

# LENZINGER BERICHTE

---

Folge 37

Mai 1974

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Der Entwicklungstrend bei Chemiefasern Dr. Wilhelm Albrecht, Wuppertal . . . . .	6
Röntgenuntersuchungen an Zellulosepfropffasern Dozent Dr. Hans Krässig und Dr. Josef Paul, Lenzing . . . . .	16
Über die Ermittlung von Kennwerten für das Dehnverhalten von Fasern und Fäden Professor Dr. habil. Johannes Juilfs, Hannover . . . . .	20
Veränderungen an tiefgefrorenen Viskosen Ing. Ove Lidbrandt und Dozent Dr. Erich Treiber, Stockholm . . . . .	26
Der Teppichboden - ein Bauelement Prof. Dipl.-Ing. Wilhelm Herzog, Mödling bei Wien . . . . .	28
Ein Beitrag zur elementaren Statistik Dipl.-Ing. Kurt Hofstätter, Lenzing . . . . .	39
Reiseeindrücke anlässlich eines China-Besuchs im Jahre 1972 (Auszug) Professor Dr. Hermann Mark, New York . . . . .	46
Die Leistungsfähigkeit einer projektbezogenen Matrixorganisation als Teil eines umfassenden betrieblichen Führungssystems Mag. Dr. Willibald Girkingner, Lenzing . . . . .	50
Eine neue Methode zur Bestimmung der Dichte von Festkörpern Dr. Hans Stabinger, Graz . . . . .	64
Geometrische Formen bei der Kleidung Prof. Lucie Hampel, Wien . . . . .	65
Inserentenverzeichnis . . . . .	75

## Herr Direktor Dr. Jürenus Harms scheidet aus dem Vorstand der Chemiefaser Lenzing AG

Herr Direktor Dr. Jürenus Harms vollendete am 9. November 1973 das 65. Lebensjahr und schied mit Wirkung vom 31. März 1974 aus seiner Position als Vorstandsmitglied der Chemiefaser Lenzing AG aus. Wir möchten ihm aus diesem Anlaß einige Worte des Abschieds widmen, besonders deshalb, weil die Entstehung der „Lenzinger Berichte“ wesentlich seinem Anstoß und seiner Initiative zu verdanken ist.

Herr Direktor Dr. Harms absolvierte an den Universitäten Göttingen und Greifswald sowie am Kaiser-Wilhelm-Institut in Berlin-Dahlem sein Studium der Chemie. Während langjähriger Assistententätigkeit ist er durch verschiedene Veröffentlichungen auf dem anorganischen, physikalisch-chemischen und kolloid-chemischen Gebiet hervorgetreten. Seine Tätigkeit in der Industrie begann Dr. Harms als Leiter des Betriebslaboratoriums und der Forschung der Süddeutschen Zellwolle AG in Kelheim. Er übernahm danach die Leitung der Forschung des Zellwolle- und Kunstseidenringes in Berlin, wobei ihm auch die Koordination des chemischen und des technischen Komitees der angeschlossenen Werke oblag.

Im Jahre 1944 trat Herr Direktor Dr. Harms als Produktionsleiter in die Chemiefaser Lenzing AG ein. Sein Verdienst ist es, daß die Chemiefaser Lenzing AG die Schwierigkeiten bei Kriegsende und jene der Nachkriegszeit überwand und der österreichischen Volkswirtschaft erhalten blieb. Im Jahre 1949 wurde Herr Direktor Dr. Harms in den Vorstand der Chemiefaser Lenzing AG berufen, und er übernahm die Leitung der Gesamtproduktion und der Forschungs- und Entwicklungsbemühungen. Diese Tätigkeit hat er, abgesehen von einer kurzen Unterbrechung in den Jahren 1955 bis 1960, mit der ihm eigenen Tatkraft und Initiative mit großem Erfolg ausgeübt.

Die Lebensarbeit Herrn Direktor Dr. Harms' war ganz der Viskosefaserindustrie gewidmet. Er ist ohne Zweifel einer der führenden Fachleute auf diesem immer noch sehr bedeutenden industriellen Gebiet. Seiner Fachkenntnis, seinem Ideenreichtum und seiner Einsatzfreude verdankt die Chemiefaser Lenzing AG, daß sie sich zu einem der bedeutendsten Chemiefaserwerke Europas entwickeln konnte und darüberhinaus in der ganzen Welt zu einem Begriff geworden ist. Auf seine Initiative geht die Entwicklung der mittelfesten Viskosespinnfasertypen, der sogenannten „Z-Faser“, der supergekräuselten Fasertypen Tapiflor® und vor allem die Entwicklung der eigenständigen Hochnaßmodulfaser Hochmodul 333® zurück. Im Hinblick auf die zuletzt genannte Type muß betont werden, daß Herr Direktor Dr. Harms die Vorzüge und die breitere Einsatzmöglichkeit der Hochnaßmodulfasern schon zu einer Zeit erkannte, als viele Fachleute noch den polynosischen Fasern den Vorzug gaben. Die spätere Entwicklung hat Herrn Direktor Dr. Harms recht gegeben, insbesondere, was die Einsatzmöglichkeit der Hochnaßmodultypen in Mischung mit den Synthefasern angeht.



Ein weiteres Verdienst Herrn Direktor Dr. Harms' liegt darin, die Chemiefaser Lenzing AG sowohl hinsichtlich des technischen Standes ihrer Produktionseinrichtungen als auch bezüglich des Produktionsvolumens und der Produktivität auf einen Stand gebracht zu haben, der die Chemiefaser Lenzing AG in das Spitzenfeld der Viskosespinnfasernerzeuger der Welt geführt hat. Seinen Anregungen und seiner Entschlußkraft ist es ferner zu danken, daß Lenzing neben der beachtlichen Erzeugung von Viskosespinnfasern in den letzten Jahren auch noch Erzeugungsstätten für Polyesterfasern (in Zusammenarbeit mit der Farbwerke Hoechst AG) und für Polyacrylnitrilfasern entstehen konnten.

Neben diesen Worten der Würdigung ist es unser Anliegen, Herrn Direktor Dr. Harms durch die Widmung dieses Heftes für eine interessante und erfolgreiche langjährige Zusammenarbeit zu danken, die noch auf Jahre hinaus weiter wirksam sein wird. Wir hoffen, daß er uns auch nach seinem Ausscheiden aus dem Vorstand weiter mit seinem Wissen und seinem Rat zur Verfügung stehen wird und uns fachlich und menschlich ein Ansporn bleibt.

H. Krässig

### Der Entwicklungstrend bei Chemiefasern\*

Dr. Wilhelm Albrecht  
 Textiltechnisches Institut der Enka Glanzstoff AG,  
 Wuppertal

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Die spektakuläre Entwicklung der Chemiefasern in den vergangenen Jahrzehnten wird sich in der überschaubaren Zukunft bei den synthetischen Chemiefasern der Menge nach fortsetzen. Dazu werden die Arbeiten der Chemiker, der Physiker und der Verfahreningenieure sowie die Wünsche von Textil- und Bekleidungsindustrie und die Erwartungen der Konsumenten beitragen.

The skyrocketing developments in the man-made fibre field during the last few decades are expected to be rivalled by the synthetics during the coming years in terms of volume. This will be helped by the works of chemists, physicists and process engineers as well as the demands of the textile and garment industries and the wishes of the final consumer alike.

#### Einleitung

Die Chemiefasern sind schon seit einer Reihe von Jahren eine Selbstverständlichkeit für die Textilversorgung aller Menschen auf der Erde. Abbildung 1 macht nicht nur verständlich, daß wir sie brauchen, um den Lebensstandard zu steigern, sondern daß sie auch notwendig sind, um den echten Bedarf zu decken, was mit den zu erwartenden geringfügigen Zuwachsraten bei den Naturfasern und der schnell wachsenden Menschheit einfach nicht mehr möglich ist.

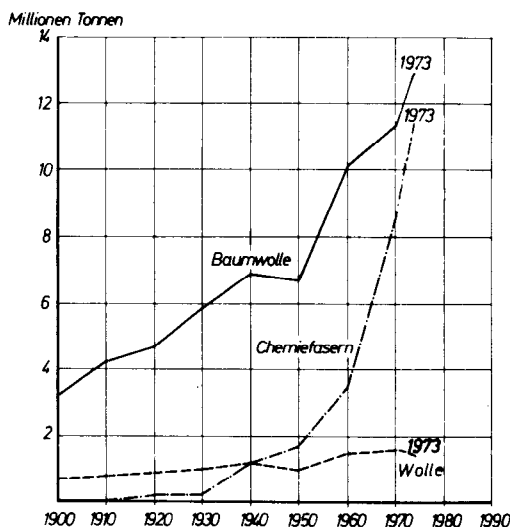


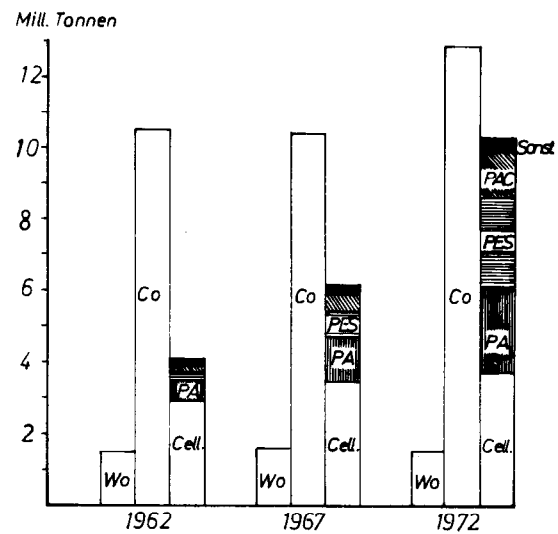
Abb. 1: Die Weltproduktion von Textilfasern von 1900 bis 1972 (in Millionen Tonnen)

\* Plenarvortrag anlässlich der Jahreshauptversammlung des Vereins Österreichischer Chemiker / Gesellschaft für Chemiewirtschaft, 26. bis 29. 9. 1973, in Linz

Die Menschheit hat eigentlich drei Grundbedürfnisse:

- die Ernährung,
- Textilien zum unmittelbaren Schutz des menschlichen Körpers und
- ein Dach über dem Kopf als Schutz im weiteren Sinne.

Alle drei Bedürfnisse setzen sich wiederum aus dem echten Bedarf und den Zusatzerwartungen zusammen. Bei der Ernährung ist die Summe daraus praktisch begrenzt, und das Dach über dem Kopf ist zu schwer und deshalb zu teuer, um häufigen Anpassungsprozessen unterworfen zu werden. Die Textilien aber entsprechen in hervorragender Weise dem menschlichem Wunsch, notwendigen Bedarf mit persönlichem Ausdruckswillen zu kombinieren. Damit kommt den Textilien eine besondere Stellung unter den drei Grundbedürfnissen der Menschen zu, und je mehr Möglichkeiten bestehen, sie zu nutzen, umso mehr werden sich die Menschen darin ausdrücken. Damit sind die Chemiefasern auch zum äußeren Zeichen unseres modernen Lebensstils geworden.



Filament	1.8 = 11.3 %	2.6 = 14.5 %	4.5 = 18.4 %
Spinnfaser	14.2 = 88.7 %	15.3 = 85.5 %	20.0 = 81.6 %
Summe	16.0 = 100 %	17.9 = 100 %	24.5 = 100 %

Abb. 2: Die Entwicklung der Textilfaser-Weltproduktion von 1962 bis 1972 (unterteilt nach Filamenten und Spinnfasern)

Wenn heute von Chemiefasern die Rede ist, so versteht man darunter - wie Abbildung 2 zeigt - fünf Gruppen: die zelluloseischen, die Polyamid-, die Polyacrylnitril- und die Polyesterfasern sowie eine alle übrigen Fasern zusammenfassende Gruppe. Die Chemiefasern werden als auf Länge geschnittene Spinnfasern und nahezu endlose Filamente zur Weiterverarbeitung zu Garnen und textilen Flächengebilden der Textilindustrie angeboten. Zumeist werden sie noch nach Technologien verarbeitet, die gern als „klassisch“ bezeichnet werden und die eigentlich für die Verarbeitung von Naturfasern entwickelt wurden. Erst seit einigen Jahren werden spezielle Technologien für die Verarbeitung von Chemiefasern angewandt und damit ihre besonderen Eigenschaften, wie einstellbare Länge, Feinheit und Kräuselung,

sowie die Möglichkeit der thermischen Verformbarkeit von synthetischen Chemiefasern genutzt.

Diese Feststellung führt zwangsläufig zur Frage nach den jetzt sichtbaren Motoren für die Weiterentwicklung der Chemiefasern. Ihre Beantwortung gestattet dann, die Trends der Weiterentwicklung abzuschätzen.

Als motorische Kräfte, die die Chemiefaserentwicklung fördern, lassen sich mit Sicherheit bezeichnen:

- der echte Bedarf und die menschlichen Zusatzerwartungen,
- die möglichen Rohstoffe, ihre Verfügbarkeit, ihr Preis sowie die Umstände ihrer Gewinnung und
- die Entwicklung der Technologien zur Herstellung von Fasern, Garnen, textilen Flächegebilden und für die Veredlung sowie in der Konfektion.
- Außerdem gehören hierher die Erschließung von Einsatzgebieten durch textile Artikel, in denen bisher andere Werkstoffe eingesetzt wurden, oder die der technische Fortschritt auf anderen Sektoren initiiert hat.

**Bedarf und Zusatzerwartungen**

Der echte Bedarf an Textilien ist fraglos schwer festzustellen. In den hochentwickelten Industriegebieten dürfte er bei 10 bis 15 % des Konsums liegen. Sie umfassen aber mit Sicherheit noch keine 20 % der Weltbevölkerung. Bei den übrigen 80 % ist aus den verschiedensten Gründen ein echter Bedarf vorhanden und wird von Zusatzerwartungen geträumt. Abbildung 3 vermittelt einen kleinen amtlichen Einblick in die Entwicklung der textilen Welt und erlaubt, Zusammenhänge zwischen dem Einkommen, der Einkommensentwicklung und dem Textilkonsum zu sehen. Wenn unter Berücksichtigung dieser Angaben einmal angenommen wird,

- daß sich die Menschheit 1973 um 2 % vermehrt und
- daß das verfügbare Einkommen nur um 5 % steigt,

so bedeutet dies einen Mehrbedarf von 550 000 jato an Textilfasern. Sicher wird er real aus den verschiedensten Gründen noch höher sein. Auf jeden Fall stellt eine solche Zahl einen beachtlichen Druck auf die Entwicklung dar.

Jahr	Pro-Kopf-Verbrauch an Textilien in kg/Jahr in den Ländern							
	USA		BRD		Ungarn		Österreich	
1960	15,9	1284	12,2	510	7,0	150	9,3	290
1965	20,3	1541	13,5	780	7,5	162	10,5	423
1969	22,0	1858	17,0	993	8,2	184	13,1	573
1971	23,1		18,2		10,7		14,8	

-Brutto - Monatsverdienste in DM

Abb. 3: Pro-Kopf-Verbrauch an Textilien und Brutto-Monatsverdienste in DM

**Rohstoffversorgung**

Die Frage der Rohstoffversorgung der Chemiefaserindustrie wird gerade zur Zeit lebhaft diskutiert. Dafür sind mehrere Gründe zu nennen:

- das nahezu stagnierende Baumwoll- und Wollaufkommen,

- die Versorgungssituation der Petrochemie,
- Umweltschutzfragen bei der Herstellung von Zellstoff sowie bei der Rayon- und Zellwolleerzeugung und schließlich
- die Entwicklung der Preise auf den weltweiten Rohstoffmärkten.

Vor dem Hintergrund der nur kurz angerissenen Rohstofflage sollen nun die einzelnen Fasergruppen behandelt werden. Dabei werden der historischen Entwicklung entsprechend zunächst die zellulosischen Chemiefasern besprochen.

**Zellulosische Chemiefasern**

Im Prinzip kommen dafür drei Herstellungsverfahren in Frage:

1. das Acetatverfahren,
2. das Kupferoxidammoniakverfahren und
3. das Viskoseverfahren.

Aus Qualitäts-, Verfahrens- und Kostengründen nimmt das Viskoseverfahren mit großem Mengenabstand die erste Stelle ein. Es hat in den letzten vierzig Jahren zu sehr interessanten Faserentwicklungen geführt. Aufbauend auf dem heute schon als klassisch anzusprechenden Prozeß wurde versucht, der Baumwolle hinsichtlich Festigkeitsverhalten, Dimensionsstabilität und Griff noch näher zu kommen. Dazu wurden zunächst die einzelnen Produktionsschritte optimiert und besser aufeinander abgestimmt. Dies geschah durch chemische und ingenieurmäßige Maßnahmen. Praktisch führten sie bei Fasern von ca. 1,7 dtex zu einer Erhöhung der Längsfestigkeit um ca. 50 %. Gleichzeitig wurde insbesondere in Deutschland versucht, eine etwas gröbere, gut gekräuselte - kurz wollähnliche - Zellwolle herzustellen. Dies gelang bereits relativ schnell durch eine kleine Variation der Zusammensetzung des Fällbades und durch die Aufteilung der Verstreckung der frisch ersponnenen Filamente. Dadurch wurde die Mantelzone der Fasern gestört, was sich bei Zellwolle in einer gut beständigen Kräuselung äußert. Solche Fasern eignen sich bevorzugt zur Herstellung wollartiger Bekleidungs- und Heimtextilien.

Eine noch bedeutendere Entwicklung als die Parametrisierung der einzelnen Verfahrensschritte brachte dann der Einsatz von Modifiern. Dies sind Amine, die der Viskose in Mengen von wenigen Gramm zugesetzt werden und dann den Neutralisationsprozeß im schwefelsauren Fällbad verzögern, womit die Voraussetzung geschaffen ist, die Moleküle im gebildeten Filament besser orientieren zu können. Der erneute Gewinn an Längsfestigkeit betrug ca. 35 %, begleitet von einer um ca. 50 % höheren Querfestigkeit sowie anderen Vorteilen. Die aus ästhetischen Gründen und wegen des Vergleichs mit der Baumwolle geforderte Griffverbesserung wurde aber dadurch nicht erreicht - im Gegenteil, die so gesponnenen Fasern waren noch weniger steif. Sie fanden aber wegen ihrer Festigkeitseigenschaften und dem damit verbundenen hohen Arbeitsvermögen hervorragenden Einsatz als Rayon- und als Spinnfasern in technischen Produkten. - Die Suche nach noch besseren Modifiern scheiterte am Preis und an dem sich gerade zu dieser Zeit entwickelnden Wettbewerb mit den synthetischen Chemiefasern.



Auf der Suche nach besserer Ästhetik und leichter Pflege der Textilien wurden sowohl nachträgliche Ausrüstungsprozesse für Fasern bzw. textile Flächengebilde entwickelt, als auch wieder Modifikationen bei der Faserherstellung vorgenommen. Dazu wurde zum Beispiel Viskose in ammoniumsulfathaltigen Fällbädern praktisch nur koaguliert und erst später in verdünnter Schwefelsäure neutralisiert. Hierdurch wurde bei selbstverständlich niedriger Festigkeit eine hohe Biegesteifigkeit eingestellt und eine narbige, rauhe Oberfläche erzeugt.

Normalfasern	gekügelte Fasern	hochmolekulare Fasern	Koagulations-Fasern	Polynosic	Modalfasern
Manufakturfasern, mittlere Festigkeit, mittlere Dehnung, 1,3 - 50 dtex, 30 - 200 mm, gl., mt., dtet., superweil	Manufakturfasern mit unterschiedlich dickem Mantel, mittlere Festigkeit, mittlere Dehnung, gute Kruselung 2,4 - 25 dtex, 40 - 150 mm, gl., mt.	Vollmantelfasern, hohe Festigkeit, hohe Dehnung 1,4 - 3,0 dtex, 40 - 60 mm, gl.	Kernfasern, niedrige Festigkeit, höhere Dehnung unregelmäßig, gut gekruseilt 4,0 - 25 dtex, 60 - 150 mm, gl., mt.	hohe Festigkeit, niedrige Dehnung, formstabil 1,6 - 3,5 dtex, 32 - 60 mm, gl.	hohe Festigkeit, hohe Dehnung, relative Formbeständigkeit 1,7 - 3,6 dtex, 32 - 60 mm, gl., superweil

Abb. 4: Die wichtigsten Eigenschaften von Viskosefasern (Längs- und Querschnitte von Viskosefasern)

Solche Fasern eigneten sich besonders für die Herstellung von Schlafdecken, Teppichen und bestimmten wollähnlichen Bekleidungstextilien. Sie wurden aber schon vor einigen Jahren von ihren Herstellern aus dem Typenprogramm wegen der im Vergleich zu normalen Viskosefasern höheren Herstellungskosten und ihrer Unterlegenheit im Qualitätswettbewerb mit den synthetischen Chemiefasern in den ange deuteten Einsatzbereichen gestrichen.

Trotzdem ging die bereits jahrzehntelange Suche der Zellulosechemiker nach der „baumwollähnlichen“ Viskosefaser weiter. Dabei sollte auch noch die Merzerisierbarkeit eingestellt werden, um sie mit Baumwolle mischen zu können. Hiermit waren gleich mehrere Probleme angesprochen:

- die Streckung des Baumwollangebotes,
- der Einsatz preiswerterer Baumwollsorten,
- die Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften gewisser Baumwollprovenienzen und
- die Erzeugung eines höherwertigen textilen Flächengebildes.

Mit den Polynosic-Fasern wurde das gesuchte Ziel nahezu erreicht. Zu ihrer Herstellung werden edle Viskosen eingesetzt, das heißt Viskosen mit einem hohen Alkali- und Schwefelkohlenstoffgehalt, die langsamer als beim herkömmlichen Prozeß in optimierte Fällbäder eingesponnen werden. Die Fasern haben die angestrebte hohe Festigkeit und Biegesteifigkeit und sind merzerisierbar. Insofern stellen sie die Erfüllung eines jahrzehntelangen Entwicklungsprozesses dar. Ihre Eigenschaften lassen sich mit Aldehyden, die der Viskose und/oder dem Fällbad zugesetzt werden, noch weiter verbessern. Trotzdem geht die speziell in Euro-

pa und Japan aufgenommene Produktion zurück, und einige Chemiefasererzeuger haben die Herstellung gänzlich aufgegeben. Die Ursachen hierfür sind:

- der Preis im Wettbewerb mit dem anderer textiler Rohstoffe,
- die Tatsache, daß die Polynosic-Fasern in Waschartikeln, wie z.B. Bettwäsche, mit Kunstharz ausgerüstet werden müssen, um die Fibrillation bei der Waschbehandlung zu vermeiden, und
- daß ihre Entwicklung sehr spät - um nicht zu sagen zu spät - kam. Inzwischen hatten sich bereits Mischgewebe aus synthetischen Fasern mit Baumwolle oder mit Zellwolle gerade in vielen Bereichen durchgesetzt, in denen auch die Polynosic-Fasern rein oder mit Baumwolle gemischt eingesetzt werden können.
- Schließlich muß auch für die Zukunft daran gedacht werden, daß die zur Herstellung von Polynosic-Fasern notwendigen „edlen“ Viskosen besondere Umweltschutzprobleme aufwerfen.

Die Mischungen aus feinen Synthefasern mit Baumwolle waren es dann aber wieder, die nunmehr die Entwicklung von Viskosefasern zum Modaltyp begünstigten. Die Modalfasern, ursprünglich ein Kind der Polynosic-Faserforschung und seinerzeit nicht hoch im Kurs, werden auch aus edlen Viskosen hergestellt. Dazu werden aber keine besonderen Fällbäder benötigt, was kosten- und dispositionell günstig ist. Die so erzeugten Fasern sind in Längsrichtung fest oder fester als manche Polynosic-Faser, nur unter gewissen Bedingungen merzerisierbar und weniger biegesteif, sie fibrillieren nicht und besitzen eine um 50 bis 70 % höhere Querfestigkeit. Gerade die beiden letzten Eigenschaften prädestinieren sie zur Mischverarbeitung mit Polyesterfasern zu Waschartikeln. Hinzu kommt noch, daß sich dieser Trend durch die Open-end-Spinnerei, eine neue Technologie zur Herstellung von Spinnfasergarnen, die den Einsatz sehr sauberer Rohstoffe erfordert, schnell verstärken wird.

Die Behandlung der Acetat- und der Kupferoxidammoniakfasern kann kurz angeschlossen werden. Obwohl die Acetatfaserfabriken derzeit meist voll laufen, läßt sich doch klar erkennen, daß die erzeugten Fasern durch verschiedene andere Faserarten ersetzbar sind. Dafür wird die Zeit einmal reif sein, und die Triacetatfasern sowie die schwerentflammbar modifizierten Typen können den Prozeß nicht aufhalten, höchstens noch etwas hinauszögern. - Die Produktion der Kupferoxidammoniakfasern wird schon immer weiter eingeschränkt. Ihre Herstellungsmaschinen haben ausgedient, sie werden durch rationeller arbeitende Chemiefaserherstellungstechnologien ersetzt, nachdem sich im Wettbewerb mit Rayon ihre mögliche Erneuerung nicht lohnt.

Die bis hierher sehr ausführlich behandelte Entwicklung der zellulosischen Chemiefasern zeigt doch recht deutlich, daß die Forschung nicht blind sein darf und daß sich ihre Ergebnisse immer wieder anwendungstechnisch im Wettbewerb mit anderen Rohstoffen auch bei weiterentwickelten Verarbeitungstechnologien bewähren müssen. Außerdem macht der Entwicklungsweg klar, daß auch die Forschung von Zeit zu Zeit ihren Standpunkt und ihre Ziele überprüfen muß. Die Hoffnung allein, daß eine gute Idee auch irgendwann

ein gutes Ergebnis zeitigen muß, reicht in unserer Zeit nicht mehr aus. Es wird auch vom Forscher heute mehr gefordert.

Trotz dieser nicht sehr günstigen Entwicklung, die die zellulosischen Chemiefasern in den letzten Jahren genommen haben, ist der Textilpraktiker heute sicher, daß sie in Zukunft noch gebraucht und - was nicht dasselbe ist - auch hergestellt werden. Dafür gibt es mehrere Gründe; einer ist, daß, so lange Leben auf dieser Erde ist, Zelluloseträger wachsen werden und die Zukunft, die sich in natürlichen Grenzen bewegen wird, nicht darauf verzichten kann, sie für den Menschen nutzbar zu machen. Dagegen sprechen die Umweltschutzprobleme, die die Zellstoffgewinnung und die Viskoseverarbeitung schaffen. An ihrer Lösung lohnt es sich also zu arbeiten. Die Wege sind gewiesen, sie bedeuten:

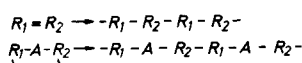
- chemisch reinere Zellstoffe,
- die Verarbeitung von Dickviskosen, das heißt von Viskosen mit höherem Zellulose- und niedrigerem Schwefelkohlenstoffgehalt,
- bessere Reinigungsverfahren für Abluft und Abwasser bei gleichzeitiger Senkung des Wasserbedarfs, sowie
- Steigerung der Ausbeute an Fasern durch Einmischen von faserbildenden Substanzen in die Viskose oder durch Pfropfen auf feinere Viskosefasern, wobei vorausgesetzt wird, daß diese Stoffe bzw. diese Einsatzverfahren keine Umweltschutzprobleme verursachen.

### Synthetische Chemiefasern

Die bisher besprochene Erzeugung zellulosischer Chemiefasern macht den Abbau eines in der Natur gewachsenen Makromoleküls notwendig. Dieses für den Weiterverarbeitungsprozeß optimierte kürzere Makromolekül wird dann gelöst und diese Lösung in ein Fällbad - das kann auch heiße Luft sein - gesponnen, wobei der Lösung das Lösungsmittel entzogen und die gelöste Substanz zum Filament formiert wird.

Die Produktion der synthetischen Chemiefasern folgt dagegen zunächst einem gänzlich anderen Prinzip. Aus kleinen organischen Molekülen werden nach den in Abbildung 5 schematisch wiedergegebenen Syntheseverfahren längere, zur Fadenbildung einsetzbare Makromoleküle aufgebaut.

#### Polymerisation



#### Polykondensation

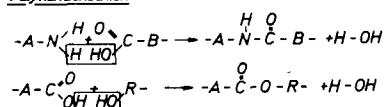


Abb. 5: Schematische Darstellung der Synthese fadenbildender Makromoleküle

Hier stellt sich auch die Frage, ob noch andere Synthesemechanismen denkbar wären. Professor T s u j i arbeitet mit einem Team am Institut für hochmolekulare Chemie in Kyoto am Elektrolytspinnen. Dazu sind langjährige Stu-

dien am Polyvinylalkohol und seinen Reaktionen vorausgegangen, wobei festgestellt wurde, daß es relativ einfach ist, mehr oder minder „starke“ Kationen bzw. Anionen herzustellen, die dann gemeinsam versponnen werden. So ist es dieser Forschergruppe gelungen, Fasern gemäß dem Formelschema in Abbildung 6 zu bilden:

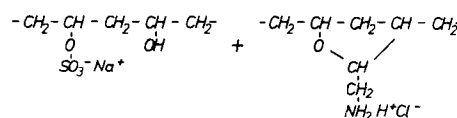


Abb. 6: Beispiel einer Elektrolyt-Spinnung (nach Prof. Tsuji)

Die zwangsläufig hochvernetzten Fasern sollen trotzdem ein hohes Wasseraufnahmevermögen von ca. 20 % und eine relativ hohe Temperaturbeständigkeit besitzen. Festigkeit und Dehnung sind in den in Frage kommenden Grenzen ausreichend einstellbar. Ob sich diese interessante Idee bewähren wird, ist noch nicht bewiesen; auf jeden Fall erscheint sie aber verfolgungswert, zumal sie neue Denkansätze gestattet.

Die zur Herstellung der bekannten synthetischen Chemiefasern aufgebauten makromolekularen Substanzen werden aufgeschmolzen, durch Düsen gepreßt und mit Geschwindigkeiten bis zu mehreren tausend Meter pro Minute abgezogen. Meist werden sie in einem gesonderten Arbeitsgang verstreckt und durch Nachbehandlung auf ihre Weiterverarbeitung eingestellt. Diese Substanzen lassen sich aber auch zum Erspinnen der Fasern auflösen. Nach dem Austritt aus den Düsen werden die gebildeten Filamente durch Fällbäder bzw. durch heiße Luft vom eingesetzten Lösungsmittel befreit. Diese grundsätzlich auch für verschiedene synthetische Chemiefasern mögliche Technologie wird bevorzugt für die Herstellung von Polyacrylnitrilfasern angewandt, weil Polyacrylnitril keinen eindeutigen Schmelzpunkt hat, sich vorher zersetzt und dabei verfärbt.

Die Schemata für die Polymerisation und die Polykondensation lassen sofort die unzählbaren Synthesemöglichkeiten erkennen und werfen die Frage nach neuen Polymeren auf bzw. fordern eine Erklärung dafür, daß sich bis heute praktisch nur ganz wenige Syntheseverfahren durchgesetzt haben.

Wie schon in den beiden ersten Abbildungen angedeutet wurde, baut die Chemiefaserindustrie auf der Produktion großer Mengen auf, die außerdem noch relativ preiswert sein müssen.

Diese Voraussetzungen für die Chemiefasererzeugung bedingen:

- eine große, auch weiterhin ausbaufähige Rohstoffbasis,
- günstige Verfahren zur Herstellung der makromolekularen Substanzen, sowie
- Eigenschaften dieser Substanzen, die ihre Verarbeitung zu Fasern und daraus hergestellten textilen Flächegebilden begünstigen sowie auch den Konsumentenvorstellungen (die beim Gebrauch der Bekleidungs-, Heim- und technischen Textilien zu befriedigen sind) entsprechen.

Wie sich diese Forderungen in der Praxis auswirken, soll am Beispiel der Polyamide erläutert werden. Sie lassen sich - wie Abbildung 7 zeigt - auf vielfältige Art aufbauen, wo durch dann die verschiedensten Polyamide entstehen.

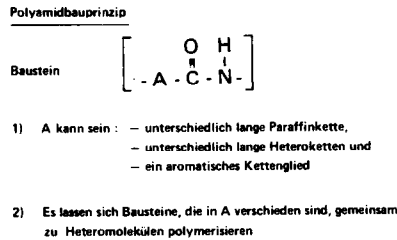


Abb. 7: Schematische Darstellung der Aufbaumöglichkeiten von Polyamiden

Die mit den aufgestellten Forderungen verbundenen Eigenschaften zeigt Abbildung 8. Diese Aufstellung macht auch verständlich, daß sich die Polyamide 6 und 6.6 gut durchsetzen konnten. Ihre Rohstoffbasis ist gut, die Verarbeitung einfach, die Schmelzpunkte liegen für Faserherstellung und -verarbeitung angemessen, wobei nicht verschwiegen werden soll, daß es Einsatzgebiete gibt, in denen Polyamid 6.6 dem Polyamid 6 vorgezogen wird. Das spezifische Gewicht ist interessant niedrig - was im Zuge der Zeit liegt -, ohne Tiefstwerte zu erreichen, die unter Umständen auch ihre Probleme haben können.

In Abbildung 8 wurden dann noch die Schmelzpunkte der Polyamide 7, 8 und 9 optisch herausgehoben, nachdem sie für die Herstellung der Fasern günstig liegen und gleichzeitig auch noch alle Weiterverarbeitungs- und späteren Pflegeprozesse der Textilien gewährleisten. Da aber für diese Polyamide die Hinweise in den beiden Spalten davor ungünstiger lauten als für die Polyamide 6 und 6.6, können sie sich auf die Dauer nicht in dem gleichen Maße durchsetzen. Sicher gibt es noch eine ganze Reihe anderer Eigenschaften, die für Textilfasern im allgemeinen gewährleistet sein müssen. Nachdem sich aber für den Polyamidbereich die Entscheidung bereits aus Abbildung 8 ablesen läßt, erübrigen sich weitergehende Untersuchungen.

Manchmal werden jedoch neben den grundsätzlichen Überlegungen einzelne Fasereigenschaften besonders heraus-

Rohstoffe	Verarbeitung	Schmelzpunkt °C	spez. Gewicht
Polyamid 3	möglich	340	1,33
Polyamid 4	möglich	256	1,25
Polyamid 5	möglich	260	1,13
Polyamid 6	gut	215	1,12
Polyamid 6.6	gut	255	1,13
Polyamid 6.10	befriedigend	193	1,10
Polyamid 7	möglich	225	1,10
Polyamid 8	möglich	200	1,09
Polyamid 9	möglich	210	1,09
Polyamid 11	möglich	190	1,08
Polyamid 12	möglich	190	1,08
Arom. Polyamide	schwierig	schwierig	1,38

Abb. 8: Einige wichtige Voraussetzungen für die Herstellung von Polyamiden

gestellt, was dazu zwingt, äußerst gewissenhaft zu prüfen, was die jeweilige Fasereigenschaft „wert“ ist. So läßt sich derzeit gerade der Fachpresse entnehmen, daß die Firma Alrac (USA) - entgegen den in Abbildung 8 enthaltenen Prognosen - die Pilotproduktion von Polyamid 4 (Markenname: Tajmir<sup>®</sup>) doch in eine großtechnische Herstellung überführen will. Dies wird insbesondere mit der im Vergleich mit anderen Polyamiden höheren Feuchtigkeitsaufnahme begründet. Abbildung 9 enthält entsprechende Werte für verschiedene Fasern und gestattet Vergleiche mit anderen Faserarten.

Dabei ist zwischen der Feuchtigkeitsaufnahme im Normklima, dem Wasserrückhaltevermögen und dem Feuchte-transport grundsätzlich zu unterscheiden. - Die oft zitierte Feuchtigkeitsaufnahme im Normklima gibt den Feuchtigkeitsgehalt der jeweiligen Substanz bei 20°C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit wieder. Nachdem bei hautnaher Bekleidung die angegebenen Bedingungen wohl in den meisten Fällen erfüllt sind, kann die Fasersubstanz als feuchtigkeitsgesättigt angesehen werden. Zur Einstellung des Wohlbefindens kommt es nun aber darauf an, wieviel Feuchtigkeit eine Faserart aufzusaugen vermag, ohne dabei das Feuchte-transportvermögen zu verlieren. Deshalb ist in der zweiten Spalte von Abbildung 9 oben auch das Wasserrückhaltevermögen einiger Fasern angegeben. Es ist drei- bis siebenmal so hoch wie die Feuchtigkeitsaufnahme der Fasern (Spalte 1). Ein direkter Zusammenhang zwischen den Werten für die Feuchtigkeitsaufnahme und jenen für das Wasserrückhaltevermögen besteht aus verständlichen Gründen nicht.

Im unteren Teil der Abbildung 9 sind die entsprechenden Werte für Garne wiedergegeben. Bei den beiden aus zellulosischen Fasern bestehenden Garnen liegen die Werte für das Wasserrückhaltevermögen jedoch etwas unter den Werten für die offenen Fasern, während die Werte für die synthetischen Fasergarne im angegebenen Streubereich der Fasern liegen. Dies ist auch nicht anders zu erwarten, da die zellulosischen Fasern bei der Ermittlung des Wasserrückhaltevermögens quellen, was im Garn zu einer echten gegenseitigen Behinderung der Fasern und zum Verlust von Kapillaren für den Feuchte-transport führt. Die synthetischen Fasern quellen praktisch nicht, die Kapillaren sowie die große Oberfläche der vielen Fasern im Garn und damit auch der

FEUCHTIGKEITSVERHALTEN VERSCHIEDENER FASERARTEN UND GARNE

	FEUCHTIGKEITSAUFNAHME IN NORMALKLIMA 65 / 20 %	WASSERRÜCKHALTEVERMÖGEN %
FASER: BAUMWOLLE	7	40 - 45
ZELLWOLLE	12 - 14	85 - 100
POLYACRYLNITRIL	1 - 2,5	5 - 10
POLYESTER	0,4 - 0,6	2 - 5
POLYAMID 6	4 - 5	10 - 15
GARN: BAUMWOLLE	7	38
ZELLWOLLE	12 - 14	83
POLYACRYLNITRIL	1 - 2,5	8,3
POLYESTER	0,4 - 0,6	2,4
POLYAMID 6	4 - 5	11
DIOLEN / BAUMWOLLE 50 / 50	3,5 - 4,0	19
DIOLEN / BAUMWOLLE 65 / 35	2,8 - 3,0	14
DIOLEN / COLVERA 65 / 35	4,7 - 5,7	21

Abb. 9: Das Feuchtigkeitsverhalten verschiedener Faserarten und Garne

Feuchtetransport, der nicht durch die Substanz geht, bleiben erhalten.

Die praktische Konsequenz aus dieser Feststellung lautet also:

- Es sind Textilien zu konstruieren, die quellende und nichtquellende Fasern mit einer angemessenen Kapillarität enthalten.

Die quellenden Fasern können dann in solchen Bekleidungstextilien die Feuchtigkeit aufsaugen, und die nichtquellenden Fasern stellen die Voraussetzungen für den Feuchtetransport her. Im Falle von Watte oder bei Handtüchern kommt es nur auf das Saug- bzw. das Feuchtigkeitsrückhaltevermögen an. Deshalb lassen sich die dafür gültigen Fasereigenschaften praktisch nicht auf Bekleidungstextilien, für die der Feuchtetransport entlang der Faseroberfläche durch die von den Fasern gebildeten Kapillaren entscheidend ist, übertragen. Aber schon bei bestimmten Frottier- und Handtuchkonstruktionen lassen sich die für Bekleidungstextilien gültigen Erkenntnisse nutzbar machen. Abbildung 10 bestätigt diese Behauptung und macht überzeugend deutlich, welche hohe Bedeutung der Konstruktion von Garnen und Textilien zukommt.

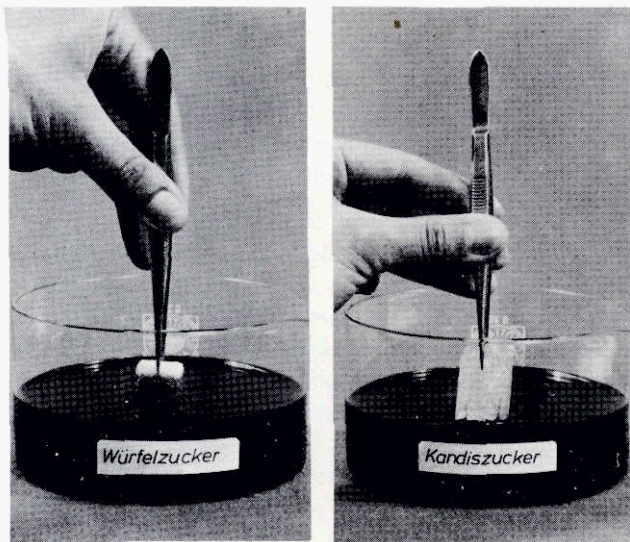


Abb. 10: Die Feuchtigkeitsaufnahme von Würfel- und von Kandiszucker

In beiden Versuchen wird Zucker einmal als Würfelzucker, einmal in Form von Kandiszucker - 1 mm tief in blau gefärbtes Wasser eingetaucht. Bereits nach 1,5 sec ist in den Kapillaren des Würfelzuckers die blaue Flüssigkeit 2 cm hoch gestiegen. Im und am Kandiszucker dagegen ist kein Flüssigkeitstransport festzustellen, es sei denn, das Stückchen Kandiszucker enthielte irgendwelche Risse oder Kapillaren.

Die Übertragung dieses Modellversuchs in die Textiwelt bedeutet,

- daß es sich noch immer lohnt, bessere Textilkonstruktionen zu entwickeln, und daß es falsch ist, Erfahrungen mit der Substanz A ohne Berücksichtigung von Quell-

und Schrumpfverhalten auf die Substanz B zu übertragen, sowie

- daß es nicht notwendig ist, eine wasseraufsaugende Chemiefaser zu entwickeln, zumal für jene Bereiche, für die tatsächlich das Saugvermögen und nicht der Feuchtetransport von Fasern gefragt ist, Baumwolle oder zellulose Chemiefasern zur Verfügung stehen.

Spezialfasern

Die bisherigen Ausführungen bezogen sich hauptsächlich auf die synthetischen Standardchemiefasern. Daneben lassen sich selbstverständlich wie die verschiedenen Schemata gezeigt haben - auch noch andere Fasertypen herstellen. Wie schon angedeutet, erfolgt dies aber seltener, als es beim Studium der chemischen Literatur scheinen mag. Dabei werden unter Vernachlässigung der einen oder der anderen Standardeigenschaft spezielle Faserarten erzeugt.

Hierfür gibt es eine ganze Reihe von Beispielen:

- besonders transparente Fasern,
- lichtleitende Fasern,
- besonders beständige Fasern (z.B. gegen Hydrolyse, Hitze, Flammen, besondere Energieformen),
- Fasern mit Röntgenkontrastwirkung und
- Fasern mit speziellem Reaktionsvermögen gegenüber bestimmten Molekülen bzw. Schwermetallen.

Für ihre Herstellung lassen sich Standardfasern bei ihrer Erzeugung modifizieren oder ganz besondere Polymere einsetzen. Für die Modifikation gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. Zunächst läßt sich dem Standardpolymeren ein Additiv zusetzen, das entweder mit ihm reagiert oder nicht. Dann können zwei Standardpolymere homogen gemischt bzw. beim Spinnen in entsprechend gestalteten Düsen kombiniert werden. Abbildung 11 zeigt beispielhaft verschiedene Ergebnisse, die bei der Herstellung von Fasern aus nichtmischbaren Polymeren bzw. mit Spezialdüsen erhalten wer-

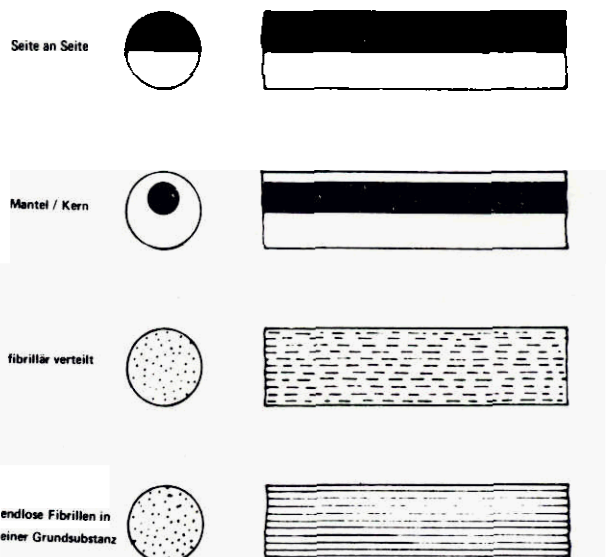


Abb. 11: Typen bikomponenter Strukturen

den können. Dazu ist aber noch unbedingt anzumerken, daß das Verhältnis, in dem die beiden Substanzen zum Einsatz kommen, in weiten Grenzen variabel ist, was sich - wie zu erwarten ist - sehr stark auswirkt. - Weiters können die frisch ersponnenen Fasern einseitig heiß oder kalt behandelt werden, wodurch sich zwangsläufig Spannungen in der Faser ausbilden müssen, die deren physikalische Eigenschaften stark beeinflussen. Schließlich läßt sich noch der Charakter der Standardfaser dadurch verändern, daß ihr Substanzen aufgepfropft werden, was bereits bei ihrer Herstellung oder in einem gesonderten Arbeitsgang erfolgen kann.

Als Spezialpolymere lassen sich wiederum eine ganze Reihe anführen. Mit ihnen werden

- Beständigkeit gegen hohe Temperaturen,
- Beständigkeit gegen Flammen,
- Durchschlagsfestigkeit bei hohen elektrischen Spannungen,
- sehr hohe Längs- und Querfestigkeiten,
- ein besonders hoher Modul, sowie
- die Eigenschaft, im Vliesstoff andere Fasern punktförmig zu binden,

angestrebt. Grundsätzlich sind diese Spezialpolymeren teurer als die Standardpolymeren, und ihre Verarbeitung macht wesentlich mehr Umstände. Allein schon aus diesen Gründen - aber auch, weil ihnen einige mehr oder minder wichtige Eigenschaften der Standardfasern fehlen - werden sie Spezialitäten - mit allen dazugehörigen Konsequenzen - bleiben.

Die Betrachtung der Standard- und der Spezialpolymeren läßt sich nunmehr in einem Schema zusammenfassen. Es gestattet, die verschiedenen möglichen Produktionsverfahren zu erkennen und gleichzeitig gewisse Produktionsdetails abzuschätzen. So zeigt Abbildung 12, daß der Weg vom Kettenmolekül zum Graphitgitter führt und dabei verfahrensmäßig immer schwieriger wird. Dies besagt aber auch gleichzeitig, daß die komplizierten Polymeren stets Spezialitäten bleiben werden und daß die Standardfasern aus dem oberen Bereich der Abbildung 12 zu entwickeln sind. Dort sind aber die wichtigsten Polymeren erprobt und werden nunmehr in allergrößten Mengen hergestellt, was allein schon die Einführung eines neuen Produkts erschwert. Diese Feststellungen besagen aber auch, daß die polymermäßige Weiterentwicklung der Standardfasern in der Zukunft im wesentlichen auf der Modifikation der Standardpolymeren aufbauen wird. Darüberhinaus werden physikalische Verfahren zur Fasermodifikation an Bedeutung gewinnen, worauf sich die Chemiefaserforschung in den letzten Jahren schon eingestellt hat.

