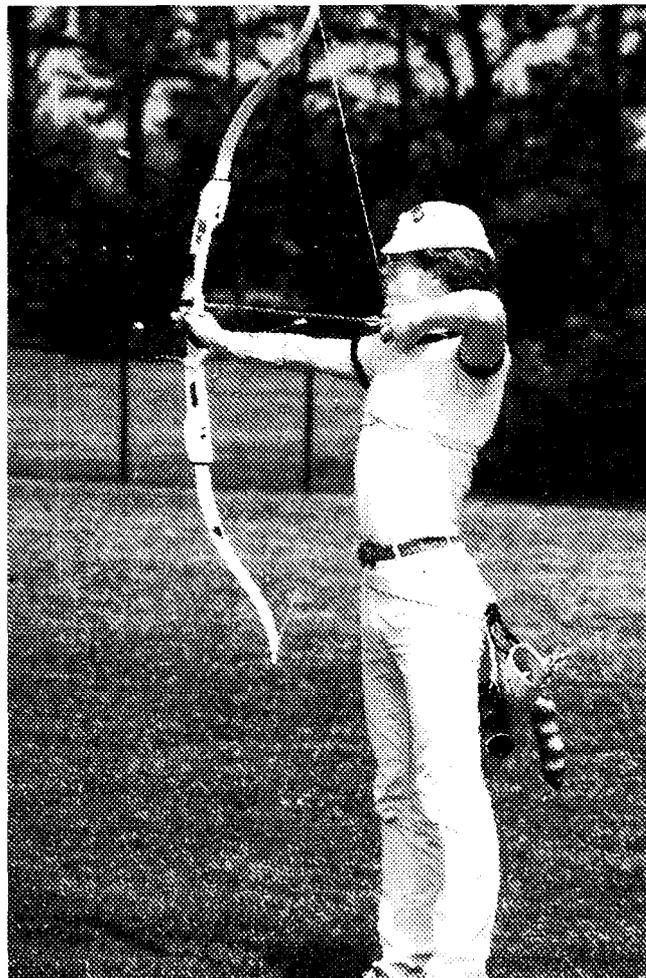


Fig. 25: Use in archery bows

In the range of 10 to 300 Hz the loss factor of Dyneema SK 60 composites is approximately a factor 10 higher than that of carbon fiber composites as can be seen in figure 26.

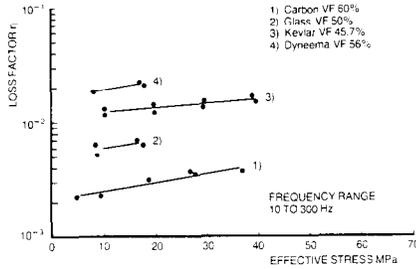


Fig. 26: Damping

Specifically in a bow string the service life of the string is at least 3 times longer than of a comparable aramid string, expressed in terms of number of shots.

Regarding the adhesion of Dyneema SK 60 it can be shown with ILSS (inter laminar shear strength) values that substantial progress has been made already (Fig. 27). As research is still continuing, further progress is expected to result in a comparable adhesion to that of aramid fiber.

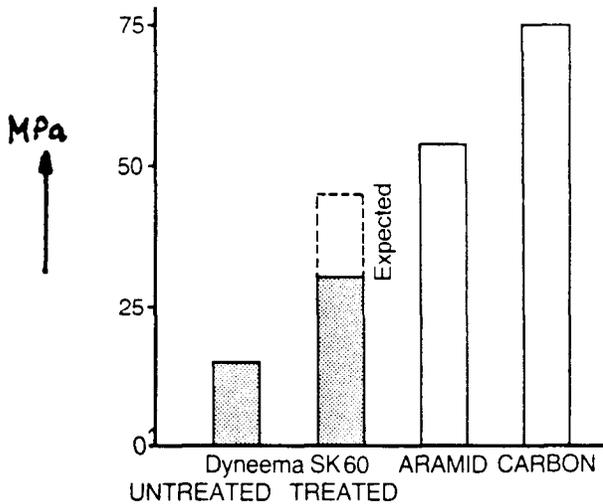


Fig. 27: Interlaminar shear strength

Another way to measure adhesion, especially in those cases where impact or improved damage tolerance is required, is measurement of the delamination energy. The method and the results are given in figure 28.

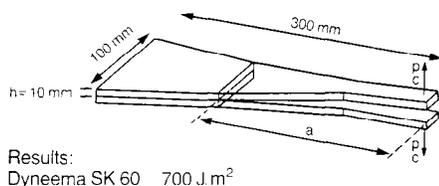


Fig. 28: Delamination energy

3. 4. Other Applications

On the basis of the features of Dyneema SK 60 a wide variety of applications can be envisaged (Tab. 7).

Table 7: Other applications

- Radar invisible radomes (X-Ray transparent)
- Laminated fabrics (Light resistance)
- Tension members (Strength, insulation)
- Inflatables (Flex-life)
- Pressure vessels (Light weight)
- Surgical suture (Inertness)

Because of Dyneema SK 60's transparency to X-rays it can be used to reinforce composites such as radomes and X-ray tables in hospitals. Fabrics can be laminated to make sails with high strength, being very resistant to UV light.

Due to its high strength and electrical insulating properties Dyneema SK 60 can be used as tension member in optical cables, probably in hybrid structures.

Dyneema SK 60's resistance to repeated flexing will enable the construction of inflatables, flexible containers etc., that will stand repeated folding.

The efficiency of pressure vessels is governed by high allowable pressure, large volume and low weight. The low density of Dyneema SK 60 will allow the production of such pressure vessels through filament winding at low weight.

Ultra high molecular weight polyethylene is inherently inert and does not absorb moisture. Therefore Dyneema SK 60 has potential in medical applications such as sutures, ligaments, tendons and implants.

