

Technische Nutzung von Faserpflanzen

Andreas KELLER, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Neue Anwendungen im Dämm- oder Werkstoffbereich stellen bisher unbekannte Anforderungen an Pflanzenfasern. Moderne Faserproduktionsverfahren sollen den Einsatz von verschiedenen Pflanzen im Textil-, Papier-, Dämm- und Werkstoffbereich ermöglichen. Noch gibt es viele Fragen über die Zusammenhänge zwischen Pflanzenart, Anbaubedingungen, Aufschlussverfahren und der daraus resultierenden Faserqualitäten zu beantworten.

In den letzten Jahren wurden einige neue Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenfasern geprüft. Der Antrieb dazu kam einerseits aus der Landwirtschaft, welche das Problem der Nahrungsmittel-Überproduktion zu lösen hat, andererseits aus der Industrie, welche auf ein wachsendes Umweltbewusstsein und auf die (in Zukunft) daraus resultierenden gesetzlichen Vorlagen zu reagieren hat.

Überproduktion

In der Schweiz wird zirka eine Million Hektaren landwirtschaftliche Nutzfläche

bewirtschaftet. Um der Überproduktion zu begegnen, sollte in den nächsten Jahren eine Fläche von über 100 000 ha aus der Futter- und Nahrungsmittelproduktion genommen werden. Dazu werden Extensivierung, ökologischer Ausgleich, Stilllegung und die Produktion Nachwachsender Rohstoffe für die Industrie in Betracht gezogen (Masterplan 1994).

Industrie

Der Deponieraum für nicht verwertbare Abfallstoffe wird immer knapper. Besonders die Automobilindustrie gerät unter

immer stärkeren Druck, wiederverwertbare Komponenten für Fahrzeugbauteile zu verwenden. Die häufig verwendeten glasfaserverstärkten Kunststoffbauteile lassen sich kaum recyceln. In den Kehrichtverbrennungsanlagen ist die durch das Glas gebildete Schlacke, welche wiederum deponiert werden muss, ebenfalls unbeliebt. Ausserdem geraten Glasfasern zunehmend in den Verdacht, ähnlich wie Asbest kanzerogen zu wirken. Daher sucht die Industrie nach Alternativen. Die Automobilindustrie erzielte mit Pflanzenfaser-Verbundwerkstoffen erste Erfolge.

Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenfasern

Verschiedene Faserpflanzen liefern unterschiedliche Fasern, was sich auf deren Verwendungsmöglichkeiten auswirkt. Im



Abb. 1. Vom agronomischen Standpunkt und vom technischen Potential her stellt Hanf eine vielversprechende Faserpflanze dar.

Tab. 1. Aufgrund verschiedener Fasergeometrie und -eigenschaften unterschiedlicher Pflanzenfasern lassen sich Anwendungsgebiete abgrenzen

	Pflanze	Länge der Einzelfaser mm	Durchmesser der Einzelfaser μm	Faserfestigkeit N/mm^2	Eignung
Gräser	Chinaschilf Stroh	1,4	20-100		{ Papier, Schüttdämmstoffe, Verbundwerkstoffe { Papier, Dämmvliese, Verbundwerkstoffe Textilien Papier, Verbundwerkstoffe
Bastpflanzen	Hanf	bis 50	10-51	500-1000	
	Flachs	bis 50	5-38	450-1000	
	Kenaf	2-6	14-33		

Literaturangaben zu den Fasereigenschaften streuen wegen der schwierigen, nicht normierten Analytik stark.

folgenden sind die wichtigsten Zusammenhänge erklärt.

Papier: Für die Papierproduktion werden kurze Fasern mit einer Länge von wenigen Millimetern benötigt. Daher kommen neben Hanf und Flachs auch die kürzeren Fasern von zum Beispiel Chinaschilf, Stroh oder Kenaf in Frage. Der Pulpingprozess vereinzelt die in der Pflanze mit Lignin, Pektin und Hemizellulosen zusammengeklebten Fasern. Die andere chemische Zusammensetzung dieser Klebsubstanzen verlangt nach einer Modifikation der vom Holz her bekannten Aufschlussverfahren. Die Faserfeinheit, -oberflächenchemie und -oberflächentopographie bestimmen die Papiereigenschaften wesentlich. Neben bekannten, qualitativ sehr hochwertigen Papieren aus Hanffasern, zum Beispiel als Zigarettenpapier, technische Filter oder Banknoten, gibt es Anstrengungen, auch aus Kenaf oder Stroh Papier herzustellen (Kanowski 1996).

