

LANDBAUFORSCHUNG

VÖLKENRODE

**WISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN
DER BUNDESFORSCHUNGSANSTALT
FÜR LANDWIRTSCHAFT (FAL)**

Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämm-material

SONDERHEFT 203

1999

ISBN 3-933140-25-0

Institut für landwirtschaftliche Bauforschung
und Institute für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume der
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämmaterial

Herausgeber:

Donal P. L. Murphy¹⁾, Franz-Josef Bockisch¹⁾, Angelika Schäfer-Menuhr¹⁾

Vorwort

Nachwachsende Rohstoffe können bei entsprechender verfahrenstechnischer Aufbereitung als Bau- und Werkstoffe eingesetzt werden. Derartige Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen haben derzeit auf dem Markt grundsätzlich eine relativ hohe Akzeptanz. Dabei ist jedoch das Preis-Leistungsverhältnis im Vergleich zu "konventionellen Produkten" ein wichtiges Entscheidungskriterium. Bei den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen können sich durch die Kombination von möglichen guten technischen bzw. bauphysikalischen Kennwerten (intern) und ökologischen (externen) Vorteilen, gute Perspektiven für eine breitere Verwendung für diese Produktlinien ergeben. Unterstützt wird diese Situation dadurch, daß besonders in Deutschland ein starkes Interesse der Verbraucher, der herstellenden und vertreibenden Wirtschaftszweige sowie der Wissenschaft an den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen besteht.

Vor allem die Bereitschaft eines bedeutenden Anteils der Verbraucher, Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu verwenden und dafür bis zu einem gewissen Grad auch mehr zu bezahlen, kann der Land- und Forstwirtschaft Chancen eröffnen, Produkte von hohem Wert anzubieten. Der Dämmstoffmarkt liegt derzeit in Deutschland bei einem Absatzvolumen von rund 30 Mio m³ pro Jahr bei stetig steigender Tendenz. Eine Ursache dafür sind sicherlich die gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie die Förderungen zur Energieeinsparung im Bausektor. Der Anteil der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen beträgt derzeit ca. 3 % mit überproportional steigender Tendenz. Aufgrund verfügbarer Informationen scheint mittelfristig ein Anteil von rund 10 % am Gesamtmarktvolumen nicht unrealistisch. Dies würde bedeuten, daß etwa 90000 bis 400000 Tonnen Rohmaterial jährlich abgesetzt werden können. Eine erfolgreiche Nutzung dieser Marktchancen könnte nicht nur zu wirtschaftlichen Vorteilen bei den Primärproduzenten bzw. bei den Herstellern führen, sondern auch deutliche Möglichkeiten zur Umweltentlastung bieten. Gleichzeitig könnten derartige Produkte zu einer besseren Wohnqualität beitragen. Ob solche genannten Vorteile jedoch auch tatsächlich umgesetzt werden können, müssen detaillierte Untersuchungen sowie technische und verfahrenstechnische Weiterentwicklungen zeigen. Da einige Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen auf dem Markt etabliert sind, liegen einige Tendenzen sowohl in positiver als auch negativer Hinsicht bereits dadurch vor.

In Erwartung, daß der wachsende Markt neue Chancen für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bietet, war diese Studie vom BML, gefördert über die FNR, an die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) im Zeitraum vom Juli 1997 bis März 1998 in Auftrag gegeben worden. Die ausführenden Institute waren landwirtschaftliche Bauforschung und Betriebswirtschaft. Das Ziel der Studie ist eine Bewertung auf der Basis verfügbarer Informationen über die Nutzung von heimischen Rohstoffen als Dämmstoffe. Dazu ist der vollständige Lebenszyklus vom Primärprodukt bis zur Entsorgung bzw. Recycling betrachtet worden. Die fertiggestellte Studie bietet eine gute Übersicht zum status quo sowie eine Grundlage für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für Wissenschaft und Industrie.

Als Informationsbasis (welche den Stand bis Ende August 1998 berücksichtigt) dienen wissenschaftliche Veröffentlichungen, Fachpublikationen, Produktinformationen, aktuelle Labordaten, zielgerichtete Befragungen der Wirtschaftszweige, die im Baubereich mit derartigen Produkten aktiv sind sowie ein Workshop, der von der Projektgruppe der beiden ausführenden Institute in Zusammenarbeit mit FNR in Braunschweig (16./17. März 1998) durchgeführt wurde. Im Rahmen der Studie wurde eine Fragebogenaktion durchgeführt, die durch zahlreiche persönliche Gespräche mit Experten ergänzt wurde. Dies führte dazu, daß die Projektgruppe fast über die gesamte Laufzeit der Studie einen engen Kontakt mit rund 260

interessierten Teilnehmern aus der Industrie hatte. An dieser Stelle möchten wir insbesondere diesen für die wertvolle Zusammenarbeit danken.

Die Projektgruppe hatte die Aufgabe, die Kenntnisse, Erfahrungen und Entwicklungen vor allem aus den Forschungsgebieten Landwirtschaft, Bauwesen, Naturwissenschaften und Betriebswirtschaft interdisziplinär zusammenzuführen. Für die Bewältigung dieser komplexen Aufgabe danken wir den Mitgliedern der ausführenden Projektgruppe herzlich.

Prof. Dr. habil. F.-J. Bockisch

Leiter des Instituts für
landwirtschaftliche Bauforschung

Prof. Dr. F. Isermeyer

Leiter des Instituts für
Betriebswirtschaft, Agrarstruktur
und ländliche Räume
Präsident der FAL

Braunschweig im Juni 1999

Ein herzliches Dankeschön an alle,

die zum Gelingen dieser Studie Beiträge geleistet haben!

Wir möchten uns bei allen Herstellerfirmen bedanken, die uns in persönlichen Gesprächen mit Informationen und wichtigen Anregungen unterstützt haben.

Auch allen Experten aus Landwirtschaft, Industrie, Architektur und Beratung, die uns durch die Teilnahme an der schriftlichen Befragung wichtige Unterstützung gegeben haben, danken wir herzlich.

Eine besondere Bereicherung der Arbeit ging von den Vorträgen und Diskussionsbeiträgen anlässlich des Workshops aus, den wir gemeinsam am 16. und 17. März 1998 in Braunschweig abgehalten haben.

Die Auswertung der schriftlichen Befragung und die Teilnehmerliste zum Workshop findet sich im World Wide Web unter der Adresse <http://bauwesen.fal.de>

Unser Dank gilt ebenso dem Palmgarten der Stadt Frankfurt am Main und dem Bauverlag Wiesbaden für die Erlaubnis folgende Abbildungen zu verwenden:

Palmgarten: Abb. 5.1 und 5.2.

Bauverlag: Abb. 2.2, 2.3, 2.5, 2.7 und 2.8

Die Projektgruppe

Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämmmaterial

Herausgeber:

Donal P. L. Murphy¹⁾, Franz-Josef Bockisch¹⁾, Angelika Schäfer-Menuhr¹⁾

Projektkoordination und Berichtsredaktion:

Behring, Heidemarie, Jäger, Christiane, Murphy, Donal P.L.

Projektleiter: Donal P.L. Murphy

Projektgruppe:

Behring¹⁾, Heidemarie, Jäger²⁾, Christiane, Joachim³⁾, Till, Kuntz⁴⁾, Sabine, Murphy¹⁾,
Donal P.L., Wieland¹⁾, Hansjörg, Steffens⁴⁾, Holger,
unter Mitarbeit von Hinrichs²⁾, Peter, Höppner⁵⁾, Frank

¹⁾ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für landwirtschaftliche Bauforschung
(Leiter: Prof. Dr. habil. F.-J. Bockisch)
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

²⁾ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebswirtschaft
(Leiter: Prof. Dr. F. Isermeyer)
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

³⁾ Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Institut für Recycling
Robert-Koch-Platz 12, 38440 Wolfsburg

⁴⁾ Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig
Beethovenstr. 52, 38106 Braunschweig

⁵⁾ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Die Studie wurde in Zusammenarbeit des Instituts für landwirtschaftliche Bauforschung (Leiter: Prof. Dr. habil. F.-J. Bockisch) und des Instituts für Betriebswirtschaft (Leiter: Prof. Dr. F. Isermeyer) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig erstellt. Einbezogen ist der Informationsstand bis Ende August 1998, der 1. Entwurf des Berichtes wurde im April 1998 erstellt.

Braunschweig im Juni 1999

Kapitalübersicht

| | |
|--|-----|
| 1. Einleitung und Zielsetzung – Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen <i>Murphy, D.P.L., Jäger, Ch., Behring, H.</i> | 1 |
| 2. Grundlagen der schall- und Wärmedämmung <i>Steffens, H., Kuntz, S., Murphy, D.P.L.</i> | 5 |
| 3. Gesetzliche Rahmenbedingungen und Produktzulassung <i>Steffens, H., Kuntz, S.</i> | 25 |
| 4. Marktfaktoren für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen <i>Murphy, D.P.L., Wieland, H., Höppner, F., Jäger, Ch.</i> | 59 |
| 5. Anbau und Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen <i>Murphy, D.P.L., Wieland, H., Höppner, F., Jäger, Ch.</i> | 73 |
| 6. Dämmstoffherstellung <i>Weiland, H., Murphy, D.P.L.</i> | 105 |
| 7. Ökologische Bewertung <i>Behring, H., Murphy, D.P.L., Höppner, F.</i> | 119 |
| 8. Expertenbefragung zur Nutzung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen <i>Behring, H., Wieland, H., Murphy, D.P.L.</i> | 137 |
| 9. Entsorgung und Wiederverwertung von Dämmstoffen <i>Joachim, T., Behring, H., Widdecke, H., Murphy, D.P.L.</i> | 151 |
| 10. Ökologische Bewertung von Dämmstoff-Produktlinien aus nachwachsenden Rohstoffen <i>Jäger, Ch., Murphy, D.P.L., Hinrichs, P.</i> | 175 |
| 11. Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen <i>Murphy, D.P.L., Behring, H., Jäger, Ch.</i> | 203 |
| 12. Zusammenfassung | 219 |
| 13. Summary | 223 |
| 14. Anhang | 243 |

Inhaltsverzeichnis

| | <i>Seite</i> |
|---|--------------|
| Abkürzungen | |
| 1 Einleitung und Zielsetzung - Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 1 |
| 1.1 Die Entwicklung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe in Europa | 1 |
| 1.2 CO ₂ -Minderung, Abfallwirtschaft und industrielle Ökologie | 2 |
| 1.3 Prioritäten für die Produktentwicklung | 2 |
| 2 Grundlagen der Schall- und Wärmedämmung | 5 |
| 2.1 Raumklima | 5 |
| 2.2 Grundlagen des Wärmeschutzes und des Tauwasserschutzes | 6 |
| 2.2.1 Wärmedämmstoff - bestimmende Stoffeigenschaften | 7 |
| 2.2.2 Berechnung des Wärmedurchgangs durch Bauteile | 10 |
| 2.2.3 Tauwasserschutz | 11 |
| 2.2.4 Dämmstoffeinfluß auf den sommerlichen Wärmeschutz | 13 |
| 2.3 Grundlagen des Schallschutzes | 15 |
| 2.3.1 Lautstärke | 15 |
| 2.3.2 Wellenlänge λ | 16 |
| 2.3.3 Luftschalldämmmaß | 16 |
| 2.3.4 Trittschalldämmmaß | 19 |
| 2.3.5 Verringern der Schallwirkung unter dem Einfluß des Dämmstoffs | 22 |
| 2.4 Wärme- und Schalldämmung - ein Gegensatz? | 24 |
| 2.5 Wirkung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen auf das Raumklima | 25 |
| 2.5.1 Raumklima und Feuchtigkeitsausgleich | 25 |
| 2.5.2 Haltbarkeit und mikrobieller Befall | 25 |
| 2.6 Übersicht der Dämmstoffe | 26 |
| 2.7 Technisch-konstruktive Regeln zur Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 28 |
| 2.8 Zusammenfassende Bewertung für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen | 31 |
| 3 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Produktzulassung | 33 |
| 3.1 Europäisch-nationaler Rahmen zur baurechtlichen Verankerung von Bauprodukten | 33 |
| 3.1.1 Definition des Begriffes "Bauprodukt" | 33 |
| 3.1.2 Ordnungsrechtliche Instanzen | 33 |
| 3.2 Der nationale Rahmen für die Bestimmung der Brauchbarkeit eines Produktes | 35 |
| 3.2.1 Nachweis der Brauchbarkeit | 36 |
| 3.2.2 Bauregellisten und die Liste C | 36 |
| <i>Die Bauregelliste A</i> | 37 |
| <i>Die Bauregelliste B</i> | 39 |
| <i>Die Liste C</i> | 40 |
| 3.2.3 Technische Spezifikationen des Verwendbarkeitsnachweises | 40 |
| <i>Das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (AbP)</i> | 42 |
| <i>Die Zustimmung im Einzelfall (ZiE)</i> | 42 |
| 3.2.4 Anleitung zum geforderten Verwendbarkeitsnachweis | 43 |
| 3.3 Der europäische Rahmen für die Bestimmung der Brauchbarkeit eines Produktes | 43 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4 | Prüfen, Überwachen, Zertifizieren - die „Erteilungsinstrumente“ | 44 |
| 3.5 | Die Normung | 45 |
| 3.6 | Resümee zur Brauchbarkeit und Verwendbarkeit | 46 |
| 3.7 | Anforderungen aus EN- und DIN-Normen sowie weiteren relevanten „Regelungen“ für den Dämmstoffbereich | 47 |
| 3.7.1 | Auswahl relevanter technischer Regeln | 47 |
| 3.7.2 | Überblick der durch Prüfungen verlangten Anforderungen und Eigenschaften von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 47 |
| 3.7.3 | Wärmeschutz | 48 |
| | <i>Das Hauptkriterium Wärmeleitfähigkeit</i> | 49 |
| | <i>Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108</i> | 49 |
| | <i>Die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung (WSVO)</i> | 50 |
| 3.7.4 | Schallschutz | 51 |
| | <i>Ausblick auf Regelungen durch die europäische Normung</i> | 51 |
| 3.7.5 | Tauwasserschutz | 52 |
| 3.7.6 | Brandschutz | 53 |
| | <i>Gültige Anforderungen an den Brandschutz</i> | 53 |
| | <i>Baustoffe - Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen</i> | 53 |
| | <i>Bauteile</i> | 55 |
| | <i>Ausblick auf kommende europäische Brandschutzanforderungen</i> | 57 |
| 3.8 | Zusammenfassende Bewertung für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen | 57 |
| 4 | Marktfaktoren für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen | 59 |
| 4.1 | Der Dämmstoffmarkt | 59 |
| 4.1.1 | Marktanteile verschiedener Dämmstoffe | 59 |
| 4.1.2 | Käufer von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 62 |
| 4.1.3 | Preise verschiedener Dämmstoffe | 63 |
| 4.2 | Rohstoffmarkt | 65 |
| 4.2.1 | Längerfristige Abnahmeverträge | 66 |
| 4.2.2 | Potentielle Anbauflächen | 66 |
| | <i>Flachs und Hanf</i> | 67 |
| | <i>Öllein</i> | 67 |
| | <i>Getreidestroh</i> | 67 |
| 4.2.3 | Produktionspotentiale von Rohstoffen | 68 |
| | <i>Flachs und Hanf</i> | 68 |
| | <i>Öllein</i> | 68 |
| | <i>Getreidestroh</i> | 69 |
| | <i>Schafwolle</i> | 69 |
| | <i>Schilf</i> | 70 |
| | <i>Holz</i> | 70 |
| | <i>Zellulose aus Altpapier</i> | 70 |
| 4.3 | Diskussion | 70 |
| 4.4 | Zusammenfassung | 72 |
| 5 | Anbau und Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen für Dämmstoffe | 73 |
| 5.1 | Morphologie der Rohstoffe | 73 |
| 5.1.1. | Bastfasern | 73 |
| 5.1.2 | Holz | 76 |
| 5.1.3 | Getreidestroh | 76 |
| 5.1.4 | Markhaltige Pflanzen | 76 |
| 5.1.5 | Schafwolle | 76 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2. | Rohstoffproduktion | 77 |
| 5.2.1 | Landwirtschaftliche Hauptprodukte | 77 |
| | <i>Flachs</i> | 77 |
| | <i>Hanf</i> | 79 |
| 5.2.2 | Landwirtschaftliche Nebenprodukte | 81 |
| | <i>Schafwolle</i> | 81 |
| | <i>Getreidestroh</i> | 81 |
| | <i>Mais</i> | 82 |
| | <i>Sonnenblumen</i> | 82 |
| | <i>Öllein</i> | 82 |
| 5.2.3 | Importware | 82 |
| | <i>Baumwolle</i> | 82 |
| | <i>Jute</i> | 83 |
| | <i>Kokosnußfasern</i> | 84 |
| | <i>Kork</i> | 84 |
| | <i>Schilfrohr</i> | 84 |
| 5.3. | Rohstoffaufbereitung und Bereitstellung von Bastfasern | 85 |
| 5.3.1. | Flachs 85 | |
| | <i>Flachs-Ernteverfahren zur Dämmstoffgewinnung</i> | 86 |
| | <i>Mechanische Wirrfaseraufbereitungstechnologien (Flachs, Öllein und Hanf)</i> | 87 |
| | <i>Physikalisch-chemischer Aufschluß</i> | 91 |
| 5.3.2 | Hanf | 91 |
| 5.3.3 | Öllein | 92 |
| 5.3.4 | Infrastruktur zur Faserpflanzenaufbereitung | 92 |
| 5.4. | Rohstoffqualität | 93 |
| 5.4.1 | Wärmedämmeigenschaften | 93 |
| | <i>Heimische Bastfaserpflanzen</i> | 96 |
| | <i>Heimische und importierte Pflanzenfasern</i> | 97 |
| | <i>Ernteverfahren (Röste)</i> | 97 |
| | <i>Faseraufschluß</i> | 98 |
| | <i>Getreidestroh</i> | 98 |
| 5.5 | Dämmstoffsubstitutionspotential von heimischen nachwachsenden Rohstoffen | 100 |
| 5.6 | Produktionsmöglichkeiten | 101 |
| 5.7 | Zusammenfassende Bewertung | 103 |
| 6 | Dämmstoffherstellung | 105 |
| 6.1 | Bauphysikalische Anforderungen an Rohmaterial und Produkte | 105 |
| 6.2 | Produktkompendium | 106 |
| 6.3 | Produktionsverfahren | 106 |
| 6.3.1 | Wärmedämmvliese | 106 |
| 6.3.2 | Nadelfilz | 108 |
| 6.3.3 | Strohplatten | 108 |
| 6.3.4 | Schilfplatten | 108 |
| 6.3.5 | Schüttung aus Schäben | 109 |
| | <i>Bitumierte Schäben</i> | 109 |
| | <i>Schäben ohne Bindemittel</i> | 109 |
| | <i>Mit Kalk behandelte Schäben</i> | 109 |
| 6.3.6 | Platten aus Schäben | 109 |
| 6.3.7 | Schüttung aus Zellulose | 110 |
| 6.3.8 | Zellulose-Platten | 111 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.3.9 | Kork | 111 |
| 6.3.10 | Schüttung aus Getreide | 112 |
| 6.3.11 | Holzwolle-Leichtbauplatten | 112 |
| 6.3.12 | Holzweichfaserplatten | 113 |
| | <i>Holzfaserherstellung, Masonite-Verfahren (Dampfexplosion-Verfahren)</i> | 113 |
| | <i>Holzfaserherstellung, Defibrator-Verfahren</i> | 114 |
| | <i>Holzfaserherstellung, Bauer-Verfahren</i> | 114 |
| | <i>Holzfaserverarbeitung, Naßverfahren</i> | 114 |
| | <i>Holzfaserverarbeitung, Trocken- und Halbtrockenverfahren</i> | 115 |
| | <i>Frischzelluloseherstellung</i> | 116 |
| | <i>Wasserglas-Verfahren</i> | 117 |
| 6.3.13 | Holzspäne | 118 |
| 6.4 | Zusammenfassung und Diskussion | 118 |
| 7 | Ökologische Bewertung | 119 |
| 7.1 | Einleitung | 119 |
| 7.2 | Rohstoffbereitstellung und Dämmstoffproduktion | 121 |
| 7.2.1 | Landwirtschaftliche Hauptprodukte | 121 |
| | <i>Flachs</i> | 121 |
| | <i>Hanf</i> | 123 |
| 7.2.2 | Landwirtschaftliche Nebenprodukte | 124 |
| | <i>Schafwolle</i> | 124 |
| 7.2.3 | Holz | 124 |
| | <i>Holzfaser und Holzwolle</i> | 124 |
| 7.2.4 | Recyclingrohstoffe | 125 |
| | <i>Zellulose</i> | 125 |
| 7.2.5 | Importrohstoffe | 125 |
| | <i>Kork</i> | 125 |
| | <i>Baumwolle</i> | 126 |
| | <i>Schilf</i> | 127 |
| 7.2.6 | Konventionelle Produkte | 127 |
| | <i>Mineralwolle</i> | 127 |
| | <i>Polystyrol</i> | 128 |
| | <i>Polyurethan</i> | 129 |
| 7.3 | Ökotoxikologie wichtiger Zusatzstoffe | 130 |
| 7.3.1 | Borsäure und Borate als Flammschutzmittel | 130 |
| 7.3.2 | Bitumen | 133 |
| 7.4 | Zusammenfassung und Diskussion | 134 |
| 7.5 | Zusammenfassende Bewertung | 136 |
| 8 | Expertenbefragung zur Nutzung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 137 |
| 8.1 | Einleitung | 137 |
| 8.2 | Erfahrungen und Einschätzungen zum Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 138 |
| 8.2.1 | Einsatzgebiete | 138 |
| 8.2.2 | Verwendungsgründe und Hemmnisse | 140 |
| 8.3 | Erfahrungen und Einschätzungen zur qualitativen Bewertung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 144 |
| 8.4 | Zu leistende Forschungs- und Entwicklungsarbeit | 147 |
| 8.5 | Zusammenfassung und Diskussion | 148 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9 | Entsorgung und Wiederverwertung von Dämmstoffen | 151 |
| 9.1 | Einleitung | 151 |
| 9.2 | Rechtliche Rahmenbedingungen | 152 |
| 9.2.1 | Regelungen zur Abfall- und Kreislaufwirtschaft | 152 |
| 9.2.2 | Regelungen zur Kompostierung | 153 |
| | <i>Entwurf der Bioabfallverordnung</i> | 153 |
| | <i>Entwurf DIN 54900</i> | 154 |
| 9.3 | Maßgebende Kriterien beim Recycling | 154 |
| 9.3.1 | Materialwert-Kriterium | 154 |
| 9.3.2 | Mengen-Kriterium | 155 |
| 9.4 | Recycling von Dämmstoffen | 156 |
| 9.4.1 | Recycling von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 156 |
| | <i>Flachs</i> | 156 |
| | <i>Holzwolle und Holzfasern</i> | 156 |
| | <i>Schafwolle</i> | 156 |
| | <i>Zellulose</i> | 157 |
| | <i>Kork</i> | 158 |
| 9.4.2 | Recycling konventioneller Dämmstoffe | 158 |
| | <i>Steinwolle</i> | 158 |
| | <i>Glaswolle</i> | 159 |
| | <i>Polystyrol</i> | 159 |
| | <i>Polyurethan</i> | 159 |
| 9.5 | Thermische Verwertung | 160 |
| 9.5.1 | Verbrennung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen | 160 |
| 9.5.2 | Verhalten von Zusatzstoffen bei der Verbrennung | 164 |
| 9.5.3 | Verbrennungskapazitäten | 165 |
| 9.6 | Deponierung | 165 |
| 9.6.1 | Ablagerung auf Deponien | 165 |
| | <i>Deponieklasse 1</i> | 166 |
| | <i>Deponieklasse 2</i> | 166 |
| 9.6.2 | Deponierung von Wärmedämmstoffen | 166 |
| 9.7 | Kompostierung | 167 |
| 9.7.1 | Kompostierung biogener Dämmstoffe | 168 |
| | <i>Borverbindungen</i> | 169 |
| | <i>Kautschuk</i> | 170 |
| | <i>Stützfasern</i> | 170 |
| 9.8 | Selektiver Gebäuderückbau | 170 |
| 9.9 | Zusammenfassung und Diskussion der Entsorgungswege | 171 |
| 10 | Ökonomische Bewertung von Dämmstoff-Produktlinien aus nachwachsenden Rohstoffen | 175 |
| 10.1 | Rohstoffkosten im Bereich der land- und forstwirtschaftlichen Produktion | 175 |
| 10.1.1 | Kosten und Deckungsbeiträge des Flachs- und Hanfanbaues | 176 |
| | <i>Flachs</i> | 177 |
| | <i>Hanf</i> | 178 |
| 10.1.2 | Preise von Holz zur Dämmstoffherstellung | 181 |
| 10.1.3 | Preise für Zellulose aus Altpapier | 181 |
| 10.1.4 | Kosten für sonstige Rohstoffe | 181 |
| 10.2 | Kosten der Rohstoffaufbereitung / Vorverarbeitung | 182 |
| 10.2.1 | Faser- und Schäbengewinnung aus Flachs und Hanf | 182 |
| 10.2.2 | Gewinnung von Holzfasern | 186 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 10.2.3 | Aufbereitung von Schafwolle | 186 |
| 10.2.4 | Vorverarbeitung von Stroh zu Strohhäcksel | 186 |
| 10.2.5 | Vorverarbeitung von Schilf | 187 |
| 10.3 | Dämmstoffherstellungskosten | 187 |
| 10.3.1 | Matten- und Vliesherstellung | 187 |
| 10.3.2 | Herstellung von Platten aus Holz und Zellulose | 189 |
| 10.3.3 | Herstellung von Schüttungen und Einblasdämmstoffen | 190 |
| 10.4 | Kosten der Verwertung und Entsorgung von Dämmstoffen | 191 |
| 10.4.1 | Verwertung | 191 |
| | <i>Recycling</i> | 191 |
| | <i>Kompostierung</i> | 192 |
| | <i>Thermische Verwertung</i> | 192 |
| 10.4.2 | Entsorgung | 193 |
| | <i>Verbrennung</i> | 193 |
| | <i>Deponierung</i> | 193 |
| 10.5 | Ökonomische Gesamtbewertung | 194 |
| 10.5.1 | Wettbewerbsfähigkeit nachwachsender Rohstoffe für Dämmstoffe versus Anbau anderer Pflanzen | 194 |
| 10.5.2 | Wettbewerbsfähigkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen versus konventionellen Dämmstoffen | 195 |
| 10.5.3 | Produktlinienvergleich | 196 |
| | <i>Flachsfaser-Dämmmatte</i> | 196 |
| | <i>Dämmstoffplatten aus Zellulose und Holzfasern</i> | 197 |
| | <i>Schüttungen aus Zellulose</i> | 198 |
| 10.6 | Diskussion | 199 |
| 10.7 | Zusammenfassung | 200 |
| 11 | Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen | 203 |
| 11.1 | Kostenreduktion | 203 |
| 11.1.1 | Rohstoff- und Produktionskosten | 204 |
| | <i>Produkte auf Flachsbasis</i> | 204 |
| | <i>Hanffasern</i> | 205 |
| | <i>Infrastruktur für die Bastfaserverarbeitung</i> | 205 |
| | <i>Hanfschäben</i> | 206 |
| | <i>Schafwolle</i> | 206 |
| | <i>Getreidestroh</i> | 207 |
| | <i>Holz</i> | 207 |
| | <i>Zellulose</i> | 208 |
| | <i>Der Rohstoffmarkt - Chancen für heimische Rohstoffe</i> | 208 |
| 11.1.2 | Zulassungs- und Überwachungskosten | 209 |
| | <i>Brandklasse</i> | 210 |
| | <i>Der Einfluß von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit</i> | 210 |
| 11.1.3 | Baukonstruktion und -kosten | 211 |
| | <i>Wärmeleitfähigkeit</i> | 211 |
| | <i>Brandschutz</i> | 211 |
| | <i>Haltbarkeit</i> | 212 |
| 11.1.4 | Marketing | 212 |
| 11.2 | Maximierung der Vorteile für den Verbraucher | 213 |
| 11.2.1 | Gesundheitliche Vorteile | 213 |
| | <i>Feuchtigkeitsausgleich</i> | 213 |
| | <i>Faserstaub</i> | 214 |

| | | |
|--------|---|------------|
| | <i>Toxische Emissionen</i> | 214 |
| 11.2.2 | Schalldämmung und Wärmeschutz (außer Wärmedämmung <i>per se</i>) | 214 |
| 11.3 | Umwelt (externe) Vorteile | 215 |
| 11.4 | Schlußwort | 217 |
| 12 | Zusammenfassung | 219 |
| 13 | Summary | 223 |
| 14 | Literaturverzeichnis | 227 |
| 15 | Anhang | 243 |
| | <i>Teil I</i> | 245 |
| | <i>Teil II</i> | 251 |
| | <i>Teil III</i> | 257 |

Abkürzungen

| | |
|------------------|---|
| B | Bor |
| BAW | Biologisch abbaubare Werkstoffe |
| (BImSchG) | Bundesimmissionsschutzgesetz |
| DüngeMG | Düngemittelgesetz |
| EPS | Expandiertes Polystyrol |
| FNK | Kommission für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs |
| GDI | Gesamtverband Dämmstoffindustrie |
| GJ | Gigajoule |
| HDI | Hexamethylendiisocyanat |
| IBO | Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie |
| IFB | Institut für Bauforschung e. V. |
| IGV | Institut für Getreideverarbeitung GmbH |
| IPDI | Isophorondiisocyanat |
| KMF | künstliche Mineralfaser |
| KrW-/AbfG | Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (Oktober 1996) |
| kWh | Kilowattstunde |
| LAGA | Länderarbeitsgemeinschaft Abfall |
| LC ₅₀ | letale Konzentration, die zum Tod von 50 % der Versuchstiere führte |
| MAK | maximale Arbeitsplatzkonzentration, Grenzwert für Gefahrstoffe am Arbeitsplatz |
| MDF | mitteldichte Faserplatten |
| MDI | Diphenylmethandiisocyanat |
| MF | Melanin-Formaldehydharz |
| mg | Milligramm |
| µm | Mikrometer |
| Mio | Millionen |
| MJ | Megajoule |
| mM | Millimol |
| NDI | Naphthylendiisocyanat |
| PAK | polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PF | Phenol-Formaldehydharz |
| ppm | (<i>parts per million</i>) 0,0001 % bzw. mg kg ⁻¹ bzw. ml m ⁻³ |
| PS | Polystyrol |
| PUR | Polyurethanschaum |
| TA Abfall | Technische Anleitung Abfall |
| TA Luft | Technische Anleitung Luft |
| TDI | Toluendiisocyanat |
| TRGS | Technische Regel für Gefahrstoffe nach Gefahrstoffverordnung |
| TRK | technische Richtkonzentration, die Konzentration eines gefährlichen Stoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff am Arbeitsplatz, die nach dem Stand der Technik zur Minderung des Gesundheitsrisikos erreicht werden kann |
| TS | Trockensubstanz |
| WGK | Wassergefährdungsklasse, Einstufung in 4 Klassen gemäß Wasserhaushaltsgesetz. |
| WHG | Wasserhaushaltsgesetz |
| WLG | Wärmeleitfähigkeitsgruppe |

1 Einleitung und Zielsetzung - Rahmenbedingungen zur Entwicklung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Murphy¹, D.P.L., Jäger², Ch., Behring¹, H.

Von der industriellen Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus Land- und Forstwirtschaft wird die Lösung komplexer landwirtschaftlicher, wirtschaftlicher und ökologischer Probleme erwartet. Diese Hoffnung basiert auf der Annahme, daß die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen auf Ackerland eine brauchbare Alternative zur Nahrungsmittelproduktion ist, umweltfreundliche Rohstoffe an die ökologisch orientierten Industriezweige liefern und die wirtschaftliche Aktivität der Landwirtschaft erhöhen könnte. Die Produktion von Dämmstoffen ist eine Option mit vielen Vorteilen. Eine Energieeinsparung und damit eine Minderung des Treibhauseffektes wird durch Produktlinien mit geringerem Energiebedarf erreicht (z. B. durch das Ersetzen der energieaufwendigen Polystyrolherstellung oder Mineralfaserproduktion). Bessere Wiederverwendungsmöglichkeiten (Stichwort: Recycling) mindern den Verbrauch endlicher Ressourcen. Die gezielte Nutzung bestimmter Rohstoffe könnte die Abfallmengen in Deponien vermindern. Die Förderung (Ausdehnung) von weniger angebauten Kulturpflanzen (z. B. Flachs oder Hanf) verbessert die ländliche Umwelt, und regionale Pflanzenverarbeitung könnte die wirtschaftliche Aktivität und Attraktivität im ländlichen Raum erhöhen.

1.1 Die Entwicklung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe in Europa

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des Anbaus nachwachsender Rohstoffe können als Antwort auf die Ölkrise 1973-1974 zurückverfolgt werden. In den folgenden Jahren wurde ein deutlicher Schwerpunkt auf eine wachsende Unabhängigkeit von importiertem Mineralöl gelegt. Bioethanol als Benzinzusatzstoff wurde als Nutzungsmöglichkeit von Nahrungsmittelüberschüssen bei gleichzeitiger Produktion eines Ersatzstoffes für Mineralöl angesehen. Im Laufe der Zeit wurde der geringe Energiegewinn bei gleichzeitig hohem Subventionsbedarf der Ethanolproduktion erkannt, und das Interesse an der Produktion von Biodiesel stieg. Biodiesel hat im Vergleich zu Ethanol eine günstigere Energiebilanz und eine höhere Ausbeute an Energie. Raps für Biodiesel ist in Deutschland die vorherrschende Pflanze bei den nachwachsenden Rohstoffen und machte 1997 rund 60 % der auf Stilllegungsflächen angebauten nachwachsenden Rohstoffe aus. Diese Entwicklung wurde unterstützt, weil die Produktion und Verarbeitung von Raps Märkte für die Landwirtschaft erschließt und sich gut in bestehende Produktionssysteme einfügt. Trotz der günstigen Energiebilanz und anderen Umweltvorteilen wird der Anbau nachwachsender Rohstoffe im allgemeinen und im besonderen für Biodiesel zunehmend kritisiert (LEMKE und HÖFKEN 1995, WINTZER *et al.* 1993). Die Diskussion um nachwachsende Rohstoffe, ausgehend von der einfachen Notwendigkeit eine Nutzungsmöglichkeit für überschüssiges Ackerland zu finden, hat sich weiterentwickelt und verändert. Gegenwärtig bestimmen drei Hauptfaktoren die Entwicklung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe:

1. Die Erkenntnis, daß in Industriegesellschaften wie Deutschland Ackerflächen begrenzt sind
2. Die Forderung nach der Verminderung von Umweltbelastungen
3. Die Suche nach Möglichkeiten für wirtschaftliche Produktlinien.

Die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Produkte, wie die Herstellung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wird von einigen gegenüber einer energetischen Nutzung von Biomasse bevorzugt (LEMKE und HÖFKEN 1995). Anstatt Biomasse zur Gewinnung von Energie zu verbrennen, sollte Biomasse zu Biomaterialien veredelt werden.

1.2 CO₂-Minderung, Abfallwirtschaft und industrielle Ökologie

Der momentane Anreiz, den Gebrauch unserer endlichen Ressourcen, insbesondere fossiler Brennstoffe, einzuschränken, geht weniger von den schwindenden Reserven als vielmehr von der Sorge aus, daß unsere Umwelt nicht die Kapazität hat, die resultierenden Emissionen aufzunehmen. Das deutsche CO₂-Minderungsprogramm ist eine Reaktion hierauf. Es zielt darauf ab, die CO₂-Emissionen des Niveaus von 1987 um 25 % zu reduzieren. Die begrenzte Kapazität von Ökosystemen, Abfallstoffe aufzunehmen, ist auch die treibende Kraft hinter dem Bestreben, Materialien wiederzuverwerten (FRITZ *et al.* 1994). Die Kombination von Bedenken resultierte in einer steigenden Nachfrage für nachhaltige industrielle Produktion, Verbrauch und Abfallsysteme. Dies wird zusammengefaßt in dem Ausdruck "industrielle Ökologie" (GRAEDEL 1994). Die Produkte einer solchen Industrie, "ökologische Produkte", verbrauchen bei ihrer Produktion ein Minimum an Ressourcen und erzeugen ein Minimum oder gar keinen Abfall. Der Anreiz, solche Produkte anzubauen, herzustellen und anzubieten, ist heute stark beeinflusst durch das Interesse des Käufers an solchen Produkten, Prozessen oder Dienstleistungen. Der wachsende Trend zum ökologischen Bauen in Deutschland ist ein hervorragendes Beispiel eines Marktes, wo ein ökologischer Ansatz für eine industrielle Produktion nachgefragt und unterstützt wird. Die meisten Hersteller von Dämmstoffen auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen werben damit, daß ihre Produkte "ökologisch" oder umweltfreundlich sind, und daß die Käufer damit die (industrielle) Ökologie unterstützen. Diese Ansprüche können ein wichtiger Anreiz bei der Vermarktung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sein.

1.3 Prioritäten für die Produktentwicklung

Bei den gegenwärtigen Preisen ist es für erneuerbare Materialien nur sehr selten möglich, ohne Subventionen, Steuererleichterungen oder einen Marktvorteil durch den "ökologischen Bonus" wettbewerbsfähig zu sein. Bei der Annahme, daß sowohl die Ackerflächen als auch die finanziellen Ressourcen begrenzt sind, werden Politiker und Gesellschaft wahrscheinlich den Produktlinien mit dem geringsten Subventionsbedarf den Vorzug geben. Ein höherer Preis wird außer in einem kleinen Nischenmarkt mittel- bis langfristig nur dann realisiert werden können, wenn die Produkte zusätzlichen nachweisbaren Nutzen für die Verbraucher bieten.

Wenn die oben diskutierten Faktoren zugrundegelegt werden, kann man die Anforderungen für nachhaltige Akzeptanz neuer industrieller Produktlinien für Pflanzenmaterialien wie in Abbildung 1.1 zusammenfassen.

