



Wolfgang Bobeth (Hrsg.),
W. Berger, H. Faulstich, P. Fischer, A. Heger,
H.-J. Jacobasch, A. Mally und I. Mikut

Textile Faserstoffe

Beschaffenheit und Eigenschaften

Mit 201 Abbildungen und 120 Tabellen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

Hong Kong Barcelona Budapest

Professor Dr.-Ing. WOLFGANG BOBETH

Institut für Technologie der Fasern (vorm.)
Hohe Straße 6
8010 Dresden

Die Autoren dieses Buches waren an der Abfassung der einzelnen Kapitel wie folgt beteiligt:

Prof. Dr. rer. nat. habil. WERNER BERGER – Kap. 2 und 12; Prof. Dr.-Ing. habil. WOLFGANG BOBETH – Kap. 1, 3 bis 7, 9, 10; Dr.-Ing. HEIDEMARIE FAULSTICH – Kap. 5; Dr. rer. nat. PETER FISCHER – Kap. 2 und 12; Prof. Dr. sc. techn. ADOLF HEGER – Kap. 8; Prof. Dr. sc. nat. HANS-JÖRG JACOBASCH – Kap. 4; Dr.-Ing. ANNEROSE MALLY – Kap. 2, 5 bis 9, 12; Doz. Dr.-Ing. habil. INGEBORG MIKUT – Kap. 11.

ISBN-13:978-3-642-77656-4 e-ISBN-13:978-3-642-77655-7
DOI: 10.1007/978-3-642-77655-7

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Textile Faserstoffe: Beschaffenheit und Eigenschaften ; mit
120 Tabellen / Wolfgang Bobeth (Hrsg.). Bearb. von W. Berger
... – Berlin ; Heidelberg ; New York ; London ; Paris ; Tokyo ;
Hong Kong ; Barcelona ; Budapest : Springer, 1993
ISBN-13:978-3-642-77656-4 (Berlin ...)
NE: Bobeth, Wolfgang [Hrsg.]; Berger, Werner [Bearb.]

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1993
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1993

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: Erich Kirchner, Heidelberg; Innengestaltung und Herstellung: Hans Schönefeldt, Berlin;

Autorenverzeichnis

Prof. Dr. rer. nat. habil. WERNER BERGER,
Technische Universität Dresden, Sektion Chemie,
Wissenschaftsbereich Hochpolymere und Textilchemie,
Mommsenstr. 13, O-8027 Dresden

Prof. Dr.-Ing. habil. WOLFGANG BOBETH,
Jägerstr. 15, O-8060 Dresden

Dr.-Ing. HEIDEMARIE FAULSTICH,
Technische Universität Dresden, Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik,
Wissenschaftsbereich Textil- und Bekleidungstechnik, Mommsenstr. 13,
O-8027 Dresden

Dr. rer. nat. PETER FISCHER,
Technische Universität Dresden, Sektion Chemie,
Wissenschaftsbereich Hochpolymere und Textilchemie,
Mommsenstr. 13, O-8027 Dresden

Prof. Dr. sc. techn. ADOLF HEGER,
Zamenhofstr. 9, O-8045 Dresden

Prof. Dr. sc. nat. HANS-JÖRG JACOBASCH,
Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Hohe Str. 6, O-8010 Dresden

Dr. Ing. ANNEROSE MALLY,
Institut für Polymerforschung Dresden e.V., Hohe Str. 6, O-8010 Dresden

Doz. Dr. sc. techn. INGEBORG MIKUT,
Technische Universität Dresden, Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik,
Wissenschaftsbereich Textil- und Bekleidungstechnik, Mommsenstr. 13,
O-8027 Dresden

Vorwort

Dieses als Kompendium charakterisierte Buch vermittelt Grundwissen über die äußere Beschaffenheit sowie die Eigenschaften textiler Faserstoffe. Es ist in erster Linie für ingenieurmäßig tätige Technologen gedacht, die mit der Herstellung, Verarbeitung oder dem Einsatz textiler Faserstoffe maßgebend verbunden sind. Für sie ist es unumgänglich, sich ausreichend mit der chemisch-strukturellen Beschaffenheit, den zahlreichen Eigenschaften sowie den Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Fasern zu befassen, denn solide Kenntnisse über elementare Zusammenhänge sind Voraussetzung für eigenständiges und schöpferisches Denken sowie kritisches Entscheiden. Sie sollen den Fachmann auch befähigen, sachkundig zu beurteilen, in welchen Fällen z. B. rechnergestütztes Arbeiten zum Auffinden korrelativer Zusammenhänge zwischen verschiedenen Eigenschaften sinnvoll ist und eine Entscheidungsfindung unterstützen kann.

Die hier interessierenden Eigenschaften der gebräuchlichen textilen Faserstoffe werden möglichst vergleichend betrachtet, was mit zahlreichen Tabellen und Diagrammen verbunden ist und diesem Buch z. T. den Charakter eines Nachschlagewerkes gibt. Mitunter sind Anwendungsbeispiele aus Forschung und industrieller Praxis zum besseren Verständnis bzw. zur Nutzenanwendung eingeflochten. Umfangreiche Literaturhinweise zeigen außerdem Möglichkeiten zu weiterführenden Studien auf. Dabei wurde auch ältere Literatur herangezogen, die sich durch bemerkenswerte Systematik und Anschaulichkeit auszeichnet und oft zu Unrecht vergessen wird.