Dämmstoffe: Pflanzliche Dämmstoffe zeigen im allgemeinen gute Dämmeigenschaften ($\lambda = 0,04$), sind erstaunlich feuerresistent, emittieren keine toxischen Rauchgase und lassen sich mit Borsalzen gegen Insekten schützen (Murphy *et al.* 1995). Dank ihrer Fähigkeit zur Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit sorgen sie für ein angenehmes Raumklima.

Schüttdämmstoffe: Schüttdämmstoffe werden als Wärmeisolation in Hohlwände, -böden und Dachkonstruktionen eingebracht. Die mechanischen Eigenschaften der Fasern spielen hier keine Rolle. Der Aufschluss muss nicht bis zur Elementarfaser erfolgen, wodurch die Herstellung auf rein mechanischem Weg möglich ist. Das Luftspeichervermögen spielt eine wesentliche Rolle für die Erreichung eines guten Dämmwertes. Neben Altpapier werden Hanfschäben (Hesch 1995) und Chinaschilf (Murphy *et al.* 1995) in kleinen Mengen als Rohstoffe verwendet.

Dämmvliese: Für die Produktion von Dämmvliesen eignen sich vor allem Bastfasern, da sich diese dank ihrer Länge zu Vliesen vernadeln lassen. Neben der rein

mechanischen Aufbereitung der Fasern sind auch chemisch/physikalische Verfahren, die zu feinen aufgeschlossenen Fasern führen, in fortgeschrittener Entwicklung (Kessler *et al.* 1996; Ringleb und Schulz 1996).

Textilien: Für die Herstellung von Garnen ist eine Mindestfaserlänge nötig, weshalb von den aufgeführten Pflanzen nur Flachs und Hanf in Frage kommen. Traditionelle Methoden der Garnherstellung aus diesen Pflanzen sind sowohl bei der Ernte als auch bei der Fasergewinnung sehr arbeitsintensiv und führen zu relativ groben Garnen, für die nur ein kleiner, modeabhängiger Nischenmarkt besteht. Neue Aufschlussverfahren, wie weiter unten beschrieben, sind weniger arbeitsintensiv, haben eine grössere Faserausbeute und führen zu Fasern, die auf modernen Rotorspinnmaschinen verarbeitet, zu feinen Garnen führen.

Faserverbundwerkstoffe: Ein grosses Einsatzgebiet von Fasern stellt die Verstärkung von Kunststoffen dar. Auf die Anwendung von Bastfasern als Verstärkung in Polymermatrizes wird hier speziell eingegangen. Dies ist ein Anwendungsbereich mit einer grossen möglichen Wertschöpfung. Besonders feine, chemisch-physikalisch aufgeschlossene Fasern haben ein technisch hohes Potential, und stellen eine ökologische Alternative zu Glasfasern dar. Solche Fasern scheinen auch aus der Sicht der Industrie wirt-

schaftlich interessant. Die Automobilindustrie unternimmt verschiedenste Anstrengungen, sie einzusetzen. Noch gibt es keine industriellen Anlagen, die über den mechanischen Aufschluss hinausgehen, was sich allerdings bald ändern dürfte (Karus 1996).

Spezifikation von Pflanzenfasern

Faserqualität: Für jede Anwendung von Fasern stehen spezifische Qualitätsmerkmale im Vordergrund. Somit lässt sich kein universeller Qualitätsbegriff definieren. Im Bereich der Verbundwerkstoffe sind folgende Fasermerkmale für die Verarbeitbarkeit und die Verbundeigenschaften von Bedeutung:

- Mechanische Eigenschaften der Einzelfaser:
 - Zugfestigkeit
 - E-Modul
 - Bruchdehnung
- Chemische Oberfläche der Fasern
- Längen- und Durchmesserverteilung
- Oberflächentopographie
- Temperaturbeständigkeit
- Wasseraufnahme
- Quellung
- Lieferform:
 - Kardenband
 - Roving
 - Garn
 - Wirr- oder Parallellage

