

## **Bericht**

### **des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (19. Ausschuss) gemäß § 56a der Geschäftsordnung**

#### **Technikfolgenabschätzung**

**hier: Monitoring „Nachwachsende Rohstoffe“ –  
Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Baubereich –**

#### Inhalt

	Seite
<b>Vorwort des Ausschusses</b> .....	3
<b>Zusammenfassung</b> .....	4
<b>Vorbemerkungen</b> .....	6
<b>I. Einleitung</b> .....	7
<b>II. Wand und Dachbaustoffe</b> .....	9
<b>III. Dämmstoffe</b> .....	11
1. Konventionelle Dämmstoffe .....	12
2. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen .....	14
3. Dämmstoffe aus biogenen Recyclingmaterialien .....	16
4. Vergleichende Betrachtung der Dämmstoffe .....	18
<b>IV. Nachwachsende Rohstoffe im Innenausbau</b> .....	23
1. Wand bzw. Deckenverkleidungen und Bodenbeläge .....	24
2. Anstriche und Farben .....	25
<b>V. Nachwachsende Bauhilfsstoffe</b> .....	27
<b>VI. Wirtschaftliche Aspekte nachwachsender Baustoffe</b> .....	29
<b>VII. Umweltaspekte nachwachsender Baustoffe</b> .....	31
<b>VIII. Rechtliche Aspekte des Einsatzes nachwachsender Baustoffe</b>	34
<b>IX. FuE-Aktivitäten im Bereich nachwachsender Baustoffe</b> ...	36
<b>X. Resümee</b> .....	38

---

<b>Literatur</b> .....	40
1. Vom Deutschen Bundestag in Auftrag gegebenes Gutachten .....	40
2. Weitere Literatur .....	40
<b>Anhang</b> .....	42
1. Tabellenverzeichnis .....	42
2. Abbildungsverzeichnis .....	42
3. Übersicht zu Bauprodukten und Bauarten (Bauregellisten 1/1998) .....	42

## Vorwort

Der vorliegende Sachbestandsbericht wurde vom Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) im Rahmen des Monitorings „Nachwachsende Rohstoffe“ erstellt. Der Bericht gibt einen Überblick über den Stand und die Perspektiven des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen im Bereich des Wohnungsbaus unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher, ökologischer und gesundheitlicher Aspekte und leistet einen wertvollen Beitrag zur aktuellen Diskussion um ökologisches und kostengünstiges Bauen.

Berlin, den 25. Januar 2000

### **Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung**

**Jürgen W. Möllemann**

Vorsitzender und Berichterstatter

**Ulla Burchardt**

Berichterstatterin

**Hans-Josef Fell**

Berichterstatter

**Axel E. Fischer**

Berichterstatter

**Angela Marquardt**

Berichterstatterin

## Zusammenfassung

Die Errichtung bzw. der Erwerb von Häusern und Wohnungen ist eine der langfristigen und einschneidendsten Investitionen, die der Mensch in seinem Leben tätigt. Es ist gleichermaßen die Erfüllung des Traums von der Unabhängigkeit und Absicherung für das Lebensalter. Dementsprechend hohe Erwartungen werden an die Bauweise, die Konstruktionen und eingesetzten Materialien gestellt. Technisch hergestellte Baustoffe erfüllen diese Erwartungen: Sie zeichnen sich durch eine hohe Funktionalität und Leistungsfähigkeit, eine gute Handhabbarkeit und Dauerbeständigkeit sowie eine lange Lebensdauer und niedrige Preise aus. Dies führte dazu, daß der im Wohnungsbau früher sehr verbreitete Einsatz natürlicher Rohstoffe stark zurückgedrängt wurde.

Die allgemeine positive Grundeinstellung gegenüber den modernen Produkten hat sich in den vergangenen Jahren etwas gewandelt. Die Bauherren von heute erwarten bei Neubau oder Umbau neben exakten Kostangaben auch Informationen zu Energie, Ökologie und Gesundheit. Im Unterschied zur bisher oft einseitigen Orientierung auf die Investitionsphase wird dabei mehr und mehr der vollständige Lebenszyklus der Bauwerke berücksichtigt. Die Bauherren reagieren so auf aktuelle Anforderungen zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auch im Gebäudesektor.

Ein Grund für diese Entwicklung ist die Erkenntnis über das Aufkommen an nicht bzw. kaum wiederverwertbaren Abfällen beim Bauen bzw. späteren Abriß des Wohngebäudes. Entscheidender dürften jedoch die Diskussionen über die möglichen gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkungen von Baustoffen und -produkten bzw. darin enthaltenen Zusätzen (z. B. Formaldehyd) sein. Diese haben zu einer Sensibilisierung der Menschen gegenüber chemischen Verbindungen in der Gebäudehülle geführt.

Aus diesen Gründen **nimmt das Interesse an nachwachsenden Rohstoffen stetig zu. Die Palette an nachwachsenden Rohstoffen**, die als Baustoffe bzw. Bauhilfsstoffe genutzt werden können, ist groß. Sie reicht von lignocellulose- und faserhaltigen Pflanzen (z. B. Schilfrohr, Flachs, Hanf) über Ölpflanzen (z. B. Öllein, Raps) bis hin zu Stärkepflanzen (z. B. Kartoffeln) und Färberpflanzen (z. B. Färberwaid). Nachwachsende Rohstoffe **sind im Wohnungsbau vielseitig einsetzbar**. Sie eignen sich zur Herstellung von Wänden und Bauelementen (z. B. Fenster), zur Dacheindeckung und Bewehrung in Baustoffen, als Dämmstoffe (Wärme-, Schall- und Feuchteschutz), Fußbodenuntergrund oder Bodenbelag und zur Herstellung von Anstrichen und Farben oder als Bauhilfsstoffe (z. B. Schalöle).

Trotz der vielfältigen Anwendungsgebiete **werden gegenwärtig nur relativ geringe Mengen an nachwachsenden Rohstoffen zur Herstellung von Baustoffen bzw. Bauhilfsstoffen eingesetzt**. Von quantitativer Bedeutung ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau allein im Bereich der Wärmedämmung. Der Anteil der Dämmstoffe aus biogenen und anderen alternativen Materialien ist

in den vergangenen Jahren langsam, aber kontinuierlich auf 3 bis 5 % des Dämmstoffmarktes angewachsen.

Angesichts der bevorstehenden Verschärfung der Anforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen im Rahmen der geplanten Energieeinsparverordnung **kann in den nächsten zehn Jahren mit einem Anstieg des Absatzes an Wärmedämmstoffen aus alternativen Materialien** auf bis zu 10 % des Dämmstoffmarktes bzw. rd. 7 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr **gerechnet werden**. Der zu erwartende Zuwachs dürfte allerdings in erster Linie den etablierten preisgünstigen Dämmstoffen mit guten Wärmedämmeigenschaften aus Recyclingmaterialien (z. B. Altpapier) sowie forst- und landwirtschaftlichen Produktionsrückständen (z. B. Restholz) zugute kommen.

Dämmstoffe aus speziell für diesen Zweck angebauten nachwachsenden Rohstoffen werden dagegen in der Ökonomie bleiben, wenn es nicht gelingt, diese preisgünstiger anzubieten. Die Kosten für die Wärmedämmung mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen werden bestimmt durch die technisch und finanziell aufwendigen Verfahren der Rohstoffverarbeitung, der Dämmstoffherstellung und des Dämmstoffeinbaus. Aber auch die Preise für die Rohstoffe selbst, die zwischen 10 und 25 % der gesamten Produktionskosten ausmachen, spielen dabei eine Rolle. Da die Rohstoffkosten durch züchterisch-technische Fortschritte nur bedingt gesenkt werden können, **dürften die Absatzchancen zumindest für landwirtschaftliche Hauptprodukte (Flachs- und Hanffasern) begrenzt bleiben**.

Baustoffe und -produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sind erneuerbar; bei ihrer Entstehung wird genausoviel Kohlendioxid gebunden wie bei ihrer energetischen Endnutzung freigesetzt wird. **Sie können somit einen Beitrag zur Verringerung der Freisetzung an zusätzlichen Treibhausgasen leisten**. Die Fähigkeiten nachwachsender Baustoffe und -produkte, **biologisch abbaubar** zu sein und große Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen und abgeben zu können, gelten insbesondere im Innenausbau als weitere Vorteile. Damit verbunden sind jedoch auch mögliche **nutzungstechnische Nachteile**. Durch den Zusatz an verschiedenen Schutzstoffen kann die Entflammbarkeit und ein vorzeitiger mikrobieller Abbau wirksam verhindert werden. Diese Zusätze können jedoch den Anspruch biologischer Baustoffe, insgesamt gesundheits- und umweltverträglicher zu sein als vergleichbare konventionelle Produkte, in Frage stellen.

**Abschließende Aussagen über die ökologische Vorteilhaftigkeit nachwachsender Baustoffe im Vergleich zu konventionellen sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht möglich**. Vor allem die Multifunktionalität und teilweise sehr lange Lebensdauer der Bauprodukte wirft bei der Erstellung von Ökobilanzen Bilanzierungs- und Bewertungsprobleme auf. Infolge der Möglichkeiten einer stofflichen oder thermischen Verwertung nach Beendigung ihrer Nutzungsphase **könnte ein verstärkter Einsatz nachwachsender Baustoffe dazu beitragen, das Aufkommen an nicht verwertbaren Bauabfällen zu verringern**.

Was den Zusammenhang zwischen Baumaterialien und gebäudebedingten Erkrankungen anbelangt, gibt es bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Asbest) keine gesicherten toxikologischen Erkenntnisse für die dort relevanten Konzentrationsbereiche und deshalb auch kaum Schutzbestimmungen für die Bewohner von Gebäuden. Im Hinblick auf einen vorbeugenden Gesundheitsschutz wird die rechtliche Situation insgesamt als unbefriedigend bewertet. Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, daß vor allem im Bereich des Innenausbaus nach natürlichen, gesundheitlich unbedenklichen Baustoffen und Bauprodukten verlangt wird.

**Die bestehenden baurechtlichen Vorschriften setzen** vor die Markteinführung neuer Bauprodukte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe **Hürden**. Die neuen Produkte müssen einen Verwendungs- bzw. Brauchbarkeitsnachweis gemäß Bauordnungen und Bauproduktengesetz über ein nationales bzw. europäisches Zulassungsverfahren erbringen. Die bestehenden Regelungen können auch zu Hemmnissen werden, wenn bei der Einführung neuer Baustoffe die rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen nicht rechtzei-

tig genug erkundet und gegebenenfalls gezielt genutzt werden.

Trotz der gegenwärtig begrenzten Absatzchancen für Baustoffe und -produkte aus nachwachsenden Rohstoffen beschäftigen sich viele klein- und mittelständische Unternehmen mit ihnen bzw. bieten auf dem Markt bereits entsprechende Produkte an. Die **Entwicklung und Demonstration** neuer innovativer Bauprodukte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe **werden von den zuständigen Behörden gefördert. Die bislang erzielten Ergebnisse sind bescheiden, lassen jedoch hoffnungsvolle Ansätze erkennen.** Aus einigen Möglichkeiten der Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen lassen sich durchaus Ansatzpunkte für eine breitere Verwendung im Wohnungsbau ableiten. Das Interesse der Bauherren ist groß, nachwachsende Rohstoffe im Wohnungsbau einzusetzen. Aus Kostengründen erfolgt ein Einsatz allerdings nur sporadisch. Durch entsprechende **Informations-, Verwertungs- und Vermarktungsstrategien** könnte der Absatz gefördert und könnten Kostensenkungspotentiale ausgeschöpft werden.

## Vorbemerkungen

Im Rahmen des Arbeitsprogramms des TAB kommt dem Arbeitsbereich Monitoring besondere Bedeutung zu. Seine Zielsetzung besteht in

- der Beobachtung wichtiger wissenschaftlich-technischer Trends und damit zusammenhängender gesellschaftlicher Entwicklungen und in
- der Verfolgung und Auswertung wichtiger TA-Projekte innerhalb und außerhalb der Bundesrepublik Deutschland.

Angestrebt wird unter anderem die frühzeitige Unterrichtung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung über potentiell bedeutsame TA-Themen und ihre parlamentarische Relevanz. Im Arbeitsfeld Monitoring werden vertiefende Untersuchungen zu einzelnen Technikfeldern und Analysen zu gesellschaftlichen Problemfeldern mit technologiepolitischen Implikationen durchgeführt. Dazu gehören Themen wie z. B. Technikakzeptanz und Kontroversen über Technik, Gendiagnostik und Gentherapie oder Xenotransplantation.

Das Monitoring-Vorhaben „Nachwachsende Rohstoffe“ wurde auf Beschluss der Berichterstatterinnen und Bericht-

erstatter für Technikfolgen-Abschätzung des damaligen Ausschusses für Bildung, Wissenschaft, Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung im November 1995 begonnen. Bislang wurden drei Sachstandsberichte vorgelegt, die sich mit der energetischen Nutzung von Biomasse beschäftigen (TAB-Arbeitsberichte Nr. 41, 49 und 53). Bei den ersten beiden steht die Verbrennung und Vergasung zur Wärme- und Stromerzeugung im Zentrum der Untersuchungen, der dritte behandelt die Erzeugung pflanzlicher Öle und anderer Kraftstoffe aus Pflanzen.

Der vorliegende Sachstandsbericht „Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau“ beschäftigt sich mit einem Aspekt der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Der Bericht basiert auf einem Gutachten, das von der Beckmann Akademie (Wismar) im Auftrag des Deutschen Bundestages erstellt wurde. Er gibt einen Überblick über den Stand und die Perspektiven des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen im Wohnungsbau. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Materialien, die aus ein- oder mehrjährigen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen erzeugt werden. Holz wird in Form von Verbundlösungen ebenfalls behandelt; darüber hinaus wird der Einsatz von Holz als Baustoff jedoch nicht weiter betrachtet.

## I. Einleitung

Die Errichtung bzw. der Erwerb von Häusern und Wohnungen ist eine der langfristigen und einschneidendsten Investitionen, die der Mensch in seinem Leben tätigt. Es ist gleichermaßen die Erfüllung des Traums von der Unabhängigkeit und Absicherung für das Lebensalter. An die Bauweise, die Konstruktionen und die eingesetzten Materialien werden entsprechend hohe Erwartungen gestellt. Dies betrifft sowohl die Funktionalität und Beständigkeit als auch die Gesundheits- und Umweltverträglichkeit.

Meldungen über gesundheitsbeeinträchtigende Baustoffe und -produkte (z. B. Asbest, Mineralwollefasern) bzw. darin enthaltene Zusätze (z. B. Formaldehyd, Lösemittel) beschäftigen seit einigen Jahren die Öffentlichkeit. Die Sensibilisierung der Bevölkerung gegenüber chemischen Verbindungen in der Gebäudehülle und die Angst vor damit zusammenhängenden Allergien und Beschwerden wächst. Ein Anzeichen hierfür ist die steigende Anzahl der Menschen, die wegen des Verdachts einer „Umwelterkrankung“ durch Baustoffe bzw. Baustoffzusätze zum Arzt bzw. vor Gericht gehen (TAB 1997).

Schlagworte wie „gesundheitsgerechtes“, „ökologisches“ und „kostengünstiges“ Bauen prägen zunehmend die Anforderungen der Bauherren an Planer und Bauwirtschaft. Bauherren und kommunale Planungsträger erwarten bei Neubau oder Umbau neben exakten Kostenangaben auch Informationen zu Energie, Ökologie und Gesundheit. Im Unterschied zur bisher oft einseitigen Orientierung auf die Investitionsphase wird dabei mehr und mehr der vollständige Lebenszyklus der Bauwerke berücksichtigt. Die Bauherren reagieren so auf aktuelle Anforderungen zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auch im Gebäudesektor.

Vor diesem Hintergrund stoßen Baustoffe, -produkte und -elemente aus nachwachsenden Rohstoffen auf zunehmendes Interesse<sup>1)</sup>. Von ihnen wird erwartet, daß sie einen Beitrag leisten zur

- Schonung nicht bzw. nur innerhalb langer Zeiträume erneuerbarer Ressourcen<sup>2)</sup>,

<sup>1)</sup> Die Bereitschaft, gesundheitsverträgliche und umweltschonende Baustoffe und -produkte einzusetzen und dafür auch mehr Geld auszugeben, wächst. Der Baustoffsektor reagiert auf diesen erkennbaren Trend mit ersten Neueröffnungen von Bioabteilungen in Baustoffmärkten oder sogenannten grünen Baustoffmärkten. Neben ca. 1 800 konventionellen Baumärkten und 8 000 Baustoffhändlern existieren bundesweit auch bereits etwa 200 ausschließlich auf „Öko-Baustoffe“ spezialisierte Baustoffhändler.

<sup>2)</sup> Beim Bauen mit konventionellen Baustoffen werden natürliche, nicht nachwachsende Ressourcen verbraucht. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Verbrauch von Kies zur Produktion von Beton. Beton ist ein unverzichtbarer Konstruktionsbaustoff, der beliebig formbar und mit Hilfe von Zuschlagstoffen multifunktional anwendbar ist. Aus ökologischer Sicht ist der hohe Verbrauch an natürlichen Ressourcen zur Betonherstellung jedoch kritisch zu betrachten (DBU 1998). Durch die Schaffung neuer Kies- und Sandfördergebiete werden die natürlichen Rohstoffvorräte für zukünftige Generationen geringer und intakte Landschaften und Naturschutzgebiete zerstört.

- Minderung von Befindlichkeitsstörungen und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Schadstoffe in Wohnräumen,
- Verbesserung des Raumklimas,
- Reduzierung zusätzlicher, anthropogen erzeugter Treibhausgasemissionen,
- Verringerung von Umweltbelastungen durch Errichtung, Nutzung, Instandhaltung und Abriß des Baukörpers,
- Reduzierung des Aufkommens an nicht verwertbaren Abfällen<sup>3)</sup>,
- Verbesserung der Einkommensmöglichkeiten in der Landwirtschaft und zur
- Schaffung von sicheren, nicht dem globalen Wettbewerb unterworfenen Arbeitsplätzen in klein- und mittelständischen Betrieben.

Früher waren inländisch angebaute nachwachsende Rohstoffe eine wichtige Rohstoffquelle für das Baugewerbe. Inzwischen gibt es jedoch eine Vielzahl an technisch hergestellten Bauprodukten, die sich durch eine hohe Funktionalität und Beständigkeit auszeichnen. Um die konventionellen Produkte zu verdrängen, müssen nachwachsende Baustoffe die spezifischen technischen Anforderungen gleichermaßen zufriedenstellend erfüllen. Auch sollten sie nicht wesentlich teurer sein als die bislang eingesetzten konventionellen Bauprodukte.

### Zielsetzung

Das Ziel des vorliegenden Sachstandsberichts ist es, einen Überblick über den Stand und die Perspektiven des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau zu geben und die damit verbundenen Chancen und Risiken zu identifizieren. Folgende Fragen stehen dabei im Vordergrund:

- In welchen Bereichen sind Baustoffe, -produkte und -elemente aus nachwachsenden Rohstoffen in der Lage, die spezifischen technischen Anforderungen in hinreichendem Maße zu erfüllen?
- Besitzen Baustoffe und -produkte aus nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zu den konventionellen Produkten Vorteile, die in bestimmten Anwendungsgebieten für einen (verstärkten) Einsatz sprechen?

<sup>3)</sup> Der Bereich „Bauen und Wohnen“ produziert ca. ein Viertel der anthropogen bedingten mineralischen Stoffströme. Die Bauwirtschaft trägt fast 40 % zum Abfallaufkommen bei (ITAS 1996). Die heute verbauten Stoffe werden erst in 30 bis 100 Jahren zum Bauabfall. Beim späteren Recycling des Bauschutts kann es zu Schwierigkeiten kommen. Dies gilt insbesondere für den Einsatz von Verbundmaterialien, die aus technischer und ökonomischer Sicht „reinen“ Produkten überlegen sein können. Die Präsenz geringer Mengen an bedenklichen Komponenten und Beimengungen kann ebenfalls die problemfreie Verwertung einer ansonsten unbedenklichen Abfallcharge verhindern.

- Welche Veränderungen sind mit der Substitution konventioneller Baustoffe durch Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen verknüpft?
- Kann das Aufkommen an nicht verwertbaren Abfällen im Bauwesen durch den Einsatz nachwachsender Baustoffe verringert werden?
- Wird die Markteinführung bzw. -durchdringung nachwachsender Baustoffe und -produkte durch nicht technische Hindernisse (z. B. rechtliche Regelungen) gehemmt?

### Vorgehensweise

Die letzten Jahrzehnte waren im Bauwesen durch die Weiterentwicklung und den zunehmenden Einsatz technisch hergestellter Baustoffe gekennzeichnet. Diese Stoffe zeichnen sich vielfach durch eine hohe Leistungsfähigkeit und Dauerbeständigkeit aus. Dies führte dazu, daß der früher sehr verbreitete Einsatz natürlicher Rohstoffe zurückgedrängt wurde.

Die Palette an nachwachsenden Rohstoffen, die als Baustoffe bzw. Bauhilfsstoffe genutzt werden können, ist groß (Tab. 1). Viele Pflanzen, Pflanzenteile oder Inhaltsstoffe von Pflanzen können sehr vielseitig, beispielsweise als Füllstoff, als Dämmstoff und als Bewehrung in Baustoffen, eingesetzt werden. Darüber hinaus können einige Pflanzen, wie z. B. Schilfrohr, als eigenständiger Baustoff zur Dacheindeckung oder als Fußbodenuntergrund verwendet werden. Die

folgenden Betrachtungen befassen sich mit Baustoffen und Bauhilfsstoffen, die aus oder unter Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Vollholz wird dabei nicht betrachtet.

Die beim Wohnungsbau eingesetzten Baustoffe, -produkte und -elemente zeichnen sich durch spezifische technische Fähigkeiten aus. Baustoffe, die zur Errichtung von Wänden herangezogen werden, bringen besondere statische und bauphysikalische Eigenschaften mit sich. Dämmstoffe verfügen dagegen über hervorragende Fähigkeiten zur Verringerung des Übergangs von Wärme, Luft- bzw. Trittschall und Feuchtigkeit. Anhand der spezifischen Anforderungsprofile in den jeweiligen Einsatzfeldern können die zur Errichtung von Wohnraum benötigten Materialien gruppiert werden. Dabei ergeben sich die folgenden wesentlichen Bereiche:

- Wand- bzw. Dachbau und Bauelemente (z. B. Türen, Fenster)
- Dämmung (Wärme-, Schall- und Feuchteschutz)
- Innenausbau (Wandputz, Bodenbeläge, Anstriche und Farben)
- Bauhilfsstoffe

Aufbauend auf dieser Gliederung werden nachfolgend der Stand und die Perspektiven eines Einsatzes nachwachsender Rohstoffe (Holz ausgenommen) unter Berücksichtigung technischer, gesundheitlicher, ökologischer und ökonomischer Aspekte dargestellt.

Tab. 1: Nachwachsende Rohstoffe und daraus hergestellte Bauprodukte

<i>Rohstoffpflanzen</i>	<i>Bauprodukte</i>
<b>Faserpflanzen</b> (z. B. Flachs, Hanf)	Dämmstoffe, Seile, Dichtungsmaterial, Formpreßteile, Faserzementplatten, Preßspanplatten, Zuschlagstoff für Fließestrich, Trockenmörtel, Tapeten
<b>Zellulosepflanzen</b> (z. B. Holz, Holzabfälle, Miscanthus, Schilf)	Papier, Pappe, Zellstoff, Tapeten, Span- und Faserplatten, zement- bzw. gipsgebundene Leichtbauplatten, Schalungen, Holzbetonsteine, Lehmsteine, Lehmplatten, Dachpappen, Fußbodenunterkonstruktionen
<b>Stärkepflanzen</b> (z. B. Kartoffeln, Weizen, Mais)	Papier, Pappe, Verpackungen, Dämmstoffe, Gips-Kartonplatten, Mineralfaserplatten, Bindemittel, Folien, Klebstoffe, Abbindeverzögerer für Beton
<b>Ölpflanzen</b> (z. B. Raps, Sonnenblumen, Öllein)	Schalöle, Biodiesel als Treibstoff für Baumaschinen, Farben, Lacke, Firnis, Lasuren, Linoleum
<b>Zuckerpflanzen</b> (z. B. Zuckerrüben, Zichorie)	Folie, Bindemittel, Trennmittel, Abbindeverzögerer für Beton, Farbstoffe, Klebstoffe, Leime
<b>Färberpflanzen</b> (z. B. Resede, Wau, Krapp)	Farben, Lacke, Desinfektionsmittel, Holzschutzmittel
<b>Nebenprodukte</b> (z. B. Hanf-/Flachsschäben)	Bauplatten, Füllstoffe, Verbundstoffe

Quelle: Beckmann Akademie 1998



## II. Wand- und Dachbaustoffe

Zur Errichtung tragender und nichttragender Wandkonstruktionen werden in Deutschland bevorzugt Mauerziegel, Kalksandsteine und Zementbeton eingesetzt. Diese erfüllen die statischen und bauphysikalischen Anforderungen in einem zufriedenstellenden Maße. Mauerziegel werden aus Ton oder Lehm geformt und anschließend bei hohen Temperaturen gebrannt. Ihre Eigenschaften, respektive ihre Festigkeit und Dichte, werden durch die Wahl der Rohstoffe und deren Aufbereitung sowie die Brenntemperatur bestimmt. Durch die Zugabe von gasbildenden Holzspänen oder Polystyrolkügelchen beim Brennvorgang lassen sich porosierte Ziegel (sogenannte Leicht-Hochlochziegel) herstellen. Diese besitzen eine relativ gute Wärmedämmung.