Der in diesem Buch zusammengetragene Stoff basiert einerseits auf Vorlesungen für Technologen an der Technischen Universität Dresden (Prof. Berger, Prof. Bobeth, Dr. Faulstich, Dr. Mally, Doz. Mikut), andererseits auf Forschungsarbeiten im Institut für Technologie der Fasern – seit 1984 Institut für Technologie der Polymere, seit 1992 Institut für Polymerforschung Dresden e. V. – (Prof. Bobeth, Prof. Heger, Prof. Jacobasch, Dr. Mally) und berücksichtigt einschlägige Literatur bis 1991.

Das Manuskript wurde im Frühjahr 1990 vertragsgerecht einem DDR-Verlag übergeben. Dieser sah sich nach der Vereinigung Deutschlands aus finanziellen Gründen nicht mehr in der Lage, seinen Verpflichtungen nachzukommen und reichte im Februar 1991 das Manuskript zurück. Dankenswerterweise war der Springer-Verlag Heidelberg bereit, die Drucklegung zu übernehmen. Allerdings machte es die neue gesamtdeutsche Situation erfor-

derlich, das Manuskript hinsichtlich der terminologischen Gegebenheiten, Normen und der neueren Fachliteratur zu überarbeiten. Hier sei lediglich auf die Schutzrechtsprozesse um den Fabrikatnamen „Gütermanns Nähseide“ vor und nach dem Krieg vor den höchsten Gerichten in Leipzig bzw. Karlsruhe hingewiesen. Danach durften in der Bundesrepublik Deutschland bei Chemiefasern Wortverbindungen mit Seide (Begriff ist geschützt für Naturseide), wie Chemie-, Viskose-, *Perlon*-Seide nicht benutzt werden, was zu den Ersatzlösungen Endlosgarn bzw. Filamentgarn führte. Der Oberbegriff Faserstoffe durfte zudem durch Faser ersetzt werden, die endlich (Spinnfaser) oder endlos (Filament) ist. In der ehemaligen DDR wurden diese Ersatzlösungen nicht eingeführt.

Für die Anregung, dieses Buch herauszugeben, bin ich besonders meinem Kollegen Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Offermann dankbar und hoffe, daß es ihm in absehbarer Zeit möglich sein wird, im Sinne einer Fortsetzung zu diesem Buch die Grundlagen textiler Verarbeitungsmethoden sowie die Eigenschaften der erhaltenen Halb- und Fertigfabrikate zu veröffentlichen. Vielseitige Unterstützung erhielt ich als Emeritus im Institut für Technologie der Polymere (vormals zur Akademie der Wissenschaften der DDR gehörig) durch anregende Diskussion, Literaturbereitstellung, Schreib-, Zeichnungs- und Vervielfältigungsarbeiten. Für diese stets problemlose Förderung meiner Arbeit möchte ich den betreffenden Mitarbeitern meinen Dank aussprechen.

Mein besonderer Dank für nützliche gutachterliche Tätigkeit gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. H.-J. Flath und Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. P. Offermann. Gleichmaßen danke ich Frau Dr.-Ing. Mally für ihren unermüdlichen Einsatz bei der erforderlichen Manuskriptaktualisierung.

Ganz besonders danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. H. Zahn, der es ermöglichte, das Manuskript im Zusammenhang mit dessen Aktualisierung vor der Drucklegung gutachterlich durchzusehen und wertvolle Anregungen und Hinweise gab.

Dresden, im November 1992

Wolfgang Bobeth

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	Literatur	8
2	Struktur der textilen Faserstoffe	9
2.1	Einführung	9
2.2	Molekulare Struktur	14
2.3	Übermolekulare Ordnungszustände	40
2.3.1	Intermolekulare Wechselwirkungen	42
2.3.2	Packungs- bzw. Faserdichte	45
2.3.3	Kristallinität	46
2.3.4	Orientierung	56
2.4	Strukturverhalten bei Temperatur- und Lösemiteleinwirkung	59
2.4.1	Glastemperatur	59
2.4.2	Schmelztemperatur – Schmelzverhalten von Polymeren	64
2.4.3	Löseverhalten der Polymere	67
2.4.4	Eigenschaften von Polymerschmelzen und -lösungen	70
2.5	Struktur und Färben	74
2.6	Betrachtungen zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	81
	Literatur	86
3	Fasergeometrie	89
3.1	Länge	89
3.2	Kräuselung	94
3.3	Feinheit	99
3.4	Querschnitt	103
3.5	Eigenschaftsbeeinflussungen	112
	Literatur	115