Zusammenfassend läßt sich also für den Polymerbereich feststellen,

- daß für die Standardtextilien keine spektakulären chemischen Entwicklungen mehr eintreten werden,
- daß die inzwischen erarbeiteten Erkenntnisse auch die Herstellung der verschiedenartigsten Spezialitäten gestatten (wenn sie bezahlt werden) und
- daß die Physik der makromolekularen Verbindungen sicher noch einige Wege zur Weiterentwicklung weisen wird.

Für den Chemiker läßt sich diese Feststellung auch wie folgt formulieren:

- Das System der „textilen Elemente“ ist voll, an seiner Nutzbarmachung durch Legieren wird gearbeitet, und die „textile Isotopenforschung“ geht weiter.

### Die Entwicklung von Technologien zur Herstellung von Fasern, Garnen und textilen Flächengebilden, zur Veredlung sowie für die Konfektion

Eine Betrachtung über den Entwicklungstrend bei Chemiefasern kann nicht abgeschlossen werden, ohne daß die fortschreitende Entwicklung der Technologien zur Herstellung von Fasern, Garnen, textilen Flächengebilden und in der Veredlung sowie bei der Konfektion untersucht wird. Die Technologien zur Herstellung von Chemiefasern haben sich in den letzten Jahren sicher zur Überraschung aller sehr schnell weiterentwickelt. Dabei wurden sowohl die Prozesse zur Herstellung der Polymeren optimiert und teilweise kontinuierlich gestaltet, als auch die Produktionsgeschwindigkeiten verdoppelt bis verdreifacht und die Zahl der Düsenlöcher - da, wo es möglich ist - ebenfalls vervielfacht. Die Faserfeinheiten, die Faserquerschnitte und die physikalischen Fasereigenschaften wurden den Anforderungen immer besser angepaßt und die Fertigung durch Vergrößerung der Produktionseinheiten rationalisiert.

Neben diesen Entwicklungen in der Chemiefaserindustrie selbst wurden fast noch weiterreichende Veränderungen in der textilen Weiterverarbeitung erzielt. Sie betreffen sowohl

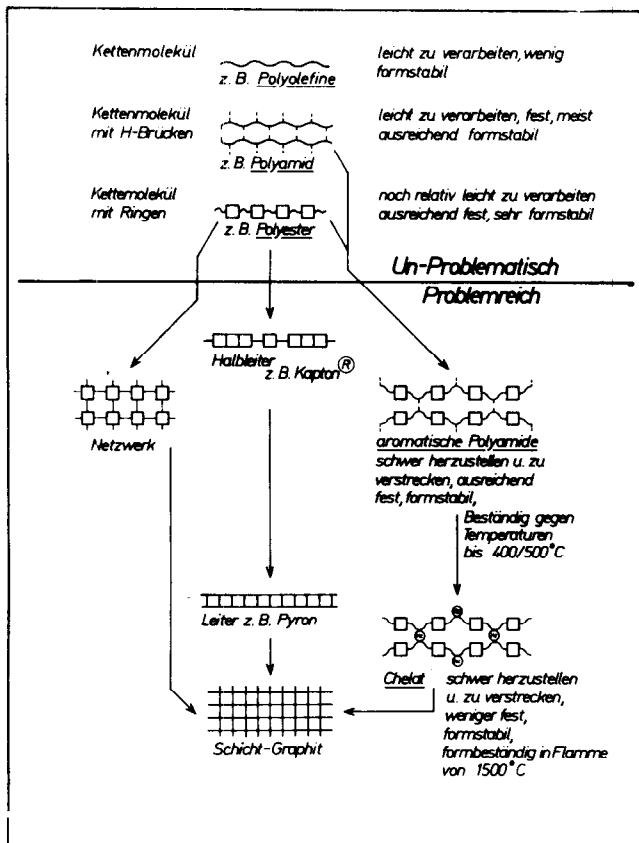


Abb. 12: Trends bei Homopolymerstrukturen (nach Prof. van Krevelen)



die Fasergarnspinnereien als auch die Technologien zur Erzeugung textiler Flächegebilde, insbesondere aber die Entwicklung und schnelle Weiterentwicklung von chemiefaser-spezifischen Techniken.

Hier sind unbedingt drei Technologien zu nennen:

1. das Texturieren von glatten synthetischen Filamentgarnen zu voluminösen, bauschigen Fäden,
2. die Verarbeitung von Kabeln aus Filamenten zu Spinnfasergarnen und zu spinnfasergarnähnlichen Fäden, sowie
3. die unmittelbare Herstellung von Vliesstoffen.

Die in den Abbildungen 13, 14 und 15 beschriebenen drei Verfahren liefern Garne hoher Qualität, deren Eigenschaften wiederum speziell dem textilen Endeinsatz angepaßt werden können. Die hohe Qualität - vor allem ihre Gleichmäßigkeit und Reinheit - war es dann auch wieder, die eine kaum vorstellbare Leistungssteigerung bei der Herstellung textiler Flächegebilde ermöglichte.

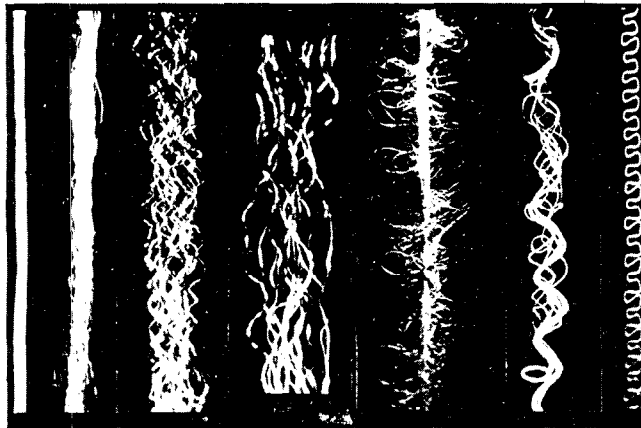


Abb. 13: Glatte und texturierte synthetische Filamentgarne

Hierher gehört auch der Hinweis, daß die guten physikalischen Eigenschaften der synthetischen Chemiefasern die Produktion leichter Textilien gestattet, was einem Konsumentenwunsch entspricht und der Deckung des Bedarfs entgegenkommt, nachdem aus der gewichtsmäßig gleichen Fasermenge größere textile Flächen erzeugt werden können.

Der Trend zu Fasermischungen in den textilen Flächegebilden gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dabei werden nicht nur verschiedene Spinnfasern, wie zum Beispiel solche aus Polyester und Modal, miteinander in einem Garn gemischt, sondern auch solche Garne in textilen Flächegebilden wiederum mit anderen Garnen, wie texturierten Filamentgarnen, zusammen verarbeitet. Diese Möglichkeiten, die auf den verschiedenen Faserarten, auf ihren Mischungstechnologien und Weiterverarbeitungsverfahren aufbauen, liefern eine Mannigfaltigkeit an Konstruktionen, die es dem Polymerchemiker schwer machen, neue Fasern erfolgreich zu entwickeln. Es bleibt ihm aber, die Prozesse noch zu optimieren, da, wo es möglich ist, kontinuierlich zu gestalten und verschiedene Prozeßstufen auch aus dem textilen Weiterverarbeitungsbereich zu integrieren. Als Beispiele hierfür sollen nur

- der Einsatz von Terephthalsäure an Stelle des Dimethylterephthalats,
- die kontinuierliche Kondensation und Faserherstellung aus Polyester, sowie
- die unmittelbare Erzeugung von Spinnvliesstoffen aus den verschiedensten Polymeren

genannt werden. Hierfür ist aber in hohem Maße die Zusammenarbeit mit den Physikern und Verfahreningenieuren erforderlich, nachdem unter Umständen Reinheits- und Gleichmäßigkeitsansprüche zu erfüllen sind, die denen im Bereich der Erzeugung von Chemotherapeutika nicht nachstehen.

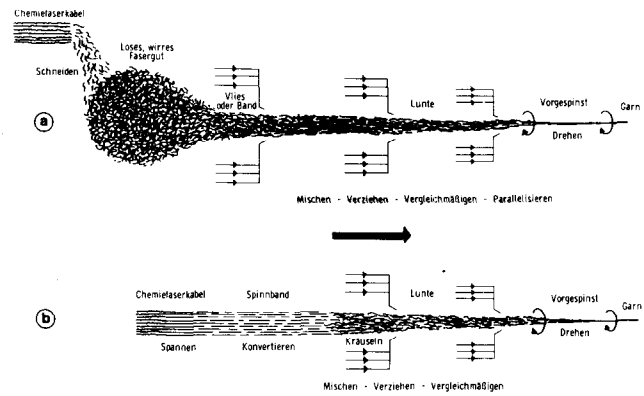


Abb. 14: Allgemeiner Spinnplan für Chemiefasern:

a = Flocke bis Garn, b = Kabel, Band bis Garn

Darüberhinaus sind - wie schon gesagt - Spezialitäten weiter zu entwickeln. Ihre Herstellung ist mit den beschriebenen Kenntnissen meist möglich, der Markt muß jedoch den Aufwand rechtfertigen.

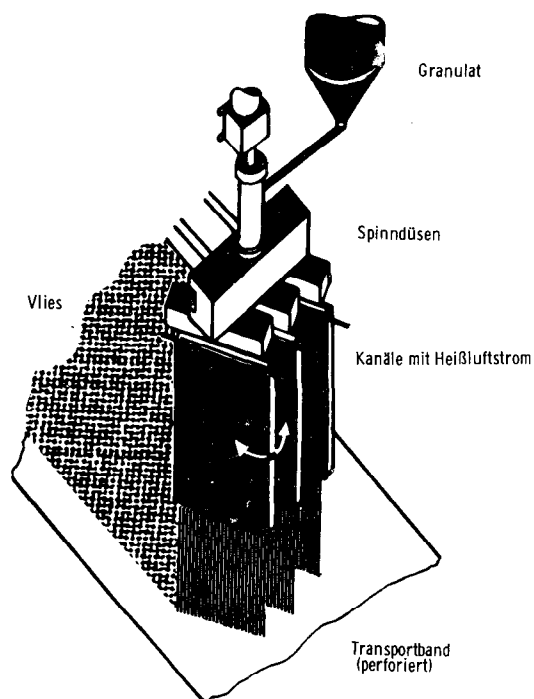


Abb. 15: Die Herstellung von Spinnvliesen (schematisch)

### Zusammenfassung

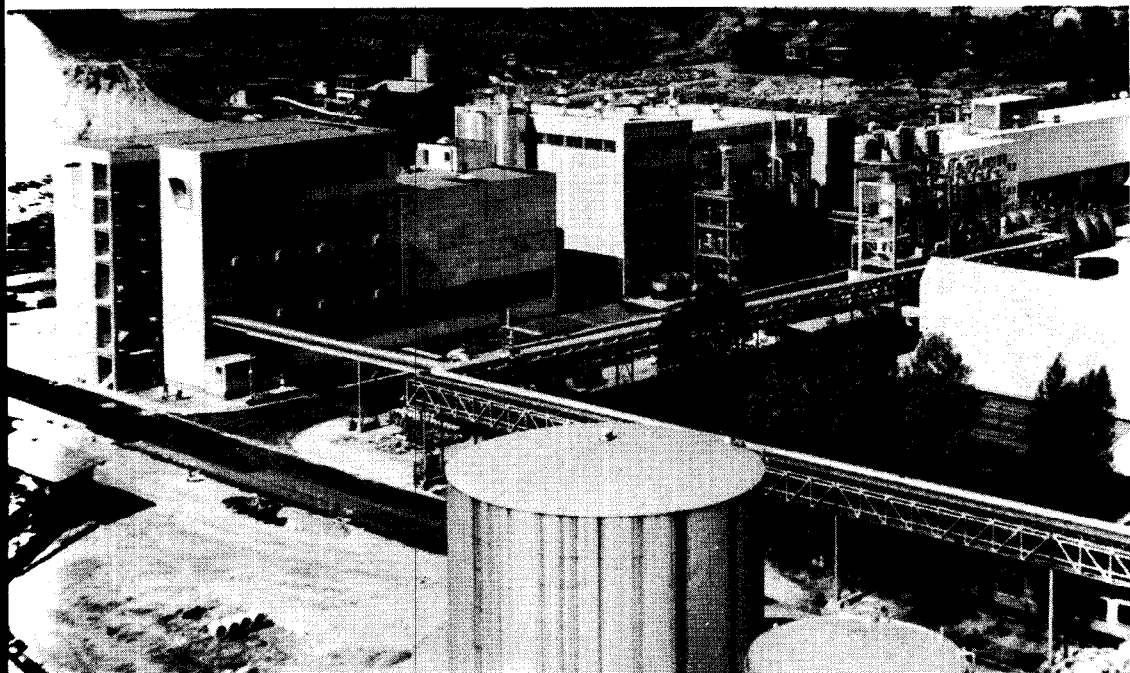
Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte im Chemiefaserbereich waren tatsächlich spektakulär. Es wurden verschiedene Generationen Fasern in schneller Folge dem Markt zur Verwertung angeboten. Der daraus resultierende Schluß, daß es so weitergehen wird, trifft nicht mehr die Tatsachen, weil

- die nunmehr vorhandenen großen Kapazitäten,
- die gewissenhafte Auslotung weiterer Möglichkeiten und
- die mit den vorhandenen Fasern noch nicht ausgeschöpften Kombinationen

im Bereich der Standardfasern zunächst einmal auf die entwickelten Fasern und deren zahlreiche Verarbeitungstechnologien hinweisen.

Die unmittelbare Arbeit des Faserchemikers wird also darin bestehen, vorhandene Verfahren und die dazugehörigen Rohstoffe zu optimieren und zu modifizieren. Dabei wird es für ihn nützlich sein, eng mit den Makromolekularphysikern, den Verfahreningenieuren und den Anwendungstechnikern zusammenzuarbeiten, um seine Möglichkeiten dem langen Band der Erzeugung und des Gebrauches von Textilien noch erfolgreicher zur Verfügung stellen zu können. Daneben harren Spezialaufgaben seiner. Ihre Realisierung ist nicht mehr bloß eine chemische Frage, sondern sie verlangt eine gewisse Aufgeschlossenheit der jeweiligen Situation gegenüber. So betrachtet, verlaufen die Trends der Chemiefaserindustrie - wie bei der Raumfahrt - aus dem Wunderbaren nunmehr ins Praktisch-Alltägliche. Aber auch da ist noch viel zu tun und wird uns noch manche Überraschung begegnen.

# MAYREDER



**INGENIEURE MAYREDER, KRAUS & CO.**  
Baugesellschaft m.b.H.  
4020 Linz, Sophiengutstraße 20

Chemiefaser Lenzing AG., ACN-Anlage  
Gesamtansicht, Bau in ARGE

Röntgenuntersuchungen an Zellulosepfropffasern

Dozent Dr. Hans Krässig und Dr. Josef Paul, Lenzing

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Die folgende Kurzzusammenfassung beschreibt Röntgenuntersuchungen an pfropfmodifizierten Zellulosefasern. Zielsetzung derselben war die Klärung der Frage, inwieweit die Pfropfung unter Änderung der kristallinen Ordnung bzw. Orientierung erfolgt.

Die Tatsache, daß sich das Weitwinkelstreuverhalten der gepfropften Zellulosefasern aus den Streuteilen von Basiszellulose und aufgepfropftem unorientiertem Polymeren additiv zusammensetzt, kann - zusammen mit den Ergebnissen von mikroskopischen Untersuchungen - dahingehend gedeutet werden, daß die Pfropfung bis zu einer Anpfropfung von etwa 40 % Polymerem (Polymergehalt = ca. 30 %) nur an den Oberflächen bzw. an den zugänglichen Bereichen der Fibrillarbausteine der Faser ohne Störung der kristallinen Ordnung erfolgt. Die dabei auftretende Desorientierung ist relativ geringfügig.

The short communication describes X-ray diffraction investigations on graft modified regenerated cellulose fibers. These investigations were undertaken to clarify the question whether the grafting interferes with the crystalline order and orientation of the back-bone fibers.

The wide-angle diffraction-behaviour of the grafted cellulose fibers is found to be the sum of the diffraction-behaviour of the cellulose fiber fraction and of the grafted and unoriented polymer fraction. This finding can be taken as proof for the fact that the grafting up to a polymer add-on of approx. 40 % takes place on the surface or in accessible areas of the fibrillar building unit of the fiber. The crystalline order is apparently unchanged. At the same time only slight changes in the crystalline orientation are observed.

Die Pfropfmodifikation von Zellulose hat seit den frühen fünfziger Jahren sowohl aus wissenschaftlichen Gründen als auch mit technischen Zielsetzungen vielfache Bearbeitung gefunden. Über die Ergebnisse solcher Untersuchungen wurde von verschiedener Seite in zusammenfassenden Übersichtsartikeln berichtet<sup>1</sup>.

Während bis vor wenigen Jahren, trotz anfänglich hochgeschraubter Erwartungen, kaum praktische Anwendungen absehbar waren, haben neuere Beobachtungen zu Ansätzen der industriellen Anwendung der Pfropfmodifikation geführt.

Anstoß für diese Entwicklung war die Auffindung der Xanthogenat-Peroxid-Pfropfmethode, die unabhängig voneinander von Faessinger et. al.<sup>2</sup> und von Dimov<sup>3</sup> in den frühen sechziger Jahren vorgeschlagen worden war. Die hohe Radikalübertragungsgeschwindigkeit dieses Systems, die zur Bildung zahlreicherer und kürzerer Pfropfseitenketten, zur Unterdrückung der Homopolymerisation, zu guter Monomerausnutzung und zu vernünftig kurzen Reaktionszeiten führt, hat die Anwendung der Pfropfmodifikation in den Bereich der technischen Realisierbarkeit zur Modifikation von zellulosischen Fasern und von Zellulosetextilien geführt<sup>4</sup>. Prinzipiell ist es heute möglich geworden,

solche Modifikationen innerhalb der üblichen Regeneratzellulosefasererzeugung nach dem Viskoseprozeß durchzuführen.

Hierdurch haben grundlegende Studien, wie die Frage der chemischen Bindung zwischen Zelluloserückgrat und aufgepfropfter polymerer Seitenkette oder die Frage des Anknüpfungsbereiches innerhalb der Faserstruktur, neuerlich an Interesse gewonnen.

Über die Frage des chemischen Mechanismus und der Bindungsart der Pfropfkette wurde an anderer Stelle bereits berichtet. Es darf als weitgehend erwiesen angesehen werden, daß die Pfropfreaktion beim „Xanthat-Peroxid“-Verfahren gemäß folgendem Schema abläuft:

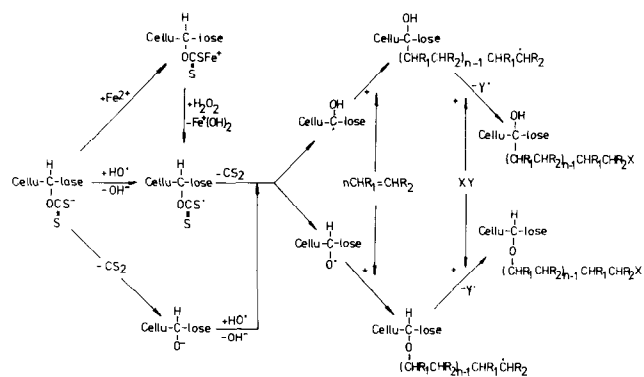


Abb. 1: Schema der Pfropfreaktion beim Xanthat-Peroxid-Verfahren

Die Mehrzahl der Verknüpfungen dürfte durch C-C-Bindungen, ein geringerer Teil durch C-O-Bindungen erfolgen.

Offen ist noch die Frage, wo innerhalb des Faserverbandes - morphologisch gesehen - die Polymeraufpfropfung erfolgt. Möglich wäre, daß die Polymeraufpfropfung entweder statistisch an allen Zelluloseketten angreift, oder aber topochemisch nur an den Oberflächen der Fibrillen bzw. innerhalb derselben in zugänglichen Übergangsbereichen zwischen den Kristalliten erfolgt. Im ersteren Falle wäre eine schon bei niedrigen Anpfropfgraden einsetzende Gitterausweitung zu erwarten, die röntgenographisch zu erfassen sein müßte. Im zweiten Falle würde das Kristallgefüge des Zellulosesubstrates intakt bleiben und allenfalls eine gewisse Desorientierung der Fibrillen feststellbar sein. Über erste Ergebnisse derartiger Röntgenuntersuchungen soll in dieser Kurzzusammenfassung berichtet werden.

Experimentelles:

Zur Untersuchung gelangte eine Reihe von pfropfmodifizierten Zellulose regeneratfasern. Die Pfropfung war als nachträgliche Behandlung an den fertigen Hochnaßmodulfasern in einem Chargenreaktor bei Pfropfzeiten von ca. 2 Stunden vorgenommen worden. Die Durchführung erfolgte unter Bedingungen wie früher beschrieben<sup>5</sup>.

Die Pfropfmodifikation wurde mit Acrylnitril, Styrol bzw. mit einem phosphorhaltigen Vinylmonomeren vorgenommen. In dieser Mitteilung wird im besonderen über Untersuchungen an einer pfropfmodifizierten Viskosefaser berichtet, die 38,3 % aufgepfropftes Polystyrol enthielt.



Daneben wurden Acrylnitril, Styrol und ein phosphorhaltiges Vinylmonomer durch radikalische Polymerisation in Lösungs- bzw. Fällungspolymerisation in die entsprechenden Polymeren übergeführt, um an diesen deren Röntgendiffraktionsverhalten zu studieren.

Die Röntgenuntersuchungen wurden mittels der von O. Kratky entwickelten Weitwinkelfaserkamera durchgeführt. Der Generator enthielt ein Philips-Röntgenrohr hoher Intensität. Verwendet wurde die Cu( $\alpha$ )-Strahlung; ein Nickelfilter sorgte für die Eliminierung des Anteils an Cu( $\beta$ ). Die Betriebsbedingungen der Röntgenanlage waren 50 kV, 28 mA.

Die Primärintensität wurde vor jeder Messung mittels eines Lupolen-Plättchens anhand der Streuintensität bei einem Winkel von  $2\Theta = 20^\circ$  überprüft und auf eine festgelegte Zahl von Impulsen/4 min nachgestellt.

Die Faserproben wurden parallelisiert, an einem Ende zusammengebunden, in eine genormte Quarzkapillare einge-zogen und verspannt. Das Gewicht dieses Faserbündels be-trug etwa 0,11 g/5 cm. Die Probenmengen wurden jeweils so gewählt, daß der Schwächungsfaktor ( $A_s$ ) für alle unter-suchten Präparate etwa von der gleichen Größenordnung war.

Zur Bestimmung der Äquatorinterferenzen bzw. des Ord-nungszustandes wurde die Quarzkapillare mit dem paralleli-sierten Faserbündel in horizontaler Lage dem Röntgenstrahl ausgesetzt und die Intensitätsverteilung der Röntgenstreu-ung mittels einem sich auf dem Äquator bewegenden Zähl-rohr im Winkelbereich von  $2\Theta = 3^\circ$  bis  $2\Theta = 42^\circ$  als Impulse/4 min registrierend gemessen.

Zur Durchführung der Azimuth-Messungen zwecks Bestim-mung des Orientierungsgrades wurde das in der Kapillare befindliche Faserbündel schrittweise in festgelegten Grad-intervallen aus der horizontalen Position zum einfallenden Strahl über die vertikale zurück zur horizontalen Position gedreht. Das Zählrohr war hierbei jeweils auf die  $2\Theta$ -Werte der  $A_0$ -,  $A_3$ - bzw.  $A_4$ -Position eingestellt.

Die erhaltenen Streukurven wurden jeweils um die Compton-Streuung und die Blindstreuung der leeren Kapillare korri-giert.

Die erwähnten Polymeren wurden in Pulverform in Quarz-kapillaren gefüllt und die Bestimmung der Äquatorinter-ferenzen in analoger Weise durchgeführt. Auch hier wurde jeweils der Schwächungsfaktor  $A_s$  bestimmt.

**Ergebnisse und Diskussion:**

Mikroskopische Untersuchungen an Querschnitten verschie-den gepfropfter Zellulosefasern hatten ergeben, daß im Ver-laufe der Pfpfung eine Querschnittsaufweitung der modi-fizierten Fasern erfolgt, die der aufgepfropften Polymer-menge direkt proportional ist.

Weiters hatten Untersuchungen an Querschnitten pfpf-modifizierter Zellulosefasern, deren aufgepfropfte Polymer-ketten gegen Säurefarbstoffe affine Gruppen enthielten, nach der Färbung mit solchen Farbstoffen erkennen lassen, daß das aufgepfropfte Polymere nicht als Mantelschicht um die Basisfaser vorliegt, sondern gleichmäßig über den ge-samten Querschnitt derselben verteilt ist.

Bei der Auswertung der äquatorialen Weitwinkeldiffrakto-gramme wurde daher angenommen, daß die Anpfropfung des Seitenkettenpolymeren überwiegend an den Oberflächen der Fibrillarbausteine der Faser bzw. in den Zwischen-räumen zwischen diesen erfolgt. Bei Richtigkeit dieser An-nahme müßte das Streuverhalten der pfpfmodifizierten Fasern als Summe aus den entsprechenden Streuanteilen der Zellulosebasisfaser und den entsprechenden Streu-anteilen des aufgepfropften Polymeren zu erklären sein:

$$I_{\text{pfpf.}} = k_1 \cdot I_{\text{Cell.}} + k_2 \cdot I_{\text{Polym.}}$$

Dies wurde auch tatsächlich gefunden, wie die im folgenden wiedergegebene tabellarische Aufstellung der ausgewerteten Ergebnisse von Röntgenweitwinkeluntersuchungen an den Basiszellulosen, den Polymerpulvern und den entsprechen- den pfpfmodifizierten Zellulosefasern am Beispiel der mit Styrol gepfropften Faser (38,3 % Styrolgehalt) belegt:

$2\Theta$	$I_{\text{Cell.}} \cdot k_1$ (1)	$I_{\text{Polym.}} \cdot k_2$ (2)	$I_{\text{pfpf.}}$ (1 + 2)	$I_{\text{pfpf.}}$ experimentell	$s_i$ in %
7,0	5 623	4 511	10 134	10 299	- 1,60
7,5	5 309	5 253	10 562	11 062	- 4,52
8,0	6 331	5 959	12 290	12 293	- 0,02
8,5	6 837	6 683	13 520	13 164	+ 2,70
9,0	6 781	7 406	14 187	13 974	+ 1,52
9,5	7 703	7 899	15 602	15 429	+ 1,12
10,0	8 959	8 115	17 074	16 579	+ 2,98
10,5	11 352	7 942	19 294	18 647	+ 3,47
11,0	13 692	7 758	21 450	21 711	- 1,23
11,5	17 801	7 388	25 189	26 140	- 3,64
12,0	21 338	7 338	28 676	29 841	- 3,90
12,5	21 404	7 167	28 571	29 420	- 2,89
13,0	19 336	7 319	26 655	26 435	+ 0,83
13,5	17 307	7 192	24 499	23 934	+ 2,36
14,0	17 209	7 423	24 632	23 830	+ 3,37
14,5	18 264	7 817	26 081	24 562	+ 6,19
15,0	19 640	8 203	27 843	26 684	+ 4,34
15,5	22 048	9 041	31 089	28 551	+ 8,89
16,0	22 147	10 046	32 193	29 980	+ 7,38
16,5	23 305	10 613	33 918	31 753	+ 6,82
17,0	24 140	11 690	35 830	33 340	+ 7,47
17,5	25 571	12 960	38 531	36 258	+ 6,27
18,0	28 463	13 907	42 370	40 177	+ 5,46
18,5	33 930	14 781	48 711	46 745	+ 4,21
19,0	41 186	15 378	56 564	56 719	- 0,27
19,5	51 000	15 616	66 616	68 245	- 2,39
20,0	58 947	15 375	74 322	75 760	- 1,90
20,5	61 161	14 170	75 331	75 610	- 0,37
21,0	64 442	13 149	77 591	76 303	+ 1,69
21,5	68 247	11 760	80 007	81 350	- 1,65
22,0	66 584	10 440	77 024	79 111	- 2,64
22,5	54 811	9 299	64 110	64 358	- 0,39
23,0	39 293	8 288	47 581	46 719	+ 1,85
23,5	27 627	7 318	34 945	34 110	+ 2,45
24,0	20 681	6 696	27 377	27 455	- 0,28
24,5	17 073	6 131	23 204	23 481	- 1,18
25,0	14 798	5 724	20 522	20 781	- 0,12
25,5	12 915	5 169	18 084	18 795	- 3,78
26,0	11 241	4 923	16 164	16 987	- 4,84
26,5	10 221	4 636	14 857	15 680	- 5,25
27,0	9 158	4 542	13 700	14 290	- 4,13
27,5	8 099	3 992	12 091	13 396	- 9,74
28,0	7 912	3 980	11 892	12 706	- 6,41
28,5	7 482	3 824	11 306	12 188	- 7,24
29,0	7 016	3 598	10 604	11 994	- 11,51
29,5	6 797	3 440	10 237	11 252	- 9,02
30,0	6 289	2 970	9 259	9 897	- 6,45
				$\bar{s} = 4,73$	

Tabelle 1: Die Additivität der Streuanteile von Zellulose und Styrol wurden im Röntgenweitwinkeldiffraktogramm mit einer mit Styrol gepfropften Zellulosefaser überprüft. Die Fak-toren  $k_1$  für den Zelluloseanteil und  $k_2$  für den Styrol-anteil wurden mittels eines entsprechenden Rechner-programms für kleinstes  $\bar{s}$  mit  $k_1 = 0,69$  und  $k_2 = 0,31$  bestimmt.

Die Anteilsfaktoren  $k_1$  und  $k_2$  für den Streuteil der Zellulose und des Polymeren in der pfpfropfmodifizierten Faser enthalten die Korrektur für den  $A_S$ -Unterschied bei der Aufnahme der Röntgendiffraktogramme [ $A_S(\text{Pfpfropf.})/A_S(\text{Cell.})$  bzw.  $A_S(\text{Pfpfropf.})/A_S(\text{Polym.})$ ], den Prozentanteil der Zellulose bzw. des Polymeren in der Pfpfropffaser und einen Faktor, der die Dichteänderungen und weitere Wechselwirkungen der Bestandteile der Pfpfropffaser berücksichtigt.

Die noch nicht völlig abgeschlossenen Untersuchungen an den übrigen Pfpfropfpolymeren bestätigen die berichtete Additivität des Röntgendiffraktionsverhaltens der Pfpfropfprodukte aus entsprechenden Streuteilen des Zelluloseanteils und des Polymeranteils. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme, daß die Aufpfpfropfung des Polymeranteils im Falle der Xanthat-Peroxid-Pfpfropfung von Zellulosefasern ohne Eingriff in die kristallinen Anteile der Basiszellulose, zumindest bis zu dem untersuchten Niveau der Aufpfpfropfung, erfolgt.

Zur Klärung der Frage, inwieweit die Aufpfpfropfung von Polymeren die Orientierung der Basiszellulose ändert, wurden die Azimuttkurven der  $A_0$ - und  $A_3$ -Reflexionen der zur Pfpfropfung verwendeten Zellulosefasern sowie die der erhaltenen Pfpfropffasern aufgenommen. Zur Auswertung wurden die Azimuttkurven der letzteren in den Streuteil des amorphen Polymeren (vergl. Streuintensität des Polymeranteils bei entsprechenden Winkeln - Tab. 1) und den des orientierten Zelluloseanteils getrennt, wie dies in nachstehender Abbildung demonstriert ist.

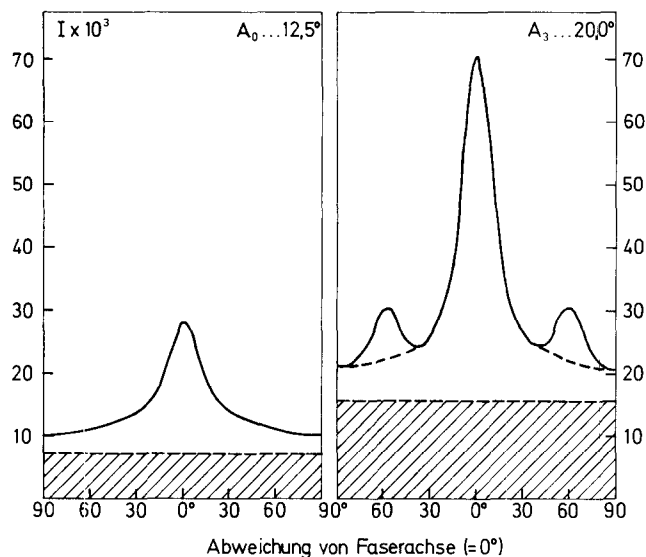


Abb. 2: Aufgliederung der azimuthalen Streuverteilungen ( $A_0$ - bzw.  $A_3$ -Reflexion) einer styrolgepfpfropften Zellulosefaser in Streuteile von aufgepfpfropftem amorphem Polystyrol (gestrichelte Fläche) und Basiszellulose (darüberliegend) - Schema

An den derart abgetrennten  $A_0$ - und  $A_3$ -Azimutthstreuverteilungen des Zelluloseanteils wurden gemäß  $Hermans$  und  $Weidinger$ <sup>6</sup> die Orientierungsfaktoren  $f_r$  errechnet. Im Vergleich zum  $f_r$ -Faktor der Basiszellulosen von 0,52 wurde für die styrolmodifizierte Zellulosefaser ein solcher von 0,49 für den Zelluloseanteil ermittelt. Ähnlich ge-

ringe Unterschiede ergaben analoge Untersuchungen an den übrigen pfpfropfmodifizierten Zellulosefasern.

Nach diesem Ergebnis erfolgt die Aufpfpfropfung der polymeren Seitenketten an den Oberflächen bzw. in den zugänglichen Bereichen der Fibrillarbausteine nicht nur ohne Eingriff in die kristalline Ordnung, sondern auch ohne wesentliche Desorientierung der Faserbausteine aus der Faserachse.

Die Röntgenuntersuchungen, die dieser Mitteilung zugrunde liegen, wurden am Institut für Feinstrukturuntersuchungen in Graz unter der Leitung von Herrn Professor Dr. O. Kratky durch Frau Dr. A. Sekora durchgeführt. Herrn Professor Dr. Kratky und Frau Dr. Sekora sei für die Durchführung der Untersuchungen sowie für ihre Anregungen und Diskussionsbeiträge herzlich gedankt.

Literatur:

- 1) H. Krässig and V. Stannett: "Graft copolymerization to cellulose and its derivatives"; Adv. Polym. Sci., Vol. 4, pp. 111-156 (1965)  
E.H. Immergut und H. Mark; Makromol. Chem. **18**(19), 322 (1956)  
J. Schurz; Österr. Papier Z. **64**(3), 7 (1958)  
N.G. Gaylord; Interchem. Rev. 15, 91 (1957), published by Interchemical Corporation, New York  
H. Mark and E.H. Immergut: "Graft and block copolymers of cellulose"; Proc. 1st Cellulose Conference, Syracuse, N.Y., 1958  
E. Schwab, V. Stannett and J.J. Hermans; Tappi **44**, 251 (1961)  
W.J. Burlant and A.S. Hoffmann: "Block and graft polymers"; New York: Reinhold 1960  
V. Stannett; Tappi **47**, 85 A (1964)  
R.J. Ceresa: "Block and graft copolymers"; London: Butterworth 1962  
J.J. Hermans; Pure and Appl. Chem. 5, 147 (1962)  
J. Schurz; Das Papier 16, 525 (1962)
- 2) US-P. 3 330 787, 8. 4.1963 (Scott Paper Company)  
Brit.P. 1 059 641, 2. 4.1964 (Scott Paper Company)  
DOS 1 468 965, 6. 3.1969 (Scott Paper Company)  
W.J. Brickman and R.W. Faessinger; Textile Chemist Colorist 5 (5), 94-97 (1973)  
W.J. Brickman; Tappi **56**(3), 97-100 (1973)
- 3) K. Dimov and P. Pavlov; J. Polymer Sci., Part A-1 (7), 2775-2792 (1969)  
Das Papier **23**(11), 809-814 (1969)  
Cellulose Chem. Technol. 7, 451-464 (1973)
- 4) H. Krässig; Das Papier **24**, 926-934 (1970)  
H. Krässig; Svensk Papperstidn. **74**(15), 417-427 (1971)  
F. Gotschy und H. Krässig; Das Papier **26**(12), 813-817 (1972)  
Z.A. Rogovin; Lenzinger Berichte, 26, 21-32 (1968); 30, 16-23 (1970)  
M.A. Tjuganova, M.O. Lischevskaja und Z.A. Rogovin; Lenzinger Berichte 36, 186-192 (1974)
- 5) H. Krässig; Das Papier **24**, 926-934 (1970)
- 6) J.J. Hermans, P.G. Hermans, D. Vermaas and A. Weidinger; Rec. Trav. Chim., 65, 427 (1946)  
P.H. Hermans: "Physics and chemistry of cellulose fibers"; Elsevier, New York (1949), 214-240

## Über die Ermittlung von Kennwerten für das Dehnverhalten von Fasern und Fäden

Professor Dr. habil. Johannes Julfs  
Technische Universität Hannover

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

J. Harms hat wiederholt darauf hingewiesen, daß die technologischen Eigenschaften von Fasern in der betrieblichen Prüfpraxis durch Kennwerte bezeichnet werden müssen, die einerseits einer wissenschaftlichen Begründung der einwandfreien Beziehung zwischen Meßwert und praktischer Aussagekraft vollauf genügen und andererseits mit einem in jeder Weise angemessenen, optimal geringsten Prüfaufwand erhalten werden können. Während die Problematik des für die Reißkraft im Grunde recht unspezifischen Wertes hinreichend bekannt ist, soll hier die Möglichkeit einer einfachen Kennzeichnung des Dehnverhaltens in dem für die Textilpraxis wichtigen Bereich der kleineren Dehnungen unter Berücksichtigung der Forderung von Harms diskutiert werden.

J. Harms has repeatedly pointed out that the technological properties of fibres should be given characteristic values for usage in practical testing, which on the one hand shall fully comply with a scientific foundation of the relation between measured value and practical statement, and which on the other hand can be obtained with reasonably little testing requirements. Whilst the problem of the rather unspecific value for the tear strength is well known, this paper shall discuss the possibility of a simple characterization of elongation, especially in the range of small elongations that is important for the textile industry, taking Harms' demand into consideration.

### Vorbemerkung

Die bekannten Prüfverfahren, mit denen Meßwerte für das elastische Verhalten von Fasern und Fäden ermittelt werden sollen, liefern als einzigen Kennwert für das Substanzverhalten eine Größe, die im wesentlichen eine aufgewendete Zugkraft in Beziehung zu einer entsprechenden Längenänderung der Probe setzt. Da die physikalische Größe (Dimension) für die auf den Querschnitt der Probe bezogene Kraft zur Erzeugung der Dehnung  $l$  (entsprechend einer Längenänderung von 100 %) der Größe eines Elastizitätsmoduls entspricht, wird häufig - aber fälschlich - ein solcher Kennwert schlechthin als „Elastizitätsmodul“ bezeichnet. Die sehr starke Abhängigkeit des Kennwertes von den Prüfbedingungen und die Nichtvergleichbarkeit der Zahlenwerte, die nach verschiedenen Prüfverfahren gewonnen werden, lassen allein schon erkennen, daß man mit diesen Verfahren keine kennzeichnenden Absolutwerte erhalten kann.

### Vereinfachtes Strukturschema des Dehnverhaltens

Der molekulare Aufbau der Fasersubstanz sowie die technologisch beobachteten Dehnungseigenschaften schließen aus, daß das Dehnverhalten modellmäßig bloß durch eine elastische Feder eindeutig dargestellt werden kann<sup>1</sup>. Wenn gleich eine einfache Beschreibung des komplizierten molekularen Gefüges der Fasersubstanz nicht möglich ist, so las-

sen sich die Vorstellungen in hierfür ausreichender Schematisierung doch in einem überschaubaren Mechanismus wiedergeben<sup>2</sup>.

In den vorzugsweise weitgehend in der Richtung der Faserachse orientierten Fibrillen lösen kleine Blöcke mit parallel liegenden Molekülabschnitten (die Kristallite) solche kleine Bereiche, in denen eine Wirrlage der Molekülabschnitte vorherrscht, ab. Die kristallinen Blöcke werden bei Einwirkung einer Zugspannung praktisch kaum auf Dehnung beansprucht. In den Bereichen zwischen den Kristalliten wirken diejenigen Molekülabschnitte, die die Kristallite miteinander verbinden - entsprechend ihrer Wirrlage -, wie elastische Federn. Die übrigen Molekülabschnitte, die an ihren Berührungstellen infolge der zwischen ihnen wirkenden zwischenmolekularen Bindungskräfte aneinander haften, können ebenfalls elastisch nachgeben. Sie werden aber auch bei Einwirkung einer Zugkraft - abhängig von der Einwirkungs-dauer - aneinander abgleiten. Das beobachtete Dehnverhalten entspricht daher einem Nebeneinander der beiden Prozesse.

### Modulfunktionen zur Kennzeichnung des Dehnverhaltens

In praktisch ausreichender Näherung kann das Dehnverhalten für das beschriebene molekulare Fasergefüge dann - zumindest innerhalb kleiner Längenänderungen - durch ein einfaches rheologisches Modell wiedergegeben werden, das auf den Grundtypen der Verformung aufgebaut ist. Die einfachsten Grundtypen der Verformung sind bekanntlich

- die elastische „Hookesche Verformung“ und
- das „Newtonsche Fließen“.

Bei einer elastischen Feder, die dem Modell der Hookeschen Verformung entspricht, stellt sich praktisch sofort eine der einwirkenden Spannung  $\sigma$  proportionale Dehnung  $\epsilon$  ein. Es ist das ideal-elastische Verhalten:  $\sigma = E \cdot \epsilon$ .  $E$  ist der Elastizitätsmodul. *Je kleiner der Elastizitätsmodul ist, desto größer ist die Dehnung bei gleicher Spannung.*

Beim Newtonschen Fließen ist die Verformungs- oder Dehngeschwindigkeit  $de/dt = \dot{\epsilon}$  der einwirkenden Spannung proportional:  $\dot{\epsilon} = \eta \cdot \sigma$ . Hier ist  $\eta$  der Viskositätsmodul. (Auf den Unterschied zwischen Dehn- und Scherviskosität sei hier nur hingewiesen.) Am augenfälligsten wird das Newtonsche Fließen durch einen Dämpfer, etwa einen durch eine zähe Flüssigkeit gezogenen Kolben, dargestellt. Man spricht dabei vom „idealen Fließverhalten“ oder vom „idealviskosen Verhalten“. *Je kleiner der Viskositätsmodul ist, desto größer ist die Verformungsgeschwindigkeit bei gleicher Spannung.*

Unter Verwendung der beiden Grundtypen Feder und Dämpfer gelingt die Beschreibung des Dehnverhaltens von Fasern für jeden Dehnungszustand dann mit zwei Federn und einem Dämpfer: Das rein elastische Verhalten der Gruppe der die Kristallite miteinander verbindenden Molekülabschnitte wird dabei durch die elastische Feder  $F_1$  (Elastizitätsmodul  $E_1$ ) dargestellt. Das je nach Einwirkungs-dauer der Zugkraft aneinander abgleitende Molekülgefüge, das bei kurzzeitiger Krafteinwirkung praktisch nur elastisch nachgibt, wird durch die elastische Feder  $F$  (Elastizitätsmodul  $E$ ) dargestellt, auf die die Zugkraft über einen Dämpfer  $D$  (Viskositätsmodul  $\eta$ ) einwirkt. Diesen Prozeß kann

im *Maxwell-Modell* das Hintereinanderschalten der Feder  $F$  und des Dämpfers  $D$  wiedergeben. Das Gesamtdehnverhalten entspricht dann einer Parallelschaltung der Feder  $F_T$  mit dem Maxwell-Modell (also:  $F_T//F-D$ ) zu einem *Poynting-Thomson-Modell*.

In diesem Modell wird das Dehnverhalten durch drei Moduln gekennzeichnet: Die beiden Elastizitätsmoduln  $E$  und  $E_T$  charakterisieren Kurzzeit- und Langzeitanteil des elastischen Verhaltens, und der Viskositätsmodul  $\eta$  beschreibt das Fließverhalten. Im allgemeinen ändern aber die Moduln ihren Zahlenwert von Dehnungszustand zu Dehnungszustand und sind damit nur Momentanwerte von Modulfunktionen in Abhängigkeit vom Dehnungszustand, also von Dehnung und Verformungsgeschwindigkeit:

$$E = E(\epsilon, \dot{\epsilon}), E_T(\epsilon, \dot{\epsilon}), \eta = \eta(\epsilon, \dot{\epsilon}).$$

**Die Forderung nach einem einfachen Prüfverfahren für die Praxis**

In der betrieblichen Prüfpraxis ist die Ermittlung der Modulfunktionen, über die bereits berichtet wurde<sup>3</sup>, wegen ihres meßtechnischen Aufwandes im allgemeinen nicht durchführbar. Allein schon aus diesem Grunde mußte bisher jenen Prüfverfahren der Vorzug gegeben werden, die in einem möglichst wenig modifizierten Zugversuch mit vergleichsweise geringem Aufwand einen Kennwert liefern. Die geringe Aussagekraft und die ungenügende allgemeine Beziehung der Kennwerte zum praktischen Verhalten sind bekannt. Der Grund liegt naturgemäß in der Abhängigkeit des Dehnverhaltens von mehr als einem Parameter (bzw. Modul).

Es ist also erforderlich, daß wenigstens zwei Kennzahlen in einem einfachen Prüfverfahren bestimmt werden können, von denen die eine den elastischen Anteil, die andere den Fließanteil der Dehnung in praktisch ausreichender Näherung und Genauigkeit identifiziert. Die Bedingungen für die Brauchbarkeit eines solchen Prüfverfahrens sind klar zu bezeichnen:

1. Die theoretische Begründung des Verfahrens müßte gegeben sein.
2. Die zweifellos einschränkenden Voraussetzungen müßten aufgezeigt werden.
3. Die erhaltenen Kennzahlen müßten mit solchen vergleichbar sein, die aus anderen, hiervon unabhängigen Prüfverfahren gewonnen werden. Sie werden, weil sie damit einen gewissen Absolutcharakter gewinnen würden, das praktische Verhalten der Prüfmuster einwandfreier darstellen können.

**Verfahren zur Bestimmung zweier Kennzahlen für das elastische und das Fließverhalten**

Durch eine einfache Modifikation bekannter Prüfverfahren gelingt es, an einem Zugprüfgerät - das heute normgerecht mit konstanter Dehngeschwindigkeit ( $\dot{\epsilon} = \text{const}$ ) arbeitet - die erforderlichen Kennzahlen zu erhalten<sup>4</sup>: Mit festgelegter Dehngeschwindigkeit wird im einfachen Zugversuch eine vorgegebene Dehnung ( $\epsilon$ ) erreicht und dabei die entsprechende Zugkraft ( $F_1$ ) abgelesen. Die Dehnung ( $\epsilon$ ) wird dar-

aufhin für die vorgegebene Zeitdauer ( $t_2 - t_1$ ) von einer Minute konstant gehalten ( $\dot{\epsilon} = 0$ ) und so ein Relaxationsversuch durchgeführt. Am Ende dieses Relaxationsversuchs zur Zeit  $t_2$  wird die - nach einer Minute Relaxationsdauer angezeigte - reduzierte Zugkraft ( $F_2$ ) abgelesen. [Zur Bestimmung des Anteils der bleibenden Dehnung an der Gesamtdehnung nach einer bestimmten Zeit wird - wie üblich - danach voll entlastet und nach vorgegebener Entlastungsdauer (beispielsweise nach 3 Minuten) die - bei wieder angelegter Vorspannkraft - sich einstellende bleibende Dehnung bestimmt.] Bei solchem Vorgehen sind beim eigentlichen Dehnvorgang und beim Relaxationsvorgang sowohl die elastische als auch die viskose Komponente - gekennzeichnet durch die Moduln  $E'$  und  $\eta'$  - in verschiedener Weise wirksam.  $E'$  und  $\eta'$  sind daher auf diesem Wege grundsätzlich ermittelbar.

