

LENZINGER BERICHTE

Folge 41

August 1976

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Verfahren zur Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur während der Torsionstexturierung	
Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c. Walther Wegener, F.T.I. und Dr.-Ing. Liberto Coll-Tortosa, Aachen	5
Die Oxyäthylierung von Terephthalsäure – ein aussichtsreicher Weg zur Herstellung von Polyäthylenterephthalat (Teil I)	
Professor Dr. Alexander Tschegolja, Dipl.-Ing. Gennadi Michailow und Dr. Wladimir Malych, Kalinin/UdSSR	13
Zukunftsentwicklung der Zellstoffherstellung und damit zusammenhängende Forschungsaufgaben	
Dozent Dr. Erich Treiber, Stockholm	26
Die Organisation des Investitionsprozesses als Instrument entscheidungsorientierter Unternehmens- führung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der chemischen Industrie (Teil II)	
Mag. Dr. Willibald Girkingner, Kundl (Tirol)	34
Inserentenverzeichnis	51

Verfahren zur Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur während der Torsionstexturierung

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h. c. Walther *W e g e n e r*, F.T.I. und
Dr.-Ing. Liberto *C o l l - T o r t o s a*

Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen
(Direktor: Professor Dr.-Ing. Lünenschloß)

Den Fachleuten ist bekannt, daß die Texturierteremperaturen an einer Maschine von Spindel zu Spindel verschieden sind – es bestehen Unterschiede bis zu 14°C – und außerdem von Maschine zu Maschine, sodaß die Ungleichmäßigkeit der Garne (Färbung, Kräuselung, Bauscheffekt, Festigkeit) immer wieder Anlaß zu berechtigten Reklamationen gibt, in erster Linie darum, weil die Fadenoberflächentemperatur während des Texturierens in den Betrieben bislang nicht bekannt ist und deshalb noch keine wirksame Abhilfe geschaffen werden konnte.

Die Abhandlung ist besonders aktuell, da der Wärmeübergang auf den Faden sowie auch dessen Abkühlung bei den steigenden Texturierungsgeschwindigkeiten besondere Anforderungen an die Messung der Fadenoberflächentemperatur und an die Länge der Kühlstrecke der Spindel stellt.

Nunmehr werden Wege aufgezeigt, wie diesen bislang bestehenden Unzulänglichkeiten zu begegnen ist.

Experts know that the texturizing temperatures on a machine vary from spindle to spindle – sometimes variations amount to as much as 14°C – and besides there are variations from machine to machine, so that the nonuniformity of yarns (colour, crimp, bulk, strength) often gives reason to justified complaints, mainly because the surface temperature of the thread during texturizing has not been known in the factories and thus there was no effective remedy against these nonuniformities.

This paper is particularly topical because the heat transfer to the thread as well as its cooling with increasing texturizing speeds set high requirements to the measuring of the thread surface temperature and to the length of the cooling distance of the spindle.

Now, approaches are shown, how these deficiencies can be overcome.

1. Einleitung

Bevor die Entwicklung spezieller Infrarotmeßgeräte zur Ermittlung der Fadentemperatur an Bedeutung gewann, war jedes Verfahren auf die Messung der Temperatur der vom Faden durchlaufenen Heizstrecke¹⁻⁴, auf die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften der angefertigten Kräuselgarne^{5,6} oder auf die Messung der hinter der Heizstrecke etwa vorhandenen Fadenoberflächentemperatur mittels direkt auf der Fadenoberfläche angebrachter Kontaktfühler⁷⁻⁹ beschränkt. Bei der mittelbaren Bestimmung der Fadentemperatur durch die Heizungstemperatur wird unterstellt, daß die Fadenoberflächen- und die Heizungstemperatur nicht miteinander übereinstimmen. Dies gilt besonders für die Verwendung moderner Hochleistungs-Zwirntexturiermaschinen mit Fadengeschwindigkeiten von mehr als 300 m/min.

Unter derart extremen Texturierbedingungen darf von der Heizungstemperatur nicht auf die Fadentemperatur geschlossen werden. Die Ermittlung der Fadenoberflächentemperatur mittels Kontaktfühlers brachte ebenfalls nicht den gewünschten Erfolg. Selbst dann, wenn der Einfluß der zwischen dem Kontaktfühler und der Zwirnoberfläche entstehenden Reibungswärme unter Kontrolle gehalten werden kann, ist die diesbezügliche Anwendung in der Torsionstexturierung bedenklich, da infolge der an der Zwirnoberfläche vorkommenden Unebenheiten kein ruhiger Lauf des Garnes gegeben ist. Der ruhige Lauf ist jedoch die Voraussetzung für eine einwandfreie Verwendung dieses Meßprinzips.

Versuche haben ergeben, daß diese Methode nur bei relativ niedrigen Durchlaufgeschwindigkeiten mit Erfolg anzuwenden ist⁹. Die erwähnten Schwierigkeiten führten dazu, Meßverfahren zu entwickeln und einzusetzen, mit denen die thermische Vorgeschichte beim Texturierprozeß anhand der an den hergestellten Kräuselgarnen durchgeführten physikalischen Analysen interpretiert werden konnte. Hierzu sind unter anderem kalorimetrische und thermomechanische Meßverfahren zu erwähnen⁶.

Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß die Anwendung solcher Meßverfahren mit einer sehr komplizierten Probenvorbereitung verbunden ist und die Ergebnisse, bedingt durch die große Anzahl der während des Texturierprozesses wirkenden Einflußgrößen, relativ ungenau sind. Die Anforderungen der Praxis bestehen vielmehr darin, über Meßverfahren zu verfügen, mit deren Hilfe die unmittelbare Bestimmung der im Texturierprozeß wirkenden Fadentemperatur ohne Zeitverzögerung erfolgen kann.

Die berührungslose Erfassung der Fadenoberflächentemperatur am laufenden Faden ist mit den nach dem Prinzip der Infrarotstrahlungsmessung arbeitenden Verfahren möglich¹⁰⁻¹⁴. Die auf dem Markt vorhandenen Geräte haben den Nachteil, daß die Meßfleckgröße ein Vielfaches der Fadendicke ist. Demnach wird nicht nur die von der Fadenoberfläche emittierte Infrarotstrahlung, sondern auch die vom Hintergrund erfaßt. Um diesen Nachteil zu beseitigen, sind in der letzten Zeit mehrere Verfahren entwickelt worden, womit der Einfluß des vom Hintergrund miterfaßten Strahlungsflusses kompensiert wird¹¹⁻¹⁵. Bei den zumeist verwendeten Kompensationsverfahren wird ein heizbarer Hintergrund verwendet. Die vom eingebauten Hintergrund erfaßte Bestrahlungsstärke hängt erwartungsgemäß von den Strahlungseigenschaften, beispielsweise vom Emissionsgrad des Hintergrundes, ab. Aus diesem Grund können manchmal Meßfehler auftreten, die u.U. zu Fehlschlüssen bei der Betrachtung der Meßergebnisse führen können. Darüber ist in der Fachliteratur bis heute wenig berichtet worden.

2. Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Abhandlung soll die Fadenoberflächentemperatur am laufenden Faden mittels Infrarotstrahlung berührungslos ermittelt werden. Die zwischen der Fadenoberfläche und den Umgebungsgegenständen, insbesondere dem Heizungssystem, bestehende gegenseitige Strahlungsbeeinflussung sowie ihre Wechselwirkungen sollen ebenfalls bestimmt werden. Im Zusammenhang damit ist für das aus

einem heizbaren Hintergrund und aus zwei Pyrometern bestehende Kompensationsverfahren¹¹⁻¹⁵ eine ausführliche Fehleranalyse durchzuführen. Außerdem soll für die Trennzwirntexturierung die Wirkung eines Kontaktheizungssystems auf die Fadenoberflächentemperatur bei extrem hohen Fadengeschwindigkeiten untersucht werden.

Begriffe und Symbole

- ϵ_F Emissionsgrad des Fadens
- ϵ_H Emissionsgrad des Hintergrundes
- ϵ_U Emissionsgrad der umgebenden Gegenstände
- ρ_F Reflexionsgrad des Fadens
- ρ_H Reflexionsgrad des Hintergrundes
- τ_F Transmissionsgrad des Fadens
- E_U ($W \cdot cm^{-2}$) Eigenstrahlung der umgebenden Gegenstände
- $\phi_{F_{eff}}$ (W) vom Infrarotstrahlungsmesser, dessen Meßfeld auf den Faden und auf den Hintergrund gerichtet ist, wahrgenommener Strahlungsfluß, unter Berücksichtigung des Emissionsgrades ϵ_F
- ϕ_{FH} (W) vom Faden ausgesandter Strahlungsfluß
- $\phi_{H_{ges}}$ (W) . . . vom Hintergrund ausgesandter Strahlungsfluß
- $\phi_{H_{eff}}$ (W) vom Infrarotstrahlungsmesser, dessen Meßfeld auf den Hintergrund gerichtet ist, wahrgenommener Strahlungsfluß, unter Berücksichtigung des Emissionsgrades ϵ_F
- $\phi_{F_{ges}}$ (W) vom Infrarotstrahlungsmesser, dessen Meßfeld auf den Faden und den Hintergrund gerichtet ist, erfaßter Strahlungsfluß
- θ_{Fo} (K) Fadenoberflächentemperatur
- θ_H (K) Hintergrundtemperatur
- θ_U (K) Temperatur der umgebenden Gegenstände
- θ_{Heff} (K) vom Infrarotstrahlungsmesser, dessen Meßfeld auf den Hintergrund gerichtet ist, wahrgenommene Hintergrundtemperatur
- θ_{Fo} ($^{\circ}C$) Fadenoberflächentemperatur
- $p\theta$ (%) relativer Meßfehler bei der Ermittlung der Fadenoberflächentemperatur
- F_F (cm^2) Fadenfläche
- F_H (cm^2) Meßfläche des Hintergrundes
- v_A ($m \cdot min^{-1}$) Abzugsgeschwindigkeit
- V (%) Vorlauf
- C_s ($W \cdot cm^{-2} \cdot K^{-4}$) universelle Strahlungskonstante
- D_H (cm) Meßfleckdurchmesser
- D_F (μm) Fadendicke

3. Ermittlung der Fadenoberflächentemperatur am laufenden Faden

Zur Herstellung der Kräuselgarne fand die vom Institut für Textiltechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen

Hochschule umgebaute Labor-Streckzwirnmachine Verwendung¹⁶. Die Messung der Fadenoberflächentemperatur erfolgte mit Hilfe der Infrarotmeßanlage Typ EF 100 der Firma Heimann GmbH., Wiesbaden-Dotzheim, am laufenden Faden¹¹⁻¹⁵. Diese Infrarotmeßanlage besteht aus zwei Gesamtstrahlungs-pyrometern, aus einem Steuergerät und aus einem aufheizbaren Hintergrund (Abb. 1).

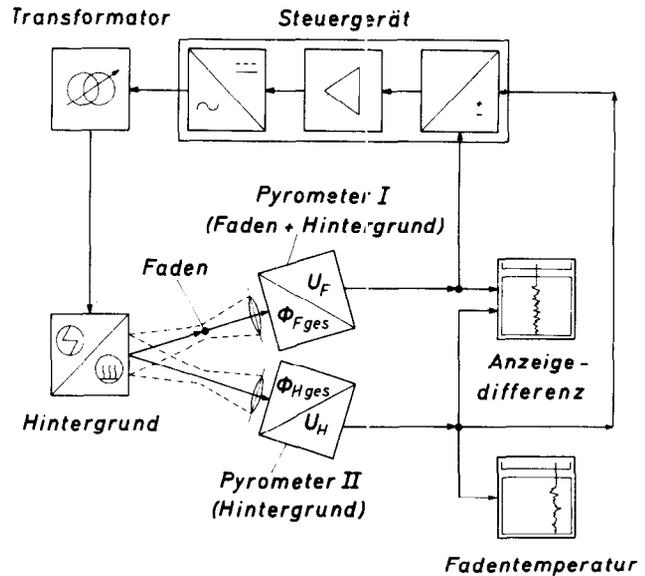


Abb. 1: Blockschaltbild der verwendeten Infrarotmeßanlage zur Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur

Der Hintergrund besteht aus einem rechteckigen Blech als elektrischem Widerstand mit einer geringen Masse und damit einer niedrigen Wärmekapazität. Dieses Blech ist zwischen zwei starken Kupferelektroden eingelötet, die an einen Regeltransformator angeschlossen sind. Die beiden Pyrometer werden auf den Hintergrund gerichtet und in gleichem Abstand davon aufgestellt, sodaß von ihnen ein gemeinsames Meßfeld erfaßt werden kann. Die von der Pyrometerlinse bis zum Hintergrund festgelegte Entfernung beträgt ein Mehrfaches der Meßobjektentfernung. Bei einer Meßobjektentfernung von 32 mm hat die Meßfleckgröße einen Durchmesser von 4 mm. Dieser ist demnach ein Vielfaches der größtmöglichen Fadendicke.

Während mit dem ausschließlich auf den Hintergrund gerichteten Pyrometer (Pyrometer II, Abb. 1) der vom Hintergrund ausgesandte Strahlungsfluß, im folgenden Hintergrundfluß $\phi_{H_{ges}}$ genannt, erfaßt wird, wird mit dem auf den Faden und den Hintergrund gerichteten Pyrometer (Pyrometer I, Abb. 1) ein Strahlungsfluß, Fadenfluß $\phi_{F_{ges}}$ genannt, dessen Größe von der Temperatur der Fadenoberfläche und der des Hintergrundes abhängt, gemessen.

Die an beiden Pyrometern entstehenden Ausgangssignale werden den Linienschreibern und dem Steuergerät zugeführt und miteinander verglichen. Das mit dem Steuergerät erfaßte Differenzsignal wird verstärkt und zur Steuerung einer Wechselstromleistung benützt, die über den jeweiligen Leistungstransformator den Hintergrund bis auf die Höhe der Fadenoberflächentemperatur aufheizt.

Für den Meßvorgang ist der Faden in die Meßfeldfläche des Pyrometerfeldes zu bringen. Bedingt durch die zwischen dem Faden und dem Hintergrund vorhandenen Temperaturunterschiede entsteht zwischen den mit den beiden Pyrometern ermittelten Meßsignalen eine Signaldifferenz, die zu einer Aufheizung oder Abkühlung des Hintergrundes führt, je nachdem, ob die Fadenoberflächentemperatur niedriger oder höher als die Hintergrundtemperatur ist. Die Hintergrundtemperatur wird so lange geregelt, bis zwischen beiden Pyrometern keine Signaldifferenz mehr besteht. Die mit auf den Hintergrund gerichteten Strahlungs-pyrometern ermittelte Hintergrundtemperatur stimmt dann mit der Fadenoberflächentemperatur überein, wenn an beiden Strahlungs-pyrometern der Emissionsgrad des Fadens eingestellt wird. Dies ist jedoch nur bedingt gültig, da die Genauigkeit der nach diesem Verfahren ermittelten Oberflächentemperatur des laufenden Fadens von den Gegebenheiten der Meß-anlage und von den Umgebungsbedingungen abhängt. Um die Größenordnung der unter Verwendung dieses Meß-systems auftretenden Meßfehler bei der Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur festzustellen, wurde eine Fehlerberechnung durchgeführt.

Die von der Umgebung, vom Hintergrund und von der Fadenoberfläche verursachten Strahlungsflüsse sind aus Abbildung 2 zu ersehen. Der vom Pyrometer erfaßte Faden-

fluß ϕ_{Fges} besteht aus zwei Strahlungsanteilen, und zwar erstens aus der vom Hintergrund emittierten Eigenstrahlung und der auf den Hintergrund treffenden und von ihm reflektierten Umgebungsinfrarotstrahlung, sowie zweitens aus der von der Fadenoberfläche emittierten Eigenstrahlung, aus der vom Hintergrund durch die Fadenmasse gehenden Strahlung und aus der auf die Fadenoberfläche auffallenden und von ihr reflektierten Umgebungsinfrarotstrahlung.

Da es bei der Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur mit der von der Firma Heimann GmbH. entwickelten Infrarotmeßanlage erforderlich ist, an beiden Pyrometern den gleichen Emissionsgrad ϵ_F der Faserstoffe einzustellen, wird vom Pyrometer I, dessen Meßfeld auf den Faden und den Hintergrund gerichtet ist, der effektive Strahlungsfluß ϕ_{Feff}

$$\phi_{Feff} = \phi_{Fges} \cdot \frac{1}{\epsilon_F} \quad [W] \quad (1)$$

erfaßt, wobei der gesamte Strahlungsfluß ϕ_{Fges} durch den Ausdruck

$$\phi_{Fges} = \phi_{FH} + \left(1 - \frac{F_F}{F_H}\right) \cdot \phi_{Hges} \quad [W] \quad (2)$$

gegeben ist. Die Fadenfläche F_F ergibt sich aus der Projektion der Fadenfläche auf die Wandung des Hintergrundes.

Mit dem Pyrometer II, dessen Meßfeld auf den Hintergrund gerichtet ist, wird der effektive Strahlungsfluß ϕ_{Heff} erfaßt, der unter Berücksichtigung der Einstellung des Emissionsgrades ϵ_F durch den Ausdruck

$$\phi_{Heff} = \phi_{Hges} \cdot \frac{1}{\epsilon_F} \quad [W] \quad (3)$$

gegeben ist. Wie bereits erwähnt, stützt sich das Meßverfahren auf das Prinzip, die Hintergrundtemperatur so lange zu regeln, bis zwischen beiden Pyrometern keine Signaldifferenz mehr angezeigt wird. Demnach folgt aus der Differenz der Gleichung (1) und der Gleichung (3) mittels Gleichung (2) die Beziehung

$$\phi_{FH} - \frac{F_F}{F_H} \cdot \phi_{Hges} = 0 \quad (4)$$

wobei die vom Hintergrund sowie von der Fadenoberfläche ausgesandten Strahlungsflüsse ϕ_{Hges} und ϕ_{FH} aus den Ausdrücken

$$\phi_{Hges} = F_H \cdot C_s \cdot [\epsilon_H \cdot (\theta_H/100)^4 + q_H \cdot \epsilon_U \cdot (\theta_U/100)^4] \quad [W] \quad (5)$$

und

$$\phi_{FH} = \frac{F_F}{F_H} \cdot \tau_F \cdot \phi_{Hges} + F_F \cdot \epsilon_F \cdot C_s \cdot (\theta_F/100)^4 + F_F \cdot q_F \cdot \epsilon_U \cdot C_s \cdot (\theta_U/100)^4 \quad [W] \quad (6)$$

zu berechnen sind.

Die mit dem Pyrometer II wahrzunehmende effektive Temperatur θ_{Heff} des Hintergrundes läßt sich aus dem vom Pyrometer erfaßten Strahlungsfluß ϕ_{Hges} bestimmen. Die für den Strahlungsfluß ϕ_{Hges} durch die Gleichung (5) gegebene Beziehung läßt sich in der Form

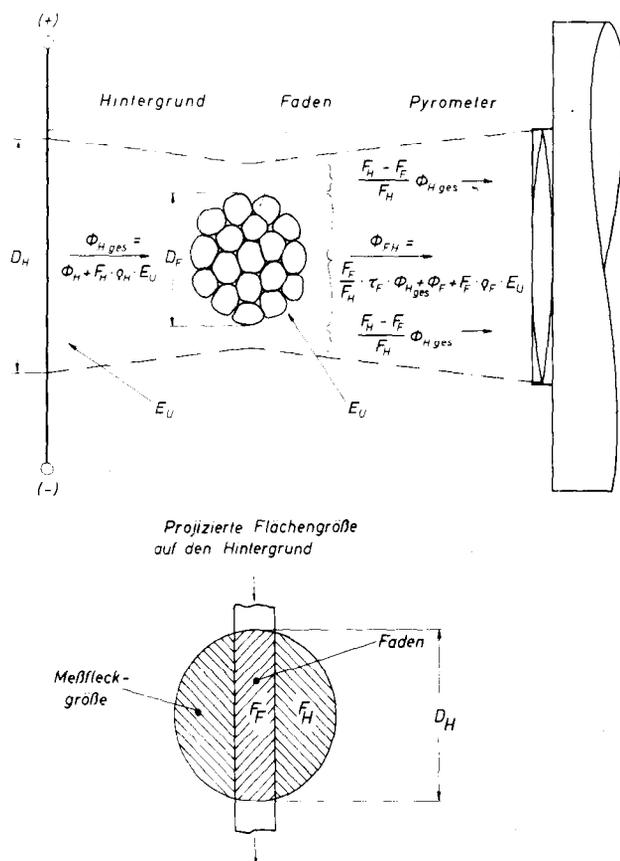


Abb. 2: Schematische Darstellung der zur Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur vorhandenen Anordnung des Fadens hinsichtlich seiner Lage zum Hintergrund und Bezeichnung der bei der Erfassung der aus der Fadenoberfläche ausgesandten Infrarotstrahlung beteiligten Strahlungsflüsse

$$\begin{aligned} \Phi_{Hges} &= F_H \cdot C_s \cdot [\epsilon_H \cdot (\theta_H/100)^4 + \rho_H \cdot \epsilon_U \cdot (\theta_U/100)^4] [W] \\ &= F_H \cdot \epsilon_H \cdot C_s \cdot (\theta_{Heff}/100)^4 [W] \end{aligned} \quad (7)$$

ausdrücken. Demnach ist die mit dem Pyrometer II wahrgenommene effektive Temperatur θ_{Heff}

$$\theta_{Heff} = (\epsilon_H \cdot (\theta_H/100)^4 + \rho_H \cdot \epsilon_U \cdot (\theta_U/100)^4)^{1/4} \cdot 100 [K] \quad (8)$$

abzuleiten. Durch Einsetzen der Gleichungen (6) und (7) in die Gleichung (4) ergibt sich für die Fadenoberflächentemperatur θ_{Fo} die Beziehung

$$\theta_{Fo} = (\rho_F \cdot \epsilon_U \cdot (\theta_U/100)^4 + \epsilon_H \cdot (\theta_{Heff}/100)^4 \cdot (1 - \tau_F))^{1/4} \cdot 100 [K]. \quad (9)$$

Aus der abgeleiteten Gleichung (9) für die Fadenoberflächentemperatur θ_{Fo} geht hervor, daß bei Verwendung des beschriebenen Meßsystems die ermittelten Meßergebnisse von der Dicke des Fadens unabhängig sind.

Der relative Meßfehler lautet:

$$p_\theta = \left(\frac{\theta_{Heff}}{\theta_{Fo}} - 1 \right) \cdot 100 [\%]. \quad (10)$$

In Abbildung 3 ist der nach der Gleichung (10) berechnete relative Meßfehler p_θ in Abhängigkeit vom Verhältnis der Fadenoberflächentemperatur θ_{Fo} zur Umgebungstemperatur θ_U , vom Emissionsgrad ϵ_H des Hintergrundes sowie vom Durchlässigkeitsgrad τ_F und vom Reflexionsgrad ρ_F des Fadens graphisch dargestellt.

Wie aus den Versuchsergebnissen hervorgeht, werden die Meßresultate der Fadenoberflächentemperaturen von den im Hintergrund herrschenden Strahlungseigenschaften sehr stark beeinflusst. Mit zunehmendem Emissionsgrad ϵ_H des Hintergrundes ist eine große Abnahme der relativen Meßfehler zu verzeichnen.

Die Fadenoberflächentemperatur θ_{Fo} in Abhängigkeit vom relativen Meßfehler p_θ darzustellen, war überflüssig, da die Untersuchung ergeben hat, daß der relative Meßfehler p_θ von der Fadenoberflächentemperatur θ_{Fo} unabhängig ist.

Mit zunehmendem Temperaturverhältnis θ_{Fo}/θ_U , das heißt mit abfallender Umgebungstemperatur θ_U bei konstanter Fadenoberflächentemperatur θ_{Fo} , ist der Einfluß der von der Umgebung ausgesandten Fremdstrahlung auf den auftretenden relativen Meßfehler p_θ entsprechend kleiner (Abb. 3).

Der kleinste Meßfehler wird ausschließlich bei einem undurchlässigen ($\tau_F = 0$) und nicht reflektierenden ($\rho_F = 0$) Fadenmaterial erreicht, wenn der Emissionsgrad ϵ_H des Hintergrundes gleich Eins ist. Dies gilt also für den angenommenen Fall, daß sowohl der Faden als auch der Hintergrund wie ein „schwarzer Strahler“ strahlen.

Bei einem Emissionsgrad ϵ_H von 0,9 bis 1,0 ist der relative Meßfehler ebenfalls sehr gering, wenn der Durchlässigkeitsgrad τ_F bzw. der Reflexionsgrad ρ_F bis 0,05 beträgt. Diese Aussage ist für die erfolgreiche Verwendung der Infrarotmeßanlage von großer Bedeutung, da die Strahlungseigen-

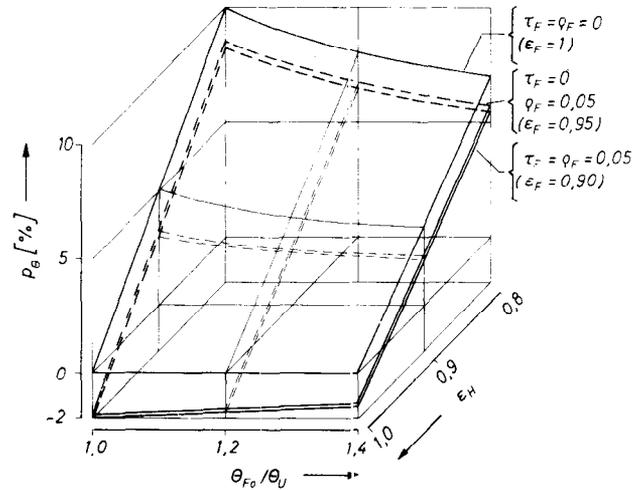


Abb. 3: Der bei der Bestimmung der Fadenoberflächentemperatur mit der Infrarotmeßanlage auftretende relative Meßfehler p_θ in Abhängigkeit vom Temperaturverhältnis θ_{Fo}/θ_U , vom Emissionsgrad ϵ_H und von den Strahlungseigenschaften der zu untersuchenden Faserstoffe, ausgedrückt durch ihren Durchlässigkeitsgrad τ_F und Reflexionsgrad ρ_F .

schaften der verwendeten Faserstoffe und die des Hintergrundes in diesem Bereich liegen.

Mit der beschriebenen Infrarotmeßanlage wurde am laufenden Faden die Fadenoberflächentemperatur ermittelt. Um festzustellen, ob die Fadenoberflächentemperatur mit dem verwendeten Heizungssystem auch bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten bis auf die Heizkörpertemperatur aufgeheizt werden kann, war die Fadentemperatur bei extrem hohen Fadenlaufgeschwindigkeiten unmittelbar hinter der Heizstrecke zu messen.

In Abbildung 4 ist die Fadenoberflächentemperatur ϑ_{Fo} in Abhängigkeit von der Abzugsgeschwindigkeit v_A und vom Vorlauf V graphisch dargestellt. Bei den vorhandenen Prüfbedingungen ist in dem untersuchten Geschwindigkeitsbereich mit größer werdender Abzugsgeschwindigkeit v_A

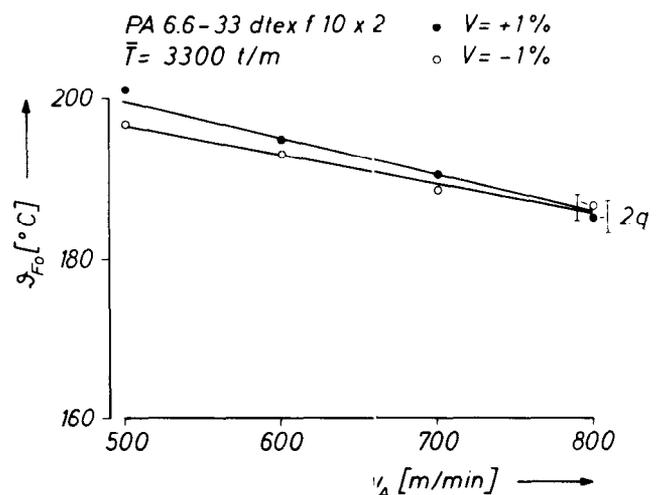


Abb. 4: Die Fadenoberflächentemperatur ϑ_{Fo} in Abhängigkeit von der Abzugsgeschwindigkeit v_A und vom Vorlauf V

mit einer Abnahme der Fadenoberflächentemperatur zu rechnen. Die Ursache für dieses Verhalten ist offensichtlich ein zwischen der Faden- und der Heizungsoberfläche ungünstiger Wärmeübergang. Eine weitere Ursache für den mit zunehmender Fadengeschwindigkeit bestehenden Abfall der Fadenoberflächentemperatur ist darin zu sehen, daß die in der Heizstrecke zur Verfügung stehende Verweilzeit des Fadens nicht mehr ausreicht, um das zwischen Fadenmasse und Heizungsoberfläche bestehende Temperaturgleichgewicht zu erreichen. Die Messungen mit auf der Heizungsoberfläche angebrachten Thermofühlern haben ergeben, daß kein nennenswerter Abfall der Heizungsoberflächentemperatur vorliegt.