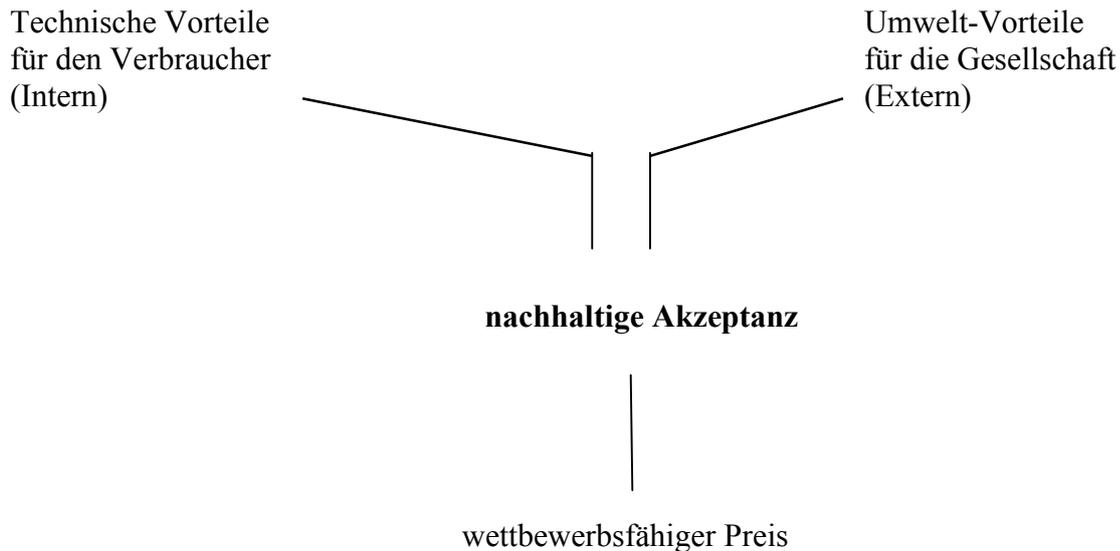


Abbildung 1.1: Bedingungen für eine nachhaltige Akzeptanz von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen

Es ist sehr unwahrscheinlich, daß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen allein über den Preis mit konventionellen Materialien erfolgreich konkurrieren können. Daher ist es wünschenswert und notwendig, daß diese Produkte gegenüber den billigeren herkömmlichen Produkten technische und umweltrelevante Vorteile besitzen. Höhere Produktionskosten (im Vergleich zu den nicht erneuerbaren Alternativen) können nur dann durch höhere Marktpreise aufgefangen werden, wenn das Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen technische und qualitative Vorteile für Hersteller und Verbraucher gewährleistet.

Eine andere Möglichkeit bietet die Ausnutzung der Bereitschaft der Käufer, einen höheren Preis für umweltfreundliche Produkte zu zahlen. Diese Bereitschaft ist jedoch nur in bestimmten Grenzen gegeben. Der Einsatz von Subventionen oder steuerlichen Vergünstigungen als Honorierung für die positiven ökologischen Eigenschaften ist eine weitere Möglichkeit, die Kostenlücke zwischen konventionellen und Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen zu schließen. Auf lange Sicht wird die Bereitschaft der Gesellschaft zur Subventionierung von nachwachsenden Rohstoffen von überprüfbaren ökologischen Vorteilen abhängen.

Die Wahl der Produktionsstrategien soll die oben genannten Faktoren berücksichtigen und versuchen:

- Kosten zu minimieren.
- Produkte mit geprüften bautechnischen Vorteilen für Hersteller und Verbraucher zu fördern.
- Umweltbelastende Produkte durch umweltfreundlich hergestellte Produkte zu ersetzen.

Die Zielsetzung der Studie ist eine objektive Bewertung der verfügbaren Informationen über eine Nutzung oder potentielle Nutzung heimischer nachwachsender Rohstoffe als

Dämmstoffe. Die Studie geht der Frage nach, in welchem Umfang die Produktion von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen die oben beschriebenen Ziele in technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Hinsicht schon erreicht hat oder in Zukunft erreichen kann.

Diese Studie soll Aufschluß über die zu leistende Entwicklungsarbeit geben und damit zur künftigen Entwicklungsstrategie beitragen durch:

- Analyse und Identifikation von Hemmnissen
- Optimierungs- und Lösungsvorschläge
- Handlungsbedarf für Verwaltung, Industrie, Forschung und Landwirtschaft.

2 Grundlagen der Schall- und Wärmedämmung

Steffens⁴, H., Kuntz⁴, S., Murphy¹, D.P.L.

Dämmstoffe des allgemeinen Hochbaus ordnen sich unter dem Betrachtungsansatz des Raumklimas in einen bauphysikalischen Zusammenhang ein. Sie sollen dazu unter möglichst geringem Energieaufwand eine maximale Wirkung erzielen. Es muß sich daher mit dem bauphysikalischen Anforderungsprofil der Dämmstoffe auseinandergesetzt werden. Die Bauphysik befaßt sich mit den physikalisch begründeten Erscheinungen an und in Gebäuden. Ihre Erkenntnisse sollen für den Gebäudenutzer ein unter möglichst allen Bedingungen, Sommer wie Winter, angepaßtes, optimales Raumklima sichern und gewährleisten. So soll es weder zu Beeinträchtigungen der Gesundheit der Nutzer, noch zu Schäden am Gebäude oder an Bauteilen kommen. Die Bauphysik umfaßt dazu die verschiedenen Teilbereiche:

Wärmeschutz,
Feuchteschutz,
Schallschutz,
Brandschutz.

Dieses Kapitel gibt Überblick über die produkttechnischen Seiten der Dämmstoffe.

2.1 Raumklima

Ein Raum soll behaglich sein, um von seinen Bewohnern oder Nutzern als physisch angenehm empfunden zu werden. Diese Behaglichkeit wird besonders von den unmittelbar wahrnehmbaren Klimabedingungen Raumtemperatur, Luftfeuchte und Luftbewegung beeinflusst. In Wohnräumen wird eine Lufttemperatur von 20 °C und eine Temperatur der Umfassungsflächen von 17 °C bis 18 °C als behaglich empfunden. Um diesen Zustand zu erhalten, ist eine ausreichende Wärmedämmung dieser Flächen gegen Kälteeinfluß notwendig. Größere Temperaturdifferenzen lösen zusätzlich im Wärmeübergangsbereich der Wandoberflächen Luftströmungen aus. Dieses wird vom Menschen als "zugig" empfunden.

Eng mit der Raumtemperatur verknüpft ist die relative Luftfeuchtigkeit. Je nach körperlichem "Aktivitätsgrad" der Nutzer bzw. der Raumfunktion wird eine relative Luftfeuchte zwischen 40 % und 70 % als angenehm empfunden. Eine kleine prozentuale Luftfeuchte bedeutet trockene Luft, was eine Staubaufwirbelung (Keime, Milben, Sporen usw.) begünstigt. Dies kann zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Häufig tritt der Zustand im Winter, also in der Heizperiode auf, wenn zu häufig über Fenster oder undichte Konstruktionen (zwangs-) gelüftet wird. Die Zuluft hat dabei eine sehr geringe Luftfeuchte. Zu feuchte Luft oder oberflächliche Tauwasserfeuchte ermöglicht ein Niederschlagen von Pilzsporen der Raumluft an feuchten Bauteilflächen. Daraus resultiert in aller Regel nicht nur Unansehnlichkeit der Bauteilflächen, sondern vielmehr noch die Beeinträchtigung der Gesundheit in vielfältigster Weise. Bestimmte Pilzarten lassen sich oftmals nur durch radikales Entfernen der sie tragenden Schichten oder Bauteile bekämpfen. Weiterhin behindert zu feuchte Raumluft die kontinuierliche Abgabe von menschlicher Körperfeuchtigkeit, was eine als unangenehm empfundene Schwüle entstehen läßt. Abbildung 2.1 stellt nach ARUNDEL *et al.* (1986) qualitativ einige Wirkungen unterschiedlicher Luftfeuchten dar.

Wenn das Raumklima unter der Prämisse der Behaglichkeit für die Bewohner steht, dann findet auch der Schallschutz dort seinen Platz. Ihm wird große Bedeutung für Gesundheit und Wohlbefinden beigemessen. Überall, wo der Mensch sich "konzentriert" und längere Zeit aufhält, ist er in angemessener (im Sinne von technisch machbarer und bezahlbarer) Form

notwendig. Der Wohnbereich hat dabei zur Schaffung und Bewahrung einer Privatsphäre, als Ruhe- und Entspannungsraum den größten Stellenwert. Auch Schulen, Krankenhäuser, Beherbergungsstätten und Bürobauten bedürfen eines besonderen Schutzes.

Für die Betrachtung der möglichen Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind der Wärme- und der Schallschutz die angeforderten bauphysikalischen Hauptfunktionen.

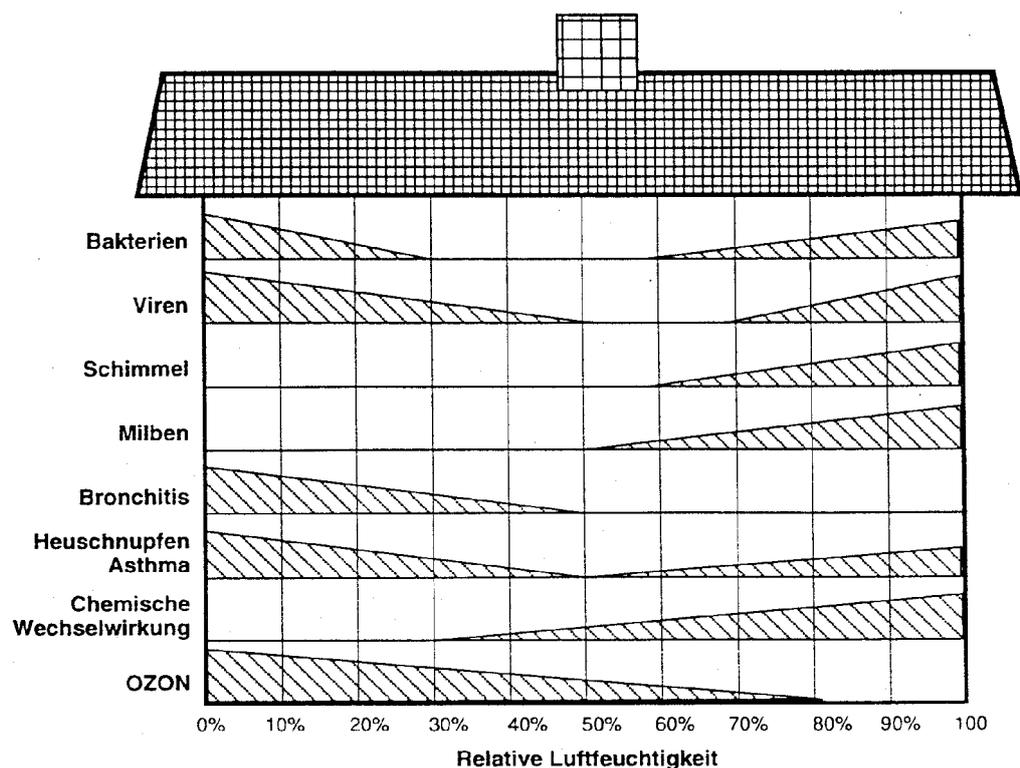


Abbildung 2.1: Die optimale relative Luftfeuchtigkeit, um das Krankheitsrisiko zu mindern (ARUNDEL *et al.* 1986)

2.2 Grundlagen des Wärmeschutzes und des Tauwasserschutzes

Für einen Wärmeschutz ist, um bautechnischen Anforderungen zu genügen, die Wärmedämmeigenschaft eines gesamten Bauteils entscheidend. Jedoch wird diese Eigenschaft hier, im Gegensatz zur Schalldämmung, maßgeblich durch die Stoffeigenschaft jedes einzelnen Baustoffs, und im besonderen des Wärmedämmstoffs, bestimmt. Die Dämmwirkungen der bauteilbildenden Schichten können zu einem Gesamtdämmergebnis addiert werden. Mit der Wärmeleitung gehen auch physikalisch ähnliche temperaturabhängige Feuchtetransportprozesse einher. Zum Schutz vor Wärmeverlusten und Bauschäden müssen Feuchtigkeitskonzentrationen im Bauteil vermieden werden.

2.2.1 Wärmedämmstoff - bestimmende Stoffeigenschaften

Wärmedämmstoffe sind Baustoffe, die als Folge ihres physikalischen Materialaufbaus insbesondere den Wärmedurchgang, auch Wärmetransmission bezeichnet, verringern. Die Dämmwirkung beruht auf der Einlagerung von Luft oder anderen Gasen in einem porösen Stoffgefüge. Man kann daraus folgern, daß die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffs demnach zwischen der des Feststoffes und der des Gases liegt. Auch kann pauschalisierend gesagt werden, daß mit einer geringen Rohdichte ein gutes Wärmedämmvermögen einhergeht. Allerdings sollen die Hohlräume möglichst nach außen abgeschlossen sein, damit eine Luft- bzw. Gasströmung zum Wärmetransport (Konvektion) verhindert wird. Wärmedämmstoffe kommen in der Praxis als körnige oder flockige, lose Schüttungen, in faserig verbundener, geschäumter oder gepreßter Textur als Matten, Vliese, Filze und Platten vor.

Als elementarer produktspezifischer Materialkennwert zur Klassifizierung der Wärmeleitfähigkeit wurde die Wärmeleitfähigkeitszahl λ_R (W/m·K) eingeführt. Sie wird oft auch Wärmeleitzahl oder Wärmeleitkoeffizient genannt und gibt die Wärmemenge (physikalisch: Wärmestromdichte q (W·m⁻²)) an, die aufgrund einer Temperaturdifferenz von 1 K zwischen den gegenüberliegenden Oberflächen eines Baustoffs von je 1 m² Fläche und 1 m Dicke pro Sekunde übertragen wird. Zum Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Stoffe soll Tabelle 2.1 dienen.

Tabelle 2.1: Beispiele für λ_R nach DIN 4108, T.4 bzw. (USEMANN und GRALLE 1997)

| Stoff | λ_R (W/m·K) | Verhältnis der λ_R -Werte |
|--|-------------------------|-----------------------------------|
| Stahl | 60 | 1500 |
| Normalbeton | 2,1 | 52 |
| Nadelholz | 0,130 | 3 |
| Faserdämmstoffe, Hartschäume, u.a. | 0,040 | 1 |
| Pulverschnee *) ($\lambda \approx (\rho_{\text{Schnee}})$) | $\lambda \approx 0,040$ | 1 |

Aus der Definition der Wärmeleitzahl läßt sich die Forderung ableiten, daß λ_R für einen geringen Wärmetransport ($\hat{=}$ geringer Wärmestromdichte) möglichst klein sein muß. Der Rechenwert (deshalb Index "R") der Wärmeleitfähigkeit λ_R wird je nach Anwendungsfall über, in der DIN Norm DIN 52612 "Wärmeschutztechnische Prüfungen - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät", angegebene Prüfverfahren und eine dort auch bestimmte Umrechnung der Prüfergebnisse ermittelt. Die DIN-Norm legt dazu fest, daß in mindestens 3 Versuchen bei der jeweils trockenen Dämmstoffprobe von 10 °C Mitteltemperatur die Wärmeleitung gemessen wird. Die Proben entstammen amtlichen bzw. legitimierten Entnahmen im Rahmen der Güteüberwachung. Durch die Messung ergibt sich zunächst die Wärmeleitfähigkeit als allgemein vergleichbarer Laborwert $\lambda_{10, \text{tr}}$. Einflüsse aus Temperatur, Stoffeuchte (erfaßt durch materialabhängige Zuschläge) und Schwankungen der Stoffeigenschaft werden in der Umrechnung zu λ_R berücksichtigt.

Der Rechenwert bedarf der rechtlichen Festsetzung durch den zuständigen Arbeitsausschuß im Normenausschuß Bau (NABau). Die anerkannten Rechenwerte werden dann im amtlichen Bauanzeiger bzw. im Teil 4 der DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" als Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit λ_R veröffentlicht. Nur so dürfen sie für die in DIN 4108 bzw. der Wärmeschutzverordnung des Bundes von 1995 (WSVO'95) angegebenen Berechnungsgrundlagen und Nachweisverfahren verwendet werden.

Die Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen wird durch deren Rohdichte ρ und deren Eigenfeuchtegehalt beeinflusst. Für die rechnerische Bemessung einer Dämmung ist der baupraktische Zustand, einem normal ausgetrockneten Bauwerk entsprechend, entscheidend. Das bedeutet, daß für die Bestimmung von λ_R der praktische Feuchtegehalt (Gleichgewichtsfeuchte), die Bezugsfeuchte und die Dauerfeuchte zu berücksichtigen sind. Der praktische Feuchtegehalt ist in der Literatur allgemein nach J. S. CAMMERER definiert: "Unter praktischem Feuchtegehalt versteht man den Feuchtegehalt, der bei der Untersuchung genügend ausgetrockneter Bauten, die zum dauernden Aufenthalt von Menschen dienen, in 90 % der Fälle nicht überschritten wurde". Diese Feuchte ist für einen Baustoff typisch, da ein enger Zusammenhang zur relativen Luftfeuchtigkeit besteht. Es lassen sich baustoffspezifische Sorptions-Isothermen angeben, welche die absorbierte Feuchte in Abhängigkeit zur umgebenden relativen Luft- bzw. Lagerungsfeuchte angeben (Abbildung 2.2 nach GÖSELE *et al.* 1997).

Absorptionsmessungen zur Kennzeichnung der Bezugsfeuchte eines Baustoffs werden nach DIN 52620 "Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen (1991)" bei 80 % relativer Luftfeuchte und 23 °C durchgeführt. Die Bezugsfeuchte gilt als Stoffkennwert und kann besser als die praktische Feuchte kontrolliert und überwacht werden. Deshalb wird für neue Baustoffe nur sie als Meßwert ermittelt. Für Baustoffe nach älterer Normung wird noch der praktische Feuchtegehalt verwendet und in der DIN 4108, T.4 angegeben. Das Maß für die enthaltene Wassermenge kann als massebezogene Feuchte u_m in % oder volumenbezogene Feuchte u_v in Prozent (%) angegeben werden. In der DIN-Norm wird sie für anorganische und und Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen volumenbezogen angegeben (LOHMEYER 1995).

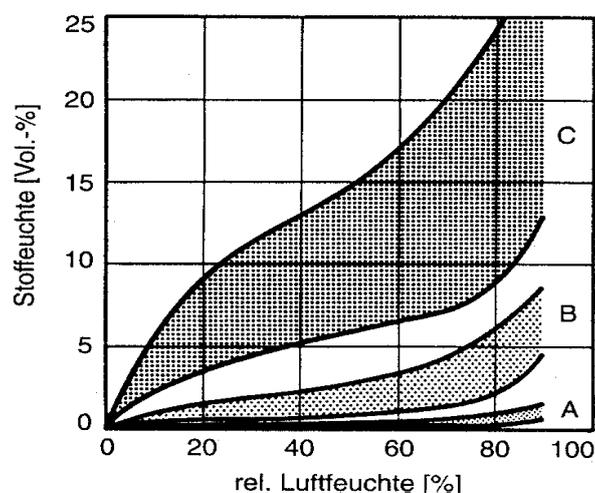


Abbildung 2.2: Bereiche von Sorptionskurven (Sorptionsfeuchte in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte bei 20 °C) von verschiedenen Stoffgruppen: A: Ziegel, Gips; B: Normal, Leicht- u. Porenbeton, KS-Stein; C: Holz, Papier, organische Faserstoffe (GÖSELE *et al.* 1997)

Die hier zu betrachtenden und im Diagramm dem Kurvenscharbereich C zugehörigen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen werden aufgrund ihrer Sorptionsfähigkeit auch hygroskopisch genannt. Es ist ablesbar, daß diese Stoffe im Vergleich zu solchen wie Mineralfaserwolle oder Schaumkunststoffen, hohe Ausgleichsfeuchten besitzen. Die mineralischen und petrochemischen Dämmstoffe werden deshalb unterhalb einer Grenze der massebezogenen Stofffeuchte von 0,5 Masse-% bei 80 % relativer Luftfeuchtigkeit als nicht hygroskopisch bezeichnet. Verläßt man nun den stationären Umgebungszustand und untersucht die zeitabhängige Änderung der Sorptionsfeuchte bei sich ändernder Umgebungsluftfeuchte

(instationärer Zustand), so kann festgestellt werden, daß sich sorptive Materialien, wie es Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind, durch Aufnahme oder Abgabe von Feuchtigkeit der Umgebungsfeuchte anzupassen versuchen (GÖSELE *et al.* 1997). Ob sich die innenliegenden Bauteilschichten an diesem Prozeß beteiligen, ist noch nicht ausreichend untersucht worden.

Bei feuchten Stoffen kann während der Messung eine Feuchteverlagerung bzw. -änderung stattfinden, wodurch der für die Messung angenommene stationäre Zustand streng genommen nicht erreicht wird. Bei niedrigen Feuchtegehalten, bei denen das Absorbens Wasser im Stoff nicht frei, sondern durch Sorption oder Kapillarkräfte mehr oder weniger gebunden ist, kann aber von einem "quasi-stationären" Zustand gesprochen werden. Mit unter diesen Bedingungen ermittelten Werten kann dann eine Betrachtung der massenfeuchtegehaltsabhängigen Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durchgeführt werden. GÖSELE *et al.* (1997) gehen davon aus, daß diese Erhöhung der Leitfähigkeit hauptsächlich durch die erhöhte Wärmeleitung des feuchten Materials bedingt ist und weniger durch Diffusionsvorgänge unter dem Einfluß des Temperaturgefälles bei der Messung, wie oft dargestellt wird. Diffusionsvorgänge würden den Wärmetransport vor allem bei höheren Feuchtegehalten, höheren Temperaturen und bei sehr dampfdurchlässigen Stoffen, wie sie z. B. mit faserigen Dämmstoffen existieren, beeinflussen. Die starke Erhöhung des Wärmedurchgangs durch Feuchtigkeitseinwirkung bei Mineralfaserwolle ist (jedoch) eindeutig durch Diffusion bedingt und kann nicht, wie dies früher oft geschehen ist, auf die Wärmeleitfähigkeit "umgesetzt" werden (GÖSELE *et al.* 1997).

Informationen über differenzierte genaue Auswirkungen der massebezogenen prozentualen Feuchte von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. Dämmstoffen allgemein lagen z. Z. nicht in ausreichendem Umfang vor. Lediglich LOHMEYER (1995) legt eine unbefriedigende Tabelle über den *volumenbezogenen prozentualen Feuchtezuwachs* in u_v zur 10%igen Wärmeleitfähigkeitszunahme weniger Stoffe vor. Allgemein wird dort die Empfehlung ausgesprochen, die Wärmeleitfähigkeit durch volumenbezogene Wasseraufnahme nicht um mehr als 10 % ansteigen zu lassen. ALBRECHT (1997) berichtet, daß die hohe Feuchteaufnahme der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen durch Wassereinlagerung von im Massebezug ca. 13 % (Baumwolle) bis 25 % (Zellulosefasern) nur eine Wärmeleitfähigkeitssteigerung von 1 % bis 7 % bedingt. Ein im Zusammenhang mit dieser Studie durchgeführter Test bestätigt dies. Die Wärmeleitfähigkeit eines Flachfaservlieses (30 kg m^{-3}) (nach einer Konditionierung 20 °C und 80 % rel. Luftfeuchte) wurde im trockenen und im konditionierten Zustand gemessen. Der Anstieg der Materialfeuchtigkeit um 11 % führte zu einer Zunahme der Wärmeleitfähigkeit um 4,6 %.

Die pauschale Erhöhung der Laborwärmeleitfähigkeit ($\lambda_{10, \text{tr}}$) bei Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen um 20 % resultierend aus der baurechtlich "durchführungsverordneten" DIN-Norm 52612 läßt sich durch einen entsprechenden Nachweis (Prüfungszeugnis) der realen feuchtebedingten Wärmeleitfähigkeitszunahme umgehen.

Die Wärmeleitfähigkeit unterliegt auch dem Einfluß der Temperatur. Sie nimmt bei den Dämmstoffen, wie bei allen Baustoffen mit der Temperatur zu. Das hat zwar für die baupraktischen Temperaturen keine Relevanz, ist jedoch für die Ermittlung der rechnerischen Wärmeleitfähigkeit zu berücksichtigen. Der Einfluß äußert sich z. B. bei Dämmstoffen mit einer Wärmeleitfähigkeit $< 0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ durch ein Ansteigen der Leitfähigkeit um bis zu 0,4 % pro $^{\circ}\text{C}$ Temperaturzunahme.

2.2.2 Berechnung des Wärmedurchgangs durch Bauteile

Der Wärmedurchgangskoeffizient k in $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, häufig nur k -Wert genannt, ist die wichtigste Kenngröße des Wärmeschutzes von Bauteilen und Gebäuden. Er kennzeichnet die Größe des Wärmedurchgangs durch ein Bauteil. Er findet Anwendung in den vergleichenden Nachweisen des Mindest- und des energiesparenden Wärmeschutzes mit den an ihn gestellten Anforderungen zur Verringerung der Transmissionswärmeverluste.

Für die Berechnung des Wärmedurchgangs muß der Wärmefluß und seine Transportmechanismen analysiert werden. Die Übertragung von Wärme von ihrem Trägermedium Luft auf die zugewandte Bauteiloberfläche erfolgt vorwiegend durch Konvektion und Strahlung. Im Bauteil bzw. in den den Aufbau bestimmenden Baustoffschichten geschieht der Wärmetransport durch Wärmeleitung.

Für den Einfluß der eigentlichen Bauteilschichten in der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten k wird der Wärmedurchlaßkoeffizient Λ in $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ bestimmt. Immer wieder wichtige Erwähnung findet dabei, daß dessen Berechnung unter der Annahme "stationärer" Verhältnisse, d. h. unter festen Temperaturen der Lufträume beiderseits des zu untersuchenden Bauteils, erfolgt. "Grob" betrachtet ergibt sich der k -Wert als Kehrwert aus der Addition der Quotienten der jeweiligen Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{R,i}$ eines Baustoffes mit seiner Bauteilschichtdicke s_i .

Folgerung ist, daß der Wärmeschutz eines Bauteils oder Gebäudes um so besser ist, je kleiner der Wärmedurchgang, d. h., je niedriger der k -Wert als Folge dickerer Bauteilschichten und sinkender λ -Werte ist. Rein auf die Baustoffeigenschaften bezogen ist es ebenfalls richtig zu sagen, daß sich der Wärmeschutz mit größer werdendem Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$ verbessert. Diesen Sachverhalt soll Abbildung 2.3 illustrieren.

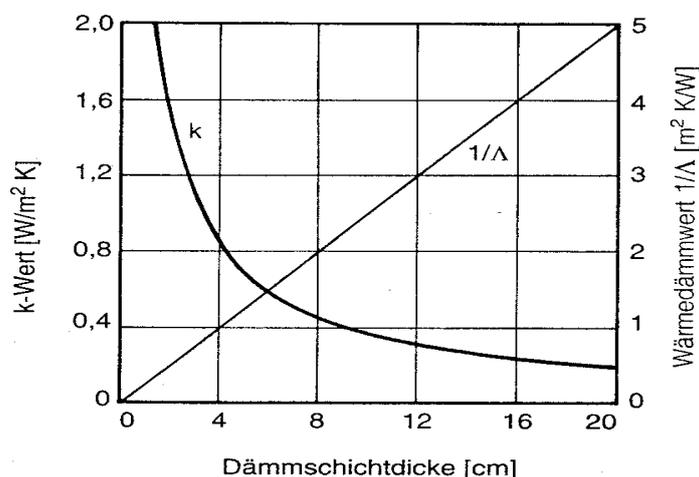


Abbildung 2.3: Zusammenhänge zwischen k -Wert bzw. $1/\Lambda$ -Wert und der Dämmschichtdicke bei $\lambda = 0,04 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ und Übergangskoeffizienten nach DIN 4108-4 (nach GÖSELE *et al.* 1997)

2.2.3 Tauwasserschutz

Der Tauwasserschutz ist in die Thematik des allgemeinen Feuchteschutzes von Konstruktionen einzuordnen. Der allgemeine Witterungsschutz spielt immer eine Rolle für eine gut funktionierende dauerhafte Außendämmung. Jede Art von Durchfeuchtung verändert die physikalischen Eigenschaften einer Dämmschicht. So findet eine Gewichtszunahme statt, welche sich auf die Rohdichte auswirkt und die Schallabsorptionseigenschaften durch Strukturveränderungen damit verschlechtern kann. Das Vorhandensein von Wasser, einem guten Wärmeleiter, kann ggf. durch das Füllen von Kapillaren, Poren und Hohlräumen, eine dichtere Struktur schaffen, die durch einen verschlechterten effektiven Wärmeleitwert die Wärmedämmung beeinträchtigt.

Der reale Feuchtehaushalt der Gebäudehülle entsteht aus einem komplexen und dynamischen Zusammenwirken der mit dem Auftreten von Feuchtigkeit bei Baustoffen einhergehenden Faktoren Sorption, Diffusion und Kapillarleitung. Aufgrund der alleinigen Nachweispflicht für die Tauwassergefahr durch Diffusionsvorgänge soll im weiteren nur auf diese weiter eingegangen werden, wenngleich ein feuchtesorptives Materialverhalten, wie es bei Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen vorhanden ist, einen Tauwasserausfall durch frühes "Abpuffern" verhindern kann. Diesem sorptiven Abpuffern sind jedoch die Grenzen der unzulässigen Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit ab einem bestimmten Feuchtegehalt, der notwendigen möglichst zügigen Abfuhrmöglichkeit der Feuchte aus der Konstruktion und der Zerstörungsgefahr der Baustoffe oder deren Funktion gesetzt.

Tauwassergefahr kann durch Ausfall an Bauteiloberflächen oder Ausfall im Bauteilinneren bestehen. Der Tauwasserschutz ist an die von der Wärmestromdichte q abhängigen unterschiedlichen Temperaturen in und an Baustoffschichten eines Bauteils geknüpft.

Luft hat abhängig von ihrer Temperatur ein bestimmtes Wasserdampfaufnahmevermögen. Durch die Wasseraufnahme übt die Luft einen sogenannten Dampfteildruck p in Pa bzw. $N \cdot m^{-2}$ auf ihre Umgebung aus. Die Temperatur, bei der die Luft die maximalmögliche Wassermenge aufnimmt und damit den temperaturabhängig maximalen Dampfdruck, den Wasserdampfsättigungsdruck p_s (Pa bzw. $N \cdot m^{-2}$), ausübt, wird Taupunkttemperatur (ϑ_s (°C)) genannt. Bei dieser Temperatur bzw. diesem Druck fällt das Wasser im baulichen Bereich in flüssiger Form als Tau (sonst auch als Nebel oder Regen) aus der Luft aus. Der Sättigungsdampfdruck fällt mit der Temperatur. Tabellen sind in der DIN 4108 enthalten.

Als Beispiel: Bei $\varphi = 100 \%$ und 20 °C Lufttemperatur sind durch die Luft maximal $17,3 \text{ g m}^{-3}$ Wasser aufnehmbar - bei 50% die Hälfte - also $8,65 \text{ g m}^{-3}$.

Grenzen Räume verschiedener Dampfdrücke aneinander, so ergibt sich ein Dampfdruckgefälle. Dieses führt bei Permeabilität der Raumgrenzen, in unserem Fall der raumtrennenden Bauteile, zu Dampfdruckausgleichsbestrebungen durch Diffusion. Gefährlich wird diese Ausgleichsbestrebung an lokalen Undichtigkeiten, wie z. B. (ausgerissenen) Nagellöchern in speziell als Diffusionsschutz eingebauten Dampfbremsen bzw. -sperren, die in der Regel aus einer dünnen Folie bestehen. Hier tritt konzentriert "luftgelöste" Feuchtigkeit (Wasserdampf) in die Konstruktion ein und kann dort, besonders in der Dämmung, bei entsprechender Kondensation Schäden hervorrufen.

Von noch größerem Format sind jedoch die Tauwasserausfälle, die infolge von Konvektionsluftströmungen lokal an Undichtigkeiten (Fugen, Löcher in der Windbremsfolie o. ä.) in der äußeren luftdicht konzipierten Konstruktionshülle auftreten. Dabei sind unter dem

Blickwinkel des Bauschadensrisikos Zugscheinungen, die bei windigem Wetter zu fühlen sind, noch als vergleichsweise harmlos einzustufen. Die auf der windzugewandten Seite einströmende Außenluft ist in der Regel trockener als die Raumluft. Sie erwärmt sich mit dem Durchströmen der Konstruktion, so daß konvektionsbedingte Feuchteschäden nicht entstehen. Auf der windabgewandten Seite des Hauses (bzw. Raumes) jedoch, tritt die jetzt mit Raumfeuchtigkeit "beladene" Luft infolge Staudruck wieder aus der Konstruktion aus. Sie kühlt dabei wieder ab und hinterläßt bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur die ehemals gelöste Feuchtigkeit lokal an diesen Austrittswegen. Wasserdampfkonvektion tritt genauso auch an windstillen kalten Wintertagen durch Thermikeffekte auf. Ihre tauwassermengenmäßige Dominanz gegenüber den Diffusionsströmungen wird mit den Ergebnissen von experimentellen Untersuchungen des Instituts für Bauphysik, Stuttgart, in Tabelle 2.2 aufgezeigt. Es wurde in der Untersuchung unter Normklima nach DIN 4108 an einem 14 cm dicken Mineralwollefilz ($\mu = 1$, s.u.) mit raumseitigen Luftdichtungsfolien, die mit definierten Spalten versehen waren, die Konvektion ermittelt. Es wird eine Auswahl der Meßwerte bei Gesamtdruckdifferenzen von 10 bzw. 30 Pascal ($= \text{N}\cdot\text{m}^{-2}$) angegeben, was etwa einem Winddruck von 3 - 4 Windstärken ($= 3 - 7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) auf ein Gebäude entspricht.

Tabelle 2.2: Wasserdampftransport durch Konvektion und Diffusion in $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$

| | Wasserdampfdurchgang pro Stunde |
|---|---|
| Dampfkonvektion bei 1 mm Fugenbreite 5 mm Fugenbreite | 16 bis 38 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$ Fugenlänge 42 bis 109 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$ Fugenlänge |
| Dampfdiffusion bei diffusionsoffenem Aufbau ($s_d = 0,9 \text{ m}$) *) diffusionsbremsendem Aufbau ($s_d = 3,7 \text{ m}$) *) diffusionsdichtem Aufbau ($s_d = 33,0 \text{ m}$) *) | 0,71 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ Bauteilfläche 0,17 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ Bauteilfläche 0,02 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ Bauteilfläche |

*) s_d : diffusionsäquivalente Luftschichtdicke

Nachweispflichtig ist jedoch, wie schon erwähnt, nur das Diffusionsverhalten einer Konstruktion. Dieses ist auch baustoffspezifisch leicht beschreibbar.

Die Diffusion ist in ihrer Größe abhängig vom Wasserdampfdiffusionsleitkoeffizienten δ ($\text{kg}\cdot(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})^{-1}$) der Baustoffe. Aus dem Quotienten der Schichtdicke s und δ wird der Wasserdampfdiffusionsdurchlaßwiderstand $1/\Delta$ ($(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})\cdot\text{kg}^{-1}$) berechnet. Aus dem Quotienten der Dampfteildruckdifferenz der Innen- und Außenluft und dem Durchlaßwiderstand kann wiederum nun eine Diffusionsstromdichte i ($\text{kg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$) bestimmt werden. Als baustoffspezifischen Kennwert, der wie der wärmetechnische λ -Wert in der DIN 4108-4 angegeben wird, hat man die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ (-) als Relativangabe festgelegt. Sie stellt den Verhältnisfaktor dar, mit dem eine Baustoffschichtdicke multipliziert werden muß, um diese als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d (m) auszudrücken und in das Berechnungsverfahren einfließen zu lassen. Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl gibt an, um wieviel geringer der Wasserdampfstrom durch eine Bauteilschicht ist, verglichen mit einer Luftschicht. Alle Faser-Dämmstoffe, ob als lose Flocken oder als Matten, liegen in einem Bereich von $\mu = 1 - 2$, also ähnlich dem der Luft mit $\mu = 1$. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen übersteigen in der Regel selten $\mu = 5$. Alle zur Berechnung zugelassenen Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen sind unter der Berücksichtigung von Meßgenauigkeits- und Stoffschwankungen als Rechenwerte μ_R angegeben. In der DIN 4108 bzw. der jeweiligen Produktzulassung sind häufig für die Bau- und Dämmstoffe zwei Werte

angegeben. Für den Tauwassernachweis ist der sich jeweils ungünstiger auswirkende zu verwenden.

Eine den Tauwasserschutzanforderungen entsprechende Konstruktion wird durch die Anordnung ihrer einzelnen Schichten bzw. die geeignete Auswahl der Baustoffe bestimmt. Je größer die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke ist, um so wasserdampfdiffusionsundurchlässiger ist die betreffende Bauteilschicht. Es besteht dazu die allgemeine Faustregel: Der Diffusionswiderstand der einzelnen Schichten sollte bei Diffusion von innen nach außen ebenfalls von innen nach außen abnehmen.

Im Zuge eines in Zukunft häufigeren konstruktionsbedingten Belüftungsverzichts unter der Witterungsschutzschicht (Dachziegel, Vorsatzschale, Dichtungsbahn) eines Außenbauteils und durch einen Philosophiewandel hin zur o. g. Faustregel, kommen immer mehr sogenannte Dampfbremsen innen und diffusionsoffene Bahnen außen zur Verwendung. Sie sollen mit einer definierten neuerdings sogar von der jeweils "anliegenden" Luftfeuchtdifferenz variablen ($s_d \approx 0,2 - 5 \text{ m}$) Diffusionsoffenheit dabei helfen, Tauwasser zu vermeiden, welches über Dampfdiffusionsvorgänge, Einbaufeuchte des Konstruktionsholzes oder in der Bauzeit witterungsbedingt Zugang in die Konstruktion findet. Diese Produkte sind zulassungspflichtig.

Auf den Nachweis des Tauwasserschutzes soll hier nicht weiter eingegangen werden. Er wird in DIN 4108 in den Teilen 3, 4 und 5 geregelt. Man stellt dazu den Tauwasseranfall der Tauperiode (Winter) einer Verdunstungsperiode (Sommer) bilanzierend gegenüber. Berechnungsgrundlage für die meisten Nachweisfälle bilden alte, jedoch noch als hinreichend genau eingestufte, rechnerisch-grafische Verfahren nach H. Glaser. Es sei jedoch angemerkt, daß sie lediglich zur vergleichenden Bewertung des Diffusionsaspektes verschiedener Konstruktionen herangezogen werden; reale Feuchttransportvorgänge können aufgrund der stationären Norm-Randbedingungen (diskrete Klimaannahmen für Winter und Sommer) nicht beschrieben werden. Genauere Untersuchungen unter der Berücksichtigung von mehr Parametern sind nur durch geeignete Rechenprogramme zu bewältigen. Dieses einzige bauaufsichtlich vorgeschriebene Verfahren ist ein Hemmnis für die Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.