Nach Darstellung der theoretischen Möglichkeit zur Bestimmung zweier Kennzahlen  $E'$  und  $\eta'$  nach dem vorgeschlagenen Verfahren und der Angabe von Voraussetzungen für die Zuverlässigkeit der näherungsweise Beschreibung des Dehnverhaltens mit diesen beiden Kennzahlen - statt der ausführlicheren Beschreibung mit Hilfe der drei Modulfunktionen  $E$ ,  $E_T$  und  $\eta$  - sollen einige Meßbeispiele mit den Ergebnissen aus anderen Verfahren verglichen werden.

**Theoretische Ansätze für die Modelldehnungen**

Das Poynting-Thomson-Modell zeigt die differentiellen Dehnungen der einander parallelgeschalteten Feder- und Maxwell-Zweige, die sich aus den Grundgleichungen für die Verformungstypen unmittelbar ergeben:

$$(1a) \quad d\epsilon = \frac{1}{E_T} \cdot d\sigma_T \quad \text{im Feder-Zweig,}$$

$$(1b) \quad d\epsilon = \frac{1}{E} \cdot d\sigma_M + \frac{\sigma_M}{\eta} \cdot dt \quad \text{im Maxwell-Zweig.}$$

$\sigma_M$  und  $\sigma_T$  sind die Spannungen im Feder- bzw. im Maxwell-Zweig. Weil  $\sigma = \sigma_M + \sigma_T$  ist, erhält man hieraus unmittelbar die „*rheologische Zustandsgleichung*“ des Poynting-Thomson-Modells, die die Dehnungsänderungen in Abhängigkeit von der Spannung, von der Spannungsänderung und von den Modulfunktionen wiedergibt:

$$(2) \quad \dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E + E_T} + \frac{\sigma - \sigma_T}{\eta} \cdot \frac{E}{E + E_T}.$$

Es sei schon hier vermerkt, daß als besondere Komplikation in dieser Gleichung die Aufteilung der Gesamtspannung  $\sigma$  auf die parallelgeschalteten Modellzweige und damit der Ausdruck  $(\sigma - \sigma_T)$  im Zähler des zweiten Summanden auf der rechten Seite der Gleichung auftritt.

Das Reduzieren auf zwei Kennwerte erfordert die Zurückführung bzw. Einschränkung des Poynting-Thomson-Modells auf ein Maxwell-Modell. Für das Maxwell-Modell gilt - nun allgemein mit den Moduln  $E'$  und  $\eta'$  - nach Gleichung (1b) die rheologische Zustandsgleichung:

$$(3) \quad \dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E'} + \frac{\sigma}{\eta'}.$$

Eine Zurückführung des Poynting-Thomson-Modells auf das Maxwell-Modell und ein Vergleich der Modulwerte ist nur dann und insoweit möglich, als die Moduln  $E'$  und  $\eta'$  durch

die Moduln  $E$ ,  $E_T$  und  $\eta$  ausdrückbar sind. Es müßte also gelten:

$$(4) \quad E' = E + E_T \text{ und}$$

$$(5) \quad \eta' = \eta \cdot \frac{\sigma}{\sigma - \sigma_T} \cdot \frac{E + E_T}{E}$$

**Voraussetzungen für die Ermittlung der Kennwerte  $E'$  und  $\eta'$**

Beschreibt man den Relaxationsversuch bei der Dehnung  $\epsilon$  in dem dargestellten Prüfverfahren mit einem Maxwell-Modell, so kann man den Verlauf der Relaxation aus der rheologischen Zustandsgleichung sofort angeben. Die Spannung nimmt nach einem einfachen Exponentialgesetz ab:

$$(6) \quad \sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-t \cdot E/\eta),$$

wobei  $\sigma_0$  die - im Versuch nicht zu bestimmende - Spannung zur Zeit  $t = 0$  ist. Ordnet man den Zeiten  $t_1$  und  $t_2$  die beiden gemessenen Zugkräfte  $F_1$  und  $F_2$  zu und berücksichtigt man, daß bei konstanter Dehnung  $\epsilon$  der Faserquerschnitt  $A$  auch konstant bleibt, so erhält man, da  $\sigma = F/A$  ist:

$$(7) \quad \eta/E' = (t_2 - t_1)/(\ln F_1 - \ln F_2).$$

Durch die Relaxationsmessung kann also der Quotient der beiden Moduln  $\eta'$  und  $E'$  aus den Zugkraftwerten  $F_1$  und  $F_2$  und aus der Relaxationsdauer von  $t_2 - t_1$  (= 1 Minute) ermittelt werden.

Will man statt der Bestimmung der Modulfunktionen in Abhängigkeit von den Dehnungszuständen mit der hier zu berechnenden Kennzahl  $\eta'/E'$  auskommen, so beschränkt man sich auf einen Mittelwert dieser Kennzahl über die relaxierenden Zustände. Diese - zunächst auch nur auf die Dehnung  $\epsilon$  bezogene - Kennzahl kann daher nur insoweit zuverlässig sein, als ihre Konstanz über die bei der Relaxation durchlaufenen Dehnungszustände mit praktisch ausreichender Näherung gesichert ist.

Beim Erreichen der Dehnung  $\epsilon$  im Zugversuch wirkt die Zugkraft  $F_1$ . Diese Kraft ist naturgemäß kleiner als für den Fall, daß allein die rein elastische Komponente, die durch den Modul  $E'$  gekennzeichnet ist, wirksam gewesen wäre. Während der Dauer  $t_1$  des Zugversuchs bewirkt nämlich das gleichzeitige Relaxieren dem Modul  $\eta'$  entsprechend eine Verringerung der Spannung in der Probe.

Zur Vereinfachung nimmt man nun an, daß der bei verhältnismäßig kurzer Dauer bis zum Erreichen der Dehnung  $\epsilon$  (das heißt, wenn  $t_1$  gegenüber  $t_2 - t_1$  klein ist) im Zugversuch durchgeführte Dehnungsvorgang durch eine zeitliche Aufeinanderfolge der momentanen rein elastischen Verformung (entsprechend dem Modul  $E'$ ) und der anschließenden Relaxation (entsprechend dem Modul  $\eta$ ) ersetzt werden kann. Unter dieser Annahme ist nach Gleichung (6) unter Verwendung des nach Gleichung (7) berechneten Quotienten  $E'/\eta'$  die Ermittlung des Zugkraftwertes  $F_0$  möglich, der sich bei rein elastischer Verformung sofort (also für  $t = 0$ ) ohne Relaxationsvorgänge ergeben hätte:

$$(8) \quad F_0 = F_1 \cdot \exp(t_1 \cdot E/\eta).$$

Aus der auf den Ausgangsquerschnitt  $A_v$  (Ausgangstiter) der Faser bezogenen Zugkraft errechnet sich der Modul  $E'$  damit zu

$$(9) \quad E' = (F_0/A_v) \cdot (1 + \epsilon)/\epsilon.$$

Der Wert für  $E'$  wird nach diesem Ansatz in seiner Genauigkeit von der Konstanz der Modulwerte für den Anfangsbereich der Dehnung und von der Zulässigkeit der Aufspaltung des elastischen wie des viskosen Anteils abhängig.

**Voraussetzungen für einen Wertevergleich**

Die Voraussetzung dafür, daß es in hinreichender Näherung zulässig ist, den Dehnvorgang beim Zugversuch in den elastischen und in den viskosen Anteil rechnerisch aufzuspalten, verlangt, daß zu Beginn des Dehnvorgangs der viskose Anteil vernachlässigt werden kann. Rechnerisch bedeutet dies, daß für kleine Zeiten ( $t = \text{nahe } 0$ ) der zweite Summand in Gleichung (3) klein gegen den ersten wird:

$$(10) \quad \sigma/\eta' \ll \dot{\sigma}/E' \text{ bzw. } E' \ll \eta' \cdot \dot{\sigma}/\sigma \text{ und} \\ \epsilon \rightarrow \sigma/E' \text{ mit } E' \rightarrow E + E_T.$$

Wegen der für kleine Zeiten geringen Spannungen  $\sigma$ , aber großen Spannungsänderungen  $\dot{\sigma}$  beim Zugversuch (nach dem Prinzip konstanter Dehnungsgeschwindigkeit) kann diese Forderung bei nicht zu kleinem  $\eta$  bzw.  $\eta'$  sicher als erfüllt angesehen werden.

Für die Praxis würde daraus folgen, daß für Substanzen mit größerem  $\eta'$ , also mit geringerem Fließanteil, bei kleinen Dehnungen und höheren Dehngeschwindigkeiten besser reproduzierbare und vergleichbare Werte erhalten werden. Dieser Effekt konnte meßtechnisch auch nachgewiesen werden<sup>5</sup>.

Wenn im Anfangsdehnbereich näherungsweise ein vorherrschend elastisches Verhalten vorausgesetzt wird, dann könnte die Spannungsverteilung für die kleinen Dehnungsänderungen im Poynting-Thomson-Modell auf die beiden Zweige etwa entsprechend den  $E$ -Moduln angesetzt werden, also:

$$(11) \quad \frac{\sigma}{\sigma - \sigma_T} \longrightarrow \frac{E + E_T}{E}$$

Damit könnte der Modul  $\eta'$  des Maxwell-Modells ohne Kenntnis der Spannungsaufteilung, die in dem Ausdruck  $(\sigma - \sigma_T)$  liegt, durch die Moduln des Poynting-Thomson-Modells ausdrückbar erscheinen:

$$(12) \quad \eta' = \eta \left( \frac{E + E_T}{E} \right)^2.$$

Diese Beziehung kann aber - selbst bei kleinen Dehnungen - dem Kurvenverlauf sicher nicht allgemein entsprechen, da die Spannungsaufteilung - wie schon vermerkt - durch den Ausdruck  $(\sigma - \sigma_T)$  gekennzeichnet ist. In  $\sigma_T$  geht nämlich unabhängig von  $\sigma$  die veränderliche Modulfunktion  $E_T$  aus dem Poynting-Thomson-Modell und die Dehnung  $\epsilon$  ein. Damit wird bei einem Wertevergleich die Beziehung zwischen  $\eta'$  und  $\eta$  nach Gleichung (12) für beide Modelle unsicher. Die hierzu inzwischen durchgeführten Untersuchungen bestätigen dies<sup>6,7</sup>.

### Zur Anfangssteigung der Spannungs-Dehnungskurven

Der allgemeine Charakter des Verlaufs der mit dem Zugprüfgerät aufgenommenen Kraft-Dehnungslinien (normgerecht: Zugkraft-Längenänderungsdiagramme), also auch der Spannungs-Dehnungskurven, ist dadurch gekennzeichnet, daß im Anfangsbereich der Dehnung die Zunahme der Spannung mit der Dehnung (also  $d\sigma/d\epsilon$ ) abnimmt. Dies ist auch theoretisch - vor allem durch den Einfluß des Moduls  $\eta$  - begründbar. Für höhere Dehngeschwindigkeiten sind die Spannungszunahmen für gleiche Dehnungen über den ganzen Bereich größer und nähern sich schließlich bei einer Extrapolation auf sehr große Dehngeschwindigkeiten bestimmten Endwerten. Damit würde auch die Anfangssteigung der Spannungs-Dehnungskurven ein eindeutiger Wert. Nach den Voraussetzungen für einen Wertevergleich (Gleichung 10) kann erwartet werden, daß die auf hohe Dehngeschwindigkeiten extrapolierte Anfangssteigung durch den Wert  $E' = E + E_r$  gegeben ist.

Im allgemeinen zeigen die Spannungs-Dehnungskurven im Anfangsbereich der Dehnung aber auch noch eine Überlagerung der ansteigenden Spannung mit der Dehnung (also  $d\sigma/d\epsilon$  mit  $\epsilon$  zunehmend). Für den Fall kleinster Dehnungen sollte nach dem Gesagten eigentlich  $\sigma = E' \cdot \epsilon$  gemessen werden. Für den Fall, daß  $E'$  von  $\epsilon$  unabhängig wäre, bedeutete dies, daß die Spannungs-Dehnungskurven bei kleinsten  $\epsilon$  für alle  $\dot{\epsilon}$  die gleiche Anfangssteigung aufweisen müssen.

Nun ist aber vor allem die Modulfunktion  $E$  gerade für kleinste  $\epsilon$  in hohem Maße sowohl von  $\epsilon$  als auch von  $\dot{\epsilon}$  abhängig. Ganz allgemein nimmt  $E$  zu kleinsten  $\epsilon$  hin sogar außerordentlich stark zu. Für größere  $\dot{\epsilon}$  nimmt  $E$  allgemein ab. Das bedeutet, daß in dem Bereich des mit  $\epsilon$  zunehmenden  $d\sigma/d\epsilon$  - im Gegensatz zu dem soeben besprochenen allgemeinen Charakter des Kurvenverlaufs - mit ebenfalls zunehmendem  $\dot{\epsilon}$  kleinere  $\sigma$  für gleiche  $\epsilon$  gemessen werden. Das wird in der Tat beobachtet<sup>2, 5</sup>. Diese Überlagerungserscheinung tritt einerseits für Substanzen mit kleinerem  $\eta$  und andererseits bei größeren Dehngeschwindigkeiten  $\dot{\epsilon}$  stärker auf.

Da die starke  $E$ -Variation nur im Bereich so kleiner Dehnungen auftritt, daß sie in der Praxis für textile Beanspruchungen bedeutungslos ist - nur durch die Trägheit der Meßanzeigen der Prüfgeräte wird sie noch im Bereich bis zu etwa  $\epsilon = 0,005$  aufgezeichnet -, muß dieser Überlagerungsbeitrag vor Bestimmung des Moduls  $E'$  aus der Anfangssteigung durch eine entsprechende Korrektur ausgeschaltet werden. Der Modul  $E'$  setzt sich dann natürlich aus den Werten für  $E$  und  $E_r$  zusammen, die diese ohne Berücksichtigung des steilen Anstiegs für kleinste Dehnungen haben. Da dieser Anstieg für mehrfach belastete Fasern ohnedies erheblich reduziert wird, ist eine solche Vernachlässigung für die praktische Faserprüfung zulässig. In erster Näherung kann der Überlagerungsbeitrag durch Extrapolation der Spannungs-Dehnungskurve oberhalb des Wendepunktes, von dem an die Spannung mit der Dehnung abnimmt, auf die Kraft Null hin auskorrigiert werden.

Die bisherigen Betrachtungen galten ausschließlich den Messungen mittels Zugprüfgeräten nach dem Prinzip der konstanten Dehngeschwindigkeit. Ein unabhängiges Prüfverfahren ist dasjenige mit dem Zugprüfgerät, bei dem die Zug-

kraft proportional mit der Zeit ansteigt ( $\dot{\sigma} = \text{const}$ ). Die theoretischen Betrachtungen ergeben, daß die Anfangssteigungen der Spannungs-Dehnungskurven einfach zu bestimmen sind, die - weil hier ja der Überlagerungseffekt wegfällt - mit  $\dot{\sigma}$  zunehmen. Die Zunahme ist vor allem bei Fasern mit kleinerem Modul  $\eta$  deutlich. Die Extrapolation der gemessenen Anfangssteigungen zu Werten für hohe zeitliche Spannungszunahmen ist reproduzierbar und führt zu einem Modul  $E'$ , der theoretisch mit dem Modul  $E$  aus den oben besprochenen Messungen übereinstimmen sollte.

### Über vergleichende Messungen

Messungen von G. M a h n k o p p<sup>5</sup> und E. W a n g e r o w<sup>8</sup> erwiesen die Sicherheit der Extrapolation der Anfangssteigungen. Die mit der Zwick-Zugprüfmaschine für konstante Dehngeschwindigkeiten aufgenommenen Spannungs-Dehnungskurven wurden auf den Überlagerungseffekt korrigiert, und es wurden die Anfangssteigungen in Abhängigkeit von  $1/\dot{\epsilon}$  aufgetragen und auf  $1/\dot{\epsilon} \rightarrow 0$  extrapoliert. Die auf diese Weise gewonnenen Werte stimmten mit jenen überein, die durch Extrapolation auf  $1/\dot{\sigma} \rightarrow 0$  aus den Anfangssteigungen der Spannungs-Dehnungskurven gewonnen wurden, die mit dem Richard-Dynamometer aufgenommen waren, das nach dem Prinzip der zeitlich konstanten Belastungszunahme ( $\dot{\sigma} = \text{const}$ ) arbeitet. Damit erhalten die mit Hilfe der extrapolierten Anfangssteigungen ermittelten Moduln  $E'$  für das Prüfmuster eine absolute Bedeutung.  $E'$  hat nach den theoretischen Betrachtungen die Bedeutung des Grenzwertes der Summe der Modulfunktionen  $E$  und  $E_r$  für  $\epsilon = 0$  unter bewußter Ausschaltung des besprochenen Steilanstiegs für kleinste Dehnungen.

Es wurde nun untersucht, ob die mit dem vorgeschlagenen *Dehnprüfverfahren* ermittelten Werte für  $E'$  mit denen übereinstimmen, die beim Messen der Anfangssteigungen der Spannungs-Dehnungskurven erhalten wurden. Beim Dehnprüfverfahren können die beiden Versuchsparameter Dehnung ( $\epsilon$ ) und Dehngeschwindigkeit ( $\dot{\epsilon}$ ) variiert werden. Es kann erwartet werden, daß die Werte für den Übergang zu kleinen Dehnungen und zu großen Dehngeschwindigkeiten mit den Werten aus den Anfangssteigungen vergleichbar sind.

Für Dehnungen oberhalb 2 % ( $\epsilon = 0,02$ ) wurde eine starke substanzbezogene Abhängigkeit der Werte von der Dehnung gefunden. Modulwerte, die auf die Dehnung von 2 % bezogen sind, zeigen bereits die gleiche funktionelle Abhängigkeit von der Dehngeschwindigkeit wie die aus den Anfangssteigungen bestimmten Werte. Bei Fasergattungen mit kleineren  $\eta$ -Werten treten aber erwartungsgemäß auch noch systematische Unterschiede bis zu ca. 20 % auf. Die auf die Dehnung von 1 % ( $\epsilon = 0,01$ ) bezogenen Werte für den Modul  $E'$  stimmen bereits innerhalb der Meßgenauigkeit mit den Werten aus den Anfangssteigungen überein. Auch die auf  $\epsilon = 0,005$  bezogenen Werte zeigen diese Übereinstimmung. Für kleinere Dehnungen können an den üblichen Prüfmaschinen Messungen dieser Art nicht mehr mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden. Da aber aus früheren Messungen<sup>3</sup> bekannt ist, daß  $E' = E + E_r$  im Bereich der unteren Dehnprozente (außer für kleinste Dehnungen, siehe oben) nur einen sehr schwachen Gang in Abhängigkeit von

der Dehnung aufweist, sollten die Messungen für  $\epsilon = 0,01$  für die praktische Prüfung hinreichend vertretbare Werte mit ausreichender Genauigkeit liefern.

Eine Einschränkung muß allerdings noch berücksichtigt werden. In die Zeit  $t_1$  bis zum Beginn des Relaxationsversuchs geht für Substanzen mit kleinerem  $\eta$  bei höheren Dehngeschwindigkeiten der besprochene Übergangseffekt ein. Auch die durchgeführten Messungen zeigten im allgemeinen eine hinreichende Übereinstimmung der Werte nur bis zu Dehngeschwindigkeiten um etwa  $\dot{\epsilon} = 0,005/s$ , entsprechend 0,3/min. Diese  $\dot{\epsilon}$ -Schranke ist vom  $\eta$ -Wert der untersuchten Fasergattung abhängig. Sie liegt beispielsweise für einige Polyesterfasern noch über  $\dot{\epsilon} = 0,01/s$ , für den anderen Extremfall der Acetatfasern aber schon bei  $\dot{\epsilon} = 0,001/s$ . Die Werte für  $E'$  lassen aber für eine Bezugsdehnung von 1 % ( $\epsilon = 0,01$ ) bei Dehngeschwindigkeiten von 0,004/s erkennen, daß eine Abhängigkeit des ermittelten  $E'$ -wertes von der Dehngeschwindigkeit in diesem Bereich innerhalb der Meßgenauigkeit nicht mehr vorhanden ist. Höhere Dehngeschwindigkeiten<sup>4</sup> können nur angewendet werden, wenn der Überlagerungseffekt ausgeschlossen ist. Bei praktischen Prüfungen sollte daher für den Zugversuch, der dem Relaxationsversuch vorgeschaltet ist, im allgemeinen eine Dehngeschwindigkeit von  $\dot{\epsilon} = 0,004/s$  gewählt werden.

Es bleibt noch zu bemerken, daß der Wert für den Modul  $\eta'$ , der auf einfache Weise aus dem Quotienten  $\eta/E'$  und dem Wert für  $E'$  erhalten wird, nur für die Dehnung  $\epsilon$  gilt, bei der der Relaxationsversuch durchgeführt wird. Er ist aber trotz seines nicht einfachen Zusammenhanges mit der Viskositätsmodulfunktion  $\eta$  eine eindeutige Kennzeichnung für das tatsächliche Fließverhalten der geprüften Muster und läßt Vergleiche des Verhaltens der Prüfmuster in der Praxis zu.

Eine breitere Basis von Vergleichsuntersuchungen mehrerer Prüflaboratorien sollte erstellt werden, um das einfache Dehnprüfverfahren in seiner Aussagekraft zu sichern.

**Merkmale des Dehnprüfverfahrens - kurz zusammengefaßt:**

Zugversuch mit  $\dot{\epsilon} = 0,24/min$  bis  $\epsilon = 0,01$ .

Dauer des Zugversuchs von  $t = 0 \dots t_1$ .

Bei Erreichen von  $\epsilon = 0,01$  zur Zeit  $t_1$  wirkt die Zugkraft  $F_1$ .

Von  $t_1$  bis  $t_2$  ( $t_2 - t_1 = 60 \text{ sec}$ ) Relaxation bei Dehnung  $\epsilon = 0,01$ .

Zur Zeit  $t_2$  wirkt die Zugkraft  $F_2$ .

Berechnung von  $\eta/E' = (t_2 - t_1) / (\ln F_1 - \ln F_2)$ .

Berechnung von  $E' = \frac{1 + \epsilon}{\epsilon} \cdot \frac{F_1 \cdot \exp(t_1 \cdot E'/\eta)}{A_v}$   
 [ $A_v$  = Faserquerschnitt]

Berechnung von  $\eta'$ .

$E'$  ist die Kennzahl für den elastischen Dehnanteil.

$\eta'$  ist die Kennzahl für den viskosen (Fließ-)Dehnanteil.

**Literatur:**

- 1) J. Juilfs; Schweizer Arch. angew. Wiss. Techn. **35**, 245 u. 313 (1969)
- 2) J. Juilfs; Kolloid-Z. u. Z. Polymere **236**, 125 (1970)
- 3) J. Juilfs; Lenzinger Berichte, Heft 29, 16 (1970)
- 4) J. Juilfs; Schweizer Arch. angew. Wiss. Techn. **38**, 120 u. 176 (1972)
- 5) G. Mahnkopp; unveröffentlicht
- 6) C. Hesse; unveröffentlicht
- 7) H. Rauth; unveröffentlicht
- 8) E. Wangerow; unveröffentlicht

**Aus unserem Fabrikationsprogramm:**

- TECHNISCHE METALLGEWEBE
- METALLGEWEBE-TRANSPORTBÄNDER
- EIGENE KONFEKTION

**DUROPLAN -**  
 Filterrönden  
 Filterpakete  
 Filterscheiben

**DUROFORM -**  
 Filterkörper  
 Filterkerzen  
 Filterplatten

**HOCHDRUCK- U. FALTFILTERELEMENTE**

- ORIGINAL PZ- UND MICRONIC-GEWEBE  
 (Feinstöffnungen bis 0,003 mm)

---

**DÜRENER METALLTUCH**

 **SCHOELLER HOESCH & CO**  
 516 DÜREN/BRD  
 Postfach 447  
 Fernsprecher: Düren (02421) 82021  
 Telegramme: DÜRENSIEB  
 Fernschreiber: 0833850

**Veränderungen an tiefgefrorenen Viskosen\***

Ing. Ove Lidbrandt und Dozent Dr. Erich Treiber  
Schwedisches Holzforschungsinstitut, Stockholm

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Die Veränderungen an tiefgefrorenen Viskosen aus Sulfitzellstoffen, verschieden lange gelagert, wurden untersucht. Abgesehen von einer deutlichen Trübungszunahme sind alle übrigen Veränderungen bis zu etwa fünf Wochen Lagerung gering, sodaß eine vierwöchige Lagerung durchaus akzeptiert werden kann.

Changes in the properties of deep frozen viscoses, made from sulphite dissolving pulps and stored for different periods of time, are investigated. Besides a significant increase in turbidity, all changes are very small up to a storage time of about five weeks. Thus, a four week storage is acceptable.

Tiefgefrierlagerung von Viskose ist sowohl für physikalisch-chemische Studien als auch für Versuchsspinnungen im Kleinmaßstab angewandt worden, da man auf diese Weise die Instabilität des Zellulosexanthats ausschalten kann. Mit dieser Arbeitsweise scheint es somit möglich zu sein, verschiedene, nicht gleichzeitig ablaufende Messungen am selben Ausgangsmaterial durchführen bzw. Spinnungen zeitmäßig so planieren zu können, daß die Personalkosten auf ein Minimum gebracht werden.

Für relativ kurze Lagerungszeiten ist bekannt, daß Veränderungen in den analytischen Daten der Viskose im allgemeinen meist innerhalb der Fehlergrenze der Meß- bzw. Analysenmethoden liegen. Über andere Veränderungen sowie über solche durch längere Lagerungszeiten liegen zahlenmäßig kaum exakte Angaben vor. Daher soll diese Untersuchung Aufklärung über alle Veränderungen an tiefgefrorenen Viskosen, insbesondere unter längeren Lagerungsperioden, bringen.

Einleitend ist festzuhalten, daß das Tiefgefrieren möglichst rasch erfolgen soll, sodaß Auskristallisationseffekte und damit lokale Konzentrationsänderungen weitestgehend vermieden werden. Dies setzt voraus, daß die geometrische Dimension der einzufrierenden Charge in wenigstens zwei Richtungen entsprechend klein gehalten wird und daß ein hinreichend großes Temperaturgefälle herrscht. In praxi füllen wir Kunststoffdärme mit Viskose und frieren die etwa 2 cm dicken „Würste“ mit Kohlensäureeis ein. Der kurzzeitige Kontakt der durch den Kunststoffschlauch geschützten Viskose mit der Kohlensäure scheint bedeutungslos zu sein, während ein längerer Kontakt zu Veränderungen führt.

In einer Vorstudie wurde der Einfluß des Tiefgefrierens auf den Gelteilchengehalt der Viskose untersucht, da man durch

**Tabelle 1: Der Einfluß des Tiefgefrierens auf den Gelteilchengehalt der Viskose**

Probenbehandlung	freies NaOH in %	Anzahl der Teilchen per ml Viskose						
		≥ 6,3μ	≥ 7,8μ	≥ 9,9μ	≥ 12,0μ	≥ 13,7μ	≥ 23,0μ	≥ 28,0μ
Viskose aus dem Löser	4,67	8795	4175	2015	915	555	90	50
nach Tiefgefrieren u. Auftauen	4,44	8335	3550	1775	810	515	80	40
n. erneutem Tiefgefrieren u. Auftauen	4,39	8295	3385	1620	675	375	50	20

den Gefrierprozeß ein Auflockern der Gelstruktur erwarten kann. In der Tat zeigen auch die Messungen (siehe Tabelle 1) eine zwar geringfügige, jedoch bemerkenswerte Abnahme im Teilchengehalt für jeden Tiefgefrierzyklus.

Dies wirkt sich natürlich auch im Filterwert der Viskose aus. Nach dem Tiefgefrieren und Wiederauftauen wird ein geringfügig verbesserter Filterwert beobachtet, der nach etwa 2 Wochen Lagerung zurückgeht (siehe Tabelle 2). Als weitere Effekte beobachtet man eine leichte Abnahme der Viskosität und des freien NaOH-Gehalts, während der Trübungsgrad zunächst stark ansteigt. Die Viskosität geht durch ein Minimum, während der Filterwert und die Trübung durch ein Maximum gehen.

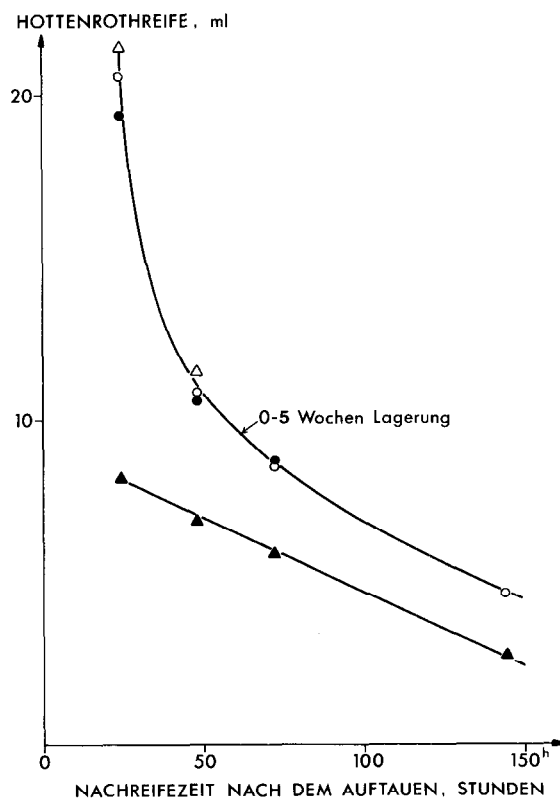


Abb. 1: Nachreifeverlauf einer frischen sowie einer aufgetauten Viskose nach verschieden langer Tiefgefrierlagerung (Hottenrothreife in ml NH<sub>4</sub>Cl-Lösung versus Nachreifezeit; ▲ = 56 Wochen Lagerungszeit)

\* Nach einem Referat, gehalten im Rahmen des Stockholmer Viskosekolloquiums, 16. bis 17. Mai 1972 (vgl. Svensk Papperstidn. 75, 687 [1972])



**Tabelle 2: Der Einfluß des Tiefgefrierens auf Viskosität und Filterwert der Viskose**

Tiefgefrier-lagerungs-dauer (Wochen)	Viskose-viskosität (Kugelfall-sekunden)	Filterwert FHK	freies NaOH i. d. Viskose (%)	absolute Turbidität ( $\tau$ )
0	54,5	1665	4,30	0,019
1	51,2	1710	4,11	0,056
5	51,0	1620	—	0,050
11	49,2	1590	4,10	0,043
56	52,6	1235	4,07	0,024

Der  $\gamma$ -Wert von zu verschiedenen Zeiten aufgetauten Viskoseproben wurde gemessen und der Reifeverlauf durch Verfolgung der Hottenrothreife und der  $\gamma$ -Zahl studiert. Hierbei zeigte es sich, daß bis zu etwa 5 Wochen Lagerung die Nachreifekurven praktisch mit der Kurve der nicht-tiefgefrorenen, frischen Viskose zusammenfallen (vgl. Abb. 1 und 2), während eine längere Tiefgefrierlagerung zu starken Abweichungen der Kurven führt.

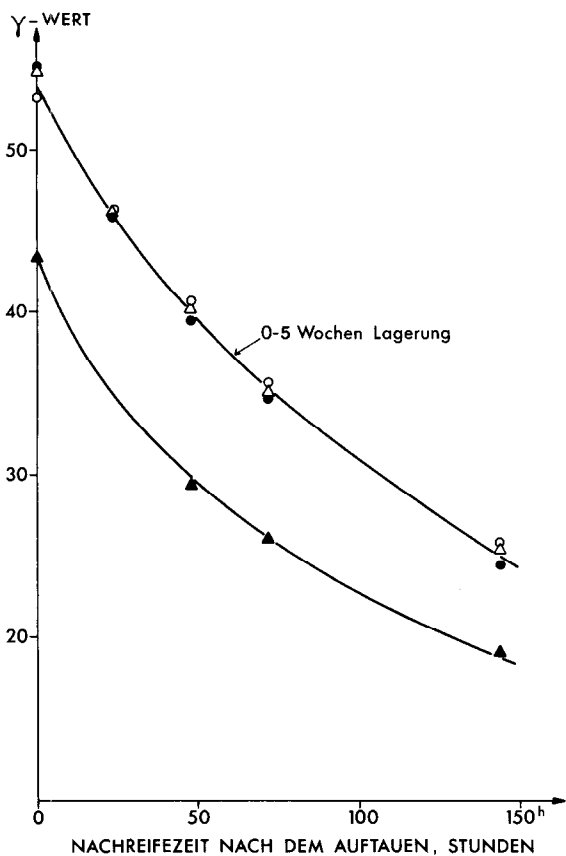


Abb. 2: Nachreifeverlauf einer frischen sowie einer aufgetauten Viskose nach verschieden langer Tiefgefrierlagerung ( $\gamma$ -Wert der Viskose versus Nachreifezeit;  $\blacktriangle$  = 56 Wochen Lagerungszeit)

Die Untersuchung an einer anderen Viskose zeigt deutlich, daß nach 11 Wochen Lagerung (Abb. 3) ein rascherer Reife-

verlauf beobachtet wird. Der Effekt ist natürlich noch stärker bei der 56 Wochen gelagerten Probe ( $\blacktriangle$ ) zu erkennen. Hier ist der  $\gamma$ -Wert schon zu Beginn der Nachreife um etwa

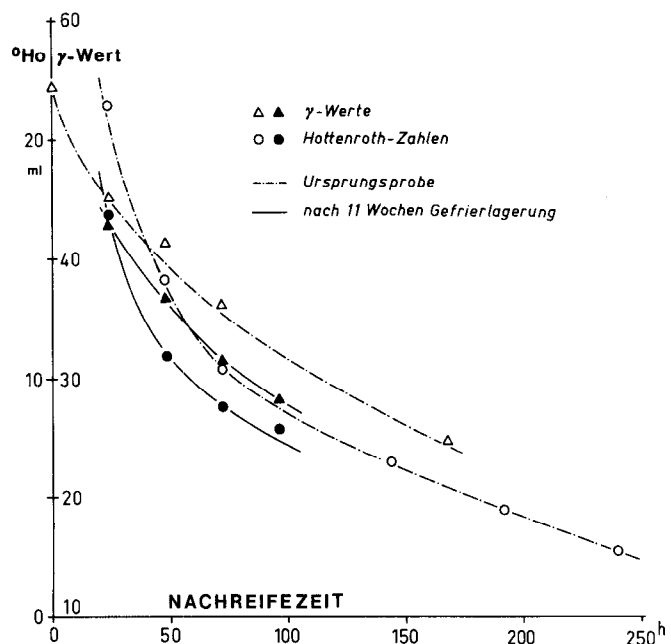


Abb. 3: Änderung der Hottenrothzahl und des  $\gamma$ -Wertes einer frischen sowie einer 11 Wochen gefrierlagerten Viskose im Verlauf der Nachreife

10 Einheiten abgefallen, und die Hottenrothreife liegt im Bereich „fast reif“.

Zusammenfassend darf der Schluß gezogen werden, daß eine 4wöchige Tiefgefrierlagerung keine Veränderungen verursacht, die sich nachteilig auf die Weiterverwendung der Viskose auswirken. Längere Lagerungszeiten sind jedoch zu vermeiden.

In einer Versuchsreihe wurde abschließend auch noch die Stabilität tiefgefrorener Xanthatkrumen aus der Baratte untersucht. Das Xanthat wurde 7 Tage bei  $-20^{\circ}\text{C}$  gelagert und hierauf teils zu alkalireicher (8/8/35) und teils zu alkaliärmer Viskose (Sparviskose; 7/4,5/28) gelöst. Für Xanthat aus Fichtenzellstoffen wurde hiebei der gleiche Filterwert - möglicherweise mit einem schwachen Trend zur Verbesserung - erhalten, den eine aus dem Ausgangsxanthat direkt bereitete Viskose der gleichen Zusammensetzung aufwies.\* Eine größere Abweichung in der anderen Richtung zeigten einige Xanthate aus Laubholzcellstoffen. Festes Xanthogenat ist sehr kohlenstoffempfindlich.

\* Die Idee, durch intensives Mischen von gefrorenem Xanthat mit gefrorener Löselaugung zu besonders homogenen Viskoselösungen zu gelangen, wird auch im Deutschen Patent 1,813.541 der Union Carbide Corp. ausgesprochen.

## Der Teppichboden - ein Bauelement\*

Prof. Dipl.-Ing. Wilhelm Herzog,  
Leiter des Österreichischen Teppichforschungsinstitutes,  
Mödling bei Wien

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

In diesem Referat wird zuerst kurz auf die Hintergründe der evolutionären Verbreitung von textilen Bodenbelägen eingegangen und schließlich über deren technische Daten sowie über ihre Verhaltensweise im Gebrauch berichtet. Auch einige planungs- und bautechnische Fragen werden in diesem Zusammenhang behandelt.

To start with, this paper deals briefly with the background of the evolutionary propagation of textile floor-coverings and finally with their technical data and their behaviour in actual usage. A few questions concerning design and building technology are also discussed in this connection.

### Einleitung

Selten hat ein Produkt eine derart rasch zunehmende Verbreitung gefunden wie die textilen Fußbodenbeläge, das heißt die von Wand zu Wand ausgelegten Teppiche und andere textile Beläge. In den letzten 10 Jahren hat sich die Produktion und damit der Verbrauch etwa verdreifacht. Sollten keine unvorhersehbaren Geschehnisse diese Entwicklung unterbrechen, so prophezeien uns die Marktforscher deren weitere Kontinuität. Da der Pro-Kopf-Verbrauch in Österreich derzeit erst etwa ein Drittel des Verbrauches in der Bundesrepublik Deutschland oder in den Niederlanden ist, kann für Österreich eine besonders hohe Steigerungsrate vorausgesagt werden.

### Motive der Entwicklung

Was waren nun die Ursachen dieser Entwicklung, die vor 10 bis 15 Jahren so richtig einsetzte?

Die Ursachen sind in mehreren Bereichen begründet, wobei das auslösende Moment sicherlich im zeitlichen Zusammenreffen der Phasen zu suchen ist.

Für die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg spricht man gern von verschiedenen „Wellen“ der Verbraucherbedürfnisse. Nach der „Eßwelle“ kam die „Autowelle“, dann die „Reisewelle“ und derzeit befinden wir uns in der „Wohnwelle“. Als Motive für diese Wohnwelle können die vermehrte Freizeit, das Fernsehen, das die Leute in ihrer Wohnung hält, aber auch die Flucht vor dem Lärm und der Hast in die Geborgenheit der Wohnung angesehen werden. Ich glaube, es war der Motivforscher Ernest Dichter, der die Wohnung mit einer Höhle verglich, in die sich der Mensch zurückzieht. - Nun, das haben auch schon unsere Vorahren

so gehalten und dabei ihre Höhlen mit Fellen und schließlich mit Teppichen weich ausgekleidet.

Nicht zu übersehen ist auch die Tatsache, daß der Teppichboden - zum Unterschied von den heute üblichen Parkett- oder Kunststoffböden - die Möglichkeit bietet, auch den Fußboden in das Spiel der Farben und Muster bei der Ausgestaltung von Räumen miteinzubeziehen.

Schließlich sind die Motive auch aus der sozialen Sphäre zu sehen. Ein Teppichboden war früher das Privileg der Reichen und stellt auch heute noch einen beträchtlichen Repräsentationswert dar.

Alle diese Motive wären jedoch nicht in der Lage gewesen, zu einer derartigen Verbreitung des textilen Fußbodenbelages zu führen, wenn nicht gleichzeitig in der technischen Entwicklung eine Phase eingetreten wäre, die dies ermöglichte.

### Die Synthefaser als Teppichfaser - neue Verfahren zur Herstellung textiler Bodenbeläge

Zu den bedeutendsten Komponenten dieser technischen Entwicklung zählt der Einsatz von hochstrapazierfähigen Synthefasern, insbesondere in Form texturierter Filamentgarne als Polmaterial. Durch diese neuen Materialien war es möglich, mit einem relativ geringen Einsatz eine gute Deckkraft zu erhalten und dem Teppich eine außerordentlich hohe Strapazierfähigkeit zu verleihen.

Eine weitere sehr bedeutende Komponente zur Herstellung der textilen Beläge war die Anwendung völlig neuartiger Technologien. Diese neuen Verfahren sind in erster Linie das **Tuften** und die **Nadelvlies-technologie**. Vor 15 Jahren wurden fast alle Teppiche durch Weben hergestellt. Heute überwiegt bereits der Tuftingteppich, und der Anteil der gewebten Teppiche liegt nur noch bei etwa 30 Prozent und umfaßt vorwiegend abgepaßte Teppiche.

Eine sehr wichtige Sache ist auch die in den letzten Jahren immer häufiger vorgenommene **Rückenbeschichtung**, durch die Aufgaben, wie Begehkomfort, Schall- und Wärmedämmung, übernommen wurden, die bisher vom Pol des Teppichs zu erfüllen waren.

Das **differenzierte Färben**, die **Stückfärbung** und der **Teppichdruck** haben zu einer wesentlichen Erweiterung der Musterung geführt.

Die technische Entwicklung hat es ferner ermöglicht, den textilen Belag in einem für weite Kreise erschwinglichen Preisniveau zu halten und ihn in praktisch allen Bereichen einzusetzen.

Trotz stark steigender Lohnkosten, Rohstoff- und anderer Kosten zeigten die Durchschnittspreise für textile Fußbodenbeläge in den letzten Jahren eher eine etwas abnehmende Tendenz, ohne daß man von einem Qualitätsabfall sprechen kann.

Für die Teppichindustrie war die Entwicklung in den letzten 10 Jahren sicherlich keine leichte Sache. Sie mußte sich auf die neuen Faserstoffe sowie auf die neuen Technologien umstellen und die außerordentlich hohen Investitionen aufbringen, die die neuen Technologien erforderten. Die Produktion von Auslegewaren brachte eine große Zahl von

\* Vortrag anlässlich der Tagung des Vereins Österreichischer Chemiker in Linz am 22. 11. 1973

technischen Fragen, die es beim traditionellen abgepaßten Teppich nie gab.

Fragen der Verlegung, der Strapazierung, der Reinigung u.ä. mußten behandelt werden. Die Baufachleute forderten technische Daten, Garantien u.s.f. Die Teppiche mußten geprüft werden, zuvor mußte man hierfür aber erst spezielle Prüfverfahren entwickeln.

**Testmethoden für textile Bodenbeläge - die Erarbeitung neuer und die Weiterentwicklung bereits vorhandener Prüfverfahren**

Die österreichische Teppichindustrie hat sehr bald erkannt, daß zur Lösung all dieser Fragen und Aufgaben eine Konzentration der Kräfte von Vorteil ist. Sie gründete 1967 das Österreichische Teppichforschungsinstitut und betraute es mit der Bearbeitung all dieser Fragen.

Heute gehören in Österreich - mit Ausnahme einer Firma - alle Unternahmen, die textile Fußbodenbeläge erzeugen, dem Institut als Mitglieder an. Das Institut, das inzwischen die staatliche Autorisation erhielt, hat 17 Mitarbeiter, sein Budget wird 1973 fast 4 Millionen Schilling betragen.

Das Österreichische Teppichforschungsinstitut mußte praktisch von der **Basis Null** beginnen und zuerst einmal die Prüfverfahren für die verschiedenen Eigenschaften der textilen Fußbodenbeläge erarbeiten. Heute existieren solche Verfahren bereits, man hat ausreichende Erfahrungen damit gesammelt, und zum Teil sind diese Verfahren schon in den nationalen und internationalen Normen festgelegt.

Neben der Prüftätigkeit wird im Österreichischen Teppichforschungsinstitut ständig an der Entwicklung neuer und verbesserter Prüfverfahren gearbeitet. Das Institut ist in allen internationalen Gremien, die sich mit der Prüfung textiler Fußbodenbeläge befassen, vertreten und steht in engem Kontakt mit den einschlägigen Instituten der ganzen Welt.

Ich möchte nun auf die wichtigsten Fragenkomplexe, von denen ich annehme, daß sie für Architekten und Baufachleute interessant sind, im Zusammenhang mit dem Einsatz von textilen Fußbodenbelägen eingehen.

In der ersten Zeit, als die starke Verbreitung der textilen Fußbodenbeläge begann, stand die Frage der Strapazierfähigkeit im Mittelpunkt des Interesses. Das ist verständlich, da dem textilen Belag hochstrapazierfähige Materialien, wie Parkett, Linoleum, PVC-Beläge, Klinker oder gar Steinboden, als Alternativen gegenüberstehen. Damals verfügte man noch über keinerlei Erfahrung mit den neuen synthetischen Faserstoffen, und man dachte noch vielfach an Teppiche aus der Zeit des Zweiten Weltkrieges und den darauffolgenden Jahren.

Heute hat die Frage der Strapazierfähigkeit an Aktualität schon etwas verloren, da man sich inzwischen überlegen konnte, welche hohe Strapazierfähigkeit, insbesondere durch den Einsatz von Synthefasern, selbst bei Belägen der niedrigeren Preisklasse erreicht werden kann. Es hat daher auch eine gewisse Wandlung in der Prüfung und Beurteilung der Abnutzung eingesetzt. Während man früher den Teppich gescheuert oder auf andere Weise malträtirt hat, um festzustellen, in welcher Zeit der Pol abgetragen oder der Teppich sonstwie zerstört sein wird, weiß man heute, daß

dies bei der überwiegenden Zahl von Teppichen in einer angemessenen Zeit der Verwendung nicht der Fall ist und wendet sich daher im verstärkten Maße der Veränderung des Aussehens durch die Beanspruchung zu.

Für die Prüfung der Strapazierfähigkeit wurden Prüfeinrichtungen, wie zum Beispiel die Teppichbeanspruchungstrommel, entwickelt, bei der der Teppich im inneren Mantel einer sich drehenden Trommel liegt und in der eine 7 kg schwere Eisenkugel mit vorstehenden Eisen- und Gummistoppeln den Teppich bearbeitet (Abb. 1).

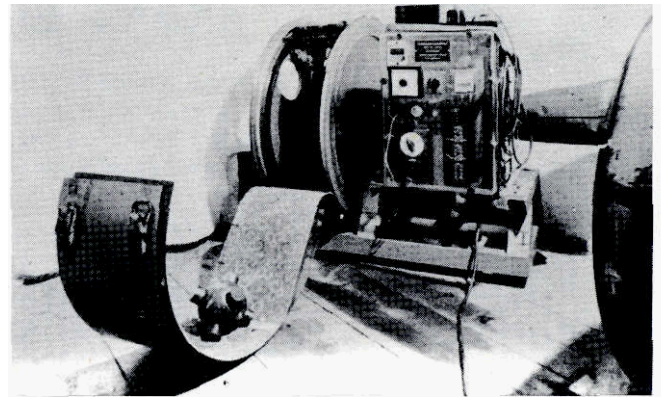


Abb. 1: Teppichbeanspruchungstrommel

Beim sogenannten Tetrad-Versuch läuft ein vierfüßiges Tetrad, das mit einem Profilsohlengummi bestückt ist, mit einem Schlupf von 20 Prozent unter großem Druck auf der Teppichprobe hin und her (Abb. 2).