Die Herstellung von Vollziegeln und Beton ist mit einem hohen Energieverbrauch verbunden. Ihr Ersatz durch Bauelemente aus nachwachsenden Rohstoffen könnte einen Beitrag zur Einsparung begrenzt verfügbarer fossiler Energieressourcen und zur Reduzierung zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten. Holz eignet sich auf ideale Weise zur Substitution von Beton und Ziegeln. In den USA, Kanada und in Nordeuropa gibt es einen hohen Anteil an Gebäuden, die ausschließlich Tragwerkskonstruktionen aus Holz verwenden. Von diesen Holzkonstruktionen abgesehen, sind ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Bauelemente mit tragender, stützender und haltender Funktion exotische Ausnahmerecheinungen.

Bestimmte pflanzliche Rohstoffe (wie z. B. Schilfrohr oder Bambus) sind prinzipiell zur Herstellung von tragenden Elementen geeignet. Erste Wandkonstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen wurden in Mecklenburg-Vorpommern an der Fachhochschule Stralsund getestet (Abb. 1). Es handelt sich hierbei um sogenannte bewehrte Materialien, d. h. die Pflanzenfasern bilden eine Art Matrix, die beispielsweise mit Lehm<sup>4)</sup> ausgefüllt wird.

Ein weiteres mögliches Einsatzgebiet für nachwachsende Rohstoffe ist die Herstellung tragender Formelemente, die mit Beton ausgefüllt und dann zum Wandbau eingesetzt werden. Derzeit werden diese Formelemente aus Polystyrol hergestellt, da dieses Material eine gute Wärmedämmung besitzt. Gemische aus Pflanzenfasern und Bindemittel könnten im Prinzip als Ersatz für Polystyrol verwendet werden. Praktische Erfahrungen hierzu liegen jedoch nicht vor.

Auch tragende oder stützende Profile aus Kunstharzprodukten<sup>5)</sup> (z. B. T-Profile und Kastenprofile) könnten aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Es gibt erste Entwicklungen, bei denen nachwachsende Rohstoffe verbunden mit einer Kunststoffmatrix zu Platten und Profilen für den Wohnungsbau verarbeitet werden. Beispiele hierfür sind Fensterrahmen, die zu 60 % aus Weizenstroh und zu

<sup>4)</sup> Lehm in Reinform eignet sich gut als Wandbaustoff. In der heutigen Zeit wird er jedoch nur noch zur Ausfachung von Holzständerwerken verwendet. In bezug auf Wärmedämmung und -speicherung weist er bessere Werte auf als ein vergleichbarer Ziegelstein.

<sup>5)</sup> Kunstharze sind makromolekulare Stoffe, die durch Polykondensation, Polyaddition oder Polymerisation erzeugt werden.

40 % aus Recyclingkunststoff bestehen. In der Qualität gleichen sie reinen Kunststofffenstern, sind jedoch kostengünstiger (Beckmann Akademie 1998).

Schalungen, die im Bau verbleiben (sogenannte verlorene Schalungen) und teilweise als Deckenverkleidung bzw. Putzträger genutzt werden, könnten ebenfalls unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden. In früheren Zeiten wurden Leichtbauplatten aus zementgebundener Holzwole als verlorene Schalung mit Dämmeffekt verwendet (Beckmann Akademie 1998). Heute werden aus Kostengründen überwiegend Styroporplatten eingesetzt, obwohl hiermit zum Teil Feuchtigkeitsschäden an Bauwerken in Verbindung gebracht werden.

Nachwachsende Rohstoffe können auch als Zuschlagstoffe bei der Herstellung bewehrter Bauelemente aus Poren- bzw. Faserbeton eingesetzt werden. Gegenwärtig erfolgt die Bewehrung je nach Anforderung an die Stabilität des Elements mit Stahlfasern oder -stäben. Diese führen bei wechselnden Feuchtigkeitszuständen zu Korrosions- und Spannungsproblemen. Ihre magnetische Wirkung kann bei empfindlichen Personen Befindlichkeitsstörungen auslösen. Aus der Sicht der Wiederverwertung ist die Verwendung von Stahlfasern ebenfalls problematisch.

In denjenigen Einsatzgebieten, wo hohe Anforderungen an die Druck- und Zugfestigkeit des Betons gestellt werden, ist aus technischer Sicht eine Substitution der Stahlfasern bzw. -stäbe durch pflanzliche Fasern kaum realisierbar. Deutlich besser sind die Perspektiven bei der Bewehrung von Bauteilen mit geringerer Beanspruchung. Durch Beimischung von Flachs- bzw. Hanffasern, gemahlenem Bambus oder Stroh können biegsame Betonplatten hoher Festigkeit bei geringer Dicke hergestellt werden (Beckmann Akademie 1998).

Abb. 1: Außenwandaufbau mit Edelputz, Lehm-Hack-schnitzel-Ausfachung, Holzleichtbauplatte, Schilfrohrmatte



Quelle: Beckmann Akademie 1998

Aus technischer Sicht ist auch ein Ersatz von Polypropylenfasern, die dem Beton zur Verhinderung der Bildung von Oberflächenrisen während des Aushärtens zugegeben werden, möglich. In der Europäischen Gemeinschaft werden zur Zeit insgesamt rund 10 000 Tonnen Polypropylenfasern als Betonzusatzstoff verwendet (Ströml 1999). Der Ersatz der Polypropylenfasern (rd. 15 DM/kg) durch Hanffasern (7 bis 8 DM/kg) würde mit einer Kostensenkung einhergehen. Durch Erhöhung der spezifischen Pflanzenfasermenge (mehr als 1 kg pro m<sup>3</sup> Beton) könnte außerdem ein Gewinn an Stabilität erzielt werden, was beim Einsatz von Polypropylen nicht möglich ist.

Für die Dacheindeckung können an Stelle der Dachziegel aus Ton oder Beton nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden. Schilfrohr (Reet), Stroh sowie Schindeln werden traditionell für die Dacheindeckung genutzt. In den nördlichen Gebieten Deutschlands werden sie in begrenztem Umfang auch heute noch als Dachdeckmaterialien verwendet. Dacheindeckungen aus Schilfrohr sind wärmedämmend, luft- und dampfdurchlässig, elastisch und zuverlässig regendicht. Ihre Lebensdauer liegt zwischen 20 und 30 Jahren.

Dächer aus Schilfrohr sind wegen der Brandgefährdung (normalentflammbar) mit vergleichsweise hohen Kosten für die Feuerversicherung verbunden. Möglichkeiten, um das Brandrisiko beispielsweise durch Imprägnierung der Schilfhalme zu verringern, sind vorhanden. Bislang blieben diese jedoch wegen des daraus resultierenden technischen und finanziellen Mehraufwands weitgehend ungenutzt.

Der inländische Bedarf an Schilfrohr zur Dacheindeckung wird auf rd. 150 000 bis 300 000 Bund pro Jahr geschätzt. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 5 000 Bund pro Hektar entspricht dies einem Flächenbedarf von 30 bis 60 ha pro Jahr (Paetsch 1996). Dieser Bedarf könnte durch die pro Jahr im Inland heranwachsende Schilfmenge problemlos gedeckt werden. Das für die Dacheindeckung verwendete Schilfrohr stammt jedoch zu 80 bis 90 % aus dem Ausland (Ungarn, Polen und Türkei). Der hohe Importanteil ist zurückzuführen auf die Kosten, die bei der Schilfrohrgewinnung im Inland deutlich höher sind als im Ausland. Das heimische Material ist nach Angaben der Reetdachdecker wohl beständiger, aber um rund ein Drittel teurer (Büttner 1997).

Für den Aufbau einer wirtschaftlichen Rohrproduktion müßten große Schilfrohrbestände in guter Dachrohrqualität zur Verfügung stehen. Der Bestand an inländischen Schilfrohrflächen in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg ist jedoch relativ gering, und seine Nutzung ist zum Teil durch rechtliche Rahmenbedingungen eingeschränkt<sup>6)</sup>. Die Nutzung der Schilfbestände als Rohstofflieferant für die Dacheindeckung verliert deshalb immer mehr an Bedeutung. Dies ist mit negativen Folgen für den Schilfbestand verbunden. Ein Rückgang der Schilfnutzung führt u. a. zu Lückenbildungen im Schilfbestand, zu einem verringerten

Nährstoffentzug und zu einer Verschlechterung der Wasserqualität (Wilisch 1999).

Die in früheren Zeiten üblichen Methoden, das Schilfrohr Ende Februar – wenn die Fläche mit Eis bedeckt ist und die Brutzeit der ersten Wasservögel noch nicht begonnen hat – von Hand oder mit einer einfachen Maschine zu ernten, sind zu arbeitsintensiv und zu stark witterungsabhängig. Der Einsatz dänischer Schilfschneidemaschinen, die speziell für das Ernten von Rohr auf Sumpfflächen entwickelt wurden, ist aufgrund des Rückgangs der Schilfrohrbestände und der Nutzungsmöglichkeiten nicht wirtschaftlich. Außerdem fehlen effiziente und kostensenkende Aufbereitungsanlagen, mit denen bedarfsgerechtes Reet für unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten (zur Dacheindeckung oder Wärmedämmung) hergestellt werden kann.

Bei der Schilfwerbung, bei der Dachrohrherstellung und Dacheindeckung fallen große Mengen an Schilfrückständen sowie an kurzen oder geknickten Halmen an. Der Anteil kann bis zu 50 % der Erntemenge ausmachen (Paetsch 1996). Die Verwertung der nicht zur Dacheindeckung geeigneten Halme bzw. des bei der Neueindeckung anfallenden alten Schilfrohrs ist derzeit nicht gesichert. Im Prinzip besteht die Möglichkeit, das Knick- bzw. Altrohr in Verbindung mit anderen Naturstoffen (z. B. Lehm) zu einem Baustoff mit erhöhtem Wärmedämmwert zu verarbeiten. Eine Entsorgung über Kompostierungsanlagen ist denkbar, jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Zusammenfassend läßt sich zum Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Wand- und Dachbaustoff folgendes festhalten:

- Ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Bauelemente mit tragender und stützender Funktion sind – von Holzkonstruktionen abgesehen – in unseren Breitengraden exotische Ausnahmerecheinungen.
- Pflanzenfasern oder Faser- und Bindemittelgemische können zur Bewehrung von Wandbauelementen und als Substitut für Polypropylenfasern zur Verhinderung der Ribbildung beim Aushärten von Betonteilen eingesetzt werden. Hierzu liegen jedoch noch keine langjährigen Erfahrungen vor.
- Schilfrohr wird in begrenztem Umfang im Norden Deutschlands zur Dacheindeckung genutzt. Das Material wird aus Kostengründen jedoch importiert. Eine konkurrenzfähige Rohrproduktion ist in Deutschland ohne Honorierung der damit verbundenen positiven Nebenefekte kaum möglich.

<sup>6)</sup> Gemäß der Rohrschnitttrichtlinie des Landes Mecklenburg-Vorpommern dürfen jährlich ein Drittel des Rohrbestandes und ein 5 m breiter Rohrgürtel (wasserseitig) nicht geerntet werden (Labes 1997). Die nutzbaren Rohflächen werden damit auf ca. 15 bis 20 % der Gesamtflächen reduziert (Fischerei Müritz-Plau GmbH 1998).

### III. Dämmstoffe

Dämmstoffe sind Baustoffe, die sich durch ihre besondere Eignung zur Verringerung der Transmission von Wärme, Luft- und Trittschall<sup>7)</sup> und/oder Feuchtigkeit auszeichnen. Die nachfolgenden Betrachtungen fokussieren auf den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoffe zum Wärmeschutz. Eine gute Wärmedämmung und eine optimale Verringerung der Schallübertragung durch die Außen- und Innenwände von Gebäuden lassen sich mit einem Material allein nicht erzielen.

Die Wärmedämmung von Stoffen beruht auf ihrem physikalischen Materialaufbau. Dämmmaterialien bestehen aus einem porösen Stoffgefüge mit einer Vielzahl an Poren, die mit Luft oder Treibgasen gefüllt sind. Die Poren können in sich abgeschlossen (geschlossen-zellig) sein, oder miteinander in Verbindung stehen (offenzellig). Dämmstoffe aus Pflanzenfasern gehören zu den offenzelligen, bestimmte Schaumkunststoffe zu den geschlossen-zelligen Dämmstoffen. Je größer die Anzahl an nach außen abgeschlossenen Poren, je geringer die Rohdichte und je niedriger der Gehalt an Eigenfeuchte ist, desto besser ist das Wärmedämmvermögen eines Stoffes bzw. desto geringer ist seine Wärmeleitfähigkeit.

Die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffs wird durch die Wärmeleitfähigkeitszahl Lambda ( $\lambda$ ) charakterisiert. Sie gibt an, welche Wärmemenge von der einen Seite eines Bauteils bzw. Baustoffs mit 1 m<sup>2</sup> Fläche und 1 m Dicke bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin zwischen den gegenüberliegenden Oberflächen (der warmen Innen- und der kalten Außenseite) pro Sekunde übertragen wird. Je kleiner die Zahl, um so besser ist die Wärmedämmfähigkeit eines Baustoffes.

Die Wärmemenge, die unter den oben genannten Bedingungen durch eine Bauteilfläche hindurchgeht, wird als Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) bezeichnet. Im Gegensatz zum produktspezifischen  $\lambda$ -Wert, berücksichtigt der

<sup>7)</sup> Als Schall werden für den Menschen hörbare Schwingungen bezeichnet, die sich vom Ort der Entstehung (Schallquelle) durch elastisch feste, flüssige und gasförmige Stoffe wellenförmig ausbreiten. Luftschall entsteht, wenn raumtrennende Bauteile durch Schallwellen so angeregt werden, daß die Luft im Nachbarraum durch die membranartigen Trennelemente (Wand und Decken) zum Schwingen angeregt wird. Trittschall ist eine Art von Körperschall. Er wird beispielsweise durch Gehen und Stühlerücken erzeugt.

k-Wert auch den Schichtaufbau des Bauteils. Je kleiner der k-Wert eines Bauteils, desto besser ist seine Eignung zur Wärmedämmung.

Neben der verstärkten Nutzung regenerativer Energieträger und Maßnahmen zur effizienteren Energieerzeugung und rationellen Energieanwendung stellt die Wärmedämmung von Gebäuden eine interessante, da vergleichsweise kostengünstige Option zur Reduktion von zusätzlichem klimarelevanten Kohlendioxid aus fossilen Quellen dar. Vor diesem Hintergrund wird die Wärmedämmung von neuen Wohngebäuden gesetzlich geregelt.

Die Wärmeschutzverordnung (WSchV<sup>8)</sup>) verlangt den Nachweis des Jahresheizwärmebedarfs, der auf das zu beheizende Gebäudevolumen normiert ist. Bei neuen Wohngebäuden mit bis zu zwei Vollgeschossen und nicht mehr als drei Wohneinheiten genügt die Angabe der Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert) für die einzelnen Bauteile und das gesamte Bauwerk im Bauantrag. Die Außenwände dürfen einen maximalen k-Wert von 0,50 haben; unterm Dach liegt die Obergrenze bei 0,22 und zum unbeheizten Keller hin bei 0,35 (Tab. 2). Der k-Wert ist in der Praxis umstritten, da er rechnerisch ermittelt wird und nichts über die Wärmespeicherfähigkeit, das Feuchteverhalten und die Schall- und Brandschutzeigenschaften der Baustoffe aussagt.

Für Altgebäude bzw. bauliche Veränderungen gelten abgeschwächte Anforderungen. Die genannten Standardwerte stellen Basiswerte dar, die durch regionale Bestimmungen oder durch frei zu vereinbarende Werte übertroffen werden können. Der Standard für Niedrig-Energiehäuser liegt beispielsweise 30 bis 50 % unter den Basiswerten der aktuellen WSchV.

Die Wärmeschutzverordnung und die Heizanlagenverordnung sollen noch in diesem Jahr zusammengefaßt und in die geplante Energieeinsparverordnung 2000 überführt werden (FAZ 1999). Es ist vorgesehen, den Jahresheizwärmebedarf in einen Gesamtenergiebedarfsnachweis zu überführen und die Anforderungen an den Wärmeschutz der Bauteile zu verschärfen. Der Primärenergieverbrauch von Neubauten soll um 30 % reduziert werden. Es ist außerdem vorgese-

<sup>8)</sup> Die WSchV wurde 1977 erlassen, 1984 trat die 2. Fassung und 1995 die 3. Fassung in Kraft. 1999/2000 soll eine 4. Fassung erlassen werden.

Tab. 2: Wärmedurchgangskoeffizienten für Bauteile von neuen Wohngebäuden

Bauteile	k-Wert (W/m <sup>2</sup> K)
Außenwände	0,50
Fenster, Fenstertüren	0,70
Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und gegen die Außenluft (Dächer)	0,22
Kellerdecken und Wände gegen unbeheizte Räume und Erdreich	0,35

Quelle: eigene Darstellung

hen, Altbauten sukzessive in die neue Verordnung einzubeziehen. Zudem soll ein Energiepaß, der den Energieverbrauch für jeden Käufer von Immobilien oder jeden Mieter transparent und somit zu einem Entscheidungskriterium macht, eingeführt werden.

Die gesetzlichen Anforderungen an die Wärmedämmung der Gebäudehülle können durch verschiedene Dämmmaßnahmen erfüllt werden. Beliebt ist der Einsatz von Dämmstoffen. Auf dem Markt gibt es inzwischen eine fast unüberschaubare Fülle an Dämmstoffen. Nachfolgend werden diejenigen Dämmstoffe betrachtet, die einen nennenswerten Marktanteil besitzen. Bei den konventionellen Dämmstoffen sind dies die mineralischen Dämmstoffe und die synthetischen Hartschaumstoffe. Bei den alternativen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen biogenen Recyclingmaterialien werden Flachs, Hanf, Schilf, Schafwolle sowie Altpapier, Holzfaserplatten und Kork betrachtet.

## 1. Konventionelle Dämmstoffe

Die auf dem Markt gegenwärtig wichtigsten konventionellen Dämmstoffe sind in Tabelle 3 aufgeführt. Unter ihnen nehmen die Produkte aus Mineralfasern und Hartschaumstoffen (Polystyrol und Polyurethan) den Löwenanteil am inländischen Umsatz mit Dämmstoffen ein.

Schaumglas ist ein fäulnisresistenter, gut dämmender und sehr druckfester Dämm- und Feuerschutzstoff. Er wird jedoch nur zur Dämmung von Flachdächern und Fundamenten eingesetzt. Das gesundheitliche Gefährdungspotential bei der Verarbeitung von Schaumglas scheint für den Nutzer wie bei der Verklebung anderer Dämmstoffe auch vernachlässigbar gering zu sein.

Dem Schaumglas verwandt sind Dämmmaterialien aus glasierten Schaumkugeln, kurz Perlit bzw. Bläherperlit genannt. Das Material ist reaktionslos, ausgasfrei, staubarm, feuerfest und verfügt über eine hohe Dampfdurchlässigkeit. Es hat eine lange Lebensdauer, ist wiederverwertbar oder kompostierbar. Perlite können je nach Herkunft leicht radioaktiv sein. Die natürliche Radioaktivität von Perliten liegt jedoch deutlich unter dem Richtwert für Baustoffe.

Dämmplatten aus Calciumsilikat sind dem Kalksandstein ähnlich, aber viel leichter und extrem dampfdurchlässig. Wegen des hohen Preises kommt das Material nur für extreme Anforderungen (z. B. Sanierung einer durchnässten Wand) in Betracht. Zur Armierung des Gefüges werden Zellulosefasern eingesetzt. Bei der Herstellung entsteht schwe-

rer, absinkender Staub, der abgesaugt und zu Calciumsilikatpulver weiterverarbeitet wird. Der Zuschnitt beim Einbau erfolgt mit Schneidwerkzeugen, die mit einer Staubabsaugung ausgestattet sind. Im eingebauten Zustand gehen von Calciumsilikatplatten keine gesundheitlichen Gefährdungen aus.

### *Dämmstoffe aus Mineralfasern*

Mineralfasern werden aus geschmolzenen anorganischen Rohstoffen (z. B. Altglas, Gesteinen wie Diabas, Dolomit oder Kalkstein, Schlacken) durch Zentrifugieren, Zerblasen oder mittels Düsenziehverfahren gewonnen. Die silikalthaltigen Fasern mit mittleren Durchmessern von 3 bis 9 µm werden mit einem (meist gelben) Kunstharz<sup>9)</sup> gebunden. Mineralwolle-Dämmstoffe besitzen günstige Wärmedämm- und Schallschutzeigenschaften. Aus mineralischen Gesteinen gewonnene Mineralfasern sind nicht brennbar. Sie sind als einziger Dämmstoff der Brandklasse A1 zugeordnet. Ihr Schmelzpunkt liegt bei über 1 000 °C.

Mineralwolle-Dämmstoffe gibt es in verschiedenen, gut handhabbaren Formen (Platten- oder Rollenware) und Aufmachungen (roh oder mit Aluminium kaschiert). Vor allem für die Dachdämmung zwischen den Sparren, die Heimwerker mit etwas Geschick auch im Do-it-yourself-Verfahren meistern können, bietet sich der Einsatz dieses Materials wegen seiner Struktur und Anpassungsfähigkeit an.

Aufgrund der Diskussionen über die krebserregende Wirkung von inhalierten Mineralfasern und faserförmigen Stäuben sind Dämmstoffe aus Mineralfasern in der Vergangenheit in Mißkredit geraten. Eine Belastung mit künstlichen Mineralfasern findet vor allem dort statt, wo diese Fasern hergestellt, weiterverarbeitet und als Dämmstoffe ein- bzw. ausgebaut werden. Bei der Verarbeitung und Nutzung von Mineralfasern werden Stäube freigesetzt, die bei direktem Kontakt hautreizend und gesundheitsschädigend sein können (MAK-Liste).

Nach ordnungsgemäß (d. h. mit einem wirksamen Atemschutz) durchgeführter Wärmedämmung mit Mineralwolleerzeugnissen treten keine gesundheitlich bedenklichen Faserkonzentrationen in Innenräumen auf. Die Meßwerte der Fasern liegen zum großen Teil unterhalb der Nachweisgrenze, so daß ein Risiko für den Nutzer nicht abzuleiten ist. Bautechnische Mängel, z. B. fehlerhafte bzw. nicht ord-

<sup>9)</sup> Kunstharz kann unter Umständen (etwa bei Nässe) Formaldehyd freisetzen.

Tab. 3: Synthetische, mineralische und organische Wärmedämmstoffe

<i>Dämmstoffart</i>	<i>zugehörige Produkte zur Wärmedämmung</i>
mineralische Fasern	silikalthaltige Glas- und Steinfasern
synthetische Porenprodukte	Polystyrol-Hartschaum (PS), Polystyrol extrudiert (XPS), Polystyrol expandiert (EPS), Polyurethan (PUR)
andere anorganische Materialien	gemahlene, aufgeschäumte Glasschmelzen (Schaumglas), Natur-/Vulkangestein (Vermiculit, Bläherperlit, Blähton), Calciumsilikat-Dämmplatten

Quelle: eigene Darstellung

nungsgemäß abgedichtete Mineralfasermatten, können jedoch zu erhöhten Faserkonzentrationen in Innenräumen führen. Faserkonzentrationen von mehr als 1 000 Fasern/m<sup>3</sup> gelten als bedenklich (ITAS 1996). Für die Innenraumbelastung mit künstlichen Mineralfasern gibt es jedoch noch keine Grenzwerte.

In den letzten Jahren wurden Mineralwolle-Dämmstoffe intensiv auf die Verweildauer der Fasern im menschlichen Organismus und mögliche kanzerogene Wirkungen untersucht. Wegen des Anteils geometrisch kritischer Fasern<sup>10)</sup> wurden künstliche Mineralfasern mit einem Durchmesser unter 1 µm bereits 1980 als Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential<sup>11)</sup> eingestuft.

Mitte 1994 wurde vom Ausschuß für Gefahrstoffe ein neuartiges Einstufungskonzept für Faserstäube zur Aufnahme in die Technische Regel für Gefahrstoffe vorgeschlagen. Das Konzept geht aus von dem Kanzerogenitäts-Index (KI), der aus der chemischen Zusammensetzung der Stoffe bestimmt wird. Mineralwolle soll keinen asbestähnlichen Feinstaub (extrem feine Bruchfasern) abgeben, der den KI-Wert 40 unterschreitet (DIN 18165). Wird der Wert überschritten, gilt der Dämmstoff als unbedenklich. Inzwischen bietet die Mineralfaser-Industrie Dämmstoffe an, welche diese Bedingung erfüllen.

#### *Polystyrol-Hartschaum*

Polystyrol wird durch Polymerisation von Styrol, dem ein Treibmittel zugesetzt wurde, hergestellt. Das Treibmittel und die nicht polymerisierten Styrolreste verdampfen während oder nach der Herstellung des Hartschaums und bilden dabei Bläschen. Das meist grün oder blau gefärbte extrudierte Styrol (XPS) besitzt eine sehr hohe Druckfestigkeit und wird zur Verhinderung von Wärmebrücken bei Betonteilen (bei Betonschalungen kann es eingelegt werden) verwendet.

Das bei der Herstellung von Polystyrol-Hartschäumen verwendete Styrol ist ein organisches lipophiles Lösungsmittel (Wassergefährdungsklasse 2) und Nervengift. Es steht im Verdacht, kanzerogen und erbgutschädigend<sup>12)</sup> zu sein. Bei der Herstellung von expandiertem Polystyrol-Hartschaumplatten (EPS) wird als Treibmittel Pentan (Bestandteil von

Erdöl) verwendet. Das dabei freigesetzte Pentan wird in der Atmosphäre unter Einfluß von Luftfeuchtigkeit und atmosphärischer Strahlung innerhalb weniger Tage zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt.