4. Future Outlook

4. 1. Fiber Properties (Tab. 8)

With the ongoing efforts in product optimization, improvements are foreseen in strength and modulus.

Through extensive research, creep reduction and adhesion improvement is being tackled and without doubt further progress will be achieved here.

Table 8: Future outlook 1

PROPERTIES

Presented fiber properties are of a dynamic nature

- Expected
- strength ↑
  - modulus ↑
  - creep ↓
  - adhesion ↑

More (special) fiberproperties to be determined

- Expected
- space environmental
  - electrical
  - processability

With Dyneema SK 60 now becoming available for marketing various applications will be explored further, and more data will become available e. g. on the influence of space

environment, radiation, the detailed electrical properties and optimum fabric constructions for the various applications.

Processing experience in weaving, knitting and braiding will be extended and also the non-woven techniques will be evaluated.

4. 2. Applications (Tab. 9)

At present Dyneema SK 60 is being evaluated in a number of applications where other high performance fibers are being used such as aramids, carbon or glass. If necessary new fabrics or new techniques will have to be used, due to the specific characteristics of Dyneema SK 60.

In a number of cases the best solution will be found in combinations of high performance fibers either in the yarn, the fabric or the construction. Based on the unique properties of Dyneema SK 60 new, as yet unexplored markets will be determined.

Table 9: Future outlook 2

Applications

- Roughly 3 marketsegments can be distinguished
- New yet unexplored markets, based on the unique properties of Dyneema SK60
- Combinations of Dyneema SK60 with other high-performance fibers: Hybrids
- Substitution of currently used High-performance fibers mainly depending on performance criteria.

4. 3. Marketing (Tab. 10)

Dyneema SK 60 will provisionally be supplied in a range from 400 to 1600 dtex.

Needless to say that every possible effort will be made to jointly develop applications and to optimize the performance of Dyneema SK 60's end-uses in close cooperation with customers.

Table 10: Future outlook 3

Premarketing of Dyneema SK60

YARN COUNT (Provisional)

dtex range 400-1600

tensile strength (N/tex) 3.0 - 3.5  
tensile modulus (N/tex) 100-150

For Dyneema:  
1N/tex~10cN/dtex~11g/den~1GPa~10 tons/cm<sup>2</sup>~100kg/mm<sup>2</sup>.

4. 4. Basic Research on Gel Technology (Tab. 11)

The basic principles of gel technology can be applied to other flexible chain polymers, taking into account the theoretical limitations as listed in table 1.

From this table it can be concluded that polyvinylalcohol and polyacrylonitril can be considered as the prime candidates for further developments whereas other polymers may not be excluded.

Therefore also the number of patents issued on the process and products resulting from the gel technology will further increase (Fig. 29) in the future.

Table 11: Future outlook 4

- Increase of max. use temperate by applying geltechnology to polar polymers.
- Expected: - Polyvinylalcohol  
- Polyacrylonitril  
- Others
- Increase of both scientific and industrial activities in the field of chain extended flexible macromolecules.

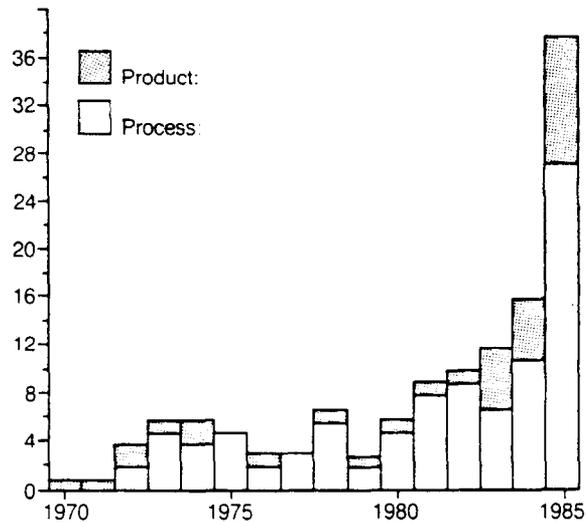


Fig. 29: Number of patents on high-strength and/or high-modulus fibers from flexible macromolecules

Diskussion

**Orlik:** Könnten Sie etwas zum Preis-Leistungsvergleich gegenüber anderen Fasern sagen, denn eine Wunderfaser wird ja auch ihren Preis haben?

**Kirschbaum:** Of course, it has its price according to its performance in the different market segments. We are only about to enter the pre-marketing and therefore it would be too early to give you absolute values. But we can assume, that it will have approximately the same price per litre as the currently used high performing fibres on the market. We came to this by assuming 50 % better performance and almost 50 % lower weight. So it seems reasonable to pay the same price per litre. Of course, you know that the effect of titre on the price is severe and we expect the same effect on our fibre as well; the coarse yarns being a little bit cheaper than the fine ones.

**Cotievers:** Could you give a number for the density of the fibres?

**Kirschbaum:** It's 970 kg/m<sup>3</sup>.

**NN:** Wir haben bei der Substitution von Asbest gestern und heute sehr viel von der Lungenverträglichkeit gehört. Nun neigen ja die Polyolefine alle dazu, entlang der Längsachse zu fibrillieren.

Wie sieht das bei diesen Fasern aus?

**Kirschbaum:** There is certainly a tendency to fibrillate, but not on such a fine scale that there is danger for the lungs. As far as application of Dyneema in asbestos substitution is concerned (concrete reinforcement) the main problem is to get a good adhesion. Advantages are good alkaline resistance and impact resistance, but it seems not usable in struc-

tural applications. Of course, also in this area, price/performance comes in directly.

**Hofinger:** How performs this high performing polyethylene fibre as far as bonding is concerned in composites with a matrix?