2.2.4 Dämmstoffeinfluß auf den sommerlichen Wärmeschutz

Im Sommer und ganz allgemein in der wärmeren Jahreszeit besteht der Wunsch, die Wärmezufuhr von außen möglichst weitgehend zu begrenzen. Wärmeschutz im Sommer bedeutet daher, die auf zweierlei Weise stattfindenden Wärmegewinne in den Räumen möglichst klein zu halten. Jeder, der schon einmal im Sommer eines der üblich "gut beheizten" Dachgeschosse betreten hat, wird gerade hier die Relevanz der Thematik erkennen. Dachgeschosse bieten in der Regel zu wenig wirksame Speichermasse. Der äußere Wärmeeinfluß bedingt schnelle, vom Trennbauteil aus gesehen, einseitige Temperaturveränderungen. Um die sich über den Tag ändernden Lufttemperaturen und Bauteiloberflächentemperaturen zu berücksichtigen, wird daher bei Untersuchungen des sommerlichen Wärmeschutzes von instationären (= veränderlichen) Temperaturzuständen ausgegangen. Das bedeutet, daß sich die wärmeschutztechnische Wirkung eines Bauteils allein durch seinen Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$ nicht beschreiben läßt (KÖNIG 1998). In diesem Fall spielt das Wärmespeichervermögen des Bauteils eine entscheidende Rolle. Das bedeutet, daß außer der Dicke s und der Wärmeleitfähigkeit λ der Bauteilschichten, deren Rohdichte ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) und spezifische Wärmekapazität c ($\text{kJ}\cdot(\text{kg}\cdot\text{K})^{-1}$) in die Betrachtung miteinbezogen werden müssen. Die spezifische Wärmekapazität gibt dabei die Wärmemenge an, die benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen. Zur Anschauung wird in Tabelle

2.3 die Größenordnung anhand einiger Bau- und Dämmstoffe aufgezeigt. Der Tabelle kann entnommen werden, daß die organischen Dämm- bzw. Baustoffe durch ihre Wärmekapazität eine bessere stoffliche Anlage zur "Wärmepufferung" bieten, als z. B. ihre anorganische Dämmstoffkonkurrenz. Mit der Wärmekapazität werden für die Aussagen zum Speichervermögen andere charakteristische physikalische Größen gebildet. Das Wärmespeichervermögen q_s ($J \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$), als die in $1 m^2$ eines Bauteils bei $1^\circ C$ Übertemperatur gespeicherte Wärmemenge, wird bei homogenen Bauteilen durch die Multiplikation der Wärmekapazität, der Rohdichte und der Dicke s erhalten.

Für den Wärmestrom q_s in einen Stoff ist der Wärmeeindringkoeffizient b ($J \cdot (s^{0,5} \cdot m^2 \cdot K)^{-1}$) bestimmend. Das Aufheizen eines Raumes geschieht um so langsamer, je größer der Wärmeeindringkoeffizient der raumumschließenden Bauteile ist (LOHMEYER 1995). Eine Auswahl an Beispielwerten für a und b sind bei BRANDT und MORITZ (1995), LOHMEYER (1995) und LANGE (1997) zu finden.

Um das Verhalten oder die wärmetechnische Wirksamkeit eines Bauteils unter instationären Verhältnissen (veränderlichen Temperaturniveaus) zu beurteilen, kann das sogenannte Temperatur-Amplitudenverhältnis (TAV) und die Phasenverschiebung φ [h] verwendet werden. Das TAV ist das Verhältnis (Quotient) der maximalen Temperaturschwankung (Amplitude) an der inneren Oberfläche ($\vartheta_{i,0}$) zu einer sinusförmig vorgegebenen an der äußeren Oberfläche ($\vartheta_{a,0}$) eines Bauteils innerhalb einer Periode von 24 h. Die Phasenverschiebung gibt die zeitliche Verzögerung des Auftretens der Temperaturamplitude an der Innenseite zum Einwirken an der Außenseite an. Je kleiner das Amplitudenverhältnis ist, um so größer wird die Phasenverschiebung. Nach LANGE (1997) wird eine Verschiebung von 8-10 h, besser 12 h angestrebt. Die Phasenverschiebung spielt jedoch keine Rolle mehr, wenn das TAV so günstig ist, daß Temperaturschwankungen im Raum kaum mehr feststellbar sind.

Tabelle 2.3: Die spezifische Wärmekapazität nach DIN-Norm 4108-4

| Stoffe | spezifische Wärmekapazität c | |
|---|--------------------------------|-------------------------------------|
| | $J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$ | $W \cdot h \cdot (kg \cdot K)^{-1}$ |
| Anorganische Bau- und Dämmstoffe | 1000 | 0,28 |
| Mineralfaser | 830 | |
| Holz- und Holzwerkstoffe einschließlich Holzwolleleichtbauplatten | 2100 | 0,58 |
| Holzfaserplatten | 2700 | - |
| Pflanzliche Fasern und Textilfasern | 1300 | 0,36 |
| Zelluloseflocken /-Platten | 2200 / 2100 | - |
| Flachs (Fliese, Filze, lose) | 1500 | - |
| Hanfmatte | 1300 | - |
| Schafwolle | 1720 | - |
| Schaumkunststoffe und Kunststoffe | 1500 | 0,22 |
| Polystyrol (expand. u. extrud.) | 1400 | - |
| Luft | 1000 | 0,28 |
| Wasser | 4187 (≈ 4200) | 1,16 |

Es werden nach BRANDT und MORITZ (1995) empfohlen: für Außenwände $TAV \leq 0,15$, für Dachdecken $TAV \leq 0,10$. Das bedeutet, daß die täglichen Schwankungen der Temperatur auf den Außenoberflächen von Bauteilen nur bis zu 10 bzw. 15 % auf die raumseitige Oberfläche übertragen werden dürfen. In Veröffentlichungen (KÄSER 1997) wird ebenfalls häufig der Kehrwert des TAV, die Temperaturamplitudendämpfung (TAD), benutzt.

Allein das Wandgewicht als kennzeichnende Größe für die Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens von Wand und Deckenkonstruktionen heranzuziehen - sei es hinsichtlich des Aufheiz- und Auskühlverhaltens oder hinsichtlich des instationären Wärmetransports bei Besonnung - würde als unbefriedigend anzusehen sein, weil bei geschichteten Konstruktionen die Schichtenfolge und insbesondere die Lage der Dämmschicht einen entscheidenden Einfluß auf das thermische Verhalten der Konstruktion hat (GÖSELE *et al.* 1997).

Im Aufbau von nichttransparenten Außenbauteilen wirkt sich in der Regel der Aufbau einer außenliegenden Wärmedämmung und innenliegenden Schichten hoher Speicherfähigkeit günstig aus. Ein Dämmstoff sollte dabei mit der Eigenschaft einer geringen Temperaturleitfähigkeit a als Folge kleiner Wärmeleitfähigkeit λ und möglichst großer spez. Wärmekapazität c und Rohdichte ρ ausgestattet sein. Hier haben Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen klare Vorteile. Ein gesetzlich vorgeschriebenes Anforderungsniveau für den sommerlichen Wärmeschutz bei nichttransparenten Bauteilen liegt nicht vor. Die DIN 4108 geht von einer Vernachlässigbarkeit des sommerlichen Wärmeschutzes aus, wenn der winterliche eingehalten wird. Auch die aktuelle Wärmeschutzverordnung stellt keine Anforderungen. Sie berücksichtigt zwar in ihrem Nachweisverfahren solare Wärmegewinne, rechnet sie jedoch pauschal gegen Wärmebrückenverluste in der Konstruktion auf (USEMANN 1996).

2.3 Grundlagen des Schallschutzes

Als Schall werden für den Menschen hörbare Schwingungen bezeichnet, die sich vom Ort der Entstehung (Schallquelle) durch elastische feste, flüssige und gasförmige Stoffe wellenförmig ausbreiten. Ihre Weiterleitung im Stoff (Medium), insbesondere die Fortpflanzungsgeschwindigkeit c , ist abhängig von dessen Beschaffenheit. Bei hoher Elastizität des Stoffes nimmt c ab, bei niedriger zu. So hat z. B. Luft bei 15 °C ein $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, Stahl ein $c = 5000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und Gummi ein $c = 40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Für die Entwicklung von Dämmstoffen ist es nun notwendig, einen Baustoff zu erhalten, der je nach dem Ort seiner Verwendung durch seine Stoffeigenschaften und Struktur (z. B. geringe Biegesteifigkeit) die Schallübertragung zwischen Schallquelle und Hörer mindert. Auf die für die Einführung der kennzeichnenden Größen für die Dämmung und Absorption sonst übliche Definition und Erläuterung der grundlegenden physikalischen Größen soll hier vereinfachend verzichtet werden.

2.3.1 Lautstärke

Die Lautstärke ist eine subjektive Empfindung. Deshalb wurde ihre Einheit über die physikalisch meßbare Größe Schallstärke und der Berücksichtigung eines frequenzabhängigen menschlichen Hörempfindens festgelegt. Die sich ergebende dimensionslose Verhältnisgröße wurde nach dem Erfinder Alexander Graham Bell mit der Einheit Bel benannt. Als Einheit für das bewertete Lautstärkemaß wurde die Einheit dB(A) festgelegt. Die Tabelle 2.4 gibt einige Beispiele für Richtwerte in dB(A) an.

Tabelle 2.4: Richtwerte für den A-Schallpegel verschiedener Geräusche (GÖSELE *et al.* 1997)

| | |
|--|--------------|
| Fabriksaal einer Spinnerei | 90-100 db(A) |
| Verkehrslärm in lauter Straße | 70-80 db(A) |
| sehr laute Sprache | 70 db(A) |
| normale Sprache | 60 db(A) |
| ruhiger Raum, tagsüber | 25-30 db(A) |
| ruhiger Raum, nachts (abseits vom Verkehr) | 10-20 db(A) |

Die Lautstärkeskala ist jedoch nicht streng proportional zum Lautstärkeempfinden. So beeinflusst bei einem Geräusch der Grundschallpegel das Lautstärkeempfinden entscheidend. Wird ein Geräusch von 60 dB(A) auf 70 dB(A) erhöht, so empfindet man es als doppelt so laut. Bei niedrigem Grundschallpegel und z. B. durchschallenden Wänden, reicht dagegen schon eine geringe Steigerung der Lautstärke, um ein Verdopplungsempfinden zu provozieren. Bei der Betrachtung mehrerer Schallquellen gleichzeitig, werden die Schallstärken addiert, um die Lautstärke zu berechnen.

2.3.2 Wellenlänge λ

Für die Wahl einer geeigneten Schalldämmung ist auch die sogenannte Wellenlänge des Schalls λ in m bestimmend. Mit der Luft als relevantem Schallübertragungsmedium ergibt sich im baupraktischen Frequenzbereich von 100 - 3150 Hz (GÖSELE 1998) eine Wellenlänge ("Länge pro Schwingung") zwischen 10 cm bis 3,4 m. Hierdurch wird deutlich, daß man im Gegensatz zur Wärmedämmung (dort herrscht eine sehr viel kurzwelligere Strahlung), die Dämmwirkung jeder einzelnen Schicht eines Bauteils nicht einfach addieren kann, da "die Amplitude der Schallwelle", bildlich gesprochen, eine Bauteilschicht gar nicht in ihrer ganzen Länge durchdringen kann. Es ist demnach die Gesamtkonstruktion entscheidend. Desweiteren spricht gegen die Addierbarkeit, daß sich in der Regel zwar Schall- und Wärmedämmung mit zunehmender Bauteildicke verbessern, jedoch die Wärmedämmung proportional, die Schalldämmung dagegen nur in logarithmischer Progression (BRANDT und MORITZ 1995).

2.3.3 Luftschalldämmmaß

Raumtrennende Bauteile werden durch die periodischen Biegeschwingungen infolge normal zur Fläche einfallender Schallwellen so angeregt, daß die Luft im Nachbarraum durch die plattenförmigen membranartigen Medien Wand und/oder Decke zum Schwingen angeregt wird. Man kann nun eine Schallpegeldifferenz zwischen dem Senderaum (Index 1) und Empfangsraum (Index 2) zu $L_1 - L_2$ in dB messen. Diese Differenz hängt hauptsächlich von dem frequenzabhängig zu ermittelnden Schalldämmmaß R bzw. R' des trennenden Bauteils ab. R' berücksichtigt dabei auch die an das trennende Bauteil angeschlossenen Bauteile (flankierende Wände, Decken) als Schallübertragungsweg, wogegen R "selbsterklärend" als Labor-Schalldämmmaß bezeichnet wird und überwiegend für Fenster und Türen verwendet wird. Mit den Größen L_1 , L_2 , R' , S und A wurde das Schalldämmmaß R' festgelegt:

$$L_1 - L_2 = R' - 10 \cdot \lg(S/A) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

bzw. umgeformt

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg(S/A) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Läßt man einmal S , als Fläche des trennenden Bauteils, und A , als Schallabsorptionsfläche, außer Betracht, und setzt dafür die auftreffende Schallenergie (= Schalldruck P_1) ins Verhältnis zur abgegebenen/reflektierten Schallenergie (= P_2), so kann man recht schnell das Dämmvermögen eines Bauteils erkennen. Beispiel: Bei $P_1/P_2 = 1000$ ergibt sich $R' = 10 \cdot \lg(1000) = 30$ dB, welches nach GÖSELE *et al.* (1997) als sehr schlechte Dämmung empfunden wird. Für die baupraktische Rechenpraxis ist die Tatsache, daß man durch die Frequenzabhängigkeit einen Schalldämmmaß-Verlauf erhält, ungünstig. Man sucht zur Vereinfachung eine "Einzahlangabe". Zu diesem Zweck wurde das *bewertete* Schalldämmmaß R'_w eingeführt. Eine auf 52 dB liegende sogenannte *Schalldämmbezugskurve* wird um ganze dB-Einheiten parallel verschoben, dem Verlauf von R' angenähert, bis die mittlere Unterschreitung der Meßkurve zur Bezugskurve ≤ 2 dB beträgt. Überschreitungen dürfen dabei nicht eingehen. $R_w = R'_w = 52$ dB berücksichtigt vereinfachend den idealen Schalldämmverlauf unter Berücksichtigung der menschlichen "Hörschwäche" im Tieftonbereich. Das aus der Verschiebedifferenz der Bezugskurvenlagen ermittelbare bewertete Dämm-Maß $R'_w = R_w - \Delta R = 52$ dB - ΔR entspricht nun dem für die gemessene Kurve (Abbildung 2.4).

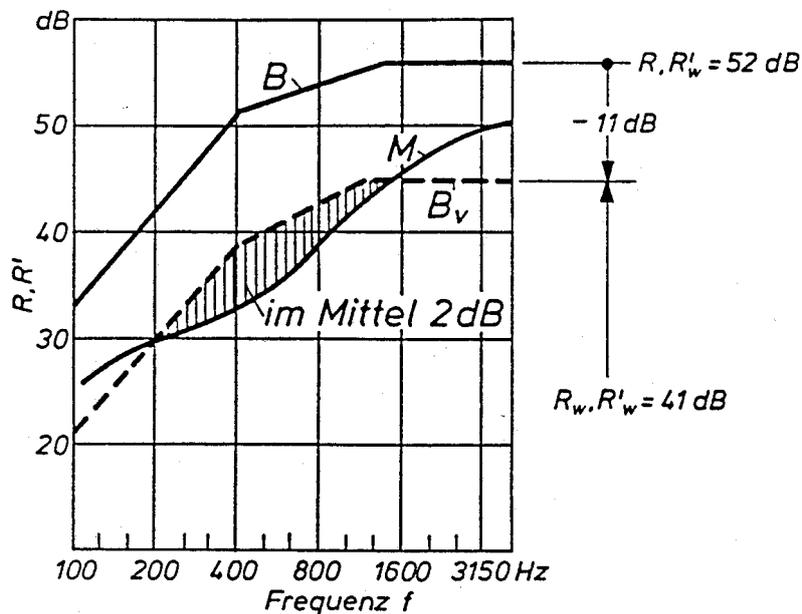


Abbildung 2.4: Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w, R'_w durch Verschieben der Bezugskurve B ($R_w, R'_w = 52$ dB). M : Meßkurve, B_v : verschobene Bezugskurve (SCHULZE 1994)

Für den Schallschutz stellt der Baustoff nicht die alleinentscheidende Größe dar, sondern die Konstruktion, die Verbindung und Anordnung der Stoffe gibt den Ausschlag. Man kann sich nun die Frage stellen, wodurch wird die luftschallschützende Wirkung bedingt.

Vor allem bei dünnen Bauteilen, bzw. dünnen Außenschalen, spielt deren dynamische Biegesteifigkeit s' (s. Kapitel 2.3.4) eine Rolle. Sie findet Ausdruck in der Lage der Grenzfrequenz f_g ($f_g \approx 60/d \cdot (h/E_{dyn})^{1/2}$ in Hz; d = Dicke der Schale (m), E_{dyn} ($MN \cdot m^{-2}$) = dynamischer Elastizitätsmodul der Schale). Sie gibt die unterste, besonders kritische Frequenz an, bei der die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Biegewellen innerhalb eines Bauteils (Bauteilschale) der Geschwindigkeit der geometrischen Spur der eintreffenden Luftschallwelle auf dem Bauteil entspricht. Sie wird auch Koinzidenz (wörtl.: "Zusammenfall") genannt. Ein Minimum an Schalldämmung wird etwas oberhalb von f_g erreicht. Um den Hörfrequenzbereich zu meiden, sollte $f_g < 100$ Hz oder $> ca. 2000$ Hz liegen.

Platten oder Schalen werden bei einem f_g von ca. > 1500 Hz als biegeweich bezeichnet - Mauerwerk, Massivdecken und -wände als biegesteif. Die konstruktive Verwendung der biegeweichen/biegesteifen Schalen liegt in den zweischaligen Bauteilen. Hier finden auch Dämmstoffe, neben Luft, als Kopplungsmedium, ihre Anwendung. Sie erzeugen sogenannte *Masse-Feder-Systeme*, die hinsichtlich ihrer Dämmwirkung auf die Resonanzfrequenz f_0 (Eigenfrequenz) empfindlich reagieren. Bei Resonanz ergeben sich die größten Schwingungsamplituden, welche in der Regel noch größer als die der Anregung sind. Anzustreben ist aber eine Verkleinerung der Amplituden. Dieses wird erreicht, indem man die Eigenfrequenz des Systems möglichst tief, d. h. kleiner als die untere Relevanzgrenze von 100 Hz, hält. Die DIN 4109 hat in ihrem Beiblatt dazu einige exemplarische Konstruktionen angegeben.

Um die schon erwähnte Luftschallreflexion im Senderraum zu vermeiden, werden absorbierende Bekleidungen benötigt. Die Bekleidungen unterscheiden sich in ihrer Form als poröse Schallabsorber und Resonanz-Absorber (GÖSELE *et al.* 1997). Zu den Erstgenannten gehören z. B. Textilien, weiche Faserdämmstoffe, Filze, Holzfaserstoffe. Die Resonanz-Absorber arbeiten besonders resonanzfrequenznah als Masse-Feder-Schwingungsgebilde. Am billigsten werden sie als mit einigen Zentimetern Luftabstand angebrachte Platten (Verschalung) erzeugt oder indem der Lufthohlraum durch wirksamen Dämmstoff noch entscheidend verbessernd ausgefüllt wird (Abbildung 2.5). Resonanzfrequenzen dieser Doppelwandkonstruktionen lassen sich nach ihren Aufbauvarianten aus Tabelle 2.5 berechnen. Man kann darin den Dämmstoffeinfluß durch seine Kenngröße, die dynamische Steifigkeit s' , erkennen. Eine kleine Steifigkeit wirkt sich dabei günstig aus.

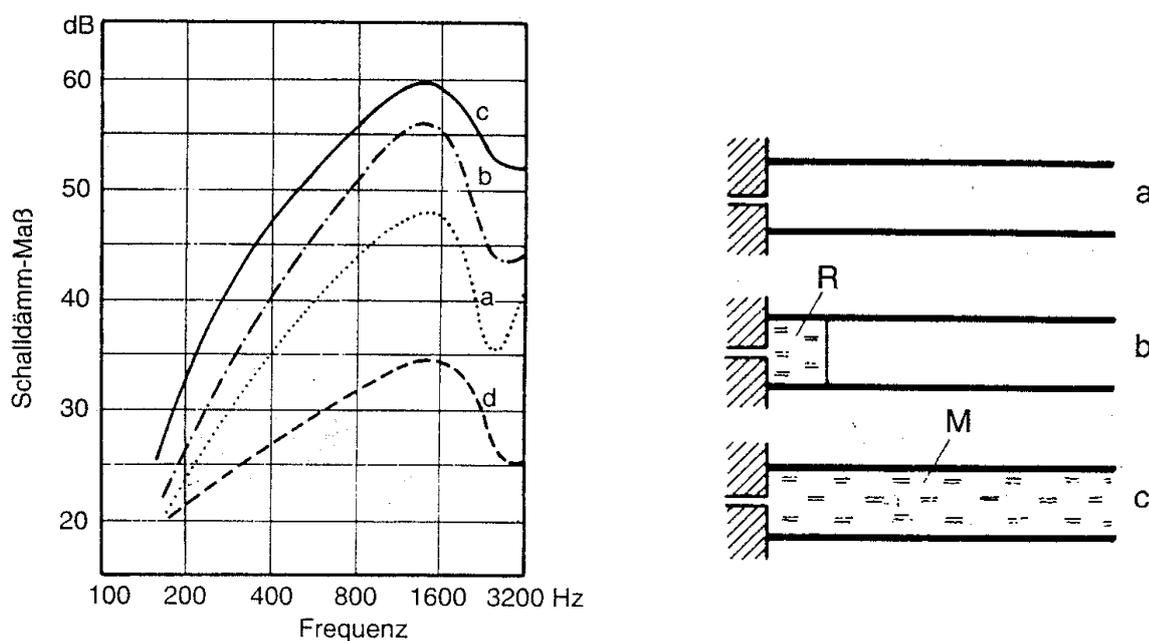


Abbildung 2.5: Einfluß der Hohlraumdämpfung auf die Schalldämmung von Doppelwänden am Beispiel: 12,5 mm Gipskartonplatten in 50 mm Abstand bei: a) leerem Hohlraum, b) Randdämpfung R, c) Mineralwollfüllung M, d): Eine einfache Gipskartonplatten-Schale in Vergleichsmessung im Prüfstand ohne Schallnebenwege (= anbindende Wände und Decken) (GÖSELE *et al.* 1997)

Tabelle 2.5: Resonanzfrequenz von Doppelwänden (GÖSELE *et al.* 1997)

| zwischen den Schalen | Resonanzfrequenz f_R in Hz | | |
|---|---|---|--|
| | zwei gleiche Schalen | | leichte (biegeweiche) Vorsatzschale vor schwerem Bauteil |
| | Schalen biegeweich m' | Schalen biegesteif m' | m' |
| Luftschicht mit schallschluckender Einlage, z. B. Fasermatten | $= \frac{900}{\sqrt{m' d}} \text{ Hz}$ | $\approx \frac{3400}{\sqrt{m' d}} \text{ Hz}$ | $= \frac{650}{\sqrt{m' d}} \text{ Hz}$ |
| Dämmschicht mit beiden Schalen vollflächig verbunden | $= 270 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ Hz}$ | $\approx 900 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ Hz}$ | $= 190 \sqrt{\frac{s'}{m'}} \text{ Hz}$ |
| f_R : Resonanzfrequenz in Hz m' : flächenbezogene Masse der Vorsatzschale bzw. der Einzelschale in kg/m^2 d : Schalenabstand in cm s' : dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in MN/m^3 | | | |

2.3.4 Trittschalldämmmaß

Wie schon erwähnt, ist der Trittschall eine Art von Körperschall. Er wird durch einfaches Gehen, Stühlerücken und ähnliche Geräuscherzeugung ausgelöst. Ziel eines guten Schutzes ist auch hier eine Entkopplung von Schwingungsträger (Fußboden) und Peripherie durch elastische Schichten. Sie sollten eine möglichst niedrige dynamische Steifigkeit s' ($\text{MN}\cdot\text{m}^{-3}$) aufweisen. Die dynamische Steifigkeit eines Dämmstoffs ist das Maß für dessen Steifigkeit unter der Einwirkung von Wechselkräften. Als geeignetste Konstruktionsart, die diese Wirkungsweisen berücksichtigt, kennt man den "schwimmenden Estrich". Dabei handelt es sich entweder um einen flüssig aufgetragenen, dann aushärtenden tragfähigen Gehbelag oder um trocken verlegte Beläge, die jeweils als Platten auf einer von anderen Bauteilen entkoppelnden Dämmschicht verlegt werden.

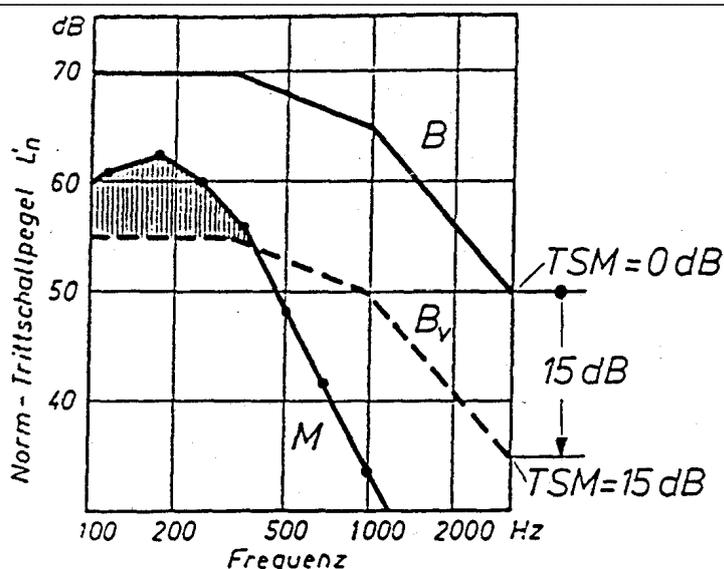


Abbildung 2.6: Ermittlung des Trittschall-Verbesserungsmaßes TSM (bzw. $63 \text{ dB} - L_{n,w}$) einer Decke durch Verschieben der Bezugskurve B in Richtung Meßkurve M (SCHULZE 1994)

Ähnlich der Regelungen beim Luftschallschutz mit dem bewerteten Schalldämmmaß $R'_{w,R}$ als bewertende Größe, wurden zur Beurteilung des Trittschallschutzes zwischen zwei Räumen der bewertete Normtrittschallpegel $L'_{n,w}$, bei trennenden Massivdecken und -treppen der äquivalente bewertete Normtrittschallpegel $L_{n,w,eq}$ und das Trittschallverbesserungsmaß der Deckenauflage ΔL_w eingeführt. Das Trittschalldämmvermögen einer fertigen Decke für den darunterliegenden Raum wird hiernach aus der Summe des Dämmvermögens der alleinigen Decke (gegebenenfalls mit oder ohne Unterdecke) und dem Trittschallverbesserungsmaß durch die Deckenauflage berechnet:

$$L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_{w,R} \quad (3)$$

Nach CRAMER errechnet sich das verbessernde Trittschalldämmmaß ΔL durch einen schwimmenden Estrich bei einer Betrachtung unter einer Frequenz f zu:

$$\Delta L = 40 \lg f/f_R \quad (4)$$

$$\text{wobei } f_R = 160 \cdot \sqrt{s'/m_e} \quad (5)$$

m_e' : Flächenbezogene Estrichmasse

s' : dynamische Steifigkeit des Dämmstoffs

Verbesserungen treten erst bei $f > f_R$ ein (GÖSELE *et al.* 1997).

Für die Dicke des Estrichs ist dessen Biegefestigkeit das ausschlaggebende Kriterium. Dessen Festigkeit wiederum wird in Abhängigkeit von der Zusammendrückbarkeit des Dämmmaterials gesucht. Ein Überblick der Abhängigkeit des Verbesserungsmaßes einer Estrichkonstruktion von der dynamischen Steifigkeit des dazu verwendeten Dämmstoffs soll mit Abbildung 2.7 gegeben werden.

Desweiteren zeigt Tabelle 2.6 eine Auswahl erreichbarer Trittschallverbesserungsmaße mit verschiedenen unter schwimmendem Estrich verwendbaren Dämmschichten. Die angegebenen Dicken in mm beziehen sich auf den eingebauten Zustand. Weitere Angaben können dem Beiblatt 1 der DIN 4109 entnommen werden. Dort werden nach dynamischen

Steifigkeitsgruppen der Norm-Dämmstoffe (nach DIN 18164-2 und 18165-2) unterschiedene Estrichkonstruktionen nach DIN 18560 und DIN 68771 angegeben.

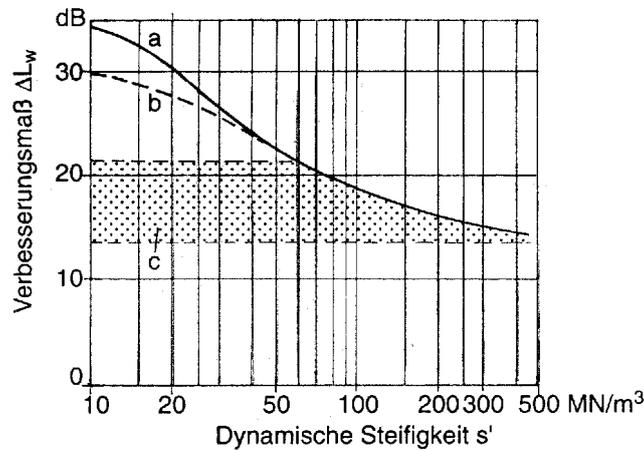


Abbildung 2.7: Trittschall-Verbesserungsmaß von schwimmenden Estrichen, abhängig von der dynamischen Steifigkeit s' der Dämmschicht. a: nach Rechnung und Messung im Prüfstand; b: Rechenwerte nach DIN 4109, Bbl. 1 (Berücksichtigung kleiner Schallbrücken); c: Wertebereich bei starken Schallbrücken (GÖSELE *et al.* 1997)

Tabelle 2.6: Erreichbare Trittschallverbesserungsmaße ΔL_W verschiedener unter schwimmenden Estrichen verwendbarer Dämmschichten (BOBRAN und BOBRAN-WITTFOHT 1995; GÖSELE *et al.* 1997)

| Zementestriche | ΔL_W [dB] |
|---|-------------------------------------|
| Weichfaserdämmplatten, 12 mm | 15 |
| Polystyrol- Hartschaumplatte, Normausführg. | 18 |
| Korkschrotmatten | - |
| Kokosfaser-Rollfilz, 13 mm | 28 |
| Mineralfaser-Rollfilz /-Platten, 15 mm | 31 |
| Holzwolle-Leichtbauplatten, 25 mm; darunter: Mineralfaser-Rollfilz, 9 mm | 34 |
| Asphaltestriche | ΔL_W [dB] |
| Weichfaser-Dämmplatten, 20 mm | 20 |
| Schilfrohrplatten, 20 mm | 25 |
| Korkschrotmatten, 7 mm | 19 |
| Holzwolle-Leichtbauplatten, 25 mm; darunter: Mineralfaser-Platten, 5 mm | 31 |

2.3.5 Verringern der Schallwirkung unter dem Einfluß des Dämmstoffs

Den Widerstand eines Bauteiles gegen eine Luftschallübertragung vom Sende- zum Empfangsraum nennt man Luftschalldämmung. Den Widerstand gegen Körperschallübertragung

dagegen Körperschalldämmung bzw. in seinem speziellen Fall Trittschalldämmung. Beide Dämmungen sind meist nur durch unterschiedliche Maßnahmen zu erreichen. In den häufigsten Fällen ist dabei die Körperschalldämmung unkomplizierter zu erreichen (GÖSELE *et al.* 1997). Oft genügt eine lokale Entkopplung des Schwingungsanregers von seiner Umgebung.

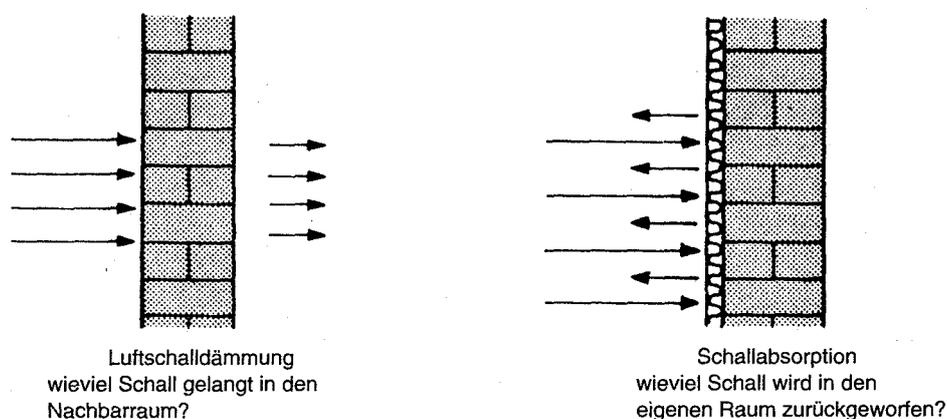


Abbildung 2.8: Der Unterschied zwischen Schalldämmung und Schallabsorption (GÖSELE *et al.* 1997)

Bei der echten Dämpfung wird abhängig vom Wirkungsgrad der Schall durch angeregte Bewegungen der Dämmstofffasern aneinander bzw. die Reibung der Luftteilchen an Poren- und Kanalwänden der Dämmstoffstruktur in mechanische Arbeit bzw. Wärme umgewandelt. Die Schallabsorption durch direkte Umwandlung in Wärme, die sogenannte Dissipation, ist nicht nur zur Lärmbekämpfung geeignet, sondern beeinflusst auch die Raumakustik über die Nachhallzeit. Die Hohlraumdämmstoffe müssen hochporös und elastisch, nicht zu steif, sein. Für eine gute Absorptionswirksamkeit wird ein "genügend hoher" längenbezogener Strömungswiderstand (Ξ nach DIN 52213 bzw. "r" nach DIN EN 29053) des Dämmmaterials gefordert. Sie hängt auch von der Dicke ab. Als Strömungswiderstand wird für die Hohlraumdämpfung in Wänden mindestens $5 \cdot 10^3$ bis $20 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$ (bei Hausdoppeltrennwänden bis $r = 3 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$) gefordert. Er ist insbesondere bei Dämmstoffschüttungen von der Rohdichte abhängig. Zum Beispiel werden für eine Zelluloseschüttung folgende Widerstände unter Angabe der dafür zugelassenen Verwendung angegeben:

| | |
|--|---|
| $\rho = 35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ "freiliegend" | $\rightarrow r = 3,60 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} (= \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4})$ |
| $\rho = 45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ "(hohl-)raumausfüllend" | $\rightarrow r = 9,48 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} (= \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4})$ |
| $\rho = 55 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ "im Feuchtsprühverfahren" | $\rightarrow r = 19,8 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2} (= \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4})$ |

Eine Absorber-Eignung ist damit erst ab $\rho = 45 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ vorhanden.

Des weiteren können nach Recherche Strömungswiderstände "r" u. a. angegeben werden für:

| | |
|-------------------|--|
| Mineralwollvliese | $r \geq 5,0 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$ (bewährt geeignet) |
| Schafwollvliese | $r = 4,8 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$ (trotz $r < 5 \text{ kN} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-4}$, für geeignet befunden), |
| Flachsfaservliese | nach allgemeiner Aussage "wie Mineralwolle" |

| | |
|---------------------|---|
| Zellulosedämmplatte | $r = 12 \text{ bis } 42 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$ (geeignet; $\rho = 70 \text{ bis } 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) |
| Kokosvliese | $r < 5,0 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-4}$ (ungeeignet) |

Holzfaserdämmplatten, als zu dicht, und Kokos, als zu locker, fallen aus dem empfehlenswerten Verwendungsbereich heraus (GÖSELE *et al.* 1997). Die Eigenart der porösen Schallabsorbierer ist, daß die Absorption mit der Frequenz stark zunimmt. Sie dienen im Hohlraum als Resonanzpolster (-absorber) für die äußeren meist leichten Schalen, damit diese sich nicht im Bereich ihrer Eigenfrequenzen gegenseitig anregen. Die Faserstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bieten im Vergleich zu den verbreiteten Mineralfasern vielfach gleichwertige Dämm- bzw. Dämpfeigenschaften.

Eine Schallabsorption im Sinne der Baunormen ist auch vorhanden, wenn Luftschall durch Raumbegrenzungen hindurchgeht. Sie unterliegt jeweils einem gewissen Wirkungsgrad. Dieser Schallabsorptionsgrad α_s wird versuchstechnisch im Hallraum nach DIN 52212 als Wert zwischen 0 (keine Absorption) und 1 (vollkommene A.) für Dämmstoffe bestimmt.

Oberflächliche Absorptionsschichten müssen nach GÖSELE *et al.* (1997) mindestens 1 cm dick sein, um wirksam zu werden. Sie werden aus ästhetischen Gründen, meist ohne weiteren Einfluß, bekleidet. Eine große Sammlung verschiedener konstruktiver Schallschluckanordnungen unter Betrachtung von 6 Frequenzbereichen (zwischen 125 Hz und 4000 Hz) zum Vergleich wurde von BOBRAN und BOBRAN-WITTFHOHT (1995) zusammengetragen. Schalldämmende Einlagen in 2-schaligen Wand- und Deckenhohlräumen bewirken eine Vergrößerung der wirksamen Hohlraumdicken um 25 % (GÖSELE *et al.* 1997). Nach Aussagen eines Prüfangestellten einer akkreditierten Eignungs- und Güteprüfstelle im Akustikbereich sind bei einer Hohlraumdämpfung, wie z. B. bei Verwendung einer Schüttung als Kerndämmung, schon ab einem Hohlraumfüllgrad von ≈ 60 % kaum mehr Verbesserungen durch den Dämmstoff zu erzielen. Der "Überschuß" ist damit im Prinzip überflüssig.

Für das Ausmaß einer erzielbaren Körperschallisolierung ist neben dem Gewicht des zu isolierenden Körpers das Federungsvermögen der zwischengeschalteten Dämmstoffe maßgebend. Dominiert wird der Anwendungsbereich von der Trittschalldämmung. Die weichfedernde Eigenschaft des Dämmstoffes kann jedoch auch im Aufbau einer Wand gefordert sein. Federkennwert des Dämmstoffes ist die dynamische Steifigkeit s' . Sie hängt von zwei Größen ab:

$$s' = \frac{E_{\text{dyn}}}{b} \quad (\text{MN}\cdot\text{m}^{-3}) \quad (6)$$

E_{dyn} = dynamischer Elastizitätsmodul der Dämmschicht in ($\text{MN}\cdot\text{m}^{-2}$)

b = Dicke der Dämmschicht in (m)

Die Steifigkeit kann nach GÖSELE *et al.* (1997) auch als additiv aus der Gefügesteifigkeit s'_G und der Luftsteifigkeit s'_L zu: $s' = s'_G + s'_L$ zusammengesetzt betrachtet werden. Die Luftsteifigkeit wird unter Berücksichtigung eines genügend großen Strömungswiderstandes Ξ des Dämmstoffs danach als $s'_L = 113 d^{-1}$ errechnet (d: Luftschichtdicke in mm). s'_G hat die statischen Lasten zu übertragen, was sich mit vergrößernden Werten verbessert. Es verschlechtert dann jedoch die Dämmwirkung. Demnach muß ein Optimum zwischen den Anforderungen gefunden werden. Heute übliche Mineralfaser-Platten gewährleisten etwa 1/3-1/2 der Gesamtsteifigkeit. Guter Trittschallschutz ist mit Mineralfaser-Platten von $s' < 30$, besser $10 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-3}$, bei einer ausreichenden Materialdicke zu erreichen. Für Polystyrolschaum-Platten wird von GÖSELE *et al.* (1997) für normalsteife (allerdings rein zur Wärmedämmung) ein $s' = 50 \text{ bis } 100 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-3}$ und für "elastifizierte" Trittschalldämmplatten ein $s' = 10 \text{ bis } 20 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-3}$ angegeben. Von Korkschrotmatten und Papplagen wird hier abgeraten.