Der Einfluß des Vorlaufes V auf die Fadenoberflächentemperatur ϑ_{F_0} ist sehr gering und statistisch nicht gesichert. Es ist jedoch bemerkenswert, daß die höchsten Werte der Fadenoberflächentemperatur ϑ_{F_0} beim Vorlauf $V = +1$ ermittelt wurden, bei dem der niedrigste Anpreßdruck des Fadens auf die Heizkörperoberfläche herrscht.

Wenn die Aufheizung der Fadenmasse hauptsächlich durch Wärmeleitung erfolgen würde, ist es zu erwarten, daß gerade bei denjenigen Herstellungsbedingungen, bei denen der Faden mit dem größten Anpreßdruck auf der Heizfläche aufliegt, die besseren Bedingungen für einen zwischen der Heizungs- und der Fadenoberfläche bestehenden Wärmetransport vorhanden wären. Die ermittelten Meßergebnisse stehen jedoch im Gegensatz zu dieser Annahme, sodaß die Vermutung naheliegt, daß – neben der bereits angedeuteten zunehmenden Anpreßkraft auf die Heizschiene – noch andere Faktoren eine Rolle spielen, die in der Lage sind, die sich im Heizungssystem abspielende Wärmeübertragung zu beeinflussen. In diesem Zusammenhang ist der bestehende Einfluß einer stärkeren Fadenzugkraft auf die Dämpfung der in der Heizstrecke erfolgenden Fadenschwingungen zu nennen. Der günstige Einfluß der Schwingungsbewegung des Fadens auf den Wärmeübergang ist aus den mit Konvektionsheizkörpern durchgeführten Untersuchungen bekannt^{17, 18}.

Aus dem bisher Gesagten könnte der Schluß gezogen werden, daß die Ursache für den mit zunehmendem Vorlauf V vorhandenen Anstieg der Fadenoberflächentemperatur ein günstigerer Wärmeübergang infolge der größeren Schwingungserregung des Fadens während seines Laufens durch die Heizstrecke sei.

4. Zusammenfassung

In Zusammenhang mit der während des Texturierprozesses erfolgten Ermittlung der Fadenoberflächentemperatur am laufenden Faden wird die aus einem aufheizbaren Hintergrund und aus zwei Pyrometern bestehende Infrarotmeßanlage beschrieben. Die Resultate der Untersuchung haben gezeigt, daß die Meßergebnisse der Fadenoberflächentemperatur von der Dicke des Fadens unabhängig sind. Im Gegensatz zu dieser oft vertretenen Meinung beeinflussen aber die Strahlungseigenschaften des Hintergrundes die Meßergebnisse der Fadenoberflächentemperatur. Während des Meßvorgangs ist der Einfluß der von den Gegenständen der Umgebung emittierten und von der Fadenoberfläche

reflektierten Infrarotstrahlung auf die Meßergebnisse der Fadenoberflächentemperatur zu berücksichtigen. Deshalb wurde ein Rechenmodell entwickelt, mit dem es möglich ist, den bei der Ermittlung der Fadenoberflächentemperatur entstehenden relativen Meßfehler zu berechnen und damit die ermittelten Meßergebnisse der Fadenoberflächentemperatur zu korrigieren. Unter Berücksichtigung der Gegebenheiten des Meßsystems und unter bestimmten Prüfbedingungen treten Meßfehler auf, die die 3%-Fehlergrenze nicht überschreiten.

Aus der gemessenen Fadenoberflächentemperatur ist zu sehen, daß es nicht möglich ist, mit dem verwendeten Heizungssystem bei den vorbestimmten Fadendurchlaufgeschwindigkeiten die Fadentemperatur bis auf die Heizkörperoberflächentemperatur zu bringen. Es ergibt sich daher, daß der Einfluß des Vorlaufes auf die Fadentemperatur sehr gering ist, daß aber ein Vorlauf von 1 % mit einer relativ niedrigen Anpreßkraft des Fadens auf die Heizungsoberfläche bessere Ergebnisse der Fadenoberflächentemperatur bringt. Dieser Einfluß ist offensichtlich auf eine bessere Gestaltung des zwischen der Heizungs- und der Fadenoberfläche stattfindenden Wärmeübergangs infolge einer größeren Schwingungserregung des Fadens mit zunehmendem Vorlauf zurückzuführen. Es wird trotzdem nochmals darauf hingewiesen, daß der mit zunehmendem Vorlauf ermittelte Anstieg der Fadenoberflächentemperatur sehr gering ist.

Literatur:

- 1) W. Wegener, G. Brehm: „Untersuchung der Temperaturverhältnisse von Kontakt- und Strahlungsheizkörpern der Falschdraht-Zwirnmaschinen“; *Textil-Praxis* 15, 801–810, 891–896 (1960)
- 2) W. Wegener, H.C. Jammers: „Hochtourige Falschdraht-Zwirnmaschine und Eigenschaften der damit erzeugten Kräuselgarne“; *Chemiefasern* 14, 50–59, 121–126, 194–195 (1964)
- 3) J. Lünenschloß, K. Lerch, B. Schuler: „Der Einfluß der Herstellungsbedingungen von Polyamid- und Polyester-Falschdraht-Kräuselgarnen verminderter Drehung auf den Ausfall der Garne und Maschenwaren“; *Textil-Praxis* 21, 276–285, 317–324, 412–420, 644–656 (1966)
- 4) W. Wegener, L. Coll-Tortosa: „Die Auswirkung der Veränderung des Heizkörperprofil auf die Qualität der Kräuselgarne“; *Chemiefasern/Textilindustrie* 22/74, 673–679 (1972)
- 5) O. Becker, S. Hobe: „Indirekte Messung der wirksamen Fadentemperatur, die sich innerhalb der Heizkammern von Falschdrahtmaschinen ausbildet“; *Melliand Textilber.* 47, 867–872 (1966)
- 6) H.J. Berndt: „Untersuchungen an thermisch-mechanisch vorbehandeltem Polyäthylenglykoltterephthalat. – Ein Beitrag zur Optimierung des Fixiereffektes und seine Bestimmung“; *Dissertation RWTH Aachen, Aachen* 5.7.1971
- 7) M. Culpin, F.M. Jones: „Measurement of the Temperature of a Running Thread-Line“; *J. Sc. Instr.* 36, 28–29 (1959)
- 8) J.M. Benson, R. Horne: „Surface Temperature of Thin Sheets and Filaments“; *Instr. and Control Systems* 35 (10), 115–117 (1962)

- 9) H. Schlegel, W. Weber: „Fadentemperaturmessungen an Falschdraht-Texturiermaschinen“; D. Textiltechn. 19, 774–779 (1969)
- 10) T. Egambaram, E.M. Afify, A. El-Shiekh: „Heat Transfer in False-Twist Texturing“; Text. Res. J. 44, 803–812 (1974)
- 11) W. Wegener, J. Lünenschloß, L. Coll-Tortosa: „Untersuchung der Zusammenhänge zwischen dem Verlauf von Temperatur, Drehung und Querschnittsverformungen der Einzelfäden in der Heizstrecke beim Trennzwirnverfahren“; Chemiefasern/Textil-Industrie 23/75, 1082–1089 (1973)
- 12) J. Lünenschloß, L. Coll-Tortosa: „Der Einfluß der Kühlstrecke und der Spindelausführung auf die Fadentemperatur und die Eigenschaften der Falschdraht-Kräuselgarne“; Textil-Praxis 28, 667–670 (1973)
- 13) W. Wegener, L. Coll-Tortosa: „Die Eigenschaften der mit hohen Geschwindigkeiten nach dem Trennzwirnverfahren hergestellten Kräuselgarne“; Textil-Praxis 29, 1688–1690 (1974)
- 14) J. Lünenschloß, E. Kirschbaum: „Die Temperaturmessung am laufenden Faden beim Falschdrahttexturieren mit hohen Geschwindigkeiten“; Chemiefasern/Textil-Industrie 25/77, 937–940 (1975)
- 15) Anonym: „Ein neues Verfahren zur Temperaturbestimmung am laufenden Faden“; Textilbetrieb 91, 1/2, 43–45 (1973)

Illustriertes Technisches Textilfachwörterbuch Spanisch/Deutsch – Deutsch/Spanisch

16.000 Fachausdrücke, 700 Seiten, 600 Zeichnungen textiler Maschinen und Verfahren enthält ein neues Textilfachwörterbuch, das in Spanisch/Deutsch und Deutsch/Spanisch im Juni 1975 auf dem Markt erschienen ist.

Verfasser ist Dr. Ing. de Ind. Textiles Carlos Schneegluth, vielen Fachleuten als Autor textiltechnischer Berichte bekannt. Dr. Schneegluth leitet seit 12 Jahren die führende spanische Textilfachschrift „Revista de la Industria Textil“, sowie die „Revista de Quimica Textil“, das Fachorgan des Spanischen Vereins der Textilchemiker und Coloristen.

Dieses Wörterbuch, schon lange notwendig, wird das exakte Übersetzen schwieriger textiltechnischer Ausdrücke in beiden Sprachen wesentlich erleichtern. Es soll den Studenten, Technikern, Ingenieuren, Chemikern (in allen mit dem Textilfach verwandten Randgebieten), technischen Übersetzern, aber auch den Beratern der textilchemischen Industrien, Farbstoff-Fabriken, Textilmaschinenherstellern in deutsch- und spanischsprechenden Ländern (auch Südamerika) u.a. ein umfassendes, in einem einzigen Band zusammengefaßtes Werk in die Hand geben, welches ihm eine schnelle, präzise und möglichst aufschlußreiche Antwort auf jede sprachliche und technische Frage geben kann.

Durch die vielen Textergänzungen und Zeichnungen kann es auch als Nachschlagewerk (OE-Spinnen, Garnschnellfärbemethoden, Wellenfach-Webmaschinen, Jet-Färbetechnik, neue Strickerei- und Wirkerei-Technologie, Nähwirktechniken, Texturierverfahren usw.) bezeichnet werden. Das Wörterbuch erschien im Format 16 x 24 cm, in Luxusausführung und auf erstklassigem Kunstdruckpapier.

Bestellungen – unter Beifügung eines Schecks über Peseten 2.400,—, zuzüglich Peseten 70,— für Versandgebühren, – sind zu richten an:

Dr. Carlos Schneegluth
BARCELONA – 6 (Spanien)
Balmaes 339 ático 2ª
Tel.: 211 . 06 . 44
227 . 15 . 25

Die Oxyäthylierung von Terephthalsäure – ein aussichtsreicher Weg zur Herstellung von Polyäthylenterephthalat (Teil I)

Professor Dr. Alexander Tschegolja,
Dipl.-Ing. Gennadi Michailow und
Dr. Wladimir Malych,

Allunions-Forschungsinstitut für Synthesefasern, Kalinin/ UdSSR

In der vorliegenden Mitteilung wird über kinetische Ergebnisse berichtet, die bei der Umsetzung von Äthylenoxid mit TPA in Abwesenheit von Lösungsmitteln erzielt wurden. Als Medium bzw. als Dispersionsmittel für ungelöste TPA dienten sowohl Äthylenoxid als auch das Umsetzungsprodukt (BOÄT) selbst. Vor allem wurden die Nebenreaktionen untersucht sowie die Mechanismen, nach denen sich die Haupt- und Nebenreaktionen in Anwesenheit von Amin-katalysatoren abspielen, aufgeklärt. Anhand der gefundenen Mechanismen wurden sodann mathematische Prozeßmodelle für ein kontinuierliches stationäres Verfahren erarbeitet, das in Reaktoren mit idealer Vermischung und Verdrängung abläuft.

The present paper reports about kinetic results which were achieved in the reaction of ethylene-oxide with TPA in the absence of solvents. Both ethylene-oxide and the reaction product (BOET) itself served as reaction-phase as well as dispersion agents for undissolved TPA. Above all, the side-reactions were examined, and also the mechanisms were explained which the principal- and side-reactions follow in the presence of amine catalysts. With the discovered mechanisms mathematical process patterns were worked out for a continuous, stationary process which takes place in reactors of ideal blending and replacement.

Einleitung

Die Entwicklung der Synthesefaserindustrie ist von einer bedeutenden Erhöhung der Polyesterfasererzeugung gekennzeichnet (Tab. 1).

Tabelle 1: Weltproduktion von Synthesefasern

Faserarten	1960	1970	1980
Polyesterfasern	17,1	33,2	38,3
Polyamidfasern	58,6	38,3	31,7
Polyacrylnitrilfasern	15,7	20,2	21,7
Sonstige Faserarten	8,6	8,3	8,3
Insgesamt:	100,0	100,0	100,0

Auch in Zukunft werden die verschiedensten Polyesterfasern aus Polyäthylenterephthalat (PÄT) und seinen Copolymeren hergestellt werden. Die besondere Stellung, die Polyäthylenterephthalat unter den Polyestern einnimmt, ist durch seine leichte Verarbeitbarkeit, durch die Vielfalt der daraus zu gewinnenden Textilmaterialien sowie durch die

ständige Verbesserung der Herstellungstechnologien von Monomeren und Polymerem bedingt.

Analysiert man die Entwicklung der PÄT-Produktion, so kann man darin folgende Etappen abgrenzen:

1953 wurde der erste Produktionsbetrieb zur Herstellung von PÄT aus Dimethylterephthalat (DMT) und Äthylenglykol (ÄG) sowie zur Erzeugung von PÄT-Fasern errichtet;

1958 bis 1965 wurden Industrieanlagen zur Herstellung von Reinstterephthalsäure (TPA) gebaut sowie Methoden zur Herstellung von PÄT durch direkte Veresterung von TPA mit Äthylenglykol ausgearbeitet;

1973 wurde die erste Anlage zur industriellen Gewinnung von PÄT aus reiner TPA plus Äthylenoxid angefahren.

Es muß darauf verwiesen werden, daß gegenwärtig schon mehr als 25 Prozent der Welterzeugung von PÄT auf der Verarbeitung der reinen TPA basieren. Die technologischen Schemata von Industrieanlagen, die sich in Bau befinden oder projektiert werden, sehen zum überwiegenden Teil die Verwendung reiner TPA vor, da die Verfahren zur Synthese, zur Abscheidung und zur Reinigung der TPA bereits ein hohes Niveau erreicht haben und die Gewinnung eines ausreichend billigen Produktes in erforderlicher Reinheit erlauben.

Man kann einige wesentliche Vorteile aufzeigen, die die Verwendung der TPA gegenüber der von DMT aufzuweisen hat:

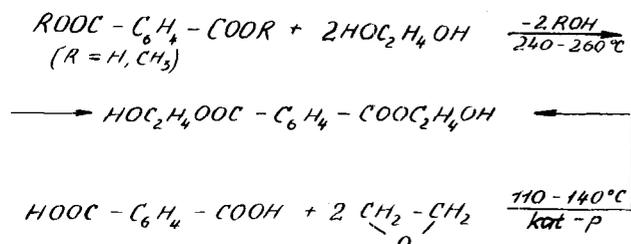
- Zur Herstellung von 1 kg PÄT benötigt man 0,865 kg TPA, während man von DMT 1,01 kg braucht.
- Die Verwendung von DMT ist mit zusätzlichen Aufwendungen für die Regenerierung von Methanol verbunden.
- Das DMT setzt sich mit ÄG nur in Anwesenheit von Katalysatoren um, während die Direktveresterung der TPA mit ÄG durch die Säure selbst katalysiert wird.

Heute zweifelt niemand mehr daran, daß es für die Herstellung von PÄT zweckmäßiger ist, anstelle von DMT die Terephthalsäure zu verwenden (Tab. 2)¹.

Tabelle 2: DMT- und TPA-Verbrauch zur Synthesefaserproduktion in Westeuropa¹

Jahr	1970	1972	1974	1976	1978	1980
TPA-Anteil in %	24	28	38	47	52	54
DMT-Anteil in %	76	72	62	53	48	46

Der Einsatz von TPA hat Chemikern und Technikern reelle Möglichkeiten zur Schaffung neuer technologischer Hochleistungsprozesse eröffnet. So ist es zum Beispiel möglich geworden, anstelle von Äthylenglykol das Äthylenoxid zu verwenden. Daß dies logisch und mit Vorteilen verbunden ist, erkennt man schon, wenn man die Reaktionsschemata betrachtet:



Das Äthylenglykol setzt sich mit DMT oder mit der TPA erst bei verhältnismäßig hohen Temperaturen unter Freiwerden von Methanol bzw. Wasser um. Damit die Umwandlung der Ausgangssubstanzen in das Bis-(β-oxyäthyl)-terephthalat (BOÄT) quantitativ verlaufen kann, muß man diese Nebenprodukte aus der Reaktionszone entfernen. Wie man aus dem Reaktionsschema ersehen kann, erhält man das gleiche Monomere auch wenn man Äthylenoxid an TPA anlagert. Die Oxyäthylierung findet bei mildereren Temperaturbedingungen statt, sie ist praktisch nicht umkehrbar und nicht mit dem Entstehen von Nebenprodukten verbunden.

Das für die Herstellung von Polyesterfasern erforderliche Äthylenglykol wird üblicherweise aus Äthylenoxid durch hydrolytische Spaltung erhalten. Offensichtlich wird die Wirtschaftlichkeit des Prozesses erhöht, wenn bei der Herstellung von PÄT unmittelbar vom Äthylenoxid und der TPA ausgegangen wird. Es wird dabei

- die Umwandlung von Äthylenoxid zu Äthylenglykol überflüssig;
- der Stoffumsatz verringert (so werden z.B. stöchiometrisch für die Herstellung von 1 t des Polymeren 323 kg Äthylenglykol, aber nur 229 kg Äthylenoxid benötigt);
- die Prozeßgeschwindigkeit im Stadium der Zwischenmonomerbildung erhöht;
- der Wärmeverbrauch verringert (die Umsetzung des Äthylenoxids vollzieht sich bei relativ niedrigen Temperaturen, wobei pro Mol umgesetztes Äthylenoxid 24 kcal frei werden);
- es werden keine Nebenprodukte (Wasser bzw. Methanol) bei der Oxyäthylierung der TPA gebildet.

Die Erarbeitung von verfahrenstechnischen Prozessen ist jedoch an die Durchführung grundlegender Forschungsarbeiten gebunden, die die Schaffung eines mathematischen Modells und die wohlgegründete Auswahl optimaler Anlagen und technologischer Schemata zum Ziel haben müssen.

In der vorliegenden Mitteilung wird über kinetische Ergebnisse berichtet, die bei der Umsetzung von Äthylenoxid mit TPA in Abwesenheit von Lösungsmitteln erzielt wurden. Als Medium bzw. als Dispersionsmittel für ungelöste TPA dienten sowohl Äthylenoxid als auch das Umsetzungsprodukt (BOÄT) selbst. Vor allem wurden die Nebenreaktionen untersucht sowie die Mechanismen, nach denen sich die Haupt- und Nebenreaktionen in Anwesenheit von Aminkatalysatoren abspielen, aufgeklärt. Anhand der gefundenen Mechanismen wurden sodann mathematische Prozeßmodelle für ein kontinuierliches stationäres Verfahren

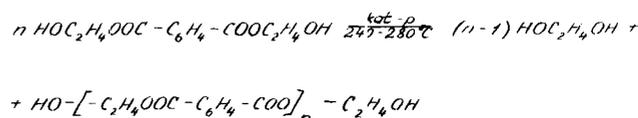
erarbeitet, das in Reaktoren mit idealer Vermischung und Verdrängung abläuft.

Die Herstellung von PÄT läuft bekanntlich in zwei Stufen ab. In der ersten Stufe wird das Monomere gebildet, das in der darauffolgenden Stufe ebenso wie die Zwischenoligoester zum PÄT polykondensiert. Bei Verwendung von Äthylenglykol entstehen nämlich infolge der hohen Temperaturen, bei denen der Prozeß geführt werden muß, bedeutende Mengen an Oligoestern. Deshalb ist bei Verunreinigung der Reaktionsprodukte (d.h. des Um- oder Veresterungsprodukts) das Entfernen der Beimengungen praktisch nicht möglich.

Äthylenoxid setzt sich mit der TPA um, ohne daß merkliche Mengen an Oligoestern auftreten. Das entstehende BOÄT kann, falls es zu einer Verunreinigung kommt, einfach durch Extrahieren mit Wasser oder durch Umkristallisieren gereinigt werden.

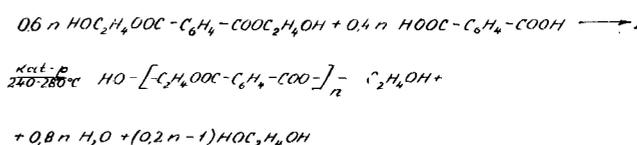
Wird für die Herstellung von PÄT Äthylenoxid herangezogen, so hängt der Chemiesmus der Polykondensation von der Zusammensetzung der Produkte, die in der vorhergehenden Stufe gebildet wurden, ab.

Ist das Produkt der Oxyäthylierung der TPA reines BOÄT, so ist die nachfolgende Stufe die Homopolykondensation des Monomeren:



Dabei werden pro Tonne Polymeres 319 kg Äthylenglykol als Nebenprodukt gebildet. Durch eine solche Verfahrensweise wird der Äthylenoxidverbrauch bei der PÄT-Herstellung erhöht.

Nimmt man aber die Oxyäthylierung so vor, daß die Säurekonversion etwa 60 Prozent ausmacht, so können die in der nachfolgenden Stufe vor sich gehenden Umsetzungen durch folgende Formel beschrieben werden:



Offenbar könnte man durch Herabsetzen der Säurekonversion auf 50 Prozent die Bildung des nebenbei entstehenden Äthylenglykols ausschließen und den Äthylenoxidverbrauch auf ein Minimum herabsetzen.

Versuchsmethodik

Die Kinetik und der Mechanismus der Oxyäthylierung der TPA wurden bisher nur in wenigen Arbeiten²⁻⁶ untersucht. Die bei diesen Versuchen angewandten Methoden der kinetischen Untersuchung ermöglichen nur einen engen Bereich (geringer Reagens- und Katalysatorkonzentrationen im Lösungsmittel) zu erfassen. Durch niedrige Reagenskonzentrationen

trationen wird die Untersuchung der Nebenreaktionen erschwert. Darum ist auch die Verwendung der ermittelten Abhängigkeiten zur Ausarbeitung technologischer Prozesse mit großen Risiken verbunden.

Von den verschiedenen möglichen Methoden zur Umsetzung von Äthylenoxid mit TPA scheint den Autoren jene am wirtschaftlichsten zu sein, die bei einem nahezu stöchiometrischen Verhältnis der Agenzien ohne Lösungsmittel arbeitet. Große Schwierigkeiten werden bei der Untersuchung der Kinetik eines solchen Prozesses durch Folgendes bereitet:

1. durch die Heterogenität des Ausgangssystems (die Löslichkeit der TPA in Äthylenoxid verändert sich, wie Untersuchungen im Temperaturbereich zwischen 90 und 145°C gezeigt haben, von 4,06 bis 11,21 mmol/l; die Löslichkeit der TPA in geschmolzenem BOÄT ändert sich bei Temperaturen zwischen 120 und 145°C von 7,52 bis 18,6 mmol/l);
2. durch hohe Partialdrücke des Äthylenoxids unter Reaktionsbedingungen (zu Beginn des Versuchs, bei dem kein Inertgas verwendet wird, entspricht der Druck dem Partialdruck des Äthylenoxids bei Versuchstemperatur, etwa 20 kg/cm² bei 120°C);
3. durch die hohe Reaktionsgeschwindigkeit bei Anwesenheit von Katalysatoren;
4. durch die Veränderungen von Volumen und Eigenschaften der flüssigen Phase im Verlauf der Reaktion, bedingt durch das Auflösen der festen TPA und die Veränderung der Zusammensetzung des Gemisches.

Aus diesem Grunde bedienten sich die Autoren bei der Durchführung der kinetischen Untersuchungen spezieller Vorrichtungen (siehe Abb. 1-3) und Methoden.

Ausgangsreagenzien und Katalysatoren

Reinterephthalsäure (TPA):

Es wurde die Säure der Firma Mitsubishi Chem. Ind. Ltd. eingesetzt. Der Grundsubstanzegehalt betrug der Säurezahl entsprechend 99,99 Prozent, die Teilchengröße ≤ 100 μ. Vor Gebrauch wurde im Vakuum bei 100°C getrocknet.

Äthylenoxid (ÄO):

Der Grundsubstanzegehalt betrug 99,9 Prozent. Das Äthylenoxid wurde vor Gebrauch über fester KOH getrocknet und destilliert.

Katalysatoren:

Tertiäre Amine (z.B. Triäthylamin) wurden vor Gebrauch durch Behandeln mit Benzoylchlorid vom Wasser sowie von primären und sekundären Aminen befreit. Die gereinigten Stoffe wurden danach destilliert und der Reinheitsgrad mittels Gas/Flüssigkeitschromatographie (GFCh) bestimmt.

Die Herstellung von Katalysatoren und Umsetzungsprodukten der Terephthalsäure mit Äthylenoxid

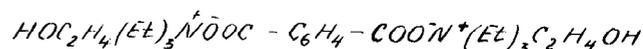
1. β-Oxyäthyl-triäthylammonium-terephthalat:



Ein Autoklav wird mit TPA, Et₃N und Äthylenoxid in einem Molverhältnis von 1 : 2 : 24 beschickt. Die Mischung wird 30 Minuten bei 50°C gehalten und danach das Äthylenoxid abgedampft.

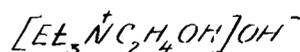
Der Niederschlag wird aus n-Amylalkohol umkristallisiert, mit Aceton gewaschen und im Vakuum über P₂O₅ getrocknet. Die Substanzausbeute beträgt (auf TPA bezogen) etwa 80 Prozent der Theorie. Der Schmelzpunkt liegt bei 159,5 bis 160°C, die Säurezahl beträgt 180 mg KOH/g. Aufbau und Reinheit der Substanz wurden mittels PMR-Spektrum bestätigt.

2. Bis-(β-oxyäthyl-triäthylammonium)-terephthalat:



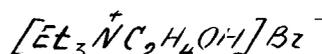
Eine wässrige Lösung von β-Oxyäthyl-triäthylammoniumhydroxid wird mit TPA bis zur Sättigung versetzt. Die ungelöste Säure wird abfiltriert, das Filtrat im Vakuum bei 30°C eingedampft. Die erhaltene Masse wird unter Vakuum über P₂O₅ nachgetrocknet. Die Substanzausbeute beträgt (auf Hydroxid bezogen) 95 Prozent der Theorie. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 40 und 46°C. Reinheit und Aufbau der Substanz wurden mittels PMR-Spektrum bestätigt.

3. Hydroxid von β-Oxyäthyl-triäthylammonium:



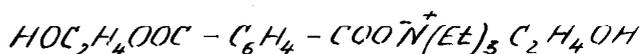
Eine wässrige Lösung des β-Oxyäthyl-triäthylammoniumbromids wird mit Silberoxid in geringem Überschuß versetzt. Das Gemisch wird in einer dunklen Glasflasche 2 Stunden lang gerührt. Nach dem Filteren erhält man eine wässrige Hydroxidlösung.

4. β-Oxyäthyl-triäthylammonium-bromid:



Eine Mischung äquimolekularer Mengen von Diäthyläthanolamin und Äthylbromid wird in einer zugeschmolzenen Ampulle 6 Stunden auf 40 bis 50°C erwärmt. Die gebildeten Salzkristalle werden zuerst mit Aceton, dann mit Äther gewaschen und an der Luft getrocknet. Der Schmelzpunkt liegt bei 260 bis 261°C.

