

# Teil I

## Rohstoffe



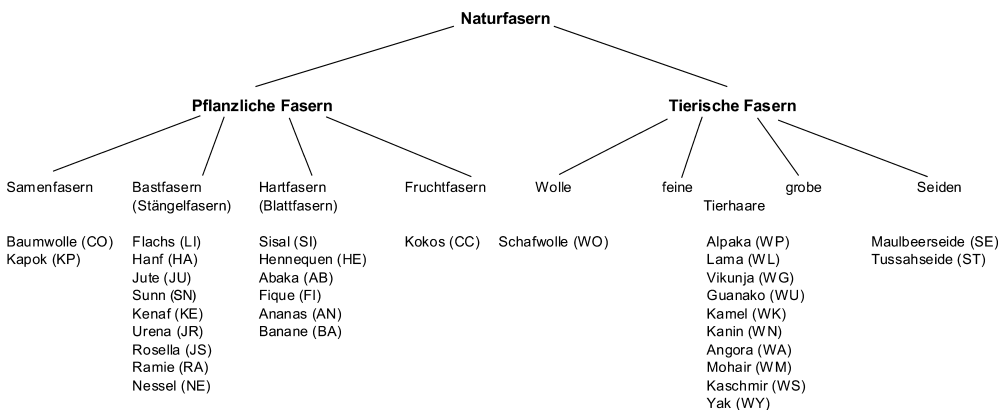
# 1 Faserstoffe

*Klaus-Peter Mieck, Elke Beckmann, Gerald Ortlepp, Wilhelm Albrecht, Hilmar Fuchs,  
 Ji Guobiao, Bernd Gulich*

## 1.1 Naturfasern

*Klaus-Peter Mieck*

Beim heutigen Stand der Vliesstofftechnik können prinzipiell alle Naturfasern verarbeitet werden. Die Auswahl richtet sich nach Anforderungsprofil und Kosten/Nutzen-Verhältnis. Gemessen an der weltweiten Faserproduktion liegt der Anteil Naturfasern bei etwa 47 %. Davon nehmen Baumwolle, Wolle und Seide den größten Anteil mit 37 % und die Bast-, Hart- und Fruchtfasern mit 10 % ein. Die Bedeutung der Naturfasern für Vliesstoffe hat sich im Laufe der Entwicklung gewandelt und wird ebenso wie das Aufkommen an der Faserproduktion einer ständigen Veränderung unterliegen. Auf Angaben zum Produktionsaufkommen wird daher verzichtet. Die Einteilung heute bekannter Naturfasern enthält Abb. 1.1. Wesentliche Eigenschaften ausgewählter Naturfasern werden beschrieben als



**Abb. 1.1** Einteilung der Naturfasern

**Tabelle 1.1** Eigenschaften ausgewählter Naturfasern

		Pflanzliche Fasern					Tierische Fasern	
		Baumwolle	Flachs	Jute	Sisal	Kokos	Wolle	Maulbeerseide
Feinheit	tex	0,1–0,4	2,5–17,0	4,0–5,0	12–20	16–26	0,3–4,0	0,1–0,35
Festigkeit	N/mm <sup>2</sup>	300–770	429–903	460–550	510–670	130–180	130–210	340–690
Dehnung	%	6–10	0,8–3,0	1,0–1,3	1,8–3,3	20–24	25–50	10–30
E-Modul	kN/mm <sup>2</sup>	4,6–9,2	24–65	44–56	17–37	4–6	2–4	9,6–13,7
Feuchtaufnahme	%	7,0–9,5	10–11	12–15	10–12	10–12	15–17	9–11
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	1,52–1,55	1,48	1,44–1,45	1,37–1,45	1,05–1,15	1,31–1,32	1,37

eine Entscheidungshilfe für den Einsatz. Details müssen der einschlägigen Literatur entnommen werden. [1–4].

Maßgebliche Eigenschaftsmerkmale der Naturfasern sind Feinheit (Dicke), Festigkeit, Dehnung, Steifigkeit (E-Modul), Feuchtaufnahme und Dichte (siehe Tab. 1.1). Sie beeinflussen die Grundeigenschaften der Vliesstoffe.

Die Eigenschaften der pflanzlichen Naturfasern werden erheblich durch Art, Klima, Anbaumethoden, Ernte und Aufschluss bestimmt, die der tierischen Fasern durch Rasse, Haltungsbedingungen und Gewinnung beeinflusst. Die Messwerte der Eigenschaften sind daher starken Schwankungen unterworfen.

Tabelle 1.1 enthält in einer orientierenden Übersicht charakteristische Wertebereiche für die ausgewählten Naturfasern. Die Angabe der Feinheit bezieht sich auf die in der Textilprüfung messbare Faserfeinheit nach DIN EN ISO 1973 unter definierter Vorspannkraft. Ein für den Vliesstoffhersteller instruktiverer Wert ist die Dicke. Sie lässt sich unter Annahme einer äquivalenten runden Faser nach der zugeschnittenen Größengleichung

$$d = 20 \sqrt{\frac{Tt}{\rho_F \pi}} \quad (1.1)$$

$d$  in  $\mu\text{m}$ ,  $Tt$  in dtex,  $\rho_F$  in  $\text{g/cm}^3$  abschätzen.

Die Angabe der Zugfestigkeit, ermittelt aus der Höchstzugkraft beim Zugversuch nach DIN EN ISO 5070 bezieht sich auf eine Einspannlänge von  $l_0 = 10$  mm. Sie ergibt sich querschnittsbezogen unter obigen Voraussetzungen zu

$$\sigma = F \cdot 10 \cdot \rho_F \quad (1.2)$$

$\sigma$  in  $\text{N/mm}^2$ ,  $F$  in  $\text{cN/tex}$ ,  $\rho_F$  in  $\text{g/cm}^3$

Obwohl die Bestimmung des Elastizitätsmoduls bei faserförmigen Gebilden mit Schwierigkeiten behaftet ist, kann auf eine quantitative Charakterisierung nicht verzichtet werden. Die Werte beziehen sich analog zur üblichen Moduldefinition auf eine Dehnung von 100 %, wohl wissend, dass die lineare Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung nur für die vorgegebene Belastungszeit und kleine Dehnungen festzustellen ist. Näheres zur Problematik und Bestimmung des Elastizitätsmoduls bestimmter Naturfasern ist in [5] enthalten. Die Angaben der Feuchteaufnahme beziehen sich auf das Normalklima.

Das unterschiedliche mechanische Verhalten charakterisiert durch Spannung und E-Modul ausgewählter Naturfasern ist in Tab. 1.1 deutlich zu erkennen. Diese Grundtendenz wird sich im Vliesstoff, trotz Einflüsse der Konstruktionsmerkmale (Flächenmasse, Dicke u. ä.) widerspiegeln. Bast-, Hart- und Fruchtfasern ergeben steifere, dehnungsärmere Vliesstoffe als die übrigen pflanzlichen und tierischen Fasern.

Weitere Merkmale wie Längenänderungs- und Beständigkeitsverhalten in Abhängigkeit von Temperatur, Zeit und Medium sowie Wärmeleitfähigkeit, Feuchteaufnahme, Wasserrückhaltevermögen, Licht- und Wetterbeständigkeit sind für die Einsatzentscheidung maßgebend. Angaben hierzu überschreiten den vorgegebenen Rahmen.

### 1.1.1

#### **Pflanzliche Fasern**

Grundsubstanz der pflanzlichen Fasern ist Cellulose. Mit bis zu 90 % weist die Baumwolle den höchsten Anteil gegenüber den anderen pflanzlichen Naturfasern mit 60–70 % auf. Hinzu kommen Nebenbestandteile wie Hemicellulose, Pektine, Proteine, Wachs und organische Säuren.

##### **1.1.1.1 Baumwolle (*Gossypium*)**

Die Baumwollpflanze ist den Malvengewächsen zuzuordnen. Sie benötigt bei Aussaat und Wachstum hohe Feuchte und im Reifestadium trockene Wärme. Der Baumwollgürtel der Erde befindet sich in der tropischen und subtropischen Zone. Erzeugerländer sind China, GUS (Gemeinschaft unabhängiger Staaten), USA, Indien, Brasilien, Türkei, Pakistan, Ägypten, Mexiko, Sudan.

Die nach der Blüte sich entwickelnde Kapsel springt zur Reifezeit mit den herausquellenden Fasern auf. Die ca. 2000–7000 Baumwollfasern befinden sich auf den Samenkörnern. Es wird maschinell, in ärmeren Ländern heute noch manuell, geerntet. Egreniermaschinen trennen die Fasern vom Samen. Zu Ballen verpresst wird sie von Handelshäusern aufgekauft. Der Handel erfolgt über Börsen. Wesentliche Handelsmerkmale sind Faserlänge, Feinheit, Gleichmäßigkeit, Reinheit, Festigkeit, Farbe und Glanz. Die Entfernung der kurzen Fasern (*Linters*) von den Samenkörnern erfolgt auf gesonderten Maschinen. Sie sind Rohstoff für Papier und hochwertigen Zellstoff. Die Baumwollfaser hat einen nierenförmigen Querschnitt, die Längsansicht ähnelt einem plattgedrückten, verdrehten Schlauch. Ihr Einsatz erfolgt in Bekleidungs-, Heim- und Haushalttex-

tilien. Durch die Hohlraumstruktur (Lumen) im Faserinneren kann Isolierung und körpereigene Klimaregulierung unterstützt werden. Sie nimmt bis zu 20 % dampfförmige Feuchte auf ohne sich feucht anzufühlen. Nässe wird schnell aufgesaugt. Sie ist hautfreundlich und besitzt eine geringe Elastizität und knittert damit im Flächengebilde stark. Durch Veredlungsprozesse (Natronlaugebehandlung = Glanzerhöhung oder Vernetzung mit Kunstharzen = erhöhte Elastizität) lassen sich die Eigenschaften aus ihr hergestellter Flächengebilde beeinflussen. Ihre Bedeutung für den Vliesstoffeinsatz ist stark zurückgegangen. Für automobile Anwendungen wird vorzugsweise Reißbaumwolle auch in Form von Vliesstoffen verwendet.

#### 1.1.1.2 Flachs (*Linum usitatissimum* Linné)

Angebaut wird nur die einjährige Flachspflanze der Gruppe *Linum u. L.* Zur Fasergewinnung ist ein Flachs mit hohem Stroh- und Faserertrag von Interesse. Die Flachspflanze gedeiht gut in gemäßigttem Klima. Haupterzeugerländer sind die GUS, China und West- und Osteuropa. In Westeuropa sind besonders Frankreich und Belgien zu nennen. Etwa ab 1985 wurde der Flachs-anbau in Deutschland wieder gefördert.

Nach Aussaat und Wachstum werden die 60 bis 160 cm langen Pflanzen gerauft (in Bündeln samt Wurzeln aus dem Boden gezogen) oder gemäht. Für das Raufen/Mähen bis zur kompletten Fasergewinnung existieren heute vielseitige Maschinen und Produktionslinien. Zur Gewinnung der im Parenchym (Rindenschicht) der Flachspflanzen enthaltenen Faserbündel (20 bis 50) und Einzelfasern (10 bis 25 pro Bündel) ist der Aufschluss des Stängels erforderlich. Grundprinzipien hierfür sind der biologische Aufschluss/Röste, der chemische und mechanische Aufschluss sowie deren Kombinationen. Die Wahl richtet sich nach dem Einsatzgebiet. Für Bekleidungs-, Heim- und Haushalttextilien ist ein weitgehender Aufschluss, bis zur Einzelfaser wünschenswert. In technischen und zur Kunststoffverstärkung können auch technische Fasern (Bündel von Einzelfasern) Anwendung finden. Stoffe aus Flachsfasern (Leinen) werden als Sommerbekleidung angenehm empfunden. Die Faser nimmt Feuchte schnell auf, gibt sie aber auch rasch ab. So wird die Klimaregulation des Körpers unterstützt. Die Stoffe knittern stark. Der Markt für Flachsfasertextilien ist modeabhängig.

Unabhängig ist der Einsatz von Flachsfasern für technische Textilien und als Kunststoffverstärkung. Der E-Modul der Flachsfaser liegt im Bereich derer konventionell eingesetzter Verstärkungsfasern wie Glas, Aramid und Kohlenstoff. Das prädestiniert sie für Kunststoffverstärkungszwecke. Vliesstoffe aus Flachsfasern nehmen einen wachsenden Anteil bei Anwendungen im Automobilbereich ein [6].

Der Flachs-anbau in Deutschland konnte trotz hoher Förderung kaum profitieren. Vielfach wird die Faser importiert. In der gesamten EU ist eine Mengenerhöhung nur bei weiteren Subventionen gegeben. Hinzu kommen als Konkurrenten die ebenfalls einen hohen E-Modul besitzenden und preisgünstigeren Naturfasern Jute, Hanf und Sisal.

#### 1.1.1.3 Jute (*Corchorus*)

Die Jutepflanze (*Corchorus capsularis* L. und *Corchorus olitorius* L.) wird in Kulturen gezogen und ist etwa 3–5 m hoch. Sie gedeiht gut in tropischen und subtropischen Ländern. Haupterzeugerländer sind Indien und Bangladesch. Der Stängelaufbau ähnelt dem des Flachses. Die Faserstränge aus einzelnen Faserbündeln bestehend, verlaufen jedoch sternförmig zum Rand. Zur Fasergewinnung werden die Pflanzen vor Reife der Kapseln geschnitten. Die Bastfaserbündel werden über Röste und mechanische Aufbereitung gewonnen. In der mechanischen Aufbereitung erfolgt die Lockerung und das Abziehen des Bastes. Die Behandlung mit Wasser und weichmachenden Ölen, das „Batschen“ führt zur Erhöhung der Geschmeidigkeit der Faserbündel. Mechanisches Reißen ergibt kürzere Stücke (25 bis 35 cm), die in Vliesform abgelegt werden können. Bedeutung besitzt die Jutefaser für Verpackungsmaterialien (Säcke), Teppichgrundware und Wandbespannungen. Jute als Verstärkungsfaser für Kunststoffe ist erfolgversprechend.

#### 1.1.1.4 Sisal (*Agave sisalana*)

Sisal gehört zur Familie der Agavengewächse (*Agave sisalana*). Die Pflanze besitzt 1 bis 2 m lange Blätter, die als Festigkeitsträger Faserstränge enthalten. Ursprungsland ist Mexiko mit dem Ausfuhrhafen Sisal. Der Aufschluss erfolgt maschinell durch Quetschen, Schaben und Abspülen des Blattfleisches. Nach Trocknung und Bürstvorgängen kann die Einzelfaser mit Längen von 1 bis 5 cm gewonnen werden. Die Anwendung erfolgt im Bereich der Taue, Matten und Verpackungsmaterial. Neuere Entwicklungen sehen den Einsatz (Einzelfaser, geschnittene Faserstränge) in der Aufmachung Vliesstoff für die Kunststoffverstärkung vor. Bekannt sind Hutablagen und Türseitenverkleidungen im Automobilbereich.

#### 1.1.1.5 Kokos (*Cocos nucifera*)

Die Kokosfasern, die äußere Umhüllung der Kokosnuss, werden über natürliche Röste und grob mechanische Vorgänge gewonnen. Die Fasern sind verspinnbar und finden in der Seilerei, in Matten, Teppichen und Läufern Verwendung. Bekannt ist die hohe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung, Feuchte und Witterungseinflüsse. Über das von Daimler-Chrysler initiierte Projekt POEMA (Programma Pobreza e Meio Ambiente na Amazonia / Armut und Umwelt in Amazonien) wird die Kokosfaser in Kopfstützen des Automobils eingesetzt.