Die Federung beruht bei Fasern auf den auf Biegungen beanspruchten sich kreuzenden Fasern, wobei Eigenschaften künstlicher Mineralfasern nicht ganz erreicht werden (GÖSELE *et al.* 1997). Schüttdämmstoffe wie Blähglimmer, Korkschröt oder Hanfschäben sind in ihrer Eignung für Schallschutzzwecke an Bauteilen zu prüfen. Von bituminierten Schäben wird in Verbindung zu einer Verwendung von Gußasphalt abgeraten, da die eingebrachte Hitze sie ungünstig zu Platten "verbackt".

2.4 Wärme- und Schalldämmung - ein Gegensatz?

Die schon erläuterten notwendigen Eigenschaften von Schall- und Wärmedämmungen lassen den Schluß zu, daß beide Wirkungen zusammen nur schwer oder gar nicht erzielbar sind. Auch können Schadenserfahrungen bezüglich der Schalldämmung durch nachgerüstete Wärmedämmschichten in Plattenausführung diese Befürchtung stützen. Daß dies so nicht ganz richtig ist, soll hier kurz aufgezeigt werden. Die Tabelle 2.7 gibt dazu noch einmal eine Übersicht über die an eine angestrebte Dämmung gestellten Grundanforderungen.

Tabelle 2.7: Anforderungen an Wärme- und Schalldämmschichten (GÖSELE *et al.* 1997)

| Angestrebte Dämmung | Anforderung |
|---|--|
| Wärmedämmung | geringes Raumgewicht |
| Schalldämmung für schwimmende Estriche, Wandverkleidungen u. ä. | geringe dynamische Steifigkeit |
| Schalldämmung bei Einlagen in Wandhohlräumen u. ä. | offenporig und optimaler Strömungswiderstand |

Wird nun eine Kombination aus Wärme- und Schalldämmung gewünscht, so muß dementsprechend auch das Dämmmaterial kombinierte Eigenschaften aufweisen. Eine Dämmschicht für z. B. schwimmende Estriche oder Wandverkleidungen muß ein geringes Raumgewicht und eine geringe dynamische Steifigkeit aufweisen; und für Estrichkonstruktionen zusätzlich ein geringes Stauchmaß unter Druckspannungen, um die Formbeständigkeit zu wahren. Ein hohlraumfüllender Einbau in Doppelwänden oder Holzbalkendecken erfordert die Kombination von geringem Raumgewicht, Offenporigkeit und optimalem längenbezogenen Strömungswiderstand. Stoffe, die diese Kombinationen an Eigenschaften mitbringen, sind auf dem Baustoffmarkt zu finden. Ihre Auswahl ist jedoch vielfach sehr eingeschränkt.

2.5 Wirkung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen auf das Raumklima

2.5.1 Raumklima und Feuchtigkeitsausgleich

Beim Einsatz alternativer Dämmstoffe wird besonders auf die Sorptionsfähigkeit natürlicher Materialien verwiesen. Gerade die positive Wirkung der natürlichen Dämmmaterialien auf das Raumklima, insbesondere durch Feuchtigkeitsausgleich, wird von Anwendern und Nutzern als sehr wichtig angesehen und als Qualitätsmerkmal hoch bewertet. In der Bauphysik herrscht dagegen die Überzeugung vor, daß sich der Einfluß der raumumschließenden Bauteile auf das Raumklima auf die oberen Zentimeter beschränkt. Bisher ging man davon aus, daß der Einfluß durch die textile Raumausstattung wesentlich größer ist, als von den zumindest einige Zentimeter innerhalb der Konstruktion gelegenen Dämmschichten. Zur Zeit liegen keine Untersuchungsergebnisse vor, die zeigen, daß Dämmstoffe das Raumklima durch Erhöhung der Adsorptionsfähigkeit von Bauteilkonstruktionen beeinflussen. Ein immer wiederkehrender Begriff ist die "atmende Wand". In bezug auf die Feuchtigkeit läßt sich zeigen, daß dieser Effekt praktisch überhaupt keine Rolle spielt. Der Abtransport von Feuchtigkeit durch die Konstruktion ist vernachlässigbar gering.

2.5.2 Haltbarkeit und mikrobieller Befall

Die raumklimatischen Vorteile, die den biogenen Dämmstoffen zugeschrieben werden, sind für Konstruktionen mit hydrophilen Materialien, die durch Dampfbremsen, anstatt Dampfsperren geschützt sind, in der erhöhten Wasserabsorptionskapazität begründet. Eine wichtige Frage ist dabei, unter welchen Bedingungen ein mikrobieller Befall stattfindet und es zur Zersetzung der Konstruktion und Verminderung der dämmenden Eigenschaften kommt. Schimmelbildung verursacht zudem eine Verschlechterung der Raumluft, die sich weit ungünstiger auf die Gesundheit auswirken kann als zu trockene oder feuchte Raumluft.

WIELAND und MURPHY (1997) zeigten wie schnell biogene Dämmstoffe durch Pilze geschädigt werden können, wenn es zur Kondensation von Feuchtigkeit im und am Material kommt. In einer Zwei-Raum-Klimakammer (2,5 x 7,0 x 3,0 m³) wurde für die Versuche ein Dachelement in den Abmessungen 2,5 x 2,5 m² installiert. Das Dachelement wurde so angefertigt, daß vier verschiedene Dämmelemente (600 x 700 mm²) zusammen mit Dampfbremsen bzw. Sperren zu untersuchen waren.

Zwei Versuche von 3-moniger Dauer wurden unter folgenden Untersuchungsbedingungen durchgeführt:

| | |
|--|---|
| <p>Versuch A: 3 Materialproben aus Flachs (50 mm dicke Matten, mit Borsalzen behandelt) und eine Glaswolleprobe als Kontrolle.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kontrolle: Glaswolleproben mit einer Polyethylen-Dampfsperre 2. Flachsmatten mit einer Polyethylen-Dampfsperre 3. Flachsmatten mit einer Holzweichfaserplatte als Dampfbremse 4. Flachsmatten ohne Dampfbremse oder Sperre | <p>Versuch B Zwei Produkte aus Flachs wurden mit und ohne Dampfsperre verglichen. Die Materialien waren nach außen (Kaltseite) mit Holzweichfaserplatten (10 mm) abgedeckt.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Produkt X ohne Dampfbremse 2. Produkt X mit einer Dampfbremse 3. Produkt Y ohne Dampfbremse 4. Produkt Y mit einer Dampfbremse |
|--|---|

Für die Versuche wurde eine ‚Pro-clima DM‘ Dampfbremse mit einer wasserdampfdiffusionsäquivalent Luftschichtdicke von $s_d=2,3$ m verwendet. Im zweiten Versuch wurden zusätzlich Holzweichfaserplatten mit einem s_d -Wert von 0,05 eingesetzt.

Versuch A: Abgesehen von einer Verfärbung des Materials, hervorgerufen durch Kondensation an einem der Temperaturfühler (Kältebrücke), zeigte das Glaswollematerial keine Anzeichen einer Beschädigung. Auch die Flachmatten in den Probenfächern 2 und 3 zeigten keine Veränderungen, außer es entstanden Kältebrücken durch die Sensoren. Die Probe 4, die nach innen offen war, zeigte an Stellen, an denen das Material nicht dicht am Rahmen anlag, Zeichen mikrobiellen Wachstums (durch Kondensation hier eingetretener warmer Luft). Die Beschädigung des Materials war vor allem oberflächlich und auf die Mattenecken an der Kaltseite begrenzt.

Versuch B: Bei beiden Produkten trat sichtbares mikrobielles Wachstum in Verbindung mit einer schweren Schädigung des Materials ein, wenn auf der Warmseite keine Dampfbremse und auf der Kaltseite eine Holzweichfaserplatte verwendet wurde. Die bei den anderen beiden Anordnungen verwendete Dampfbremse auf der Warmseite verhinderte diesen Prozeß vollständig. Das mikrobielle Wachstum auf den Matten des Produktes X (3 x 50 mm² Dicke, mit oberflächiger Borsalzbehandlung) war vor allem auf der Oberfläche der Matte zu sehen, die zur Kaltseite hin lag, sowie auf der Innenseite der Holzweichfasermatte. Im Fall von Produkt Y (Dicke 140 mm, mit Ammoniumphosphat behandelt) erstreckte sich das Wachstum se gar in das Mattenmaterial hinein. In beiden Fällen waren die Beschädigungen mit Kondensationsprozessen an der Oberfläche Matte / Holzweichfaserplatte verbunden. Im Gegensatz zu den mit einer Dampfbremse auf der Warmseite ausgerüsteten Matten, nahmen die beschädigten Matten während des Versuchverlaufs Feuchtigkeit auf.

Es ist anzumerken, daß die Versuchsbedingungen (20 °C, 80 % rel. Luftfeuchtigkeit konstant über eine Dauer von drei Monaten) so gewählt wurden, daß die Konstruktionen unter extreme Feuchtigkeitsbelastung gebracht wurden. In der normalen Praxis treten diese Bedingungen selten auf. 80 % rel. Luftfeuchtigkeit wird in Wohnräumen nur über kurze Zeiträume erreicht (z. B. beim Kochen, Baden und Duschen).

Die beschriebenen Beobachtungen beleuchten den Aspekt der Empfindlichkeit von Materialien aus natürlichen Fasern gegenüber mikrobieller Zerstörung in Bereichen mit Kondensationsprozessen, die nicht mit einem entsprechenden Schutz gegen diese Feuchtigkeit versehen sind. Nur die ungeschützten Matten (ohne Dampfbremse) zeigten eine Feuchtigkeitsaufnahme. Bei den Matten mit einer Dampfbremse wurde die gesamte Feuchtigkeit durch das Mattenmaterial transportiert, jedoch in geringeren Mengen, so daß es nicht zu Kondensationsprozessen kam. Der Abtransport nach außen verlief schneller als die Nachlieferung von innen. Das Ziel der diffusionsoffenen Bauweise ist die Verbesserung des Raumklimas durch die Nutzung des hydrophilen Charakters der natürlichen Fasern und der Verringerung der Feuchtigkeitsbarrieren zwischen Raumluft und dem Dämmstoff. Um dies zu erreichen, muß die Stärke der Dampfbremse in Abhängigkeit von der Gefahr der Kondensation im Dämmmaterial und des Feuchtigkeitstransportes von innen nach außen gewählt werden.

2.6 Übersicht der Dämmstoffe

Hier soll eine Übersicht zu Dämmstoffangebot und Verwendung der Dämmstoffe gegeben werden. Das Verwendungsgebiet läßt sich bei Dämmstoffen schon äußerlich erkennen, da eine Kennzeichnungspflicht besteht. Die Kennzeichnung besteht in einer Kurzfassung der Ergebnisse von durchgeführten Normprüfungen, die die entscheidenden Kriterien zum Nachweis von

Anforderungen bieten. Diese Kennzeichnung wird nicht nur für genormte, sondern i. d. R. auch für Produkte anders gearteter bauaufsichtlicher "Zulassungsprozedur" übernommen. Sie müssen nur die relevanten Normprüfungen zur Bestimmung der Anwendbarkeit für das jeweilige Anwendungsfeld bestanden haben. Die Kennzeichnung erfolgt auf der Verpackung, dem Lieferschein und/oder in ähnlicher Form. Die genaue Art der Kennzeichnung wird in den entsprechenden Normen, Zulassungen oder Prüfzeugnissen festgelegt.

| | |
|-----|---|
| | nicht druckbelastbar - z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer |
| WL | nicht druckbelastbar - z. B. für Dämmung zwischen Sparren und Balkenlagen |
| WD | druckbelastbar - z. B. unter druckverteilenden Böden und für unbelüftete Dächer unter der Dacheindeckung |
| WS | mit erhöhter Belastbarkeit für Sondereinsatzgebiete |
| WDS | mit erhöhter Belastbarkeit, z. B. unter druckverteilenden Böden und für unbelüftete Dächer unter der Dacheindeckung |
| WDH | mit erhöhter Druckbelastbarkeit unter druckverteilenden Böden - Parkdecks |
| WV | beanspruchbar auf Abreißfestigkeit (Querkzugfestigkeit) z. B. für Vorsatzschalen mit mineralischem Putz |

Je nach Norm kann ein Anwendungstyp unter Berücksichtigung bestimmter Randbedingungen weitere Anwendungsgebiete in sich vereinen. In der nach DIN 18165-1 "Faserdämmstoffe für das Bauwesen" sind dazu z. B. in der Anwendungstypentabelle folgende zwei Fußnoteninformationen angefügt:

"Faserdämmstoffe des Anwendungstyps WV können für angesetzte schalldämmende Vorsatzschalen verwendet werden, wenn sie ausreichend weichfedernd sind. Der Hersteller muß die dynamische Steifigkeit s' angeben. Solche Faserdämmstoffe erhalten neben dem Typkurzzeichen den zusätzlichen Kennbuchstaben s."

"Faserdämmstoffe der Anwendungstypen W, WL, WD und WV können auch für die Hohlraumdämmung z. B. in 2-schaligen, leichten Trennwänden und bei Vorsatzschalen mit Unterkonstruktion und für Schallschluckzwecke verwendet werden (z. B. in Unterdecken auf gelochten Platten). Wenn solche Faserdämmstoffe normal zur Dämmstoffleiche einen längenbezogenen Strömungswiderstand E von mindestens 5 kN s m^{-4} haben, erhalten sie neben dem Typkurzzeichen den zusätzlichen Kennbuchstaben w; z. B. W-w."

Faserdämmstoffe

des Anwendungstyps W können auch wie der Anwendungstyp WL, des Anwendungstyps WD können auch wie die Anwendungstypen W, WL und WV, des Anwendungstyps WV können auch wie die Anwendungstypen W und WL verwendet werden."

Im Anhang Teil I sind Dämmstoffprodukte und ihre Handelsfirmen, gegliedert nach ihrer Verwendung, in Tabellen dargestellt (Dachdämmung: Tabelle 2.8 und 2.9; Wanddämmung: Tabelle 2.10 und 2.11; Decken- und Fußbodendämmung: Tabelle 2.12 und 2.13).

2.7 Technisch-konstruktive Regeln zur Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

In diesem Abschnitt werden in knapper stichpunktartiger Form wichtige technische Regeln zur Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. auch Dämmstoffen allgemein aufgezeigt werden. ALBRECHT (1997) kommt zu der Überzeugung, daß bedingt durch ihr Materialverhalten, insbesondere ihre Hygroskopie, die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in Baukonstruktionen nicht so universell verwendbar sind wie ihre größte konventionelle Konkurrenz, die künstlichen mineralischen Faserdämmstoffe. Abbildung 2.9 legt die zu bevorzugenden Verwendungsgebiete an einem Modellhausquerschnitt fest. Darin wird der Anwendungsbereich der bisher belüfteten Dachkonstruktionen spezifiziert. Die zeitliche Entwicklung brachte es durch die Verschärfungen der gesetzlichen Wärmeschutzanforderungen mit sich, daß für belüftete Luftschichten, die bislang für einen guten Feuchteabtransport aus der Konstruktion sorgen sollten, kein Raum mehr vorhanden ist, da soviel es geht für Dämmzwecke benötigt wird. Die Tendenz geht hin zu den Sparrenvolldämmungen.

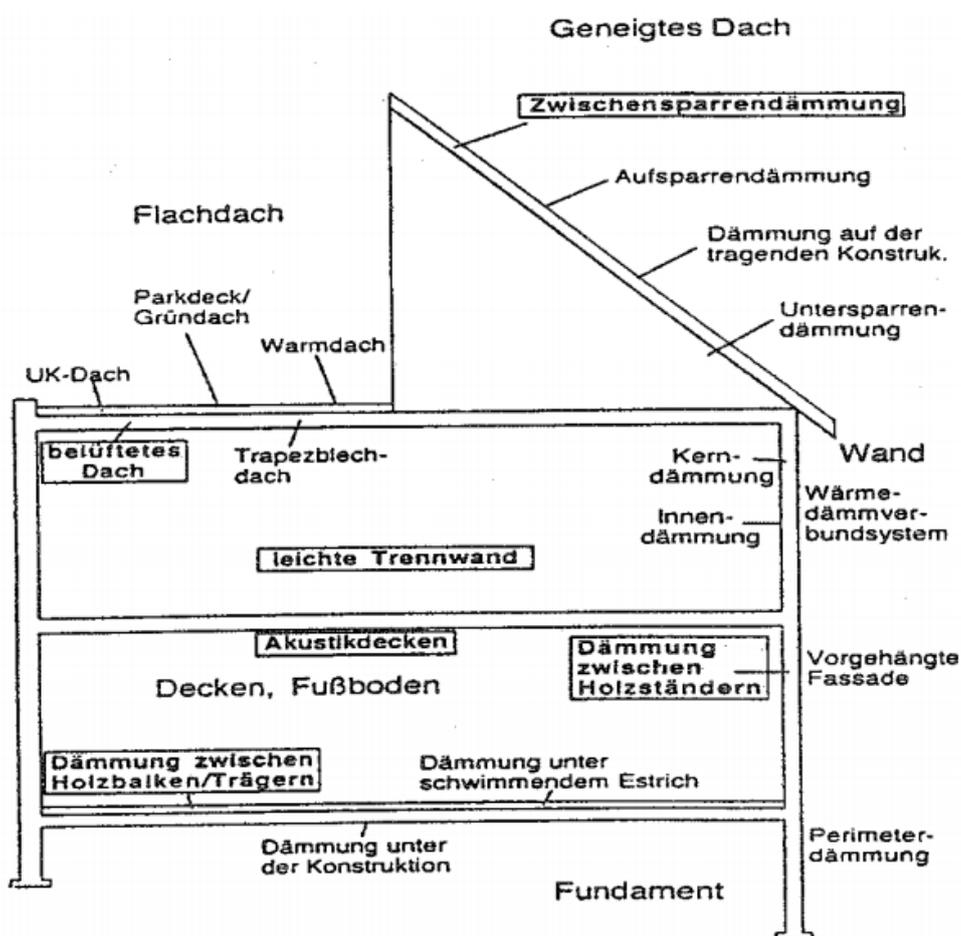


Abbildung 2.9: Anwendungsgebiete von Dämmstoffen in Gebäuden, umrahmt die der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (ALBRECHT 1997)

Nach der ARBEITSGEMEINSCHAFT HOLZ e. V. (1997) ist eine Abkehr von den jahrzehntelang in der Lehrmeinung für besonders sicher gegen Feuchteschäden gehaltenen belüfteten

Dächer ("Kaltdächer") gerade darin zu begründen, weil sich in der Praxis eher das Gegenteil bewiesen hat. Belüftete Dächer sind in der Praxis nicht so beherrschbar, weil sich vorherbestimmte Strömungsvorgänge nicht immer so einstellen, wie es angedacht wurde. Aus dieser eben genannten Problematik heraus wird noch mehr Augenmerk auf eine tauwassersichere Konstruktion gelegt.

Dieses führte nun zu Entwicklungen von "diffusionsoffenen" Konstruktionen, welche durch das Dampfdruckgefälle unter Verwendung von Materialien, die einen möglichst geringen Diffusionswiderstandskoeffizienten aufweisen, für einen notwendigen Feuchteabtransport sorgen sollen. Es wurden auch feuchtigkeitsreaktive Dampfbremsmembranen entwickelt, mit denen man die Größe des Diffusionsvolumenstromes und, was neu war, auch dessen Richtung steuern bzw. wechselnde Richtungen zuläßt, je nachdem, auf welcher Membranseite die größere relative Feuchte vorherrscht. So besteht die Möglichkeit, Feuchtigkeit zur jeweils trockeneren Seite aus der Konstruktion zu lassen. Diese Bauteile "fühlen" quasi die Feuchtigkeit.

Generell wird bei Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen eine diffusionsoffene Konstruktion empfohlen. Die Hersteller dieser Produkte verweisen dabei häufig auf die in der DIN 4108 angegebenen nachweisfreien Konstruktionen. Ganz danach, ob eine Dachkonstruktion nun belüftet oder unbelüftet ausgebildet wird, richtet sich, ob sie raumseitig entsprechend eher diffusionsdichter oder diffusionsoffener ausgeführt wird. Die Dampfbremse, möglichst eine variable Membran, wird auf der Raumseite angeordnet. Eine Seite des Daches (i. d. R. die äußere) sollte dabei immer dampfdiffusionsoffen ausgeführt werden. Die Dampfbremse kann auch gleichzeitig die Luftdichtigkeitsfunktion übernehmen. Eine diffusionsoffene Unterspannbahn oder eine Holzfaserplatte sollte als Witterungsschutz gegen drückenden Regen oder Flugschnee angeordnet werden, wobei die Platte natürlich das Begehen der Dachfläche während der Montage sehr erleichtert und Schäden an Wind- und/oder Dampfdichtung im Baustadium vermeidbar macht. Eine Wind- und Luftdichtung muß auch im Detail wirken. So ist siez. B. auch im Anschlußbereich zwischen Dachschalung und Außenwand notwendig.

Die erwähnte sich durchsetzende Bauart der unbelüfteten Vollsparrendämmung macht eine gute feuchtetechnische Bemessung notwendig. Unter anderem kann einem Merkblatt des Dachdeckerhandwerks dazu entnommen werden, daß die Abdichtung des Unterdachs eine diffusionstechnische Auslegung auf $s_{d,a} < 0,20$ m, also möglichst diffusionsoffen, und die raumseitige Abdichtung auf $s_{d,i} \geq 2$ m "diffusionsbremsend" ausgelegt sein sollte. Ebenso möglich ist die Zuordnung $s_{d,a} < 0,15$ m bei $s_{d,i} \geq 1$ m (KÜNZEL 1996).

In diesem Zusammenhang sei auf die Fehlerträchtigkeit der Ausführung hingewiesen. Nach Aussagen der ARBEITSGEMEINSCHAFT HOLZ e. V. (1997) geschieht die Mehrzahl der Feuchteschäden in Dächern durch zwei Fehler: Eine nicht luftdicht ausgeführte Innenschale, wodurch Wasserdampfmengen vom hundertfachen Umfang der rechnerischen Diffusionsmenge in die Dachkonstruktion gelangen. Und als zweiter Fehler, der immer noch verbreitete Einbau frischen Holzes > 20 % Holzfeuchte und ein daran geknüpftes Verhindern der Trocknung in der Konstruktion z. B. durch "Einpacken" der Holzbauteile in Folien oder dampfdichte Dämmstoffe, wie z. B. Schaumstoffe. Ein Austrocknen der Konstruktion wird rechnerisch Jahrzehnte in Anspruch nehmen, wie auch von GEHLE (1997) vorgerechnet wird. Das zeigt, daß die einfache Wasserdampfdiffusion nur das kleinste Gefahrenpotential darstellt.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen benötigen immer Zusatzkonstruktionen, wie Holzrahmen und Kanthölzer für Aufsparren- oder Fußbodendämmung, (dadurch wird die

Konstruktion teurer). Durch die damit verbundene Gefahr, Schall- und Wärmebrücken auszubilden, werden die Dämmstoffe für viele Anwendungen (Warmdach, Aufsparrendämmung, Fußbodenwärmedämmung) selten eingesetzt. Die Verwendung beschränkt sich hauptsächlich auf Zwischensparrendämmung, leichte Trennwände (Schallschutz), Akustikdecken und Dämmung von Holzständerwänden. Wegen ihres Sorptionsverhaltens finden diese Dämmstoffe keine Verwendung als Kerndämmungen. Der "unterirdische" Dämmbereich (Sohlplatten-/Perimeterdämmung) fällt gänzlich heraus. So wird der Bereich der Druck- und/oder Feuchtebeeinträchtigung gemieden. Ein striktes bauaufsichtliches Limit liegt zudem in brandschutztechnischen Anforderungen.

Es gibt bis jetzt nur wenige alternative Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Eine Ausnahme stellt nur die Holzfaser dar. Es befindet sich jedoch eine vielversprechende Alternative in Entwicklung. Dieser Dämmstoff besteht aus Sonnenblumenstengelmark. Er erreicht auch ohne zusätzliche Brandschutzausrüstung B2 (= normalentflammbar) und soll als "WD"-Anwendungstyp druckbelastbar verbaut werden dürfen.

Um temperatúraustauschende Flächen (Wärmebrücken) bei nicht vollgedämmten Konstruktionshöhen (Sparren- oder Balkenhöhen) zu verringern, wird die Dämmung an den Tragbauteilflanken hochgeführt.

Im Dachbereich ist der Witterungsschutz von besonderer Bedeutung. Damit bei hoher Luft-/feuchtigkeit nicht "zuviel" Feuchtigkeit vom Dämmstoff absorbiert wird, sollte Flachsdämmstoff bei Verwendung in hinterlüfteten Konstruktionen nicht in direkten Kontakt zur Außenluft gebracht werden, sondern z. B. durch Holzfaserplatten oder diffusionsoffene Pappen oder Bahnen geschützt werden.

Dämmplatten können ohne Benutzung einer Windsperre mehrlagig verlegt werden, weil das Material eigentlich genügend Strömungswiderstand hat; es muß jedoch ein Versatz der Stöße (= Fugen) berücksichtigt werden. Bei einer außenseitigen Verputzung oder Vermauerung braucht bei Außenwänden keine Windbremse angeordnet zu werden.

Es ist auch eine innenseitige Luftabdichtung notwendig, da einer Konvektion von innen nach außen vorgebeugt werden kann. Bei einer raumseitigen Anordnung einer Dampfbremse, die diese Funktion mit übernehmen kann, und einer deckenden Verkleidung auf Lattung, sollte die Dampfbremse direkt unter den Sparren befestigt werden. So ergibt sich ein Zwischenraum, der zur Installationsführung (Kabel und dgl.) genutzt werden kann, ohne die "Bremse" durchstoßen zu müssen und sie dabei zu beschädigen.

Der Einbau einer Aufsparrendämmung erweist sich als eine günstige Konstruktionsform, da hier zum einen kein Zentimeter statisch wirksamen und teuren Vollholzes zugunsten einer dicken Vollsparrendämmung bereitgestellt wird. Bei in Modernisierungsfällen oft zu geringen vorhandenen Sparrenhöhen besteht die Möglichkeit, die Dämmung zu vergrößern, ohne einen Raumverlust in Kauf nehmen zu müssen.

Besondere Vorteile der Aufsparrendämmung bestehen in den durchgehenden Bauteilschichten, weil diese einen hochwertigeren Wärme-, Schall- und ggf. auch Brandschutz bieten. Die Dämmung wird nicht durch Holzbauteile (= Wärmebrücken) unterbrochen und auch die erzielbare Luftdichtheit wirkt wärmetechnisch sehr günstig. Zusätzlich ist die Tragkonstruktion keinen Einflüssen aus thermischer Dehnung oder daraus resultierenden Spannungen

unterworfen. Ein weiterer Vorteil: das Dach ist zur Verlegung der Dämmung begehbar. Das gewährleistet eine rationelle Verarbeitung der einzelnen Schichten.

Meist bleibt dabei die alte Dacheindeckung unangetastet und erhalten. Man versucht von der Innenseite den Aufbau zu verändern, wobei bei älteren Konstruktionen meist auch keine Unterspannbahn verwendet wurde. Für diese schützende Bahn, die bei dieser Vorgehensweise ohne die Dachsteine zu entfernen auch nicht nachgerüstet werden kann, kann zum Schutz eine bituminierte ca. 10 mm dicke Holzweichfaserplatte zur Witterungsseite hin an einer Hilfslattung angebracht werden. Das eigentliche Problem liegt jedoch in den meist zu geringen Sparrenhöhen, die dem Einbringen der notwendig erachteten Dämmstoffdicken entgegenstehen. Da bleibt, wenn die Konstruktion nicht gänzlich geändert werden soll, nur der Griff zu möglichst niedrigen Wärmeleitzahlen beim Dämmstoff. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen werden daher nach derzeitigem Kenntnisstand nicht angewendet werden können. Alternativ bliebe die Verkleinerung des Nutzraumes unter dem Dach durch Anbringen einer (zusätzlichen) "Untersparrendämmung". Bei einer "Totalamputation" der äußeren Dachhaut kann eine Aufsparrendämmung ergänzt werden. Dazu muß jedoch, wie bei einer Neukonstruktion in diesem Fall auch, die Sparrenhöhe durch Auflattung oder patentierte Metallformteile zum Befestigen der tragenden Lattung erhöht werden. Diese Maßnahmen sind dann statisch nachzuweisen.

2.8 Zusammenfassende Bewertung für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Vorteile:

- Breite Produktpalette von Dämmstoffen unterschiedlicher Dichten je nach Grundstoff und Vorverarbeitung
- Deutlicher Vorteil für Wärme- und Schallschutz

Hemmnisse:

- Generell etwas höhere Wärmeleitfähigkeiten als konventionelle Dämmstoffe

Lösungsvorschlag:

- Akzeptanz von Produkten der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) 045

3 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Produktzulassung

Steffens⁴, H., Kuntz⁴, S.

Dieses Kapitel kann nur eine auszugsweise Darstellung der Sachverhalte bieten, da sie in die Bereiche des sehr komplexen europäischen Rechts und z. T. unterschiedlicher bauaufsichtlicher Anforderungen fallen. Es handelt sich dabei um eine sehr aufwendige Erfassung von Daten bei einer ständigen Fortschreibung der Normen, der technischen Vorschriften und Bauvorschriften, was eine vollständige Genauigkeit, Fehlerfreiheit und Aktualität nicht zuläßt. Die gegebenen Informationen können somit dem Anspruch auf Vollständigkeit und Verbindlichkeit nicht nachkommen. Sie können den direkten Zugang zu den Quellendokumenten nicht entbehren.

3.1 Europäisch-nationaler Rahmen zur baurechtlichen Verankerung von Bauprodukten

3.1.1 Definition des Begriffes "Bauprodukt"

Das Bauproduktengesetz BauPG (§ 2) und die Landesbauordnungen LBauOn (§ 2) definieren Bauprodukte als Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in baulichen Anlagen des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden, aus Baustoffen und Bauteilen vorgefertigte Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden, wie Fertighäuser, Fertigaragen und Silos.

3.1.2 Ordnungsrechtliche Instanzen

Die Europäische Union (EU) legte am 21.12.1988 eine Bauproduktenrichtlinie (BPR) fest. Ziel der Richtlinie ist das Schaffen eines gemeinsamen Marktes für Bauprodukte innerhalb der EU-Mitgliedsstaaten. Die Richtlinie regelt sowohl das Inverkehrbringen und den freien Warenverkehr, als auch die Verwendung der Bauprodukte. Fehlen Vorgaben der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG), sind die Mitgliedsstaaten berechtigt, für ihr Gebiet eigene Gesetze zu erlassen. Diese sollen jedoch, wie oben angedeutet, nicht die drei obersten Prinzipien der EU antasten: gegenseitige Anerkennung, Vermeidung neuer Handelshemmnisse und technische Harmonisierung (Art.7 (1)).

Die EU-weite Harmonisierung der verschiedenen technischen Spezifikationen für Bauprodukte erfolgt unter der Maßgabe der "allgemeinen Anforderungen" an ein Bauprodukt. Sie sind im Anhang I der BPR als wesentliche Anforderungen an Bauwerke und Bauprodukte enthalten. Als weiteren Schritt hin zu europäischen Normen und Zulassungen erfolgt die Präzisierung der wesentlichen Anforderungen durch das Erarbeiten von Grundlagendokumenten und Leitlinien. Damit soll gewährleistet werden, daß länderindividuelle Anforderungsklassen und Leistungsstufen erarbeitet werden, wobei insbesondere vorherrschende individuelle Schutzniveaus der Mitgliedsländer weiter berücksichtigt und unangetastet bleiben ("Schutzklausel"). Diese dienen legitimen Zwecken z. B. des Gesundheitsschutzes, der Sicherheit, des Verbraucherschutzes, des Umweltschutzes usw. und finden damit ihre Rechtfertigung.

Die BPR zog nach EWG-Vertrag national das Bauproduktengesetz (BauPG) zu dessen Umsetzung nach sich, welches am 15.8.92 in Kraft trat. Es regelt in seiner ihm grundgesetzlich zugedachten Kompetenz das Inverkehrbringen von Bauprodukten und den

freien Warenverkehr in allen EU- sowie den vertraglich angeschlossenen Staaten. In diesen Punkten übernimmt der Bund nach Art. 74 Nr. 11 GG den Anspruch der Gesetzgebungskompetenz zur Umsetzung der Richtlinie.

Die Umsetzung der BPR hinsichtlich der Verwendung der in Verkehr gebrachten Bauprodukte unterliegt wie bisher Rechtsvorschriften und den Länderregelungen durch die Landesbauordnungen (LBO) bzw. deren gemeinsamer Grundlage, der Musterbauordnung (MBO). Die Anwendung des BauPG ist entsprechend der Vorgaben der BPR im wesentlichen von der Erarbeitung und Bekanntgabe (EG-Amtsblatt) sogenannter harmonisierter Normen sowie von der Erarbeitung von Leitlinien für europäische technische Zulassungen (ETAGs = European Technical Approval Guidelines, BauPG § 2 (3)) abhängig. Aus diesem Grund können erst in den nächsten Jahren mehr Bauprodukte vom Anwendungsbereich des BauPG erfaßt werden. Bis dahin befinden wir uns im Übergang, in dem für entsprechende Bauprodukte weitgehend die Vorschriften des nationalen bzw. ländereigenen Bauordnungsrechtes maßgebend sind.

Ergänzend muß jedoch auch angemerkt werden, daß es nicht automatisch eine Verdrängung des Bauordnungsrechtes bedeuten muß, wenn das BauPG Anwendung findet. Entsprechend der BPR läßt das BauPG in bestimmten Fällen zu, daß neben den Vorschriften des BauPG auch die Vorschriften der LBO über die "Brauchbarkeit" bzw. "Verwendbarkeit" von Bauprodukten angewendet werden dürfen. In dem BauPG sind die besagten allgemeinen Anforderungen an diese Produkte für die Brauchbarkeit in baulichen Anlagen festgelegt. Als wesentliche allgemeine Anforderungen sind dabei folgende zu nennen:

- mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- Erfüllung des Brandschutzes / Schallschutzes / Wärmeschutzes
- Hygiene; Gesundheit; Umweltschutz
- Nutzungssicherheit
- Energieeinsparung

Die Überprüfung der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen geschieht durch einen Brauchbarkeitsnachweis. Er wird aber in der Regel nur für Produkte geführt, die noch nicht allgemein gebräuchlich sind, bzw. für deren Herstellung, Bemessung oder Güte noch keine eigenen anerkannten (harmonisierten) Normen oder anerkannten Regeln der Technik existieren.

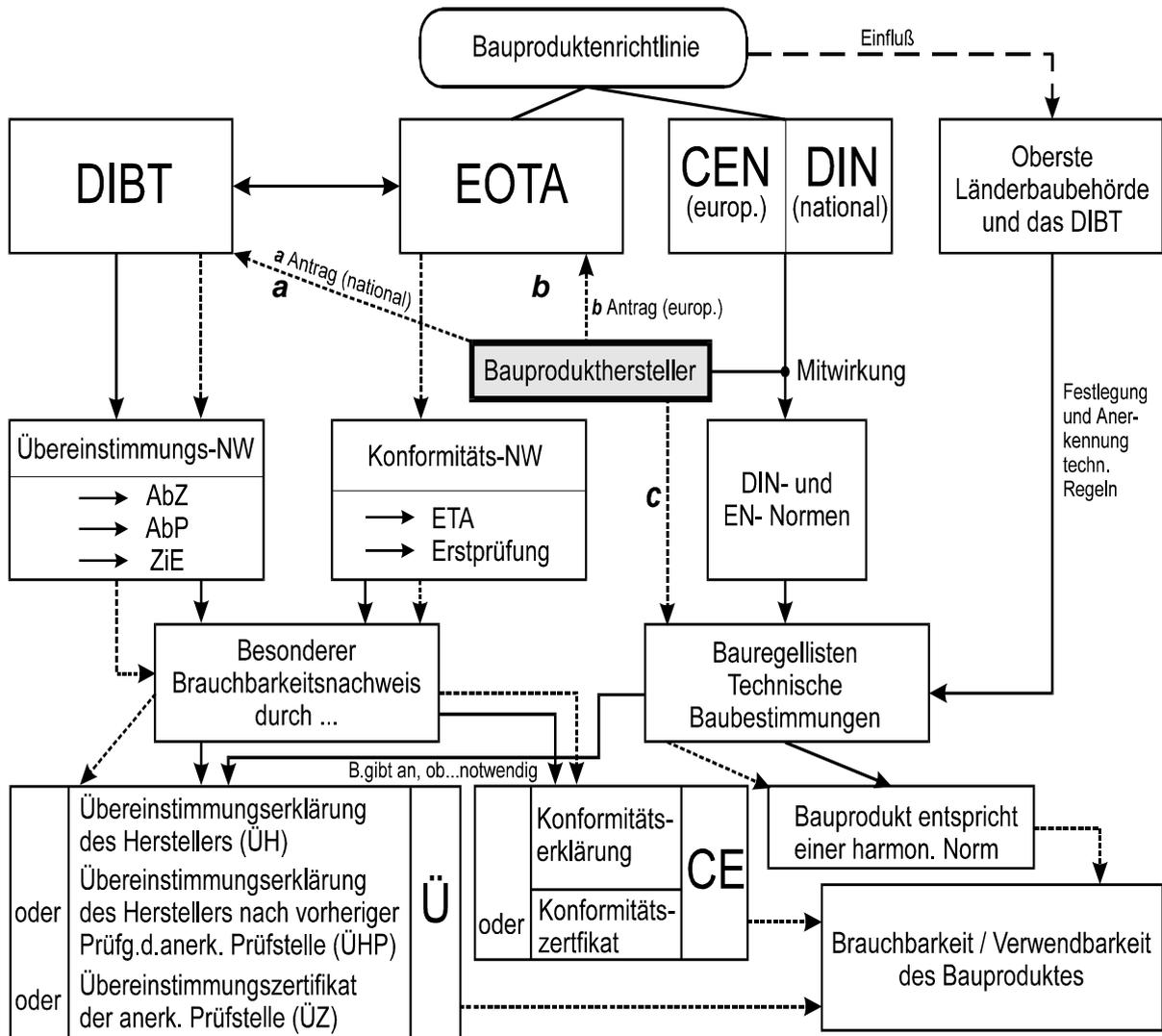


Abbildung 3.1: Vom Bauprodukt bis zu seiner Brauchbarkeit

3.2 Der nationale Rahmen für die Bestimmung der Brauchbarkeit eines Produktes

Auf nationaler Ebene erfolgt der Brauchbarkeitsnachweis (oder "Verwendbarkeit") als Übereinstimmungsnachweis (Ü-Nachweis) durch das bauordnungsrechtliche Verfahren zur Vergabe der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (AbZ), des allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (AbP) oder des Nachweises der Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Auch Produkte, die nach in der sogenannten Bauregelliste A-Teil 1 des BauPG aufgeführten technischen Regeln hergestellt sein wollen und damit als verwendbar gelten, bedürfen des Übereinstimmungsnachweises. Für Dämmstoffe erfolgt der Nachweis i. d. R. durch das Zulassungsverfahren. Nur die altbekannten (bewährten) fallen unter vorhandene Baustoffnormen.