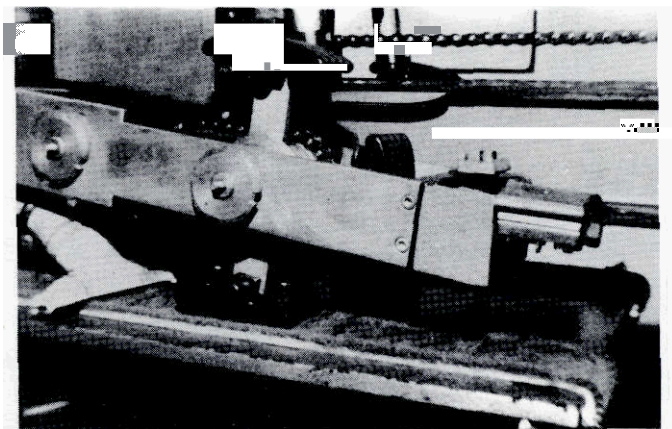


Abb. 2: Tetrad

Zur Strapazierprüfung gehört auch die Prüfung des Erholungsverhaltens nach statischer und dynamischer Druckbeanspruchung (Abb. 3 und 4). Man mißt dabei die Dickenminderung.

Für die Prüfung der Aussehensveränderung verwendet man als Prüfeinrichtung den sogenannten Tetrapod-Walker (Abb. 5). Auch hier wird die Innenseite des Trommelmantels mit der Teppichprobe ausgelegt, und ein mit vier kunststoffbezogenen Füßen versehener Taumelkörper be-

anspricht die Probe im Innern der sich drehenden Trommel. Die Aussehensveränderung nach dieser Prüfung stimmt mit jener nach praktischem Gebrauch gut überein.

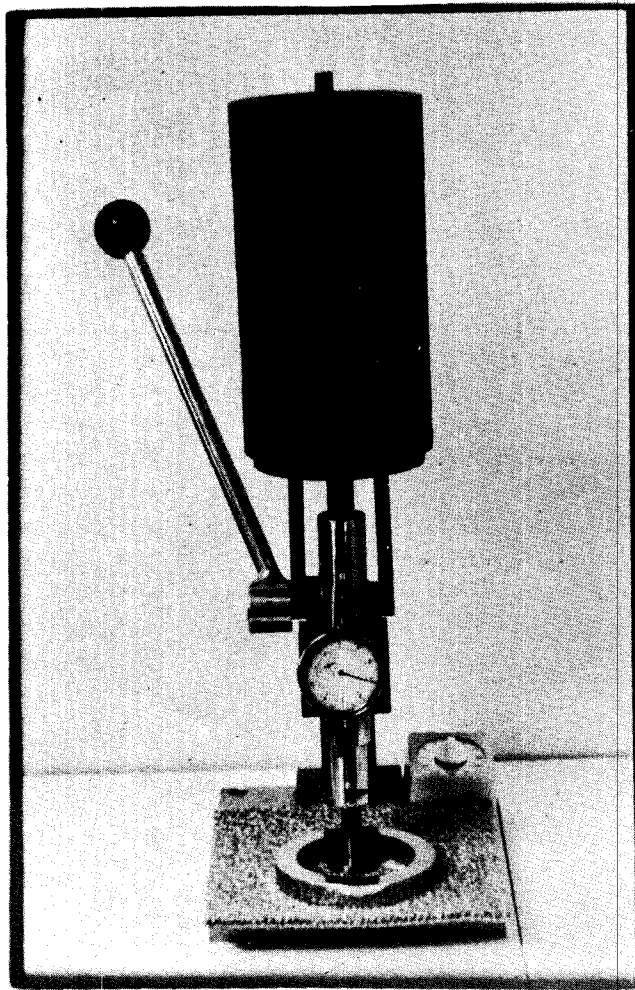


Abb. 3: Prüfung des Erholungsverhaltens nach statischer Druckbeanspruchung (Stuhlbein)

Aus den Ergebnissen all dieser Prüfungen wird über Gewichtung eine Kennzahl errechnet, aus der eine bestimmte Empfehlung für den Verwendungsbereich abgeleitet wird.

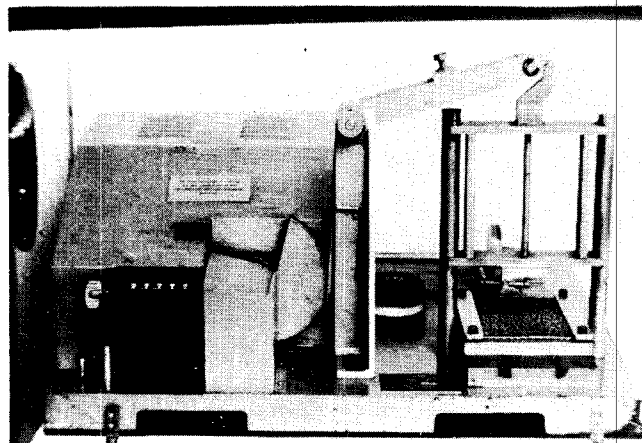


Abb. 4: Prüfung des Erholungsverhaltens nach dynamischer Druckbeanspruchung

In Österreich wird diese Empfehlung für den Verwendungsbereich in folgender Form angegeben:

- *Wohnbereich für normale Beanspruchung* (Schlafzimmer, Gästezimmer usw.)
- *Wohn- und Geschäftsbereich für starke Beanspruchung* (Kinderzimmer, Eßzimmer, Hotelzimmer usw.)
- *Wohn- und Geschäftsbereich für sehr starke Beanspruchung* (Vorzimmer, Büroräume, Geschäftsräume, Gänge und Aufenthaltsräume in Hotels, im Theater usw.)
- *Geschäftsbereich für extrem starke Beanspruchung* (Amtsräume bei Behörden, Großraumbüros, Schulen, Hotelhallen, Kaufhäuser usw.)

Diese Art Empfehlung für verschiedene Verwendungsbereiche ist durch die angeführten Beispiele nicht nur sehr instruktiv, sondern auch sehr korrekt, da aus dieser Aufstellung klar zu ersehen ist, welche Verwendungsbereiche es gibt und für welche Bereiche (d. h. für jene, die gestrichen sind) der jeweilige Teppich nicht empfohlen wird.

Natürlich bringt eine solche Empfehlung des Verwendungsbereichs auch Probleme mit sich.

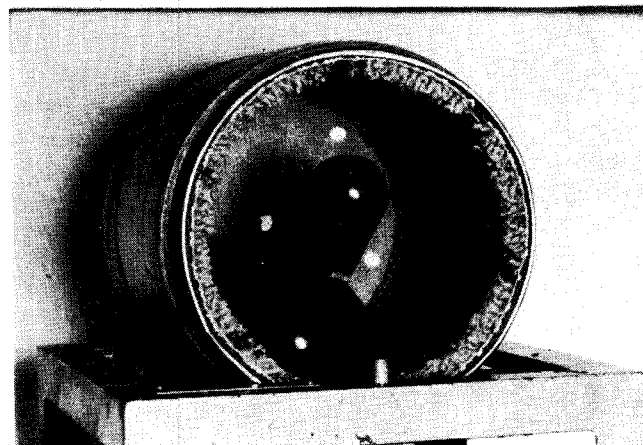


Abb. 5: Tetrapod-Walker

Es ist nämlich wichtig zu wissen, daß diese nur auf der Prüfung und Beurteilung der mechanischen Abnutzung basiert. Das Anschmutz- und Reinigungsverhalten, die Farbechtheit und andere Eigenschaften sind hierbei nicht berücksichtigt. Diese Eigenschaften muß man bei den Eignungsüberlegungen gesondert betrachten.

Die in dem Schema angeführten Beispiele sind nur Normalfall- oder Durchschnittsbeispiele. Entscheidend für den Verwendungsbereich ist die zu erwartende Intensität und Häufigkeit der Beanspruchung. Ein Schlafzimmer, in dem untertags fünf Kinder toben, wird man einem anderen Verwendungsbereich zuordnen als ein Schlafzimmer, das nur zum Ruhen dient.

Diese Empfehlung für den Verwendungsbereich ist jedoch keine Qualifizierung des Belages. Es ist daher völlig falsch, wenn man einen Zusammenhang mit dem Preis herstellt. Die Qualität eines textilen Belages wird nicht nur von seiner Strapazierfähigkeit bestimmt. Andere Eigenschaften, wie zum Beispiel der Begehkomfort, beeinflussen sehr wesentlich die Qualität und damit den Preis. Vielfach sind die Stra-



pazierfähigkeit und der Begehkomfort gegenläufig, das heißt, ein Belag mit hohem Begehkomfort hat oft nur eine geringe Strapazierfähigkeit und umgekehrt.

In der Deutschen Bundesrepublik hat man bis vor kurzem auch diese vier Gruppen von Verwendungsbereichen unterschieden und hatte diese Bereiche mit I bis IV bezeichnet. Da sich aber die falsche Ansicht, daß es sich hierbei um Qualitätsnoten handle, immer stärker verbreitet hat, ist man von dieser Art Empfehlung für den Verwendungsbereich abgegangen und gibt jetzt hierfür nur noch die Worte

- *Ruhebereich* – (Symbol Bett),
- *Wohnbereich* – (Symbol Sessel) und
- *Arbeitsbereich* – (Symbol Schreibtisch)

an. Hierbei entspricht der Ruhebereich den früheren Bereichen I und II, der Wohnbereich dem früheren Bereich III und der Arbeitsbereich dem früheren Bereich IV.

In Österreich hat man sich entschlossen, bei der instruktiven Angabe zu bleiben, den Begehkomfort jedoch durch die Graduierung „normal“, „hoch“, „sehr hoch“ und „luxuriös“ auszuweisen. Dieser Begehkomfort wird durch eine vom Österreichischen Teppichforschungsinstitut in Zusammenarbeit mit dem Orthopädischen Institut der Universität Wien entwickelte Prüfmethode auf objektivem Weg bestimmt.

Der **Begehkomfort** ist eine sehr wichtige Sache, ihm wird leider viel zu wenig Beachtung geschenkt. Der menschliche Körper ist dafür gebaut, daß sich der Mensch auf dem relativ weichen Boden der Natur fortbewegt. Immer mehr verschwindet der weiche Boden aus unserem Leben, Straßen und Wege werden betoniert, Stiegen, Gänge und Arbeitsräume werden mit harten Belägen versehen. Die Folge ist ein rapides Zunehmen von Abnutzungserscheinungen an den Gelenken, vor allem der Wirbelsäule. Relativ junge Menschen haben bereits Bandscheibenschäden und leiden an degenerativem Wirbelsäulenrheumatismus und Spondylarthritis. Aus dieser Sicht gesehen ist daher die starke Verbreitung von textilen Fußbodenbelägen mit deren hohem Begehkomfort sehr zu begrüßen.

Während man früher einen hohen Begehkomfort nur durch den Einsatz teuren Polmaterials erreichen konnte und dieser daher teuren Teppichen vorbehalten war, läßt sich jetzt - durch die neuen Schaumrückenbeschichtungen - fast jeder Begehkomfort konstruktiv erzielen.

Neben einer Empfehlung für den Verwendungsbereich und einer Angabe des Begehkomforts wird auch die Eignung eines Teppichbodens für Rollstuhlbeanspruchung, für die Verlegung auf Treppen sowie in Naßräumen attestiert.

Die Eignung für **Rollstuhlbeanspruchung** wird mit dem sogenannten Stuhlrollenbeanspruchungsgerät (Abb. 6) geprüft, einem imitierten Rollstuhl mit 90 kg Belastung, der 25 000mal über die Probe läuft, wobei die Rollen auch Kehrtbewegungen ausführen. Als geeignet wird ein Belag dann angesehen, wenn keine Schäden auftreten und sich das Aussehen des Belages hinsichtlich Rauigkeit, Struktur, Farbe und Glanz nicht wesentlich verändert. Damit sich ein Belag, der für eine Beanspruchung mit Stuhlrollen geeignet erscheint, auch tatsächlich bewährt,

muß man darauf achten, daß auch der Unterboden und der Kleber diese Beanspruchung aushalten.

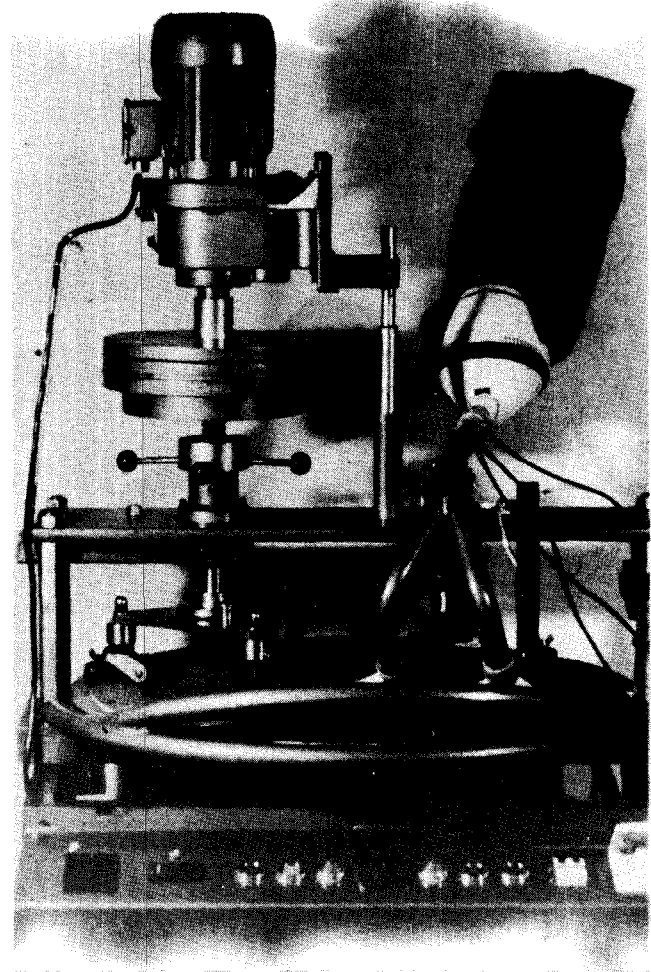


Abb. 6: Stuhlrollenbeanspruchungsgerät

Für eine **Verlegung auf Treppen** ist der Teppich dann geeignet, wenn er beim Krümmen nicht klafft und eine hohe Kantenscheuerfestigkeit aufweist.

Für die **Verlegung in Naßräumen** ist ein Teppich geeignet, wenn er bei Einwirkung von Wasser keine Maßänderung zeigt, keine verrottbaren Bestandteile enthält und seine Farben eine sehr hohe Naßechtheit aufweisen.

Die **Maßänderung** eines textilen Belages ist auch ein sehr wichtiger Faktor. Die hierfür verwendete Prüfmethode bestimmt die Maßänderung unter extremen Einflüssen. Der Belag wird völlig durchnäßt 2 Stunden lang einer Temperatur von 60°C ausgesetzt. Vorläufig messen wir nur die freie, ungehinderte Maßänderung. Derzeit ist ein Prüfverfahren in Entwicklung, mit dem dann auch die Schrumpfkkräfte bei Verhinderung der Maßänderung bestimmt werden sollen. Mit dieser Prüfung wird man dann beurteilen können, ob der Kleber imstande ist, die Schrumpfkkräfte aufzunehmen.

Eines der häufigsten Bedenken, die gegen die Verwendung von textilen Fußbodenbelägen vorgebracht werden, ist das Problem des Anschmutzverhaltens und der Reinigung. Da

in dieser Frage auch die Hygiene hineinspielt, möchte ich auch dazu Stellung nehmen.

Obwohl hinsichtlich Reinigung und Hygiene die meisten Einwände vorgebracht werden, sind gerade die wirtschaftliche Reinigung und die verbesserte Hygiene zwei sehr wesentliche Argumente für den textilen Boden.

Nehmen wir an, wir hätten zwei vollkommen gleiche Räume, einer mit einem glatten Kunststoffbelag, der andere mit einem Teppichboden. Von außen her werden nun durch Schuhe, Kleidung und durch die Luft Staub und Schmutz in die beiden Räume gebracht. Die Menge des in diese beiden Räume gebrachten Schmutzes ist gleich, da sie von der Art des Fußbodenbelages unabhängig ist. Würde man nun in den beiden Räumen den Fußboden täglich saugen und den aufgesaugten Schmutz sammeln, dann könnte man bereits nach wenigen Tagen klar erkennen, daß man von dem mit Teppichboden ausgelegten Raum deutlich mehr Schmutz erhalten hat als von dem Raum mit Kunststoffboden. Da aber die Ausgangsmenge an Staub und Schmutz in beiden Räumen gleich war, fragt man sich: „Wo ist der Schmutz in dem Raum mit dem Kunststoffboden geblieben?“

Man findet diesen Schmutz, der durch das Benutzen der Räume ständig aufgewirbelt wird, als Staub in der Luft sowie auf allen Gegenständen im Raum, aber auch durch das Schuhwerk in andere Räume übertragen.

Zu dem gleichen Resultat ist man beim Teppichboden und bei glatten Belägen auch mittels der über verschiedenen Stellen gemessenen Luftkeimzahl gekommen. In allen Fällen war die über dem Teppichboden gemessene Luftkeimzahl bedeutend geringer.

Die Untersuchung der Hygieniker hat auch ergeben, daß die Absterberate von Bakterien und Pilzen auf Teppichen genauso hoch bzw. gering ist wie auf anderen Fußbodenbelägen. Diese Tatsache und die Möglichkeit, einen textilen Fußbodenbelag einfach und anhaltend sehr wirksam zu desinfizieren, haben dazu geführt, daß textile Fußbodenbeläge in den USA in Krankenhäusern sehr verbreitet sind.

Zur Frage der **Anschmutzung** einige einfache Merksätze:

- Die optische Schmutzempfindlichkeit eines textilen Belages hängt von seiner Farbe, seiner Musterung und von der Oberflächenstruktur ab.
- Bei der Auswahl des Belages ist sowohl die Menge als auch die Art des zu erwartenden Schmutzanfalles zu berücksichtigen.
- Gemusterte Beläge sind unempfindlicher als einfarbige.
- Da feiner, heller Schmutz, wie beispielsweise Straßentaub (vor allem bei Polteppichen), ins Innere des Belages verschwindet, sind textile Beläge zum Unterschied von glatten Kunststoffbelägen gegen helle Begebspuren nicht empfindlich. Aus diesem Grund sind bei textilen Belägen die dunklen Farben (grün, braun, dunkelgrau) schmutzunempfindlicher als mittlere Farben (blau, violett, rot, gold).
- Als schmutzempfindlich müssen helle Farben (weiß, beige, hell- und mittelgrau) angesehen werden.
- Die Auswahl der Farben ist daher für den Reinigungsaufwand bestimmend.

Der weit überwiegende Teil der Verschmutzung des Fußbodens wird an den Schuhsohlen von außen hereingebracht. Durch Schmutzschleusen an den Eingängen kann das Herbringen solchen Schmutzes bis zu 90 Prozent verhindert werden. Für die Schmutzschleuse sind spezielle Schmutzfangläufer entwickelt worden, wobei die Regel gilt, daß jeder Fuß zwangsläufig mindestens vier- bis fünfmal auf einem solchen Schmutzfangläufer aufgesetzt werden soll.

Eine ernste Verschmutzungsgefahr für textile Fußbodenbeläge besteht dann, wenn in einem Gebäude neben textilen Fußböden auch noch andere Fußböden vorhanden sind, die mit Wischwachsen gepflegt werden müssen. Solche Wischwachse haben den Nachteil, daß ihre Fettkörper an den Schuhsohlen haften bleiben. Die Fettkörper werden auf die angrenzenden Teppichböden getragen und verursachen dort sehr bald dunkle, fettige, örtlich begrenzte Anschmutzungen, die den Teppich unansehnlich machen. Es gibt aber heute schon elastische Beläge, die keiner Pflege mit Wischwachsen bedürfen und daher für die Kombination mit textilen Fußbodenbelägen geeignet sind.

Die **Reinigung** textiler Fußbodenbeläge im Haushalt erstreckt sich auf das Saugen, im gegebenen Fall auf das Detachieren und auf das in längeren Zeitabschnitten vorzunehmende Schamponieren.

Wie oft gesaugt werden muß - ob täglich oder einmal wöchentlich -, hängt von der Häufigkeit und der Intensität der Benutzung und der damit verbundenen Verschmutzung ab. Das gleiche gilt für die Schamponierung. In manchen Wohnräumen wird es notwendig sein, jedes Jahr einmal zu schamponieren, in anderen vielleicht nur alle drei oder vier Jahre.

Die Schamponierung sollte nach Möglichkeit einem Reinigungsunternehmen übertragen werden, weil dieses nicht nur über die entsprechenden Kenntnisse und Maschinen verfügt, sondern auch die Gewährleistung hierfür übernimmt. Beim Schamponieren muß der Schmutz vom Pol bzw. von der Gehschicht abgetragen werden, ohne daß das Wasser in den Teppichgrund dringen und dort eventuell zu Maßänderungen führen kann. Sämtliche Schamponiermittelreste müssen bei der Reinigung aus dem Belag wieder entfernt werden. Letzteres ist besonders wichtig, da Schamponiermittelreste zu einer erhöhten Wiederanschmutzung führen können.

Im Objekt unterscheiden wir grundsätzlich vier Arten der Teppichreinigung:

- *Bürstsaugen,*
- *Pflegeshamponieren,*
- *Grundscharponieren und*
- *Detachieren.*

Bei den Bürstsaugmaschinen ist es wichtig, die Bürsten der Art des textilen Belages anzupassen.

Beim Pflegeschamponieren werden in kürzeren Intervallen jene Bereiche bearbeitet, die besonders schnell verschmutzen. Das sind zum Beispiel die Böden in unmittelbarer Umgebung von Eingängen, Rolltreppen, Fahrstühlen, Verkaufspulten u.s.f. Für die Pflegeschamponierung verwendet man Walzenmaschinen (z.B. Bürstsaugmaschinen), wobei mit einem relativ trockenen, vorgefertigten Schaum gearbeitet wird. Um sicher zu sein, daß die Schamponiermittelreste

auch total entfernt werden, empfiehlt sich nach der Abtrocknungszeit der Einsatz von Industriestaubsaugern und ein nachfolgendes Bürstsaugen.

Die Grundschanponierung ist der intensivste Reinigungsvorgang, der meist mit Ein- oder Dreischeiben-Maschinen vorgenommen wird.

Wie häufig eine Pflege- oder eine Grundschanponierung vorgenommen werden muß, hängt selbstverständlich von der Art der Benutzung und Verschmutzung ab.

Unter Detachieren versteht man die Entfernung einzelner Flecken im textilen Fußbodenbelag. Hierfür gibt es am Markt sogenannte „Fleckputzapothecken“ mit den entsprechenden Gebrauchsanweisungen. Für den Wohnbereich gilt die Regel: *Je schneller ein Fleck nach seinem Entstehen behandelt wird, umso größer sind die Chancen für seine Entfernung.* Für den Objektbereich muß man sich von den einschlägigen Reinigungsfirmen beraten lassen.

Es gibt bereits einige Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen über die Pflegekosten von Hartbodenbelägen und Textiltböden, bei denen textile Fußböden immer wesentlich günstiger abschneiden. Die Wirtschaftlichkeit des Reinigungsverfahrens kann aber schon durch entsprechende Planung des Architekten sehr wesentlich beeinflusst werden. Wenn beispielsweise die Räume so gestaltet werden, daß man infolge vorstehender Heizkörper oder anderer Hindernisse nur mit kleinen Schamponiermaschinen arbeiten kann und ein erheblicher Teil der Bodenfläche von Hand aus schamponiert werden muß, dann können die Schamponierkosten ein Vielfaches jener Kosten betragen, die man aufwenden muß, wenn die ganze Bodenfläche mit einer relativ großen Schamponiermaschine erreicht werden kann. Auch das Anbringen genügend vieler Steckkontakte für die Bürst- und Schamponiermaschinen gehört in das Kapitel Planung. Etwas Zukunftsmusik sind hier zentrale Absauganlagen für die Saugmaschinen.

**Die Einbeziehung des Teppichbodens in die Planung** bezieht sich auch auf schall- und wärmetechnische Daten des Belages. Die positiven schall- und wärmetechnischen Eigenschaften gehören sicherlich zu den markantesten Merkmalen eines textilen Belages.

Der Bauphysiker unterscheidet:

- *Luftschalldämmung,*
- *Schallabsorption* und
- *Trittschalldämmung.*

Es würde zu weit führen, hier auf Einzelheiten einzugehen. Die hohe Schallabsorption und die hohe Trittschalldämmung textiler Fußbodenbeläge ist in Fachkreisen allgemein bekannt, ebenso daß in dieser Hinsicht ein textiler Belag die Funktion des schwimmenden Estrichs voll zu ersetzen vermag.

Hinsichtlich der Trittschalldämmung möchte ich nur noch erwähnen, daß der textile Fußbodenbelag in der Praxis eine noch viel höhere Trittschalldämmung aufweist, als dies durch die genormte Prüfung zahlenmäßig zum Ausdruck kommt. Der Grund hierfür ist folgender:

- In der Norm erfolgt die Schallerregung durch ein Hammerwerk, bei dem vier Hämmer mit einer Masse von

0,5 kg und mit einer Fallhöhe von 40 mm auf den zu prüfenden Boden hämmern. Dies ist eine Erregung, die bestenfalls marschierenden Soldatenstiefeln oder ähnlichem entspricht.

- Bei Hartbodenbelägen, für die diese Norm gemacht wurde, ist es - infolge ihrer hohen Drucksteifigkeit - ganz gleichgültig, wie hoch der Impuls bei der Erregung ist, und man nahm eine extrem starke Erregung, um die Prüfung leichter durchführen zu können. Textile Fußbodenbeläge verhalten sich jedoch bei Erregungen mit geringeren Impulsen, wie sie in der Praxis beim normalen Gehen, beim Sesselrücken, beim Herabfallen von Gegenständen entstehen, wesentlich günstiger als Hartfußbodenbeläge. Daher sind die Auswirkungen der Trittschalldämmung von textilen Fußbodenbelägen noch viel besser, als dies durch die Prüfwerte zum Ausdruck kommt.

In der Bauphysik beschäftigt man sich vorwiegend damit, wie der Schall von außen her in einen Raum dringt. Beim textilen Belag haben wir aber außer seiner hohen Trittschalldämmung noch den großen Vorteil, daß ein Teil des Lärms erst gar nicht entsteht. Dieses Nichtentstehen des Schalls beim Gehen, beim Sesselrücken oder beim Hinabfallen von Gegenständen wird in erster Linie vom Benutzer als positiv gewertet. Darüberhinaus kann der nichtentstandene Schall auch nicht als Luftschall in die benachbarten Räume dringen.

In der Deutschen Bundesrepublik gab es vor kurzem die „Klack-Klack“-Werbung, bei der man kleine Plastikbälle vergleichsweise auf harte und auf textile Bodenbeläge fallen ließ. Diese Werbung demonstrierte deutlich die akustische Wirkung eines textilen Belages.

Bei den wärmetechnischen Eigenschaften von Fußbodenbelägen ist zwischen *Wärmeableitung* und *Wärmedurchlaßwiderstand* zu unterscheiden. Die geringe Wärmeableitung eines textilen Belages ist allgemein bekannt. Alle textilen Fußbodenbeläge fallen deshalb in die Kategorie „besonders fußwarm“.

Durch die in den letzten Jahren aufgekommenen Schaumrückenbeschichtungen ist nunmehr auch der textile Belag für die bauphysikalischen Überlegungen hinsichtlich des Wärmedurchlaßwiderstandes interessant geworden. In der ÖNORM B 8110 wird für Geschoßdecken zwischen beheizten Räumen ein mindest erforderlicher Wärmedurchlaßwiderstand von  $0,56 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$  angegeben. Vielfach wird aber auch bei uns so wie in der Deutschen Bundesrepublik bei zentralbeheizten Räumen diese Forderung auf  $0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$  reduziert.

Eine 15 cm dicke homogene Stahlbetondecke hat einen Wärmedurchlaßwiderstand von  $0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ . Bringt der textile Belag einen Wärmedurchlaßwiderstand von  $0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ , so würde die Kombination Decke - Fußbodenbelag der Anforderung bereits genügen.

Bei höheren Anforderungen an den Wärmedurchlaßwiderstand besteht die Möglichkeit einer Waffelfilzunterlage oder einer speziellen Schaumunterlage. Eine weitere Lösung wäre beispielsweise das Anbetonieren von Holzwoleleichtbauplatten an der Unterseite einschaliger Stahlbetonplatten.

Aus diesen Überlegungen geht hervor, daß von den schall- und wärmetechnischen Anforderungen her sogar eine



estrichfreie Verlegung der textilen Fußbodenbeläge möglich wäre. Die Vorteile einer estrichlosen Verlegung, wie geringere Kosten, keine Trocknungszeit u.ä., brauche ich hier wohl kaum zu **erwähnen**.

Ein schwimmender Estrich hat jedoch nicht nur **schall- und wärmetechnische Funktionen**, er dient auch zum Ausgleich von Unebenheiten in der Rohdecke und zur Aufnahme von Installationen auf der Deckenoberseite. Man wird **daher** bei der Entscheidung für oder gegen die estrichlose Verlegung den Kosten des Estrichs die Kosten einer Wandverlegung der Installationen, die Kosten für die besondere Ausführung der Deckenoberseite und die Kosten für die Spachtelung der Deckenoberseite gegenüberstellen.

Für die estrichlose Verlegung ist vor allem die rechtzeitige **Planung** und die Bauüberwachung wichtig. Kann der textile **Belag** auf einer ausschließlich nach üblichen Methoden, **also** mittels normalem Säubern, Grundieren und Spachteln, vorbehandelten Massivdecke ohne zusätzliche Maßnahmen verlegt werden, ist mit einer bedeutenden Kosteneinsparung zu rechnen.

Sind mangels ausreichender und rechtzeitiger Planung und Bauüberwachung jedoch über die üblichen Methoden hinausgehende Vorbereitungen, wie **etwa** eine mechanische Vorbehandlung der Deckenoberseite oder eine dicke Spachtelung, erforderlich, dann nähern sich die Kosten **hierfür** zunehmend jenen einer Ausführung mit schwimmendem Estrich.

Vereinzelt wird die Frage gestellt, ob man über Fußbodenheizungen textile Fußbodenbeläge verlegen kann. Im ersten Moment müßte man dagegen Bedenken haben, denn, wenn textile Fußbodenbeläge **einen** hohen Wärmedurchlaßwiderstand besitzen, dann behindern sie doch - **so** sollte man meinen - den Wärmetransport. Wir haben darum den Wärmetransport und den Wärmeübergang, wie er bei einer Fußbodenheizung auftritt, genau studiert und sind hierbei zu folgender Erkenntnis gekommen:

- Der **Wärmedurchlaßwiderstand** von Teppichen ohne **Schaumrückenbeschichtung** ist vor allem auf die im Pol enthaltene **Luft** zurückzuführen.
- Für den Fall einer Fußbodenheizung, bei der **es** um die Wärmeübertragung von **unten nach oben** geht, findet eine **sehr** freie Konvektion durch die im Pol enthaltene Luft **statt**, da die **Luft aus** dem Pol ungehindert **entweichen kann**.

Teppichböden ohne **Schaumrückenbeschichtung** sind daher **als** Belag über Fußbodenheizungen **sehr gut geeignet**, weil sie für die **Wärmeübertragung** von oben nach unten einen guten Isolator darstellen und die **Wärmeübertragung** von unten nach oben - infolge Konvektion - **nicht wesentlich behindern**. Die **Verwendung** von **besonders hierfür geeigneten** Klebern ist bei der **Verlegung** natürlich zu **beachten**.

### Brandschutz

Mit der Verbreitung von textilen Fußbodenbelägen, besonders im Objektbereich, werden auch die Fragen des Brandschutzes aktuell. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, daß **Behörden, Brandschutzfachleute und die Industrie zu einer gemeinsamen Auffassung gelangen**.

Wenn wir auch das Schlagwort „Teppichboden - ein Bauelement“ verwenden, **so** muß **uns** doch klar **sein**, daß der Teppichboden zur Ausstattung eines Raumes gehört und daher zumindest kein tragendes Bauelement darstellt, sodaß er nicht in den Anwendungsbereich der ÖNORM B 3800 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ fällt.

Ein textiler Fußbodenbelag kann - ebensowenig wie andere Fußbodenbeläge - weder brandhemmend noch brandbeständig **sein**. Zu prüfen ist jedoch, **ob** ein textiler Bodenbelag an der Entstehung und Verbreitung eines Brandes **mitbeteiligt sein kann**.

Unter diesem Gesichtspunkt haben **wir** ein Prüfverfahren entwickelt, **bei** dem die vertikal gestellte Teppichprobe mit einer unter **45** Grad geneigten **Kleinbrennerflamme** 30 Sekunden lang beflammt wird (Abb. 7). In einem bestimmten Abstand zur Flammenemwirkung befindet sich ein über die Robe gespannter Baumwollfaden, und **es** wird die Zeit ermittelt, bis der Baumwollfaden durchbrennt. Damit wird unter extremen Bedingungen - die Teppichprobe ist **entgegen der Praxis** vertikal angeordnet - die Brandausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt. Wir haben dem zuständigen Normenausschuß vorgeschlagen, aus den Prüfergebnissen drei **Brandsicherheitsklassen** abzuleiten.

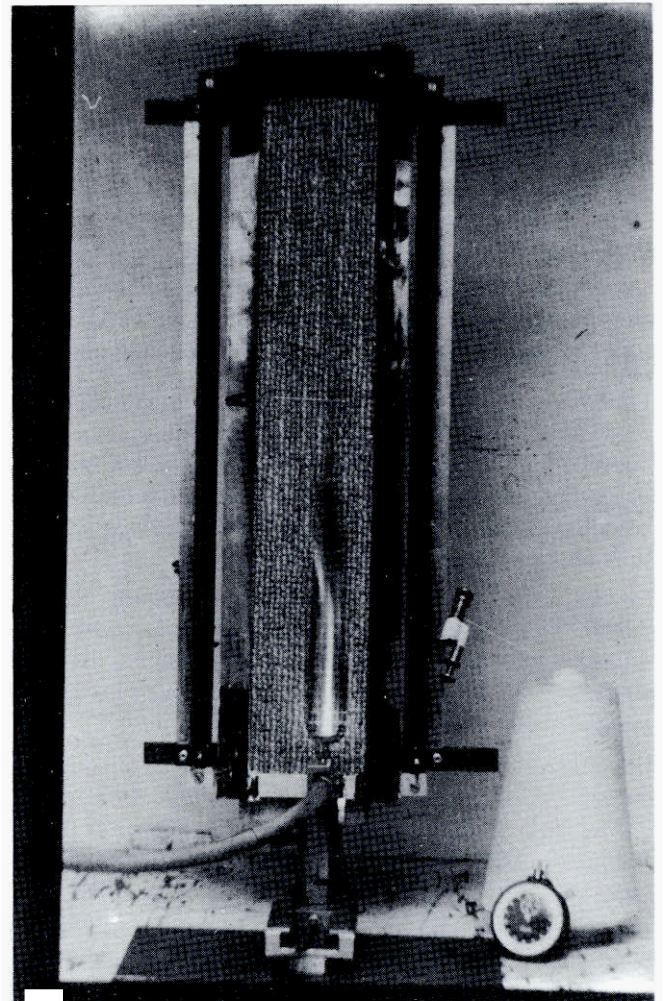


Abb. 7: Prüfgerät zur Feststellung der Brandausbreitungsgeschwindigkeit



Bei der überwiegenden Zahl der verschiedensten Materialien für textile Fußbodenbeläge brennt der Baumwollfaden überhaupt nicht oder nur nach sehr langer Zeit durch.

Um eine Korrelation dieser Prüfung mit der Praxis herzustellen, haben wir Großbrandversuche in einem Brandhaus an etwa 20 verschiedenen textilen Fußbodenbelägen vorgenommen. Gemeinsam mit unseren Kollegen in anderen Ländern interessieren wir uns für jeden Brand, an dem textile Bodenbeläge beteiligt sind. Bis jetzt ist uns noch kein einziger Brandfall zur Kenntnis gekommen, bei dem ein textiler Belag ursächliche oder fördernde Wirkungen gehabt hätte.

Wir hoffen, daß in Kürze die von uns vorgeschlagenen Normen in Österreich Gültigkeit erlangen. Dann könnten die Behörden auf diese Normen zurückgreifen, und ein Zustand der Unsicherheit wäre beseitigt.

### Die elektrostatische Aufladung

Zum Abschluß meiner Ausführungen möchte ich noch kurz auf die Frage der elektrostatischen Aufladung von textilen Fußbodenbelägen eingehen. Sie wird alle Jahre wieder in der Zeit, in der die Zentralheizungen in Betrieb sind, aktuell. Die elektrostatischen Aufladungserscheinungen sind wie das Fieber beim Kranken. Auch hier sollte man nicht das Fieber, sondern seine Ursachen bekämpfen.

Die nachteiligen Auswirkungen der elektrostatischen Aufladung treten immer dann auf, wenn in den Räumen eine extrem niedrige Luftfeuchtigkeit vorhanden ist. Wir haben in Arbeitsräumen nicht selten eine relative Luftfeuchtigkeit von 30 Prozent und darunter gemessen. Jeder Arzt weiß, welche negativen Auswirkungen eine derart niedrige Luftfeuchtigkeit hat: Erkrankungen der Rachenwege, Verkühlungen usw. sind die Folge. Elektrostatische Aufladungserscheinungen zeigen daher an, wie dringend Maßnahmen zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in den Räumen wären.

Elektrostatische Aufladungserscheinungen sind keine Besonderheit der textilen Fußbodenbeläge. Auch andere Fußbodenbeläge führen zu Aufladungen, und in der Praxis läßt sich kaum zwischen einer Aufladung, die durch den Bodenbelag, und jenen Aufladungen, die durch Kleidung, Möbelstücke u.ä. entstehen, unterscheiden.

Die Industrie ist bemüht, textile Fußbodenbeläge herzustellen, die nicht oder kaum zu elektrostatischer Aufladung neigen. In den letzten Jahren sind diese Bemühungen schon sehr erfolgreich gewesen, und am Markt werden Beläge angeboten, die sich kaum mehr aufladen.

Die elektrostatische Aufladung entsteht durch die Ladungstrennung als Folge des Kontaktes zwischen der Schuhsohle und der Belagfläche und der nachfolgenden Trennung dieses Kontaktes. Dabei werden an den Kontaktflächen jeweils gleich große Ladungsbeträge entgegengesetzter Polarität getrennt, die einerseits zu einer Aufladung der gerade begangenen Belagoberfläche und andererseits zu einer Aufladung der Schuhsohle und damit der Person mit entgegengesetzter Polarität führen können. Weist sowohl der Belag als auch die Schuhsohle einen hohen Isolationswiderstand auf und ist infolge extrem trockener Luft die Entladung

durch die Luft verzögert, dann kommt es zu einer Aufspeicherung der Ladung. Das dadurch zustandekommende Potential der Person gegenüber der Umgebung kann auf eine Höhe von 10 bis 15 kV anwachsen. Dieses Potential ist völlig ungefährlich, da die im Körper fließenden Ströme 1  $\mu$ A nicht überschreiten. Gelangt die elektrostatisch aufgeladene Person jedoch in die Nähe eines Körpers mit hoher Kapazität, so erfolgt kurz vor der Berührung eine plötzliche Entladung über einen Funken, die zumeist eine Schockwirkung auslöst.

Bei der elektrostatischen Aufladung sind somit zwei Aspekte von Bedeutung:

- die Höhe der Aufladung und
- die Schnelligkeit der Entladung.

Hat ein textiler Belag einen Oberflächenwiderstand von  $10^{11}$  Ohm oder einen Durchgangswiderstand unter  $10^{11}$  Ohm  $\cdot$  cm<sup>2</sup> und ist ein leitfähiger Kleber verwendet worden, dann werden die Ladungen so rasch abgeleitet, daß sich dies im allgemeinen nicht unangenehm auswirkt. Sind die Widerstandswerte jedoch höher, so kann die Ladung nicht rasch genug abgeleitet werden.

Es ist jedoch möglich, eine wesentliche Aufladung - zum Beispiel durch die Verwendung bestimmter Materialien - zu verhindern. In diesem Fall wird es auch trotz hoher Widerstandswerte zu keinen Auswirkungen kommen.

Die praxisgetreue Prüfung der elektrostatischen Aufladung bereitet noch immer einige Schwierigkeiten, da es äußerst kompliziert ist, die heterogenen und subjektiven Parameter der Praxis zu berücksichtigen. Trotzdem gestatten die derzeit verwendeten Prüfverfahren bereits eine gute Vorhersage.

## KORROSIONSSCHUTZ W. HÖHNEL KG.

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

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

## Ein Beitrag zur elementaren Statistik

Dipl.-Ing. Kurt Hofstätter, Lenzing

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Eingangs wird die Balance zwischen der Präzision und dem Risiko einer statistischen Information in Abhängigkeit vom Prüfumfang erörtert. Es werden dann verschiedene Dispersions-, Lokalisations- und Formmaße für Meßwertverteilungen vorgestellt und deren Informationsinhalt diskutiert. Abschließend werden konkrete Meßwertverteilungen von Faserfeinheit, Faserfestigkeit und Faserdehnung analysiert.

At the beginning the balance between the precision and the risk of a statistic information in dependance of the extent of the test is dealt with. Then various dispersion-, localisation- and form measures for data distributions are introduced, and their contents of information is discussed. Finally, concrete data distributions of fibre fineness, fibre strength and fibre elongation are analysed.

Messungen werden durchgeführt, um Information über eine bestimmte Eigenschaft eines Meßobjekts zu erhalten. Die speziellen Fragen der technischen Durchführung von Messungen werden bei den folgenden Überlegungen nur am Rande von Bedeutung sein. Dagegen wird uns das, was unter „Information über eine bestimmte Eigenschaft eines Meßobjekts“ zu verstehen ist, besonders beschäftigen.

Primitiv ausgedrückt, wird von einer derartigen Information eine Aussage über das „So- und nicht Anderssein“ einer bestimmten Eigenschaft des Meßobjekts erwartet. Im einfachsten Fall wird eine „Ja - Nein“- , eine „Gut - Schlecht“- , gegebenenfalls eine „Entweder - Oder“- , also eine *Alternativaussage* verlangt.

Eine Alternativaussage ist sehr präzise („ja“ oder „nein“), aber das Risiko einer Falschinformation ist hierbei relativ groß. Die Lokalisation von nur einem Meßergebnis in bezug auf eine vorgegebene Schranke kann sicher eindeutig (präzise) angegeben werden, etwa so: „Das Meßergebnis liegt jenseits einer vorgegebenen Schranke.“

Die Erfahrung zeigt aber, daß auf Grund einer weiteren Messung an demselben Meßobjekt ein zweites Meßergebnis zu einer Aussage führen kann, die der ersten Information widerspricht, etwa so: „Das zweite Meßergebnis liegt nicht jenseits der vorgegebenen Schranke.“

In der Praxis wird (soll!) man es nicht bei nur zwei Messungen bewenden lassen, sondern wird weitere Messungen an demselben Meßobjekt vornehmen, um das Risiko einer Fehlentscheidung möglichst klein zu halten. Der Preis dafür ist, neben einem höheren Arbeitsaufwand und eventuell höheren Materialeinsatz, ein Verlust an Präzision der Information. An die Stelle von Alternativaussagen in der oben angeführten Art wird eine unpräzisere Aussage treten, etwa diese: „Die meisten Meßergebnisse liegen jenseits einer vorgegebenen Schranke.“ Das Risiko, daß sich diese Aussage

nach einer oder mehreren weiteren Messungen als falsch erweisen sollte, wird umso kleiner sein, je mehr Messungen als Voraussetzung zu dieser Aussage durchgeführt worden sind. Der Sachverhalt, der durch eine Aussage der letzteren Art beschrieben wird, ist ein wesentlich anderer als der Sachverhalt, der durch eine der früheren Alternativaussagen beschrieben worden ist. Diese geben eine Information über die Lage eines einzelnen Meßergebnisses in bezug auf eine vorgegebene Schranke. Die bezüglich der Lokalisation der Meßergebnisse unpräzisere, aber mit einem geringeren Risiko belastete Aussage auf Grund der Ergebnisse aus mehreren Messungen an dem gleichen Meßobjekt gibt eine *Information über die Lage eines Kollektivs von Meßergebnissen im Hinblick auf eine vorgegebene Schranke*.

Daß die Ergebnisse aus mehreren Messungen an demselben Meßobjekt jedes für sich zu verschiedenen Alternativaussagen bezüglich einer vorgegebenen Schranke führen können, wird der „*Streuung der Meßergebnisse*“ zugeschrieben, wobei es vollkommen offen bleibt, ob diese der Ungenauigkeit des Meßvorgangs oder der Ungleichmäßigkeit des Meßobjekts anzulasten ist.

In der Regel wird angenommen, daß die Ungenauigkeit des Meßvorgangs wesentlich kleiner ist als die Ungleichmäßigkeit des Meßobjekts, sofern die Aufgabenstellung für die Messung auf die Erfassung einer bestimmten Eigenschaft des Meßobjekts gerichtet ist. Gilt es aber den Meßvorgang selbst zu überprüfen, muß das Meßobjekt besondere Bedingungen bezüglich der Gleichmäßigkeit der zu prüfenden Eigenschaft und zeitlicher Stabilität derselben aufweisen. Ein solches Meßobjekt wird als „*Standard*“ bezeichnet.

Werden mehrere Messungen an demselben Meßobjekt durchgeführt, so streuen die Meßergebnisse über einen bestimmten Bereich. Es gibt dann sicher zwei extrem liegende Meßergebnisse, zwischen denen alle anderen Meßergebnisse liegen. Den beiden extremen Meßergebnissen können zwei Schranken zugeordnet werden, für die die folgenden Aussagen zutreffen: „*Alle Meßergebnisse liegen jenseits der einen Schranke*“ und „*Kein Meßergebnis liegt jenseits der anderen Schranke*“ bzw. „*Alle Meßergebnisse liegen zwischen den beiden Schranken*“. Diese Aussagen sind mit einem relativ kleinen Risiko, besonders bei Vorliegen vieler Meßergebnisse, behaftet, sind aber unpräzise bezüglich der Lokalisation der Meßwerte.

Sowohl die Lage der beiden Schranken (Extremwerte) als auch die Spanne zwischen den beiden Schranken (Extremwertspanne, Variationsbreite = englisch „*range*“) sind für eine Charakterisierung einer bestimmten Eigenschaft des Meßobjekts geeignet. Die Extremwertspanne gibt Auskunft über die Ungleichmäßigkeit des Meßobjekts, die sich in der Streuung (Dispersion) der Meßwerte manifestiert. Das Risiko einer Falschinformation sinkt bei zunehmender Anzahl von Messungen. Die Extremwertspanne ist bezüglich ihrer Größe relativ präzise, aber unpräzise bezüglich der Lokalisation der einzelnen Meßwerte, mit Ausnahme der Extremwerte selbst.