4	Topographie und Oberflächeneigenschaften	117
4.1	Topographie	117
4.1.1	Mikroskopische Charakterisierung	117
4.1.2	Physikalisch-chemische Messungen	131
4.1.3	Zusammenhang zwischen Topographie und technologischen Fasereigenschaften	136
4.2	Oberflächenkräfte	140
4.2.1	Einteilung der Oberflächenkräfte	140
4.2.2	Charakterisierung der von den Oberflächen ausgehenden Wechselwirkungskräfte	143
4.2.3	Wechselwirkungskräfte an Fasern	148
4.2.4	Einfluß der Wechselwirkungskräfte auf das Verarbeitungs- und Gebrauchsverhalten	150
	Literatur	154
5	Mechanische Eigenschaften	157
5.1	Thermodynamische und rheologische Aspekte	157
5.2	Zugbeanspruchung	164
5.2.1	Zugfestigkeit und Dehnbarkeit	164
5.2.2	Kraft-Dehnungs-Diagramme	175
5.2.3	Elastisches Verhalten	184
5.2.4	Wechselzugbeanspruchungen	193
5.2.5	Einflüsse auf Festigkeit und Dehnung	197
5.2.6	Schrumpfverhalten nach Zugbeanspruchung	199
5.3	Biegebeanspruchungen	202
5.4	Druckbeanspruchungen	213
5.4.1	Druckbeanspruchung durch Walzen	213
5.4.2	Statische radiale Quetschbeanspruchung	217
5.4.3	Axialdruckbeanspruchung	218
5.5	Torsionsbeanspruchung	221
5.6	Scheuerbeanspruchung	225
	Literatur	227
6	Verhalten bei Feuchte- bzw. Wassereinwirkung	231
6.1	Definitionen	231
6.2	Sorptionsverhalten	233
6.3	Feuchteeinfluß auf die äußere Beschaffenheit	242
6.4	Feuchteeinfluß auf die physikalischen Eigenschaften	243
6.5	Feuchtetransport und Trocknung	246
	Literatur	251

7	Thermisches Verhalten	253
7.1	Thermische Kenngrößen	253
7.2	Eigenschaftsänderungen durch Wärmeeinwirkung	257
7.2.1	Mechanische Eigenschaften	257
7.2.2	Formbeständigkeit	262
7.3	Eigenschaftsveränderungen bei tiefen Temperaturen	265
7.4	Brennverhalten	269
7.5	Brennbarkeitsminderung	281
	Literatur	283
8	Verhalten bei Einwirkung ionisierender Strahlen	285
8.1	Strahlungsarten, Wechselwirkungen mit Materie	285
8.2	Strahlungsreaktionen an Polymeren	287
8.3	Eigenschaftsbeeinflussung von textilen Faserstoffen und Textilien durch strahlenchemisch initiierte Pfropfung	290
	Literatur	295
9	Elektrische Eigenschaften	297
9.1	Dielektrisches Verhalten	297
9.2	Widerstand bzw. Leitfähigkeit	302
9.3	Elektrostatische Aufladung	307
	Literatur	318
10	Gebrauchsminderung durch Alterung und biologische Einwirkungen	320
10.1	Bedeutung des Alterungsvorganges	320
10.2	Alterungsmechanismus	323
10.3	Einflüsse auf die Alterung	324
10.3.1	Wärmeeinwirkung	324
10.3.2	Feuchteinwirkung	325
10.3.3	Luft- bzw. Sauerstoffeinwirkung	326
10.3.4	Optische und ionisierende Strahleneinwirkung	326
10.3.5	Mikroorganismeneinwirkung	333
10.3.6	Komplexe Umwelteinwirkung (Bewetterung)	337
10.4	Insekten- und Kleintierschäden	340
	Literatur	343

11	Optische Eigenschaften	346
11.1	Physikalische Grundlagen	346
11.2	Wahrnehmungen der Wechselwirkung optischer Strahlen mit Fasern ohne Zustandsänderung	349
11.2.1	Farbe	349
11.2.2	Weißgrad	354
11.2.3	Glanz	354
11.2.4	Schmutzsichtbarkeit	357
11.2.5	Fluoreszenz	357
11.2.6	Lichtleitung	359
11.3	Zustandsänderungen von Fasern durch optische Strahlen . . .	359
11.4	Zustandscharakterisierung mit elektromagnetischen Strahlen .	361
	Literatur	366
12	Verhalten bei Einwirkung von Chemikalien sowie Faseridentifizierung	368
12.1	Einfluß der Struktur der Fasern auf ihr chemisches Verhalten .	369
12.2	Faseridentifizierung	382
	Literatur	394
	Symbolverzeichnis	396
	Abkürzungsverzeichnis	408
	Anhang	410
Anhang 1	Gültige und veraltete Feinheitssysteme sowie Umrechnungsbeziehungen	410
Anhang 2	Umrechnung alter und neuer Maßeinheiten von Kräften . .	411
Anhang 3	Umrechnung alter und neuer Maßeinheiten von Spannungen, Festigkeiten, Drücken	412
	Sachverzeichnis	413

1 Einleitung

Die beeindruckende Entwicklung der Textilindustrie in diesem Jahrhundert ist den großen, kaum für möglich gehaltenen Fortschritten der Naturwissenschaften sowie der Technikwissenschaften zu verdanken. Ständig waren Experten bestrebt, die neuesten Erkenntnisse und Entwicklungen zum Nutzen dieses Industriezweiges und der Verbraucher neuer Produkte anzuwenden, wobei immer mehr Wissensgebiete und Ressourcen einbezogen wurden. Daß bei dieser rasanten Entwicklung allerdings auch Gefahren für Mensch und Umwelt entstanden, ist erst in neuerer Zeit hinreichend erkannt worden – ebenfalls wieder durch neue Erkenntnisse der Naturwissenschaften sowie der Medizin. Es sei hier nur hingewiesen auf Asbestprobleme, Formaldehydreste bei Knitterarmausrüstungen, Chlorbleichrückstände, Waschmittelreste, Tetrachlorkohlenstoff und Fluorchlorkohlenwasserstoffe bei chemischer Reinigung bzw. Veredlung, einige allergieauslösende Farbstoffe und Begleitsubstanzen. Die Umweltministerien vieler Industrieländer sind heute darum bemüht, auf gesetzlichem Wege regulierend einzugreifen, was auch die Auswirkungen der Fabrikation auf Abwässer und Abluft betrifft. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß Textilien oft aus solchen Ländern importiert werden, die Umweltgesetzen weniger oder gar nicht unterliegen und dadurch wirtschaftliche Vorteile haben.