### 1.1.2

#### Tierische Fasern

##### 1.1.2.1 Wolle (*Ovis aries* L.)

Die Haare der verschiedenen Hausschafressen werden als Wolle bezeichnet. Zusatzbezeichnungen können die Art der Gewinnung (Schurwolle), Alter (Lammwolle) und Geschlecht, Schafgattung (Merino), Zustand (Rohwolle), Körperstellen und Provenienz charakterisieren. Erzeugerländer sind Australien, GUS, Neuseeland, China, Argentinien, Südafrika, Uruguay, Großbritannien und Türkei. Zur

Wollgewinnung werden die Schafe geschoren. Das zusammenhängende Wollkleid (Vlies) wird sortiert, gewaschen, erforderlichenfalls karbonisiert (Entfernen pflanzlicher Bestandteile). Die Weiterverarbeitung nach dem Kammgarnspinnverfahren führt zu feinen und nach dem Streichgarnspinnverfahren zu groben, voluminösen Garnen. Voraussetzung für die Kammgarnspinnerei ist ein in der Wollkammeri nach einem mehrstufigen Verfahren hergestellter Kammzug. Eine Verspinnung nach heute üblichen OE-Rotor- oder OE-Friktionsspinnverfahren ist möglich.

Der Querschnitt der Wollfaser ist rund. In der Längsansicht zeigt sie dachziegel-förmig angeordnete Schuppen. Je nach Feinheit wird sie für feine Oberbekleidung, sportliche, strapazierfähige Bekleidung sowie Teppichen eingesetzt. Wollstoffe zeigen infolge der Verbundstruktur der Fasern (Fibrillen-Matrix-Anordnung) eine ausgeprägte Elastizität. Ihr Wärmeisolations- und Feuchtaufnahmevermögen ist gut. Eine spezifische Eigenschaft der Wollfaser ist ihre Neigung zum „Verfilzen“. In Anlehnung an die Vliesstoffherstellung lassen sich an der Krempel Faservliese bilden. Unter dem Einfluss von Temperatur, Feuchte, Druck, Chemikalien und mechanischer Beanspruchung lassen sich diese stark verfestigen. Sie sind einsetzbar als Dichtungen, Filter, Aufnahme von Lösungen, Ölen und Flüssigkeiten, zur Dämpfung und Isolierung.

#### 1.1.2.2 **Seide (*Bomby mori* L.)**

Die gezüchtete Seidenraupe, der Maulbeerspinner, ernährt sich von den Blättern des Maulbeerbaumes. Nach etwa 30 Tagen beginnt sie sich zu verpuppen. Für den Kokon (Puppe) wird dazu aus einer Spinnwarze an der Unterlippe ein Faden gespeist. Dieser in zwei Spinndüsen gebildete Faden besteht aus zwei Fibroinfilamenten umhüllt von einem Sericinmantel (Seidenleim/-bast), der an der Luft erstarrt. Der taubeneigroße Kokon enthält etwa 2000 m Faden, der abgewickelt (abgehaspelt) werden kann. Die Längsansicht ist glatt und strukturlos, der Querschnitt elliptisch bis leicht dreieckig. Die Seide wird zu Bekleidungs-, Heim- und technischen Textilien eingesetzt. Für die Vliesstoffherstellung hat sie kaum Bedeutung. Erzeugerländer sind China, Indien, Japan, GUS, Brasilien, Korea, Thailand, Türkei, Frankreich.

## 1.2

### **Chemiefasern**

*Elke Beckmann, Gerald Ortlepp*

#### 1.2.1

#### **Chemiefasern aus natürlichen Polymeren**

##### 1.2.1.1 **Cellulosische Chemiefasern**

###### **Allgemein**

Cellulosische Chemiefasern, auch regenerierte Cellulosefasern oder Celluloseregeneratfasern genannt, gehören der Gruppe der Chemiefasern aus natürlichen Polymeren an. Zu ihnen zählen Viskose-, Cupro-, Modal- (als HWM- oder Polynosicfa-



ser) und aus anderen Lösungsmitteln ersponnene Fasern wie beispielsweise Lyocellfaserstoffe. Die Weltproduktion betrug 2005 ca. 3,3 Mill. t. Die ebenfalls auf Cellulose basierenden Acetatfasern gehören nicht zu ihnen, da sie aus einem Cellulosederivat bestehen.

Als Viskose (CV) werden Fasern aus Cellulose nach dem Viskoseverfahren bezeichnet. Modalfasern (CMD) werden nach einem modifizierten Viskoseverfahren hergestellt. Gegenüber der Viskosefaser verfügen sie über eine höhere Festigkeit und höheren Nassmodul. Cupro (CUP) ist die Bezeichnung für Cellulosefasern, die nach dem Kupferoxidammoniakverfahren hergestellt werden. Heute werden Celluloseregeneratfasern auch mit Hilfe anderer, sogenannter CS<sub>2</sub>-freier Lösungsmittel hergestellt. Industrielle Bedeutung haben hier bisher die Lyocellfaserstoffe (CLY) erlangt. Natürliche Ausgangsrohstoffe sind Zellstoffe jeglicher Art. Es werden vorrangig Nadel- und Laubholz Zellstoffe eingesetzt; Baumwolllinter oder Bambus werden ebenfalls industriell genutzt. Cellulosische Chemiefasern lassen sich mit allen bekannten Verfahren zu textilen Flächengebilden verarbeiten. Ihr Einsatzpotenzial ist universell.

### **Aufmachung**

Als Aufmachungsformen für die unterschiedlichsten Anwendungen werden Filamentgarne, endliche Spinnfasern in beliebigen Schnittlängen, Kurzschnittfasern mit 3–20 mm sowie Mahlfasern oder Pulpe mit < 2 mm industriell angeboten. Konventionelle Faserfeinheiten liegen im Bereich größer 1,0 dtex; Mikrofasern werden heute als feinsten Titer mit 0,3 dtex angeboten.

### **Spezialtypen**

Cellulosische Chemiefasern sind sowohl als Standardtype als auch in Form von Spezialtypen erhältlich. Die Hersteller entwickeln hierbei ständig neue Typen; alte verschwinden vom Markt. Beispielhaft sollen spinngefärbte, mattierte, mit speziellen Präparationen (z. B. für Hygieneanwendungen) ausgerüstete, mit antibakteriellen, elektrisch leitfähigen oder Röntgenkontrastzusätzen versehene Typen, Kräuseltypen, hochsaugfähige, schwer entflammbare und querschnittsmodifizierte Typen genannt sein. Je nach Verarbeitungstechnik und Einsatzgebiet empfiehlt es sich, bei den Herstellern nach aktuellen Spezialtypen und deren Eigenschaftsprofilen nachzufragen.

### **Eigenschaften**

**Mechanische Eigenschaften** In Tab. 1.2 werden die mechanischen Eigenschaften gebräuchlicher cellulosischer Chemiespinnfasern aufgelistet. Spezial- und Sonderarten können davon abweichen.

**Andere Eigenschaften** Cellulosische Chemiefasern bestehen aus reiner Cellulose. Sie sind nicht toxisch, ökologisch unbedenklich und stellen kein Gefahrgut dar. Die Fasern können problemlos deponiert oder verbrannt werden. Sie werden im nicht ausgerüsteten Zustand von Mikroorganismen und Pilzen angegriffen und sind biologisch sehr gut abbaubar. Cellulose besteht aus den Elementen Kohlenstoff (C),

**Tabelle 1.2** Mechanische Eigenschaften gebräuchlicher cellulosischer Chemiespinnfasern [7–11]

Parameter	Einheit	Viskose	Cupro	Modal		Lyocell
				HWM	Polynosic	
Feinheits-Festigkeit	cN/tex	20–26	15–20	34–36	36–42	38–47
Feinheits-Nassfestigkeit	cN/tex	10–15	9–12	19–24	20–30	26–40
Feinheits-Schlingenfestigkeit	cN/tex	6–12	–	7–10	5–10	15–20
Dehnung, kond.	%	18–25	10–20	13–18	8–12	10–16
Dehnung, nass	%	22–30	16–35	13–9	11–16	10–18
Nassmodul	cN/tex bei 5% Dehnung	2–3	1,5–2,5	5–6	10–12	10–15
Feuchtigkeitsaufnahme bei Normklima (20 °C, 65% rel. Lf.)	%	13		12.5	12.5	12–13
Wasseraufnahmevermögen	%	90–110	100–120	75–80	60–75	60–70

Wasserstoff (H) und Sauerstoff(O). Die chemische Summenformel ist  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Cellulosische Chemiefasern sind zu etwa 5 % und mehr amorph. Die Dichte der Fasern bewegt sich im Bereich von 1,50 g/cm<sup>3</sup> bis 1,52 g/cm<sup>3</sup>. Das chemische und thermische Verhalten der Standardfasern ähnelt dem der Baumwolle. Die Fasern sind brennbar und schmelzen nicht. Temperaturen > 100 °C können bei langer Einwirkdauer zu Vergilbungen bis hin zu Festigkeitsverlusten führen. Kurzzeitig sind sie bis 200 °C belastbar. Oberhalb 175 °C beginnt die thermische Zersetzung. Die Zündtemperatur liegt bei ca. 460 °C. Lange Belichtungszeiten führen ebenfalls zu Vergilbungen. Säuren und Laugen führen je nach Konzentration und Einwirkdauer zu Faserschäden bis zur Zerstörung.

In Wasser und den gebräuchlichen organischen Lösungsmitteln sind die Fasern unlöslich.

Fasern, Garne und textile Flächen aus cellulosischen Chemiefasern werden ähnlich wie Textilien aus nativen Cellulosefasern gefärbt und ausgerüstet. Vom Faserhersteller werden die Fasern mit einer auswaschbaren Faserpräparation (Primäravivage) in Größenordnungen von 0,1 bis 0,4 % versehen. Sie sichert ein optimales Haft-Gleitverhalten der Faser bei der Verarbeitung und leitet elektrostatische Aufladungen ab. Für besondere Anwendungen wie im Hygienesektor werden zertifizierte Sonderavivagen eingesetzt. [7–10]

### Fasertypische Besonderheiten

**Cupro-Fasern** Cupro-Fasern bzw. –Filamentgarne werden weltweit nur noch in einem geringen Umfang produziert. Cupro-Fasern übertreffen die Viskose in ihrem seidenartigen Aussehen und Griff. Aufgrund der Faserstruktur sind sie besonders gut für die Blutdialyse einsetzbar. Ihre Dichte beträgt 1,52 g/cm<sup>3</sup>. Neben der Blutdialyse werden sie für hochwertige seidenähnliche Textilien, Futterstoffe, Kleider, Blusenstoff, Damenunterwäsche und Dekoartikel eingesetzt. Für den Vliesstoffsektor sind sie unbedeutend.

**Viskosefaser** Besonderheiten sind ihr unregelmäßiger, gelappter Querschnitt, die Kern-Mantel-Struktur und die geringe Nassfestigkeit (ca. 50 % der Festigkeit im konditionierten Zustand). In Wasser quellen die Fasern, werden um etwa 3–5 % länger und ihre Querschnittsfläche verdoppelt sich. Eingesetzt werden Viskosefasern rein oder in Mischungen mit Baumwolle oder synthetischen Fasern. Wegen ihrer hohen Feuchteaufnahme dienen sie in Mischungen mit Synthefasern als bekleidungsphysiologische Komfortkomponente. In Geweben, Gestriken, Gewirken und Vliesstoffen bewirken Viskosefasern einen besonders weichen Griff und fließenden Fall. Stoffe aus Viskose lassen sich sehr gut bedrucken und zeigen besonders brillante Farben.

Die universelle Einsetzbarkeit der feineren baumwolltypischen Fasern reicht von klassischen Bekleidungstextilien der Oberbekleidung und Unterwäsche, über Arbeitsbekleidung, Tisch- und Bettwäsche, den Dekobereich, den Hygienesektor, Wundverbandstoffe bis hin zum technischen Einsatz. Die gröberen Woll- und Teppichtypen der Viskosefaser sind in den Bereichen Möbelstoffe, Decken und Teppiche meist in Mischungen mit anderen Faserstoffen einsetzbar.

Viskosefilamentgarne werden für Oberbekleidung wie Kleider, Blusen, Röcke, T-Shirts, Futterstoffe und Krawatten eingesetzt. Viskose-Filamentgarne als hochfeste Type findet man im Bereich des Reifencords als Verstärkungsmaterial.

**Modalfaser** Modalfasern sind gegenüber den Viskosefasern durch Modifikationen bei der Herstellung struktur-modifiziert. Als Untertypen unterscheidet man die Polynosicfasern (*Polymere non synthetique*) und die HWM-Fasern (*High-wet-modulus*). Sie unterscheiden sich in ihrer Herstellungstechnologie und in ihren mechanischen Eigenschaften. Die Polynosicfasern sind etwas fester, verfügen über eine geringere Reißdehnung und höheren Nassmodul. Die Modalfaser zeichnet sich gegenüber der Viskosefaser durch wesentlich höhere Festigkeiten im konditionierten und nassen Zustand, höheren Nassmodul, geringeres Wasserrückhaltevermögen, geringere Quellung und höhere Alkalibeständigkeit aus. In Textilien bewirken Modalfasern gegenüber Viskosefasern eine höhere Reiß- und Scheuerfestigkeit. Modalfasern besitzen ähnliche Eigenschaften wie die Baumwolle und werden oft in Mischungen für hochwertige Qualitätsprodukte eingesetzt. Von vielen Anwendern werden Modalfasern als Substitut für Baumwolle verwendet. Rein als auch in Mischungen mit Baumwolle und Polyester findet man Modalfasern in den Bereichen Oberbekleidung, Tag- und Nachtwäsche, Sport- und Freizeit, Tisch- und Bettwäsche, Frottierartikel, Heimtextilien und technische Textilien.

**Lyocellfaser** Die Hauptproduktionsmengen sind heute der Bereich der Spinnfasern. Filamentgarne werden nur in geringen Mengen für Spezialanwendungen produziert.

Lyocellfasern zeichnen sich durch eine hohe Nass-, Trocken- und Schlingenfestigkeit aus. Die Faseroberfläche ist glatt, der Querschnitt rund. Sie verfügen über eine hohe Schrumpfbeständigkeit bei tiefer Anfärbbarkeit. Konventionelle Lyocellfasern fibrillieren im feuchten und nassen Zustand bei intensiver Faserlängsreibung. Bei textilen Nassbehandlungen des Färbens und Waschens kann dieser Effekt verstärkt oder unterdrückt werden. Bei der Wasserstrahlverfestigung

von Vliesstoffen wird das Fibrillieren festigkeitserhöhend ausgenutzt. Neuere Entwicklungen der Faserhersteller sind fibrillationsarme bzw. fibrillationsfreie Sortimente. Ihr Einsatzpotenzial ist universell von der Bekleidung bis zum technischen Sektor. Ihre hohe Faserfestigkeit und ihr Fibrillationseffekt lassen sich besonders gut im Vliesstoffsektor, für Filter und Spezialpapiere ausnutzen.

### 1.2.1.2 Chemiefasern aus Cellulosederivaten

#### Acetatfasern (AC) und Triacetatfasern (CTA)

Zur Herstellung von Cellulose-Acetat wird Cellulose mit Essigsäure verestert. Je nach Veresterungsgrad unterscheidet man Cell-2,5-acetat (AC) und Cell-3-acetat (CTA). Hergestellt werden die Fasern nach dem Trockenspinnverfahren durch Ausfällen des Fadens aus einem niedrig siedenden Lösungsmittel wie Aceton für AC oder Methylenchlorid/Methanol für CTA. Acetatfasern als auch CTA verfügen im Gegensatz zu den cellulosischen Chemiefasern über einen Erweichungs- und Schmelzpunkt. Acetatfasern und CTA sind in verdünnten Säuren beständig. Neben konzentrierten Säuren lösen sich AC in Azeton, Dichlorethylen, Phenol und Chloroform. Unlöslich sind sie in reinem Benzin, Benzen, Perchlorethylen, Trichlorethylen Toluol und Xylol. Triacetat löst sich in Chloroform und Methylenchlorid. Es quillt in Trichlorethylen und widersteht Benzin, Benzol, Toluol, Xylol, Perchlorethylen und den meisten Kohlenwasserstoffen [12].

