

LENZINGER BERICHTE

Folge 39

Juli 1975

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Widmung	5
Polymere – heute bis zum Jahr 2000 Professor Dr. S.M. A t l a s , Bronx/New York und Professor Dr. H.F. M a r k , Brooklyn/New York	6
Die Anwendung des Rasterelektronenmikroskops in der Faserforschung Dozent Dr. Erich T r e i b e r , Stockholm	12
Aufbau und Eigenschaften von Chemiefasern Professor Dr. habil. Jan J u i l f s , Hannover	21
Zur Frage der Röntgenweitwinkelstreuung von polymeren Fasersubstraten (Kurzmitteilung) Dozent Dr. habil. Hans K r ä s s i g , Lenzing	28
Betrachtungen zu einigen Tendenzen der Entwicklung der Polyacrylnitrilfaserstoffe Dr.-Ing. W. D o h r n , Dr. S. H a r t i g , Dipl.-Chem. E. P e t e r , Rudolstadt/Schwarza – Premnitz	34
Der Einfluß der Stapellänge auf Produktqualität und Wirtschaftlichkeit des Rotorspinnens Ing. (grad.) Bernd L a g e m a n n , Ingolstadt	42
Die Organisation des Investitionsprozesses als Instrument entscheidungsorientierter Unternehmensführung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der chemischen Industrie (Teil 1) Mag. Dr. Willibald G i r k i n g e r , Kundl – Lenzing	48
Inserentenverzeichnis	60



**Herrn Professor Dr. Hermann F. M a r k
zum 80. Geburtstag gewidmet**

Wenn man als Redaktion das große Glück hat, eine Persönlichkeit wie Herrn Professor Mark zu seinen verlässlichsten Autoren zählen zu dürfen, dann scheint es mir auch angebracht, an der Schwelle zu dessen 80. Geburtstag allen unseren Lesern die Leistungen und Verdienste dieses bedeutenden Wissenschaftlers, Lehrers und Beraters vorzustellen.

Nach Abschluß seines Studiums (summa cum laude) in seiner Heimatstadt Wien begann Herr Professor Mark seine wissenschaftliche Tätigkeit am Kaiser-Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie in Berlin-Dahlem. Er war einige Jahre im Forschungslaboratorium der IG-Farbenindustrie in Ludwigshafen tätig und hielt zur selben Zeit Vorlesungen über physikalische Chemie an der Technischen Hochschule in Karlsruhe, von wo er zum Direktor des I. Chemischen Instituts der Universität Wien berufen wurde. In der weiteren Folge leitete er das Research Department of the International Paper Company (Canada) sowie das Polymer Institute am Polytechnic Institute of Brooklyn, New York.

Die Beiträge auf dem Gebiet der Makromoleküle, die Professor Mark und seine Mitarbeiter in diesen Instituten im Laufe der letzten 40 Jahre leisteten, fanden ihren Niederschlag in mehr als einem halben Tausend an Publikationen, zahlreichen Büchern sowie unzähligen Vorträgen in Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch. Sein umfassendes, jederzeit greifbares Wissen erlaubte es ihm, seine Vorträge fast aus dem Stegreif anhand einiger Dias oder Zeichnungen so lebendig zu gestalten, daß sich jeder Zuhörer persönlich angesprochen fühlte.

Für seine **außergewöhnlichen** Leistungen wurde er mit fast zwei Dutzend Auszeichnungen und Orden geehrt, darunter das **Österreichische Ehrenzeichen für Wissenschaft und Kunst**.

Eine Vielzahl von Hochschulen verlieh ihm das Ehrendoktorat. Auch ist er Mitglied zahlreicher wissenschaftlicher Akademien und chemischer Gesellschaften.

Sein Ziel war es immer, nicht nur an einer Stelle besonders weit und erfolgreich vorzustoßen, sondern in Arbeitsgruppen Organiker, Physiko-Chemiker, Physiker – womöglich auch Biochemiker – zu gemeinsamer Arbeit anzuleiten und so wie bei einer großen Offensive langsam, systematisch und unwiderstehlich durch geniale Ideen und Kooperation neues Terrain zu erforschen.

Die Redaktion

Polymere — heute bis zum Jahr 2000

Professor Dr. S.M. Atlas
Bronx Community College, Bronx, New York

Professor Dr. H.F. Mark
The Polytechnic Institute of New York
Brooklyn, New York

Neueste Entwicklungen der Polymerchemie sowie die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten der neuen Polymeren werden besprochen und deren Einflüsse auf das tägliche Leben erörtert.

The latest developments in polymer chemistry as well as the manifold applications of the new polymers are discussed and their influences on the everyday life.

1. Allgemeine Gesichtspunkte

Gegenwärtig besitzen wir zahlreiche einfache, leicht zugängliche und billige Rohmaterialien, die sofort eingesetzt werden können, um Polymersysteme herzustellen. Wir kennen eine große Anzahl unterschiedlicher Reaktionen, um kleine in große Moleküle überzuführen, und es gibt viele Methoden, um das Rohpolymere — entweder durch Mischen und Zusammensetzen oder durch Prozesse wie Extrudieren, Formen, Gießen, Spinnen — in eine Menge brauchbarer Produkte zu verwandeln.

Eine konservative Extrapolation jeder dieser drei Faktoren sollte es uns erlauben, die wahrscheinlichsten der Entwicklungen für die Zukunft vorauszusagen, insbesondere jene, die nicht von irgendwelchen unvorhergesehenen Ereignissen abhängen, sondern das Ergebnis einer ständigen Erweiterung der derzeit vorhandenen Produkte und Verfahren sind.

Die Geschwindigkeit der Polymerisationsreaktion hängt von der Anzahl der Ketten ab, die pro Volums- und Zeiteinheit gestartet werden, sowie von der Additions-geschwindigkeit des jeweiligen Monomeren an die wachsende Kette und von der Abbruchwahrscheinlichkeit. Es gibt derzeit schon Polymerisationsreaktionen, die in Bruchteilen einer Sekunde abgeschlossen sind, und es ist klar, daß ihre Geschwindigkeit um einen Faktor 100 oder mehr noch weiter beschleunigt werden kann, wenn verbesserte Bedingungen, beispielsweise höhere Reaktivität oder größere Reinheit des Polymeren, aktivere Initiatoren oder günstigere Reaktionsparameter, erstellt würden.

Tatsache ist, daß in bestimmten Laboratorien sehr schnelle Polymerisationsprozesse bereits erfolgreich untersucht werden; jene werden es ermöglichen, daß man Fasern direkt aus einer Masse aus Monomeren, Füllmaterial, Pigmenten, Antistatika und Flammfestmitteln — mit Geschwindigkeiten von 4000 bis 5000 yd./min bei Raumtemperatur —, ohne hierzu eine zusätzliche Flüssigkeit, wie ein Lösungsmittel oder ein

Bad, zu benötigen, spinnst. Sie werden es erlauben, daß man selbsttragende Filme bei hoher Geschwindigkeit gießt — ohne Lösungsmittel und bei niedrigen Temperaturen —, um innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde Niederschläge auf eine Unterlage abzulagern, und daß man stark adhäsive Bindungen sofort herstellen kann.

Die systematische Untersuchung von Copolymerisationsprozessen hat zu einer erstaunlichen Beherrschung der Konzentrations- und Sequenzverteilung individueller Monomere geführt — sogar in sehr komplizierten Ketten. Dies eröffnet den Weg zur Herstellung synthetischer Polymerer, die nicht nur mit wertvollen physikalischen Eigenschaften, wie beispielsweise Festigkeit, Zähigkeit, Elastizität und Scheuerfestigkeit, ausgestattet sind, sondern auch mit chemischen Eigenschaften, wie Löslichkeit, Mischbarkeit, Katalysator- oder Inhibitorwirkung, oder mit einem biochemischen Potential.

Bemühungen dieser Art haben bereits tatsächlich zur Gewinnung synthetischer Biopolymerer geführt, die wie Enzyme eine definierte katalytische Wirkung zeigen — unter Bedingungen, die viel weniger eingeschränkt als die für natürliche Enzyme sind, und die auch eine Fixierung der gewünschten katalytischen Wirkung auf einer Faser, auf einem Film oder auf einem Granulat ermöglichen. Es muß hervorgehoben werden, daß die hohe spezifische Aktivität natürlicher Enzyme selbst zwar noch nicht erreicht wurde, daß aber die systematische Erforschung dieses Gebietes viele Tatsachen aufgezeigt hat, die in naher Zukunft offensichtlich den Weg zu einer weiteren Veredlung und Vervollkommnung weisen.

Großes Interesse richtete sich in den letzten Jahren auf Natur und Technologie organischer Polymerer, die bei erhöhten Temperaturen stabil sind und die unter entsprechenden Verhältnissen bei Temperaturen bis zu 1000°C und höher eingesetzt werden können. Der Grund für ihr ungewöhnliches Verhalten ist, daß sich die individuellen Kettenmoleküle aus einer Reihe aromatischer Ringe aufbauen, die die Struktur durch Resonanz stabilisieren und dabei den Schmelzpunkt sowie die Härte des daraus geformten Materials anheben. Diese gegen hohe Temperaturen widerstandsfähigen Polymere können zu Fasern, Filmen und Geweben geformt werden.

Weiters ist es mit Hilfe entsprechender Binder möglich, daraus strukturierte Materialien, wie Stangen, Platten oder Gitter, herzustellen. Diese verlieren allerdings bei 800°C ihre Verwendungsfähigkeit, sind jedoch in inerter Atmosphäre bis zu 500°C und in Luft bis zu 300°C über längere Zeit voll einsatzfähig. Verschiedene Repräsentanten dieser neuen Polymerfamilie lassen sich bereits sehr gut in der modernen Elektronik, insbesondere zur Verkleinerung transistorisierter Mikrowellengeräte, einsetzen und werden zu vielen neuen, vereinfachten Ausführungen elektronischer Apparate in Flugzeugen, Autos, aber auch zu Geräten für den Haushalt herangezogen.

Eine andere, äußerst reizvolle Anwendung dünner, harter, gegen Strahlung widerstandsfähiger Filme ist die Möglichkeit, sie irgendwo im Weltraum als große Kraftstationen anzubringen, die die Sonnenenergie direkt in Elektrizität umwandeln und zurück zur Erde senden. *Gleichzeitig wurden*

neue Methoden entwickelt, um sehr dünne Fasern (whiskers) mit großer Steifheit (mit Moduli bis zu 150 Mio psi), mit hoher Festigkeit (bis zu 10 Mio psi) und mit hoher Temperaturresistenz (bis zu ca. 4000°C) auszurüsten. Einige von ihnen bestehen aus reinem Kohlenstoff, andere wieder werden durch eine Kombination von Kohlenstoff mit Bor und Silikonen erhalten. Die aussichtsreichste Anwendungsmöglichkeit für diese Superfasern ist ihr Einsatz als verstärkende Komponente im Inneren einer Polymermatrix; dort erzeugen sie extreme Steifheit, Stoß- und Reißfestigkeit bei sehr geringem spezifischem Gewicht und erlauben eine Ausführung von zusammengesetzten Materialien (z.B. Drähte, Stäbe, Platten, Röhren u. dgl.), wobei sie selbst beste Metalle hinsichtlich ihrer integrierten thermischen, mechanischen und korrosiven Eigenschaften übertreffen.

Bis vor kurzem war es üblich, die organischen Polymere als elektrische Isolatoren zu betrachten und von dieser grundlegenden Eigenschaft weitesten Gebrauch zu machen. Einige der HT-resistenten Systeme weisen auch sehr interessante Eigenschaften als Leiter bzw. als Halbleiter auf, und man glaubt sogar, daß graphitierte und durch Metall aktivierte Zusammensetzungen davon das Phänomen der Supraleitfähigkeit aufweisen, in einem Temperaturbereich, der höher liegt als jener von rein kristallinen Metallen.

2. Einige Beispiele

a) Von der Faser zum fertigen Produkt

Größere und hauptsächlich vertikal orientierte Betriebe werden in Zukunft vorherrschen; sie werden Fasern, Stoffe und fertige Kleidung sowie Textilien für Haushalt und Technik herstellen. Insbesondere Färber und Ausrüster als Spezialisten werden in den Großbetrieben durch technisches Personal ersetzt werden. Ihre Arbeitsgrundlage ist eher die Wissenschaft als die Kunst, die Rohware marktgerecht herzurichten. Eine vom Computer überwachte Nachbehandlung herrscht in fast allen Betrieben, ein paar wenige Spezialbetriebe ausgenommen, vor, und auch die Produktion wird vom Computer den Marktanforderungen entsprechend kontrolliert.

Der moderne Techniker arbeitet heute schon vielfach mit Chemiefasern, die sich von den herkömmlichen sehr deutlich unterscheiden. Die fünf grundlegenden Synthesefasern – die Polyamid-, Polyester-, Polyolefin-, Rayon- und Acrylfasern – wurden modifiziert, sodaß sie an bestimmte Endzwecke angepaßt sind. Sie sind leichter anfärbbar und benötigen hierzu weder Hochdruckpressen noch Carrier. Auch die Flammfestausrüstung gehört heute schon zum Standard aller Fasern.

Die Synthesefaserstoffe werden nach wie vor gewebt oder gestrickt und in Färbereien in Lösungsmittelprozessen behandelt, die gleichzeitig Schmutz und Fett entfernen. Das Bleichen spielt dabei schon keine große Rolle mehr, denn die Chemiefasern sind von Haus aus weißer als die Naturfasern, deren Weiße von der Veredlung des Rohmaterials abhängt. Das nötige Bleichen von Baumwolle oder von Wolle folgt unmittelbar dem Entfetten und braucht dank hochaktiver oxidierender Dämpfe in einer ionisierten Atmo-

sphäre (erzeugt durch Hochfrequenzströme) nur wenige Sekunden.

Das Färben hängt von der Faserart, der Nuance, der Dauer des Arbeitsvorgangs sowie vom Endzweck der Ware ab. Man wählt hierfür ein wässriges oder ein Lösungsmittelsystem, um das Färben und Ausrüsten in einem Arbeitsgang durchführen zu können. Die ständigen Verbesserungen von Fasern, Farbstoffen und Hilfsmitteln werden es schließlich ermöglichen, daß man Färbe- und Veredlungsmittel zusammen programmieren kann und dadurch das Endprodukt in Geschwindigkeiten erhält, die die derzeitigen um das Zwei- bis Dreifache übertreffen. Die schwerfällige Zweistufen-Bleichmaschine, der 90-Fuß-Spannrahmen und die unförmigen Trockner sind Museumsstücke – zumindest für die Erzeugung von Stapelware. Auch der 400-Fuß-Färbeapparat mit seinen Polstern, Vortrocknern, Bedampfern, Waschanlagen und Trockenkannen gehört dazu.

Eine neue Vorrichtung für die wässrige Behandlung von zellulosischen und anderen Chemiefasern besteht aus einer Reihe geschlossener, mit hoher Energie versehener Einheiten, die bei offener Breite bei jedem Spannungsgrad und mit einer Geschwindigkeit, von der wir uns bis heute nichts träumen lassen, färben und die Ausrüstemittel aufbringen können. Hochfrequenzstrom spielt für die Geschwindigkeits-erhöhung von Farb- und chemischer Absorption eine große Rolle. Dampfphasen- sowie Ultraschallbehandlung sind ebenfalls wichtig.

Das Bedrucken ist noch immer das wichtigste Mittel zum Dekorieren eines Stoffes, denn es bietet die Möglichkeit zur Ausführung unzähliger Entwürfe von Mustern und Farbzusammenstellungen. Die Modifikationen von Methoden und Maschinen nützen den Vorteil, den farbaufnahmefähigere Fasern bieten, insbesondere dort, wo die Farb- oder die Harzpigmente noch die Oberhand haben. Elektrostatische Prozesse jedoch liefern leuchtende und echte Farben, die auf jedem Material haften. Den Lösungsmittelsystemen ist es gelungen, in den Bereich der traditionellen wässrigen Systeme zum Ausrüsten und zum Bedrucken von Markt-gütern einzudringen.

Die Massenproduktion von Stoffen aus Fasern beginnt in der chemischen Fabrik. Neue Chemiefasern mit all den guten Eigenschaften natürlicher Fasern, aber keinem ihrer Nachteile, beherrschen das Feld. Non-wovens für einmaligen oder für mehrfachen Gebrauch werden zumindest den halben Textilmarkt übernehmen.

Der Vorgang des Bedruckens selbst beginnt bei der Spinn-düse, wo die Farbstoffzwischenprodukte mit der Faser zusammengemischt werden. Diese werden in der Druckmaschine durch Kupplungskomponenten, die ein breites Farbspektrum ergeben, wenn sie auf gewöhnliche Zwischenprodukte aufgebracht werden, aktiviert. Vervollständigt wird dieser Prozeß durch eine sehr rasche Fixierung in der Gasphase. Die Geschwindigkeiten – vergleichbar jenen des Rotogravur-Druckens – sind voraussagbar.

Ein anderes bereits gut entwickeltes Bedrucksystem beruht auf der elektrostatischen Aufladung der Farbe, gefolgt von einer Hitzebehandlung, um die Pigmente dauernd in die Fasern einzuschmelzen. Die Nachbehandlung in der Färberei

erfolgt für die meisten Waren kontinuierlich. Der Flachsiebdruck ist jedoch für spezielle Anforderungen hohen Preisniveaus vorbehalten.

Der Wunsch nach Individualität bleibt stark – und das Geschäft für viele kleinere Betriebe liegt insbesondere darin, „etwas anderes“ zu bieten.

b) Raschere Verarbeitungsprozesse

Der Traum, Polymerisationsprozesse noch mehr zu beschleunigen, liegt vielen Chemikern ganz besonders am Herzen. Verglichen mit den Wachstumsprozessen bei Pflanzen und Tieren, die in Monaten und Jahren gemessen werden, verläuft die synthetische Polymerisation relativ schnell: in wenigen Stunden bei Nylon, in wenigen Minuten bei Polyäthyl und in einigen Sekunden bei rasch härtenden Bindemitteln. Könnte aber die Polymerisation in Bruchteilen einer Sekunde ausgeführt werden, so ergäben sich dadurch wichtige neue Entwicklungen:

- Die Produktion würde vielfach vereinfacht sein.
- Aus den Monomeren könnten Fasern direkt gesponnen, Kunststoffe extrudiert und Filme geblasen werden, ohne kostspieligen Transport bzw. ohne Mischen und Portionierung zwischen den einzelnen Stufen.
- Monomere Tinten, die sofort polymerisieren und beim Kontakt mit dem Papier trocknen, könnten den Vierfarbendruck rascher, billiger und lohnender machen.
- Selbst die Photographie könnte als Imitation des Fotokopierens auf der Polymerisation basieren. Solch ein System, das nur einen einzigen Film erfordert, könnte vielschichtige Naßprozesse, wie beispielsweise den Polaroidprozeß, der das Entwickeln in der Kamera in 10 Sekunden oder weniger bewirkt, ersetzen.
- Eng verbunden mit der Photographie sind die mannigfaltigen Möglichkeiten von photochromatischen (und thermochromatischen) Materialien, Substanzen, die sich von farblos durch Einwirkung von Licht oder Hitze verfärben und wieder entfärben, wenn der Erreger entfernt wird oder sich ändert. Der Photochromismus bewirkt durch strukturelle Umordnung Veränderungen in den Atomen oder in den Molekülen, wenn bestimmte Wellenlängen auf sie auftreffen, sie nehmen aber später ihre ursprüngliche Gestalt wieder an.

Photochromatische Kunststoffe werden heute in Schutzbrillen eingearbeitet; der Kunststoff wird rascher dunkel, als ein Mensch blinken kann, wodurch zum Beispiel die Augen eines Militärpiloten vor blendenden nuklearen Explosionen geschützt werden. Viele photochromatische Materialien sind instabil und verlieren mit der Zeit ihre Wirkung. Man findet aber auch schon verbesserte Arten solcher Neuheiten auf dem Markt, wie beispielsweise Puppen, die Sonnenbräune annehmen können, oder Sonnengläser, die ihre Farbtiefe automatisch dem Licht anpassen, das heißt, die rasch nachdunkeln, wenn der Träger von einem Innenraum in die Sonne tritt, oder die farblos werden, wenn sich die Sonne gerade hinter einer Wolke versteckt.

Zu einer weiteren Anwendungsmöglichkeit hierfür zählen

auch Windschutzscheiben für Automobile, die nicht nur durch blendende Sonneneinstrahlung, sondern auch durch das Scheinwerferlicht des entgegenkommenden Verkehrs bei Nacht dunkel werden.

Ferner versuchen Glasfirmen, die wärmeabsorbierende und einseitig gefärbte Gläser für Gebäude bereits perfektioniert haben, Materialien zu finden, die billig sind und eine lange Lebensdauer versprechen, um sie für normale Fenster zu verwenden, wodurch sich Vorhänge und Jalousien erübrigen.

c) Taschenbibliothek

Für einige Techniker liegt die hervorragende Rolle der photochromatischen Substanzen vor allem in einer zunehmenden Verwendung für die komplexe Informations-handhabung. Da sie keine solche Korngröße haben wie die konventionellen Chemikalien für die Photographie, ermöglichen verschiedene photochromatische Farbstoffe die Herstellung von Supermikrofilmen, die ein Bild auf ein 40.000-stel seiner Originalgröße verkleinern können. Eingebaut in ein organisches Polymeres auf einem Stück Glas, dunkeln diese „farblosen Farben“ fast augenblicklich, sobald auf sie im ultravioletten Licht ein optisch reduziertes Bild auftrifft. Durch die Anwendung dieser Methode wird eine 1245 Seiten umfassende Bibel seitenweise auf eine Fläche von 2 Quadratzoll verkleinert und photographisch abgebildet, und ein 2580 Seiten umfassender Katalog der US-Marine wird auf einer 3 mal 5 Zoll großen Karte jederzeit reproduzierbar gespeichert. Lesegeräte, die diese unwahrscheinlich verkleinerte Information auf lesbare Größe zurückprojizieren, werden ebenfalls schon als klein gemacht, daß Piloten oder Astronauten beispielsweise eine 50.000 Seiten umfassende Navigationsanleitung oder technische Anweisungen in einer tragbaren Vorrichtung unterbringen können, die nicht größer ist als ein transportables Radio.

Die Auswirkungen für die Berichterstattung, für Bibliotheken und Lehrsysteme sind erstaunlich genug – und doch gibt es Wissenschaftler, die noch enthusiastischer über die Möglichkeiten dieser Datenverarbeitung denken. Durch das optische Lagern von Millionen von Informationsteilen pro Quadratzoll in kleinen photochromatischen Filmen kann man sicher einmal große und teure Computer auf handliche, vielseitig verwendbare Geräte verkleinern – die nicht größer sein werden als elektrische Schreibmaschinen oder Addiermaschinen.

Ob nun der Mensch in Kürze seine eigene Bibliothek oder gar einen Computer im Taschenformat mit sich herumtragen wird oder nicht, so besteht doch wenig Zweifel daran, daß die Polymere laufend eine zunehmende Rolle in allem von Menschenhand Gefertigten gewinnen. Die durch sie erzielbaren Eigenschaften sind mannigfaltig:

- leichtes Gewicht,
- Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit,
- formbar zu fast jeder erdenklichen Gestalt,
- stabil gegen jede Art von Korrosion,
- resistent gegen extreme Temperaturen,

- schmutz- und ölabweisend durch ihre Oberflächenbeschaffenheit (gleichzeitig jedoch eine Selbstschmierung von beweglichen Teilen bewirkend) oder
- klebend, sodaß Strukturteile mit großer Festigkeit und dauerhaften Bindungen zusammengehalten werden.

Das Zunehmen hochfester Bindemittel läßt erwarten, daß irgendwann einmal sogar die Schraube, der Nagel oder die Niete als wunderliches Werkzeug der Vergangenheit angesehen werden wird.

Häuser, Autos, ja sogar Flugzeuge könnten beispielsweise einmal vollständig zusammengeklebt werden, wie das heute schon bei Möbeln geschieht. Während des Zweiten Weltkrieges war der leichteste und rascheste Bomber der Alliierten der britisch-kanadische „Moskito“ aus solch altmodischen Polymeren, wie lackiertem Canvas, Holz und Klebstoff, hergestellt; für die heutigen Düsenflugzeuge verwendet man neuere Polymere, um die Metallflügel, den Schwanz und den Flugzeugrumpf sowie die -haut gegen die Belastungen der Geschwindigkeit, die 2 1/2mal so groß wie die Schallgeschwindigkeit ist, zu verkleben.

Mit Fasern umwickelte sowie faserverstärkte Kunststoffe ersetzen beim Flugzeug- und Raketenbau, wo Kraft-, Gewichts- und Temperaturcharakteristika eine große Rolle spielen, Aluminium, ja sogar Titan.

Aber auch für Bodenbeläge machen Kunststoffe ständig Fortschritte, und immer größere Mengen davon werden beispielsweise beim Kraftfahrzeugbau eingesetzt. Es gibt bereits Konstrukteure, die die Meinung vertreten, den raschen Transport von Menschenmassen in dichtbevölkerten Gebieten nur mit Hilfe von leichten Kunststoffen bewältigen zu können, um dadurch Energie zu sparen. Erst sie würden es ermöglichen, beispielsweise Züge mit Geschwindigkeiten von 200 Meilen oder mehr pro Stunde zu bewegen.

d) Moderne Stadtfestungen

Kunststoffe sind inzwischen auch immer mehr in den bereits ungeheuren Zweckbausektor eingedrungen. Zwei der berühmtesten Gebäude des Raumfahrtzeitalters wurden vor allem aus Plastik erbaut. Die riesige, schachtelförmige Raketen-Montagehalle im Kennedy-Space-Center wird durch eine 418 Zoll hohe durchsichtige Wand aus verstärkten Polyesterplatten, die mit Polyvinylfluoriden beschichtet sind, erhellt, die blendungsfreie Arbeitsbedingungen, Dauerhaftigkeit und Bruchresistenz im Falle eines Hurrikans, aber auch Schutz gegen die Stoßwellen beim Raketenstart gewährt. Das 750 Fuß im Durchmesser umfassende Houston-Astrodome, das erste völlig überdachte Sportstadion in den USA, ist mit einer doppelten isolierenden Sandwichstruktur aus Acrylplatten ausgestattet. Einige Architekten träumen sogar davon, auch noch die tragenden Stahlkonstruktionen, die nun bei solch großen, starren Kuppeln gebraucht werden, wegzulassen. Sie stellen sich zum Beispiel Arenen, Einkaufszentren oder andere Supergebäude vor, die mit riesigen luftgetragenen Kunststoffballons überdacht sind – wie dies heute schon bei einigen Tennisplätzen oder bei Schwimmbecken für den Winter oder bei Gebäuden für Wanderausstellungen der Fall ist. Darauf aufbauend, haben einige zukunftsorientierte Denker sogar schon den Sprung zu der Vorstellung einer in Plastik gehüllten Stadt gewagt, unter

deren klimatisiertem Firmament es weder Regen oder Schnee noch Hitze oder Kälte gäbe, sondern nur Blumen, Springbrunnen und allgemeine Freude.

Für den Designer ist von all den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Kunststoffe im Bauwesen wohl die der Schaumstoffe am faszinierendsten. Selbstverständlich kennen wir schon einige Zeit flexible Schaumgummimatratzen ebenso wie starre Schaumstoffisolierungen innerhalb von Gebäuden (z.B. zur Isolierung von Kühlschränken u.ä.), ja sogar in nuklearen Unterseebooten, aber auch in Flugzeugen, die für besondere Höhen bestimmt sind.

Unabhängig von ihrem Einsatzgebiet sind alle Kunststoffschäume Zellstrukturen, aufgebaut aus vielen Millionen Gasbläschen, die voneinander durch dünne Wände aus Kunststofffilm getrennt sind. Sie können aus verschiedenen Polymeren hergestellt werden und auch nach verschiedenen Methoden, um den mannigfaltigsten Ansprüchen zu genügen. Bei einem der gängigsten Urethanschäume reagieren überschüssige Isocyanatgruppen in Urethanpolymeren mit Wasser oder mit Säure und formen Kohlenstoffdioxidgas, das den Schaum auf das Dreifache des ursprünglichen Volumens des Materials aufbläst, während sich die Moleküle vernetzen und erhärten. Auf diese Weise entsteht ein festes, leichtes Material, dessen eingeschlossene Bläschen es zu einem idealen Isolierungsmittel machen.

Schäume können als Platten, als Klötze, aber auch in anderen, genau definierten Formen fabrikmäßig hergestellt oder an Ort und Stelle in Bauformen gesprüht bzw. geblasen

ING. GOTTFRIED TSCHAMLER

POSTFACH 134

DÖBLINGER GÜRTEL 3

A-1191 WIEN

TELEFON 34 68 65

TELEX 07-5364

- TEXTILTECHNISCHES BÜRO
- SCHWEIZER TEXTILMASCHINEN

werden. Außerdem bilden Schäume eine harte, stabile, blasenfreie Oberfläche, wenn die Form, in die sie gefüllt werden, gleichzeitig gekühlt wird, sodaß wenig oder gar kein Nachbehandeln nötig ist. So wurden beispielsweise vorgefertigte Schaumplatten zu kontinuierlichen Spiralen gelegt, um Kuppeln für kleine Theater (mit einem Durchmesser von 800 Fuß), aber auch für Kongreßhallen u.ä. zu schaffen.

Leichtes Gewicht, vielseitige Anwendbarkeit und einfache Transportierbarkeit machen Schaumstoffstrukturen zu geeigneten Kandidaten für so speziellen Gebrauch, wie Zeltlager, Ferienhäuser, Militärbaracken, Feldspitäler, Vereinszentren und Wartungsstationen ebenso wie für vorübergehende Behausungen verschiedenster Art (z.B. bei Katastrophen u.ä.). Hilfsorganisationen betrachten die Einsatzmöglichkeit von billigem Schaumstoff- und anderem Baumaterial aus Kunststoff als Abhilfe für die große Wohnungsnot in den Entwicklungsländern.

Bei all diesen Einsatzgebieten fasziniert bei diesen Obdachen aus Schaum nicht nur deren einfache Herstellungs- und Transportiermöglichkeit, sondern auch ihre selbstversorgende Unabhängigkeit: Ohne auf teure oder nicht vorhandene Energie-, Wasser-, Kanal- oder Telephonanschlüsse angewiesen zu sein, wird das Kunststoffhaus der Zukunft von Kunststoffverbrennungszellen, chemischen Toiletteanlagen und drahtlosen Radiophonen Gebrauch machen.

e) Verpackung von Früchten

Welch einfache Lösungen die Polymerchemie anbieten wird, um den Weltproblemen von Nahrungs- und Wasserversorgung zu begegnen, ist nicht leicht vorherzusagen. In einigen von Trockenheit bedrohten Gebieten wurden dünne Paraffin- oder Polyäthylenschichten erfolgreich eingesetzt, um damit die Oberfläche von Teichen oder von Wasserreservoirs abzudecken und so die Verdampfung des ohnehin geringen Wasservorrates zu reduzieren.

Bei anderen Versuchen züchteten Wissenschaftler Obstbäume, Pflanzen- und Wurzelfrüchte in durchsichtigen Polyäthylensäcken, sodaß diese gezwungen waren, die begrenzte Menge des kostbaren Wassers in einem geschlossenen System ohne merklichen Verlust zu zirkulieren. Wieder andere Forscher haben die Vorstellung einer streng kontrollierten Nahrungsmittelproduktion in kunststoffgedeckten Gewächshäusern. Andere planen große Algenfarmen oder Tanks mit Mikroorganismen, die die nötigen Proteine in hohen Konzentrationen herstellen, die dann in getrockneter Form als Nahrungsmittelzusätze Verwendung finden können.

Im Bereich der reinen Synthese haben Chemiker im Laboratorium bestimmte einfache eßbare Polymere hergestellt. Aber der Aufwand hierfür kann mit dem des effizienten Proteinherstellungsprozesses, wie er in Pflanzen oder in Tieren vor sich geht, einstweilen noch nicht konkurrieren. Die wesentlichsten Beiträge der Polymerchemie zur Nahrungsmitteltechnologie wurden durch die Verpackung und die chemische Abschirmung der Ware während des Transports erzielt, aber auch durch reine Synthese von Ergänzungstoffen (z.B. Vitamine), um unsere Nahrung nahrhafter zu machen. Die Errichtung neuer Fabriken zur Herstellung von Aminosäuren (z.B. von Lysin) lassen erkennen, daß die feh-

lenden pflanzlichen Proteine von Körnerfrüchten, wie Mais, Reis oder Weizen, so hochwertig wie jene von Steaks gemacht werden können.

Wird es der Chemie jemals gelingen, so komplizierte Substanzen wie beispielsweise ein Steak, zu synthetisieren? Eine Antwort dazu ist nicht leicht zu finden. Zuerst einmal sind die Proteine unter den größten der Riesenmoleküle zu finden – mit Molekulargewichten von Tausenden oder sogar von Millionen. So besteht zum Beispiel das Molekül des menschlichen Blutproteins – Albumin genannt – aus 526 Amino-einheiten 18 verschiedener Arten, mit einem Gesamtmolekulargewicht von 69.000. Die Eigenschaften dieser Moleküle sind aber von ihrer Struktur, das heißt von der Reihenfolge der Aminosäuren, abhängig. Die Anzahl der möglichen Anordnungen, die aus nur 18 verschiedenen Aminosäuren bestehen, ist ungefähr 6 Quadrillionen. Die Anzahl der möglichen Anordnungen von 526 verschiedenen Einheiten ist unvorstellbar größer.

Die Proteinchemie steckt noch immer in den Kinderschuhen, und den Chemikern ist es bisher noch nicht gelungen, lange Ketten mit Aminosäuresequenzen, wie diese im tierischen Protein gefunden werden, herzustellen. Aber sie haben bereits einzelne Aminosäuren zu Ketten polymerisiert, aus denen die Textilhersteller natürliche Proteinfasern, ähnlich der Seide, gesponnen haben.

f) Der künstliche Mensch

Von der Nachahmung natürlicher Fasern bis zur Entwicklung lebender Gewebe ist noch ein weiter Weg. Haut und Fleisch sind hochkomplizierte Materialien, die eine fast unvorstellbare Anzahl von Aufgaben zu erfüllen haben. Einige Chemiker vertreten aber die Meinung, daß diese Art von Synthesen auch in irgendeiner Art und Weise in zwanzig oder weniger Jahren gelöst würden.