**Kirschbaum:** I showed the interlaminar shear values. If you don't treat the fibre, bonding is not sufficient. But we found a solution of getting twice as much adherence and a lot of work is going on in this direction, as our target is to get the same adhesion as aramids have in matrix material.



**MAYREDER**

INGENIEURE MAYREDER, KRAUS & CO.  
MAYREDER KEIL, LIST U. CO.,  
BAUGESELLSCHAFTEN M. B. H.  
LINZ / WIEN / INNSBRUCK / GRAZ

INDUSTRIEBAU  
FERTIGTEILBAU  
KRAFTWERKE  
TALSPERREN  
BRÜCKENBAU  
WASSERBAU  
STRASSENBAU  
HOCHBAU

FASSADEN-  
RENOVIERUNGEN  
TUNNELBAU  
TOTALUNTER-  
NEHMERSCHAFT  
DRUCKLUFT-  
GRÜNDUNGEN  
PROJEKTIERUNGEN

Mitglieder der Vereinigung Industrieller Bauunternehmungen Österreichs



## Neuere Entwicklungen bei Polyester-spinnfasern – ein Überblick

Dr. E. A. Albers, Hoechst AG, Werk Bobingen, Augsburg, Bundesrepublik Deutschland

In mehr als 30 Jahren industrieller Produktion ist aus der einstigen Spezialität *Polyesterfaser* ein in großen Mengen weltweit produziertes Standardprodukt geworden. Die Hersteller von Polyesterstapelfasern in den Industrieländern sind daher bemüht, durch Spezialtypen ihren Absatz zu sichern. Gleichzeitig will man die Abhängigkeit von der Textilkonjunktur verringern. Dies zeigen zahlreiche Neuentwicklungen der letzten Jahre für den Non-woven-Sektor. Neben Typen mit optimierter Kräuselung und Oberflächenmodifizierung werden Hohlfasern in den verschiedensten Variationen angeboten. Durch Fasern mit entsprechendem Erweichungsverhalten und durch Schmelzklebefasern, auch in Form von Bikomponentenfasern, wird die binderfreie Verfestigung der Vliesstoffe ermöglicht. Aber auch im textilen Bereich werden neue Produkte angeboten. Die flammhemmende Polyesterfaser findet wegen ihres Flammenschutzes zunehmend auch Verwendung in Einsatzgebieten, in denen bisher kaum Polyesterfasern verarbeitet wurden. Dem Trend zu feineren Garnen wird durch feinere Titer, auch für den Wollmischsektor, Rechnung getragen. Das wachsende Interesse an bekleidungsphysiologischen Fragen zeigt sich in einigen Neuentwicklungen, die höheren Tragekomfort bewirken sollen. Die fortschreitende Rationalisierung in der textilen Spinnerei erfordert eine laufende Anpassung der Fasereigenschaften an die gestiegenen Anforderungen.

In more than 30 years of industrial production the former speciality *polyester*-staple has become a commodity product, which is produced worldwide in big quantities. Therefore producers in the industrial countries are trying to keep the market by producing special types. At the same time they want to reduce the dependence on textile business. This is demonstrated by a lot of new developments in the last years which are specifically engineered for nonwovens. In addition to fibres with optimized crimp and with a modified surface there are several kinds of hollow fibres on the market. Fibres with a modified softening behaviour and melt-bonding fibres permit thermo-bonding of nonwovens. Melt-bonding fibres are available either as homofibres or as bicomponent fibres. Also for the textile industry new products are offered. Flame retardant polyester-fibres are increasingly used in sectors where until now polyester-staple have been scarcely used. The tendency towards finer yarns is taken into account by fine titre fibres even for *wool-blending*. The growing interest in wear comfort is demonstrated by some new developments, which are claimed to provide more comfort. The ongoing rationalization in the textile industry requires a continuous adjustment of fibre properties to the increased demands.

### 1. Einleitung

Beim Studium der diversen Berichte über die Unternehmenspolitik der großen Chemiefaserhersteller in Westeuropa, USA und Japan findet man immer wieder den Hinweis, daß der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten bei Produkten für den technischen Einsatz läge. Hieraus darf man aber nicht den Schluß ziehen, daß bei Polyesterspinnfasern keine Entwicklung mehr erfolgt. Daß auch bei dieser Produktgruppe noch viel Entwicklungsarbeit geleistet wird, möchte ich im folgenden Referat zeigen.

### 2. Ziele der Entwicklungen

Triebfedern für die Entwicklungsarbeiten der Polyesterfaserhersteller in Westeuropa, USA und Japan sind die folgenden drei Faktoren:

- Die laufende Steigerung der Maschinenleistung in der textilen Spinnerei und neue Spinnverfahren erzwingen immer wieder eine Anpassung der Verarbeitungseigenschaften an die veränderten Bedingungen. Zugleich wachsen die Anforderungen an die Garnqualität und die Verarbeitungssicherheit.
- In über 30 Jahren industrieller Produktion ist aus dem Spezialprodukt *Polyesterspinnfasern* ein in großen Mengen weltweit produziertes Massenprodukt geworden. In den siebziger Jahren mußten die „klassischen“ Hersteller in Westeuropa, Japan und USA erkennen, daß sie ihren Absatz gegenüber neuen Faserproduzenten in anderen Ländern mit Standardtypen allein nicht halten können. Die moderneren Anlagen und ein allgemein niedrigeres Kostenniveau verschaffen den neuen Produzenten bei Standardtypen deutliche Kostenvorteile. Die klassischen Hersteller sind daher bestrebt, ihr Produktionsprogramm durch Spezialtypen zu ergänzen und so ihren Absatz zu sichern. Die Textilindustrie der Industrieländer befindet sich in einer ähnlichen Situation. Durch neue Faserentwicklungen wird sie in ihren Bemühungen unterstützt, sich durch hochwertige Produkte gegen die Konkurrenz aus Billiglohnländern zu behaupten.
- Steigende Kosten und die Forderung nach höherer Produktqualität und Qualitätskonstanz erfordern eine fortlaufende Optimierung der Verfahren und eine Erhöhung der Produktivität.