Bei extrudierten Polystyrol-Hartschäumen (XPS) werden fluoridierte chlorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW) für das Aufschäumen verwendet. Bis vor wenigen Jahren noch wurden vollhalogenierte FCKW (F12) eingesetzt, inzwischen werden jedoch teilhalogenierte Stoffe (H-FCKW142b) und zunehmend auch Kohlendioxid als Treibmittel benutzt. Durch den Einsatz teilhalogener Stoffe sind extrudierte Polystyrol-Hartschäume frei von den im Montrealer Protokoll sowie in den verschärften Fassungen (Konferenzen 1990 in London und 1992 in Kopenhagen) reglementierten FCKW. Teilhalogenierte FCKW weisen aber nach wie vor ein – wenn auch erheblich geringeres – Ozonabbaupotential auf. Teilhalogenierte FCKW weisen ein um ca. 90 % reduziertes Ozonabbaupotential auf, da sie bereits in den unteren Atmosphärenschichten weitgehend abgebaut werden. Auch ihr Treibhauspotential ist im Vergleich zu vollhalogenierten FCKW um über 80 % geringer. Dennoch verbleibt eine Restgefährdung. Ab 2004 sollen die teilhalogenierte FCKW deshalb stufenweise substituiert und bis 2030 ganz verboten werden.

Ein Problem besonderer Art stellt das Verhalten der Hartschaumstoffe im Brandfall dar. Bei der Verbrennung von Polystyrol entstehen Atemgifte, neben monomerem Styrol auch geringe Mengen an Benzol und Toluol. Die Flammenschutzrüstung zur Verbesserung des Brandverhaltens ist, wenn sie bei thermischer Beanspruchung ihren Bestimmungszweck erfüllen muß, von besonderer Brisanz. Im Beisein von Flammenschutzmitteln entstehen nämlich Substanzen noch größerer Toxizität als bei der Verbrennung des „reinen“ Kunststoffes.

#### *Polyurethan-Dämmplatten*

Polyurethan zeichnet sich durch die geringste Wärmeleitfähigkeit unter allen Dämmstoffen aus. Schon Polyurethanplatten von knapp 8 cm Dicke erreichen einen k-Wert von 0,3. Polyurethan-Wärmedämmstoffe sind verrottungs- und fäulnisresistent. Der gelbe Polyurethan-Schaum (PU) ist auf dem Bau vor allem als Montageschaum zum Einkleben von Fensterrahmen und Abdichten von Ritzen in Gebrauch.

Die Herstellung von Polyurethan-Hartschaum ist technisch ausgereift und verläuft nach dem seit langem großtechnisch angewandten Polyadditionsverfahren. Die eingesetzten Komponenten Polyisocyanat und Polyol weisen einen sehr niedrigen Dampfdruck auf. Nach Herstellerangaben wird der MAK-Wert von 0,005 ppm für Isocyanate während des Reaktionsprozesses eingehalten. Gleichwohl besteht die Gefahr, daß chemische Reaktionen im Rahmen großtechni-

<sup>10)</sup> Faserlängen über 5 µm und einem Durchmesser kleiner 3 µm sowie einem Längen- und Dickenverhältnis von über 3 : 1 sind unter dem Aspekt der Langzeitwirkung als krebserzeugend anzusehen.

<sup>11)</sup> Begründet wurde dieser Verdacht mit Erkenntnissen aus Serosatests. Bei diesen Tests wird den Versuchstieren (z. B. Ratten) das zu untersuchende Material in die Bauchhöhle injiziert. Ob diese Testmethode für den Nachweis des kanzerogenen Potentials eines atembaren Stoffes geeignet ist, war und ist in Fachkreisen sehr umstritten. Auch die Frage der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen wird kontrovers diskutiert, weil hierbei vorausgesetzt wird, daß der biologische Wirkungsmechanismus bei Mensch und Tier im wesentlichen der gleiche ist, und die Vergleichbarkeit zur Exposition des Menschen letztlich nicht gegeben ist. Die Befunde sprechen jedoch insgesamt für die Schlußfolgerung, daß die für die Kanzerogenese entscheidenden Vorgänge im Lungengewebe und im Serosagewebe analog ablaufen. Bei kritischer Würdigung der vorliegenden Inhalationsexperimente und Serosatests kommt man in Fachkreisen zur Aussage, daß hinreichende Anhaltspunkte zur Annahme bestehen, daß die Exposition eines Menschen gegenüber Glas- und Steinwollefasern Krebs erzeugen kann.

<sup>12)</sup> Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft hat für Styrol einen MAK-Wert von 20 ml/m<sup>3</sup> festgelegt. Dieser Wert wird bei der Herstellung und Verarbeitung von Polystyrol-Platten im allgemeinen deutlich unterschritten. Unter Nutzungsbedingungen durchgeführte Messungen bei verschiedenen Objekten, die auf unterschiedliche Weise gedämmt waren, ergaben bei einer Nachweisgrenze von 0,01 mg/m<sup>3</sup> Raumluft keine Styrolbelastungen.

scher Verfahren quantitativ nicht vollständig zu 100 % ablaufen und sich unter ungünstigen Bedingungen die Ausgangsstoffe aus dem Endprodukt zurückbilden. Isocyanat gilt als aggressive Komponente, die ein Arbeitsschutzrisiko mit sich bringen kann.

Im PU-Schaum enthaltene Diisocyanate hydrolysieren in Gegenwart von Feuchtigkeit über die Zwischenstufe der Diamine weiter zu Polyharnstoff. Dies ist insofern bedenklich, als in der Stoffgruppe der aromatischen Amine und Diamine viele Vertreter kanzerogen oder kanzerogenverdächtig sind. Polyharnstoff hingegen ist physiologisch unbedenklich.

In Veröffentlichungen zur Schadstoffbelastung der Innenraumluft finden sich keine Angaben zur Freisetzung von Polyisocyanaten. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, daß der analytische Aufwand für das sichere Messen von Polyisocyanaten im Bereich minimaler Konzentrationen vergleichsweise groß ist. Im Brandfall kann Polyurethan problematisch werden, denn sein Schmelzpunkt liegt schon bei etwa 200 °C. Bei diesen Temperaturen entstehen bereits verschiedene Atemgifte, unter anderem Blausäure, Benzol und Toluol, die zum Erstickungstod führen können.

## 2. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Das Angebot an marktgängigen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen biogenen Materialien ist groß. Tabelle 4 zeigt einen Ausschnitt daraus.

Ein Teil der eingesetzten Rohstoffe stammt von inländisch angebauten Pflanzen. Andere müssen aus klimatischen

Gründen aus anderen EU-Ländern oder aus außereuropäischen Staaten importiert werden. Diese Dämmstoffe (z. B. aus Baumwoll-, Kokos- und Jutefasern) werden mit Ausnahme von Kork im vorliegenden Bericht nicht näher betrachtet. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Hersteller von Dämmstoffen aus Flachs, Hanf oder Schafwolle ihre Rohstoffe nicht ausschließlich aus regionaler bzw. inländischer Quelle beziehen.

Welchen Marktanteil ein Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen erringen kann, hängt von seinem Preis-Leistungs-Verhältnis und seinem Anwendungsspektrum ab. Die Anwendbarkeit der einzelnen Dämmstoffe für bestimmte Nutzungen (z. B. für Fußboden-, Wand-, Decken- oder Dachdämmung) wird in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung<sup>13)</sup> geprüft und mit entsprechenden Kennzeichnungen versehen. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind bis auf wenige Ausnahmen (z. B. Anwendungen mit Druckbelastung oder erhöhter Belastbarkeit) für verschiedene Dämmaufgaben geeignet (Tab. 5).

Nachfolgend werden Ausführungen zur Bereitstellung und Anwendung von heimischen nachwachsenden Rohstoffen (Flachs, Hanf, Schilf und Schafwolle), die als Dämmstoffe auf dem Markt verfügbar sind, gemacht.

<sup>13)</sup> Bei der Zulassung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen werden geprüft: Dimensionsstabilität, Festigkeitseigenschaften und Setzmaß, Wärmeleitfähigkeit bei Ausgleichsfeuchte, Widerstand gegen Schimmelpilze und Schädlinge, Verhalten gegenüber Feuchtigkeit und Wasserdampfdiffusion und Brandverhalten.

Tab. 4: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Dämmstoffe	Produkt
Dämmstoffe auf der Basis eines Werkstoffes	Holzspäne, -wolle, Zellulosedämmplatten, -flocken, -kugeln, Flachsdämmstoff (Vlies), -platten Baumwolldämmstoff, -platten, Kork-, Kokos-, Schafwolldämmung, Schilf-, Jutfilzmatten
Dämmstoffe aus Werkstoffgemischen	Span-, Faser-, Gipskartonplatten, Leichtbauplatten (Stroh in mineralischer Matrix)
Dämmstoffe aus recyceltem Material	Dämmplatten oder Schüttgut aus Altpapier

Quelle: Beckmann Akademie 1998

Tab. 5: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und ihre Einsatzgebiete

Rohstoff	Anwendungsgebiete
Zellulose	Dachdämmung, Decken- und Fassadendämmung
Kork	Wände, Fußböden
Schilfrohr	Dachdämmung, Innendämmung, Wärme- und Schalldämmung der Dächer, Wände und Decken
Flachs, Hanf (Fasern, Schäben)	Dachdämmung, Innendämmung, Deckendämmung (nicht druckbelastbar), akustisch wirksame Auflage auf Unterdecken und für Hinterfüllungen

Quelle: nach Beckmann Akademie 1998

*Flachs*

Das Angebot an Dämmstoffen aus Flachs ist groß. Flachs-Dämmstoffe gibt es in diversen Formen hergestellt aus Fasern oder Schäben (dem holzigen Bestandteil der Faser). Nach Ernte (Raufen und Riffeln) und Feldaufschluß (Tauröste) werden die Flachsstengel mechanisch gebrochen. In Flachsschwingen erfolgt die Trennung der Lang- und Kurzfasern sowie Schäben voneinander. Die Langfasern (14 Gew.-% der Ernte) werden für hochwertige textile Anwendungen genutzt. Die als Flachswerg bezeichneten Kurzfasern (7 Gew.-%) stehen als Rohstoff für die Herstellung von Dämmvliesen und Dämmmatten zur Verfügung.

Die einzelnen Dämmprodukte aus Flachs unterscheiden sich in ihrer Form (z. B. Vliese, plattenförmige Matten) und in der Art der verwendeten Zusatzmaterialien (z. B. Binde-, Stütz- und Brandschutzsubstanzen). Als Brandschutzmittel werden den Flachsfasern ungefähr 8 Gew.-% Borsalz, Borsäure, Ammoniumphosphat oder Wasserglas beigemischt (Steiner 1997).

Flachsfasern besitzen eine gute Wärmedämmfähigkeit (0,04 W/mK), aber nur eine relativ geringe Elastizität. Um die Stabilisierung und die Rückstellkraft der Flachsfasern zu erhöhen, werden entsprechende Zusätze in das Faserflor gegeben. Bei der Herstellung von Flachsvliesen werden meist Polyesterfasern oder andere Kunststofffasern (bis 20 %) zur Verfestigung beigemischt. Das Einbringen zusätzlicher Stützfasern zur Gewährleistung der Standsicherheit ist insbesondere dann erforderlich, wenn größere Dämmstoffdicken benötigt werden. Fasermatten werden durch Zugabe von Kartoffelstärke (bis 10 %) zu einer steifen Platte verklebt (Giesecke 1997).

Flachsvliese oder -filze werden vorrangig zur inneren Dämmung von Wänden, leichten Trennwänden und Decken eingesetzt. Aus technischer Sicht wären sie auch für Dachstuhlisolierungen geeignet. Dort werden sie jedoch aus finanziellen Gründen selten eingesetzt. Für eine Dämmung der Außenwand sind die Flachsdämmsysteme nicht stabil genug. Die Flachsschäben eignen sich als Schüttungen ebenfalls zur Dämmung. Sie haben jedoch eine deutlich geringere Wärmedämmfähigkeit als die Flachsfasern.

Die Erzeugung und Bereitstellung von Flachsfasern aus Faserlein ist hinlänglich untersucht und dokumentiert. Forschungsaktivitäten im Bereich der Züchtung, des Anbaus und der Ernte (Erntetechnik, Feldröste) von Flachs sowie der Gewinnung (Flachsentholzung und -faseraufbereitung) und Verwertung von Flachskurzfasern wurden in den letzten Jahren verstärkt gefördert (FNR 1997). Daneben wurden auch anwendungsspezifische Projekte, wie die Entwicklung baubiologisch hochwertiger Dämmstoffe aus Flachsfasern, durchgeführt. Trotz ermutigender Ergebnisse spielt der Flachs-anbau zur Bereitstellung technisch nutzbarer Fasern im Wohnungsbau bislang keine nennenswerte Rolle. Grund hierfür sind die vergleichsweise hohen Kosten des Flachsdämmstoffes. Eine Ausdehnung des Flachs-anbaus wäre aus agrarökologischer Sicht zu begrüßen, da Lein als relativ anspruchslose Pflanze gilt, die sich durch verschiedene Vorteile auszeichnet (Tab. 6).

*Hanf*

Hanf ist wie Flachs eine traditionell angebaute Kulturpflanze. Die Pflanze wird bis zu vier Meter hoch und erzeugt pro Hektar etwa zwölf Tonnen Trockenmasse. 1997 wurde in Deutschland auf ca. 1 500 ha Hanf angebaut. Mittlerweile lassen sich aus dieser Pflanze rund 200 überwiegend textile Produkte herstellen (Hanfgesellschaft 1997). Über den Einsatz von Hanf als nachwachsenden Rohstoff liegen umfangreiche Untersuchungen vor (Nova Institut 1997). Diese erstrecken sich sowohl auf den Anbau und die Fruchtfolge, als auch auf die Ernte, die Aufbereitung und die Verwertung. Die Nutzung von Hanf im Wohnungsbau wird an dieser Stelle deshalb nur kurz dargestellt.

Wie beim Flachs können beim Hanf sowohl die Kurzfasern als auch die beim Aufschluß der Hanffasern anfallenden Hanfschäben als Dämmstoff eingesetzt werden. Für den Dämmstoffeinsatz wird Hanf vorwiegend als Vliesmatte in Form von Rollen, als Dämmfilz oder Stopfware angeboten. Sie enthalten Polyesterstützfasern und Brandschutzmittel. Durch den Zusatz von Boraten kann die Brandschutzklasse B2 erreicht werden.

Dämmmatten aus Hanffasern können zur Dämmung von Dächern und Wänden eingesetzt werden. Sie bieten Wärme- und Schallschutz und wirken feuchtigkeitsregulierend. Im

Tab. 6: Agrarökologische Vorteile des Anbaus von Faserlein (Flachs)

<i>Maßnahme</i>	<i>Umfang</i>
Unkrautbekämpfung	nur als Starthilfe erforderlich wegen des starken vegetativen Wachstums der Flachspflanze
Pflanzenschutzmittel	meist nicht erforderlich, da tierische oder pilzliche Schaderreger (z. B. Rost oder Mehltau) selten auftreten
Düngung	relativ geringer Bedarf an Stickstoff und anderen Mineraldüngern
Humusbilanz	positiv wegen des auf dem Feld verbleibenden hohen Wurzel- und Blattanteils
Fruchtfolge	Bereicherung der Fruchtfolge aufgrund seines seltenen Anbaus
Fauna und Flora	Wiederansiedlung der fast verschwundenen flachsspezifischen Fauna und Flora

Quelle: eigene Darstellung

Vergleich zu anderen Materialien ist das Dämmvermögen allerdings eher mittelmäßig. Dieser Nachteil kann jedoch durch eine Verstärkung der Dämmschicht ausgeglichen werden. Um mit Hanf gute Wärmedämmleistungen zu erzielen, ist eine chemisch-physikalische Verfeinerung der Fasern erforderlich. Die Marktperspektiven von Dämmstoffen aus Hanffasern erscheinen aufgrund des hohen technischen und ökonomischen Aufwands zur Gewährleistung einer guten Wärmedämmung begrenzt.

In Frankreich werden seit längerem aus Hanfschäben hergestellte Schüttdämmungen allein oder in Kombination mit Korkschrot oder Blähton zum Wärme- und Schallschutz im Fußbodenbereich eingesetzt. Durch Imprägnierung mit Bitumen können die Hanfschäben vor einem vorzeitigen mikrobiellen Abbau geschützt und stabilisiert werden. Hierdurch werden jedoch auch die Möglichkeiten einer späteren stofflichen bzw. energetischen Verwertbarkeit nach Beendigung seiner Nutzungsphase beeinflusst.

### Schilf

Schilfrohr kann zur Wärmedämmung von Außenwänden und zur Trittschalldämmung von Fußböden verwendet werden. Schilfrohr wird in Form von 2 bis 10 cm dicken Matten lose verlegt oder angeschraubt bzw. angedübelt. Die Matten bestehen aus einer Vielzahl parallel neben- und übereinander liegender Schilfrohrhalme von einjährigen Schilfrohrpflanzen. Die Halme werden mechanisch fest zusammengepreßt – ohne daß die Röhrenstruktur zerstört wird – und mit verzinkten Eisendrähten zu Matten gebunden. Die Rohdichte der Matten liegt zwischen 140 und 180 kg/m<sup>3</sup> (Paetsch 1996). Die Kosten für Schilfrohr aus inländischen Beständen sind allerdings relativ hoch. Dies ist auf die mangelnde Wirtschaftlichkeit der Schilfrohrproduktion zurückzuführen (Kap. II).

Schilfrohr besitzt eine mittlere Wärmeleitfähigkeit (0,04 bis 0,06 W/mK). Das Material ist feuchteresistent und verfügt über Schalldämmeigenschaften. Der hohe Kieselsäuregehalt des Schilfrohrs in Verbindung mit der starken Pressung der Halme im Plattenverband gibt den Schilf-Dämmplatten einen guten Flammenschutz. Wenn zudem eine ausreichende Putzüberdeckung gegeben ist, erreichen sie die Brandschutzklasse B2 (normal entflammbar). Formbeständigkeit und Dauerhaftigkeit in für Wärmedämmmaßnahmen nötigen Stärken können noch nicht abschließend beurteilt werden. Da ihnen keine Imprägnierungs- und Bindemittel zugesetzt werden, sind Schilfrohrmatten im Prinzip kompostierbar.

### Schafwolle

Schafwoll-Vliesbahnen oder Schafwoll-Filzmatten werden bevorzugt im Leichtbau, wo ein enger Kontakt zwischen Außenwand und Innenraum besteht, eingesetzt. Schafwoll-Vliesbahnen bestehen zu 100 % aus reiner Schafwolle. Meist handelt es sich dabei um sogenannte melierte Wolle, die aus optischen Gründen im Textilbereich kaum verwendet werden kann. Schafwollfilze bestehen aus je 50 % Schafschurwolle und recycelter Altwolle. Als Rohstoff wird Schafschurwolle eingesetzt, die teilweise aus heimischer Quelle, zum überwiegenden Teil jedoch vom Welt-

markt bezogen wird. Aufgrund des seit Jahren bestehenden weltweiten Überangebots an Schafwolle ist dieser Rohstoff vergleichsweise kostengünstig verfügbar.

Die bei der Schafschur anfallende Rohwolle enthält zwischen 30 und 50 % an Verunreinigungen verschiedenster Art (z. B. Wollfett, Wollweiß, Hautschuppen, Erd- und Pflanzenreste). Daher wird die Wolle zuerst mit Seife und Soda gewaschen, danach aufgelockert und in Einzelfasern (sogenanntes Primärvlies) aufgelöst. Das Primärvlies wird durch maschinelles Vernadeln zu Bahnen bis zu einer Dicke von 100 mm verbunden. Bei Dicken ab etwa 120 mm werden zur Verbesserung der Formstabilität die im Textilbereich üblichen Bindefasern aus Polyester eingesetzt. Schafwolle ist feuchtigkeitsregulierend und relativ fäulnisresistent.

Zum Schutz der Wolle gegen Insekten (Motten) wird das Vlies mit Harnstoffderivaten oder Pyrethroiden behandelt. Um den Anforderungen der Brandschutzklasse B2 zu genügen, wird der Schafwolle außerdem Borax zugesetzt. Eine intensive Behandlung mit Boraten kann dazu beitragen, die Schafwolle gegen Eilarven von Wollschädlingen zu schützen. Gegen das Zuwandern älterer Larven von außen sind dagegen konstruktive Maßnahmen zu ergreifen. Schafwolle-Dämmstoffe sind wiederverwendbar und werden in brauchbarem Zustand vom Hersteller zurückgenommen.

## 3. Dämmstoffe aus biogenen Recyclingmaterialien

Die zur Herstellung von Dämmstoffen am häufigsten eingesetzten Recyclingmaterialien sind

- ausgesuchtes Altpapier von Tageszeitungen,
- Zellulosereste und Rückstände aus der Herstellung von Hygienepapier,
- Durchforstungs- und Industrierestholz (z. B. Schwarten, Spreißel und Hackschnitzel von Sägewerken) sowie Holzspäne, -fasern bzw. -mehl,
- Altholz (z. B. Abbruchholz),
- ausgediente Flaschenkorken sowie
- Kaffee- und Tabaksäcke aus Jutefasern.

### Altpapier

Dämmstoffe aus Altpapier gibt es in Form von Papierflocken, Papierschnipseln oder als Zellulosewolle (z. B. zu Platten gepreßt). Das Material eignet sich für verschiedene Einsatzzwecke. Häufig verwendet wird es zur Dämmung von Hohlräumen, Decken und Satteldächern, weniger oft für Wände. In der Regel sollte Zellulose-Dämmstoff nur von Fachfirmen auf- bzw. eingeblasen oder versprüht werden. Das Dämmmaterial wird über einen Luftschlauch in die Hohlräume eingebracht.

Nachteil dieses Verfahrens ist, daß es keine einfachen Kontrollen gibt, um zu überprüfen, ob alle Hohlräume genügend mit Dämmstoff ausgefüllt sind. Die Erstellung von Thermographien oder Winddichtigkeitsprüfungen sind für den Regelfall nicht anwendbar, da zu kostenintensiv. Veränderungen in der Dämmschicht können sich auch durch das spätere



Sichsetzen der eingeblasenen Zelluloseflocken ergeben. Die so entstandenen Hohlräume können durch Auffüllen an den oberen Abschlüssen wieder geschlossen werden.

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Zellulose-Dämmstoffen können erhöhte Faser- und Boratkonzentrationen in der Atemluft auftreten. Borate in der Atemluft unter Arbeitsplatzbedingungen zu erfassen, ist bisher noch nicht gelungen, so daß Aussagen hierzu rein hypothetischer Natur wären. Die Belastung der Atemluft mit Fasern ist aufgrund des damit einhergehenden Gefährdungspotentials dagegen besser untersucht. Die Konzentration an organischen Fasern kritischer Abmessungen kann in der Größenordnung von 5 bis 10 Millionen Fasern pro m<sup>3</sup> liegen. Unklar ist, ob die Papierflocken, die auch einen Anteil an feinstem Holzschliff und Faserstaub<sup>14)</sup> aufweisen, wie Holzstaub zu bewerten sind. Diese Frage ist insofern von Bedeutung, als Holzstaub in der MAK-Werte-Liste als Stoff mit begründetem Verdacht auf ein krebserzeugendes Potential aufgeführt ist.

Im eingebauten Zustand steht der Zellulosefaser-Dämmstoff mit der Raumluft nicht mehr in Verbindung. Im Regelfall wird auf der dem Raum zugewandten Bauteilseite eine Dampfbremse eingebaut. Hierdurch wird der Bewohner vor einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung durch Feinstaub geschützt. Ein konstruktiver Schutz der Zellulose-Dämmstoffe ist auch erforderlich, um chemisch-physikalische Veränderungen und ein mögliches Auswaschen der Borate durch Wassereintrag zu verhindern. Mit einem möglichen Ausdiffundieren der Borate ist nicht zu rechnen, da diese im eingebauten Zustand stabile organische Verbindungen darstellen.

Wegen der vergleichsweise hohen Konzentrationen an zugesetzten Borsalzen (12 bis 20 Gew.-%) sollte das Material nach Endnutzung nicht auf Bauschuttdeponien abgelagert werden. Zur Kompostierung ist das Material ebenfalls ungeeignet, da die enthaltenen Borsalze den biologischen Abbau hemmen.

#### *Rückstände aus der Holzverarbeitung*

Durchforstungsholz, Rückstände aus der Be- und Verarbeitung von Holz bzw. Holzprodukten und Altholz sind geeignete Rohstoffe zur Herstellung von Dämmstoffen aus Holzfasern.

Holzfaserverweichplatten werden in der Regel nach dem Naßverfahren hergestellt. Das holzige Ausgangsmaterial wird zerhackt und zerkleinert. Die Holzfasern werden mit Wasserdampf aufgeschlossen, zerfasert und mit viel Wasser zu einem homogenen Brei verrührt. Der Faserbrei wird gepreßt, und die Fasern werden abgesiebt. Das so entstandene Vlies wird verarbeitet und mehrere Tage bei Temperaturen zwischen 120 und 190 °C getrocknet. Die Bindung erfolgt meist nur mit Hilfe der holzeigenen Harzleime. Um dem

<sup>14)</sup> Durch das Tragen von Staubmasken bei der Herstellung und Verarbeitung von Zellulose-Dämmstoff kann Gesundheitsgefährdungen durch Faserstaub vorgebeugt werden. Auch kann die Staubentwicklung beim Einbau durch nasses Versprühen der Zelluloseflocken verringert werden. Das Sprühverfahren wird jedoch meist nur bei der Dämmung von Außenwänden oder anderen senkrecht stehenden Bauteilen verwendet, um so eine Bindung der Fasern untereinander zu erreichen.

späteren Dämmstoff feuchteabweisende Eigenschaften zu verleihen, wird dem Brei teilweise auch verseiftes Naturbaumharz (Tallharze<sup>15)</sup>) beigefügt. Gegen Schimmel und Fäulnis werden ggf. geringe Mengen an Aluminiumsulfat (z. B. 0,5 %) und zur Erhöhung des Flammschutzes ca. 6 Gew.-% an Flammschutzmittelzusätzen (Borsäure oder Ammoniumphosphat) beigesetzt.

Holzfaserverweich-Dämmplatten weisen eine Wärmeleitfähigkeitszahl zwischen 0,045 und 0,055 W/mK auf. Sie eignen sich als Dämmplatten sowie als Ausbauplatten zur Dämmung auf Dachsparren oder als hohlraumfreie Wärmedämmung für Wände und Decken. Im Fußbodenbereich sind sie gleichzeitig als Trittschalldämmung einsetzbar. Auch als Schalungsmaterial eignen sie sich. Bei einer Anwendung der Holzfaserverweichplatte als Unterdachplatte wird diese zum Schutz gegen Feuchtigkeit und Nässe mit Bitumen oder Paraffin imprägniert.