Das Ausgangsmaterial für eine künstliche Haut sowie für andere Proteine wird zweifellos die Polyaminosäure sein; dieses Endprodukt könnte die Kunststoffchirurgie revolutionieren, das Heilen von Schnitt- und von Brandwunden beschleunigen und vielleicht sogar das so schmerzhaft Übertragen und Aufbringen von echter Haut ersetzen. Selbstverständlich stellt vor allem die Verträglichkeit der synthetischen Haut ein Problem dar: Sie darf weder toxisch sein noch Reaktionen hervorrufen, die den menschlichen Körper veranlassen, sie abzustoßen.

Große Erfahrung wurde aber auf diesem Gebiet bereits bei der Herstellung von Körperteilen aus Kunststoff gewonnen. Silikonkautschuk und andere chemisch inerte formbare Polymere werden heute schon erfolgreich für alles – vom künstlichen Auge bis zu Herzklappen, ja sogar zu einfachen rudimentären Lungen – verwendet. Die vielseitigen Silikonkautschuke können, zu Hüllen aus Filmen geformt, mit einem Silikongel, das das Körperfett in künstlichen Brüsten vortäuscht, gefüllt werden. Da sie die Textur und die Widerstandsfähigkeit eines weichen Gewebes besitzen, können sie auch beispielsweise Muskeln in einem künstlichen Herzen oder Teile von Ohr oder Nase ersetzen.

Die Polymere spielen aber auch im Metabolismus des Körpers eine zunehmend bedeutende Rolle. Zellophan-

membranen werden außerhalb des Körpers in künstlichen Nieren verwendet, um Abfallprodukte aus dem Blut abzutrennen und sie in einem zu deren Entfernung geeigneten Behälter abzulagern. Verbesserte Membranen versprechen, den fein ausgetüftelten Ultrafiltrationsprozeß natürlicher Nieren vollkommen nachzuahmen. Medizinische Ingenieure hoffen, die künstlichen Nieren einmal so klein gestalten zu können, daß sie in den Körper passen, so, wie man heute bereits kunststoffumrantele elektrische Schrittmacher zu Tausenden Patienten einbaut, um den Rhythmus eines geschädigten Herzens wieder herzustellen oder zu regulieren. Wissenschaftler hoffen, daß es einmal gelingt, ein krankes Herz durch ein langlebendes künstliches Herz, das keinem Blutgerinnsel erliegen kann, ersetzen zu können. Außerdem versuchen sie eine Möglichkeit zu finden, daß man herzkranken Patienten periodisch an eine Blutreinigungsmaschine anschließen kann. Diese benutzt polymere Absorbentien, um spezielle Materialien (z.B. Blutfette oder Kalciumverbindungen) aus dem Blutstrom zu entfernen, bevor sie dort schädliche arteriosklerotische Ablagerungen hervorrufen können. Aber auch die Affinität bestimmter Polymerer für andere Moleküle könnte eines Tages im Blutstrom selbst genutzt werden – entweder als Detergentien, die sich mit schädigenden Stoffen verbinden und diese aus dem Blut in den Urin bringen, oder als selektive Agentien, die fähig wären, spezifische Medikamente an ganz bestimmte Körperteile heranzubringen, ohne sie irgendwoanders abzulagern. Dadurch könnte man gefährliche Nebeneffekte durch Vergiftungen vermeiden.

Vielleicht sind aber die gravierendsten **Möglichkeiten**, die

die Chemie heute bereit hält, jene, die **das Leben selbst kontrollieren**.

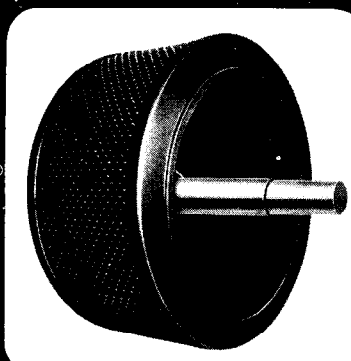
Das interessanteste neue Gebiet der Chemie ist sicher das der Molekularbiologie, deren Name selbst schon einen Beitrag zum ersten und dauernden Konzept des Moleküls bringt, aber auch für seine endgültige Bestimmung. Fortwährend analysieren die Forscher, die auf diesem Gebiet arbeiten, die Strukturen und die Wirkung jener Moleküle, die das Leben ermöglichen – der Proteine, der Enzyme, der Hormone, der Nukleinsäuren sowie der Antikörper – und versuchen, der Natur das Geheimnis ihrer Zusammensetzung und Funktion abzulesen. Wenn es einmal gelingt, so riesige Moleküle wie die Enzyme im Laboratorium zu synthetisieren, dann wird die Medizin viele Mangelkrankheiten behandeln können und endlich auch den Durchbruch zum Verständnis des Verhaltens solch medizinischer Rätsel wie der Krebszelle finden.

Die Aufklärung der Struktur von DNA und RNA, die den genetischen Code, aber auch das Entstehen der Körperzellen beeinflussen, hatte phantastische Auswirkungen zur Folge. Wenn der Mensch aber erst einmal den genetischen Code beherrscht, dann wird er auch Körper- und Gehirngröße, Hautfarbe, Intelligenz und geistige Gesundheit eines Lebewesens bestimmen können. Einige Tierversuche deuten darauf hin, daß sogar die Lernfähigkeit von einem lebenden Körper auf einen anderen durch das Einnehmen von RNA – das sogenannte Gedächtnismolekül – übertragen werden kann, das heißt, sie wird aus dem einen Gehirn entfernt und durch Injektion in den Blutkreislauf des anderen gebracht.

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

Die Anwendung des Rasterelektronenmikroskops in der Faserforschung

Dozent Dr. Erich Treiber
Schwedisches Holzforschungsinstitut, Stockholm

Herrn Professor Dr. H.F. Mark anlässlich seines 80. Geburtstag gewidmet.

Eine Reihe von Einsatzgebieten des Rasterelektronenmikroskops in der Faserforschung wird aufgezählt, und Methoden für die Herstellung der hierfür notwendigen Präparate werden näher beschrieben.

A number of applications of the scanning electron microscope in fiber research is mentioned, and methods of preparing the necessary fiber samples are described in detail.

Einführung

Das Rasterelektronenmikroskop hat bekanntlich rasch in verschiedene Zweige der Naturwissenschaften, Technik, Medizin usw.¹ sowie auch in die Produktionskontrolle Eingang gefunden. Als Hauptursache hierfür sind einfache Präparat-herstellung, große Tiefenschärfe und damit „plastisch wirkende“ Bilder großer Anschaulichkeit mit einer für viele Zwecke voll ausreichenden Auflösung sowie die Möglichkeit einer Röntgenanalyse (Detektierung der vorkommenden Elemente mit einer Ordnungszahl > 11) und anderer Signal-erzeugung (siehe Abb. 1) zu nennen.

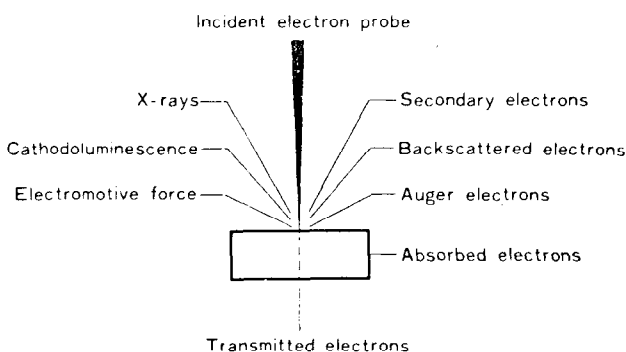


Abb. 1: Verschiedene Möglichkeiten der Bildsignalerzeugung im Rasterelektronenmikroskop (Wechselwirkung des Elektronenstrahls mit der Präparatoberflächenschicht)

Das Rasterelektronenmikroskop (SEM) kann also topographische Details einer Oberfläche bis herab zu etwa 100 Å mit einer Anschaulichkeit wiedergeben, die von keiner anderen Methode z. Zt. übertroffen wird. Außerdem kann das Instrument Verteilungen von Oberflächenpotentialen, die Leitfähigkeit der Oberflächenschichten, die Zusammensetzung der Oberflächen (Elementaranalyse durch Röntgenspektrometrie) usw. anzeigen.

Weitere Vorteile sind das große Vergrößerungsintervall, das

den Bereich des Lichtmikroskops und den Zwischenbereich zwischen dessen Auflösungsvermögen und der Hochauflösung des Transmissionselektronenmikroskops umfaßt, sowie die Möglichkeit, relativ sehr große Präparate im Mikroskop zu studieren.

Die Geräte haben rasch eine Vollkommenheit erreicht, die in der Nähe der theoretisch erwartbaren Grenze liegt. Gleichzeitig erfolgte auch eine Entwicklung zu einfacheren kleinen Tischgeräten, die verhältnismäßig billig sind. Auch auf dem Gebiet der Bildsignalbehandlung und -aufzeichnung sind große Fortschritte zu verzeichnen. Im Gegensatz hierzu hat sich die Präpariertechnik - soweit eine spezielle erforderlich ist - langsamer entwickelt, und auf diesem Sektor gibt es sicher noch viele Aufgaben zu lösen.

Es ist selbstverständlich, daß diese neue Untersuchungsmethode auch rasch in die Faserforschung Eingang gefunden hat, und zwar sowohl im Fadenherstellungsprozess als auch auf dem eigentlichen Textilsektor.

Da der Schwerpunkt vorliegender Ausführungen auf der Herstellung von Präparaten für die Rasterelektronenmikroskopie liegen soll, seien die Anwendungen nur kurz und ohne Anspruch auf Vollständigkeit skizziert.

Einsatzgebiete im Bereich Faserforschung und Textiltechnik

Da das SEM in gewisser Hinsicht mit einem Auflichtmikroskop verglichen werden kann, ist - wie bereits angedeutet - der wichtigste Einsatzsektor der der Oberflächenuntersuchungen - beispielsweise von Fasern. Handelt es sich um relativ dichte (kompakte) und unempfindliche Oberflächenstrukturen größerer Ausdehnung, so können diese im allgemeinen ohne besondere Vorpräparation nach einer Metallbelegung sofort im SEM untersucht werden. Sehr poröse Strukturen (z.B. Vliese aus Textilfasern u.ä.) können jedoch durch ihre ungenügende Leitfähigkeit zu Aufladungserscheinungen führen, die eine Beobachtung erschweren, ja

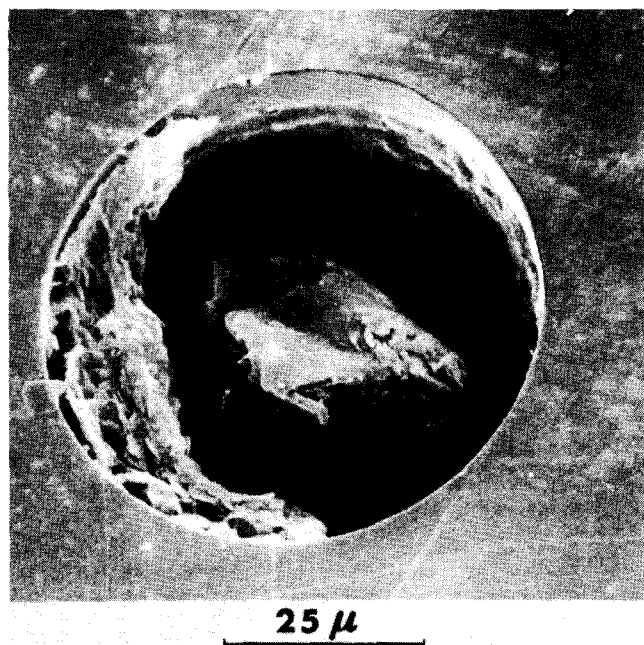


Abb. 2: Inkrustierungen einer Rayonspinndüse (Ablagerungen im Disenkanal)

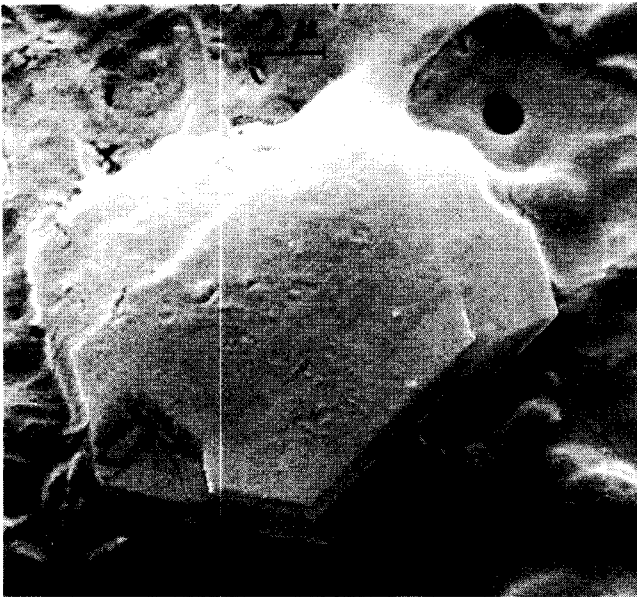


Abb. 3: Mineralteilchen in einer Viskose

sogar unmöglich machen können. In Flüssigkeit gequollene Objekte und/oder solche, die gegenüber Erwärmung oder Vakuum empfindlich sind, müssen auf besondere Art präpariert werden. Eine entsprechende Präparierung benötigen auch alle Objekte, deren innere Struktur (z.B. die Faserquerschnittsstruktur) untersucht werden soll. Übliche Präpariermethoden sind hier Mikrotomschnitt und Gefrierbruch.

Soweit es sich um die Herstellung von Viskoserayon handelt, wurde von uns das Rasterelektronenmikroskop zur Untersuchung der Lösungsheterogenitäten in Viskose bzw. in inkrustierten Spinnndüsen benutzt² (Abb. 2 und 3). Auch feste Verunreinigungen in der Lauge sowie die Schwefel- und Sulfidablagerungen an den Fadenführern sind Gegenstand unserer Untersuchungen gewesen (Abb. 4).

Mit der Kontrolle von Ablagerungen in und um den Düsenkanal von beispielsweise Farbpigmenten u.ä. haben sich mehrere Stellen befaßt, gleichwie mit der Fertigungskontrolle von Spinnndüsen (Abb. 5).

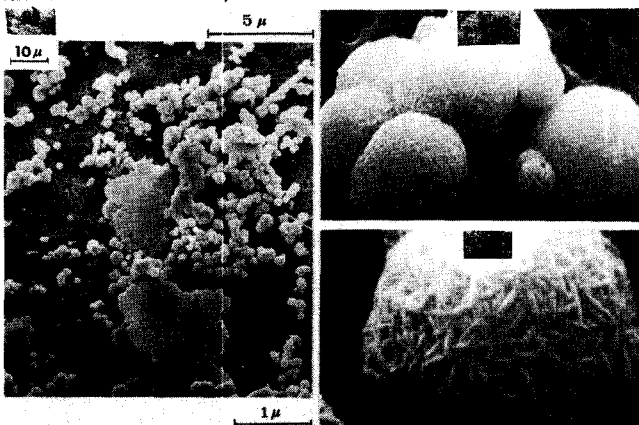


Abb. 4a, b und c: Zinksulfidablagerungen im Kordspinnbad

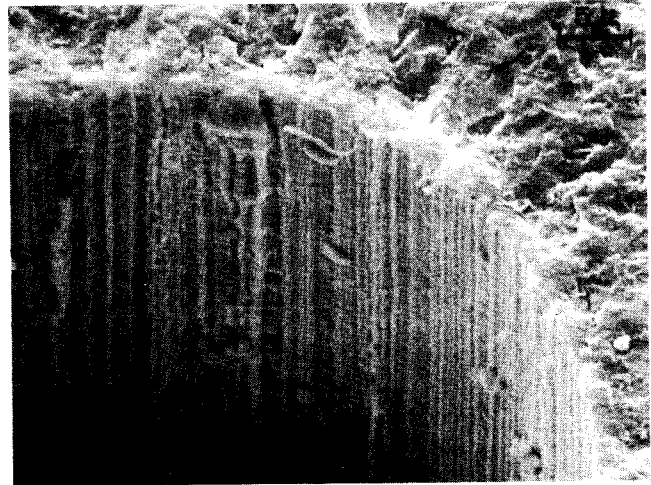


Abb. 5: Düsenlochausschnitt aus einer Glasspinnndüse

Die Untersuchung der Fäden kann sich auf die Oberflächenstruktur, auf die Faserstrukturierung (Texturierung), auf die Ausrüstungen, auf Defekte - als Folge von Störungen während der Herstellung oder der Materialbeanspruchung (z.B. Abrieb, Fadenbruch) - wie auch auf die Querschnittsstruktur beziehen. Weitere Untersuchungen können dann die Garnkonstruktion und den Faserverband (textile Fabrikate und Faservliesstoffe) betreffen.

Auf die fasermorphologische Charakterisierung des einzusetzenden Chemiefaserzellstoffs sowie auf Untersuchungen von Korrosionsangriffen, Oberflächeneigenschaften oxidischer Sinterwerkstoffe³ (Fadenführer), Pigmente u.ä. sei hier nicht weiter eingegangen.

Präparationsmethoden

Zur Bestimmung der Oberflächenstruktur - von Interesse sind hier die Faseroberflächentopographie (z.B. ist die



Abb. 6: Starke Schrumpfungsfalten (F) einer Viskosehohlfaser bei Magnesiumsulfatzusätzen zum Spinnbad

Wolle wiederholt Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen⁴), wie Riefelung (vgl. Abb. 6), Poren⁵ und Oberflächenrauigkeit⁶, ferner Effekte von chemischen, thermischen und elektrischen Oberflächenbehandlungen⁷, wie Flammfestausrüstungen⁸, Anschmutz- und Waschprozessen, Faserschädigungen (Abb. 7) u. dgl. - genügt es vielfach nicht, die Fasern auf einen geeigneten Träger (z.B. auf einen abgerundeten Kupferblechstreifen) aufzuwickeln, das Präparat auf den Aluminiumpräparathalter leitend aufzukleben und dann mit Gold zu bedampfen. Wenn möglich, soll eine eventuelle Avivageauflage zuvor entfernt werden. Von uns wie auch von Newman und Sikorski wurde beobachtet, daß Avivageauflagen die Haftfähigkeit der Metallfilme verschlechtern. Für geringe Vergrößerungsansprüche kann das Fasermaterial dann mit einer Lösung eines Antistatikums in Isopropanol vorbehandelt und der Überschuß davon mit Äther abgeschwemmt werden - für höhere Anforderungen wird das Material bei Zimmertemperatur dem Dampf von Osmiumtetroxid ausgesetzt. Bei Hochvakuummetallbedampfung empfiehlt sich vor der Metallaufdampfung eine Vorbelegung mit Kohle.



Abb. 7: Klemmspuren an einer Rayon-Einzelfaser nach dem Einspannen im Festigkeitsprüfgerät

Wesentlich einfacher und wirkungsvoller ist eine Metallbelegung (mit Gold oder mit Gold-Palladium) nach dem *Sputtering*-Verfahren, für das nun von Polaron ein billiges Gerät auf dem Markt ist. Es hat sich nach unseren Erfahrungen gezeigt, daß man stets mit kleinen Entladestromstärken (≤ 30 mA), guter Kühlung und sehr reiner Argonatmosphäre arbeiten soll.

Von Sikorski und Wegener⁹ wurde auch gezeigt, daß mit dem antistatischen Duron-Spray direkt eine genügende Leitfähigkeit erzielt werden kann, sodaß Fasern, Gewebe usw. auch ohne Metallbelegung im SEM untersucht werden können. Von Wegener⁹ werden Vor- und Nachteile

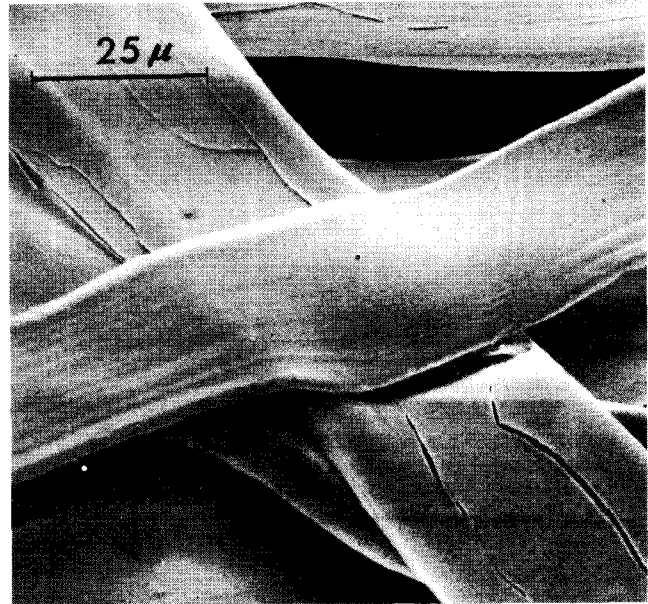


Abb. 8: Risse in der Goldaufdampfschicht durch zu hohe Elektronenstrahlenbelastung im SEM

beider Methoden diskutiert. Wenn auch die Metallbedampfung ein besseres Auflösungsvermögen ergibt, so ist das Verfahren dennoch nicht ohne Nachteile. Durch das Hochvakuum im Mikroskop und die thermischen Beanspruchungen treten oft gewisse Formveränderungen im Objekt auf, sodaß der Metallfilm gestaucht wird oder Risse bekommt (Abb. 8). Dies kann sowohl zu elektrostatischen Aufladungen als auch zu Fehlinterpretationen der Artefakte führen.

Wie bereits erwähnt, haben auch die Wahl des Belegungsverfahrens sowie die des leitenden Materials und dessen Schichtdicke Bedeutung für die Präparat- und Abbildungsqualität¹⁰. Kohle und Gold wurden schon genannt; weitere Metalle sind Palladium, Gold-Palladium, Aluminium und sehr dünne Silberfilme¹¹. Hinsichtlich Auflösungsvermögen ist die aus der Transmissionselektronenmikroskopie bekannte Platin-Kohlenstoffbedampfung den anderen Verfahren überlegen.

Einen gewissen Einfluß auf Aufladungserscheinungen und

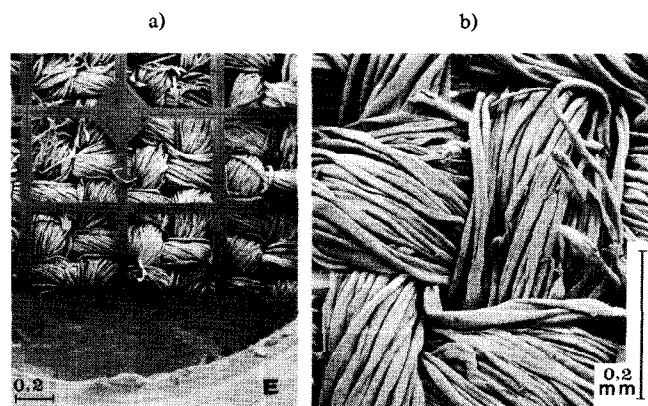


Abb. 9: a) Baumwoll-Düsenbatist unter einem Kupfernetz im Erdungsring E
b) Ausschnitt aus dem Gewebe in Leinwandbindung, aufgenommen durch ein Fenster im Kupfernetz (TEM-Präparatträgernetz)

Wärmeabfuhr können auch Erdungsringe¹² oder -netze haben, die auf der beschichteten Oberfläche angebracht und mit dem Präparathalter leitend verbunden werden; hierzu können zum Beispiel grobmaschige Präparatnetze dienen, insbesondere dann, wenn sie vom Erdungsring ordentlich fixiert werden (Abb. 9).

Bei der Untersuchung von Garnen und Geweben stehen wiederum Fragestellungen bezüglich der Oberflächenveränderung durch Schlichte, Ausrüstungsverfahren (z.B. Behandlung mit Polymeradditiven zur Knitterfestausrüstung¹³), Wäsche, Scheuereffekte¹⁴, Thermofixierung¹⁵, Texturierung¹⁶ usw. im Vordergrund.

Gewisse Strukturunterschiede und Eigentümlichkeiten der Fasermantelzone können durch chemische Behandlung (Ätzen) oder durch Sauerstoffionenzätzung¹⁷ verstärkt bzw. überhaupt erst sichtbar gemacht werden.

1. Die Abbildung „primärer“ Faserstrukturen

Handelt es sich um die Abbildung flüssigkeitsgequollener Faserstrukturen, so müssen die Fasern in den „luftgequollenen“ Zustand ohne Änderung des Quellungsgrades übergeführt werden, wenn man den Quellungsgrad erhalten und die Trocknungsschrumpfung bzw. Schrumpfungsfalten vermeiden will. Drei Methoden sind hierfür geeignet, nämlich

- der Lösungsmittelaustausch,
- die Gefriertrocknung - wobei Eis keineswegs das einzige absublimierbare Medium ist - und
- die *Critical-point*-Trocknung.

Beim Lösungsmittelaustausch geht man - eventuell über ein Zwischenmedium - zu einem nichtpolaren, leichtflüchtigen organischen Lösungsmittel (z.B. Isopentan) über.

Ist Wasser zu verdrängen, so geht man über eine Alkoholreihe - eventuell mit steigenden Anteilen an tertiärem Butanol - zu Propylenoxid und schließlich zu einem niedrig siedenden Kohlenwasserstoff über.

Die Gefriertrocknung erfolgt meist aus dem wäßrigen Zustand, kann jedoch mit Vorteil aus Wasser/Dioxan¹⁸ (1:1) oder Amylacetat erfolgen. Wichtig ist ein Schocktiegefrieren, sodaß kein Kristallwachstum erfolgt, und ein Absublimieren bei tiefer Temperatur ($< -70^{\circ}\text{C}$ bei Wasser, $< -75^{\circ}\text{C}$ bei Amylacetat) aus dem vitrifizierten Zustand, was sehr gutes Vakuum und - bei Eis - lange Trocknungszeiten bedingt. Um Artefakte durch Eiskristallisation und Kristallwachstum zu vermeiden, sind viele Zusätze (Cryoprotectants) wie Chloroform¹⁹, Glycerin, Dimethylsulfoxid u. dgl. empfohlen worden, wobei die hochsiedenden für die SEM-Präparation nicht in Frage kommen.

Bei der *Critical-point*-Trocknung geht man über geeignete Zwischenmedien (z.B. Alkohol-Amylacetat) zu flüssigem Kohlendioxid über, das bei $31,1^{\circ}\text{C}$ und $72,9\text{ atm}$ ($= 7,39\text{ MPa}$) den kritischen Punkt erreicht, wobei die Phasengrenze zwischen Flüssigkeit und Gas verschwindet. Dadurch vermeidet man „*interfacial tensions*“. Anstelle von CO_2 können auch Fluorkohlenstoffverbindungen (Freone) benutzt werden.

Eine sehr ausführliche Darstellung über die *Critical-point*-Trocknung wurde kürzlich von Cohen²⁰ gegeben. Die-

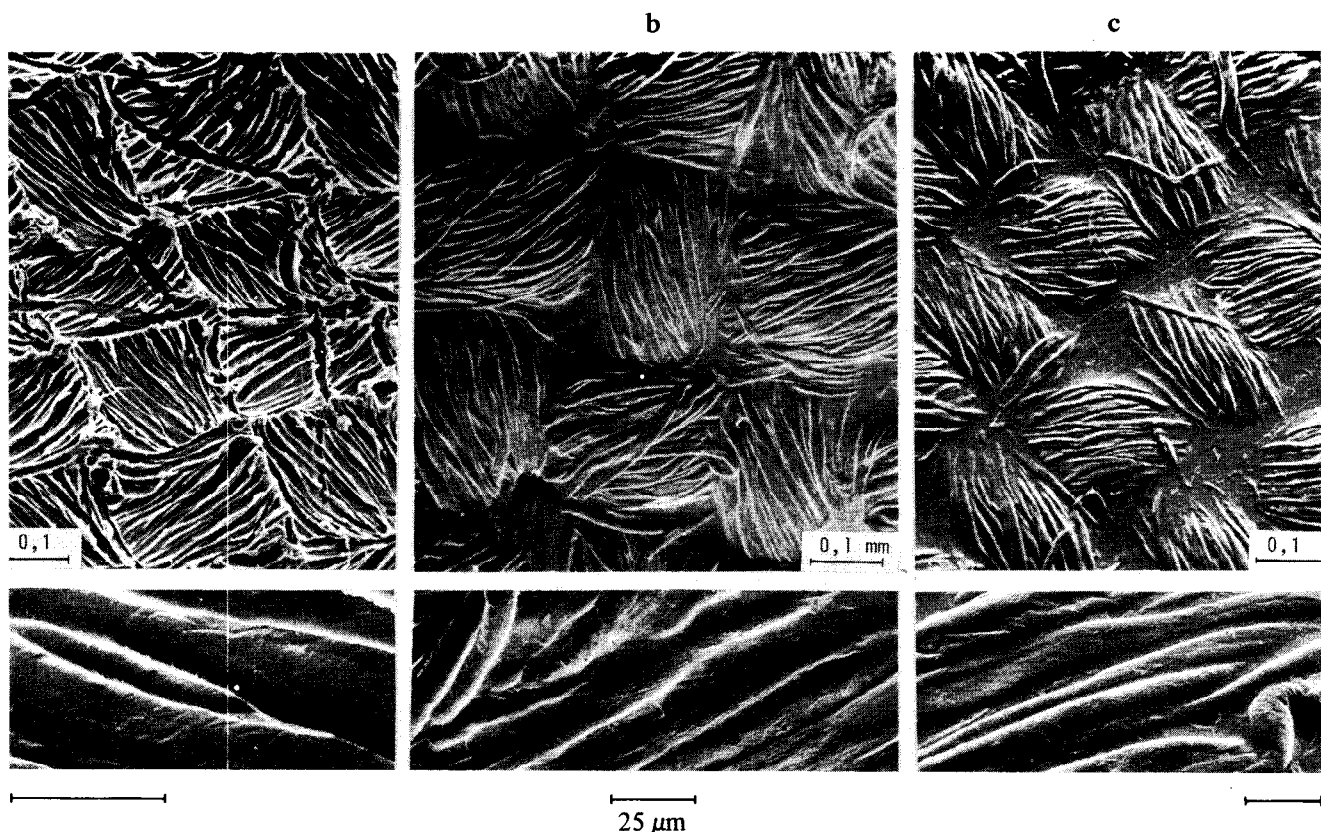


Abb. 10: Verschiedene Abdruckverfahren und deren Auflösungsvermögen, demonstriert am Düsenbatist der Abbildung 9:

- a) Biodennegativabdruck mit dicker Biodenfolie b) Bleimatrize (in Weichbleifolie eingepreßter Gewebeabdruck)
c) Biodenpatrize, abgenommen von der Bleimatrize; in der unteren Reihe Ausschnittsvergrößerung der entsprechenden Abdrucke

ses Trocknungsverfahren ist das schonendste Verfahren, das wir derzeit kennen, doch alle drei Verfahren haben den Nachteil, daß die verschiedenen organischen Lösungsmittel Komponenten aus den Fasern oder von den Faseroberflächen herauslösen können. Auch Änderungen des Quellungsgrades bei Wechsel des Imbibitionsmittels sind nicht völlig ausgeschlossen. Bei biologischen Präparaten pflegt man daher vor Beginn der Dehydrierung eine Fixierung vorzunehmen. Textilfasern dürften hierdurch aber kaum eine eigentliche Fixierung erfahren, doch geben 0,5- bis 1%ige Osmiumtetroxidfixative eine bessere Leitfähigkeit, was insofern von Bedeutung ist, als schonend dehydrierte Präparate meist stark zur Aufladung neigen.

Nasse Präparate können nach entsprechender Vorbehandlung (Fixierung) im tiefgefrorenen Zustand (bei etwa -100°C) mit geeigneten technischen Zusatzeinrichtungen (z.B. mit einem Kühltisch) gegebenenfalls direkt nach Absublimieren des Oberflächenwassers im Hochvakuum des Mikroskops betrachtet werden²¹.

Natürlich können auch Oberflächenabdrucke nach Metallbelegung im SEM abgebildet werden²², wenn keine zu hohe Auflösung gefordert wird (bis zu einer 1000fachen Vergrößerung). Abbildung 10 zeigt verschiedene Abdruckverfahren und illustriert auch die erzielbare Detailauflösung. Den Umweg über Abdrucke wird man im allgemeinen jedoch nur dann beschreiten, wenn große Objekte, die nicht zerkleinert werden dürfen, vorliegen. Bei sich stark aufladenden und thermisch sehr empfindlichen Fasern kann sich eine dem Pseudoabdruckverfahren ähnliche Technik lohnen (Abb. 11). Die in das Abdruckmaterial eingepreßten Fasern verbleiben im Film und werden auf der freien Seite mit Metall belegt und beobachtet. Durch die Verankerung werden Wärme und Ladungen leicht abgeführt. Ein gewisses Interesse für besondere Problemstellungen können verstärkte Kohlefeuchtabdrucke von sorbitimbibierten Fasern nach dem Verfahren von J a y m e und F e n g e l²³ besitzen.

In einigen Fällen ist auch eine Reinigung der Oberfläche vor der Belegung mit Metall notwendig. Auf die Vorteile einer Entfernung der Avivage (Diäthylätherextraktion im Soxhlet-Apparat) wurde bereits hingewiesen. Reinigungsmittel müssen völlig rückstandsfrei sein und dürfen die Oberfläche natürlich nicht durch Quellung o.ä. verändern. Schmutz- und Staubpartikel können eventuell auch mecha-

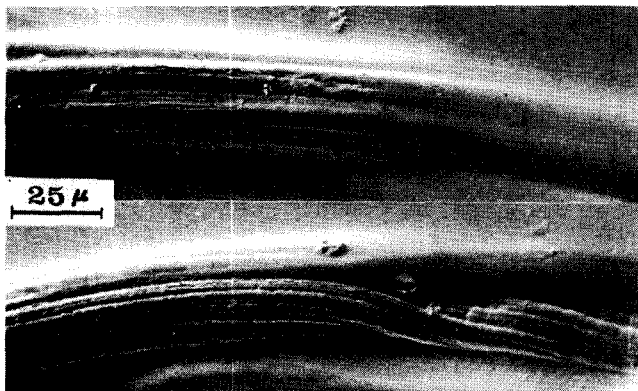


Abb. 11: Teilweise in äthylacetatbefeuchtetes Bionen eingepreßte Rayonfasern

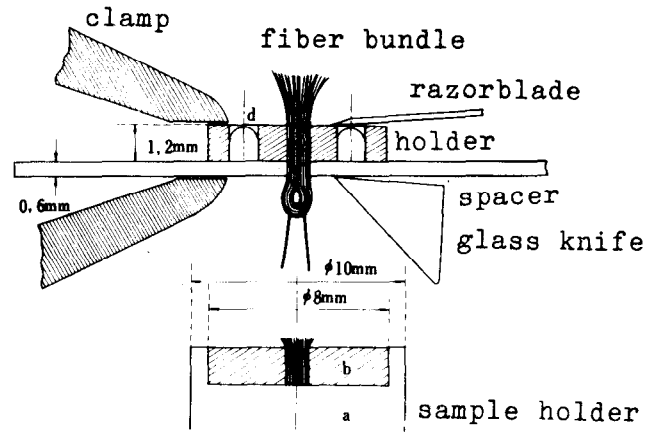


Abb. 12a: Skizze der Schnellschnittanordnung zur Präparierung von Faserquerschnitten im SEM

nisch mit einem feinen Haarpinsel entfernt oder mit einem kräftigen Gasstrahl (Freon) fortgeblasen werden. Auch eine Reinigung mit Hilfe von Ultraschall kann in bestimmten Fällen von Nutzen sein.