Die zahlreichen heute zur Verfügung stehenden und hier interessierenden *Arten textiler Faserstoffe* sind in Abb. 1.1 (s. hinterer Vorsatz) auf der Basis ihrer Herkunft unterteilt. Dieser Übersicht sind die Substanzen der Naturfasern zu entnehmen, die pflanzlicher, tierischer oder anorganischer Herkunft sein können. Wesentlich vielgestaltiger sind die Chemiefasern, die erstens aus natürlichen Polymeren pflanzlichen, tierischen oder anorganischen Ursprungs, zweitens aus synthetischen Polymeren organischen oder anorganischen Ursprungs oder drittens aus Nichtpolymeren anorganischen Ursprungs bestehen und hinsichtlich Struktur, Chemismus und Herstellungsverfahren stark variieren. Die angeführten Markennamen beschränken sich auf wenige, meist weltbekannte Beispiele.

Naturfasern sind vorwiegend längenbegrenzt. Lediglich die Kokonfasern seidenspinnender Insekten, z. B. *bombyx mori*, weisen ungewöhnlich große Längen auf, so daß diese nach DIN 60001, Teil 2, als endlose Fasern gekennzeichnet werden. Die gleiche Norm bezeichnet alle endlichen Fasern als Spinnfasern, auch wenn sie nicht versponnen werden, sondern zur Herstellung von Vliesstoffen, Filzen, Watten u. a. Verwendung finden. Ferner sind folgende

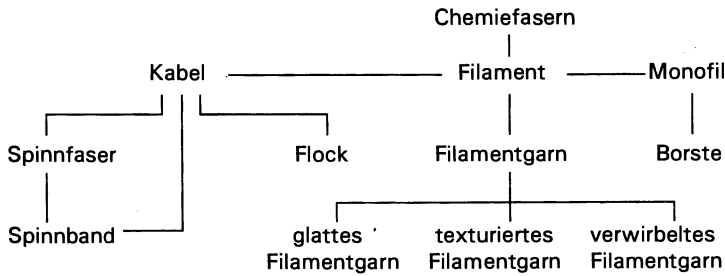


Abb. 1.2. Benennungen für Herstellungsformen von Chemiefasern (nach DIN 60001, Teil 2)

Tabelle 1.1. Pro-Kopf-Verbrauch (kg/Kopf) von textilen Faserstoffen 1986/1987 in ausgewählten Ländern [1]

Land	Jahr	Chemiefasern		Wolle	Baumwolle	Leinen	Insgesamt
		cellulose	synthetische				
Welt	1986	0,6	2,6	0,4	3,5	0,2	7,3
Bundesrepublik Deutschland	1987	2,1	7,6	2,1	9,6	0,1	21,5
Frankreich	1987	1,4	6,0	1,2	6,5	0,1	15,2
Großbritannien	1987	1,3	9,5	1,7	6,3	0,1	19,0
Österreich	1987	2,7	6,8	2,1	8,2	0,8	20,5
Schweiz	1987	1,7	8,3	2,6	10,3	0,2	23,1
UdSSR	1987	2,1	3,6	1,6	7,4	1,2	15,8
USA	1987	1,3	14,2	0,7	10,4	0,5	27,1
Japan	1987	1,5	7,6	1,7	9,3	0,1	20,3
China	1986	0,2	1,4	0,2	3,5	0,2	5,4
Indien	1986	0,2	0,3	0,0	1,8	0,0	2,4
Pakistan	1986	0,2	0,3	0,1	1,3	0,0	1,8
Saudi Arabien	1986	2,2	14,0	1,5	5,9	0,4	23,9
Ägypten	1986	0,4	1,2	0,1	4,4	0,2	6,2
Kenia	1986	0,1	0,6	0,1	0,5	–	1,3
Tansania	1986	0,1	0,2	0,0	0,6	–	0,8
Australien	1987	1,1	10,3	2,2	8,0	0,1	21,7

Fachausdrücke genormt: Linters (nicht verspinnbare Kurzfasern des Baumwollsamens), Kämmlinge (fallen beim Kämmprozess an), Schappe (bei Haspel-seidenherstellung anfallende längenbegrenzte Fasern), Bourette (beim Schappespinnprozess anfallende Abfallfasern), Werg (bei der Aufbereitung von Bast- und Hartfasern in Form von Wirrfasern anfallender Abfall), Flockenbast (mechanisch und/oder chemisch aufgeteilte Bastfasern, deren Längen denen der Baumwolle nahe kommen – „Kotonisierung“).