Von den Holzfaserverweichplatten gehen keine gesundheitlichen Gefährdungen aus. Diese Unbedenklichkeit ist bei der Verwendung als Schallabsorber, also in unverputztem Zustand, von Bedeutung, hat allerdings beim Einsatz als Wärmedämmstoff seinen Preis. Um eine vergleichbare Dämmwirkung wie z. B. mit Polystyrol-Partikelschaum zu erreichen, sind wegen der größeren Wärmeleitfähigkeit dickere Dämmschichten erforderlich.

#### *Korkabfälle und Recyclingkork*

Zur Herstellung von Dämmmaterialien aus Kork und anderen Korkprodukten wird die geschälte Rinde der Korkeiche<sup>16)</sup> zuerst nach Güte und Verunreinigung sortiert. Gute und mittlere Qualitäten werden zur Herstellung von Weinkorken und zur Produktion von Bodenbelägen genutzt. Die minderen Qualitäten und Korkabfälle werden für die Dämmstoffherstellung verwendet. Darüber hinaus kann auch Recycling-Kork (aus Flaschenkorken, die über Korksammelstellen erfaßt werden) als Korkgranulat zur Herstellung einer Schüttdämmung genutzt werden. Durch die Nutzung von Recyclingkork verringert sich sowohl der Energiebedarf zur Herstellung des Granulats als auch der Preis für das Endprodukt.

Die Korkrinde wird gebrochen, und dann zu Korkschrot von 2 bis 30 mm Durchmesser gemahlen. Dieser wird unter Druck und bei hohen Temperaturen mit Wasserdampf zu sogenanntem Blähkork expandiert. Bei sehr harzreichem Kork sind hierfür Temperaturen zwischen 250 und 280 °C ausreichend, ansonsten sind höhere Temperaturen (300 bis 400 °C) erforderlich.

Beim Expandieren des Korks treten die korceigenen Naturharze (Suberin) aus den Zellen heraus und verkleben bzw. verbacken die einzelnen Granulatkörner miteinander. Der

<sup>15)</sup> Tallharze werden durch Destillation aus Tallöl gewonnen. Tallöl ist ein harzhaltiges fettes Öl, das bei der Zellstoffherstellung aus Nadelholz (besonders Kiefern) in verseifter Form anfällt und sich nach Säurezusatz abscheidet (Zwiener 1995).

<sup>16)</sup> Die Korkeiche ist im Mittelmeerraum (Portugal, Spanien) zu Hause. Kork ist abgestorbenes Zellgewebe der Korkeiche, das alle 8 bis 12 Jahre abgeschält werden kann. Zur Ernte dieses langsam nachwachsenden Rohstoffes können Bäume im Alter von 20 bis 150 Jahren herangezogen werden.

zu Blöcken verklebte Korkschorl kann anschließend plattenförmig zugeschnitten werden. Diese Form wird als expandierter Backkork bzw. als Korkdämmplatte bezeichnet. Imprägnierter Kork<sup>17)</sup> entsteht, wenn das erhitzte Granulat anstatt mit Wasserdampf mit anderen Substanzen (z. B. mit Bitumen) zu Blöcken gebunden wird.

Dämmstoffe aus Kork haben gute Dämmeigenschaften (WLG 045) bei einer Dichte zwischen 110 und 130 kg/m<sup>3</sup>. Korkschorl kann als Schüttdämmstoff in Hohlräume von Fußboden- und Deckenaufbauten und bei der Dämmung von Außenwänden zwischen zwei Schalungen oder einer Schalung und dem Mauerwerk geschüttet werden. Infolge des Setzvermögens der Schüttung müssen entstandene Hohlräume nachträglich aufgefüllt werden. Korkplatten eignen sich zur Dämmung von Innenwänden, Böden und Dächern.

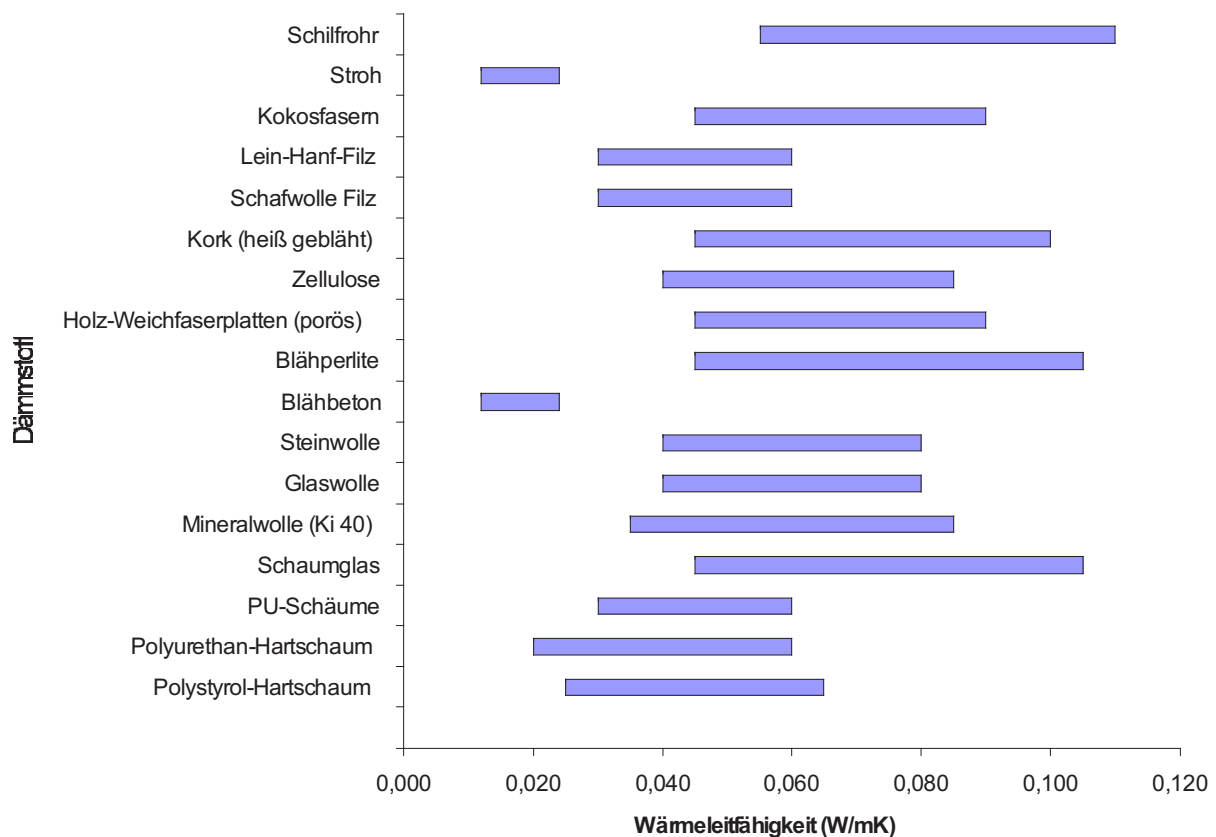
<sup>17)</sup> Bei der Herstellung und Verwendung imprägnierter Korkmaterialien können je nach Verfahren und eingesetzten Bindemitteln unerwünschte Substanzen (z. B. diverse Bitumendämpfe) gebildet und freigesetzt werden. Von niedrig-rein-expandiertem Kork gehen dagegen keine gesundheitlichen Gefahren aus. Wenn allerdings der Prozeß des Expandierens und Verbackens von Kork falsch gesteuert wird und Überhitzungen auftreten, können polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. kanzerogene 3,4-Benzopyrene) entstehen. In der Regel sind zumindest die Produkte deutscher Lieferanten frei von polycyclischen Kohlenwasserstoffen.

Kork-Dämmstoffe können ohne Zusätze von Binde-, Brandschutz- und Pilzschutzmittel produziert werden. Kork ohne Zusatz ist der Brandklasse B2 zugeordnet. Kork ist verrottungs- und fäulnisresistent, und nur bei längerer Durchfeuchtung ist ein Pilzbefall möglich. Bei offenliegendem Einsatz von rein expandiertem Korkschorl aus Naturkork muß als Schutz gegen Nagetiere gelöschter Naturkalk (ca. 2 Gew.-%) eingebracht werden. Bei der Verwendung von niedrig expandiertem Korkschorl, der höhere Staubanteile enthält, kann hierauf verzichtet werden.

#### 4. Vergleichende Betrachtung der Dämmstoffe

Die wichtigste technisch-physikalische Kenngröße zur vergleichenden Beurteilung von Dämmstoffen ist deren Eignung zur Wärmedämmung (Kap. III.1). Bei den betrachteten konventionellen und nachwachsenden Dämmstoffen liegt die Wärmeleitfähigkeitszahl ( $\lambda$ ) unter 0,060 W/mK (Abb. 2). Nur wenige Dämmmaterialien (z. B. Blähton, Holzwolle-Leichtbauplatte, Stroh) besitzen eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit, d. h. sind vergleichsweise schlechte Wärmedämmstoffe. Durch Erhöhung der Dicke der Dämmschichten können die geforderten Dämmwerte jedoch auch mit diesen Dämmstoffen erreicht werden.

Abb. 2: Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmstoffen im Vergleich



Quelle: Sörensen 1997

In Abbildung 3 sind für verschiedene Dämmstoffe die Materialstärken, die zur Einhaltung von zwei bestimmten Wärmedurchgangskoeffizienten, d. h. k-Werten, erforderlich sind, angegeben. Die Dämmwirkung der zusätzlich tragenden Bauteile (die Außenwand bzw. das Dach) wird dabei nicht berücksichtigt.

Die Grafik zeigt, daß bei Verwendung von Dämmstoffen aus bestimmten nachwachsenden Rohstoffen die geforderten Dämmwerte auch ohne stark erhöhte Dämmstoffdicken erreicht werden können. Insbesondere Flachsfaser-Dämmstoffe können hier gut mit den Dämmstoffen aus Mineralfasern bzw. Hartschaumstoffen konkurrieren. Mit steigender Anforderung an die Wärmedämmung wird dies für diejenigen Dämmstoffe mit nur mittlerer Wärmedämmfähigkeit zunehmend schwieriger. Die konstruktive Unterbringung der Dämmung und die Einhaltung von Bauvorschriften (z. B. Brandschutzverhalten) können dann Probleme aufwerfen.

Unter den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. biogenen Materialien haben Dämmungen aus Altpapier, Schafswolle und Flachs relativ geringe Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte). Dämmstoffe aus Holzfasern schneiden etwas schlechter ab.

Ein anderes wichtiges Kriterium bei der technischen Bewertung von Dämmstoffen ist die Entflammbarkeit. Mineralfasern, Hartschaumstoffe (PUR, EPS, XPS), Bläherlit, Bläh-

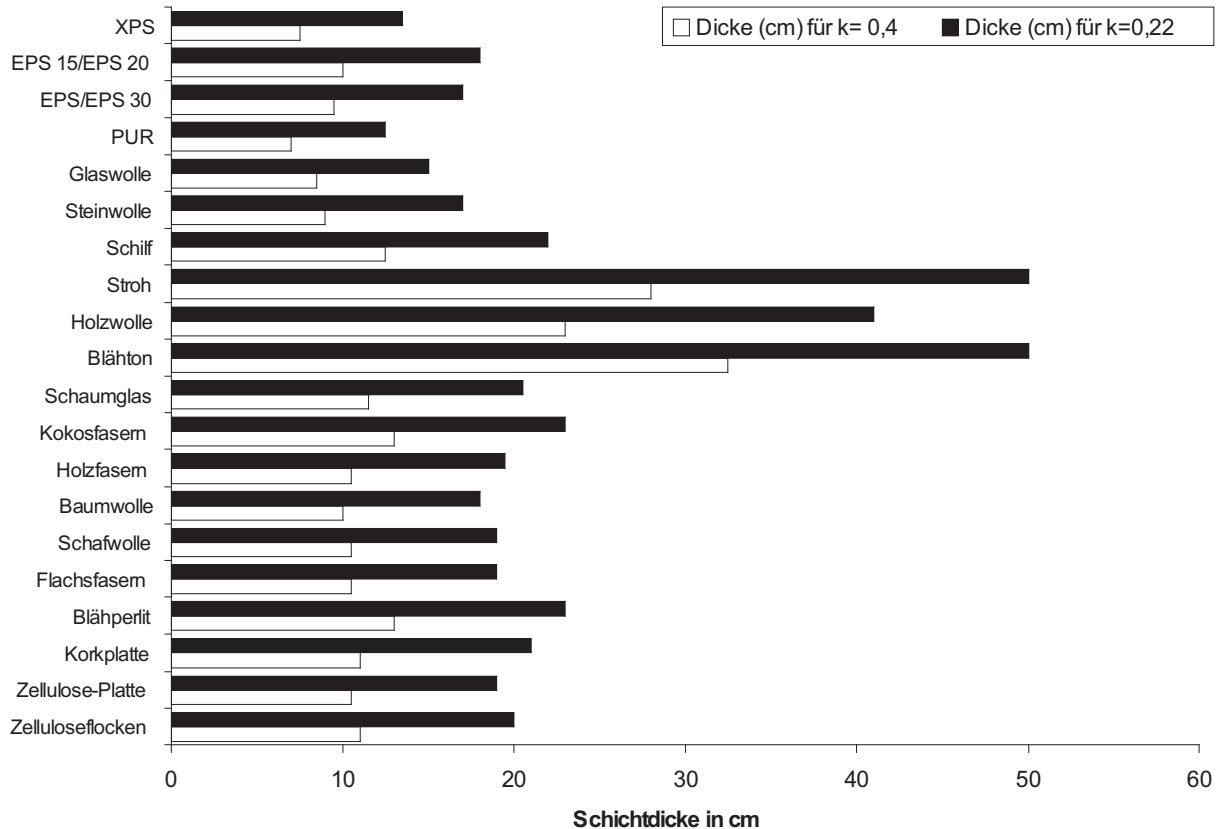
ton und Schaumglas gehören in die Brandschutzklassen A1, A2 oder B1. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen biogenen Materialien erreichen durch den Zusatz von Flammschutzmitteln die Brandschutzklasse B2. Dieser Brandschutz ist ausreichend für einen Einsatz der Dämmstoffe in Gebäuden mit bis zu zwei Vollgeschossen (also Ein- und Zweifamilienhäuser). Für Gebäude mit mehr als zwei Vollgeschossen müßten die Materialien für Dämmschichten mindestens der Brandschutzklasse B1 (schwer entflammbar) angehören. Durch entsprechende Behandlung können einige Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Holzfaserplatten) auch die Brandschutzklasse B1 erreichen.

*Kosten*

Die Kosten für eine Wärmedämmung setzen sich zusammen aus den Material- und Einbaukosten sowie den Kosten für eventuelle Nacharbeiten (Nachfüllen). Sie sind abhängig vom Einsatzbereich, von der gewählten Dämmstoffstärke und davon, ob eine bereits teilweise oder eine nicht wärme-gedämmte Fläche gedämmt wird. Für die betriebswirtschaftliche Rentabilität von Maßnahmen zur Wärmedämmung entscheidend sind

- die Kosten für Material und Anbringung,
- die Höhe der jährlich gesparten Ausgaben für Heizenergie,

Abb. 3: Schichtdicke der Dämmung zur Erreichung eines k-Wertes von 0,4 bzw. 0,22 W/m²K



Quelle: Sörensen 1997

- der aktuelle und für die Zukunft zu erwartende Energiepreis,
- die klimatischen Standortbedingungen und
- das Nutzerverhalten.

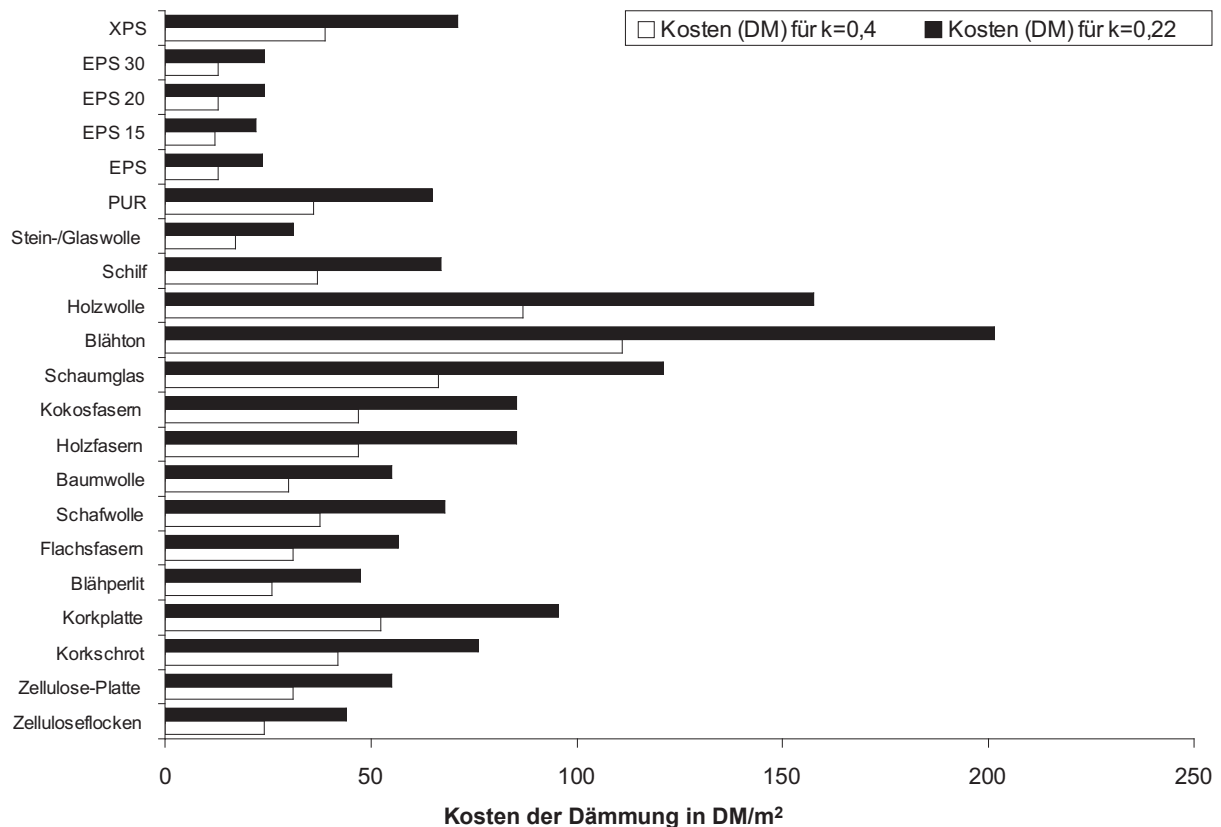
Die nachfolgend gemachten Angaben zu den Kosten sind materialbezogene Endverbraucherpreise. Sie stellen keine Gesamtkosten dar. Zur Ermittlung der Gesamtkosten müssen weitere Faktoren, z. B. die Kosten für den Einbau und die erforderlichen Hilfskonstruktionen, berücksichtigt werden.

Die Preise für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen liegen zwischen rd. 200 bis 500 DM/m<sup>3</sup> je nach Material, Qualität, Ausführung und Hersteller (Bratschkus et al. 1997). Wärmedämmvliese aus Flachs sind mit rd. 480 DM/m<sup>3</sup> am oberen Ende dieser Spanne angesiedelt. Die Preise für Dämmstoffe aus Schafwolle und Kork liegen in einer ähnlichen Größenordnung (Haas 1997). Die Preise für einblasbare Holzfasern bewegen sich je nach Einsatzbereich zwischen 150 und 220 DM/m<sup>3</sup>. Deutlich günstiger sind Dämmprodukte aus Altpapier bzw. Zellulose aus Altpapier. Zelluloseflocken kosten zwischen 100 und 150 DM/m<sup>3</sup> und Zelluloseplatten mit bzw. ohne Kaschierung zwischen 250 und 550 DM/m<sup>3</sup>. Konventionelle Dämmstoffe aus Mineralfasern und Polystyrol sind im Vergleich dazu mit Preisen zwischen 60 und 180 DM/m<sup>3</sup> relativ preisgünstig.

Um die Preise für eine Dämmmaßnahme praxisrelevant vergleichen zu können, muß berücksichtigt werden, welche Schichtdicke beim jeweiligen Dämmstoff erforderlich ist, um die gewünschte Dämmleistung erfüllen zu können. Bei Dämmstoffen mit höherer Wärmeleitfähigkeit (Abb. 2) wird eine größere Schichtdicke und damit mehr Material (Abb. 3) benötigt als bei einem Dämmstoff mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit. In Abbildung 4 sind die Kosten dargestellt, die anfallen, um zwei verschiedene Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) mit unterschiedlichen Dämmstoffen zu erreichen. Bei den angegebenen Kosten der Wärmedämmung handelt es sich um reine Materialkosten. Zu den Verarbeitungskosten ist anzumerken, daß diese bei den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen biogenen Materialien eine relativ große Spanne aufweisen.

Der Anteil der Kosten für die Dämmung eines Gebäudes liegt im Schnitt nur bei 8,5 %, bezogen auf die Gesamtinvestitionen einer Baumaßnahme (Murphy et al. 1998). Infolge der mit der Wärmedämmung verbundenen Energieeinsparung amortisieren sich die finanziellen Aufwendungen der Wärmedämmung auch bei den teureren Dämmstoffen innerhalb von mehreren Monaten bis wenigen Jahren. Die vergleichsweise hohen Kosten für eine Wärmedämmung aus nachwachsenden Rohstoffen stellen dennoch ein bedeutendes Markthemmnis dar.

Abb. 4: Kosten der Wärmedämmung zur Erreichung eines k-Wertes von 0,4 bzw. 0,22 W/m<sup>2</sup>K



Quelle: Sörensen 1997

*Ökologische Aspekte*

Betrachtet man die Palette der auf dem Markt verfügbaren konventionellen und alternativen Dämmstoffe, so stellt sich die Frage nach den gesundheitlichen und ökologischen Auswirkungen, die mit der Herstellung und Verarbeitung sowie mit dem Transport, der Nutzung und der Entsorgung der jeweiligen Dämmstoffe verbunden sind.

Für die Herstellung und den Transport von Wärmedämmstoffen werden fossile Energieträger (Erdgas, Erdöl oder Kohle) verbraucht. Dabei wird zusätzliches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das in hohem Maße zum Treibhauseffekt und zu den damit verbundenen potentiellen Klimaveränderungen beiträgt, freigesetzt. Der Primärenergieaufwand für Herstellung, Transport und Montage des Dämmstoffs ist bei den einzelnen Dämmstoffen unterschiedlich. Diese Unterschiede relativieren sich jedoch innerhalb kurzer Zeit, da der Energiebedarf rasch durch die eingesparte Heizenergie amortisiert wird.

Der Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen biogenen Materialien wird gleichgesetzt mit gesundheitsverträglichem und umweltschonendem Bauen. Eine natürliche, sich regenerierende Rohstoffbasis allein garantiert allerdings nicht die humantoxikologische und ökologische Unbedenklichkeit der daraus hergestellten Produkte. Bei der Herstellung sowie beim Ein- und Ausbau von Dämmstoffen aus pflanzlichen Fasern kann es zu einer Anreicherung der Atemluft durch feine organische Fasern kritischer Abmessungen und durch Stäube kommen. Dies

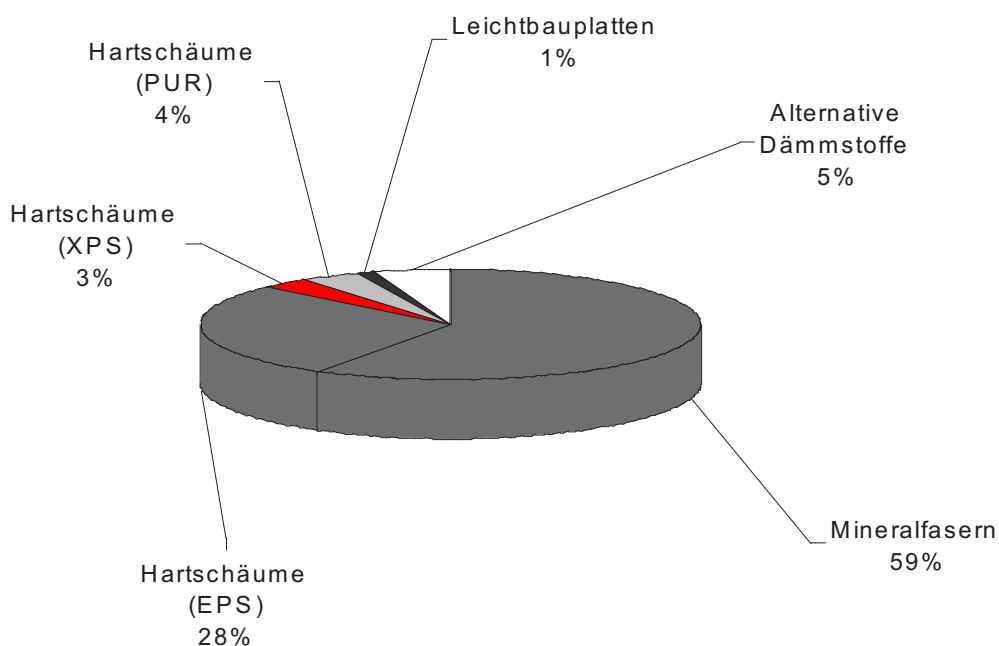
gilt insbesondere für Zelluloseflocken aus Altpapier, die im Trockenverfahren eingebaut werden. Unklar ist, ob diese ein möglicherweise krebserzeugendes Potential besitzen. Durch das Tragen von Staubmasken bei der Herstellung und Verarbeitung kann Gesundheitsgefährdungen durch Faserstaub vorgebeugt werden. Hohe Konzentrationen an Boraten im Dämmstoff sind aus der Sicht des Arbeitsschutzes ebenfalls als kritisch zu betrachten. Bislang ist noch unklar, wie harmlos bzw. gefährlich Schutzstoffe (z. B. Borsalze) in Verbindung mit sich lösenden Mikrofasern sind, die bei der Herstellung und/oder Verarbeitung von Dämmstoffen in die Raumluft freigesetzt werden.