Die Verwendbarkeit bzw. Zulassung wird vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) in Berlin ausgesprochen, welches die vom Bund legitimierte Stelle für dieses bauaufsichtliche Verfahren darstellt. Es ist verpflichtet, diese Zulassungen im amtlichen Bauanzeiger bekannt zu machen.

3.2.1 Nachweis der Brauchbarkeit

Die Brauchbarkeit der Bauprodukte wird nachgewiesen durch:

- Die Übereinstimmungserklärung (nach § 24a MBO) des Herstellers (ÜH) aufgrund dessen werkseigener Produktionskontrolle (Eigenüberwachung);
- Die Übereinstimmungserklärung des Herstellers nach vorheriger Prüfung des Produktes, sogenannter Erstprüfung, durch eine hierfür anerkannte Prüfstelle (ÜHP);
- Die Herstellererklärung mit dem zusätzlichen Übereinstimmungszertifikat (ÜZ, nach § 24b MBO) einer anerkannten Zertifizierungsstelle aufgrund der von einer anerkannten Überwachungsstelle durchgeführten Fremdüberwachung des Herstellers.

Die dritte Möglichkeit kann in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (AbZ), der Zustimmung im Einzelfall oder in der Bauregelliste A gefordert werden und macht die Kennzeichnung des Bauproduktes mit dem Ü- (wie Übereinstimmung) Zeichen notwendig. Das Zertifikat wird i. d. R. nur den Produkten abverlangt, bei denen es, bedingt durch Serienfertigung, zu einer ordnungsgemäßen Herstellung erforderlich ist. Die Dämmstoffe fallen darunter. Die Zertifizierungsstelle bestätigt durch die Zertifizierungsurkunde lediglich die ordnungsgemäß durchgeführten Tätigkeiten der Prüf- und Überwachungsstellen.

Ein Bauprodukt kann also durchaus eine AbZ besitzen, jedoch durch eine fehlende Zertifizierung, weil es z. B. (noch) nicht in Serie gefertigt wird, nicht in den Handel kommen bzw. einer bautechnischen Verwendung zugeführt werden. Ausnahmen sind möglich. Welcher Ü-Nachweis geführt werden muß, hängt von der Sicherheitsrelevanz des Produktes ab. Das anzuwendende Verfahren wird bei Produkten, die nach anerkannten technischen Regeln hergestellt werden, in der Bauregelliste A-Teil 1, die nach einem AbP hergestellt werden, in der Bauregelliste A-Teil 2 bekanntgemacht, bei Produkten nach AbZ oder ZiE in den entsprechenden Bescheiden festgelegt.

Man erkennt, daß das Übereinstimmungsverfahren ständige Prüfungen (P) und Überwachungen (Ü) bedingt. Die Prüfung und Überwachung der Herstellungsverfahren, der Eigenüberwachung und Kennzeichnungen ist, wie schon erwähnt, von bauaufsichtlich akkreditierten Stellen (nach § 24c MBO) durchzuführen. Dabei kann es sich um Einzelpersonen, Institutionen oder Überwachungsgemeinschaften, auch privatwirtschaftlicher Natur, handeln. Anstalten öffentlichen Rechts oder Behörden können ebenfalls akkreditiert sein. In jedem Fall wird vom Hersteller von Bauprodukten verlangt, daß er durch eine werkseigene Produktionskontrolle sicherstellt, daß das hergestellte Produkt den maßgebenden technischen Spezifikationen entspricht (Eigenüberwachung).

3.2.2 Bauregellisten und die Liste C

Das DIBt gibt im Einvernehmen mit den obersten Baubehörden der Bundesländer bzw. gemäß deren Bauordnungen dem BauPG angeschlossene Bauregellisten A und B und eine sogenannte Liste C bekannt. Sie stellen im wesentlichen nationale Verzeichnisse technischer Regeln dar. Als technische Regeln werden dabei die auf ein Bauprodukt oder eine Produktgruppe bezogenen Produktnormen bezeichnet. Sie können aus anerkannten oder aus noch nicht anerkannten Regeln der Technik (Vornormen) bestehen. Die technischen Regeln der Liste A brauchen nicht mehr gesondert landesbaurechtlich als sogenannte "Technische Baubestimmungen" bekannt gemacht zu werden, da sie als solche gelten.

Die Bauregelliste A

Die Bauregelliste A teilt sich in drei Teile auf. Von den LBOs "geregelt" genannte Bauprodukte entsprechen dazu den tabellarisch im Teil 1 aufgeführten technischen Regeln oder weichen nicht wesentlich von diesen ab (MEYER 1995). Eine wesentliche Abweichung eines Produktes von einer technischen Regel liegt z. B. vor, wenn das Produkt bzw. dessen stoffliche Zusammensetzung und sein vorgesehener Verwendungszweck von der technischen Regel abgedeckt ist, die Produkteigenschaften jedoch wesentlich von der technischen Regel abweichen. Weicht das Produkt von der stofflichen Zusammensetzung ab oder wird der vorgesehene Verwendungszweck nicht von der technischen Regel abgedeckt, handelt es sich nicht um ein abweichendes Produkt, sondern um ein nicht geregeltes Produkt, welches in jedem Fall einer Zulassung bedarf.

In der Bauregelliste A werden die technischen Regeln für Bauprodukte und Bauarten aufgenommen, die zur Erfüllung der Anforderungen, die im Bauordnungsrecht an bauliche Anlagen gestellt werden, erforderlich sind. Die dort aufgeführten Produkte können durch ihre Zusammensetzung oder ihr Anwendungsgebiet (z. B. Gesundheits- und Umweltschutz) in den an sie gestellten Anforderungen noch durch konkurrierende Gesetze und Verordnungen, z. B. des Bundes, erfaßt werden.

Enthält eine technische Regel mehrere Typen von Bauprodukten, wovon nur ein Teil als vollständig geregelt gilt, so wird die technische Regel nur für diese Typen in die Regelliste A aufgenommen. Die nicht genannten Typen gelten dann als nicht geregelte Produkte und bedürfen einer Zulassung, falls sie nicht in der Bauregelliste A Teil 2 aufgeführt werden. Hier genügt ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (AbZ). Beispiele hierfür gibt es im Bereich der Wärmedämmstoffe, bei denen teilweise die normal-entflammbaren (B2-DIN 4102) und nichtbrennbaren (A1-/ A2-DIN 4102) Typen von Faserdämmstoffen als geregelt gelten, da das Brandverhalten eindeutig nach DIN 4102 beurteilt werden kann. Die schwerentflammbaren Typen (B1-DIN 4102) wurden nicht aufgenommen, da das Brandverhalten nicht abschließend durch die DIN-Norm 4102 beurteilt werden kann. Diese Typen bedürfen dann einer Zulassung (früher: Prüfzeichenpflicht). Sofern die DIN-Normen für die Erfüllung der bauaufsichtlichen Forderungen nicht ausreichend waren, wurden - soweit dies möglich war - in Anlagen zur Bauregelliste weitergehende Regelungen zu den Produkten getroffen.

Bauprodukte werden in den Teil 1 nur aufgenommen, wenn ihre Anforderungen hinsichtlich einer erforderlichen Feuerwiderstands- oder Baustoffklasse geregelt sind. Zu beachten sind dabei die dem Teil 1 angefügten Anlagen. In die Liste werden auch nur solche technischen Regeln aufgenommen, die für die Erfüllung der Anforderungen der Landesbauordnungen von Bedeutung sind und die alle zu stellenden bauaufsichtlichen Anforderungen für den üblichen Verwendungszweck abdecken. Als technische Regeln wurden hauptsächlich Normen aufgenommen. Geregelte Dämmstoffe für den Wärme- und Schallschutz sowie direkte Anlagehinweise sind unter der Kapitelnummer 5 mit entsprechend fortlaufender Numerierung zu finden. Im Anlagekapitel 0 wird das Procedere der werkseigenverantwortlichen Produktionskontrolle des Produktherstellers festgeschrieben; unter anderem auch die "Übersetzung" von Benennungen der Brandschutznorm DIN 4102-1 /-2 in den bauaufsichtlichen Sprachgebrauch, wie z. B. der Brandschutzklassen A und B in "nichtbrennbare" und "brennbare" Baustoffe. Hier ist auch der Hinweis zu finden, daß diese Norm für schwerentflammbare oder nichtbrennbare Bauprodukte mit brennbaren

Bestandteilen nicht als technische Regel in die Baugeräteliste aufgenommen werden konnte, da diese Bauprodukte bezüglich des Brandverhaltens dort nicht geregelt sind.

Die Liste A Teil 1 bedarf einer ständigen Fortschreibung, um die Liste der technischen Regeln an die Entwicklung der Baunormung anzupassen. Bei neu entwickelten Produkten, für die es keine Normen gibt, wird jeweils zu entscheiden sein, ob hier ein Verwendbarkeitsnachweis gefordert werden soll oder, ob sie von untergeordneter Bedeutung im Hinblick auf die bauaufsichtlichen Anforderungen sind.

Die als "nicht geregelt" bezeichneten und in Teil 2 der Liste aufgeführten Bauprodukte, entsprechen dagegen Produkten, die von den in Teil 1 genannten Regeln wesentlich abweichen und für die es keine technischen Baubestimmungen oder allgemein anerkannten Regeln der Technik gibt. Letzteres auch, wenn diese "nur" teilweise vorhanden sind. Die aufgeführten Produkte können hinsichtlich dieser Anforderungen nach allgemein anerkannten Prüfverfahren, ohne vorzulegende Prüfregeln, im Ermessen der anerkannten Prüfstelle beurteilt werden. (Davon ausgenommen sind die in Liste C genannten Produkte). Die Verwendung der aufgeführten Produkte dient nicht der Erfüllung erheblicher Anforderungen an die Sicherheit baulicher Anlagen. So findet man im Teil 2 derzeit z. B. nichttragende leichte Trennwände aufgeführt. Es können jedoch bei Erhöhung der Anforderungen (z. B. an den Schall- und Brandschutz) weitere Prüfungen gefordert werden. In Einbindung in eine Konstruktion, welche als ganzes bewertet wird, bietet sich für sonst meistens in die brandtechnische Baustoffklasse B2 (= normalentflammbar) eingestufte, natürliche Dämmstoffe z. B. die Möglichkeit einer weniger eingeschränkten Verwendung, da das Bauteil eine höherwertige Brandschutzqualität erzielen kann. Für die Verwendbarkeit der Produkte in Teil 2 wird lediglich die Übereinstimmung mit einem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis (AbP) einer anerkannten Prüfstelle verlangt. Nach dem DEUTSCHEN INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (1997) könnte man daher auch so formulieren, daß das AbP einer so zu nennenden "kleinen" allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung gleichkommt.

Im Teil 3 der Regelliste A schließlich werden die Bauarten tabellarisch geführt, die von technischen Baubestimmungen wesentlich abweichen. Auch sind Bauarten aufgeführt, die hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen ein AbP benötigen, weil es allgemein anerkannte Regeln der Technik nicht oder nicht für alle Anforderungen gibt. Zur Zeit wurde hier von allen angegebenen Bauarten als Anwendbarkeitsnachweis nur das AbP und als Übereinstimmungsnachweis die Übereinstimmungserklärung des Herstellers gefordert.

Die Bauregelliste A liegt in einer tabellarischen Form vor, wie sie in Tabelle 3.1 auszugsweise für den Teil 1 dargestellt ist. Angegeben wird in der ersten Spalte die dem Produkt zugeordnete laufende Nummer, in der zweiten das Bauprodukt selbst. Die dritte Spalte gibt die technischen Regeln an, mit denen die Bauprodukte übereinstimmen müssen bzw. mit denen Anforderungen nachzuweisen sind. Hier wird z.B. die Brandschutznorm DIN 4102 dann genannt, wenn Regelungen zum Erreichen einer Feuerwiderstandsklasse zu beachten sind oder die Ermittlung der Baustoffklasse bedeutsam ist. Die vierte Spalte gibt durch Abkürzungen das bindende öffentlich-rechtliche Procedere des Übereinstimmungsnachweises an, auch wenn in der technischen Regel (z. B. DIN-Norm) eine andere Nachweisart vorgesehen ist. Eine in einer technischen Regel vorgesehene Fremdüberwachung eines Produktes ist daher öffentlich-rechtlich unbeachtlich, wenn in der Spalte 4 kein Übereinstimmungszertifikat vorgeschrieben ist. Die letzte (fünfte) Spalte trägt die Information, welcher Verwendbarkeitsnachweis zu führen ist, wenn das Produkt wesentlich von den technischen Regeln abweicht. Alle unter Kapitelnummer 5.x der

Bauregelliste A aufgeführten Dämmstoffe erfordern für den Übereinstimmungsnachweis das Übereinstimmungszertifikat ("ÜZ") einer anerkannten Zertifizierungsstelle und die allgemeine bautechnische Zulassung ("Z") für einen Verwendbarkeitsnachweis, wenn wesentliche Abweichungen von den technischen Regeln vorliegen.

Tabelle 3.1: Exemplarischer Auszug aus der Bauregelliste A Teil 1

| lfd. Nr. | Bauprodukt | Technische Regeln | Übereinstimmungsnachweis | Verwendbarkeitsnachweis bei wesentl. Abweichung von den technischen Regeln |
|----------|--|---|--------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5.11 | Normalentflammbare Schaumkunststoffe aus Polystyrol-Partikel-Schaum (EPS) als Dämmstoffe für die Wärmedämmung | DIN 18164-1: 1992-08 Zusätzlich gilt: DIN 4102-1 : 1981-05 in Verbindung mit Anlage 0.2 | ÜZ | Z |
| 5.12 | Normalentflammbare Schaumkunststoffe aus Polystyrol-Partikel-Schaum (EPS) als Dämmstoffe für die Trittschalldämmung | DIN 18164-2: 1991-03 Zusätzlich gilt: DIN 4102-1 : 1981-05 in Verbindung mit Anlage 0.2 | ÜZ | Z |
| 5.13 | Normalentflammbare Faserdämmstoffe und nichtbrennbare Faserdämmstoffe ohne brennbare Bestandteile für die Wärmedämmung | DIN 18165-1: 1991-07 Zusätzlich gilt: DIN 4102-1 : 1981-05 in Verbindung mit Anlage 0.2 | ÜZ | Z |
| 5.14 | Normalentflammbare Faserdämmstoffe und nichtbrennbare Faserdämmstoffe ohne brennbare Bestandteile für die Trittschalldämmung | DIN 18165-1: 1987-03 Zusätzlich gilt: DIN 4102-1 : 1981-05 in Verbindung mit Anlage 0.2 | ÜZ | Z |
| ÜZ | - Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle | | | |
| Z | - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung | | | |

Die Bauregelliste B

Die Bauregelliste B (erstmalig in Frühjahr 1997 erschienen) steht im Zusammenhang mit dem BauPG und anderen Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft. Die LBO sind ermächtigt (§ 24 (7) MBO), in der Bauregelliste B festzulegen, welche Klassen und Leistungsstufen, die Normen, Leitlinien oder europäischen technischen Zulassungen nach dem BauPG oder anderen Vorschriften zur Umsetzung von Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften enthalten sein sollen; genauso auch, welchen bestimmte Bauprodukte unterliegen sollen (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. 1997). Hier werden also unter Berücksichtigung verwendungsindividueller Schutzniveaus Klassen und Leistungsstufen für Bauprodukte festgelegt. Im Falle einer Feuerschutztafel wird so z. B. der deutschen Klassifikation F-30 (= 30 Minuten Feuerwiderstandsdauer) mit der europäischen Bezeichnung R-30 ein Qualitätsäquivalent gegeben.

In der Liste B werden des weiteren Abweichungen von wesentlichen Anforderungen des BauPG bei der Verwendung von Bauprodukten, die durch Umsetzungsvorschriften anderer EG-Richtlinien auftreten, aufgeführt. Wie die Bauregelliste A, ist auch sie aufgeteilt. Sie ist in zwei Teilen erschienen, wobei mit Erscheinen der Teil 1 noch leer blieb, da er für die nach der

BPRL "harmonisierten" Bauprodukte vorgesehen ist, und die entsprechenden technischen Spezifikationen für solche Produkte noch nicht vorlagen. In einem Teil 2 der Bauregelliste sind Bauprodukte mit entsprechenden Hinweisen aufgeführt, die (genauso) anderen Richtlinien unterliegen und aufgrund dieser Richtlinien mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sind.

Die Liste C

Die Liste C führt die sogenannten nicht geregelten Bauprodukte auf, welchen durch die an sie gestellten bauordnungsrechtlichen Anforderungen nur geringe Sicherheitsrelevanz zukommt (z. B. kleinformatische Fassaden oder Deckenelemente geringer Eigenlast). Für sie gibt es keine allgemein anerkannten Regeln der Technik oder technischen Baubestimmungen. Bei diesen Produkten entfällt der Verwendbarkeitsnachweis und infolgedessen auch der Übereinstimmungsnachweis. Sie dürfen kein Übereinstimmungszeichen tragen. Dämmstoffe mit bauphysikalischen Anforderungen werden hier nicht aufgeführt.

3.2.3 Technische Spezifikationen des Verwendbarkeitsnachweises

Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (AbZ) und Prüfzeugnisse (AbP) und die Zustimmung im Einzelfall (ZiE) von verwendeten Bauprodukten müssen jeder Bauvorlage innerhalb eines Baugenehmigungsverfahrens beigelegt bzw. überprüfbar sein, damit ein Bauvorhaben bauaufsichtlich beurteilt werden kann. In den folgenden Unterkapiteln soll kurz umrissen werden, was diese beinhalten.

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) wird für nachgewiesen verwendbare nicht geregelte Bauprodukte vom DIBt, Berlin, erteilt. Die Rechte Dritter sind dabei unbeschadet. Sie ist widerruflich und i. d. R. bei gleichlautender Verlängerbarkeit auf 5 Jahre befristet. Anhand einer Beispiel-Zulassung für einen Zellulose-Wärmedämmstoff soll einmal ein typischer inhaltlicher Aufbau aufgezeigt werden.

Zu Beginn des Zulassungsdokuments sind als Kapitel I immer die "Allgemeinen Bestimmungen" beigelegt. Als Kapitel II folgen die besonderen Bestimmungen, die bei Wärmedämmstoffen allgemeingültig in die Unterkapitel 1. Gegenstand (der Zulassung), 2. Anwendungsbereich, 3. Angaben für die bauphysikalischen Nachweise, 4. Anforderungen, 5. Prüfung, 6. Kennzeichnung und 7. Überwachung eingeteilt sind. Anliegend werden dann länderspezifisch die Rechtsgrundlagen für die Erteilung und länderübergreifende Gültigkeit der AbZ durch das DIBt aufgelistet.

In Unterkapitel 1 wird das Produkt als Gegenstand der Zulassung in Angabe der Rohstoffe und des Herstellverfahrens festgelegt. Unterkapitel 2 gibt den Anwendungsbereich und die Verarbeitung des Produktes an. Die für bauphysikalische Nachweise nötigen Kennwerte, wie den Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit λ_R , das verwendbare Maß der Nenndicke, die Diffusionswiderstandszahl μ und die Einstufung des Brandverhaltens sind unter 3. zu finden. Die für den Hersteller wohl wichtigsten Angaben enthält Unterkapitel 4, denn hier sind unter Angabe der zugrundeliegenden technischen Regeln (Normen) und Prüfrichtlinien in Unterkapiteln die nachzuweisenden (technischen) Anforderungen spezifiziert; vorangestellt der wichtige Hinweis, daß die Prüfungseigenschaften bzw. die Rezeptur für den Zeitraum der Zulassung zu wahren sind. Aus der Darstellung seien beispielhaft herausgegriffen: die Rohdichte, die unter Laborbedingungen und aus Probeentnahmen des verbauten Produktes zu bestimmen ist sowie der Laborwert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, tr}$, verschiedene Setzmaße, die Feuchteaufnahme und die Brandschutzklassifikation. Es werden aber auch Vorschriften bezüglich Lagerung, Verarbeitung, konstruktiver Ausführung gemacht und sogar etwaige

Anforderungen an das ausführende Personal gestellt. Das Unterkapitel 5 erläutert und legt die notwendigen Prüfungen für den Nachweis der Anforderungen fest. Dazu wird auf entsprechende Prüfnormen und auf speziell für die Zulassung erarbeitete Verfahren verwiesen. Wenn möglich wird sich an Prüfungen von im Detail ähnlichen zu prüfenden Eigenschaften angelehnt. Die Kennzeichnung des Bauproduktes in Art, Umfang und Ort legt 6. fest. Das letzte Unterkapitel 7 legt die Überwachungspflichten dar. Es wird die Notwendigkeit der Eigen- und der Fremdüberwachung bestimmter Anforderungen an das Produkt ab Werk und auf der Baustelle bestimmt.

Für die (Güte-)Überwachung wird die DIN-Norm 18200 als maßgebend herangezogen. Weitere Festlegungen sind möglich. In der Regel wird ein tabellarischer Überwachungsplan zu Art und Umfang der Überwachung angelegt, aus dem hervorgeht, welche Eigenschaft (4.), wie häufig (5.) in Eigenüberwachung (im Werk und auf der Baustelle) und Fremdüberwachung (Werk, Markt und Baustelle) mindestens zu prüfen ist. Im Beispiel ist die Rohdichte bei freiliegender Verarbeitung im Werk 1 mal wöchentlich, auf der Baustelle einmal täglich und in Fremdüberwachung zweimal jährlich zu prüfen. Die Ergebnisse sollen dokumentiert und für bestimmte Zeit archiviert werden.

Zur Untersuchung des Materialverhaltens im eingebauten Zustand wird unter Punkt 7 auch die Entnahme und Prüfung von Proben des für längere Zeit (mind. 2 Jahre) im Bauwerk befindlichen Dämmstoffs durch die Fremdüberwacher vom DIBt vorgeschrieben. Das DIBt fordert im Rahmen der Dokumentation vor Ablauf der Zulassung einen umfassenden Bericht zu allen Überwachungstätigkeiten vom Fremdüberwacher ein. Letzterer wird vom DIBt in der Zulassung bestimmt.

Eine Aufstellung nach Angaben des DIBt, Berlin, vermittelt einen Eindruck über den momentanen zahlenmäßigen Umfang der zugelassenen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (Stand 29.8.97).

Tabelle 3.2: Anzahl der zugelassenen Dämmstoffe (Stand 29.8.97)

| Dämmstoffart | Herstelleranzahl | Anzahl zugelassener Produkte |
|-----------------|------------------|------------------------------|
| Zellulose | 14 | 21 |
| Polyester-Faser | 3 | 3 |
| Baumwolle | 2 | 3 |
| Holzfasern | 4 | 5 |
| Flachsfaser | 3 | 3 |
| Schafwolle | 12 | 15 |

Das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (AbP)

Das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis (AbP) ist ein Verwendbarkeitsnachweis, der an die Stelle der AbZ bei nicht geregelten Bauprodukten bzw. Bauarten tritt, an die entweder keine erheblichen Anforderungen wegen der Sicherheit der baulichen Anlagen gestellt werden, oder die nach allgemein anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden können.

Diese nicht geregelten Bauprodukte müssen mit der Angabe der maßgebenden technischen Regel und, soweit es keine allgemein anerkannten Regeln der Technik gibt, mit ihrer Bezeichnung in der Bauregelliste A bekannt gemacht werden. Materielle Anforderungen ergeben sich aus der bauaufsichtlichen Forderung nach einer dem Zweck angemessen langen Gebrauchstauglichkeit der baulichen Anlage, in der das Bauprodukt Verwendung findet. Diese soll dazu einer ordnungsgemäßen Instandhaltung unterliegen.

Die AbP kann von besonders hierfür anerkannten Prüfstellen (dezentral) erteilt werden. Dies dient der Verfahrenserleichterung und ermöglicht erstmals die Verlagerung bisher Behörden vorbehaltenen Aufgaben auf private Stellen, welche dadurch "hoheitlich" als beliehene Unternehmer tätig werden. Daraus ergibt sich eine vollkommen andere Rechtsnatur als sie den jetzt abgelösten Prüfzeichen und Prüfberichten in der Vergangenheit zu Grunde lag (BARTH 1997).

Die Prüfregeln und der "Weg" zur Ermittlung des abschließenden Urteils aus den durchgeführten Prüfungen, brauchen der Prüfstelle nicht vorgegeben zu werden. Sie bleiben, wie schon erwähnt, dem Ermessen und der Erfahrung der Prüfstelle überlassen. Die Prüfungen sind jedoch, wenn es möglich ist, ähnlichen Norm- oder bestehenden Zulassungsprüfungen angepaßt. So wird das AbP, obwohl es für die Zulässigkeit eines Dämmstoffes i. d. R. nicht den zutreffenden Verwendbarkeitsnachweis darstellt, für Dämmstoffe der das Brandverhalten beschreibenden Baustoffklassen A1 und B2, zum Nachweis der Verwendbarkeit gebraucht.

In dem Prüfzeichenverfahren der Vergangenheit hatte das DIBt die hoheitliche Entscheidungsbefugnis, welche eine Übersicht ermöglichte. Die Überschaubarkeit ist sicherlich auch ein Grund, weshalb Prüfstellen vom DIBt jetzt angehalten werden, Rücksprache bei der Durchführung von Prüfungen zu halten, da es hersteller- und prüfstellenseitig zu Unstimmigkeiten und Uneinigigkeiten gekommen zu sein scheint.

Die Zustimmung im Einzelfall (ZiE)

Die ZiE ermöglicht auf Antrag den nicht geregelten Bauprodukten und den Produkten, die ausschließlich nach dem BauPG oder sonstigen Umsetzungsvorschriften zu europäischen Richtlinien auf dem Markt zugelassen wurden, jedoch deren Anforderungen nicht erfüllen, die Verwendung. Dazu muß die Verwendbarkeit unter Erfüllung der materiellen Anforderungen, wie zu AbP beschrieben, nachgewiesen sein.

Die Zustimmung im Einzelfall wird unter Fachleuten gerne unter dem Aspekt der "Bewährungsprobe" für Bauprodukte befürwortet. Hersteller können so an einzelnen Bauobjekten die sprichwörtliche Brauchbarkeit ihres Produktes in der Praxis testen. Das heißt jedoch nicht, daß das Produkt baurechtlich im Zweifel steht, da es gewissen Anforderungen entsprechen muß. Die jeweilige Landesbauaufsicht, die die ZiE ausspricht, verlangt durchaus im Vorfeld nachzuweisende Prüfungen, welche an anerkannte Prüfungen zu ähnlichen zugelassenen oder genormten Bauprodukten und Bauarten anlehnen. Die ZiE stellt so oft für einen Hersteller den ersten, im Vergleich zur AbZ preisgünstigeren, Schritt auf den Markt dar, auf dem er sich vielleicht später über eine AbZ für dieses Produkt behaupten möchte. Die ZiE hat für Dämmstoffe als Bauprodukt bisher keine Rolle in Form einer baurechtlichen Legitimation gespielt und soll hier inhaltlich nicht weiter ausgeführt werden.

3.2.4 Anleitung zum geforderten Verwendbarkeitsnachweis

Dieses Kapitel soll grafisch, durch einen Entscheidungsbaum als Hilfsmittel (Abbildung 3.2), das Erbringen des nach LBO geforderten Verwendbarkeitsnachweises für ein Bauprodukt ermöglichen. Es ergänzt die vorab gemachten Aussagen.

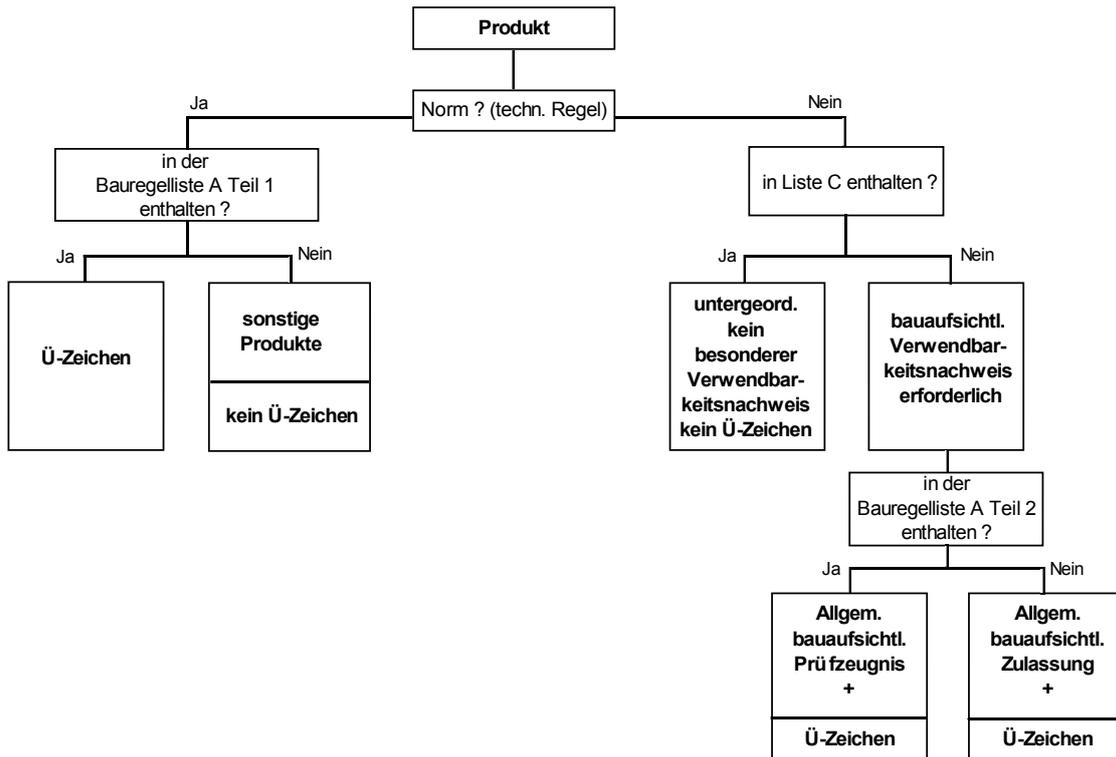


Abbildung 3.2: Entscheidungsbaum (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1997)

3.3 Der europäische Rahmen für die Bestimmung der Brauchbarkeit eines Produktes

Auf europäischer Ebene, und damit auch mit nationaler Gültigkeit, erfolgt der Nachweis der Brauchbarkeit (§ 5 BauPG) durch einen sogenannten Konformitätsnachweis (nach § 8 BauPG). Er bedeutet die Bestätigung der überwiegenden Übereinstimmung eines Bauproduktes erstens mit den allgemeinen Anforderungen und zweitens mit den sie betreffenden harmonisierten und anerkannten Normen, welche die Anforderungen präzisieren.

Bauprodukte, die nicht nur unwesentlich von harmonisierten Normen abweichen, oder für die keine derartigen Normen vorliegen, kann der Nachweis auf Antrag über eine europäische technische Zulassung - European Technical Approval (ETA (nach § 2 (5) und § 6 BauPG)) erbracht werden. Sie sind den deutschen AbZ nachgebildet und i. d. R. ebenfalls bis zu 5 Jahren gültig. Ebenfalls besteht die Möglichkeit ihrer Verlängerung.

Die ETA ist definiert als der nach § 2 (5) BauPG den Produktherstellern von akkreditierten Zulassungsstellen (national: DIBt) erteilte Brauchbarkeitsnachweis. Die Prüfrichtlinien zur Erteilung einer europäischen technischen Zulassung für ein Produkt werden durch das rechtlich in der BPR verankerte EOTA (European Organisation for Technical Approvals) - Gremium beraten. Ihm gehören Vertreter aller europäischen Zulassungsstellen, also auch des DIBt, an. Resultat der Beratungen sind verbrieft Leitlinien für die Produkte oder Produktfamilien, die u.a. Vorgehensweisen zur Prüfung der Bauprodukte festlegen. Neben den Leitlinien zur ETA bzw. für den Fall, daß es diese für ein Bauprodukt noch nicht gibt, besteht nach Artikel 9 (2) BPR auch die Möglichkeit der Erteilung von Zulassungen ohne Leitlinienpapiere. Für diese Verfahrensweise wird eine Facharbeitsgruppe von einem

technischen Ausschuß der EOTA beauftragt, ein Arbeitspapier als "gemeinsamen Standpunkt" über das Bewertungsverfahren zur Zulassungsbearbeitung zu erstellen (Common Understanding Assessment Procedure, kurz: CUAP). Zu diesem "Papier" nehmen die EOTA-Partner anschließend schriftlich Stellung. Dieser gemeinsame Standpunkt soll dann einem Prüfplan für die ETA gleichkommen.

Für zwei Themen dieses leitlinienlosen Zulassungsverfahrens wurde als Facharbeitsgruppe das DIBt in Berlin als "Federführer" beauftragt. Es handelt sich um die für unsere Betrachtungen relevanten Themen der "Schafwolle für die Wärme- und Trittschalldämmung" und "Flachfasern für die Wärmedämmung".

Für weniger sicherheitsrelevante Bauprodukte tritt bei wesentlichen Abweichungen von harmonisierten Normen an die Stelle der ETA das Prüfzeugnis (PZ) einer anerkannten Prüfstelle. Die Konformität wird mit der Durchführung notwendiger Prüfungen durch die nach § 9 BauPG geregelte Konformitätserklärung durch den Hersteller oder nach § 10 BauPG durch das Konformitätszertifikat einer beauftragten akkreditierten Zertifizierungsstelle bestätigt. Im Rahmen der Nachweispflicht ist nach den gleichen genannten Kriterien auch eine sogenannte Erstprüfung durch hierfür anerkannte Prüfstellen möglich. Diese für die Konformitätsbeurteilung sowie die Prüfung (P, § 8 Nr. 2-5 BauPB), Überwachung (Ü, § 8 Nr.7,8 BauPG) und Zertifizierung (Z) akkreditierten "P-Ü-Z-Stellen" werden durch die EU-Mitgliedsstaaten jeweils national benannt. Die Bauprodukthersteller können dann (in Zukunft) beliebige Stellen innerhalb der EU wählen, da deren innereuropäische gegenseitige Anerkennung beschlossen wurde. Darüber hinaus unterliegt jedes Bauprodukt stets auch der werkseigenen Produktionskontrolle (Eigenüberwachung) durch den Hersteller.

Ist in den harmonisierten Normen nichts anderes bestimmt, können die Produkte weiterhin nach den bestehenden nationalen Vorschriften hergestellt werden. In diesem Rahmen werden Übergangsfristen bis zur Verbindlichkeit der harmonisierten Norm eingeräumt.

3.4 Prüfen, Überwachen, Zertifizieren - die "Erteilungsinstrumente"

Grundsätzlich sind für Anerkennungen von Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen die Länder zuständig. Bei der Anerkennung dieser Stellen wird zwischen allgemeinen Prüfstellen im Rahmen des Konformitätsnachweisverfahrens und Prüfstellen unterschieden, die in abweichenden Fällen einen besonderen Brauchbarkeitsnachweis im Rahmen des Konformitätsnachweisverfahrens durchführen können. Eine Stelle kann für mehrere Aufgaben anerkannt werden. Voraussetzung für die Anerkennung ist die Qualifizierung des Personals und das Vorhandensein der erforderlichen Vorrichtungen. Im Hinblick auf die Funktion der für die Konformitätsbescheinigung eingeschalteten Stellen ist zu unterscheiden zwischen einer Zertifizierungsstelle als staatliche oder nichtstaatliche Stelle, die die für die Durchführung der Konformitätszertifizierung entsprechend vorgegebenen Verfahrens- und Durchführungsregeln beachtet, die erforderliche Kompetenz und Verantwortlichkeit einer Überwachungsstelle als unparteiische Stelle besitzt, über die Organisation, das Personal, die Kompetenz und die Integrität verfügt, um Funktionen wie die Beurteilung und die Empfehlung für die Annahme und nachfolgende Begutachtung der Wirksamkeit der werkseigenen Qualitätskontrolle auszuüben, die Auswahl und Bewertung von Produkten auf der Baustelle, im Werk oder anderswo nach bestimmten Kriterien ausüben kann, als Prüfstelle (Laboratorium) die Eigenschaften oder die Leistungen von Baustoffen oder Produkten mißt, untersucht, prüft, kalibriert oder auf andere Weise bestimmt.

Zur weiteren Einschätzung der Arbeit der Prüfstelle sollen hier noch kurz nähere Eigenschaften ergänzt werden, weil sie die Stelle darstellt, welche das, bei natürlichen Dämmstoffen hauptsächliche, Zulassungsverfahren bzw. die Erstprüfung entscheidend bestimmt. So wird von der Prüfstelle verlangt, daß sie frei von kommerziellen, finanziellen und anderen Einflüssen sein muß, welche ihr technisches Urteil beeinträchtigen könnten (Unparteilichkeit). Sie muß über eine Rechtsform, eine Organisation und eine Finanzierung verfügen, die ausschließen, daß Einzelinteressen dominieren. Aus verschiedenen Tätigkeiten dürfen sich keine Interessenskollisionen ergeben.

Die Vertraulichkeit ist auf allen Organisationsebenen der Prüfstelle sicherzustellen. Alle Hersteller müssen Dienstleistungen der Prüfstelle im anerkannten Bereich in Anspruch nehmen können; unangemessene Bedingungen dürfen nicht gestellt werden. Die Verfahren müssen ohne Diskriminierung der Antragsteller angewendet werden.

Der Stellenwert der "P-Ü-Z-Tätigkeiten" ist für den nationalen und den "europäisierten" Rechtsbereich im Zuge der Betrachtung einer Einführung eines neuen Bauproduktes ausreichend dargestellt worden. Für genauere Betrachtungen über Einrichtung, Anforderungen oder Verfahren sei hier kein Platz eingeräumt und nur auf rechtsverbindliche oder interpretierende Literatur verwiesen z. B. vom DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1977) sowie Übergangs- und Rechtsverordnungen usw. Das DIBt führt Listen, die die national und europäisch anerkannten Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen enthalten.

3.5 Die Normung

Die Normung hat in Deutschland eine lange Tradition. Sie wird neueren Typs mit der Zementnormung schon seit 1877 betrieben. Eine Norm ergibt sich heute als Ergebnis einer "Gemeinschaftsarbeit" von Industrie-/Herstellervertretern, Wissenschaft und staatlicher bzw. staatsgemeinschaftlicher Aufsicht. Sie ist die auf gemeinnütziger Grundlage betriebene Vereinheitlichungsarbeit zur Standardisierung und Harmonisierung von Anforderungen und Eigenschaften an Verfahrenstechniken und Produkte. Es wird damit eine rationelle Ordnung und ein rationelles Arbeiten in Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Verwaltung angestrebt (SCHUMACHER 1961). Im Bereich der Baustoffe soll eine Normung eine gleichbleibende beschreibbare Güte des Produktes gewährleisten, von der eine kalkulierbare individuelle und in die Sicherheit eines möglichen Gesamtgewerkes eingehende Sicherheit ausgeht.