Tabelle 1.2. Entwicklungstrend des Weltaufkommens wichtiger Fasergruppen seit 1970 (in Anlehnung an [1–3])

Faser	Entwicklungstrend des Faseraufkommens (kt) während der letzten 20 Jahre	
Naturfasern	→ etwa	22 000
Baumwolle, entkörnt	11 000 →	18 500
Flachs	600 —	900
Hanf	150 —	250
Jute	300 —	600
Sisal	400 —	500
Wolle, gewaschen	1 600 →	2 000
Seide	40 →	70
Chemiefasern	→ etwa	18 860
Cellulosefasern	3 400 ←	3 200
Synthesefasern	4 900 →	15 660
PES	1 600 →	8 445
PA	1 900 →	3 750
PAN	1 000 → 2 600 ←	2 250
Anorganische Fasern		
Glasfasern	700 →	2 000

→ steigend

← sinkend

— schwankend

Für *Chemiefasern* enthält DIN 60001, Teil 2, zahlreiche Begriffe, die sich auf die möglichen Herstellungsformen beziehen (Abb. 1.2). Unter Filament (auch als Kapillare bzw. Elementarfaden bezeichnet) wird eine Faser praktisch endloser Länge verstanden. Ist deren Durchmesser $> 0,1$ mm, spricht man von einem Monofil (Draht). Ein Kabel besteht aus einer Vielzahl von Filamenten ohne oder mit nur geringfügiger Drehung, ein Filamentgarn (vormals auch als Chemieseide bezeichnet; Glasseide ist noch in Anwendung) besteht aus einem bzw. mehreren Filamenten mit oder ohne Drehung. Fasern endlicher Längen werden wie bei den Naturfasern als Spinnfasern bezeichnet. Ein Spinnband entsteht aus einem Kabel durch Schneiden der Filamente unter Beibehaltung der Parallellage der entstandenen Spinnfasern. Flock sind meist kürzere Fasern zur Beflockung von Flächengebilden. Monofile endlicher Länge sind Borsten. Weitere Angaben zur Fasergeometrie sind Kap. 3 zu entnehmen.

Textile Faserstoffe stellen wirtschaftspolitisch eine bedeutsame *Rohstoffressource* dar, die den Bedarf der wachsenden Weltbevölkerung an Textilien (1950: 2,5 Mrd., 2000: etwa 5,6 Mrd. Menschen) decken soll. Der gegenwärtige *Pro-Kopf-Verbrauch* an Fasern ist in Tabelle 1.1 für ausgewählte Länder mit unterschiedlichem Lebensstandard wiedergegeben. Daraus geht hervor, daß die quantitative Entwicklung der Textilfasern im Vergleich zur Entwicklung der Weltbevölkerung überproportional sein muß. Der gegenwärtige Stand der Weltproduktion wichtiger Fasergruppen ist Tabelle 1.2 zu entnehmen. Dieser bis 1970 zurückreichende Überblick läßt überwiegend Produktionssteigerun-

Tabelle 1.3. Chemiefaserverbrauch 1987–1989 für die wichtigsten Einsatzgebiete in der Bundesrepublik Deutschland [2]

Einsatzgebiet	Chemiefaserverbrauch					
	1987		1988		1989	
	t	%	t	%	t	%
Bekleidung	188 100	33	187 240	31	195 920	31
Heimtextilien	216 600	38	217 440	36	227 520	36
Technische Textilien	165 300	29	199 320	33	208 560	33
Insgesamt	570 000	100	604 000	100	632 000	100

gen erkennen – bei den Naturfasern allerdings weniger ausgeprägt als bei den Chemiefasern. Konstante Situationen bzw. leicht rückgängige Tendenzen in der Mengenentwicklung sind bei den Stengel- und Blattfasern und den Chemiefasern aus Cellulose sowie – wohl nur vorübergehend – aus Polyacrylnitril zu verzeichnen. Die Weltproduktion der Naturfasern ist noch immer etwas größer als die der Chemiefasern. In wenigen Jahren wird aber der Verbrauch an Chemiefasern trotz einer zunehmenden Aversion gegenüber deren Einsatz im Bekleidungssektor mengenmäßig etwa dem Naturfaserverbrauch entsprechen, weil die Steigerungsraten bei der Gewinnung von Baumwolle und Wolle relativ gering sein werden und sich ein beträchtlicher Faserbedarfsanstieg bei den Heimtextilien und vor allem bei den technischen Textilien abzeichnet (Tabelle 1.3).

Wie sich an Hand statistischer Veröffentlichungen [4] der letzten Jahre in Deutschland Eigenproduktion und Importe wichtiger Fasern darstellt, ist Tabelle 1.4 zu entnehmen, worin West- und Ostdeutschland einander gegenüber gestellt sind. Im Falle Ostdeutschlands (ehemalige DDR) wurden relativ große Mengen an cellulosischen Chemiefasern (insbesondere Viskosefasern) erzeugt, was auf der ungleichen Verteilung der Viskosefaserbetriebe nach der Teilung von 1945 beruhte. Bei Wolle wurde in Ostdeutschland 1988 eine Eigenproduktion von 8000 t erbracht, wodurch die Importquote auf 12 000 t gesenkt werden konnte. Andererseits mußte Ostdeutschland größere Mengen Asbest (50 000–60 000 t/a) aus der ehemaligen UdSSR importieren, womit diese die DDR-Mitwirkung an Asbestgrubenerschließungen bezahlte. Alttextilien wurden durch das in Ostdeutschland bestehende Sero-System über viele Jahre relativ gut erfaßt. Welche Mengen der in der Bundesrepublik Deutschland erzeugten bzw. importierten Fasern hier unmittelbar zur Verwendung kamen und welche Mengen wieder exportiert wurden, läßt sich in etwa Tabelle 1.5 entnehmen [4]. Die Entwicklung der relativen Preise beim Import wichtiger Faserarten seit 1985 (= 100 %) zeigt Tabelle 1.6 [1]. Die größten Preisschwankungen zwischen 1985 und 1989 treten bei Wolle mit über 50 % auf, die geringsten mit 12 % bei cellulosischen Chemiespinnfasern.