Die Hauptanwendungsform von Acetatfaserstoffen sind Filamentgarne. Sie sind im Griff der Naturseide ähnlich. Im Vergleich zu den cellulosischen Chemiefasern nehmen Acetatfasern jedoch wesentlich weniger Wasser auf. Textilien, die daraus bestehen, fühlen sich ähnlich wie Naturseide an und haben oft deren Glanz. Sie sind knitterarm, weich und pflegeleicht. Bei Hitzeeinwirkung über 85 °C verliert das Material bereits seinen Glanz.

Acetat- und Triacetatfilamentgarne haben in Damen- und Herrenbekleidung, Futterstoffen, Heimtextilien sowie in der Industrie beispielsweise als Filter ihre Anwendung. Sie kommen rein oder in Kombination mit Naturseide zum Einsatz.

**Tabelle 1.3** Eigenschaften von Acetat- und Triacetatspinnfasern und -filamentgarnen [13–15]

Parameter	Einheit	Viskose	Cupro	Modal		Lyocell
				HWM	Polynosic	
Feinheits-Festigkeit	cN/tex	20–26	15–20	34–36	36–42	38–47
Feinheits-Nassfestigkeit	cN/tex	10–15	9–12	19–24	20–30	26–40
Feinheits-Schlingenfestigkeit	cN/tex	6–12	–	7–10	5–10	15–20
Dehnung, kond.	%	18–25	10–20	13–18	8–12	10–16
Dehnung, nass	%	22–30	16–35	13–9	11–16	10–18
Nassmodul	cN/tex bei 5% Dehnung	2–3	1,5–2,5	5–6	10–12	10–15
Feuchtigkeitsaufnahme bei Normklima (20 °C, 65% rel. Lf.)	%	13		12.5	12.5	12–13
Wasseraufnahmevermögen	%	90–110	100–120	75–80	60–75	60–70

Die Hauptmenge der weltweit produzierten Acetatfaserstoffe wird in Form von Endloskabeln (*Filter-Tow*) zur Herstellung von Zigarettenfiltern eingesetzt. Weitere Einsatzgebiete für Endloskabel sind Ölfilter und Filzstifte.

Acetatspinnfasern sind ebenfalls marktverfügbar. Ihr Einsatz erfolgt rein oder in Mischung mit Baumwolle, Wolle, Acryl-, Lyocell- oder Viskosefasern insbesondere für hochwertige Designerprodukte. [13, 14, 16–18]

### 1.2.1.3 Fasern aus Biokunststoffen

Die Biokunststoffe sind eine Werkstoffklasse, die sowohl auf nachwachsenden als auch in Anteilen oder vollständig auf fossilen Rohstoffen basieren. Sie stellen eine vergleichsweise neue Materialklasse dar, die im Sinne der Verarbeitung und Anwendung als ganz „normale“ Kunststoffe zu werten sind und sich mit den üblichen Verfahren der Kunststofftechnik verarbeiten lassen.

Die Textilbranche ist nach wie vor für Biokunststoffe ein Nischenmarkt. Lediglich die milchsäurebasierten, bioabbaubaren Polymere haben sich einen Markt erobert und sind als Filament- und Fasergarne sowie als Stapelfasern für den Verarbeiter verfügbar.

Cargill Dow, Nebraska/USA begann 2002 die Produktion von PLA (NatureWorks®) mit einer 140 000 t/a-Anlage [19].

NatureWorks LLC ist das erste Unternehmen, das unter dem Markennamen NatureWorks® PLA und Ingeo® fibers anbietet. Ingeo® ist die erste Synthefaser, die aus jährlich erneuerbaren Ressourcen hergestellt wird. Internationale Forschungsaktivitäten konzentrieren sich im Hinblick auf textile Einsatzgebiete auf den Fasersektor für Vliesstoffe und den Bekleidungs- und Heimtextiliensektor.

Verfahrenstechnische Lösungen zur Herstellung von insbesondere Filament- und *Meltblown*-Spinnvliesen sind in absehbarer Zeit zu erwarten.

### Polylactidfasern

**Ausgangsstoffe** Die Ausgangsstoffe zur Erzeugung der Polylactide (PLA) sind die nachwachsenden Rohstoffe Zucker (gewonnen aus Zuckerrüben, Molke, Melasse) oder Stärke (gewonnen aus Mais, Weizen, Roggen, Reis). Mikroorganismen (Milchsäurebakterien) werden industriell genutzt, um über einen Fermentationsprozess zur Milchsäure zu gelangen.

**Herstellung** Die Herstellung von Polylactid aus Milchsäure kann über zwei unterschiedliche Synthesewege erfolgen. Das Polylactid kann entweder direkt mittels Polykondensation aus Milchsäure oder indirekt über das Dimer (*Dilactid*) der Milchsäure durch Ringöffnungspolymerisation hergestellt werden [19].

Mittels des Extrusionsspinnverfahrens werden die PLA-Materialien zu Mono- oder Multifilamentgarnen bzw. Stapelfasern versponnen. Die Stapelfasern sind wiederum mit konventioneller Maschinenteknik zu Garnen und/oder Vliesstoffen verarbeitbar.

Die Produktion von Multifilamentgarnen ermöglicht Filamentfeinheiten < 1 dtex bei einer Spinnengeschwindigkeit von 700 m/min [19]. Experimentelle PLA-Spinn-

versuche erreichen, mit guten Ergebnissen hinsichtlich Orientierungsgrad, Kristallinität und Festigkeit, Spinnengeschwindigkeiten von 2000 und 3000 m/min [20].

Die Erspinnung von PLA erfolgt im Temperaturbereich von 220 °C bis 240 °C [19]. Im Ergebnis der Untersuchungen von [21] wird von Spinntemperaturen im Bereich von 160 °C bis 200 °C berichtet, um einen möglichen thermischen Abbau der Biopolymere auszuschließen.

Die textile Weiterverarbeitung erfolgt mit industriüblicher Anlagentechnik und angepasster Technologie als Reinmaterial oder in Kombination z. B. mit Baumwolle oder cellulosischen Chemiefasern entsprechend des geforderten Einsatzgebietes.

Neue Produktvarianten sind u. a. Bikomponentenfasern z. B. mit den Kombinationen PLA/PA6, PLA/PP und PET/PLA oder die trilobalen BCF-Garne.

Forschungsseitig wird an der Extrusion von PLA -Filamentspinnvliesen oder *Meltblown*-Spinnvliesen und geeigneten Verfestigungsmöglichkeiten (thermisch, hydrothermisch, mechanisch) für den Einsatz z. B. als Filtermedium, für Geotextilien oder für Agrar- und Medizintextilien gearbeitet.

**Eigenschaften** Das PLA eignet sich zur Herstellung von glattem und texturiertem POY (*preoriented yarn*), FDY (*fully drawn yarn*), zur Stapelfaser- und BCF (*bulk continuous filament*)-Garnherstellung und für hochfeste Monofilamentgarne.

Tabelle 1.4 zeigt ausgewählte Eigenschaften von PLA- Filamentgarnen und PLA-Fasern.

Das Material zeichnet sich durch seine hydrophilen Eigenschaften aus. Dies wird durch eine hohe Wasserdampftransmission in den PLA-Fasern hervorgerufen. Die Farbstoffaufnahme ist im Vergleich zu PET-Fasern wesentlich schneller, jedoch liegt das Sättigungsgleichgewicht des Farbstoffs auf PLA-Fasern bei 1/6 des Wertes für die PET-Fasern. Färbbar sind die PLA-Fasern mit Dispersionsfarbstoffen und einer Temperatur von ca. 100 °C.

Die biologische Abbaubarkeit ist nach DIN EN 13432 gegeben. Je nach molekularer Struktur findet eine langsame bis schnelle Zersetzung in Wasser, Kohlendioxid und Biomasse statt. Bei hohen Temperaturen (60 °C) und hohen Feuchtigkeiten (> 98 %) ist PLA gut kompostierbar.

**Einsatzgebiete/Hersteller** Die Einsatzgebiete für Fasern und Fäden aus PLA sind breit gefächert. Angewendet werden die Biomaterialien im Bekleidungssektor für

**Tabelle 1.4** Ausgewählte Eigenschaften von PLA-Filamentgarnen und PLA-Fasern

Parameter	Einheit	PLA-Filamentgarn [1]	PLA-Faser [10]
Feinheitsfestigkeit	cN/tex	32–63	22–31
Dehnung, kond.	[%]	20–40	50–59
Kochschrumpf	[%]	8–15	0,8–10

**Tabelle 1.5** Hersteller von PLA-Fasern und deren Handelsnamen

Hersteller	Handelsname
Cargill Dow LLC, Minnetonka/USA/NatureWorks LLC	Ingeo®
Far Eastern Textiles Ltd., Taipei/Taiwan	Ingeo®
Kanebo Gohsen Ltd., Tokyo/Japan	Lactron®
Kuraray Co. Ltd., Osaka/Japan	unbekannt
Mitsui Toatsu Chemicals Inc., Tokyo/Japan	Lacea®
Shimadzu Corp., Kyoto/Japan	Lacty®
Unitika Ltd., Osaka, Tokyo/Japan	unbekannt
Fiber Innovation Technology Inc. (F.I.T.), Parkdale	unbekannt
Unifil Inc., Greensboro/USA	Ingeo®

Textilien im Wohnbereich oder als Vliesstoffe z. B. für Medizintextilien/Hygiene-  
produkte. Außerdem finden sie Anwendung als Füllfaser für Betten und Matratzen.

Vor allem für medizinische Anwendungen wird PLA mit hohem Reinheitsgrad  
z. B. für resorbierbare Vliesstoffe oder für Vliesstoffe im OP-Bereich eingesetzt.

Im Bereich der technischen Textilien finden nach Koch [19] Fasern oder Fila-  
mentgarne Verwendung z. B. als: Industriefilter, Geotextilien (Erosionsschutz)  
oder Textilien für militärische Anwendungen (Tarnnetze).

Die weltweite Vermarktung der textilen Produkte für innovative Bekleidungs-  
textilien ist erfolgreich angelaufen [23].

Die Tab. 1.5 zeigt Hersteller von PLA- Fasern und deren Handelsnamen.

### 1.2.2

#### **Chemiefasern aus synthetischen Polymeren**

*Wilhelm Albrecht, Hilmar Fuchs*

Nahezu alle Faserstoffarten aus synthetischen Polymeren finden bei der Vliesstoff-  
herstellung Anwendung.

##### 1.2.2.1 Polyesterfasern (PES)

Polyester bestehen aus Makromolekülen von Estern. Ester sind Grundmoleküle,  
die aus Säure und Alkohol gebildet werden. Werden solche Grundmoleküle  
vielfach aneinandergereiht, so bilden sie Polyester.

Wesentliche Arbeiten zur Herstellung von Polyester wurden von H.W. Carothers  
(1931), von J.R. Whinfield und J.T. Dickson (1939) und von P. Schlack und  
H. Ludwig (1939) durchgeführt.

Ausgangsprodukte für Polyesterfasern sind Terephthalsäure oder Dimethylterephthalat (DMT) und Ethylenglycol. Es kann sowohl von der Terephthalsäure als auch vom Dimethylterephthalat ausgegangen werden. Wird vom DMT ausgegangen, so entsteht durch Umesterung mit dem für die Fadenbildung vorgesehenem zweiwertigen Glycol das Monomer – der Terephthalsäurediglycolester. Dabei wird der zur DMT-Bildung eingesetzte Methylalkohol wieder frei. Durch

Polykondensation (bei 270 bis 285 °C) von Terephthalsäureglycolester entsteht dann das Polymer, nach Abkühlung erfolgt die Granulierung.

Die Faserherstellung erfordert eine vorherige Granulattrocknung und erfolgt nach dem Schmelzspinnverfahren bei 280 °C. Moderne Anlagen produzieren bis zu 1200 t/Tag [24]. Nach dem Erspinnen folgt eine Heißver Streckung und bei der Faserherstellung werden die ver Streckten Filamente zu Kabeln zusammengefasst, gekräuselt, geschnitten und in Ballen verpresst.

Es existiert eine große Bandbreite von Spezialfasertypen: profilierte Fasern, Bikomponentfasern, Fein- und Feinstfasern, Hochschrumpffasern, schwerentflammbare Typen, dehnungsarme Fasern, Hochfestfasern und pillresistente Fasern.

Die Weltproduktion von Polyesterfasern steigt laufend. Der Anteil der Polyesterfasern an der Weltproduktion von Chemiefasern aus synthetischen Polymeren beträgt ca. 70 % (2006: 27 Mio t). Die jährlichen Zuwachsraten liegen bei 5 bis 8 %. Dieser Zuwachskorridor gilt mit hoher Wahrscheinlichkeit auch für den Zeitraum 2010 bis 2015.

Für die Herstellung von Vliesstoffen spielt Polyester eine wesentliche Rolle. Dies gilt sowohl für Faservliesstoffe als auch für Spinnvlies.

Wichtige Fasereigenschaften [24–26] sind:

Faserdichte	1,36 bis 1,38 g/cm <sup>2</sup>
Schmelzpunkt	255 bis 265 °C
Erweichungstemperatur	ab 240 °C
Höchstzugkraft	30 bis 95 cN/tex
Höchstzugkraftdehnung	8 bis 50 %
Wasseraufnahme	0,2 bis 0,5 %

#### 1.2.2.2 Polyamidfasern (PA)

Die beiden wesentlichsten Polyamidfasertypen sind Polyamid 6 (Perlon) und Polyamid 6.6 (Nylon). Diese beiden Faserstofftypen basieren auf den Arbeiten von P. Schlack (PA 6) und H.W. Carothers (PA 6.6) im Jahr 1938.

Polyamid 6 wird aus  $\epsilon$ -Caprolactam hergestellt. Caprolactam polykondensiert unter Wasserabspaltung. Parallel dazu findet noch eine Polyadditionsreaktion statt.

Polyamid 6.6 wird aus Hexamethylendiamin und Adipinsäure gewonnen. Um bei der Polykondensation hohe Molmassen zu erreichen, müssen beide Komponenten das Molverhältnis 1:1 haben. Der Polykondensationsprozess verläuft bei 270 bis 280 °C und permanent erhöhtem Vakuum.

Polyamidtypen werden nach der Anzahl der verbundenen Kohlenstoffatome bezeichnet. PA 6 besteht aus einem Grundstoff und PA 6.6 aus zwei Grundstoffen mit jeweils 6 Kohlenstoffatomen. Die Zahlenangabe kann auch darauf hindeuten, dass die Grundmoleküle verschieden groß sind – PA 6.10 oder PA 11 (Rilsan). Für den Einsatz im Vliesstoffbereich ist die Beeinflussung des Wasseraufnahmevermögens von großer Bedeutung.

Die Fasererzeugung erfolgt nach dem Schmelzspinnverfahren (Abb. 1.2).



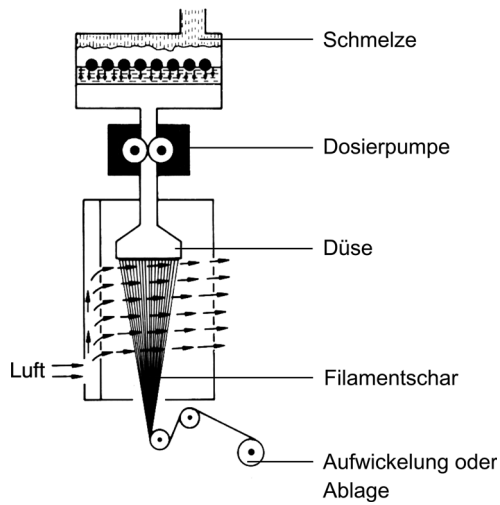


Abb. 1.2 Herstellungsprinzip für synthetische Chemiefasern nach dem Schmelzspinnverfahren

Die Schmelze wird über Druck- und Messpumpen bei 260 bis 300 °C durch die Düsenlöcher gepresst und in Form von Filamenten abgezogen. Im Anblasschacht erkalten diese schnell und werden dann mit konstanter Geschwindigkeit aufgewickelt bzw. in Kannen abgelegt. Die die Filamente aufbauenden Makromoleküle sind jetzt noch relativ ungeordnet. Deshalb werden die Filamente verstreckt, wobei die Moleküle in Längsrichtung orientiert werden. Dadurch werden die physikalischen Filamenteigenschaften wesentlich beeinflusst. Danach werden die Filamente (Kabel) gekräuselt, auf die erforderliche Faserlänge geschnitten und anschließend mit einer Präparation versehen.