Der Teil der im Bauwesen wichtigen (insbesondere Bemessungs- und Ausführungs-) Normen, der Fragen der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung berührt, wird von den obersten Bauaufsichtsbehörden der Bundesländer als Technische Baubestimmungen eingeführt. Hieraus ergibt sich für diesen Teil eine Anwendungspflicht. Die Normen sind national als sogenannte DIN-Normen im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft beschlossene Normen als EN-Normen abgefaßt. Oft gehen letztere auch aus ISO-Normen hervor. Harmonisierte EN-Normen werden in Deutschland anschließend als DIN-EN-Normen herausgegeben und stellen nach § 2 (2) BauPG " ... auf Grund von Mandaten der Kommission der Europäischen Gemeinschaften von europäischen Normungsorganisationen (Anm.: hier: DIN) im Hinblick auf die wesentlichen Anforderungen nach § 5 Abs.1 erarbeitete technische Regeln," dar; "sie werden in nationale Normen umgesetzt." Letzteres bedingt auch, daß bei Veröffentlichung bzw. Anerkennung der "deutsch-europäischen" Norm vom Inhaltlichen dagegen stehende Normteile oder sogar ganze DIN-Normen zurückgezogen oder überarbeitet werden müssen. In der Übergangsphase zu europäischem Recht ist jedoch verfahrensbedingt auf

verschiedenen Themenfeldern ein Nebeneinander alter DIN- und neuer europäischer Normen für einen Zeitraum von bis zu 10 Jahren vorgesehen.

Normenherausgeber sind einmal das Deutsche Institut für Normung (DIN) in Berlin, das Comité Européen de Normalisation (CEN) in Brüssel und das Institut for Standardization (ISO) in Genf. Das DIN arbeitet nach dem Mandat der Bundesregierung, während das CEN nach einem Mandat der europäischen Kommission arbeitet. ISO arbeitet in Abstimmung mit den einzelnen Normungsinstitutionen der Länder. Deutschland ist darin durch den Normenausschuß vertreten. CEN stellt ähnlich der EOTA ein aus Repräsentanten der einzelnen nationalen Normungsinstitutionen, wie z. B. dem DIN, der BSI (British Standards Institution) oder dem DS (Dansk Standardiseringsrad), zusammengesetztes Komitee der Europäischen Gemeinschaft dar.

Zum Verständnis sollen hier noch häufig verwendete Begriffe zur Norm definiert werden: Anerkannte Normen sind nach § 2 (3) BauPG "in Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaften oder anderen Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum für Bauprodukte geltende technische Regeln, von denen auf Grund eines nach der Bauproduktenrichtlinie durchgeführten Verfahrens anzuwenden ist, daß sie mit den wesentlichen Anforderungen nach § 5 Abs. 1 übereinstimmen." Eingeführte Normen werden zusammen mit dem Einführungsrlaß amtlich veröffentlicht. Die Technischen Baubestimmungen werden als ein amtliches Verzeichnis geführt.

3.6 Resümee zur Brauchbarkeit und Verwendbarkeit

Man kann im Vergleich der beiden "Nachweisverfahren" der Rechtsbereiche des europäischen Brauchbarkeits- und des nationalen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises große Ähnlichkeiten in ihrer Anlage feststellen. Die Novellierung der Bauordnungen trug eben gerade dazu bei, sich dem mit dem BauPG langsam "in die Praxis" entwickelnden europäischen Rahmen, schon wegen der Überschaubarkeit für den Rechtsanwender, anzupassen. Das führt zur regelmäßigen Kennzeichnung der Bauprodukte entweder mit der CE-Kennzeichnung nach BauPG oder mit dem Ü-Zeichen nach den Landesbauordnungen.

Die für Verfahren über CE-Zeichen und Ü-Zeichen anerkannten Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstellen werden jeweils von den zuständigen Landesbehörden anerkannt. Mit dieser Praxis ist es der Bundesregierung und den Länderregierungen in einer intensiven und vertrauensvollen Zusammenarbeit gelungen, eine Harmonisierung beider Bereiche unterhalb der Verfassungsebene zu finden. Sie ist glücklicherweise so geartet, daß sich Hersteller von Bauprodukten um die rechtlichen Unterschiede nicht zu kümmern brauchen (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1997).

3.7 Anforderungen aus EN- und DIN-Normen sowie weiteren relevanten "Regelungen" für den Dämmstoffbereich

3.7.1 Auswahl relevanter technischer Regeln

Das Flußdiagramm (Abbildung 3.3) zeigt eine Übersicht über genormtes Stoffverhalten der faserigen Dämmstoffe. Eine Auswahl technischer Regeln ist im Anhang Teil II tabellarisch dargestellt.

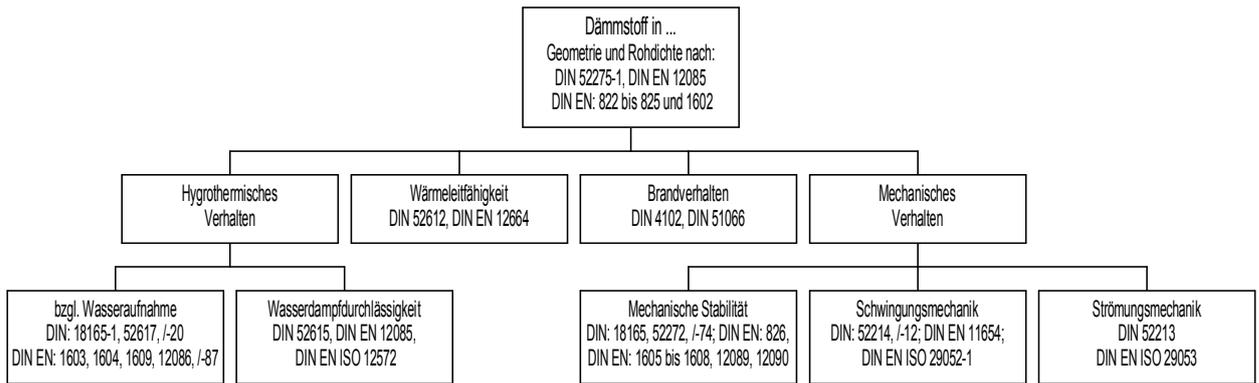


Abbildung 3.3: Flußdiagramm des eigenschaftsspezifischen Normenkontingents für faserige Dämmstoffprodukte

3.7.2 Überblick der durch Prüfungen verlangten Anforderungen und Eigenschaften von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Der Überblick wird auf die Eigenschaften als Wärmedämmstoff beschränkt. Eine Betrachtung der schalltechnischen Eigenschaften und Anforderungen ist in Kapitel 2.3 zu finden. Für den Nachweis bauaufsichtlicher Anforderungen bedeutet das, daß jeder Dämmstoff ein Prüfsystem zu durchlaufen hat, daß an Normen schon bewährter/bekannter Dämmstoffe anlehnt. Bei Platten und Matten aus z. B. Schafwolle, Baumwolle oder Flachsfasern ist in Anlehnung an DIN 18165 folgendes zu prüfen:

- Abmessungen
- Dicke unter Belastung, z. B. $0,05 \text{ kg m}^{-2}$ für Anwendungstyp "WL" (für belüftete Dächer s. Kapitel 2.7)
- Zugfestigkeit
- Dimensionsstabilität bei 80 °C ohne Belastung
- (sonst s. Anhang Teil II)

Bei Schüttgutstoffen, wie Zelluloseflocken oder Holzspänen, wird geprüft:

- Setzmaß bei "freiliegender" Verarbeitung unter Erschütterung
- Setzmaß unter "verschärften" Klimabedingungen $40 \text{ °C}/90 \text{ %}$ relativer Luftfeuchte über 28 Tage
- Setzmaß unter Erschütterung an einer Modellwand

Zu prüfende Eigenschaften an allen Dämmstoffen:

- Wärmeleitfähigkeitsmessungen abhängig von der Rohdichte im trockenen Zustand bei verschiedenen Dicken zur Festsetzung der Rechenwerte λ_R der Wärmeleitfähigkeit.
- Ausgleichsfeuchte bei $23 \text{ °C}/80 \text{ %}$ relativer Luftfeuchte nach DIN 52620.
- Wärmeleitfähigkeitsmessungen bei Ausgleichsfeuchte zur Feuchtezuschlagsbestimmung.
- Bei alle wird noch der Widerstand gegen Schimmelpilz nach DIN IEC 68 T2-10 gemessen.
- Widerstand gegen Schädlinge (Kleidermotten, Teppichkäfer) als Maß für die biologische Verwertbarkeit organischer Stoffe.
- Die Diffusionswiderstandszahl μ für feuchtetechnische Nachweise nach DIN 4108, für Schüttstoffe und organische Faserstoffe wird ohne Messung $\mu = 1$ bis 2 angenommen (!).

- Brandverhalten nach DIN 4102, wobei die meisten neuen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bzw. organischen Stoffen in Baustoffklasse B2 (normalentflammbar) eingestuft werden.

Mit den Prüfergebnissen kann dann eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) ausgesprochen werden. Exemplarisch wurde der mögliche Inhalt einer solchen Zulassung schon in den vorherigen Teilkapiteln erläutert. Dort werden anhand der relevanten Prüfergebnisse der Anwendungsbereich und die Verwendungsregeln spezifiziert (z. B. nur geschultes Personal zugelassen; oder Dämmstoff nur waagrecht zu verarbeiten) und die Übereinstimmungsnachweismodalitäten festgelegt. Für Zulassungsverlängerungen wird der Dämmstoff "in-situ"-Prüfungen am ausgeführten Objekt zur Feststellung der generellen Eignung unterzogen (ALBRECHT 1997).

3.7.3 Wärmeschutz

In Deutschland bestehen für Wärmedämmstoffe zur Anwendung im Bauwesen folgende (Grund-)Anforderungen:

1. Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit: $\lambda_R \leq 0,1 \text{ W(m}\cdot\text{K)}^{-1}$; Dieser Wert berücksichtigt die Streuung der versuchstechnisch bestimmten λ -Werte und die Toleranz der Produktqualität.
2. Schichtdicke: $s \geq 1 \text{ cm}$
3. Wärmedurchlaßwiderstand $\frac{1}{D} = \frac{s}{\lambda} \geq 0,25 \cdot \left[\frac{\text{m}^2 \text{ K}}{\text{W}} \right]$
4. Nachweis der Eignung als bautechnisch zugelassener Baustoff

Unter Zuhilfenahme der in Tabelle 3.3 angegebenen Bewertungskriterien für Wärmedämmstoffe läßt sich das erforderliche Anforderungspotential für einen möglichst vielfältig einsetzbaren Wärmedämmstoff erkennen. Die einzelnen physikalischen bzw. biologischen Kriterien unterliegen in ihrer Ermittlung, soweit bauaufsichtlich nicht anders bestimmt, den unter in Anhang Teil II bzw. 3.7.2 angegebenen technischen Regeln.

Tabelle 3.3: Allgemeine Bewertungskriterien für Wärmedämmstoffe

| Allgemeine Charakteristik | Festigkeitseigenschaften | Wärmetechnische Daten | Feuchteverhalten | Verhalten bei Hitzeinwirkung | Resistenz gegen: |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Stoffbasis | Druckfestigkeit | Rohdichte | Bezugsfeuchtegehalt | Formbeständigkeit bei Wärme | Schimmelpilze |
| Herstellungstechnologie | Biegefestigkeit | Wärmeleitfähigkeit | Wasserdampfdiffusionsverhalten | Brandverhalten | tierische Schädlinge |
| Lieferformen | Abreißfestigkeit | Spezifische Wärmekapazität* | | | |
| | Zugfestigkeit | | | | |

*: vom Verfasser ergänzt

Das Hauptkriterium Wärmeleitfähigkeit

Der elementare Kennwert eines Wärmedämmstoffs ist seine Wärmeleitfähigkeit λ_R . Sie geht in die Berechnungs- bzw. Bemessungsverfahren des baulichen Wärmeschutzes ein und wird als sogenannter Rechenwert in der DIN 4108-4 bzw. im Bauanzeiger dokumentiert. Ihre Bestimmung erfolgt nach DIN 52612 mit dem Plattengerät. In mindestens 3 Versuchen wird bei jeweils einer trockenen Dämmstoffprobe bei 10 °C Mitteltemperatur die Wärmeleitung gemessen. Die Proben entstammen amtlichen Entnahmen im Rahmen der Güteüberwachung (ALBRECHT 1995). Durch die Messung ergibt sich die Wärmeleitfähigkeit als allgemein vergleichbarer $\lambda_{10, tr}$ -Wert.

Da der Dämmstoff in seiner Wirkung neben weiteren schwankenden Stoffeigenschaften vom aus der baupraktischen Feuchte resultierenden Feuchtegehalt abhängt, welchen der Dämmstoff in seinen Fasern bzw. seiner Struktur absorbiert, wird ein Zuschlagswert Z nach Teil 2 der DIN hinzugerechnet. Bei Schaumkunststoffen mit anderen Zellgasen als Luft wird damit die mögliche Änderung der Leitfähigkeit durch Gasaustausch berücksichtigt. Die Zuschlagswerte sind dem Teil 2 der DIN, der Bauregelliste A oder den relevanten Zulassungsbescheiden zu entnehmen. Sie bedeuten einen prozentualen Zuschlag innerhalb der "Berechnung" dieses sogenannten λ_Z -Wertes. Empfindet ein Hersteller aufgrund besseren Wissens diesen Zuschlag als zu hoch, so kann er diesen durch ein Zulassungsverfahren individuell bestimmen lassen, um eine verbesserte Einstufung bei der Wärmeleitfähigkeit λ_R zu erzielen. Mit den an jeweils zwei Nenndicken bestimmten Kennwerten wird nun eine Einteilung in Wärmeleitfähigkeitsgruppen (WLG) nach DIN 4108 durchgeführt. In der Bezeichnung werden nur die drei Nachkommastellen benutzt, die in Gruppen zu Fünferschritten abgestuft werden. Die Zahl gibt dann im effektiven Toleranzbereich von 0,005 W/m·K die Obergrenze zur Gruppenzugehörigkeit an. Als Beispiel: Für einen Stoff wurde $\lambda_Z = 0,037$ W/m·K bestimmt. Er gehört damit in die Leitfähigkeitsgruppe 040, da er $> 0,035$ und $\leq 0,040$ W/m·K ist.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108

Der Wärmeschutz im Hochbau ist, wie in den ersten Abschnitten schon gesagt, eine Frage der Hygiene, der Energieeinsparung und der Wirtschaftlichkeit. Der Hygieneaspekt, Schaffung trockener, behaglicher "Lebensräume" zum dauernden Aufenthalt für Menschen, wird durch in der DIN 4108 festgelegte Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, sogenannten Mindestwärmeschutz, für Räume gesichert. Die Ziele der Energieeinsparung und der Wirtschaftlichkeit werden mit Hilfe der höheren Anforderungen der Wärmeschutzverordnung (WSVO) verwirklicht. Die Mindestanforderungen sind als Mindestwerte für Bauteile wie Wände, Decken und Dächer in der DIN 4108-2 in den Tabellen 1 und 2 präzisiert. Sie sollen hier nicht weiter ausgeführt werden, da unter Maßgabe der höheren Anforderungen durch die verbindliche WSVO in der Regel von einer Erfüllung der Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108 ausgegangen werden kann: Ausnahmen werden z. B. von FRANKE und DECKELMANN (1996) angesprochen.

Die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung (WSVO)

Der Gesetzgeber sieht mit den Anforderungen der WSVO ebenfalls einen Mindeststandard vor, der durch regionale Bestimmungen oder durch frei zu vereinbarende Werte auch übertroffen werden kann. Das geschieht z. B. beim Niedrigenergiehausstandard, der noch einmal etwa 30 bis 50 % über dem Standard der aktuellen WSVO liegt. Die Verordnung gilt, in jeweiliger Berücksichtigung, für Neubauten mit normalen Innentemperaturen ($\geq 19\text{ °C}$), Neubauten mit niedrigen Innentemperaturen ($\geq 12\text{ °C}$ und $\leq 19\text{ °C}$), bauliche Veränderungen an bestehenden Gebäuden und Neubauten mit einer gemischten Nutzung.

Die Anforderungen der Verordnung zielen konzeptionell auf einen Nachweis eines durch Bezug auf das zu beheizende Gebäudevolumen normierten Jahresheizwärmebedarfes Q_H ($\text{kWh (m}^2\text{a)}^{-1}$) ab. Es wird dadurch die Heizwärmemenge ermittelt, die ein Heizsystem unter der Maßgabe der vorgeschriebenen Berechnungsverfahren jährlich für die Gesamtheit der beheizten Räume eines Gebäudes bereitstellen darf. Die wesentlichen Ergebnisse der rechnerischen Nachweise sind in einem Wärmebedarfsausweis für das Gebäude zusammenzustellen und den Überwachungsbehörden ggfs. vorzulegen. Der Jahresheizwärmebedarf wird bei der für 1999 erneut (nach 1995) anstehenden Novellierung der WSVO in einem Gesamtenergiebedarfsnachweis aufgehen. Die aktuelle Verordnung läßt jedoch auch eine weitere Nachweisform zu. Für Gebäude ≤ 2 Vollgeschosse und ≤ 3 Wohneinheiten werden konkrete Vorgaben für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile gemacht, welche einzuhalten sind:

| | |
|--|--|
| Außenwände | $k_W \leq 0,50\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ |
| Fenster, Fenstertüren | $k_{m,F,eq} \leq 0,70\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ |
| Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Decken gegen die Außenluft | $k_D \leq 0,22\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ |
| Kellerdecken und Wände gegen unbeheizte Räume und Erdreich | $k_G \leq 0,35\text{ W(m}^2\cdot\text{K)}^{-1}$ |

Für Altgebäude bzw. bauliche Veränderungen an bestehenden Gebäuden liegen etwas abgeschwächte Anforderungen vor. Sie sind der WSVO zu entnehmen.

Auswirkungen auf die Bauteil- bzw. Dämmstoffdickendimensionen kann nach Untersuchungen von FRANKE und DECKELMANN (1996) gelassen begegnet werden, da es entgegen vieler Annahmen und Mutmaßungen nach Aussagen nicht zu "Superdämmungen" oder nicht mehr lösbaren Konstruktionsdetails kommen wird. Die bewährten Konstruktionen haben demnach noch genügend Ausbaupotential. Davon abgesehen, lägen die kommenden '99er WSVO-Anforderungen in Bauteilbezug "erst" auf dem Level der seit 1992 regional in Hamburg geltenden "schärferen" WSVO und dort hat es keinerlei bautechnische Probleme dieser Art gegeben.

3.7.4 Schallschutz

Die Grund- und Anforderungsnorm stellt die DIN 4109 "Schallschutz im Hochbau" dar. Sie regelt die Begrifflichkeiten und legt die Berechnungsgrundlagen und Anforderungen zum Nachweis des Schallschutzes fest. Zur Bestimmung des Schalldämmmaßes von Baustoffen

bzw. Bauteilen dient die nationale Norm DIN 52210 "Bauakustische Prüfungen; Luftschalldämmung und Trittschallstärke, Bestimmung am Bauwerk und im Laboratorium".

Im ausschließlich eigenen Wohn- und Arbeitsbereich gibt es keine bauaufsichtlichen Anforderungen zum Mindestschallschutz. Es gibt in der DIN 4109 im Beiblatt 2 lediglich Empfehlungen, welche vorformulierte grundlegende Regelungen für privatrechtliche Verträge darstellen können. Anforderungen werden in der DIN erst gestellt, wenn es um die Schallbeeinträchtigung aus dem eigenen Bereich geht oder vor Außenlärm geschützt werden muß. Das nicht normierend eingeführte Beiblatt 2 liefert dazu unverbindlich Lösungen unter den Anforderungen eines erhöhten Schallschutzes, welche ebenfalls, wie im Privatbereich, Einigungsgegenstand zwischen Planer und Bauherr sein müssen, um Geltung zu haben.

Der Nachweis über das Einhalten der in DIN 4109 geforderten Schallschutzwerte durch die Bauteile kann verschiedenartig durchgeführt werden. Zum einen kann durch die normgerechte Berechnung der maßgebenden Werte R'_w und $L'_{n,w}$ der Nachweis durchgeführt werden, zum anderen können jedoch auch die Bauteildaten exemplarischer Konstruktionen, die den Nachweis erfüllen, der DIN entnommen werden. Auch die Verwendung in sogenannten Eignungsprüfungen nachgewiesenen Bauteilen läßt den Nachweis als erbracht gelten. Der aufwendigste und für Architekt bzw. Bauherr risikoreichste Weg wird durch den Nachweis durch Messungen nach DIN 52210 bzw. der neuen Norm DIN EN ISO 717 am fertigen Bauteil gegangen. Diese Güteprüfung wird durchgeführt, wenn weder rechnerisch vorgegangen wurde, noch nachgewiesene Bauteile Verwendung fanden. Die genauen Normanforderungen, Zuschläge oder Abschläge im Nachweis bei Verwendung bestimmter Konstruktionen und Materialien und Besonderheiten in der Ermittlung von Bauteilmassen werden in der DIN 4109 bzw. deren Beiblatt 1 und 3 behandelt und angegeben. Darauf soll hier nicht besonders eingegangen werden.

Ausblick auf Regelungen durch die europäische Normung

In einer zusammenfassenden Wiedergabe eines Vortrages von H-M. Fischer (FH-Stuttgart) mit dem Titel "Stand und Auswirkungen europäischer Normung im Bereich der Bauakustik" wird ein Ausblick auf die europäischen Normungseinflüsse geliefert (MARX 1997). Bei Einführung europäischer Normen werden nationale Normen desselben Anwendungsbereiches zurückgezogen. Im Bereich des baulichen Schallschutzes wird davon die DIN 52210 betroffen sein. Da jene Norm wiederum vielfach auf die DIN 4109 Bezug nimmt (und umgekehrt), wird der inhaltliche Fortbestand auch in dieser Norm nicht unbeeinflusst bleiben können. Da die Kennwerte zur Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen künftig nur noch in Prüfständen ohne "bauähnliche" Flankenübertragung ermittelt werden, entfallen die bisherigen Bauteilkennzeichnungen mit R'_w bzw. $L'_{n,w}$. Damit ergeben sich folgende Probleme:

- Die bislang erstellten "alten" Prüfzeugnisse sind mit den europäisch harmonisierten Prüfverfahren und Einzahlangaben für Bauteile nicht mehr konform.
- Die mit den neuen Prüfverfahren ermittelten Kennwerte R_w bzw. $L_{n,w}$ sind als Einzahlangaben für den schallschutztechnischen Nachweis nach DIN 4109 nicht mehr verwendbar.

Um für die zu erwartende Übergangszeit die Handlungsfähigkeit nicht zu verlieren, wurde im Fraunhofer-Institut für Bauphysik ein Verfahren verifiziert, das die Umrechnung von R'_w in R_w und umgekehrt erlaubt. Dieses Umrechnungsverfahren ist Inhalt des neuen Beiblatts 3 zu DIN 4109, das im Juni 1996 veröffentlicht wurde und voraussichtlich im kommenden Jahr

baurechtlich eingeführt wird. Damit entfällt für Bauteilhersteller der Zwang, ihre Produkte sowohl in Prüfständen mit als auch ohne Flankenübertragung prüfen zu lassen. Gleichzeitig wird die Nachweisfähigkeit bezüglich des zu erreichenden Schallschutzes nach DIN 4109 erhalten bleiben.

3.7.5 Tauwasserschutz

Der klimabedingte Feuchteschutz ist an die DIN 4108 geknüpft und in deren Teil 3 behandelt. Eine Tauwasserbildung an Bauteiloberflächen von Außenwänden braucht in der Regel nicht nachgewiesen zu werden, wenn man den in DIN 4108-2 geregelten Mindestwärmeschutz umsetzt und die Räume dabei einer üblichen Nutzung (ausreichende Beheizung und Belüftung) unterzieht.

Eine Tauwasserbildung in Bauteilen ist unschädlich, wenn durch Erhöhung des Feuchtegehaltes der Bau- und Dämmstoffe der Wärmeschutz und die Standsicherheit der Bauteile nicht gefährdet werden. Diese Voraussetzungen können unter folgenden Bedingungen als erfüllt betrachtet werden:

- Die während der Tauperiode anfallende Wassermenge W_T muß nachweislich in der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden können.
- Die Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht durch Korrosion, Pilzbefall, Fäulnis o.ä. geschädigt werden.
- Bei Dach- und Wandkonstruktionen dürfen im allgemeinen nicht mehr als 1,0 kg Wasser pro m² Bauteilfläche anfallen.
- Im Besonderen darf an Trennflächen von kapillar nicht wasseraufnehmenden Schichten nicht mehr als 0,5 kg m⁻² anfallen, um ein Abfließen zu gewährleisten.

Bei Holz und Holzwerkstoffen darf keine massebezogene Feuchtegehaltserhöhung von mehr als 5 % (Holz) bzw. 3 % (Holzwerkstoffen) auftreten. Ausgenommen sind lediglich Holzwoleleichtbauplatten (HWL) nach DIN 1101 und Mehrschicht-HWL aus Schaumkunststoffen und Holzwole nach DIN 1104 Teil 1.

Es wird deutlich, daß nicht zwingend ein völliges Verhindern von Tauwasserausfall angestrebt wird, sondern lediglich eine Beschränkung in der Menge. Eine konstruktive Tauwasserfreiheit kann zu unwirtschaftlichen Lösungen führen. Soll ein tauwassergefährdetes Bauteil verbessert werden, geschieht das i. d. R. durch Anordnung einer Dampfsperre bzw. -bremse in der Nähe der raumseitigen Oberfläche. Sie verhindert als "Bremse" nicht die Diffusion, sondern verringert durch geeignete Dimensionierung ihrer Dicke bzw. Dichtigkeit lediglich den Diffusionsstrom und damit die transportierte Feuchtemenge. Eine sogenannte Windsperre auf der "kalten" Seite, welche auch unter dem Kriterium des s_d -Wertes als diffusionsoffen dimensioniert werden sollte, hat die Aufgabe zusätzlich im Falle von konstruktions- oder fehlerbedingt nicht luftdichtem Bauteilaufbau zu verhindern, daß eindringende kühlere Luft Tauwasserausfall im Bauteil hervorruft. Die Diffusionsoffenheit sorgt in jedem Fall dafür, daß die eingebrachte Feuchtigkeit einem Dampfdruckgefälle folgend wieder aus der Konstruktion herausgeführt wird. Hier ist auch die Witterungsfeuchte durch belüftete Konstruktionen oder überschüssige Einbaufeuchte zu betrachten.

Der Einfluß der Feuchte im Bauteil hat gerade wieder in der Normung Auswirkung gefunden. Die Einführung der 1996 neu überarbeiteten erschienenen DIN 68800-2, die den baulichen Holzschutz regelt, zieht die Notwendigkeit neuer bauaufsichtlicher Zulassungen für Dämmstoffe nach sich, wenn diese Stoffe weiterhin möglichst universell anwendbar sein

sollen (ARBEITSGEMEINSCHAFT HOLZ 1997; HAMM 1997). Es ist damit möglich, Holzbaukonstruktionen ohne den früher zwingend notwendigen chemischen Holzschutz auszuführen. Die Dämmstoffe, speziell die unserer Betrachtung, werden nun mit einem erweiterten Anforderungsprofil konfrontiert. Größte Relevanz bekommt diese Thematik bei Dachkonstruktionen und Balkendecken. So ergibt sich die Situation, daß ausgerechnet dort, wo Holz besonders umweltfreundlich verbaut werden kann, die Mineralfasern gegenüber den meisten Öko-Dämmstoffen im Vorteil sind (HAMM 1997). Die Dämmstoffe, die unter diesen Bedingungen verbaut werden, müssen elastisch sein, sich fugenlos einbauen lassen, ein schnelles Austrocknen ermöglichen und dabei raumstabil bleiben.

3.7.6 Brandschutz

Der Brandschutz stellt eine sehr wichtige Anforderung an die Baustoffe bzw. Bauprodukte dar. Er hat, wenn er denn eingefordert wird, höchste Sicherheitsrelevanz. Denn Mängel und Schwachstellen im vorbeugenden und baulichen Brandschutz haben eines gemeinsam: Sie machen sich (im Gegensatz zu Mängeln im Wärme-, Schall- oder Feuchteschutz) vorher nicht bemerkbar. Dazu muß gesagt werden, daß es nicht das wörtliche "Entflammen" ist, welches das Risiko auf den Personenschutz bezogen darstellt, sondern Art und Umfang der beim Abbrand entstehenden Gase. Statistiken der Brandbekämpfer spiegeln diese Tatsache wider; es sterben weitaus mehr Personen an Rauchvergiftungen, als daß sie verbrennen.

Gültige Anforderungen an den Brandschutz

Die Regelung des baulichen Brandschutzes obliegt der Länder-Hoheit. Der Musterbauordnung (MBO) wurden grundsätzliche Brandschutzverordnungen für die einzelnen Landesbauordnungen (LBO) bzw. deren allgemeine Durchführungsverordnungen übernommen. Demnach müssen bauliche Anlagen so beschaffen sein, daß der Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand wirksame Löscharbeiten sowie die Rettung von Menschen und Tieren möglich sind. Daraus lassen sich direkt Forderungen an das Bauwerk ableiten:

- Die Verwendung von Bauteilen aus möglichst vielen nichtbrennbaren oder schwerentflammenden Baustoffen.
- Eine entsprechende Auslegung der Decken und Wände als raumbegrenzende Flächen mit großer Feuerwiderstandsdauer.
- Den Schutz der tragenden Gebäudeteile zur Wahrung der Standsicherheit im Brandfall.

Baustoffe - Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Die bauaufsichtlich eingeführte Norm, die das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen bestimmt und damit die abgrenzende Klassifizierung ermöglicht, ist die DIN 4102 "Brandschutz im Hochbau". Baustoffe werden nach Teil 1 dieser Norm bzw. der nach ihr durchgeführten und das Brandverhalten bestimmenden Prüfungen in zwei Gruppen eingeteilt: "brennbar" (B) und "nichtbrennbar" (A). Die Tabelle 3.4 gibt diese Klassifizierung in weiterer Abstufung nach dem Brandverhalten im Entstehungsfeuer und mit der bauaufsichtlichen "Übersetzung" wieder.

Tabelle 3.4: Einteilung der Baustoffe nach Brandklassen

| Baustoffklasse | Bauaufsichtliche Benennung |
|----------------|---------------------------------|
| A | nichtbrennbare Baustoffe |
| A1 | - ohne organische Bestandteile |
| A2 | - mit organischen Bestandteilen |
| B | brennbare Baustoffe |
| B1 | schwerentflammbare Baustoffe |
| B2 | normalentflammbare Baustoffe |
| B3 | leichtentflammbare Baustoffe |

Von wenigen Ausnahmen abgesehen sind Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen "normalentflammbar" (B2) oder sogar "leichtentflammbar" (B3). Diese "Ausnahmedämmstoffe" der Klassifizierung "schwerentflammbar" (B1) benötigen Zusätze an Flammenschutzmitteln. Es handelt sich dabei in der Regel um Borate - Borsalze, die im Brandgeschehen Kristallwasser abspalten und in erster Linie so den Sauerstoffzutritt behindern.

Im Brandgeschehen werden die Eigenschaften dieser Dämmstoffe als schlechter bewertet, da sie als brennbare Stoffe stets eindeutig am Brandgeschehen "aktiv" beteiligt sind und somit eine "Brandlast" darstellen. Es ist nie ganz auszuschließen, daß sich bei deren Entzündung ein Brand entwickelt. Die Brandschutzausstattungen bergen z. T. erhebliche Unwägbarkeiten bzgl. ihrer Dauerhaftigkeit in einer flächigen Verteilung des eingebauten Dämmstoffes. Von den brennbaren Stoffen geht somit immer ein größeres Risiko aus, welches auch bauaufsichtliche Beachtung findet.

Für die Verwendung von Baustoffen ist besonders zu beachten, daß Baustoffe nach ihrer Verarbeitung oder ihrem Einbau mindestens normalentflammbar (B2) sein müssen. Die Verwendung von bestimmten Dämmstoffen, die im eingebauten Zustand nicht mindestens B2 erfüllen, ist nicht zulässig (z. B. unbehandelte Schafwolle, Stroh usw.).

Beispiel: Unbehandelte, lose Schafwolle, die kein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für B2 aufweist, darf nicht verwendet werden. Weist die Schafwolle dagegen ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für B2 auf (z. B. imprägnierte oder vernadelte Schafwolle, die entsprechend geprüft wurde), so darf sie überall dort verwendet werden, wo der vorbeugende bauliche Brandschutz bzw. die Bauvorschriften die Verwendung von normalentflammbaren Bau- und Dämmstoffen zulassen.

Die Baustoffe müssen entweder allgemein gebräuchlich und bewährt sein (Ausführung nach DIN 4102-4, Abschnitt 2) oder einen besonderen Verwendbarkeitsnachweis aufweisen. Folgende mögliche Verwendbarkeitsnachweise seien hier noch einmal genannt:

- allgemeine bauaufsichtliche Zulassung,
- allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis oder
- im einzelnen Ausnahmefall: Zustimmung im Einzelfall von der obersten Baubehörde.

Der erforderliche Verwendbarkeitsnachweis richtet sich nach der jeweiligen Baustoffklasse. Die Baustoffklasse von nach DIN 4102-1 geprüften Baustoffen muß durch eine Kennzeichnung ersichtlich sein (ausgenommen Baustoffe der Klasse A 1, die in DIN 4102-4 aufgeführt sind, sowie Holz- und Holzwerkstoffplatten von mehr als 400 kg m⁻³ Rohdichte und über 2 mm Dicke).

Bauteile

Mit Baustoffen können Bauteile erstellt werden. Die Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Baustoffe gemäß dem gültigen Verwendbarkeitsnachweis bzw. den Vorgaben der DIN 4102-4 fachgerecht zu Bauteilen verarbeitet werden. Besonders ist zu beachten, daß Bauteile und Sonderbauteile entweder allgemein gebräuchlich und bewährt sein müssen (Ausführung nach DIN 4102-4) oder einen besonderen Verwendbarkeitsnachweis aufweisen müssen.

Bauteile (z. B. Wände und Decken) werden nach ihrer Feuerwiderstandsdauer, ergänzt durch Angaben zum Brandverhalten der verwendeten Baustoffe, in Feuerwiderstandsklassen F klassifiziert. Die DIN 4102 gibt darüber im Teil 2 Auskunft. Nach ihr werden die Bauteile im Brandraum nach einem international einheitlichen Verfahren geprüft. Das Bauteil wird einem simulierten Brandverlauf durch zeitabhängig gesteigerte Temperaturen gemäß einer sogenannten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) unterworfen. Die Zeitachse wird dabei in Minuten gezählt. Die anerkannte Feuerwiderstandsdauer richtet sich dann nach dem Versagenszeitpunkt (in Minuten), abgerundet auf die jeweilige, durch eine bestimmte Minutenangabe festgelegte, F-Klasse. Es sind 5 F-Klassen als F 30, F 60, F 90, F 120 und F 180 (-Minuten) festgelegt. Die Brandraumtemperatur steigert sich nach ihnen von 821 K bei 30 Minuten auf 1090 K bei 180 Minuten. Als Beispielauszug der DIN soll hier in Tabelle 3.5 die Feuerwiderstandsklasse F-30 aufgeführt werden.

An die Klassifizierung der Bauteile knüpfen die Landesbauordnungen an, die den Brandschutz genau vorschreiben. Je nach Gebäudegröße und -funktion variiert der geforderte Feuerwiderstand (in Minuten). Die Angaben "A" oder "B" (s. Tabelle 3.4 und 3.5) grenzen die zulässigen Baustoffe ein, wobei bei kombinierter Angabe "AB" der erste Buchstabe die Anforderung an die wesentlichen (i. d. R. tragenden) Baustoffe, der zweite die an die übrigen des Bauteiles angibt. Im Bauaufsichtsrecht werden darüber hinaus, wie bei den Baustoffen auch, Begriffe zur Beschreibung der Anforderung benutzt. Eine beispielhafte Darstellung soll durch Tabelle 3.5 gegeben werden.

Tabelle 3.5: Benennung von Bauteilen (LOHMEYER 1995)

| Feuerwiderstandsklasse | Baustoffklasse nach DIN 4102-1 der in den geprüften Bauteilen verwendeten Baustoffe für | | Benennung ²⁾ | Kurzbezeichnung |
|------------------------|---|--|--|-----------------|
| | wesentliche Teile ¹⁾ | übrige Bestandteile, die nicht unter den Begriff der Spalte 2 fallen | | |
| | | | Feuerwiderstandsklasse der Bauteile | |
| F 30 | B | B | Feuerwiderstandskl. F 30 | F 30-B |
| | A | B | Feuerwiderstandskl. F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen ¹⁾ | F 30-AB |
| | A | A | Feuerwiderstandsklasse und aus nichtbrennbaren Baustoffen | F 30-A |

¹⁾ Zu den wesentlichen Teilen gehören:
 alle tragenden oder aussteifenden Teile, bei nichttragenden Bauteilen auch die Bauteile, die deren Standsicherheit bewirken (z. B. Rahmenkonstruktionen von nichttragenden Wänden),
 bei raumabschließenden Bauteilen eine in Bauteilebene durchgehende Schicht, die bei der Prüfung nach dieser Norm nicht zerstört werden darf,

bei der Beurteilung des Brandverhaltens der Baustoffe können Oberflächen-Deckschichten oder andere Oberflächenbehandlungen außer Betracht bleiben.

- 2) Diese Benennung betrifft nur die Feuerwiderstandsfähigkeit des Bauteils; die bauaufsichtlichen Anforderungen an Baustoffe für den Ausbau, die in Verbindung mit dem Bauteil stehen, werden hiervon nicht betroffen.

Tabelle 3.6: Zuordnung der bauaufsichtlichen Begriffe zu den Benennungen der DIN 4102 (LOHMEYER 1995)

| Bauaufsichtliche Benennung | Benennung nach DIN 4102 | Kurzbezeichnung |
|---|---|-----------------|
| feuerhemmend | Feuerwiderstandsklasse F 30 | F 30-B |
| feuerhemmend und in den tragenden Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen | Feuerwiderstandsklasse F 30 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen | F 30-AB |
| feuerhemmend und aus nichtbrennbaren Baustoffen | Feuerwiderstandsklasse F 30 und aus nichtbrennbaren Baustoffen | F 30-A |
| feuerbeständig (z. B. bei Wänden) feuerbeständig und in den tragenden Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen (z. B. bei Decken) | Feuerwiderstandsklasse F 90 und in den wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen | F 90-AB |
| feuerbeständig und aus nichtbrennbaren Baustoffen (z. B. bei Wänden) | Feuerwiderstandsklasse F 90 und aus nichtbrennbaren Baustoffen | F 90-A |

Detailliertere Spezifikationen der Anforderungen an Bauteile und dafür, in Abhängigkeit vom Ort ihres Einsatzes, verwendeter Baustoffe sind an die Durchführungsverordnungen der einzelnen LBOs geknüpft. Als Beispiel seien in Anlage 2 die aus der Durchführungsverordnung zur Niedersächsischen Bauordnung (DVNBau) hervorgehenden Anforderungen im tabellarischen Überblick aufgeführt.