2. Die Abbildung der „inneren“ Struktur

Um Querschnittsbilder zu erhalten, müssen die Fäden entweder geschnitten oder gebrochen werden. Das einfachste Verfahren dürfte wohl unsere Schnellschnittmethode²⁴ (vgl. Abb. 12a) sein, doch zeigt sich auch hier schon der Nachteil einer fehlenden Einbettung. Man erhält bessere Resultate, wenn man vor dem Schneiden das eingezogene Faserbündel mit einem Tropfen Paraffin oder Paraplast tränkt, nach dem Härten schneidet und anschließend das

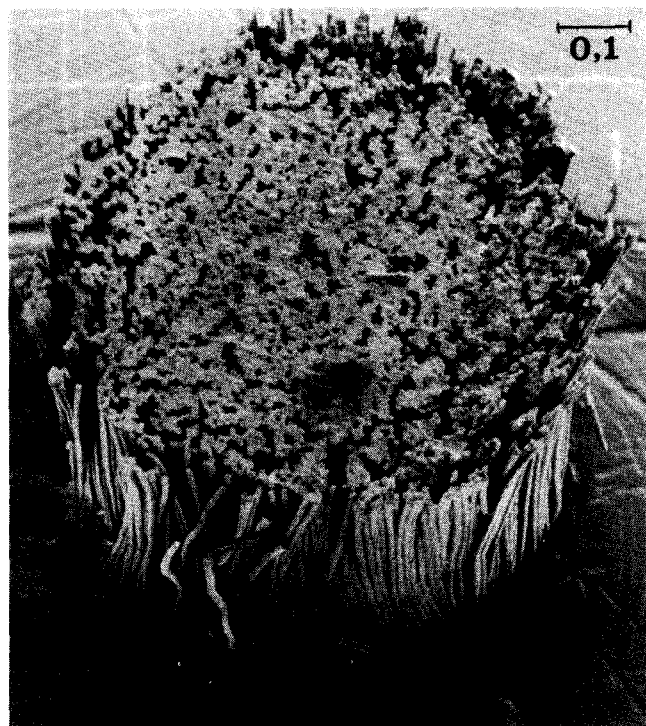


Abb 12b: Faserbündel im Haltescheibchen nach dem Schneiden sowie nach OsO_4 -Behandlung und Goldbelegung nach dem Metall-Sputtering-Verfahren

Einbettmittel mit Hilfe von Toluol und Heptan weglöst. Will man diese Prozedur vermeiden, so kann auch die Einbettung in Benzol und der Schnitt als „Gefrierschnitt“ erfolgen. Nach dem Auftauen wird das Benzol verdampft. Das pinselförmige Präparat (Abb. 12b) neigt jedoch leicht zu Aufladungserscheinungen und wird daher vor dem Belegen mit Metall durch Sputtering mit Osmiumtetroxiddampf (mindestens 24 Stunden bei Zimmertemperatur) behandelt. Auf diese Weise werden gute Resultate erzielt (Abb. 13a und b).

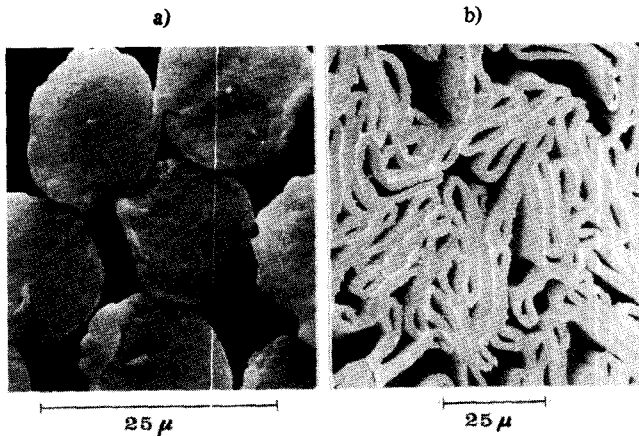


Abb. 13: Querschnitt einer Hochmodulfaser (a) und einer Viskosehohlachfaser (b), präpariert nach unserem Schnellschnittverfahren²⁴

Andere als Gefriereinbettungen ergeben, wenn man das Einbettmittel nicht vollständig entfernt, zumeist keine guten Resultate, da der Kontrastunterschied zwischen Faser und Matrix im allgemeinen zu gering ist. Eine Ausnahme macht die Einbettung in Woods Metall, doch muß diese wegen der Unbenetzbarkeit der Fasern im Vakuum durchgeführt werden. Das Schneiden erfolgt dann z.B. mit einem Glasmesser.

Anderson²⁵ schneidet die Fasern in einer Klemmeinbettung ca. 40 μm lang und klebt sie mit einem doppelseitig klebenden Klebeband auf den Präparathalter.

Je nach der Schneidbarkeit der Fasern können Oberflächenverschmierungen auftreten, die beispielsweise die Hohlräume mehr oder weniger verwischen. Auch andere Schnittartefakte (Scherdeformationen, Messermarkierungen) können auftreten und die Bildinterpretation erschweren. Daher besteht für Gefrierbruchpräparate entsprechendes Interesse.

Zur Herstellung solcher Sprödbbruchpräparate wird ein Fasersträhnchen oder ein Faden in eine Manschette (Mikrokapillarröhrchen aus Metall) eingezogen und in einer geeigneten Flüssigkeit (z.B. Polyäthylenglykol, Vorpolymerisate verschiedener Kunstharze u. dgl.) in einem Röhrchen (z.B. Gelatinekapsel) eingefroren, worauf der Zylinder bei einer Temperatur von -30 bis etwa -100°C mit einem Meißel abgesprengt wird (Abb. 14 und 15).

Die Bruchfläche soll hierbei glasartig blank sein²⁶. Das Verfahren wird von Tanaka²⁷ für biologische Präparate näher beschrieben. Das Einbettmittel kann anschließend mit Propylenoxid entfernt werden.

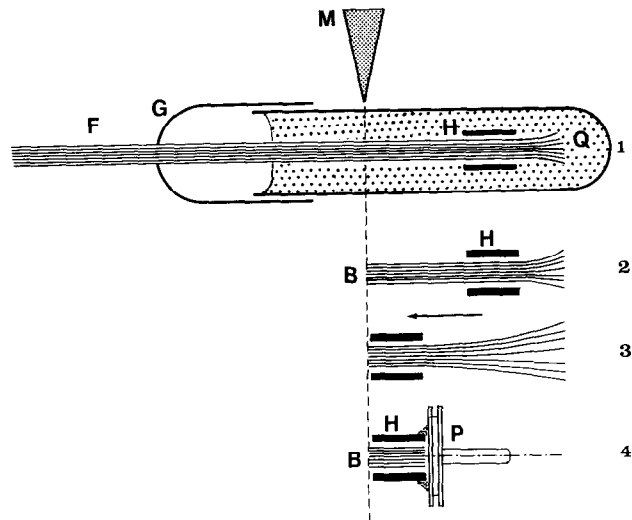


Abb. 14: Präparationsschritte beim Gefrierbruch:

1. Faserbündel, eingefroren in flüssiges Plast in einer Gelatinekapsel
2. Nach dem Bruch wird aufgetaut und das Plastmaterial mit Propylenoxid gewaschen.
3. Die Metallmanschette H wird bis zur Bruchzone vorgeschoben.
4. Nach dem Abschneiden der Enden wird die Manschette mit den Fasern auf dem Präparathalter P montiert.

B = Bruchzone H = Metallmanschette
 F = Faserbündel M = Meißel
 G = Gelatinekapsel P = Präparathalter
 Q = flüssiges Plast, tiefgefroren

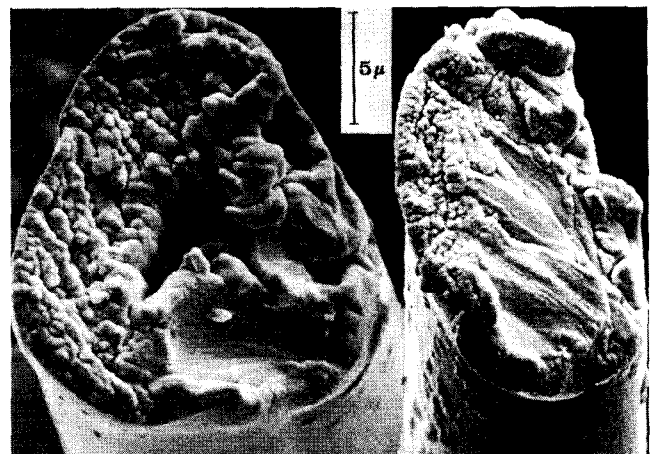


Abb. 15: Gefrierbruch von Modalfasern

3. Die Abbildung dynamischer Vorgänge

Dynamische Vorgänge, wie Reißen der Fäden, Deformation von Geweben u. dgl., können mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung und einer Videobandeinspielung beobachtet und analysiert werden.

Eine Vorrichtung sowie eine Arbeitsmethode für die Beobachtung von Streckvorgängen an Geweben und Vliesstoffen wurde von Cross und Hearle²⁸ beschrieben. Die Leitfähigkeit wird vorzugsweise durch Behandlung mit

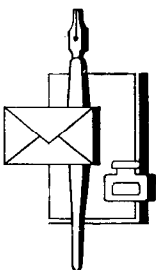
einem Antistatikum erzielt, da normale Kohle- oder Metallfilme beim Dehnen reißen würden.

In diesem Bericht wurden Präparationsmethoden für Textilmaterialien beschrieben, die im SEM untersucht werden sollen. Die Methoden sind natürlich sowohl dem Untersuchungsobjekt als auch der Fragestellung jeweils anzupassen. Die Übersicht zeigt, daß uns heute bereits viele Präpariermethoden zur Verfügung stehen, die uns helfen, die erforderlichen und gewünschten Untersuchungen im SEM durchzuführen.

Literatur:

- 1) Vgl. T.L. Hayes; J. Microscopy **100**, 133 (1974)
J.H. McAlear; Analyt. Chem. **44**, 97 R (1972)
S. Kimoto; JEOL News **10E**, 2 (1972)
- 2) E. Treiber; Svensk Papperstidn. **74**, 805 (1971); Tappi **57**(8), 67 (1974)
E. Treiber u. Ch. Klasson; Das Papier **28**, 540 (1974)
- 3) Vgl. H.H. Sturhahn u. G. Thamerus; Chemiefasern **24**, 1040 (1974)
- 4) L.J. Wolfram; Text. Res. J. **42**, 252 (1972)
- 5) Z.B. in graphitierten Fasern: I. Tomizuku, T. Kurita, Y. Tanaka u. O. Watanabe; J. Ceramic Soc. Japan **79**, 460 (1971)
- 6) Z.B. Unterschied zwischen der Acrylfaser Orlon und Nomelle: E.M. Hicks et. al.: "The Production of Synthetic-Polymer Fibres" in P.W. Harrison: "Textile Progress", Bd. 3, Nr. 1, S. 72/73; The Textile Institute, Manchester 1971
- 7) Vgl. J.N. Roitman, A.G. Pittman u. W.H. Ward; Text. Res. J. **44**, 500 (1974)
K. Dimov, P. Pavlov u. G.G. East; Cell. Chem. & Technology **7**, 451 (1973)
R.S. Asquith, M.S. Otterburn u. J.A. Swift; J. Text. Inst. **63**, 544 (1972)
Metrop. Sect. Research Comm.; Text. Chem. Colorist **5**(11), 239 (1973)
- 8) P.G. Gordon u. G.A. Roberts; Text. Res. J. **44**, 414 (1974)
W.R. Goynes, E.K. Boylston, L.L. Muller u. B.J. Trask; ibid. **44**, 197 (1974)
M.K. Tomioka u. S.H. Zeronian; ibid. **44**, 1 (1974)
- 9) J. Sikorski u. W. Sprengmann; Melliand Textilber. **49**, 471 (1968)
- W. Wegener u. R. Merkle; Chemiefasern **18**, 296, 372, 451, 514 (1968)
- 10) P. Echlin u. P.J.W. Hyde: "The application of thin films to non-conducting materials for examination in the scanning electron microscope"; Cambridge Sci. Instr. 1972
- 11) S. Tolansky; Vacuum **4**, 456 (1954)
J.C. Russ u. A. Kabaya; JEOL News **9**, 27 (1971)
- 12) E. Treiber: "Application of scanning electron microscopy in wood-research - preparation and posttreatment of specimens"; B-Mitteilung Nr. 211, Schwedisches Holzforschungsinstitut, Stockholm 1973
- 13) R.J. Harper, J.T. Lofton, H.W. Little u. E.J. Blanchard; Text. Res. J. **42**, 569 (1972)
- 14) B.H. Kirkwood; Text. Res. J. **44**, 545 (1974)
- 15) K. Dimov u. M. Duschewa; Chemiefasern **23**, 975 (1973)
- 16) M.J. Denton; Chemiefasern **24**, 102 (1974)
- 17) H. Goddar in G. Schimmel u. W. Vogell; Methodensammlung der Elektronenmikroskopie, Wiss. Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1971
A.E. Calych, I.I. Petrova, B.N. Dinzbarg, V.M. Lukjanovič u. N.V. Smirnova; Sowj. Beitr. Faserforsch. Textiltech. **11**, 227 (1974)
E. Treiber; Holzforschung - Holzverwertung **25**, 97 (1973)
H. Orth; Z. wiss. Mikroskopie **70**, 179 (1970/71)
F.R. Anderson; J. Appl. Physics **31**, 1516 (1960); **34**, 2371 (1963)
- 18) C.H. Haggis: "Cryofracture of biological materials" in: Scanning Electron Microscopy, IIT-Chicago 1970
- 19) A. Boyde u. C. Wood; J. Microscopy **90**, 221 (1969)
- 20) A.L. Cohen: "Critical Point Drying" in M.A. Hayat: "Principles and Techniques of Scanning Electron Microscopy (Biological Applications)", Bd. 1; van Nostrand Reinhold Co., New York 1974
- 21) T. Nei: "Cryotechniques" in M.A. Hayat: "Principles and Techniques of Scanning Electron Microscopy"; van Nostrand Reinhold Co., New York 1974
- 22) P. Kassenbeck; Microscopia Acta **72**, 201 (1972)
- 23) G. Jayme u. D. Fengel; Holz Roh-Werkstoff **17**, 226 (1959)
- 24) E. Treiber; Chemiefasern **20**, 498 (1970); JEOL News **8B**(2), 6 (1970)
- 25) C.A. Anderson u. M. Lipson; Text. Res. J. **40**, 88 (1970)
- 26) K. Tanaka: "Frozen Resin Cracking Method and its Role in Cytology" in M.H. Hayat: "Principles and Techniques of Scanning Electron Microscopy", Bd. 1; van Nostrand Reinhold Co., New York 1974
- 27) K. Tanaka; Naturwissensch. **59**, 77 (1972)
- 28) P.M. Cross, J.W.S. Hearle, J.D. Cross u. A. Sands; Text. Res. J. **41**, 629 (1971)

moderne bürotechnik



robert streit

WIEN · AMSTETTEN · LINZ

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

Aufbau und Eigenschaften von Chemiefasern*

Professor Dr. habil. Jan J u i l f s
Technische Universität Hannover

Herrn Professor Dr. H.F. M a r k anlässlich seines 80. Geburtstag gewidmet.

Der Aufbau der Fasersubstanzen aus kettenförmigen Makromolekülen wird durch das Deformationsverhalten unter den Bedingungen für die Temperaturbewegungen und die chemischen sowie zwischenmolekularen Bindungen verdeutlicht. Chemische wie physikalische Fasereigenschaften sind zugleich und untereinander von der Struktur der Fasersubstanz abhängig. Die Variationsmöglichkeiten innerhalb der Struktur der Chemiefasern ergeben für sie eine reichhaltige Palette an Eigenschaften.

The structure of fibre substances of macromolecular chains is made evident by the deformation behaviour under the conditions for temperature movements, and chemical as well as intermolecular bonds. Both chemical and physical properties of fibres at the same time depend on the structure of the fibre substance. Variations within the structure of chemical fibres result in a manifold range of properties.

Makromoleküle – Polymere

Die Fasersubstanzen bestehen aus langkettigen Makromolekülen. Unter sich gleiche Grundmoleküle, durch die die Fasersubstanz chemisch bestimmt ist, sind durch chemische Bindungskräfte zu langen Molekülketten verbunden. Die Zusammenfügung der Grundmoleküle zu Makromolekülen geschieht in Polymerisations-, in Polykondensations- oder in Polyadditionsprozessen. Je nach der Art ihrer reaktions- und funktionsfähigen Atomgruppen können sich die Grundmoleküle zu linearen Makromolekülen (Kettenmolekülen), zu verzweigten Makromolekülen oder zu vernetzten Makromolekülen zusammenschließen.

Die wichtigsten Substanzen für die Herstellung von Chemiefasern sind Zellulose und ihre Derivate (für regenerierte Fasern), Polyamid, Polyacrylnitril, Polyester, Polypropylen und in geringerem Umfang auch noch andere Polymere.

Allen Fasersubstanzgattungen ist trotz großer chemischer Unterschiede ihr physikalischer Aufbau aus formbeweglichen Molekülketten gemeinsam. Die Verschiedenheit der chemischen Substanzen verursacht – wie wir sehen werden – nur die substanzbedingte graduelle Verschiedenheit derjenigen beiden Faktoren, die den Zusammenhalt und die

Formart der Substanz bestimmen: *die Bindungskräfte und ihre Anordnung sowie die Temperaturbeweglichkeit.*

Alle Makromoleküle der faserbildenden Substanzen bestehen im wesentlichen aus einer Kette von C-Atomen. In manchen Substanzen sind einige C-Atome durch andere, beispielsweise durch N- oder durch O-Atome ersetzt. Die Bindungswinkel dieser Atome weisen nicht in entgegengesetzte Richtungen, sondern bilden miteinander einen Winkel von rund 110° . Eine Drehung um eine Bindungsachse verändert daher die Form (bzw. die Konformation) der Molekülkette wesentlich (Abb. 1a und 1b).

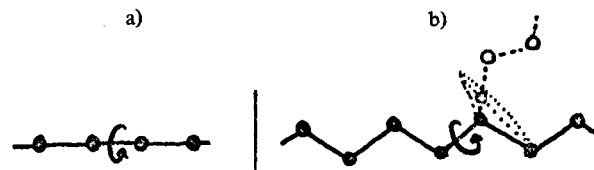


Abb. 1: Bewegliche Molekülketten; eine Drehung um eine Valenzrichtung läßt die Form der Molekülkette bei parallelen Valenzrichtungen bestehen (a), verändert sie aber bei Valenzwinkeln $\neq 180^\circ$ wesentlich (b).

Da solche Drehungen im ganzen Molekül möglich sind, vermag das freie Kettenmolekül außer in der gestreckten Zickzackform in vielfältig verknäuelter Form aufzutreten (Abb. 2).

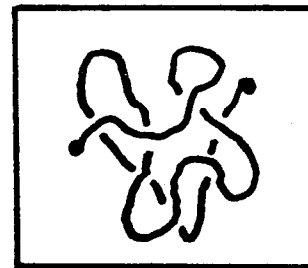


Abb. 2: Kettenmolekül in Knäuelform

Die Fasersubstanzen bestehen nun aber nicht aus frei gegeneinander beweglichen Molekülen, sondern sind formfest. Die Eigenschaften der Fasern werden daher durch die Mannigfaltigkeit der Formen und damit auch durch die verschiedenartigen Möglichkeiten der Zusammenlagerung der Makromolekülketten in bestimmten Abschnitten der Faser bestimmt.

Während die Molekülketten in ihrem Innern durch starke chemische Bindungskräfte zusammengehalten werden, können zwischen den Molekülketten nur die bedeutend schwächeren zwischenmolekularen Bindungskräfte wirken. Der Zusammenhalt der verschiedenen Ketten miteinander wird aber sehr viel fester, wenn die Molekülketten über längere Abschnitte parallel zueinander zu liegen kommen. Dann summieren sich die zwischen den Atomen bzw. den Atom-

* Nach einem Vortrag im Rahmen eines Chemiefaser-Seminars für Lehrkräfte an Berufsschulen, veranstaltet von der Industrie-Vereinigung-Chemiefaser, Frankfurt (M.) – Teil I. Teil II (Entwicklungen und Modifizierungen) folgt.

gruppen bestehenden zwischenmolekularen Bindungen – gleichsam wie die Perforationsstege bei zusammenhängenden Briefmarken – in ihrer Wirkung (Abb. 3).

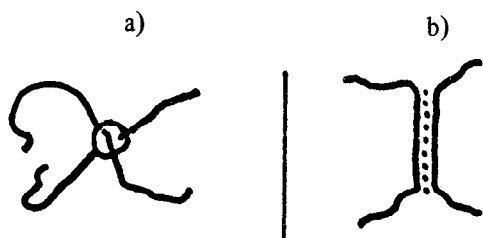


Abb. 3: Der Zusammenhalt zweier Molekülketten ist bei nur einer Bindungsstelle *schwach* (a) und bei Aufsummierung mehrerer Bindungen *stark* (b).

Die Molekülketten in Schmelze oder in Lösung

In der Schmelze oder in der Lösung einer makromolekularen Substanz – also auch in der Fasersubstanz vor dem Spinnprozeß – befinden sich die Kettenmoleküle in vielfältiger Wirrlage und sind bei heftiger Temperaturbewegung miteinander verknäuelte (Abb. 4).

Wegen der zwischenmolekularen Kräfte kommt es immer wieder vor, daß die Molekülketten in der Schmelze oder in der Lösung für kurze Zeit abschnittsweise parallel zueinander – gleichsam in Nahordnung – zu liegen kommen. Solche kleinen Nahordnungsbereiche treten, sich bildend und sich schnell wieder auflösend, fluktuierend bald hier, bald dort auf.

Beim Erstarren der Schmelze oder beim Ausfällen aus der Lösung können zueinander parallelliegende Molekülabschnitte zu fester gefügten regelmäßigen Anordnungen, den kristallinen Bereichen oder Kristalliten führen. Sie unterscheiden sich von den Kristalliten aus kleinen Molekülen dadurch, daß die Bindungen in Molekülrichtung chemischer Natur sind, daß aber die Quersammenhaltskräfte durch die zwischenmolekularen Bindungen bewirkt werden.

Diejenigen Bereiche, in denen die Moleküle oder Molekülabschnitte verknäuelte vorliegen, sind die nichtkristallinen (manchmal nicht ganz sinngerecht „amorph“ genannten) Bereiche.

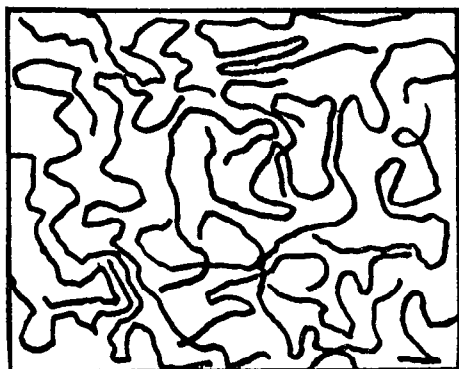


Abb. 4: Wirrlage von Kettenmolekülen in Schmelzen oder Lösungen (Modellversuch)

Infolge der großen mittleren Länge der Kettenmoleküle können diese durch mehrere kristalline und nichtkristalline Bereiche verlaufen und verhängen diese miteinander, wodurch der Zusammenhalt des Substanzgefüges bewirkt wird (Abb. 5).



Abb. 5: Ebene Schemadarstellung der Verhängung kristalliner und nichtkristalliner Bereiche

Oberhalb der Temperaturen, bei denen sich die nichtkristallinen Bereiche im Glaszustand befinden, das heißt, wo die Atome nur Schwingungsbewegungen um ihre Mittel-lage innerhalb des Moleküls ausführen, befinden sich die Molekülabschnitte in Temperaturbewegungen gegeneinander. In den Kristalliten ist eine solche Bewegung erst oberhalb deren „Schmelztemperatur“ möglich.

Liegt die Temperatur einer Substanz oberhalb der Grenze des Glaszustandes der nichtkristallinen Bereiche und unterhalb der Grenze des Schmelzens der Kristallite – in diesem Temperaturbereich befindet sich auch der Anwendungsbereich der Fasern –, so wird eine auf die Substanz wirkende Kraft praktisch nur die nichtkristallinen Bereiche verformen können.

Das visko-elastische Verformungsverhalten

Die freie Molekülkette kann infolge ihrer Temperaturbewegung, der die Drehung um die einzelnen Bindungsachsen entspricht, eine Vielzahl von verknäuelten Konformationen annehmen. Es ist äußerst unwahrscheinlich, daß sie von selbst in einen absolut gestreckten Zustand übergeht, in dem die Kettenenden einen maximalen Abstand haben. Eine gestreckte Form der Molekülkette ist ebenso unwahrscheinlich, wie wenn sich alle in einem Zimmer vorhandenen Gasmoleküle von selbst in einer einzigen Zimmerecke zusammenfinden würden. Um viele Größenordnungen wahrscheinlicher stellen sich verknäuelte Formen ein, bei denen die Molekülenden dann bedeutend weniger weit voneinander entfernt sind.

Wird also ein verknäueltes Molekül an seinen Enden auseinandergerückt, so zieht es sich, wenn die Zugspannung nicht mehr wirkt, infolge seiner Temperaturbewegung durch sukzessive Änderung seiner Konformationen, also nicht spontan, sondern erst in einem gewissen zeitlichen Verlauf in wahrscheinlichere Formen - und diese laufend wechselnd - wieder zusammen. Diese Erscheinung entspricht

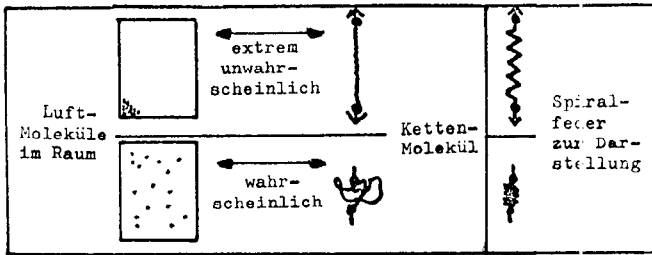


Abb. 6: Zur Entropie-Elastizität von Kettenmolekülen

der Wiederherstellung einer mittleren Ausgangsentfernung der beiden Molekülenden, also einer elastischen, genauer: einer verzögert-elastischen, im physikalischen Sprachgebrauch: einer entropie-elastischen oder gummi-elastischen Rückbildung zur Ausgangsentfernung. Die Darstellung der elastischen Rückbildung der Ausgangslänge, nicht aber der Zeit bis zur Rückbildung, durch eine Spiralfeder liegt nahe (Abb. 6).

In einer aus kleinen Molekülen bestehenden Flüssigkeit geht zwischen zwei Molekülen infolge Temperaturbewegung in rund 10^{-12} Sekunden ein Platzwechsel vor sich. (Beispiel: Die Wasseroberfläche in einem Becher stellt sich bei jedem Kippen des Bechers immer wieder sofort in die Waagrechte.)

Zwei miteinander verknäuelte Kettenmoleküle brauchen für die etwa durch eine Zugkraft bewirkte Trennung voneinander eine um das 10^6 - bis 10^{12} fache längere Zeit, nämlich etwa zwischen 10^{-6} und 1 Sekunde. Die Entknäuelung wird durch die Temperaturbewegung der Molekülketten, die hier den Drehungen um die Valenzrichtungen, also den Knäuelbewegungen, entspricht, wesentlich behindert; sie kann nur allmählich vor sich gehen (Abb. 7).

Bei kurzzeitiger Zug- oder Druckbeanspruchung kann daher kein wesentlicher Platzwechsel erfolgen. Die miteinander verknäuelten Kettenmoleküle zeigen praktisch eine elastische, allerdings nicht zu große Verformung (Beispiel: elastisches Springen eines Springkitt-Balles).

Bei langzeitiger Beanspruchung können die Moleküle entsprechend der aufgezwungenen Verformung durch sukzessives Abgleiten aneinander der Verformung nachgeben. Nach Aufhören der Krafteinwirkung bleibt eine Verformung erhalten. (Beispiel: Auf einer ebenen Unterlage erfolgt die Abplattung sowie das Auseinanderfließen eines Springkitt-Balles allein durch das länger andauernde Einwirken der Schwerkraft.)

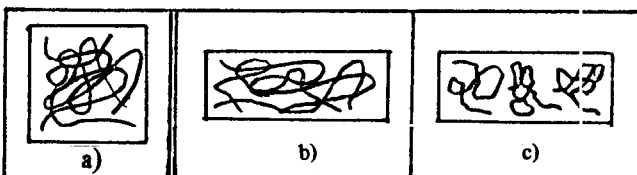


Abb. 7: Die Abhängigkeit des Verformungsverhaltens von der Zeit; Vorgangsschema bei der Verformung dreier miteinander verknäuelter Kettenmoleküle:

- a) ungedehnt
- b) unmittelbar nach der Dehnung
- c) einige Zeit nach der Dehnung



Ideen von SOLVAY sind Ideen, die sich durchsetzen.

Unsere Vielseitigkeit verdanken wir der Vielfalt der uns gestellten Aufgaben und dem Vertrauen unserer Kunden, für neue Probleme neue Lösungen zu finden. So wurden wir groß.

Und gehören heute zu den wichtigsten Industrie-Unternehmen Österreichs. Mit erheblichen Exporten in die EWG- und COMECON-Länder.

Unsere Produkte, wie Chlor, Salzsäure, Natronlauge, leichte und schwere Soda, Gefälltes Calciumcarbonat SOCAL werden in der Glas-, Papier-, Chemie-, Textil- und Kunststoffindustrie als Grundstoffe verarbeitet. Und unsere Fertigprodukte, wie das komplette XYLAMON-Holzschutzprogramm, FIXIT-Fertigputzsystem und CIMSEC-Klebermörtel sind inländische Marktleader.

Wirkliche Ideen setzen sich eben durch.



EBENSEER SOLVAY-WERKE
Werke in Ebensee und Hallein
Direktion: 1010 Wien, Parkring 12
Telefon (0 22 2) 52 95 80

Naturgemäß treten auch je nach Dauer der Krafteinwirkung alle Zwischenzustände auf. Abhängig von dem Zeitprogramm der Krafteinwirkung werden unterschiedliche elastische und viskose Anteile der Verformung festgestellt.

Eine anschauliche Darstellung des zeitabhängigen Verformungsverhaltens bietet die Hintereinanderschaltung von Feder und Dämpfer beim Maxwell-Modell (Abb. 8).

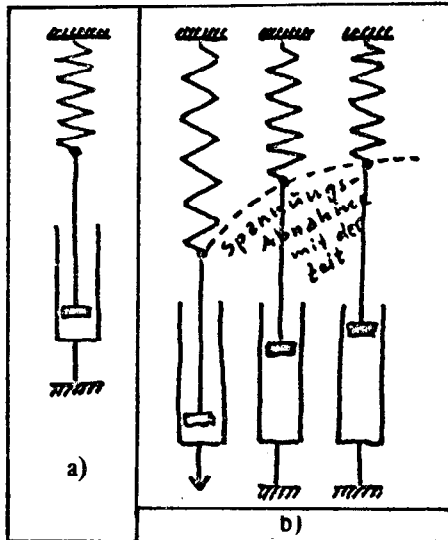


Abb. 8: Das Maxwell-Modell

a) Maxwell-Modell b) Relaxation der Spannung

Kurze Beanspruchung des Modells zeigt elastische, lange Beanspruchung auch viskose Verformung. Bei festgehaltener Verformung geht mit dem Nachgeben der Verknäuelung die Spannung innerhalb der Substanz zurück: *die Spannung relaxiert*.

Sind die miteinander verknäuelten Moleküle an ihren Kreuzungspunkten infolge chemischer Bindung verknüpft, liegt also ein makromolekulares Netzwerk vor, so ist ein Abgleiten der Moleküle aneinander nicht mehr möglich. Bei Einwirken einer Zugkraft wirkt das Molekülnetzwerk wie ein Spiralfedernetzwerk, in dem allerdings die Längung der Molekülabschnitte auch ohne gegenseitige Behinderung eine gewisse, wenn auch nicht allzulange Zeit zur Einstellung (wie beim einzelnen Kettenmolekül) benötigt.

Sind die Molekülabschnitte zwischen den Kreuzungs- oder Netzpunkten länger und behindern sie sich durch gegenseitige Verknäuelung, so ist die Einstellzeit entsprechend größer. Die elastische Einstellung ist dann stärker verzögert. Nach Aufhören der Krafteinwirkung geht die Verformung mit der entsprechenden zeitlichen Verzögerung wieder zurück (Abb. 9).

Das bekannteste Beispiel einer entropie-elastischen Verformung ist jene des vulkanisierten Kautschuks oder Gummis.