*Stand und Perspektiven des Einsatzes*

Der Dämmstoffmarkt ist infolge der Vorgaben der Wärmeschutzverordnung ein Wachstumsmarkt. 1997 haben die deutschen Dämmstoffhersteller ihre Produktion um 6 bis 8 % (1,9 Mio. m<sup>3</sup>) ausgeweitet (GDI 1998). Marktführende Dämmstoffe im Bauwesen sind in Deutschland die mineralischen Dämmstoffe und Kunststoffschäume. Mineralwolle (Stein-, Glaswolle) und die Hartschaumstoffe (expandiertes und extrudiertes Polystyrol, Polyurethan) decken etwa 95 % des gesamten inländischen Marktvolumens von ca. 32 Mio. m<sup>3</sup> ab (GDI 1997). Die Verteilung der abgesetzten Menge an Dämmstoffen auf die einzelnen Dämmstoffarten ist in Abbildung 5 dargestellt.

Der Markt für alternative Dämmstoffe ist in den letzten fünf Jahren langsam, aber kontinuierlich auf 3 bis 5 % des ge-

Abb. 5: Anteile verschiedener Dämmstoffe am Dämmstoffmarkt



Quelle: GDI 1997

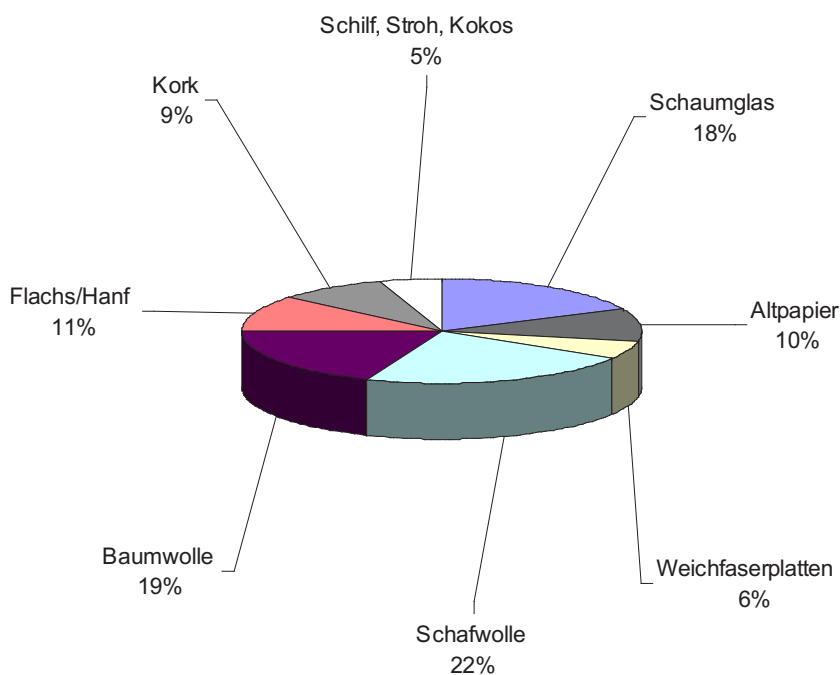
samten Dämmstoffmarktes angewachsen (NOVA-Institut 1996; ÖKO-TEST 1996). Dämmstoffe aus Perlit und Schaumglas (1,8 %) und Recyclingmaterialien (Zellulose aus Altpapier: 1 %; Weichfaserholzplatten: 0,6 %) nehmen davon den größten Teil ein. Die Bedeutung von Pflanzenfasern ist bescheiden (Abb. 6).

Von der bevorstehenden Novellierung der Wärmeschutzverordnung wird eine weitere Ausweitung des Dämmstoffabsatzes erwartet. Angesichts des anhaltenden Trends, mehr natürliche Materialien einzusetzen, wird mit einer fortschreitenden Ausweitung des Marktanteils alternativer Dämmstoffe auf bis zu 10 % des Dämmstoffmarktes gerechnet. Auf der Basis des gegenwärtigen Absatzvolumens würde dies einer jährlichen Dämmstoffmenge von ca. 3,33 Mio. m<sup>3</sup> entsprechen. Unterstellt man jedoch einen Anstieg der Absatzmenge um jährlich 8 % (wie dies in den vergangenen Jahren der Fall war), so würde im Jahr 2008 das geschätzte Marktpotential alternativer Dämmstoffe bei insgesamt ca. 7,3 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr liegen. Dieser Zuwachs dürfte in erster Linie den preisgünstigen Zellulose- und Holz-Dämmstoffen aus Recyclingmaterialien (z. B. Altpapier) und forstwirtschaftlichen Produktionsrückständen (z. B. Sägewerksreste) zugute kommen.

Dämmstoffe aus speziell angebauten nachwachsenden Rohstoffen sind in der Regel teurer als konventionelle Dämmmaterialien. Die Mehrkosten werden bedingt durch aufwendige technische Verfahren der Rohstoffverarbeitung und Dämmstoffherstellung. Aber auch die Kosten für die Rohstoffe selbst, die zwischen 10 bis 25 % der gesamten Produktionskosten ausmachen, spielen eine Rolle (Murphy et al. 1998). Da die Rohstoffkosten durch züchterisch-technische Fortschritte nur bedingt gesenkt werden können, dürften die Absatzchancen für Dämmstoffe aus speziell angebauten nachwachsenden Rohstoffen (z. B. Flachs- oder Hanffasern) auch in den nächsten Jahren begrenzt bleiben.

Geht man von dem Fall aus, daß die synthetischen und mineralischen Dämmstoffe weitgehend durch pflanzliche Fasern ersetzt würden, so wären die daraus resultierenden nachfragebedingten Auswirkungen auf die Einkommenssituation in der Landwirtschaft bescheiden. Bei vollständiger Substitution der zur Zeit am Markt abgesetzten anorganischen Dämmstoffe durch z. B. Hanffasern zuzüglich eines Zuwachses durch jährlich 150 000 Neubauten könnten maximal 65 000 t Hanffasern abgesetzt werden (Hanf 1997). Zur Deckung dieses Faserbedarfs würden, bei einem Faserertrag von 2,5 t je Hektar, gerade 26 000 Hektar benötigt werden.

Abb. 6: Anteile verschiedener Dämmstoffe am Marktsegment alternative Dämmstoffe



Quelle: NOVA-Institut 1996



#### IV. Nachwachsende Rohstoffe im Innenausbau

Im Innenausbau ist der Einsatz natürlicher Baustoffe in den vergangenen Jahrzehnten stark zurückgegangen zugunsten technisch hergestellter Baustoffe, die sich durch eine hohe Funktionalität, eine gute Handhabbarkeit und eine lange Lebensdauer sowie niedrige Preise auszeichnen. In den letzten Jahren haben jedoch Meldungen über die gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkungen von im Innenausbau verwendeten Baustoffen bzw. darin enthaltenen Zusätzen (z. B. Formaldehyd) zu einer Sensibilisierung der Menschen gegenüber chemischen Verbindungen im Wohnraum geführt.

Befindlichkeitsstörungen und gesundheitliche Beeinträchtigungen, die vorwiegend in modernen (vor allem klimatisierten) Gebäuden zu beobachten sind, werden unter dem Sammelbegriff Sick-Building-Syndrome zusammengefaßt. Zu den typischen Symptomen dieses Syndroms zählen Reizungen an Augen, Nasen, oberen Luftwegen und Haut, allergische und neurologische Symptome. Mögliche Ursachen hierfür sind:

- physikalische Effekte, z. B. relative Luftfeuchte, Temperatur, Stäube,
- chemische Einflüsse, z. B. anorganische Gase und flüchtige Substanzen,
- biologische Faktoren, z. B. Bakterien und Pilzsporen, aber auch
- psychologische Faktoren, z. B. Streß mit Partner und Familie.

Vor diesem Hintergrund ist das Interesse an natürlichen Baustoffen und Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen angestiegen. Von ihnen wird erwartet, daß sie gesundheitlich unbedenklich sind und das Raumklima sowie das Wohlbefinden in Wohnräumen spürbar verbessern.

Die Bewertung der Belastung der Innenraumluft durch spezielle Baustoffe und Bauprodukte bzw. darin enthaltene Zusätze und die Abschätzung der damit einhergehenden ge-

sundheitlichen Risiken ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Zum einen kann das „Schadstoffgemisch“ analytisch kaum erfaßt werden, da häufig über die Zusammensetzung der verwendeten Baumaterialien wenig bekannt ist. Zum anderen gibt es für die meisten der im Innenausbau verwendeten Stoffe und Produkte bzw. der daraus resultierenden Ausgasungen keine gesicherten toxikologischen Erkenntnisse für die dort relevanten Konzentrationsbereiche. Hinzu kommt, daß die Empfindlichkeit von Personen auf geringe Schadstoffkonzentrationen sehr verschieden sein kann, und daß Niedrigbelastungen erst verzögert nach einer langen Latenzzeit zu einer Erkrankung führen können.

Bundeseinheitliche Regelungen zum Schutz der Bewohner von Gebäuden vor baumaterialbedingten Erkrankungen und zur Beurteilung der Innenraumluft von Wohngebäuden gibt es bislang nicht. Bindende Verpflichtungen zur Kennzeichnung der Inhaltsstoffe und zur Reduzierung von Schadstoffgehalten in Baumaterialien und Bauchemikalien fehlen ebenfalls. Nur für eine begrenzte Zahl von Stoffen (z. B. Formaldehyd, PCB, Asbestfasern) existieren immissionsbezogene Richt- bzw. Grenzwerte. Bei der Produkthaftung fordert die Rechtssprechung den Nachweis eines Ursachenzusammenhangs, der aufgrund von unspezifischen Gesundheitsbeschwerden und mangelnden toxikologischen Erkenntnissen nur in wenigen Ausnahmefällen (Beispiel: Formaldehyd, Asbest) geführt werden kann. Diese Situation wird im Hinblick auf einen vorbeugenden Gesundheitsschutz als unbefriedigend bewertet. Sie fördert jedoch indirekt die Nachfrage nach unbedenklichen Baustoffen und -produkten aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen pflanzlichen Materialien.

Nachwachsende Rohstoffe können beim Innenausbau sehr vielfältig, z. B. als Wand- und Deckenverkleidung und Fußbodenbelag sowie zur Herstellung von Anstrichen und Farben verwendet werden (Tab. 7).

Tab. 7: Produkte für den **Innenausbau** aus nachwachsenden Rohstoffen

Anwendungsgebiet	Produkte
Bauteile aus Holzwerkstoffen	Span- und Faserplatten, Möbelplatten, Profilleisten, Sohlbänke, Türen, Raumteiler aus verdichtetem Faserstoff
Zwischenwände	Gipskarton und Gips-Stroh-Leichtbauplatten
Fußbodensysteme (Trittschall- u. Wärmedämmung), Bodenbeläge	Fein- und Grobspanverlegeplatten aus Holzwerkstoff, Naturfaservlies, Parkettunterlagen aus Altpapier, Korkparkett, Auslegeware aus Schurwolle bzw. Schurwolle-Kunstfaser-Baumwoll-Gemischen, Linoleum, Mais- oder Reisstrohmatten, Kokos- oder Sisalteppiche, Fußbodenleisten aus nachwachsenden Rohstoffen
Innenraumverkleidung	Leichtbauplatten (Stroh mit mineralischer Matrix), Schilfrohmatten für Wände und Decken (unter Putz), Feuchtraumpaneele aus Holzwerkstoffen (beschichtet), hochverdichtete Wandplatten aus Faserstoffen (Stroh) ohne Bindemittel, Holzwerkstoffplatten, Gipskartonplatten, Tapeten (Papier, Leder, Textilien), Rauhfaseranstriche, Naturwandbeschichtung (Baumwolle, andere Naturfasern und mineralische Matrix)

Quelle: nach Beckmann Akademie 1998

## 1. Wand- bzw. Deckenverkleidungen und Bodenbeläge

Als Wand- und Deckenverkleidungen bzw. als Trennwände im Innenausbau werden häufig Gips- und Holzwerkstoffplatten eingesetzt. Gipsplatten regulieren gut die Feuchtigkeit, haben eine mittlere Wärmespeicherung und sind widerstandsfähig gegen Feuer. Ihr Einbau ist einfach, da sie nicht wie Holzwoleleichtbauplatten zusätzlich verputzt werden müssen. Beim Ausbau werden sie zerstört, weshalb sie nicht wiederverwertbar sind.

Gipsplatten gibt es als beidseitig durch Karton stabilisierte Platten (Gipskartonplatten) und als Gipsfaserplatten, bei denen der Gips mit Zellulose durchmischt ist. Für den Einbau in Bädern werden die Gipsplatten mit Hydrophobierungsmittel wasserfest gemacht. Eine Alternative zu den beliebten Gipskartonplatten sind Holzwerkstoffplatten. Diese bestehen aus zerkleinerten Holzabfällen (Holzfasern, Holzspäne oder Furniere) und Durchforstungsholz und sind stabiler als Gipsplatten. Sie werden meist unter Zugabe von Bindemitteln (z. B. Formaldehyd- oder Polyurethanharze) hergestellt.

Zur Bedeckung des Bodens können sehr unterschiedliche Materialien mit teilweise stark divergierenden Eigenschaften eingesetzt werden. Der Bodenbelag hat infolge der großflächigen Verlegung einen großen Einfluß auf

- das Innenraumklima,
- die Raumlufthygiene,
- die Raumakustik,
- die thermische Behaglichkeit,
- den Gehkomfort und
- die Reinigungsmöglichkeiten.

Neben den Bodenbelägen aus Natursteinen und anderen mineralischen Materialien sowie Kunststoffen gibt es eine ganze Reihe an Bodenbelägen aus nachwachsenden Rohstoffen. Hierzu gehören

- Holz und Kork (Parkett),
- Pflanzenöl (Linoleum) und
- Schafwolle, Ziegenhaar, Jute, Sisal (Teppichboden).

Natursteine können (mit Ausnahme der Sedimentgesteine) nicht unerhebliche Mengen an natürlicher Radioaktivität ausstrahlen. Aufgrund ihres Gewichts sind sie außerdem mit einem hohen Transportenergieaufwand verbunden. Keramische Platten sind in der Anwendung unbedenklich, belasten aber beim Brennen die Luft und die Abwässer mit Schwermetallen. Nach ihrer Endnutzung können sie als Kies- oder Schotterersatz eingesetzt werden.

Holzböden (Dielen, Parkett) sind klassische Bodenbeläge aus nachwachsenden Rohstoffen. Bei der Verarbeitung des Holzes (insbesondere bei Eiche und Buche) kann krebserregender Holzfaseraustaub freigesetzt werden, weshalb bei der Verlegung auch Atemschutzmasken getragen werden sollten. Die Schadstoffabgabe bei der Nutzung ist abhängig von der Oberflächenbehandlung. Statt einer chemischen Versiegelung (z. B. mit isocyanathaltigem Polyurethansiegel) kann das Holz auch mit Naturharzölen und Wachs behandelt

oder mit einer Ölfarbe gestrichen werden. Bei Fertigparkett kann das Trägermaterial Formaldehyd und der Kleber Lösungsmittel enthalten.

Ein früher häufig eingesetzter Bodenbelag aus nachwachsenden Rohstoffen ist das aus Öllein hergestellte Linoleum. Als Trägermaterial wird Jute (die aus der indischen Bastfasergewächsen hergestellt wird) verwendet, als Deckmasse eine Linoleummischung. Die Linoleumdeckmasse setzt sich zusammen aus Linoleumzement (35 %), Holz-, Kork- oder Steinmehl (35 %), Füllstoffen, wie Kreide und Fichtenharz (18 %), und Pigmenten (6 %). Der Linoleumzement wird durch Polymerisation aus einer Mischung von rd. 75 % Leinöl und ca. 25 % Kolophonium (Balsam- oder Tallharz) hergestellt.

Linoleum ist als Bodenbelag in allen Räumen mit normalen Feuchtigkeitsgehalten verwendbar. Er ist feuchtigkeitsregulierend, strapazierfähig, antistatisch, unempfindlich gegen Reibungshitze und auch ohne Zusatz von Flammenschutzmitteln schwer entflammbar. Je nach Dauer des Reifeprozesses beim Hersteller kann es nach Verlegung des Linoleums zu Geruchsbelästigungen kommen. Bei den freigesetzten Substanzen handelt es sich um Oxidationsprodukte des Leinöls, vor allem um Aldehyde und Carbonsäuren. Mit nennenswerten Geruchsemissionen ist jedoch nur zu Beginn der Nutzungsphase zu rechnen. Nach Beendigung der Nutzungsphase kann das Linoleum nicht wieder verwendet werden, da es mit der Zeit brüchig wird.

Korkparkett wird aus Korkschat als einschichtiger, massiver oder furnierter mehrschichtiger Bodenbelag erstellt. Korkparkett hat wärme- und schalldämmende Eigenschaften. Es ist fußwarm, stoßfest und fäulnisresistent und wird meist mit Naturharzmitteln verklebt.

Textile Bodenbeläge bestehen aus einem Rücken (aus Schaumstoff oder Naturlatex) und aus synthetischen oder natürlichen Fasern (z. B. Schafwoll-, Baumwoll-, Sisal- oder Kokosfasern). Teppichböden besitzen gute raumklima-regulierende Eigenschaften. Sie sind fußwarm und verbessern die Schall- und Wärmedämmung. Sie sind aber auch sehr pflegeintensiv sowie nässe- und schmutzempfindlich. Deshalb werden sie mit verschiedenen Substanzen (z. B. Mottenschutzmittel) versetzt. Die Gesundheits- und Umweltverträglichkeit dieser chemischen Ausrüstungen von Teppichböden ist nur schwer zu beurteilen. Zum einen findet eine Kennzeichnung nach Art der verwendeten Stoffe in der Regel nicht statt. Zum anderen handelt es sich hierbei um Substanzgruppen, die jeweils eine Vielzahl verschiedener chemischer Verbindungen mit unterschiedlicher Toxizität umfassen.

Neben den Hauptbestandteilen der Bodenbeläge spielen auch die Hilfsstoffe bei der Verarbeitung bzw. Verlegung eine wesentliche Rolle bei der Bewertung der Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Bodenbelägen. Teppichböden werden meist verklebt. Hierzu können auch Naturprodukte (z. B. Naturharzkleber) eingesetzt werden. Die Kleber können Lösemittel enthalten, die vor allem bei der Verarbeitung, aber auch noch danach, gesundheitsbeeinträchtigende Dämpfe abgeben können. Die Reinigung der Teppichböden ist je nach Reinigungsverfahren und Zusammensetzung des Reinigungs- und Pflegemittels ebenfalls nicht unbe-



denklich. Teppichböden sind diejenigen Bodenbeläge mit der geringsten Lebenserwartung. Entscheidend ist jedoch weniger der Verschleiß als vielmehr der Verschmutzungsgrad. Ein Recycling der Teppichböden ist wegen der anhaftenden Klebereste schwierig.

## 2. Anstriche und Farben

Für die dekorative, schützende und werterhaltende Gestaltung von Wänden und Decken werden diese mit flüssigen bis pastenförmigen Anstrichen, Farben und Lacken überzogen, die aus verschiedenen synthetischen und/oder natürlichen Verbindungen zusammengesetzt sein können. In der Regel enthalten sie neben den Farbpigmenten noch Bindemittel, Lösemittel<sup>18)</sup> und Hilfsstoffe. Lacke unterscheiden sich von den Farben durch einen höheren Bindemittelanteil.

Ein natürlicher Rohstoff, der zum Tünchen von Lehm und Stein genutzt werden kann, ist gebrannter Kalk. Er kann, wie dies früher üblich war, eingesumpft und mit Sand vermengt, als Mörtel<sup>19)</sup> und Kalkmilch benutzt werden. Durch Zugabe von Milch oder Leinöl können die Kalkfarben verdelt werden. Das Kalken blieb eine bis in unser Jahrhundert dominierende Technik zur Farbgestaltung von Wänden und Decken. Die Kalkfarben wurden erst in den 50er und 60er Jahren durch die Kunststoffdispersionsfarben<sup>20)</sup>, wie sie heute allgegenwärtig sind, verdrängt. Da diese Kunststofffarben<sup>21)</sup> relativ preisgünstig und in der Verarbeitung nicht anspruchsvoll sind, sind sie inzwischen Standardmaterial für Wandanstriche innen und außen. Ein guter Anstrich sollte heute folgende Eigenschaften aufweisen:

- hohe Lagerstabilität,
- Verwendbarkeit auf verschiedenen Untergründen,
- gute Verarbeitungseigenschaften und kurze Trocknungsphase,
- hohe Resistenz des Anstrichs gegen mechanische, chemische und biologische Einwirkungen und geringe Verschmutzungsneigung,
- niedrige Kosten und
- eine hohe Gesundheits- und Umweltverträglichkeit.

Um alle diese Anforderungen erfüllen zu können, besteht ein moderner Anstrich bzw. eine Wandfarbe aus 10 bis 15 verschiedenen Inhaltsstoffen (Farbstoffe, Bindemittel, Lösemittel, Füllstoffe usw.), die insgesamt mehr als 100 Einzelstoffe umfassen können.

<sup>18)</sup> Die Anstrichstoffe und Farben werden vorwiegend durch Streichen, Rollen und Spritzen aufgetragen. Um sie gut verteilen zu können, werden sie in Wasser oder organischen Löse- bzw. Bindemittel gelöst oder dispergiert.

<sup>19)</sup> Durch Zumischen von gemahlener Tonscherben, puzzolanischer Erde oder ähnlichen wasserverfestigenden Substanzen wurden widerstandsfähige Mörtel hergestellt.

<sup>20)</sup> Die Grundlage dieser Farben bilden feinstverteilte Kunststoffteilchen in Wasser (sogenannte Kunststoffdispersion).

<sup>21)</sup> Diese Farben enthalten Synthesepigmente, d. h. künstliche organische Pigmente, und Farbstoffe, die aus fossilen Rohstoffen (Erdöl, Steinkohle, Teer) gewonnen werden. Bei aus Synthesepigmenten hergestellten Azofarbstoffen handelt es sich um aromatische Kohlenwasserstoffe mit karzinogenem Potential.

Pflanzenfarben werden aus den natürlichen organischen Pigmenten von Pflanzen hergestellt. Sie sind buntfarbig und toxikologisch unbedenklich. Beispiele für Pflanzenfarben sind

- Indigo,
- Waid,
- Krapprot,
- Reseda,
- Alkanna-Violett und
- Safran.

Die Rohstoffe für diese Pflanzenfarben sind Blätter, Blüten, Früchte und Wurzeln bestimmter Färbepflanzen.

Die Farbgebung von Wohnraumgestaltungselementen hat einen beachtlichen Markt. In Deutschland werden derzeit bereits Färberwaid und Färberknöterich (Indigo-Blau) sowie Reseda (Luteolin-Gelb) im Bauwesen eingesetzt. Bei der Farbgebung von Baustoffen, Wohnflächen und Wohngegenständen mit Naturfarben wird gegenwärtig sehr viel experimentiert. Dabei geht es weniger um den eigentlichen Färbeprozess als vielmehr um die Farbbeständigkeit der einzelnen Farbtöne.

Färberwaid rückt neuerdings weniger wegen des Indigo-Farbstoffes als vielmehr durch seine fungizide Wirkung in den Mittelpunkt des Interesses. Als natürliches fungizides Holzschutzmittel und als natürliche, fungizide Komponente in Naturfarben scheint sich für Färberwaid ein großer Markt zu öffnen, vorausgesetzt, daß die Langzeitprüfungen positive Ergebnisse bringen.

Pflanzenfarben aus nachwachsenden Rohstoffen und andere alternative Farben (wie z. B. Erdfarben<sup>22)</sup> und Mineralpigmente) haben es schwer, die zuvor genannten, an Anstriche gestellten Anforderungen in zufriedenstellendem Maße zu erfüllen. Aufgrund ihrer geringen Farbbeständigkeit und Echtheit (Verblassen bei Lichteinfluß) werden Naturfarben bislang nur in besonderen Anwendungsgebieten (z. B. Waldorfschulen) oder als Ergänzung zu synthetischen Farbstoffen eingesetzt<sup>23)</sup>. Eine Erweiterung der Naturfarbenpalette und des Anwendungsgebietes ist denkbar. Zuvor müssen die neuen Farbprodukte die Prüfung durch die Deutsche Echtheitskommission bestanden und die Anforderungen der Europäischen Konvention für Echtheitsprüfungen erfüllt haben (Beckmann Akademie 1998).

<sup>22)</sup> Erdfarben sind natürliche anorganische Pigmente (Metalloxide), die durch Aufbereitung und Reinigung von Erden hergestellt werden. Mineralpigmente sind synthetische anorganische Pigmente (Metalloxide), die aus Erzen gewonnen werden. Bekannte Beispiele hierfür sind Titandioxid, Chromoxidgrün, Eisenoxidrot, Ultramarinblau und Nickeltitangelb.

<sup>23)</sup> Im Außenbereich sind die Anwendungsmöglichkeiten von Naturfarben als Lasuren durch ihre mangelnde UV-Beständigkeit eingeschränkt. Im kritischen Wellenbereich von 280 bis 350 nm bieten Anstriche aus Naturfarben keinen ausreichenden Farbschutz. Es kommt deshalb zur Vergrauung und vorzeitigen Abwitterung. Abhilfe könnten Kombinationen mit UV-Absorbern (z. B. spezielle Schichtsilikate oder Mikro-Titandioxid) schaffen.