Die Marktwirtschaft zwingt, die zur Verfügung stehenden Fasern optimal einzusetzen, zumal der größte Kostenfaktor textiler Endprodukte auf die ver-

Tabelle 1.4. Eigenproduktion bzw. Import wichtiger Textilfasern in West- und Ostdeutschland [4]

Fasern		Mengen kt		
		1987	1988	1989
Baumwolle, entkörnt	W	401	305	377
	O	116	122	137
Stengel-/Blatt-Fasern	W	23	26	30
	O	1	2	
Schurwolle, gewaschen	W	115	110	110
	O	19	20	
Cellulosische Chemiefasern	W	162	171	179
	O	145	142	
Synthetische Chemiefasern	W	821	826	837
	O	161	178	192
Alttextilien, erfaßt	W	152	156	153
	O	100	96	

W Westdeutschland (damalige BRD)

O Ostdeutschland (ehemalige DDR)

wendeten Fasern entfällt. Dabei kommt es auf die jeweils erforderlichen Faser-eigenschaften und deren Zusammenwirken im Endprodukt an. Ausgehend von den Gebrauchsanforderungen an das Fertigprodukt ist eine Wichtung der einzelnen Eigenschaften zweckdienlich. Solche Eigenschaftsprofile veranschaulichen, ob die jeweilige Eigenschaft für den vorgesehenen Einsatz unumgänglich – sehr wichtig – wichtig – weniger wichtig – unwichtig – nicht gefordert ist. Derartige Einschätzungen sind um so verlässlicher, je mehr Kenntnisse über die Eigenschaften unverarbeiteter und verarbeiteter Fasern im Zusammenhang mit speziellen physikalischen oder chemischen Beanspruchungen vorliegen. Damit verknüpft ist die Frage nach dem „Gebrauchswert“ einer Ware, der bei globalen Vergleichen, Vorgaben bzw. Zielstellungen für Forschung und Entwicklung, Gebrauchswert-Kosten-Analysen bzw. Ermittlung von Preis-Leistungs-Verhältnissen usw. möglichst praxisnah zu quantifizieren ist. Allerdings ist eine solche „Gebrauchswert-Zahl“ [5, 6] physikalisch nicht definiert, da sie verschiedene subjektive und objektive Aussagen zusammenfaßt.

Interessant im Zusammenhang mit dem Fasereinsatz sind auch vergleichende Betrachtungen über den *Erdöl-* bzw. *Energieaufwand* bei der Gewinnung bzw. Herstellung textiler Faserstoffe (Tabelle 1.7). Diesbezügliche Zahlenangaben in der Fachliteratur [7–11] sind z. T. recht unterschiedlich, da der Erdölverbrauch offensichtlich unterschiedlich erfaßt wurde (z. B. mit oder ohne Transportleistungen). Der massebezogene Erdöl- bzw. Energieaufwand für die Herstellung von Viskose- und Polypropylenfasern ist relativ niedrig. Etwas größer ist dieser Aufwand bei der Polyester- und Polyacrylfaserproduk-

Tabelle 1.5. Textile Rohstoffsituation (Import, Export und Eigenproduktion) in der Bundesrepublik Deutschland (nach [4])

Textile Rohstoffe	1987		1988		1989	
	Import kt	Export kt	Import kt	Export kt	Import kt	Export kt
Baumwolle, roh und bearbeitet, Reißbaumwolle, Abfälle	401,2	72,8	304,9	64,9	377,1	77,7
Bastfasern und sonstige pflanzliche Spinnmaterialien	23,3	1,4	25,6	2,4	29,8	3,3
Abfälle von Gespinnstwaren, Lumpen	33,9	160,6	31,5	179,4	28,4	190,8
Rohseide und Seidengespinnste	0,5	0,2	0,5	0,1	1,7	1,2
Abfallseide und Seidengehäuse	0,9	0,6	1,1	0,6	1,1	0,5
Wolle und andere Tierhaare, roh und bearbeitet, Reißwolle	115,4	34,5	110,4	37,4	109,7	33,2
Chemiefasern und Abfälle von Chemiefasern	207,1	447,7	220,6	458,0	236,9	455,6
Eigenproduktion						
kt						
Cellulosische Chemiefasern	162		171		179	
Synthetische Chemiefasern	821		826		837	
davon Filamentgarn	372		395		401	
Summe aller Chemiefasern	983		997		1016	

Tabelle 1.6. Preisindexschwankungen 1985–1989 für ausgesuchte Fasergruppen [1]