Chemiefasersubstanzen

Die Erforschung der Struktur der Fasersubstanz

Das Dehnverhalten der Fasern zeigt durchaus zeitabhängige Effekte. Kurzzeitige geringe Beanspruchungen hinterlassen

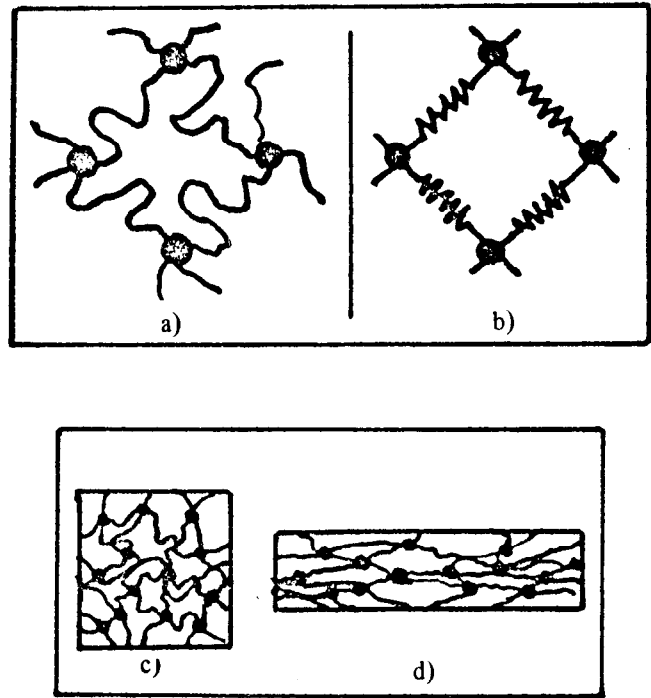


Abb. 9: Verzögert-elastische Verformung eines Netzwerks

a) Molekül-Netzwerk b) Feder-Netzwerk
c) Molekül-Netzwerk (ungedehnt) d) Molekül-Netzwerk (gedehnt)

kaum bleibende Veränderungen. Nach länger andauernder gleichartiger Beanspruchung muß sich das Material allerdings erholen. (Beispiel: Kleidung hängt sich aus.)

Es wird also zu prüfen sein, welche makromolekulare Struktur der Fasersubstanzen (vom Einfluß der textilen Konstruktion der Garne, der Gewebe oder der Gewirke soll hier abgesehen werden) das Dehnverhalten bestimmt.

Bis heute ist es nicht gelungen, ein detailliertes Bild vom makromolekularen Aufbau der Fasersubstanz zu erhalten. Der Grund liegt darin, daß es mit keiner physikalischen Methode möglich ist, die Anordnung der Moleküle im Einzelfall unmittelbar zu erkennen. Mit den Abbildungsmethoden der Mikroskopie, ja selbst der Elektronenmikroskopie, kann man wegen des begrenzten Auflösungs-

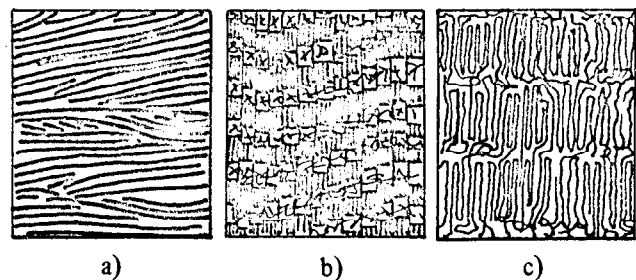


Abb. 10: Modell der Faserstruktur – schematisch (Faserachse von oben nach unten)

a) Lamellenstruktur (nach Kanig) b) Lagebeziehungen zwischen kristallinen Bereichen (nach Hosemann)
c) Mikrofibrillen (nach Peterlin)

vermögens dieser Geräte nur Komplexe von vielen Molekülen in ihrer äußeren anschaulichen Form betrachten.

Die Methoden der Strahlungswechselwirkung, insbesondere die Röntgen-, die Infrarot- und die Doppelbrechungsmethode, mitteln in der Beobachtung über größere durchstrahlte Substanzbereiche. Die sorgfältige kritische Zusammenschau aller erhaltenen Untersuchungsergebnisse erlaubt nur, indirekte Schlüsse auf die mittlere molekulare bzw. übermolekulare Struktur der Fasersubstanz zu ziehen. Durch laufendes Vergleichen des Verhaltens des gewonnenen theoretischen Modells mit dem Verhalten der realen Fasern werden Schritt für Schritt Verbesserungen erzielt.

Die speziellen Probleme der Strukturforchung würden in diesem Rahmen zu weit führen. Es soll hier – ohne Berücksichtigung der Strukturentwicklung aus Schmelze oder Lösung, Spinnprozeß, Verstreckung und Nachbehandlung – allein ein Strukturmodell für die fertige Faser vorangestellt werden, das im Grundschemata unter ausdrücklicher Vernachlässigung der speziellen Verhältnisse bei den einzelnen Fasergattungen und Fasertypen den heutigen Erkenntnissen entspricht.

Röntgenographische und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Fasern legen nahe, in der Faserlängsrichtung abwechselnd kristalline und nichtkristalline Bereiche anzunehmen. Kristalline wie nichtkristalline Bereiche liegen meist in zur Faserachse senkrechten Schichten (Lamellen) vor (Abb. 10a). Oft sind diese Schichten mehr oder weniger stark in Mikrofasern aufgespalten, die im allgemeinen dicht an dicht liegen (Abb. 10b). Die Vorzugsrichtung der Molekülachse ist die Faserlängsrichtung.

Im Strukturschema der Fasersubstanz bilden die Kristallite gleichsam Blöcke mit zur Faserachse parallel liegenden und durch zwischenmolekulare Kräfte verbundenen Molekülabschnitten. Diese Kristallite wechseln in der Längsrichtung mit Bereichen ab, in denen eine Wirrlage der Moleküle vorherrscht (Abb. 10c).

Beim Anlegen einer Zugspannung an die Faser werden praktisch nur die schwächeren, also die nichtkristallinen Bereiche beansprucht. Die Verformung der kristallinen Bereiche ist demgegenüber völlig vernachlässigbar. Für das Dehnverhalten sind daher nur die zwischen den Kristalliten liegenden Bereiche mit den Molekülabschnitten in Wirrlage verantwortlich. Zur Deutung sowie zur angemessenen Beschrei-

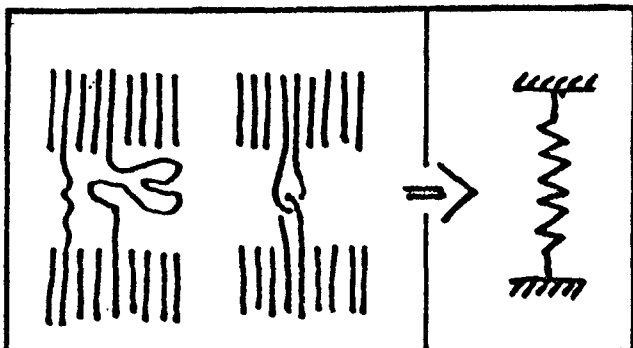
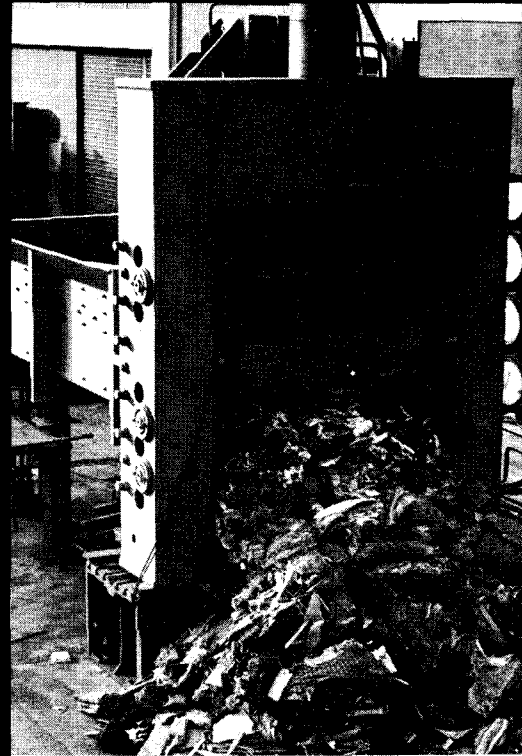


Abb. 11: Modell für das Dehnverhalten von Fasern; Typformen kristallverbindernder Molekülabschnitte

ober- und unter- druck



Wir bauen Ballenpressen in zwei Grundtypen: Oberdruck- und Unterdruckpressen. Beide haben vieles gemeinsam. Beide vereinigen jahrzehntelange Erfahrungen in sich und sind nach modernsten Gesichtspunkten gebaut.

Aus den ersten Pressen für Naturfasern über weitere für Kunstfasern entwickelten sich die heutigen modernen Ballenpressen für Chemiefasern, die den Forderungen für weitgehend automatischen Betrieb entsprechen. Die abgebildete Presse, Modell BUDOM 10 L, hat eine Preßkraft von 215 t. Die Vorpressung erfolgt von oben, die Fertigpressung von unten.

Diese Presse kann auch mit vollautomatischer Bandverschneuerung ausgerüstet werden.

Fragen Sie nach weiteren interessanten Modellen, oder fordern Sie unseren ausführlichen Prospekt an.

LINDEMANN KG



4000 Düsseldorf, Erkrather Str. 401, Postfach 5229
Telefon: (02 11) 210 51, Telex: 08 581 318

bung des Dehnverhaltens der Fasern müssen deshalb die in diesen Bereichen auftretenden Molekülkonformationen untersucht werden.

Einige Moleküle verbinden in mehr oder weniger verknäuelter Form Kristallit mit Kristallit (Abb. 11). Miteinander unauflösbar verschlaufte Moleküle gehören ebenfalls zur Gruppe dieser die Kristallite verbindenden Moleküle. Bei Zugbeanspruchung werden diese Molekülabschnitte in eine gestrecktere Form übergeführt und wirken daher entropieelastisch. Die modellmäßige Darstellung dieses Verformungsanteils kann wieder – wenn man vom Zeitfaktor absieht – durch eine Feder geschehen.

Eine zweite Gruppe bilden diejenigen Molekülabschnitte, die nur an einer Kristallitoberfläche verhaftet sind, bei denen also die Molekülbögen und -schlaufen sowie die Molekülenden in den Bereich zwischen den Kristalliten hineinragen. Diese Molekülabschnitte stellen insgesamt ein Molekülnetzwerk dar, bei dem aber in den gegenseitigen Berührungspunkten nur die zwischenmolekularen Kräfte wirken (Abb. 12).

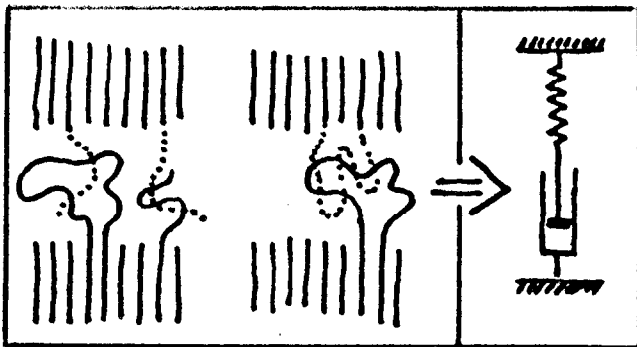


Abb. 12: Typformen von Molekülschlaufen und -enden im nicht-kristallinen Bereich

Bei einer Zugbeanspruchung reagiert dieses Netzwerk zunächst elastisch. Die schwachen Kräfte an den Berührungspunkten können aber sukzessive nachgeben, und die Moleküle beginnen aneinander abzugleiten. Modellmäßig entspricht dieses Verformungsverhalten dem bereits bekannten Maxwell-Modell.

Da beide Gruppen von Molekülabschnitten bei der Verformung nebeneinander wirken (von der gegenseitigen Beeinflussung kann abgesehen werden, da sie theoretisch keinen anderen Zusammenhang liefert), kann ein solches Verformungsverhalten durch Parallelschalten einer Feder mit einem Maxwell-Modell wiedergegeben werden. Nur müssen, da sich das Molekülgefüge beim Dehnungsvorgang von Dehnungszustand zu Dehnungszustand laufend verändert, jedem Dehnungszustand andere Moduln als Kennwerte des Verformungsverhaltens (Modulfunktionen) zugeordnet werden (Abb. 13).

Bestimmende Strukturmerkmale für Fasereigenschaften

Die Struktur der Fasersubstanz und damit alle Eigenschaften sowie das technologische Verhalten von Fasern sind al-

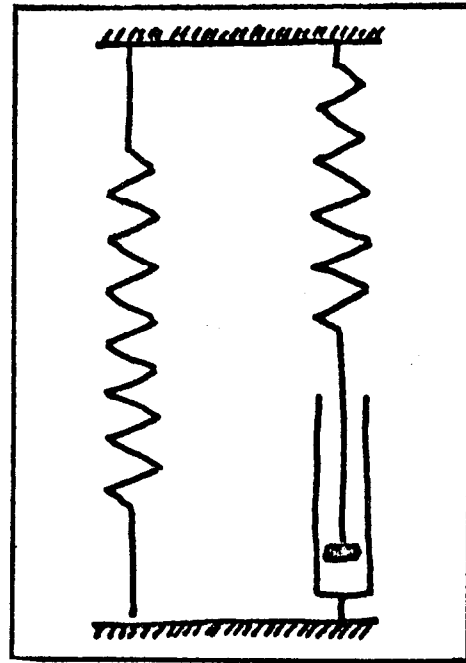


Abb. 13: Das Poynting-Thomson-Modell

lein durch die Art der Zusammenlagerung der faserspezifischen Kettenmoleküle bestimmt.

Die übermolekulare Struktur der Fasersubstanz wird in erster Linie von der Beweglichkeit und den Konformationen der Molekülketten abhängen. Diese sind naturgemäß durch den chemischen Aufbau gegeben. Als Beispiele seien der vergleichsweise starre Aufbau der Polyesterkette genannt, der durch den Benzolring im Terephthalanteil des Grundmoleküls verursacht wird, die große Kettenbeweglichkeit der Polyamide sowie die Fülligkeit der Polyacrylnitrilkette mit den voluminösen Cyangruppen und die Weichheit der Polypropylenkette. Zelluloseketten bestehen aus den etwas sperrigen Glukoseringen und haben einen starken Wasser-einbau.

Größe, Gestalt und Struktur der Kristallite sowie der Zusammenhalt in den nichtkristallinen Bereichen werden durch Art und Festigkeit der zwischenmolekularen Bindungen bestimmt. Deren Häufigkeit und Dichte im Material sowie deren geometrische Verteilung spielen dabei eine ausschlaggebende Rolle.

Schließlich sind die mittlere Länge (Durchschnittspolymerisationsgrad) und die Längenverteilung (Polymerisationsgradverteilung) der Molekülketten, aber auch Verzweigungen, Substituenten und darüberhinaus alle Arten von Modifizierungen für die Anordnung der Ketten im Substanzgefüge entscheidend.

Der Variationsbereich der Fasersubstanzstrukturen

Allen Natur- und Chemiefasern ist der physikalische Aufbau ihrer Fasersubstanz aus beweglichen Makromolekülketten gemein.

Die chemische Substanz selbst bestimmt als solche nicht die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Fasergattung. Sie ist der Träger der spezifischen Zusammenhaltkräfte.

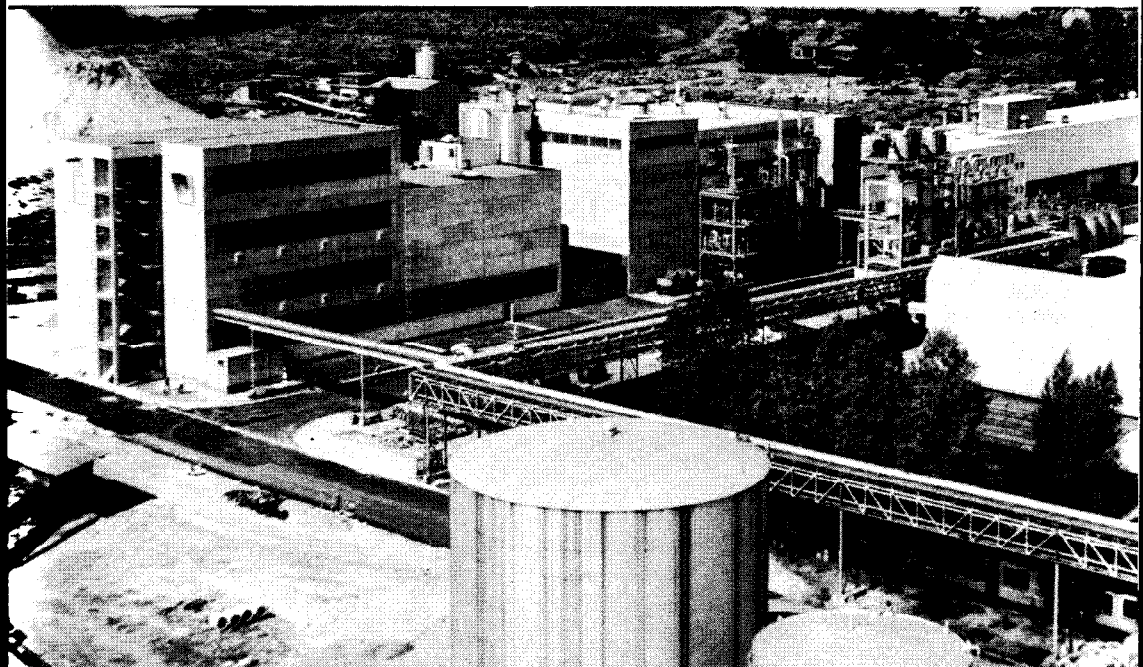
Damit sind chemische wie physikalische Fasereigenschaften gleichzeitig und untereinander von der Struktur der Faser-substanz abhängig.

Die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Fasergattungen und -provenienzen werden also durch den unterschiedlichen übermolekularen Aufbau erreicht. Dieser ist bedingt durch die drei Einflußfaktoren: Beweglichkeit, Bindungen

und Moleküle, sowie durch äußere, insbesondere thermische oder mechanische Einwirkungen bei der Herstellung und Verarbeitung.

Die weitreichenden Variationsmöglichkeiten in der Struktur der Faser-substanz ergeben eine reichhaltige Palette an Eigenschaften der Chemiefasern.

MAYREDER



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

CHEMIEFASER LENZING AG.
Gesamtansicht der ACN-Anlage
Bauausführung in A R G E

Zur Frage der Röntgenweitwinkelstreuung von polymeren Fasersubstraten (Kurzmitteilung)

Dozent Dr. habil. Hans K r ä s s i g , Lenzing

Herrn Professor Dr. H.F. M a r k anlässlich seines 80. Geburtstages gewidmet.

Die Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung zellulosischer Fasersubstrate nach einem Konzept von Gjønnes und Mitarbeitern hatte ergeben, daß die Röntgenweitwinkelstreuung von nativen merzerisierten und regenerierten Zellulosefasern sich als Summation aufgelöster Einzelreflexionen ergibt. Ein Streuanteil amorpher Phasen ist auf Grund dieser Analyse zur Ermittlung der Röntgenstreuung nicht erforderlich.

Eine derartige Analyse der Röntgenstreuung ermöglicht es auch, das Vorliegen verschiedener Modifikationen und deren prozentmäßigen Anteil zu ermitteln. Auf Grund derartiger Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß heterogen merzerisierte native Zellulosen selbst unter günstigsten Merzerisierungsbedingungen noch unumgewandelte Zellulose I enthalten. In ähnlicher Weise konnte gezeigt werden, daß unter Heißver Streckung erzeugte Regeneratzellulosefasern Anteile einer der Zellulose I ähnlichen Modifikation enthalten, die sonst allgemein als Zellulose IV bezeichnet wird.

Aus den Halbwertsbreiten der derart aufgelösten Streubanden konnte unter Anwendung entsprechender Beziehungen Aufschluß über die Querdimensionen der fibrillären Faserbausteine erhalten werden, die weitergehend Rückschlüsse auf den strukturellen Aufbau und deren Einfluß auf wichtige praktische Eigenschaften ermöglichen.

Eine analoge Analyse von Röntgendiffraktogrammen synthetischer Fasersubstrate, wie z.B. von Polyacrylnitril-, Polypropylen-, Polyester- und Polyamidfasern, zeigte, daß auch diese durch reine Summation der Hauptreflexionen nach dem gleichen Konzept erhältlich sind. Auch hier scheint kein Streuanteil amorpher Phasen zur Erklärung der Röntgenstreuung notwendig zu sein. Diese Beobachtung scheint weiterer Untersuchungen und kritischer Überlegungen wert, inwieweit heutige Vorstellungen über die Struktur des festen Zustandes von Faserpolymeren nicht einer gewissen Revision unterzogen werden sollten.

An analysis of X-ray wide-angle scattering of cellulose fibre substrates according to the method by Gjønnes and collaborators has shown that X-ray wide-angle scattering of native mercerized and regenerated cellulose fibres results as the addition of dissolved individual reflections. According to this analysis, a scattering share of amorphous phases is not required for the determination of X-ray scattering.

Such an analysis also enables the determination of the presence of different modifications and their percentage. Such examinations have shown that heterogeneously mercerized native celluloses still contain non-converted cellulose I even under the most favourable mercerizing conditions. In a similar way it could be demonstrated that regenerated cellulose fibres produced under heat stretching contain proportions of a modification similar to cellulose I which is generally termed cellulose IV.

From the half width of such dissolved scattering bands conclusions about the cross dimensions of fibrillar fibre parts could be obtained by application of respective relations and these again enabled further conclusions to the structure and its affect on important practical properties.

An analogous analysis of X-ray diffractogrammes of synthetic fibre substrates, such as of polyacrylonitrile, polypropylene, polyester and polyamide fibres has shown that these, too, are obtained by pure addition of the main reflections according to the same concept. Here again no scattering share of amorphous phases seems to be necessary to explain X-ray scattering. This observation appears to be worth while further tests and critical considerations as to whether present concepts about the structure of the solid state of fibre polymers should not be revised to some degree.

Schon in den frühen zwanziger Jahren kam man zu der Überzeugung, daß polymere Substrate parakristalline Strukturen bilden. In den folgenden Jahrzehnten wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung kristalliner und amorpher Anteile entwickelt, wie zum Beispiel Röntgenweitwinkelstreuungsuntersuchungen, Dichtebestimmungen, kalorimetrische Methoden u.a.m. Von diesen Methoden hat die Röntgenweitwinkelstreuungstechnik am meisten Anwendung gefunden.

Bis heute basiert die gebräuchlichste Interpretation der diffusen Röntgenweitwinkelstreuung polymerer Substanzen auf der Annahme, daß die Bandenaufweitung in erster Linie durch statistisch verteilte Gitterstörungen verursacht ist. Aus diesem Grund benutzen die meisten Auswertemethoden von Röntgendiffraktogrammen eine Aufteilung der Streuung in eine Streuung von kristallinen Bereichen und in eine Streuung von amorphen Bereichen, wobei letzterer ein Teil der Untergrundstreuung der Streumaxima zugeordnet wird. Diese Trennung ist aber in den meisten Fällen nicht sehr streng definiert und befriedigt vielfach nicht.

In der Metallurgie benutzt man seit längerer Zeit für die Trennung sich überschneidender Röntgenweitwinkelstreubanden Konzepte Gauß'scher bzw. Gauchy'scher Verteilungen, um an abgetrennten und definierten Einzelbanden durch Bestimmung der Bandenbreite bei halber maximaler Streuintensität Anhaltspunkte über die Kristallitgröße zu bekommen, wobei Formeln verwendet werden, die ursprünglich von S c h e r r e r ¹ vorgeschlagen wurden.

Bereits im Jahre 1958 haben G j ø n n e s, N o r m a n n und V i e r v o l l ² eine gleichartige Methode zur Auswertung von Röntgenweitwinkeldiffraktogrammen zellulosischer Substrate verwendet. Die Methode, die diese Autoren anwandten, erlaubt die Trennung von sich überschneidenden Streubanden unter der Annahme, daß die Intensitätskurven solcher Banden die Form Gauchy'scher Verteilungen haben und daß die Weitwinkelstreuung zellulosischer Substrate das Resultat folgender Bandensummierung ist:

$$I(s) = \sum K_i \frac{a_i}{a_i^2 + (S - S_{oi})^2}$$

In dieser Formel bedeuten:

$$S = 4\pi \cdot \sin \Theta / \lambda,$$

S_{oi} = der Wert der individuellen Maximumposition einer Streubande,

a_i = die Halbwertsbreite einer Streubande bei halber maximaler Intensität und

K_i = die Diffraktionskonstante der betreffenden Streubande.

Die Analyse der Röntgenweitwinkeldiffraktion zellulose-scher Substrate

Bei Anwendung dieses Konzepts konnten Gjønnes et al. zeigen, daß die Weitwinkeldiffraktion nativer Zelluloseproben mit Zellulose-I-Struktur allein durch Summierung der wichtigsten Streubanden, nämlich der 101-, 10 $\bar{1}$ -, 021- und 002-Gitterebenen, erklärt werden kann, ohne daß man hierbei das Vorliegen einer diffusen Streuung amorpher Anteile berücksichtigen muß. Das gleiche wurde für die Röntgenweitwinkelstreuung hydrolysierter, enzymatisch abgebauter und dekristallisierter nativer Zelluloseproben gefunden. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel einer derartigen Analyse der Röntgenweitwinkeldiffraktion einer nativen Zellulose.

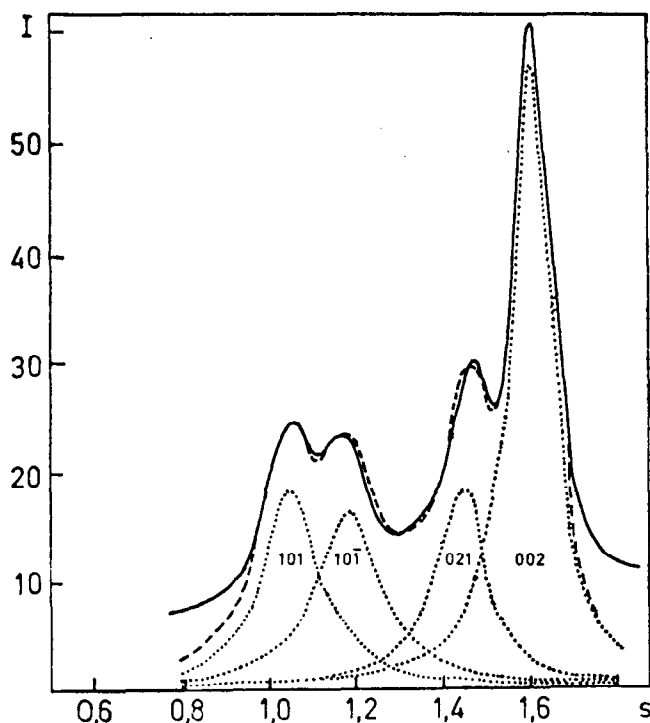


Abb. 1: Analyse der Röntgenweitwinkeldiffraktion einer nativen Zellulose

Gjønnes et al. konnte weiterhin nachweisen, daß die Aufweitung der Banden für native Zellulosesubstrate mit abnehmendem Ordnungsgrad von einer linearen Verschiebung der jeweiligen Streumaxima zu kleineren Bragg-Winkeln (d.h. von einer Aufweitung des Gitterabstandes, speziell der 002-Gitterabstände) begleitet ist.

Für Zellulosesubstrate, die durch Behandlungen mit merzerisierend wirkender Natronlauge oder mit konzentrierter Salzsäure eine Zellulose-II-Struktur aufweisen, konnten Gjønnes et al. hingegen die Röntgenweitwinkeldiffraktion nicht durch reine Summierung der wichtigsten Streubanden des Zellulose-II-Gitters erklären. Sie nahmen an, daß einige der Zelluloseketten während der Umwandlung von Zellulose I in Zellulose II in ihrer Lage gestört werden und so Anlaß zu einer diffusen Untergrundstreuung geben.

In eigenen Arbeiten³ konnten wir vor einigen Jahren die

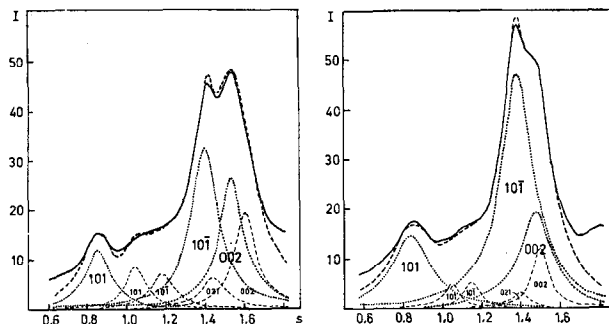


Abb. 2: Einfluß der Merzerisierungsbedingungen auf die Röntgenweitwinkelstreuung

links: native Zellulose, merzerisiert mit 18%iger NaOH, 30 Minuten lang bei 25°C;
Zellulose II : Zellulose I = 75 : 25
rechts: native Zellulose, merzerisiert mit 18%iger NaOH, 30 Minuten lang bei 0°C;
Zellulose II : Zellulose I = 90 : 10

Beobachtungen von Gjønnes et al. bezüglich der Analyse von Röntgenweitwinkeldiffraktogrammen nativer Zellulosen bestätigen. Bezüglich merzerisierter Proben hingegen konnten wir zeigen, daß deren Röntgenweitwinkelstreuung in gleicher Weise unter der Annahme erklärt werden kann, daß die Merzerisierung unvollständig ist und daß die Röntgenweitwinkeldiagramme eine Mischung von Anteilen von Zellulose I und Zellulose II darstellen. Der Anteil von Zellulose-II- und Zellulose-I-Strukturen und deren Weitwinkelstreuung ändert sich mit den Merzerisierungsbedingungen. Abbildung 2 gibt Beispiele für die Gültigkeit dieser Annahme.

Es sei hier vermerkt, daß weder Änderungen der Trocknungsbedingungen noch ein Lösungsmittelaustausch von Wasser zu nicht quellenden organischen Lösungsmitteln vor der Trocknung die Form und die Zusammensetzung der Röntgenweitwinkelstreuungskurven merzerisierter Proben veränderten. Dies führte uns zu dem Schluß, daß die Zellulose-I-Anteile in merzerisierten Proben nicht das Resultat einer Rückbildung ursprünglich vollständig in Zellulose II umgewandelter Strukturen während des Trocknens sind, sondern daß diese von einer unvollständigen Durchdringung des ursprünglichen Zellulose-I-Gitters der natürlichen Zellulose durch die Merzerisierungslauge herrühren.

Diese Schlußfolgerung wird auch durch die Beobachtung unterstützt, daß die gefundene Halbwertsbreite der Streubanden der restlichen Zellulose-I-Anteile in den merzerisierten Proben enger waren als die Halbwertsbreite der gleichen Streubanden der nativen Ausgangszellulose. Außerdem wird in den merzerisierten Proben auch die Halbwertsbreite der Streubanden der restlichen Zellulose-I-Anteile zunehmend enger, wenn dieser Anteil mit günstigeren Merzerisierungsbedingungen abnimmt. Die Werte in Tabelle 1 weisen diese Beobachtungen nach.

Alle diese Beobachtungen deuten darauf hin, daß die größten und am besten geordneten Zellulose-I-Regionen der Durchdringung durch die Merzerisierungslauge am längsten widerstehen.

Tabelle 1: Ergebnisse der Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung von nativer sowie von unter verschiedenen Bedingungen merzerisierter Zellulose

P r o b e	101			10 $\bar{1}$			021			002		
	K	2 a	2 θ_{max}	K	2 a	2 θ_{max}	K	2 a	2 θ_{max}	K	2 a	2 θ_{max}
Baumwolle - nativ	1,45 —	0,16 —	14,3 —	1,45 —	0,18 —	17,1 —	1,27 —	0,14 —	20,5 —	3,40 —	0,12 —	22,9 —
Baumwolle - merzerisiert bei 25°C	0,58 0,90	0,14 0,18	14,8 12,3	0,58 2,90	0,16 0,18	16,8 20,2	0,50 —	0,16 —	20,2 —	1,35 2,10	0,14 0,16	22,7 21,8
Baumwolle - merzerisiert bei 0°C	0,20 0,96	0,11 0,16	14,9 12,4	0,21 3,85	0,12 0,16	16,7 19,8	0,18 —	0,12 —	20,0 —	0,60 1,82	0,10 0,14	22,5 21,3

Was uns jedoch noch bedeutender erscheint, ist die Schlußfolgerung, daß die Röntgenweitwinkelstreuung von zellulosischen Substraten zu ihrer Erklärung nicht unbedingt die Annahme der Existenz amorpher Anteile benötigt. In Arbeiten an Baumwolle und Ramie kam Warwicker⁴ vor einigen Jahren zu ähnlichen, wenn auch nicht vollständig übereinstimmenden Erkenntnissen.

In Fortsetzung unserer Arbeit haben wir diese Methode der Analyse von Röntgenweitwinkeldiffraktogrammen auch auf die Röntgenstreuung von Zellulose regeneratfasern angewandt. Resultate dieser Arbeit, die noch nicht vollständig abgeschlossen ist, zeigen die Abbildungen 3 und 4. In einigen der untersuchten Fälle war es zur Erklärung der Röntgenweitwinkelstreuung regenerierter Zellulosefasern notwendig, eine amorphe Untergrundstreuung anzunehmen. Die in Abbildung 3 gezeigten Beispiele der Röntgenstreuung von Meryl- und Fortisan-Fasern bestätigen die vorhergehende Feststellung. Ergänzend sei bemerkt, daß sich auch die Röntgenstreuung normaler Viskosefasertypen allein auf der Basis der Streubanden des Zellulose-II-Gitters erklären lassen.

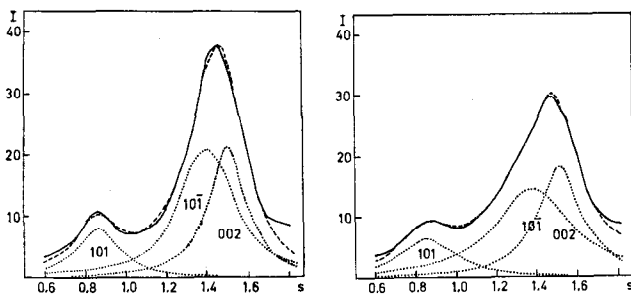


Abb. 3: Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung der Zellulose regeneratfasern Fortisan (links) und Meryl (rechts)

Die Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung von Hochnaßmodulfasern, für die in Abbildung 4 ein Beispiel angegeben ist, ergab eine gemischte Zusammensetzung aus der Streuung von Zellulose-II-Anteilen und solchen, die ein Zellulose-IV-Gitter aufweisen. (Letztere Kristallmodifikation hat ein Gitter, das dem der Zellulose-I-Struktur sehr ähnlich, wenn nicht überhaupt ident ist.) Diese Anteile in Hochnaßmodulfasern rühren von der Heiß-Naßver Streckung

her, der diese Fasern bei ihrer Herstellung unterworfen sind. Beide Kristallmodifikationen in Hochnaßmodulfasern weisen ähnliche Querdimensionen auf, wie dies aus den Halbwertsbreiten der entsprechenden Streubanden abzuleiten ist.