Die Nutzung von Öl aus Öllein hat im Wohnungsbau seit langem Tradition. Leinöl zeichnet sich durch einen besonders hohen Gehalt an ungesättigten Fettsäuren aus (ca. 91 Gew.-%). Es hat dadurch ein hohes chemisches Reaktionsvermögen und oxydiert und verharzt an der Luft (unter Sauerstoffeinfluß) sehr schnell. Leinöl und andere sogenannte trocknende Öle sind wichtige Farb-, Lack- und Lasurkomponenten und werden auch als Bindemittel eingesetzt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, daß der Erzeugung und Nutzung von Naturfarbstoffen verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt wird und mit einem wachsenden Anteil Naturfarben an der Gesamtfarbmittelpalette zu rechnen ist.

## V. Nachwachsende Bauhilfsstoffe

Zu den Bauhilfsstoffen, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden können, zählen unter anderem

- Treibstoffe und Schmier- bzw. Hydrauliköle für Baufahrzeuge,
- Schalöle,
- Bindemittel und
- Verpackungen.

Pflanzliche Öle und Fette können als Treibstoff, Hydrauliköl und Schmierstoffe für Baumaschinen genutzt werden. Eine spezifische Wandlung ist hier nicht erforderlich, da die Gebrauchsanforderungen im Bauwesen nicht von anderen Verbrauchern abweichen.

Dieselöl zum Antrieb von Baumaschinen könnte aus technischer Sicht problemlos durch Biodiesel substituiert werden (TAB-Arbeitsbericht Nr. 41). Obwohl Biodiesel gegenwärtig zu ähnlichen Kosten wie fossiler Dieselkraftstoff angeboten wird, ist der Einsatzumfang bescheiden. Als Hemmnisse, die einem stärkeren Einsatz im Wege stehen, werden insbesondere Kosten- und Versorgungsgründe aufgeführt

Rapsöl wird im Wohnungsbau vor allem als Betontrennmittel (Schalöl) eingesetzt. Betontrennmittel zählen zu den Verlustschmierstoffen und müssen deshalb möglichst leicht biologisch abbaubar sein. Der Rapsölanteil an dem Betontrennmittelsortiment beträgt bereits 87 %. Neben reinem Rapsöl hat sich ein Gemisch von Rapsöl mit Mineralöl im Verhältnis 1 : 4 bewährt.

Bindemittel werden in verschiedenen Bereichen im Bausektor genutzt, um gleiche oder verschiedenartige Komponenten miteinander zu verbinden. Sie sind Bestandteil vieler Baustoffe und finden sich unter anderem in Mörteln, Estrichen und Beton, Anstrichstoffen<sup>24)</sup>, Klebstoffen und Spachtelmassen. Gemäß ihrer Herkunft können die Bindemittel unterschieden werden in

- anorganische (z. B. Gips, Zement),
- synthetische (z. B. Kunstharze bzw. Kunstharzleime wie Acrylharz) und
- pflanzliche bzw. tierische Bindemittel (z. B. Stärke, Cellulosederivate, Naturharze, Casein, Blutalbumin).

<sup>24)</sup> In Anstrichstoffen stellt das Bindemittel die nichtflüchtigen Bestandteile dar, das für die Haftung auf dem Untergrund sorgt. Nach der Trocknung schließt das Bindemittel die weiteren Festkörperanteile in eine Matrix ein. Physikalisch trocknende Bindemittel verkleben nach dem Entweichen des Lösemittels bzw. Wassers zu einem mehr oder weniger dichten Film. Kalk- und Silikatfarben trocknen dagegen chemisch, indem sie mit dem Kohlendioxid aus der Luft reagieren. Ölfarben auf pflanzlicher Basis trocknen durch Sauerstoffaufnahme ebenfalls chemisch. Das Bindemittel bestimmt ganz entscheidend die Eigenschaften eines Anstriches und wird deshalb auch zur Klassifizierung der Beschichtungsstoffe herangezogen (z. B. Acrylfarben, Naturharzlacke).

Leime werden überwiegend zur Grundierung vor dem Tapezieren oder vor Malerarbeiten und zur Herstellung von Span- und Holzfaserrplatten eingesetzt. Leime, die auf pflanzlicher oder tierischer Basis hergestellt werden, bestehen zumeist aus Stärke oder Zellulose bzw. aus Eiweißbestandteilen und Wasser (Lösungsmittel). Ihre gute Klebekraft hat sich im Innenausbau bewährt. Bei der Aushärtung entstehen keine gesundheitsschädigenden Emissionen. Sie sind jedoch anfällig gegenüber bakterieller Zersetzung, nicht beständig gegenüber Feuchtigkeit und können (wie z. B. die Knochen- und Hautleime) umweltbelastend in der Herstellung sein. Auf Naturstoffen basierende Leime enthalten häufig Konservierungsmittel. Von den synthetischen Leimen ist nur der Weißleim frei von Formaldehyd. Für die Kleber von Bodenbelägen und Tapeten gilt ähnliches wie für die Leime.

Stärke ist ein altbekanntes Bindemittel. Sie wird in Deutschland vorwiegend aus Kartoffeln, Weizen und Körnermais gewonnen. Stärke läßt sich durch mechanische, thermische, chemische und biotechnologische Verfahren sehr breit und anwendungsorientiert variieren. Dabei wird zwischen nativer, modifizierter und verzuckerter Stärke unterschieden. Im Wohnungsbau werden vor allem Eigenschaften wie Quellen, verdicken, binden und kleben, trocknen, stabilisieren und das Filmbildungsvermögen genutzt. Die Verwendung der nativen Stärke erfolgt als Füll- und Klebstoff

- in Bauplatten aus Gips und Faserstoffen,
- in Spezialputzstoffen und
- in Papier- bzw. Pappmaterialien für Matrix- oder Verpackungstoffe.

Die modifizierte Stärke wird genutzt in Form von

- Quellstärke – als Tapetenkleister –,
- Dextrinen in Streichfarben, Lacken und für den Tapeten- druck,
- Hydroxypropylstärke – als Papierstreichmasse – und von
- Stärkeacetat – als Kunst- und Folienwerkstoff.

Die verzuckerte Stärke findet Verwendung als Zuckeralkohol zur Herstellung von Polyurethanen und Hartschäumen sowie als Sorbitderivat zur Herstellung von Kunstharzen.

Neben der spezifischen Nutzung der verschiedenen Stärkederivate werden auch zunehmend Stärkemixturen eingesetzt, wie z. B. Quellstärke, vermischt mit Dextrinen und Stärkeether, als Basisstoff für Kleister. Auf diese Weise können die Gebrauchswerteigenschaften der Produkte verbessert werden. Durch Extrusion von Stärke läßt sich ein relativ starrer Schaum erzeugen, der als Stärkeschaumchips oder Stärke-Loose-Fills gehandelt und als Verpackungsmaterial eingesetzt wird. Die Stärkemengen, die gegenwärtig im Bauwesen verwendet werden, sind nicht bekannt. Aufgrund der vielseitigen und hohen Gebrauchseigenschaften nehmen die Anwendungsgebiete jedoch stän-

dig zu, auch die Produktqualität wird durch weitere Stärkemodifikation laufend verbessert.

Als Verpackungsmittel für Baustoffe bzw. von Produkten, die auf Baustellen benötigt und verarbeitet werden, sind außerdem in Anwendung

- Papiersäcke (z. B. für Zement, Trockenmörtel, Kalk, Gips),
- Wellpappe (z. B. für Heizkörper, Abzüge, Sanitärkeramik),

- Formstücke (z. B. für Öfen, Herde),
- Pappschachteln (z. B. für Schrauben, Nägel, Beschläge, Fliesen) und
- Füllstoffe (z. B. zur Transportsicherung empfindlicher Güter).

Diese Verpackungen können aus Holzspänen in Verbindung mit Stärke und Cellulose hergestellt werden.

## VI. Wirtschaftliche Aspekte nachwachsender Baustoffe

Wirtschaftlichkeitsberechnungen zum Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau liegen kaum vor, weil die Baustoffe gegenwärtig vor allem von Handwerksbetrieben hergestellt und in Pilotprojekten verarbeitet werden. Die industrielle Produktion hat sich bisher lediglich bei den Bau- und Dämmplatten durchgesetzt und ist dort auch gewinnbringend.

Nachwachsende Rohstoffe, wie z. B. Schilf und Hanf, werden vom Ausland zum Teil erheblich billiger angeboten als sie in Deutschland produziert und vertrieben werden können, so daß sich gegenwärtig der Binnenmarkt für nachwachsende Rohstoffe nur sehr schwer aufbauen kann. Aus Sicht der Landwirtschaft ist der Anbau nachwachsender Rohstoffe interessant, wenn hierfür eine Prämie wie auf den

Stillelegungsflächen gewährt wird. Trotz Förderung ist die Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe relativ gering (Tab. 8). Die dominierende Rolle beim Anbau nachwachsender Rohstoffe spielen die Öl- und Stärkepflanzen. Allen voran steht der Winterraps, aber auch Öllein und Sonnenblumen haben eine gewisse Bedeutung.

Die Hauptursache für die Stagnation der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe auf niedrigem Niveau ist die geringe Nachfrage aufgrund des Mangels an wirtschaftlich interessanten Anwendungsmöglichkeiten. Eine weitere Ursache hierfür sind die trotz Stillelegungsprämie relativ bescheidenen Deckungsbeiträge bzw. Erlöse, die sich aus dem Anbau nachwachsender Rohstoffe erzielen lassen. Dies zeigt das in Tabelle 9 aufgeführte Beispiel des Hanfanbaus.

Tab. 8: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (in ha)

Rohstoff	1995	1996	1997	1998
Rapsöl	336 000	245 000	187 000	220 200
Leinöl	57 000	55 400	96 675	95 240
Sonnenblumen	30 000	30 000	23 100	22 400
Stärke	132 000	130 000	138 000	140 000
Zucker	8 000	8 000	9 000	11 000
Flachs-/Hanffasern	3 380	7 000	6 000	6 012
Heilstoffe	4 800	5 100	4 000	4 000
Sonstiges	7 100	7 300	1 000	1 340
<b>Summe</b>	<b>579 180</b>	<b>486 060</b>	<b>464 775</b>	<b>500 192</b>

Quelle: Jahresberichte 1995 bis 1998 der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe

Tab. 9: Hanf-Deckungsbeiträge bei unterschiedlichen Röststrohpreisen

	Einheit	Röststrohpreis (DM/ha)	
		7,20	10,00
Ertrag	dt/ha	65	65
Verkaufserlös	DM/ha	468	650
Flächenprämie	DM/ha	1 400	1 400
Gesamtleistung	DM/ha	1 868	2 050
– variable Kosten	DM/ha	1 018	1 018
Deckungsbeitrag	DM/ha	850	1 032

Quelle: Beckmann Akademie 1998

Um die Produktionskosten decken zu können, müßte bei einem Hanfröststrohertrag von 65 dt/ha ein Preis von etwa 7,20 DM/dt Röststroh bzw. 0,26 DM/kg Faser im Röststroh (bei 28 % Fasergehalt) erzielt werden. Da vor allem die Ernteverfahren noch nicht ausgereift sind, und das gesamte Produktionsverfahren mit einer Reihe von Unwägbarkeiten behaftet ist, erscheint ein Richtpreis von 10 DM/dt für das Ernteprodukt Röststroh bzw. von 0,36 DM/kg darin enthaltener Faser aus gegenwärtiger Sicht angemessen (Beckmann Akademie 1998). Mit diesem Preis wären aber die Kosten der Lagerung und des Transportes zur Verarbeitung noch nicht abgegolten. Andererseits sind aber auch die Erlöse für einen möglichen Verkauf der Schäben noch nicht berücksichtigt.

Mit dem in Tabelle 9 errechneten Deckungsbeitrag würde Hanf in etwa das betriebswirtschaftliche Niveau von Winterraps erreichen und wäre den meisten übrigen Feldfrüchten überlegen. Eine wesentliche Voraussetzung für dieses

positive Ergebnis ist die Gewährung der Flächenprämie. Die am Beispiel der Hanfproduktion angestellten Wirtschaftlichkeitsüberlegungen können prinzipiell auch auf andere Baustoffe übertragen werden.

Wirtschaftliche Aussagen zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau sind für biogene Rohstoffe (außer Holz) und die daraus hergestellten Baustoffe schwierig, da sich diese noch überwiegend in Versuchs- und Experimentierstadien befinden. Bei einigen Anwendungsgebieten liegen noch überhaupt keine wissenschaftlich belastbaren technisch-ökonomischen Kenngrößen vor. Erste Nutzungen von biogenen Baustoffen erfolgen überwiegend in kleinen Einheiten und Musterbauten durch Handwerksbetriebe. Die Ergebnisse dieser Baustoffnutzungen lassen sich nicht bzw. nur sehr bedingt für volks- und betriebswirtschaftliche Berechnungen bzw. Auswertungen nutzen. Bei industrieller Fertigung ist in der Regel mit einer erheblichen Produktivitätssteigerung zu rechnen.

## VII. Umweltaspekte nachwachsender Baustoffe

Eine umfassende Betrachtung der Umweltaspekte eines Baustoffes oder Bauproduktes kann nur im Rahmen einer Ökobilanz bzw. Lebenszyklusbetrachtung erfolgen. Eine Produktlinienanalyse würde

- die Rohstoffbereitstellung (Anbau, Pflege, Ernte, Transport, Lagerung),
- die Herstellung und den Gebrauch des Baustoffs bzw. Bauproduktes (Verarbeitung, Nutzung) sowie
- die Auflösung des Produktes (Verwertung, Beseitigung, Rückführung) umfassen.

Die Ökobilanz ist eine Energie- und Stoffbilanz, die verschiedene umweltrelevante Aspekte berücksichtigt. Je nach Zielsetzung und Aufwand lassen sich zu einem Thema unterschiedliche Ökobilanzen erstellen. Sie können sich unterscheiden in der Systemabgrenzung sowie in der Fülle, Qualität, Aufbereitung, Gewichtung und Bewertung der Daten. Dies hat zur Folge, daß Ökobilanzen und ihre Resultate selten direkt mit anderen vergleichbar sind, es sei denn, sie wurden unter genau denselben Rahmenbedingungen gemacht und beziehen sich auf die gleichen Lebenszyklusphasen.

Die Wirkung von Bauweisen und -materialien auf die menschliche Gesundheit und Umwelt kann anhand verschiedener Indikatoren erfaßt und beurteilt werden. In der Diskussion sind

- Bedarf an begrenzt verfügbaren, nicht bzw. nur innerhalb langer Zeiträume regenerierbaren Ressourcen,
- gesundheitliche Unbedenklichkeit der eingesetzten Stoffe und Zusätze,
- Emissionen mit ökologischer Schädigung (z. B. Treibhauseffekt),
- Wiederverwendbar- bzw. Verwertbarkeit der Stoffe nach Beendigung ihrer Nutzungsphase.

Eine klar definierte und gesetzlich geregelte Vorgehensweise bei der ökologischen Beurteilung von Baustoffen fehlt bislang. Es gibt jedoch erste Bewertungsversuche und

-programme, deren Ziel es ist, alle während der Erstellung, Nutzung, Erneuerung und Entsorgung entstehenden Umwelteffekte zu erfassen (Weibel/Stritz 1995). Einige unter ihnen versuchen, Energie- und Stoffflußbilanzen (Ökobilanzen) von Baustoffen und Gebäuden zu erstellen und über die Baukosten hinaus die externen Kosten des Produktes abzuleiten.

Untersuchungen zu den Wärmedämmstoffen zeigen, daß nicht die Phase der Herstellung, sondern der Energiebereitstellung und des Rohstofftransports den entscheidenden Einfluß auf die Umweltbelastung durch die Dämmstoffe haben kann (Richter et al. 1995). Bei anderen Baustoffen und Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen sind ähnliche Ergebnisse zu erwarten.

Die Durchführung ganzheitlicher ökologischer Betrachtungen würde den Rahmen dieses Berichts sprengen, da hierzu alle Umweltwirkungen entlang des Lebensweges der Produkte erfaßt, aggregiert und bewertet werden müßten. Für die Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe (und deren Nutzung als Energieträger) sind bereits Ökobilanzen erstellt worden. Diese Angaben können jedoch nicht einfach übernommen werden. Auf die Problematik der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde an anderer Stelle bereits hingewiesen. Produktspezifische Daten der Herstellung und Behandlung der Baustoffe und Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen sind dagegen kaum verfügbar, da diese Informationen oft das Kapital der klein- und mittelständischen Hersteller sind und deshalb ungern preisgegeben werden.

In diesem Kapitel werden deshalb vereinfachend zwei für die meisten Baustoffe und Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen relevante Umweltaspekte betrachtet: ihre chemisch-technische Behandlung zur Verringerung der Entflamm- und Brennbarkeit und zur Verhinderung eines vorzeitigen mikrobiellen Stoffabbaus. Von besonderem Interesse hierbei sind die gesundheitlichen Auswirkungen der beigefügten Schutzsubstanzen während der Herstellung und Nutzung sowie deren Einfluß auf die Verwertbarkeit der Baustoffe und Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen.

Tab. 10: Brandklassen für nichtbrennbare und brennbare Baustoffe

<i>Brandklasse</i>	<i>bauaufsichtliche Benennung</i>
<b>A</b>	<b>nichtbrennbare Baustoffe</b>
A1	ohne organische Bestandteile
A2	mit organischen Bestandteilen
<b>B</b>	<b>brennbare Baustoffe</b>
B1	schwerentflammbar
B2	normalentflammbar
B3	leichtentflammbar

Quelle: DIN 4102



fen nach Beendigung ihrer Nutzungsphase. Es handelt sich dabei um prinzipielle Überlegungen, da aufgrund der in der Regel langen bis sehr langen Nutzungsphase der Baustoffe und Bauprodukte noch kaum praktische Erfahrungen mit ihrer stofflichen bzw. energetischen Verwertung vorliegen.

Die Gefahr der leichten Entflammbarkeit und guten Brennbarkeit nachwachsender Baustoffe kann und muß durch Behandlung mit organischen oder anorganischen Brandschutzmitteln verringert werden. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. anderen organischen Materialien sind in der Regel den Brandklassen B2 oder B3 (Tab. 10) zuzuordnen. Durch den Zusatz an Flammenschutzmitteln können auch Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen die Brandklasse B1 (Schwerentflammbarkeit) erreichen. Die auf- bzw. eingebrachten Brandschutzmittel wirken nach verschiedenen Mechanismen (Tab. 11).

Feuererstickende und verkohlungsfördernde Flammenschutzmittel wirken dadurch, daß sie die natürliche Fähigkeit der Biomasse, sich durch Bildung einer unbrennbaren und wärmeisolierenden Kohlschicht gegen Feuer und Hitze abzuschirmen, verstärken und die Abspaltung brennbarer Gase abschwächen. Zu den Flammenschutzmitteln, die in der Feuerhitze vorwiegend flammenerstickende Gase abgeben, gehören die inzwischen verstärkt eingesetzten Ammoniumpolyphosphate, die in der Hitze verkohlend wirkende Metaphosphorsäuren abgeben.

Die sperrschichtbildenden Flammenschutzmittel bilden auf der Oberfläche in der Hitze eine nur schwer entflammbare dünne Versiegelungsschicht aus, die dem Luftsauerstoff den Zutritt zur Biomasse verwehrt. Häufig werden Borax<sup>25)</sup> oder Salze<sup>26)</sup> bzw. Ester der Borsäure (Natriumoktaborate, Natriumtetraborate, Dinatriumtetraborate) als Brandschutzmittel für biologische Dämmstoffe eingesetzt. Diese geben im Brandfall Kristallwasser ab und behindern so den Sauerstoffzutritt. Borax ist für den Menschen praktisch ungefährlich (es wird auch als Desinfektionsmittel bei Entzündungen der Mundschleimhaut eingesetzt). Es ist pflanzen- und fischtoxisch und in die Wassergefährdungs-

<sup>25)</sup> Borax (Natriumtetraborat) ist ein natürliches, gelöst im Wasser von Salzseen vorkommendes Mineral, das im Bodenschlamm oder an den Ufern große, meist farblose monoklin prismatische Kristalle bildet. Es wurde schon in der Antike in Ägypten zur Einbalsamierung verwendet. Durch Umsetzung von Borax mit Salz- oder Schwefelsäure wird Borsäure hergestellt.

<sup>26)</sup> Die borsaurigen Salze leiten sich von der Orthoborsäure (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), der Metaborsäure (HBO<sub>2</sub>) und wasserärmeren Polyborsäuren der Formel H<sub>n-2</sub>B<sub>n</sub>O<sub>2n-1</sub> her (Römpp Chemie Lexikon 1995).

klasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft (Zwiener 1995).

Die Dämmschichtbildner vereinigen die Eignung der verkohlungsfördernden und sperrschichtbildenden Flammenschutzmittel. Man verwendet hierzu Substanzen, die sich beim Erwärmen schaumig aufblähen, ab 250 bis 300 ° C verkohlen, sich dabei verfestigen und ein feinporiges, gut isolierendes Polster bilden. Hierzu eignen sich Gemische aus Harnstoff, Dicyandiamid, Melamin und organischen Phosphaten.

Dämmstoffe und andere Baustoffe und -produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sind nicht nur leicht brennbar, sondern auch biologisch abbaubar. Die biologische Abbaubarkeit und die Fähigkeit, ohne starke Veränderung der Wärmeleitfähigkeit große Mengen an Feuchtigkeit aufzunehmen und abgeben zu können, gelten als Vorteile der nachwachsenden Dämmstoffe gegenüber konventionellen Produkten. Damit verbunden sind jedoch auch mögliche Nutzungstechnische Nachteile, wie z. B. die Gefahr der Sprengwirkung und Schimmelbildung sowie eine verkürzte Lebensdauer der Produkte. Um die an sie gestellten Anforderungen an Beständigkeit und an eine lange Gebrauchsdauer zu erfüllen und eine vorzeitige Wertminderung oder Zerstörung zu verhindern, müssen bauliche, physikalische oder chemische Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Maßnahmen zum Schutz von Holz und anderen biogenen Materialien vor schädigenden Organismen und einem vorzeitigen Abbau sind seit Jahrtausenden im Gebrauch. Das älteste chemische Holzschutzverfahren wurde 1823 von dem Engländer Kyan erfunden. Das Eintauchen von gut getrockneten Hölzern (z. B. Eisenbahnschwellen) in eine 0,66%ige Lösung von Quecksilberchlorid („Kyanisieren“) ist inzwischen ohne Bedeutung. Heute werden verschiedene Mixturen aus unterschiedlichen Wirkstoffen und Hilfskomponenten (z. B. Benetzung-, Penetrationshilfs-, Fixierungs- und Bindemittel, Korrosionsinhibitoren) eingesetzt. Die Schutzstoffe müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- keine Ausdünstungen und Beständigkeit gegen Auslaugen,
- gesundheits- und umweltverträgliche Herstellung und Anwendung sowie
- Verträglichkeit mit anderen Werkstoffen (z. B. Metallen, Montageleimen).

Die heute verwendeten Schutzsubstanzen lassen sich grob unterteilen in wasserlösliche Schutzmittel (meist auf der

Tab. 11: Wirkungsprinzipien von Brandschutzmitteln

Wirkungsprinzip	Mittel (Beispiel)
feuererstickend durch Abgabe flammenerstickender Gase	Ammoniumphosphat [(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ]
sperrschichtbildend durch Ausbildung einer Versiegelungsschicht	Wasserglas oder Borate, Ammoniumpolyphosphate
dämmschichtbildend	Gemische aus Harnstoff, Dicyandiamid, Melamin und organischen Phosphaten

Quelle: eigene Darstellung



Basis anorganischer Salze<sup>27)</sup>) und ölige Mittel<sup>28)</sup> (meist in organischen Lösungsmitteln).

Die größte Gruppe der Schutzstoffe bilden die lösungsmittelhaltigen Mittel mit speziellen fungiziden oder insektiziden Wirkstoffen. Fungizide Wirkstoffe sind z. B. zinnorganische Verbindungen, Chlornaphthaline und Chlorphenole. Zu den insektiziden Wirkstoffen zählen bestimmte chlorierte Kohlenwasserstoffe, wie Gamma-Hexachlorcyclohexan (Lindan), organische Phosphorsäureester, bestimmte Carbamate und Pyrethroide. Die genannten Stoffe sind intensiv gegen lebende Organismen wirksam. Im Prinzip geht von der Verwendung dieser Substanzen ein Gefährdungspotential auch für die menschliche Gesundheit aus. Nicht zuletzt deshalb ist in Deutschland die Durchführung von Holzschutzmaßnahmen gesetzlich geregelt.

<sup>27)</sup> Zu den salzartigen Mitteln gehören unter anderem die Chromat-Fluorid-(Arsenat/Borat)-Gemische und die Gemische aus Chromat-Kupfersalz-Arsenat/Borat/Fluoride

<sup>28)</sup> Zu den öligen Schutzmitteln gehören die bereits seit ca. 150 Jahren zur Holz-Konservierung verwendeten Steinkohlenteer-Destillate (Teeröle, wie z. B. das Carbolineum). Hauptbestandteile sind aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Naphthalin, Phenole) sowie stickstoffhaltige Heterocyklen (z. B. Pyridin, Chinoline), die dem damit behandelten Baustoff einen Langzeitschutz gegen biologische Zerstörung verleihen. Ihre Verwendung ist wegen des starken Eigengeruchs, der Neigung zum Ausschwitzen und mangelnder Überstreichbarkeit nur bei frei verbautem Holz (Eisenbahnschwellen, Masten, Zäune) möglich. Ferner sind bei ihrer Anwendung wegen des karzinogenen Potentials von Teeröl-Inhaltsstoffen besondere Vorsichtsmaßnahmen zu beachten. Gleiche Einschränkungen gelten für Teeröl-Präparate (Mischungen von Teeröl mit Mineralöl unter Zusatz weiterer Fungizide und Insektizide).