Als *Dispersionsmaß* (Streuungsmaß) ist die Extremwertspanne gut brauchbar, sofern genügend viele Meßergebnisse vorliegen. Wir suchen nun nach weiteren Dispersionsmaßen, die auch bei einer kleineren Anzahl von Meßergebnissen hin-

reichend präzise sind, wobei aber auch das Risiko einer Falschinformation relativ klein sein soll.

Mußten wir bisher nur das jeweils größte bzw. kleinste Meßergebnis notieren, so müssen wir jetzt die Meßergebnisse auch ihrer Größe nach ordnen. Es können nun innerhalb der Extremwerte weitere Schranken gesetzt werden, für die folgende Aussagen zutreffen sollen: „*Jenseits dieser Schranke liegen p Prozent aller Meßergebnisse.*“ Eine solche Schranke heißt das „*p-te Perzentil*“. Gebräuchliche Perzentilwerte sind:  $p = 10, 25, (50), 75, 90$  Prozent. Die Extremwerte könnten demnach als das 0-te bzw. das 100-ste Perzentil bezeichnet werden. Durch 10 teilbare Perzentilwerte werden „*Dezilwerte*“, und die durch 25 teilbaren Perzentilwerte werden „*Quartilwerte*“ genannt.

Aus der Spanne von Dezil zu Dezil oder von Quartil zu Quartil kann auf die Dispersion der Meßergebnisse rückgeschlossen werden. Es können Aussagen über die Lokalisation von Meßwerthäufungen in bestimmten Meßwertbereichen gemacht werden. Weiters gibt das 50-te Perzentil Information über die Mittenlage der Meßergebnisse.

Außenliegende Perzentile sind, wenn genügend viele Meßergebnisse vorhanden sind, mit einem geringeren Risiko belastet als innenliegende Perzentile, da die Wahrscheinlichkeit, daß mehrere zusätzliche Meßergebnisse nahe einem Extremwert liegen, sicher geringer ist als die Wahrscheinlichkeit, daß mehrere zusätzliche Meßergebnisse in der Nähe des 50-sten Perzentils liegen.

Die Spanne zwischen dem  $p$ -ten Perzentil und dem  $(100-p)$ -ten Perzentil wird „*Interperzentil*“ genannt und dieses durch den Prozentsatz der Meßwerte, die innerhalb des Interperzentils liegen, gekennzeichnet, wobei die symmetrische Lage gegenüber dem 50-sten Perzentil (Mittenlage) vorausgesetzt wird. Demnach liegt das 50-er Interperzentil zwischen dem 25-sten und dem 75-sten Perzentil und das 80-er Interperzentil zwischen dem 10-ten und dem 90-sten Perzentil. Das 100-er Interperzentil ist der Extremwertspanne gleichzusetzen.

Ein großes Interperzentil ist im allgemeinen risikoärmer als ein kleines Interperzentil. Das 80-er Interperzentil kann jedoch risikoärmer als die Extremwertspanne sein. Ein kleines (inneres) Interperzentil liefert meist eine Information, die von der Extremwertspanne unabhängig ist. Es ist also sinnvoll, die Extremwertspanne, das 80-er und das 50-er Interperzentil, eventuell auch das 50-ste Perzentil (Mittenlage), zur Charakterisierung einer Eigenschaft des Meßobjekts anzugeben.

Ein weiteres Dispersionsmaß ist die vielfach angewandte „*Standardabweichung*“, die oft in ungenauer Weise als Streuung bezeichnet wird. Zu ihrer Bestimmung ist es nicht erforderlich, die Meßergebnisse zu ordnen. Diese werden nach der Definitionsgleichung bzw. nach der Rechenformel:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^{i=n} x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^{i=n} x_i \right)^2 \right]}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i \quad \text{verarbeitet.}$$

Zur Erklärung der Standardabweichung  $s$  soll nur voraus-

gesetzt werden, daß die  $n$ -Meßergebnisse  $x_i$  über ihre Extremwertspanne auf einer lückenlosen Meßwertskala aufgetragen werden können. Nach G a u s s wird nun jene Marke auf der Meßwertskala (Standard) gesucht, von der aus gemessen die Summe der Abstände zu den einzelnen Meßwerten am kleinsten ist. Der Standard ist der bekannte „*arithmetische Mittelwert*  $\bar{x}$ “. Der „*mittlere*“ kleinste Abstand der einzelnen Meßwerte zum arithmetischen Mittelwert wird als Standardabweichung bezeichnet.

Die doppelte Standardabweichung ist meist kleiner als das 80-er Interperzentil, aber größer als das 50-er Interperzentil. Einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Interperzentil und Standardabweichung gibt es nur bei symmetrischen Verteilungen der Meßergebnisse, insbesondere bei der „*Normalverteilung*“. Das Risiko, das an der Standardabweichung haftet, ist meist kleiner als das des 80-er Interperzentils. Von allen Dispersionsmaßen ist, bei vorgegebenem Risiko, für die Bestimmung der Standardabweichung die kleinste Anzahl von Meßwerten erforderlich.

Die Standardabweichung gibt eine allgemeine Information über die diffuse Lage der Meßwerte. Der Interperzentilbereich gibt eine Information über die Dispersion eines vorgegebenen Prozentsatzes „*innenliegender*“ Meßergebnisse. Die Extremwertspanne gibt eine Information über die Randlage der Meßergebnisse. Es ist also jeweils zu prüfen, welches Dispersionsmaß eine problemorientierte Information liefern kann.

Kehren wir zu unserem ersten Meßergebnis zurück, für das wir eine Lokalisation in der Form angegeben haben, daß wir sagten: „*Das Meßergebnis liegt jenseits einer vorgegebenen Schranke*“ bzw. „*Das Meßergebnis liegt zwischen zwei vorgegebenen Schranken.*“ Liegen nun Ergebnisse aus mehreren Messungen an demselben Meßobjekt vor und wird neben der Aussage über die Dispersion der Meßergebnisse eine Aussage bezüglich der Lokalisation des Kollektivs der Meßergebnisse verlangt, so müssen wir geeignete *Lokalisationsmaße* suchen:

- Werden die Ergebnisse aus einer Anzahl von Messungen am selben Meßobjekt ihrer Größe nach geordnet, so läßt sich eine Marke angeben, die so auf der Meßwertskala liegt, daß jeweils gleich viele Meßergebnisse beiderseits dieser Marke liegen. Diese Marke wird „*Median*“, „*Zentralwert*“ oder „*Halbwert*“ genannt.
- Ein weiteres Lokalisationsmaß wird dadurch erhalten, daß die Extremwertspanne in eine bestimmte Anzahl gleich breiter Intervalle unterteilt wird. In einem Intervall werden sicher mehr Meßwerte liegen als in irgendeinem anderen Intervall. In diesem Intervall liegen die Meßwerte am dichtesten. Die Mitte dieses Intervalls wird als „*Häufungsmaximum*“ oder als „*Dichtemittel*“ bezeichnet.
- Viel gebräuchlicher als der Median und das Häufungsmaximum ist als Lokalisationsmaß der „*Mittelwert*“ genauer: der „*arithmetische Mittelwert*“. Wir haben diesen bereits als diejenige Marke auf der Meßwertskala kennengelernt, von der aus gemessen die Summe aller Abstände zu den einzelnen Meßwerten ein Minimum ist. Mit anderen Worten: „*Von jeder anderen Marke aus auf*

der Meßwertskala gemessen, ist die Summe der Abstände zu den Meßwerten größer als die Summe aller Abstände zu den Meßwerten, gemessen vom arithmetischen Mittelwert."

Die gewohnte formale Definition des arithmetischen Mittelwertes, das heißt die durch die Anzahl der Meßwerte dividierte Summe der Meßwerte

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i$$

verrät nichts über die eben angeführte stochastische Bedeutung desselben.

- Formal gibt es noch andere Mittelwerte, etwa den „geometrischen Mittelwert“, definiert als

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_{i-1} \cdot x_i \cdot x_{i+1} \cdot \dots \cdot x_{n-1} \cdot x_n}$$

- oder den „harmonischen Mittelwert“, definiert als

$$\bar{x}_H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}}$$

Diese lassen sich jedoch durch Merkmalstransformationen auf den arithmetischen Mittelwert zurückführen oder von diesem ableiten. Eine solche Merkmalstransformation stellt selbst immer eine Information dar, die durch die besondere Art der Aufgabenstellung bestimmt ist.

Es ist einzusehen, daß alle angeführten Lokalisationsmaße, jedes in seiner Art, Informationen über die zentrale Lage des Meßwertkollektivs nur unter der Bedingung geben, daß die Meßergebnisse sich im Inneren der Extremwertspanne häufen. Für die Charakterisierung von mehrgipfeligen Meßwertverteilungen eignen sich die angeführten Lokalisationsmaße kaum (Abb. 1).

Bei streng symmetrischen Meßwertverteilungen fallen der Median, das Häufungsmaximum und der arithmetische Mittelwert auf ein und dieselbe Marke der Meßwertskala. Sind die Meßwerte nicht symmetrisch verteilt, so gibt die Abweichung der drei angeführten Lokalisationsmaße voneinander einen Hinweis auf die Asymmetrie der Meßwertverteilung. Diese Information ist aber meist als Formmaß einer Meßwertverteilung nicht befriedigend.

Ein recht gutes Formmaß für die „Schiefe“ einer Meßwertverteilung wird durch einen Vergleich der Spannengröße für je 40 Prozent der Meßwerte beiderseits des Mediums erhalten (Tate und Clelland 1957):

Der Median  $\tilde{x}$  ist identisch mit dem 50-sten Perzentil. Die Spanne vom Median bis zum 10-ten Perzentil  $P_{10}$  umfaßt 40 Prozent der Meßergebnisse, ebenso die Spanne vom Median bis zum 90-sten Perzentil  $P_{90}$ . Die Spanne zwischen dem 10-ten und dem 90-sten Perzentil ist das 80-er Interperzentil  $IP_{80}$ . Das Maß der Schiefe  $S$  ist nun:

$$S = \frac{(P_{90} - \tilde{x}) - (\tilde{x} - P_{10})}{(P_{90} - \tilde{x}) + (\tilde{x} - P_{10})} = \frac{P_{10} + P_{90} - 2\tilde{x}}{IP_{80}}$$

Das Schiefemaß  $S$  ist gleich Null, wenn die Meßwertverteilung symmetrisch ist. Dann ist die 40-Prozent-Spanne beiderseits des Medians gleich groß. Die Schiefe ist positiv, wenn die Meßwertverteilung bei nach rechts ansteigend be-

schrifteter Meßwertskala linkssteil ist. Das Schiefemaß ist negativ, wenn die Meßwertverteilung rechtssteil ist. Das Schiefemaß ist +1 oder -1, wenn der Median mit dem 10-ten bzw. mit dem 90-sten Perzentil zusammenfällt. Da dies sehr unwahrscheinlich ist, werden bereits sehr kleine Werte des Schiefemaßes signifikante Abweichungen von der Symmetrie der Meßwertverteilung charakterisieren.

Bei Vorliegen einer relativ großen Standardabweichung, die aus relativ wenigen Messungen bestimmt wurde, wird die Signifikanz der Schiefe der Meßwertverteilung schwer nachzuweisen sein. Dagegen wird bei Vorliegen von relativ vielen Meßwerten mit einer relativ kleinen Standardabweichung sehr oft eine signifikante Schiefe der Meßwertverteilung feststellbar sein. In diesem Fall ist eine Interpretation sowohl des arithmetischen Mittelwertes als auch der Standardabweichung problematisch. Eine schiefe Meßwertverteilung wird durch das Häufungsmaximum sowie durch die Angabe von Perzentilen oder von Interperzentilen beschrieben werden.

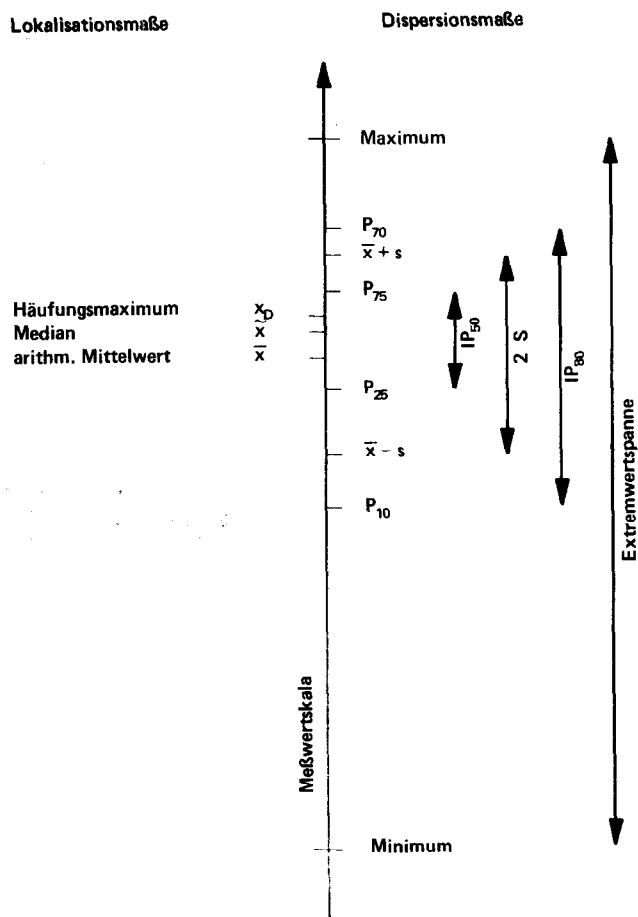


Abb. 1: Lokalisations- und Dispersionsmaße einer rechtssteilen säulenartigen Meßwertverteilung

Ein weiteres Formmaß erfaßt die Form der Verteilungsspitze. Die „Wölbung“, der „Exzeß“ oder die „Steilheit“ wird durch das Verhältnis des 50-er Interperzentils  $IP_{50}$  zum 80-er Interperzentil  $IP_{80}$  bestimmt (Tate und Clelland 1957):

$$W = \frac{IP_{50}}{IP_{80}}$$

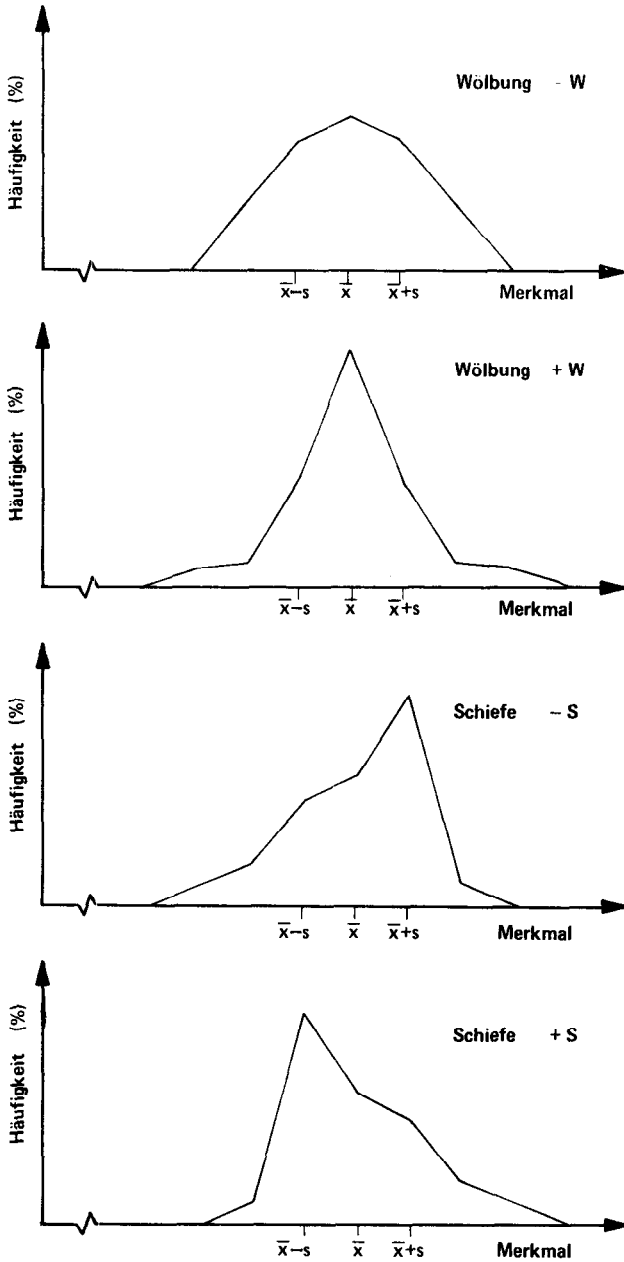


Abb. 2: Formen von Meßwertverteilungen mit gleichem arithmetischem Mittelwert und mit gleicher Standardabweichung

Das Wölbungsmaß  $W$  muß immer kleiner als 1, jedoch positiv sein. Ist es nur wenig kleiner als 1, ist also das 80-er Interperzentil nur wenig breiter als das 50-er Interperzentil, so ist die Meßwertverteilung säulenartig. Ist das Wölbungsmaß wesentlich kleiner als 1, so ist die Meßwertverteilung pagodenförmig. Man kann die Wölbung  $W$  irgendeiner Meßwertverteilung der Wölbung  $W_V$  einer Vergleichsmeßwertverteilung gegenüberstellen und so zu der Aussage kommen: „Die vorliegende Meßwertverteilung hat eine steilere, eine flachere oder die gleiche Wölbung wie die Vergleichsmeßwertverteilung“:

$$\Delta W = W_V - W.$$

Ist  $\Delta W$  nur wenig von Null verschieden, so haben die beiden Meßwertverteilungen angenähert die gleiche Wölbung. Ist  $\Delta W$  positiv, so ist die zu prüfende Meßwertverteilung steiler als die Wölbung der Vergleichsmeßwertverteilung. Ist  $\Delta W$

negativ, so ist die zu prüfende Meßwertverteilung flacher als die Wölbung der Vergleichsmeßwertverteilung. Oft wird als Vergleichsmeßwertverteilung die „Normalverteilung“ mit dem Wölbungsmaß  $W_N = 0,524$  verwendet. Bei einer „normierten“ Normalverteilung ist das 50-er Interperzentil  $IP_{50,N} = 0,6745$  und das 80-er Interperzentil  $IP_{80,N} = 1,2861$ .

Am Ende der theoretischen Abhandlung soll darauf hingewiesen werden, daß die Bestimmung der Perzentilwerte heute mit Hilfe einer Datenverarbeitungsanlage keine so große Schwierigkeit mehr bereitet wie noch vor relativ kurzer Zeit (Abb. 2).

**Praktische Anwendung**

Wir wollen nun abschließend unsere Überlegungen auf konkret vorliegende Meßreihen anwenden: Wir haben die Faserfeinheit, die Reißfestigkeit und die Reißdehnung an einer Probe von HWM-Stapelfasern geprüft.

Bei jedem Reißversuch wird die geprüfte Faser zerstört. Die Messung kann an der identgleichen Faser nicht wiederholt werden, daher wird die Probe als Meßobjekt bezeichnet, wenn auch die Messungen an den einzelnen Fasern der Probe durchgeführt werden.

Nach einer bestimmten Vorschrift wurden aus der Probe mehrfach Gruppen von je 20 Fasern gezogen, geprüft und anschließend die Meßwertgruppen derart zusammengelegt, daß vorerst nur 20 Meßwerte, dann 40, 100, 200 und endlich 300 Meßwerte die Eigenschaft der Probe repräsentierten.

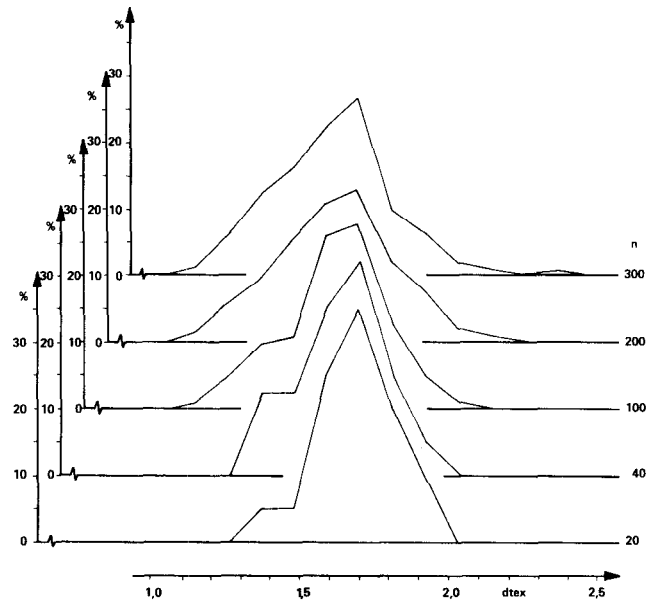


Abb. 3: Meßwertverteilung der Faserfeinheit

**Nutzanwendung**

Sehen wir uns zuerst die Meßwertverteilungen (Diagramme 3, 4, 5) an: Die Meßwertverteilungen von 20, aber auch von 40 Meßwerten sind noch relativ unruhig. Bei 300 Meßwerten ergeben sich bereits recht glatte Verteilungskurven. Es ist gut erkennbar, daß die Extremwertspanne bei stei-

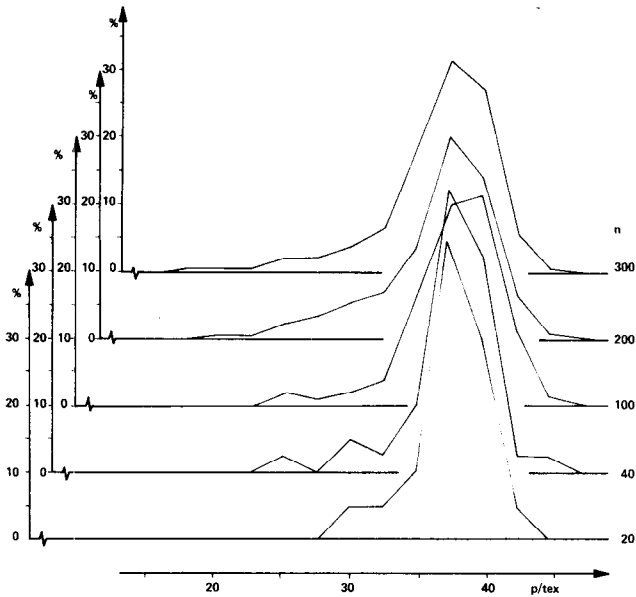


Abb. 4: Meßwertverteilung der Festigkeit

gender Meßwertanzahl größer wird. Die Meßwertverteilungen aus 300 Messungen erscheinen durchaus nicht symmetrisch.

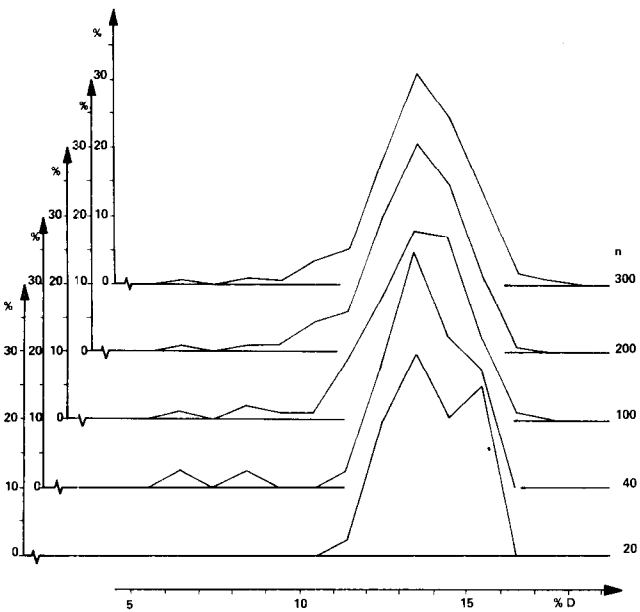


Abb. 5: Meßwertverteilung der Dehnung

Wenden wir uns nun den aus den Meßergebnissen erhaltenen Perzentilwerten, dem Häufungsmaximum, dem arithmetischen Mittelwert und der Standardabweichung zu. Im Diagramm 6 sehen wir die unterschiedliche Lage dieser Kennwerte in Abhängigkeit vom Prüfumfang für die drei untersuchten Probenmerkmale.

Die Extremwerte streben mit steigendem Prüfumfang stark auseinander. Dieses Auseinanderlaufen ist beim 10-ten und beim 90-ten Perzentil schon wesentlich schwächer, noch schwächer beim 25-ten und beim 75-ten Perzentil. Der Median, das Häufungsmaximum und der arithmetische Mittelwert liegen relativ nahe beisammen. Das Häufungs-

maximum scheint am stärksten dem Zufall unterworfen zu sein, zumal dann, wenn dessen Bestimmung auf diese durchaus nicht exakte Weise erfolgte, wie wir sie hier bewußt angewandt haben. In der Praxis wird das Häufungsmaximum jedoch meist so ermittelt werden.

Endlich sollen die Marken  $(\bar{x} - s)$  und  $(\bar{x} + s)$  betrachtet werden. Bei einer Normalverteilung liegen zwischen diesen Marken 67 Prozent der Meßwerte. Bei der Festigkeit liegt die  $(\bar{x} + s)$ -Marke nahe am 90-ten Perzentil und die  $(\bar{x} - s)$ -Marke nahe am 10-ten Perzentil.

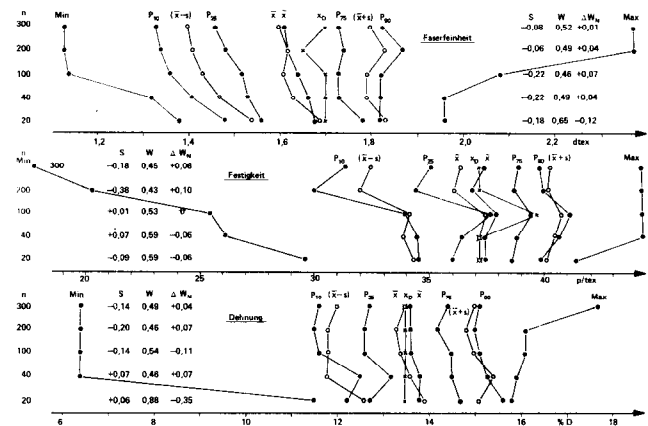


Abb. 6: Perzentile, Häufungsmaximum, arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung

Daraus geht hervor, daß die vorliegenden Meßwertverteilungen steiler sind als eine Normalverteilung. Das gleiche ergibt sich aus den Wölbmaßen W und ihren Abweichungen von einer Normalverteilung  $\Delta W_N$ . Die Wölbmaße sind aber nur für einen größeren Prüfumfang signifikant. Das gleiche gilt auch für das Schiefemaß. Die Meßwertverteilung der Faserfeinheit scheint symmetrisch zu sein, die der Festigkeit ist aber sicher rechtssteil und die der Dehnung etwas weniger rechtssteil.

Die Rechtssteilheit der Festigkeit ist verfahrensbedingt, denn es besteht sicher für jedes Verfahren eine obere Festigkeitsgrenze. Der arithmetische Mittelwert der Festigkeit liegt relativ weit unter dem Häufungsmaximum und auch unter dem Median. Es ist sicher ein Ziel jeder Produktionsverbesserung, den linken Auslauf der Meßwertverteilung zu verkürzen. Das gilt auch für die Meßwertverteilung der Dehnung. Die Meßwertverteilung der Faserfeinheit scheint optimal zu sein, da sie einer Normalverteilung sehr nahe ist.

**Reiseeindrücke anlässlich eines China-Besuchs im Jahre 1972 (Auszug)**

Professor Dr. Hermann M a r k  
Polytechnic Institute of Brooklyn, New York

Herrn Direktor Dr. J. H a r m s anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Im Jahre 1972 bereiste der Autor dieses ferne Land. In vielen großen Städten besichtigte er die verschiedensten Betriebe, hielt aber auch selbst Vorträge und Seminare an der Akademie der Wissenschaften. Seine Eindrücke insbesondere im Hinblick auf die industrielle Entwicklung Chinas seien hier auszugsweise wiedergegeben.

In 1972 the author travelled to this distant country. He visited many different companies in the large cities but also gave talks and seminars at the Academy Of Science. His impressions, especially concerning the industrial development of China, are given here in short terms.

**Polymerwissenschaft**

Es gibt in China sechs oder sieben größere Forschungsteams, die sich in kleinen Versuchsanlagen mit R- und D-Polymeren beschäftigen. Sie sind in Peking, Schanghai, Tschangtschun, Harbin und Kanton situiert. Die größte Anlage befindet sich am Chemischen Institut der Akademie der Wissenschaften in Peking; sie untersteht Professor Liu Ta King. Im Institut sind 400 Fachleute und 700 Hilfskräfte, davon etwa 40 Prozent Frauen, beschäftigt. Es besteht aus fünf Abteilungen, eine davon ist besonders auf Arbeiten mit Polymeren spezialisiert. Wir besuchten auch die Laboratorien, deren Ausrüstung uns gezeigt wurde, und wir hatten Gelegenheit, individuelle Probleme mit den Forschern selbst zu diskutieren.

Während unseres Aufenthaltes in Peking lernten wir folgende Projekte kennen:

**1. Das Studium der "photochromic" und "photoconducting" organischen Polymeren**

Es umfaßt die Synthese neuer Arten, die auf Bestrahlung schneller reagieren, bessere Farben geben und/oder nach kurzer Belichtung eine bessere elektrische Leitfähigkeit besitzen.

Es gibt hierüber jedoch noch keine positiven Resultate, denn das Projekt steht noch am Anfang. Das Ziel ist eine lange Synthese von Analogon von TCMQ, Phthalocyaninen und Triazinolderivaten (vier Chemiker unter der Leitung von Mrs. Li Chi-Fou).

**2. Druckplatten von Polyamiden auf Basis von petrochemischen Kreuzungen von Polymeren**

Ziele der Forschung:

- höhere Photosensibilität des Bindemittels und
- verbesserte Dehnbarkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit.

Es wurden in der letzten Zeit auch Untersuchungen mit 10.10-Nylon gemacht (vier Chemiker unter der Leitung von Mr. Hsi-Fu-Ken).

**3. Graphitfasern**

Sie werden in großen Mengen (ca. 10 Pfund pro Tag) durch Pyrolyse von Polyacrylnitril hergestellt. Der Modul und die Dehnbarkeit sind sehr gut, die Reißfestigkeit jedoch noch sehr gering. Eine Verbesserung wird durch Einsatz von anderen Ausgangsmaterialien angestrebt, zum Beispiel durch Pech, 1.2-Polybutadien, aromatische Polyester und Polyamide, sowie durch Änderung der Carbonisierungs- und Graphitierungsstufen (sechs Chemiker unter der Leitung von Mr. Wei Jen-Choh).

Weiters werden diese Fasern wegen ihrer halbleitenden Eigenschaften studiert, wobei sie mit Metallen und organischen Molekülen, die Elektronen abgeben, behandelt werden. Dieses Team von vier Personen arbeitet mit der Gruppe für Graphitfasern und der für photoelektrische Polymere zusammen.

**4. Mischen und Pfropfen von Elastomeren**

Um die Widerstandsfähigkeit und die Mischbarkeit von EPR mit anderen Kautschukarten zu verbessern, wird die Masse beim Mischen und Pfropfen mit 1,4-cis-Butadien mit Hilfe von *master batches* einer schwachen Bestrahlung ausgesetzt. Das allgemeine Wissen dieser Gruppe (drei Personen unter Mr. Li Tsung-Chan) ist zwar recht gut, doch kannte sie die Bücher von Kraus und Tournquist-Kennedy nicht.

**5. Anionische Polymerisation von Caprolactam und das Gießen von großen Formen aus Nylon 6**

Ziele sind:

- vermindertes Einlaufen beim Gießen,
- höhere Belastungsfähigkeit,
- besserer Widerstand gegen Abnutzung (Copolymerisation wird mit Nylon 7 und 8 durchgeführt) und
- höheres Molekulargewicht.

(Fünf Personen arbeiten unter Mr. Wang Yu-Lui.)

Es gibt in dieser Gruppe noch andere Projekte, zum Beispiel auf dem Gebiet der Gaschromatographie, der Adhäsion, der Epoxidbehandlung, der phenolischen Epoxy-mischungen sowie der Silikone, aber diese waren weniger fortgeschritten und schienen etwas unklar und nur versuchsweise zu sein.

Im allgemeinen wissen die Leute, worüber sie sprechen, aber die Ausrüstung ist sehr altmodisch und die Literatur der letzten drei oder vier Jahre beinahe unbekannt. Als ich vorschlug, daß sie sich einen besseren Banbury-Mixer für das Projekt der Elastormischung kaufen sollten, war die Antwort, daß sie diesen lieber selber bauen würden, um nicht von ausländischer Hilfe abhängig zu sein (einer der Grundsätze Maos, der oft zitiert wird). Als ich fragte, ob ich moderne Bücher (nach 1968) über Carbonfasern, Halbleiter, Technologie und synthetische Elastomere senden sollte, versicherte man mir, daß man dafür sehr dankbar wäre.

Und gibt es gegen diese Art von ausländischer Hilfe keine Einwände? Nein. Warum nicht? Keine Antwort.

Wir brachten verschiedene moderne Bücher - Symposiumsausgaben von J.P.S. und J.A.P.S. - und eine große Anzahl von kommerziellen Mustern aus Europa und Amerika, wie zum Beispiel synthetische Fasern, synthetische Gummis und Plastik verschiedenster Art. Am Ende unseres Aufenthalts in Peking wurden uns zwei große Kartons mit den entsprechenden chinesischen Materialien, einschließlich Teflon, Carbonfasern, Polycarbonate und Silikongummi, gegeben.

Die Bibliothek der Polymer-Abteilung ist groß und gut eingerichtet. Wir fanden dort beinahe alle Zeitschriften über Polymere, egal in welcher Sprache. Die Chemiker gaben jedoch zu, daß sie ernstliche Sprachschwierigkeiten hätten, sobald sie die gegebenen Möglichkeiten tatsächlich ausnutzen wollten. Im Rahmen der Seminare und Diskussionen wurden viele Fragen gestellt, die weit über die Grenzen der bestehenden Projekte hinausgingen und die das spezielle Interesse für katalytische Einwirkung während der Polymerisationsreaktionen, insbesondere von Äthylen, Propylen, Vinylchlorid und Acrylnitril, zeigten. Es bestand auch großes Interesse an der gesamten Chemie und Technologie der neuesten Polymeren und solcher Copolymeren, die gegen hohe Temperaturen widerstandsfähig sind.

In Schanghai gibt es ein großes chemisches Institut der Akademie der Wissenschaften, das wir besuchten und wo ich eine Vorlesung und ein Seminar hielt. Das Institut wird von Herrn Professor Chang Hsueh-Kai geleitet und beschäftigt ca. 200 Chemiker und Ingenieure plus 200 Techniker und 300 zusätzliche Angestellte. Es besteht aus sieben Abteilungen Strahlenchemie, sowie anorganische, organische, analytische, polymere, physikalische und biologische Chemie. Wir besuchten drei Abteilungen.

In der organischen Gruppe wird sehr fortschrittliche Arbeit auf dem Gebiet der Sterone geleistet, mit besonderer Betonung der strukturellen Analyse bestehender Verbindungen und der Synthese von neuen. Es arbeiten etwa 40 Personen daran, die Hälfte von ihnen sind Chemiker, die anderen Techniker. Der moderne Stand der westlichen Forschung ist bekannt, und die Gruppe macht davon Gebrauch, wie auch einige zusätzliche Spezialprobleme behandelt werden.

Die Ausstattung, zum Beispiel für die verschiedenen chromatographischen Methoden, für Mikroanalyse, Präzisionsfraktionierung und Destillation, ist eher primitiv und sehr veraltet. Neue und verbesserte Apparate werden nicht im Ausland bestellt, sondern lieber im Institut selbst hergestellt, auf eine sehr mühsame und zeitraubende (eigentlich zeitverschwendende) Art und Weise. Dies entspricht jedoch dem Prinzip von Selbsthilfe und Unabhängigkeit, das von Mao gepredigt wird, wobei die erzieherischen und ideologischen Vorteile hervorgehoben werden und nur wenig Wert auf die Geschwindigkeit des Fortschritts gelegt wird, solange überhaupt ein Fortschritt gemacht wird.

Ein anderes Team (etwa 20 Personen) studiert natürliche Produkte pflanzlichen Ursprungs - Terpentine, Alkaloide und Vitamine - mit dem Ziel, den Ertrag der natürlichen Quellen zu steigern, um diese in größeren Quantitäten und

besseren Qualitäten für den technischen wie den medizinischen Gebrauch zur Verfügung zu haben.

Eine große Gruppe (ungefähr 60 Personen) arbeitet auf dem Gebiet der Fluorpolymeren. Die Basis für diese Tätigkeit ist eine Versuchsanlage (die wir besuchten), in der HF, F<sub>2</sub> und basische organische Fluorverbindungen in Mengen von 50 bis 100 kg pro Tag hergestellt werden. Es gibt eine kleine Teflonproduktion (ca. 20 kg pro Tag), die als experimentelle Grundlage für großangelegte Versuche in einer Anlage nahe Lantschou (Provinz Kansu) dient. Es wurden uns Muster von Teflon und von einigen Fluorelastomeren gegeben. Das Interesse an dem letzten Buch von Leo Wall über „Fluorpolymere“, das sie noch nicht in ihrer Bibliothek hatten, war groß: Wie in Peking war auch hier die Bibliothek bis 1969 vollständig, aber von da an war sie sehr lückenhaft.

Eine weitere Gruppe (etwa 50 Personen) beschäftigt sich mit der Reinigung von Rohprodukten, die aus den Ölfeldern von Tachin (nahe Harbin) kommen und große Mengen von Wachs enthalten (der Fließpunkt liegt bei über 35°C). Es wird die klassische chemische Paraffinoxidierung angewendet, wobei man das Hauptgewicht bei der Produktion von Hefe auf Biooxidation und Fermentierung legt. Eine Versuchsanlage - ca. 100 kg Hefe pro Tag - wird betrieben, und das erhaltene Material wird für landwirtschaftliche Nutzbarkeit untersucht.

Wir besuchten auch die „9. Chemische Faserfabrik“ in Schanghai, wo wir von Mrs. Siam Fung-Chi, Mr. Wang Wan-Tao und Mr. Yih Jen-Chin begrüßt wurden. Das Werk, das 1958 erbaut wurde, produziert am Tag je zwei Tonnen Nylon-6- und Nylon-6.6-Fäden und ca. sechs Tonnen Nylon-6-Drähte. Es sind dort 1100 Personen angestellt, die ein Durchschnittsalter von 30 Jahren haben. Das Nylon-6.6-Salz wird als trockenes Pulver von einem chemischen Werk in Schanghai und das Caprolactam von einer Fabrik in Nanking angeliefert.

Schließlich besuchten wir in Schanghai die große Industriemesse mit einer wunderschönen und gut organisierten Ausstellung von praktisch allen Industriemaschinen und -produkten. Bei jedem Ausstellungsstand war ein Mädchen, das die Funktionen und den praktischen Einsatz der verschiedenen Maschinen erklärte. In allen Fällen ließ man die betreffenden Maschinen laufen (elektrisch), sogar wenn es sich um große Dynamos oder schwere hydraulische Pressen, komplizierte Ultrazentrifugen, Röntgenröhren, elektronische Mikroskope und „Lasers“ handelte. Die Ausstellung war sehr gut besucht und repräsentierte offensichtlich wichtige und erfolgreiche erzieherische Bemühungen.

### Industrie

Wir besuchten drei Ölraffinerien: eine nahe Peking, eine bei Lantschou (Kansu) und eine in der Nähe von Tschangtschun (Kirin). Alle drei waren einander hinsichtlich Größe und Bauart sehr ähnlich, und ich werde in diesem Bericht nur die erste in einigen Einzelheiten beschreiben.

Sie liegt etwa 60 km südwestlich von Peking an den Hügeln, die sich am Fuße einer wenig bewaldeten Gebirgskette hinziehen. Der Manager Yong Tsin-Fu hat sein Büro in Peking.



Wir wurden vom technischen Leiter, Mr. Tsao Li-Chen, der sehr gut informiert war und offensichtlich ein sehr fähiger und hochangesehener Werksmann ist, durch die Anlage geführt. In der Raffinerie werden 2,5 Millionen Tonnen Rohöl pro Jahr gereinigt. Das Rohprodukt kommt mit der Bahn von den Ölfeldern nahe Harbin (etwa 1200 km im Nordosten), wird destilliert, gespalten und wieder gebunden, wodurch ein flüssiges Produkt in Form von leichtem, mittlerem oder schwerem Gasolin, von Heizöl und Schmieröl, gemeinsam mit Wachs und Asphalt, entsteht.

Das Werk wurde 1968 begonnen und wahrscheinlich Ende 1973 fertiggestellt. Es wird in seiner endgültigen Form aus 35 verschiedenen Einheiten bestehen, von denen bis jetzt elf (die größten) bereits in Betrieb sind. Im Moment arbeiten in dem Werk 12 000 Personen und weitere 10 000 Bauarbeiter, die die unvollständigen Teile fertig bauen. Die gesamte Gemeinde ist sehr groß. Sie besteht aus etwa 20 000 Familien (ca. 80 000 Personen), hat mehrere Schulen, Spitäler, Supermärkte, Warenhäuser, Postämter und eine große Busstation für jene Arbeiter, die zwischen ihrem Wohn- und ihrem Arbeitsplatz hin- und herfahren. Eine Pendler-Fahrkarte nach Peking kostet 3,50 Yen pro Monat (US-\$ 1,50). Die Leute leben entweder in kleinen Apartmenthäusern in der unmittelbaren Umgebung des Werkes (ca. 40 %) oder in kleineren Dörfern in der Nähe oder in den südwestlichen Vororten von Peking. Die Wohnsiedlung einschließlich der elektrischen Werksanlagen ist sauber und die Luft geruchlos. Wir haben kein flackerndes Licht gesehen. Alle Abfallprodukte werden in einem großen Ofen vollständig verbrannt, und die entstehende Hitze kommt der ganzen Gemeinde zugute. Besondere Sorgfalt wird aufgewendet, um das Wasser zu reinigen. Zunächst wird es von den Ablagerungen befreit, nachher in Zirkulation versetzt, filtriert und biooxidiert. Ein Teil dieses Wassers wird für die Bewässerung der Reisfelder sowie für die Fisch- und Entenzucht verwendet, der Rest wird von der Raffinerie gebraucht.

Derzeit wird an folgendem gearbeitet:

1. an einer Anlage, die 3000 Tonnen **1,4-cis-Butadien** pro Jahr herstellt (u. zw. unter Verwendung von  $\text{NiCl}_4$  als Schwermetallkomponente des Ziegler-Katalysators; nach japanischem Know-how). Dieser Katalysator wird in einer bestehenden Anlage, die mit 1,4-cis-Butadien arbeitet, in Tschangtschun (Kirin) verwendet. Ich sah dieses Werk später, aber Mr. Pao-Kung-Chein, der diesen Prozeß für die Kirin-Anlage entwickelt hatte, beklagte sich darüber, daß sie kein gutes und starkes Polymeres erhielten. Das Produkt sei nur halbfest und klebrig. Anscheinend ist das Molekulargewicht zu niedrig, oder das Material enthält zu viele oligomerische Verbindungen.
2. an einer Anlage, die 4000 Tonnen **Polypropylen** im Jahr herstellt, das nach einem klassischen Schubprozeß erzeugt wird und die hierzu den Standard-Natta-Katalysator verwendet. Eine etwas größere Anlage wird bereits in Hangtschou betrieben; sie scheint zufriedenstellend zu arbeiten.
3. an einer Anlage, in der 3000 Tonnen **Acrylnitril** pro Jahr hergestellt werden, das nach einem von der Chemie Linz AG erhaltenen Know-how mit einem modifizierten

Sohio-Katalysator eingesetzt werden soll. Das Monomere wird an eine neue PAN-Faser-Anlage, die sich in der Nähe im Bau befindet, gesandt.

4. an einer Anlage, in der 4000 Tonnen **Styrol** und **Polystyrol** pro Jahr hergestellt werden, was ein halb kristallines, halb gepreßtes Material ergeben soll. Für letzteres wird ein 1,4-cis-Gummi (ca. 6 %) mit einer Globalpolymerisation bis zu einer 35%igen Umwandlung verwendet und mit einer endgültigen Verarbeitung des Materials in einer Lösung nach dem Monsanto-Prozeß.
5. an einer Anlage, die 2000 Tonnen **MMA** und **Poly-MMA** pro Jahr unter Verwendung einer Polymerisationsmethode in Lösung herstellt.
6. an einer Anlage, in der 3000 Tonnen **Caprolactam** pro Jahr aus Phenol und Hydroxylamin nach der klassischen Methode hergestellt werden. Das Material wird wahrscheinlich nicht in dieser Anlage polymerisiert und gesponnen, sondern in eine 6- und 6.6-Nylon-Anlage geschickt werden, die sich jetzt südöstlich von Peking im Bau befindet.
7. Weiters wird an einer Anlage gebaut, die 1000 Tonnen **Reinigungsmittel** (schwefelige, fette Alkohole und Amine) pro Jahr herstellen soll. Es wird auch daran gedacht, eine Anlage zu bauen, in der chlorierte aromatische Stoffe erzeugt werden, die für landwirtschaftliche Zwecke (als Insektizide und Pestizide) verwendet werden sollen.

Wir besuchten auch noch zwei Faserwerke, und zwar eine Nylon-6- und Nylon-6.6-Anlage in Schanghai und eine PAN-Anlage in Tschangtschun (ca. 1200 km nordöstlich von Peking), wo sich ein großes chemisches Kombinat inklusive einer Ölraffinerie, einer Acetylen-Anlage, einer Ammonium-Anlage und verschiedenen anderen chemischen Einrichtungen befindet.

In der Nylon-6-Faseranlage in Schanghai polymerisiert man Caprolactam mittels dem klassischen Schubverfahren: das Monomere wird mit Wasser aus dem pulverigen Polymeren extrahiert und das Garn in die gewünschte Länge von 80 bis 140 cm gesponnen. Spinnen, Ziehen und Drehen sind separate Vorgänge. Die Ausrüstung ist altmodisch, aber die Anlage ist sauber und das Produkt - ein grelles Garn - einheitlich mit annehmbaren Eigenschaften.

In der Nylon-6-Faseranlage wird das nichtextrahierte Polymeres gesponnen (u. zw. zu einem Seil von 2 bis 3 dpf); das Seil wird dann gezogen, extrahiert und zu einem gekräuselten Endprodukt verarbeitet. Dieses sieht gut aus und hat angeblich auch gute Eigenschaften.

In der Nylon-6.6-Anlage wird das Salz in einem Autoklaven polymerisiert und das Polymeres in Form von vier dünnen Bändern, die nachher in Stücke geschnitten werden, extrudiert. Dieser Zyklus dauert zwischen 9 und 11 Stunden. Die Stücke werden getrocknet und zu Fäden von ungefähr 60 bis 150 Denier Dicke gesponnen. Das Ziehen und das Drehen sind separate Vorgänge. Die Spindüsen sind rein, und der Vorgang scheint reibungslos abzulaufen. Das Verhältnis beim Strecken liegt zwischen 3,8 und 4,0, die Verstreckungsgeschwindigkeit bei etwa 600 Fuß pro Minute. Von unserem Gesichtspunkt aus ist diese Anlage veraltet

könnte keinen Profit erzielen und würde geschlossen werden; in China jedoch wird dort ein wirtschaftlich annehmbares Produkt hergestellt, das benötigt wird und das importiert werden müßte, würde man es nicht hier oder in anderen inländischen Anlagen erzeugen. Es wurde uns gesagt, daß im Moment die totale Kapazität der in China erzeugten synthetischen Fasern folgendermaßen geschätzt wird:

Polyamide .....	25 000 t pro Jahr,
Polyester .....	25 000 t pro Jahr und
Polyacryle .....	15 000 t pro Jahr.