### 3. Optimierung der Verarbeitungseigenschaften

Während neue Typen meist entsprechende Beachtung in der Fachpresse finden, vollzieht sich die Anpassung der Verarbeitungseigenschaften an die höheren Durchsätze bzw. an die neuen Verarbeitungsverfahren mehr im Stillen. Durch fortwährende Optimierung der für die Verarbeitungseigenschaften entscheidenden Größen: Kräuselung, Präparationszusammensetzung, Höhe des Präparationsauftrages und Präparierverfahren, ist es den Polyesterfaserherstellern zumindest bei den Standardtypen bisher immer gelungen, die gestiegenen Anforderungen zu erfüllen. Von Spezialtypen aus modifizierten Rohstoffen können zum Teil nicht die gleichen Verarbeitungseigenschaften erwartet werden wie bei Standardtypen.

Probleme bereitet zum Teil noch die OE-Rotorverspinnung in 100 %. Ein wesentliches Problem bei der Lösung dieser Aufgabe ist die Tatsache, daß beim OE-Rotorspinnen das Verarbeitungsverhalten und das Garnergebnis heute noch sehr viel stärker als beim Ringspinnen vom eingesetzten Maschinentyp und den gewählten Verarbeitungsbedingungen abhängen. Ursache hierfür ist sicher, daß die Entwicklung der Ringspinntechnologie einen gewissen Abschluß gefunden hat, während die Entwicklung beim OE-Rotorspinnen immer noch mit großen Schritten voranschreitet.

Diese Problematik möchte ich anhand eines Beispiels aus unseren Arbeiten zur Entwicklung einer über Ring und Rotor verspinnbaren, schrumpfarmen B-Type in 1,7 dtex demonstrieren.

Die in Tabelle 1 aufgeführten drei Faservarianten unterscheiden sich nur in der Präparierung. Die Kräuselung ist für das Rotorspinnen optimiert.

Diese Fasern wurden unter praxisähnlichen Bedingungen in unserer Versuchsspinnerei in 100 % auf zwei Rotorspinnmaschinen verschiedener Hersteller zu Nm 34 mit 60.000 Rotortouren und zu Nm 16 mit 55.000 Rotortouren versponnen. Ergänzt wurde diese Prüfung durch eine Ringauspinnung zu Nm 80. Die Beurteilung des Verarbeitungsverhaltens erfolgte in drei Stufen: gut, befriedigend und unbefriedigend. In der zweiten Zeile ist jeweils der Grund für die nicht gute Beurteilung angegeben. *Befriedi-*

**Tabelle 1: Schrumpfarme B-Type, dtex 1,7; Verarbeitungsverhalten**

	VARIANTE A	VARIANTE B	VARIANTE C
KARDE U. STRECKEN	GUT	BEFRIEDIGEND ABRIEB	UNBEFRIEDIGEND ABRIEB U. WICKEL
ROFORMASCHINE 1 NM 34	BEFRIEDIGEND FADENRÖCHE	GUT	BEFRIEDIGEND FADENRÖCHE
NM 16	UNBEFRIEDIGEND ABRIEB	UNBEFRIEDIGEND ABRIEB	BEFRIEDIGEND FADENRÖCHE
ROFORMASCHINE 2 NM 34	GUT	BEFRIEDIGEND FADENRÖCHE	GUT
NM 16	BEFRIEDIGEND STAUBEN	GUT	BEFRIEDIGEND FADENRÖCHE
RINGSPINNEN NM 80	GUT	GUT	GUT

gend bedeutet, daß der festgestellte Fehler in der industriellen Praxis noch keine meßbaren Schwierigkeiten bringt.

Während die Verspinnbarkeit nach dem Ringspinnverfahren in jedem Falle mit *gut* beurteilt wurde, zeigten die Rotorergebnisse deutliche Unterschiede. Besonders die bei der Verarbeitung hochfixierter Typen häufig zu beobachtende störende Abriebbildung im Rotor variiert stark zwischen den beiden Rotormaschinen und den gewählten Spinnbedingungen. Auffallend ist auch, daß zwischen der Abriebbildung an Karden und Strecken und der Abriebbildung im Rotor kein Zusammenhang besteht.

Albrecht hat kürzlich die Frage aufgeworfen, ob angesichts der steigenden Rotorgeschwindigkeiten nicht der Wunsch nach Einheitstypen für Ringspinn- und OE-Rotormaschinen zu überprüfen sei<sup>1</sup>. Ich bin optimistisch, daß dieser Wunsch auch bei weiteren Leistungssteigerungen mit Polyesterfasern erfüllbar sein wird, wobei ich allerdings voraussetze, daß die Unterschiede zwischen den Rotorspinnmaschinen mit der Zeit ausgeglichen werden und vermehrt auch die Verarbeitung von Polyester bei der Maschinenentwicklung berücksichtigt wird.

Mit Sicherheit ist es unmöglich, jede ringspinnbare Polyesterfaser allein durch Optimierung der Präparation auch OE-rotorspinnbar zu machen. Die für das OE-Rotorspinnen erforderliche wenig beständige Kräuselung kann bei einigen Fasertypen nur durch Änderung der gesamten Fasercharakteristik, wie KD-Verlauf, Schrumpf und Färbbarkeit, erreicht werden. In solchen Fällen ist es sicherlich sinnvoll, zusätzlich zur Ringspinnart eine OE-Rotortype anzubieten. So hat die Hoechst AG ihr Angebot in der pillarmen Type® Trevira 350 gerade um eine für das Rotorspinnen optimierte Type in 1,3 dtex erweitert. Die Tabelle 2 zeigt die bei der internen Prüfung auf zwei verschiedenen Rotormaschinen in 100 % erhaltenen Werte. Auf beiden Maschinen wurde mit einer Rotordrehzahl von 60.000 upm gesponnen.