Für bauaufsichtlich vorgeschriebene Holzschutzmaßnahmen dürfen nur solche Schutzmittel eingesetzt werden, die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DifBt) geprüft und für den vorgesehenen Verwendungszweck zugelassen sind. Das DifBt überprüft, ob die im untersuchten Schutzmittel enthaltenen Wirkstoffe vom Bundesgesundheitsamt (BGA) zugelassen sind und erteilt für die Wirksamkeit ein Prüfprädikat und ein amtliches Prüfzeichen. Die so gekennzeichneten Produkte sind in erster Linie für gewerbliche Zwecke zur Anwendung durch den Fachmann bestimmt. Vom DifBt wird jährlich ein Verzeichnis der Schutzmittel mit Prüfzeichen herausgegeben. Das BGA veröffentlicht im Bundesgesundheitsblatt regelmäßig „Positivlisten“ von Wirkstoffen, die von der Kommission des BGA gesundheitlich bewertet und zum Einsatz zugelassen wurden.

Dämmstoffe und andere Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. biogenen Materialien werden i.d.R. durch den Zusatz von Boraten in teilweise sehr hohen Konzentrationen (bis zu 20 Gew.-% bei Zellulose aus Altpapier) vor Fäulnis, Schimmelpilzbefall und Schädlingsfraß bewahrt. Die während der Nutzungsphase erwünschte Hemmung der biologischen Abbaubarkeit kann bei der Verwertung in Kompostierungsanlagen problematisch werden. Unter welchen Bedingungen mit Zusätzen versehene Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und anderen biogenen Materialien kompostiert werden können, ist bislang noch nicht offiziell geregelt.

Dämmstoffe mit hohen Gehalten an Boraten sollten wegen der Gefahr einer Grundwasserbelastung nicht auf Bauschuttdeponien abgelagert werden. Eine thermische Nutzung der heizwertreichen Dämmstoffe in modernen Feuerungsanlagen dürfte dagegen unbedenklich sein, sofern die dabei entstehenden Borsäuren neutralisiert werden können.

## VIII. Rechtliche Aspekte des Einsatzes nachwachsender Baustoffe

Trotz des breiten Spektrums an verfügbaren pflanzlichen Rohstoffen und den vielfältigen potentiellen Anwendungsmöglichkeiten im Wohnungsbau, dem Engagement klein- und mittelständischer Unternehmen an der Entwicklung neuer Bauprodukte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe sowie des steigenden Interesses der Bauherren an Bauprodukten aus pflanzlichen Materialien ist deren Bedeutung am Markt noch bescheiden. Dies liegt unter anderem auch an den gesetzgeberischen Anforderungen bei der Zulassung der Bauprodukte.

Das Inverkehrbringen, der freie Handel und die Verwendung von Baustoffen im Wohnungsbau werden durch verschiedene europäische, nationale und länderspezifische Gesetze, Rechtsvorschriften und Normen geregelt. Der Einsatz von Bauprodukten<sup>29)</sup> und Bauarten<sup>30)</sup> darf bis auf detailliert bekanntgemachte Ausnahmen nur dann erfolgen, wenn für das jeweilige Bauprodukt und/oder die jeweilige Bauart entsprechend nationaler oder europäischer Rechtsvorschriften allgemein anerkannte Regeln der Technik oder eine Zulassung vorliegen.

Aufgrund der möglicherweise gravierenden negativen Auswirkungen des Einsatzes ungeeigneter Bauprodukte bzw. Bauarten auf z. B. die Standsicherheit der Gebäude, die Gesundheit der Nutzer oder die Umwelt werden Zulassungen nur dann erteilt bzw. Regeln der Technik allgemein anerkannt, wenn umfangreiche Forschungsergebnisse und empirische Erfahrungen zur Eignung unter bestimmten Einsatzbedingungen und bei Einhaltung der Technischen Baubestimmungen vorliegen.

Dies gilt auch für neue Baustoffe und Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen. Nachfolgend werden die wichtigsten Gesetze und Rechtsvorschriften sowie technischen Richtlinien identifiziert, die einen Einfluß auf die Zulassung und Anwendung nachwachsender Baustoffe und Bauprodukte haben können.

Der grundsätzliche rechtliche Rahmen, der für den Einsatz von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen maßgeblich ist, wird von der Gesetzgebungskompetenz der Europäischen Union (EU), des Bundes und der Länder gebildet. Entscheidend für den Rohstoffeinsatz beim Bauen ist die EU-Bauproduktenrichtlinie (BPR) zur Schaffung eines gemeinsamen Marktes für Bauprodukte innerhalb der EU (EWG 1988). Diese Richtlinie regelt das Inverkehrbringen, den freien Warenverkehr und die Verwendung von Bauprodukten, indem sie die Brauchbarkeit<sup>31)</sup> eines Bauproduktes in Abhängigkeit von seiner Verwendung in einem Bauwerk definiert.

<sup>29)</sup> Bauprodukte sind Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen des Hoch- oder Tiefbaus eingebaut zu werden oder aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden, wie Fertighäuser, Fertigaragen und Silos.

<sup>30)</sup> Bauart ist das Zusammenfügen von Bauprodukten zu baulichen Anlagen oder Teilen von baulichen Anlagen.

Die EU-Bauproduktenrichtlinie wurde vom Bund und den Ländern in nationales Recht umgesetzt. Das Inverkehrbringen und der freie Warenverkehr sind im 1992 in Kraft getretenen Bauproduktengesetz (BauPG)<sup>32)</sup> des Bundes geregelt. Die Verwendung der in Verkehr gebrachten Bauprodukte wird von den Ländern im Rahmen des Bauordnungsrechts (auch Bauaufsichtsrecht) und der Landesbauverordnungen (LBO) bzw. deren gemeinsamer Grundlage, der Musterbauverordnung<sup>33)</sup> (MBO), bestimmt.

Die Anwendung des BauPG ist von der Bekanntgabe harmonisierter Normen (im EG-Amtsblatt) und der Erarbeitung von Leitlinien für europäische technische Zulassungen abhängig. Das BauPG läßt gemäß der Bauproduktenrichtlinie zu, daß neben den Vorschriften des BauPG auch die Vorschriften der LBO über die „Brauchbarkeit“<sup>34)</sup> bzw. „Verwendbarkeit“ von Bauprodukten angewendet werden dürfen. Die Überprüfung der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen erfolgt durch den Brauchbarkeitsnachweis. Er wird aber nur für Bauprodukte geführt, die noch nicht allgemein gebräuchlich sind bzw. für deren Herstellung, Bemessung oder Güte noch keine eigenen anerkannten Normen oder Regeln existieren. Auf nationaler Ebene erfolgt der Brauchbarkeitsnachweis als Übereinstimmungsnachweis<sup>35)</sup> durch das bauordnungsrechtliche Verfahren zur Vergabe der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bzw. des entsprechenden Prüfzeugnisses oder des Nachweises der Zustimmung im Einzelfall. Die Hersteller der Bauprodukte sind verpflichtet (Kennzeichnungsgebot), national die Bauprodukte mit dem Übereinstimmung-Zeichen bzw. europäisch mit dem CE-Zeichen zu kennzeichnen.

<sup>31)</sup> Der Nachweis der Brauchbarkeit eines neuen Bauproduktes erfolgt i. d. R. anhand harmonisierter technischer Spezifikationen für Bauprodukte. Hierbei handelt es sich um europäische Normen oder europäische technische Zulassungen, die jeweils nach in der Richtlinie vorgegebenen Verfahren erreicht werden müssen.

<sup>32)</sup> Soweit über die Verknüpfung mit der EU-Baukoordinierungsrichtlinie die öffentliche Hand als Auftraggeber im Hinblick auf Bauprodukte betroffen ist, ist die nationale Umsetzung bereits im Rahmen der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB 1996) im Anhang Technische Spezifikation (TS) erfolgt.

<sup>33)</sup> In Hinblick auf länderübergreifende Verfahrenslösungen für Nachweise der Brauchbarkeit und Haltbarkeit neuer Baustoffe wurde von einer gemeinsamen Kommission der Länder eine Musterbauordnung (MBO 1993) erarbeitet, auf der weitgehend die Bauordnungen der alten und neuen Bundesländer beruhen. Die aktuellen Fassungen der MBO und der Landesbauordnungen berücksichtigen bereits die erforderliche schrittweise Umsetzung von EU-Recht in nationales Recht.

<sup>34)</sup> Ein Bauprodukt ist brauchbar, wenn es solche Merkmale aufweist, daß die bauliche Anlage, für die es verwendet werden soll, bei ordnungsgemäßer Instandhaltung dem Zweck entsprechend während einer angemessenen Zeitdauer und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit gebrauchstauglich ist und die wesentlichen Anforderungen der mechanischen Festigkeit und Standsicherheit, des Brandschutzes, der Hygiene, Gesundheit und des Umweltschutzes, der Nutzungssicherheit, des Schallschutzes sowie der Energieeinsparung und des Wärmeschutzes erfüllt oder wenn es bekanntgemachten harmonisierten oder anerkannten Normen entspricht oder von diesen nur unwesentlich abweicht.

Der Bund hat durch das Bauplanungsrecht (Städtebaurecht) – zu dem im Kern das Baugesetzbuch (BauGB 1977) unter Berücksichtigung der Änderungen durch das Bau- und Raumordnungsgesetz (BauROG 1998) gehören – im Rahmen der folgenden Regelungen eine Handhabe, den Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Bausektor zu beeinflussen (Beckmann Akademie 1998):

- § 1(5): Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind u. a. die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse zu berücksichtigen.
- § 9(1): Den Gemeinden wird die Möglichkeit eingeräumt, aus städtebaulichen Gründen die Bauweise festzulegen, d. h. auch auf die Materialwahl direkt oder indirekt Einfluß zu nehmen.
- § 176 (Baugebot) und § 177 (Modernisierungs- und Instandhaltungsgebot): Den Gemeinden als untere Baubehörde werden weitere Instrumente an die Hand gegeben, um Festlegungen der Bebauungspläne durchzusetzen sowie Mißstände in bezug auf ungesunde Wohnverhältnisse beseitigen zu lassen.

Auch auf Landesebene gibt es weitere für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe bedeutungsvolle Regelungen. Die Landesbauordnungen (wie z. B. die LBO 1995) enthalten Abschnitte, in denen spezielle Festlegungen z. B. zum Brandschutz für bestimmte bauliche Anlagen bzw. für bestimmte Bauteile wie Wände, Decken und Dächer getroffen werden. Die sowohl in Detailformulierungen wie in der Gliederung voneinander abweichenden Landesbauordnungen erschweren den Überblick, wenn bundesweit alle Bedingungen für Neuentwicklungen zu berücksichtigen sind (zum Teil sind Festlegungen auch in andere Verordnungen „ausgelagert“ wie in Baden-Württemberg in eine Allgemeine Ausführungsverordnung zur Landesbauordnung (LBOAVO 1995).

Für den inländischen Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau, aber auch für den freien Handel mit Bauprodukten und Bauleistungen in Europa, sind nationale Vorschriften und Normen (DIN) sowie europäisch harmonisierte oder anerkannte Normen (EN) und Leitlinien für europäische-technische Zulassungen von zunehmender Bedeutung.

<sup>35)</sup> Auch Produkte, die nach der Bauregelliste A Teil 1 des BauPG hergestellt werden, bedürfen des Übereinstimmungsnachweises. Die konventionellen Baustoffe fallen unter vorhandene Baustoffnormen. Bei neuen Produkten erfolgt der Nachweis dagegen i.d.R. durch das Zulassungsverfahren. Das Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin ist die vom Bund legitimierte Stelle für das bauaufsichtliche Zulassungsverfahren. Die Zulassungen werden im amtlichen Bauanzeiger bekannt gemacht.

Die zuständige nationale Zulassungsstelle ist das Deutsche Institut für Bautechnik (DifBt). Nur das Vorliegen einer Leitlinie für europäische technische Zulassungen begründet einen Rechtsanspruch auf Erteilung der europäischen technischen Zulassung, wenn das Bauprodukt den Anforderungen der Leitlinie entspricht. Ansonsten bedarf die europäische Zulassung eines Bauproduktes des Einvernehmens aller stimmberechtigten Zulassungsstellen der EU-Mitgliedsstaaten einschließlich der weiteren EWR-Staaten.

Der gegenwärtig erreichte Stand der Zulassungen läßt sich gut anhand der aktuellen Bauregellisten (DifBt 1998) verdeutlichen (siehe Anhang). In Auswertung des aktuellen Standes dieser Bauregelliste läßt sich folgende zusammenfassende Einschätzung vornehmen (Beckmann-Akademie 1998): Es liegt eine umfangreiche Liste mit geregelten Bauprodukten vor (Liste A Teil 1). Dies sind jedoch überwiegend traditionelle Produkte. Produkte aus oder mit nachwachsenden Rohstoffen spielen nur eine untergeordnete Rolle. So sind z. B. als geregeltes Bauprodukt „normalentflammbare Flachpreßplatten“ mit den zugeordneten technischen Regeln DIN 6876 und der Richtlinie über die Klassifizierung und Überwachung von Holzwerkstoffplatten bezüglich der Formaldehydabgabe aufgeführt.

Die DIN 68763 definiert die Holzwerkstoffplatten als plattenförmigen Holzwerkstoff, der durch Verpressen von Teilen aus Holz und/oder anderem holzartigen Material (z. B. Flachschäben, Hanfschäben) mit Klebstoffen hergestellt wird. Selbst wenn sich andere nachwachsende Rohstoffe (z. B. Miscanthus) formal dieser DIN zuordnen lassen, ist immer zu prüfen, ob diese auch in dieser DIN als potentielle Rohstoffe vorgesehen und zugelassen sind. Außerdem ist zu bedenken, ob nicht für das neue Produkt (z. B. „Holzwerkstoffplatte“ aus Miscanthus) eine sinnvollere wirtschaftliche Ausnutzung seiner Eigenschaften, z. B. durch die Definition einer anderen Baustoffklasse, möglich ist.

Die Bauregellisten A Teil 2 und 3 sowie die Liste C (siehe Anhang) enthalten wenigstens zum Teil auch solche Bauprodukte und Bauarten, die für den verstärkten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen interessant sein können, da trotz fehlender Technischer Regeln oder bei von solchen Regeln abweichenden Eigenschaften eine Anwendung mit erleichterten Zulassungsbedingungen möglich sein kann.

Wie erschwerend sich das Fehlen allgemein anerkannter Regeln der Technik gegenwärtig auswirken kann, soll am Beispiel des Lehmbaues demonstriert werden, zumal er auch Möglichkeiten für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe bietet. Die für den Lehmbau gültigen DIN-Normen wurden 1974 – nach Auskunft des Normenausschusses für Bauwesen Berlin – ersatzlos zurückgezogen, weil sie „technisch veraltet waren und keine wirtschaftliche Bedeutung mehr hatten“ (Beckmann Akademie 1998).

## IX. FuE-Aktivitäten im Bereich nachwachsender Baustoffe

Aktivitäten zur Erforschung, Entwicklung und Demonstration von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen werden vom Bundesministerium für Landwirtschaft (BML) bzw. der ihr zugeordneten Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert. Folgende Forschungsvorhaben wurden u. a. durchgeführt:

- Einsatz von unmodifiziertem Zucker zur Herstellung von Polyurethanhartschaum-Dämmstoffen
- Entwicklung und Herstellung von Stärkefolien und biologisch abbaubaren Werkstoffen auf Basis thermoplastischer Stärke
- Entwicklung von biologisch abbaubaren Folien aus Polymerblends, bestehend aus thermoplastischen Stärken (TPS) und thermoplastischen Poly(ester)-urethanen (TPU)

Unter den pflanzlichen Ölen und Fetten sind vor allem Rapsöl, Leinöl und Sonnenblumenöl für Bauzwecke interessant. Sie eignen sich beispielsweise zur Herstellung von Farben und Lacken sowie Linoleum als auch zur Produktion von Treib- und Schmiermitteln für Baufahrzeuge und -maschinen. Die nachstehend aufgeführte große Anzahl aktueller Forschungsthemen belegt die auf dem Gebiet der Nutzung von Ölen und Fetten aus nachwachsenden Rohstoffen vorhandenen Aktivitäten:

- chemische Modifizierung und praxisnahe Erprobung von Raps- und Sonnenblumenölen als Schmier- und Druckübertragungsöle
- Leistungstests mit umweltverträglichen Motorölen auf Basis nachwachsender Rohstoffe für Diesel- und Ottomotoren
- umweltverträgliche Schmier- und Verfahrensstoffe
- biologisch schnell abbaubare Hydraulikflüssigkeiten mit verbesserter Performance und Additivierung, insbesondere hinsichtlich Hydrolysebeständigkeit und Verschleißschutz

Beim Einsatz pflanzlicher Öle zur Herstellung von Treib- und Schmierstoffen sowie Hydraulik- und Schalölen eröffnet sich im Vergleich zu den anderen Rohstoffen ein großes Anwendungsgebiet. Durch die Verwendung biologisch abbaubarer Kraftstoffe und Öle ist ein vorbeugender Schutz der Böden vor Umweltschäden infolge von Verunreinigungen durch Verlustschmierung oder Arbeitsunfälle möglich. Speziell der bautechnischen Anwendung sind die nachfolgenden Forschungsthemen zuzuordnen:

- biotechnologische Entwicklung von Hoch-Linolensäure-Lein
- Entwicklung und praktische Erprobung von biologisch schnell abbaubaren Betontrennmitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe
- Entwicklung neuartiger PU-Systeme, deren Polyol- und Isocyanatkomponente aus nachwachsenden Rohstoffen aufgebaut ist

Der große Komplex der Nutzung von Pflanzenfasern stellt das Kernstück der Anwendung nachwachsender Rohstoffe für die Herstellung von Baustoffen dar. Genannt seien hier beispielhaft ihr Einsatz zur Herstellung von Vlies und Filtermaterial, Verbundwerkstoffen und technischen Geweben. Bedingt durch das außerordentlich breite Angebot an unterschiedlichsten Pflanzenarten, die sich zur Fasergewinnung eignen, aber auch durch die Unterschiedlichkeit der jeweiligen Fasern ergibt sich eine entsprechend breite Palette an Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzgebieten. Dies zeigt sich dann auch bei einer Analyse des Standes der Forschungstätigkeit. Forschungsarbeiten wurden bzw. werden in den folgenden Bereichen durchgeführt (Beckmann Akademie 1998):

- Entwicklung eines schwerentflammaren Flachsdämmstoffes
- Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämmmaterial
- Untersuchung zur Nutzungseignung von Ölleinstroh für die Herstellung spezieller Verpackungsmaterialien
- Verwertung von Ölleinstroh als nachwachsender Rohstoff zur Wärme- und Schalldämmung in der Bautechnik
- Entwicklung der Fertigungsreife für einen baubiologisch hochwertigen Dämmstoff aus Flachsfasern

Daneben gibt es eine ganze Reihe ausschließlich auf die Verwertbarkeit und Eignungsuntersuchung gerichteter Forschungsaktivitäten. So gibt es beispielsweise umfassende Untersuchungen über den Einsatz von Hanf (Hansen 1997). Diese erstrecken sich sowohl auf den Anbau und die Fruchtfolge, als auch auf die Ernte, die Aufbereitung und Verwertung.

Als bereits weitergehend können wissenschaftliche Untersuchungen angesehen werden, die sich intensiv mit qualitativen Gebrauchseigenschaften bestimmter Pflanzen bzw. Pflanzenteile und pflanzlicher Produkte auseinandersetzen. Als Beispiel dafür stehen „Experimentelle Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Chinaschilf“ oder auch zur „Korrelation zwischen Rohdichte und Harzgehalt sowie Qualitätskennwerten bei Homogenplatten aus Bagasse“. In beiden Fällen werden u. a. Quellverhalten und Wasseraufnahme der betrachteten Stoffe einem Vergleich mit den geltenden DIN z. B. für Platten auf der Basis von Füllstoffen aus Holz (Möbelplatten, Faserplatten) unterzogen. Die Ergebnisse sind teilweise recht ermutigend.

Die im Rahmen der Analyse der bisherigen Forschungsaktivitäten vorgefundenen Ergebnisse dokumentieren einerseits das intensive Bemühen, nachwachsende Rohstoffe zunehmend in bestehende Produktionskreisläufe zu übernehmen, vermitteln zugleich aber auch, daß diese Forschungsaktivitäten bislang recht sporadisch erfolgen. Unter dem Gesichtspunkt der Anwendung nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau muß die Situation noch kritischer eingeschätzt werden. Hier kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt bestenfalls von positiven Einzelbeispielen gesprochen wer-



den. Zwar lassen sich aus einigen Möglichkeiten der Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen durchaus Ansatzpunkte für eine breitere Verwendung im Wohnungsbau ableiten, doch insgesamt fehlen bis dato entsprechende Verwertungsstrategien.

Hier könnte Abhilfe geschaffen werden durch die stärker anwendungsorientierte Ausrichtung der Produktlinien aus nachwachsenden Rohstoffen für Einsatzzwecke im Bauwesen. Dies setzt voraus, daß die Bedürfnisse der Baumaterialien- und Bauindustrie einerseits und der Bauherren andererseits intensiver als bisher erforscht werden. Ob durch züchterische Maßnahmen geeignetere Rohstoffe erzeugt werden können, erscheint angesichts der bescheidenen Mengennachfrage im Wohnungsbau fraglich.

Ausgehend von den genannten Aktivitäten in der Forschung ergibt sich zwangsläufig zunächst die Feststellung, daß bei den quasi als Folgeschritte zu betrachtenden Aufgaben der Entwicklung und Demonstration eher noch bescheidenere

Ergebnisse zu verzeichnen sind. Trotzdem lassen sich auch hier bereits hoffnungsvolle Ansätze finden. Insbesondere klein- und mittelständische Unternehmen beschäftigen sich mit der Entwicklung von Baustoffen und Bauprodukten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe oder biogener Materialien. Viele davon bieten ihre Produkte auch auf dem Markt an. Dabei geht es zum größten Teil um die Herstellung von Verpackungsmaterialien, Dämmstoffen und Farben (Tab. 12).

Die Vielzahl der angegebenen Firmen läßt vermuten, daß die Produkte ihre Marktreife bewiesen haben. Zu berücksichtigen ist dabei aber, daß diese zwar für den Einsatz im Wohnungsbau genutzt werden können, aber in der Regel (Ausnahme: Dämmstoffe) nicht ausschließlich für diesen Zweck entwickelt wurden. Da keine Aussagen über die Firmenumsätze vorliegen, kann nicht eingeschätzt werden, welchen Anwendungsumfang die genannten Erzeugnisse überhaupt und speziell im Wohnungsbau besitzen.

Tab. 12: Hersteller von im Wohnungsbau einsetzbaren Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen

<i>Bereich</i>	<i>Anzahl an Unternehmen</i>
Herstellung von Verpackungsmaterial und Gebrauchsgütern	39
Herstellung von Dämmstoffen	19
Herstellung von Naturfarben	12

Quelle: FNR 1998

## X. Resümee

Die letzten Jahrzehnte waren im Bauwesen durch die Weiterentwicklung und den zunehmenden Einsatz technisch hergestellter Baustoffe gekennzeichnet. Diese Baustoffe und -produkte zeichnen sich vielfach durch eine hohe Funktionalität und Leistungsfähigkeit, eine gute Handhabbarkeit und Dauerbeständigkeit sowie eine lange Lebensdauer und niedrige Preise aus. Dies führte dazu, daß der im Wohnungsbau früher sehr verbreitete Einsatz natürlicher Rohstoffe stark zurückgedrängt wurde.

Die allgemeine positive Grundeinstellung gegenüber den modernen Produkten hat sich in den vergangenen Jahren etwas gewandelt. Die Bauherren von heute erwarten bei Neubau oder Umbau neben exakten Kostangaben auch Informationen zu Energie, Ökologie und Gesundheit. Im Unterschied zur bisher oft einseitigen Orientierung auf die Investitionsphase wird dabei mehr und mehr der vollständige Lebenszyklus der Bauwerke berücksichtigt. Die Bauherren reagieren so auf aktuelle Anforderungen zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auch im Gebäudesektor.

Ein Grund für diese Entwicklung ist die Erkenntnis über das Aufkommen an nicht bzw. kaum wiederverwertbaren Abfällen beim Bauen bzw. späteren Abriß des Wohngebäudes. Entscheidender dürften jedoch die Diskussionen über die möglichen gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkungen von Baustoffen und -produkten bzw. darin enthaltenen Zusätzen (z. B. Formaldehyd) sein. Diese haben zu einer Sensibilisierung der Menschen gegenüber chemischen Verbindungen in der Gebäudehülle geführt.

Die Bewertung der Innenraumluft und die Abschätzung der damit einhergehenden gesundheitlichen Risiken (z. B. Sick Building Syndrome) ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Das „Schadstoffgemisch“ kann analytisch kaum erfaßt werden, da häufig über die Zusammensetzung der verwendeten Baumaterialien nichts bekannt ist. Außerdem gibt es für die meisten der im Innenausbau verwendeten Stoffe und Produkte bzw. der daraus resultierenden Ausgasungen keine gesicherten toxikologischen Erkenntnisse für die dort relevanten Konzentrationsbereiche. Hinzu kommt, daß die Empfindlichkeit von Personen auf geringe Schadstoffkonzentrationen sehr verschieden sein kann, und daß Niedrigbelastungen erst verzögert nach einer langen Latenzzeit zu einer Erkrankung führen können.

Was den Zusammenhang zwischen Baumaterialien und gebäudebedingten Erkrankungen anbelangt, gibt es kaum Schutzbestimmungen für die Bewohner von Gebäuden. Die gültigen Regelungen für die Produkthaftung fordern den Nachweis eines Ursachenzusammenhangs, der unter anderem aufgrund von unspezifischen Gesundheitsbeschwerden und mangelnden toxikologischen Erkenntnissen nur in wenigen Ausnahmefällen geführt werden kann. Im Hinblick auf einen vorbeugenden Gesundheitsschutz wird die rechtliche Situation insgesamt als unbefriedigend bewertet.