Fasern im Vergleich

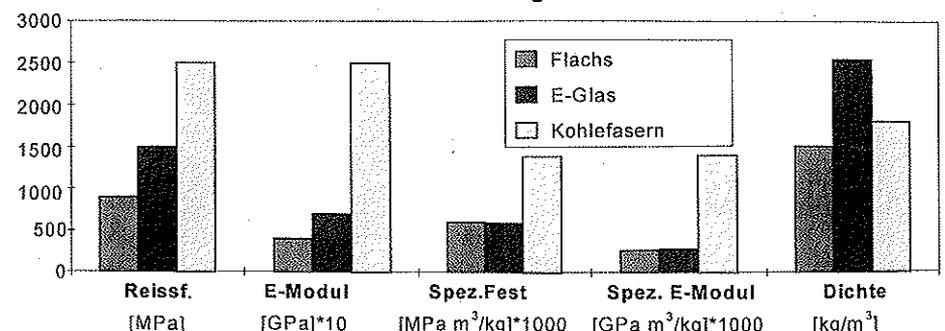


Abb. 2. Die spezifischen (dichtebezogenen) mechanischen Eigenschaften von Flachsfasern liegen im Bereich der Glasfasereigenschaften.

Vorteile von Pflanzenfasern

- Sie sind weniger abrasiv.
- Sie haben eine geringere Dichte.
- Sie bieten keine Asbestproblematik.
- Sie sind erneuerbar.
- Sie lassen sich biologisch abbauen.
- Sie bilden keine Schlacke in der Kehrichtverbrennungsanlage.

Nachteile von Pflanzenfasern

- Sie quellen stark.
- Sie haften schlecht an der Matrix.
- Ihre Qualität schwankt.

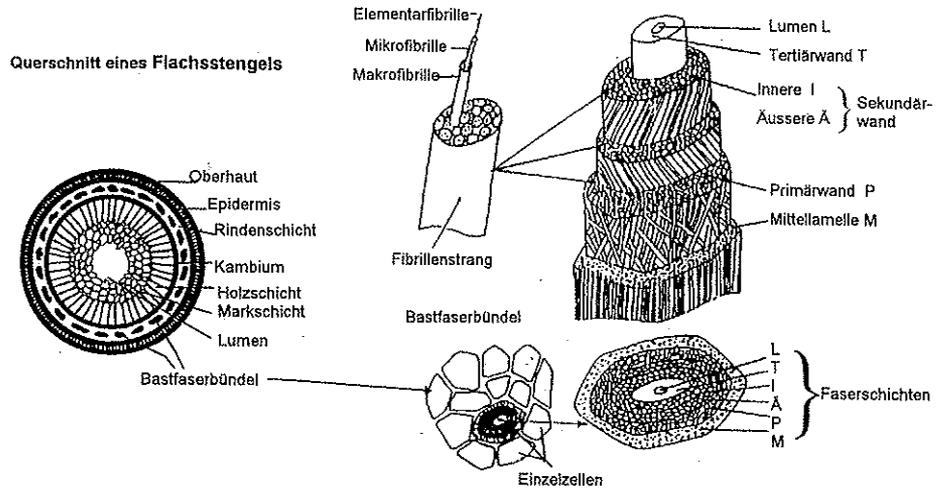


Abb. 3. Bastfaseraufbau am Beispiel Flachs.

Die Messung dieser Eigenschaften dient als Grundlage für die Wahl der Pflanze, der optimalen Anbaubedingungen und des Aufschlussverfahrens. Da die Normen aus anderen Faserbereichen nicht ohne weiteres übertragbar sind, bieten sich hier einige messtechnische Knacknüsse, was die grosse Streuung von Literaturdaten erklärt.