Erklärend zur Anlage 2 sollen hier noch kurz einige Verwendung findende Begriffe durch Zitat des §1 DVNBauO angegeben werden:

- Gebäude geringer Höhe sind Gebäude, in denen jeder Aufenthaltsraum mit seinem Fußboden um höchstens 7 m höher als die Stellen der Geländeoberfläche liegt, von denen aus er über die erforderlichen Rettungswege (§ 13) erreichbar ist. Gebäude ohne Aufenthaltsräume stehen Gebäuden geringer Höhe gleich.
- Laubengänge sind offene Gänge, die vor Außenwänden liegen und Aufenthaltsräume mit notwendigen Treppen verbinden.
- Notwendige Flure sind Flure, die als Rettungswege dienen. Flure in Wohnungen sowie in sonstigen Nutzungseinheiten, die nach ihrer Größe je Geschöß Wohnungen entsprechen, gelten nicht als notwendige Flure.
- Wände in der Bauart von Brandwänden sind Wände, die die Anforderungen an Brandwände erfüllen müssen, jedoch Öffnungen haben dürfen.
- Kellergeschoß ist ein Geschöß, dessen Fußboden im Mittel mehr als 70 cm unter der Geländeoberfläche liegt.

Ausblick auf kommende europäische Brandschutzanforderungen

Mit einer neuen europäischen Norm soll die Klassifizierung von Baustoffen vorgenommen werden. Ein Grundlagenpapier und ein englischer Normenentwurf liegen dazu vor, auf die schon verwiesen werden kann.

Für 1999 ist die Umsetzung der neuen Klassifizierung des Brandverhaltens von Baustoffen geplant. Einige EU-Mitglieder sehen allerdings ihren Sicherheitsstandard im Bereich des baulichen Brandschutzes - der ihrer Meinung nach über den deutschen Normen liegt - durch die neue EU-Klassifizierung bedroht. Im Mittelpunkt der Kritik steht der von Brüssel favorisierte und nach Angaben des europäischen Normeninstituts CEN "auf den Weg gebrachte" Single Burning Item Test (SBI). Experten in England und Skandinavien bemängeln, daß diese Versuchsanordnung, die die Brandeinwirkung auf den Baustoff durch einen einzelnen brennenden Gegenstand simuliert, kein realistisches Brandszenario wiedergebe. So wird z. B. der sogenannte Flash-over-Effekt bei diesem Test nicht berücksichtigt. Dieser entsteht dann, wenn Baustoffe im Brandfall Gase freisetzen, die die Ausbreitung des Feuers weiter vorantreiben. Des weiteren garantiert der Test keine Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit seiner Ergebnisse. Auch bezüglich der Parameter für die Klassifizierung der Baustoffe in die neu geschaffenen 6 Euroklassen (A-F) herrscht Uneinigkeit zwischen den Fachleuten, konstatiert u.a. die Informationszentrale Steinwolle. So sollen zwar die Parameter "Entflammbarkeit", "Flammenausbreitung" und "Hitzeentwicklung" für alle Klassen berücksichtigt werden, für die Kriterien "Entwicklung toxischer Rauchgase" und "Brennendes Abtropfen" aber Unterklassen gebildet werden.

Kritiker sehen darin ein "Verwässern" der Euroklassen, gefährliche Stoffe könnten tendenziell besser eingestuft werden, als es ihren tatsächlichen Brandschutzigenschaften entspricht.

Der Abschluß der Arbeiten zur Brandschutzklassifizierung bzw. -Normung ist nach DIBt (1997) für Oktober 1999 geplant. Eine Entscheidung, die den "klassischen" nichtbrennbaren Produkten hilft, konnte im Berichtsjahr 1996 noch getroffen werden: es wurde eine Liste der Materialien, die ohne Prüfung in die EUROklasse A einzustufen sind, im Amtsblatt der EG (Nr. L 267 vom 19.10.1996) veröffentlicht. Damit steht den dort genannten Produkten auf ihrem Weg zum CE-Zeichen das Brandverhalten nicht entgegen.

3.8 Zusammenfassende Bewertung für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Hemmnisse:

Zur Zeit geltende Bestimmungen für Baustoffe

- DIN-Normen berücksichtigen nicht die Spezifika von neuen Materialien
- technische Vorschriften berücksichtigen nicht die Spezifika von neuen Materialien
- Bauvorschriften berücksichtigen nicht die Spezifika von neuen Materialien
- teure und langwierige Zulassungen treffen besonders kleine innovative Firmen mit neuen Produkten
- nicht unerhebliche laufende Kosten für Zulassungsverfahren
- Testverfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit Default-Zuschlag von 20 % für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen so lange bis keine exakten Messwerte vorliegen
- bestehende Brandschutztestverfahren.

Lösungsvorschläge:

- Weiterentwicklung von Normen für neue Produkte
- Erweiterung der bestehenden Normen für Faserdämmstoffe
- Nachweis über tatsächliche Dämmwerte der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen erbringen
- Änderung des Brandschutztestverfahrens unter Einbeziehung des Gesundheitsrisikos im Brandfall
- Erarbeitung von Erkenntnissen für Prüfkriterien im Rahmen von Forschung und Entwicklung sowie FuE-Vorhaben
- Koordinierung der Prüfungsanmeldungen von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe.

4 Marktfaktoren für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

Jäger², Ch., Behring¹, H., Murphy¹, D.P.L., Hinrichs², P.

Die Entwicklung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ist ein komplexes Arbeitsgebiet. Die in Frage kommenden Rohstoffe wie auch die Dämmstoffe und ihre Einsatzgebiete sind vielfältig. Sowohl auf den Rohstoff- als auch auf den Zwischen- und Endproduktmärkten für Dämmstoffe ist eine große Anzahl konkurrierender Alternativen in die Untersuchung einzubeziehen. Die dazu benötigten Informationen ließen sich nicht allein durch eine Literaturrecherche erschließen; darum haben wir eine Befragung von Experten unterschiedlicher Fachgebiete durchgeführt. Aus ihren jeweiligen Spezialbeiträgen entstand ein umfassenderes Informationssystem, das es erlaubt, alle relevanten Aspekte aufzuzeigen und auch eine erste Einschätzung der Wettbewerbsbedingungen vorzunehmen. Die folgende Beschreibung der gegenwärtigen Situation auf den Rohstoff- und Dämmstoffmärkten ist zu einem großen Teil Ergebnis dieser Befragung. Die Fragebogenaktion selbst wird ausführlich in Kapitel 8 behandelt.

4.1 Der Dämmstoffmarkt

Das Angebot auf dem Dämmstoffmarkt wird im Bereich der konventionellen Dämmstoffe¹ durch eine kleine Anzahl großer Firmen (von diesen wurden 6 befragt) und im Bereich der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen durch eine Vielzahl kleinerer Hersteller gekennzeichnet, von denen 21 an der Befragung teilnahmen. Die 6 befragten Hersteller konventioneller Dämmstoffe beschäftigen im Durchschnitt 2140 Personen. Dagegen sind bei den 21 befragten Firmen, die nachwachsende Rohstoffe verarbeiten, im Durchschnitt nur 114 Personen beschäftigt. Entsprechende Unterschiede ergeben sich beim Umsatz der Unternehmen. Die Verarbeiter nachwachsender Rohstoffe haben im Durchschnitt einen jährlichen Umsatz von ca. 30 Mio DM angegeben, die Hersteller konventioneller Dämmstoffe erzielten einen 20-fach höheren jährlichen Umsatz, im Durchschnitt über 600 Mio DM. Im durchschnittlichen Umsatz je Beschäftigten ist demzufolge kein nennenswerter Unterschied festzustellen.

4.1.1 Marktanteile verschiedener Dämmstoffe

Der Markt für Dämmstoffe wird von den konventionellen Dämmstoffen dominiert. Jährlich werden, mit steigender Tendenz, ca. 32 Mio m³ Dämmstoffe in Deutschland produziert. Diese Menge verteilt sich nach Veröffentlichungen des GDI (Gesamtverband Dämmstoffindustrie, Dämmjournal, 6/97) zu 59,3 % auf Mineralfasern, 28,4 % EPS-Hartschäume, 4,3 % PUR-Hartschäume, 3,1 % Polystyrol-Extruderschäume und 1 % dämmende Leichtbauplatten. Insgesamt 95,1 % des gesamten Dämmstoffangebotes (in Volumeneinheiten) bestehen demnach aus konventionellen Dämmstoffen. Die restlichen 4,9 % teilen sich die Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen nach Schätzung des GDI mit einer Vielzahl weiterer Dämmstoffe aus tropischen und mediterranen nachwachsenden Rohstoffen sowie aus Recyclingmaterialien, Schaumglas und Perliten (Abbildung 4.1). Exakte statistische Angaben über die Produktion und den Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen liegen derzeit noch nicht vor.

¹ Der Begriff "konventionelle Dämmstoffe" bezeichnet in diesem Kapitel die gebräuchlichsten Dämmstoffe (Mineralwollen, Hart- und Extruderschäume) und dämmende Leichtbauplatten

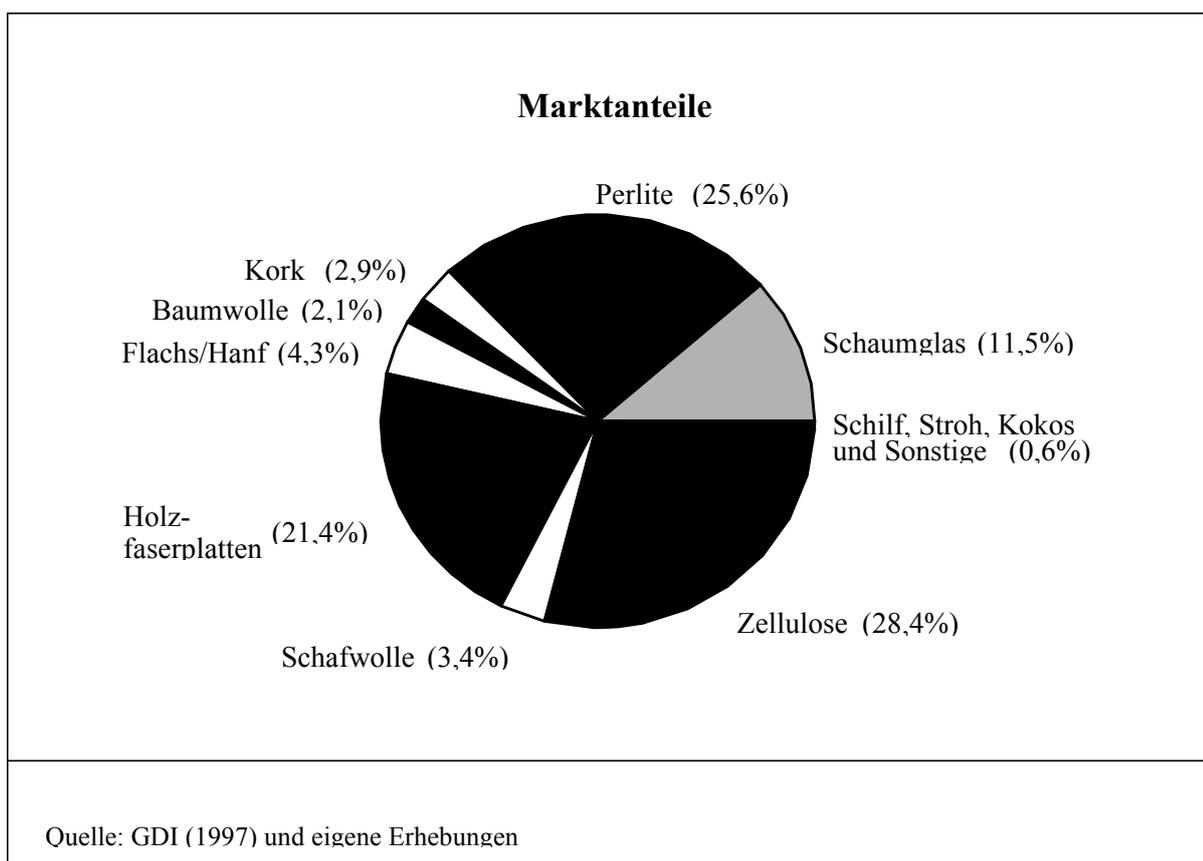


Abbildung 4.1: Der Markt alternativer Dämmstoffe

Innerhalb der alternativen Dämmstoffe² nehmen mit Schaumglas und Perliten Dämmstoffe mineralischen Ursprungs einen relativ großen Marktanteil ein (Abbildung 4.1). Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen erreichen einen Volumenanteil von insgesamt 2,2 %. Den größten Anteil unter den nachwachsenden Rohstoffen mit fast 1 % des gesamten Dämmstoffvolumens nimmt nach den Schätzungen des GDI die Zellulose ein. Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen (Flachs/Hanf, Holz, Schafwolle, Schilf und Stroh) teilen sich ca. 1,2 % des gesamten Dämmstoffmarktes.

Die Auswertung unserer Herstellerbefragung, bei der allerdings nicht alle Hersteller erfaßt sind, ergibt etwas höhere Anteile der aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugten Dämmstoffe. Die Befragung richtete sich an alle uns bekannten Hersteller alternativer Dämmstoffe. 27 Firmen haben den Fragebogen ausgefüllt. Die Fragen nach dem Rohstoffeinsatz bzw. dem Dämmstoffausstoß wurde von 18 dieser Hersteller beantwortet, zum Teil in Volumen- und zum Teil in Gewichtseinheiten. Aus den Gewichtsangaben wurden mit Hilfe der jeweiligen materialspezifischen Dichtefaktoren die erzeugten Volumina geschätzt (Tabelle 4.1). Zusätzlich haben einige Firmen, die nicht bereit waren, den Fragebogen komplett auszufüllen, telefonische Auskünfte zu den Produktionsmengen erteilt.

² Mit dem Begriff "alternative Dämmstoffe" werden in diesem Kapitel Dämmstoffe aus Perliten, Schaumglas, recyceltem organischen Material und nachwachsenden Rohstoffen bezeichnet. Vergleiche auch die Auflistung in Tabelle 4.1.

Tabelle 4.1: Marktanteile von Dämmstoffen unterschiedlicher Rohstoffbasis

| Marktanteile der in Deutschland erhältlichen Dämmstoffe nach Gesamtverband Dämmstoffindustrie | | | Herstellungsmengen nach eigener Erhebung | |
|--|----------------|--------|---|--------|
| Konventionelle Dämmstoffe | m ³ | % | m ³ | % |
| Mineralwolle | 18.980.000 | 59,28 | | |
| EPS-Hartschäume | 9.100.000 | 28,42 | | |
| PUR-Hartschäume | 1.365.000 | 4,26 | | |
| Polystyrol-Extruderschäume | 985.000 | 3,08 | | |
| Dämmende Leichtbauplatten | 310.000 | 0,97 | | |
| Summe | 30.740.000 | 96,02 | 30.740.000 | 95,14 |
| Seltene Mineralische Dämmstoffe | m ³ | % | m ³ | % |
| Schaumglas | 180.000 | 0,56 | | |
| Perlite | 400.000 | 1,25 | | |
| Summe | 580.000 | 1,81 | 580.000 | 1,80 |
| Dämmstoffe aus NR und recyceltem organischem Material | m ³ | % | m ³ | % |
| Kork | 30.000 | 0,09 | 45.250 | 0,14 |
| Baumwolle | 60.000 | 0,19 | 32.500 | 0,10 |
| Flachs/Hanf | 30.000 | 0,09 | 66.887 | 0,21 |
| Weichholzfaserplatten | 200.000 | 0,62 | 334.500 | 1,04 |
| Schafwolle | 70.000 | 0,22 | 52.857 | 0,16 |
| Zellulose | 300.000 | 0,94 | 444.444 | 1,38 |
| Schilf, Stroh, Kokos, etc. | 5.000 | 0,02 | 8.900 | 0,03 |
| Summe | 695.000 | 2,17 | 985.338 | 3,06 |
| Gesamtsumme | 32.015.000 | 100,00 | 32.305.338 | 100,00 |

Quelle: GDI (1997) und eigene Erhebungen und Berechnungen

Auf der Basis dieser Herstellerangaben sowie von Expertenaussagen, denen zufolge Dämmstoffe aus Holzweichfasern 1 % des Dämmstoffmarktes einnehmen, wurde der Ausstoß an Holzweichfaser-Dämmstoffen auf 334.500 m³ hochgerechnet. Aus einer Zusammenfassung aller gesammelten Daten ergibt sich, daß die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Dämmstoffe ein Volumen von knapp 1 Mio m³ haben. Das entspricht etwa 3 % des gesamten Dämmstoffmarktes (Tabelle 4.1).

Die steigende Tendenz des Marktanteils der alternativen Dämmstoffe läßt sich auch an einzelnen Beispielen dokumentieren. Nach telefonischer Auskunft der Firma Heraklith (GRÄF, 27.01.98) wurden von diesem Hersteller 1997 20.000 m³ Flachs- und Schafwoll-Dämmstoffe in Deutschland vermarktet. Für 1998 wird eine erhebliche Ausweitung der Produktion erwartet, die zum größten Teil im Inland abgesetzt werden soll. Insgesamt ist die Produktionsanlage auf eine Kapazität von 200.000 m³ ausgelegt. Die Produktion kann folglich bei entsprechender Nachfrage schnell ausgeweitet werden (HERAKLITH 1995).

Die befragten Experten erwarten eine Ausweitung des Marktanteils von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen auf etwa 10 % des gesamten Dämmstoffangebotes (in m³). Bei gleichbleibender Gesamtproduktion würde das eine Menge von ca. 3,33 Mio m³ jährlich ergeben.

Sowohl die Aussagen der befragten Experten als auch ein Vergleich der Dämmstoffpreise sprechen dafür, daß die Zelluloseflocken einen großen Anteil am alternativen Dämmstoff-

angebot erlangen werden. Diese Materialien haben den Vorteil, daß sie relativ einfach zu handhaben sind. Insbesondere wird immer wieder betont, daß sich das Verfahren zum Einsatz in der Fertighausherstellung eignet, was freilich auch auf Dämmstoffe aus anderen Ausgangsmaterialien zutrifft. Die Preise der Roh- und Zusatzstoffe für die Produktion von Zellulosedämmstoffen sind günstig und unterliegen im wesentlichen nur geringen saisonalen Schwankungen. Die Herstellung basiert im wesentlichen auf einfachen mechanischen Verfahren und erfordert relativ geringen technischen Aufwand, so daß Produkte aus Zelluloseflocken derzeit schon mit den Preisen für konventionelle Dämmstoffe konkurrieren können. Die Preise für Dämmstoffe aus anderen nachwachsenden Rohstoffen übersteigen die Preise der konventionellen Dämmstoffe bis zum Vierfachen. Sie können darum nur diejenigen Nachfragebereiche abdecken, in denen spezifische, hohe Anforderungen an ihre technischen Eigenschaften gestellt werden.

4.1.2 Käufer von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

In der Befragung wurden Händler und Fertighaushersteller danach befragt, welche typischen Käufergruppen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen einsetzen. Die Antworten ergaben, daß solche Dämmstoffe insbesondere von Käufern mit ausgeprägtem Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein gekauft werden. Ein hohes Umweltbewußtsein wurde von 100 % der befragten Baustoffhändler und 73 % der befragten Fertighaushersteller als Merkmal angegeben, 87 % bzw. 80 % von ihnen attestierten den typischen Käufern ein hohes Gesundheitsbewußtsein, und insgesamt 83 % aller Befragten benannten beide Merkmale als typisch für Käufer von Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.

Hinsichtlich der finanziellen Situation der Käufer unterscheiden sich die Einschätzungen von Baustoffhändlern und Fertighausherstellern. Während 50 % der Baustoffhändler die typischen Käufer von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als "finanzstarke Kunden" einstufen, teilten lediglich 13 % der Fertighaushersteller diese Einschätzung.

Auch das Alter der Kunden wurde von 62,5 % der Baustoffhändler und 53,3 % der Fertighaushersteller als Kriterium benannt, wobei 92 % von ihnen das typische Alter dieser Käufer zwischen 30 und 40 Jahren ansetzten.

Die Baustoffhändler wurden zusätzlich nach den Berufsgruppen befragt, die typischerweise Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen kaufen. Als mögliche Gruppen waren Fertighaushersteller, private Bauherren, Gesellschaften für ökologisches Bauen, Baufirmen und Handwerker genannt, und die Liste war offen für weitere Angaben. 75 % der befragten Baustoffhändler nannten private Bauherren, und 37 % bezeichneten Handwerker als typische Käufergruppen.

Die Befragung hatte zum Ziel, Informationen zum Thema Dämmstoffe aus möglichst vielen unterschiedlichen Bereichen zu sammeln und sie zu einem ersten rohen Gesamtbild zusammenzufügen. Sie lieferte interessante Erkenntnisse über das Verhalten der Käufer, doch sind diese Erkenntnisse nicht als Ergebnisse einer repräsentativen Marktanalyse anzusehen.

Bauberater und Architekten sowie Baustoffhändler wurden danach gefragt, welcher Anteil der Kunden nach alternativen Dämmstoffen fragt und welcher Anteil der Kunden solche Dämmstoffe dann auch tatsächlich einsetzt. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Aussagen der Bauberater und den Aussagen der Baustoffhändler. Die Baustoffhändler gaben im Durchschnitt an, daß 36,6 % der Kunden nach alternativen Dämmstoffen fragen.

Der Anteil der Kunden, die solche Dämmstoffe dann auch tatsächlich einsetzen, liegt nach Angaben der Baustoffhändler mit 26,1 % deutlich niedriger. Offensichtlich spielt der Preis eine erhebliche Rolle bei der endgültigen Entscheidung für einen Dämmstoff. Die Architekten und Bauberater gaben im Mittel an, daß 64 % der Kunden nach Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen fragen. Der Anteil der Kunden, die solche Dämmstoffe tatsächlich einsetzen, ist sogar noch höher und liegt bei 69 %. Dieser Unterschied gegenüber den Erfahrungen der Baustoffhändler läßt sich dadurch erklären, daß insbesondere Bauberater und Architekten befragt wurden, die auf ökologisches Bauen und Bauen mit Holz spezialisiert sind und deren Klientel darum wahrscheinlich einen kleineren oder anderen Personenkreis umfaßt.

4.1.3 Preise verschiedener Dämmstoffe

Der Markt für konventionelle Dämmstoffe, insbesondere KMF (künstliche Mineralfaser) und Polystyrol ist relativ übersichtlich. Die Preise für KMF liegen, je nach Ausführung und Hersteller, zwischen 60 und 180 DM m⁻³.

Entsprechend der Vielfalt der angebotenen Produkte zeichnet sich dagegen der Markt für alternative Dämmstoffe auch hinsichtlich der Preise durch eine große Spannweite aus. BATSCHKUS *et al.* (1997) geben die Preisspanne für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen mit 200 bis 500 DM m⁻³ an. Dabei wird für Wärmedämmvliese aus Flachs ein Preis von ca. 480 DM m⁻³ genannt. Die Preise von Dämmstoffen aus Kork, Schafwolle, Baumwolle und Kokosfasern liegen in der gleichen Größenordnung. SCHULZ *et al.* (1993) geben für Dämmatten und Vliese aus Schafwolle Preise zwischen 360 und 440 DM m⁻³ an.

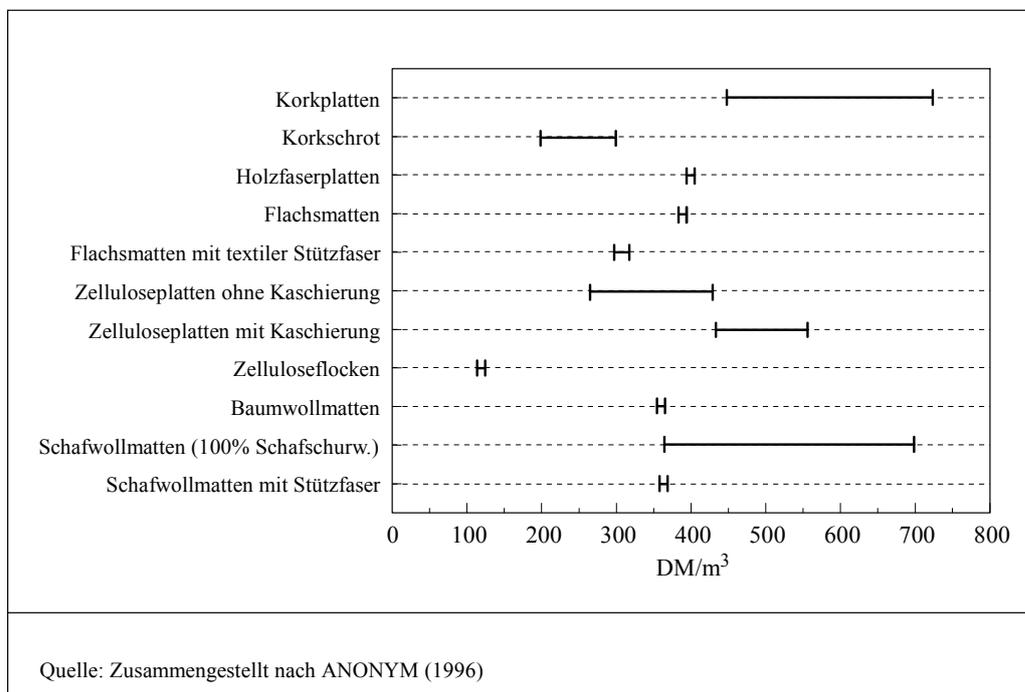


Abbildung 4.2: Preise verschiedener Dämmstoffprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen

Für andere Produkte aus Schafwolle, wie Schafwollplatten, Rohrisolierungen und Schafwollfilze zur Trittschalldämmung werden Preise bis zu 2275 DM m⁻³ genannt.

Einer aktuellen Preisliste eines Baustoffhändlers (Stand 1/1997), der im Rahmen der Befragung interviewt wurde sind die Preise in Abbildung 4.2 entnommen. Um die Preise der Dämmstoffe praxisrelevant vergleichen zu können, sind nicht nur die Kubikmeterpreise von Bedeutung. Die Dämmstoffe unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit. Je größer diese ist, desto mehr Volumen muß eingesetzt werden, um die gleiche Dämmwirkung zu erzielen. Daneben sind noch weitere preisbestimmende Qualitätsmerkmale zu beachten wie z. B. die baustatischen und die Brandschutz-Eigenschaften oder die gesundheitliche Unbedenklichkeit.

Statt der Kubikmeterpreise werden oft Quadratmeterpreise angegeben. Diese lassen sich für Vergleiche nur nutzen, wenn auch die zugehörigen Schichtdicken angegeben sind.

In der Zeitschrift Ökotest (ANONYM 1996) z. B. sind für fast alle gängigen Produkte die Preise in DM m⁻² mit einer Schichtdicke von 16 cm sowie die WLG der Materialien angegeben. Die Untersuchung umfaßt 51 Dämmstoffe aus Baumwolle, Flachsfasern, Holzfasern, Holzspänen, Holzwolle, Schafschurwolle, Schilf, Kork, Zellulose sowie verschiedenen mineralischen Grundstoffen. 25 dieser Dämmstoffe werden in Deutschland hergestellt. Die Herkunft der Rohstoffe läßt sich bei vielen Produkten nicht verlässlich bestimmen.

Um die Preise der Dämmstoffe möglichst praxisrelevant vergleichen zu können, wird der Preis ermittelt, der je Quadratmeter Dämmstoff gezahlt werden muß, um einen bestimmten Wärmedurchgangskoeffizienten k zu erreichen. Danach ergeben sich die in Tabelle 4.2 zusammengefaßten Preise.

Tabelle 4.2: Preise für verschiedene Dämmstoffe, umgerechnet auf gleiche Dämmwirkung ($\lambda = 0,040$)

| Preis in DM für einen Quadratmeter Dämmstoff mit einheitlichem Wärmedurchlaßwiderstand (WLG = 040 bzw. k = 0,25) | | | | | |
|---|---------|---------|------------|-----------------|--------------|
| Produkt | Minimum | Maximum | Mittelwert | Anzahl Produkte | Preis-spanne |
| Baumwolle | 24,00 | 53,40 | 38,70 | 2 | 29,40 |
| Fichtenhobelspane | 47,30 | 47,30 | 47,30 | 1 | - |
| Flachsfaser | 58,88 | 67,40 | 63,14 | 2 | 8,52 |
| Holzfasern | 62,10 | 86,63 | 79,19 | 7 | 24,53 |
| Holzwolle + Magnesit | 155,25 | 155,25 | 155,25 | 1 | - |
| Kokos | 23,75 | 72,45 | 48,10 | 2 | 48,70 |
| Kork | 43,43 | 84,00 | 63,49 | 15 | 40,58 |
| Schafschurwolle, rein | 47,90 | 113,60 | 68,83 | 4 | 65,70 |
| Schafschurwolle + Stützfaser | 61,70 | 69,00 | 65,35 | 2 | 7,30 |
| Schilfrohr | 50,00 | 67,50 | 57,50 | 3 | 17,50 |
| Zellulose, recycelt | 20,50 | 49,16 | 31,55 | 10 | 28,66 |
| Zellulose, frisch | 52,90 | 52,90 | 52,90 | 1 | - |
| Zellulose + Jute | 38,60 | 38,60 | 38,60 | 1 | |
| | | | | | |
| Glaswolle | 13,00 | 17,00 | | | - |

Quelle: ANONYM 1996, eigene Berechnungen

Die Hersteller von Dämmstoffen wurden nach ihrer Einschätzung befragt, welche Schwierigkeiten bei der Vermarktung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

aufzutreten. Aus einer Liste von 15 möglichen Gründen wurde der hohe Preis der Produkte am häufigsten genannt; in über 70 % der Antworten. Dabei ist zu beachten: Die Preisunterschiede sind so groß, daß sie durch den zusätzlichen Nutzen besserer Materialeigenschaften nur dann überbrückt werden können, wenn diese Eigenschaften den Käufern mindestens ebenso wichtig, bei teuren Produkten sogar um ein Vielfaches wichtiger sind als die Dämmwirkung.

Bei einigen Rohstoffen sind große Preisunterschiede zwischen den daraus hergestellten Dämmstoffen festzustellen (bis zu 100 % des Mittelwertes). Insbesondere bei Kokos und Kork fallen die großen Preisdifferenzen auf. Ebenfalls bei Schafwolle, wo sich die Preisspanne allerdings aus dem hohen Preis eines einzelnen Produktes erklärt. Dieses unterscheidet sich von den anderen durch die etwa doppelt so hohe Rohdichte, die es erlaubt, auf Zusätze zum Brandschutz zu verzichten sowie eine wesentlich höhere Stabilität ohne Zusatz synthetischer Stützfasern zu erreichen.

In allen Fällen aber, in denen die Dämmwirkung das überwiegende Kriterium ist, stellen die hohen Kostenunterschiede zur Erzielung einer vergleichbaren Dämmwirkung, die ja die Preisunterschiede in DM m^{-3} noch übertreffen, ein großes Hindernis für die Vermarktung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen dar, ein größeres Hindernis vermutlich, als es aus Befragungen von Bauberatern und Architekten, Handwerkern und Fertighausherstellern zu folgern wäre.

4.2 Rohstoffmarkt

Zwischen den Märkten für nachwachsende Rohstoffe und denen für die gebräuchlichsten anderen Rohstoffe zur Dämmstoffherstellung bestehen erhebliche Unterschiede.

Rohstoffe zur Herstellung konventioneller Dämmstoffe (Altglas, Quarzsand, Kalkstein und andere Gesteine, Naphta und Erdgas, Erdöl) sind das ganze Jahr über verfügbar. Infrastruktur und Handel sind in den entsprechenden Bereichen gut ausgebaut und seit Jahrzehnten bekannt und erprobt.

Im Bereich der Rohstoffe, die zu alternativen Dämmstoffen verarbeitet werden, ist die Situation ähnlich. Die Recycling-Materialien, insbesondere Altpapier, sind ganzjährig verfügbar, und auch die Infrastruktur zur Einsammlung, Sortierung, Lagerung und der Handel mit Altpapier sind seit einigen Jahren etabliert. Ohne ausgeprägte saisonale Schwankungen sind auch Reststoffe wie Holzhobelspäne und Industrieholz sowie geeignete nachwachsende Rohstoffe der Tropen und Subtropen - Baumwolle, Jute - ganzjährig erhältlich.

Auf dem Markt für einheimische nachwachsende Rohstoffe sind auch die Aspekte des Anbaues zu berücksichtigen. Der saisonale Anfall des Erntegutes bedeutet Arbeitsspitzen in den Erzeuger- und Verarbeitungsbetrieben und eine starke Beanspruchung, aber nur geringe Auslastung der Spezialmaschinen und hohe Lagerraum-Kapazitäten bei den Verarbeitungsanlagen.

Die befragten Hersteller, Baustoffhändler und Fertighaushersteller wurden auch gefragt, ob die eingesetzten Rohstoffe direkt bei den Produzenten oder über Händler bezogen werden. Ihre Angaben über die Bezugswege sind in Tabelle 4.3 zusammengefaßt. Weit mehr als die Hälfte der Rohstoffe, insbesondere der einheimischen Produkte wie Flachs, Hanf, Schilf, Holz und Schafwolle werden ohne Zwischenhändler direkt vom Hersteller bezogen. Ein ähnliches

Bild ergibt sich auch bei der Zellulose. Altpapier wird direkt von den Druckereien oder von den einsammelnden Unternehmen bezogen. Rohstoffe, die importiert werden müssen, da die Ausgangspflanzen in Deutschland nicht kultiviert werden können, also Baumwolle, Kork und Jute werden zum größeren Teil über Händler bezogen.

Tabelle 4.3: Bezugswege für Rohstoffe und Dämmstoffe

| Bezug: | von den Produzenten | von Händlern | von Produzenten und Händlern | nicht beantwortet | insgesamt |
|--------------------------|--|-----------------|------------------------------------|----------------------|------------|
| befragte Gruppen: | Anzahl (% der befragten Gruppe) | | | | |
| Dämmstoffhersteller | 14 (58 %) | 7 (29 %) | 2 (8 %) | 1 (4 %) | 24 (100 %) |
| Baustoffhändler | 22 (67 %) | 10 (30 %) | 0 (0 %) | 1 (3 %) | 33 (100 %) |
| Fertighaushersteller | 8 (32 %) | 11 (44 %) | 2 (8 %) | 4 (16 %) | 25 (100 %) |
| alle Befragten | 44 (54 %) | 28 (34 %) | 4 (5 %) | 6 (7 %) | 82 (100 %) |

Betrachtet man die Dämmstoffhersteller, die Baustoffhändler und die Fertighaushersteller getrennt, so zeigen sich ebenfalls deutliche Trends. Die Dämmstoffhersteller beziehen ihre Rohstoffe zu fast 60 % direkt bei den Erzeugern. Die Baustoffhändler kaufen Dämmstoffe zu 67 % bei den Dämmstoffherstellern. Dagegen geben nur 32 % der Fertighaushersteller die Dämmstoffhersteller als Bezugsquelle für die eingesetzten Dämmstoffe an. 44 % der Fertighaushersteller beziehen die Dämmstoffe über einen Zwischenhändler und 8 % geben an, sowohl bei den Dämmstoffproduzenten als auch über Zwischenhändler ihre Dämmstoffe zu beziehen.

4.2.1 Längerfristige Abnahmeverträge

Für die Landwirtschaft von besonderem Interesse ist auch die Sicherheit, mit der die landwirtschaftlichen Produkte abgesetzt werden können. Daher wurden die Dämmstoffhersteller auch befragt, ob sie längerfristige Abnahmeverträge mit den Herstellern ihrer Rohstoffe abgeschlossen haben. 35 % der Hersteller hatten solche Verträge, 50 % verneinten die Frage, und 15 % machten keine Angaben. Längerfristige Abnahmeverträge werden von vielen Anbauern von Rohstoffpflanzen als Instrument der Absatzsicherung angestrebt. Diese können auch für die Verarbeitungsunternehmen zu einer Senkung des Organisationsaufwandes (Transaktionskosten) führen.

Auch die Fertighaushersteller wurden nach längerfristigen Abnahmeverträgen mit Herstellern alternativer Dämmstoffe befragt. Es zeigte sich jedoch, daß hier lediglich einer einen längerfristigen Abnahmevertrag mit einem Dämmstoffproduzenten ausgehandelt hatte.

4.2.2 Potentielle Anbauflächen

Maßgeblichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Anbaus heimischer nachwachsender Rohstoffe und auf ihren Anbauumfang haben auf der einen Seite die Ernteerträge und die loco-Hof-Preise und auf der anderen die agrarmarkt- und umweltpolitischen Maßnahmen und andere rechtliche Vorschriften. Im Rahmen der Flächenstilllegung können Rohstoffpflanzen (als "Industriepflanzen") auf Flächen angebaut werden, für die ein Stilllegungsausgleich gezahlt wird. Für den Anbau von Hanf und Flachs werden auf der Grundlage besonderer Regelungen Beihilfen bis zu etwa 1500 DM ha⁻¹ der Basisfläche gezahlt. Die wichtigsten rechtlichen Rahmenbedingungen sind in den folgenden Abschnitten kurz zusammengefaßt.

Tabelle 4.4: Anbauflächen von Flachs und Hanf

| Land | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | | 1997 | | 1998 | |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|--------------|-----------------|---------------|
| | Flachs (ha) | Flachs (ha) | Flachs (ha) | Flachs (ha) | Hanf (ha) | Flachs (ha) | Hanf (ha) | Flachs* (ha) | Hanf* (ha) |
| Baden-Württemberg | 41 | 43 | 36 | 30 | 190 | 12 | 437 | | 326 |
| Bayern | 201 | 242 | 256 | 180 | 317 | 28 | 395 | | 239 |
| Berlin | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| Brandenburg | 270 | 606 | 2379 | 3582 | 97 | 1051 | 396 | | 706 |
| Bremen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| Hamburg | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| Hessen | 0 | 0 | 0 | 0 | 57 | 0 | 27 | | 21 |
| Meckl.- Vorpommern | 132 | 192 | 0 | 92 | 52 | 28 | 40 | | 115 |
| Niedersachsen | 4 | 10 | 12 | 8 | 431 | 15 | 995 | | 713 |
| Nordrhein-Westfalen | 105 | 101 | 48 | 2 | 31 | 0 | 34 | | 15 |
| Rheinland-Pfalz | 0 | 0 | 3 | 37 | 44 | 0 | 350 | | 326 |
| Saarland | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 19 | | 3 |
| Sachsen | 26 | 63 | 360 | 517 | 44 | 134 | 112 | | 161 |
| Sachsen-Anhalt | 22 | 287 | 144 | 15 | 98 | 0 | 148 | | 817 |
| Schleswig-Holstein | 161 | 180 | 130 | 126 | 10 | 85 | 12 | | 2 |
| Thüringen | 0 | 0 | 3 | 0 | 39 | 0 | 4 | | 22 |
| Deutschland | 962 | 1723 | 3371 | 4589 | 1423 | 1354 | 2869 | 417 | 3575 |

Quelle: zusammengestellt aus: BLE, schriftliche Mitteilung, 1997, *KARUS (1998)

Flachs und Hanf

Die Anbauflächen für Flachs und Hanf sind im wesentlichen durch die BLE in Frankfurt erfaßt. Für Hanf gibt es aufgrund der Hanfbeihilfeverordnung, einen jährlich neu festgesetzten Betrag, der 1994 bis 1996 jeweils über 1500 DM ha⁻¹, 1997 bei 1420 DM ha⁻¹ lag. Die Beihilfe wird nur gewährt, wenn entsprechende Anträge bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung gestellt werden.