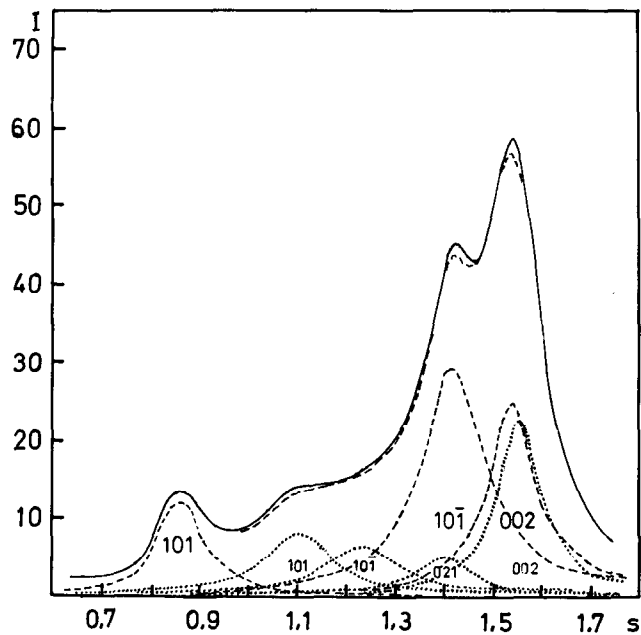


Abb. 4: Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung einer HWM-Viskosefaser (Zellulose II : Zellulose IV = 65 : 35)

Von weitaus größerer Bedeutung scheint uns die Tatsache zu sein, daß aus solchen Analysen der Röntgenweitwinkeldiffraktogramme zellulosischer Substrate Konzepte über Reaktivität und Zugänglichkeit abgeleitet werden können, die ein viel größeres Maß an Information enthalten als die bisher üblichen Auswertungen der Röntgenweitwinkelstreuung zellulosischer Substrate. So weit unsere begrenzte Erfahrung bisher geht, scheinen die daraus ableitbaren Strukturvorstellungen mit den davon unabhängig bestimmten Reaktivitäts- und Zugänglichkeitswerten übereinzustimmen.

Aus den dergestalt ermittelten zusätzlichen Daten können beispielsweise die Wasseradsorption bei 60 Prozent Luftfeuchtigkeit sowie der Deuteriumaustausch dadurch ihre Er-

Tabelle 2: Kristallinität, Zugängigkeit und Hohlraumvolumen von Zellulosefasern, abgeleitet aus Strukturdaten, und ihre Beziehung zu Adsorptions-, Austausch- und Färbereigenschaften

Proben	rel. Dimensionen			% Moleküle in			% D-Austausch	H ₂ O-Adsorption		relative Grenzfläche cm ²	rel. Hohlraumgröße \AA^2	rel. Hohlraumvolumen	K-Werte d. RWW-Streuung	relative ⁵ Färbegeschwindigkeit
	101	10 $\bar{1}$	002	geordneten	amorphen	zugängigen		theoretisch ²	experimentell					
Baumwolle	200	155	230	83	17	47	—	7,8	8,1	108·10 ⁴	—	—	—	—
Fortisan	140	100	160	80	20	54	53,5	9,0	9,6	134·10 ⁴	0,57·10 ⁴	0,8	—	1,2
HWM-Visk.-F.	80	70	85	65	35	69	72,0	11,5	12,4	242·10 ⁴	0,56·10 ⁴	1,3	1,2	2,5
Polynosic	95	80	100	70	30	60	61,5	10,0	10,9	205·10 ⁴	0,92·10 ⁴	1,9	2,8	5,0
Reguläre Visk.-F.	90	75	95	67	33	65	66,5	10,8	11,6	216·10 ⁴	0,56·10 ⁴	1,2	1,0	3,0

- aus Röntgendiffraktogrammen mit Korrekturen für die Bandenaufweitung durch die Probengröße und Strahldimension;
- berechnet unter der Annahme, daß pro zugängliche Glukoseeinheiten 1,5 Mole H₂O gebunden werden;
- berechnet aus: $\frac{(\sin \beta \cdot \text{Kristalllänge}) \times (\cos \beta \cdot \text{Kristalllänge})}{2}$; β = Orientierungswinkel aus $f = 1 - 3/2 \sin^2 \beta$;
- Maß für Hohlraum- oder Porenvolumen, abgeleitet aus der diffusen Röntgenkleinwinkelstreuung;
- %-Aufnahme von Farbstoff pro Minute aus einem Standard-Färbebad.

klärung finden, daß die Zellulosemoleküle an der Oberfläche der wohlgeordneten Bereiche in der Dicke einer Lage weniger gut geordneter Einheitszellen um eine Elementarfibrillarbande und in einer weiteren Schicht geordneter Oberflächenelementarzellen für den Wasser- bzw. den Deuteriumaustausch zugänglich sind, wie dies schematisch aus Abbildung 5 hervorgeht.

Grund der vorstehend geschilderten, aus Röntgendaten abgeleiteten Ordnungs- und Zugänglichkeitsparameter wichtige praktische Eigenschaften, wie zum Beispiel die Wasseradsorption, Austauschreaktionen und Färbeprozesse erklären. Wir hoffen, durch eine Ausweitung derartiger Studien wertvolle Beiträge zur Erklärung technischer Eigenschaften von Fasern zu finden.

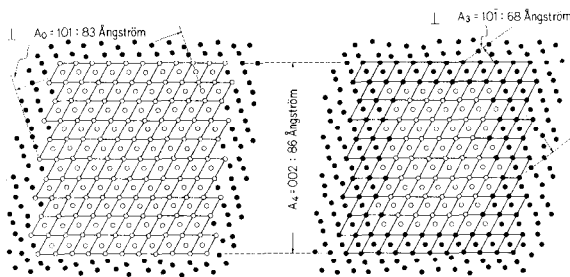


Abb. 5: Modell von Kristallinität und Zugänglichkeit von Fibrillen in einer HWM-Viskose-Stapelfaser

- links: (O) in kristallinen Bereichen: 226 Moleküle
 (●) in amorphen Bereichen: 124 Moleküle
 $\% \text{ Kristallinität} = \frac{226 \cdot 100}{350} = 64,6$
- rechts: (O) in nicht zugängl. Bereichen: 98 Moleküle
 (●) in D₂O-zugängl. Bereichen: 252 Moleküle
 $\% \text{ Nichtzugänglichkeit} = \frac{98 \cdot 100}{350} = 28,0$

Ein ähnliches, dieser Vorstellung sehr verwandtes Konzept hat vor vielen Jahren R a n b y⁵ entwickelt. Durch derartige Vorstellungen finden die vielfach erwähnten Diskrepanzen zwischen Kristallinitäts- bzw. Ordnungsgraddaten und Zugänglichkeitswerten eine einleuchtende Erklärung.

Wir haben seit einiger Zeit begonnen, systematische Studien verschiedener Adsorptions-, Austausch- und Reaktivitätsvorgänge auf der Basis derartiger Vorstellungen durchzuführen und mit Röntgen- und anderen Strukturuntersuchungen zu koordinieren.

Wie aus Tabelle 2 ersehen werden kann, lassen sich auf

Die Analyse der Röntgenweitwinkeldiffraktion synthetischer Fasersubstrate.

Auf Grund der Ergebnisse derartiger Analysen der Röntgenweitwinkeldiffraktion zellulosischer Substrate und der in diesem Zusammenhang angedeuteten Möglichkeiten zur Erklärung technischer Eigenschaften war es naheliegend, zu prüfen, inwieweit auch die Röntgenweitwinkeldiffraktion synthetischer Fasersubstrate in ähnlicher Weise eine Erklärung finden könnte. Zu diesem Zweck haben wir zunächst einige Synthesefasern Röntgenweitwinkeluntersuchungen unterworfen und versucht, die erhaltenen Einzelbanden aufzulösen. Primär war hierbei die Frage zu prüfen, ob sich die Röntgenweitwinkelstreuung dieser Substrate ebenso allein durch die Summierung der Streuung der wesentlichsten Gitterebenen ohne die Annahme einer amorphen Untergrundstreuung erklären ließe.

Untersucht wurden jeweils eine Polyacrylnitril-, eine Polyamid-, eine Polyester- und eine Polypropylenfaserprobe.

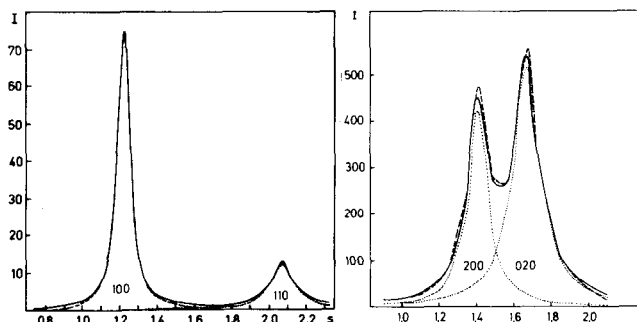


Abb. 6: Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung von Polyacrylnitril- (links) und von Polyamid-6- (rechts)Fasern

Es handelte sich hierbei um kommerzielle Faserproben verschiedener Provenienz.

Am einfachsten ist die Auftrennung der äquatorialen Röntgenweitwinkelstreuung der Polyacrylnitrilfaserprobe (Abb. 6, links), die nur zwei gut getrennte Reflexe der paratropen 100- und 110-Gitterebenen des hexagonalen Kristallgitters aufweist.

Im Falle der Polyamid-6-Faser zeigt das Diffraktogramm der äquatorialen Streuung (Abb. 6, rechts) zwei sich überlappende Reflexe der 200- und 020-Gitterebenen der monoklinen a -Modifikation. Auch hier ist die Auftrennung relativ einfach und zeigt gute Übereinstimmung zum experimentellen Ergebnis.

Die äquatoriale Röntgenweitwinkelstreuung der Polyesterfaserprobe ergibt drei Hauptreflexe der 010-, $1\bar{1}0$ - und 100-Gitterebenen des triklinischen Gitters (Abb. 7, links). Diese Streubanden überlappen sich gegenseitig. Die Auftrennung mittels des hier angewandten mathematischen Konzepts ergibt jedoch auch in diesem Falle befriedigende Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment.

Die untersuchte Polypropylenfaser weist in der äquatorialen Röntgenweitwinkelstreuung die drei Hauptreflexe der 110-, 040- und 130-Gitterebenen und den weniger intensiven Reflex der 111-Ebene auf. Hier ist die Auftrennung natürlich etwas komplexer. Dennoch ist auch hier gute Übereinstimmung zwischen der mathematischen Bandenauftrennung und dem experimentellen Resultat erhältlich.

Wie die Analyse der Röntgenweitwinkeldiffraktogramme dieser vier Faserproben zeigt, ist es durchaus möglich, deren Röntgenweitwinkelstreuung als die Summe der Streubanden der jeweils wichtigsten Gitterebenen zu erklären, ohne daß das Vorliegen einer amorphen Untergrundstreuung zur Erklärung der Röntgenweitwinkelstreuung notwendig wäre (Abb. 6 und 7).

Diese Beobachtung scheint uns weiterer Untersuchungen und einiger kritischer Überlegungen wert, inwieweit nicht unsere heutigen Vorstellungen über die innere Struktur des polymeren festen Zustandes einer gewissen Revision unterzogen werden sollten.

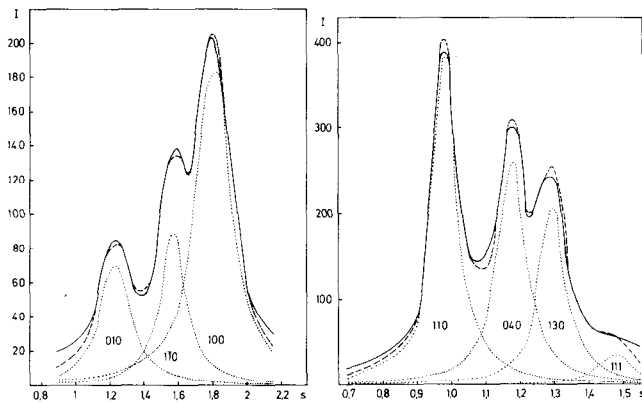


Abb. 7: Analyse der Röntgenweitwinkelstreuung von Polyester- (links) und von Polypropylen- (rechts) Fasern

Literatur:

- 1) P. Scherrer: „Bestimmung der Größe und der inneren Struktur von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen“; Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, 98 (1918)
- 2) J. Gjønnes, N. Norman und H. Viervoll; Acta Chem. Scand. 12, 489 (1958)
J. Gjønnes, N. Norman; Acta Chem. Scand. 12, 489 (1958); 14, 683 (1960); 14, 689 (1960)
- 3) H. Krässig; Papier 23, 881 (1969)
- 4) J.O. Warwicker; J. Appl. Polymer Sci. Part A-1, 5, 1579 (1967)
- 5) B.G. Ranby; Acta Chem. Scand. 3, 649 (1949)
B.G. Ranby und E. Ribí; Experientia 6, 12 (1950)

Betrachtungen zu einigen Tendenzen der Entwicklung der Polyacrylnitrilfaserstoffe

Dr.-Ing. W. Dohrn, Dr. S. Hartig, Dipl.-Chem. E. Peter
 VEB Chemiefaserkombinat „Wilhelm Pieck“ Schwarza, DDR,
 VEB Chemiefaserwerk „Friedrich Engels“ Premnitz, DDR

Herrn Professor Dr. H.F. Mark anlässlich seines 80. Geburtstages gewidmet.

Ausgehend von den perspektivisch erforderlichen Aufkommen an Synthesefaserstoffen werden einige Möglichkeiten der zukünftigen Entwicklung der Polyacrylnitrilfaserstoffe diskutiert. Neben der Weiterentwicklung der derzeitigen Standardtechnologien, -qualitäten und -sortimente werden die verschiedenen Modifizierungsvarianten einer allgemeinen vergleichenden Betrachtung unterzogen.

Starting from the perspective necessary rise of synthetic fibres some possibilities of development trends of polyacrylonitrile fibres are discussed. In addition to the successive stage of development of the actual standard technologies, qualities and assortments the different variants of modification are viewed.

1. Problemstellung

1973 wurden in der Welt von insgesamt 11,5 Mio. t Chemiefaserstoffen 7,9 Mio. t Synthesefaserstoffe produziert. Der Anteil der in etwa 80 Produktionsanlagen hergestellten Polyacrylnitrilfaserstoffe lag bei ca. 1,6 Mio. t. Prognostische Schätzungen verschiedener Autoren und Unternehmen lassen für das Jahr 2000 eine Steigerung der Synthesefaserproduktion auf das Drei- bis Fünffache erwarten, wobei fol-

gende entwicklungsfördernden Kriterien berücksichtigt wurden:

Diese Zuwachsraten werden vorwiegend von den zur Zeit dominierenden Polyester-, Polyamid- und Polyacrylnitrilfaserstoffen erbracht, da in absehbarer Zeit keine grundsätzlich neuen synthetischen Massenfaserstoffe zu erwarten sind und das Wachstumstempo der Natur- und Regeneratfaserstoffe bezüglich Verfügbarkeit, Eigenschaften und Anwendung natürlich begrenzt ist. Abgeleitet von diesem Entwicklungstrend wird sich in den kommenden Jahren der Schwerpunkt der Weiterentwicklung neben der Herstellung von kleintonnagigen Faserstoffen mit ganz speziellen Eigenschaften auf die Optimierung und zielgerichtete Modifizierung der führenden Synthesefaserstoffe konzentrieren^{1, 2}.

Die Polyacrylnitrilfaserstoffe sind zur Zeit am Gesamtsynthesefaserstoffaufkommen mit etwa 20 Prozent beteiligt und werden diese Position auch in den kommenden Jahren halten oder gar ausbauen. Ihre einzelnen, gegenüber den Polyester- und Polyamidfaserstoffen weit zahlreicheren Provenienzen unterscheiden sich in ihrer Herstellungstechnologie und ihren Eigenschaften im wesentlichen durch

- das Spinnverfahren (trocken/naß),
- die Art der eingesetzten Comonomeren,
- die Art des angewandten Lösungsmittels,
- echter Bedarf und Zusatzerwartungen unter Beachtung einer sich nahezu verdoppelnden Erdbevölkerung,
- Nachholbedarf in den derzeit noch weniger entwickelten, aber bevölkerungsstarken Ländern,
- Erschließung neuer Einsatzgebiete,
- Weiterentwicklung der technisch-technologischen Prinzipien zur Faserstoffherstellung und -weiterverarbeitung, sowie die
- Verfügbarkeit der Rohstoffe.

Tabelle 1: Hauptinteressen der Volkswirtschaft und der Verbraucher an Polyacrylnitrilfaserstoffen und den daraus hergestellten Finalerzeugnissen

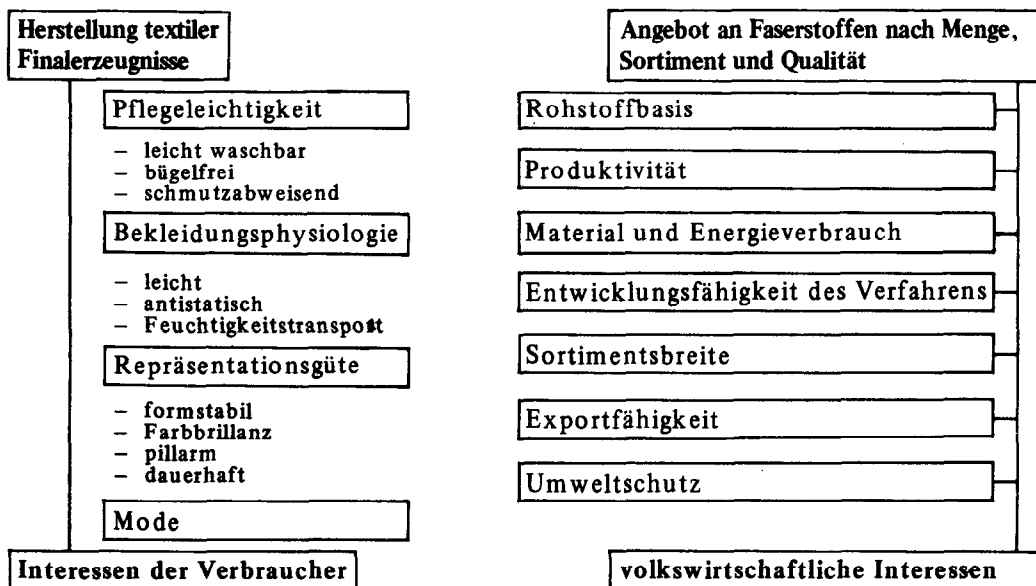
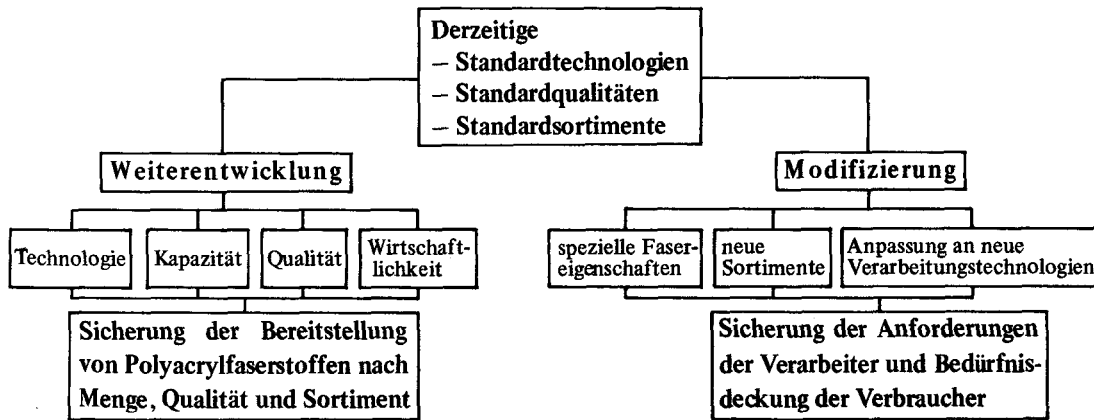


Tabelle 2: Grundlinien der Entwicklung von Polyacrylnitrilfaserstoffen



- die besonderen Ausführungsformen technologischer Detailstufen in Polymerisation, Spinnerei und Nachbehandlung.

In Abhängigkeit von den eingesetzten Materialien und den jeweiligen Prozeßparametern der einzelnen Verfahren gibt es eine Reihe von Optimierungs- und Modifizierungsmöglichkeiten der Technologien, aber auch der Material-, Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften der Polyacrylnitrilfaserstoffe. Im folgenden wird versucht, einige allgemeine Aspekte der möglichen Entwicklungstendenzen der Polyacrylnitrilfaserstoffe zu diskutieren.

2. Grundsätzliche Entwicklungslinien

Das Entwicklungsprofil der Synthefaserstoffe im allgemeinen und der Polyacrylnitrilfaserstoffe im besonderen wird in zunehmendem Maße durch die in Tabelle 1 dargestellten Interessenbereiche bestimmt. Während sich das Interesse des Käufers naturgemäß neben Angebot und Preis insbesondere auf bestimmte Eigenschaften der Finalerzeugnisse konzentriert, sind die volkswirtschaftlichen Interessen von komplexen Betrachtungen und Analysen bestimmt, wie zum Beispiel Verfügbarkeit der Rohstoffe, Produktivität,

Arbeitskräfte- und Energiebedarf, Qualität und Sortimentsbreite, Umweltschutz, Entwicklungsfähigkeit des Verfahrens, Weiterverarbeitungskapazitäten, Exportfähigkeit usw., das heißt, alle technisch-technologischen und wirtschaftlichen Aspekte der zwischen der Rohstoffverfügbarkeit und dem textilen Finalerzeugnis liegenden Teilstufen und -prozesse sind zu berücksichtigen.

Die weitgehende Koordinierung beider Interessengebiete ist dabei die entscheidende Triebkraft für das Wachstumstempo der kommenden Jahre.

Vom derzeitigen Niveau der Standardtechnologien, -qualitäten, -sortimente und Einsatzgebiete der verschiedenen Verfahren zur Polyacrylnitrilfaserstoffherstellung ausgehend, lassen sich zwei Hauptentwicklungslinien ableiten (Tab. 2):

- die qualitative und die quantitative Weiterentwicklung zur Sicherung der perspektivisch erforderlichen Mengen,
- die Modifizierung der Eigenschaften für die Bedarfsdeckung spezieller Verbraucherwünsche sowie für die Sicherung der Anforderungen der verarbeitenden Industrie.

Schwerpunkte der Weiterentwicklung sind dabei unter dem Primat der Ökonomie:

Tabelle 3: Polyacrylnitrilfaserstoffe mit speziellen Eigenschaften

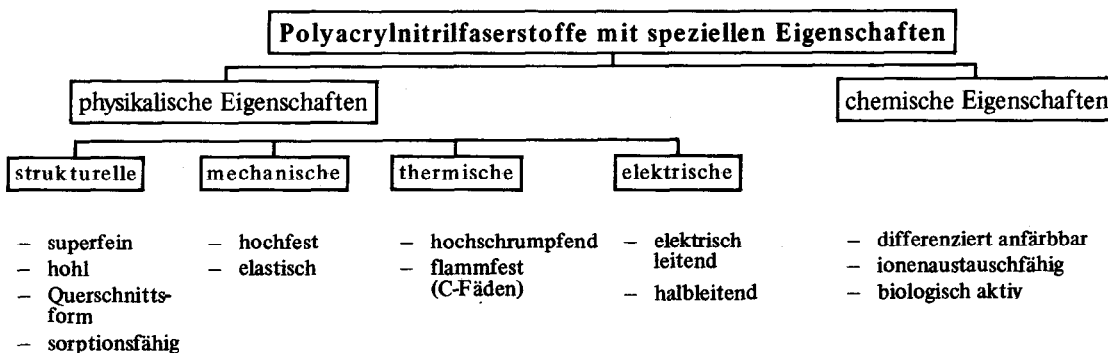
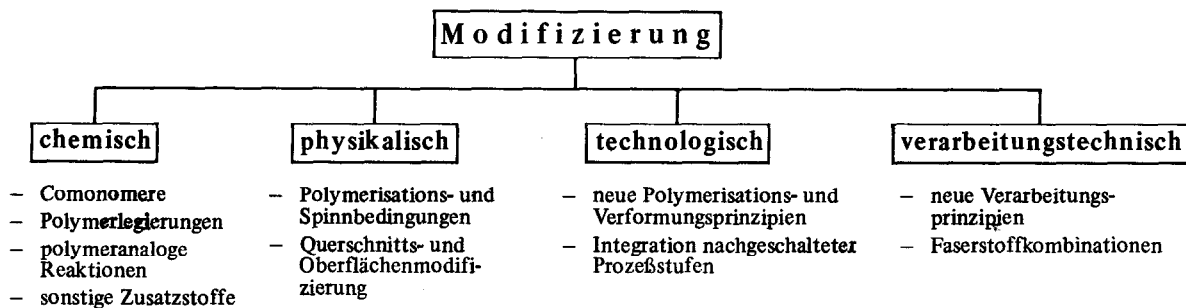


Tabelle 4: Grundprinzipien der Modifizierung von Polyacrylnitrilfaserstoffen



- a) *die Technologie* durch
 - höhere Durchsatzleistungen und Geschwindigkeiten,
 - Vereinfachung und Substitution aufwandsintensiver Prozeßstufen,
 - wissenschaftliche Prozeßdurchdringung;
- b) *die Kapazität* durch
 - intensive und extensive Anlagenerweiterungen,
 - optimale (wirtschaftliche) Anlagengrößen;
- c) *die Qualität* durch
 - ständige Verbesserung von Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften;
- d) *die Wirtschaftlichkeit* durch
 - alle unter a) bis c) aufgeführten Maßnahmen sowie durch ständige Rationalisierung und Optimierung bestehender Anlagen und Senkung des Material- und Energieverbrauchs.

Die Modifizierung der bisherigen Standardqualitäten bezüglich neuer Substanz- oder hinzugefügter Eigenschaften (Spezialsortimente) geht im wesentlichen von folgenden Zielstellungen aus:

- a) neue Eigenschaften und Sortimente entsprechend den besonderen Verbraucherinteressen (Tab. 1);
- b) neue Polymerisations- und/oder Verformungsprinzipien mit der Konsequenz neuer Eigenschaften und Sortimente;
- c) Anpassung an neue textile Verarbeitungstechnologien;
- d) spezielle Eigenschaften für spezielle textile und nicht-textile Verwendungszwecke (Tab. 3).

Während sich die unter a) bis c) genannten Sortimente durchaus zu Massenfaserstoffen entwickeln können (z.B. permanent antistatische Fasern), dürfte die unter d) genannte Entwicklungsrichtung auf kleinere Tonnagen für spezielle Einsatzgebiete begrenzt bleiben^{3, 4}.

3. Chemische Modifizierung

Von den in Tabelle 4 dargestellten Grundprinzipien der Modifizierung von Polyacrylnitrilfaserstoffen bietet die chemische Modifizierung die größten Variationsmöglichkeiten. Entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung unterteilt man die modifizierten Polyacrylnitrilfaserstoffe in zwei Gruppen:

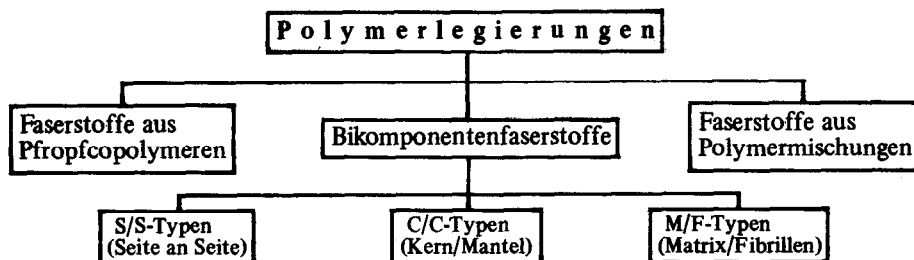
- in Fasern mit mindestens 85 % Acrylnitrilanteil und
- in Fasern mit weniger als 85 % Acrylnitrilanteil.

Letztere sind die seit langem industriell hergestellten Modacrylfasern auf Basis von Copolymeren des Acrylnitrils mit Vinylchlorid, Vinylidenchlorid, Acrylamid u.a., die ursprünglich aus technologischen Gründen (löslich u.a. in Aceton und Acetonitril) entwickelt wurden und heute auf Grund spezifischer Eigenschaften (z.B. Schwerentflammbarkeit) eine ständig wachsende Bedeutung erlangen.

Comonomere

Die Eigenschaftsmodifizierung durch Comonomere ist zweifellos der einfachste Weg der chemischen Modifizierung, sofern die erforderlichen reaktionskinetischen Voraussetzungen (Reaktivitätsverhältnisse) erfüllt sind. Während die „klassischen“ Comonomeren in erster Linie aus Löslichkeitsverbessernden und koloristischen Gründen eingesetzt wur-

Tabelle 5: Untergruppen der Polymerlegierungen



den (z.B. Acrylsäureester, Vinylacetat, Allyl-, Methallyl- und Styrolsulfonat usw.), konzentriert sich heute die angestrebte Wirkung des Comonomereinsatzes auf weitere gezielte Eigenschaftsmodifizierungen:

- Verringerung der Entflammbarkeit,
- Verbesserung der thermischen Stabilität der Fasern,
- Verbesserung der elastischen Eigenschaften,
- gleichzeitig basisch und sauer anfärbbar (bifunktionelle Comonomere) usw.

Dem großtechnischen Einsatz einer Vielzahl neuer Comonomerer stehen allerdings oft noch ökonomische Probleme entgegen, da ihr Preis auf Grund der erforderlichen Zwischenprodukte, der relativ geringen Einsatzmengen und der in vielen Fällen noch nicht ausgereiften Synthese meistens noch recht hoch ist. Ungeachtet dessen bietet sich hier für die Chemie ein breites Betätigungsfeld, insbesondere bei der Konstruktion von selektiv auf die bekleidungsphysiologischen Eigenschaften wirkenden Copolymeren, da hiermit im Gegensatz zur textilen Veredlung permanente Effekte erreichbar sind.

Polymerlegierungen

Von den Polymerlegierungen (Tab. 5) erlangen die Bikomponentfaserstoffe zunehmende Bedeutung, wobei die Entwicklung aus der Sicht der erreichbaren Effekte eindeutig zugunsten der S/S-Typen tendiert. Besonders für die hochproduktiven Naßspinnverfahren kommen jedoch aus technologischen und wirtschaftlichen Gründen nur die M/F-Typen in Frage, was zweifellos einen Kompromiß hinsichtlich der Effekte darstellt. Eine mögliche Aufgabe für die Zukunft sehen wir hierbei in der Entwicklung einer hydrophilen Bikomponentfaser mit reversibler Kräuselung als echten Substituenten für Wolle, wobei wir uns der Schwierigkeit dieser Aufgabe bewußt sind.

Eine Eigenschaftsmodifizierung durch Pfropfpolymerisation dürfte unseres Erachtens für Polyacrylnitrilfaserstoffe eine untergeordnete Rolle spielen, da die erforderliche Prozeßführung zu einem erheblichen technologischen Mehraufwand zwingt.

Faserstoffe aus Polymermischungen setzen die Löslichkeit aller Komponenten im gemeinsamen Lösungsmittel voraus, sodaß die Variationsmöglichkeiten bei Anwendung der Lösungsspinnverfahren eingeschränkt sind. Trotzdem kön-

nen nach dieser Modifizierungsvariante polymere Stoffe mit selektiv wirkenden funktionellen Gruppen in die Faser gebracht werden, was auf anderem Wege nicht möglich ist (z.B. Faserstoffe aus Acrylnitrilpolymerisaten und Zellulosederivaten). Auch die gemeinsame Verspinnung von speziellen Acrylnitrilpolymeren mit Polypropylen, Polyamiden usw. aus dem erweichten Zustand ist nach eigenen experimentellen Untersuchungen realisierbar (Tab. 6) und ergibt neben neuen Eigenschaften die Möglichkeit neuer Aufmachungsformen (Seide, Spleißfolien).

Polymeranaloge Reaktionen

Polymeranaloge Reaktionen bzw. Umsetzungen setzen das Vorhandensein reaktiver Gruppen in der Faser voraus (Tab. 7).

Die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Modifizierung ist im wesentlichen von dem erreichbaren Effekt, daneben auch von der Umsetzungsgeschwindigkeit und der Kontinuität der Prozeßführung abhängig. Am erfolgversprechendsten erscheint hierbei die Reaktion von selektiven Substanzen mit bereits in der Faser vorhandenen reaktiven (z.B. Sulfonat-) Gruppen nach dem Prinzip der kontinuierlichen Gelfärbung mit kationischen Farbstoffen, sofern nur geringe Mengen dieser Substanzen – etwa den Farbstoffmengen vergleichbar – reagieren sollen. Praktische Zielgrößen hierfür können zum Beispiel in einer permanent-antistatischen Ausrüstung gesehen werden.

Zusatzstoffe

Eigenschaftsmodifizierende Zusatzstoffe können dem Polymerisationsmedium oder der Spinnlösung beigelegt oder auf die sich im Gelzustand befindliche gereckte oder ungereckte Faser appliziert werden. Auf diese Weise können beispielsweise beachtliche Effekte zur Verringerung der Entflammbarkeit oder der Anschmutzbarkeit erreicht werden. In den meisten Fällen sind derartige Applikationen mit einer Verschlechterung der Fasereigenschaften (Griff) verbunden. Der entscheidende Nachteil ist jedoch die auf diese Weise nicht erreichbare Permanenz der gewünschten Effekte.