Vor diesem Hintergrund ist es verständlich, daß vor allem im Bereich des Innenausbaus nach natürlichen, gesundheitlich unbedenklichen Baustoffen und Bauprodukten verlangt

wird. Die Palette an nachwachsenden Rohstoffen, die als Baustoffe bzw. Bauhilfsstoffe genutzt werden können, ist groß. Sie reicht von lignocellulose- und faserhaltigen Pflanzen (z. B. Schilfrohr, Flachs, Hanf) über Ölpflanzen (z. B. Öllein, Raps) bis hin zu Stärkepflanzen (z. B. Kartoffeln) und Färberpflanzen (z. B. Färberwaid).

Nachwachsende Rohstoffe sind im Wohnungsbau vielseitig einsetzbar. Sie eignen sich zur Herstellung von Wänden und Bauelementen (z. B. Fenster), zur Dacheindeckung und Bewehrung in Baustoffen, als Dämmstoffe (Wärme-, Schall- und Feuchteschutz), Fußbodenuntergrund oder Bodenbelag und zur Herstellung von Anstrichen und Farben oder als Bauhilfsstoffe (z. B. Schalöl). Sie können als eigenständiger Baustoff, in Verbindung mit anderen Materialien oder als Ausgangsbasis für verschiedene Produkte verwendet werden.

Ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellte Bauelemente mit tragender und stützender Funktion sind – von Holzkonstruktionen abgesehen – in unseren Breitengraden exotische Ausnahmeerscheinungen. Zur Dacheindeckung wird im Norden Deutschlands in stark begrenztem Umfang Schilfrohr genutzt. Das Material wird jedoch aus Kostengründen größtenteils importiert. Eine konkurrenzfähige Rohrproduktion ist in Deutschland ohne Honorierung der damit verbundenen positiven Nebeneffekte kaum möglich. Zur Bewehrung von Wandbauelementen und zur Verhinderung der Rißbildung beim Aushärten von Betonteilen können Pflanzenfasern anstelle von Stahl- oder Polypropylenfasern verwendet werden. Hierzu liegen jedoch noch keine langjährigen Erfahrungen vor.

Trotz vielversprechender Ansätze ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau derzeit nur im Bereich der Wärmedämmung von quantitativer Bedeutung. Der Anteil der Dämmstoffe aus biogenen und anderen alternativen Materialien ist in den vergangenen Jahren langsam, aber kontinuierlich auf 3 bis 5 % des Dämmstoffmarktes angewachsen. Auslöser hierfür sind die Vorgaben der Wärmeschutzverordnung und die Diskussionen über die gesundheitlichen Risiken eines Einsatzes von Mineralwolle-Dämmstoffen. Dämmstoffe aus Flachs, Altpapier oder Schafswolle haben eine gute, mit Mineralwolle vergleichbare Wärmedämmfähigkeit. Sie können die in der Wärmeschutzverordnung geforderten maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) ohne räumlichen Mehrbedarf erreichen. Bei anderen nachwachsenden Dämmstoffen aus größeren Fasern (z. B. Hanf) sind dafür deutlich höhere Materialdicken oder eine vorhergehende chemisch-technische Aufarbeitung der Fasern erforderlich.

Angesichts der bevorstehenden Verschärfung der Anforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen im Rahmen der geplanten Energieeinsparverordnung kann in den nächsten zehn Jahren mit einem Anstieg des Absatzes an Wärmedämmstoffen aus alternativen Materialien auf bis zu 10 % des Dämmstoffmarktes bzw. rd. 7 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr gerechnet werden. Der zu erwartende Zuwachs dürfte allerdings in erster Linie den etablierten preisgünstigen Dämmstoffen mit

guten Wärmedämmeigenschaften aus Recyclingmaterialien (z. B. Altpapier) sowie forst- und landwirtschaftlichen Produktionsrückständen (z. B. Restholz) zu gute kommen.

Die Kosten für die Wärmedämmung mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen werden bestimmt durch die technisch und finanziell aufwendigen Verfahren der Rohstoffverarbeitung, der Dämmstoffherstellung und des Dämmstoffeinbaus. Aber auch die Preise für die Rohstoffe selbst, die zwischen 10 bis 25 % der gesamten Produktionskosten ausmachen, spielen dabei eine Rolle. Da die Rohstoffkosten durch züchterisch-technische Fortschritte nur bedingt gesenkt werden können, dürften die Absatzchancen zumindest für landwirtschaftliche Hauptprodukte (Flachs- und Hanffasern) begrenzt bleiben.

Viele klein- und mittelständische Unternehmen beschäftigen sich mit Dämmstoffen und anderen Baustoffen und -produkten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe bzw. bieten auf dem Markt bereits entsprechende Produkte an. Die Entwicklung und Demonstration neuer innovativer Bauprodukte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wird von den zuständigen Behörden gefördert. Die bislang erzielten Ergebnisse sind bescheiden, lassen jedoch hoffnungsvolle Ansätze erkennen.

Die Fähigkeiten nachwachsender Baustoffe und -produkte, biologisch abbaubar zu sein und ohne starke Veränderung große Mengen an Feuchtigkeit aufnehmen und abgeben zu können, gelten als Vorteile. Damit verbunden sind jedoch auch mögliche nutzungstechnische Nachteile. Um die an sie gestellten Anforderungen an Wertbeständigkeit, Langlebigkeit, Feuchteverhalten und Brandschutz erfüllen zu können, müssen Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen durch physikalische oder chemische Maßnahmen geschützt werden.

Durch den Zusatz an verschiedenen Schutzstoffen (z. B. Borate) können die Entflammbarkeit und ein vorzeitiger mikrobieller Abbau durch Fäulnis, Schimmelpilzbefall und Schädlingsfraß wirksam verhindert werden. Diese Zusätze können möglicherweise den Anspruch biologischer Bau- bzw. Dämmstoffe, insgesamt gesundheits- und umweltverträglicher zu sein als vergleichbare konventionelle Produkte, in Frage stellen. Unklarheit besteht insbesondere über den Einfluß der Schutzsubstanzen auf die Verwertbarkeit der Baustoffe und Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen nach Beendigung ihrer Nutzungsphase. Eine abschließende vergleichende Beurteilung der Baustoffe und

Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen steht noch aus. Hier besteht ein dringender Bedarf an wissenschaftlich fundierten Untersuchungen zur umfassenden und ganzheitlichen Lebenszyklusanalyse und Bewertung der Baustoffe und -produkte aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht.

Die bestehenden baurechtlichen Vorschriften setzen vor die Einführung neuer Baustoffe Hürden, damit nicht ohne wissenschaftliche Absicherung und ausreichende praktische Erprobung weitreichende Schäden verursacht werden. Die Markteinführung neuer Bauprodukte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe setzt beispielsweise voraus, daß diese einen Verwend- bzw. Brauchbarkeitsnachweis gemäß Bauordnungen und Bauproduktengesetz über ein nationales bzw. europäisches Zulassungsverfahren erbringen können. Die bestehenden Regelungen können auch zu Hemmnissen werden, wenn bei der Einführung neuer Baustoffe die rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen nicht rechtzeitig genug erkundet und gegebenenfalls gezielt genutzt werden.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß großes Interesse besteht, nachwachsende Rohstoffe im Wohnungsbau einzusetzen, dieser Einsatz bislang jedoch aus Kostengründen meist nur sporadisch erfolgt. Aus einigen Möglichkeiten der Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen lassen sich durchaus Ansatzpunkte für eine breitere Verwendung im Wohnungsbau ableiten. Produktumstellungen auf breiter Basis werden in der Bauwirtschaft jedoch erst dann vollzogen, wenn die neuen Produkte bewiesen haben, daß sie spürbare Vorteile, beispielsweise bei den Kosten oder in der Handhabung, mit sich bringen.

Architekten, Bauingenieure und Bauhandwerker haben einen entscheidenden Einfluß auf die Produktauswahl. Deshalb erscheint es wichtig, die Fähigkeiten und Vorzüge interessanter Baustoffe und -produkte aus nachwachsenden Rohstoffen zu demonstrieren und darüber zu informieren. Das bei den Entscheidungsträger vielfach bestehende Informationsdefizit auf dem Gebiet der nachwachsenden Baustoffe könnte zum Beispiel durch die Bereitstellung einer Produktdatenbank auf dem Internet verringert werden. Auch leicht verständliche Entscheidungshilfen (z. B. Ökozeichen) können zur Bewußtseinserweiterung für nachwachsende Baustoffe beitragen. Die erhoffte Öffnung des Marktes für die neuen Biomaterialien läßt sich auch durch angepaßte Verwertungs- und Vermarktungsstrategien beschleunigen.

## Literatur

### 1. Vom Deutschen Bundestag in Auftrag gegebenes Gutachten

BECKMANN AKADEMIE (1998): Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Wohnungsbau. Gutachten der Ingenieur- und Wirtschaftsakademie „Johann Beckmann“ e.V. im Auftrag des Deutschen Bundestages

### 2. Weitere Literatur

BAUGB (1998): Baugesetzbuch (BauGB) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. August 1997 (BGBl. I S. 2.141, ber. BGBl. 1998 I S. 137)

BAUPRODUKTENGESETZ (1992): Gesetz über das Inverkehrbringen von und den freien Warenverkehr mit Bauprodukten zur Umsetzung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (Bauproduktengesetz – BauPG) vom 10. August 1992 (BGBl. I S. 1.495) mit nachfolgenden Änderungen: /III/3/10/§ 16 regelt Änderungen in den §§ 1 und 13 des BauPG /III/3/16/ ändert das BauPG durch Art. 59

BAUROG (1998): Gesetz zur Änderung des Baugesetzbuches und zur Neuregelung des Rechts der Raumordnung (Bau- und Raumordnungsgesetz 1998 – BauROG) vom 18. August 1997 (BGBl. I S. 2.081) Inkraft getreten am 1.1.98

BRATSKHUS, A., RINGLEB, A. ENGLERT, G. (1997): Verfahrenstechnische Möglichkeiten und ökonomische sowie ökologische Bewertung der Herstellung von Dämmmaterial aus nachwachsenden Rohstoffen: Beispiel Flachs und Rohrkolben. Langfassung des Vortrags zur VDI-Tagung vom 16. und 17.10.1997 in Braunschweig. Verein Deutscher Ingenieure (VDI), VDI-Berichte 1356

BÜTTNER, G. (1997): Binnenfischer geben traditionelle Arbeit ab. In: Nordkurier vom 13.01.997

DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) (Hg.) (1998): Ökologisches Bauen. Referat Öffentlichkeitsarbeit. Osnabrück

DIFBT (Deutsches Institut für Bautechnik) (1998): Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C – Ausgabe 98/1 – Mitteilungen Deutsches Institut für Bautechnik. 4. Mai 1998, 29. Jahrgang – Sonderheft Nr.18

EWG (1988): Richtlinie des Rates vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/ EWG)

FAZ (Frankfurter Allgemeine Zeitung) (1999): Gesetzesnovelle zur Stromeinspeisung. Nr. 113, 18.05.199, S. 17

FISCHEREI MÜRITZ-PLAU GMBH (1998): Abschlußbericht im Rahmen des LEADER II-Programmes „Aufbau von Produktionsketten von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel von Schilfrohr“

GDI (Gesamtverband Dämmstoffindustrie) (1995): GDI-Baumarktstatistik 1988–1994. Pressemitteilung, Hamburg

GDI (Gesamtverband Dämmstoffindustrie) (1997): GDI-Baumarktstatistik 1990–1996. Pressemitteilung, Hamburg

GIESECKE, G. (1997): Marktchancen für Baustoffe aus Faserpflanzen. In: Branchendialog „Neue Produkte aus pflanzlichen Fasern“. Bildungsseminar für die Agrarverwaltung Rheinland-Pfalz vom 5.06.1997 auf Schloß Waldthausen, Mainz-Budenheim. Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau, Mainz

HAAS, G. (1997): Dämmstoffe: In Flachs und Hanf gehüllt. In: Öko-Test-Magazin 11, S. 86–89

HANF, C.H. (1997): Hanf – Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema „Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf“. Kiel

HANFGESELLSCHAFT (1997): Informationen der Hanfgesellschaft Berlin e.V. in Berlin

ITAS (Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse) (1996): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Bericht für die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages, Karlsruhe

LABES, R. (1997): Entwurf einer Richtlinie zur Mahd von Schilfrohr in Röhrichten (Rohrwerbungsrichtlinie). Ministerium für Landwirtschaft und Naturschutz Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin

LBB (Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung NRW) (Hg.) (1993): Umweltbewußte Bauteil- und Baustoffauswahl. Aachen

LBO (1995): Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) vom 8. August 1995 (GVBl. S. 617)

LBOAVO (1995): Verordnung der Landesregierung und des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg über das baurechtliche Verfahren (Verfahrensverordnung zur Landesbauordnung – LBOVVO) vom 13. November 1995 (GBl. S. 794)

LUTZE, H., ANDERSCH, D., KNIPPER, S., NEEF, G. (1996): Recycling von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen und Produktbeispiele. Vortrag auf dem 1. Innovationsseminar „Konstruktionswerkstoffe und Formteile aus nachwachsenden Rohstoffen“ am 22.05.1996 in Wildau

MBO (1993): Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (MBO). Fassung gemäß Beschluß vom 10.12.93 der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (ARGEBAU)

MURPHY, D.P.L., BEHRING, H., JÄGER, CH., JOACHIM, T., KUNTZ, S., WIELAND, H., STEFFENS, H. (1998): Perspektiven für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Bericht im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn

NOVA-INSTITUT (1996): Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP) – Erarbeitung von Produktlinien auf Basis von ein-



heimischem Hanf – aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht. Hürth, Köln

NOVA-INSTITUT (1997): Das Hanfproduktlinienprojekt. Hürth, Köln

ÖKO-TEST (1996): Sonderheft „Bauen, Wohnen, Renovieren“. Öko-Testverlag, Frankfurt

PAETSCH, U. (1996): Aufbau von Produktionsketten mit nachwachsenden Rohstoffen – Schilfanbau und Gewinnung als einheimischer Rohstoff für das Baugewerbe. Projektbericht für die Fischerei Müritz Plau GmbH in 17192 Waren (Müritz)

RÖMPP CHEMIE LEXIKON (1995): CD-Rom, Version 1.0. Stuttgart, New York

SCHULZ, H., MITTERLEITNER, H., KRAUSS, W. (1993): Einsatz überschüssiger Schafwolle für technische Zwecke. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft, „Gelbes Heft“ Nr. 48, München

SÖRENSEN, C.: (1997) Wärmedämmstoffe im Vergleich. Umweltinstitut München, München

STRÖML (1999): Telefonische Auskunft von Herrn Ströml, Rohemp Hanf Handelsgesellschaft mbH, Wallstraße 36, 8280 Fürstenfeld, Österreich

TAB (1997): TA-Projekt „Umwelt und Gesundheit“ (Autoren: R. Meyer, Ch. Katz, A. Meister, Ch. Revermann, A. Sauter). TAB-Arbeitsbericht Nr. 47, Bonn

VOB (1996): Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB) Ausgabe 1992 einschl. Ergänzungsband 1996: Im Auftrage des Deutschen Verdingungsausschusses für Bauleistungen herausgegeben vom DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

WEIBEL, T., STRITZ, A. (1995): Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. ESU-Reihe 1/95, ETH Zürich

WILISCH (1999): Telefonische Auskunft von Frau Wilisch, Wirtschaftsförderung Müritz GmbH, Seebadstraße 25, 17207 Röbel

ZWIENER, G. (1996): Ökologisches Baustoff-Lexikon. Daten – Sachzusammenhänge – Regelwerke. 2. Auflage.

## Anhang

## 1. Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Nachwachsende Rohstoffe und daraus hergestellte Bauprodukte	12
Tab. 2:	Wärmedurchgangskoeffizienten für Bauteile von neuen Wohngebäuden	22
Tab. 3:	Synthetische, mineralische und organische Wärmedämmstoffe	24
Tab. 4:	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	29
Tab. 5:	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und ihre Einsatzgebiete	29
Tab. 6:	Agrarökologische Vorteile des Anbaus von Faserlein (Flachs)	31
Tab. 7:	Produkte für den Innenausbau aus nachwachsenden Rohstoffen	48
Tab. 8:	Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (in ha)	59
Tab. 9:	Hanf-Deckungsbeiträge bei unterschiedlichen Röststrohpreisen	60
Tab. 10:	Brandklassen für nichtbrennbare und brennbare Baustoffe	65
Tab. 11:	Wirkungsprinzipien von Brandschutzmitteln	66
Tab. 12:	Hersteller von im Wohnungsbau einsetzbaren Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen . . . . .	78

## 2. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Außenwandaufbau mit Edelputz, Lehm-Hackschnitzel-Ausfachung, Holzleichtbauplatte, Schilfrohrmatte	16
Abb. 2:	Wärmeleitfähigkeit von Wärmedämmstoffen im Vergleich	38
Abb. 3:	Schichtdicke der Dämmung zur Erreichung eines k-Wertes von 0,4 bzw. 0,22 W/m <sup>2</sup> K	39
Abb. 4:	Kosten der Wärmedämmung zur Erreichung eines k-Wertes von 0,4 bzw. 0,22 W/m <sup>2</sup> K	41
Abb. 5:	Anteile verschiedener Dämmstoffe am Dämmstoffmarkt	43
Abb. 6:	Anteile verschiedener Dämmstoffe am Marktsegment alternative Dämmstoffe	44

## 3. Übersicht zu Bauprodukten und Bauarten (Bauregellisten 1/1998)

Übersicht von in den Bauregellisten Ausgabe 1/1998 aufgeführten Bauprodukten und Bauarten, die für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau von Interesse sein können

<i>lfd. Nr.</i>	<i>Bauprodukt bzw. Bauart</i>
-----------------	-------------------------------

**Bauregelliste A, Teil 1: geregelte Bauprodukte**

2.1.14	Hohlblöcke aus Leichtbeton
2.1.15	Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton
3.2.5	Normalentflammbare Flachpreßplatten
3.2.6	Normalentflammbare Strangpreßplatten
3.2.7	Normalentflammbare beplankte Strangpreßplatten für die Tafelbauart
3.2.8	Nichtbrennbare, geschlossene Gipskartonplatten und schwerentflammbare Gipskartonplatten mit gelochter Oberfläche , mit und ohne Imprägnierung
3.3.2	Beidseitig bekleidete oder beplankte Wand-, Decken- und Dachelemente, z. B. Holztafeln für Holzhäuser in Tafelbauart
5.1	Schwerentflammbare Holzwolle-Leichtbauplatten und schwerentflammbare Mineralfaser-Mehrschicht-Leichtbauplatten als Dämmstoffe für den Wärme- und Schallschutz (auch mit ein- oder beidseitigem mineralischen Porenverschluß der Holzwollestruktur als Oberflächenbeschichtung)
5.2	Normalentflammbare Hartschaum-Mehrschicht-Leichtbauplatten als Dämmstoffe für den Wärme- und Schallschutz (auch mit ein- oder beidseitigem mineralischen Porenverschluß der Holzwollestruktur als Oberflächenbeschichtung)
5.6	Normalentflammbare Korkerzeugnisse als Dämmstoffe für die Wärmedämmung
5.13	Normalentflammbare Faserdämmstoffe und nichtbrennbare Faserdämmstoffe ohne brennbare Bestandteile für die Wärmedämmung
5.14	Normalentflammbare Faserdämmstoffe und nichtbrennbare Faserdämmstoffe ohne brennbare Bestandteile für die Trittschalldämmung
5.17	Normalentflammbare Gipskarton-Verbundplatten aus Polystyrol- oder Polyurethan-Hartschaum als Dämmstoff

<i>lfd. Nr. der Liste</i>	<i>Bauprodukt bzw. Bauart</i>
8.3.1	Nichttragende Rolladenkästen, Typ 1
8.3.2	Nichttragende Rolladenkästen, Typ 2
8.6.1	Rahmen für Fenster und Türen, ausgenommen Rahmen für feuerwiderstandsfähige Abschlüsse, Typ 1
8.6.2	Rahmen für Fenster und Türen, ausgenommen Rahmen für feuerwiderstandsfähige Abschlüsse, Typ 2
9.6	Nichtbrennbare, geschlossene Gipskartonplatten und schwerentflammbare Gipskartonplatten mit gelochter Oberfläche, mit und ohne Imprägnierung
9.8	Normalentflammbare Spanplatten für Sonderzwecke
10.4	Normalentflammbare einseitig kaschierte Kunststoff-Dachbahnen aus Polyisobutylen (PIB)
10.14	Rohfilzpappe
10.15	Normalentflammbare Bitumendachbahnen mit Rohfilzeinlage
<b>Bauregelliste A, Teil 2 – lfd. Nr. 1: Bauprodukte, für die es Technische Baubestimmungen oder allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht gibt und deren Verwendung nicht der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen dient</b>	
1.1	Füllbauteile für Decken, statisch nicht mitwirkend (z. B. als verlorene Schalung)
1.3	Normalentflammbare Dach- und Dichtungsbahnen zum Feuchteschutz
<b>Bauregelliste A, Teil 2 – lfd. Nr. 2: Bauprodukte, für die es Technische Baubestimmungen oder allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht oder nicht für alle Anforderungen gibt und die hinsichtlich dieser Anforderungen nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden können</b>	
2.1	Vorgefertigte Decken, Dächer, Unterdecken, Doppelböden, Stützen, Träger Unterzüge, Treppen und tragende Wände, die mit Ausnahme des Schallschutzes von den technischen Regeln der Bauregelliste A Teil 1 nicht wesentlich abweichen
2.2	Vorgefertigte, nichttragende, innere Wände, die der Absturzsicherung dienen oder für deren Verwendung Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer oder den Schallschutz gestellt werden

<i>lfd. Nr. der Liste</i>	<i>Bauprodukt bzw. Bauart</i>
2.3	Vorgefertigte, nichttragende Außenwände, die mit Ausnahme der Feuerwiderstandsdauer oder des Schallschutzes von den technischen Regeln der Bauregelliste A Teil 1 nicht wesentlich abweichen
2.10	Baustoffe, an die nur Anforderungen an das Brandverhalten gestellt werden. Ausgenommen sind Baustoffe, <ul style="list-style-type: none"> <li>● die in Liste C enthalten sind</li> <li>● die nicht brennbar (Klasse DIN 4102-A) sein müssen, mit brennbaren Bestandteilen</li> <li>● die schwerentflammbar (Klasse DIN 4102-B1) sein müssen</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Bauregelliste A, Teil 3: Bauarten, die von technischen Bestimmungen wesentlich abweichen oder für die es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht oder noch nicht für alle Anforderungen gibt und die hinsichtlich dieser Anforderungen nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden können</b></p>
1	Bauarten zur Errichtung von Decken, Dächern Unterdecken, Doppelböden, Hohlraumestrichen, Stützen, Trägern, Unterzügen, Treppen und tragenden Wänden, an die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer oder den Schallschutz gestellt werden. Das gilt nicht für die Teile baulicher Anlagen, an die weitere Anforderungen gestellt werden, wenn die maßgebenden Bauarten von Technischen Vorschriften ...
2	Bauarten zur Errichtung von nichttragenden Wänden, die der Absturzsicherung dienen oder an die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer oder den Schallschutz gestellt werden. Satz 2 aus lfd. Nr. 1 gilt entsprechend
3	Bauarten zur Errichtung von nichttragenden Außenwänden, an die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer oder den Schallschutz gestellt werden. Satz 2 aus lfd. Nr. 1 gilt entsprechend
8	Bauarten zur Herstellung von Bedachungen (Dachhaut), an die Anforderungen hinsichtlich Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme gestellt werden. Satz 2 aus lfd. Nr. 1 gilt entsprechend
<b>Bauregelliste B, Teil 1: Bauprodukte nach europäischen Vorschriften, die die CE-Kennzeichnung tragen</b>	
„Im Rahmen der Bauregelliste B Teil 1 sind noch keine Festlegungen getroffen“	

<i>lfd. Nr. der Liste</i>	<i>Bauprodukt bzw. Bauart</i>	<i>lfd. Nr. der Liste</i>	<i>Bauprodukt bzw. Bauart</i>
<p align="center"><b>Bauregelliste B, Teil 2:</b>  <b>Bauprodukte nach europäischen Vorschriften, die neben der CE-Kennzeichnung auch des Ü-Zeichens nach den Bauordnungen der Länder bedürfen</b></p> <p align="center">Diese Liste enthält bereits eine ganze Reihe von Bauprodukten, die jedoch für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe nicht von Bedeutung sind.</p> <p align="center"><b>Bauregelliste C:</b>  <b>Bauprodukte, für die es weder Technische Baubestimmungen noch allgemein anerkannte Regeln der Technik gibt und die für die Erfüllung bauordnungsrechtlicher Anordnungen nur eine untergeordnete Bedeutung haben. Bei diesen Produkten entfallen Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweise. Diese Bauprodukte dürfen kein Ü-Zeichen tragen.</b></p>		2.1	Fassadenelemente einschließlich ihrer Befestigungen für Außenwandbekleidungen aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2 – mit kleinformatischen Fassadenelementen mit bis zu 0,4 m <sup>2</sup> Fläche und bis zu 5 kg Eigenlast
		2.2	Dachelemente einschließlich ihrer Befestigungen aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2 für Dacheindeckungen <ul style="list-style-type: none"> <li>● mit kleinformatischen Elementen mit bis zu 0,4 m<sup>2</sup> Fläche und bis zu 5 kg Eigenlast</li> <li>● mit anderen Elementen bei einem Unterstützungsabstand durch die Unterkonstruktion von bis zu 1,0 m, außer Glas</li> </ul>
1.3	Außenwandausfachungen einschließlich ihrer Befestigungen aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2 mit einem Unterstützungsabstand von <1,0 m, wenn sie nicht für die Standsicherheit einer baulichen Anlage oder deren Teile oder dem Wärmeschutz dienen	2.4	Fensterbänke einschließlich ihrer Befestigungen aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2
1.6	Fugenabdeckungen und Fugendichtungen zum Schutz gegen Wind und Schlagregen, sonstige Fugenfüllungen aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2	2.8	Außenwandbeschichtungen mit einer Dicke bis 2 cm aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2
		2.9	Bodenbeläge aus Baustoffen nach DIN 4102-4: 1994-03, Abschn. 2