**Tabelle 2: Trevira® 350, 1,3 dtex/38 mm RW; 100 %-Rotorver-spinnung Nm 34**

	ROFORMASCHINE 1	ROFORMASCHINE 2
LAUFVERHALTEN	GUT	GUT
GARNFESTIGKEIT CN/TEX	14,0	11,7
V %	7,6	8,2
GARNDIEHNUNG	10,4	10,2
V %	10,0	9,5
USTER CV %	11,3	10,9
IPI-TEST/1000 M DÜNNSTELLEN	1	0
DICKSTELLEN	2	1
NISSEN	2	1

Bei der Beurteilung der erzielten Garnfestigkeiten ist zu beachten, daß es sich hier um eine pillarme Faser handelt.

Als rotorspinnbare Variante einer pillarmen Type stellt diese Faser in gewisser Weise eine Spezialfaser einer Spezialfaser dar und leitet über zu den Spezialitäten. Diese wurden, wie schon erwähnt, in den letzten Jahren verstärkt entwickelt, um Absatzverluste bei den Standardtypen auszugleichen und um unseren Kunden Problemlösungen zu bieten.

#### 4. 1 Fasern für Non-wovens

Ein Großteil der neuen Typen ist für den Non-wovensektor entwickelt worden. Wegen der spezifischen Bedingungen auf dem Vliessektor – nur wenige Verarbeitungsstufen, kein Färben der Produkte – wurde dieser Markt lange als Absatzmöglichkeit für Sonderposten und Fehlchargen betrachtet. Inzwischen haben aber alle Hersteller von Polyesterfasern erkannt, daß sich in der Non-wovenindustrie eine ähnliche Entwicklung vollzieht wie in der Spinnerei und Weberei. Die Maschinenleistungen sind mit modernen Maschinen stark gestiegen, die Anforderungen an die Qualität der Produkte wachsen. Die Vlieshersteller versuchen, sich durch besondere Produkteigenschaften am Markt zu profilieren und gegen die Konkurrenz abzuheben. Die relative Unabhängigkeit von der Textilkonjunktur macht den Non-wovenmarkt zusätzlich interessant. Es ist daher nicht verwunderlich, daß eine 1984 erschienene Zusammenstellung über Chemiefasern für Vliesstoffe<sup>2</sup> alle großen europäischen Polyesterfaserhersteller mit meist mehreren Typen enthält.

Der Feinvliesmarkt (Vliese bis 60 g/m<sup>2</sup>) wird zur Zeit dadurch geprägt, daß die Vliesverfestigung mittels Binder immer stärker durch eine rein thermische Verfestigung auf Kalandern ersetzt wird. Die thermische Verfestigung benötigt erheblich weniger Energie als die Verfestigung mittels Binder, da das Verdampfen des Wassers entfällt. Auch gibt es keine toxikologischen Probleme. Der Trend zur thermischen Verfestigung hat übrigens dazu geführt, daß für das große Gebiet der Windelabdeckvliese Polyester in erheblichem Umfang durch Polypropylen als Fasermaterial ersetzt wurde, da Vliese aus Polypropylenfasern bei niedrigeren Temperaturen verfestigt werden können.

Um den textilen Charakter der Vliese zu erhalten, erfolgt die Verfestigung nicht vollflächig mittels glatten Walzen, sondern mittels Prägwalzen. Vliese aus Polyesterfasern können bei 230 – 240°C verfestigt werden. Es hat sich auch hier gezeigt, daß durch eine Optimierung der Fasereigenschaften für den speziellen Einsatzzweck noch Produktverbesserungen möglich sind. Wie die Tabelle 3 zeigt, konnte die Trevira, Type 290, für die Kalanderverfestigung so optimiert werden, daß bei einer um 25 % höheren Maschinengeschwindigkeit und um 10° C niedrigeren Kalandertemperatur die gleichen Festigkeiten im Vlies erhalten werden.

**Tabelle 3: 100 % Trevira® 290, dtex 1,7; Thermoverfestigung (23 g/m<sup>2</sup>)**

	STANDARD	OPTIMIERT
KALANDERTEMPERATUR °C	235	225
GESCHWINDIGKEIT M/Min	85	105
VLIESFESTIGKEIT N/4,5 cm in Maschinenrichtung	3000	3090
quer zur Maschinenrichtung	300	350
VLIESDEHNUNG % in Maschinenrichtung	15,6	12,2
quer zur Maschinenrichtung	22,9	22,7

\* eingetragenes Warenzeichen

Die Abbildung 1 zeigt, daß im Prägebereich die einzelnen Fasern weitgehend ihre Form verlieren. Im prägungsfreien Raum bleibt die Faseridentität erhalten.

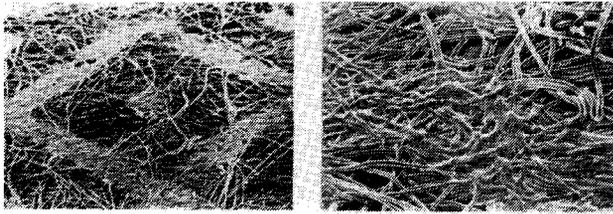


Abb. 1: Thermisch verfestigtes Feinvlies aus Polyester

Aus energetischen Gründen wird häufig eine niedrigere Verfestigungstemperatur gewünscht. Wegen des breiteren Schmelzbereichs und der besseren Haftung der Klebestellen bieten Fasern aus modifizierten Polyestern Vorteile gegenüber den Polyolefinfasern.