In Zukunft werden bei Entwicklungsarbeiten zur Steigerung der Gebrauchseigenschaften der Polyacrylnitrilfaserstoffe in zunehmendem Maße ökonomische Aspekte eine gewichtige Rolle spielen, sodaß Kompromisse zwischen einer permanenten chemischen Modifizierung und einer tempo-

Tabelle 6: Grundsätzliche Herstellungsprinzipien für Formgebilde des Polyacrylnitrils

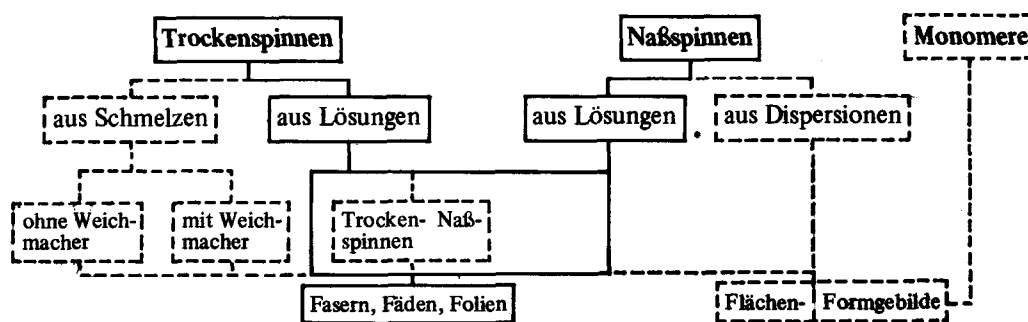
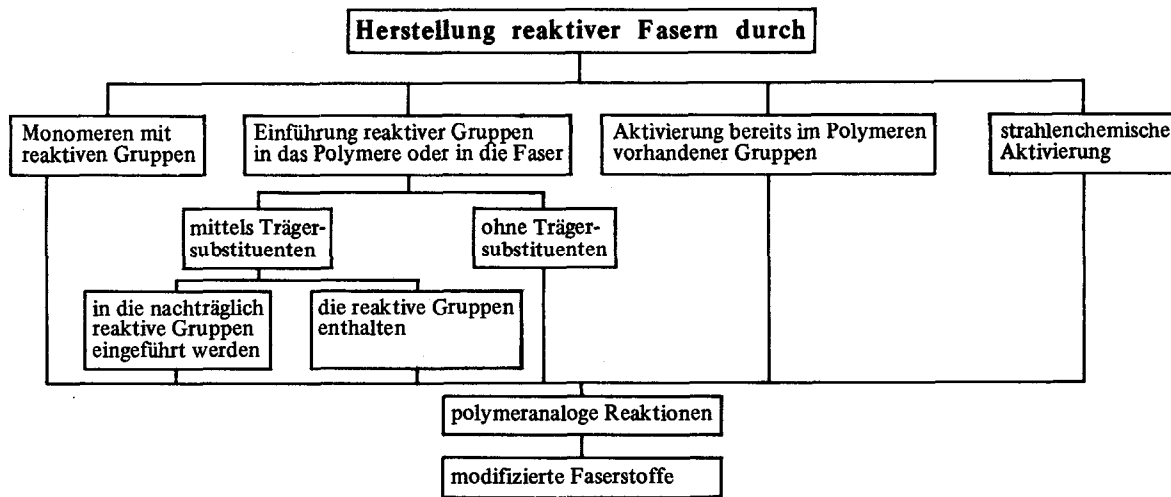


Tabelle 7: Herstellung modifizierter Polyacrylnitrilfaserstoffe durch polymeranaloge Reaktionen (in Anlehnung an Lit. 5)



rären Hoch- oder Spezialveredlung sinnvoll erscheinen. Unseres Erachtens reicht zum Beispiel bei der überwiegenden Zahl der Einsatzgebiete für die antistatische Ausrüstung die Anwendung der bekannten antistatisch wirkenden Weichspülmittel bei Reinigungsprozessen aus, während bei Faserstoffen mit verbesserter Hydrophilie, verringerter Entflammbarkeit oder Anschmutzbarkeit oder mit antibakteriellen Eigenschaften eine in der Polymer- oder der Faserstruktur „chemisch fixierte“ Permanenz der Wirkungskomponenten erforderlich ist, was im Prinzip auch bei der Wertung der Entwicklungstendenzen der Textilindustrie zum Ausdruck kommt⁶.

4. Physikalische Modifizierung

Die Prinzipien der physikalischen Modifizierung konzentrieren sich im wesentlichen auf

- die Struktur der Polymeren (Molekulargewicht, Molekulargewichts- und Löslichkeitsverteilung),
- die Parameter der Polymerlösung,
- den Koagulationsprozeß einschließlich der verwendeten Spinnndüsen (Geometrie), sowie auf
- den Reck- und Trocknungsprozeß.

Zwangsläufig sind damit den Eigenschaftsveränderungen gegenüber der chemischen Modifizierung Grenzen gesetzt. Ungeachtet dessen können folgende Möglichkeiten zur Modifizierung der Fasereigenschaften abgeleitet werden:

- hochfeste Faserstoffe (endlos) als Basis für die Kohlenstoffädenherstellung,
- Hohlfasern für Austauschprozesse,
- texturierbare Endlosfäden bei für PAN-Naßspinnverfahren ungewöhnlich hohen Spinnengeschwindigkeiten⁷,
- differenziert schrumpfend modifizierte (profilerte) Fadenquerschnitte (Düsenlochkonstruktion, Koagulationsprozeß),

- Oberflächenstrukturierung,
- sorptionsfähige Fasern,
- extreme Feinheiten (< 1 den oder > 50 den).

Die physikalische Modifizierung hat bei den Polyacrylnitrilfaserstoffen zweifellos einen gewissen Nachholbedarf gegenüber anderen Synthesefaserstoffen, wobei durch Nutzung neuer Erkenntnisse der Korrelationen zwischen Polymerstruktur, Parametern der Faserherstellung und Fasereigenschaften⁸ eine Trendverlagerung zukünftiger Entwicklungsrichtungen nicht ausgeschlossen ist und damit die Möglichkeiten der chemischen Modifizierung zweckentsprechend ergänzt und/oder kombiniert werden können.

5. Technologische Modifizierung

Die technologische Modifizierung der Polyacrylnitrilfaserherstellung bildet ohne Zweifel eine der interessantesten, aber auch schwierigsten Entwicklungsaufgaben der nächsten Jahre, da

- alle derzeitigen Technologien nur noch in Teilstufen verfahrenstechnisch optimierbar oder modifizierbar sind und
- die erforderlichen chemischen und physikalischen Stoffeigenschaften der Acrylnitrilcopolymeren die Entwicklung grundsätzlich neuartiger Polymerisations- und Verfahrnsprinzipien stark einschränkt.

Im wesentlichen sehen wir folgende mögliche Entwicklungsrichtungen, in die in zunehmendem Maße Probleme des Umweltschutzes, der Materialökonomie usw. integriert sind:

- eine Weiterentwicklung des kombinierten Trocken-Naßspinnverfahrens,
- die Verspinnung aus dem erweichten Zustand gemäß Tabelle 6,
- eine Weiterentwicklung der Spinntechnologie für Dispersionen, sowie

- die Vliesproduktion innerhalb des Faserherstellungsprozesses.

Für die Entwicklung neuer Polymerisationsprinzipien einschließlich der Direktsynthese von Flächengebilden aus dem Monomeren lassen sich nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse keine erfolversprechenden Tendenzen ableiten. Neue Entwicklungen der Verfahrenstechnik sowie die Vertiefung der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Struktur, Strukturbildung und -beeinflussung des Polyacrylnitrils werden zu diesen oder jenen Modifizierungen führen, ohne jedoch die Grundprinzipien der Polyacrylnitrilfaserstoffherstellung entscheidend verändern zu können.

6. Verarbeitungstechnische Modifizierung

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Gebrauchseigenschaften bietet die verarbeitungstechnische Modifizierung, bei der bei weitem noch kein Optimum erreicht ist. Durch verbesserte bzw. neue Fasermischungen oder durch Fadenkombinationen, mit zunehmender Bedeutung der Drei- oder Mehrkomponentenmischungen⁶, ist eine breite Palette textiler Erzeugnisse mit einsetzungsspezifischen Eigenschaften produzierbar, die bei Verwendung von bereits vom Faserhersteller chemisch oder physikalisch modifizierten Faserstoffen nahezu unbegrenzt ergänzt und erweitert werden kann.

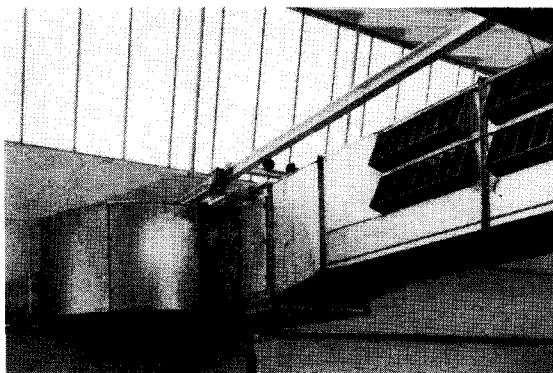
Ein anderes Problem entsteht durch den Zwang, auch in der Textilindustrie neben den bewährten und eingeführten Wegen der Herstellung von Fäden und Flächengebilden ständig neue, rationellere und produktivere Lösungen anzuwenden. Dadurch wird einerseits eine weitere Möglichkeit zur Erzielung neuer Eigenschaften der textilen Finalerzeugnisse eröffnet, andererseits entsteht daraus für den Faserhersteller die dringende Notwendigkeit, die Fasereigenschaften durch Anwendung der beschriebenen Modifizierungswege den Anforderungen der neuen Verarbeitungstechnologien, sowie der höheren Beanspruchung der Faserstoffe auf den produktiveren Textilverarbeitungsmaschinen anzupassen. Aus dieser notwendigen Wechselwirkung zwischen Chemiefaserhersteller und Textilindustrie kann so die Entwicklung neuer, für beide Industriezweige vorteilhafter Lösungswege resultieren.

7. Ausblick

Schlußfolgernd darf man feststellen, daß die Perspektive der Polyacrylnitrilfaserstoffe von einer Vielzahl verschiedener Entwicklungsrichtungen geprägt sein dürfte, für die schließlich die Wirtschaftlichkeit und die erreichbaren Eigenschaften der Faserstoffe und der daraus hergestellten textilen Finalerzeugnisse die produktionsentscheidenden Kriterien sein werden. Neben der Weiterentwicklung der Standard-sortimente in Quantität und Qualität sind von den verschiedenen Varianten der chemischen Modifizierung die entscheidenden Impulse für neue Qualitäten und Sortimente zu erwarten.

Literatur:

- 1) D.W. van Krevelen: „Entwicklungstendenzen bei den Chemiefasern“; Lenzinger Ber. 32, 10-20 (1971)
- 2) W. Albrecht: „Der Entwicklungstrend bei Chemiefasern“; Lenzinger Ber. 37, 6-15, (1974)
- 3) K.E. Perepelkin, B.A. Muchin, V.S. Smirnov: „Chemiefaserstoffe für spezielle Zwecke, ihre Eigenschaften und Anwendung“; Faserforsch. Textiltechn. 25, 72-86 (1974)
- 4) A.D. Virnik, L.S. Galbrajch, R.M. Livsic: „Chemiefaserstoffe mit speziellen Eigenschaften“; Sowj. Beitr. Faserforsch. Textiltechn. 4, 244-254 (1967)
- 5) J.H. Rau: „Über reaktive Fasern“; Melliand Textilber. 51, 820-825 (1970)
- 6) W. Bobeth, K.-H. Banke: „Entwicklungstendenzen in der Textilindustrie“; Faserforsch. Textiltechn. 25, 3-10 (1974)
- 7) W. Dohrn, S. Hartig, E. Peter: „Einige Probleme des Erspinnens von Polyacrylnitrilfaserstoffen“; Lenzinger Ber. 35, 17-24 (1973)
- 8) B. Philipp: „Polymerforschung in ihrer Auswirkung auf die Faserherstellung“; Lenzinger Ber. 32, 21-30 (1971)



Übersättigungsklimaanlagen System KLIMON für höchste relative Luftfeuchtigkeit

KLIMA- und Lüftungsanlagen für alle Anforderungen (EDV-Räume, Laboratorien, Großküchen usw.)



ING. R. HIEBEL

KOMMANDITGESELLSCHAFT FÜR
HYDRO- UND KLIMATECHNIK

1140 WIEN, LINZER STRASSE 221
Telefon 94 21 06

Der Einfluß der Stapellänge auf Produktqualität und Wirtschaftlichkeit des Rotorspinnens*

Ing. (grad.) Bernd Lagemann, Ingolstadt

Herrn Professor Dr. HF. Mark anlässlich seines 80. Geburtstages gewidmet.

Nach einer Vorstellung der Garne werden deren Eigenschaften besprochen, wobei Bauchbinden - das Charakteristikum vor allem bei Langstapelgarnen - ausführlich behandelt werden. Abschließend werden der Einfluß von Faserpräparation und -ausrüstung sowie Wirtschaftlichkeitsaspekte erörtert.

After introducing yarns, their properties are discussed, in particular fibre wrappings - a characteristic feature, above all, of long staple yarns. Finally, the effect of fibre treatments and finishings as well as economic aspects are dealt with.

Für das Rotorspinnen gibt es eine Einflußgröße, der besondere Beachtung geschenkt werden muß, will man das gewünschte Endprodukt erzielen: die Stapellänge der Fasern.

Die richtige Wahl der Stapellänge unter Berücksichtigung der Faserstärke ist mitentscheidend für Erfolg oder Mißerfolg des Spinnens. Dieses Verhältnis, auch als „Schlankheitsgrad der Fasern“ bezeichnet, beeinflusst den Garncharakter.

1. Garncharakter

a) Das Aussehen des Gams kann beispielsweise glatt oder haarig, gleichmäßig odn ungleichmäßig sein.

Es ist zu beachten, daß die Uster-Ungleichmäßigkeit hierfür nur ein ungenügender Maßstab ist, da sie lediglich Masseschwankungen wiedergibt, nicht jedoch Durchmesserdifferenzen, wie sie durch die bekannten charakteristischen „Bauchbinden“ der Rotorgame hervorgerufen werden können.

Je gröber die gesponnene Garnnummer ist, desto wichtiger ist es daher, die Beurteilung der Gleichmäßigkeit durch Uster-Wert u n d Schautafelbild vorzunehmen.

b) Das Volumen des Gams bestimmt die Deckkraft im Fertigartikel und damit erheblich die Wirtschaftlichkeit der nachfolgenden Verarbeitungsprozesse, wie Weben, Stricken oder Tuften.

Gleichzeitig wird dadurch auch der Farbstoffverbrauch bei Garn- oder Stückfärbung beeinflusst.

Die gewünschte Farbtiefe kann bei höherem Garnvolumen mit einem größeren Flottenverhältnis, das heißt mit geringerem Farbstoffeinsatz, erzielt werden.

Maßstab für die Beurteilung und Einführung eines neuen Spinnverfahrens ist aber nicht das erzeugte Gam allein, sondern ob es mit guter Wirtschaftlichkeit zu einer verkaufsfähigen Produktqualität führt.

2. Produktqualität

a) Als ein wesentlicher Nachteil der Rotorgame aus Kurz- bzw. aus Langstapel wurde lange Zeit die geringere Reißfestigkeit gegenüber der von Ringgarnen angesehen, von der man annahm, sie würde zu Verarbeitungsschwierigkeiten und schlechteren Gebrauchseigenschaften der Fertigware führen. Diese Befürchtung hat sich jedoch nicht bewahrheitet, da einerseits die geringere Bruchlast durch eine höhere Dehnung kompensiert wird, woraus in der Fertigware ein vergleichbares Arbeitsvermögen resultiert, andererseits allein entscheidend ist, daß die Garnfestigkeit (z.B. für den Schußeintrag beim Weben oder zum Vertuften) ausreicht.

Sie stimmen sicher mit mir in der Feststellung überein, daß es z.B. für die Gebrauchseigenschaften eines Veloursteppichs völlig unerheblich ist, welche Bruchlast das eingesetzte Garn ursprünglich gehabt hat.

Bester Beweis für die vorteilhafte Einsetzbarkeit der Rotorgame sind mehrere Tausend produzierende Rotorspinnmaschinen, deren Game nicht zuletzt wegen des geringeren Variationskoeffizienten der Festigkeitswerte gegenüber Ringgarnen zu einem erhöhten Wirkungsgrad beim Weben und Tuften führen.

b) Die Bauchbinden sind ein Charakteristikum der Rotorgame; besonders bei Langstapelgarnen bestimmt ihre Häufigkeit oft die Verwendbarkeit für verschiedene Fertigartikel (Abb. 1).

Bei Rauhidecken beispielsweise kann ein ungleichmäßiges Anrauen und damit eine unakzeptable Deckenoberfläche, bei Tufting-Schlingenware ein Herauslösen von Bauchbinden aus dem Fasewerband und damit eine flu-sige Oberfläche und Faserbartbildung die Folge sein. Bei Velours können sie das Öffnen der Faserbüschel nach



Abb. 1: „Bauchbinde“ bei Rotorgarn (Stereoscan-Aufnahme)

* Vortrag, gehalten anlässlich der „Journées d'Etude sur la Filature Open-End“ des Institut Textile de France am 12.12.1974

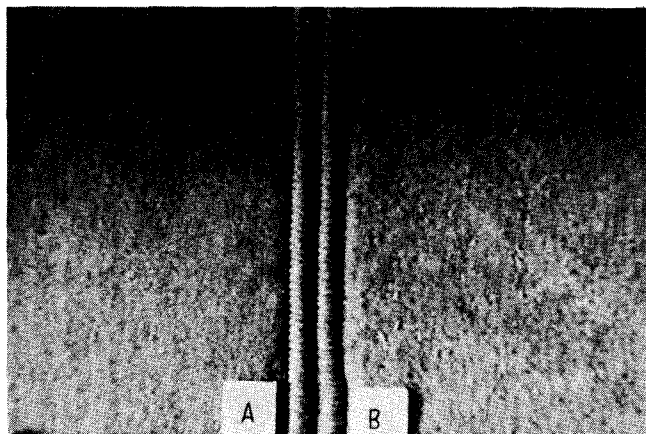


Abb. 2: Bauchbindenhäufigkeit in Abhängigkeit von der Faserlänge (Garn: Nm 3; Faserlänge: A = 80 mm, B = 120 mm)

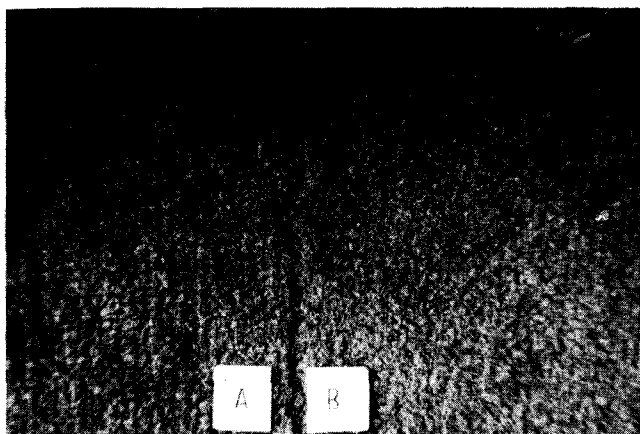


Abb. 3: Vergleich von Tuftingvelours aus Rotorgarn (A) und Halbkammgarn (B)

dem Schnitt verhindern und ein stippiges Warenbild ergeben.

Die Häufigkeit der Bauchbinden ist von dem Verhältnis der Stapellänge zum Rotorumfang abhängig: *je kürzer die Faserlänge bei gleichbleibendem Rotordurchmesser, desto weniger Bauchbinden.*

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel aus einer umfangreichen Versuchsreihe, die gemeinsam mit Enka Glanzstoff durchgeführt wurde und bewiesen hat, daß sich z.B. bei einer PA-Faser, 20 dtex, unter sonst gleichen Spinnbedingungen mit einer schrittweisen Verminderung der Faserlänge um 20 mm (von 120 auf 80 mm) jeweils eine Halbierung der Bauchbindenzahl pro Flächeneinheit im Tuftingvelours erzielen läßt.

Allerdings waren wir auch mit der Ware aus 80 mm Stapel noch nicht voll zufrieden. Den Durchbruch erzielten wir erst, nachdem es gelungen war, zusätzlich eine wesentliche Verminderung der Bauchbindenzahl zu erreichen, ohne das Verhältnis von Stapellänge zu Rotordurchmesser zu verändern.

Die von uns eingesetzte Spinnereinheit mit Faserführungskanal, auch als tangenciales oder biaxiales System bekannt, bot auf Grund der räumlichen Trennung von Auflösung- und Spinnaggregat die Möglichkeit der unabhängigen Optimierung eines jeden Teils der Spinnereinheit.

In Verbindung mit der kontrollierten Speisung der Fasern in den Rotor durch den sich verjüngenden Faserführungskanal ergeben sich sehr bauchbindenarme Garne niedriger Drehung.

Anlässlich der INTERCARPET 74 gab Professor E g b e r s neueste Forschungs- und Prüfergebnisse der Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Textiltechnik, Reutlingen, und der Firma Schubert & Salzer, Ingolstadt, sowie weiteren Beteiligten bekannt, die auf diesen Voraussetzungen basierten. Es wurde der Beweis erbracht, daß Rotorgarne aus Fasern mit kürzerer Stapellänge als die von Ringgarnen bisher gewohnten 150 bis 200 mm für Veloursteppiche erfolgreich eingesetzt wer-

den können bzw. Voraussetzung für eine gute Produktqualität sind.

Abbildung 3 zeigt einen Velours aus Perlonfaser, 17 dtex, 80 mm, Rotorgarn Nm 3, neben einer handelsüblichen Ware aus Perlonfaser, 20 dtex, 150 mm, HKG Nm 3, beide einfach vertuftet.

Ein Unterschied im Aussehen ist nicht festzustellen, und die Prüfung der Gebrauchseigenschaften ergab gleichgute Werte.

Welche Möglichkeiten gibt es, die Zahl der Bauchbinden im Garn quantitativ zu bestimmen?

Bisher wurden folgende Verfahren angewandt:

- Eine Vielzahl kurzer Garnstücke wird in eine Klemmvorrichtung eingespannt, die Fadenenden werden auf gleiche Länge geschnitten und die Faserbüschel ausgekämmt.

Der Faserbart über dem Faserbüschel wird abgeschnitten und zusammen mit den ausgekämmten Faserenden gewogen. Der Nachteil dieser Methode ist, daß in diesem Gewicht neben echten Bauchbinden auch lose Faserstücke enthalten sind, wie sie bei jedem Schnitt eines Garnes entstehen.

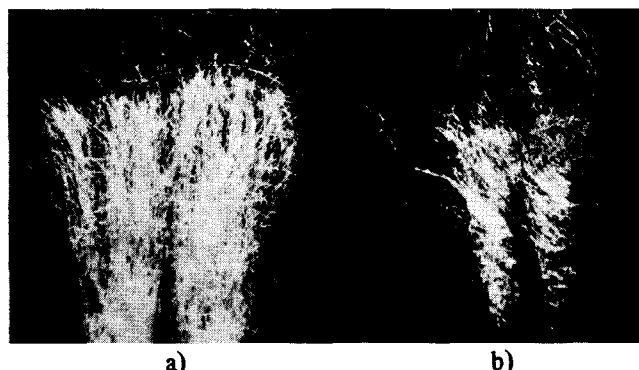


Abb. 4: Bestimmen der Bauchbindenzahl durch gravimetrische Methode

a) geringe Bauchbindenzahl b) hohe Bauchbindenzahl

Der Vorteil liegt jedoch darin, daß z.B. für einen Velours eine direkte Aussage über den zu erwartenden Abfall sowie über die Flusigkeit möglich ist.

Ein Garn mit geringer Bauchbindenzahl zeigt Abbildung 4a, ein solches mit vielen Bauchbinden Abbildung 4b.

- Natürlich können die Bauchbinden auch gezählt werden; aber dazu benötigt man eine klare Definition, was als Bauchbinde zu zählen ist und was nicht (z.B. mit Hilfe von Vergleichsstandards, die bis heute noch fehlen). Außerdem hängt das Ergebnis – wie jede subjektive Prüfung – von der jeweiligen Prüfperson ab.
- Eine sehr gute Lösung zur Erfassung der Bauchbindenhäufigkeit ist die Bestimmung der Restfestigkeit des Garns, obwohl dies eine indirekte Methode ist. Je mehr Bauchbinden ein Garn aufweist, desto schlechter läßt es sich aufdrehen. Aus diesem Grunde ist die Bestimmung der Drehungshöhe bei Rotorgarnen häufig sehr ungenau oder sogar unmöglich.

Bei dieser Methode wird zuerst die Originalfestigkeit des Rotorgarns gemessen, dann wird es auf seine theoretische Nulldrehung zurückgedreht und die Restfestigkeit bestimmt.

Je geringer der Festigkeitsabfall gegenüber der Originalfestigkeit war, desto weniger hat sich das Garn aufdrehen lassen und desto mehr Bauchbinden enthielt dieses.

In Abbildung 5 werden zwei extreme Beispiele gezeigt. Bei dem Garn, dessen Werte durch die beiden linken Säulen dargestellt sind, ist die Restfestigkeit

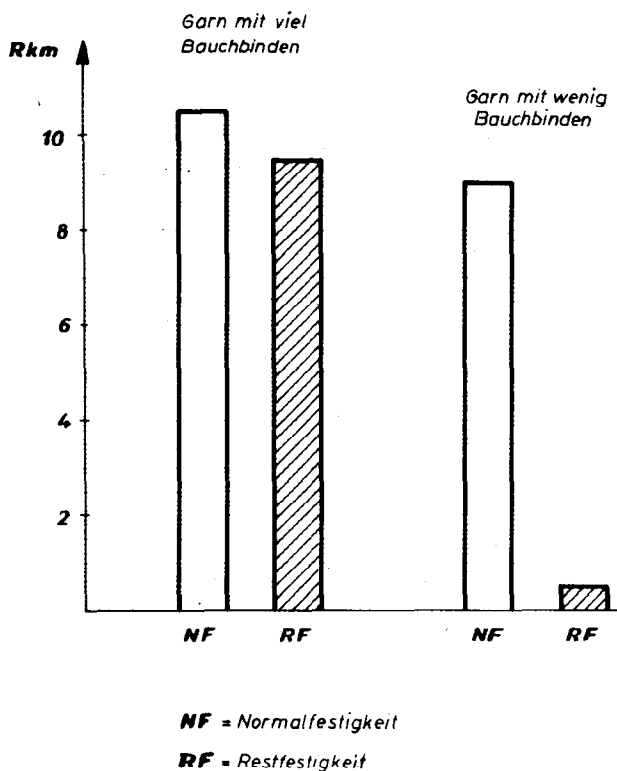


Abb. 5: Bestimmen der Bauchbindenzahl durch vergleichende Festigkeitsprüfung

praktisch gleich der Originalfestigkeit, während sie bei dem anderen nur noch einen Bruchteil ausmacht; das heißt, dieses Garn hat nur sehr wenige Bauchbinden.

Die visuelle Beurteilung der Garne bestätigt dieses Ergebnis eindeutig (Abb. 6).



Abb. 6: Mikroskopbilder der Garne, deren Reißfestigkeitswerte in Abbildung 5 wiedergegeben sind

- c) Die Drehungshöhe muß bei gegebenem Rotorumfang bei längeren Fasern größer gewählt werden als bei kürzeren, weil die Bauchbindenfasern zunächst vom Fadenanfang im Rotor nachgeschleppt werden, bis sie vollständig um den Umfang des Fadens gewunden sind. Sie wirken in der Art eines Schleppankers, und dieser zusätzliche Widerstand muß durch ein erhöhtes Drehmoment überwunden werden.

Diese Tatsache steht im direkten Gegensatz zu den Verhältnissen beim Ringspinnen, bei dem längere Fasern eine niedrigere Drehung, ein größeres Volumen und eine höhere Lieferung bedeuten.

Ein niedriger Drehungsbeiwert wird für die meisten Fertigartikel angestrebt, um in

- d) Griff und Ästhetik dem Wunsch des Konsumenten nach möglichst „textiler Ware“ zu entsprechen.

Um das Ziel marktgerechter Produkte zu erreichen, sollten die Überlegungen immer beim Fertigartikel beginnen. Man wählt die Fasern anhand der hierfür bekannten Forderungen aus und legt zugleich die optimale Technologie der Spinnereivorbereitung und des Rotorspinnens fest.

Auf Grund des Spinnverfahrens unterscheiden sich Rotorgarne in ihrer Struktur meist deutlich von Ringgarnen.

Nur wenn man Rotorgarne nicht als direkt vergleichbaren Ringgarnersatz ansieht, kann man aus der breiten Palette der Einsatzmöglichkeiten ein Produktprogramm entwickeln, das dem speziellen Markt gerecht wird.

- e) Die Faserpräparation bestimmt - abgesehen vom Warenausfall - in besonderem Maße die Spinnfähigkeit der Fasern.

Hauptkriterien sind die Faser/Faser- und die Faser/Metallreibung.

Bei der Langstapelverspinnung werden die Fasern z.B. von 0,1 m/sec am Einlauf auf 30 m/sec auf der Auflösewalze und auf 140 m/sec im Rotor beschleunigt.

Die Verhältnisse von Haft- und Gleitreibung müssen so gewählt werden, daß einerseits genügend Rückhalt im Vorlageband besteht, um mit der Auflösewalze Einzelfasern auskämmen zu können, und andererseits Stapelschädigungen vermieden werden.

Gleichzeitig muß ein leichter Transport der Fasern von der Auflösewalze in den Faserführungs kanal sowie ein Abzug des Garns aus dem Rotor mit niedriger Drehung gewährleistet sein.

Damit sind aber noch nicht sämtliche Forderungen an eine geeignete Avivage für das Rotorspinnen definiert. Sie muß in einem Temperaturbereich von ca. 50 bis 90°C, wie er beim Rotorspinnen auftreten kann, in ihren Eigenschaften stabil sein.

Diese zum Teil gegensätzlichen Forderungen sind jede für sich kaum erfüllbar. Es müssen daher Kompromißlösungen gewählt werden.

Die meisten Chemiefaser- und Avivagehersteller haben bereits Präparationen entwickelt, die ein störungsfreies Rotorspinnen der Fasern ermöglichen und damit den Weg zu einem guten Fertigartikel öffnen. Da sich diese Fasern auch auf Ringspinnmaschinen einwandfrei verarbeiten lassen, entfällt in der Spinnerei die Notwendigkeit einer doppelten Lagerhaltung.

Darüberhinaus darf die Präparation durch den Spinnvorgang nicht abgerieben werden, weil sonst unerwünschte Ablagerungen auf der Auflösewalzengarnitur und im Rotor die Folge wären.

f) Die Ausrüstung bestimmt sehr wesentlich die Produktqualität der Fertigware.

Grundsätzlich sind sämtliche der bisher üblichen Verfahren auch für Artikel aus Rotorgarnen anwendbar. Will man jedoch den Anwendungsbereich dieser neuartigen Produkte nicht von vornherein einschränken, dann muß man dazu bereit sein, die gewohnten Verarbeitungsprozesse kritisch zu überdenken und sie gegebenenfalls entsprechend modifizieren.

Zur Verdeutlichung einige praktische Beispiele:

- Rohwaren benötigen zur Erzielung der gleichen Rauhintensität weniger Rauhpasagen. Die Rauhsstärke der Anfangspasagen soll niedriger sein. Der Einsprung beim Rauhen ist 10 bis 15 % geringer.
- Die Farbaffinität ist größer.
- Die Farbbrillanz und die Konturschärfe bei Druckware ist besser.
- Bei Velours ist oft eine zusätzliche Bürstpassage vorteilhaft.
- Hochbauschgarne sollten mit kürzerer Stapellänge

und einem höheren Prozentsatz Schrupffasern gesponnen werden.

- Die Faserpräparation muß unter den bereits erwähnten Gesichtspunkten ausgewählt werden.
- Ein höherer Prozentsatz an Weichmachern kann erforderlich sein.

3. Wirtschaftlichkeit

Es ist eine Vielzahl von Veröffentlichungen erschienen, in denen die Wirtschaftlichkeit des Rotorspinnens behandelt worden ist. In diesem Zusammenhang wird immer wieder die Frage aufgeworfen: *Welche Rotordrehzahlen werden zukünftig erreicht?*

Überlegungen hierüber sollten jedoch immer im Zusammenhang mit der Liefergeschwindigkeit angestellt werden, denn dies ist die Größe, die die Produktivität am meisten beeinflußt.

Abbildung 7 ist zu entnehmen, daß für ein Langstapelgarn Nm 3 eine Reduzierung des Drehungsbeiwerts von α m 110 auf α m 86 eine Erhöhung der Liefergeschwindigkeit von 116 auf 150 m/min bedeutet.

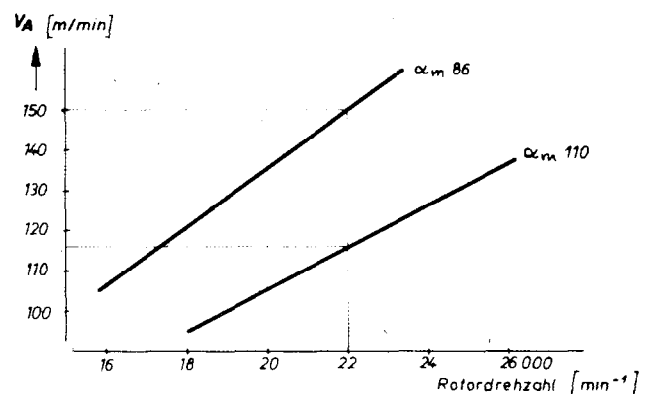


Abb. 7: Liefergeschwindigkeit des Rotorgarnes Nm 3 in Abhängigkeit vom Drehungsbeiwert

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, Metallspritzten von Zink, Aluminium und Aluminiumlegierungen, kathodischer Korrosionsschutz, Klimatisierung zur Trockenlegung von schwitzwasserfeuchten Anlageteilen.

A-4021 LINZ/DONAU, BISCHOFSTRASSE 5
Tel. 07222/22 101, 22 102, 28 174; FS 02 1469
Postfach 202, Telegrammadresse: Höhnel KG Linz
Korrosionsschutzwerk: Linz, Zamenhofstraße 41

Der Erhöhung der Rotordrehzahl bei konstantem Rotordurchmesser sind Grenzen gesetzt. Das überproportionale Anwachsen der Fliehkraft bei steigender Rotordrehzahl ist in Abbildung 8 dargestellt.

Ein Schmutzteilchen in der Fasersammelrinne von z.B. 0,2 mg übt bei einer Rotordrehzahl von 60.000 U/min die 100.000fache Kraft seines Eigengewichts (in diesem Fall 20 g) auf die Rotorwand aus. Bereits bei 85.000 U/min verdoppelt sich die Massekraft auf das 200.000fache des Eigengewichts. Ohne Zweifel kann hierdurch der Spinnprozeß empfindlich gestört werden.