5. β-Oxyäthyl-triäthylammonium-β-oxyäthyl-terephthalat:

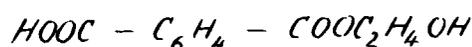


In einem Reaktor, der mit einem Rührer, mit einer Zuleitung für das Äthylenoxid sowie mit einem Thermometer ausgerüstet ist, werden 0,2 mol β-Oxyäthyl-terephthalat in 125 ml absolutem Isopropanol gelöst und danach 0,267 mol Triäthylamin unter Rühren zugesetzt. Bei 30°C werden nach und nach etwa 0,22 mol Äthylenoxid eingeführt, wobei man darauf zu achten hat, daß im Kolben kein Überdruck entsteht.

Die Reaktionsmischung wird im Rotorverdampfer verdampft. Das erhaltene Produkt (70,5 g) wird im Vakuumexikkator über P_2O_5 getrocknet. Die Substanz wird unter Beachtung sorgfältigen Schutzes vor Luftfeuchtigkeit aus einer Mischung von 200 ml absolutem Äthylacetat und 60 ml absolutem Methanol umkristallisiert.

Nach Filtration der heißen Lösung werden noch 150 ml absolutes Äthylacetat dem Filtrat zugegeben, wonach man die Lösung in den Kühlschrank gibt. Die entstandenen Kristalle werden abfiltriert und im Vakuumexikkator über P_2O_5 und KOH bei $50^\circ C$ getrocknet. Die Ausbeute beträgt 28,1 g oder 40 Prozent der Theorie (bezogen auf das Ausgangsterephthalat). Der Schmelzpunkt, gemessen in zugeschmolzener Kapillare, beträgt 99 bis $100^\circ C$. Aufbau und Reinheit der Substanz sind mittels PMR-Spektrum bestätigt.

6. β -Oxyäthyl-terephthalat (OÄT):

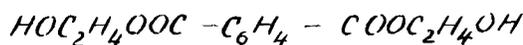


Einer Lösung von 0,5 mol BOÄT in 300 ml Äthylenglykol wird innerhalb von 2 bis 3 Stunden eine Lösung von 0,5 mol KOH in 100 ml Äthylenglykol zugetropft. Die Zutropfgeschwindigkeit der alkalischen Lösung wird so eingestellt, daß die Reaktionsmischung neutral bleibt ($pH = 7$).

Die entstehende Suspension wird mit 1000 ml Wasser verdünnt und mit Salzsäure bis zu einem pH-Wert von 3 angesäuert. Der Niederschlag wird abfiltriert und in feuchtem Zustand in 3 l Wasser eingebracht. Die Mischung wird auf $80^\circ C$ erhitzt und schnell filtriert. Der Filtrerrückstand wird wieder mit 3 l Wasser vermischt, abermals erhitzt und heiß filtriert.

Die erhaltenen Filtrate werden abgekühlt, der entstandene Satz abfiltriert und unter Vakuum bei 80 bis $100^\circ C$ getrocknet. Die Ausbeute beträgt (bezogen auf BOÄT) 49 Prozent der Theorie. Der Schmelzpunkt beträgt 176 bis $177^\circ C$.

7. Bis-(β -oxyäthyl)-terephthalat (BOÄT):



Das aus TPA und Äthylenoxid erhaltene Produkt wird durch zusätzliches Umkristallisieren aus Wasser von Katalysatorbeimengungen und carboxylhaltigen Verbindungen befreit. Die umkristallisierte Substanz wird wieder in Wasser gelöst und die $60^\circ C$ -heiße Lösung mit dem Anionenaustauscher AW-17 behandelt.

Nach Filtration, Kristallisation und Trocknung bei $60^\circ C$ erhält man ein von carboxylhaltigen Verbindungen freies BOÄT. Der Schmelzpunkt beträgt 109,5 bis $110,5^\circ C$.

Die Methodik der kinetischen Untersuchungen

Bei der Konstruktion der Anlagen sowie der Ausarbeitung von Methoden für die kinetische Untersuchung des Prozesses sind wir von folgenden Forderungen ausgegangen:

1. Die Durchmischungsgeschwindigkeit muß eine gleichmäßige Verteilung der festen TPA über das ganze Reak-

tionsvolumen sichern und darf ihr Auflösen nicht behindern.

2. Der Äthylenoxidgehalt der Gasphase muß wesentlich geringer sein als jener der flüssigen Phase und darf sich während des Versuchs nicht bedeutend ändern.
3. Beginn und Ende des Versuchs müssen genau fixiert werden.
4. Das Messen und Regeln der Prozeßparameter muß mit größter Genauigkeit vorgenommen werden.
5. Die Anlagen müssen das Abführen der Reaktionswärme sowie den vorgegebenen Temperaturablauf gewährleisten.

Die meisten der Versuche wurden auf der in Abbildung 1 gezeigten Laboranlage durchgeführt, auf der es möglich ist, diese unter Inertgasüberdruck und bei wirksamer Thermostatisierung des Reaktors zu führen. Unter solchen Bedingungen befindet sich praktisch das ganze eingesetzte Äthylenoxid in der flüssigen Phase.

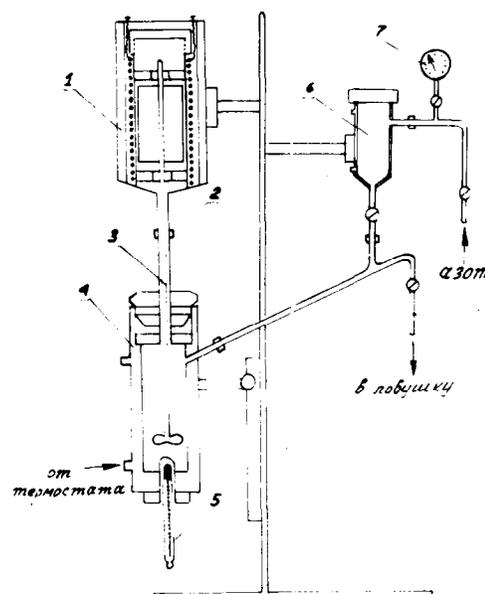


Abb. 1: Laboranlage zur Untersuchung der Reaktion von TPA mit Äthylenoxid unter Inertgasüberdruck

- 1 - hermetisch eingebauter Motor
- 2 - Verbindungsmutter
- 3 - Schnellrührer
- 4 - Reaktor (150 cm^3) mit Heizmantel
- 5 - Thermometer
- 6 - Gefäß zur Ausgangseinwaage von Äthylenoxid mit Heiz- und Kühlmantel
- 7 - Manometer

Zum Vergleich wurden auch Versuche bei hohen Äthylenoxid-Partialdrücken auf einer Versuchsanlage (Abb. 2) durchgeführt. Diese Anlage erwies sich zur Untersuchung der Reaktion bei großen Molverhältnissen von Äthylenoxid zu TPA sowie der Reaktionskinetik in homogener Phase (in Abwesenheit fester Säure), aber auch zur Bestimmung der Reaktionsordnung in bezug auf Säure und zur experimentellen Ermittlung der Löslichkeit von TPA in Äthylenoxid bei 120 bis $145^\circ C$ als geeignet.

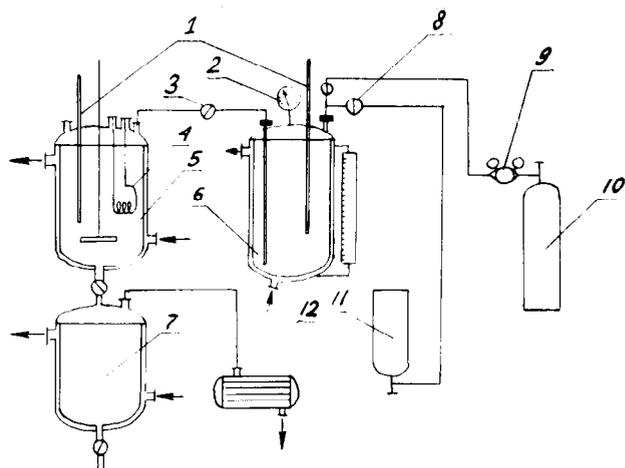


Abb. 2: Versuchsanlage zur Untersuchung der Reaktion bei hohen Äthylenoxidkonzentrationen und Partialdrücken bis zu 30 kg/cm²

- 1 - Thermometer
- 2 - Manometer
- 3 - Ventil
- 4 - Kondensator zur Ableitung der Reaktionswärme
- 5 - Reaktor (500 cm³) mit Rührer und Heizmantel
- 6 - Meßgefäß für das flüssige Äthylenoxid (500 cm³) mit Füllstandmesser, Heizmantel und Abdrückröhrchen
- 7 - Sammelbehälter mit Kühlmantel
- 8 - Ventil
- 9 - Reduzierventil
- 10 - Flasche mit Stickstoff
- 11 - Flasche mit Äthylenoxid
- 12 - Kondensator

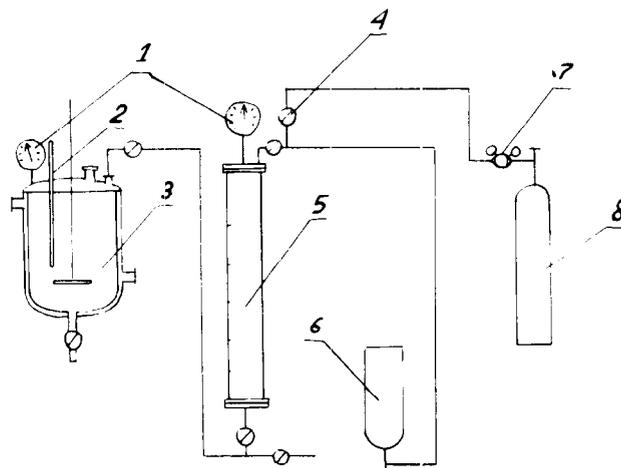


Abb. 3: Versuchsanlage zur Untersuchung der Reaktion bei geringen Äthylenoxidkonzentrationen und Partialdrücken bis zu 5 kg/cm²

- 1 - Manometer
- 2 - Thermometer
- 3 - Reaktor (2 l) mit Rührer sowie Heiz- und Kühlmantel
- 4 - Ventil
- 5 - Meßgefäß für das flüssige Äthylenoxid
- 6 - Flasche mit Äthylenoxid
- 7 - Reduzierventil
- 8 - Flasche mit Stickstoff

Zur Bestimmung der Reaktionsordnung in bezug auf Äthylenoxid wurde die in Abbildung 3 gezeigte Versuchsanlage verwendet, die die Durchführung der Reaktion bei konstanten Äthylenoxid-Partialdrücken im Bereich von 1 bis 5 kg/cm² ermöglicht.

Die Arbeitsweise dieser Anlage wird schon bei Betrachtung des Schemas in Abbildung 3 verständlich, sodaß wir auf die Methodik nicht näher einzugehen brauchen. Die Versuchsführung an den beiden anderen Anlagen verdient es jedoch, besonders besprochen zu werden.

1. Untersuchung der Reaktionskinetik unter Inertgasüberdruck (vgl. Abb. 1)

In den Reaktor mit einem stopfbuchsenlosen, schnelllaufenden Rührer und einem Mantel zur Thermostatierung werden 0,05 bis 0,1 mol TPA bzw. ihre Mischung mit BOÄT (Molverhältnis BOÄT : TPA ≤ 1) und dem Katalysator eingebracht. Die Katalysatormenge variierte von 0,25 bis 1,25 Prozent vom Gewicht der TPA.

Der Reaktor wird mit Stickstoff gespült und der Stickstoffdruck auf 40 bis 50 Atm. eingestellt, worauf bei intensiver Durchmischung ($n \leq 1000$ U/min) auf die Versuchstemperatur erhitzt wird.

In das auf 5 bis 8°C abgekühlte Gefäß werden genau gemessene Äthylenoxidgehalten eingeführt, wobei das Molverhältnis von Äthylenoxid zur TPA im Versuch zwischen 1 und 8 betragen soll.

Das Gefäß wird dicht verschlossen, die Luft durch Stickstoff verdrängt und der Stickstoffdruck auf 50 bis 60 kg/cm² eingestellt. Die Reaktion wird entsprechend lang unter ständiger Temperaturkontrolle fortgeführt. Nach Beendigung des Versuchs werden der Stickstoff und die Dämpfe des nicht umgesetzten Äthylenoxids vorsichtig aus der Reaktionszone abgeführt. Die verbleibende Mischung wird nach dem Öffnen des Reaktors in eine Petrischale gebracht. Die erstarrte Schmelze wird zerkleinert und analysiert.

2. Untersuchung der Reaktion bei hohen Äthylenoxid-Partialdrücken (vgl. Abb. 2)

In den Reaktor, der mit einem Mischer, einer Schlange zum Abführen der Reaktionswärme und einem Heizmantel ausgerüstet ist, werden die TPA- und Katalysatoreinwaagen eingebracht. Der Reaktor wird mit Stickstoff gespült, ein Vakuum von 60 bis 80 Torr eingestellt und die Mischung auf die vorgegebene Temperatur mit Heißwasser oder Dampf erhitzt.

Ein Hochdruckmeßgefäß, das mit Füllstandmesser, Heizmantel und Siphon ausgerüstet ist, wird bei normaler Raumtemperatur mit Stickstoff gespült und mit Äthylenoxid gefüllt. Das sich im Meßgefäß befindende Äthylenoxid wird anschließend auf die vorgegebene Temperatur erhitzt. Nun wird der Druck mit Stickstoff erhöht und höher als der Partialdruck eingestellt, worauf die erforderliche Äthylenoxidgehalten durch den Siphon schnell in den Reaktor gedrückt wird. Jetzt schaltet man den Mischer ein und fängt an, die Reaktionsdauer zu registrieren. Nach Beendigung des Versuchs wird das Gemisch in ein Sammelgefäß geleert und das Äthylenoxid abdestilliert. Die im Reaktor und im Sammelbehälter verbliebenen Produkte werden in Dimethyl-

formamid gelöst, wonach man die Lösungen vereinigt und analysiert.

Eine derartige Anlage ermöglicht eine gute Reproduzierbarkeit der Versuche – selbst bei den geringen, in den Ausgangsmengen von Äthylenoxid löslichen TPA-Mengen. Das ist für die Bestimmung der Reaktionsordnung in bezug auf TPA sowie zur Untersuchung der Selektivität der Anlagerung von Äthylenoxid an die Carboxylgruppen von TPA sehr wichtig.

Analysenmethoden

Die Reaktionsprodukte wurden auf ihren Gehalt an Carboxylgruppen, β -Oxyäthyl-terephthalat (OÄT), Bis-(β -oxyäthyl)-terephthalat (BOÄT), Aminen und ihrer Derivate, an Äthylenglykol, Oligoestern und gebundenem Diäthylenglykol (DÄG) analysiert.

- Der Gehalt an Carboxylgruppen wurde durch Verdünnen der Dimethylformamidlösung der Substanzen mit überschüssigem Wasser und Titration mit 0,1 n wäßriger KOH bestimmt. Man erhielt so die Säurezahlen, ausgedrückt in mg KOH/g.
- OÄT und BOÄT wurden nach der polarographischen Methode bestimmt. Es wurde eine Lösung bereitet, die 10 ml einer 0,05 m wäßrigen $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ -Lösung, 5 ml einer 0,5 m wäßrigen CaCl_2 -Lösung, 25 bis 30 ml Wasser und 0,5 ml Dimethylformamidlösung der zu untersuchenden Stoffe enthielt. Das Gemisch der beiden Lösungen wurde sorgfältig durchmischt, auf 50 ml aufgefüllt und wieder gerührt. Anschließend wurde die Lösung in eine polarographische Meßzelle gebracht, 5 bis 10 Minuten lang mit gereinigtem Stickstoff gespült, worauf die Polarogramme im Bereich von -1,2 bis -1,8 Volt aufgenommen wurden.

Die erste Stufe ($\epsilon_{1/2}$ -1,45 V) entspricht dem BOÄT, die zweite Stufe ($\epsilon_{1/2}$ -1,67 V) dem OÄT.

Die Quecksilbertropfelektrode hatte folgende Charakteristik: $m^{2/3}t^{1/6} = 1,937 \text{ mg}^{2/3}\text{sec}^{-1/6}$. Als Vergleichselektrode diente eine gesättigte Kalomelektrode. Die Standardabweichung einzelner Bestimmungen überschritt nicht ± 3 .

- Der Gesamtgehalt an Aminen und Carboxylaten des quartären Ammoniums wurde durch Titration der Probe in Essigsäureanhydrid mit einer 0,01 n HClO_4 -Lösung in Gegenwart von Kristallviolett als Indikator bestimmt.

Die Aminzahlen wurden in mmol-Äquivalent/g ausgedrückt.

- Der Gehalt an freiem Äthylenglykol wurde mit Hilfe der Gas/Flüssigkeitschromatographie bestimmt. Als Innenstandard wurde Acetophenon eingesetzt.

Chromatographierbedingungen:

- Verteilungssäule – 100 cm
- feste Phase – Chromosorb (60–80 mesh)
- flüssige Phase – 20 % 1,2,3,4,5,6-Hexakis-(2-cyanäthoxy)-hexan
- Säulentemperatur – 116°C

Stickstoff-, Wasserstoff- und Luftverbrauch – entsprechend 85, 45 und 75 ml/min

Dauer der Analyse – 30 min

Genauigkeit – $\pm 2\%$

- Der Gehalt an Oligoestern wurde nach der Methode der Dünnschichtchromatographie nach der in der Literatur beschriebenen Technik⁷ qualitativ festgestellt.

- Der DÄG-Gehalt wurde nach der Methode der Gas/Flüssigkeitschromatographie nach 6stündiger Äthanolyse der Proben in Ampullen bei 240°C analysiert. Als Innenstandard wurde 1,4-Butylenglykol verwendet.

Chromatographierbedingungen:

- Verteilungssäule – 130 cm (Durchmesser – 0,4 cm)
- feste Phase – Chromosorb
- flüssige Phase – 25 % 1,2,3,4,5,6-Hexakis-(2-cyanäthoxy)-hexan
- Säulentemperatur – 150°C
- Stickstoff-, Wasserstoff- und Luftverbrauch – entsprechend 75, 30 und 300 ml/min
- Dauer der Analyse – 30 min
- Genauigkeit – $\pm 5\%$

Die PMR-Spektren wurden mit dem JOEL-Gerät mit einer Resonanzfrequenz von 60 MHz aufgenommen. Als Vergleichsstandard diente Tetramethylsilan. Für die Analyse wurde eine 10%ige Lösung der zu untersuchenden Substanz in schwerem Wasser und Deuterodimethylsulfoxid bereitet. Die Spektren wurden bei einer Abtastung von 1000 Hz bei Raumtemperatur aufgeschrieben.

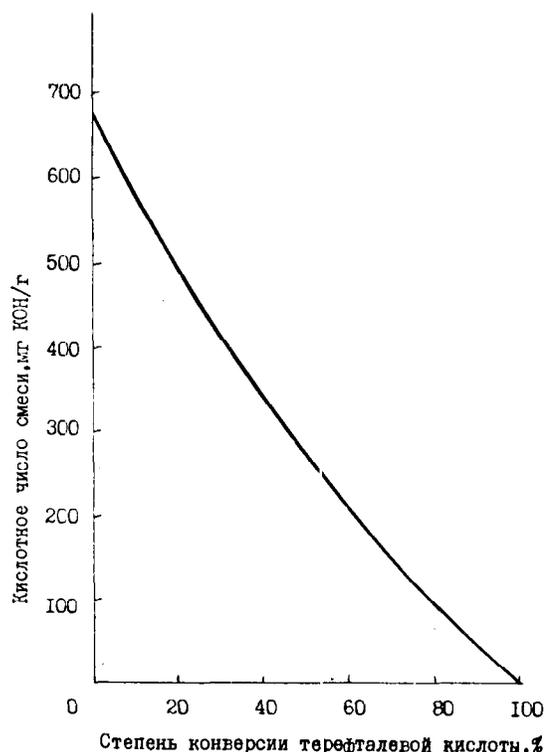


Abb. 4: Die Säurezahlveränderung des Produktes in Abhängigkeit vom Konversionsgrad von TPA zu BOÄT

Berechnung des Konversionsgrades der TPA (α_{TPA})

Bei der Berechnung von α_{TPA} ist es erforderlich, nicht nur die Hauptreaktion, sondern auch die als Nebenreaktion verlaufende Anlagerung des Äthylenoxids an die β -Oxyäthylgruppen unter Bildung von Diäthylenglykolderivaten zu berücksichtigen. Auf Grund der stöchiometrischen Gleichungen wurde deshalb das Verhältnis für die Berechnung von α_{TPA} wie folgt abgeleitet:

$$\alpha_{\text{TPA}} = \frac{1 - \delta/\delta_{\text{TPA}} - 0,4151 \cdot 10^{-2} \cdot C_{\text{DÄG}}}{1 + 0,5304 \cdot \delta/\delta_{\text{TPA}} - 0,4151 \cdot 10^{-2} \cdot C_{\text{DÄG}}} \cdot 100\%$$

wobei δ und δ_{TPA} die Säurezahlen des zu untersuchenden Prüflings und des reinen TPA und $C_{\text{DÄG}}$ der DÄG-Gehalt der Probe in Gew.% sind. Bei den geringen DÄG-Gehalten der Reaktionsprodukte können die letzten Glieder in Zähler und Nenner der Gleichung weggelassen werden:

$$\alpha_{\text{TPA}} = \frac{1 - \delta/\delta_{\text{TPA}}}{1 + 0,5304 \cdot \delta/\delta_{\text{TPA}}} \cdot 100\%$$

Diese Abhängigkeit kann auch in Form eines Diagramms (Abb. 4) dargestellt werden.

D i s k u s s i o n

I. Katalysatoren

Die Umsetzung des Äthylenoxids mit Carbonsäuren kann durch sehr viele Substanzen katalysiert werden. Von den anorganischen Verbindungen werden Alkalihydroxide⁸⁻¹⁶, Ammoniak¹⁷, Alkalisalze^{8,18-20}, klassische Hydrierungskatalysatoren²¹, Verbindungen von dreiwertigem Chrom²², Eisen, Cobalt und Nickel²³, hydratisierten Oxiden von Zn, Al, Ti und deren Komplexe mit Sn oder Si²⁴, sowie schwache anorganische Säuren²⁵ eingesetzt. In Anwesenheit solcher Katalysatoren wird die Reaktion gewöhnlich in Wasser, aber auch ohne Lösungsmittel durchgeführt.

Breite Anwendung finden auch organische Substanzen. Hohe Aktivität entwickeln dabei Carboxylate der Alkalimetalle^{16,26-30} und des quartären Ammoniums^{17,31-34}, Hydroxide³⁵ und quartäre Ammoniumsalze der Halogenwasserstoffsäuren^{31,35-45}. Besonders oft werden primäre, sekundäre und tertiäre Amine^{25,31,32,35,38-67}, manchmal zusammen mit den Cokatalysatoren^{28,32,34,40,69,75,76} eingesetzt. Ebenso werden Amide von Säuren und Aminosäuren^{19,38,68}, N-Alkylactame²⁵ und Amidsole⁶⁷ verwendet.

Unter stickstofffreien schwachen organischen Basen haben Phosphine, Arsine und Stibine^{31,35,37,38,62-66,69,80} sowie Thioester^{37,64,69,71-73} Verwendung gefunden. Auch tertiäre Sulfonium- und quartäre Phosphoniumsalze^{32,37,64}, Arsonium- und Stiboniumsalze organischer wie anorganischer Säuren besitzen bedeutende katalytische Wirkung. Beachtung verdienen ebenso heterogene organische Katalysatoren/Anionenaustauscher^{16,46}.

Man kann die bereits vorliegenden Erkenntnisse über die katalytische Aktivität einzelner Verbindungen nur schwer systematisieren, weil die Versuche oft unter sehr unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt wurden. Noch schwieriger ist es, sie in den Rahmen eines einheitlichen Katalysemechanismus zu setzen.

Eine Reihe von Forschern⁷⁷⁻⁸⁰ hebt die höhere Aktivität von Aminen und Salzen des quartären Ammoniums im Vergleich zu der von Hydroxiden und Salzen der Alkalimetalle bei der Oxyäthylierung von Carbonsäuren und Phenolen hervor. Diese Tatsache erklärt sich durch die Unterschiede in der Kinetik und im Mechanismus des Prozesses. Es wurde auch festgestellt, daß die Struktur einer Verbindung, durch die deren Protonendonatoreigenschaften bestimmt werden, die Reaktionskinetik und den Wirkungsmechanismus dieses oder jenes Katalysators⁸¹⁻⁸³ beeinflusst.

In einer der Arbeiten⁸⁴ wurde versucht, die Gesetzmäßigkeiten der Oxyäthylierungsreaktion der carboxyl- und hydroxylhaltigen Verbindungen in Anwesenheit von Aminen und quartären Ammoniumverbindungen vom Standpunkt eines einheitlichen Katalysemechanismus zu erklären. Dieser Mechanismus schließt die Aktivierungsstufe von Äthylenoxid durch ein Protonendonatorreagens und die Bildung der Oniumform des Katalysators ein.

Die Vorstellung über den Oniummechanismus der Katalyse kann auf Thioester und wahrscheinlich auch auf Phosphine, Arsine und Stibine erweitert werden. So ist beispielsweise bekannt, daß auch Sulfide in gleicher Weise wie Amine^{3,5,82} mit Äthylenoxid in Anwesenheit von Protonen liefernden Verbindungen reagieren und sich leicht in Oniumderivate umwandeln^{2,85}.

Aus Patent- und Literaturstudien läßt sich schließen, daß Amine und deren Derivate für den Einsatz in den verfahrenstechnischen Prozessen zur Herstellung von PÄT aus TPA und Äthylenoxid am aussichtsreichsten sind. Für die Empfehlung konkreter Katalysatoren ist es offensichtlich notwendig, nicht nur den genauen Verlauf der Oxyäthylierungsstufe der TPA, sondern auch den des gesamten Polymerisationsprozesses zu berücksichtigen.

Der zu verwendende Katalysator darf keine Verschlechterung von Polymereigenschaften, wie beispielsweise der Viskosität, des Schmelzpunkts oder der Polymerfarbe, hervorrufen. Durch diese Forderung wird im Grunde genommen die Struktur des Katalysators bestimmt. Der Katalysator soll keine funktionellen Gruppen besitzen, die mit den Endgruppen des Monomeren, der Oligoester oder der Polymeren reagieren. Es können daher primäre und sekundäre Amine ebensowenig wie Alkyl- und Dialkyläthanolamin für dieses Verfahren empfohlen werden. Tertiäre Amine und besonders Tetraalkylammoniumcarboxylate⁵⁻⁶ sind vorzuziehen.

Wir haben die katalytische Aktivität einer großen Gruppe von primären, sekundären und tertiären Aminen, Trialkylammoniumhydrochloriden, Halogeniden und Tetraalkylammoniumcarboxylaten untersucht. Bei der Auswertung des Einflusses des Substanzaufbaus auf die Eigenschaften des PÄT wurden oben angeführte Schlußfolgerungen bestätigt. Es ist charakteristisch, daß im Konzentrationsbereich des Katalysators von 0,1 bis 0,75 Gew.% (bezogen auf TPA)

primäre, sekundäre und einzelne tertiäre Amine zur Verfärbung des Polymeren führten, ohne dessen Viskosität und Schmelzpunkt zu beeinflussen.

Höhere Konzentrationen haben zu einer Veränderung aller Polymereigenschaften geführt. Trialkylamine und Dialkylbenzylamine verleihen dem Polymeren eine hellgelbe Farbe. Fast analog dazu zeigen sich die Hydrochloride dieser Amine: Haloid- und Terephthalatderivate von Tetraalkylammonium rufen praktisch keine Polymerverfärbung hervor (Tab. 3).

Tabelle 3: Katalysatorgrenzmengen, die zu einer Polymerverfärbung führen*

Katalysator	R ₃ N	R ₃ N·HX	(R ₃ NC ₂ H ₄ OH)T ⁻	R ₄ N ⁺ X ⁻	R ₄ NT ⁻
Menge in Gew. % zu TPA	0,35	0,45	0,75–1,25	1,5	>2,0

R – Alkyl, X – Haloid, T⁻ – Terephthalatanion

* Bei der Polymerherstellung wurde eine Verfärbung des Polymeren von gelblich bis hellgelb festgestellt.