Wir besuchten außerdem:

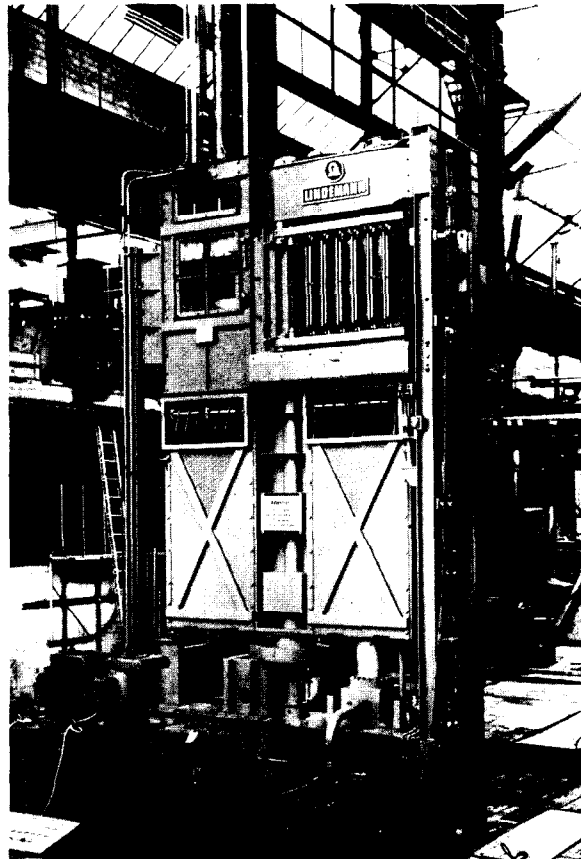
- eine Anlage für Polyacrylnitril in der Nähe von Tschangtschun,
- eine Anlage für hochdichtes Polyäthylen in der Nähe von Lantschou,
- eine Polypropylen-Anlage in der Nähe von Lantschou und
- eine Preß- und Tiefziehanlage in Schanghai.

Überall war die Situation ähnlich: von unserem Gesichtspunkt aus war die Ausrüstung altmodisch und die Verfahren waren nicht auf dem letzten Stand (kontinuierlich und automatisiert), aber ein großes Angebot an menschlicher Arbeitskraft (arbeitswillig und relativ gut ausgebildet) ermöglicht es, Materialien zu erzeugen, die annehmbare Eigenschaften haben und zum allgemeinen Gebrauch auf den Markt gebracht werden können.

Wir kauften in gewöhnlichen Kaufhäusern in Peking, Schanghai, Nanking, Lantschou, Hangtschou und Kanton viele Plastik- und Textilprodukte, wie Sprühflaschen, Becher, Teller, Handtaschen, Taschenlampen, Tablett, Socken, Schuhe, Hemden, Stoffe u.ä. In allen Fällen war die Qualität nicht überragend (etwa so wie die der gleichen Produkte in den USA zwischen 1945 und 1950), aber die Dinge waren gut zu gebrauchen und können überall - in Hotels, in Restaurants, auf Bahnhöfen sowie in Wohnungen - angetroffen werden.

Der industrielle Aufstieg begann in den späten fünfziger Jahren, und seither gab es einen langsamen, aber ununterbrochenen Fortschritt. Die gegenwärtige Planung erfordert weiterhin ein langsames, aber stetes Wachstum auf allen Ebenen der industriellen Aktivitäten, wobei der enormen menschlichen Arbeitskraft, die in Quantität und Qualität zur Verfügung steht, besondere Bedeutung zukommt, jedoch ohne zu große oder zu dicht beisammenliegende Zentren zu bilden.

## Hydraulische Ballenpresse für Textilfasern



### LINDEMANN Ballenpressen

sind seit Jahrzehnten weltbekannt.

Zunächst wurden diese Pressen für Naturfasern hergestellt. Aufgrund der mit dem Bau dieser Pressen gesammelten Erfahrungen wurden später Ballenpressen für Kunstfasern gebaut. Aus diesen Pressen entwickelten sich dann die heutigen Ballenpressen für Chemiefasern, die den Forderungen für weitgehend automatischen Betrieb entsprechen.

Das Foto zeigt eine solche Presse, Modell BUDOM 10L, auf dem Prüfstand in unserem Werk. Diese Presse hat eine Preßkraft von 215 t. Die Vorpressung erfolgt von oben, die Fertigpressung von unten. Die Fasern werden durch einen mechanischen Gabelspeiser zugeführt. Die Presse BUDOM 10L kann auch mit vollautomatischer Bandverschnürung ausgerüstet werden.

Neben der oben abgebildeten Ballenpresse bauen wir weitere Modelle, die allen heutigen Anforderungen gerecht werden.

Unser Prospekt informiert Sie ausführlich. Fordern Sie ihn an.



# LINDEMANN

LINDEMANN KG · HYDR. PRESSEN · DÜSSELDORF

4000 Düsseldorf, Erkrather Str. 401, Postf. 5229, Tel.: (0211) 21051, Telex: 08 581 318

## Die Leistungsfähigkeit einer projektbezogenen Matrixorganisation als Teil eines umfassenden betrieblichen Führungssystems

Mag. Dr. Willibald Girking er, Lenzing

Herrn Direktor Dr. J. H a r m s' anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Die projektbezogene Matrixorganisation (PMO) stellt als gleichgewichtige Duplexstruktur einen Spezialfall des Mehrliniensystems dar, bei dem jede Ausführungsstelle dieser Matrix zwei Entscheidungskompetenzen untergeordnet ist.

Aus dem Zielsystem der Unternehmung und der Verantwortung des Projektmanagers heraus ergibt sich als oberste Zielsetzung der PMO die gleichzeitige Verwirklichung und der vernünftige Ausgleich von Integrations- und Flexibilitätseffekt.

Für eine zweckmäßige Anwendung der PMO müssen in einem Unternehmen bestimmte externe wie interne Voraussetzungen gegeben sein.

Durch den Kompetenzdualismus der PMO entsteht ein systemimmanentes Konfliktpotential, aus dem nicht nur ein Nachteil, sondern auch - als positive Funktion - ein nützlicher Zwang zu Kooperation und Selbstkontrolle ausgehen kann.

Das Motivationspotential der PMO vermag beizutragen, die Bedürfnisstruktur der Organisationsmitglieder positiv zu beeinflussen und ihr Verhalten in diesem Sinne zu verändern. Die PMO ist kein Allheilmittel zur effizienten Lösung betrieblicher Probleme. Ihre Brauchbarkeit und Leistungsfähigkeit kann nur im Hinblick auf eine konkrete Unternehmenssituation, in der die jeweiligen Zielsetzungen, Voraussetzungen und Restriktionen bekannt sind, von Fall zu Fall nachgewiesen werden.

The project-related matrix organisation (PMO) represents a special case of the multiple-line system as an equivalent duplex structure, in which every executive position of this matrix is to subordinate to two deciding authorities.

According to the purpose of the enterprise and the responsibility of the project manager, the simultaneous realisation and the sensible balance of integration- and flexibility effect result as the highest aim of the PMO.

For a useful application of the PMO certain outside and inside prerequisites must exist in an enterprise.

On account of the authority-dualism of the PMO, a system-inherent conflict potential results, from where not only a disadvantage but also a positive useful obligation to co-operation and self-control may emanate.

The motivation potential of the PMO may contribute to influence the demands of the organisation members in a positive way and to alter their behaviour in this sense. The PMO is no universal remedy for the solution of problems in companies. Its usefulness and efficiency can only be proved from case to case in view of an actual situation, in which the respective aims, conditions and restrictions are demonstrated.

### 1. Einführende Gedanken zur Beurteilung von Organisationsformen und Organisationsstrukturen im Rahmen betrieblicher Führungssysteme

Die effiziente Steuerung des betrieblichen Leistungsprozesses bedarf der Abstimmung mehrerer unternehmerischer

Gestaltungsvariablen, die in ihrem Zusammenwirken und in ihrer Gesamtheit das betriebliche Führungssystem hervorbringen. Die Einwirkungen auf das Verhalten der Betriebsangehörigen als abhängige Variable, welches letztlich für den unternehmerischen Gesamterfolg mitentscheidend ist, resultieren jedoch nicht ausschließlich aus dem betrieblichen Führungssystem, sondern auch aus der Umwelt der Aktionsträger sowie aus der Persönlichkeitsstruktur der Betriebsangehörigen<sup>1</sup>.

Neben der relevanten Umwelt der Aktionsträger\* als unabhängige Variable, sowie der Persönlichkeitsstruktur der Betriebsangehörigen als intermittierende Variable\*\* wirkt demnach das betriebliche Führungssystem als Gestaltungsvariable\*\*\* am unmittelbarsten auf das Verhalten der Betriebsangehörigen und somit auf die abhängige Variable ein (siehe Abb. 1).

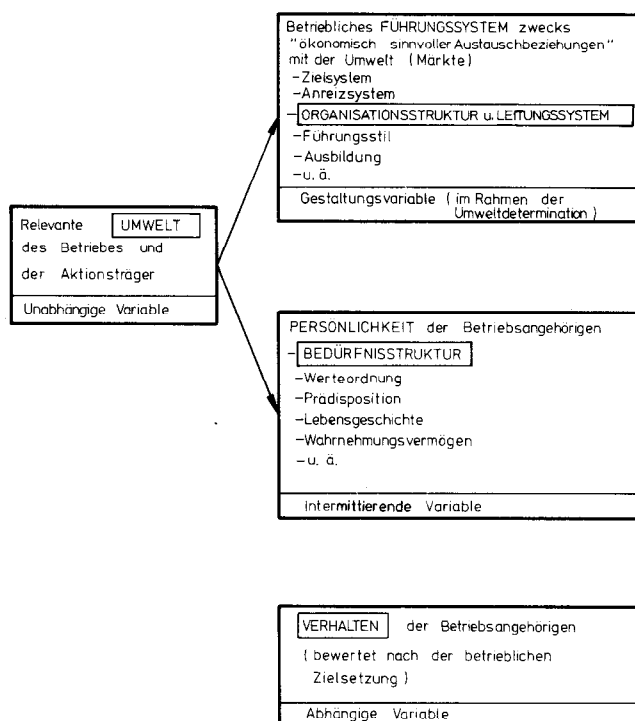


Abb. 1: Die Organisationsstruktur in Zusammenhang mit dem betrieblichen Führungssystem sowie ihr Einfluß auf das Verhalten der Betriebsangehörigen

Seine Gestaltung als ein Zusammenwirken und Abstimmen von Gestaltungsvariablen, um „ökonomisch sinnvolle Austauschbeziehungen mit der Umwelt“ hervorzubringen, wird

\*Unter „Umwelt“ wird in diesem Zusammenhang der gesamte Erfahrungsbereich außerhalb des Unternehmens - etwa Märkte, Gesellschaft, Familie u.ä. - verstanden.

\*\*Das ist jene Variable, die einerseits durch den Erfahrungsbereich außerhalb des Unternehmens und andererseits durch den Erfahrungsbereich innerhalb des Unternehmens beeinflusst wird und selbst wieder auf das Verhalten der Betriebsangehörigen einwirkt. In dieser Abhängigkeit und Funktion unterliegt sie jedoch keiner andauernden Veränderung, sondern einer unterbrochenen.

\*\*\*Diese Gestaltungsvariable als zielgerichtete Abstimmung von Teilbereichen des betrieblichen Führungssystems kann von den Entscheidungsträgern entsprechend den betrieblichen Erfordernissen direkt und bewußt verändert und angepaßt (gestaltet) werden.

erheblich von der Ausformung der jeweiligen Organisationsstruktur abhängen. Darüberhinaus wird jedoch das betriebliche Führungssystem noch von einer Reihe anderer Faktoren bestimmt, wie etwa von einem operational definierten Zielsystem, einem motivierenden Anreizsystem, einer gezielten Mitarbeiterschulung, einem anpassungsfähigen Führungsstil u.ä.

Das Problem des Vorhandenseins, des Zusammenwirkens und der Abstimmung dieser Gestaltungsvariablen wird von Unternehmen zu Unternehmen sehr verschieden sein. Unabhängig vom Unternehmen dürfte jedoch die Notwendigkeit des flankierenden Einsatzes der oben genannten Faktoren als Grundbedingung für die Funktionsfähigkeit und die Effizienz einer bestimmten Organisationsform und Organisationsstruktur anzusehen sein (Abb. 1).

Die Frage nach einer optimalen Gestaltung der betrieblichen Organisationsform und Organisationsstruktur im allgemeinen sowie des betrieblichen Leitungssystems als Teil derselben im besonderen ist im Hinblick auf seine Relevanz für die Effizienz der betrieblichen Leistungserstellung in der betriebswirtschaftlichen Organisationsforschung und Organisationslehre schon oft gestellt worden. Dabei wurde meist nur ein Begriffsapparat zur Beschreibung von idealtypischen Gestaltungsformen entwickelt, die in Fachliteratur und Praxis bestimmte Modifizierungen erfahren haben. Da auf eine systematische Erfassung der Optimalitätsbedingungen der einzelnen Gestaltungsformen verzichtet wurde, sind allgemeingültige Aussagen über die Struktur eines unter bestimmten Bedingungen und Zielsetzungen optimalen Leitungssystems beim gegenwärtigen Stand der Forschung nicht möglich.

Diese Tatsache wird nicht zuletzt dadurch begründet, daß das betriebliche Leitungssystem eben nur ein Teilsystem der Aufbauorganisation darstellt, das in unmittelbarem Zusammenhang mit anderen betrieblichen Teilsystemen, wie etwa das Aufgabengefüge, das Arbeitssystem und das Kommunikationssystem, steht, von denen wechselseitige Einflüsse ausgehen, die operationale Aussagen nur schwer zulassen<sup>2</sup>.

Dadurch, daß man bei der Beurteilung von Organisationsstrukturen neben betriebswirtschaftlichen auch soziologische, sozialpsychologische, informations- und systemtheoretische Forschungsergebnisse in zunehmendem Maße berücksichtigt, scheint man dem oben angedeuteten Ziel jedoch näherzukommen. Für unsere Zwecke gilt es aber vorläufig festzuhalten, daß die Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Organisationsform nicht allgemeingültig erfolgen kann, denn solche Aussagen enthalten zumeist Auffassungen über die definierten Auswirkungen der durch die Organisationsstruktur bedingten „integrativen Strukturierung“ auf die Organisationsmitglieder, die nicht unerheblich vom jeweiligen Wissensstand und Inhalt sozialwissenschaftlicher Forschung und Theorien abhängen. Die Frage der Zweckmäßigkeit einer Organisationsform kann deshalb stets nur im Hinblick auf eine konkrete Unternehmenssituation, bezogen auf ihre aktuellen In- und Umweltbedingungen, in der die jeweiligen Zielsetzungen und die zu berücksichtigenden Restriktionen ausgewiesen sind, von Fall zu Fall beantwortet werden.

Da diese Voraussetzungen unternehmens- und zeitabhängig sind, kann eine bestimmte Organisationsform kein Allheilmittel zur effizienten Lösung betrieblicher Probleme sein, vielmehr muß ihre Rationalität, das heißt ihre Brauchbarkeit, bezogen auf den zu verfolgenden Zweck im Einzelfall nachgewiesen werden. Dies trifft auch auf eine projektbezogene Matrixorganisation zu.

## 2. Grundformen des betrieblichen Leitungssystems als Teil der Aufbauorganisation (vertikale Gliederung)

Wir haben schon festgestellt, daß das Leitungssystem nur ein Teilsystem der betrieblichen Aufbauorganisation darstellt, und zwar jenes Teilsystems, bei dem im Rahmen eines hierarchischen Gefüges die einzelnen Stellen unter dem Aspekt der Weisungsbefugnis miteinander verbunden sind, wobei die Rangverhältnisse der einzelnen Stellen bzw. der Stelleninhaber als Über-, Unter- oder Gleichordnungsverhältnisse aufgebaut sind. Entsprechend der Möglichkeiten des Aufbaus dieser Hierarchie gibt es mehrere Grundformen von Leitungssystemen, und zwar (idealtypische) reine Formen und Mischformen.

### a) Einlinien- und Mehrliniensysteme als (idealtypische) reine Formen des Leitungssystems

In dem auf F a y o l<sup>3</sup> zurückgehenden Einliniensystem kann eine untergeordnete Stelle jeweils nur von einer übergeordneten Stelle Anordnungen erhalten, wodurch Kompetenzen und Verantwortlichkeit eindeutig festgelegt sind. Dadurch, daß jedes Organisationsmitglied nur einen einzigen Vorgesetzten hat, herrscht der Grundsatz der „Einheit der Auftragserteilung“ (*unité de commandement*) in dessen Folge sämtliche Abteilungen in einen einheitlichen Instanzenweg (Dienstweg) eingegliedert sind. Durch die Einhaltung des Dienstweges von der obersten Leitung bis zur ausführenden Stelle soll die Einheitlichkeit der Leitung garantiert und verhindert werden, daß eine untergeordnete Stelle Anweisungen von verschiedenen Seiten erhält. Das wiederum hat zur Folge, daß zwei gleichgeordnete Instanzen im Rahmen von Entscheidungsprozessen nicht unmittelbar in Verbindung treten können, sondern nur über die nächsthöhere gemeinsame Instanz (Abb. 2).

Zum Unterschied dazu wird bei dem auf T a y l o r<sup>4</sup> zurückgehenden Mehrliniensystem [auch Funktions(meister-)system genannt] jede Stelle einer Mehrzahl von Instanzen (mindestens zwei) unterstellt. Im Rahmen dieser Mehrfachunterstellung wird das „Prinzip der Einheit der Auftrags-

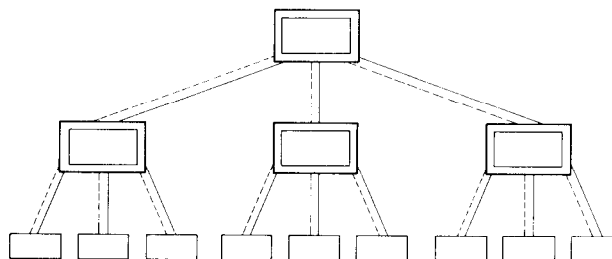


Abb. 2: Das Einliniensystem

--- sachliche Anordnungsbefugnis  
 ——— disziplinarische Anordnungsbefugnis

erteilung" durch das „Prinzip des kürzesten Weges" bzw. durch das „Prinzip der Spezialisierung" auch im Leitungsbereich bei Anordnungen und Informationen abgelöst, das heißt, daß der Weg von Anordnungen und Informationen hier nicht vom Instanzenweg bestimmt wird, sondern von der Art der betreffenden (Spezial-)Aufgabe.

Während das Einliniensystem durch das generelle Prinzip der Koordination bestimmt wird, liegt beim Mehrliniensystem eine Spezialisierung in Form einer Aufteilung der Anordnungsbefugnis auf einzelne Entscheidungskomponenten vor, die sich in der Zahl der Weisungsbeziehungen niederschlägt (Abb. 3).

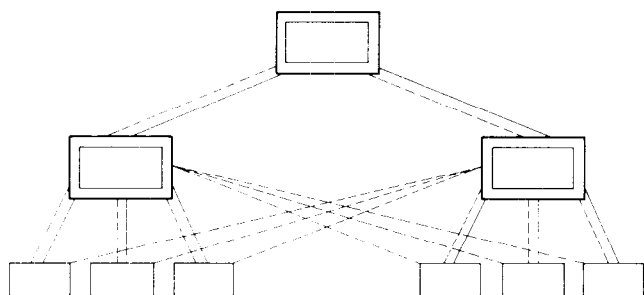


Abb. 3: Das Mehrliniensystem

----- sachliche Anordnungsbefugnis  
 ————— disziplinarische Anordnungsbefugnis

Den Vorteilen des Einliniensystems, nämlich klare Festlegung von Kompetenz und Verantwortung und Durchsichtigkeit des organisatorischen Gesamtsystems, stehen entscheidende Nachteile gegenüber:

- starrer Aufbau des Systems,
- schwerfällige und lange Befehlswege, sowie
- eine erhebliche Arbeitsbelastung der einzelnen Zwischeninstanzen.

Unter bestimmten In- und Umweltverhältnissen, etwa bei stark wechselnden Teilzielsetzungen oder bei Marktanpassungsvorgängen, kann sich das Einliniensystem bei der Steuerung der betrieblichen Leistungsprozesse aus den oben genannten Gründen als wenig effizient erweisen. Diese Situation wird insbesondere dann verschärft, wenn man sich die Kommunikationswege an die Anordnungswege gebunden denkt (was zwar in der neueren Literatur abgelehnt wird), da dann durch lange und umständliche Informationswege das rechtzeitige und richtige Erkennen von Entscheidungsanlässen erschwert und eine Verfälschung dieser Informationen begünstigt wird. Mit wachsender Änderung der Aufgabenstellung sinkt auch das notwendige Entscheidungswissen bei dem jeweils zuständigen Stelleninhaber, wodurch eine **Delegation von Leitungsbefugnissen an untergeordnete Instanzen** wahrscheinlich wird.\*

Die Nachteile des Einliniensystems gelten mit umgekehrten Vorzeichen als Vorteile des Mehrliniensystems und umgekehrt. Den Vorteilen der Spezialisierung und deren lei-

\* In der Praxis erweist sich eine solche Delegation von Leitungsbefugnissen und Verantwortung an untergeordnete Instanzen zumeist als notwendig und wünschenswert, wodurch die oben genannten Nachteile des Einliniensystems weitgehend ausgeschaltet werden können.

stungsfördernden Wirkungen sowie die Ausnutzung des kürzesten Entscheidungs- und Informationsweges steht als erheblicher Nachteil die Problematik einer klaren Kompetenzabgrenzung, verbunden mit der Gefahr von Weisungskonflikten, gegenüber. Diese mögliche Gefahr von Kompetenzkonflikten (die nicht in jedem Fall als negativ betrachtet werden müssen) kann jedoch durch die leistungssteigernde Wirkung der Spezialisierung bei dispositiven Tätigkeiten überkompensiert werden, wenn die zu erfüllenden Aufgaben einen bestimmten Grad an Komplexität aufweisen. Dies trifft insbesondere bei einer Matrixorganisation im Rahmen eines Projektmanagements zu.

**b) Mischformen des Leitungssystems und Stab-Linienorganisation**

Die in der Realität auftretenden Leitungssysteme sind in der Regel Kombinationen von Ein- und Mehrliniensystemen bzw. von Gestaltungsformen, die in der Wirkung dieser Kombination gleichkommen (Stab-Linienorganisation).

Beim kombinierten Ein- und Mehrliniensystem wird das gesamte Leitungssystem aus Teilsystemen zusammengesetzt, sodaß auf den einzelnen Ebenen des Gesamtsystems unterschiedliche Kombinationen von Einfach- und Mehrfachunterstellungen auftreten (Abb. 4).

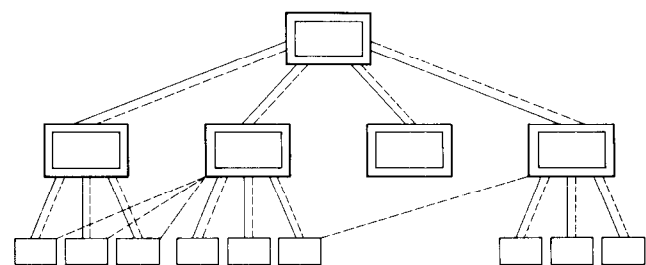


Abb. 4: Kombiniertes Ein- und Mehrliniensystem

----- sachliche Anordnungsbefugnis  
 ————— disziplinarische Anordnungsbefugnis

Durch eine solche Verknüpfung der beiden Systeme kann hinsichtlich der generellen Prinzipien von Koordination und Spezialisierung ein sinnvoll verschachteltes Gesamtsystem begründet werden, bei dem sich die Möglichkeit bietet, im Rahmen einer Linienbeziehung eine Verbindung der Vorteile mit einer Verhinderung der Nachteile beider Systeme herzustellen<sup>5</sup>.

Eine Form, die hinsichtlich ihrer Spezialisierungswirkung dem Mehrliniensystem weitgehend gleicht und andererseits durch Bewahrung einer strengen Hierarchie die angesprochenen Vorteile des Einliniensystems sicherstellt, ist die Stab-Linienorganisation, die eine Kombination des Linien-systems mit dem System der Abspaltung bestimmter Funktionen darstellt. Diese Organisationsform wird also dann bevorzugt, wenn man die Einheitlichkeit der Leitung und des Auftragsempfangs erhalten will (Beibehaltung des Instanzenweges) und gleichzeitig durch Abspaltung bestimmter Aufgaben entscheidungsvorbereitender Art einer fortschreitenden Arbeitsteilung Rechnung tragen will.

Diese Aufgaben werden Stabstellen übertragen, die einzelnen Instanzen zugeordnet werden können und keine

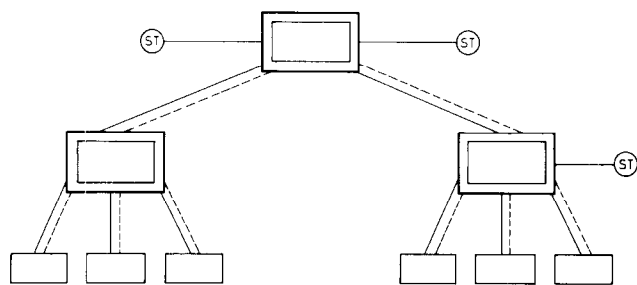


Abb. 5: Das Stab-Liniensystem (St = Stab)

Weisungsbefugnis, sondern nur beratende Funktion haben (Abb. 5).

Die Vorteile der Entlastung des Stelleninhabers einer Instanz (verbunden mit der intensiven Nutzung spezieller Fachkenntnisse) bei gleichzeitiger Einhaltung des Dienstweges bergen jedoch zugleich Gefahren. Da die langen Dienstwege, die einer schnellen Informationsverarbeitung und einer raschen Ausführung von Anordnungen hinderlich sind, bestehen bleiben, gibt diese Organisationsform durch die starre Funktionstrennung in Entscheidungsvorbereitung durch den Stab und die Entscheidung durch die Linie oft Anlaß zu Konflikten, was nicht übersehen werden darf. Solche Konflikte können insbesondere dadurch auftreten, daß die Entscheidungsträger der Linie Vorschläge des Stabes meist nur akzeptieren oder ablehnen, selten aber kontrollieren können. Durch solche Entscheidungsvorbereitungen des Stabes können daher Entscheidungen durch die Linie herbeigeführt werden, für die der Stab formal nicht verantwortlich ist.

Um diese Nachteile zu überwinden, hat man in jüngerer Zeit praxisnahe Organisationsmodelle entwickelt, die durch ein Annähern der „Planenden“ an die „Ausführenden“ die bestehende Hierarchie verflachen, die Durchlaufzeit von Anweisungen und Informationen wesentlich verringern und zugleich innovationsfördernd sind.

Eine solche Organisationsform ist die projektbezogene Matrixorganisation, der wir uns nun im besonderen zuwenden wollen.

### 3. Die Organisationsstruktur der projektbezogenen Matrixorganisation

#### a) Die projektbezogene Matrixorganisation als (gleichwertige) Duplexstruktur

Die projektbezogene Matrixorganisation (PMO) stellt eine Organisationsform dar, die durch Überlagerung von funktionsorientiertem (vertikalem) und objektorientiertem (horizontalem) Leitungssystem entsteht und damit formal einer Matrix gleicht. In dieser Form stellt sie als *Zweiliniensystem* einen Spezialfall des Mehrliniensystems dar, bei dem jedes Element (Ausführungsstelle) dieser Matrix zwei Entscheidungsstellen untergeordnet ist (Abb. 6).

Die Objektkomponente kann nun in der Praxis durch Projekte, Produkte oder Programme bestimmt und diesen entsprechend mit Projektmanagern, Produktmanagern oder Programmmanagern besetzt sein.

Das **Produktmanagement** stellt eine besondere organisatorisch institutionalisierte Einrichtung der produktbezogenen und marktorientierten Steuerung und Koordination betrieb-

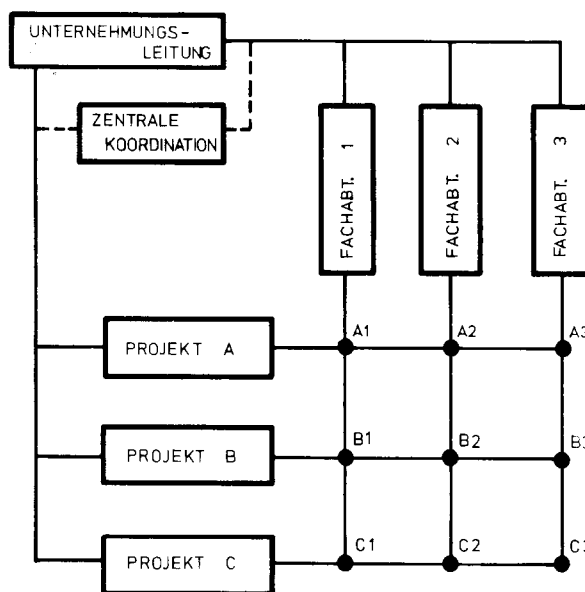


Abb. 6: Strukturkonzept der PMO

licher Aktivitäten durch Produktmanager dar, die im Rahmen einer sachbezogenen Verantwortungsdelegation die Abstimmung aller Maßnahmen und Pläne von der Produktidee bis hin zur Gewinnrechnung - in Relation zu einem Produkt oder zu einer Produktgruppe - durchführen sollen. In betriebswirtschaftlicher Hinsicht wird dieses von der Firma Procter & Gamble, Cincinnati/USA, 1930 eingeführte System durch eine gewinnorientierte Marktbezogenheit des Unternehmens, eine diversifikationsbezogene Produktpolitik und eine konkurrenzbezogene Position der Produkte bestimmt<sup>6</sup>.

Das **Programmmanagement** kommt im Bereich der öffentlichen Verwaltung zur Durchführung, wo komplexe Großaufgaben bei begrenzten finanziellen Mitteln wirksam abgewickelt werden sollen. Dieser Grundgedanke wurde in den sechziger Jahren von den USA im Bemühen um eine bessere Entscheidungsvorbereitung der Regierung aufgegriffen und führte zu einem integrierten **Programm-, Planungs- und Budgetierungssystem** (*planning - programming - budgeting system*, kurz: PPBS), dessen Zweck es ist, mit einer programmweisen Kosten-Nutzen-Analyse eine bessere Auswahl zwischen verschiedenen Alternativprogrammen und Programmvarianten zu ermöglichen. Das Matrixmodell ergibt sich dabei aus einer überlappenden Programm- und Ressortverantwortlichkeit.

Die projektbezogene Matrixorganisation unterscheidet sich also in ihrem Strukturkonzept von diesen Varianten nur in der Objektkomponente des Leitungssystems.

Das daraus resultierende System dualer Führung<sup>7</sup> entsteht einerseits durch die objektbezogene Definition des Kompetenzbereichs der **Projektmanager** und andererseits durch die vertikal verlaufende Verantwortung der Fachabteilungsleiter für jede einzelne Funktion. In dieser Struktur ist beispielsweise der Mitarbeiter A1 gleichzeitig (ständig) in die Abteilungsorganisation 1 und (temporär) in die Projektorganisation A eingegliedert. Dieser Kompetenzdualismus bewirkt, daß - im Hinblick auf den Einsatz der für die Projektabwicklung erforderlichen Produktionsfaktoren - keiner



Instanz die volle Zuständigkeit und Verantwortung übertragen wird.

Der jeweils aus den Abteilungen der funktionalen Führungskräfte dem Projekt zugeordnete (leitende) Mitarbeiter untersteht disziplinarisch nach wie vor seinem Abteilungsleiter, zugleich jedoch der sachlichen Leitung bzw. der Anordnungsbefugnis des Projektmanagers. Dieses objektgebundene Weisungsrecht des Projektmanagers quer durch die nach dem Verrichtungsprinzip gegliederten Fachabteilungen soll es ihm ermöglichen, alle in Verbindung mit der Erreichung des Projektzieles zu erfüllenden Aufgaben zu realisieren, das heißt alle Teilvorgänge des Projekts in Abstimmung und Ausrichtung auf das Ziel unabhängig von Abteilungsgrenzen, so gut wie möglich zu koordinieren. Die aus diesem Kompetenzdualismus erwachsenden Spannungen können nun zu Konflikten führen, die es oft als notwendig erscheinen lassen, im Matrixsystem unterhalb der Geschäftsführung noch eine „objektive Instanz“ zu bestimmen, die im Rahmen einer institutionalisierten Form der Machtausübung als „zentrale Koordination“ jene Regeln setzt, nach denen diese Konflikte ausgetragen werden<sup>8</sup>.

**b) Die projektbezogene Matrixorganisation im System des Projektmanagements**

Entsprechend der Aufteilung der Entscheidungsbefugnisse - die zur Steuerung des projektbezogenen Leistungserstellungsprozesses notwendig sind - auf die beiden Leitungssysteme, entstehen grundsätzlich drei andersartige Strukturformen des Projektmanagements:

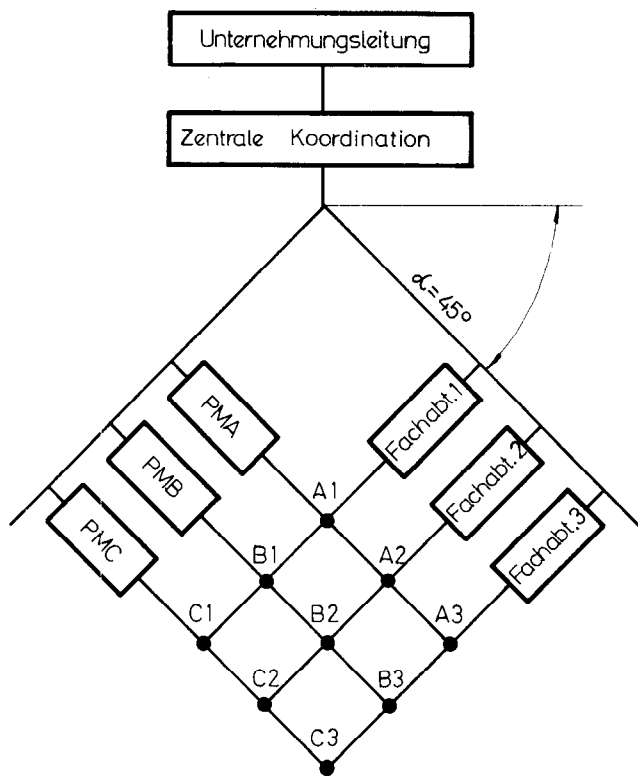


Abb. 7: Gleichgewichtige Kompetenzverteilung in der PMO

- PMA = Projektmanager A
- PMB = Projektmanager B
- PMC = Projektmanager C

- die Einfluß-Projektorganisation,
- die reine Projektorganisation und
- die Projekt-Matrixorganisation<sup>9</sup>.

Der PMO als gleichgewichtige Duplexstruktur liegt nun eine Gleichgewichtsvorstellung insofern zugrunde, als es ihr wesentliches Charakteristikum ist, daß die Entscheidungskompetenzen von Projekt- und Fachabteilungsebene hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Gesamterfolg möglichst gleichgewichtig sind. Diese gleichgewichtige Machtverteilung in der PMO in Form des Kompetenzdualismus ist in Abbildung 7 anschaulich dargestellt<sup>10</sup>.

Erhält die Objektkomponente in dieser Duplexstruktur gegenüber den Ausführungsstellen (z.B. in Abb. 7, A1 bis C3) keinerlei Weisungsbefugnisse, dann wird sie zur Stabstelle reduziert, und man spricht von einer **Einfluß-Projektorganisation**. Die Projektmanager A, B und C haben dann nur eine reine Stabfunktion, das heißt, sie verfolgen bloß den Ablauf ihrer Projekte und beraten die Unternehmensleitung, bei der allein die Verantwortung für das Projekt liegt, während die funktional organisierten Abteilungen die Verantwortung nur jeweils für die ihnen gestellten Teilaufgaben zu tragen haben (Abb. 8).

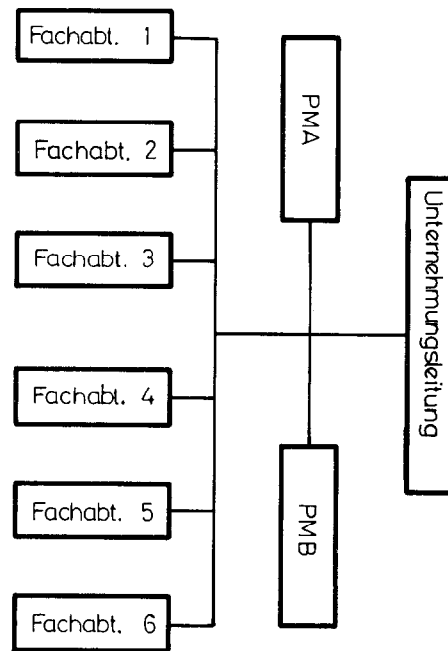


Abb. 8: Einfluß-Projektmanagement

Eine **reine Projektorganisation** liegt dann vor, wenn der Projektmanager die volle Weisungsbefugnis über die projektnotwendigen Produktionsfaktoren erhält, wobei alle an der Durchführung eines Projekts beteiligten Mitarbeiter bis zur Ebene der Ausführenden zu einer Organisationseinheit zusammengefaßt sind, die unter der Leitung des Projektmanagers steht. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel, das sich auf zwei Projekte des Anlagenbaus bezieht<sup>11</sup>.

Neben den ständigen funktionalen Abteilungen, die die projektübergeordneten Aufgaben des Unternehmens wahrnehmen, wurden zwei selbständige Projektgruppen geschaffen, die über alle Funktionen selbst verfügen. Die Projektmitarbeiter kommen aus den funktionalen Abteilungen,

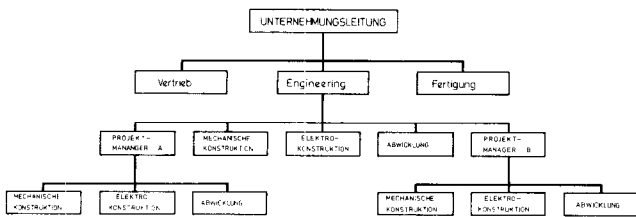


Abb. 9: Reines Projektmanagement

deren Leiter formal keinen Einfluß auf die einzelnen Projekte haben.

Nach Abschluß der Projekte kehren die Mitarbeiter wieder in ihre Abteilungen zurück. Diese Organisationsform unterscheidet sich von der sogenannten *Spartenorganisation* nur noch durch die Existenzdauer. Während sie bei der (reinen) Projektorganisation von vornherein begrenzt wird, ist die Spartenorganisation auf Grund ihrer betriebswirtschaftlichen Intentionen unbegrenzt angelegt<sup>12</sup>.

Die reine Projektorganisation ist vielleicht in solchen Unternehmen sinnvoll, in denen immer wieder Projekte durchgeführt werden, die in ihrer Art gleich sind (z.B. im Industrieanlagenbau).

Im System des Projektmanagements ist nach dem bisher Gesagten bezüglich der Aufteilung der Entscheidungskompetenz theoretisch ein Kontinuum denkbar, bei dem die PMO hinsichtlich der Weisungszuständigkeit von Funktionsmanagern und Projektmanagern zwischen den beiden Extremen von Einfluß-Projektorganisation und reiner Projektorganisation liegt (Abb. 10)<sup>13</sup>.

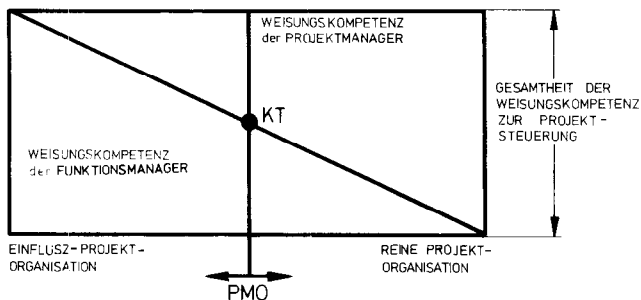


Abb. 10: Theoretisches Kontinuum der Aufteilung der Entscheidungskompetenzen im System der Projektorganisation  
KT = Punkt der Kompetenztransformation

Je nachdem, welches Teilsystem in der Projekt-Matrixorganisation ein Autoritätsübergewicht erhält, tendiert sie entweder zur Einfluß-Projektorganisation oder zur reinen Projektorganisation.

**4. Voraussetzungen und Ziele für die Anwendung der projektbezogenen Matrixorganisation**

**a) Die Entwicklung der PMO und deren Gründe**

Die Entstehung dieser neuen Führungskonzeption läßt sich keinem bestimmten Zeitpunkt zuordnen, es ist jedoch seit etwa drei Jahrzehnten eine Entwicklung eingetreten, die neuartige Führungsprobleme aufwirft und die deshalb auch eine neuartige Führungskonzeption notwendig macht. Diese Entwicklung ist dadurch gekennzeichnet, daß es in vielen Bereichen der Wirtschaft zur industriellen Durchführung

bzw. Erstellung von komplexen Einzelvorhaben (Projekten) kommt, die man sich als System neu zu entwickelnder und aufeinander abzustimmender Komponenten denken kann<sup>14</sup>.

Dieser umfassende Problemansatz erfordert ein Zusammenwirken hochspezialisierter Fachleute aus verschiedenen organisatorischen Bereichen des Unternehmens, ohne daß die sich daraus ergebenden komplizierten Wechselbeziehungen vorab und in einer neuen, in sich geschlossenen Organisationseinheit standardisiert werden können. Es mußten also neue Methoden gefunden werden, um diese Korrelationen für eine befristete Zeit koordinieren zu können und der Realisation eines Vorhabens mit definierbarem Anfangs- und Endzeitpunkt nutzbar zu machen.

Durch die Einführung der PMO als (temporär bestehende) Organisationsform im Rahmen einer umfassenden betrieblichen Organisations- und Führungsstruktur sollte die Realisierung solcher industrieller Einzelprojekte ermöglicht und die damit verbundenen Zielsetzungen erreicht werden. Als solche Zielsetzungen gelten die Erstellung eines komplexen Einzelvorhabens bei minimalen Kosten, bei minimaler Durchführungszeit und - nach dessen Abschluß - bei maximaler technischer Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit. Komplexe Vorhaben solcher Art finden sich in vielen Bereichen der Raumfahrt, der Rüstungsindustrie, des Industrieanlagenbaus, in Forschungs- und Entwicklungsabteilungen u.ä.

Nicht unbedeutenden Anteil an der Entwicklung und an der Verfeinerung dieser Führungskonzeption hatten dabei amtliche Institutionen der US-Regierung, die als Auftraggeber für die Luft- und Raumfahrt (z.B. Entwicklung des Atlas- und Polaris-Raketensystems u.a.) zum Erfolg dieser neuen Führungskonzeption beitrugen und deren Verbreitung in anderen Anwendungsbereichen und Ländern förderten.

Die Anwendbarkeit hat sich - nicht zuletzt durch die Entwicklung und Verbesserung von Planungs- und Kontrollmethoden, wie etwa der Netzplantechnik, praktisch bei allen betrieblichen Aufgabengebieten ergeben, die bezüglich ihrer Führungserfordernisse Eigenschaften der oben beschriebenen Art besitzen. Dies trifft beispielsweise auch bei einer Implementierung eines EDV-gesteuerten Management-Informationssystem zu.

Die Chemiefaser Lenzing AG hat sich bei der Planung und Errichtung der Acrylfaserfabrik versuchsweise ebenfalls des Projektmanagements in Form der Matrixorganisation bedient und damit der Komplexität dieses Projekts und seinen Anforderungen auf die Leitungsstruktur der Führungskonzeption Rechnung getragen (Abb. 11).

**b) Die Ziele der PMO und ihre Position im betrieblichen Entscheidungsprozeß**

Aus dem Zielsystem der Unternehmung einerseits, das unter anderem auf die Erhaltung des Stabilitätsgrades der Aufbauorganisation ausgerichtet ist, und aus der Verantwortung heraus, die der Projektmanager für die Erreichung der Projektziele übernimmt (seine Leistung mißt sich ausschließlich am Erfolg des Projekts!), ergeben sich zwei grundlegende Zielsetzungen der PMO, die für den ersten Augenblick ambivalent erscheinen,

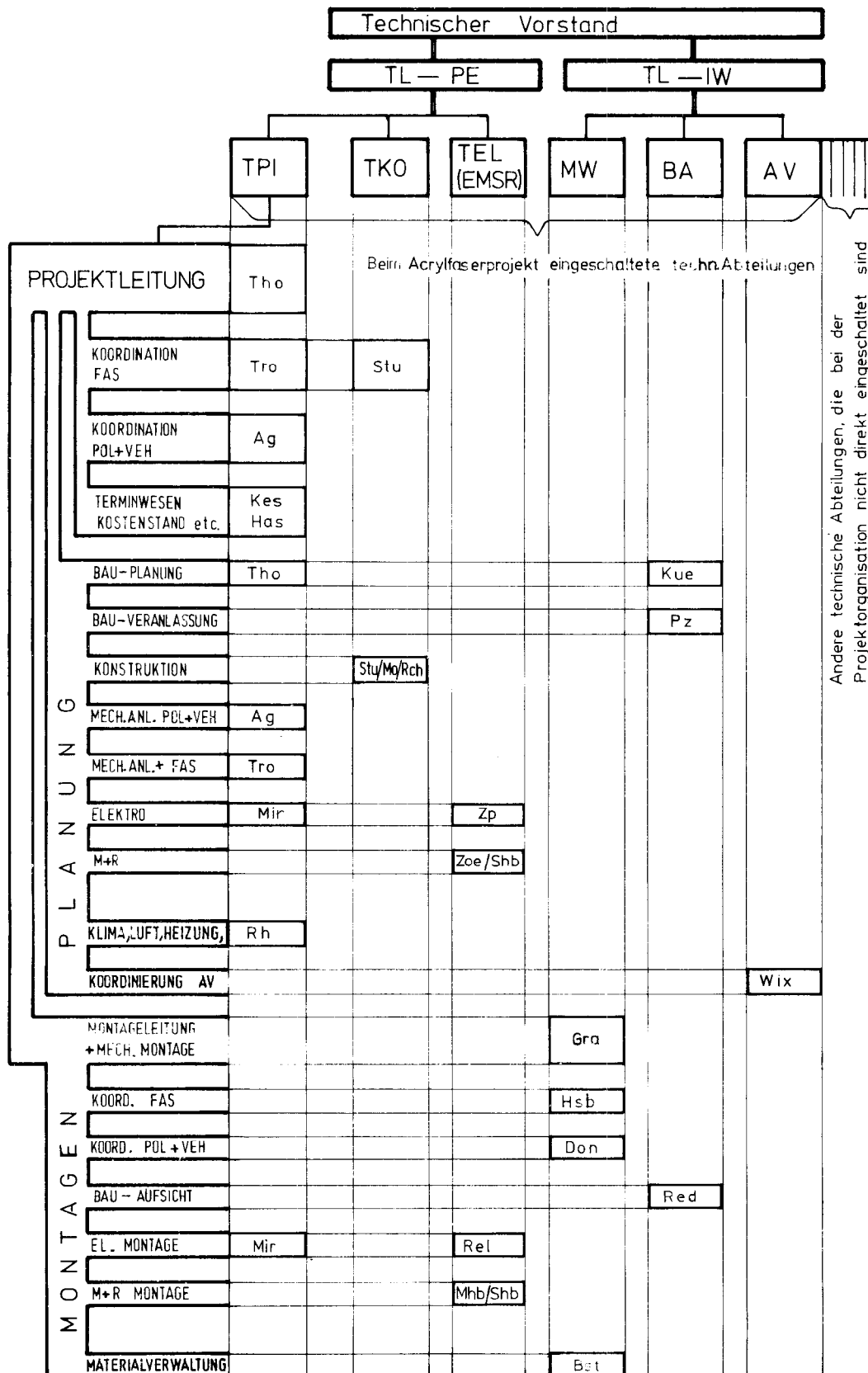


Abb. 11: Das Projektmanagement in Form einer Matrixorganisation bei Planung und Errichtung einer Acrylfaserfabrik der Chemiefaser Lenzing AG

- TL-PE = Technische Leitung - Planung und Energieversorgung
- TL-IW = Technische Leitung - Instandhaltung und Werkstätten
- TPI = Projektabteilung
- TKO = Konstruktionsabteilung

- TEL (EMSR) = Elektro-, Meß-, Steuer- und Regeltechnik
- MW = Mechanische Werkstätte
- BA = Bauabteilung
- AV = Arbeitsvorbereitung
- FAS = Faseranlage
- POL = Polymerisation
- VEH = Versorgung, Entsorgung und Hilfsmittel
- M + R = Meß- und Regeltechnik

- so stabil wie nötig zu sein, um durch Störungen von innen und außen das Projektziel nicht zu gefährden, und
- so flexibel wie möglich zu sein, um schnelle und friktionsarme Anpassungen an veränderte Umwelt- und Aufgabenbedingungen vornehmen zu können.