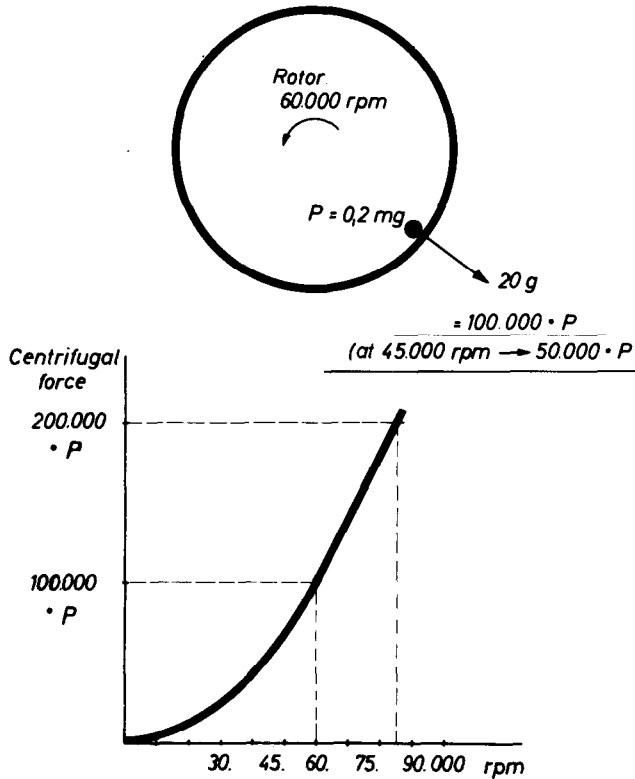


Abb. 8: Zentrifugalkraft in der Rotorrinne in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl

Darüberhinaus ist zu bedenken, daß der Kraftbedarf mit der 2,5ten Potenz der Drehzahl und mit der 3,8ten Potenz des Rotordurchmessers steigt.

Auf Grund dieser gegebenen Verhältnisse wird deutlich, warum manche Konstrukteure versuchen, den Rotordurchmesser möglichst klein zu halten. Dies bedeutet allerdings in jedem Fall eine beträchtliche Einschränkung der einsetzbaren Stapellängen und damit der Produktpalette.

Auf einen weiteren wesentlichen Einfluß der Rotordrehzahl hat Kirschner hingewiesen. Die in Abbildung 9 dargestellte Erfolgsquote beim Anspinnen in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl zeigt, daß bei 45.000 U/min im Mittel noch eine Erfolgsquote von 90 % erreicht wird, die bei 60.000 U/min nur noch ca. 50 % beträgt.

Die Schraffur gibt an, daß es sich um einen Bereich handelt, und nicht um einen jeweils exakten Wert.

Auch diese Untersuchung zeigt deutlich, daß bei Rotor-

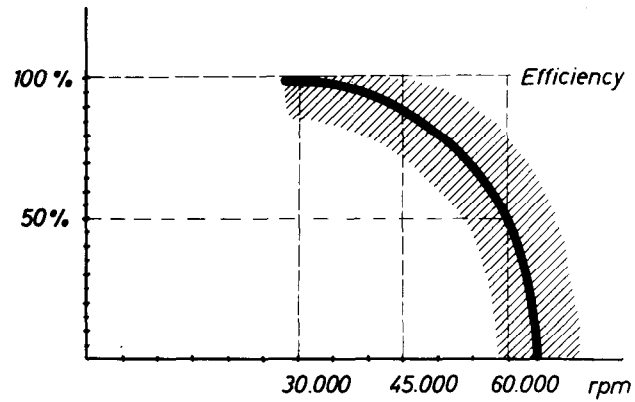


Abb. 9: Erfolgsquote des Anspinnens in Abhängigkeit von der Rotordrehzahl

drehzahlen über 60.000 U/min die Grenze der Spinnbarkeit sehr schnell erreicht wird.

Die beiden im Beispiel genannten Parameter sind mit weiteren Einflußgrößen in Abbildung 10 zusammengefaßt und geben den praktikablen Spinnbereich an.

Es ist erkennbar, daß mit zunehmender Rotordrehzahl eine sehr rapide Einschränkung des Spinnbereichs einhergeht, das heißt, daß die Zahl der möglichen Produkte kleiner wird. Mit anderen Worten ausgedrückt, bedeutet dies: *Um im Bereich der Spitze dieser „Nase“ noch erfolgreich spinnen zu können, ist eine besonders sorgfältige Auswahl der Faserstoffe und äußerste Optimierung sämtlicher Faktoren der Technologie des Rotorspinnens erforderlich.*

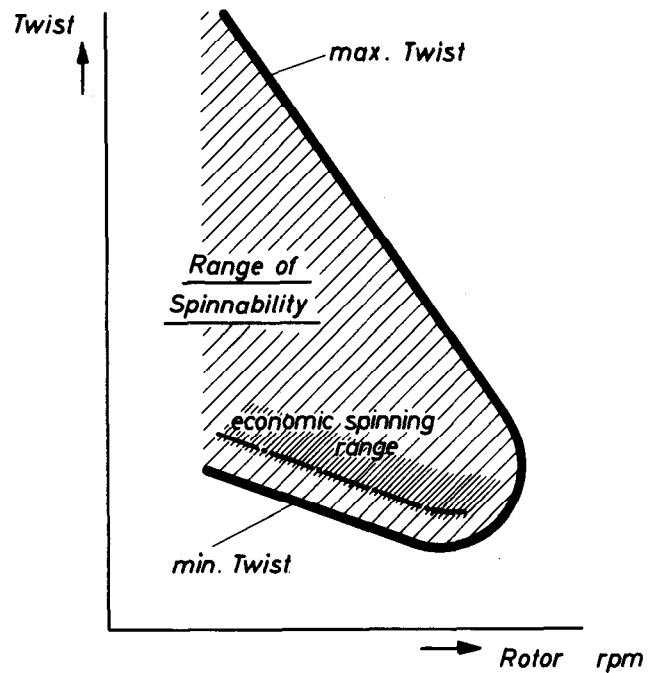


Abb. 10: Spannweite des praktikablen Spinnbereichs

4. Zusammenfassung

Die neuartige Technologie des Rotorspinnens bietet einerseits höhere Produktivität, das heißt Wirtschaftlichkeit, andererseits ist ein intensives Beschäftigen mit den sich erge-

benden neuen Problemstellungen und deren Lösung erforderlich.

Ohne Zweifel ist der Anwendungsbereich der Rotorgarne bis heute sehr erfolgreich Schritt für Schritt ausgeweitet worden. Es bedarf aber auch weiterhin der gemeinsamen Arbeit von Maschinenbauer, Faserhersteller, Spinner und Fertigwarenerzeuger, um die Möglichkeiten des Rotorspinnens voll nutzen zu können.

Der künftige Weg zur Produktivitätssteigerung sollte nicht allein in der Erhöhung der Rotordrehzahl gesehen werden. Die Möglichkeiten zur Senkung des Drehungsbeiwertes bei hohen Rotordrehzahlen sollten genauso genutzt werden, wie durch Optimierung des Spinnprozesses Garne zu erzeugen, die ohne Umspulen weiterverarbeitet werden können.

Um dieses Ziel erreichen zu können, benötigt man Rotorspinner, die vielseitig genug sind, um die Möglichkeit zu bie-

ten, Garne mit größter Wirtschaftlichkeit und guter Produktqualität für den jeweiligen speziellen Markt zu erzeugen.

Literatur:

- 1) G. Egbers: „Herstellung von Teppichgarnen nach dem Open-End-Spinnverfahren“; Vortrag auf der INTERCARPET 74 am 25. 4. 1974
- 2) E. Kirschner: „Untersuchungen zur Frage der Leistungssteigerung beim OE-Rotor-Spinnverfahren“; Vortrag auf der Fachtagung VDI Textiltechnik am 8.11.1974 in München
- 3) H. Landwehrkamp: „Technologische und wirtschaftliche Aspekte der OE-Verspinnung von Langstapel“; Vortrag auf der Tagung des Deutschen Wollforschungsinstituts an der RWTH, Aachen, am 3. 10. 1974
- 4) A. Keller und A.J. Schildknecht: „Die Verarbeitung von Chemiefasern auf Offen-End-Spinnmaschinen“; Neue Zürcher Zeitung vom 2. Juli 1969, Beilage Technik

Trevira ist, wenn...

... Sie nicht nur eine Faser,
sondern eine Service-Faser erhalten.

- Forschung
- Anwendungstechnik
- Beratung
- Qualitätsüberwachung
- Absatzförderung
- Publikumswerbung



Hoechst Austria AG
1071 Wien, Lindengasse 55

Die Organisation des Investitionsprozesses als Instrument entscheidungsorientierter Unternehmensführung unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in der chemischen Industrie (Teil 1)

Mag. Dr. Willibald G i r k i n g e r, Kundl – Lenzing

Herrn Professor Dr. H.F. M a r k anlässlich seines 80. Geburtstages gewidmet.

Für die Praxis kann die Problematik des unternehmerischen Investitionsentscheides nur durch Analyse und Gestaltung der mehrstufigen Entscheidungsprozesse – von der Erfassung der Investitionsbedürfnisse bis zum Abschluß ihrer Realisierung und Nachkontrolle – bewältigt werden. Im Sinne einer systemtheoretischen Betrachtung des Unternehmens und entsprechend den weitverzweigten Auswirkungen einer Investitionsentscheidung muß dieser Investitionsprozeß als organisatorischer Regelkreis im Hinblick auf eine integrierte Unternehmensplanung und -steuerung organisiert werden.

Da Entscheidungen über die Investierung von Kapital die zukünftigen Ziele des Unternehmens in hohem Maße beeinflussen, muß hierfür ein System geschaffen werden, das den Entscheidungsträgern Handlungsweisen aufzeigt, die die Erfüllung dieser angestrebten Ziele ermöglichen (entscheidungsorientierter Charakter des Investitionssystems).

Der 2. Teil dieser Arbeit, der allerdings erst im Frühjahrsheft 1976 erscheinen wird, stellt eine Möglichkeit für die praktische Anwendung dieses Investitionsprozesses im Rahmen eines entscheidungsorientierten Systems dar, das folgende Abläufe umfaßt:

a) den Prozeß der Entscheidungsfindung

- Erstellung eines längerfristigen Investitionsplans,
- Festlegung eines kürzerfristigen Investitionsbudgets,
- Ablauf von Einzelprojektplanung und -entscheidung (Projektantragsmethodik, -prüfung, -beurteilung und -entscheidung);

b) den Prozeß der Entscheidungsdurchführung

- Investitionsdurchführung sowie deren Kontrolle (Investitionsbudgetkontrolle),
- Projektabschluß und Ergebniskontrolle (Einzelprojektnachkontrolle).

For practical application the problem of a decision about investments can be mastered only by analysis and formation of the multiple-stage decision processes – from recognition of investment needs to completion of their realization and subsequent checking. As a theoretical consideration of the enterprise and according to the manifold effects of an investment decision, this investment process must be organized as a control loop of organization in view of integrated planning and control of an enterprise.

As decisions about the investment of capital greatly influence the future objectives of the enterprise, a system must be created that demonstrates to the decision-makers certain actions that enable fulfilment of these objectives (decision-orientated character of investment system).

The 2nd part of this work, which will, however, not appear until the spring edition of 1976, represents an approach to practical application of this investment process in a decision-orientated system comprising the following stages:

a) the process of finding a decision

- setting up a long-term investment plan,
- determination of a short-term investment budget,
- sequence of individual project planning and project decision (method, control, assessment and decision about proposed projects).

b) the process of realizing a decision

- realization of investments and their control (investment budget control),
- completion of a project and checking of results (subsequent control of project).

1. Die Bedeutung der Investitionspolitik für die Unternehmenssteuerung

1.1 Die Investitionsproblematik und deren Bedeutung

Es steht heute außer Zweifel, daß der Investitionsentscheid zu den wichtigsten Problemen der Unternehmenspolitik gehört. Diese Tatsachen haben einerseits konjunktur- und wachstumstheoretische Erkenntnisse der Volkswirtschaftslehre gezeigt, die einen bedeutenden Einfluß der Investitionstätigkeit auf die Entwicklung einer Volkswirtschaft nachgewiesen haben.

Andererseits ist jedem Entscheidungsträger (Unternehmer oder Manager) bewußt, daß seine Investitionsentscheidungen zumeist eine langfristige Festlegung von finanziellen Mitteln bedeuten, die den Erfolg, ja häufig sogar den Bestand des betreffenden Unternehmens entscheidend mitbestimmen.

Aus diesem Grunde haben sich schon immer Theorie und Praxis der Betriebswirtschaftslehre mit diesem Problemkreis eingehend beschäftigt. Dabei hat sich ein breites Spektrum der Betrachtungsweise und Methodik der damit verbundenen Problembewältigung herausgebildet und – was für praktische Investitionsentscheidungen von Bedeutung ist – ein nicht unbedeutender Wandel in der Gewichtung dieser Faktoren. Es setzt sich heute in Praxis und Theorie immer mehr die Auffassung durch, daß man der tatsächlichen Problematik des unternehmerischen Investitionsentscheides weder mit dem berühmten „Fingerspitzengefühl“ eines Entscheidungsträgers noch mit komplizierten mathematischen Modellkonstruktionen im Rahmen eines rechnerischen Vergleichs von Alternativen des Investitionsbudgets oder der Investitionsprojekte in vollem Umfang gerecht wird. Vielmehr sei es zu deren Bewältigung notwendig, die ganze Gestaltung der mehrstufigen Entscheidungsprozesse von der Erfassung der Investitionsbedürfnisse bis zum Abschluß ihrer Realisierung und deren Nachkontrolle zu erfassen und zu analysieren.

Diese Analyse darf sich im Sinne einer systemtheoretischen Betrachtung des Unternehmens nicht isoliert auf den Investitionsprozeß beziehen, sondern muß – entsprechend den weitverzweigten Auswirkungen einer Investitionsentscheidung – im Hinblick auf eine *integrierte Unternehmensplanung und -steuerung* vorgenommen werden.

1.2 Die Investitionsplanung als Teilbereich einer integrierten Unternehmensplanung

Da die Instabilität (bedingt durch den Wettbewerb, den technischen Fortschritt, die Veränderungen des Verbraucherverhaltens usw.) des Marktes normalerweise keinen störungsfreien Ablauf der betrieblichen Vorgänge erlaubt, sind die Unternehmen mehr und mehr bemüht, sich eine Ordnung zu schaffen, in der ein möglichst gleichmäßiger und reibungsloser Arbeitsablauf gewährleistet ist¹.

Das Grundproblem der Unternehmensplanung liegt also in einer zunehmend besseren Beherrschbarkeit arbeitsteiliger Ziel-Mittel-Entscheidungsprozesse zur bestmöglichen nachhaltigen Sicherung der Ertragsfähigkeit eines Unternehmens.

Das bedeutet für die praktische Unternehmenspolitik zweierlei:

- erstens die systematische Erarbeitung konkreter und fundierter kurz-, mittel- und langfristiger Unternehmensziele, die mit möglichst übersehbaren Risiken und besten Chancen verbunden sind (*Zielplanung*), und
- zweitens die systematische Erarbeitung aller für die Realisierung des gesamten Zielsystems notwendigen konkreten (operationalen) Ausführungsschritte, um die Erreichung der Ziele so kontrollierbar wie möglich zu machen (*Ausführungsplanung*).

Die Aufgabenstellung der Unternehmensplanung muß demnach ihrem sachlichen Umfang umfassend und in ihrer zeitlichen Dimension weitreichend betrachtet werden.

Dem umfassenden Charakter der Unternehmensplanung entsprechend muß das Planungssystem alle betrieblichen Teilgebiete erfassen sowie die einzelnen Funktionsbereiche und bestehenden Abrechnungskreise im Sinne einer integrativen und wechselseitigen Abhängigkeit zielgerichtet zusammenfassen.

Diese Integration der Einzelpläne ist in der betrieblichen Praxis weitgehend noch nicht gelungen und hat zu einer Eigendynamik der einzelnen Unternehmensteilbereiche geführt. Der Gefahr dieser Eigendynamik ist insbesondere die Investitionsplanung ausgesetzt.

Wesentlich für sie ist jedoch gerade der Umstand, daß sie ein integratives Planungsproblem umfaßt, das sich dadurch auszeichnet, daß die Investierungsbedürfnisse grundsätzlich mit den Anforderungen anderer Teilplanungen (wie z.B. der Absatz- und Produktionsplanung) in Einklang gebracht werden sollten. Allerdings hat auch eine Absatz- und Produktionsplanung bereits jene Kapazitätsstufen zu berücksichtigen, wie sie aus einer Investitionsgrobplanung abzuleiten sind.

Voraussetzung für eine systematische Investitionsplanung ist daher eine entsprechende simultane Planung in den wichtigsten betrieblichen Teilbereichen. Wo keine genügend konkrete Zielplanung existiert, übernimmt die Investitionsplanung wegen ihres mittel- bis langfristigen Charakters manche Funktionen einer solchen.

Die nachfolgende Abbildung 1 soll zeigen, daß die Investitionsplanung bloß ein Element eines umfassenden Systems der Unternehmensplanung darstellt, und weiters die wechsel-

seitigen Abhängigkeiten der wichtigsten Einzelpläne in diesem System hervorheben².

Da im Rahmen dieser Thematik auf Probleme und Details eines solchen systematischen Gesamtplanungsprozesses nicht eingegangen werden kann, soll in der Folge ausschließlich das Investitionssystem als sehr wesentlicher Teilbereich jedes Unternehmens – im Bewußtsein der Interdependenz mit anderen betrieblichen Teilbereichen – betrachtet werden.

Die Besonderheit der Investitionsplanung in der chemischen Industrie liegt – wie an späterer Stelle noch aufgezeigt werden soll – in der stärkeren Beachtung und Einbeziehung ökologischer Komponenten mit ihren technischen und finanz- bzw. rentabilitätsmäßigen Auswirkungen.

1.3 Der Investitionsbegriff und die einzelnen Investitionsarten

1.3.1 Abgrenzungsmöglichkeiten des Investitionsbegriffes

Der Investitionsbegriff wird in der betriebswirtschaftlichen Literatur weder dem Inhalt (Intension) noch dem Umfang (Extension) nach einheitlich verwendet. Grundsätzlich kann jedoch ein weiterer und ein engerer Investitionsbegriff unterschieden werden.

a) Der weitere Investitionsbegriff

Dieser geht davon aus, daß grundsätzlich jede Umwandlung der durch Finanzierung erworbenen oder aus Umsätzen stammenden flüssigen Mittel in das Anlage- und Umlaufvermögen eines Unternehmens als eine Investition angesehen werden muß.

Diese Definition ergibt sich insbesondere aus der Betrachtungsweise der Struktur einer Bilanz.

Dabei kann zwischen einer statischen und einer dynamischen Betrachtungsweise der Bilanz entschieden werden. Die statische Betrachtungsweise informiert zu einem bestimmten Zeitpunkt über

<p>AKTIVA</p> <p>INVESTIERUNG</p> <p>in Anlagevermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sachanlagen - immaterielle Anlagen - Beteiligungen <p>in Umlaufvermögen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Warenvorräte - Kundenforderungen - flüssige Mittel - sonstige Forderungen 	<p>u n d</p> <p>o d e r</p> <p>u n d</p>	<p>PASSIVA</p> <p>FINANZIERUNG</p> <p>mit Eigenkapital:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grundkapital - Reserven - Gewinn <p>mit Fremdkapital:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Darlehensschulden - Lieferantenschulden - Bankschulden - sonstige Verpflichtungen
---	--	--

Bei der dynamischen Betrachtungsweise der Bilanz, die für eine finanzwirtschaftliche Unternehmenssteuerung von besonderer Bedeutung ist, wird die Bewegung, das heißt die Veränderung von Aktiven und Passiven, zwischen Anfang und Schluß einer Periode betrachtet.

Im Hinblick auf den Mittelfluß sprechen wir dabei von

MITTELVERWENDUNG

(bei Zunahme von Aktiven bzw. Abnahme von Passiven) und von

MITTELHERKUNFT

(bei Abnahme von Aktiven bzw. Zunahme von Passiven).

Dabei wird deutlich, daß jede Zunahme im Anlage- bzw. im Umlaufvermögen eine Mittelverwendung darstellt, die finanziert werden muß.

Für den Entscheidungsträger stellt sich also mit jeder Investitionsentscheidung gleichzeitig die Frage nach der Herkunft der Mittel. Er kann beispielsweise auf die vorhandenen flüssigen Mittel zurückgreifen bzw. zu diesem Zweck bestehende Anlagen im Rahmen einer *Desinvestition* vorher „verflüssigen“ (Abnahme der Aktiven) oder Kredite bei Lieferanten oder bei Banken aufnehmen (Zunahme von Passiven mit Hilfe verschiedener *Finanzierungsformen*).

Umgekehrt führt eine Reduktion des Umlaufvermögens (z.B. Warenvorräte, Debitoren) zu frei werdenden Mitteln im Sinne einer Mittelherkunft, die dann zum Beispiel für die Rückzahlung von Schulden (Kapitalabfluß) oder für Investitionen in das Anlagevermögen verwendet werden können (Mittelverwendung).*

Zusammenfassend kann im Hinblick auf den weiteren Investitionsbegriff folgendes gesagt werden:

- Grundsätzlich versteht man unter Investition die Verwendung finanzieller Mittel – und unter Finanzierung deren Beschaffung.
- Beide Begriffe stehen in engem Zusammenhang, denn jeder Investitionsplan ist ohne Bedeutung, wenn die

* Unter dem Aspekt der finanzwirtschaftlichen Unternehmensplanung und -steuerung erscheint in diesem Zusammenhang insbesondere die Frage nach der Veränderung der flüssigen Mittel eines Unternehmens interessant.

Unter Ergänzung der Veränderung der Aktiven (ohne flüssige Mittel) und der Passiven (ohne Reserven und Rückstellungen mit Reservecharakter) durch die nicht ausgabenwirksamen Kosten (Abschreibungen und Bildung/Auflösung von Rückstellungen mit Reservecharakter) kann folgende Rechnung aufgestellt werden:

- + **Mittelherkunft**
- Reingewinn
- + Abschreibungen und Bildung/Auflösung von Rückstellungen mit Reservecharakter
- = **cash flow**
- + Zunahme von Schulden
- + Abnahme von Vorräten/Forderungen
- + Zunahme von Grundkapital
- **Mittelverwendung**
- Investitionen in Anlagen
- Zunahme von Vorräten/Forderungen
- Abnahme (Rückzahlung) von Schulden
- = **Veränderung der flüssigen Mittel**

Vor jeder bedeutsamen Investitionsentscheidung müssen die Auswirkungen auf diesen Saldo kritisch geprüft werden, was zu einer sachnotwendigen Verknüpfung von Investitions- und Finanzplanung bzw. von Rentabilitäts- und Liquiditätsproblematik führt.

geplante Investition nicht finanziert werden kann, bzw. ist die Beschaffung finanzieller Mittel für ein Unternehmen ohne praktischen Wert, wenn für sie keine ertragbringende Verwendung gefunden wird.

- Nicht jede Verwendung finanzieller Mittel ist eine Investition, bzw. nicht jede Beschaffung von Mitteln hat eine Investition zur Folge.*
- Aus der Sicht der Bilanz betrachtet, zeigt sich im Vermögensbereich (Aktivseite, Positionen des Anlage- und Umlaufvermögens), welche Verwendung die beschafften Mittel gefunden haben. Die vermögensmäßigen Gegenwerte des beschafften Kapitals erscheinen in der Bilanz entweder als Zahlungsmittel (z.B. Bank, Kasse) oder – nachdem sie zur Durchführung des Betriebsprozesses investiert wurden – als Investitionsobjekte (z.B. Gebäude, Maschinen).

Im Kapitalbereich (Passivseite) zeigt sich Ausmaß und Art der Kapitalbeschaffung, das heißt welche Kapitalbeträge und in welcher rechtlichen Form (Eigenkapital, Fremdkapital) diese dem Unternehmen zur Nutzung überlassen worden sind.

b) Der engere Investitionsbegriff

In der betriebswirtschaftlichen Praxis und für die Behandlung der in dieser Arbeit vorangestellten Thematik wird jedoch eine viel engere Interpretation des Investitionsbegriffs zugrunde gelegt, die sich nicht zuletzt auch an die Intentionen des Steuerrechts und der Steuergesetzgebung anlehnt.

Danach bedeutet eine Investition die Beschaffung von Betriebsmitteln, die zum Anlagevermögen des Unternehmens zählen und aktivierungspflichtig sind. Die Aktivierung ist geboten, wenn Wirtschaftsgüter gegen Aufwendungen erworben worden sind und einen über die Dauer des einzelnen Steuerabschnittes hinausreichenden Wert für das Unternehmen besitzen.**

Im Sinne dieser Interpretation wird das Ausscheiden eines Betriebsmittels aus dem Anlagevermögen eines Unternehmens als *Desinvestition* bezeichnet. Dieses Ausscheiden geschieht jedoch zumeist nicht plötzlich, sondern kontinuierlich durch laufende Minderung des

* Wenn z.B. ein Unternehmen bei Liquiditätsschwierigkeiten wegen Nichteingang fälliger Forderungen einen kurzfristigen Kredit zur Zahlung von fälligen Lieferantenverbindlichkeiten aufnimmt, so ist das eine Kapitalbeschaffung, die das Investitionsvolumen nicht beeinflusst.

Finanzierung ist außerdem nicht in jedem Falle identisch mit Geldbeschaffung, sondern ist Kapitalbeschaffung in allen Formen (Geld- und Sachkapital).

Es ist für den Finanzierungsbegriff beispielsweise ohne Belang, wenn eine Aktiengesellschaft eine Kapitalerhöhung durch Ausgabe junger Aktien vornimmt und die Übernehmer dieser Aktien als Gegenwert Sacheinlagen (Gebäude, Maschinen) zur Verfügung stellen. Finanzierung und Investition erfolgen dann als *einheitlicher Vorgang*.

** Siehe nächste Seite!

Nutzungswertes, der sich in den einzelnen Abschreibungsquoten des Investitionsobjektes niederschlägt.

1.3.2 Einteilungskriterien der Investitionsarten

Unserem engeren Investitionsbegriff folgend, soll in bezug auf *Sachinvestitionen* im wesentlichen zwischen

- Errichtungs- (Erst-)investitionen,
- Erweiterungsinvestitionen,
- Ersatz- (Erhaltungs-)investitionen,
- Rationalisierungsinvestitionen und
- (obligaten Investitionen)

unterschieden werden.*

Bei einer Errichtungs- (Erst-)investition kann zu ihrer Beurteilung kein Vergleichsobjekt aus der Vergangenheit herangezogen werden.

Als Erweiterungsinvestition wird eine Investition bezeichnet, die in Erwartung einer Absatzerhöhung zur Erweiterung des Betriebsmittelbestandes durch ein zusätzliches Betriebsmittel vorgenommen wird.

Bei einer Ersatz- (Erhaltungs-)investition wird ein vorhandenes Betriebsmittel durch ein anderes gleichartiges ersetzt. Durch den technischen Fortschritt hat jedoch dieser Ersatz zumeist zur Folge, daß mit dem Kauf in der Regel eine Verbesserung des Leistungsvermögens der neuen Anlage verbunden ist, sodaß reine Ersatzinvestitionen heute praktisch nur noch in Form von aktivierungspflichtigen Generalüberholungen von Anlagen vorkommen.

Von Rationalisierungsinvestitionen spricht man dann, wenn ein Betriebsmittel mit dem Ziel der Kostensenkung durch ein anderes wirtschaftlicher einsetzbares substituiert wird.

In der Praxis häufig vorkommende Investitionsarten sind

* Wird der unter 1.3.1 analysierte weitere Investitionsbegriff zugrundegelegt, so kann darüberhinaus noch zwischen Finanzinvestitionen (z.B. Erwerb von Forderungs- und Beteiligungsrechten) und immateriellen Investitionen (z.B. Werbeinvestitionen) unterschieden werden.

** Dies betrifft alle Herstellungsaufwände, die nach § 29 des Umsatzsteuergesetzes 1972, BGBl. Nr. 223/1972 (Mehrwertsteuergesetz), für die Jahre 1973 bis 1977 der „Steuer für den Selbstverbrauch“ (Investitionssteuer) unterliegen.

Der Steuertatbestand des Selbstverbrauches liegt vor, wenn

- ein körperlich abnutzbares Anlagegut,
- dessen Anschaffungs- oder Herstellungskosten nach Einkommenssteuerrechtlichen Vorschriften zu aktivieren sind,
- in den Jahren 1973 bis 1977
- im Inland
- der Verwendung oder Nutzung als Anlagegut zugeführt wird.

Als Investitionen gelten demnach nicht Reparaturen oder Ersatzbeschaffungen, die im Sinne der Einkommenssteuerrechtlichen Vorschriften als Erhaltungsaufwand sofort als Betriebsausgabe abgesetzt werden können.

die *kombinierte* Ersatz- und Rationalisierungsinvestition bzw. die Erweiterungs- und Rationalisierungsinvestition.

Speziell in der chemischen Industrie werden die Entscheidungsträger zunehmend mit einer Art von Investitionen konfrontiert, die man in die obigen Arten nicht problemlos einreihen kann, soweit das Unternehmen bei der Investitionsentscheidung hinsichtlich deren Durchführung keine freie Wahl hat, sondern von den Behörden bzw. vom Gesetzgeber dazu gezwungen wird (sogenannte obligatorische Investitionen). Dazu zählen die Umweltschutz- und Arbeitnehmerschutzinvestitionen, bei denen sich für die Entscheidungsträger primär die Frage nach der Art und Weise ihrer Realisierung und Finanzierung und erst in einem abgeleiteten Sinne die nach ihrer Rentabilität stellt. Es muß allerdings betont werden, daß manche Umweltschutzinvestitionen sich auch aus Unternehmenszielen ableiten – sei es, daß sich solche im Sinne einer richtig erkannten öffentlichen Verantwortung ergeben haben oder man behördlichen Vorschriften zuvorkommen will, um dem Unternehmen einen größeren Handlungsspielraum bzw. ein günstiges Image zu sichern.

1.4 Der entscheidungsorientierte Charakter der Investitionspolitik

1.4.1 Die Investition als Gegenstand unternehmerischer Entscheidungen

a) Die Bedeutung der Investitionsentscheidung

Entscheidungen stellen den Abschluß von Wahlhandlungen zwischen Zielen und/oder Mitteln, die zur Erreichung bestimmter Ziele eingesetzt werden können, dar.

Bezeichnet man als Mittel-Entscheidungen jene Kategorie nichtautonomer Entscheidungen, die von der Zielfunktion bzw. dem Zielsystem des Unternehmens abhängig sind, so müssen die Investitionsentscheidungen als Mittel-Entscheidungen qualifiziert werden. Danach ist die Investitionsentscheidung ein Vorgang der Willensbildung im Hinblick auf Kapitalbildung und Kapitalverwendung, durch den aus systematisch formulierten Investitionsalternativen anhand eines oder mehrerer Kriterien bewußt und überlegt ausgewählt wird.

Über diese allgemeine Formulierung hinaus wird sie jedoch stets mehreren Anforderungen genügen müssen. Dazu zählt zum Beispiel die Entscheidung über das Gesamtinvestitionsvolumen, über die Verteilung der verfügbaren Mittel auf die verschiedenen Investitionsprojekte, ferner die Abstimmung zwischen Investition und Finanzierung (Höhe, Bindungsdauer und Verfügbarkeitsdauer des Kapitals), sowie die Angabe über den zeitlichen Ablauf der Investition (Investitionszeitpunkt und -zeitraum).

Die Entscheidungen über die Investierung von Kapital beeinflussen in hohem Maße die Rentabilität wie die Stabilität des Unternehmens, das heißt seine zukünftige Ertragskraft und Anpassungsfähigkeit an wechselnde Marktlagen. Die mit einer solchen Entscheidung eintretende langfristige Wirkung der Investition, die damit einhergehende Erstarrung der Kostenstruktur sowie die zumeist bestehende Knappheit des zur Verfügung stehen-

den Kapitals machen die Investitionsentscheidung zu einer echten *Führungsentscheidung*.*

Beachtet man die enorme Bedeutung für Bestand und Fortentwicklung eines Unternehmens, so zeigt es sich, daß diese Führungsentscheidung nur für bestimmte Abläufe im Investitionsprozeß bzw. bis zu einer gewissen Einzelprojektgröße delegierbar ist.

Die Höhe des Investitionsvolumens richtet sich dabei in erster Linie nach der allgemeinen Liquiditätslage des Unternehmens unter Berücksichtigung der zukünftigen Möglichkeiten der Kapitalbereitstellung und nach der prognostizierten oder der geplanten Umsatz- und Ergebnisentwicklung in den einzelnen Bereichen wie im Gesamtunternehmen.**

Die Delegation bezüglich der Höhe des Investitionsbetrages wird zumeist in irgendeiner Budgetform vorgenommen, sodaß bestimmte Bereiche innerhalb eines vorgesehenen Rahmens autonome Investitionsentscheidungen treffen können.

b) *Voraussetzungen zutreffender Investitionsentscheidungen*

Zutreffende Investitionsentscheidungen sind nicht ausschließlich von der Richtigkeit einer Wirtschaftlichkeits- oder Investitionsrechnung abhängig, sondern müssen darüberhinaus verschiedene Voraussetzungen erfüllen:

○ *Zukunftsorientierte Beurteilung von Investitionsvorhaben*

Da Investitionsvorhaben eine Kapitalbindung für die Zukunft bedeuten, kann ihre Zweckmäßigkeit nur auf Grund der erwarteten zukünftigen Entwicklung beurteilt werden. Deshalb hat das aus dem bestehenden Rechnungswesen aufzubereitende Zahlenmaterial für eine Investitionsrechnung entscheidende Bedeutung. Diese Aufbereitung oder Ableitung besteht in der Erstellung einer Prognoserechnung, die über die traditionellen Aufgaben des Rechnungswesens (Kontrolle, Kalkulation, Dokumentation) hinausgeht.

○ *Berücksichtigung finanzwirtschaftlicher Gesichtspunkte*

Da die Investitionsentscheidung primär ein finanzwirtschaftliches Problem des Kapitaleinsatzes und erst in zweiter Linie ein technisches Problem der Sach-

- * – Wegen der langfristigen Wirkung realisierter Investitionen können Fehlinvestitionen in vielen Fällen nicht oder nur unter finanziellen Verlusten korrigiert werden.
- Die durch Investitionen verursachten fixen Kosten bewirken eine Erstarrung der Kostenstruktur gegenüber Beschäftigungsschwankungen und verlagern die Nutzschwelle (*break-even-point*) auf eine größere Beschäftigung.
- Wenn die angestrebten Verwendungsmöglichkeiten die vorhandenen Finanzmittel übersteigen, ziehen Fehlinvestitionen schwerwiegende Folgen nach sich, die nicht mehr korrigiert werden können.