Die katalytische Aktivität der meisten der untersuchten Verbindungen ist genügend hoch, und bei den Aminen ist sie beim Wert pK_B 5 von ihrer Basenzahl unabhängig. Bei niedrigeren Werten nimmt die Aktivität stark ab (Abb. 5).

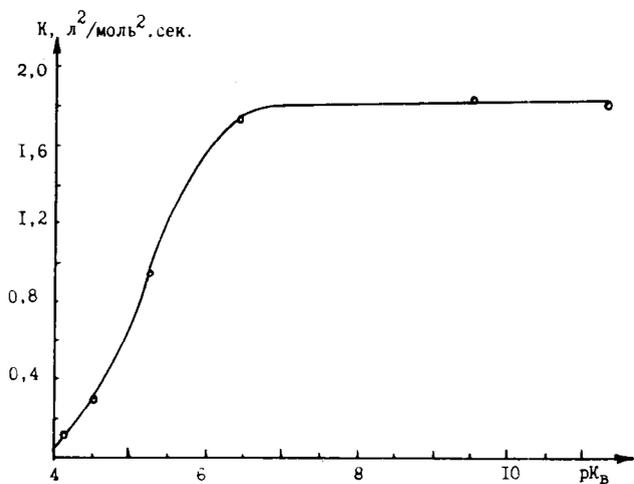


Abb. 5: Einfluß der Basenzahl der Amine (pK_B) auf die Reaktionskonstante (K, l²/mol² sec) der Oxyäthylierung von TPA (die Abhängigkeit ist nach den Mittelwerten K und pK_B für einzelne Amingruppen mit nahe beisammenliegenden Basenzahlen aufgebaut)

Halogenwasserstoffsalze der Trialkylamine sowie Halogenide des Tetraalkylammoniums weisen eine höhere katalytische Aktivität auf als freie Amine. Gleichzeitig zeigten Tetraalkylammoniumterephthalate und die entsprechenden Trialkylamine die gleiche Aktivität. Diese Tatsachen bestätigen den Verlauf einer in der von Romaschkin publizierten Arbeit⁶ festgestellten und mit der Bildung von β-Oxyäthylcarboxylat verbundenen parallelen Reaktion:

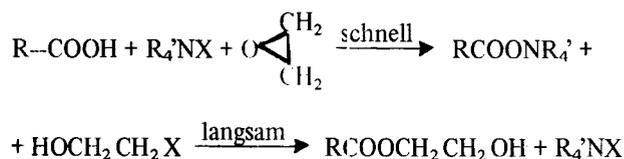


Tabelle 4: Katalytische Aktivität der Amine in der Reaktion von TPA mit Äthylenoxid (T = 130°C; P_{N₂} = 50 Atm.) Ausgangsmischung – OA : TPA : BOÄT = 2 : 1 : 1 (mol); Katalysatormenge – 1,64 mol in % von TPA Reaktionszeit – 30 min

Lfd. Nr.	Katalysator	pK _B	Säurezahl mg KOH/g Reaktionsmischung	Konversionsgrad (COOH) %
1	m-Aminophenol	4,17	244	6
2	p-Aminophenol	5,50	146	41
3	o-Aminophenol	4,58	227	13
4	m-Phenylendiamin	6,04	158	36
5	p-Phenylendiamin	4,88	92	61
6	o-Phenylendiamin	4,52	248	5
7	Anilin	4,58	252	3
8	Dimethylamin	5,15	47,5	79
9	Dimethylamin	6,56	47,3	79
10	Pyridin	5,23	117	52
11	Diäthylamin	10,93	53,2	77
12	Dibutylamin	11,31	62	75
13	Triäthylamin	10,87	68,2	71
14	Tributylamin	9,33	62,8	74
15	Triäthanolamin	7,77	111	54
16	Äthanolamin	9,50	110	54

Am Beispiel von Et₄NX wurde festgestellt, daß die Aktivität der Verbindungen nicht vom Typ des Haloidanions abhängt. Der Austausch von Et gegen ein anderes Alkyl führt zu keiner Veränderung der katalytischen Aktivität, ausgenommen Me. Die Verbindungen Me₄NX und Me₄NOH erwiesen sich als völlig inaktiv.

Die durchgeführte Untersuchung der katalytischen Eigenschaften von Aminen und deren Derivaten machte es möglich, Et₃N als Katalysator auszuwählen. In den meisten Versuchen haben die Autoren reines Et₃N oder β-Oxyäthyltriäthylammonium-terephthalat eingesetzt.

Tabelle 5: TPA-Löslichkeit in der BOÄT- und Äthylenoxidschmelze bei verschiedenen Temperaturen

Temperatur (°C)	120	125	130	135	140	145
TPA-Löslichkeit in der BOÄT-Schmelze (mmol/l)	7,52	8,95	10,73	12,96	15,42	18,60
TPA-Löslichkeit in Äthylenoxid (mmol/l)	7,67	8,52	9,07	9,82	10,55	11,21

Literatur:

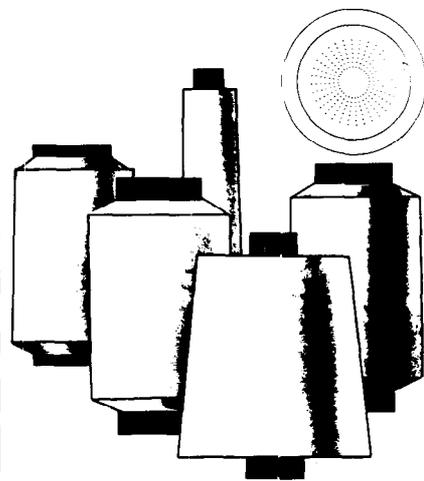
- 1) J.S. Fjodorowa, I.G. Dubrowskaja, A.D. Andreew, J.A. Fjodorow; Chimitschskaja promyslennostj za rubeshom Nr. 6 (1973)
- 2) A. Uezima, H. Munakata; Kogyo Kagaku Zasshi **71**, 990, 1183 (1968)
- 3) J. Hetflejš, F. Mares, V. Bazant; Collection of Czech. Chem. Comm. **10**(34), 3098 (1969)
- 4) X. Okeda, K. Yamaguchi, K. Enoki, T. Tani; Kogyo Kagaku Zasshi **74**, 2485 (1971)

- 5) W.F. Schwez, A.W. Romaschkin; Kinetik und Katalyse **13**, 885 (1972)
- 6) A.W. Romaschkin; Dissertation, NChTI 1972
- 7) P.J.L. Wreifswald und K. Wrendke; Plastkautsch **15**(4), 274 (1968)
- 8) DDR 65.790 (1969)
- 9) DT 1,182.222 (1965) 43) JA 28.767 (1970)
- 10) USA 3,062.862 (1962) 44) JA 4.669 (1969)
- 11) USA 3,052.711 (1962) 45) BE 717.435 (1972)
- 12) BE 619.576 (1962) 46) JA 23.291 (1972)
- 13) USA 3,101.366 (1963) 47) JA 21.980 (1972)
- 14) USA 3,239.556 (1966) 48) GB 1,074.274 (1967)
- 15) FR 1,337.958 (1963) 49) NL 6,413.834 (1965)
- 16) JA 19.537 (1968) 50) USA 3,037.049 (1962)
- 17) GB 1,208.277 (1970) 51) JA 36.296 (1970)
- 18) DT 1,150.982 (1963) 52) JA 5.092 (1966)
- 19) SU 212.153 (1963) 53) JA 22.366 (1967)
- 20) JA 29.495 (1970) 54) JA 22.367 (1967)
- 21) JA 25.335 (1972) 55) JA 27.449 (1971)
- 22) JA 1.612 (1972) 56) CS 132.656 (1969)
- 23) JA 15.943 (1972) 57) CS 130.531 (1969)
- 24) USA 3,652.647 (1972) 58) FR 1,577.561 (1969)
- 25) JA 1.607 (1970) 59) USA 3,414.608 (1968)
- 26) CND 518.529 (1955) 60) JA 35.239 (1967)
- 27) GB 851.029 (1960) 61) GB 915.891 (1963)
- 28) SU 214.433 (1968) 62) CS 136.049 (1970)
- 29) DT 1,261.497 (1968) 63) NL 6,601.077 (1965)
- 30) JA 18.895 (1968) 64) JA 41.296 (1971)
- 31) USA 3,644.484 (1972) 65) USA 3,590.071 (1971)
- 32) JA 16.738 (1968) 66) SZ 497.373 (1970)
- 33) JA 2.623 (1972) 67) JA 21.619 (1971)
- 34) JA 29.052 (1969) 68) DT 1,154.479 (1966)
- 35) GB 1,227.770 (1971) 69) JA 24.692 (1971)
- 36) USA 2,910.490 (1959) 70) JA 21.497 (1970)
- 37) USA 3,641.112 (1972) 71) DT 1,248.660 (1967)
- 38) USA 3,459.788 (1969) 72) JA 35.254 (1971)
- 39) JA 19.498 (1970) 73) JA 24.577 (1967)
- 40) JA 26.291 (1967) 74) JA 26.624 (1967)
- 41) JA 3.091 (1968) 75) JA 35.578 (1971)
- 42) JA 23.539 (1970) 76) JA 24.691 (1971)
- 77) N.N. Lebedew, K.A. Guskow; Kinetik und Katalyse **5**, 787 (1964)
- 78) T. Kuita, G. Acadsome, H. Murai, I. Sakai, Y. Ishii; Kogyo Kagaku Zasshi **70**, 169 (1967)
- 79) M.F. Sorokin, L.G. Schode; Shurnal org. chimii **2**(8), 1469 (1966)
- 80) F. Patat, B. Wojtech; Makromol. Chem. **37**, I (1960)
- 81) N.N. Lebedew, K.A. Guskow; Kinetik und Katalyse **1**, 116 (1963)
- 82) M.F. Sorokin, L.G. Schode; Shurnal org. chimii **2**(8), 1463 (1966)
- 83) H. Hetflejs, F. Mares, V. Bazant; Collection of Czech. Chem. Comm. **10**(34), 3098 (1969)
- 84) W.F. Schwez; Dissertation, Mendeleew, MChTI 1974
- 85) S. Chuschwachtowa, W.A. Malych, S.A. Babez, S.A. Jusko-witsch, J.A. Wiktorowa, A.S. Tschegolja; Preprints der internationalen Chemiefasertagung, Band 2, Seite 47, Kalinin 1974

KRONOS
Titandioxid-Pigmente
zur Mattierung
von Chemiefasern



KRONOS TITAN-GMBH
 Postfach 100720
 D-5090 Leverkusen 1
 Telefon: 02172/3561
 Telex: 08510823



Zukunftsentwicklung der Zellstoffherstellung und damit zusammenhängende Forschungsaufgaben*

Dozent Dr. Erich Treiber
Schwedisches Holzforschungsinstitut, Stockholm

Der Artikel behandelt nach einem kurzen Hinweis auf Langzeitplanung, Beschlußfassung und Investierung die erwartete zukünftige Entwicklung der Zellstoffherstellung und die damit zusammenhängenden Forschungsaufgaben. Es wird hierbei von einer Marktanalyse ausgegangen, sowie von einer Analyse technischer und wirtschaftlicher Faktoren in Vergangenheit und Zukunft, mit den Schwerpunkten: Rohstoffversorgung, Energieversorgung und Umweltschutz.

After a short reference to long time planning, decisions at a high level and capital investment, the paper deals with the expected future development of pulping processes and the resulting scope for research. The outlook starts from a market analysis and an analysis of technical and economical facts and trends in the past and the future with today's important questions in the center: raw material and energy resources and protection of the environment.

Einleitung

Die Errichtung einer modernen Zellstoff- und Papierfabrik ist mit den Jahren immer kostspieliger geworden. Unter anderem spielen hier drei Faktoren eine große Rolle, nämlich die notwendige Rationalisierung (kontinuierliche Prozesse, schnellere und teurere Maschinen – und damit auch eine zunehmende Automatisierung, vor allem im Sinne einer Prozeßsteuerung), sowie das Wachsen der ökonomischen Mindestgröße und die Preissteigerung (Tab. 1). Zusätzliche Ausgaben entfallen auf die Konten für Umweltschutz und Betriebsmilieu.

Tabelle 1: Kapazitäts- und Kostenentwicklung der Sulfatzellstoffindustrie (Beispiel: Fabrik für gebleichten Sulfatzellstoff)

Baujahr	Kapazität (in jato)	Investierungskosten (in skr/t)
1938	80 000	?
1960	130 000	1200 – 1400
1970	250 000	1500 – 1700
1975	300 000	2400 – 2600
1980	300 000	ca. 4200

Derart hohe Kapitalinvestitionen rücken Fragen nach der „Lebenslänge“ technischer Prozesse und Ausrüstungen (Abb. 1), nach den Veränderungen in der herrschenden Technologie sowie nach der zukünftigen Entwicklung ins Zentrum des Interesses. Mit „zukünftiger Entwicklung“ wollen wir hier nicht nur die prozeßtechnische Entwick-

lung – mit der wir uns hier näher befassen wollen – verstehen, sondern auch die Marktentwicklung und letzten Endes sogar die politische Entwicklung. Wir benötigen ein breites Szenario, und gegen diesen Prognosenhintergrund müssen unsere branchenspezifischen technologischen Beurteilungen gestellt und abgeglichen werden. Es ist zum Beispiel einleuchtend, daß Voraussetzungen und Beschlußfassungen anders aussehen werden, wenn man zu der Auffassung kommt, daß man ein progressives Industrieland bleiben wird, als wenn man – beispielsweise auf Grund von Rohstoff- und Energieknappheit – annimmt, daß die Entwicklung stagniert.

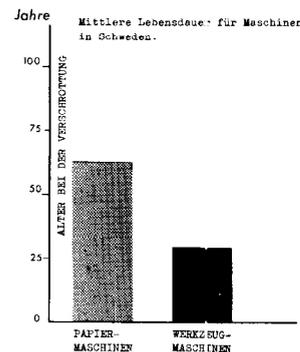


Abb. 1: Mittlere Lebensdauer von Maschinen in Schweden

Was sind nun die Fundamente für eine Langzeitplanung für industrielle Entwicklung und Industrieforschung?

Kurz zusammengefaßt können wir sagen: die Analyse des Marktes sowie der Vergangenheit und Zukunft in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Im eigentlichen Planungsprozeß spielen die Momente

- technische Entwicklung,
- alternative Lösungen,
- Innovationen,
- Zugang zu Energie, Rohstoffen und Kapital,
- technisches Können (Know-how) sowie
- Zeitströmungen

eine wichtige Rolle. Holmön sieht in dem Begriff „Zeitströmungen“, der wirtschaftspolitische und politisch-ökonomische Momente, die öffentliche Meinung und andere „soziale Kräfte“ umfaßt, sogar einen äußerst wichtigen Parameter. Als Beispiel hierzu kann die Planung des Ausbaus der Atomkraft dienen, die heute wohl nicht nur vom Zugang zu Kernbrennstoffen bestimmt wird.

Wir haben mehrmals die Bedeutung der zukünftigen Entwicklung eines technischen Prozesses für Planung und Beschlußfassung betont, und ich will nun versuchen, die Zukunftsentwicklung in der Zellstoffherstellung zu analysieren.

Die vier bestimmenden Faktoren

Wir gehen zunächst von folgenden vier Faktoren aus:

- Nachfrage,

* nach einem Vortrag an der Technischen Universität Graz

- Rohstoffversorgung (und Finanzierungsmöglichkeit),
- Energieversorgung und
- Umweltschutz.

Beschränken wir uns bei der Diskussion des erstgenannten Faktors der Einfachheit halber auf Westeuropa.

1. Marktsituation

Der entscheidende und zugleich unsicherste Faktor für die Beurteilung der Kapazitätsentwicklung ist die künftige Zunahme im Bruttonationalprodukt. Ausgehend von einer zwar relativ optimistischen, jedoch keineswegs unrealistischen Beurteilung darf man mit einer Zunahme der Papier- und Kartonkonsumation am Ende der kommenden Zehnjahresperiode von etwa 20 Millionen Jahrestonnen rechnen (Tab. 2).

Tabelle 2: Zunahme des westeuropäischen Verbrauchs 1975 bis 1985 (in 1000 t)

Zeitungspapier	1 000
Schreib- und Druckpapiere	7 500
Leiner	1 200
Fluting u.a.	2 000
Kraftpapiere	200
Karton	3 000
Tissue	3 600
übrige	2 500
insgesamt:	> 20 000

Eine solche Entwicklung erfordert einen weiteren Ausbau der westeuropäischen Zellstoff- und Papierindustrie sowie eine Lösung des Rohstoffproblems. Da die derzeit existierenden Papiermaschinen und Stoffaufbereitungsanlagen nur in geringem Umfang eine Änderung des Produktregisters und der Eigenschaften des einzusetzenden Faserrohstoffes erlauben, darf man annehmen, daß eine bessere Anpassung an neue Gegebenheiten erst in den kommenden Produktionskapazitäten realisiert sein wird. Man kann beispielsweise damit rechnen, daß die meisten neuen Papiermaschinen (die u.a. mit einem höheren Trockengehalt in der Abpreßpartie arbeiten werden) mit Anordnungen zur Herstellung mehrschichtiger Papiere ausgerüstet sein werden, was den Einsatz schlechterer Faserstoffe ermöglicht.

Da wahrscheinlich eine Reihe kommender Zellstoffsorten gewisse Qualitätsverschiebungen erleiden werden, ist eine wichtige Frage die, welche Qualitätsanforderungen der zukünftige Markt erheben wird oder bereit ist, nicht weiter zu erhöhen. Daß im Prinzip sogar eine teilweise Senkung möglich ist, zeigte sich in Schweden, wo die Umweltschutzdebatte eine Meinung entstehen ließ, derzufolge die zunehmende Produktion von supersoft und superwhite Toilette- und Haushaltstissuepapieren auf Kosten weniger hochgebleichter bzw. gefärbter Qualitäten begrenzt werden könnte. Natürlich soll nicht verschwiegen werden, daß der Preisunterschied und das zunehmende Preisbewußtsein hierbei die ausschlaggebende Rolle spielten.

Ein Umdenken setzt hier einen Übergang vom heutigen Qualitätsbegriff zu einem solchen voraus, der viel stärker *funktionsell ausgerichtet* ist als bisher. Im Hinblick auf die Schwerfälligkeit, die bei solchen Umstellungen erkennbar wird, werden sich jedoch zahlreiche der vorgeschlagenen Maßnahmen zu einem höheren Ausnutzungsgrad der Holzsubstanz nur sehr schwer durchsetzen können, falls es nicht zu krisenhaften Wirtschaftsentwicklungen kommt. Als Beispiel kann die Herabsetzung des Flächengewichtes von Zeitungspapier im Zeichen der Faserstoffknappheit und -vertuerung 1974/75 von 52 auf 49 g/m² genannt werden, und die sich abzeichnende Entwicklung in Richtung auf 45 g/m² und sogar niedriger mit 100 % thermomechanischem Zellstoff. Eine verbesserte und mehr adäquate Zellstoffcharakterisierung wäre auf alle Fälle wünschenswert und muß daher als wichtige Forschungsaufgabe angesprochen werden.

2. Rohstoffversorgung

Wie sieht es nun mit der viel diskutierten Rohstoffkrise aus?

Die wesentlichen Chemikalien, vielleicht mit Ausnahme reinen Wassers, sind in hinreichender Menge vorhanden, und die einzige Sorge dürften Preissteigerungen sein. Wasser- und Abwasserschwierigkeiten können durch eine stärkere bzw. völlige Systemschließung gelöst werden. Sicherlich sind diese Maßnahmen nicht problemfrei, doch sind hier große Fortschritte bereits erzielt worden, und die völlige Systemschließung ist heute keine technische Utopie mehr.

Der wirkliche Engpaß besteht beim Pulpholz.

Zur Lösung der Faserknappheit bahnen sich mehrere Wege an. Dem Namen nach genannt seien:

- forstliche Maßnahmen, um Zuwachsrate und Ausbeute per Hektar zu erhöhen. Das MERA-Projekt in Finnland ist ein typisches Beispiel dafür.
- Für südlichere Länder werden verschiedene Einjahrespflanzen und landwirtschaftliche Abfälle zu größerer Bedeutung gelangen (ein Rohstoff mit guten Zukunftsaussichten soll u.a. Kenaf sein).
- Zu einem – sicher auch für Skandinavien – interessanten, wenngleich aus verschiedenen Gründen nur zusätzlichen Rohstoff werden aus tropischen und subtropischen Ländern importierte Hackspäne werden.

Transportanordnungen – die übrigens recht kapitalaufwendig sind – und Vertriebsprobleme dürfen bereits als weitgehend gelöst angesehen werden. Weniger gut sind hingegen unsere Kenntnisse über die Holzeigenschaften und die daraus resultierenden Zellstoffeigenschaften. Für eine ökonomische Erzielung gewünschter Endprodukteigenschaften sind Kenntnisse über die Eigenschaften von Mischungen dieser Zellstoffe mit heimischen Zellstoffen zu erarbeiten.

- Viel wird zur Zeit von der industriellen Verwertung des gesamten Baumes gesprochen, und Forschungsprojekte bis zur großtechnischen Skala laufen bereits. Wenngleich der anfänglich große Optimismus keine adäquate Deckung fand, so darf man doch nicht vergessen, daß wir hier in vielen Fällen die größte – zumindest indirekte – Rohstoffreserve für die Sulfatzellstoffindustrie haben (Abb. 2). „Indirekte Reserve“ bedeutet hier Frei-

machung vom Pulpholz, da zum Beispiel die Faserplattenherstellung geringer durch Verunreinigungen gestört wird.

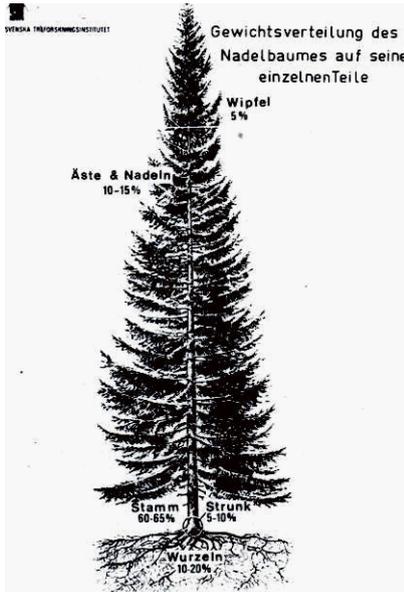


Abb. 2: Gewichtsverteilung des Nadelbaumes auf seine einzelnen Teile

- Weiter an Bedeutung werden unbedingt Retourefasern aus Altpapier gewinnen. **Trotz** der bereits ausgedehnten Anwendung in Europa – bis zu **40 %** des Faserbedarfs – sind dabei keineswegs alle Probleme gelöst, und viele Forschungs- und Entwicklungsaufgaben warten auf ihre Lösung. Die größten Schwierigkeiten bestehen hier in der Entfernung nichtzellulosischer Verunreinigungen und der Reaktivierung der Fasern, sodaß eine bessere Faserzu-Faser-Bindung resultiert.
- Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Lösung der **Faserrohstoffverknappung** ist natürlich die Ausbeutelerhöhung bei der Faserstoffherstellung.

Zukunftsaussichten des Holzstoffes

Von diesem Gesichtswinkel aus gesehen, gibt natürlich die Herstellung eines mechanischen sowie chemomechanischen Holzstoffes mit **> 85 bis 95 %** Ausbeute die maximale Ausnutzung der Holzsubstanz. Diesem Vorteil stehen aber auch einige Nachteile gegenüber, wie zum Beispiel hoher externer Energieverbrauch, geringe Festigkeit, geringe Alterungsbeständigkeit u. dgl. **Trotz** der Nachteile ist der Ausbeutegewinn bei der zunehmenden Holzverknappung und den steigenden Holzpreisen so bedeutend, daß dieser Sektor eine starke Expansion erlebt. Während derzeit der Weltanteil an mechanischem Zellstoff in Papieren etwa **19 %** beträgt, wird dieser Anteil **für 1985** auf über **22 %** ansteigen. Diese Prognose stützt sich auf die gegenwärtige und bereits überschaubare Qualitätsentwicklung, die eine steigende Verwendung dieses Fasermaterials ermöglicht.

Die Hauptprobleme liegen in der Erzielung eines gut ausgeglichenen Verhältnisses zwischen Langfasermaterial und Feinstoff geeigneter Qualitäten, in der Verhinderung der Splitterbildung und in der Verbesserung der Festigkeit.

Eine wichtige Entwicklung, in die **man** besonders in Schweden, wo die Prozeßgrundlage in den Jahren **1932/33** von Arne Asp Lund entwickelt wurde, viel investiert – auch von der Forschungsseite her –, ist die Herstellung eines thermomechanischen Zellstoffes. Durch Ausführung des Refinerschliffs unter Druck und hoherer Temperatur erhält man einen höheren Langfaseranteil, und – wie wir **zeigen** konnten – die Fibrillen des Feinstoffanteils sind dünner (etwa **0,3 µm**) und gleichmäßiger als die des Holzschliff-Feinstoffes (Abb. 3).

Gegenwärtige Forschungsaufgaben sind: die Optimierung des Prozesses, eine effektivere Sortierung und Stoffreinigung (Eliminierung der Splitter), die Modifizierung in Richtung einer noch höheren Festigkeit, gute Bleiche usw., samt Studium des zweckmäßigsten Einsatzes in verschiedene Produktsektoren (Tab. 3). Die bereits erzielten Gewinne im Verein mit geringen Investierungskosten, der Möglichkeit zur Herabsetzung des Energieverbrauchs durch Rückgewinnung von Dampf über eine Wärmepumpe sowie die **geringe**

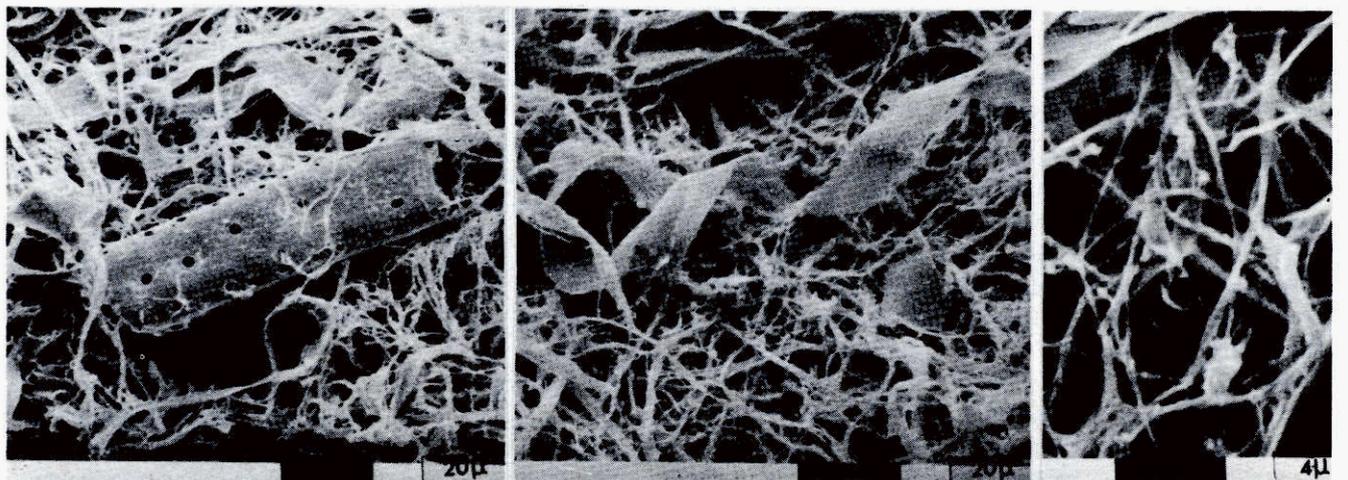


Abb. 3: Feinstoff eines thermomechanischen Zellstoffes, aufgenommen im Rasterelektronenmikroskop nach einer Critical-point-Trocknung

Umweltsbelastung geben gerade diesem Verfahren sehr gute Zukunftsaussichten.