Diese Zielsetzung entspricht also der gleichzeitigen Verwirklichung von Integrations- und Flexibilitätseffekt. Die PMO ist auf Grund ihrer vorstehend beschriebenen Organisationsstruktur im Vergleich zu anderen Organisationsformen eher in der Lage, einen vernünftigen Ausgleich zwischen diesen beiden gegensätzlichen Zielsetzungen zu finden (Abb. 12)<sup>15</sup>.

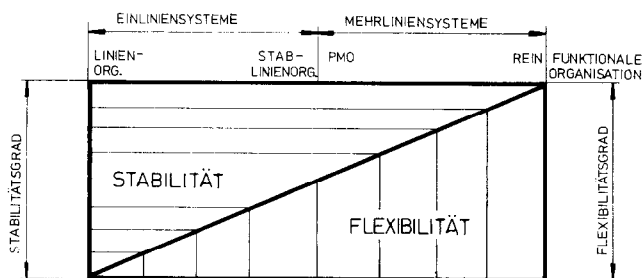


Abb. 12: Die Position der PMO hinsichtlich der Realisierung der beiden Organisationsgrundsätze „Stabilität“ und „Flexibilität“ im Vergleich zu anderen Organisationsformen

Die graphische Darstellung dieser Zusammenhänge erlaubt natürlich noch keine graduelle Bewertung der verschiedenen Organisationsformen, da aus Gründen der Einfachheit eine lineare, proportional entgegengesetzte Beziehung zwischen Stabilität und Flexibilität angenommen wurde. Die Tendenz zu beweglicheren Organisationsformen ergibt sich bei Unternehmen, die auf Grund ihrer Größe und Marktorientierung die Reaktionszeit ihrer Organisation auf innere und äußere Forderungen verkürzen muß. Die PMO ist ein Modell, das dieser Forderung - verglichen mit einer rein funktional gegliederten einlinigen Organisation für ein Unternehmen gleicher Größenordnung und Aufgabenstellung - besser gerecht wird.

Diese flexiblere und schnellere Reaktionsfähigkeit ergibt sich vor allem durch die Möglichkeit einer unmittelbaren strukturellen Anpassung an Änderungen in der Aufgabenstellung des Unternehmens, die zu einer bedarfsgerechten Bildung von Projektteams führen kann, und durch Anpassung von quantitativer und qualitativer Zusammensetzung des Leitungssystems während der Projektdauer, mit der den sich oft schnell ändernden Projektbedingungen (z.B. bei Entwicklungsprojekten) Rechnung getragen wird. Unmittelbarer Ausdruck dieses Flexibilitätseffektes ist eine steigende Innovationsrate bei zunehmender „face-to-face“-Kommunikation und abnehmender Bürokratie. Unter Innovation wird dabei die Umsetzung einer Idee in wirtschaftliche und technische Nutzbarkeit (d.h. die Lösung eines Problems bis zu Anwendung und Durchführung) verstanden<sup>16</sup>.

Der Stabilitäts- bzw. der Integrationseffekt ergibt sich aus der projektbezogenen Koordinierung und Konzentration aller nötigen Informationen bei einem Projektverantwortlichen. Diese „Kanalisierung“ des Informationsflusses für die Dauer der Verwirklichung des Projekts trägt der Er-

kenntnis Rechnung, daß - entgegen den Absichten der funktionalen Einliniensysteme - der Informations- und Arbeitsfluß nicht hierarchisch, sondern horizontal und diagonal verläuft. Damit wird nicht nur die Gefahr des Koordinationsengpasses an der Spitze von Einlinien- und Stab-Linienorganisationsformen beseitigt, sondern auch dem in der Praxis oft utopisch erscheinenden Prinzip nähergekommen, wonach Entscheidungen dort und von dem getroffen werden sollen, dessen Informationsniveau optimal ist.

Als weiterer positiver Aspekt kann sich durch die Verlagerung des Informationsflusses und der Informationsverarbeitung ein schnelleres Erkennen und Korrigieren von Fehlentwicklungen ergeben, was zu einer Herabsetzung von „Durchlaufzeit“ und Kosten eines komplexen Projektes beiträgt.

Organisationsformen, die auf dem in Abbildung 12 gezeigten Orientierungsschema noch weiter rechts von der PMO liegen, das heißt, die den Flexibilitätsgrad noch mehr erhöhen, sind beispielsweise Systeme vermaschter Teams mit Koordinierungsgruppen, bei denen durch überlappende Gruppen eine Aufhebung der hierarchischen Funktionschranken bewirkt wird (Abb. 13), oder Task-Force-Organisationen, bei denen durch spontane Gruppenbildung über die Abteilungsgrenzen hinweg eine Problemlösung herbeigeführt werden soll<sup>17</sup>.

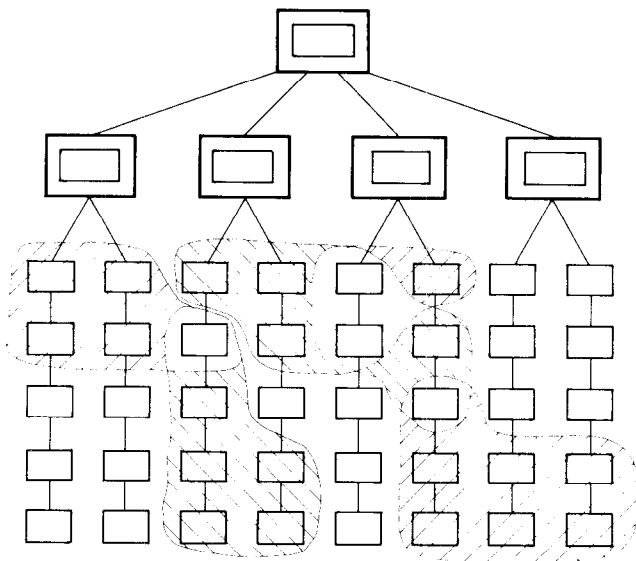


Abb. 13: System vermaschter Teams mit Koordinierungsgruppen

Die Hauptaufgabe des Managements, die Informationsverarbeitung für den Entscheidungsprozeß mit den Phasen der Willensbildung und der Willensdurchsetzung und dem sich daraus ergebenden theoretischen Phasenmodell, wirft die Frage nach diesem Entscheidungsverhalten in einer PMO auf.

Anhand der Phasen

- a) Problemdefinition,
- b) Informationssuche,
- c) Entwicklung von Alternativlösungen,
- d) Vergleich und Bewertung von Alternativen,
- e) Auswahl einer Alternative (= Entscheidung),
- f) Anleitung zur Durchführung.

g) Realisierung und

h) Kontrolle der Durchführung und von Abweichungen läßt sich nachweisen, daß eine hierarchische Gliederung nach Funktionen (Einlinien- und Stab-Liniensysteme) für Entscheidungsprozesse im Rahmen einer komplexen Projektabwicklung schlecht geeignet ist.

Von manchen Seiten wird die Auffassung vertreten, man könne die Koordinationsfähigkeit des Leitungssystems bei komplexen Projekten durch Delegation bestimmter Aufgaben von Linienvorgesetzten zu Stabstellen aufrecht halten. Die Fragwürdigkeit dieser Auffassung läßt sich durch das oben gezeigte Phasenmodell deutlich demonstrieren und unterstreicht unsere in Punkt b) gemachten Aussagen:

- Die Stabfunktion übt einen nicht unbedeutenden Einfluß aus, ohne dafür formal entsprechend legitimiert zu sein.

Dieser Einfluß resultiert aus seinen Funktionen der Entscheidungsvorbereitung (Phase a bis d) für die Entscheidung (Phase e) der Linie. Seine Bewertung von Alternativen führt meist zu einer „Vorentscheidung“, der sich der Linienvorgesetzte praktisch oft nicht entziehen kann, für deren Konsequenzen der Stab jedoch keinerlei formale Verantwortung trägt. Die Aufgabe des Produktmanagers muß über diese Phasen hinausgehen, weil er - wie schon festgestellt wurde - die volle Verantwortung für die Erreichung der Projektziele bei bestimmten Organisationsrestriktionen übernimmt.

Solche Einschränkungen ergeben sich aus dem problematischen Verhältnis des verantwortlichen Projektmanagers zu den für die Abteilungen verantwortlichen funktionalen Führungskräften, die die Teilaufgaben des Projektes durchführen. Wenn sich also grundsätzlich die Zuständigkeit des Projektmanagers auf alle Phasen des Entscheidungsprozesses bezieht, so muß auf diese Restriktionen verwiesen werden. Der Projektmanager entscheidet nicht „einsam“, sondern in Abstimmung mit den funktionalen Führungskräften, deren Durchführung der einzelnen Teilaufgaben einer Quasi-Dienstleistungsfunktion der Linienabteilungen für das jeweilige Projekt und den betreffenden Manager gleichkommt und nach Sanktionierung durch die Geschäftsführung, die das „Was“ und das „Wann“ der Zielsetzung des Projekts billigen muß.

An die technischen, organisatorischen und psychologischen Fähigkeiten eines Projektmanagers werden deshalb hohe Anforderungen gestellt.

#### c) Wirtschaftliche Voraussetzungen für die Anwendung der projektbezogenen Matrixorganisation

Die oben aufgezeigten Strukturmerkmale und Zusammenhänge könnten zu dem Schluß verleiten, eine solchermaßen mit dem Attribut „modern“ versehene Organisationsform sei in jedem Falle anderen vorzuziehen. Diesem Schluß sollte jedoch entgegengetreten werden, da die Lösung des Koordinationsproblems im Rahmen einer bestimmten Organisationsform - wie jedes ökonomische Instrument zur betrieblichen Leistungserstellung - einem Wirtschaftlichkeitskriterium und damit einem Rationalitätsaspekt unterworfen werden muß. Dieser Einwand erscheint umso gerechter, als

die PMO infolge ihrer Mehrdimensionalität und der damit in vielen Fällen einhergehenden Vermehrung echter Führungspositionen und Konfliktpotentiale eine kostenintensive Organisationsform ist.

Um auch dem Kriterium der **Wirtschaftlichkeit** zu genügen, müssen für die Anwendung der PMO bestimmte externe wie interne Voraussetzungen vorliegen, die kurz gestreift werden sollen.

Als externe Voraussetzungen können aufgezählt werden:

- instabile Umweltverhältnisse marktlicher und technologischer Art, die eine rasche Anpassung an neue Konstellationen nötig machen;
- eine Aufgabe mit hohem Komplexitätsgrad, die einen stark arbeitsteiligen Erfüllungsprozeß erfordert und nicht über Routineprogramme gelöst werden kann;
- einen verhältnismäßig hohen Dringlichkeitsgrad der zu erfüllenden Aufgabe;
- einen verhältnismäßig hohen Kostenaufwand zur Lösung einer bestimmten Aufgabe.

Als interne Voraussetzungen ließen sich anführen:

- der Einsatz eines hochqualifizierten Mitarbeiters mit besonderer Eignung für die Position des Projektmanagers;
- der aufgabenerfüllende Beitrag verhältnismäßig vieler Organisationsmitglieder, die Spezialisten in den verschiedenen Fachgebieten sind;
- die klare Definition der Zielsetzung des Projektes und der Aufgabenstellung des Projektmanagers und seines Teams;
- die Einführung eines partnerschaftlichen, kooperativen Führungsstils;
- die sichtbare Unterstützung des Projektmanagers durch die Unternehmensführung.

Diese Voraussetzungen machen deutlich, daß die Zweckmäßigkeit der PMO nur im Hinblick auf eine konkrete Unternehmenssituation beurteilt werden kann.

#### 5. Potentielle Auswirkungen der Anwendung einer PMO hinsichtlich der betrieblichen Aufgabenerfüllung durch die Organisationsmitglieder

Die Anwendung einer PMO und die Aussagen über ihre Wirkungsweise beruht auf Annahmen über Änderung und Anpassung des Verhaltens der Organisationsmitglieder, die im Einzelfall empirisch bestätigt werden müssen. Generell lassen sich jedoch zwei Auswirkungen dieser Organisationsform deutlich abgrenzen, die nun thesenhaft näher dargestellt werden sollen.

Die eine betrifft das dem System anhaftende Konfliktpotential der PMO, das bei ihrer Beurteilung vorschnell oft als Nachteil empfunden wird, und die Motivation der Organisationsmitglieder.

##### a) Das Konfliktpotential der PMO und seine Steuerung

Durch das Charakteristikum des Kompetenzdualismus der PMO entsteht ein systemimmanentes Konfliktpotential, das nach der Meinung verschiedener Autoren den organisatorischen Grundsatz der **Übereinstimmung von Zuständigkeit**

und Verantwortung (*authority and responsibility*) verletzt. Dieser Auffassung ist grundsätzlich beizupflichten, da es bei der Zuordnung der Kompetenzen auf die Mitglieder einer PMO in der Praxis immer wieder zu Überschneidungen kommt, die eine exakte Abgrenzung der Entscheidungsbefugnisse illusorisch macht.

In der Praxis versucht man, sich mit dem Grundsatz zu helfen, daß es nur so lange keinerlei weiterer Einflußnahme des Projektmanagers auf die Leitungstätigkeit der funktionalen Abteilung bedarf, als die vier Grundelemente jedes Planungsablaufes, nämlich

technisches Konzept,  
Zeit,  
Kosten und  
Qualität

nicht gefährdet sind. Diese Parameter werden wie bei einem Dienstleistungsauftrag an einen Fremden für beide Seiten verbindlich festgelegt.

Die Schwierigkeit einer Abgrenzung von sachlicher und persönlicher (disziplinarischer) Verfügungs- und Befehlsgewalt im Gefolge von Aufgabenanalyse und Aufgabensynthese läßt Konflikte zwischen den beiden Kompetenzebenen entstehen, die von der Unternehmensleitung nicht immer als Gefahr verstanden werden. Vielmehr werden solche Konflikte mitunter *bewußt* herbeigeführt (*deliberate or purposeful conflict*)<sup>18</sup>, um den Informationsfluß aus beiden Richtungen miteinander vergleichen und die Beteiligten im Sinne der Unternehmensziele direkt beeinflussen zu können. Dabei wird auf die positiven Funktionen des Konflikts - soweit er begrenzt und sachbezogen ist - für die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit von soziotechnischen Systemen hingewiesen, von denen ein nützlicher Zwang zur Zusammenarbeit, zur Selbstkoordination und zur Selbstkontrolle ausgehen kann.

Dieser Prozeß kann durch die Erkenntnis in Gang gesetzt werden, daß jede Seite auf die Dauer ihre (scheinbar entgegengesetzten) Ziele nur dann erreichen kann, wenn die andere Seite ihre Ziele auch erreicht. Solche Gegensätzlichkeiten ergeben sich zum Beispiel, wenn der Projektmanager die Arbeit der Fachabteilungen im Sinne seiner Projektprioritäten beeinflussen will und die daraus resultierenden zeitlichen Verschiebungen im Arbeitsablauf der Fachabteilungen zu unwirtschaftlicher Arbeitsweise führen können. Die Absicht des bewußt gehandhabten Konfliktes ist es, in einer derartigen Situation eine Selbstrevidierung der Standpunkte beider Kompetenzebenen herbeizuführen und im Sinne der übergeordneten Unternehmungsziele auszurichten<sup>19</sup>. Eine zentrale Koordinationsstelle (übergeordnete Instanz) kann dafür Sorge tragen, daß die Konflikte zwischen gleichberechtigten Partnern offen ausgetragen und eine ziel- und sachbezogene Lösung herbeigeführt wird.

Neben der Schaffung einer solchen zentralen Koordinationsstelle sind jedoch noch andere organisatorische Vorkehrungen denkbar, damit sich das bewußt erzeugte Konfliktpotential nicht systemzerstörend auswirkt. Möglichkeiten bieten sich hierzu an, indem man zum Beispiel einem Teilsystem der PMO ein leichtes Autoritätsübergewicht verleiht - womit das Idealmodell der PMO verlassen wird (siehe

Abb. 10), oder das Recht zum Stichentscheid an eine Instanz für bestimmte Sachgebiete vergibt.

#### b) Das Motivationspotential der PMO und seine Steuerung

Ohne an dieser Stelle oder überhaupt den empirischen Beweis dafür erbringen zu können, spricht vieles dafür, daß von der PMO motivationssteigernde Wirkungen auf die Organisationsmitglieder ausgehen. Dieses Motivationspotential der PMO kann dazu beitragen, durch die Bedürfnisbefriedigung der Organisationsmitglieder ihre Bedürfnisstruktur als Teil der Persönlichkeitsstruktur positiv zu beeinflussen und ihr Verhalten in diesem Sinne zu verändern.

Diese These soll nun anhand neuerer Ergebnisse der amerikanischen Motivationsforschung geprüft werden.

Das Erklärungsmodell, aus dem diese Ergebnisse hervorgehen, ist zwar in der wissenschaftlichen Literatur nicht unumstritten, läßt aber bestimmte Annahmen über die Wirkungsweise verschiedener Organisationsformen zu. Dieses Erklärungsmodell ist **das hierarchische Konzept der Grundbedürfnisse** von Abraham Maslow<sup>20</sup>, nach dem die menschlichen Grundbedürfnisse nicht zusammenhanglos nebeneinander, sondern in einem hierarchischen Verhältnis stehen. Eine derartige Einordnung der Bedürfnisse bewirkt, daß ein in der Hierarchie höheres Bedürfnis erst dann verhaltensbeeinflussend auftritt, sobald die niedrigeren Bedürfnisse befriedigt sind. Die Motivation zum Handeln rührt nur von den unbefriedigten Bedürfnissen her, da ein Bedürfnis nicht mehr motiviert, sobald es befriedigt ist.

## ING. GOTTFRIED TSCHAMLER

POSTFACH 134

DÖBLINGER GÜRTEL 3

**A-1191 WIEN**

TELEFON 34 66 65

TELEX 07-5364

● TEXTILTECHNISCHES BÜRO

● SCHWEIZER TEXTILMASCHINEN



Diese Hierarchie gliedert sich:

- in physiologische Bedürfnisse,
- in das Sicherheits-, Zugehörigkeits- und Liebesbedürfnis, sowie
- in den Wunsch nach Wertschätzung, Unabhängigkeit und Selbstverwirklichung.

Insbesondere die letzten drei Bedürfnisse dürften bei mittleren und höheren Führungsschichten als solche empfunden werden, sei es im Streben nach Anerkennung, Prestige und Status (soziale Wertschätzung), im Wunsch nach weitreichender Entscheidungsbefugnis und Eigenständigkeit gegenüber Vorgesetzten (Unabhängigkeit) oder im sichtbaren Verlangen, alle seine individuellen Fähigkeiten optimal entfalten zu können (Selbstverwirklichung). Wenn die auslösenden Faktoren jene sind, die die in der Hierarchie höheren Bedürfnisse befriedigen, so ist die Stärke der Motivation durch die *innere Belohnung* gegeben, die mit dem Ausmaß dieser Zielerreichung gegeben ist (unter Motivation wird hier allgemein das Streben nach einem ganz bestimmten Ziel verstanden).

Form und Struktur der PMO vermögen hinsichtlich dieser Bedürfnishierarchie als Beweggrund wirken, da für die Organisationsmitglieder das Bedürfnis nach sozialer Wertschätzung, Unabhängigkeit und Selbstverwirklichung weitgehend befriedigt werden kann. Da sich im Verhältnis zum funktionalen Einliniensystem in einer PMO die Managementpositionen vermehren, kann für mehrere Organisationsmitglieder das Bedürfnis nach Prestige und Status (soziale Wertschätzung) befriedigt werden. Die höheren Kosten für zusätzliche Führungspositionen können dabei durch eine stärkere Beachtung des Leistungsprinzips des Projektmanagers überkompensiert werden.

Allerdings besteht für solche Projektmanager die Gefahr, daß sie nach Abwicklung ihres Projekts aus Mangel an Planstellen trotz Erfüllung der Projektziele eine Statusverschlechterung hinnehmen müssen, die sich später bei ihnen leistungshemmend auswirken kann.

Das Bedürfnis nach Unabhängigkeit von der höheren Instanz kann in einer PMO befriedigt werden, wenn es den Projekt- und Funktionsmanagern gelingt, in Form einer geordneten Austragung der Meinungsverschiedenheiten zu einer gemeinsamen Lösung des Problems zu gelangen. Der Anreiz zur Selbstkoordination der Organisationsmitglieder wirkt dann zugleich bedürfnisbefriedigend und systemstabilisierend.

Was das Bedürfnis der Selbstverwirklichung betrifft, so bietet die PMO insbesondere den Projektmanagern (aber auch den anderen Positionsinhabern innerhalb der Organisation) eine Identifikationsmöglichkeit ihrer Arbeitsleistung an einem abgrenzbaren Arbeitsergebnis wie kaum eine andere Organisationsform. Während bei der funktionalen Einlinien- und Stab-Linienorganisation die hierarchische Weisung und Kontrolle dominieren, tritt bei der PMO durch die Möglichkeit der Selbstidentifikation mit dem „meßbaren“ Erfolg eines abgrenzbaren Projektes Zusammenarbeit und leistungsbezogene Motivation an diese Stelle.

## 6. Abschließende Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer PMO im Hinblick auf das betriebliche Führungssystem

Wenn man versucht, die Leistungsfähigkeit einer PMO zu beurteilen, dann sollte man abschließend nochmals darauf hinweisen, daß aus den oben dargelegten Vor- und Nachteilen (bzw. Möglichkeiten und Gefahren) dieser Organisationsform abstrakt noch nicht auf seine (positive) Leistungsfähigkeit geschlossen werden kann. Vielmehr müssen bestimmte Voraussetzungen gegeben sein, damit die Vorteile von Objekt- und Funktionsgliederung *gleichzeitig* genutzt werden können. Auf solche Voraussetzungen wurde schon hingewiesen (vgl. Punkt 4, c). Erst dann, wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, können die potentiellen Vorteile auch ausgenutzt werden.

**Organisatorisch** würde diese Aktualisierung insbesondere mit sich bringen:

- einen besseren Problemlösungsprozeß sowie bessere Entscheidungen durch eine koordinierte technische Gesamtplanung,
- den Abbau eines einseitigen Machtaspekts zugunsten des Spezialistenwissens, wodurch das Unternehmen seine personelle Kapazität quantitativ und qualitativ (unterschiedliches Fachwissen der Mitarbeiter) besser ausnutzen kann, und
- ein gewisses Maß an Selbstregelung durch einen ständigen Rückkoppelungsprozeß, der einerseits viele inflexible Regelungen und starre Verfahren erübrigt und andererseits den zielbezogenen Integrationseffekt aufrecht erhält.

**Die psychologischen Effekte** lägen:

- in einer verstärkten Motivation der Mitarbeiter durch größere Aufstiegschancen und einer ihren Fähigkeiten besser angepaßten Entfaltungsmöglichkeit,
- in einer stärkeren Identifizierung der Mitarbeiter mit den Zielen der Organisation, indem man sie bereits an der Planung von Teilaufgaben des Gesamtprojekts mitwirken läßt bzw. sie dazu heranzieht,
- in einer Erhöhung der Risikobereitschaft jedes einzelnen durch Übertragung größerer Verantwortung an ihn, sowie
- in einer Herabsetzung der psychologischen Belastung des mittleren und auch des höheren Managements durch Koordinations- und Vermittlungsaufgaben.

**Die führungsmaßige Auswirkungen** könnten schließlich sein:

- eine Verbesserung der Durchsetzung von Entscheidungen auf Grund der Mitwirkung an der Formulierung von Teilzielen mit rechtzeitiger Korrekturmöglichkeit,
- eine in allen Phasen der Entscheidungsfindung vorhandene wirksame Kontrolle,
- eine erhöhte Chance für führungsmaßigen Einfluß im Hinblick auf die wirkungsvollste Zielerreichung,
- ein Auffangen von Konflikten in einer abgegrenzten Gruppe, wodurch verhindert wird, daß diese in die gesamte Organisation hineingetragen werden.

Diese Aufzählung kann natürlich nicht vollständig sein, sondern muß durch die im Verlauf dieser Arbeit genannten, ab und zu auch anders formulierten Vorteilsaspekte noch er-

gänzt werden. Es kann jedoch hierbei nicht darauf ankommen, möglichst alle Kriterien und Bestimmungsmöglichkeiten der Leistungsfähigkeit dieser Organisationsform zu nennen, da diese hinsichtlich des betrieblichen Führungssystems nicht isoliert betrachtet bzw. beurteilt werden können. Die Organisationsform ist immer nur ein Gesichtspunkt des gesamten betrieblichen Führungssystems und letztlich nur eine Variable, die das Verhalten der Organisationsmitglieder im Betrieb beeinflusst.

Form und Struktur der Organisation sind jedoch im Rahmen des umfassenden betrieblichen Führungssystems entscheidende Komponenten. Ihre Ausgestaltung und Funktion wird die Effizienz der Leistungserbringung im Betrieb erheblich mitbeeinflussen. Dieser Einfluß kann durch den gleichzeitigen Einsatz weiterer Gestaltungsvariablen des Führungssystems vergrößert oder abgeschwächt werden. Die Wirkung der Steuerung des betrieblichen Leistungsprozesses wird vom kombinierten Einsatz dieses „Instrumentariums“ und von seiner qualitativen wie quantitativen Zusammensetzung abhängen.

#### Literatur:

- 1) Abbildung 1 in Anlehnung an N. Thom: „Zur Leistungsfähigkeit der Projekt-Matrix-Organisation“; Industrielle Organisation 42(3), 127 (1973)
- 2) Vgl. G. Wöhe: „Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre“; 11. Auflage, München 1973, S. 151 ff
- 3) H. Fayol: „Administration Industrielle et Générale“; 3. Auflage, Paris 1947 (deutsch: „Allgemeine und industrielle Verwaltung“; München - Berlin 1929)
- 4) F.W. Taylor: „Shop Management“; New York - London 1911  
derselbe: „Die Betriebsleitung, insbesondere der Werkstätten“; 3. Auflage, Berlin 1914
- 5) Vgl. H. Lehmann: „Leitungssysteme“; Handwörterbuch der Organisation, herausgegeben von Prof. E. Grochla, Stuttgart 1969, Sp. 934 f
- 6) Vgl. G.A. Andresen: „Produkt-Management“; Management Enzyklopädie, Band 4, München 1971, S. 1205
- 7) Vgl. H.J. Schröder: „Projekt-Management. Eine Führungskonzeption für außergewöhnliche Vorhaben“; Wiesbaden 1970, S. 79
- 8) Vgl. M. Dullien: „Flexible Organisation“; Opladen 1972, S. 18
- 9) Vgl. G.A. Steiner und W.G. Ryan: „Industrial Project Management“; New York 1968, S. 7 ff
- 10) Abbildung 7 in Anlehnung an S.H. Wearne: „Project and Product Responsibilities in Industry“; Management-Decision 4 (4), 35 (1970)
- 11) Abbildung 9 aus H.J. Schröder: „Projekt-Management“; Management Enzyklopädie, Band 4, München 1971, S. 1318
- 12) Vgl. R. Liertz: „Hat sich die Spartenorganisation bewährt?“; PLUS, Heft 6/1973, S. 25 ff
- 13) Abbildung 10 in Anlehnung an J.R. Galbraith: „Matrix-Organization Designs. How to Combine Functional and Project Forms“; Business Horizons 14(1), 37 (1971)
- 14) Zur Systemmethodik vgl. B. Bircher und W. Krieg: „Systemmethodik und langfristige Unternehmensplanung“; Industrielle Organisation 42(4), 157 ff (1973)
- 15) Abbildung 12 in Anlehnung an H.J. Beckens: „Vor- und Nachteile der Matrix-Organisation. Darstellung der Aufbauorganisation einer Ingenieurgesellschaft“; Bürotechnik, Heft 10/1973, S. 1010
- 16) Vgl. K. Trebesch: „Innovationsfördernde Organisationsstrukturen“; Industrielle Organisation 42(6), 278 (1973)
- 17) Vgl. R. Rüttinger: „Organisationsmodelle der Zukunft“; Rationalisierung, Heft 7/1969, S. 174 ff
- 18) Vgl. D. Cleland und W.R. King: „Systems Analysis and Project Management“; New York 1968, S. 178
- 19) Vgl. J. Bidlingmaier: „Zielkonflikte und Zielkompromisse im unternehmerischen Entscheidungsprozeß“; Wiesbaden 1968, S. 128
- 20) A. Maslow: „Motivation and Personality“; 2. Ausgabe, New York 1970, S. 22 ff



moderne bürotechnik

**robert streit**

WIEN · AMSTETTEN · LINZ

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

## Eine neue Methode zur Bestimmung der Dichte von Festkörpern

Dr. Hans Stabinger

Institut für Röntgenfeinstrukturforschung Graz

Vorstand: Professor DDR. Otto Kratky

Herrn Direktor Dr. J. Harms anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Die Dichte von Festkörpern wird meistens aus dem scheinbaren Gewichtsverlust berechnet, der sich beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bekannter Dichte ergibt. Dieses Verfahren bringt gute Resultate, soweit es sich um leicht benetzbare und kompakte Prüfkörper handelt. Bei porösen Körpern besteht jedoch die Schwierigkeit, daß undefiniertes Eindringen der Flüssigkeit in die Hohlräume die Auftriebsmessung verfälscht. Das neu entwickelte Meßgerät erlaubt es nun infolge der sehr großen Meßgenauigkeit und der leichten Handhabung, über den scheinbaren Gewichtsverlust des Probenkörpers in einer Gasatmosphäre dessen Dichte zu bestimmen.

### Meßprinzip:

Massen- und damit auch Gewichtsbestimmungen können auf Frequenzmessungen zurückgeführt werden, wenn die Probenmasse einen Teil der Masse eines schwingfähigen Gebildes darstellt und damit dessen Eigenfrequenz beeinflusst. Da Frequenzmessungen durch Vergleich mit Quarzoszillatoren über digitale Zähler praktisch bis zu einer Genauigkeit von  $10^{-7}$  durchgeführt werden können<sup>1</sup>, ist dieses Meßprinzip zur Bestimmung kleinster Masseunterschiede äußerst gut geeignet.

In unserem Arbeitskreis wurde ein nach diesem Verfahren arbeitendes Meßgerät für Dichtebestimmungen an Flüssigkeiten und Gasen entwickelt<sup>2,3</sup>; den Meßkörper bildet ein U-förmig gebogenes Rohr, das an seinen beiden Enden fest eingespannt ist und über ein elektronisches System in der Eigenfrequenz seiner Biegeschwingung erregt wird. Nach den einfachen Beziehungen der Schwingungslehre ist das Quadrat der Schwingungsdauer  $T$  proportional der Masse des Rohrteiles zwischen den in Ruhe befindlichen Einspannstellen und der Spitze, die die größte Schwingungsamplitude besitzt. Diese Masse setzt sich aus der Masse des Rohres  $M$  und der in diesem Rohrstück mit dem Volumen  $V$  eingeschlossenen Masse  $d \cdot V$  ( $d$  = Dichte der Flüssigkeit oder des Gases im Schwingerrohr) zusammen. Wird nun in das Schwingerrohr ein Festkörper mit dem Volumen  $v$  und der Masse  $m$  eingebracht, so ergibt sich folgende Beziehung:

$$T^2 \text{ prop. } M + m + d \cdot (V - v).$$

Die gewünschte Dichte des Festkörpers  $m/v = d_F$  kann, ohne daß die einzelnen Größen ( $M$ ,  $V$ ,  $m$ ,  $v$ ) getrennt bestimmt werden müssen, aus folgenden vier Messungen der Schwingungsdauer ermittelt werden:

$T_0$  des evakuierten Schwingers;

$T_d$  des mit dem Gas oder der Flüssigkeit der Dichte  $d$  gefüllten Schwingers und den entsprechenden

$T_{om}$  und  $T_{dm}$  des evakuierten bzw. gefüllten Schwingers,

wobei die Festkörperprobe in das Schwingerrohr eingebracht wurde.

Die einfache Beziehung

$$(T_{dm}^2 - T_d^2 / T_{om}^2 - T_0^2) - 1 = d / d_F$$

gibt das Verhältnis der Festkörperdichte zur Dichte des Füllgases. Es ist daher möglich, in einem einfachen Schwinggebilde eine dem klassischen Senkkörperverfahren analoge Meßgröße zu finden, deren Bestimmung jedoch wesentlich exakter durchgeführt werden kann.

Die im letzten Abschnitt angeführten Berechnungen gelten nur für idealisierte Schwinggebilde und können für praktisch ausgeführte Meßschwinger nur unter bestimmten Voraussetzungen angewandt werden. Durch die Erforschung der genauen schwingungsmechanischen Grundlagen war es uns möglich, die Apparatur derart auszulegen, daß bei allen praktisch auftretenden Probengewichten und -dichten obige Beziehung Gültigkeit besitzt, wenn

- erstens die Probe keine Relativbewegung zum schwingenden Rohr ausführt und
- zweitens, wenn sich die Probe bei den Messungen  $T_{om}$  und  $T_{dm}$  an derselben Stelle im Rohr befindet.

Die zweite Forderung ist leicht erfüllbar, da beide Messungen hintereinander durchgeführt werden können, wobei einfach das evakuierte Rohr mit dem Gas gefüllt wird. Um Relativbewegungen der Probe im Rohr zu verhindern, wird die Amplitude und Frequenz so niedrig gewählt, daß die Erdbeschleunigung nicht überschritten wird und die Probe daher bei vertikaler Bewegungsrichtung immer in Kontakt mit der Rohrwandung bleibt. Bei der Messung an Fasern oder ähnlichen Präparaten ist dieses Problem noch leichter beherrschbar, da man in diesem Falle durch Einstopfen einen guten Sitz des Präparates erreichen kann.

Da die Dichte des Füllgases eine wesentliche Bezugsgröße bildet, müssen Druck und Temperatur bei der Messung genau eingehalten werden. Als günstigste Lösung bietet sich das im Kühlanlagenbau verwendete Gas Algofrene R 12 ( $CF_2Cl_2$ ) an, dessen Dichte sehr genau reproduzierbar ist, wenn man das Gas aus einem thermostatisierten Siedegefäß in die Meßzelle einströmen läßt. Bei einer Siedetemperatur von  $45^\circ C$  beträgt die Dichte ca.  $60 \text{ kg/m}^3$ . Diese kann bei einer Temperaturkonstanz von  $\pm 0,01^\circ C$  auf  $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$  genau reproduziert werden und ermöglicht dadurch eine Dichtebestimmung des Festkörpers auf ca.  $1 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ .

Soweit es die Festkörperproben zulassen, kann auch mit Flüssigkeiten als Vergleichssubstanz gemessen werden, wodurch eine bessere Genauigkeit erzielt werden kann. Wird bei der Messung mit Algofrene die Meßzelltemperatur unter die des Siedegefäßes gelegt, so kondensiert das Gas in der Meßzelle, sodaß ohne Gefahr von Lufteinschlüssen in flüssiger Phase ( $d = 1,3 \text{ g/cm}^3$ ) gemessen werden kann. Über Messungen an verschiedenen Textilfasern wird an anderem Ort ausführlich berichtet werden.

### Literatur:

- 1) H. Leopold: *Elektronik* **19**, 297 (1970)
- 2) H. Stabinger, O. Kratky, H. Leopold: *Mh.Chem.* **98**, 436 (1967)
- 3) O. Kratky, H. Leopold, H. Stabinger: *Z.angew.Physik* **4**, 272 (1969)

## Geometrische Formen bei der Kleidung

Professor Lucie H a m p e l

Modesammlungen der Stadt Wien im Schloß Hetzendorf, Wien

Herrn Direktor Dr. J. H a r m s anlässlich seines Eintritts in den Ruhestand gewidmet.

Gegenwärtig ist man mehr denn je bemüht, Schnittbücher vergangener Zeiten zu erschließen. Lange Zeit kamen die Menschen mit einfachen geometrischen Formen, wie dem Rechteck, dem Dreieck, dem Kreis bzw. Teilen davon, aus, die sich bis in die Gegenwart - hier allerdings oft als Merkmal eines ganz besonderen und typischen Kleidungsstils - erhalten haben.

At present one is seeking more than ever to rediscover fashion books of times past. For a long time it was possible to manage with simple geometric forms, as the rectangle, the triangle, the circle or parts of it, which have been preserved until the present day, but now often as a feature of a very special and typical style of clothing.

### Einleitung

Je ferner eine Epoche zurückliegt, desto mehr müssen wir prüfen, welche Mittel den Menschen damals zur Verfügung standen. Die gefundenen Formen müssen mit Phantasie ausgeschöpft werden, denn nur diese schafft Neues und mögliche Varianten. Phantasie hat aber der Mensch zu allen Zeiten gehabt und haben müssen, sonst gäbe es keine Veränderungen, kein Gestalten.

### Vorgeschichte

Aus dem Ende der Altsteinzeit - zwischen 40 000 und 10 000 Jahren vor Christus - sind Darstellungen erhalten, die zeigen, wie genau die Menschen von damals die Natur beobachteten. Streng realistisch zeigen diese Darstellungen das Verhältnis des Jägers zu seiner Beute, von der er abhängig war, wenn er überleben wollte. In den Höhlen Nordspaniens und Südfrankreichs findet man unter den Wandmalereien noch keine menschlichen Darstellungen. Gelegentlich zeigen Felsskulpturen nackte Frauengestalten, die aber Fruchtbarkeitssymbole sein dürften, da Brüste, Leib und Geschlecht übermäßig betont wurden, der Kopf gesichtslos blieb und Arme und Beine nur angedeutet wurden. Die „Venus von Willendorf“ (ca. 20 000 v. Chr.) ist ein gutes Beispiel dafür.

Die Menschen der Frühzeit waren mit der Natur, mit der Sonne, dem Mond, den Sternen, den Geschöpfen der Welt, das heißt mit den Tieren des Wassers, des Landes und der Luft, eng verbunden. Die Formen, die die Natur hervorgebracht hatte - Steine, Muscheln, Schnecken, Blätter, Äste usw. - galten als Inbegriff der Schönheit.

Mit geometrischen Formen wurden die Menschen erst vertraut, als sie begannen, Gefäße zu formen. Keramik, zunächst ohne Töpferscheibe hergestellt, entstand, als der Übergang von der Jagd zum Ackerbau, vom Nomadentum

zur Sesshaftigkeit, erfolgte - vermutlich 8000 Jahre vor Christus im Nahen Osten. Mit diesen Gefäßen, die vorerst hauptsächlich dem Totenkult dienten (den Lebenden aber bestimmt auch als Gebrauchsgegenstand), sowie mit dem Wagenrad war der Kreis als Form gefunden. (Das Rad war aus dem Abschnitt eines Baumstammes, den man in der Mitte durchbohrt hatte, entstanden.)

Im Nahen Osten entstanden im 7. bis 6. Jahrtausend vor Christus die ersten vorgeschichtlichen stadtähnlichen Siedlungen mit Befestigungen. Mit dem Beginn der Hochkulturen werden für die Bauten das Rechteck, das Quadrat, das Dreieck und der Kreis herangezogen. Die Pyramiden haben als Grundriß ein Quadrat, von diesem streben vier Dreiecke zur Spitze. Das im 2. bis 1. Jahrtausend vor Christus errichtete Rundheiligtum Stonehenge auf der Ebene von Salisbury hat einen Kreis als Grundriß; das gleiche finden wir später bei den Arenen und bei den Theatern der Antike.

Aber schon die einfachen Nomaden und Jäger der Vorzeit brauchten Schutz vor den Unbilden der Natur. Das Zelt, die transportable Wohnung, konnte sowohl das Rechteck als auch das Dreieck oder den Kreis zum Grundriß haben. So ist klar, daß diese Formen sehr vielen Menschen bereits sehr früh bekannt waren. Warum sollten diese Grundformen nicht auch bei der Bekleidung Verwendung gefunden haben?

### Einfache geometrische Formen

Als der Mensch mit dem ihm zur Verfügung stehenden Material - seien es Geflechte, Gewebe, Metallplättchen oder Bernsteinplättchen - begann, für seine Kleidung zu sorgen, kam er zu geometrischen Formen. Die einfachste Kleidung lieferte ein Fell - und Tierfelle standen nach der Jagd zur Verfügung -, ihm folgte die vom Menschen hergestellte Decke. Die Anfänge des Webens sind allerdings bis jetzt noch in Dunkel gehüllt, doch wir wissen, daß den alten Kulturvölkern die Herstellung von Stoffen bereits mehrere Jahrtausende vor Christus bekannt war.

Der waagrechte und der senkrechte Fadenlauf eines Gewebes bestimmte dessen äußere Form: das Rechteck. Aus einem rechteckigen Stoffstück konnte man vielerlei Bekleidungen schaffen, zum Beispiel das „Hemdkleid“, ein Rechteck mit einem Durchlaß für den Kopf. Manche Völker trugen diese Bekleidung eng am Körper anliegend, andere wieder trugen sie faltenreich und weit (Abb. 1).

Die Griechen nannten ein derartiges Bekleidungsstück „Chiton“; es konnte auch Ärmel haben, die wiederum aus Rechtecken gebildet wurden. Der Chiton hat eine semitisch-babylonische Herkunft: Baumwolle heißt auf Semitisch „keton“, von welchem Wort sich die Bezeichnung „Chiton“ ableitet. Der Chiton wurde anfangs aus Leinen, später aus Wolle hergestellt. An den Seiten waren die „Endeln“ (Webkanten) zugenäht, auf den Schultern konnte sowohl ein Stoffbug als auch eine Naht vorhanden sein oder eine Nestelung erfolgen. Dieses Gewand läßt sich in der Kostümgeschichte weit zurückverfolgen. Das assyrische Volk kannte es bereits, die Babylonier und die Ägypter ebenfalls, die Griechen trugen ihren „Chiton“, die Römer ihre „Tunika“. Einen Höhepunkt bildete die „Byzantinische Tunika“.

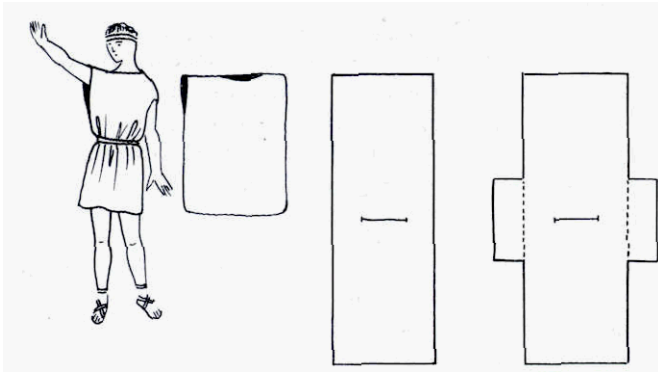


Abb. 1: Das „Hemdkleid“, bei den Griechen „Chiton“ genannt

Durch die Völkerwanderung, aber auch durch die Kreuzzüge, verbreiteten sich diese Gewandformen in alle zivilisierten Länder Europas. Etwa im 11. Jahrhundert finden wir das „zugeschnittene“ Kleid: Das Rechteck wird zum bloßen Hilfsmittel, der „Schnitt“ wird auf einem rechteckigen Stück Stoff aufgelegt.

Der Chiton war also ein Kleidungsstück (kein Hemd, kein Unterkleid!), das von Männern, aber auch von Frauen und Kindern getragen wurde. Bei Homer (vermutlich 8. Jh. v. Chr.) ist der Chiton allerdings noch ein ausschließlich von Männern getragenes Gewand, das bis an die Knie reichte. Aus dem Stoff wurde eine Art „Röhre“ gebildet, die man mittels Spangen auf den Schultern festhielt. Eine Schulter konnte dabei auch frei (unbedeckt) bleiben, die obere Stoffkante wurde dann einfach unter der Achsel hindurchgezogen.

Im 7. Jahrhundert vor Christus fertigte man den Chiton aus einem etwa zwei Meter langen Tuchstück an. Er bildete das Festgewand für jung und alt und gehörte zur Tracht alter oder vornehmer Männer, wie zum Beispiel jener der Priester oder sonstiger im Kult beschäftigter Personen. Junge Leute trugen dagegen meist den kurzen Chiton („Chitonikos“). Als Frauentracht hieß dieses Hemdkleid „Chitonion“. Die Gewänder der Griechen - der Chiton, der Chlamys, der Himation - wurden in fast gleicher Form auch von den Römern getragen, sie hießen bei ihnen: Stola, Toga, Tunika und Paenula.

Das Wesen und die Schönheit der drapierten Kleidung hing vor allem vom Material der Stoffe ab. Dieses stellte man auf dem Webstuhl her und hatte eine rechteckige Form. Vor dem Anlegen konnten die Webkanten teilweise zusammengeknüpft sein, man konnte die obere Kante aber auch umgeschlagen tragen. Körperform und Haltung des Trägers waren für den Fall des Stoffes wesentlich, ebenso die auf dem Körper selbst vorgenommene Drapierung. Eine künstliche Befestigung war meist nur auf den Schultern, zuweilen auch längs der Oberarme möglich. Die Einschnürung mit einem oder zwei Gürteln in verschiedener Höhe machte oft einen eigenen Reiz aus. Das In-Falten-Legen der Gewänder galt bei den Ägyptern, bei den Griechen und auch bei den Römern als eine Kunst. Durch den „Faltenwurf“ entstand ja erst die auffallend malerische Drapierung.