Wesentliche Fasereigenschaften sind [24, 25]:

Faserdichte	1,14 g/cm <sup>3</sup> (PA 11: 1,04 g/cm <sup>3</sup> )
Faserfeinheit	1,0 bis 120 dtex
Schmelzpunkt	215 bis 220 °C (PA 6); 252 bis 256 °C (PA 6.6)
Höchstzugkraft	30 bis 80 cN/tex
Höchstzugkraftdehnung	40 bis 70 %
Wasserrückhaltevermögen	10 bis 15 %; 3 bis 7 % (PA 11)

Besonderheiten:

- Die Fasern können abweichend vom üblichen Querschnitt auch profiliert sein.
- Eine weitere Variationsmöglichkeit ist die Herstellung von Bikomponentenfasern (Abb. 1.4)

Bei Seite-an-Seite-Fasern lassen sich Fasern mit unterschiedlichem Kräuselungsverhalten herstellen. Auch bei Mantel-Kern-Fasern können sich Spannungen in

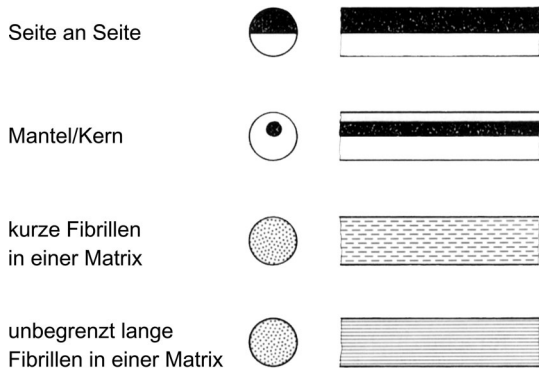


Abb. 1.3 Grundtypen von Bikomponentenfasern

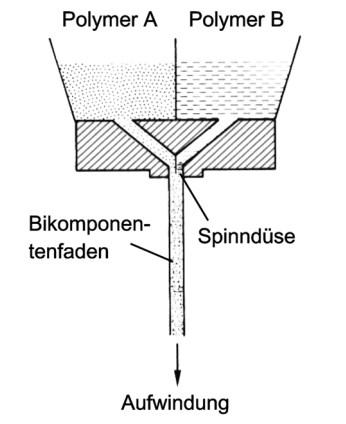
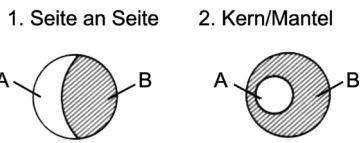


Abb. 1.4 Herstellungsprinzip für Bikomponentenfasern

Beispiel für Faserquerschnitte



den Fasern ergeben, die zur Kräuselung führen. Bei Einsatz unterschiedlicher Polymere, so z. B. Fasern mit Polyesterkern und Polyamidmantel, kann eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig guter Anfärbung erreicht werden.

Die Herstellung von Bikomponentenfasern ist wichtig für die Vliesstoffindustrie. Dies gilt, wenn besonders feine Fasern, z. B. für Synthesleder und Filtermedien benötigt werden. In diesen Fällen kann durch chemische oder physikalische Prozesse ein Zerlegen der Bikomponentenfasern in ultrafeine Fasern erfolgen, indem die Matrix herausgelöst wird.

### 1.2.2.3 Polyolefinfasern (PO, PT, PE)

Die Ausgangsprodukte für Polyolefinfasern (PO) sind Ethylen und Propen, die bei der Erdöldestillation oder bei speziellen Crack-Prozessen anfallen. Die Polymerisation erfolgt im Hoch- oder Niederdruckverfahren unter Anwesenheit von Katalysatoren (Titan- und Aluminiumverbindungen).

Polyethylen (PT) entsteht bei der Polymerisation von Ethylen. Polyethylen wurde 1898 von H. v. Pechmann entdeckt und 1933 von R. Gibson und E. Fawcett erstmals unter einem Druck von 1400 bar bei 170 °C hergestellt. 1953 entwickelten K. Ziegler und G. Natta das Verfahren zur Polymerisation von Ethylen unter Normaldruck (bis 50 bar, bei 20 bis 150 °C) [27, 28]. Diese Erfindung ebnete auch den Weg zur Polymerisation von Propen unter Normaldruck zu Polypropylen.

Industriell eingesetzt werden Hochdruckpolyethylen (PE-HD) und Niederdruckpolyethylen (PE-ND). Beim Hochdruckverfahren wird gasförmiges Ethylen bei Anwesenheit von Sauerstoff als Initiator bei Drücken von 1500 bis 2000 bar und Temperaturen um 200 °C zu Polyethylen umgesetzt. Beim Niederdruckverfahren wird mit Drücken bis 50 bar und Temperaturen von 20 bis 150 °C gearbeitet. PE-HD hat eine Dichte von über 0,94 g/cm<sup>3</sup>, und bei PE-ND liegt sie bei 0,91 bis 0,93 g/cm<sup>3</sup>. PE-ND weist eine lineare Polymerstruktur und PE-HD eine Polymerstruktur mit Kurz- und Langkettenverzweigungen auf. Für die Herstellung von Fasern und Spinnvliesstoffen werden lineare Polymerstrukturen (PE-ND) eingesetzt. Die Herstellung von Fasern erfolgt wie bei Polyamid- und Polyesterfasern nach dem Schmelzspinnverfahren. Außerdem werden große Mengen von Polyolefinen zu Folien verarbeitet, ebenfalls nach dem Schmelzverfahren. Die Folien werden als Folien verwendet, in Bändchen geschnitten oder über Nadelwalzen gespleißt. Gespleißte Polyolefinfolien werden bei der Vliesstoffherstellung als längs- und/oder querorientierte Faserflorvorlage eingesetzt.

Ab 1980 wurden Metallocen-Katalysatoren entwickelt (z. B. Methylaluminiumoxan, Zirkonocen). Metallocen-Katalysatoren entwickeln eine sehr hohe Polymerisationsaktivität. Auch elastomere Polypropylene sind durch Einsatz von Metallocenen herstellbar. Folgende Polymereigenschaften sind über Metallocen-Katalysatoren beeinflussbar [29]:

- Molekulargewicht
- Molekulargewichtsverteilung

**Tabelle 1.6** Haupteigenschaften von Polyolefinen

		Polypropylen	Polyethylen
Faserdichte	g/m <sup>3</sup>	0,90–0,91	0,91–0,94
Schmelzpunkt	°C	165–175	135
Faserfeinheit	dtex	2–10	2–10
Höchstzugkraft	cN/tex	40–90	50–70
Höchstzugkraftdehnung	%	20–90	70–100
Wasseraufnahme	%	0	0

- Polymerisationsverhalten
- Schmelzpunktabsenkung unter 170 °C
- Schmelzpunkterhöhung bis 295 °C

Polyolefine als Granulate, Fasern, Folien, Bändchen oder gespleißte Folien sind eine Hauptrohstoffquelle für die Vliesstoffindustrie. Sie sind der kostengünstigste Rohstoff aus der Gruppe der synthetischen Polymere.

#### 1.2.2.4 Polyacrylfasern (PAN)

Polyacrylnitril wird durch Polymerisation von Acrylnitril (Vinylcyanid) hergestellt. Da sich Polyacrylnitril (PAN) beim Aufschmelzen zersetzt, ist das Schmelzspinnverfahren für die Faserherstellung nicht geeignet. Deshalb werden Polyacrylfasern nach dem Lösungsmittelspinnverfahren erzeugt. Als Lösungsmittel wird Dimethylformamid (DMF) eingesetzt.

Polyacrylfasern bestehen zu mindestens 85 % aus Polyacrylnitril. Modacrylfasern können weniger als 85 % Polyacrylnitril enthalten. Sie enthalten Zusätze an Copolymeren (Vinylchlorid, Vinylidenchlorid, Vinylpromid), um flammhemmende PAN-Fasern herzustellen [30]. Modacrylfasern haben infolge der Zusätze (meist Polyvinylidenchlorid) eine höhere Dichte (1,30 bis 1,42 g/cm<sup>3</sup>). Der LOI-Wert für Polyacrylfasern beträgt 17 bis 18 %, der für Modacrylfasern hingegen 26 bis 31 % [31].

In Abb. 1.5 sind das Nass- und das Trockenspinnverfahren dargestellt. Beim Nassspinnverfahren wird in ein Spinnbad gesponnen. Das Spinnbad besteht aus einer Verdünnung des Lösungsmittels mit Wasser. Es kann auch eine organische Flüssigkeit oder Glycerin sein. Die Filamente werden über eine Luftstrecke abgezogen und in Kannen abgelegt. Beim wesentlich häufiger angewandten Trockenspinnverfahren wird die Spinnlösung bei 150 °C über die Spinnpumpe der Ringspinndüse zugeführt. Das Spinngut passiert dann einen 8 bis 10 m hohen Spinn schacht. Über den Fadenverlauf im Spinn schacht sinkt die Schachttempera-

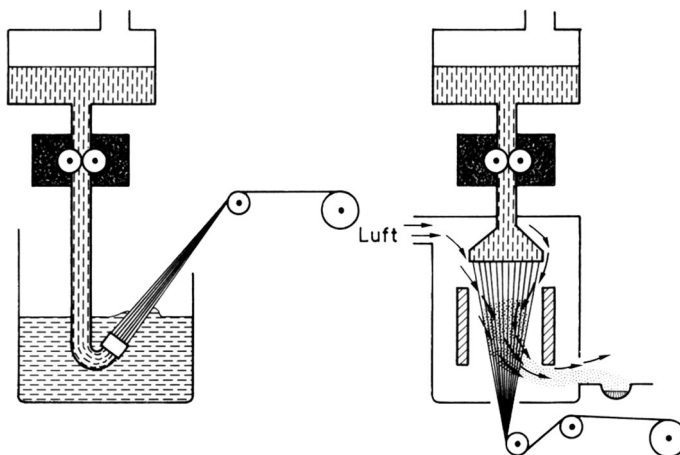
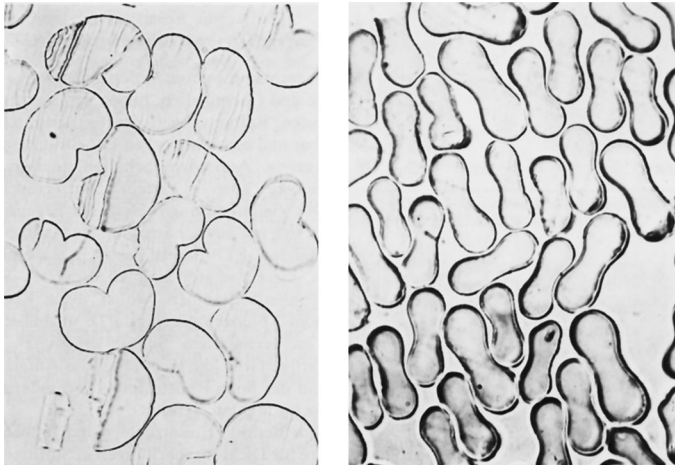


Abb. 1.5 a) Nass-Spinnverfahren von PAN-Fasern, b) Trockenspinnverfahren von PAN-Fasern



**Abb. 1.6** Querschnitte von PAN-Fasern: a) nass gesponnen, b) trocken gesponnen

tur von 250 bis 300 °C auf 80 bis 100 °C ab. Die trockenen verfestigten Spinnfäden werden zusammengefasst und nach einer Galettenverstreckung als Spinnkabel in Kannen abgelegt. Trocken gesponnene Fasern haben einen handelförmigen Querschnitt, während nass gesponnene Fasern unregelmäßig rund sind, wie Abb. 1.6 zeigt.

Haupteigenschaften von Polyacrylnitrilfasern:

Faserdichte	1,12 bis 1,19 g/cm <sup>3</sup>
Zersetzungstemperatur	250 bis 300 °C
Faserfeinheit	1 bis 10 dtex
Höchstzugkraft	20 bis 55 cN/tex
Höchstzugkraftdehnung	20 bis 50 %

Für die Vliesstoffherstellung sind Polyacrylfasern geeignet, allerdings spielen sie bei der Auswahl für bestimmte Einsatzgebiete eine untergeordnete Rolle, außer im Teppichsektor und für Decken.

#### 1.2.2.5 Polyvinylalkoholfasern (PVA)

*Ji Guobiao, Hilmar Fuchs*

Ausgangsprodukt für Polyvinylalkoholfasern (PVA) ist das Vinylacetat. Für die Herstellung des Vinylacetates gibt es folgende Wege

- Umsetzung von Acetylen und Essigsäure in der Gasphase bei 200 °C und Normaldruck zum monomeren Vinylacetat (Katalysatoren: Zinkacetat auf Kohlenstoff)

- Umsetzung von Etylen und Essigsäure bei Temperaturen unter 100 °C zum monomeren Vinylacetat (Katalysatoren: Pd/Au-Katalysatoren)

1924 stellten W. O. Herrmann und W. Haehnel PVA durch Alkohollyse von Polyvinylacetat (PVCA) her und verspannen es trocken. Diese Fasern waren wasserlöslich. 1939 gelang es in Japan wasserunlösliche Fasern zu entwickeln [28]. Polyvinylacetat wird durch Polymerisation in Methylalkohol als Lösungsmittel hergestellt. Durch Hydrolyse (Verseifung) von Polyvinylacetat mittels Natronlauge entsteht Polyvinylalkohol.

Die Verspinnung von Polyvinylalkohol erfolgt meist nach Filtration und Verminderung des Wasseranteiles nach dem Nassspinnverfahren. Beim Nassspinnen werden verschiedene Salzbäder zur Koagulation eingesetzt, vorzugsweise Natriumsulfatlösungen bei 45 °C.

Zur Herstellung von Fasern mit hoher Festigkeit, niedriger Dehnung, hohem Modul und seidenähnlicher Oberfläche wird auch das Trockenspinnverfahren eingesetzt.

Während des Koagulationsprozesses kommt es zur Verstreckung und Orientierung der Moleküle. Es folgt eine thermische Nachbehandlung bei 210 °C zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften. Anschließend werden die Filamente in Formaldehyd bei 70 bis 80 °C einer Acetalisierung unterzogen, wodurch die Hitzebeständigkeit steigt und die Erweichung in Wasser erst bei 110 bis 115 °C einsetzt.

1939 wurde in Japan mittels einer Aldolisation (Dehydrierung/Wasserabspaltung) erreicht, dass PVA-Fasern wasserunlöslich sind. Es handelt sich um Nischenprodukte.

Eigenschaften von Polyvinylalkoholfasern:

Faserdichte	1,28 bis 1,31 g/cm <sup>3</sup>
Zersetzungstemperatur	180 bis 220 °C
Faserfeinheit	5 bis 10 dtex
Höchstzugkraft	30 bis 90 cN/tex
Höchstzugkraftdehnung	10 bis 25 %

Für die Vliesstoffindustrie haben Polyvinylalkoholfasern nur Bedeutung, wenn die Wasserlöslichkeit eigenschaftsbestimmend ist (Medizintextilien). Wasserunlösliche Polyvinylalkoholfasern werden wegen ihrer sehr guten Alkalibeständigkeit in Textilbeton eingesetzt.

#### 1.2.2.6 Aramidfasern (PAI)

*Hilmar Fuchs*

Aromatische Polyamide bestehen aus Kohlenstoffringen (Benzolringe), während aliphatische Polyamide (PA 6, PA 6.6) aus linearen Kohlenstoffketten aufgebaut sind.

Da eine Polykondensation in der Schmelze nicht möglich ist, erfolgt eine Lösungspolymerisation in Dimethylformamid. Dadurch besteht der Vorteil, dass die Polymerisationslösung nach dem Nassspinn- und Trockenspinnverfahren versponnen werden kann.

Je nach Art der Kettenverbindung zwischen den Benzolringen unterscheidet man para-Anordnung oder meta-Anordnung. Die industrielle Produktion von Aramidfasern wurde 1965 von DuPont aufgenommen (Nomex).