Technisches Potential: Mechanische Eigenschaften: Die Zugfestigkeit ist eine der wichtigsten Eigenschaften. Pflanzenfasern scheinen diesbezüglich gefühlsmässig technischen Fasern wie zum Beispiel Glasfasern unterlegen. Die absolute Faserfestigkeit ist tatsächlich geringer. Für Bauteile im Leichtbaubereich, wie er bei Fahrzeugen, Flugzeugen und Sportgeräten häufig gefordert ist, spielt allerdings die dichtebezogene Festigkeit die ausschlaggebende Rolle. Hier kommt die deutlich geringere Dichte der Pflanzenfasern zum Zug, womit sie den Glasfasern ebenbürtig sind. Abbildung 2 illustriert diesen Sachverhalt am Beispiel Flachs.

Umwelt- und Verarbeitungsaspekte: Pflanzenfasern haben gegenüber Glasfasern einige Vorteile:

Bei den häufig verwendeten Arbeitstechniken wie Spritzguss oder dem Pressen mit Tauchkantenformen führt die im Gegensatz zu Pflanzenfasern hohe Abrasivität von Glasfasern zu grossem Werkzeugverschleiss. Die beim Verarbeiten von Glasfasern immer entstehenden Bruchstücke geraten zunehmend in Verdacht, krebsfördernd zu wirken (Asbestose). Eine Gefahr, die bei Pflanzenfasern dank ihrer Abbaubarkeit auszuschliessen ist.

Weitere Vorteile liegen im ökologischen Bereich: Pflanzenfasern sind erneuerbar und CO₂-neutral. Sie lassen sich biologisch abbauen und sind somit bei Ver-

wendung von ebenfalls abbaubaren Bindern oder Matrices zum Beispiel im Kompost verwertbar. Auch in Kehrichtverbrennungsanlagen bieten sie weniger Probleme als Glas, das sich in der Schlacke sammelt und somit als Sondermüll deponiert werden muss.

Natürlich gibt es auch Nachteile zu verzeichnen:

Pflanzenfasern sind stark hygroskopisch. Bei der Aufnahme von Feuchtigkeit quellen sie ausserdem. Wenn die Fasern an die Oberfläche des Werkstoffes geraten und somit mit Wasser in Kontakt treten, kann das Material durch die bei der Faserquellung entstehenden Kräfte von innen zerstört werden. Ein weiterer Punkt stellt die geringe Haftung der Fasern an bisher eingesetzten Matrices dar. Dies führt dazu, dass die bei Belastung auf den Werkstoff aufgebrachten Kräfte nur ungenügend von der Matrix auf die Fasern übertragen werden können, was die Festigkeit stark senkt. Die Hygroskopie und die Faserhaftung können mit verschiedenen Faseroberflächen-Behandlungen verbessert werden.

Die Qualität von Pflanzenfasern schwankt naturgemäss. Nicht nur zwischen verschiedenen Erntejahren, sondern auch innerhalb einer Ernte ist immer eine wesentlich breitere Eigenschaftsverteilung der Fasern zu finden als dies bei synthetischen Fasern der Fall ist. Bei Produktionsprozessen, bei denen die Maschinen exakt auf die Rohstoffe eingestellt werden müssen, sind ohne Sortierung oder Homogenisierung der Fasern Probleme zu erwarten.

Fasergewinnung

Aufbau der Bastfaser: Um zu verstehen, wozu der Aufschluss von Bastfasern

dient, muss deren Aufbau bekannt sein (Abb. 3).

Um den Holzkern des Stengels sind Bastfaserbündel angeordnet, die aus bis zu 50 Einzelfasern bestehen. Diese sind mit Kittsubstanzen (vor allem Lignin) zusammengeklebt. Eine solche Faserzelle, die über 50 mm lang werden kann, besteht aus einer aufwendigen Architektur von Fibrillen.

Die Bastfaserbündel können vom Holzkern rein mechanisch getrennt werden, indem die gesamten Pflanzenstengel durch ein System von profilierten Brecherwalzenpaaren geführt werden. Dort wird das Holz gebrochen und fällt als sogenannte Schäben an. Die flexibleren Faserbündel passieren die Walzen unbeschadet und können als Bast gewonnen werden.

Für die Konstruktion von Verbundwerkstoffen sind feine Fasern gefordert, um möglichst viel Faseroberfläche pro Querschnitt zu haben, über welche Kräfte von der Matrix auf die Fasern übertragen werden können. Daher ist es erwünscht, die zusammengeklebten Einzelfasern zu trennen. Dies ist auf rein mechanischem Wege nicht möglich. Im Anschluss an die mechanische Trennung der Schäben und des Bastes werden feinere Aufschlussverfahren benötigt.