Für die Herstellung dieser Fasern werden stark modifizierte Rohstoffe mit entsprechend erniedrigtem Schmelzpunkt eingesetzt. So ist zum Beispiel eine Copolyesterfaser für die Verfestigung bei etwa 170° C auf dem Markt. Diese Fasern werden normalen Fasern beigemischt. Bei der thermischen Verfestigung schmelzen nur die Binfasern. Die Schmelze sammelt sich an Kreuzungspunkten der Trägerfasern und verbindet diese miteinander.

Neben Schmelzklebefasern aus einer Komponente werden auch Bikomponentfasern aus einer nichtschmelzenden Komponente und einer bei der gewünschten Verfestigungstemperatur schmelzenden Komponente eingesetzt. Hier hat die lange bekannte Bikomponententechnologie ein neues interessantes Anwendungsgebiet gefunden. Entsprechende Fasern auf Polyesterbasis mit unterschiedlichen Verfestigungsbereichen werden vor allem von japanischen Herstellern angeboten. Zumeist liegt eine Kern-Mantel-Struktur vor.

Die Abbildung 2 zeigt die beiden Verfestigungsprinzipien anhand von Mikrophotos von mit Heißluft verfestigten voluminösen Vliesen. Zur Kontrastierung wurde das Vlies anfärbt. Wegen der hohen Modifizierung geht praktisch der gesamte Farbstoff auf die Schmelzkomponente.

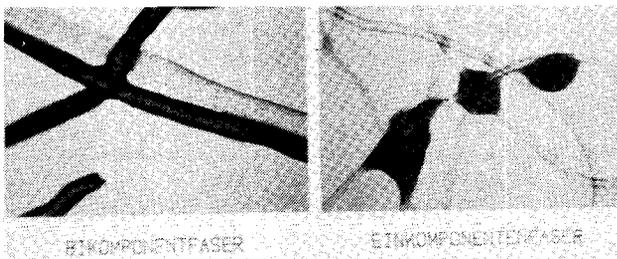


Abb. 2: Vliesverfestigung durch PES-Schmelzklebefasern

Während rechts die Schmelzklebefaser nicht mehr als Faser zu erkennen ist, behält die links gezeigte Kern-Mantel-Bikomponentfaser die Faserform. Es kommt nicht nur zu Verklebungen mit den normalen Fasern, sondern auch zu Verklebungen der Bikomponentfasern untereinander. Bei Vliesen aus silikonisierten Fasern, die sich wegen der Silikonisierung nicht so gut mit Schmelzklebefasern verfestigen lassen, kann bei Zusatz von Bikomponentfasern ein interessanter Effekt erzielt werden. Bei der Heißluftverfestigung verkleben nur die Bikomponentfasern miteinander und bilden ein räumliches Netzwerk, in dem die übrigen si-

likonisierten Fasern eingeschlossen sind, aber noch eine gewisse Beweglichkeit behalten. Dieser Effekt ist in Abbildung 3 gezeigt.

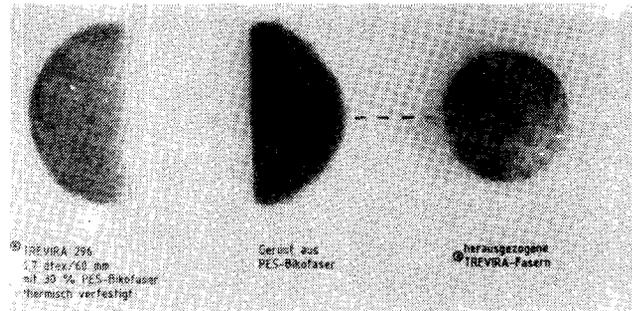


Abb. 3: Trevira®-Füllvlies, thermisch verfestigt (Bikofaser Kontrastfärbung)

Für die Herstellung von voluminösen Vliesen für Füll- und Polsterzwecke ist die Polyesterfaser besonders geeignet. So werden für diesen Verwendungszweck schon lange Fasern mit silikonisierter Oberfläche und Hohlfasern angeboten. Auch bei diesen Typen ist die Tendenz zur weiteren Spezialisierung zu beobachten. An die Füllungen von Steppdecken oder Kissen, an Polstervliese oder an Thermovliese für Bekleidung werden hinsichtlich Griff, Volumen, Zusammendrückbarkeit natürlich unterschiedliche Ansprüche gestellt. Durch das Angebot von Fasern unterschiedlicher Titer mit für das jeweilige Einsatzgebiet optimierter Kräuselung und Silikonisierung versuchen die Faserproduzenten, den verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden. Darüber hinaus werden, insbesondere von japanischen Herstellern, Fasern mit den unterschiedlichsten Querschnittsformen angeboten.

Wie im textilen Bereich ist auch im Füllsektor ein Trend zu feineren Titern festzustellen. Feinere Titer bringen vor allem eine bessere Wärmeisolierung.

#### 4. 2 Fasern für den textilen Einsatz

Auch für den textilen Einsatz werden neue Produkte angeboten. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um feinere Titer, Fasern, die eine Verbesserung des Tragekomforts bewirken sollen, und um Fasern aus modifizierten Rohstoffen mit verbesserten Färbereigenschaften bzw. flammhemmenden Eigenschaften.

Für die 100 %-Verarbeitung und die Mischung mit Baumwolle werden schon seit einiger Zeit feinere Einzeltiter angeboten. Die Grenze für eine problemlose Kardierung mit normalen Garnituren ohne größere Durchsatzminderung liegt bei etwa 1 dtex. Dies ist auch etwa die Grenze für die Herstellung von Polyesterfasern auf konventionellen Spinn- und Verstreckanlagen. Als Haupteinsatzgebiet für diese Titer wird das OE-Rotorspinnen feiner Garne gesehen, da gegenüber dem Ringspinnen beim Rotorspinnen deutlich mehr Fasern im Garnquerschnitt erforderlich sind. Der Markterfolg dieser Typen wird also im wesentlichen davon abhängen, inwieweit sich die für eine wirtschaftliche Fertigung feiner Rotorgarne erforderlichen hohen Rotortouren realisieren lassen.