Eigenschaften von Aramidfasern:

Faserdichte	1,38 bis 1,45 g/cm <sup>3</sup>
Zersetzungstemperatur	370 bis 410 °C
Faserfeinheit	5 bis 150 dtex
Höchstzugkraft	50 bis 270 cN/tex
Höchstzugkraftdehnung	3 bis 5 %

Aramidfasern werden wegen ihrer hohen Festigkeit und Hitzebeständigkeit in der Vliesstoffindustrie in Schutzkleidung gegen Chemikalien und Hitze, für Heißgasfilter und für kugelhemmende Textilien oder Bauteile eingesetzt.

#### 1.2.2.7 Melaminharzfasern (MF)

Melaminharzfasern werden aus Melamin-Formaldehyd-Harzen hergestellt. Ausgangsstoffe dafür sind eine wässrige Formaldehydlösung und reines Melamin [28]. Die Synthese erfolgt bei Temperaturen von 70 bis 100 °C im basischen Bereich. Zunächst bilden sich mehrfach methylierte Melaminabkömmlinge und anschließend durch Kondensation längere Ketten. Bei der Kondensation werden die Melaminketten durch Ether und Methylenbrücken miteinander verknüpft. Mit Beendigung der Kondensation nimmt die Wasserverdünnbarkeit ab. Anschließend wird die wässrige Kondensationsharzlösung zu Formmassen, durch Sprühtrocknung zu Pulver, zu Vliesstoffen (*Meltblown*) oder nach dem Trockenspinnverfahren zu Fasern verarbeitet.

Melaminharzfasern haben folgende Eigenschaften:

Faserdichte	1,4 g/cm <sup>3</sup>
Faserdurchmesser bei Meltblown	1 bis 18 µm
Faserfeinheit beim Trockenspinnverfahren	1,5 bis 2,5 dtex
Schmelzpunkt	kein Schmelzpunkt
Temperaturbeständigkeit	bis 200 °C
Faserzersetzung	bei 400 °C
LOI-Wert	30 bis 32
Höchstzugkraft	5 bis 10 cN/tex

Melaminharzfasern werden eingesetzt für Schutzkleidung (Chemikalienschutz, Störlichtbogenschutz bis zu 1000 V, Hitze- und Flammschutz), für Brandschutztextilien, für Feuerblocker, Mobiltexilien und für Filtermaterialien (Faserdurchmesser bis zu 1 µm, Feinstaubfilter PM 2,5) [32].

### 1.2.3

#### Chemiefasern aus anorganischen Polymeren

##### 1.2.3.1 Glasfasern

*Wilhelm Albrecht, Hilmar Fuchs*

Glasfasern sind ein wichtiger Rohstoff für die Vliesstoffherstellung. Entsprechend der Einsatzzwecke werden folgende Glasfaserarten eingesetzt [33, 34]:

- A-Glas hoher Gehalt an Siliciumdioxid, Einsatz als Fensterglas und im Apparatebau
- C-Glas hohe Chemikalienbeständigkeit infolge erhöhtem Bortrioxidanteil
- E-Glas Standardfaser (Marktanteil über 85 %) wird von Säuren und Laugen angegriffen, geeignet für Elektroisolation
- S,R-Glas erhöhte Festigkeit
- M-Glas erhöhte Steifigkeit
- ECR-Glas hohe Korrosionsbeständigkeit, Einsatz zur Kunststoffverstärkung
- D-Glas niedriger dielektrischer Verlustfaktor, enthält 8 bis 13 % Bortrioxid
- AR-Glas resistent gegenüber basischem Umfeld infolge erhöhtem Anteil von Zirkonoxid, eingesetzt als Betonzusatzstoff und im textilbewehrten Beton als Flächengebilde
- Glaswolle besteht bis zu 70 % aus Altglas, eingesetzt als Dämmstoff (Vliesstoff-Matte)

Die Hauptbestandteile von Glas sind:

Quarzsand ( $\text{SiO}_2$ ), Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), gebrannter Kalk ( $\text{CaO}$ ), Dolomit, Feldspat, Pottasche ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), Natriumoxid ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), weitere Läuter- und Farbzusätze.

Je nach Glasart werden die Bestandteile und Zusätze festgelegt und kombiniert.

Die Herstellung der Vorprodukte für die Glasfaserherstellung erfolgt in Glasschmelzöfen. Die Mischung aus den Rohstoffen wird über ein Silo und Förderschnecken in die Schmelzkammer transportiert und dort aufgeschmolzen. Das Erhitzen erfolgt mit Gas- oder Ölbrenner oder voll elektrisch. Dem Glasschmelzofen schließt sich das Ziehen der Glasfilamente (Direktverfahren) oder die Herstellung von Glasstäben oder Glaskugeln an. Die Weiterverarbeitung erfolgt nach dem Düsenziehverfahren, dem Stabziehverfahren oder dem Düsenblasverfahren.

Düsenziehverfahren (Abb. 1.7). Das vorgelegte Glas wird elektrisch bei ca. 1400 °C aufgeschmolzen und anschließend den Ziehdüsen zugeführt. Die Düsentemperatur beträgt 1000 bis 1200 °C. Die Lochanzahl in der Düse liegt bei 1000 bis 2500 Löchern. Die aus der Düse austretenden Elementarfäden werden zu Spinnfäden zusammengefasst, mit einer Präparation versehen und aufgespult. Bei Einsatz in Vliesstoffen werden die Spinnfäden geschnitten (Faserlänge: 5 bis 30 mm).

Stabziehverfahren (Abb. 1.7). Die Glasstäbe werden im elektrischen Ziehbrenner am unteren Ende aufgeschmolzen. Dabei werden Tropfen gebildet, die beim Abziehen durch eine rotierende Trommel zu Filamenten umgeformt werden. Die Filamente werden mittels Rakel an der Trommel abgehoben und auf ein Siebband



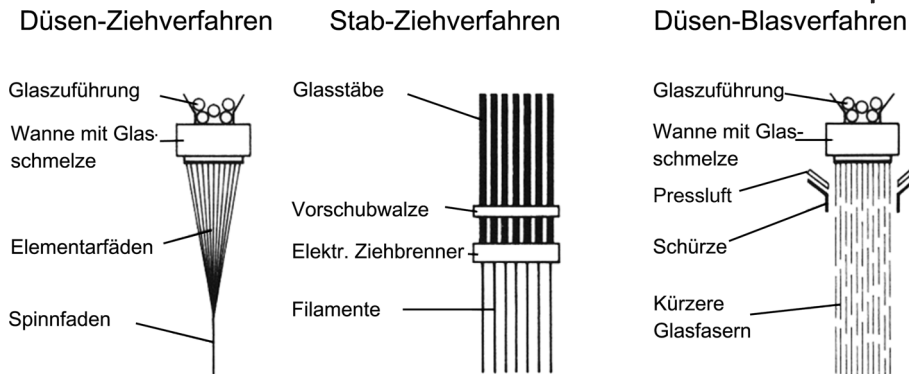


Abb. 1.7 Verfahren zur Herstellung von Glasfasern

aufgelegt. Es entsteht ein Trockenvlies, welches auch als Glasfaserverband aufgespult werden kann. Da die Leistung derartiger Maschinen durch die Anzahl der vorgelegten Glasstäbe begrenzt ist, wird häufig die Trommelablage mit dem Düsenziehverfahren zum Trommelziehverfahren kombiniert. Nach dem Trommelziehverfahren werden 90 bis 95 % der Stapelfasern produziert. Der Filamentdurchmesser wird über die Abzugsgeschwindigkeit (bis ca. 4000 m/min) gesteuert und liegt im Bereich von 8 bis 18  $\mu\text{m}$ .

Düsenblasverfahren (Abb. 1.7). Die Glaskugeln werden wie beim Düsenziehverfahren in der Wanne aufgeschmolzen. Die aus den Düsenlöchern austretende Schmelze wird von einem Heißluftstrom erfasst, der das flüssige Glas zu Fasern (Durchmesser: 3 bis 10  $\mu\text{m}$ , Faserlänge 30 bis 300 mm) verzieht. Nach Aufbringen einer Präparation werden die Fasern auf einer Siebtrommel abgelegt. Bei Kurzschnittherstellung (Faserlänge: 3 bis 8 mm) wird der Glasfaserverbund zusammengeführt und geschnitten.

Wesentliche Eigenschaften von Glasfasern [33, 35, 36]:

Dichte	2,5 bis 2,9 g/cm <sup>3</sup>
Temperaturbeständigkeit in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung	450 bis 800 °C
Höchstzugspannung	2400 bis 4700 N/mm <sup>2</sup>
Bruchdehnung	1 bis 4 %
E-Modul	60 000 bis 90 000 MPa
Erweichungsbereich	500 bis 800 °C
Schmelztemperatur	1100 bis 1500 °C
Feuchteaufnahme	0 bis 0,4 %

### 1.2.3.2 Silikatfasern

Silikatfasern sind anorganische Fasern auf oxidischer Basis mit einem SiO<sub>2</sub>-Gehalt von 94 bis 99 %. Je nach Herstellungsverfahren unterscheidet man zwischen

erschmolzenen und gelaugten Silikatfasern. Silikatfasern haben eine hervorragende Chemikalienbeständigkeit und eine Temperaturbeständigkeit von 1000 bis 1200 °C. Der Schmelzpunkt liegt bei 1400 bis 1600 °C.

Die Hochleistungs-Silikatfaser „belCotex“ [37] basiert auf einem  $Al_2O_3$ -modifiziertem Stapelfaservorgarn auf Kieselsäurebasis. Die Kieselsäurefasern erhält man durch Auswaschen von E-Glas. In das  $SiO_2$ -Skelett werden OH-Gruppen eingelagert, die zum textilen Charakter des Fasermaterials beitragen. Die Temperierung des Fasermaterials erfolgt bei 1000 °C (24 h). Dabei kommt es zu einer Umorientierung des modifizierten  $SiO_2$ -Netzwerkes. Die Dichte des Fasermaterials liegt bei  $2,1 \text{ g/cm}^3$ . Silikatfasern sind bei 1000 °C thermisch langzeitresistent und bis 1200 °C kurzzeitresistent und nicht brennbar. Der Faserdurchmesser liegt bei 8 bis 10  $\mu\text{m}$ .

Die Verarbeitung von Silikatfasern zu Vliesstoffen nach dem Kardiervverfahren ist problematisch wegen der hohen Sprödigkeit der Fasern. Die hohen Temperaturbeständigkeiten der Silikatfasern sind weiterhin Anlass für Forschungsprojekte zur Vliesstoffherstellung. In den USA wurde ein Nass-Vliesstoff aus Silikatfasern für Wärme-, Schall- und Feuerschutzbarrieren entwickelt [38].

#### 1.2.3.3 Keramikfasern

Keramikfasern zählen zu den nichtmetallischen, anorganischen Fasern. Zwischen Glasfasern und Keramikfasern muss eine Unterscheidung getroffen werden [39, 40]. Glasfasern entstehen über die Erstarrung einer Glasschmelze und ihre Hauptbestandteile sind silikatische Systeme. Unter Keramikfasern versteht man alle amorphen oder polykristallinen (oxidischen oder nichtoxidischen) nichtmetallischen-anorganischen Fasern, die nicht über Glasschmelzen erzeugt werden.

Keramikfasern werden in Hochtemperatur-Verbundmaterialien (Struktur- und Funktionsbauteile) eingesetzt. Sie bestehen aus Aluminiumoxid, Quarzsand, Boroxid oder Zirkonoxid.

Das Erschmelzen erfolgt bei Temperaturen von über 2000 °C. Die Herstellung keramischer Kurzfasern erfolgt nach dem Schleuderverfahren. Die Zerfaserung erfolgt mittels Luftdüsen (Faserdurchmesser: 3 bis 10  $\mu\text{m}$ ). Bis zu Einsatztemperaturen von 1200 °C ist die Faser stabil. Einsetzbar sind die Fasern bis 1700 °C und kurzzeitig bis 2000 °C. Bei den Eigenschaften muss unterschieden werden zwischen oxidkeramischen und nichtoxidkeramischen Fasern:

---

Dichte:	2,7 bis 4,0 $\text{g/cm}^3$	oxidkeramisch
	2,5 bis 3,1 $\text{g/cm}^3$	nichtoxidkeramisch
Zugfestigkeit:	1700 bis 2100 MPa	oxidkeramisch
	2600 bis 3500 MPa	nichtoxidkeramisch
Faserdurchmesser:	3 bis 12 $\mu\text{m}$	oxidkeramisch
	8 bis 14 $\mu\text{m}$	nichtoxidkeramisch

---

Die Verwendung von Keramikfasern erfolgt für Thermoisolationen an Hochtemperaturöfen und für hochtemperaturbeständige Dichtungsmaterialien. Der Einsatz für Vliesstoffe gestaltet sich wegen der hohen Sprödigkeit kompliziert. Für den Einsatz als Dichtungsmaterial wurden Matten und Vliese entwickelt, teilweise unter Beimischung textil gut verarbeitbarer Fasern. Haupteinsatzgebiet sind Keramik-Verbundwerkstoffe bis hin zu Knochenersatzmaterialien.

#### 1.2.3.4 Kohlenstofffasern

Die Basis für die Herstellung von Kohlenstofffasern sind industriell hergestellte Fasern mit hohem Kohlenstoffgehalt, wie z. B. Polyakrylnitril, Zellulosefasern und Pech. Sie werden durch thermische Zersetzung (Pyrolyse) bei Temperaturen im Bereich von 1300 bis 1500 °C hergestellt. Der Kohlenstoffgehalt erreicht dabei 96 bis 98 %. Anschließend erfolgt eine Umwandlung in Graphit. Dabei entsteht bei Temperaturen zwischen 2000 und 3000 °C eine gut ausgerichtete Gitterstruktur mit einem Kohlenstoffgehalt von ~ 99 %. Der hohe Modul der Kohlefasern liefert hervorragende Voraussetzungen für Verbundwerkstoffe (Flugzeugbau, Land- und Wasserfahrzeuge, Raketen, Maschinenbau, Sportgeräte, Raumfahrt, Medizintechnik).

Kohlenstofffasern liegen je nach Spezifikation in folgenden Eigenschaftsbereichen:

Dichte	1,7 bis 1,9 g/cm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit	3500 bis 5500 MPa
Filamentdurchmesser	7 bis 10 µm
E-Modul	230 bis 400 GPa
Bruchdehnung	0,6 bis 1,6 %
Zersetzungstemperatur	3500 bis 3600 °C

Der Einsatz von Kohlenstofffasern für Vliesstoffe erfordert ein hohes technisches Niveau. Der bei der Verarbeitung auf Faseröffnungsanlagen entstehende Faserstaub kann zu Störungen der elektronischen Steuerung führen. Gute Voraussetzungen bietet die Nassvliesstoff-Technologie für die Herstellung leicht- und mittelschwerer Vliesstoffe.

#### 1.2.3.5 Kohlenstoffnanoröhren – CNT

Kohlenstoffnanoröhrchen (*Carbon-nanotubes*/CNT) sind kleine röhrenförmige Gebilde aus Kohlenstoff.

Die Forschungen mit CNT begannen 1990. *Nanotubes* können einwandig (*single-walled nanotubes*/SWNT) oder mehrwandig (*multi-walled nanotubes*/MWNT) sein. SWNT haben einen Durchmesser von ca. 1 nm, MWNT erreichen bis zu 50 nm. Die Länge kann einige µm betragen. Als Röhrenbündel erreichen CNT eine Länge bis zu mehreren Millimetern. Die Röhrenenden sind offen oder geschlossen. Mit offenen CNT-Röhrenenden wurden Versuche vorgenommen, diese mit Metall zu füllen.

Die Herstellung kann nach drei Verfahren erfolgen:

- Bogenentladung (Plasma zwischen Graphitelektroden mit 3000 bis 4000 °C unter Heliumatmosphäre)
- Laserverdampfung (Laserstrahl verdampft Graphit)
- Chemische Gasphasen-Abscheidung (bei über 1000 °C)

Die Herstellungsprozesse erfordern das Einbringen von Wachstumsinitiatoren (Katalysatorfunktion), wie z. B. Kohlenstoffringe oder Metallcluster.