Tabelle 3: Möglichkeiten des künftigen Einsatzes thermomechanischen Zellstoffes (TMP) in Schweden

Produkt	gegenwärtige Produktion in Schweden	geschätzte mögliche Einmischung von TMP
Kraftliner		
Fluting	ca. 2000	20 %
Kraftpapiere		
Karton	ca. 600	15 %
Zeitungspapiere	ca. 1300	≤ 100 %
Journalpapiere	ca. 400	< 100 % ungestr. ca. 70 % gestrichen
Feinpapiere	ca. 500	ca. 10 %
Tissuepapiere	ca. 200	ca. 10 %

3. Energieversorgung

Energieknappheit und Energiekosten zwingen zu Lösungen, die den Energieverbrauch merkbar herabsetzen. Da sich in älteren Fabriken energiesparende Maßnahmen in großem Umfang ökonomisch schwer durchführen lassen, werden entscheidende energiesparende Maßnahmen erst bei künftigen Neuinvestitionen zum Durchbruch kommen.

Wie weit kann sich nun eine moderne Fabrik mit Energie selbst versorgen?

Betrachten wir als Beispiel eine „Idealfabrik“ mit bestmöglicher, am Markt befindlicher und garantiesicherer Ausrüstung zur Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff. Eine solche Fabrik mit kontinuierlicher Kocherei, Diffuseur, Sechsstufenbleiche, Fläktrockner, sechsstufiger Eindampferanlage und Rindenverbrennung kann zu etwa 93 % selbstversorgend sein, während in normalen Fabriken zur Zeit ein Selbstversorgungsgrad von nur etwa 69 % herrscht (Tab. 4). Natürlich gilt diese Überlegung nicht für Hochausbeutezellstoffe.

Tabelle 4: Sulfatfabrik für gebleichten Kraftzellstoff

Energielieferant	„Idealfabrik 1976“	gegenw. Durchschnitt (schwed. Sulfatfabrik)
Zusatzheizöl	30 l/t Zellstoff *	ca. 165 l/t Zellstoff
Zusatzkraft	60 kWh/t	≤ 380 kWh/t
Selbstversorgungsgrad:	93 %	ca. 69 %

* 90 % Trockengehalt (totaler Wärmeverbrauch: $15,3 \cdot 10^3$ MJ/t)

4. Umweltschutz

Der massive Einsatz auf diesem Sektor hat dort, wo Industrie und Behörden um eine Lösung bemüht waren und entsprechende Finanzierungsmöglichkeiten geschaffen werden konnten, bereits entscheidende Verbesserungen gebracht. Abbildung 4 zeigt die starke Abnahme von sauerstoffverbrauchenden Stoffen in den Abwässern der schwedischen holzverarbeitenden Industrie im Zeitraum 1962 bis 1976,

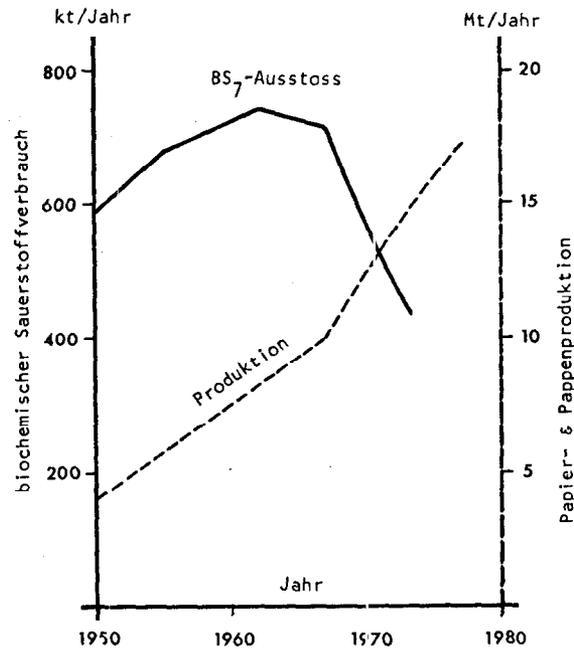


Abb. 4: Biochemischer Sauerstoffverbrauch der schwedischen holzverarbeitenden Industrie (in 1000 jato)

obwohl sich die Produktion im genannten Zeitraum verdoppelte. Trotzdem betrachten wir das Umweltschutzproblem natürlich keinesfalls als bereits völlig gelöst, und – wie im folgenden noch näher ausgeführt – der Zellstoffherstellungsprozess kann in Zukunft sicherlich noch umweltfreundlicher gestaltet werden. Aber alle diese Maßnahmen sind sehr teuer und belasten den Zellstoff hinsichtlich seines Preises.

Gegenwärtiger Stand und Zukunftsaussichten chemischer Zellstoffe

Wie steht es nun mit der Entwicklung halbchemischer und chemischer Zellstoffe?

Es scheint so, als ob das **Sulfitaufschlußverfahren** seine Glanzzeit vor etwa 15 bis 30 Jahren gehabt hätte. Seine Hauptnachteile liegen in der Tatsache, daß nur gewisse Hölzer nach dem konventionellen Sulfitprozess aufschließbar sind, daß größere Anforderungen an die Reinheit (für ungebleichten, hellen Sulfitzellstoff) und Qualität der Hackschnitzel gestellt werden, daß man hier rohstoffmäßig oft mit dem Schleifprozess konkurriert, daß die Zellstoffe nicht die Festigkeit der Kraftzellstoffe erreichen, daß Harze oft Schwierigkeiten bereiten, sowie daß sich die Nebenprodukte auf Ligninbasis ökonomisch schwer verwerten lassen. Dazu kommt noch, daß das Sulfitverfahren im Laufe der Zeit viel von seiner exklusiven Stellung verloren hat (Chemiefaserzellstoffe sowohl für das Viskose- wie auch für das Acetatverfahren können nun auch nach dem Vorhydrolyse-Sulfatverfahren hergestellt werden), und der bisher erwünschte Anteil in verschiedenen Papieren, wie z.B. in Tissuequalitäten, kann heute durch andere Faserrohstoffe ersetzt werden. Allein die Herstellung von durch ClO₂ hochgebleichten Sulfatzellstoffen hat seinerzeit zu einem starken Rückgang geführt.

Der Hauptgrund für den starken Rückgang der Sulfitzellstoffindustrie liegt aber auch in der Tatsache, daß viele Fabriken kleine und unmoderne Einheiten darstellen, deren Modernisierung sich – vor allem wegen der heute verlangten Umweltschutzmaßnahmen – vielfach nicht lohnt. Es darf nicht vergessen werden, daß das klassische Sulfitverfahren auf zwei billigen Chemikalien basiert und daß man – im Gegensatz zum Sulfatprozeß – früher keinen Anlaß hatte, diese Chemikalien zurückzugewinnen.

Die Entwicklung hat aber nie vor den eingangs aufgezählten Fakten kapituliert. Mit der Einführung verschiedener Verbesserungen, vornehmlich der Kocherkonstruktion, jedoch insbesondere mit der Einführung löslicher Basen, hat sich vieles an diesem Bild geändert. Die Anwendung löslicher Basen ermöglichte sowohl die Herstellung von Zellstoffen höherer Ausbeute als auch die Verbrennung der Ablauge (Na, Mg) sowie die Rückführung von Chemikalien. Weiters wird durch die Anpassung des pH-Wertes sowie durch die Möglichkeit von Mehrstufenkochungen sowohl die Palette der einsetzbaren Holzrohstoffe als auch die der Zellstoffeigenschaften erweitert.

Wie steht es nun mit den Zukunftsaussichten?

Die Umweltprobleme sind mit der gegenwärtigen Technologie beherrschbar, und im Prinzip kann man heute eine Sulfitzellstofffabrik, falls sie nicht gerade hochveredelte Chemiefaserzellstoffe herstellt, mit der gleichen niederen Abwasserbelastung bauen wie eine Sulfatzellstofffabrik. Ein Problem mag noch der gegenüber dem Sulfatprozeß doppelt so hohe Frischwasserverbrauch darstellen. Auch eine starke Systemschließung erweist sich – vor allem bei Na als Base – als durchaus möglich. Bei Na-Base kann weiters auch eine Sauerstoffbleiche in Frage kommen. Unzulänglich bekannt sind jedoch die Qualitätsauswirkungen einer starken Systemschließung. Trotz keineswegs ungünstiger Voraussetzungen ist das Sulfitverfahren in eine Periode der Stagnation getreten. Auf dem Gebiet der halbchemischen Zellstoffe taucht zum Neutralsulfit-Halbzellstoff eine Konkurrenz in Form des Grünlauge-Halbzellstoffes für Fluting auf.

Wir kommen nun abschließend zu den **alkalischen Aufschlußverfahren**.

Das *Sulfatverfahren* ist, wie bekannt, gegenwärtig das wichtigste chemische Holzaufschlußverfahren, das uns einen vorzüglichen und wohl etablierten Faserstoff liefert, wobei der Prozeß als solcher keine Begrenzung von der Holzrohstoffseite her erleidet.

Durch die Verbrennung der an organischen Stoffen reichen Ablauge mit hohem Wärmewert ist auch der externe Energiebedarf einer Sulfatfabrik, wie bereits gezeigt, sehr gering. Auch wenn das Sulfatverfahren gewisse Nachteile, wie geringe Ausbeute, im Prinzip schwerere Bleichbarkeit des Stoffes, Luftverunreinigung mit starker Geruchsbelästigung und hohe Investitionskosten durch die Komplexität des Zellstoffherstellungs- und Chemikalienrückgewinnungsprozesses, aufweist, ist nicht anzunehmen, daß das Sulfatverfahren in den nächsten Dezennien seine Bedeutung verliert. Es wird daher wohl motiviert sein, die Bemühungen fortzusetzen, die Luftemission – vor allem an übelriechenden organischen Schwefelverbindungen – weiter herabzusetzen. Gleichzeitig

muß uns bewußt sein, daß die völlig geruchsfreie Sulfatfabrik eine unerreichbare Utopie ist. Übrigens werden auch andere, schwefelfreie alkalische Aufschlußverfahren nicht geruchlos arbeiten, da sich bei zunehmender Systemschließung stets ein gewisses Schwefelniveau einstellen wird.

Wie schon bei den bisher besprochenen Verfahren aufgezeigt, wird auch hier die weitere Entwicklung im wesentlichen von den zwei wiederholt genannten Faktoren beeinflusst werden, nämlich von der Holzknappheit und von den Umweltschutzforderungen. Viele Prozeßmodifikationen haben daher eine Ausbeuteerhöhung zum Ziel gehabt, und zwei bekannte Möglichkeiten sind hier die Polysulfidkochen und die H₂S-Vorbehandlung. Unter anderen Schwierigkeiten steigt hierbei jedoch die Gefahr einer stärkeren Luftverunreinigung. Dies bringt uns zurück zur Frage nach geeigneten schwefelfreien Aufschlußverfahren. Das zur Zeit interessanteste Verfahren ist offenbar der *Soda-Sauerstoff-Aufschluß* und auf dem Halbzellstoffgebiet das *Owen-Illinois-Verfahren*.

Abschließend und zusammenfassend kann festgestellt werden, daß im Augenblick Neuentwicklungen, die in naher Zukunft eine revolutionierende Bedeutung für den chemischen Holzaufschluß erlangen werden, offenbar fehlen. Diese Tatsache bedeutet aber nicht, daß auf diesem Gebiet zur Zeit nicht geforscht würde oder es wenig Forschungsaufgaben gäbe. Ganz im Gegenteil – sowohl das Sulfatverfahren selbst wirft immer noch Probleme auf wie auch die entsprechenden Alternativprozesse (wie z.B. die schwefelfreie Kochung), die weiterhin eine Herausforderung für den Techniker bleiben werden. Daß die erstgenannten Anstrengungen in Richtung herabgesetzter Luftemission und höherer Ausbeute gehen müssen, versteht sich wohl von selbst. Eine weitere Aufgabe wäre die Herstellung von leichter bleichbaren Kraftzellstoffen.

Für einen Ersatzprozeß läßt sich folgende Wunschliste aufstellen: ein einfaches Verfahren mit höherer Ausbeute, geringer Umweltbelastung und einfacher Chemikalienrückgewinnung, das Zellstoffe von der Güte konventioneller Sulfatzellstoffe ergibt. In diesem Zusammenhang wäre auch die exakte Beantwortung der alten Frage: „Warum sind Sulfatzellstoffe besser als andere Zellstofftypen?“ von Bedeutung.

Der Schwerpunkt der Ausführungen ist bisher auf dem Prozeß der Faserfreilegung gelegen, wobei wiederholt auf die damit verknüpften Umweltprobleme hingewiesen wurde. Nun ist bekanntlich das eigentliche Aufschlußverfahren nicht die einzige Pollutionsquelle. Einen wesentlichen Beitrag liefert dazu auch die Stoffwäsche und die Stoffsortierung sowie die **Zellstoffbleiche**, wobei hier noch stark gefärbte Abwässer anfallen (Abb. 5).

Für die Entfernung bzw. Herabsetzung der Rezipientenbelastung durch gefärbte Substanzen zeichnen sich mehrere Möglichkeiten ab, wie zum Beispiel *Sauerstoffbleiche + Verbrennung*, *Ionenaustausch + Verbrennung*, *Kalkfällung des Lignins* und schließlich die *reversible Osmose*. Für eine normale Bleicherei ist hierbei der Bedarf an Membranfläche

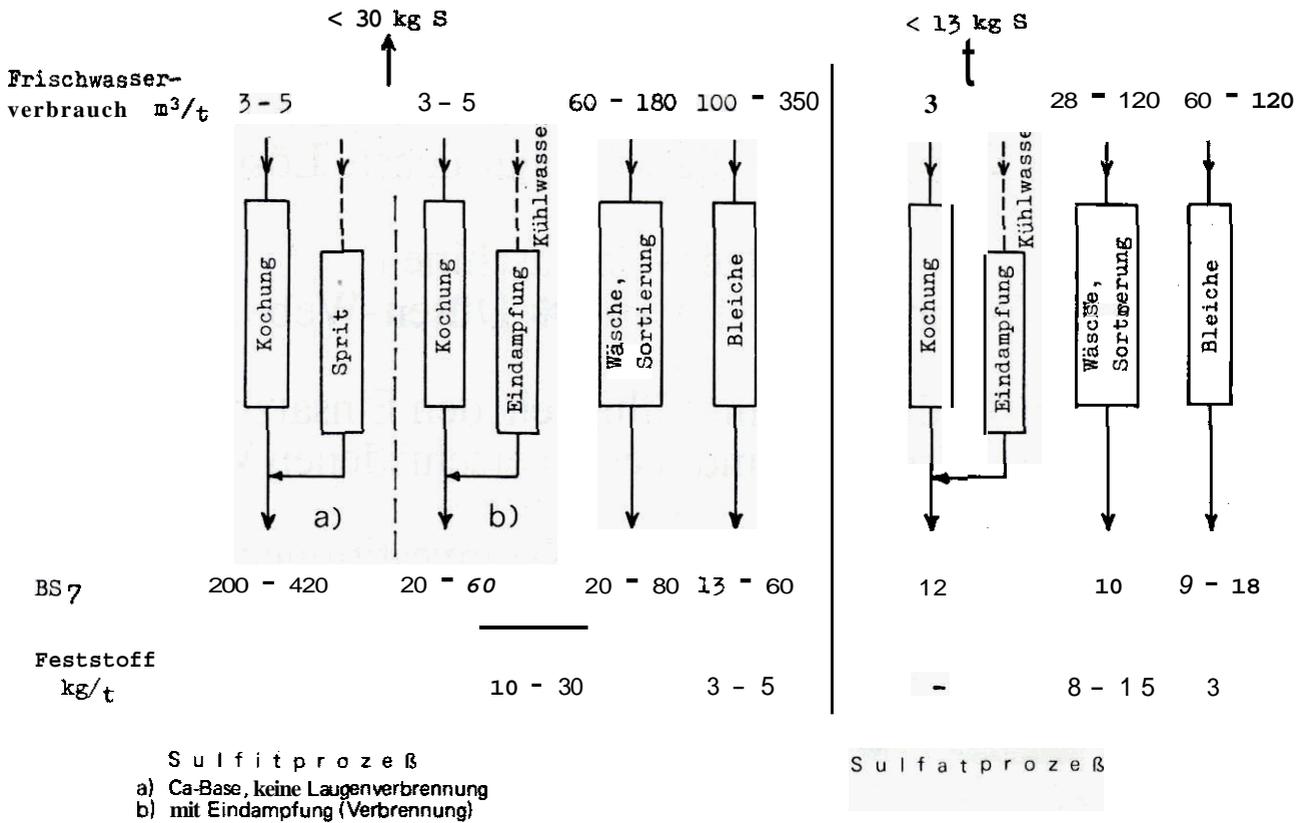


Abb. 5: Frishwasserverbrauch und Emissionsverhältnisse bei Sulfit- und Sulfatprozess

ca. 15.000 m² und der Entfärbungsgrad 90 %. Hohlfasern (Abb. 6) bieten hier zwar eine hinreichend kompakte Konstruktion, die Investierungskosten sind jedoch sehr hoch. In einer modernen Zellstoffabrik wird sowohl aus innerem wie auch aus äußerem Milieuschutz eine effektive geschlossene Waschoperation bei möglichst geringer Verdünnung zur Anwendung kommen. Ausrüstungen hierfür stehen in Form von Waschiitem, Waschpressen und kontinuierlichen Diffusionswäschern zur Verfügung. In der Sortieranlage wird man einen hohen Systemschließungsgrad anstreben, wofür eine Lösung der Rückführung der anfallenden Rodukte in den Prozess Voraussetzung ist.

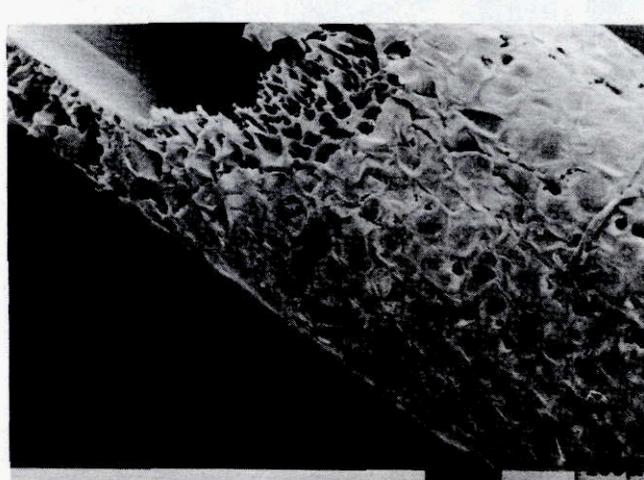


Abb. 6: Hohlfasern aus Polyamid für reversible Osmose

Die Bleiche, die sowohl den Weißgrad als auch die Reinheit des Zellstoffs erhöht, wird sehr wahrscheinlich durchgreifende Änderungen erfahren. Vom Gesichtspunkt des Umweltschutzes ist hier die schon genannte Sauerstoffbleiche sehr interessant, die man mit einer Abaugenverbrennung koppeln kann, wodurch die Hälfte des Lignin- und BS7-Ausstoßes eliminiert wird. Auf dem apparatetechnischen Sektor ist die Entwicklung von Geräten für Gasphasenbleiche (PPRIC) und Verdrängungsbleiche (KAMYR) im Gang. In beiden Fällen arbeitet man bei hohen Stoffkonzentrationen und sehr kurzen Bleichzeiten. Der totale Energieaufwand für die Stoffbleiche wird bei diesen Verfahren reduziert. Da es sich hier um Neuentwicklungen handelt, sind natürlich viele offene Fragen noch zu lösen. Für Sulfitzellstoffe wird die alkalische Peroxidbleiche in der ersten Stufe – auch für Viskosezellstoffe – interessant. Neben umweltfreundlicheren Verhältnissen resultiert ein reinerer Stoff.

An neuen Bleichmitteln werden Ozon, Dichlormonoxid und aktivierter Stickstoff genannt. Wie weit und wie rasch diese Bleichmittel technisch Eingang finden werden, ist schwer vorzusagen.

Ausblick

Abschließend können wir feststellen: Auch wenn niemand genau weiß, wie in ferner Zukunft eine Zellstoffabrik aussehen wird, so haben sich doch heute deutlich einige Gesichtspunkte herauskristallisiert, die die Entwicklung steuern und auch in Zukunft noch steuern werden.

Nochmals zusammengefaßt, sind es folgende Forderungen:

- beste Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Rohstoffe – dies gilt nicht nur für das hereinkommende pflanzliche Fasermaterial, sondern auch für die weitere Konvertierung, was sich in folgendem Trend abzeichnet: Ersatz des chemischen Zellstoffes durch mechanischen Zellstoff sowie von Primärfasern durch Sekundärfasern, wo dies möglich ist;
- fortlaufende Ökonomisierung des Verfahrens – dies bedeutet unter anderem auch kontinuierliche, gesteuerte Prozesse, vereinfachte Konstruktionen und Vereinfachungen der Prozesse durch Eliminierung von Prozeßstufen (z.B. der Sortierung) und/oder deren Kombination.
- Reduzierung des Energieverbrauchs;
- Schutz der Umwelt – die hierfür geltenden Bestimmungen werden, zumindest auf längere Sicht, noch weiter verschärft werden;
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen.

Wie weit Spezialisierung oder Diversifikation oder Integrierung das Schlagwort sein wird, ist noch nicht abzusehen. Fragen der Produktintegration hängen natürlich

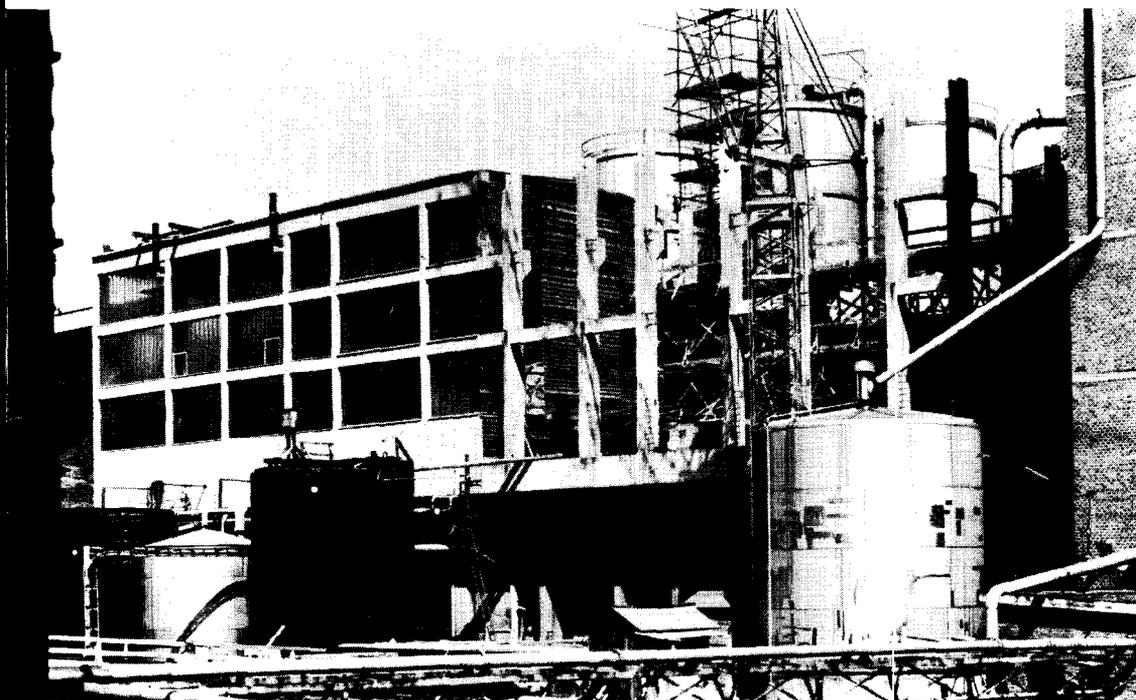
außer von den internationalen Marktverhältnissen auch von der Rohstoffversorgung ab.

Welche Haltung man auch gegenüber Forschung und Entwicklung einnimmt, man wird nicht verleugnen können, daß die angedeuteten Entwicklungstrends eine Fülle wesentlicher Problemstellungen aufwerfen und daß sich daraus auch ein echter Bedarf für die Grundlagenforschung ergibt. Letzteres gilt auch dann, wenn die Forschung in Zukunft wahrscheinlich stärker marktinitiiert sein wird. Es ist weiter leicht vorauszusehen, daß die Forschung immer aufwendiger werden wird, was zwangsläufig zu einem immer größeren kollektiven Engagement führen muß. Behalten wir auch noch im Gedächtnis, daß der relative Forschungsaufwand in der Zellstoff- und Papierindustrie durchschnittlich nur etwa einem Fünftel des relativen Aufwands der chemischen Industrie im allgemeinen entspricht.

Dank

Für Durchsicht des Manuskripts und wertvolle Diskussionen danke ich Herrn Professor L. Stockman und Herrn Dr. S. Ulfsparré bestens.

MAYREDER



INGENIEURE MAYREDER, KRAUS & CO.
Baugesellschaft m.b.H.
4021 Linz, Sophiengutstraße 20

CHEMIEFASER LENZING AG.
Bauvorhaben Rauma Repola, Filtergebäude
Bauausführung in A R G E

Die Organisation des Investitionsprozesses als Instrument entscheidungsorientierter Unternehmensführung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der chemischen Industrie (Teil 2)

Mag. Dr. Willibald Girkingner, Kundl

Herrn Prok. Ing. Mag. Lois Seidl, technischer Leiter für Planung und Energieversorgung der Chemiefaser Lenzing AG, gewidmet, auf den wichtige Ideen und Aussagen dieser Arbeit zurückgehen.

Die praktische Anwendung eines entscheidungsorientierten Investitionssystems sollte grundsätzlich den Prozeß der Entscheidungsfindung und den der Entscheidungsdurchführung umfassen. Diese aus analytischen und didaktischen Gründen sukzessive Betrachtung und isolierte Behandlung von Zielsetzung und Zielerreichung darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß in der Realität weitgehend Simultaneität der wechselseitigen Einwirkungen von Zielsetzungen und Zielerreichung herrscht.

Der Prozeß der Entscheidungsfindung umfaßt die Erstellung eines längerfristigen Investitionsplans, die Festlegung eines kürzerfristigen Investitionsbudgets sowie den Ablauf von Einzelprojektplanung und -entscheidung (Projektantragsmethodik, -prüfung, -beurteilung und -entscheidung). Der Prozeß der Entscheidungsdurchführung umfaßt die Investitionsdurchführung und deren Kontrolle (Investitionsbudgetkontrolle) sowie den Projektabschluß mit Ergebniskontrolle und -auswertung (Einzelprojektnachkontrolle). Die Verwirklichung und das Funktionieren eines solchen Investitionssystems muß der ausschlaggebenden Bedeutung solchen Investitionssystems die ausschlaggebende Bedeutung der Investitionspolitik für die Erhaltung und Fortentwicklung des Unternehmens gerecht werden.

Practical application of a decision-orientated investment system should in principle comprise the process of decision-finding and decision-making. However, this consideration following from analytical and didactic reasons and the isolated treatment of aim setting and aim reaching must not lead one to forget that the interactions of aim setting and aim reaching are in fact largely simultaneous.

The process of decision-finding includes a long-term investment plan, the determination of a short-term investment budget, as well as the procedure of single project planning and deciding (method, testing, assessment and decision of the project). The process of decision-making comprises the execution of investment and its control (investment budget control) as well as the completion of the project with control and evaluation of results (single project control). The realization and functioning of such an investment system must be equal to the high importance of investment policy for the maintenance and further development of the enterprise.

2. Der Prozeß der Entscheidungsfindung bei Investitionsentscheidungen

2.1 Allgemeines

Der Prozeß der Entscheidungsfindung hat den Charakter eines Planungsprozesses und beinhaltet als solcher die Planung und Entscheidung des Investitionsbudgets sowie der darin enthaltenen Investitionseinzelprojekte.

Unter Investitionsplanung verstehen wir also erstens eine Investitionsgesamtplanung und zweitens eine Investitionsprojektplanung.