Die allgemeine Tendenz zu feineren Garnnummern hat auch den Kammgarnbereich erfaßt. Dies hat dazu geführt, daß inzwischen Kabel für die Schneidkonvertierung mit wesentlich feinerem Einzelfasertiter als die klassischen 3,3 bzw. 3,6 dtex angeboten werden. Die Tabelle 4 wurde anhand einer 1985 erschienenen Veröffentlichung über Chemiefaserkabel zusammengestellt<sup>3</sup> und enthält die in Westeuropa angebotenen Kabel mit einem Einzeltiter unter 3,3 dtex.

Aus®Trevira 220 in 1,7 dtex wird beispielsweise ein Mischgarn mit 45 % Wolle von etwa 20 µ in Nm 95 ersponnen.

Selbstverständlich muß bei diesem feinen Titer der gemischte Zug nachverkämmt werden. Unter diesen Bedingungen werden Garne mit praxisherechten Reinheiten erhalten.

**Tabelle 4: Polyesterkonverterkabel, Einzeltiter <3,3 dtex**

<u>TERGAL® T 900</u>	<u>TREVIRA® 220</u>
1.6 DTEX HM / 70 KTEX	1.7 DTEX HM / 80 KTEX
2.4 DTEX HM / 70 KTEX	2.4 DTEX HM / 80 KTEX
	<u>TREVIRA® 350</u>
	2.4 DTEX HM / 80 KTEX
	3.0 DTEX HM / 80 KTEX
	<u>TREVIRA® 353</u>
	1.7 DTEX GL / 80 KTEX

Die Suche nach funktionsgerechter Sportbekleidung hat den Tragekomfort der Textilien wieder zu einem viel diskutierten Thema werden lassen. Sehr wichtig ist hierbei das Transportvermögen des Textils für dampfförmige und flüssige Feuchte. Für den Transport von dampfförmigem Wasser ist nur die Konstruktion der textilen Fläche (Anzahl und Größe der Poren) entscheidend. Synthesefasern bieten hierbei den Vorteil, daß sie nicht durch Wasseraufnahme quellen, wodurch auch bei hohen Feuchtigkeiten das Porenvolumen unverändert bleibt. Flüssiger Schweiß wird überwiegend in den Kapillarstrukturen der Garne transportiert. Diese Strukturen können durch entsprechende Wahl der Fasertiter und der Fasertypen beeinflusst werden.

Bei entsprechender Konstruktion können somit aus Synthesefasern Textilien mit optimalem Tragekomfort entwickelt werden. Für extreme Bedingungen, wie sie bei Sportbekleidung auftreten, wurden unter anderem die zweiflächigen Textilien entwickelt<sup>6</sup>. Die Synthesefasern auf der Innenseite bewirken einen schnellen Transport des flüssigen Schweißes zu der feuchtigkeitsaufnehmenden Faserschicht auf der Außenseite.

Verschiedene Polyesterhersteller versuchen, durch Spezialtypen diese Eigenschaften noch weiter zu verbessern. So bietet ein japanischer Hersteller eine Hohlfaser aus Polyester an, bei der Mikroporen einen Zugang von der Faseroberfläche zum zentralen Hohlraum schaffen. Durch Kapillarkräfte soll diese Faser Wasser aufnehmen<sup>4</sup>. Ein amerikanischer Hersteller bringt eine Profilfaser mit vier Kanälen auf der Faseroberfläche auf den Markt<sup>5</sup>. Nach Aussagen des Herstellers soll dadurch das Transportvermögen für flüssigen Schweiß verbessert werden. Der Markterfolg dieser Typen wird zeigen, ob durch diese Maßnahmen eine weitere Verbesserung des Tragekomforts erreicht werden kann.

Einige für den textilen Bereich angestrebte Eigenschaften erfordern bei der Polyesterfaser einen chemisch modifizierten Rohstoff. Anfang der siebziger Jahre wurde hierfür der Begriff Polyesterfasern der 2. Generation geprägt<sup>7</sup>. Wie die Tabelle 5 zeigt, sind mit Ausnahme einer mit Säurefarbstoffen färbbaren Type alle seinerzeit diskutierten Polyesterfasern auf dem Markt.

Von diesen Typen aus chemisch modifizierten Rohstoffen haben bisher nur die pillarmen Fasern eine größere Marktbedeutung erlangen können.

Der Einsatz von bei Kochtemperatur ohne Carrier färbbaren Typen blieb wegen der bisher unvermeidbaren Verschlechterung der Waschechtheiten auf wenige Einsatzgebiete beschränkt. Das Haupteinsatzgebiet ist der Teppichsektor. Kationisch färbbare Typen haben wegen der Probleme mit den Lichtechtheiten bisher ebenfalls keine größeren Marktanteile erringen können. Diese beiden Fasertypen könnten jedoch größeres Interesse finden, wenn durch neue Farbstoffe die Echtheitsprobleme beseitigt wären. Schwerentflammbare Polyesterfasern finden wegen des

guten Flammenschutzes auch in Gebieten Verwendung, in denen bisher kaum Polyesterfasern eingesetzt wurden, wie z. B. Möbelbezugsstoffe oder Vorhangstoffe. Durch die Beimischung von Fasern mit hohem Schrumpf wird die Fixierbarkeit von Teppichgarnen verbessert.