Wesentliche Eigenschaften von CNT sind [41–43]:

Dichte	1,3 bis 1,4 g/cm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit	bis 30000 MPa
E-Modul	bis 1000 GPa
Bruchdehnung	0,1 bis 0,8 %
Durchmesser	1 bis 50 nm

Die industrielle Herstellung von CNT begann 2004. Im Jahre 2009 wurde der deutsche Forschungsverbund „Innovationsallianz CNT“ gegründet (80 Partner). Die Bayer AG plant eine Produktionsanlage für 200 t/a.

Neben Einsatzgebieten auf dem Gebiet Energie und Umwelt werden auch Anwendungsgebiete im Leichtbau (Partikelschäume für Sicherheitselemente) und für hochfeste Verbundwerkstoffe (Fahrzeuge, Luftfahrt, Raumfahrt) erschlossen. Der Einsatz von CNT in Matten und Vliesstoffen ist derzeit Forschungsgegenstand.

Gesundheitliche Auswirkungen von CNT sind noch nicht ausreichend erforscht. Bedenklich ist, dass die längliche Struktur der von Asbest ähnelt.

#### 1.2.3.6 Metallfasern und metallisierte Fasern

Metallfasern werden aus reinen Metallen, Halbmetallen oder Legierungen hergestellt [44]. Die Herstellung erfolgt nach mechanischen (Drahtziehen, spangebende Verfahren) oder thermischen (Schmelzspinnen, Schmelzextraktion) Verfahren. Neben Stahl werden Metallfasern auch aus Aluminium, Kupfer, Zink, Blei, Zinn, Nickel, Kobold, Magnesium, Titan, Molybdän und Wolfram hergestellt.

Metallfasern haben einen Durchmesser von 2 bis 40 µm. Im Bereich von 10 µm bis 1,4 mm spricht man von Feinstdraht und Feindraht.

Metallisierte Fasern werden auf Basis von Chemiefasern, wie Polyester, Polyamid, Polyacrylnitril, Glas und Kohlenstofffasern, aber auch von Metallfasern hergestellt. Die Herstellung erfolgt elektrolytisch oder mittels Galvanisieren.

Zur Herstellung von Vliesstoffen werden Metallfasern oder metallisierte Fasern geschnitten, auch Kurzfasern für Metallmatrixverbundstoffe und *Rovings* sind im Einsatz.

Einsatzgebiete sind: elektromagnetische Schirmmaterialien; Antistatikeffekte in Heimtextilien; Sport-, Arbeits- und Schutzkleidung; Heißgasfilter; Stahlfaser-Vliesstoff; Reifencord.

#### 1.2.4

### Modifikation von Chemiefaserstoffen

*Hilmar Fuchs*

Die Anpassung von Chemiefaserstoffen an die Eigenschaftserfordernisse von Vliesstoffen ist möglich durch:

- chemische Modifikation
- physikochemische Modifikation
- physikalische Modifikation

Für diese drei Grundarten der Chemiefasermodifikation sind nachfolgende Anwendungsfälle Stand der Technik.

#### Chemische Modifikation

Die chemische Modifizierung hat eine Veränderung der übermolekularen Struktur und der Fasereigenschaften zum Ziel. Dazu sind chemische Reaktionen erforderlich [36]:

- Copolymerisation und Cokondensation durch Einbau von Comonomeren während der Synthese. Erreichbar sind die Einbindung von Farbstoffen, Veränderung der Wasseraufnahme, der Entflammbarkeit, der antibakteriziden Wirkung, der Elastizität und des Schmelzpunktes.
- Pfropfpolymerisation durch Radikalbildung an der Polymerkette, auch hervorgerufen durch strahlenchemische Behandlung. Durch Pfropfpolymerisation (z. B. Acrylsäure auf Polyester) werden folgende Eigenschaften beeinflusst: Lichtbeständigkeit, bakteriozides Verhalten, Kräuselung, Färbbarkeit, Hydrophilie, Hydrophobie, Hygroskopizität, antistatisches Verhalten, Knitterverhalten, Brennbarkeit, Ionenaustauschverhalten.

#### Physikochemische Modifizierung

Die physikochemische Modifizierung basiert auf Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Schmelze, der Lösung oder des Spinnbades durch Mischen verschiedener Komponenten:

- Mischung unterschiedlicher Polymere zur Herstellung von Bikomponentenfasern (Matrix/Insel – oder Matrix/Fibrillenstrukturen), Mikro- bzw. Nanofasern und Hybridfasern.
- Beimischung von Mattierungsmittel mit Mengenanteilen bis zu 3 %; (Titan-dioxid, Bariumsulfat, Silikat).
- Als Lichtschutzmittel werden Titandioxid, zweiwertige Mengenverbindungen und Phosphate eingesetzt. Es besteht die Gefahr, dass Lichtschutzmittel ausgewaschen werden.

- In spinngefärbten Fasern werden Farbstoffe in Konzentrationen bis 15 % eingesetzt. Auch Aufheller und Flammschutzmittel werden der Fasersubstanz in der Spinnmasse zugesetzt.
- Beifügen von Antistatika zur Schmelze und zur Lösung.
- Zur Faserstoffmodifizierung werden Zusätze (*Modifier*) in kleinen Mengen beigelegt. Dadurch werden folgende Prozesse beeinflusst:
  - Fällbadeigenschaften
  - verbesserte Trocken-, Nass- und Querfestigkeit
  - Streckvorgang
  - Erweichungs- und Schmelzverhalten
  - Senkung der Temperatur für Farbstoffaufnahme (ab 90 °C) durch Modifizierung mit 1,2-Alkandiol [45]
  - Senkung der Pillbildung
  - Veränderung der elektrostatischen Eigenschaften
- Beimischung antimikrobiell wirksamer Substanzen, wie Silberionen, Zeolith und Zirkoniumphosphate (Problem: hohe Kosten). Die Auswahl der Additive wird durch die Thermostabilität im Schmelzspinnprozess begrenzt [46]
- Modifizierung durch Zusatz von Metallsalzen zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit und der Hydrophilie [47]

#### Physikalische Modifizierung

Bei der physikalischen Modifizierung wird die molekulare Struktur beibehalten:

- Variation der Düsenbohrung (Profilfasern, Hohlprofilfasern, Mikrofasern, Nanofasern)
- Variation der Kern/Mantel-Struktur
- Variation der Anblasgeschwindigkeit und Anblastemperatur zur Beeinflussung des Schrumpfverhaltens [48]
- Laserinduzierte Modifikation der Faseroberfläche [49]
- Plasmabehandlung der Faseroberflächen zur Hydrophobierung und Oleophobierung [50]
- Verankerung von Biopolymeren (Chitosan, Fucoiden) auf textilen Oberflächen
- Aufbringen von Aufhellern und Antistatika in Verbindung mit der Avivage

### 1.3

#### Reißfasern

*Bernd Gulich*

Reißfasern sind textile Faserstoffe im mindestens zweiten Verarbeitungszyklus, deren Herstellung aus Textilabfällen erfolgt. Textile Faserstoffe mit ihren oftmals auch speziellen Eigenschaften und den ihnen innewohnenden Funktionalitäten sind prädestiniert für einen mehrmaligen Gebrauch. Die sich verändernden wirtschaftlichen Rahmenbedingungen tragen immer mehr zur Einsatzerweiterung von Reißfasern bei.

### 1.3.1

#### Das Ausgangsmaterial Textilabfall

Der Textilabfall ist das Ausgangsmaterial des Reißprozesses. Textilabfall beinhaltet als Oberbegriff die Gruppen Produktionsabfälle und gebrauchte Textilien. Produktionsabfälle sind unvermeidbare Abfälle, die entlang der gesamten technologischen Kette der Herstellung von Textilien entstehen. Sie besitzen in der Regel ein kontinuierliches Aufkommen mit konstanter und bekannter Zusammensetzung und sind meist sortenrein erfassbar. Durch globale wirtschaftliche Veränderungen kommt es seit einiger Zeit zu Verlagerungen der Anfallorte von Produktionsabfällen bzw. zu Veränderungen hinsichtlich der Abfallarten und deren Zusammensetzung.

Gebrauchte Textilien (Alttextilien) fallen überwiegend in privaten Haushalten (Altkleider mit Herkunft aus dem In- und Ausland) und zunehmend im kommunalen Bereich und Dienstleistungsbereich sowie in der Industrie an. Aufkommen und Zusammensetzung unterliegen zumindest bei den Altkleidern sporadischen (saisonalen) Einflüssen. Altkleider zur Reißfaserherstellung sind in der Regel die Abfallfraktion von Erfassungs-, Sortier- und Verwertungssystemen, deren eigentliches Ziel in der Zweitverwertung gebrauchter Bekleidung besteht. Bis heute gibt es zur Sortierung keine komplexe und vom Menschen unabhängig arbeitende technische Systemlösung mit wirtschaftlicher Effizienz.

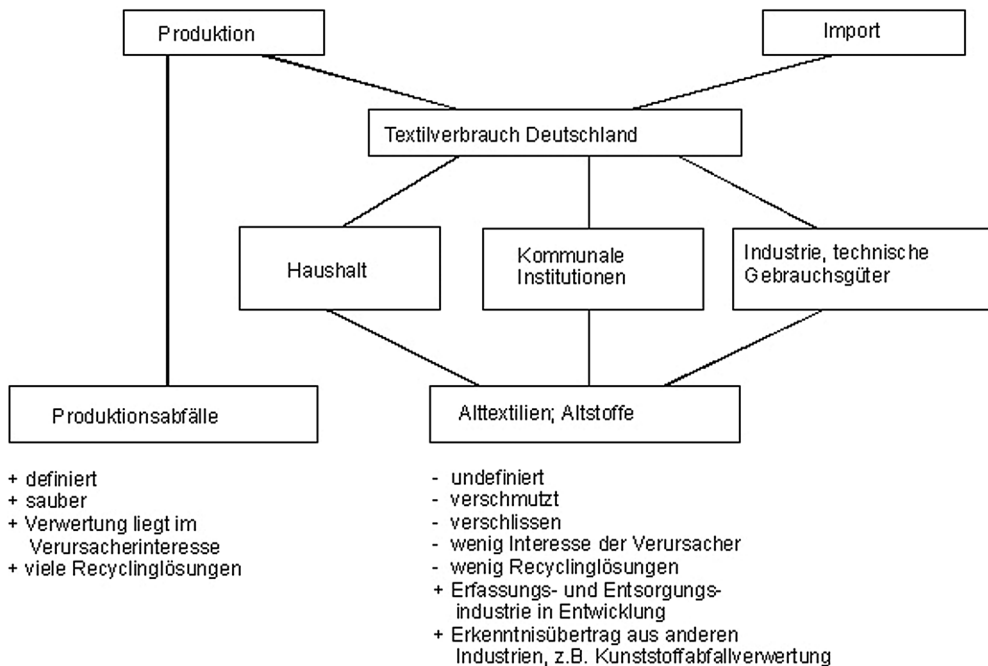


Abb. 1.8 Herkunft und Charakteristik von Textilabfällen

**Tabelle 1.7** Strukturen von Textilabfällen und Faserstoffe nach der Häufigkeit des Aufkommens

Textilabfälle aus dem Bereich		
Materialkonstruktion (nach ihrer Häufigkeit)	Bekleidung (Schwerpunkt Oberbekleidung)	Technische Textilien
	Gewebe (85 %)	Vliesstoffe
	Maschenware (15 %)	Gewebe Maschenware
Faserstoffe (nach der Häufigkeit ihrer Verwendung)	Polyester	Polypropylen
	Baumwolle	Polyester
	Wolle	Polyamid
	Viskose	Spezialfasern
	Polyacryl	Baumwolle u. a. Naturfasern

Die Erfassung von Alttextilien und deren Weiterverwendung als gebrauchte Textilien, aber auch die Wiederverwendung der textilen Rohstoffe in anderen Erzeugnissen, wird seit vielen Jahrhunderten realisiert. Bis zum 17. Jahrhundert wurden textile Lumpen ausschließlich in der Papierherstellung verwertet. Mit der Entwicklung von Verfahren zum „Zerreißen“ der Alttextilien wurde es möglich, längere Fasern zurückzugewinnen und wieder zu Garnen zu verspinnen. Die hohen Rohstoffkosten und die begrenzte Verfügbarkeit textiler Rohstoffe bildeten zu dieser Zeit den Hauptinitiator eines gut funktionierenden textilen Kreislaufsystems, dessen Kernstück neben der Weiterverwendung als Bekleidung die Herstellung von Reißfasern bildet.

Mit dem Einzug der Synthefaserstoffe standen der Textilindustrie zunächst Primärfaserstoffe in ausreichenden Mengen und zu günstigen Preisen zur Verfügung. So ließen lange Zeit neben durchaus vorhandenen wirtschaftlichen Vorteilen auch ökologische Aspekte den traditionellen Industriezweig Textilrecycling fortbestehen.

Aktuell erfährt das Recycling aus unterschiedlichen Gründen eine Renaissance. Die sinnvolle Wiederverwertung textiler Rezyklate in textilen, aber auch in nicht-textilen Anwendungen trägt neben der langfristigen Schonung der Rohstoffquellen auch zur Entlastung der Umwelt bei. Daneben sind steigende Rohstoff- und Energiepreise weitere Beweggründe für ein Recycling. Letztlich verbieten gesetzliche Bestimmungen die Deponie von wiederverwertbaren Stoffen. Recycling durch Reißen sollte aber nur dort zur Anwendung kommen, wo die Funktionalität der textilen Faser erhalten bleibt und die Fasern mit vertretbaren Aufwendungen nochmals genutzt werden können.

### 1.3.2

#### Der Reißprozess

Der Reißprozess dient als ein rein mechanisches Verfahren zur Auflösung der Struktur des vorgelegten Textilabfalls in die zu seiner Herstellung verwendeten



textilen Einzelbestandteile Fasern und Fäden. Ziel des Prozesses ist die Rückgewinnung textiler Einzelfasern für deren Wiedereinsatz als Rohstoff in einem neuen Produktkreislauf. Die Art und Weise der Zerfaserung der Textilstrukturen ist der Schlüssel zu mehr oder weniger hochwertigen Fasern für neue Produkte in textilen oder nichttextilen Bereichen [51].

Der Reißprozess kann in die folgenden technologischen Einzelschritte unterteilt werden:

- Materialvorbehandlung
- Strukturauflösung
- Nachbehandlung

#### 1.3.2.1 Materialvorbehandlung

Die Textilabfälle liegen als Ausgangsmaterial in sortenreiner bzw. in bekannter und/oder weitestgehend definierter Zusammensetzung vor. Geschaffen wird diese Voraussetzung durch getrennte Erfassung (bei textilen Produktionsabfällen) oder durch Sortierung (vorwiegend bei Alttextilien).

Textilabfälle fallen in unterschiedlichen Formen und mit zum Teil erheblichen Abweichungen der geometrischen Dimensionen Breite und Länge an. Das anzutreffende Spektrum lässt sich durch Extreme wie zum Beispiel durch Filament- oder Fadenreste aus der Spinnerei und Spinnereivorbereitung, durch Randstreifen aus der Flächenherstellung und durch komplette Flächenstücke skizzieren. Ebenso sind Altkleider von unregelmäßigen geometrischen Dimensionen geprägt. Daher besteht ein wesentlicher Arbeitsgang im Vorzerkleinern durch Schneiden. Die Schnittlänge ist auch bezüglich der resultierenden Reißfaserlänge von Bedeutung, weil durch den bzw. die Schnitte ein künstlicher und irreparabler Ausgangsstapel erzeugt wird. Daraus folgt, dass Schnittlänge und Reißfaserlänge in einem Zusammenhang stehen, welcher außerdem wesentlich von der im Material enthaltenen Originalfaserlänge bestimmt wird. Befeuchten und Schmelzen können Vorteile bei der anschließenden Strukturauflösung generieren und durch Reduzierung der Faserreibung einen Beitrag zur Senkung des Energieaufwandes und der Faserschädigung leisten [52].