2.2 Entscheidungsfindung bei der Erstellung eines angestrebten Investitionsbudgets

Durch eine Investitionsgesamtplanung soll in Abstimmung mit anderen Teilbereichen der Unternehmensplanung für das Unternehmen in Zukunft eine ausreichende Rendite gesichert werden.

Diese Zielsetzung kann dadurch erreicht werden, daß grundsätzlich alle in Frage kommenden Einzelprojekte um den Einsatz des zur Verfügung stehenden Kapitals konkurrieren¹. Dabei muß eine Entscheidung in der Wahl zwischen verschiedenen Investitionsvorhaben, sowie zwischen verschiedenen Investitionszeitpunkten getroffen werden. In diesem Sinne ist die Investitionsgesamtplanung als Teil der Unternehmensgesamtplanung einmal eine Grobplanung (meist mittel- und/oder langfristig) und zweitens als eine Art Vollzugsplanung eine Feinplanung (meist kurzfristig). Diese Trennung macht eine notwendige Unterscheidung zwischen Investitionsplan und Investitionsbudget deutlich.

Obwohl in Theorie und Praxis diese beiden Begriffe unterschiedlich gehandhabt werden, kann behauptet werden, daß der Investitionsplan eine Vorstufe zum Investitionsbudget darstellt.

Ein Investitionsplan enthält im wesentlichen nur eine wert- und mengenmäßige Zusammenstellung der Investitionsvorhaben über einen bestimmter Planungszeitraum. Beim längerfristigen Grobplan (zwei bis fünf oder zehn Jahre) handelt es sich nur um globale Größen, die eine bestimmte Entwicklungsabsicht des Unternehmens oder bestimmter Teilbereiche aufzeigen sollen.

Der kürzerfristige Feinplan (ein bis zwei Jahre) enthält – als Vorstufe zum definitiven Investitionsbudget – bereits die Gesamtheit der Investitionswünsche aller Unternehmensbereiche oder -funktionen, ohne daß – von bestimmten Ausnahmen abgesehen – schon eine Entscheidung über die Einzelprojekte gefällt wurde. In dieser Form zeigt der Investitionsplan den Kapitalbedarf einer bestimmten Wirtschaftsperiode.

Im darauf aufbauenden Investitionsbudget muß nun dieser Kapitalbedarf mit den verfügbaren Finanzmitteln abgestimmt werden, indem man die vorliegenden Investitionswünsche auf die finanziell durchführbaren Investitionsprojekte reduziert.

In der Praxis wird dies zumeist durch einen Vorgang bewirkt, das heißt, es wird eigentlich kein kurzfristiger Investitionsplan erstellt, sondern direkt das Investitionsbudget.

a) Der Investitionsplan als längerfristiger Grobplan

In Unternehmen, in denen eine umfassende Unternehmensplanung praktiziert wird, werden in systematischer Weise langfristig die für die – nach definierten Zielsetzungen orientierten – Bedürfnisse der einzelnen Unternehmenszweige erforderlichen Investitionen erfaßt und verarbeitet.

Als Instrument, um die Beziehungen zwischen längerfristiger Grobplanung und kürzerfristiger Feinplanung herzustellen, dient dabei die *rollierende Planung*. Bei dieser wird ein längerer Zeitraum (z.B. bis zu fünf Jahren) in groben Umrissen und jeweils ein kurzer Zeitraum (meistens das folgende Wirtschaftsjahr) im Detail geplant (Abb. 5).

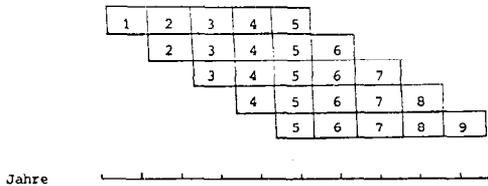


Abb. 5: Prinzip der rollierenden Planung

Zu Beginn jeder Planungsperiode wird also das Folgejahr detailliert festgelegt und zugleich der Planungszeitraum um ein weiteres Jahr vorangetrieben.

Wenn es sich als notwendig erweist, wird im Zuge dieser Vorantreibung des Planungszeitraumes der langfristige Plan den auftretenden oder prognostizierten Entwicklungen entsprechend revidiert.

Voraussetzung einer solchen längerfristigen Investitionsplanung ist deshalb die sich in Zahlen einer Betriebsrechnung niederschlagende Erarbeitung von Unternehmenszielen und Strategien.

Diesen Aktivitäten folgt das Programm zur Bereitstellung der notwendigen Kapazitäten, das heißt eine Festlegung, welche Kapazitäten ersetzt werden müssen und welche zusätzlich benötigt werden, um die festgelegten Umsatzziele erreichen zu können. Die Bereitstellung der notwendigen Kapazitäten erfolgt insbesondere durch die Planung des Personals (Anzahl und Qualifikation), der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie durch Investitionen in Sachanlagen.

Eine solche längerfristige Planung gewährleistet die Erstellung eines realistischen Finanzplanes und damit die Grundlage für Dispositionen über eine zeitgerechte Bereitstellung der benötigten Mittel.

Methodisch geht man zumeist so vor, daß in einem ersten Schritt jene Kapazitäten ermittelt werden, welche im Rahmen des längerfristigen Planungszeitraumes insgesamt bereitgestellt werden müssen, wobei vom mengenmäßigen Bedarf der einzelnen Leistungsbereiche ausgegangen wird (z.B. Lagerraum).

Unter Berücksichtigung bestehender Kapazitäten und allfälliger Ersatzbedürfnisse leitet sich dann daraus das Investitionsvolumen pro Leistungsbereich ab. Soweit dieses nicht durch bekannte Einzelprojekte spezifizierbar ist, können Globalprojekte geplant werden, die in einem späteren Stadium in mehrere Einzelprojekte aufgespalten werden.

b) Der kürzerfristige Investitionsplan und das Investitionsbudget

Größere Bedeutung kommt in der betrieblichen Praxis der Investitionsplanung als Feinplanung sowie als kurzfristige

Vollzugsplanung zu. In dieser Form stellt sie eine Voraussetzung der Investitionseinzelprojektplanung dar und wird auch praktisch von allen größeren Unternehmen angewandt.

Häufig werden in Unternehmen keine separaten Pläne und Budgets erstellt, sondern es erfolgt die Aufstellung des Investitionsbudgets in zwei Stufen (Phasen). Existiert eine längerfristige rollierende Investitionsplanung, dann wird jeweils das im Detail festgelegte Folgejahr als kurzfristiger Investitionsplan betrachtet, auf dem sich das eigentliche Investitionsbudget aufbaut.

Phase 1: Erfassung der Investitionsbedürfnisse und Zusammenstellung der Investitionswünsche bzw. -projekte

Da in der Regel die Erstellung des Investitionsbudgets im Herbst jedes Wirtschaftsjahres stattfindet, muß die Erfassung der Investitionsbedürfnisse der Unternehmensbereiche schon einige Monate früher erfolgen. Investitionsvorschläge gehen dabei von den jeweiligen Stellen des Bedarfs, von der Unternehmensleitung sowie von anderen Abteilungen oder Stellen aus. Beispielsweise können Vorschläge neben Produktion und Forschung von der Verkaufsleitung gemacht werden, wenn diese auf Grund günstiger Absatzprognosen an einer Erweiterung der Produktionskapazität interessiert ist oder eine Verbesserung der Qualität der Erzeugnisse verlangt, um den entsprechenden Kundenforderungen gewachsen zu sein.

Die Unternehmensleitung entschließt sich durch eine bestehende Gesetzeslage oder durch eigenverantwortliche Erkenntnisse zur Vornahme bestimmter Umweltschutz-, Arbeitnehmerschutz- oder Sozialinvestitionen.

Vom einzelnen Belegschaftsmitglied können im Rahmen des betrieblichen Vorschlagwesens Investitionsanregungen geäußert werden. Sie werden in das Investitionsbudget aufgenommen, wenn ihre Vorteilhaftigkeit für das Unternehmen festgestellt wird. Die Erfassung und Zusammenstellung der Investitionswünsche erfolgt durch eine zentrale Stelle im Unternehmen, die je nach Unternehmensgröße und Aufbauorganisation beschaffen und eingegliedert ist. Zumeist ist sie als Stabstelle organisiert und hat den Charakter einer Unternehmensplanungs-, Investitionsplanungs- oder -koordinationsstelle (Investitionsbüro). Letztere stellt eine Kontaktstelle zwischen den Unternehmensbereichen und der zentralen Investitionsplanung und -entscheidung dar und soll in dieser Funktion den Investitionsprozeß im Hinblick auf die Interessen aller beteiligten Zielerreichungsträger koordinieren und überwachen. Grundsätzlich besteht der Inhalt dieser Zusammenstellung aus einer Liste sämtlicher begehrteter Investitionsprojekte, die nach bestimmten Richtlinien erfaßt werden müssen, damit sich für die Erstellung des endgültigen Investitionsbudgets schon in dieser Phase bestimmte Aussagen über Umfang, Art und Struktur der Investitionswünsche treffen lassen.

Phase 2: Die Festlegung des jährlichen Investitionsbudgets (Planung und Entscheidung des Investitionsbudgets)

Das Investitionsbudget ist eine Zusammenstellung der endgültigen, das heißt im gesamten (u.U. auch einzeln) entschiedener Investitionsprojekte für die Zeitdauer von einem Jahr (Wirtschaftsperiode).

In dieser Form zwingt es alle Bereichs- und Abteilungsleiter, ihren Kapitaleinsatz genau zu planen und im Sinne ihrer abgeleiteten Teilziele vorauszudenken.

Der obersten Unternehmensführung ermöglicht das Investitionsbudget, den Gesamtkapitalbedarf aller Bereiche und Abteilungen zu prüfen. Darüberhinaus wird sie gezwungen, sich mit den voraussichtlichen Selbstfinanzierungsmöglichkeiten* und der Gewinnausschüttungspolitik (Dividendenpolitik) zu befassen und sie dem Bedarf an Kapital gegenüberzustellen.

Aus dieser Sicht stellt das Investitionsbudget heute ein sehr wichtiges Instrument zielgerichteter Unternehmenssteuerung und -kontrolle dar.

Bei der Festlegung des Investitionsbudgets können zwei Entscheidungsprozesse festgestellt werden:

- 1) Es wird im Rahmen eines "top-down approach" eine zu realisierende Investitionsbudgetgesamtschritte von der obersten Unternehmensleitung festgelegt (Investitionsvolumen als Funktion der prognostizierten Umsatz- und Ergebnisentwicklung inklusive Entwicklung der Finanzierungsmöglichkeiten und daraus abgeleitet des geschätzten Kapitalbedarfs).
- 2) Die Reihung und gegebenenfalls Streichung einzelner Investitionsprojekte im Rahmen der festgelegten Budgetsumme durch die kompetenten Entscheidungsträger, um renditemäßig ein annähernd optimales Budget zu erstellen.

Zu 1):

Das jährliche Investitionsvolumen bestimmt sich grundsätzlich durch Anzahl, Größe und Dringlichkeit der einzelnen Projekte, wobei die Höhe des zur Verfügung stehenden Kapitals die Grenze nach oben angibt. Zur Festlegung dieser Investitionsgesamtschritte stehen den Entscheidungsträgern gewöhnlich folgende Daten zur Verfügung²:

- die steuerrechtlich zulässigen Abschreibungsmöglichkeiten und die voraussichtlich verdienten Abschreibungen,
- der geschätzte Periodenerfolg,
- die angestrebte Gewinnausschüttung, sowie
- absehbare Kapitalzuführungen (Eigen- und/oder Fremdkapital).

Damit realistische Aussagen über diese Entscheidungskriterien möglich sind, müssen vorher Planungen in anderen Teilbereichen des Unternehmens durchgeführt werden (insbesondere Umsatz-, Kosten-, Ergebnis-, Finanz- und Bilanzplanung). Erst dann kann abgeschätzt werden, wie sich letztlich eine Investition zahlenmäßig auf die einzelnen Budgetgrößen dieser Teilpläne auswirkt bzw. welche Möglichkeiten vom Investitionsbudget her bestehen, um ein gewünschtes Unternehmensergebnis nach Steuern zu erzielen.

Auf das Ergebnis nach Steuern wirkt sich eine Investition mit minus jenem Abschreibungssatz aus, der im Rahmen

bestehender einkommenssteuerrechtlicher Gesetze möglich und aus steuerbilanzpolitischen Gründen tatsächlich angesetzt wird. Bei derzeit bestehender Regelung durch das geltende Einkommenssteuergesetz kann das im Jahr der Anschaffung oder Herstellung maximal sein:

Volle, zu aktivierende Investitionskosten (inklusive Investitionssteuer)

- Absetzung für Abnutzung (§ 7(1) EStG 1972)
- vorzeitige Abschreibung (§ 8 EStG 1972)
- Sonderabschreibung für die Jahre 1974 bis 1976 (§ 122 EStG 1972)

Bei beweglichen Wirtschaftsgütern und Umweltschutzinvestitionen können demnach im Jahr der Anschaffung oder Herstellung derzeit maximal 85 % der Anschaffungs- oder Herstellungskosten abgesetzt werden (wenn als AfA 10 % p.a. angenommen werden).

Natürlich muß man sich bei den steuerbilanzpolitischen Überlegungen in Zusammensetzung mit dem angestrebten Investitionsbudget bewußt sein, daß das damit zu beeinflussende Ergebnis nach Steuern kein volles steuerliches Geschenk ist. Es werden damit Abschreibungen späterer Jahre vorweggenommen, was letztlich zu einer hohen Ertragssteuerbelastung in späteren Zeiträumen führt. Der erzielbare Gewinn liegt also nur in einem Zinsvorteil, der durch Aufschub der Steuerbelastung auf Folgejahre entsteht. Darüberhinaus bedeutet natürlich diese von seiten des Staates geschaffene Möglichkeit zur Förderung von Investitionen einen erheblichen Beitrag zur Finanzierung der Unternehmen und zur Reduzierung ihres Anlagenrisikos. Dieser positive Steuereffekt wird am sichtbarsten, wenn im Rahmen einer mittel- und längerfristigen Planung die Netto-Cash-flows mit und ohne Berücksichtigung der vorzeitigen bzw. der Sonderabschreibung gegenübergestellt werden. Bei voller Ausnutzung der steuerlichen Möglichkeiten zeigt sich dann jene Netto-Cash-flow-Reihe, die zur Finanzierung der Unternehmensinvestitionen eines bestimmten Planungszeitraumes verwendet werden kann. Das derzeit geltende Einkommenssteuergesetz bietet bei Anlagen hinsichtlich der Abschreibungspolitik als Instrument der Steuerung des Unternehmensergebnisses noch folgende Möglichkeiten als Alternativen zur Inanspruchnahme der vorzeitigen bzw. Sonderabschreibung:

- Investitionsrücklage (§ 9 EStG 1972)
- Investitionsfreibetrag (§ 10 EStG 1972)
- Rücklage für nicht entnommene Gewinne (§ 11 EStG 1972)

Dadurch bieten sich für die Unternehmen zusätzliche Strategien der Unternehmenssteuerung an, deren Vorteil von Fall zu Fall rechnerisch nachgewiesen werden muß. Die Begünstigungen zur leichteren Finanzierung von Investitionen führen entweder zu einer Steuerverschiebung (vorzeitige Abschreibung, Investitionsrücklage) oder zu einer echten Steuerersparnis (Investitionsfreibetrag, Rücklage für nicht entnommenen Gewinn).

Bei der Wahl zwischen verschiedenen Investitionsbegünstigungen zur Erzielung des gewünschten Steuer- und Ergebnis-

* Die Ermittlung der voraussichtlichen Selbstfinanzierungsmöglichkeiten setzt eine Analyse des Cash-flow der Unternehmung voraus (siehe dazu Teil I dieses Artikels in den Lenzinger Berichten, Heft 39, Seite 50 – Fußnote)

effektes können mehrere Kriterien eine Rolle spielen. Bei der Alternative „*vorzeitige Abschreibung*“ – „*Investitionsfreibetrag*“ läßt sich beispielsweise durch einen rechnerischen Vergleich nachweisen, daß bei einem Kalkulationszinsfuß von 15 % für bewegliche Anlagegüter mit einer Nutzungsdauer von vier Jahren oder weniger der Investitionsfreibetrag günstiger, in allen anderen Fällen die vorzeitige Abschreibung günstiger ist³.

Das Kernproblem bei der Steuerung eines gewünschten Unternehmensergebnisses nach Steuern durch das Investitionsbudget stellt jedoch die Schätzung des wahrscheinlichen Periodengewinnes des Unternehmens dar. Auf der Kostenseite bedeutet das insbesondere eine genaue Verfolgung der Einstandswerte aller Einsatzstoffe inklusive Energien sowie der Personalkosten und auf der Absatzseite eine möglichst gute Erfassung der Entwicklung des mengen- und wertmäßigen Umsatzes, was eine intensive Beschäftigung mit den Besonderheiten des Marktes voraussetzt.

Zu 2):

Hat man einmal ein bestimmtes Investitionsvolumen für das nächste Wirtschaftsjahr festgelegt, dann müssen die in Phase 1 erfaßten Investitionsprojekte im Rahmen eines definitiven Investitionsprogrammes in einem endgültigen Investitionsbudget gereiht und zusammengestellt werden.

Bei angenommener unsicherer Wirtschaftslage für das kommende Budgetjahr kann es sich als sehr nützlich erweisen, ein Alternativbudget zu erstellen, wobei einmal eine optimistische und einmal eine pessimistischere Geschäftsentwicklung zugrunde gelegt wird.

Wie schon angedeutet, geht es bei der Konzipierung des Investitionsbudgets, welches bei Aktiengesellschaften in seiner Höhe und Struktur vom Aufsichtsrat genehmigt werden muß, letztlich darum, daß durch Bildung bzw. Genehmigung einer Rangfolge der Investitionsvorhaben durch die oberste Geschäftsleitung eine Abstimmung des Kapitalbedarfs mit den verfügbaren Finanzierungsmitteln mit dem Zweck der Erzielung einer optimalen Rendite erreicht wird. Erst durch diese Gesamtbetrachtung kann letztlich eine optimale Investitionsentscheidung ermöglicht werden, da die Entscheidung für eine bestimmte Kapitalverwendung gleichzeitig den Verzicht auf eine andere Kapitalverwendung bedeutet. Das Klassierungskriterium dafür ist die Dringlichkeit, die Rentabilität und das Risiko der Einzelprojekte.

Es sind also folgende Entscheidungen zu treffen:

- Welche Projekte können eventuell im Reparaturbudget abgewickelt werden? *
- Welche Investitionen sollen zurückgestellt oder „gestreckt“ werden, um den Kapitalbedarf herabzusetzen?
- Wieviel und welches Kapital (Eigen- und/oder Fremdkapital) soll sich das Unternehmen beschaffen?

* Im Hinblick auf die Ergebnisplanung bedeutet dies, daß man im Budgetjahr solche „Projekte“ voll (100%) als Betriebsausgaben vom Gewinn absetzen kann. Das setzt voraus, daß man neben einem Investitionsbudget auch ein Reparaturbudget aufstellt, um die Reparaturaufwendungen entsprechend steuern zu können.

Das bedeutet, daß man sich schon in der Phase des Investitionsentscheidungsprozesses über den Investitions- oder Reparaturcharakter der Projekte sowie über die Dringlichkeit, die Rentabilität und das Risiko der Einzelprojekte, die ja in der Gesamtbetrachtung alle miteinander konkurrieren, konkrete Gedanken machen muß, wenn auch die eigentliche technische und wirtschaftliche Prüfung zumeist erst nach Vorlage der Einzelprojekte erfolgt. Rentabilitätsuntersuchungen und -analysen werden in der Budgetierungsphase, von Einzelfällen abgesehen, meist nur oberflächlich gemacht.

Mit der Beschlußfassung über das Budget sind Rahmen und Richtung zukünftiger Investitionstätigkeit festgelegt. Das für ihren Bereich genehmigte Investitionsprogramm wird anschließend den Verantwortungsbereichen zugeleitet; diese treffen dann die entsprechenden Entscheidungen zur Abwicklung dieses Programms.

2.3 Entscheidungsfindung im Rahmen der detaillierten Einzelprojektplanung (Projektantragsmethodik, -beurteilung, -prüfung und -entscheidung)

2.3.1 Einzelinvestitionsentscheidung und Investitionsbudget

Da mit Entscheidung über Umfang und Zusammensetzung des Investitionsbudgets noch keine endgültige Genehmigung der darin enthaltenen Einzelprojekte verbunden ist, muß jedes Einzelprojekt im Rahmen eines Investitionsantrages (Projektantrag) zur endgültigen Investitionsentscheidung nochmals vorgelegt werden.

Mit diesem Antrag wird die im Investitionsbudget dafür genannte Investitionsposition zur Freigabe der Mittel angesprochen. Der Zweck dieser zweifachen Beantragung und Entscheidung ist der, daß die Zeit zwischen Erstellung des Investitionsbudgets und Vorlage des Investitionsantrages zur weiteren Einengung des Investitionsrisikos genutzt werden soll. In dem dazwischenliegenden Zeitraum können Entwicklungen eingetreten sein, die dazu führen, daß ein im global genehmigten Investitionsbudget enthaltenes Einzelprojekt technisch oder wirtschaftlich nicht mehr durchführbar erscheint.

Darüberhinaus stellen nur entsprechend detaillierte und spezifizierte Anträge eine tragfähige Entscheidungsgrundlage dar. In der Phase der Budgeterstellung können – von Ausnahmen abgesehen – solche detaillierte Unterlagen von den Anfordernern zumeist nicht beigebracht werden. Analysen und Vorstudien in dieser Entscheidungsphase dienen nur der Konkretisierung der in der Anregungsphase gewonnenen Investitionsvorschläge mit dem Ziel, eine Aussage über Einstellung oder Weiterverfolgung des Projektes zu ermöglichen. Für die Erstellung und Vorlage solcher detaillierter Projektanträge werden von den Unternehmen Richtlinien vorgegeben, die eine Vereinheitlichung dieses Entscheidungsprozesses garantieren sollen.

2.3.2 Projektantragsmethodik

Kernpunkt einer effizienten Projektantragsmethodik (PAM) ist eine sinnvolle Gliederung und eine aussagefähige Darstellung des Investitionsproblems bei vertretbarem Aufwand

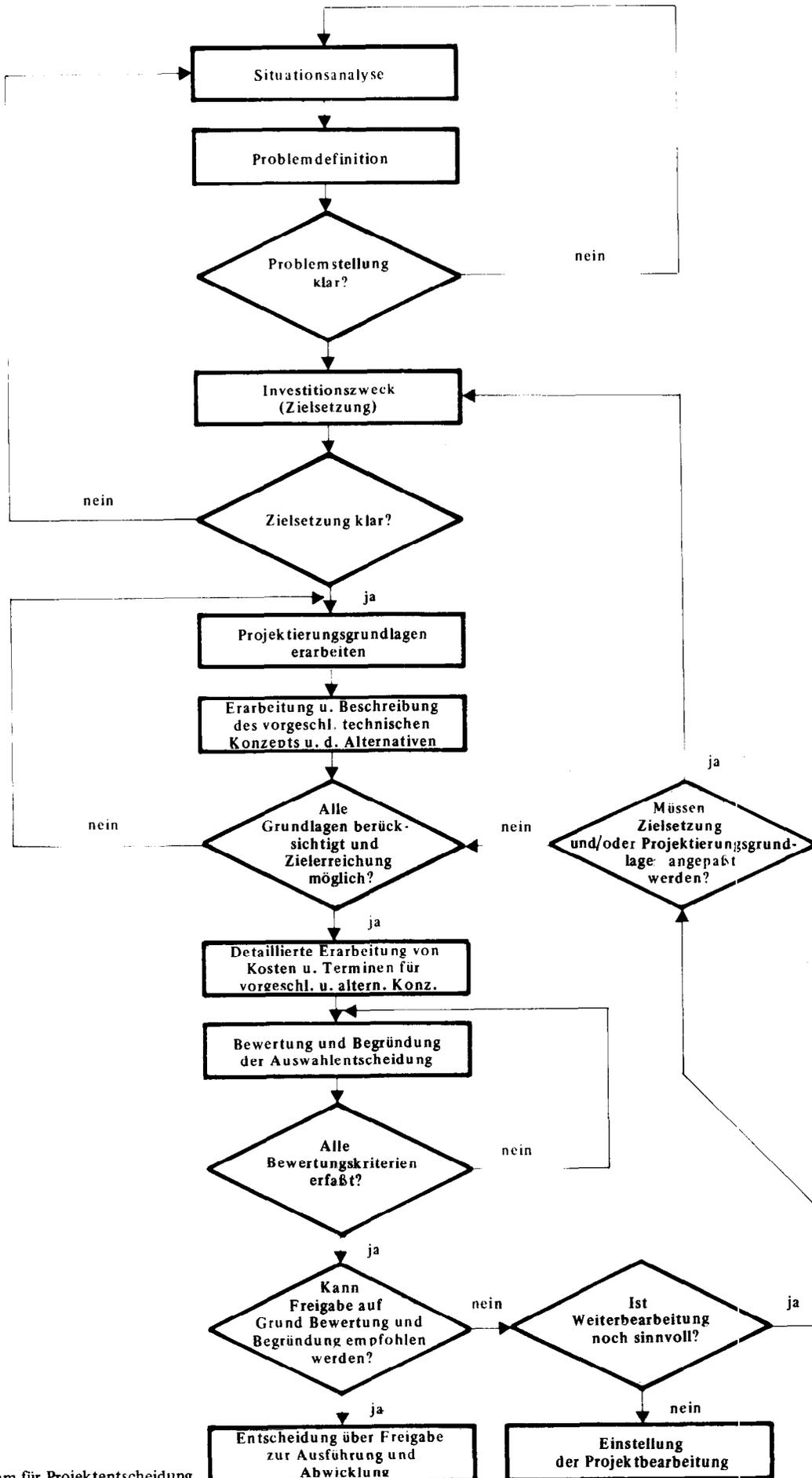


Abb. 6:
Ablaufdiagramm für Projektentscheidung

durch die Antragsteller. Zu diesem Zweck werden eine gewünschte Gliederung der Projektanträge und organisatorische Hilfsmittel erarbeitet, die sich im wesentlichen so aufbauen, wie sich ein planvoller Entscheidungsvorgang abwickelt, das heißt also eine chronologische Abfolge von:

- Aufgabenstellung und Zielsetzungen,
- Entwicklung von alternativen Konzeptionen mit kostenmäßigen, terminlichen und sonstigen Konsequenzen, sowie
- Bewertung des vorgeschlagenen Konzepts als auch der anderen Konzepte im Hinblick auf die Projektziele, Aufgabenstellung und sonstigen Projektauswirkungen.

Diese PAM ist jedoch so zu verstehen, daß sie gewünschte Gliederung und Aufbau vor allem für umfangreichere und kompliziertere Projekte abgeben soll. Bei kleinen und einfacheren Projekten kann sie sehr vereinfacht werden, sollte aber auch hier zu Klarheit und Straffung beitragen.

Das anzustrebende Ziel einer solchen PAM ist letztlich auch die Verwendung und Auswertung der gewonnenen Daten für Zwecke einer kurz- und mittelfristigen Unternehmensplanung auch in anderen Teilbereichen des Unternehmens (Produktion, Finanzen, Personal, Absatz etc.). Der Aufbau dieser Projektantragsgliederung leitet sich aus dem nachfolgenden Ablaufdiagramm für Projektentscheidungen ab, welches den planvollen Entscheidungsvorgang widerspiegeln soll (Abb. 6).

Daraus resultieren die für einzelne Unternehmen speziell geltenden Richtlinien über eine Projektantragsgliederung, nach der ein Projektantrag (Investitionsantrag) beispielsweise grundsätzlich folgendermaßen aufgebaut werden soll:

- Allgemeine Angaben (Projektbezeichnung, Investitionsbetrag, Kostenstelle, voraussichtlicher Fertigstellungstermin)
 - 1) Problemstellung und Investitionszweck
 - 1.1) Problemstellung
 - 1.2) Investitionszweck
 - 1.3) Projektierungsgrundlagen
 - 2) Beschreibung des technischen Konzepts
 - 2.1) Beschreibung des zur Ausführung vorgeschlagenen Konzepts
 - 2.2) Beschreibung von untersuchten alternativen Konzepten
 - 3) Projektkosten
 - 3.1) Aufgliederung für das vorgeschlagene Konzept
 - 3.2) Pauschalangabe der Kosten für alternative Projekte
 - 4) Terminalsituation
 - 4.1) Terminalsituation für das vorgeschlagene Konzept
 - 4.2) Terminalsituation für alternative Konzepte
 - 5) Bewertung und Begründung
 - 5.1) Bewertung des vorgeschlagenen Konzepts und Begründung der Auswahlentscheidung
 - 5.2) Vergleich des vorgeschlagenen Konzepts mit den weniger vorteilhaften Alternativen

- 6) Bemerkungen zur Ausführungsplanung und Abwicklung des vorgeschlagenen Konzepts

Grundsätzlich ist darauf zu achten, daß im eigentlichen Antrag nur entscheidungsrelevante Dinge angeführt werden, während spezifische Details in Form von Beilagen beigelegt werden sollen.