** Siehe hierzu Abbildung 1 und die dort dargestellten Abhängigkeiten von Investitions-, Ergebnis- und Bilanzplanung.)

anlagenwirtschaft ist (vorausgesetzt, daß es mindestens eine brauchbare technische Lösung für das Investitionsproblem gibt), muß die wirtschaftliche Zweckmäßigkeit – insbesondere die Verzinsung und Sicherung des Kapitaleinsatzes – über die Kapitalverwendung entscheiden.*

○ *Gesamtbetriebliche Betrachtung der Investitionsentscheidung*

Da die Entscheidung für einen Kapitaleinsatz gleichzeitig den Verzicht auf eine anderweitige Kapitalverwendung bedeutet, sind zutreffende Investitionsentscheidungen nur durch Vergleich des alternativen Kapitaleinsatzes möglich. Deshalb müssen sämtliche Investitionsvorschläge der einzelnen Betriebsbereiche nach vergleichbaren Kriterien beurteilt und in einem gesamtbetrieblichen Investitionsplan oder -budget zusammengefaßt und koordiniert werden.

○ *Einzeluntersuchung von Kapitalanlagen*

Diese stellt eine Voraussetzung für den Vergleich der alternativen Kapitalverwendungen dar. Im Idealfall sollten die Einzeluntersuchungen der Kapitalverwendungen und die Investitionsentscheidung bezüglich alternativer Kapitalanlagen (unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Investitionsuntersuchung) zu einem optimalen Investitionsprogramm oder -budget koordiniert werden können.

○ *Erfassung des Investitionsrisikos*

Die Untersuchung der wertbestimmenden Faktoren der einzelnen Kapitalanlage darf sich nicht auf die Ermittlung der Rentabilität des Kapitaleinsatzes beschränken, sondern muß die Beurteilung des Risikos der Kapitalverwendung einschließen. Das bedeutet ein Abwägen von Gewinnchance und Verlustgefahr der alternativen Kapitalverwendungen.

1.4.2 Investitionsentscheidung und Investitionssystem

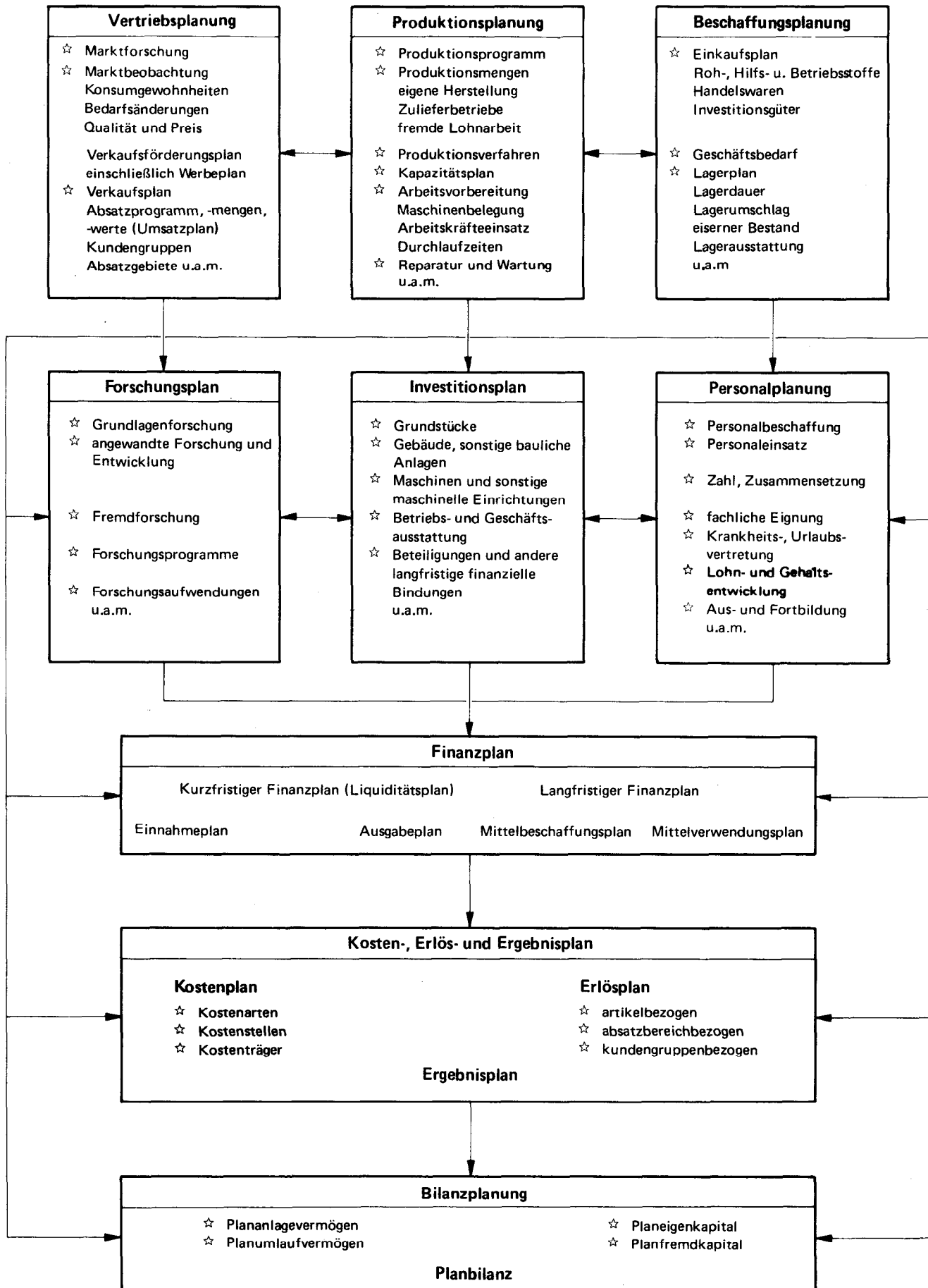
Der Investitionsprozeß umfaßt viele Entscheidungsstände, die für die Entwicklung eines Unternehmens von Bedeutung sind.

Um der Bedeutung der Investitionsentscheidungen gerecht zu werden, muß ein Investitionssystem** den Entscheidungs-

* Wenn auch die technische Leistungsfähigkeit einer Anlage die Basis der Anlagenbeurteilung ist, stellt sie doch keinen ausreichenden Maßstab für die Disposition des Kapitaleinsatzes dar. Wenn dieser Aspekt bei Investitionsentscheidungen vernachlässigt wird, besteht die Gefahr, daß die Sachanlagenwirtschaft nach technischer Perfektion strebt und der Forderung nach rationaler Kapitalverwendung unter Umständen nicht entspricht.

** Unter einem Investitionssystem soll ein aufeinander abgestimmtes System von Weisungen, Richtlinien und Methoden verstanden werden, anhand dessen man den mehrstufigen Entscheidungsprozeß von der Erfassung der Investitionsbedürfnisse bis zum Abschluß ihrer Realisierung und Kontrolle (Investitionsprozeß) konkretisieren kann.

Abb. 1: Wesentliche Teilbereiche der Unternehmensplanung



trägern Handlungsweisen aufzeigen, die eine Erfüllung der angestrebten Ziele ermöglichen (entscheidungsorientierter Charakter des Investitionssystems).

Diese Gestaltungsfunktion des Investitionsprozesses hat dazu geführt, daß von Theorie und Praxis Entscheidungsmodelle entwickelt wurden, die sich auf ein solches betriebswirtschaftliches Entscheidungsfeld als Ausschnitt der betrieblichen Wirklichkeit beziehen. Dabei wird dieses Entscheidungsfeld als ein theoretischer Begriff verstanden, der alle durch Entscheidungen beeinflussbaren Tatbestände eines Investitionsprozesses, die hierbei möglichen Alternativen, die beeinflussbaren Gegebenheiten, aber auch die Gesetzmäßigkeiten, die die Konsequenzen dieser Alternativen bestimmen, umfaßt³.

Die Gestaltung dieses Entscheidungsfeldes setzt eine beschreibende Analyse der darin enthaltenen Tatbestände und Zusammenhänge voraus. Dies geschieht dadurch, daß der Investitionsprozeß möglichst wirklichkeitsnah in einem Investitionssystem abgebildet wird, dessen Anforderungen noch detailliert besprochen werden. Das Kernproblem dieser Abbildung scheint in der wirklichkeitsnahen Erfassung von Struktur und Ablauf des eigentlichen Investitionsentscheidungsprozesses zu liegen, der von Menschen in Gang gesetzt, getragen und abgeschlossen wird, die internen wie externen Einflußfaktoren ausgesetzt sind sowie eigene Intentionen einfließen lassen, die man aber weder dem Umfang noch dem Inhalt nach vollständig fassen kann.

1.4.3 Zielsetzungen eines Investitionssystems

Unter der Annahme, daß einem Unternehmen nicht unbeschränkte Finanzierungsmittel zur Verfügung stehen, soll ein Investitionssystem folgenden Zielsetzungen entsprechen:

- Es soll gewährleisten, daß die dem Unternehmen verfügbaren finanziellen Mittel möglichst wirkungsvoll und für die Erreichung der Unternehmensziele (technische, wirtschaftliche, soziale) optimal eingesetzt werden.

Damit dieses System diese Aufgabe erfüllen kann, muß

es alle wesentlichen Aspekte des Investitionsentscheidungsprozesses berücksichtigen. Somit umfaßt es die Analyse, Konkretisierung und Detaillierung der Unternehmensziele im Hinblick auf die Investitionspolitik (Strategie), die Suche, das Erkennen, die Planung und Analyse, die Empfehlung, die Auswahl und Bewilligung von Projektalternativen, ferner die Realisierung, den Betrieb und die Kontrolle der einzelnen Investitionsprojekte.

- Das System muß alle unter Punkt 1.3.2 angeführten Investitionsarten umfassen und deren Bewertung ermöglichen.
- Das System soll ein kreatives Betriebsklima begünstigen, das das Erkennen von Investitionsmöglichkeiten und optimalen Projektalternativen auf allen Ebenen der Hierarchie stimuliert.
- Das System soll eine weitgehende Dezentralisierung des Investitionsprozesses ermöglichen, damit die Initiative und Kreativität der Beteiligten gefördert wird, das Sachwissen sowie spezifische Kenntnisse und Erfahrungen der Mitarbeiter nutzbringend berücksichtigt werden können, eine rationelle Arbeitsweise gesichert ist und die Motivation des Personals durch Verbesserung ihrer Erfahrungen und Kenntnisse über gesamtbetriebliche Zusammenhänge gesteigert wird.
- Das System soll so aussagefähige Informationen wie möglich mit möglichst geringem bürokratischem Aufwand erzielen.

Den mit der Investitionsentscheidung befaßten Instanzen soll das System jene Grundlage bieten, durch die sie die jeweilige Investition im Sinne einer mittel- oder langfristigen Unternehmensplanung besser und schneller beurteilen können. Andererseits sollte das System so einfach wie möglich sein, damit es von den Beteiligten übereinstimmend verstanden, akzeptiert und korrekt angewandt werden kann. Das bedeutet, daß die

Abb. 2: Die Aufgaben des dispositiven Faktors als Kreismodell

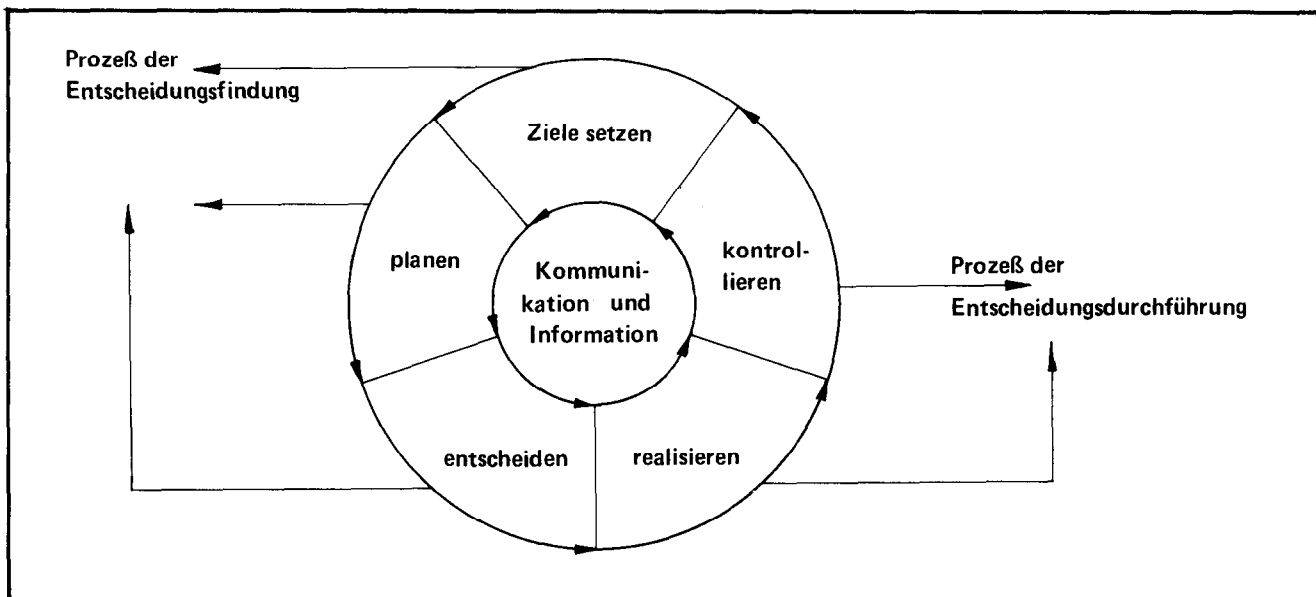
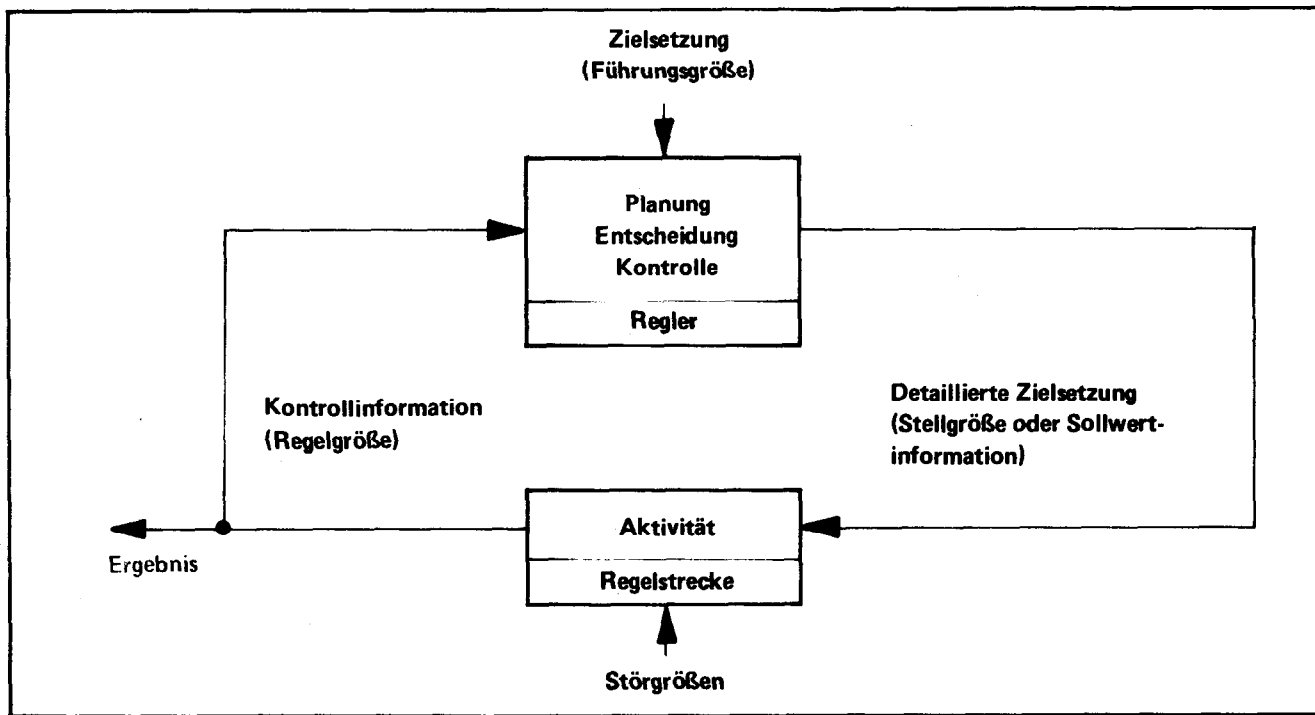


Abb. 3: Der Investitionsprozeß als organisatorischer Regelkreis



Anwendung solcher Techniken mit möglichst wenig Zeit und Anstrengung verbunden sein sollte.

- Nicht zuletzt sollte das System die Entwicklung eines wirkungsvollen Kontrollsystems ermöglichen, damit die notwendigen Daten zur Überwachung und Steuerung des Betriebsablaufes mit einem Minimum an Kosten und Aufwand bereitgestellt werden können.

1.4.4 Der Investitionsprozeß als Kreisprozeß

Wir haben schon festgestellt, daß Investitionsentscheidungen echte Führungsentscheidungen sind, die sich auf die Grundfunktionen des dispositiven Faktors beziehen.*

In diesem Sinne kann der Investitionsprozeß als Kreismodell dargestellt werden, der im wesentlichen fünf Phasen umfaßt und die Aufgaben des dispositiven Faktors im Unternehmen widerspiegelt (siehe Abbildung 2):⁴

- Ziele setzen,
- planen,
- entscheiden,
- realisieren,
- kontrollieren.

Wegen wirksamer Interdependenzen und Rückkoppelungen

* Alle Tätigkeiten der Führungsspitze werden gewöhnlich als leitende (dispositive) Arbeit bezeichnet, und die Gesamtheit aller Führungsorgane als dispositiver Faktor. Kennzeichen einer echten Führungsentscheidung ist, daß sie ein hohes Maß an Bedeutung für die Vermögens- und Ertragslage des Unternehmens besitzt, auf das Ganze des Unternehmens gerichtet ist und an untergeordnete Stellen nicht oder nur teilweise übertragbar ist.

besteht zwischen den Grundfunktionen des dispositiven Faktors nicht immer die vorgenannte Abfolge. Dies kann am besten veranschaulicht werden, indem man den Investitionsprozeß als zielgerichtetes organisatorisches System im Sinne von Kybernetik und Systemtheorie bzw. als organisatorischen Regelkreis darstellt, durch den das Unternehmen hinsichtlich des bestehenden Zielsystems auf das Ziel hin ausgerichtet handeln kann (siehe Abbildung 3)⁵.

Da reine Steuerung** nur bei vollständiger Information über das zu beherrschende System möglich ist, bleibt diese Zielvorstellung in der betrieblichen Wirklichkeit eine Utopie.

Da in realen Betriebsabläufen – so auch beim Investitionsprozeß – stets Störgrößen existieren, deren Eintreffen und Ausmaß im voraus nicht bekannt sind, kann das System nur durch Regelung bzw. durch Anpassung beherrscht werden. Anpassung des organisatorischen Systems Unternehmung an ihre Umwelt (insbesondere an den Markt) vollzieht sich im Rahmen kollektiver Entscheidungsprozesse, durch die das Verhalten des Unternehmens bei internen und externen Änderungen zielgerichtet gesteuert werden soll. Solche Anpassungen an eine sich ständig ändernde Umwelt können über den Systemzweck (Zielsetzung), über die Systemelemente (Aktions- und Entscheidungsträger) und durch Veränderungen in den informellen und materiellen Beziehungen (Unternehmensstrukturen) erfolgen. Ihre Strategie zeigt sich im Prozeß der Zielbildung, der Art und Weise der Ungewißheits-

** Reine Steuerung bedeutet, daß das System Unternehmung gesteuert wird, indem das Ziel dem System von außen vorgegeben wird.

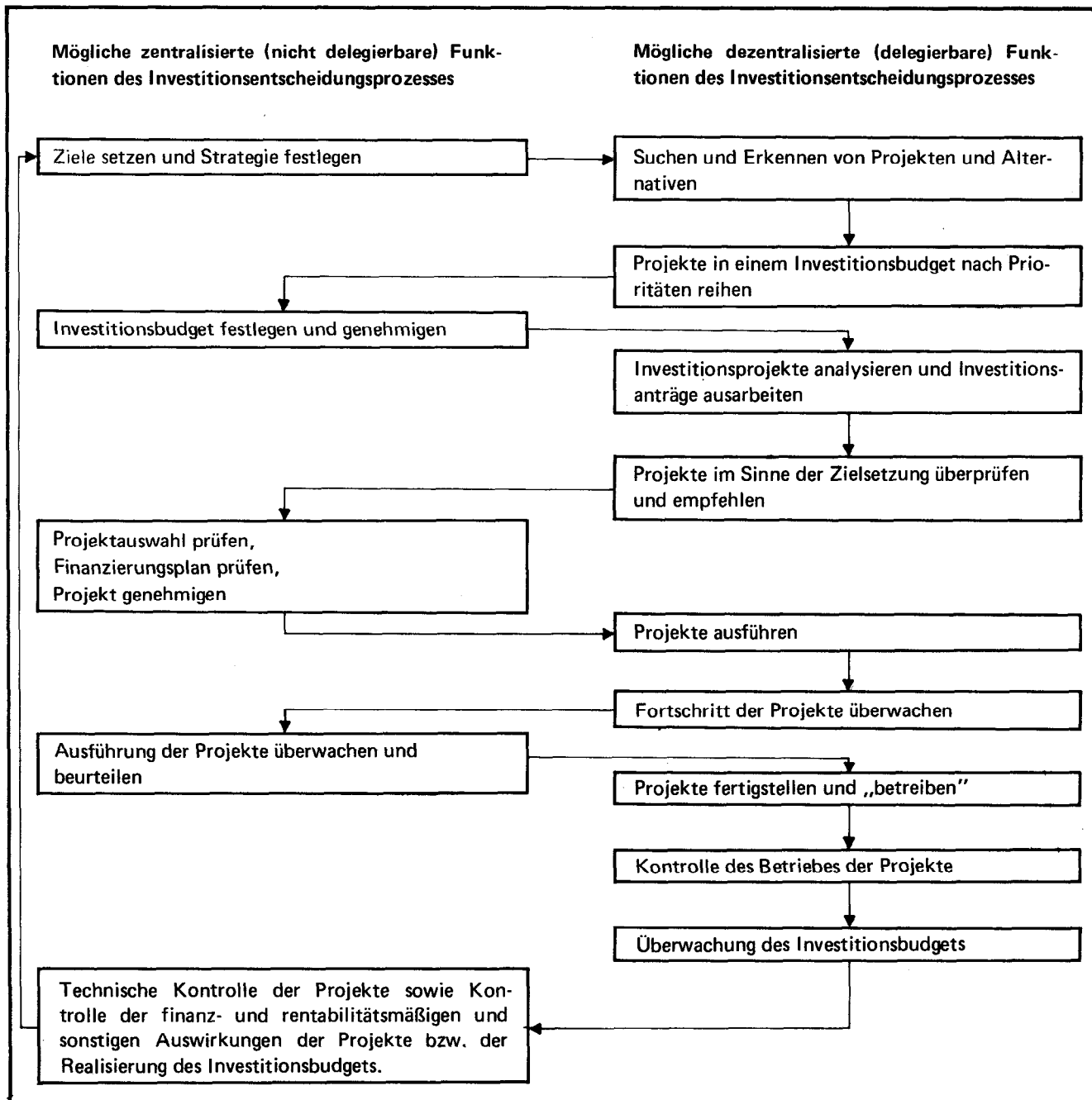
absorption, dem Suchverhalten bei der Problemlösung und dem Lernverhalten im Ablauf der Entscheidungsprozesse und beeinflusst damit entscheidend den Erfolg eines Unternehmens⁶.

Im Zusammenhang mit dem Investitionsprozeß wird beispielsweise dem System Unternehmung für ein bestimmtes Wirtschaftsjahr ein definiertes betriebswirtschaftliches Ergebnis vorgegeben (Führungsgröße). Auf Grund prognostizierter Absatzstruktur sowie Erfolgs- und Liquiditätsentwicklung wird dann von den Führungsinstanzen (Regler) über Entscheidungsprozesse ein zu verwirklichendes Investitionsbudget festgesetzt (detaillierte Zielsetzung, Stellgröße oder Sollwertinformation).

In der Realisationsphase werden dann die Einzelprojekte des Investitionsprogramms im Sinne der Stellgröße sukzessive verwirklicht (Regelstrecke). Dabei muß mit störenden Einflußfaktoren zeitlicher, qualitativer oder quantitativer Art gerechnet werden, die den Prozeß im Hinblick auf die Zielsetzung beeinflussen (Störgrößen).

Solche Störgrößen können zum Beispiel Marktveränderungen, Lieferverzögerungen, Finanzierungsschwierigkeiten oder Planungsrückstände sein. Deshalb muß das laufende Ergebnis dieses Prozesses (Entwicklung des Aktivierungsstandes) ständig kontrolliert werden, wobei man jeweils feststellt, ob die Steueranweisung im System auch tatsäch-

Abb. 4: Funktionen der Entscheidungsfindung und -durchführung bei Investitionen



lich zum gewollten Erfolg führt (Feststellung der Abweichung vom Ziel durch Kontrollinformation).

Danach erfolgt eine Rückmeldung des konstatierten Ergebnisses an die Steuerstellen (Rückkoppelung) und eine Anweisung bzw. Information an diese für weitere Steuerungsmaßnahmen (z.B. Reduzierung des Investitionsprogramms auf Ersatz- bzw. Rationalisierungsinvestitionen). Dieses Beispiel veranschaulicht, daß die Güte einer Entscheidung wesentlich durch die Adäquanz der zur Verfügung stehenden Informationen mitbestimmt wird, das heißt durch ihre Zahl, ihre Genauigkeit und ihre sachlich wie zeitlich nützliche Bereitstellung.

Die Gewinnung, Auswahl, Verarbeitung und Weitergabe von Informationen wird gerade bei Investitionsentscheidungsprozessen zu einem Hauptproblem jedes Unternehmens. Der Art der Organisation dieses Prozesses kommt deshalb für die Qualität der Unternehmenssteuerung eminente Bedeutung zu.

Die Bedeutung der Information für das zielorientierte Handeln des Systems Unternehmung darf jedoch nicht ausschließlich vom Teilsystem „Investitionsplan“ abgeleitet werden. Vielmehr muß dafür die stattfindende Kommunikation zwischen den Teilsystemen (Teilpläne) und mit der Umwelt (Märkte, Behörden, Öffentlichkeit usw.) berücksichtigt werden (siehe Abbildung 1).

Je bewußter diese Verknüpfung interdependenter Regelkreise betrachtet und berücksichtigt wird, desto besser kann die zielgerichtete Anpassung des Systems Unternehmung vorgenommen werden.*

1.4.5 Struktur und Ablauf des Investitionsentscheidungsprozesses im Rahmen eines Investitionssystems

Das grundlegende Phasenschema des Investitionsentscheidungsprozesses (siehe Abbildung 2) soll nun durch Aufgliederung innerhalb des Investitionsprozesses und den damit verbundenen Möglichkeiten und Problemen verfeinert dargestellt werden.

Um eine möglichst große Wirkung zu erzielen, sollten einige Funktionen des Phasenschemas auf dezentralisierter (Unternehmensbereiche bzw. Dienststellen), andere auf zentralisierter (Geschäftsleitung) Basis ausgeübt werden. In welcher

Form das geschieht, hängt von der Größe des Unternehmens sowie von der unternehmensspezifischen Aufbau- und Ablauforganisation ab. Um ein solches System in seiner Wirksamkeit zu erhöhen, werden in der betrieblichen Praxis zumeist Richtlinien und Formularentsätze entwickelt (z.B. das Verfahren bei einer Entscheidung über Investitionsanträge, Richtlinien für die Aufstellung von Investitionsanträgen u.a.). Zweck dieser Hilfsmittel ist es, Kriterien zu schaffen, nach denen der organisatorische Ablauf des Investitionsentscheidungsprozesses von der Investitionsidee bis zur Investitionskontrolle im gesamten Unternehmen auf eine den Zielen entsprechende Vergleichsbasis gestellt werden kann.

Die in Abbildung 4 dargestellten detaillierten Funktionsschritte sind weder in ihrer Art noch in ihrem Umfang für jedes Unternehmen einheitlich organisiert bzw. „bewußt gemacht“. In vielen Unternehmen gestattet das Verfahren auch – bei gewissen Projekten oder äußeren Bedingungen –, einen oder mehrere Funktionsschritte „kurzzuschließen“, um damit das gesteckte Ziel schneller erreichen zu können.

Wenn wir auf die Organisation des Investitionsentscheidungsprozesses, dessen Probleme und mögliche Strukturen näher eingehen wollen, dann halten wir uns an diese Art von Modellen, in denen die Entscheidungsfindung als Abfolge verschiedener Problemlösungsschritte sowie als Problemlösungsaufgabe im Sinne einer Informationsverarbeitung beschrieben wird.

Als Ansatz für die Analyse dieser Entscheidungsfindung dient dabei die Vorstellung, „daß der Entscheidungsprozeß in einer sachlich-genetischen Reihung von Operationen besteht, die keineswegs in einer invarianten Folge ablaufen müssen; es sind vielmehr Verzweigungen, Rückkoppelungen und Auslassungen von Operationen möglich“.⁷

Wie durch empirische Untersuchungen festgestellt wurde, lassen sich beim Phasentheorem für kollektive und individuelle Entscheidungen solche Operationen zwar nachweisen, nicht jedoch deren zwingende Aufeinanderfolge und eine daraus erwachsende Effizienz. Diesem mangelnden Erklärungswert kommt jedoch ein nicht zu unterschätzender Beschreibungswert insofern zu, als das Phasentheorem die sachlich notwendigen Operationen der Entscheidungsfindung darstellt, wie sie auch in der betrieblichen Realität auftreten.

Wenn auch durch die Entwicklung der Entscheidungsforschung, die ihren Ausgang bei der Untersuchung der Individualentscheidung nahm, bis jetzt keine geschlossene Erklärung des individuellen und kollektiven Entscheidungsverhaltens geliefert wurde, so kann dieses Modell doch als generelle Formalanalyse eines weitverzweigten Vorgangs dienen, der folgendes beinhaltet:

- Er bildet einen komplexen Informationsverarbeitungs- und Problemlösungsprozeß, in dem viele Suchoperationen auftreten.
- Die Entscheidungsfindung hat den Charakter eines Siebprozesses, da durch Teilentscheidungen eine fortlaufende Einengung des Entscheidungsfeldes herbeigeführt wird.

* Als Idealbild könnte man sich ein kybernetisches System vorstellen, das als ein das Gesamtunternehmen umfassendes Planungs-, Entscheidungs- und Kontrollsystem konzipiert ist. Dieses Konzept eines „Total-Management-Information-Systems“ bleibt eine erstrebenswerte Zielsetzung, die wahrscheinlich nur sehr langfristig und nur schrittweise erreichbar ist. Ansätze dazu liegen heute bereits in mehreren Unternehmen in Form von „Management-Informationssystemen“ in Verbindung mit Großdatenbanken und differenzierten EDV-Betriebssystemen (MIS) vor. Diese MIS als Sammlung von Methoden, Daten und Techniken zur systematischen Befriedigung subjektiver Informationsbedürfnisse in einem Unternehmen umfassen gegenwärtig jedoch noch bei weitem nicht die oben beschriebenen Teilsysteme und deren voneinander abhängige interne wie externe Kommunikationsstruktur.

- Der Entscheidungsfindungsprozeß ist ein Planungsprozeß, da gedanklich jeweils die Entscheidungsdurchführung antizipiert wird.
- Der Prozeß der Entscheidungsfindung ist ein Prozeß sozialer Einflußnahme, da vielfältige Möglichkeiten der Beeinflussung des Prozesses durch Personen und Interessen bestehen.
- Literatur:
- 1) Vgl. E. Gutenberg: „Planung im Betrieb“; Planungsrechnung und Rationalisierung, Wiesbaden 1953, S. 15
 - 2) Abbildung 1 in Anlehnung an das RKW-Merkblatt „Mehr planen – weniger improvisieren“. Hinweise für die Unternehmensplanung in Klein- und Mittelbetrieben; Der Schlüssel 5–6, 1972, S. 4
 - 3) Vgl. E. Heinen: „Einführung in die Betriebswirtschaftlehre“, 3. Auflage; Wiesbaden 1970, S. 23 f
 - 4) Vgl. G. Wöhe: „Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre“, 11. Auflage, München 1973, S. 111
 - 5) Zu diesem Denkansatz vergleiche insbesondere S. Beer: „Kybernetik und Management“, Hamburg 1963
Aus der Sicht eines Controlling-Systems vgl. dazu R. Mann: „Die Praxis des Controlling“, München o.J., S. 66 ff
 - 6) Vgl. E. Grochla: „Unternehmensorganisation“, Reinbeck 1972, S. 151 ff
 - 7) R.B. Schmidt: „Wirtschaftslehre der Unternehmung“, Stuttgart 1973, S. 83

W. J. ROHRBECK'S NF.

1052 WIEN – WEHRGASSE 18

TELEFON (0222) 575515

TELEX 011561

GEGR. 1865

- ◆ Apparate und Geräte für Labors der Industrie und Wissenschaft
- ◆ Feinchemikalien und Reagenzien der Fa. Merck
- ◆ Eigene Glasbläserei für chemische und technische Apparate
- ◆ Käfige und Zubehör zur Versuchstierhaltung
Spezial-Futtermittel und Versuchstiere
- ◆ Baustoffprüfgeräte, Normen-Siebsätze, Labormöbel

INSERENTENVERZEICHNIS

Seite

BASF Österreich Ges.m.b.H., 1131 Wien 13	19/20
Chemie Linz Aktiengesellschaft, 4021 Linz	31
Chemiefaser Lenzing AG, 4860 Lenzing	
Faserverkauf	54
SFA/SFM	39
Ebenseer Solvay-Werke, 1015 Wien	23
Ing. R. Hiebel KG, 1140 Wien	41
Hoechst Austria AG, 1071 Wien	47
Wilhelm Höhnel KG, 4021 Linz	45
Lindemann KG, D-4000 Düsseldorf	25
Ingenieure Mayreder, Kraus & Co., 4021 Linz	27
W. Neuber KG, Chemische Fabrik, 1060 Wien	33
Österreichische Chemische Werke Ges. m. b. H., 1150 Wien	33
W. J. Rohrbeck's Nachf., 1052 Wien	59
Semperit Aktiengesellschaft, 1041 Wien	11
Robert Streit, Büro – Organisation, 3300 Amstetten	18
Ing. Gottfried Tschamler, 1191 Wien	9

*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