#### 1.3.2.2 Die Strukturauflösung

Das Wirkungsprinzip der Reißmaschine besteht darin, dass grob vorzerkleinerte Materialien durch ein transportierend und gleichzeitig klemmend wirkendes Einzugsystem einer mit hoher Umfangsgeschwindigkeit rotierenden Trommel, dem Reißtambour, zugeführt werden (Abb. 1.9). Die auf dem Reißtambour angeordneten stift-, haken- oder zahnförmigen Reißorgane greifen in die durch das Einzugsystem einseitig geklemmte Struktur ein und zerreißen die Struktur unter Einwirkung einer Zugbeanspruchung. Die Strukturauflösung kann nur erfolgen, solange sich das Material in geklemmtem Zustand befindet. Für die Aufbereitung der meisten textilen Strukturen ist die Passage mehrerer aufeinanderfolgender Reißseinheiten notwendig. Das Einzugsystem an Reißmaschinen kann aus einem Walzenpaar oder aus der Kombination einer rotierenden Walze

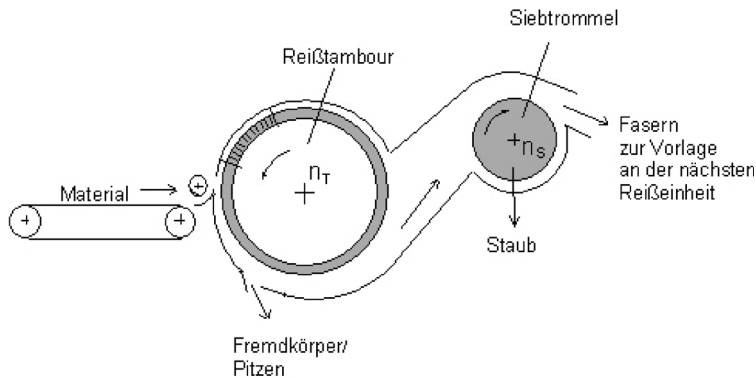


Abb. 1.9 Prinzipieller Aufbau einer Reißeinheit (Tambourdrehzahl  $n_T$  > Siebtrommeldrehzahl  $n_S$ )

mit einer starren Mulde bestehen. Bei dem heute häufiger anzutreffenden Muldeneinzug befindet sich der Materialklemmpunkt an der Muldenkante und kann damit näher an den Wirkungsbereich der Reißorgane heran gebracht werden. Durch die Form der Muldenkante kann die Lage des Materialklemmpunktes variiert werden und somit auf die Eigenschaften des vorgelegten Materials reagiert werden. Das ist für die vollständige Strukturauflösung im Verlauf mehrstufiger Aufbereitungsvorgänge von Vorteil.

Aus der Flugbahn des Reißgutes um den Tambour können die noch enthaltenen unaufgelösten Materialbestandteile aufgrund ihrer höheren Masse ausgesondert werden. Der ausgeschiedene und mit entsprechenden technischen Mitteln erfasste Materialstrom kann in den Prozess zurück geführt werden (ggf. nach einer entsprechenden Zwischenbehandlung) oder als Abfall verworfen werden.

Die Materialübergabe zwischen den in Reihe angeordneten Reißtambouren erfolgt in der Regel durch Siebtrommeln. Diese nehmen nach dem Wirkprinzip eines Kondensators das Reißgut aus der Flugbahn um den Reißtambour ab, entstauben es und liefern es als Fasermatte oder Faserpelz zur Vorlage an der nächsten Reißeinheit ab.

Grundsätzlich gilt, dass der voranschreitenden Strukturauflösung durch die Anzahl und die Feinheit der auf dem Reißtambour angebrachten Reißorgane Rechnung getragen werden muss. Um eine ausreichende Transport- bzw. Einzugsicherheit und eine Rückhaltekraft am Materialklemmpunkt zu sichern, ist außerdem die strukturabhängige Gestaltung der Einzugswalzenoberfläche erforderlich. Die mit der Auflösung einhergehende Volumenzunahme macht zwischen den Reißeinheiten Verzüge erforderlich, deren Höhe von Materialstruktur und Durchsatzmenge abhängig ist. Nach Passage des letzten Reißtambours im Anlagenzug wird das Material direkt abgesaugt und zu den nachgeschalteten Einrichtungen zur Nachbehandlung und Konfektionierung transportiert.

Ein- und zweitambourige Maschinen sind als Bestandteil innerbetrieblicher Kreislaufsysteme vorwiegend zur Aufbereitung eines eng begrenzten Sortimentes mit konstanten Produkt- bzw. Struktureigenschaften und mengenmäßig geringem

Anfall geeignet. Die bei solchen Anlagen üblichen Arbeitsbreiten zwischen 500 und 1000 mm ermöglichen materialabhängige Durchsatzleistungen von 100 bis 450 kg/Stunde. Reißanlagen in Recyclingunternehmen bestehen dagegen in der Regel aus mindestens drei und maximal sechs Tambouren mit Arbeitsbreiten von 1000 mm, 1500 mm oder 2000 mm [51, 53].

Die Reißfaserherstellung aus Altkleidern erfordert wegen der bis zu einem Anteil von 3 % enthaltenen Fremtteile einen höheren maschinentechnischen und technologischen Aufwand. Der internationale Maschinenbau bietet zuverlässige und wirtschaftliche Systemlösungen zur Altkleideraufbereitung an. Ein bis zwei Passagen zur Grobauflösung durch spezielle Reißtamboure mit robusten Arbeitsorganen vor dem eigentlichen Reißprozess bewirken einen Strukturaufschluss bei gleichzeitigem Abtrennen der enthaltenen Fremtteile vom Textilgut. Daran anschließend erfolgt die Feinauflösung mit vier bis fünf Reißeinheiten. Kennzeichnend für moderne Anlagen zur Altkleideraufbereitung ist außerdem die Materialführung über verschiedene Separiereinrichtungen. Hier erfolgt die Fremtteilseparierung angepasst an den jeweiligen Stand der Strukturauflösung innerhalb des Aufbereitungsprozesses. Die Praxis zeigt, dass die Reißfasern fremtteilfrei vorliegen und mittels Kardierverfahren zu Vliesstoffen verarbeitbar sind.

Prinzipiell ist es auch möglich, textile Fußbodenbeläge durch Reißen aufzubereiten. Jedoch erschweren die in diesen Konstruktionen enthaltenen großen Anteile an nichttextilen Materialien (Füllstoffe, Kleber, Folien) eine wirtschaftliche Prozessführung [54, 55].

An Aktualität gewinnt die Aufbereitung von Abfällen aus Spezialfaserstoffen wie Carbon, PTFE oder Aramid. Hierzu ist ein technologisch modifizierter Reißprozess erforderlich. Ein alternatives Verfahren nutzt eine spezielle Mühlentechnik zum schonenden Aufschluss gewebter Strukturen [56, 57].

### 1.3.2.3 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung von Reißfasern beinhaltet die Arbeitsschritte

- Reinigen
- Ausrüsten
- Mischen

Diese Arbeitsschritte verursachen zusätzlichen technologischen und technischen Aufwand und müssen innerhalb enger wirtschaftlicher Rahmenbedingungen realisiert werden. Ziel der Nachbehandlung ist die Produktveredlung durch Qualitätsverbesserung der Reißfasern. Die Feinausreinigung zur Reduzierung des Kurzfaseranteils und/oder zur Separation von Grob- und Fremtteilen bewirkt die Erhöhung der mittleren Faserlänge und des Materialauflösungsgrades. Generell ist es dabei von Vorteil, wenn die erreichten qualitativen Effekte nachweisbar zu Verbesserungen in den aus den Reißfasern hergestellten Produkten führen und sich dadurch wirtschaftliche Effekte in Form von höheren Erlösen widerspiegeln.

Die Erteilung besonderer anwendungsspezifischer Produkteigenschaften ist ein weiteres Ziel der Nachbehandlung. Für den Reißfaserhersteller bieten sich in enger Zusammenarbeit mit seinen Kunden hauptsächlich die folgenden Möglichkeiten:

- Aufbringen von speziellen Faserausrüstungen wie z. B. Flammfest-, Fungizid- oder Antistatikausrüstungen
- Herstellung verarbeitungsfertiger Mischungen von Reißfasern mit anderen Primär- oder Bindefasern

Durch diese Maßnahmen können beim Reißfaserverarbeiter im Bereich der Materialvorbereitung ganze Arbeitsgänge mit den dazu erforderlichen technischen Voraussetzungen vereinfacht oder eingespart werden.

Reißfasern werden zum Transport in Ballenform aufgemacht. Bekannt ist ebenso die direkte Kopplung von Reißfaserherstellung und Verarbeitungslinien.

### 1.3.3

#### **Reißfaserqualität**

Reißfasern haben gegenüber Primärfasern ein stark verändertes Eigenschaftsbild. Ihre bei der Herstellung erforderte Schädigung wird charakterisiert durch ein breites Faserlängenspektrum mit hohem Anteil kurzer Fasern und einem Anteil nichtaufgelöster Faden- und Flächenstücke. Einflussfaktoren auf das Eigenschaftsbild der Reißfasern ergeben sich aus dem Textilabfall, dessen Vorbehandlung und der Durchführung des Reißprozesses selbst. Der Wert des Reißfasergutes ist anteilig bereits im Faserstoff selbst bzw. in der Mischung verschiedener Faserstoffe begründet, er ist aber außerdem wesentlich abhängig von der Faserform und der Faserlänge [59, 60].

Wichtig für den Reißfaserhersteller selbst ist die Installation eines Qualitätsbewertungssystems, um die Effekte der gezielten Aufbereitung und einer eventuellen Mischung sicher zu beschreiben und zu garantieren und letztlich auch finanziell geltend machen zu können.

Für die Verarbeitung zu Vliesstoffen sind in Abhängigkeit vom Vliesbildungsverfahren unterschiedlich hohe Mindestanteile an aufgelösten Fasern bei einer für das entsprechende Vliesbildungsverfahren ausreichenden Länge erforderlich. Noch in der Mischung enthaltene Garn- und Fadenstücke tragen entweder direkt zur Matrixbildung bei oder werden während des Kardierprozesses weiter zu Fasern aufgelöst. Kurzfasern und Stäube stören ebenso wie Flächenreste die Durchführung von Verarbeitungsprozessen und sollten in ihrem Anteil durch eine optimale materialbezogene Reißtechnologie so gering wie möglich gehalten werden. Im Erzeugnis Reißfaser liegt der Anteil von nach textilen Technologien weiterverarbeitbaren Fasern mit mindestens 10 mm Faserlänge derzeit bei 55 bis 25 %. Eine Ausnahme bildet die Aufbereitung solcher leicht zu Reißfasern auflösbaren textilen Konstruktionen, wie z. B. wenig gedrehte Garne und mechanisch leicht bis mittel verfestigte Vliesstoffe. Reißfasern belegen aus den vorgenannten Gründen auf dem Markt das untere Preissegment, dessen Niveau sich

im Zusammenhang mit der Preisentwicklung für Primärfaserstoffe natürlicher und synthetischer Art und den steigenden Energiepreisen ebenfalls weiter nach oben verschoben wird.

#### 1.3.3.1 Charakterisierung der Reißfaserqualität

Die Qualität von Reißfasern lässt sich mit herkömmlichen textil-physikalischen Verfahren und im Vergleich zu Primärfaserstoffen nur sehr schwer charakterisieren. Als Ursachen für die eingeschränkte Anwendbarkeit bestehender Messverfahren und vorhandener Geräte zur Charakterisierung der Reißfaserqualität gelten die Inhomogenität der Reißfasermischung, der hohe Kurzfaserteil und die in der Mischung noch enthaltenen nichtfaserförmigen Textilreste (Pitzen, Fadestücke, Flächen).

Deshalb sind Abweichungen von den in den Normen für die Primärfaserprüfung festgelegten Prüfbedingungen und ein teilweise erheblich erhöhter Prüfaufwand erforderlich [61]. Unter heutigen Einsatzbedingungen für Reißfasern gilt das Hauptaugenmerk der Qualitätsbestimmung den Parametern Materialauflösungsgrad und Faserlänge bzw. Faserlängenverteilung. Der Materialauflösungsgrad stellt das im Ergebnis des Reißprozesses vorliegende Materialspektrum dar und wird wie folgt ermittelt:

- Quantitative Bestimmung der in einer Probe von 3 g bzw. 10 g Reißfasermischung enthaltenen Anteile an Fasern, Fäden, Pitzen und Flächenresten durch manuelle Trennung
- Angabe der Masseanteile in Prozent

Faser- und Fadenanteile können zusammengefasst betrachtet werden, wenn eine Weiterverarbeitung des Materials durch Krempeln (zu Vliesstoffen) vorgesehen ist. Maschinelle Methoden zur Separierung der Materialbestandteile (z. B. Trastester/Zellweger Uster) können durch prozesstypische weitere Materialauflösung teilweise zu verfälschten Ergebnissen führen.

Die Faserlänge und deren Verteilung ist neben der Materialauflösung der wichtigste Qualitätsparameter für Reißfasern und von besonderer Bedeutung für die Technologieauswahl. Die Bestimmung kann durch manuelle Einzelfasermessverfahren (Johannsen/Zweigle), durch halbautomatische Messsysteme (AFIS-L-Modul, Almeter, HVI) erfolgen. Im Ergebnis liegt die mittlere Faserlänge als statistischer Mittelwert vor. Die Verteilung der Faserlängen wird als Histogramm (absolute Häufigkeit) und als Kurve (Summenhäufigkeit) dargestellt. Teil- oder vollautomatisierte Auslese- und Erkennungssysteme mit ausreichender Zuverlässigkeit existieren bislang noch nicht. Die in Reißfasermischungen in unterschiedlichen Verteilungen enthaltenen Faserfeinheiten sind abhängig vom Ausgangsmaterial und werden innerhalb des Aufbereitungsprozesses nicht oder unwesentlich beeinflusst. Die Bestimmung der Faserfeinheit kann für Reißfasern und unter Annahme kreisrunder Querschnitte mittels des AFIS-D-Moduls erfolgen, sie ist jedoch nur für ausgewählte Einsatzgebiete (z. B. akustisch wirksame Vliesstoffe oder Garnherstellung) von Interesse. Aus der Verteilung der Faserfein-

heiten sind ebenso Rückschlüsse auf die in der Reißfaser Mischung enthaltenen Hauptkomponenten möglich. Faserfestigkeiten und Faserdehnungen sind an Reißfasern nach DIN EN ISO 5079 bestimmbar, haben aber als Gütekriterium für Reißfasern ebenfalls kaum Bedeutung.

Für Reißfaserhersteller und -verarbeiter gleichermaßen relevant sind Kenntnisse zur rohstofflichen Zusammensetzung der Reißfaser Mischung. Weil Reißfasern in den meisten Fällen als Mischung vorliegen, kann deren exakte Zusammensetzung hinsichtlich der enthaltenen Polymerarten nur selten angegeben werden. Meist beziehen sich die Angaben auf den überwiegend in der Mischung vorkommenden Faserstoff, welcher mit Hilfe einfacher Verfahren (Lösung oder Färbung) nachgewiesen werden kann bzw. dessen Vorhandensein aus den verwendeten Abfallchargen bekannt ist. Exakte Zusammensetzungen sind mittels quantitativer Analysen möglich. Zunehmend an Bedeutung gewinnen Aussagen zu Schadstofffreiheit und den unter dem Begriff *Fogging* zusammengefassten Emissionen von Reißfasern. Zur Bestimmung dieser Qualitätsparameter sind einschlägige, speziell auf die Bedürfnisse der Abnehmer in der Automobilindustrie zugeschnittene Prüfnormen anwendbar. [62, 63].

### 1.3.3.2 Beeinflussung der Reißfaserqualität bei der Reißfaserherstellung

Die Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften des zu verarbeitenden Textilabfalls und den Technologieparametern des Reißprozesses sind komplex und von wesentlicher Bedeutung für die Qualität des Produktes Reißfaser.