Zu 1):

Entsprechend bewußter oder unbewußter menschlicher Entscheidungsabläufe soll zuerst die Problemstellung umschrieben und anschließend ein konkreter Investitionszweck formuliert werden. Die Umschreibung der Problemstellung basiert auf einer allgemeinen Situations- und Problemanalyse und der Problemdefinition (was ist konkret unbefriedigend?).

Bei der Angabe des Investitionszweckes sind jene verschiedenen Zielsetzungen in überprüfbarer Formulierung übersichtlich darzustellen, wie sie sich aus den Teilbereichen der Unternehmensplanung ergeben (bei manchen Projekten wird das nur eine Zielsetzung sein).

Ein Hinweis auf die Projektierungsgrundlagen soll die einschränkenden Rahmenbedingungen, die Darstellung der Güte der Informationsbasis sowie wechselseitige Abhängigkeiten und Zusammenhänge mit anderen Projekten in sachlicher und zeitlicher Hinsicht (Vor- und Folgeinvestitionen) beinhalten.

Zu 2):

Bei der Beschreibung des zur Ausführung vorgeschlagenen Konzepts sollen neben einer kurzen und prägnanten verbalen Darstellung nach Möglichkeit aussagefähige Übersichten in Form von Beilagen angeschlossen werden. Als solche kommen häufig in Frage:

- Ablaufschema (Blockschema, Verfahrensschema) mit Mengengerüst (Rohstoffe, Hilfsstoffe, Energien, Produktionsmedien, Produkte, Abfälle)
- Ausrüstungsliste
- Aufstellungs- und Einrichtungsentwurf (Layout)
- Gebäudeentwurf
- Situierungsskizze, aus der neben der Lage des Objekts auch eventuelle Auswirkungen auf die Werksinfrastruktur hervorgehen.

Eine Beschreibung von untersuchten alternativen Konzepten sollte – soweit zweckmäßig – ebenfalls nach dieser Gliederung erfolgen, wobei Details in Beilagen anzuführen sind.

zu 3):

Einer exakten Planung und vernünftigen Aufgliederung der Projektkosten für das vorgeschlagene Konzept kommt insbesondere bei größeren Projekten eine erhebliche Bedeutung zu. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, solche Investitionsprojekte nach einem generellen **Kostenstrukturplan** (als **Projektstrukturplan**) anzugeben.

Die Zielsetzung dieser Projektkostenplanung für einen definitiven Projektkostenvoranschlag ist eine mehrfache:

Datum
 dazu
 Blatt von bis

Projekt-Nr. ...VI.....
KSt.
Projektfederführend:
Abt. Bfz.

KA Gruppe	BENENNUNG	Blatt - bis -	Budgetwerte in T öS
00	Gelände und Außenanlagen		
01	Bauobjekt 1 (Name)		
02	Bauobjekt 2 (Name) etc.		
10	Anlagengruppe 1 (Name)		
20	Anlagengruppe 2 (Name) etc.		
50	Elektroversorgung		
60	MSR-Einrichtungen		
71	Pauschal-Planung und Know-how-Erwerb		
72	Nebenkosten		
73	Geschäftsausstattung		
74	Inbetriebnahme		
80	Abbruch- und Sicherungsarbeiten		
998	UV für Gestaltung-, Ausmaß- und Kostenunsicherheiten		
999	UV für noch nicht detailliert vorhersehbaren Aufwand, worüber nur nach Entscheidung durch verfügt werden darf.		
	PROJEKT-BUDGET gesamt:		
70	Für das Projekt werden Planungs- und Konstruktionsstunden veranschlagt.		

Abb. 7: Projektvoranschlag – Summenblatt

- Ermittlung von Höhe und Zusammensetzung des freizugebenden Projektbudgets,
- Positionsaufgliederung in Kostenanschlagspositionen (KAPos) für Projektkostenverfolgung,
- Bezugsrahmen und Informationsbasis für die Zuordnung von Planungsaufgaben (Projektorganisation) sowie Planung der Ingenieurkapazität,
- Bezugsrahmen und Informationsbasis für Kapazitätsgroßplanung (Fertigungsplanung, Montageplanung etc.),
- Bezugsrahmen für Projektkostenstrukturanalysen.

Abbildung 7 zeigt das Schema eines solchen Projektvorschlag-Summenblattes, wie es den Projektanträgen beigelegt wird.

Ein Hinweis auf die Terminalsituation des Projekts (wahrscheinlicher Fertigstellungstermin ab Genehmigungszeitpunkt) erscheint insbesondere für die Planung des Aktivierungsstandes, der Abschreibungspolitik sowie des Finanzplanes bedeutungsvoll.

Zu 5):

Bei der Bewertung und Begründung des vorgeschlagenen Konzepts als wesentliche Voraussetzung der Auswahlentscheidung spielen neben technischen Sachverhalten und Kriterien vor allem betriebswirtschaftliche, sozialpolitische und ökologische Faktoren eine entscheidende Rolle.

Aus diesem Grund wird bei Ausarbeitung dieses Punktes des Investitionsantrages immer eine betriebswirtschaftliche Fachabteilung eine besondere Rolle spielen. Die Bedeutung dieser Einflußnahme ist – je nach Organisation der Investi-

tionsplanung – von Unternehmen zu Unternehmen sehr verschieden.

Grundsätzlich sollte im Vergleich zur Ausgangssituation (Basisalternative) dargestellt werden, ob und in welchem Ausmaß das Projekt den unter 1.2) genannten Zielen gerecht wird, ob die technische Lösung bewährt ist bzw. ob ihr noch Entwicklungsrisiken anhaften. Weiters sind die in den Projektierungsgrundlagen und Projektzielen nicht erfaßten Auswirkungen des Projekts, aber auch durch das Projekt entstehende bzw. durch das Projekt nicht vollkommen gelöste sowie potentielle Probleme aufzuzeigen, insbesondere Auswirkungen auf andere Bereiche der Unternehmensplanung, Abteilungen oder Projekte.

Bei Investitionsanträgen, die primär auf Grund von Wirtschaftlichkeitsrechnungen entschieden werden sollen (insbesondere Rationalisierungs- und Erweiterungsinvestitionen) ist den wirtschaftlichen Bewertungskriterien – ihrer Ermittlung und Aussagefähigkeit – entscheidende Bedeutung beizumessen.

Mit Hilfe von Wirtschaftlichkeits- bzw. Investitionsrechnungen und -analysen sollen **Entscheidungshilfen** für das Bewerten der Zweckmäßigkeit einer Investitionsalternative im Hinblick auf ihren Beitrag zu monetären und nicht monetären Unternehmenszielen geschaffen werden. Wesentlich ist also immer, daß durch die Wirtschaftlichkeitsrechnung der Einfluß der Investitionsalternative auf den „Erfolg“ (quantitativ und qualitativ) des Unternehmens herausgearbeitet wird.

In Abbildung 8 sind Kriterien aufgezeigt, nach denen beurteilt werden kann, inwieweit eine Investitionsalternative diesen Zielen gerecht zu werden vermag⁴.

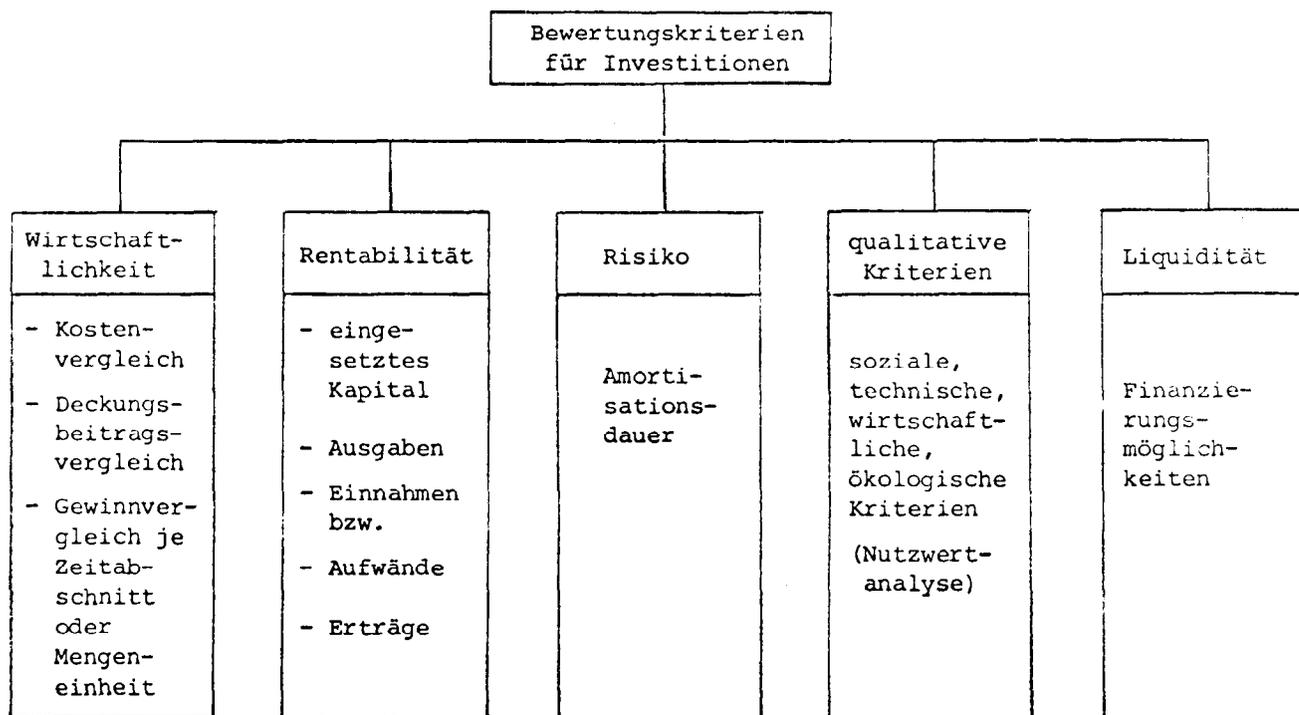


Abb. 8: Bewertungskriterien für die Zweckmäßigkeit einer Investition

Zur Erarbeitung und Darstellung dieser Bewertungskriterien hat die Theorie und Praxis viele Methoden und Verfahren entwickelt, auf die im einzelnen natürlich nicht näher eingegangen werden kann. Umfang und Art ihrer Verwendung hängen sehr stark vom Charakter des Investitionsprojekts sowie den führungsmäßigen und organisatorischen Voraussetzungen des Unternehmens ab. Vor Anwendung solcher Verfahren sollte man sich stets überlegen, welche Rechen- oder Bewertungsmethoden sich zur Erarbeitung echter Entscheidungshilfen am besten eignen könnten. Dabei muß immer auch ein akzeptabler Kompromiß zwischen Aufwand und Aussagefähigkeit gefunden werden.

Grundsätzlich muß man sich darüber klar sein, daß Investitionsverfahren immer nur eines der oben genannten Kriterien berücksichtigen. Ihre Kombination ist nur mit Hilfe der Nutzwertanalyse möglich, deren zahlenmäßiger Ausdruck den subjektiven Wert einer Investition hinsichtlich des Erreichens vorgegebener Ziele widerspiegelt.

In der betrieblichen Praxis haben sich vor allem folgende Verfahren und Methoden durchgesetzt⁵:

- a) *statische Verfahren* (Nichtberücksichtigung der Lebensdauer des Projekts),
- Rentabilitätsrechnung,
 - Amortisationsrechnung (Risikorechnung),

- b) *dynamische Verfahren* (Berücksichtigung der Lebensdauer des Projekts),
- Kapitalwertmethode,
 - interne Zinsfußmethode (Return on Investment – ROI),
- c) *qualitative Beurteilungskriterien* (meist neben quantitativen Verfahren).

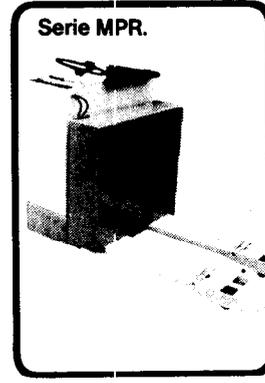
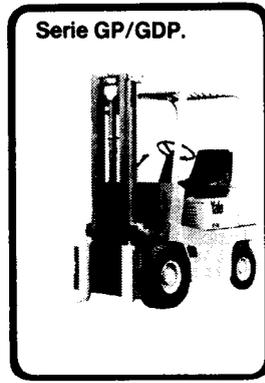
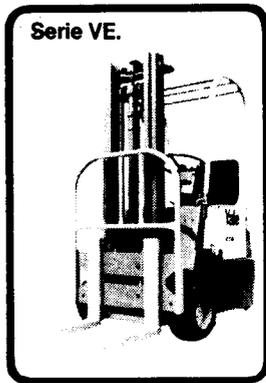
Zu 6:

Bei den Bemerkungen zur Ausführungsplanung und Abwicklung des vorgeschlagenen Konzepts sind vor allem organisatorische Aspekte der Projektentwicklung darzustellen⁶.

Bei komplexeren Projekten sind dies Prinzipien der Projektorganisation, interne und externe Informationsflüsse sowie Behördenverkehr.

Ein Charakteristikum des Investitionsprozesses bei chemischen Unternehmen liegt in der zunehmenden Problematik der vorschriftsmäßigen Inangriffnahme, Abwicklung und Erlangung einer Betriebsbewilligung von Investitionsprojekten. Das bedeutet, daß schon bei der Projektplanung besonderes Augenmerk auf die in den einzelnen Gesetzesmaterien genannten Zielsetzungen gelegt werden muß (betrifft Gewerbeordnung, Arbeitnehmerschutz, Wasserrecht, Bauordnung, Bundesstraßengesetz, Eisenbahngesetz, Strahlenschutzgesetz u. ä.).

Diese Seite bringt die Lösung Ihrer Transportprobleme!



Wenn Sie Güter umzuschlagen haben, bringt Ihnen diese Seite die Lösung Ihrer Probleme.

Denn Eaton erfüllt nicht nur die Wünsche von Besitzern einer großen Staplerflotte und löst deren Förderprobleme durch die große Palette von **Yale**-Industriestaplern, sondern hilft auch bei Betrieben mit geringerem Umschlagsvolumen gerne.

Wie alle **Yale**-Gabelstapler erfüllen auch die der neuen Baureihen den hohen Standard Eatons an Verlässlichkeit, Leistungsfähigkeit und Sicherheit. Stapler also für jeden Anwendungsbereich, ob im Innen- oder Außeneinsatz. Sie können selbstverständlich zwischen elektrischem, Benzin-, Flüssiggas- oder Dieselantrieb wählen und sich außerdem auf die Zuverlässigkeit Eatons bzw. der Ersatzteilversorgung und

auf das prompte Service 100%ig verlassen, wie dies von einem der größten Gabelstaplerproduzenten der Welt zu erwarten ist. Darum gehen Sie Ihre Umschlagsprobleme von neuem an und prüfen Sie, was Ihnen Eaton mit den **Yale**-Gabelstaplern zu bieten hat.

Yale Serie VE. 3-Rad-Elektro-Gabelstapler, Vollreifen, Tragkraft von 600–1.600 kg.

Yale Serie GP/GDP. Benzin-, Treibgas- bzw. Dieselmotorgabelstapler, Luft- oder Superelastireifen. Tragkraft 1.000–1.600 kg.

Yale Serie ERC. 4-Rad-Elektro-Gabelstapler. Voll- oder Luftbereifung. Tragkraft 2.000–5.000 kg.

Yale Serie MPR. Elektro-Sitz-Gabelhubwagen. Tragkraft 2.000–3.000 kg.

Ihr Partner in Österreich:

EATON Materials Handling

Eaton Gesellschaft m. b. H., 3002 Purkersdorf, Wiener Straße 53
Telefon (0 22 31) 630, 680, 689, Telex 01-1558

Von den Stellen der Investitionsprüfung und -entscheidung ist dann für die Einreichung solcher Projekte zwecks Errichtung und Betriebsbewilligung Sorge zu tragen.

Bei Investitionsvorhaben, die den Richtlinien für die Vergabe geförderter Sonderkredite entsprechen (z.B. Kredite des ERP-Fonds, Kredite für die Errichtung oder Erweiterung betrieblicher Abwasserreinigungsanlagen u. ä.) sind in Zusammenarbeit mit den technisch planenden Stellen Vorschläge für eine Krediteinreichung zu erstellen.

2.3.3 Investitionsprüfung und -entscheidung

Der Prozeß der Investitionsprüfung* und -entscheidung kann zu einem erheblichen Teil nur unternehmensspezifisch beschrieben werden.

Ihr Ablauf wird nicht unwesentlich von Organisation und Methode der Investitionsantragserstellung abhängen, welche die verschiedenen Ausprägungen einer Teamarbeit der Informationsfindung und -bearbeitung haben kann. Während die Zusammenarbeit bei der Projektantragserstellung unter Federführung eines Projektverantwortlichen primär auf funktionaler Ebene erfolgt (d.h. zwischen den einzelnen Fachbereichen, wie Ingenieursabteilung und Produktions-, Verkaufs-, Einkaufs- und Rechnungswesenabteilungen), findet sie bei der Investitionsprüfung und -entscheidung auf funktionaler und hierarchischer Ebene statt.

3. Der Prozeß der Entscheidungsdurchführung bei Investitionsentscheidungen

3.1 Interdependenzen von Zielsetzung und Zielerreichung

Die schon in Teil 1 dieses Artikels erwähnte Totalinterdependenz aller Teilbereiche des Unternehmens bedingt eine wechselseitige Abhängigkeit von Zielsetzung und Zielerreichung. Das bedeutet, daß mit der eigentlichen Investitionsentscheidung der Investitionsprozeß noch keineswegs abgeschlossen ist.

Vielmehr kann im Sinne des Regelkreisdenkens das Ergebnis der Zielerreichung oder der Erreichungsfortschritt zur Informationsgrundlage für ein Überdenken der Zielsetzungen und eventuell zu Änderungen in der Zielkonzeption führen.

Diese aus analytischen und didaktischen Gründen sukzessive Betrachtung und isolierte Behandlung von Zielsetzung (Entscheidungsfindung) und Zielerreichung (Entscheidungsdurchführung) darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß in der Realität Simultaneität der wechselseitigen Einwirkung von Zielsetzung und Zielerreichung herrscht.

* Die unter diesem Punkt dargestellte Investitionsprüfung darf nicht mit der Vorprüfung der Investitionswünsche der einzelnen Stellen des Bedarfs verwechselt werden, die darüber entscheidet, ob ein Projekt überhaupt in das Investitionsbudget aufgenommen wird oder nicht. Während bei der Investitionsprüfung unter Punkt 2.3.3 schon ein detailliert geplanter und ausgearbeiteter Investitionsantrag vorliegt, bezieht sich die Vorprüfung bei der Budgeterstellung häufig nur auf eine mehr oder weniger konkret dargestellte „Projektidee“.

Darüberhinaus kann in der Praxis nicht immer davon ausgegangen werden, daß Mittelwahl und ihre Durchführung immer bei Existenz einer definitiven Zielkonzeption vonstatten geht.

Nicht selten bringen Entscheidungsträger persönliche Zielvorstellungen in diesen Prozeß ein, je nachdem, in welcher Weise die Ziele des Unternehmens mit persönlichen Zielvorstellungen harmonieren oder kollidieren.

Das bedeutet, daß der Entscheidungsfindungsprozeß bei Investitionen kein Produkt des „homo oeconomicus“ ist, sondern ein Ergebnis differenzierter Sach- und Einflußaktivitäten. Unter diesem Aspekt sollte auch der nachfolgend analysierte Prozeß der Entscheidungsdurchführung gesehen werden. Dieser Prozeß läßt sich in die Phasen

- Investitionsdurchführung und -ausführungskontrolle („In-Prozeß-Kontrolle“) sowie
- Investitionsabschluß, -ergebniskontrolle und -auswertung unterteilen.

Die Realisation getroffener Investitionsentscheidungen stellt einen Operationskomplex dar, der in der Regel alle wichtigen organisatorischen Bereiche des Unternehmens betrifft und sehr verschiedenartige Aufgaben technischer* und administrativer Art zu bewältigen hat. Im wesentlichen ist der Prozeß der Entscheidungsdurchführung ein Abwicklungs-, Überwachungs- und Kontrollprozeß. Die Investitionsdurchführung hat sich an der der Investitionsentscheidung zugrundegelegten definierten technischen und wirtschaftlichen Zielsetzungen zu orientieren; die Notwendigkeit der Kontrolle ergibt sich also bereits aus der Zielsetzung selbst, die – einmal gestellt – auch auf den Grad ihrer Erreichung überprüft werden muß (Soll/Ist-Vergleich) und bei Abweichungen deren Ursachen festzustellen hat.

Jede Fehlleistung des Investitionsprozesses beeinträchtigt die Zielsetzung der Investitionsentscheidung und wirkt sich auf die Rentabilität und Liquidität des Unternehmens negativ aus. Durch eine wirkungsvolle und systematische Investitionskontrolle sollte also überprüft werden, ob die in der Entscheidungsfindung festgelegten Daten auch tatsächlich erfüllt werden. Diese Soll/Ist- und Ursachenanalyse erscheint jedoch nur sinnvoll, wenn aus den Abweichungen irgendwelche Konsequenzen gezogen werden.

Der Zweck einer systematischen Investitionskontrolle ist demnach ein mehrfacher⁷:

- Nach Möglichkeit sollen mit Hilfe der Investitionskontrolle Abweichungen vom Soll so frühzeitig festgestellt werden, daß noch Korrekturen möglich sind (Regler- und Steuerfunktion).
- Zukünftige Entscheidungen sollten bei ähnlich gelagerten Investitionsprojekten verbessert werden, indem einmal gemachte Fehler (besonders solche bei der Vornahme von Investitionsrechnungen) möglichst vermieden

* Die technischen Aspekte der Investitionsdurchführung und -abwicklung sollen hier weitgehend ausgeklammert werden, da diese Funktion ein spezielles Anforderungsprofil besitzt und mit dem jeweiligen technischen Sachproblem eng verknüpft ist.

werden. Die Investitionskontrolle kann Informationen liefern, welche Ansatz und Genauigkeit von Schätzungen in Zukunft verbessern.

- Manipulationsmöglichkeiten bei der Investitionsplanung, -rechnung und -prüfung sollten eingeschränkt werden. Bei Vorlage eines Investitionsantrages besteht in der Praxis die Gefahr, daß bestimmte Daten falsch oder zu optimistisch angesetzt werden (was auch in einer Prüfung der Investitionsanträge übersehen werden kann), um die Genehmigung eines Projektes zu erwirken. Die Aufgabe der Kontrolle darf in solchen Fällen nicht in einer Bloßstellung derjenigen gesehen werden, die eventuell bewußt oder unbewußt Fehler gemacht haben, sondern in einem wirksamen Führungsinstrument zur Verbesserung zukünftiger Entscheidungsabläufe.

Wenn Investitionsentscheidungen an untere Stellen delegiert worden sind, bedürfen diese einer periodischen Kontrolle, was einer Grundvoraussetzung der Delegation entspricht. Das Bestehen eines Kontrollsystems kann in solchen Fällen schon eine Präventivwirkung auf die Tätigkeit der Anregungs-, Planungs- und Prüfungsstellen ausüben, ohne daß in sämtlichen Fällen eine Investitionskontrolle vorgenommen wird.

- Eine Investitionskontrolle schafft eine greifbare Verantwortlichkeit für das Investitionsergebnis, wobei das wirt-

KORROSIONSSCHUTZ W. HÖHNEL KG.

Sandstrahl-, Flammstrahl-, mechanische Entrostung, staubreies Sandstrahlen mit Vacu-Blast, Naßstrahlen, Schutz- und Industrieanstriche aller Art, Behälterauskleidungen mit lösungsmittelfreiem Kunststoff, Holzschutz, Isolierungen und Streichgummierungen, Metallspritzen von Zink, Aluminium und Aluminiumlegierungen, kathodischer Korrosionsschutz, Klimatisierung zur Trockenlegung von schwitzwasserfeuchten Anlageteilen.

A-4021 LINZ/DONAU, BISCHOFSTRASSE 5

Tel. 07222/72606 Serie FS 02 469

Postfach 202, Telegrammadresse: Höhnel KG Linz

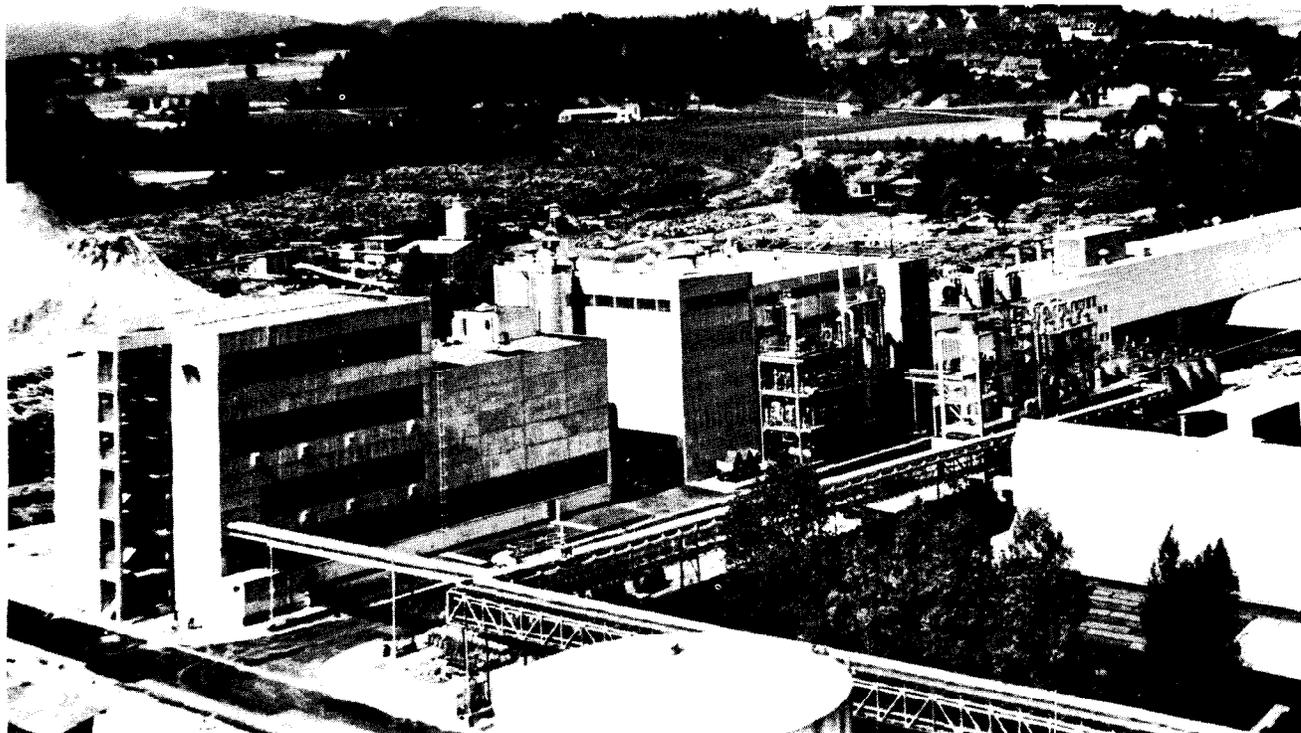
Korrosionsschutzwerk: Linz, Zamenhofstraße 41

schaftliche Ergebnis im Vergleich zu dem im Investitionsantrag angegebenen erwarteten wirtschaftlichen Ergebnis von besonderem Interesse ist.