**Tabelle 5: Polyesterfasern aus modifizierten Rohstoffen**

ANGESTREBTE FASEREIGENSCHAFT	HEUTIGE EINSATZGEBIETE
PILLARM	BEKLEIDUNGSTEXTILIEN
BEI KOCHTEMPERATUR OHNE CARRIER FÄRBBAR	TEPPICHSEKTOR U. BEKLEIDUNG
BASISCH FÄRBBAR	BICOLOREFFEKTE
SAUER FÄRBBAR	NICHT AM MARKT
SCHWER ENTFLAMMBAR	DEKO-, MÖBELBEZUGSSTOFFE ARBEITSKLEIDUNG, BETTWÄSCHE
HOCHSCHRUMPFEND	FIXIERTE TEPPICHGARNE

## 5. Schluß

Die vorgestellten Neuentwicklungen sind durch konsequente Anwendung des seit etwa 30 Jahren erarbeiteten Know-hows zur Modifizierung der Polyesterfaser entstanden. Völlig neue Rohstoffmodifizierungen oder neue Herstellungsverfahren sind auch für die Zukunft bei Polyesterfasern nicht zu erwarten.

Das Wissen und der Einfallsreichtum der Entwickler in der Industrie wird auch in Zukunft benötigt für die sicher auch weiterhin notwendige Optimierung der Verarbeitungseigenschaften und die Entwicklung neuer Faservarianten für neue Produkte der Textilindustrie.

## Literatur

- 1) Albrecht, W.; Melliand Textilber. 67, 379 – 382 (1986)
- 2) Anonym; Chemiefasern/Text.Ind.; 86, 152 (1984)
- 3) Unger, J.; Textilbetrieb 103, 101 (1985)
- 4) Osamu Wada, Yoshikazu Takatera; J. Text. Mach. Soc. Japan 30, 91 – 99 (1984)
- 5) Anonym; Chemiefasern/Text. Ind. 88, 150 (1986)
- 6) Umbach, K. H.; Chemiefasern/Text. Ind. 88/57 – 66 (1986)

## Diskussion

**Erbacher:** Herr Albers, Sie haben herausgestellt, daß Probleme in der Echtheit für kationisch färbbare Typen gesehen werden können. Könnten Sie diese Probleme präzisieren?

**Albers:** Im wesentlichen geht es dabei um die Lichtechtheiten der Farbstoffe.

**Erbacher:** Für welche Einsatzgebiete würden die nicht erfüllt werden?

**Albers:** Es handelt sich hier ja um Polyesterfasern, und von diesen werden bestimmte Echtheiten erwartet. Es ist sehr schwer, den Kunden klarzumachen, daß sie diese Farbechtheiten plötzlich nicht in Anspruch nehmen sollen. Normalerweise habe ich eben bei Polyester eine Lichtechtheit von 5 – 6. Mit Lichtechtheiten von 4 – 5 erfülle ich bei den kationischen Färbungen die Erwartungen nicht; das ist sicher das Hauptproblem. Sie haben recht, es sind genügend Einsatzgebiete vorhanden, wo Lichtechtheiten von 5 – 6 nicht gefordert sind.

**Erbacher:** Lichtechtheiten von 4 – 5 würden für die Bekleidung im weitesten Sinne doch ausreichen?

**Albers:** Im Prinzip, ja.

**Siegrist:** Haben die kationisch färbbaren Fasern nicht den Vorteil, daß man das Problem der Thermomigration durch die kationische Färbung umgeht?

**Albers:** Konkrete, eigene Erfahrungen habe ich dazu nicht. Wir haben nur die Erfahrungen gemacht, daß beispielsweise die Waschechtheiten nicht so gut sind, wie man es eigentlich bei einer kationisch färbbaren Faser mit einer salzartigen Bindung der Farbstoffe erwarten würde. Erhebliche Anteile des Farbstoffes sind in der Faser nur dispers verteilt, und die werden ausgewaschen. Das kann man nicht verhindern.

**Erbacher:** Sie haben die Feinstfasern, speziell interessant für OE-Garne, angesprochen. Meines Wissens ist der Ein-

satz von diesen feinen Fasern auch interessant für Ringgarne, nicht nur um den Nutzeffekt in der Spinnerei zu erhöhen, sondern vor allem auch in der Weberei. Andererseits muß man davon ausgehen, daß diese feinen Titer Nachteile haben, nicht nur in der Verarbeitung, sondern auch in der Farbaffinität. Man braucht mehr Farbstoff, um einen bestimmten Farbton zu halten. Können Sie dem zustimmen?

**Albers:** Ja, diese Erfahrungen haben wir auch gemacht, dem kann ich voll zustimmen. Sie haben ja auch schon im letzten Jahr in Ihrem Vortrag darauf hingewiesen, daß die Farbstärke eine Funktion des Titers ist.

**Erbacher:** Das heißt, diese Faktoren müssen bei der Einführung in den Markt berücksichtigt werden, wenn man Erfolg haben will.

**Albers:** Ja, ganz richtig. Außerdem ist es natürlich eine Faser, die teurer wird als eine Standardfaser, d. h., auch der Preis spielt eine wichtige Rolle.

### Inserentenverzeichnis

	Seite
Austria Faserwerke Ges.m.b.H., A-4860 Lenzing .....	33
W. Höhnel KG, Korrosionsschutz, A-4021 Linz .....	69
Lenzing AG, A-4860 Lenzing	
Folien .....	45
Modal .....	34
Modal .....	12
Mayreder, Kraus & Co., Bauges.m.b.H., A-4020 Linz .....	89
A. Porr, Hoch-Tief-Straßenbau, A-4020 Linz .....	38
Schubert & Salzer, Maschinenfabrik AG, D-8070 Ingolstadt .....	53
Chemische Fabrik Stockhausen GmbH., D-4150 Krefeld .....	61

*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**