Innerhalb dieser Gesamtheit bietet der moderne Reißprozess eine technisch/technologisch steuerbare Möglichkeit zur Beeinflussung des Niveaus von Qualität und Wirtschaftlichkeit. Eine inzwischen in die Praxis überführte Methode ist der auf die Abfallstruktur abgestimmte Energieeintrag beim Reißen durch die Anwendung unterschiedlicher Tambourdrehzahlen [59, 60]. Der Maschinenbau bietet an

**Tabelle 1.8** Grundlegende Zusammenhänge bei der Reißfaserherstellung aus Textilabfällen

Textiler Abfall in einer stückigen zweidimensionalen Form als Faserverbund	Reißprozess als stoffliches Verwertungsverfahren	Produkt Reißfaser als Mischung eindimensionaler faser- und fadenförmiger Strukturen
mit gegebenen Strukturparametern  • Höchstzugkraft, -dehnung • Stiftausreißkraft • Steifigkeit Faserstoffeigenschaften und -zusammensetzung Veredlungszustand	nutzt variierbare Technologieparameter  • Vorbehandlungen • Einzugsgestaltung • Durchsatzmenge • Tambourumfangsge- schwindigkeit • Bestiftungsart und -dichte • Energieaufwand • Nachbehandlungen	mit beeinflussbaren Qualitätsparametern  • Mittlere Faserlänge • Kurzfaserteil • Auflösungsgrad und resultierenden Wirtschaftlichkeitsparametern Preis Verarbeitbarkeit

modernen Reißanlagen die Möglichkeit der stufenlosen Regelung der Tambourumfangsgeschwindigkeiten an. Außerdem gestatten die speziellen Gestaltungsmöglichkeiten am Materialeinzug sowie verschiedene Belagsgeometrien an den Reißtambouren eine weitere Einflussnahme auf Besonderheiten des vorgelegten Textilabfalls.

#### 1.3.4

##### Reißfasereinsatz

Der Einsatz von Reißfasern in Garnen ist prinzipiell mit modernen, auf den Reißfasereinsatz zugeschnittenen Spinnverfahren möglich. Zur Herstellung ver-spinnbarer Reißfaserqualitäten werden vom Reißmaschinenbau spezielle Anlagenkonfigurationen angeboten, die den Anteil unaufgelöster Garnstücke reduzieren und den Anteil an möglichst langen Fasern erhöhen sollen [53].

Weitaus bedeutender ist der Einsatz von Reißfasern in der Erzeugnisgruppe Vliesstoffe [64]. Die verschiedenen Vliesbildungsverfahren stellen unterschiedliche Anforderungen an die Reißfaserqualität, welche in Tab. 1.9 dargestellt sind.

Beispiele für Vliesstoffe aus bzw. mit Reißfasern sind Mobiltexilien und Bautexilien mit den Hauptfunktionen Isolation und Abdeckung, Agrartexilien und Geotexilien vorzugsweise für den Erosionsschutz. Weitere Beispiele stellen die vielfältigen Varianten von Vliesstoffen für die Polster- und Matratzenindustrie sowie textile Zweitrücken für Bodenbeläge dar. Der Einsatzgedanke für Reißfasern ergibt sich bei vielen Anwendungen aus einem für die Anwendung ausreichenden Leistungsprofil und einem interessanten Preisniveau. Reißfasern in Vliesstoffen sind prädestiniert für die Kreation von offenen oder geschlossenen Materialkreisläufsystemen [58, 62, 65, 66].

Beim Herstellen von Funktionstexilien für technische Zwecke bieten sich sogar Möglichkeiten, preiswertere Sekundärfasern mit erhalten gebliebener Grundfunktionalität einzusetzen, wenn Primärfasern aus Kostengründen gar nicht einsetzbar sind [67]. Reißfasern aus Wolle in Kaschiervliesstoffen, Aramidfasern in Hitzeschutztextilien sind bekannte Beispiele dafür. Erzeugnisabhängige Reißfaser-eigenschaften sind durch gezielte Materialauswahl und produktbezogene Reißtechnologien realisierbar. Ausgewählte Beispiele für diesen Zusammenhang sind in Tab. 1.10 dargestellt. Daneben wird es wie bisher ein großes Produktfeld geben, wo aufgrund der zu garantierenden Funktionseigenschaften nur Primärfaserstoffe einsetzbar sind.

**Tabelle 1.9** Abhängigkeit vom Vliesbildungsverfahren [65]

Vliesbildungsprinzip	Reißfaserqualität		
	mittlere Faserlänge [mm]	Kurzfaserteil	Auflösung
aerodynamisch	5 bis 30	niedrig bis mittel	mittel
mechanisch	15 bis 50	niedrig	hoch
hydrodynamisch	bis 5	vollständig	hoch

**Tabelle 1.10** Beispiele zu Anforderungsprofilen für Reißfasern in Technische Textilien [65]

Einsatz/Produkt	Hauptanforderung an Reißfasereigenschaft				
	Polymer	Feinheit	Festigkeit	Länge	Farbe
Armierungsfaser	X		X	X	
Automobiltextilien	X			X	
Isolationsvliesstoff	X			X	
Erosionsschutzvliesstoff	X				X

## Literatur

- 1 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch – Baumwolle (1989), *Chemiefasern Text Ind* 39/91
- 2 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch – Flachs sowie andere Bast- und Hartfasern (1994), *Chemiefasern Text Ind* 44/96
- 3 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch – Wolle/Schafwolle – Feine Tierhaare (1991), *Chemiefasern Text Ind* 41/93
- 4 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch – Seide/Maulbeerseide (1994), *Chemiefasern Text Ind* 44/96
- 5 Mieck K P, Reußmann T, Nechwatal A (2003) About the characterization of the mechanical properties of natural fibres, *Materialwiss Werkstofftechn* 34, 285–298
- 6 Mieck K P, Reußmann T (1995) Flachs versus Glas – Flachsmattenverstärkte Thermoplaste (FMT) eine Alternative zur Glasmattenverstärkung?, *Kunststoffe* 85,3: 366–370
- 7 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch – Cellulosegeneratfasern (1990), *Chemiefasern Text Ind* 40/92
- 8 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch – Lyocell-Fasern (1997), *Melliand Textilberichte* 9: 575–579
- 9 Interne TITK-Datenbank: Faserprüfwerte cellulosischer Chemiefasern
- 10 Firmenprospekte und Produktdatenblätter: Lenzing AG, Cortaulds Fibres, Swenska AB, Kemira Säteri, Spolana und Accordis Enka
- 11 Vorlesung der TU Dresden, Chemiefasernstoffe auf Basis natürlicher Polymere (2006)
- 12 Lehrmaterial der Universität Erlangen-Nürnberg: Herstellung von Polymerwerkstoffen–Fasern (2006)
- 13 Pillar B, Levinsky O (1982) *Mala encyklopedie textilnich materialu*, SNTL Praha
- 14 Nevell TP, Zeronian S H (1987) *Cellulose Chemistry and its applications*, Ellis Horwood Limited, 485
- 15 Fourné F (1995) *Synthetische Fasern*, Carl Hanser Verlag München Wien, 834
- 16 Tetzner N (2005) *Acetat-Fasern, Textilreiniger Innung*, Osnabrück, 6
- 17 Firmenprospekt der Celanese Corporation: *Acetate products*
- 18 *Celanese Geschäftsbericht (2002) Celanese Acetate*
- 19 Faserstoff-Tabellen nach P-A Koch– Polylactidfasern (PLA) (2004)
- 20 Mezghani K, Spruell J E (1998) Highspeed Melt Spinning of Poly (L-Lactidacid) Filaments, *Journal of Polymer Science Part B* 36, 1005–1012
- 21 Blechschmidt D, Fuchs H, Lindner R (2004) Biologisch abbaubare Spinnvliesstoffe aus Polylactiden – Verfahrens- und Produktparameter *Technische Textilien* 8: 153–156
- 22 Interne Datenbank TITK e.V., Prüfwerte für Polylactidfasern
- 23 Ingeobulletin (2006)
- 24 Koslowski H J (2008) *Chemiefaser-Lexikon*, Deutscher Fachverlag
- 25 Zarembo S, Steffens M, Wulfhorst B, Hirt P (1997) Faserstoff-Tabelle Polyamidfasern *Melliand Textilberichte*, 771–794
- 26 Tetzlaff G, Dahmen M, Wulfhorst B (1993) Faserstoff-Tabelle Polyesterfasern, *Chemiefasern/Textilindustrie*, 508–522
- 27 Schmenk B, Miez-Meyer R, Steffens M, Wulfhorst B, Gleixner G (2000) Faserstoff-Tabelle Polypropylenfasern, *Melliand Textilberichte*, 601–618



- 28 Dittmeyer R, Keim W, Kreysa G, Oberholz A (2005) Chemische Technik – Organische Zwischenverbindungen, Polymere, Wiley-VCH-Verlag, 722–726, 897–1093
- 29 Köller F (1999) Modifizierte Polypropylene durch Metallocen-Katalyse, Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- 30 Gries T, Rixe C, Steffens M, Cremer C (2002) Faserstoff-Tabelle Polyacrylnitril, *Melliand Textilberichte*, 795–816
- 31 Bobeth W (1993) Textile Faserstoffe, Springer-Verlag
- 32 Panzer U, Meister F, Riedel B, Ewert Y, Schmalz E, Sigmund I (2010) Flammresistente Meltdown-Vliesstoffe aus Melaminharz: Herstellung und Anwendungsuntersuchungen zur Filtration, 10. Symposium Textile Filter, STFI e.V.
- 33 Wulforst B, Kaldenhoff R, Hörsting K (1993) Glasfasern – Faserstofftabelle *Technische Textilien* 5, T68–T82
- 34 Wirt W (2005) Herstellung vernadelter Vliese auf Basis von Glasfasern, 20. Hofer Vliesstofftage
- 35 Machatschke R, Dorneit B (2006) Hochtemperatur-Textilien, *Technische Textilien* 3, 194–197
- 36 Bobeth W (1993) Textile Faserstoffe, Beschaffenheit und Eigenschaften, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg
- 37 Lehr S (1999) Neue Hochleistungsfaser belCoTEx (1999), *Technische Textilien* 8, 180–181
- 38 McCurry J W (2004) Sicherheit ist ein gutes Geschäft, *textile network* 5, 67–69
- 39 Clauß B (2000) Keramikfasern – Entwicklungsstand und Ausblick, *Technische Textilien* 4, 246–251
- 40 Clauß B (2008) Fibers for Ceramic Matrix Composites in „Ceramic Matrix Composites“, Wiley-VCH
- 41 Monner H-P, Mühle S, Wierach P, Riemenschneider J (2003) Carbon nanotubes – ein multifunktionaler Leichtbauwerkstoff für Adaptronik, Adaptronic Congress, 1. bis 3. April, Wolfsburg
- 42 Frank E, Schäfer R, Achim P (2008) Hochleistungsfasern aus Kohlenstoffnanoröhren/Polymerkompositen, Forschungsbericht AiF-Nr. 14705N, Institut für Textilchemie und Chemiefasern, Denkerdorf
- 43 Jorda S (2009) Kleine Röhren ganz groß, *Physik Journal*, 8, 11
- 44 Mac T, Houis S, Gries T (2004) Metallfasern, Faserstoff-Tabelle nach P. A. Koch, *Technische Textilien* 3, 17–32
- 45 Schweizer M (2009) Neue Anwendungsmöglichkeiten Diol-modifizierter Polyesterarten im Faserbereich, Forschungsbericht AiF-Nr. 15154 /1, Institut für Textilchemie und Chemiefasern, Denkerdorf
- 46 Gutmann R, Schmitt S, Schuler W, Egeler S (2004) Herstellung von Synthesefasern mit permanent biozider Wirkung, Forschungsbericht AiF-Nr. 12821, Institut für Textilchemie und Chemiefasern, Denkerdorf
- 47 Pavlov N N, Platova T Y, Barantsev V M, Kosheleva S A, Pavlova V V (1997) Modifizierung von Chemiefasern mit Metallsalzen zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit und der Hydrophilie, *Technologija Tekstilnoi Promyslenosti* 5, 55-58
- 48 Schweizer M (2004) Untersuchung zur gezielten Schrumpfeinstellung bei der Herstellung von Synthesefasern aus PET, Forschungsbericht AiF-Nr. 13156, Institut für Textilchemie und Chemiefasern, Denkerdorf
- 49 Bahners T, Schlosser U, Textor T, Schollmeyer E (2004) Superabweisende Aramidoberflächen für Schutztextilien durch Schaffung mikrorauer und extrem hydrophober Oberflächen mittels photochemischer Techniken, DTNW-Mitteilungen, Band 43, Krefeld
- 50 Bahners T, Opwis K, Schollmeyer E, Thomas H, Möller M (2007) Tiefenwirkung physikalischer Verfahren zur Hydrophobierung und Oleophobierung von textilen Substraten DTNW-Mitteilungen, Band 64, Krefeld
- 51 Poillet P (1997) L'effilochage dans le recyclage des déchets (Der Reißprozess in der Abfallverwertung), *L'Industrie Textile*, Paris 1285: 31–33
- 52 Gulich B (2004) Vorbehandlungsverfahren für das Herstellen von Reißfasern mit erzeugnispezifischen Eigenschaften, *Melliand Textilberichte* 10: 761
- 53 Gulich B (2007) Reißfaserherstellung und Faservliesstoffe – ein ITMA-Rückblick,

- Vortrag 8. STFI-Kolloquium Recycling for Textiles, Chemnitz
- 54 Gulich B, Böttcher P (1999) Recyclinglösungen für genadelte textile Bodenbeläge, Vortrag 38. Internationale Chemiefasertagung/20. Intercarpet, Dornbirn
- 55 Weiß M, Wüstenberg, D (2000) Teppichbodenrecycling mit Hochdruckwasserstrahlen, Vortrag Symposium Abwasser-Altlasten-Recycling, Kaiserslautern
- 56 Gulich B, Mehnert L (2002) Recyclingmöglichkeiten für gebrauchte Feuerwehrschutzkleidung *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Band 130*: 104–109
- 57 Ortlepp G, Lützkendorf R (2006) Lange Carbonfasern aus textilen Abfällen, *Technische Textilien-Technical Textiles 3*: 153–155
- 58 Eisele D (1996) Reißfasergut – Merkmale – Zusammenhänge *Melliand Textilberichte 4*: 199–202
- 59 Gulich B, Schäffler M (1995) Einfluss der Trommeldrehzahl auf die Reißfaserqualität, Vortrag 2. STFI-Kolloquium Reißfaser, Chemnitz
- 60 Fuchs H, Gulich B (1998) Prozesssicherheit und Qualitätsverbesserung von Reißfasern für höherwertige Produkte, *Melliand Textilberichte 5*: 366–369
- 61 Mägel M, Mägel M, Bieber B (1993) Erste Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung ausgewählter textilphysikalischer Parameter von Reißfasern, Vortrag 1. STFI-Kolloquium Reißfaser, Chemnitz
- 62 Kalweit, M (2006) Emissionsverminderung bei Vliesstoffen im Automobil, Vortrag 21. Hofer Vliesstofftage, Hof
- 63 Pfüller T (2007) Untersuchungen zur Emissionsproblematik bei der Verwendung von Reißfasern, Vortrag 8. STFI-Kolloquium Recycling for Textiles, Chemnitz
- 64 Watzl A (1992) Vom Textilabfall zum Nonwoven-Produkt – Nutzen durch Recycling, *Melliand Textilberichte 5*: 397–401, 6: 487–495, 7: 561–563
- 65 Böttcher P, Gulich B, Schilde W (1995) Reißfasern in Technischen Textilien – Grenzen und Möglichkeiten, Vortrag Techtexil-Symposium Frankfurt/M.
- 66 Hohmuth H, Matzen J, Hunger M (2006) Materialkreisläufe bei Produktion und Einsatz von Nähwirkvliesstoffen, Vortrag 21. Hofer Vliesstofftage, Hof
- 67 Lützkendorf R, Ortlepp G (2006) Einsatz von Carbonfasern – neue Ansätze für textile Verarbeiter, Vortrag 21. Hofer Vliesstofftage, Hof