Jahr	Index der ausländischen textilen Rohstoffpreise (Einfuhrpreise)					Index der Erzeugerpreise, Inlandabsatz
	Importierte Textil- rohstoffe insgesamt	Baum- wolle	Wolle	Chemiefasern		Chemiefasern
				Cellulosische Spinnfasern	Synthetische Spinnfasern	
1985	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1986	75,7	64,2	72,1	100,1	92,2	101,0
1987	76,5	67,2	81,7	90,3	84,4	94,5
1988	83,3	62,3	122,4	92,4	83,8	93,6
1989	90,3	79,3	115,5	102,3	90,1	96,6

Tabelle 1.7. Erdöl- bzw. Energieaufwand bei der Herstellung bzw. Gewinnung von Fasern [7–11]

Faser	Erdöläquivalent t Erdöl je t Faser			Energieaufwand GJ je t Faser [10], [11]
	[7]	[8]	[9]	
Viskose	1,69	2,7	2,4	114
Polyacryl	3,75	(6,9)	4,2	155
Polyamid		5,5	5,5	177 (PA 6)
Polyester	3,75	3,9	2,7	124
Baumwolle			0,7 ^a	
Wolle			0,9 ^a	
Glasfaser				22
zum Vergleich: Aluminium				330

^a geschätzt

tion, bei der Polyamidfaserherstellung treten die größten Aufwandswerte auf. Bei der Herstellung von Glasseiden werden die Aufwandswerte der synthetischen Chemiefasern beträchtlich unterschritten. Die für Baumwolle und Wolle angegebenen Schätzwerte für den Erdölverbrauch dürften Gewinnung, Aufbereitung und Transport betreffen.

Zur Abrundung der einleitenden Anmerkungen sei noch darauf hingewiesen, daß die enorme Entwicklung von Chemiefaser- und Textilindustrie die *Kosten eines Arbeitsplatzes* beträchtlich ansteigen ließ, was sich jedoch durch Produktivitätssteigerung und Arbeitskräfteeinsparung auszahlt. 1978 betragen in der Textilindustrie der Bundesrepublik Deutschland die Kosten eines Arbeitsplatzes etwa 250 000 DM und übertrafen damit die Arbeitsplatzkosten in der Elektrotechnik, im Maschinenbau, in der Glasindustrie und in der Kunststoffe verarbeitenden Industrie um das 1,5- bis 2fache; lediglich in der Zellstoff- und Papierindustrie lagen die Arbeitsplatzkosten um das 1,5- bis

2,5fache über der Textilindustrie [12]. Einen gewissen Eindruck von der in diesem Jahrhundert erzielten *Produktivitätssteigerung* vermittelt das folgende Beispiel aus der Spinnerei: um 1900 benötigte man zur Herstellung von 1 kg Garn 50 min, 1988 dagegen nur 2–3 min. Ähnliche Steigerungsraten wurden bei der Gewebeerstellung erreicht [13], während sie bei der Maschen- und Vliesstofftechnik z. T. noch größer sind. Auch die Chemiefaserindustrie kann auf eine Vervielfachung ihrer Produktivität verweisen.

Literatur

1. Gesamttextil (Hrsg) Jahrbuch der Textilindustrie (1990) Textil-Service- und Verlags-GmbH, Frankfurt/M.
2. Die Chemiefaser-Industrie in der Bundesrepublik Deutschland 1987, 1988, 1989, Informationsmaterialien der Industrievereinigung Chemiefaser e.V., Frankfurt/M.
3. – (1991) Chemiefaser-Weltproduktion 1990, Chemiefasern-Text.-Ind. 41/93:169
4. – (1990) Statistisches Jahrbuch 1990 für die Bundesrepublik Deutschland, Metzler-Poeschel, Stuttgart
5. Bobeth W, Mally A (1978) Probleme des Gebrauchsverhaltens von Textilien im Zusammenhang mit der Faserstoffsubstitution, Formeln, Faserstoffe, Fertigware 4:1–12
6. Bobeth W (1980) Zur Quantifizierung des Gebrauchswertes, dargestellt am Beispiel textiler Werkstoffe, Sitzungsberichte der AdW der DDR, 1 N, Akademie-Verlag, Berlin
7. Kogler F (1980) Kostentrends bei Viskosefasern, Chemiefasern-Text.-Ind. 30/82: 695–696
8. Jambrich M (1981) Fortschritte in der Produktion von Polypropylenfaserstoffen. III. Chemiefasersymposium Kalinin
9. – (1988) Energieaufwand in der Faserstoffherstellung, Textiles 17:2
10. Steemann JWM, v. Cooten P, Jacobs H (1981) Energiekosten und Chemiefaserproduktion, Chemiefasern-Text.-Ind. 31/83:912–916
11. Heinrich KF (1988) Naturkautschuk im Jahre 2000, Kautschuk Gummi 41:233–235
12. Scherzberg H (1980) Die Produktion von Textilien und Bekleidung in den 90er Jahren, Melliand Textilber. 61:897–900
13. Hartmann U (1988) Textilien im Jahre 2000, Text. Asia 154–159

2 Struktur der textilen Faserstoffe

2.1 Einführung

Die Beschaffenheit und Eigenschaften der Fasern resultieren aus der jeweiligen chemischen Zusammensetzung und dem Entstehungsprozeß, dem sich gewollte oder ungewollte Modifizierungen, aber auch gezielte Veredlungsbehandlungen unmittelbar oder später anschließen.