Feinaufschlussverfahren: Steam Explosion: Dieses Verfahren, welches auch in der Papierindustrie Verwendung findet, wurde vom Institut für Angewandte Forschung der Fachhochschule Reutlingen (D) auf Flachs- und später Hanffasern übertragen (Karus und Leson 1995). Dabei wird der Bast in einem Autoklav mit Dampf bei 8 bis 12 bar beaufschlagt. Es wird je nach Ausgangsmaterial in einem mehr oder weniger basischen Milieu gear-

beitet. Durch eine schlagartige Entspannung explodiert der zwischen den Elementarfasern kondensierte Dampf und reisst diese auseinander (Tubach und Kessler 1995).

Ultraschall: Durch Ultraschallbehandlung lassen sich lokal sehr hohe Drücke und Temperaturen, die während sehr kurzer Zeit wirken, erzeugen. Durch die günstige Wahl der Prozessparameter lassen sich die Faserzellen auf diese Weise ähnlich wie beim Steam Explosion-Prozess vereinzeln (Zimmer und Kloss 1995).

Chemischer Aufschluss: Die Fasern lassen sich auch durch rein chemischen Aufschluss vereinzeln. Dazu werden Bäder mit Zugabe von zum Beispiel Schwefelsäure, Chlorkalk, Natronlauge, Kaliseife oder Soda verwendet. Die Kittsubstanzen werden dadurch gelöst, die Fasern können somit anschliessend durch Kämmen getrennt werden. Die Schwierigkeit besteht darin, die Badzusammensetzung, Prozess-temperatur und -dauer so zu wählen, dass die Kittsubstanzen gut gelöst werden, die Zellulosefasern dabei aber noch keinen Schaden nehmen (Satlow *et al.* 1994).

Biologischer Aufschluss: Beim biologischen Aufschluss werden die Kittsubstanzen durch Enzyme von Mikroorganismen zerstört. Dies ist auch bei der traditionellen Röste auf dem Feld der Fall, nur ist dort der Vorgang wegen wechselnder Witterungsbedingungen schlecht kontrollierbar und die Gefahr eine Überröste mit Angriff der Zellulose gegeben. Der Aufschluss kann aber auch in Reaktoren stattfinden, so dass durch eine gezielte Temperaturführung, Animpfung und Online-Qualitätskontrolle der Prozess steuerbar ist.

Offene Fragen

Mechanisch aufgeschlossene Fasern für die Produktion einfacher Formpressteile sind bereits auf dem Markt erhältlich. Die mechanische Aufbereitungstechnologie ist bereits im industriellen Massstab realisiert. Anders verhält es sich mit den Feinaufschlussverfahren zur Produktion von feinsten Fasern. Hier sind erst Labor- oder Technikumsanlagen vorhanden. Für deren Weiterentwicklung sind folgende Aspekte Gegenstand aktueller Forschung und Entwicklung:

- Wie wirken sich die Anbaubedingungen auf die Faserqualität aus?
- Entwicklung von Methoden der Faserqualitätsbestimmung.

- Wo liegen die technischen, ökologischen und ökonomischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Aufschlussverfahren?

- Optimierung der Aufschlussverfahren.

- Entwicklung von Verarbeitungsverfahren.

- Anpassung bestehender Verarbeitungsverfahren auf Pflanzenfasern.

Nur mit einer engen Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Industrie lassen sich Erfolge beim Beantworten der offenen Fragen erzielen.