Die Plastik „Mithras, den Stier tötend“ zeigt in schöner Form die einfache griechische Kleidung. (Kritios von Athen schuf diese Statue ungefähr im 2. Jh. a. Chr.) Die „Stoff-

röhre“ bedeckt den Körper, die linke Achsel der Kleidung ist geschlossen (zugenäht, mit Fibeln gehalten oder gesteckt). Der rechte Arm hat die volle Bewegungsfreiheit. Die Taille betont ein schmaler Gürtel. Zu dieser Kleidform kam man durch das rechteckige Tuch (Abb. 2).

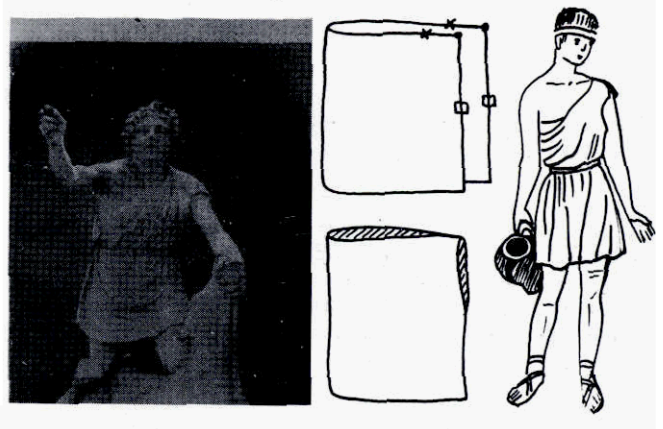


Abb. 2: „Mithras, den Stier tötend“; Beispiel für eine einfache griechische Kleidung (2. Jh. n. Chr.)

Die Landleute, vor allem die körperlich arbeitenden Menschen, trugen den ungegürteten dorischen Chiton, „Exomis“ genannt, mit jeweils einer unbedeckten Schulter und einem unbedeckten Arm.

Eine Steinstele aus Babylon zeigt im Relief das Porträt Assurbanipals oder seines Bruders Schamasch-schun-ukin, sie stammt aus der Zeit der neuassyrischen Periode. (Assurbanipal lebte von 668 bis 626 v. Chr., war König von Assyrien und hatte 648 Babylon erobert. Berühmt ist seine Tonfabelbibliothek.) Die Gestaltung der Stele geht auf eine alte Überlieferung zurück. Der König trägt ein einfaches, aus Rechtecken zusammengesetztes Kleidungsstück mit halblangen Ärmeln. Das handgewebte Material muß weich und anschniegsam gewesen sein, da es die Taille ganz vorzüglich betont. Die Kopfbedeckung ist aus Kreisen gebildet: Ring



Abb. 3: Assyrische Königsstracht (ca. 700 v. Chr.)



liegt auf Ring, den Abschluß bildet ein kegelförmiger Aufsatz (Abb. 3).

In Jasili-Kaja zeigt ein Detail der Seitenwand in der „Kleinen Kammer“ (14. bis 13. Jh. v. Chr.) den Aufmarsch hethitischer Götter. Bei der Betrachtung ihrer Kleidung fällt auf, daß sich diese in einen Leib und in einen Wickelrock teilt. Der Leib hat die gleiche Form wie der griechische Chiton. Die Ärmel sind kurz, und es ist möglich, daß unter dem Arm ein Zwickel eingesetzt war. Der Kopfdurchlaß ist gerade nur so groß, daß der Kopf hindurchgeht. Der Rock besteht aus einem geraden, rechteckigen Stück Stoff, das um den Leib gewickelt ist. Der übereinandergelegte Stoffteil wirkt wie eine Gehfalte. Der sehr enge, breite Gürtel hält Oberteil und Rock zusammen. Die hohe Kopfbedeckung dieser Götter läßt sich ebenfalls schnittlich lösen: die Grundform ist ein Kreis, aus dem vermutlich Zwickel herausgenommen worden sind. Auch für deren unteren Rand bietet sich eine Lösung an - diese Form wird ebenfalls aus dem Kreis gewonnen. Einen dieser Götter zeigt das Bild (Abb. 4).

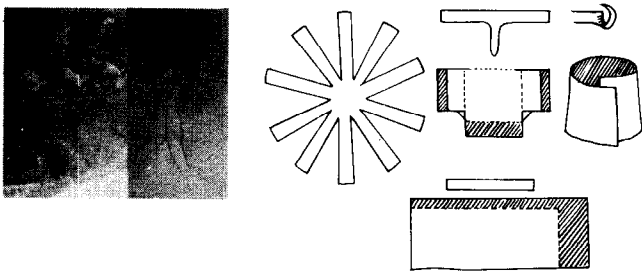


Abb. 4: Darstellung eines hethitischen Gottes; daneben eine Rekonstruktion des Schnittes für seine Kleidung

Es muß darauf hingewiesen werden, daß die Darstellungen entweder eine rituelle oder eine Standeskleidung zeigen, die der Herrscher und sein Gefolge trug. Sie entsprach niemals der Mode, wie sie dies heute tut, sondern allein dem Stand, der ein bestimmtes Zeremoniell erforderte, das heißt also, daß die Könige, ihre Angehörigen, ihre Bediensteten (z.B. der Schreiber, der Jäger, der Soldat) usw. jeweils auf vorgeschriebene Art gekleidet war. Für Götter und Göttinnen galten gleichfalls besondere Richtlinien hinsichtlich ihrer Bekleidung.

Bei dem gezeigten Bildmaterial handelt es sich um eine Auswahl, die datiert werden konnte. Wir wissen aber nicht, wie lange es diese Kleidformen bereits vorher gegeben hatte bzw. wie alt sie wirklich sind.

Die „Schlangengöttin“ (um 1700 bis 1600 v. Chr.) aus Kreta ist ein typisches Beispiel dafür, mit welchen einfachen geometrischen Formteilen eine fast extravagant wirkende Kleidung erreicht werden konnte. Der Rock baut sich aus kreisförmig angeordneten Volants auf, die in Streifen aufgelöst werden können; er wirkt so, als ob Kegelabschnitte übereinandergestülpt wären oder wie ein Dach. Darüber liegt eine Schürze, deren untere Rundung einem Halbkreis entspricht. Eine besondere Schnittlösung erforderte der Oberteil. Man kannte bereits die Form des Dreiecks, die durch Teilung eines Quadrats entstanden war. Zwei Dreiecke wur-

den zu Ärmeln geformt, die man separat anzog, wobei man deren Spitze nach vorne nahm und diese mit der Spitze des zweiten Ärmelteils zusammenband. Damit blieb der Busen frei und war gleichzeitig etwas hochgebunden (Abb. 5).

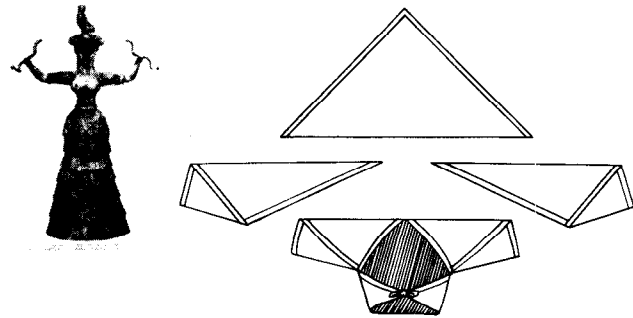


Abb. 5: Die „Schlangengöttin“ aus Knossos (1700-1600 v. Chr.); dem Oberteil der Kleidung liegt das Dreieck als Schnittvorlage zugrunde

Sicher ist man später von dieser „gewickelten“ Bekleidung des Oberkörpers zu einer praktischeren Form gekommen, der Stil jedoch blieb lange erhalten.

Das Relief an der Rückwand der „Großen Kammer“ in Jasili Kaja (etwa 14. bis 13. Jh. v. Chr.) zeigt eine hethitische Göttin mit hoher Kopfbedeckung, die als hoher Ring gearbeitet sein könnte. Der Oberteil wirkt wie ein Kleidungsstück mit langen Ärmeln. Die Herstellung war einfach: Der Oberkörper wird mit einem quadratischen Tuch bedeckt, das in der Diagonale einen Einschnitt als Durchlaß für den Kopf hat. Bei den Händen sind die Spitzen zurückgeschlagen, die beiden anderen Spitzen werden vom Rock bedeckt und durch den Gürtel zusammengehalten. Auch der Rock ist aus einem Dreieck entstanden. Vermutlich wurde der Rock aus Streifen zusammengenäht (Abb. 6).

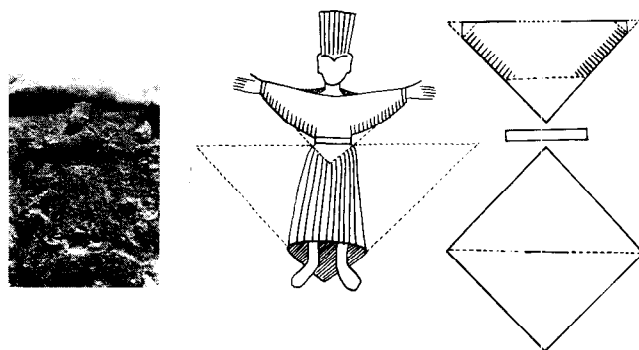


Abb. 6: Die Tracht einer hethitischen Göttin; daneben die Rekonstruktion der Kleidungsform

Diese hinten verlängerten Röcke sind auch von den assyrischen Bogenschützen aus der Zeit Assurbanipals her bekannt, was ein Relief auf Assurbanipals Palast in Ninive beweist.

Ein Felsrelief im Taurusgebirge aus dem 8. Jahrhundert vor Christus zeigt den König Warpalawas als Betenden vor dem Stammesgott Tarchundasch. Das Kleid des Königs ist in Form gearbeitet, vermutlich aus Streifen zusammengesetzt. Der Mantel (Umhang) ist aus einem Dreieck geformt. Ob



ein rechteckiges Tuch zum Dreieck zusammengelegt worden war, oder ob **das** Tuch bereits die Dreieckform aufgewiesen hatte, kann nicht festgestellt werden (Abb. 7).

Jedenfalls ist die Form des Dreiecks sehr bewußt in der Kleidung verwendet.

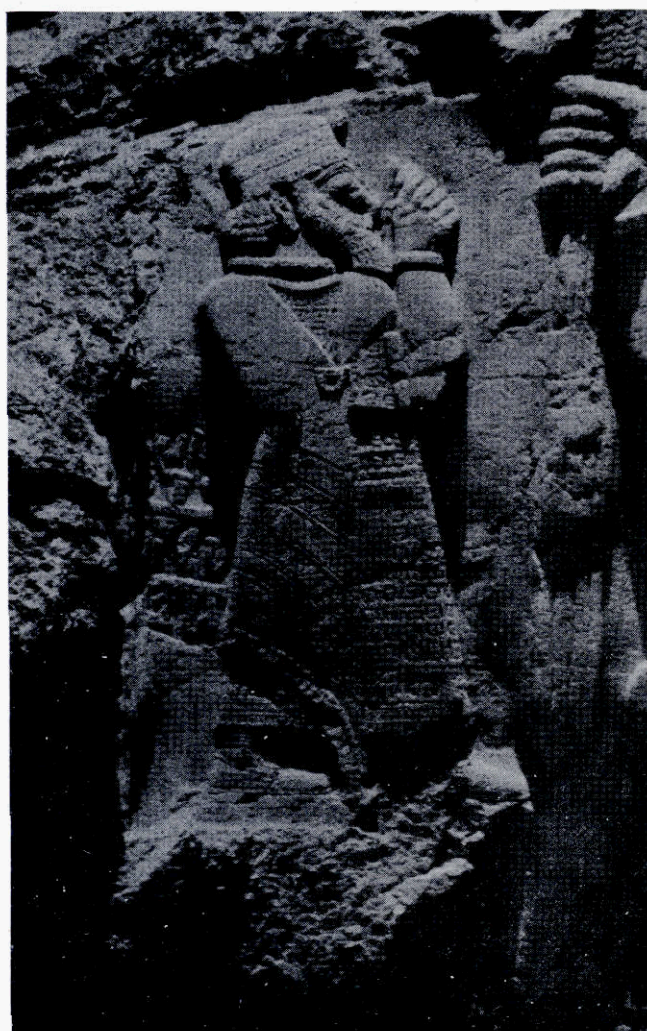


Abb. 7: Hethitische Königstracht (8. Jh. v. Chr.); der Schnitt hierzu beruht auf dem Dreieck

**Zusammengesetzte geometrische Formen**

Ein Relief an der Ostwand der „Großen Kammer“ in Jasilikaja stellt den König Tutchaliia IV. (1250-1200 v. Chr.) dar. Die Kopfbedeckung hat die Form einer Kuppel. Der König trägt ein Kleid mit kurzen Ärmeln nach der Art des Chitons und einen Mantel (Umhang). Von einem rechteckigen Stück Stoff wurde vermutlich ein Dreieck abgeschnitten und an der Seite angesetzt. Der Kopfdurchlaß ist wie damals üblich eingearbeitet und gerade. Durch den auf diese Weise geschaffenen Zuschnitt war es **notwendig**, daß von dem über die Achsel nach vorne kommenden Teil eine große Spitze entstand. Der linke Arm ist bedeckt und nahm die Stoffweite (wie beim Mantel) nach vorne. Diese Form ist durchdacht und überlegt.

Ein derartiger Mantel konnte auch aus einem einzigen, allerdings sehr großen quadratischen Stoffstück erreicht werden.

Dieses mußte die doppelte Körperlänge aufweisen. Das Tuch wurde **hierfür** zuerst so gefaltet, daß sich Viertel bildeten, und **dann** wieder aufgemacht, wobei **man** eine Ecke bis zum Kreuzungspunkt zurücklegte und befestigte. Anschließend legte man das Tuch **neuerlich** zusammen und arbeitete den **Halsausschnitt** ein, und zwar gerade so groß, daß der Kopf hindurch konnte. Die auf **diese Weise** erhaltene Form **war** dann aus doppeltem, die eine Seite sogar aus vierfach geschichtetem Material (Abb. 8).

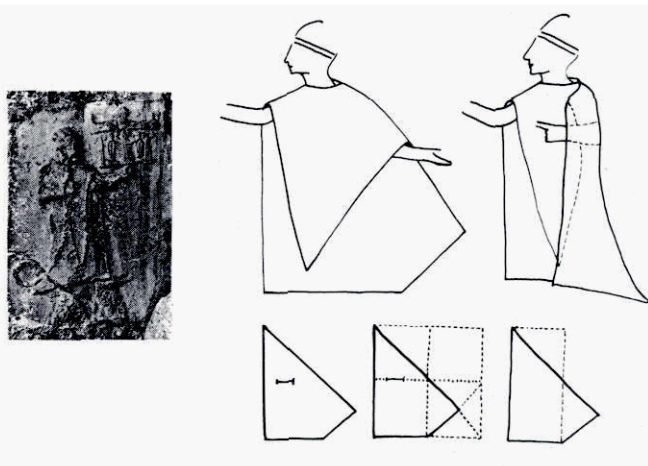


Abb. 8: König Tutchaliia (Hethiter, Kleinasien, 13. Jh. v. Chr.); daneben die Schnittrekonstruktion seines Gewandes

Wer immer eine Kleidungsart erfand, wandte Methoden an, die **zum Teil** ein Geheimnis blieben oder ein Geheimnis wurden. Wie konnten sonst die Menschen mit so wenigen Formen **so** viele Ziele verfolgen?

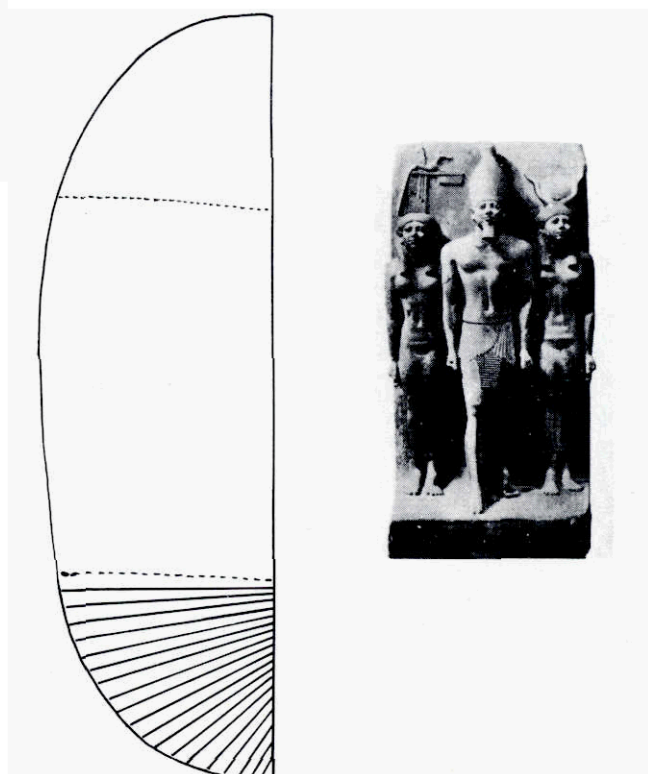


Abb. 9: Ägyptische Götter- und Königstrachten

Der König Mykerinos - zwischen der Göttin Hathor und einer Gaugöttin, die beide mit dem einfachen Kleid in Hemdform aus sehr leichtem Material bekleidet sind, denn die Körperformen sind sehr deutlich zu sehen - trägt einen gefältelten Schurz, der vorne abgerundet ist. Legt man diese Kreisabschnitte zusammen, so ergibt sich ein Halbkreis. Es ist also an einem rechteckigen Streifen auf jeder Schmalseite ein Viertelkreis eingesetzt (Abb. 9).

Wenn man versucht, diese schöne Fältelung zu erreichen, dann erkennt man, daß die Ägypter eine Geschicklichkeit hierfür entwickelt hatten, die wir uns heute gar nicht vorstellen können; ebenso unverständlich ist uns heute die Geduld, die eine solche Fältelung mit der Hand erforderte.

Der Schurz gehört zu den ältesten Kleidungsstücken. Im alten Ägypten wurde er von Königen und Priestern zum Zeichen ihrer Würde angelegt. Der Schurz wurde auch beibehalten, wenn man die „Kalasiris“ (ein altägyptisches Nationalgewand) trug.

Die Statuette eines Funktionärs namens Piai aus der II. Epoche von Theben am Nil zeigt uns die interessante Verwendung eines gefältelten rechteckigen Tuches. In der Taille sind die Falten dicht zusammengehalten, in Kniehöhe wird die Länge hochgenommen (hochgebunden oder hochgesteckt) und die Fältelung auseinandergesogen. Bei dem Stoffteil, der bis zur Länge des Kleides reicht, liegt die Fältelung wieder gerade (Abb. 10).

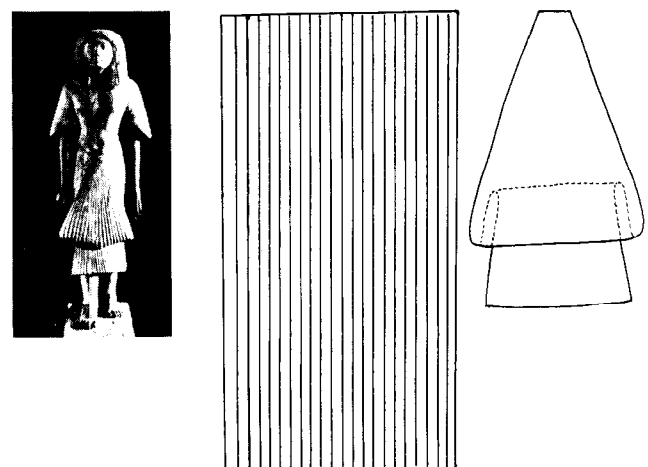


Abb. 10: „Funktionär“ mit interessantem Schurz (ägyptisch)

Der Kreis diente im alten Ägypten auch als Grundform für den Schmuck. Aus zahlreichen Wandmalereien, so zum Beispiel aus jenen, die die Grabkammern der Edlen von Luxor schmücken, sieht man an den Frauen den Kopfschmuck (mit einem Reifen als Grundform), den runden Ohrschmuck und den ebenfalls runden Zierkragen.

Auf die Griechen zurückkommend, können wir sagen, daß auch sie sich mit der Kleidung sehr viel Mühe gegeben haben. Das System hierbei war einfach, es basierte auf dem Rechteck; Variationen davon kannten sie jedoch in vollem Umfang.

„Peplos“ hieß ein altdorisches Frauengewand, das wie die „Chlaina“ des Mannes (ein langer Überwurf aus dickem

Wollstoff) als einziges Kleidungsstück unmittelbar auf dem Körper getragen wurde. Man wickelte ihn von links her unter den Achseln um den Körper. Die oberen Stoffkanten befestigte man mit Gewandnadeln auf den Schultern aneinander. Dieses bis auf die Füße herabreichende Gewand war auf der rechten Seite offen. Eine spätere Entwicklungsform war der durch eine Längsnaht geschlossene Peplos. Dieser hatte einen Überschlag, der wie ein Bolerojäckchen wirkte. Der geschlossene Peplos wurde in der Taille gegürtet, und wenn sich dabei ein Hüftbausch bildete, so nannte man diesen „Kolpos“. Als man an Stelle von Wolle Baumwolle oder Byssus verwendete, etwa seit dem 7. Jahrhundert vor Christus, erhielt dieses Gewand den bereits erwähnten Namen „Chiton“. Peplos und Chiton konnte man zusammen tragen und hatte damit eine Kleidung und eine Überkleidung.

Das Bild der „Trauernden Athena“ (um 460 v. Chr.) zeigt diese Art von Bekleidung. Ob der lose, in Falten gelegte Rock ein zusammengenähtes Rechteck war, oder ob er aus mehreren Stoffbahnen bestand, läßt sich nicht klären, das ist aber unwesentlich. Jedenfalls wirkt der Rock so, wie dies manche bäuerlichen Trachtenröcke auch heute noch tun. Interessant ist der Oberteil der Bekleidung: Ein rechteckiges Stück Stoff umgibt den Körper, die obere Öffnung links ist als Armloch ausgenützt. Bei den Achseln wurde der das Vorderteil und der das Rückenteil bildende Stoff zusammengenommen, wobei die offene Kante als Drapierung auf der linken Seite herabfällt. Die Weite wird mit einem schmalen Gürtel in der Taille zusammengehalten (Abb. 11).

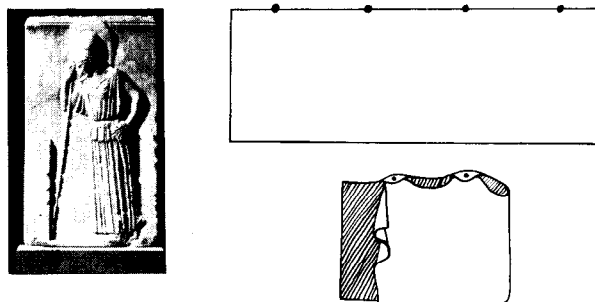


Abb. 11: Griechische Frauentracht (die „Trauernde Athena“, 5. Jh. v. Chr.); daneben die Schnittrekonstruktion

Ein Beispiel schöner Drapierung zeigt das Gewand der „Hera“ vom Tempel E in Selinunte (5. Jh. v. Chr.). Ein großes rechteckiges Tuch ist auf einer Seite so gelegt, daß die Falten Rauten bilden. Dieser Teil hängt von der Schulter nach vorne herab. Oben bei der Achsel ist die für den Mantel notwendige Weite zusammengenommen, von dem hochgehaltenen Arm fließt der Stoff in Falten herab, und die gefältelte Spitze fällt nach vorne. Der Kopf ist mit einem Tuch bedeckt, das die gleichen, aus Falten gebildeten Rauten wie der Mantel aufweist (Abb. 12).

Es wäre wohl möglich gewesen, auch noch den Kopf mit dem Mantel zu bedecken, doch die Bildung des Faltenwurfs ließ dies in diesem Falle nicht zu.

Der Mantel hieß bei den Griechen „Chlamys“, der „Himation“ war ein Übergewand, das Männer und Frauen gleichermaßen tragen konnten. Um den Faltenwurf zu rekonstru-

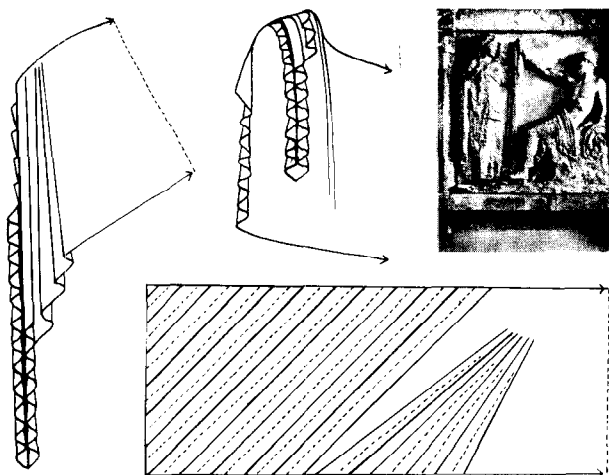


Abb. 12: Beispiel für die Kunst des Drapierens (Gewand der „Hera“, 5. Jh. v. Chr.)

ieren, braucht man viele Hilfslinien (das Bild zeigt dies) und erkennt dabei, wieviel Mühe man sich damals gegeben hat, um einen derart schönen Faltenwurf zu erreichen.

Die Zeremonialkleidung einer „Hohenpriesterin“ vom „Cerro de Los Santos“ (Spanien, vermutlich 5. Jh. v. Chr.) zeigt die Verwendung geometrischer Formen in vielfältiger Anwendung. Der Mantel ist zwar, obwohl reich drapiert, dennoch aus einem quadratischen Stoffstück gemacht. Ob dem als Raute aufgestellten Quadrat oben und unten die Spitze - ein Dreieck - abgeschnitten oder diese nur umgebogen und irgendwie befestigt war, läßt sich nicht klären. Das Zeremonialtuch zeigt eine sehr präzise Fältelung, die Grundlage hierfür war ebenfalls das Quadrat. Mantel und Zeremonialtuch waren sozusagen aus einem „Spiel mit der geometrischen Form“ entstanden (Abb. 13).

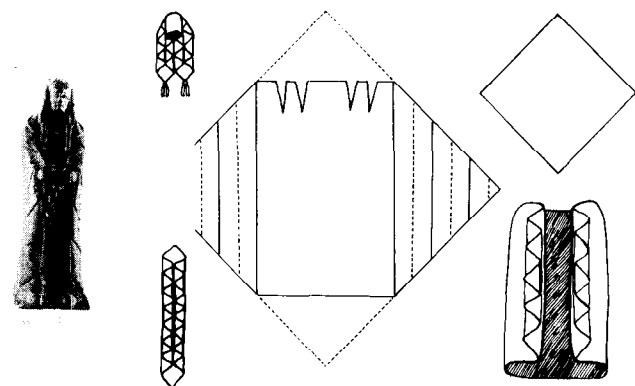


Abb. 13: Statue einer „Hohenpriesterin“ in Zeremonialtracht mit Schmuck (Spanien, 5. Jh. v. Chr.); daneben die Schnittgrundlage

Eine Kombination von Drapierung und Verschnürung ist das typische Merkmal der Kleidung des „Wagenlenkers“ (um 470 v. Chr.). Das reiche Stoffmaterial ergab einen besonders schönen Faltenwurf, den in der Taille ein Gürtel fixierte. Der Oberteil wurde so weit hochgezogen, daß der Saum gerade bis zu den Knöcheln reichte. Interessant ist die Lösung mit dem „Ring“, der die Stoffweite so zusam-

menhielt, daß ein kurzer Ärmel entstand, wodurch die Bewegungsfreiheit für den Wagenlenker gewahrt blieb. Der Ring (ein Riemen) wurde auf dem Rücken gekreuzt und verlief vorne schräg von der Halslinie unter den Armen wieder nach hinten. Man zog diesen überkreuzten Ring wie ein ärmelloses Kleidungsstück an, und schon hatte der Chiton die gewünschte zweckmäßige Form (Abb. 14).

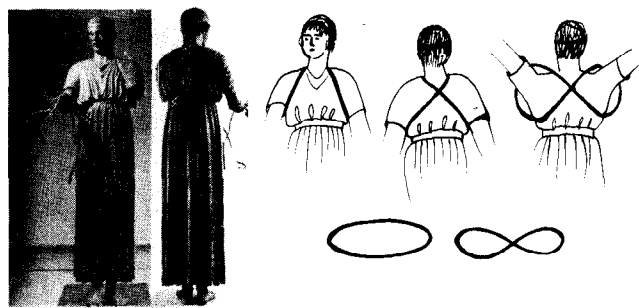


Abb. 14: Der „lange“ Chiton - eine griechische Männertracht (5. Jh. v. Chr.)

Die bereits erwähnte Chlamys der Griechen war ein kurzer, etwa knielanger Mantel, der vor allem von jungen Männern, Kriegern und Reitern über dem Chiton getragen wurde. Dieser Überwurf war thessalischer oder dorischer Herkunft. Ursprünglich war die Chlamys bloß ein viereckiges Tuch, das in der Weise umgelegt wurde, daß die Mitte des oberen Randes über die linke Schulter zur rechten Schulter verlief, wo man es mit einer Fibel zusammenhielt. Der rechte Arm ging zwischen den lose herabfallenden Stoffkanten hindurch und war frei beweglich.

Später wurde eine Ecke des rechteckigen Tuches abgerundet oder beschnitten oder eine halbrunde Chlamys verwendet. (Bei Festspielen trugen die griechischen Jünglinge unter der Chlamys noch einen Hüftschurz.)

In der römischen Kleidung entsprach der Chlamys das „Sagum“ - ein Mantel, ähnlich der „Lacerna“, aus grobem Zeug. Das Sagum - keltischen Ursprungs - wurde später auch von römischen Soldaten getragen. Man faßte es ebenfalls auf der rechten Schulter mit einer Fibel zusammen, jedoch so, daß ein Drittel des Mantels über den rechten Arm fiel.

Ein bescheidener Umhang war die „Chlaina“, auch „Chläna“ (latinisiert) genannt. Sie war ein viereckiges Tuch aus grobem Wollstoff und soll von den Dorern in vorhomerischer Zeit nach Griechenland gebracht worden sein. Die wollene Chläna diente als warmer Mantel und war schlechthin das Nationalgewand des altgriechischen Mannes. Sie war auch die Tracht der Krieger und der Landleute. In der klassischen Zeit war sie die feierliche Tracht des Apollo und die Tracht der Philosophen. Ursprünglich war die Chlaina das einzige Mehrzweckkleidungsstück: am Tage diente sie als Mantel, in der Nacht als Schlafdecke.

Interessant ist der Mantel des Gottes „Hermes“, dargestellt auf einem athenischen Salbenfläschchen, das ungefähr aus der Zeit um 445 v. Chr. stammt. Die Grundform dieses Umhangs weist auf ein Dreieck hin (Abb. 15).

Die „Statua di alti magistrati“ in Aquileja zeigt, daß man zur Römerzeit für den Mantel bereits sehr viel Stoff auf-

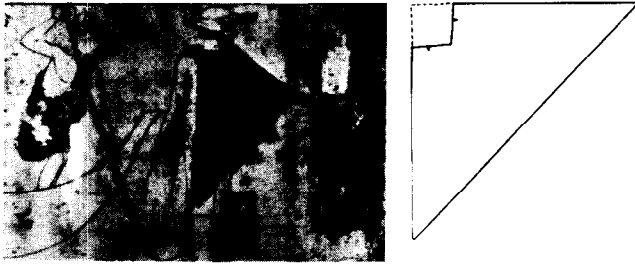


Abb. 15: „Hermes, die Seele einer Verstorbenen zum Fährmann Charon geleitend, der sie auf dem Flusse Acheron ins Totenreich führen soll“; der Gott trägt eine „Chlaina“, abweichend von der Art, wie diese von den griechischen Jünglingen im allgemeinen getragen wurde.

wendete. Die obere Mitte wird vom Stoffbug gebildet, an der rechten Achsel dient eine Fibel als Verschluss. Der Mantel bedeckt nur die linke Achsel und ist auf der rechten Seite offen. Von der Fibel hängt der Stoff in Falten herab. Wenn man also den Schnitt hierfür sucht, so bleibt als Lösung der Kreis. Dieser ist zum Halbkreis zusammengelegt und an der Achsel geschlossen. Ein Teil der oberen Kante hängt herab und leitet den Faltenwurf ein (Abb. 16).

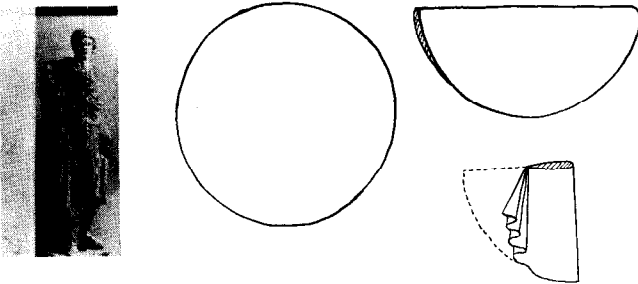


Abb. 16: Ein Mantel, „Diplax“ genannt - eine Tracht vornehmer Römer

Die „Toga“ war die kennzeichnende Tracht des vornehmen Römers. Sie bestand aus einem großen Stück Wollstoff, das man kunstvoll drapierte. Vorne mußte eine tiefe Falte, „Sinus“ genannt, sein, in dieser ruhte der rechte Arm. Die Toga konnte auch in doppelter Stofflage als „Diplax“ (griechisch: doppelt) verwendet werden. Die Griechen wie die Römer legten ihren Mantel, zum Beispiel die „Palla“, bisweilen als Diplax an. Dieser war oft so groß, daß das Anlegen nur mit Hilfe zweier Diener möglich war. Umspinnene Gewichte, an den Enden angebracht, begünstigten den Faltenwurf. Die Toga war meist weiß („toga alba“), bei Trauer dunkel („toga pulla“). Die „toga praetexta“ hatte eingewebte Purpurstreifen und war das Standeskleid hoher Staatsbeamter.

Bei Reisen vertauschte man die Toga mit dem bequemen „Pallium“. Dieser war bei den Römern ein weiter mantelartiger Überwurf, gewöhnlich aus weißem Wollstoff, ähnlich der Chlamys der Griechen. Bei den Römern gab es auch noch einen halblangen, ärmellosen Kapuzenmantel, „Paenula“ genannt, der als Reisemantel wie als Regenmantel Verwendung fand. Ein anderer Umhang in der Art der Chlamys, jedoch mit einer Kapuze, der bei Regenwetter über der Toga getragen wurde, hieß „Lacerna“. Der Schnitt für die Kapuze war ebenfalls aus dem Rechteck entwickelt worden -

die Kohlenträger machen sich auch heute noch manchmal aus einem Sack eine Kapuze, indem sie einfach die abgenähten Ecken ineinanderstülpen.

Dem Chiton entsprach - wie bereits gesagt - die Tunika, das Hemdgewand aus Wolle. Im Haus war sie das einzige Kleidungsstück. Die Männer gürteten die bis an die Knie reichende Tunika sehr kurz, damit sie nicht unter der Toga hervorschauen konnte. Die römischen Frauen bevorzugten die lange, fast schleppende „tunica interior“ oder die „tunica intima“, über die sie die lange „Stola“ drapierten.

Obwohl vom Rechteck, einer einfachen geometrischen Form, ausgehend, zeigen die Gewänder der „Toten des Moores von Egtved“ (Jütland) bereits einen „Schnitt“. (Die Form dieses Schnittes ist jedoch so gewebt und keinesfalls so zugeschnitten worden.) Es handelt sich dabei um den Leib (Oberteil) eines germanischen Frauengewandes. Der Kopfdurchlaß blieb offen, ebenso die Armlänge bis zur Weite des Leibes. Dieser Armteil wurde zurückgeschlagen und zusammengenäht. Auf die gleiche Art wurden auch die Vorderteile (Sattelteil und Leibteil) miteinander verbunden. Diese Bekleidungsart dürfte für die drei bis acht Perioden der Bronzezeit (1400-650 v. Chr.) typisch sein.

Diese Kleidung war praktisch und hinsichtlich des Stoffverbrauchs sehr sparsam, was sicher dazu beigetragen hatte, daß die Germanenfrauen so lange an dieser Form festgehalten haben. Die Männer trugen bereits einen Mantel, der unten abgerundet war, doch kann dabei die Anwendung der Kreisform nicht aufgezeigt werden.

Interessant ist, daß der gleiche Schnitt (nur ist hier vorne Mitte die Öffnung gelassen und der Halsausschnitt rund ausgeschnitten) im Jahre 1942 von einer Frau Elfriede Pflüger für den Hemdenschnitt eines Babys empfohlen wurde. Sie schreibt: „Die nebenstehende Zeichnung zeigt Ihnen einen Hemdenschnitt für Kleinkinder, den ich am sparsamsten halte, da man mit fast der Hälfte Stoff auskommt, zumindest aus einem Stück drei statt zwei Hemden erhält.“ Abbildung 17 zeigt beide Schnitte in Gegenüberstellung.

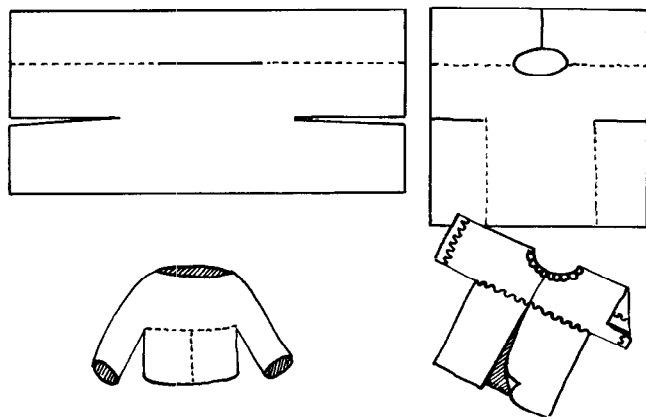


Abb. 17: Dem Zuschnitt der germanischen Frauentracht abgesehen wurde dieser Schnitt für ein Babyhemd.

Ganz andere Gesetze für den Zuschnitt liegen den Gewändern Kaiser Justinians (ca. 547 n. Chr.) und seines Gefolges zugrunde. Die Basis für diesen Manteltyp bildet der Halbkreis. [Charakteristisch für den auf der rechten Schulter be-



festigten Mantel des Kaisers ist aber nicht nur der Zuschnitt allein, sondern auch das an den Kanten eingesetzte (oder aufgesetzte), „Clavus“ genannte Eck aus einem abstechenden Stück Stoff mit reicher Ornamentierung. Dieses verzierte Eck war das Rangabzeichen der betreffenden Persönlichkeit. Es galt für den Kaiser ebenso wie für die hohen Staatsbeamten im römisch-byzantinischen Reich.] Immer noch wird der linke Arm vom Umhang bedeckt, während sich der rechte Arm ungehindert bewegen kann, da dort die offenen, jedoch eingeschlagenen Stoffseiten liegen (Abb. 18).

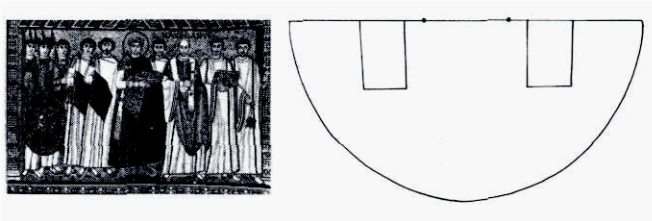


Abb. 18: Byzantinische Kleidung (um 600 n. Chr.)

Die „Heilige Lucia“ und die „Heilige Cecilia“ (ein Mosaik aus dem 6. Jh.) in der Neuen Sankt Apollinarus Basilika zeigen eine interessante Bekleidung. Das Unterkleid hat halblange Ärmel, der Rock ist lang, vorne in der Mitte hängt eine rechteckige Form herab. Darüber wird ein Kleid aus schön gemustertem Material getragen. Dieses hat einen losen Leib mit kurzen Ärmeln, der Kopfdurchlaß ist mit einer Blende eingefast. In der Taille ist es umgürtet. Der Rock ist auf der rechten Seite fast bodenlang und bildet eine Spitze. Auf der linken Seite reicht er nur bis zum Knie. Dem Muster nach muß dieses Gewand aus einem Dreiecktuch entstanden sein oder aus einem zusammengelegten Quadrat. Das rechteckige Tuch, die Stola, auf das die Krone gelegt wird, ist zu einem schönen Faltenwurf drapiert (Abb. 19).

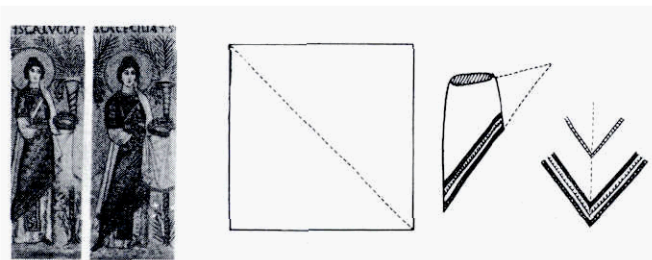


Abb. 19: Die „Hl. Lucia“ und die „Hl. Cecilia“; beider Kleidung weist geometrische Elemente (Quadrat, Dreieck) auf.

Mit dem Erscheinen der „zugeschnittenen“ Grundkleidungsstücke verschwanden die auf einfachen geometrischen Formen beruhenden Gewänder allmählich. Die, die wir heute noch immer antreffen, sind den bereits beschriebenen, die auf dem Rechteck, dem Dreieck und dem Kreis sowie auf Kombinationen davon zur Gänze basieren, recht ähnlich. Zuschnitte nach den einfachen geometrischen Formen werden von nun an vorwiegend bei dekorativer oder bei schützender Oberbekleidung angetroffen.

Die Bronzestatuetten Karls des Großen (Abb. 20) aus dem Dom zu Metz (jetzt in Paris), zeigt, daß noch im 9. Jahrhundert für die Überbekleidung ein rechteckiges Stück Stoff

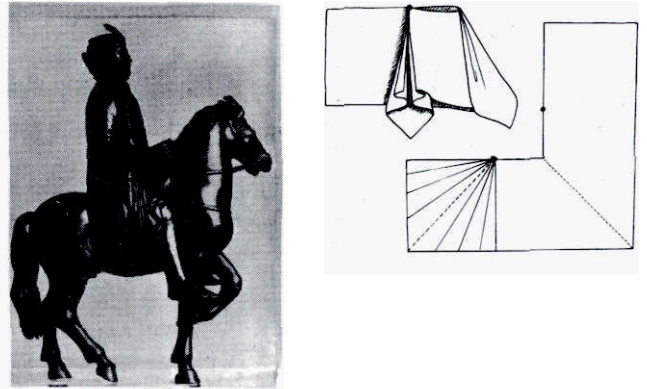


Abb. 20: Beispiel der dekorativen Wirkung geometrischer Formen an der Kleidung Karls des Großen

dienen konnte. Dieses hatte ungefähr viermal die Körperbreite und eine Länge, die etwa bis zur Hüfte reichte. Von der linken Seite her wurde der Stoff um den Körper gelegt und auf der Achsel festgehalten (entweder mit einer Fibel oder mit einem Knopf). Die von der Länge nach unten hängenden Teile wurden in möglichst gleichmäßigen Falten drapiert. Da nun aber rechts und links die Stoffenden spitz herunterhängen, kann man annehmen, daß man zwei Stoff-



Abb. 21: Dante Alighieri (1265-1321) in einer Kleidung seiner Zeit

rechtecke so zusammengefügt hatte, daß drei solcher Spitzen entstanden. Mir ist kein rechteckiger Mantel eines Herrschers in dieser Form bekannt.

Es verwundert nicht, daß auch der berühmte italienische Dichter der Renaissance Dante Alighieri (Abb. 21) eine aus geometrischen Formen entwickelte Kleidung trägt. Das Bild zeigt ihn mit einer Oberbekleidung, die aus einem Halbkreis entwickelt worden sein könnte. Der Vorderteil ist bei der Achsel eingehalten, der hintere Achselteil ist nach vorne gezogen. Auf der Seite ist das grüne Oberkleid hochgesteckt und fällt in reichem Faltenwurf herab. Immer noch ist der „antike Faltenwurf“ für die Künstler interessant. (Dante Alighieri lebte 1265 bis 1321 und stand oft im Blickfeld seiner Zeitgenossen.)

In späteren Perioden, in denen Mieder und Reifröcke im Mittelpunkt der Mode standen, verblieb den einfachen geometrischen Formen fast nur noch die Verwendung als Schnittgrundlage für Schals, Tücher und Umhänge („Lenzinger Berichte“, Heft 23/1967).

Erst die Künstler der „Wiener Werkstätten“ haben als Männerkleidung, vor allem als abendliche Hauskleidung, wieder den Chiton - nun als „Kimono“ bezeichnet - vorgeschlagen; allerdings sah dieser Vorschlag zu den modernen Herrenhemden und Krawatten recht merkwürdig aus. Daher blieb dieses Bestreben ein Vorschlag.

Die neueste Zeit mit ihrer bequemen, freizügigen Kleidung räumt jedoch auch der geometrischen Form wieder den ihr gebührenden Platz ein: Wetterflecke, Umhänge, Ponchos werden wieder gerne getragen (Abb. 22).

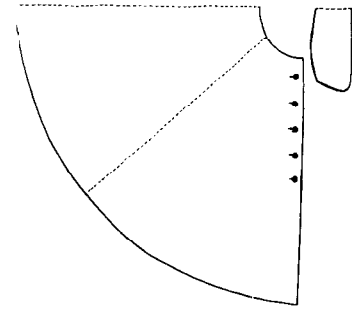


Abb. 22: Die geometrische Form als „Idee“ für die Bekleidung der Gegenwart

In der Gegenwart kommen die Modeschöpfer neuerdings auf die Idee zurück, „Kleider ohne Schnitt“ zu machen. So hat zum Beispiel Jaques Esterel im Jahre 1972 diesen Stil propagiert. Modern wurde ein Strandüberwurf - ein einfaches rechteckiges Stück Stoff mit dem Kopfdurchlaß in der Mitte -, den man als Kleid tragen, aber auch als Decke benutzen kann, wenn man gerade auf einer Wiese liegen will. Die Modeklasse der Wiener Hochschule für angewandte Kunst versuchte Entwürfe im Stil des Kimonos. Freilich wurden diese Kleider mit dekorativen Mustern verziert. Somit steht die einfache geometrische Form wieder im Interesse bei der Kleidung von heute.

Zurückblickend sehen wir, daß geometrische Formen, wie Rechteck, Quadrat, Dreieck und Kreis, bereits in der Antike als Grundlage für den „Schnitt“ eines Kleidungsstückes dienten, und sie tun dies noch immer.

HÖLLER-EISEN

GROSSHANDELSGESELLSCHAFT m.b.H.

## IHR PARTNER

IM BERUF: Werkzeuge, Maschinen für Industrie und Gewerbe, Spenglerei-Bedarfsartikel, Beschläge, Baubedarf, land- und forstwirtschaftliche Geräte, sanitäre Bedarfs- und Ausstattungartikel, Zentralheizungsbedarf, Werkserzeugnisse.

IN DER FREIZEIT: Sportartikel, Angelgeräte, Waffen, Jagdbedarf, Garten- und Campingmöbel, Fitness-Geräte, Bergsportartikel.

IM HAUSHALT: Haushalts- und Küchengeräte, Haushaltsmaschinen, Radios und Fernseher, Sitz- und Liegemöbel, Wasch-, Reinigungs- und Bodenpflegemittel

UND IN 100 ANDEREN FÄLLEN

HÖLLER-EISEN

GROSSHANDELSGESELLSCHAFT m.b.H.

GMUNDEN, OBERWEIS, SALZBURG, LINZ, TRAUNKIRCHEN