- Durch ergebnisorientierte Investitionskontrollen soll die Möglichkeit wahrgenommen werden, in betroffenen Bereichen und Funktionen diverse Verbesserungen zu erkennen und durchzuführen (z.B. Produktionsplanung, Betriebsmittelverbrauch, Verfahrensverbesserungen etc.).

PORR

ist in allen Bausparten
mit modernem Gerät
im Einsatz



- Feststellung der Ordnungsmäßigkeit des Investitionsprozesses, das heißt, ob die für das Investitionssystem erlassenen Richtlinien eingehalten wurden (Beantragung, Genehmigung etc.).
- Feststellung von Verbesserungsmöglichkeiten der Organisation des Investitionsprozesses und des Investitionssystems (Planung, Budgetierung, Durchführung, Aufbau- und Ablauforganisation, Richtlinien, Formulare, Informationen, Dokumentation u. ä.).

Diese Zielsetzungen entkräften das in der Praxis gern zitierte Argument, daß es zum Zeitpunkt der Kontrolle „ohnehin schon zu spät“ sei.

Die Kontrollfunktion des Investitionsprozesses existiert grundsätzlich in zwei verschiedenen Formen⁸:

1. die Investitionsdurchführung und die damit einhergehende Ausführungskontrolle („In-Prozeß-Kontrolle“),
2. der Durchführungsabschluß (Inbetriebnahme) der Investition und die nachfolgende Ergebniskontrolle (Nachkontrolle).

Instrument der **Ausführungskontrolle** ist die **Investitionsbudgetkontrolle** (IBK) als Kontrolle des Kapitaleinsatzes eines Investitionsprojektes oder einer Gruppe von Investitionsprojekten.

Instrument der **Ergebniskontrolle** (Nachkontrolle) ist die **Investitionsprojektkontrolle** (IPK), die der Kontrolle technischer und insbesondere wirtschaftlicher Daten von Einzelprojekten oder Projektgruppen dient. Diesen Zusammenhang zeigt Abbildung 9.

Je nach Zweck und Anforderung wird die objektweise und/oder globale Kontrolle anzuwenden sein. In der Forderung nach einer Wirtschaftlichkeit der Kontrolle werden in der Praxis zweckmäßigerweise Mindestprojektgrößen für die objektweise Kontrolle festgelegt. Neben der Höhe des Investitionsbetrages kommen als Auswahlkriterium noch solche Investitionen in Betracht, die auf Grund von Wirtschaftlichkeitsrechnungen verschieden werden oder ein unbefriedigendes Ergebnis versprechen. Die organisatorischen Grundlagen der Kontrollfunktion sollten sicherstellen, daß die Investitionskontrolle grundsätzlich eine laufend wahrzunehmende Funktion darstellt, die unabhängig von den beantragenden oder durchzuführenden Stellen vorgenommen werden kann. Diese laufend wahrzunehmende Funktion sollte zweckmäßigerweise auch von der Investitionskordinations- oder -planungsstelle übernommen werden, da dadurch die gewonnenen Erkenntnisse und Daten unmittelbar wieder bei anderen Projekten bzw. im laufenden Investitionsprozeß eingesetzt werden können.

Die interne Revision sollte nur für die Prüfung besonders ausgewählter Projekte eingesetzt werden.

Bei der Investitionskontrolle ist in jedem Fall sicherzustellen, daß die zu prüfenden Daten mit den Entscheidungsgrundlagen vergleichbar sind.

3.2 Die Investitionsdurchführung und Ausführungskontrolle (Investitionsbudgetkontrolle)

Die Investitionsdurchführung und die damit verbundene Ausführungskontrolle soll die zielorientierte Verwirklichung auf Basis der bei der Investitionsentscheidung vorausgesetzten Annahmen und Daten sicherstellen.

Damit dient sie der technisch und wirtschaftlich sachgemäßen Ausführung (Qualität und Quantität) im Rahmen einer kooperativen Zusammenarbeit aller Beteiligten und letztlich der Kontrolle der Investitionsausgaben pro Projekt und in Summe.

Diese Ausführungsüberwachung und -kontrolle erfordert, daß die mit der Kontrolle der Projekte und/oder des Budgets gewonnenen Daten rechtzeitig und verlässlich an alle am Investitionsprozeß unmittelbar Beteiligten ergehen, damit der Steuerungscharakter des Investitionsbudgets erhalten bleibt.

Die Kontrolle des Investitionsbudgets wird gewöhnlich von zwei Seiten durchgeführt. Erstens findet eine Kontrolle vor Bestellung bzw. Vergabe statt, durch die keine Investitionen ausgelöst werden dürfen, die nicht eine Investitionsnummer besitzen, das heißt genehmigt sind.

Für diese Funktion wird gewöhnlich der Einkauf (bei Fremdleistungen) und die Arbeitsvorbereitung (bei Eigenleistungen) eingeschaltet, die in diesem Sinne quasi eine Sperrfunktion ausüben.

Die eigentliche Ausführungskontrolle, das heißt vor allem der laufende (z.B. monatliche) Vergleich der effektiven Investitionsausgaben (Ist) mit den budgetierten (präliminierten) Investitionsausgaben (Soll) genehmigter Projekte soll drohende Projektkosten- und Budgetüberschreitungen rechtzeitig erkennen und eventuell vermeiden helfen.

Diese Zielsetzung liegt im Interesse des Projektfederführenden, der an der kostenmäßigen Entwicklung (Projektkostenstand) und Einhaltung seines Investitionspräliminarius interessiert ist und im Interesse der obersten Geschäftsleitung, die der Entwicklung des Projekt- bzw. Budgetaktivierungsstandes und -zahlungsstandes hinsichtlich ihrer Steuerungsmöglichkeiten im Rahmen des Ergebnis-, Bilanz- und Finanzplans hohe Bedeutung beimessen sollte.

Die eigentlichen Ansatzpunkte für die Ausführungs- bzw. Budgetkontrolle sind damit Ermittlung und Verfolgung von

- a) Projektkostenstand,
- b) Projektaktivierungsstand und
- c) Projektzahlungsstand.

Jede Realisierung eines Projektes konfrontiert die daran unmittelbar Beteiligten mit diesen drei Begriffen. Ihr sachlicher Gehalt, ihre Ermittlung sowie ihre Funktion sollen nun kurz dargestellt werden.



Abb. 9: Schema des Zusammenhangs von Investitionsbudget- und -projektkontrolle

a) Projektkostenstand (PKS)

Kosten als der in Geld bewertete Einsatz von Mitteln zur Erstellung von Gütern und Diensten werden entweder für eine Periode oder für eine Mengeneinheit bestimmt.

Zielsetzungen des PKS:

- Die Projektkostenverfolgung und die Ermittlung des Projektkostenstandes (händisch oder mittels EDV) liefert für den Projektfederführenden einen laufenden Hinweis dahingehend, ob er seine budgetierten Kosten einhalten wird können durch Momentkontrolle bei jeder Selbstkosteneintragung (bei Vergabe von Beträgen bzw. Kostenveranlassung).
- Er liefert Hinweise über den Projektfortschritt durch regelmäßige Summierung (Momentansumme) pro KAPos, pro KA-Gruppe und pro Projekt (Bildung der „kombinierten Soll/Ist-Kosten“ durch Zick-Zack-Summe der Vergabe- und Abrechnungswerte)⁹.
- Bei größeren Projekten sollte die Projektkostenverfolgung grob vorgeschätzte Projektbudgets ermöglichen, die als Information an die übergeordneten verantwortlichen Stellen über den wahrscheinlichen Kostenstand, mit dem das Projekt abschließen wird, weitergehen. Dies geschieht durch eine Ergänzung der Momentansumme durch Werte für noch offene, jedoch absehbare Aufwendungen.
- Der PKS soll eine Information an nachgeschaltete, planende und ausführende Stellen über bereits getätigte Veranlassungen (auf Grund der Sollkosteneintragungen) darstellen.
- Der PKS soll als Basis für eine Projektkostenstruktur-analyse von bereits abgewickelten Projekten dienen.

Aus dieser Projektkostenverfolgung kann jedoch nicht automatisch eine Vorausschätzung des Aktivierungsstandes per

ING. GOTTFRIED TSCHAMLER

POSTFACH 134

DÖBLINGER GÜRTEL 3

A-1191 WIEN

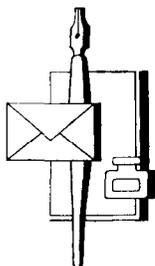
TELEFON 34 66 65

TELEX 07-5364

- TEXTILTECHNISCHES BÜRO
- SCHWEIZER TEXTILMASCHINEN

Jahresende für die Aspekte der Bilanz- und Ergebnisplanung gewonnen werden. Auch die laufende Erfassung des durch das Projekt bereits gebundenen oder in bestimmten Plan-

moderne bürotechnik



robert streit
WIEN · AMSTETTEN · LINZ

Alle Büromaschinen
Sämtlichen Bürobedarf
Schreibwaren
Moderne Büromöbel und Registraturen
Papier und Schulartikel
Spezial-Reparaturwerkstätte

perioden zu bindenden Kapitals als Grundlage der Kapitalbedarfsplanung ist nicht unmittelbar damit verbunden.

Im Sinne einer aktuellen und effektiven Erfassung und Verfolgung des PKS ist eine monatliche EDV-Auftragsabrechnung nach projektfederführenden Sachbearbeitern von Investitionsprojekten anzustreben, die im wesentlichen auf den Kostenstrukturplan des Projektes aufbaut.

Von wesentlicher Bedeutung für die Effizienz dieser maschinellen Auswertung als Kontroll- und Steuerungsinstrument ist die Aktualität der ausgewiesenen Kostenstände. Dabei erscheint es unumgänglich notwendig, daß bereits alle Bestellungen oder Vergaben von Eigenleistungen (Werksaufträge) mittels Eingabebeleg erfaßt und in der EDV berücksichtigt werden.

Diese Auftragsabrechnung weist neben der Investitionsnummer, der Kostenstelle, dem Namen des Projektfederführenden, dem Text des Investitionsprojektes, dem Datum der Abrechnung, der Auftrags- bzw. Bestellnummer, der KA und KAPos die Vorkalkulation (Vorrechnung) des Projektes, die Summe der Projekt-Freigabe (durch Investitionsentscheidung), die Gesamtkosten und die Kosten des laufenden Jahres (das betrifft Projekte, die sich über mehr als zwölf Monate erstrecken), unterteilt in Lohn, Material und Fremdleistungen, sowie die verfügbare Differenz zwischen Projekt-Freigabe (Budgetkosten) und den kombinierten Soll/Istkosten.

Diese Auswertungen werden den betreffenden Projektfederführenden monatlich zugesandt. Bei Installation einer Datenbank mit Direktzugriff (On-line-System) könnten die Kostenstände noch aktueller, das heißt näher beim Kostenanfall ermittelt und abgerufen werden.

b) *Projekttaktivierungsstand (PAS)*

Einkommenssteuerrechtlich ist eine Aktivierung geboten, wenn Wirtschaftsgüter gegen Aufwendungen erworben sind und einen über die Dauer des einzelnen Steuerabschnittes wesentlich hinausreichenden Wert für das Unternehmen besitzen. Der Aufwand ist gekennzeichnet durch alle während einer Abrechnungsperiode im Betrieb verbrauchten und in Anspruch genommenen zweckbezogenen (mit der betrieblichen Leistungsstellung zusammenhängenden) sowie neutral bewerteten Mittel, das heißt, daß der Aufwandsbegriff immer *periodenbezogen* ist. Der durch ein Investitionsprojekt unmittelbar entstehende Aufwand ist immer *Zweckaufwand* und deckt sich demnach *objektbezogen* mit den Projektkosten.

Die Ermittlung des wahrscheinlichen PAS per Abrechnungstichtag (30. Juni und 31. Dezember jeden Jahres) dient als Grundlage für steuerbilanzmäßige Abschreibung, für die laufende Ergebnis- und Bilanzplanung sowie für die Investitionsplanung (bzw. -budgetierung) des nächsten Wirtschaftsjahres.

Ziel dieses PAS ist eine zeitlich rasche und in der Genauigkeit akzeptable Feststellung der zeitlichen Verteilung des Aufwandes pro Jahr (vor laufendem Jahr, laufendes Jahr, Folgejahr), Halbjahr und Projekt (in Bau befindliche, genehmigte, im Budget enthaltene, außerordentliche Projekte).

Das bedeutet, daß die Zweckaufwendungen im Sinne der Projektkosten periodenbezogen gegliedert werden müssen. Während dies bei den bereits abgeschlossenen Projekten sehr einfach ist, stellt es bei den in Bau befindlichen oder gar erst in Angriff zu nehmenden Projekten ein zeitraubendes Schätz- und Ermittlungsproblem dar, das mit den einzelnen Projektfederführenden oder Planungsverantwortlichen kooperativ gelöst werden muß.

Die bereits entschiedenen und in Bau befindlichen oder abgeschlossenen Projekte können sehr leicht aus einer für die Zwecke der Investitionsbudgetüberwachung und -kontrolle zu schaffenden EDV-Abrechnung entnommen werden (existiert eine solche Liste nicht, dann aus händisch geführten Kontrolllisten). Diese Budgetüberwachung ist eine andere Auswertung der bestehenden Investitionsdaten-Stammdatei und sollte mehr auf buchhalterische und bilanzmäßige Aspekte ausgerichtet sein (insbesondere eine Unterteilung in oder Kenntlichmachung von unbeweglichen und beweglichen Wirtschaftsgütern).

Das "print chart" könnte beispielsweise folgende Angaben umfassen: Investitionsnummer, KA, KAPos, Bestellungs- bzw. Auftragsnummer, FIBU-Konto, Buchungsdatum, Belegnummer, Lieferant, Projektfreigabe bzw. -budget, bestellter Wert, Anzahlungen und Abrechnung, noch verfügbarer Betrag.

Soweit im Budget enthaltene oder außerordentliche Projekte, die erst in Angriff zu nehmen sind und/oder in Bau befindliche Projekte periodenmäßig abgegrenzt werden müssen, sollte die EDV-Liste dahingehend ergänzt und erweitert werden. Dies kann händisch erfolgen oder über EDV durch Eingabe von Fiktivbuchungen. In jedem Falle sind jedoch vorher von den einzelnen Planungs- und/oder Realisierungsstellen entsprechende Sach- und Termininformationen einzuholen. Solche Projekte oder Projektteile sind dabei entsprechend der steuerlichen Abschreibung in Abhängigkeit der Bauzeit für den voraussichtlichen Aktivierungsstand anzusetzen.

Im Detail sind folgende Möglichkeiten denkbar:

- (1) Bauzeit (= Beginn des Investitionsprojektes bis Übergabe an den Betrieb) ist kleiner als zwölf Monate:
 - (1.1) Erfolgt sowohl Beginn als auch Übergabe an den Betrieb im gleichen Wirtschaftsjahr, so können die Abschreibungsmöglichkeiten voll genutzt werden.
 - (1.2) Erfolgen Beginn und Überryahme nicht im gleichen Jahr, so können die bis 31. Dezember des laufenden Jahres zugekauften (im Haus befindliche und fakturierte) oder selbst erstellten Teile des Investitionsprojektes nur dann abgeschrieben werden, wenn es sich um „*selbständig abnutzbare Wirtschaftsgüter*“ (Lieferungen und Leistungen) handelt.
- (2) Bauzeit größer als zwölf Monate:

In diesem Falle können sämtliche bis zum 31. Dezember des laufenden Jahres im Hause befindlichen „*abnutzbaren Wirtschaftsgüter*“ abgeschrieben werden. Befinden sich im Rahmen der abnutzbaren Wirtschaftsgüter auch „*selbständige abnutzbare Wirtschaftsgüter*“, so können diese mit den Sätzen

für vorzeitige und normale Abschreibung abgeschrieben werden, sämtliche anderen abnutzbaren Wirtschaftsgüter dürfen nur mit der vorzeitigen Abschreibung berücksichtigt werden.

c) Projektzahlungsstand (PZS)

Ausgaben sind Zahlungen jeglicher Art, die einen Geldabfluß aus dem Unternehmen darstellen; während Aufwendungen periodenbezogen sind, sind Ausgaben (Zahlungen) zeitpunktbezogen.

Das bedeutet, daß die laufenden Investitionsprojekte und die in Planung befindlichen Investitionsvorhaben nicht nach der Periode aufzuteilen sind, in der Kosten bzw. Aufwendungen anfallen, sondern nach dem Zeitraum der effektiven Auszahlung.

Ziel des PZS ist die Ermittlung (Schätzung) des durch Investitionen hervorgerufenen Auszahlungsstromes für Zwecke einer Finanzplanungs- und Kontrollrechnung.

Die zeitliche Erfassung der Zahlungsströme hängt vom Zeitraum der geplanten Finanz- und Liquiditätsplanung ab, der je nach Zielsetzung verschieden detailliert untergliedert wird. Dabei sollten nach Möglichkeit (besonders bei den umfangreichen Projekten) alle wesentlichen Bestellungen bzw. deren Zahlungstermine (-ziele) oder Anzahlungen (eventuell gegliedert in Eigen- und Fremdwährung) erfaßt werden.

Aus diesen drei Punkten ist ersichtlich, daß ein Investitionsprojekt bzw. die Zusammenstellung der Einzelprojekte zu einem Gesamtbudget, aus den Erfordernissen einer wirkungsvollen und permanenten Ausführungskontrolle heraus, bei Bedarf nach diesen Daten- und Informationsstrukturen für Zwecke einer Entscheidungsgrundlage gegliedert werden muß.

Dabei ist in der Praxis ein gewisser Zusammenhang in der zeitlichen Verteilung zwischen PKS, PAS und PZS bei der Abwicklung von Investitionsprojekten erkennbar (siehe

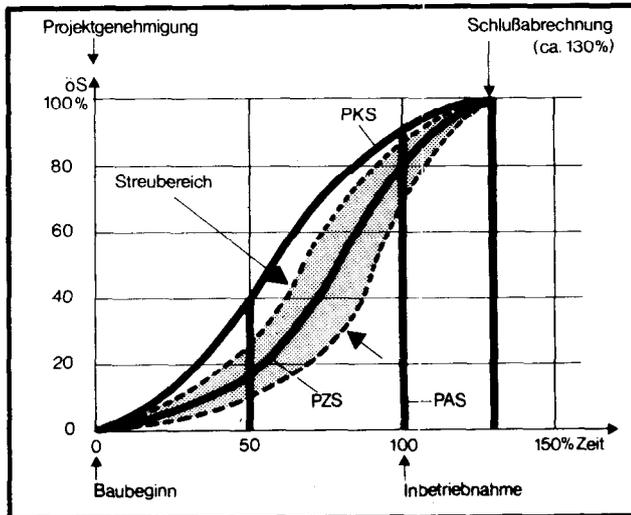


Abb. 10: Zeitliche Verteilung von Kosten, Aufwänden und Zahlungen bei Abwicklung von Investitionsprojekten

Abb. 10), der bei solchen Ermittlungen und Schätzungen im Zweifelsfalle angenommen werden kann.

Dieser Zusammenhang ist so zu interpretieren, daß in der Regel Projektgenehmigung und Baubeginn praktisch zusammenfallen.

Der PZS hinkt gewöhnlich deutlich hinter dem PKS, der sich analog zum Baufortschritt entwickelt, nach. Nach Ablauf der halben Zeit zwischen Baubeginn und Inbetriebnahme sind zumeist erst rund 20 % der Kosten bzw. Aufwendungen bezahlt.

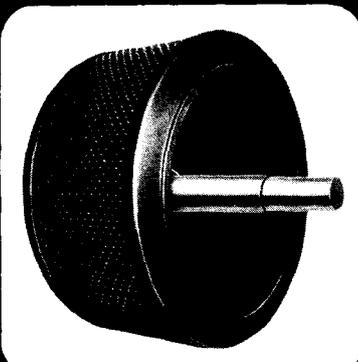
Bei Inbetriebnahme sind erfahrungsgemäß erst an die 80 % der Gesamtkosten (-aufwendungen) bezahlt. Innerhalb eines Streubereiches folgt die zeitliche Verteilung des Aufwandes (Zahlungsstromes) einer S-Kurve.

Der PAS hängt von der Bauzeit des Projektes ab; ist diese größer als zwölf Monate, so verläuft er annähernd gleich der Entwicklung des PKS.

SEMBONIT® Hartgummi

EROSTABIL® Weichgummi

SEMPRONIT® Kunststoff



® = Eingetragenes Warenzeichen

Korrosionsschutz – Erosionsschutz

SCHUTZAUSKLEIDUNGEN
für Behälter, Wasseraufbereitungsapparate, Filtertrommeln, Gewürzautoklaven, Scheuertrommeln, Rohrleitungen, Ventile, Pumpen, Siebtrommeln.

SEMPERIT
Aktiengesellschaft
1041 Wien, Wiedner Hauptstr. 63
Werk: 4021 Linz, Eduard-Sueß-Str. 19

3.3 Der Projektabschluß und die Ergebniskontrolle (Nachkontrolle)

Grundsätzlich ist der Investitionsprozeß nicht mit Projektfertigstellung abgeschlossen, sondern dauert darüber hinaus noch an, allerdings mit weit geringerer Entscheidungsrelevanz, da das Investitionsprojekt ab diesem Zeitpunkt erst Aufschlüsse über die ihm gesetzten Erwartungen bezüglich der qualitativen und quantitativen Zielsetzungen geben soll. Die Investitionskontrolle ist in dieser Phase demnach stets eine projektbezogene Ergebniskontrolle (Investitionsprojektnachkontrolle).

Da strenggenommen eine vollständige Ergebniskontrolle erst nach Ausscheiden des Investitionsgutes aus dem Anlagevermögen (Liquidation) erfolgen könnte, muß dies bereits nach einem Zeitraum geschehen, nach dem wesentliche Wirkungen der Investition erkennbar und weitgehend abgrenzbar sind. In der Regel erscheint die Ergebniskontrolle ein Jahr nach der Inbetriebnahme angebracht. Dadurch wird das Ergebnis zwar meist nur auf Grund einer Näherungsrechnung festgestellt werden, bei der die Sollwerte für den bereits abgelaufenen Zeitraum durch Istwerte ersetzt und für die Restnutzungsdauer der Investition verbesserte Sollwerte eingesetzt werden.

Wie auch aus Abbildung 10 zu ersehen ist, erfolgt der kostenmäßige Abschluß eines Projektes meist erst eine Zeitspanne nach Inbetriebnahme. Nach Möglichkeit sollte dieser Zeitraum in vertretbarem Ausmaß verkürzt werden, da erstens die Gefahr besteht, daß durch unnötige oder ungerechtfertigte Kostenbelastungen die Investitionssumme über die Genehmigungssumme hinaus erhöht wird und zweitens die anzustrebende Investitionsnummer-Abmeldung und Streichung aus allen laufenden Abrechnungslisten unnötig verzögert wird.

Erst wenn dies geschehen ist, gilt das Investitionsprojekt auch „formell“ als abgeschlossen und kann ab diesem Zeitpunkt einer Ergebniskontrolle unterzogen werden. Bei dieser soll das vorläufige Ergebnis der durchgeführten Investition festgestellt und dem geplanten gegenübergestellt werden. Eine damit verbundene Analyse sollte ermitteln, unter welchen Voraussetzungen und Bedingungen das Ist-Ergebnis realisiert wurde. Diese sollen dann den Annahmen im Investitionsantrag gegenübergestellt und bei erheblich negativen Abweichungen Überlegungen angestellt werden, wie das wirtschaftliche Ergebnis sowohl von der Kosten- als auch der Ertragsseite eventuell noch positiv beeinflusst werden kann.

Weitere Zielsetzungen der Nachkontrolle wurden schon unter Punkt 3.1 angeführt.

Abschließend sollte noch zu der in der Praxis häufig vorherrschenden Skepsis gegenüber einer systematischen, formellen und materiellen Investitionskontrolle Stellung genommen werden. Diese Kritik entzündet sich an mehreren Punkten:

- Durch eine Nachkontrolle könne nichts mehr geändert werden.
- Eine solche Kontrolle sei zu aufwendig und ihre Ergebnisse stünden in keinem Verhältnis zum Einsatz.

- Rechnungstechnisch sei eine isolierte Kontrolle einer einzelnen Investition nicht möglich.
- Kontrolle untergrabe die Motivation der Träger des Investitionsprozesses (Investitionsanregungen, Entscheidungsvorbereitung etc.).

Grundsätzlich ist solchen Argumenten entgegenzuhalten, daß alle Zielsetzungen des Investitionsantrages theoretisch und praktisch einer Kontrolle der eingetretenen Zielerreichungen unterworfen werden können, und zwar gilt das nicht nur für die technischen Daten, obwohl es bei diesen erfahrungsgemäß viel leichter ist.

Investitionsnachkontrolle darf auch niemals als Überwachung von Mitarbeitern oder Sanktionierung gemachter Fehler aufgefaßt werden; für die unmittelbar Beteiligten sollten nur im Sinne einer Selbstkontrolle und eines Führungsinstrumentes eingetretene Abweichungen für zukünftige Planungen faßbar und verwertbar oder – wenn dies noch möglich und ökonomisch erscheint – das wirtschaftliche Ergebnis gestaltbar gemacht werden.

Literatur:

- 1) Vgl. R.E. Maier: Planung, Kontrolle und Organisation des Investitionsentscheidens; Bern 1970, S. 32 ff.
- 2) Vgl. Betriebswirtschaftlicher Ausschuß des Verbandes der Chemischen Industrie (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Planung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der chemischen Industrie; Wiesbaden 1965, S. 42
- 3) Vgl. F. Weiler: „Steuerfälle – praktisch gelöst“; Österr. Steuer- und Wirtschaftskartei, Heft 7, Seite 69 ff. vom 10. April 1975
- 4) Abbildung 8 in Anlehnung an REFA: Methodenlehre der Planung und Steuerung, Teil 2, Investitionsrechnung und -planung; München 1974, S. 300
- 5) Zu den einzelnen Methoden und Verfahren vgl. insbesondere bei G. Seicht: Investitionsentscheidungen richtig treffen; Wien 1973, S. 15 ff.
- 6) Vgl. dazu W. Girking: „Die Leistungsfähigkeit einer projektbezogenen Matrixorganisation als Teil eines umfassenden betrieblichen Führungssystems“; Lenzinger Ber. 37, 50–63 (1974)
- 7) Vgl. H. Schwarz: Optimale Investitionsentscheidungen; München 1967, S. 117 ff.
- 8) Vgl. R.E. Maier: a. a. O., S. 100 ff.
- 9) Vgl. B. Aggteleky: Fabrikplanung – optimale Projektierung, Planung und Ausführung von Industrieanlagen, 2. Auflage; München 1971, S. 220 ff.

Ankündigungen

EUCOFF – European Conference on Flammability and Fire Retardants

14. und 15. Juli 1977
Geänderter Tagungsort:
Shearaton-Hotel, Brüssel, Belgien

Anmeldungen für Vorträge sind zu richten an:

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

INSERENTENVERZEICHNIS

	Seite
Allgemeine Baugesellschaft – A. Porr Aktiengesellschaft, 1031 Wien	45
BASF Österreich Ges. m. b. H., 1131 Wien	11/12
Chemiefaser Lenzing AG, 4860 Lenzing	
SFM	17
Faserverkauf	19
SFA	21
Chemische Fabrik Stockhausen & Cie., D–415 Krefeld	15
Eaton Gesellschaft m. b. H., 3002 Purkersdorf bei Wien	43
Wilhelm Höhnel KG, 4021 Linz/Donau	45
KRONOS TITAN–GMBH, D–5090 Leverkusen	25
Ingenieure Mayreder, Kraus & Co., Baugesellschaft m. b. H., 4021 Linz/Donau	33
Chemische Fabrik Wilhelm Neuber - Gesellschaft m.b.H., 1061 Wien	37
Österreichische Chemische Werke - Gesellschaft m. b. H., 1151 Wien	37
RÜTI – Maschinenfabrik Rüti AG, CH–8630 Rüti (Zürich)	31
SEMPERIT Aktiengesellschaft, 1041 Wien	49
Robert Streit – Moderne Bürotechnik, 3300 Amstetten	47
Ing. Gottfried Tschamler, 1191 Wien	47

*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