LITERATUR

- Faix O. und Bremer J., 1988. Zellartenverteilung und Faserlängen von *Rudolphia donax* L. und *Miscanthus sinensis* als schnellwachsende Graminae. *Holz als Roh- und Werkstoff* 46.
- Hesch R., 1995. Hanfschäben - Rohstoff für die Dämmstoffherstellung und Kostendeckungsbeitrag für den Hanfanbau. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt a.M., 2.3.1995.
- Kanowski H., 1996. Papier vom Acker. *Agrar-Uebersicht* 47 (2), 33-34.
- Karus M. und Leson G., 1995. Hemp research and market development in Germany, a status report for 1994. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt a.M. 2.3.1995.
- Karus M., 1996. Hanf in Deutschland - das erste Jahr. Welche Produktlinien sind bereits 1996 in Realisierung? 4. Auflage, nova-Institut, Köln.
- Kessler R. W., Kohler R. und Tubach M., 1996. Perspektiven der Fasergewinnung und Aufbereitung im Hinblick auf unterschiedliche Nutzungszwecke. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenwissenschaften* 9, 7-14.
- Masterplan, 1994. Masterplan Pflanzenbau, Bericht der Expertenkommission zur Neuorientierung im Pflanzenbau, EMDZ, Bern.
- Murphy D., Krentler J.-G. und Georg H., 1995. Schnell nachwachsende Rohstoffe im Bauwesen. *Landtechnik* 50 (6), 342-343.
- Nimz H. H. und Pitz A., 1990. Zellstoffgewinnung aus *Miscanthus sinensis* Giganteus. *KTBL Arbeitspapier* 158 105-113.
- Ringleb A. und Schulz H., 1996. Der Dämmstoff aus Lein - eine ernstzunehmende Alternative. *Landtechnik (D)* 51, 40-41.
- Satlow G., Zaremba S. und Wulfhorst B., 1994. Flachs sowie andere Bast- und Hartfasern. *Inst. f. Textiltechnik der RWTH Aachen*, 1. Ausg. 1994
- Tubach M. und Kessler R.W., 1995. Neue Aufschlussverfahren - Ein Schlüssel für innovative Anwendungen für Flachs. 1. Hunsrückler Leintage 2.-3.8.1995, Emmelshausen (D).

Zimmer H. und Kloss K. D., 1995. Ultraschallaufschluss von Hanf, Ziele - Technologie - Anwendung - Resultate - Qualitätsmanagement. Biorohstoff Hanf, Symposium Frankfurt a.M., 2.3.1995.

RÉSUMÉ

Usage technique des plantes fibreuses

L'utilisation des matières premières renouvelables a deux origines: l'agriculture cherche à résoudre le problème de la production excédentaire par l'exploitation de surfaces alternatives, alors que l'industrie s'efforce de tenir compte de la prise de conscience écologique croissante. Outre les plantes oléagineuses, les plantes fibreuses sont des matières premières renouvelables très intéressantes. Les fibres de certaines plantes telles que le lin, le chanvre ou le cotonnier sont utilisées depuis longtemps par les industries textiles. Employées pour la fabrication des matériaux, les fibres doivent répondre à d'autres exigences. Pour cette raison et parce que les méthodes traditionnelles sont peu rentables, il faut trouver de nouveaux procédés de production des fibres. En outre, on examine des plantes qui ne sont pas de tradition en Suisse, comme le roseau de Chine et le kenaf. Les textiles, le papier et les matériaux sont les principaux domaines d'utilisation des fibres végétales. L'intérêt que leur porte l'industrie démontre leur rentabilité. Il existe encore nombre de questions quant aux corrélations entre l'espèce de plante, les conditions de culture et le procédé d'extraction des fibres, d'une part, et la qualité des fibres, d'autre part.

SUMMARY

Technical use of fibre crops

Renewable raw materials are used for two reasons: agriculture wants to solve the problem of surplus production by using alternative areas, whereas industry is interested in taking into account the increasing environmental consciousness. Besides oil crops, fibre plants are very interesting renewable raw materials. The fibres of certain plants such as flax, hemp or cotton have been used for a long time by the textile industry. Used for materials other than textiles, the fibres must meet new requirements. Therefore and because of the traditional methods not being profitable, new fibre production methods have to be found. Crops without any tradition in Switzerland, such as miscanthus and kenaf, are also being investigated. Textiles, paper, and material in general are the main fields of application. Industry's interest shows the profitability of plant fibres. There remains a number of open questions about the correlation between plant species, conditions of cultivation and fibre extraction method, on the one hand, and fibre quality, on the other hand.

KEY WORDS: renewable raw materials, natural fibre, insulation material, composites, fibre extraction, fibre quality