Die Ausgangsstoffe für die Fasern sind hauptsächlich natürliche oder synthetische organische Polymere; aber auch anorganische Substanzen, wie z. B. Glas, Schlacke, Gestein, Keramik, Metall, werden eingesetzt.

Natürliche organische Polymere (Biopolymere) umfassen nach ihren Grundbausteinen

- Polyisoprene (z. B. Naturkautschuk),
- Polysaccharide (Cellulose, z. B. Baumwolle),
- Polypeptide bzw. Proteine (Eiweiße, z. B. Keratin der Wolle, Fibroin der Seide),
- Polynukleotide (z. B. Desoxyribonukleinsäure – DNS – mit genetischem Code).

Die *Naturfasern*, z. B. Baumwolle oder Wolle, bestehen aus Polymeren, welche auf natürlichem Wege entstanden sind; sie können als durch die Natur dem Menschen „vorsynthetisierte“ Modellfasern angesehen werden. Deren Untersuchung erschließt wertvolle Erkenntnisse über den Zusammenhang von Struktur, Eigenschaften und Verarbeitbarkeit der Fasern. Sie werden in der Natur durch von Biokatalysatoren (Enzyme) strukturabhängig gesteuerte Aufbauprozesse gebildet. Besonders hervorzuheben ist die exakte Reproduzierbarkeit von Sequenzen (Reihenfolge unterschiedlicher Grundbausteine) z. B. in den Proteinen und Polynukleotiden, die Grundlage der Vererbung sind, und im Laufe zahlloser aufeinanderfolgender Generationen immer wieder mit genau der gleichen Konstitution und Konfiguration aufgebaut werden. Der Mensch hat allerdings begonnen, in den Wachstumsmechanismus z. B. der Baumwollfasern über Enzyme oder über speziell ausgewählte Bedingungen (Wachstumsversuche im Kosmos) einzugreifen. Ziel derartiger biotechnischer bzw. gentechnischer Arbeiten ist die Steigerung von Quantität und Qualität der Naturfasern.

Aus pflanzlicher Cellulose (z. B. Holzzellstoff, Baumwoll-Linters, Stroh, Schilf oder Bagasse), aus tierischen und pflanzlichen Eiweißen (Casein, Kerasin, Fibroin, Eiweiß aus Mais, Erdnuß u. a.), aus Chitin (Insektenpanzer) u. a. können nach Isolierung der Biopolymere und deren Lösung – meist als Derivat mit anschließender Regenerierung – Fasern ersponnen werden. Diese zählen zu den *Chemiefasern aus natürlichen organischen Polymeren*, wie z. B. Regeneratfasern aus Cellulose (Viskose-, Kuoxamverfahren) und Celluloseesterfasern (Acetatverfahren).

Die *synthetischen organischen Polymere* werden durch Verknüpfen einfacher Grundbausteine der unbelebten Materie nach Synthesemethoden der organischen Chemie produziert. Anwendungstechnisch werden nach physikalischen Gesichtspunkten unterschieden:

- Fluidoplaste: bei 20 °C flüssige Polymere, z. B. Siliconöl,
- Thermoplaste: nicht härtbare, durch Wärmeeinwirkung vielfach wieder verformbare Polymere wie Polyolefine, Polyvinylverbindungen, Polyamide, Polyester,
- Duroplaste: härtende bzw. härtbare Polymere, die während oder nach der Formgebung zu nicht mehr erweichbaren Stoffen erstarren wie Phenol-, Harnstoff-, Polyesterharze,
- Elaste: Polymere mit kautschukelastischem Verhalten (insbesondere Natur- und Synthesekautschuk sowie Polyurethanelastomer).

Faserbildende synthetische Polymere als Grundsubstanz der *Chemiefasern aus synthetischen Polymeren* für den textilen Einsatz sind insbesondere durch folgende Merkmale charakterisiert, die in engem Zusammenhang miteinander stehen und sich teilweise gegenseitig bedingen:

- a) optimale (in der Regel hohe) Molmasse bei möglichst enger Molmassenverteilung,
- b) lineare Form der Makromoleküle (möglichst ohne Verzweigungen oder Vernetzungen),
- c) Bindungsarten unterschiedlicher Energie,
 - homöopolare Bindungen in Kettenrichtung der Makromoleküle (Hauptvalenzbindungen: 200–500 kJ/mol je Bindung, wobei die Abstände der Kettenatome etwa 0,07–0,3 nm betragen),
 - inter- und intramolekulare Wechselwirkungen (Nebenvaleanzbindungen zwischen den Makromolekülen und zwischen Atomen bzw. Molekülteilen eines gefalteten Makromoleküls: 4–40 kJ · mol⁻¹ je Wechselwirkung), auch als inter- bzw. intracatenare Kräfte bezeichnet,
- d) „partiell-kristalline“ Struktur (alle Zustände zwischen beiden Grenzzuständen „ungeordnet“ (amorph) und „höchstmöglich geordnet“ (kristallin) sind in realen Polymeren möglich),
- e) Möglichkeit der Bildung konzentrierter Lösungen oder beständiger Schmelzen als Grundlage für den Faserspinnprozeß,
- f) Färbbarkeit.