Öllein

Die Anbaufläche von Öllein in der Bundesrepublik lag in den Jahren 1992 bis 1996 bei durchschnittlich 54.236 ha (STATISTISCHES BUNDESAMT 1994, 1995 und 1996/97). Dabei ist nach einem Einbruch 1993 und 1994 wieder ein Anstieg zu beobachten. 1997 wurden bundesweit 96.000 ha Öllein angebaut (nach Mitteilungen der LK Hannover und der LK Weser-Ems). Ölleinstroh als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Ölleinsamen kann potentiell zur Herstellung von Dämmstoffen genutzt werden.

Getreidestroh

Getreidestroh eignet sich ebenfalls zur Herstellung von Dämmstoffen. Aus Getreidestroh lassen sich keine Bastfasern gewinnen und darum auch keine Vliese oder Filze herstellen. Es eignet sich aber wegen seiner Struktur zur Herstellung von Platten und Schüttungen.

1991 bis 1994 wurden in Deutschland durchschnittlich 6,1 Mio ha Getreide (ohne Mais) angebaut (BML 1994 und STATISTISCHES BUNDESAMT 1994 - 1997). Diese Fläche wird sich in den nächsten Jahrzehnten nur geringfügig ändern.

Mindestens ein Fünftel des Getreidestrohs wird in Deutschland weder zur Einstreu in der Tierhaltung noch zur Bodenverbesserung benötigt. Potentiell stünde demnach in Deutschland jährlich Getreidestroh von 1,2 Mio ha Getreide für die Dämmstoffherstellung zur Verfügung.

4.2.3 Produktionspotentiale von Rohstoffen

In den folgenden Abschnitten werden auf der Grundlage des (potentiellen) Anbauumfangs und der durchschnittlichen Flächenerträge die Rohstoffmengen abgeschätzt, die in Deutschland für die Dämmstoffherstellung produziert werden könnten. Zusätzlich werden die potentiell verfügbaren Produktionsmengen von Schafwolle, Schilf, Restholz und vom Recyclingstoff "Zeitungspapier" geschätzt.

Flachs und Hanf

Flachs und Hanf können in Deutschland als Faserpflanzen angebaut werden. Unter optimalen Bedingungen sind mit Hanf etwa 10 t, mit Flachs etwa 7 t Röststroh je Hektar zu ernten. Bei Flachs werden in Deutschland in den Hauptanbaugebieten jedoch geringere Erträge erzielt. Nach VO (EG) Nr. 2183187 sind für Deutschland folgende Mindesterträge an Flachsstroh festgelegt worden: 4 t bei der Ernte durch Raufen, 2 t bei der Ernte durch Mähen. Die Einhaltung dieser Mindesterträge bereitet in der Praxis Probleme (BML 1998). Aus Kapitel 5 geht hervor, daß unter optimalen Bedingungen aus einem Hektar Hanf jeweils über 100 m³ Dämmstoff hergestellt werden können. Bei Hanf fallen 40 - 83 m³ Vliesdämmstoff und 32 m³ Schüttung an, bei Flachs 50 - 70 m³ Vlies.

Kapitel 10.1.1 zeigt, daß Hanffasern zu geringeren Anbau- und Erntekosten zu produzieren sind als Flachsfasern. Zusätzlich ist der Schäbenanteil beim Hanf aus technischen Gründen besser nutzbar und hat daher einen höheren Marktwert. Die längeren Fasern des Flachses sind dagegen besser für die Herstellung hochwertiger Textilien geeignet. Die folgenden Überlegungen beschränken sich daher auf Hanf.

Um 1 % des derzeitigen Dämmstoffmarktes abdecken zu können, müßten 0,3 Mio m³ KMF (künstliche Mineralfaser) oder Polystyrol durch Hanf-Dämmstoffe substituiert werden. Aufgrund des höheren Wärmeleitfähigkeitswertes wird für die gleiche Dämmleistung wie bei KMF etwa das 1,12-fache Volumen an Hanffasern bzw. das 1,5-fache Volumen an Hanfschäben benötigt. Aus 8 t Hanfstroh lassen sich ca. 2,0 t Hanffasern sowie etwa 4,8 t Hanfschäben gewinnen. Bei einem spezifischen Gewicht von 40 kg Hanffasern m⁻³ Vliesdämmstoff und 100 kg Hanfschäben m⁻³ Schüttdämmung lassen sich daraus ca. 100 m³ Hanfdämmstoffe gewinnen. Diese Mengen eignen sich zur Substitution von 75 m³ KMF, wenn man eine gleich hohe Dämmleistung unterstellt. Zur Substitution von 0,3 Mio m⁻³ KMF durch Hanf-Dämmstoffe wäre eine Anbaufläche von 4000 ha nötig.

Öllein

Im Gegensatz zu Faserlein ist die Strohausbeute beim Öllein wesentlich geringer. Die Ölleinsorten sind auf höheren Ölertrag gezüchtet. Die Stengel sind im Durchschnitt kürzer als beim Faserlein und stärker verzweigt. Sowohl der Gehalt an Fasern als auch deren Qualität sind geringer als beim Flachs. Der Strohertrag erreicht beim Öllein maximal 4 t ha⁻¹. Der Fasergehalt liegt zwischen 14 % und 22 %, durchschnittlich bei 20 %. Aus dem Ölleinstroh von einem Hektar lassen sich durchschnittlich 0,8 t Fasern gewinnen (BRENNDÖRFER und

HUMMELT 1986), aus denen bei einem spezifischen Vlies-Gewicht von ca. 40 kg m^{-3} ca. 15 m^3 Dämmvlies hergestellt werden könnten. Würde sämtliches Ölleinstroh geerntet und zu Dämmstoffen verarbeitet, hätten 1997 aus Ölleinstroh $1,44 \text{ Mio m}^3$ Vlies hergestellt werden können.

Die potentiell anfallende Strohmenge hängt wesentlich von der Wirtschaftlichkeit des Ölleinanbaues und damit auch von der Höhe der für Öllein gewährten Ausgleichszahlungen ab. Der Preisausgleich, der für Öllein gewährt wird, betrug 1997 je nach Anbauregion, in Abhängigkeit vom durchschnittlich in einer Region zu erzielenden Ertrag zwischen 865 und 1473 DM ha^{-1} . Eine Steigerung des Anbaus ist daher in Zukunft nur zu erwarten, falls sich neue Absatzmärkte für inländisches Leinöl in der chemischen Industrie bzw. der Farbenherstellung schaffen lassen.

Getreidestroh

1996 lag die Getreidefläche in Deutschland bei $6,3 \text{ Mio ha}$ und 1997 bei $6,0 \text{ Mio ha}$. Die Stroherträge liegen in dem Bereich von etwa $4,6 - 7,8 \text{ t ha}^{-1}$, je nach Getreideart, Standort und klimatischen Bedingungen. Die klassische Verwendung als Einstreu in der Tierhaltung wurde durch die zunehmende Verbreitung einstreuloser Verfahren immer mehr zurückgedrängt. Nach Schätzungen (Kapitel 5) ist davon auszugehen, daß derzeit ca. 50% des Strohs als Einstreu benötigt wird. Dazu kommen weitere ca. 30% , die zur Humusversorgung in viehlosen und vieharmen Betrieben auf dem Acker verbleiben. Im folgenden ist unterstellt, daß 20% der Stroherträge in Deutschland potentiell für andere Nutzungen zur Verfügung stehen. Insgesamt stünden demnach in Deutschland jährlich etwa $6,0 \text{ Mio t}$ Getreidestroh für die Industrie und die Energiegewinnung zur Verfügung. Ein spezifisches Gewicht von 120 kg m^{-3} Strohdämmstoff unterstellt, würde diese Menge für 50 Mio m^3 Strohdämmstoff ausreichen. Das entspräche dem Volumen nach mehr als der 1,5-fachen Menge der 1996 insgesamt auf dem deutschen Markt nachgefragten Dämmstoffe. Aufgrund qualitativer Aspekte und rechtlicher Einschränkungen wird Strohdämmstoff jedoch in vielen Einsatzbereichen nicht in der Lage sein, konventionelle Dämmstoffe zu ersetzen.

Schafwolle

Wird Schafwolle zur Herstellung von Dämmstoffen verwendet, werden dabei ca. 30 kg Schafwolle für 1 m^3 Dämmstoff benötigt. Schätzungen der ZMP (1997) zufolge lag die deutsche Schafwollproduktion in den Jahren 1991 bis 1996 zwischen 6750 t im Jahr 1991 und 6280 t im Jahr 1996. Unterstellt man bei Schafwollämmstoffen ein spezifisches Gewicht von 30 kg m^{-3} , könnten folglich aus der einheimischen Wollproduktion höchstens 225.000 m^3 Schafwollämmstoffe hergestellt werden. Das entspricht einem maximal möglichen Marktanteil von $0,7 \%$. Der tatsächliche Marktanteil von Schafwollämmstoffen lag 1996 nach Schätzungen des GDI bei $0,22 \%$, nach eigenen Schätzungen auf Grundlage der Befragung bei etwa $0,16 \%$.

Die Wollerlöse machen nur einen geringen Teil der Einnahmen aus der Schafhaltung aus. Über 90% der Einnahmen kommen aus dem Verkauf von Fleisch, und auch die Prämie für Mutterschafe ist auf eine bestimmte Anzahl von Schafen beschränkt und nicht an die Wollproduktion gekoppelt. Mit einer nennenswerten Steigerung der inländischen Wollerzeugung ist darum nicht zu rechnen.

Schilf

Schilf, außer Miscanthus, wird nicht auf Ackerflächen angebaut. Für die traditionelle Herstellung von Schilfdämmplatten werden natürliche Schilfvorkommen an Seen genutzt. Die Schilfbestände, die wertvolle Biotope darstellen, bedürfen zu ihrer Erhaltung einer regelmäßigen Pflege. Diese Pflege besteht im wesentlichen aus einem Schnitt der Bestände. Die geernteten Pflanzenteile werden traditionell in unterschiedlicher Weise genutzt, unter anderem zur Herstellung von Dämmplatten und zur Dacheindeckung.

Holz

Holz als Rohstoff für die Herstellung von Dämmstoffen steht potentiell in großen Mengen zur Verfügung (ca. 4 Mio t, siehe Kapitel 5.6). Rechnet man die geringere Dämmleistung ein, wird zur Substitution von KMF durch Holzdämmstoffe etwa das 1,5fache Dämmstoffvolumen benötigt. Demnach könnten - theoretisch - Holzdämmstoffe aus dem gesamten anfallenden Schicht- und Industrieholz 10 - 30 Mio m³ KMF substituieren.

Zellulose aus Altpapier

Das Aufkommen von Altpapier ist im Zeitraum von 1976 bis 1994 kontinuierlich angestiegen. Das Aufkommen lag 1976 bei etwa 3 Mio t und ist bis 1997 auf rund 11,3 Mio t angestiegen. Der Anteil des eingesetzten Altpapiers an der Produktion von Papier und Pappe lag 1997 bei ca. 60 % bzw. rund 9,5 Mio t. Für das Jahr 2000 werden etwa 2,2 Mio t Überhang an Altpapier erwartet, die nicht von der deutschen Papierindustrie verwertet werden können (DIX und ROFFAEL 1996).

Von der gesamten Menge waren 7,4 % Tageszeitungspapier (Qualität E 12) (BVSE 1997). Das entspricht einer Menge von 836.000 t. Wenn dieses Altpapier komplett für die Dämmstoffproduktion zur Verfügung stünde, würde die Menge bei einem spezifischen Gewicht von 80 kg m⁻³ ausreichen, um jährlich ca. 10 Mio m³ Schüttdämmung aus Altpapierzellulose zu produzieren.

4.3 Diskussion

Die Marktanteile aller Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen liegen derzeit bei rund 3 %. Davon nehmen Holzweichfaserplatten und Zellulose die größten Anteile ein. Expertenaussagen zufolge ist mittelfristig eine Ausweitung des Marktanteils alternativer Dämmstoffe bis zu maximal 10 % als realistisch zu betrachten. Versteht man als "mittelfristig" einen Zeitraum von 5 (oder alternativ: 10) Jahren, so errechnet sich aus dieser Prognose: Bei einer Fortsetzung des bisherigen Wachstums der Gesamtnachfrage von jährlich ca. 8 % würde innerhalb dieser Entwicklung die Nachfrage nach Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen überproportional um ca. 37,4 % (alternativ: 21,8 %) ansteigen, die der übrigen Dämmstoffe nur um ca. 3,1 % (alternativ: 7,2 %). Diese Differenzierung der Wachstumsraten würde sich auch bei einem geringeren Wachstum der Gesamtnachfrage nicht wesentlich ändern. Die Weiterentwicklung der gesetzlichen Vorgaben zur Wärmedämmung (neue Wärmeschutzverordnung) fördert kurz- bis mittelfristig voraussichtlich den Absatz von Dämmstoffen.

Eine Potentialabschätzung zeigt, daß die in Deutschland derzeit erzeugten Mengen an nachwachsenden Rohstoffen ausreichen würden, um den Dämmstoffmarkt komplett zu bedienen. Allein die Menge an Nebenprodukten wie Stroh und Schwachholz würden dazu ausreichen. Die Dämmstoffe, die aus diesen Rohstoffen bisher hergestellt werden können,

sind allerdings relativ schwer und haben im Vergleich zu den konventionellen Referenzprodukten eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit. Andererseits sind bei Stroh und Schwachholz als Estandskosten lediglich die Bergungs- und die Anfuhrkosten (bei Stroh evtl. noch ein geringer Betrag für den entgangenen Humusdüngerwert) in Ansatz zu bringen. NIKOLAISEN *et al.* (1992) schätzen diese Kosten bei 88 - 140 DM pro t. Den Land- und Forstwirten bietet der Verkauf der sonst schwer verkäuflichen Nebenprodukte an die Dämmstoffhersteller ein bescheidenes, aber auch relativ sicheres zusätzliches Einkommen, wenn die zur Bergung benötigten Maschinen im Betrieb bereits (oder noch) vorhanden sind.

Das anfallende Tageszeitungsaltpapier würde bei einer kompletten Verarbeitung zu Dämmstoffen ausreichen, um 30 % des derzeitigen Dämmstoffmarktes abzudecken. Die aus Altpapier hergestellten Zellulose-Dämmstoffe eignen sich durch ihre Form (meist als Schüttung) besonders zum Einsatz im Fertighausbau. Der heimische Bastfaserpflanzenanbau nimmt noch relativ geringe Flächen ein.

Ein Vergleich der Preise von Dämmstoffen aus nachwachsenden und aus konventionellen Rohstoffen zeigt deutliche Differenzen. Zwischen den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen gibt es ebenfalls große Preisunterschiede, auch wenn man von den herstellerbedingten Unterschieden absieht. Zudem ist festzustellen, daß der Markt für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen für den Verbraucher sehr wenig transparent ist, denn es existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Produkte von meist sehr geringem Bekanntheitsgrad. Nur wenige geschulte Handwerker und Architekten haben einen klaren Überblick über die technischen Eignungsprofile, die entsprechenden Einsatzbereiche und über die Preise dieser Produkte. Dazu führen nur wenige Baumärkte mehrere Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in ihrem normalen Sortiment. Darum wurden die Verbraucher in der Vergangenheit auch kaum auf diese Produktgruppe aufmerksam. Erst mit dem wachsenden Bekanntheitsgrad der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und dem zunehmenden Kenntnisstand der Käufer und ihrer Berater hat die Nachfrage nach diesen Erzeugnissen in jüngster Zeit eine positive Entwicklung genommen.

Die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Hauptfruchtanbau, also insbesondere der Anbau von Flachs und Hanf, ist kritischer zu beurteilen. Erfolgt der Anbau nicht auf Stilllegungsflächen, fallen für die Ackerfläche Nutzungskosten an, die i. d. R. höher sind als die Pachtsätze. Sie können an guten Ackerbau-Standorten über die Hälfte der Produktionskosten ausmachen und belasten die Wettbewerbsfähigkeit der im Inland produzierten Fasern gegenüber den importierten. Darum läßt sich die Produktion von Faserpflanzen in Deutschland nur aufrecht erhalten, wenn sie finanziell gefördert wird. In der Vergangenheit waren Prämien bis etwa 1500 DM ha⁻¹ für den Anbau von Flachs und Hanf üblich. Es wird in Kapitel 10.1.1 gezeigt, wie stark der Deckungsbeitrag und verbunden damit der Gewinn für den Landwirt bei diesen Kulturen von der Höhe der Subventionen abhängig ist.

Die Gestehungskosten der in Deutschland nachwachsenden Rohstoffe sind durch Anbau an Standorten mit geringen Nutzungskosten, durch Ausnutzung von Größendegressionseffekten und durch Einsatz kostengünstiger Produktions-, Ernte-, Lagerungs- und Transportverfahren noch beträchtlich zu senken. Wenn das gelingt, werden sie (bei vielleicht vertretbarem Subventionseinsatz) mit importierten Rohstoffen konkurrieren können.

Höhere Preise der aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigten Dämmstoffe sind auf Dauer oder bei einer großen Zahl von Verbrauchern nur als Entgelt für klar erkennbare qualitative Vorteile durchsetzbar. Ein Ziel der Hersteller alternativer Dämmstoffe sollte daher sein, die technischen, gesundheitlichen und ökologischen Vorteile für den Verbraucher sachlich überzeugend und einprägsam zu dokumentieren.

4.4 Zusammenfassung

Die Produktgruppe "Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen" steht auf drei Ebenen im Wettbewerb mit i. d. R. schon gut eingeführten Alternativen:

- Auf dem Markt für Endprodukte sind die konventionellen Dämmstoffe aufgrund der niedrigeren Rohstoffkosten, der großindustriellen Fertigung und der etablierter Vertriebsnetze den aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigten Dämmstoffen im Preisvergleich klar überlegen. Das ergaben Umfragen bei den Dämmstoffherstellern sowie bei Baustoffhändlern und Fertighausherstellern. Nachgefragt werden die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen für relativ kleine, spezifische Einsatzbereiche und/oder von Kunden, die die besonderen ökologischen, gesundheitlichen o. ä. Vorzüge sehr wichtig nehmen und auch bereit sind, die höheren Preise zu zahlen. Dieses Marktsegment ist derzeit mit 3 % des Dämmstoffvolumens noch gering. Ein Anwachsen auf bis zu 10 % im kommenden Jahrzehnt wird von Experten erwartet.
- Auf dem Markt für Rohstoffe konkurrieren die in Deutschland erzeugten nachwachsenden Rohstoffe unmittelbar mit gleichartigen, meist kostengünstiger erzeugten Importen und in eingeschränktem Maße mit (ebenfalls billigeren) Recycling-Materialien. Die ausgeprägte Saisonalität der anfallenden Erntemengen verursacht zusätzlich Lagerkosten. Wenn Zölle oder andere Einfuhrbeschränkungen nicht angewandt werden sollen, können die Gestehungskosten der Rohstoffe durch Subventionen gesenkt werden.
- Diese Subventionen sind auch nötig, um den Anbau der Rohstoffpflanzen für die Landwirte attraktiv zu machen. Sie sind zur Zeit noch so ausgelegt, daß sie diese Aufgabe nicht nur an Standorten mit geringen Nutzungskosten der Ackerfläche und in großen Betrieben mit kostengünstiger Maschinennutzung und Gebäudeausstattung erfüllen. Mit einer starken Kürzung dieser Fördermittel wird also zu rechnen sein. Günstiger ist der Anbau von Faserpflanzen auf Stilllegungsflächen - allerdings aus betrieblicher, nicht aus ökologischer Sicht. Diese Möglichkeit wird darum eingeschränkt werden. Noch günstiger wäre die Nutzung anfallender Nebenprodukte, die praktisch unverkäuflich sind, wie etwa ein Teil des Schwachholzes oder des Getreidestrohs. Zur Zeit jedoch besteht für diese Ausgangsstoffe auf den nachfolgenden Stufen des Vermarktungsprozesses noch wenig Interesse.

Ohne Förderung des Anbaus von Rohstoffpflanzen wäre die Rohstoffbasis für die Produktgruppe "Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen" in der bestehenden Zusammensetzung nicht zu erstellen. Es würden noch mehr importierte Rohstoffe zum Einsatz kommen. Der gesamtwirtschaftlich wichtigere Engpaß ist jedoch in dem noch geringen Marktanteil der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu sehen. Er kann vor allem durch zielgruppenorientierte Verbraucheraufklärung und Förderung der Markttransparenz ausgeweitet werden.

5 **Anbau und Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen für Dämmstoffe**

Murphy¹, D.P.L., Wieland¹, H., Höppner⁵, F., Jäger², Ch.

Das Grundprinzip der Wärme- und Schalldämmung besteht darin, daß Lufteinschlüsse in einer Materialmatrix Wärmeverluste verhindern und die Schallübertragung vermindern. Alle natürlichen Materialien mit einer porösen oder faserigen Struktur können prinzipiell für die Produktion von Dämmstoffen verwendet werden. Dies umfaßt Pflanzenfasern (z. B. Flachs, Hanf, Baumwolle, Jute, Kokos), Holz, Zellulose, pflanzliche Nebenprodukte wie Getreidestroh, markhaltige Pflanzen (z. B. Sonnenblumen), Kork und Tierfasern (z. B. Schafwolle).

5.1 **Morphologie der Rohstoffe**

5.1.1 **Bastfasern**

Fasern haben bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Dämmmaterialien eine besondere Bedeutung. Die Basis aller Pflanzenfasern sind kettenartige Makromoleküle. Das allgemeine Prinzip des Faserwachstums ist die gerichtete Verknüpfung der Polymere lateral und in Längsrichtung. Grundbaustein der Pflanzenfaser ist Zellulose, d. h. ein Polymer aus Glukosemolekülen. Tierische Fasern enthalten als Grundbaustein das Protein Keratin.

Unter dem Begriff 'Pflanzenfaser' faßt man Pflanzenhaare, Bastfasern, Hartfasern von Monokotyledonen und Fasern von Holz und Gräsern zusammen. Unter Bast- und Hartfasern versteht man Bündel langgestreckter, dickwandiger Zellen der inneren Rinde oder des Phloems. Der Begriff 'Bastfaser' bezeichnet normalerweise den Komplex mehrerer einzelner Faserzellen, der über die gesamte Länge des Stammes verläuft. Die Bastzellen von Flachs und Hanf sind beispielsweise 10 bis 25 mm lang. Der Kern der Bastfaser-Pflanzen besteht aus kurzen, feinen Fasern und Parenchym. Diese bilden die Schäben-Fraktion.

Der Zusammenhalt der einzelnen Faserzellen oder Elementarzellen in den Bündeln erfolgt durch Mittellamellen, die hauptsächlich aus Pektin bestehen. Mit steigendem Alter der Bastfaserpflanze verstärkt sich die Verholzung der Faserzellen. Dieser Lignifizierungsprozeß wirkt sich positiv auf die Druck-/Zugfestigkeit der Faser, aber negativ auf die Reiß- und Drehungsfestigkeit sowie die Elastizität (Spannkraft) aus. Zusätzlich wird die Faser durch die Lignifizierung rauher und kann nur schwer aus dem Stengelmaterial extrahiert werden. Dies mindert die Faserqualität und erhöht die Prozeßkosten.

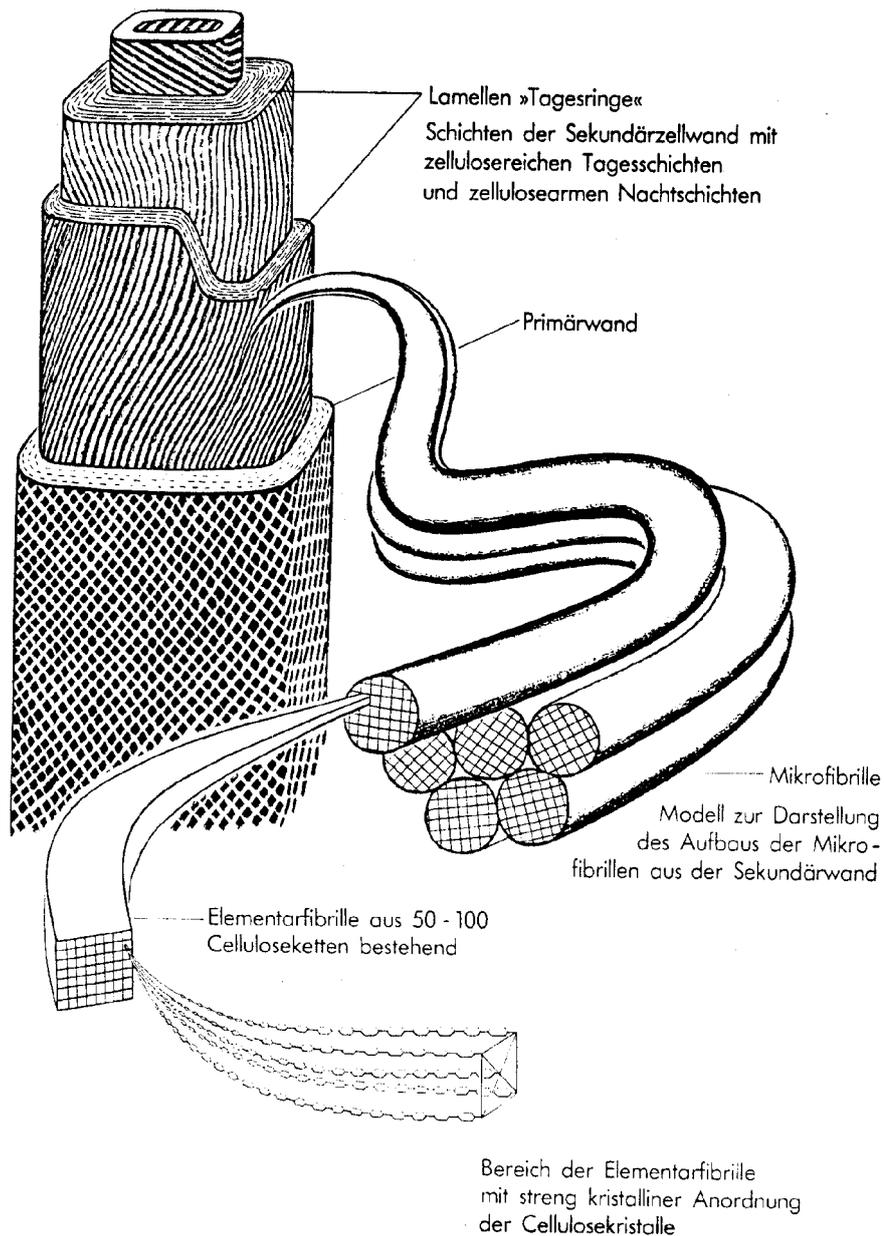


Abbildung 5.1: Querschnitt einer Baumwollfaser mit Aufbau der Sekundärzellwand (RENZ-RATHFELDER nach ESAU, 1969)

Die Eignung von Fasern für Papier, Textilien, Dämmstoffe und Faserverbundwerkstoffe wird hauptsächlich durch die Fasergeometrie, Struktur und mechanische Eigenschaften bestimmt. Im allgemeinen sind Stränge aus Bastfasern bis zu 1 m lang und im Durchmesser weniger als 1 mm breit. Bastfasern aus Jute und Kenaf haben kurze Faserzellen, vergleichbar mit denen in Nadelhölzern. Die typischen Bastfaserpflanzen (Hanf, Flachs, Ramie) haben wesentlich längere Elementarfaserzellen mit einem Längen/Durchmesserverhältnis von über 1000. Die Fasern von Getreidestroh ähneln Holzfasern, d. h. sie sind mit einem Längen/Durchmesserverhältnis von ungefähr 170 relativ kurz.

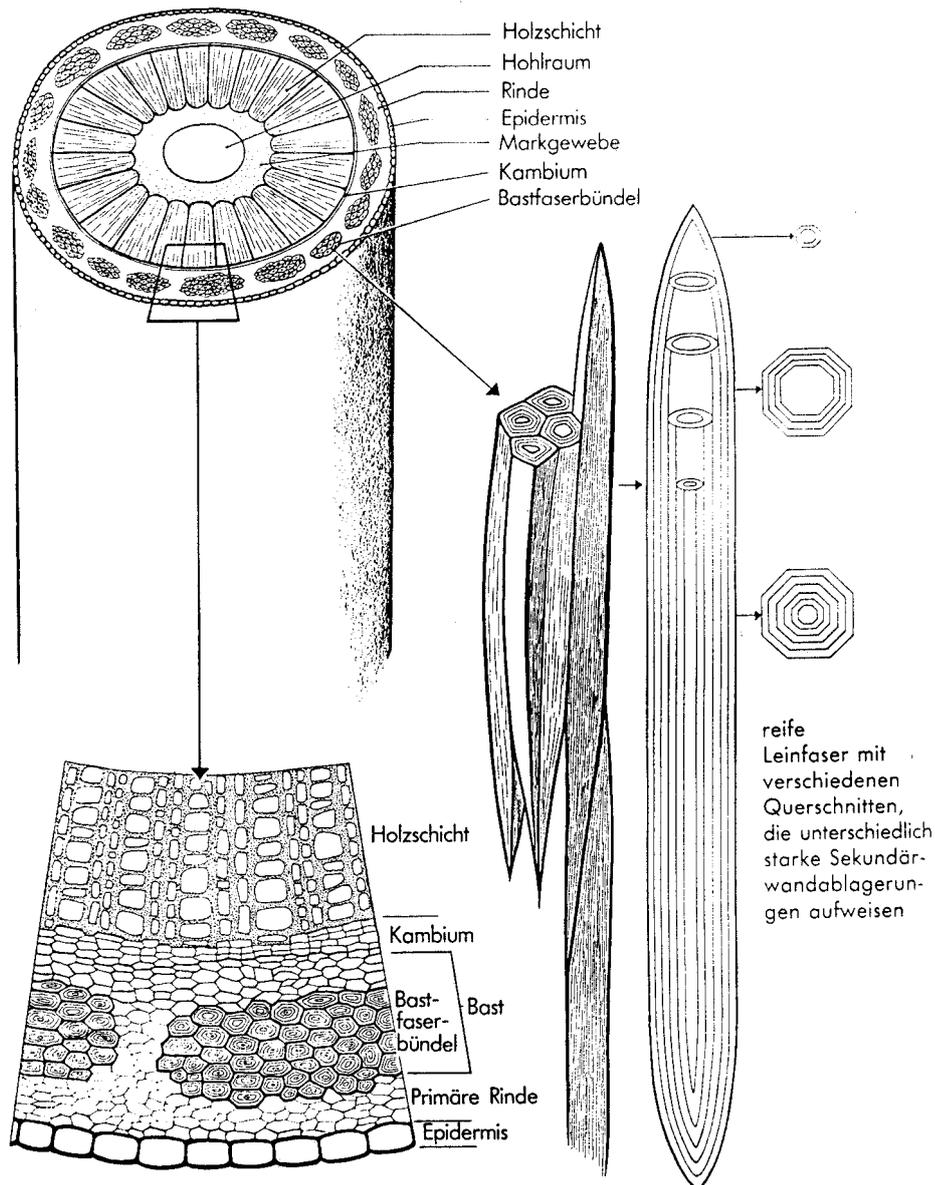


Abbildung 5.2: Morphologischer Aufbau einer Flachsfaser (RENZ-RATHFELDER 1992)
 Links oben: Querschnitt durch den Flachsstengel schematisch dargestellt.
 Links unten: Querschnitt nach mikroskopischer Aufnahme (nach ESAU, 1969 verändert).
 Rechts oben: einzelne Flachsfaser mit Sekundärwandbildungen (nach ESAU, 1969, verändert)

Unter den natürlichen Fasern zeigen Bastfasern generell die größte Reißfestigkeit. Dabei erreicht Hanf den höchsten Wert. Baumwolle ist die schwächste der Fasern. Für Dämmaterialien sind, verglichen mit anderen Anwendungsgebieten, die mechanischen Eigenschaften von geringer Relevanz. Festigkeitsdaten aber geben Hinweise, welche Fasern für eine Produktion von Dämmaterial zur Verfügung stehen, weil sie für andere Anwendungsbereiche relativ uninteressant sind. Jute ist z. B. dort, wo Festigkeit hohe Relevanz hat, eine Faser von minderer Qualität und kommt für die Nutzung als Dämmstoff in Frage.

5.1.2 Holz

Für die Herstellung von Dämmstoffen ist Nadelholz von großer Bedeutung. Die Faserzellen sind lang und daher für die Dämmstoffproduktion gut verwendbar. Der Anteil der Nadelholzbestände beträgt insgesamt 67 % am Gesamtwaldbestand. Der höchste Flächenanteil einer Bestandstypengruppe entfällt mit 43 % auf Fichten-Tannen-Bestände. Die Zuwachsrates liegt bei diesen Beständen bei etwa $8 \text{ m}^3 \text{ Jahr}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ (ca. 4 t Trockensubstanz).

5.1.3 Getreidestroh

Stroh umfaßt den Stengel der Getreidepflanze mit oder ohne Blätter. Das Getreidestroh besteht aus normalerweise hohlen Internodien und den eng mit dem meristematischen Gewebe verbundenen Nodien. Die hohle Struktur der Internodien und die peripheren Gefäßbündel verleihen dem Halm Festigkeit bei gleichzeitig effizienter Materialausnutzung. Innerhalb des fibrösen Ringes des Sklerenchyms befindet sich das Parenchym. Das Parenchym besteht aus dünnwandigen, weichen, relativ kurzen Zellen, in die vasculare Bündel eingebettet sind. Weizenstroh besteht z. B. zu etwa 50 % aus Faserzellen und zu 30 % aus Parenchymzellen.

5.1.4 Markhaltige Pflanzen

HESCH (1994) weist auf das Potential an markhaltigen Pflanzen für die Herstellung von Dämmstoffen hin. Prinzipiell verfügen fast alle landwirtschaftlichen Nutzpflanzen über Markgewebe. Dieses Gewebe umschließt die Parenchymzellen im Kern des Stengels. Nach dem Tod der Pflanze stellt es sich als ein helles, poröses Material dar, welches leere Parenchymzellen enthält. Hierdurch besitzt das Material die Eigenschaften eines ausgezeichneten Dämmstoffes. Die Pflanzenarten variieren in ihrem Gehalt an Parenchymzellen. Getreidestroh ist hohl und enthält deshalb sehr wenig Parenchymgewebe. In Flachs und Hanf ist das Mark nur spärlich entwickelt, mäßig entwickelt ist es in mehrjährigen Gräsern wie z. B. *Miscanthus*. Für die Dämmstoffproduktion eignen sich vor allem Pflanzen wie Sonnenblumen und Mais mit einem hohen Gehalt an Mark im Stengel.

5.1.5 Schafwolle

Die moderne Wolle entstand wahrscheinlich durch Mutationen der normalen Struktur der Haare. Diese Veränderungen führten in Verbindung mit 11.000 Jahren der Zuchtauswahl zu den modernen Schafzüchtungen. Wenn das Wollhaar aus dem Follikel austritt, wird es mit einer Schicht aus Lanolin und Schweiß bedeckt, die das Haar gegen Wasser schützt. Reine Wolle besteht zu etwa 97 % aus dem Protein Keratin. Dieses Protein ist ein Gerüsteiweißstoff und unlöslich. Wollhaar enthält den Haarstamm ('Cortex') und die umschließende Schuppenschicht ('Cuticula'). Aufgrund ihres Aufbaus und ihrer Zusammensetzung erfüllen diese Komponenten wichtige Funktionen. Die Faser kann aufgrund des Zusammenspiels dieser beiden Komponenten Feuchtigkeit im Faserinneren aufnehmen bzw. wieder abgeben. Das Zusammenspiel beim Anfeuchtungs- und Trocknungszyklus bewirkt außerdem die dauerhafte Kräuselung der Wollhaare und den damit verbundenen hohen Lufteinschluß in der Schafwolle. Kräuselung und Elastizität wirken sich positiv auf die Formfestigkeit aus, d. h. Produkte aus diesem Material weisen kaum oder gar kein Setzverhalten auf. DOPPELMAYER (1997) vermutet, daß die Kräuselung und die damit verbundenen Veränderungen in der Makrostruktur der Fasern eine Beschädigung der Konstruktionen durch Feuchtigkeit verhindert.

Die hohe Elastizität der Schafwolle verhindert außerdem wirkungsvoll Wärmebrücken, da durch den elastischen Dämmstoff z. B. Unregelmäßigkeiten im Sparrenbereich ausgeglichen werden.

5.2 Rohstoffproduktion

5.2.1 Landwirtschaftliche Hauptprodukte

Flachs

Flachs oder Faserlein (*Linum usitatissimum*) ist die einzige heimische Pflanze, mit der nahezu gleiche Produkteigenschaften zu erreichen sind wie mit Mineralfasern. Trotzdem nehmen Flachsprodukte nur einen kleinen Teil des Marktes an Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ein, und diese werden noch aus Flachswerg hergestellt, einem Nebenprodukt der Langfasergewinnung. In Deutschland wurde 1875 auf mehr als 200.000 ha Flachs angebaut (BRAMM *et al.* 1985). Weltweit beträgt die Anbaufläche heute etwa 350.000 ha. Hauptanbaugebiete sind Rußland, China und Rumänien. In der EU werden etwa 130.000 ha, vor allem in Frankreich, Belgien und den Niederlanden, angebaut (BML 1998). Die Anbaufläche in Deutschland beträgt 1998 ca. 400 ha (KARUS 1998). Die jährliche weltweite Produktion beträgt etwa 830.000 t Fasern (ANONYM 1997).

Für optimales Wachstum benötigt Faserlein ein gemäßigtes Klima mit etwas erhöhter Luftfeuchtigkeit. Traditionell ist der Flachs anbau eng mit dem maritimen Klima von Nord-Frankreich, Belgien und Irland verbunden. Zur Keimung wird eine Bodentemperatur von mindestens 3 °C benötigt. Die Aussaat erfolgt von Mitte März bis Mitte April. Flachs benötigt akkumuliert eine Temperatursumme von 1.600 bis 1.850 °C. Daraus folgt, daß die Wachstumsphase von Flachs bereits nach etwa 90 - 120 Tagen beendet ist und kürzer ist als die von Sommergerste. Zum Anbau eignen sich im allgemeinen alle Böden, die nicht extrem trocken oder extrem schwer sind. Bezüglich der Fruchtfolge bestehen keine besonderen Ansprüche. Da Flachs nicht selbstverträglich ist, sollte er nur alle sechs bis sieben Jahre auf der gleichen Fläche angebaut werden.

Da die Pflanzen nach Licht streben, bewirkt eine sehr hohe Saatedichte die Bildung eines langen Stengels mit langen Fasern. Hiervon ausgehend gilt eine Bestandsdichte von 1800 Pflanzen pro m² als optimal. Die Ernte erfolgt 100 - 120 Tage nach der Aussaat zwischen Mitte Juli und Mitte August. Flachs hat am Anfang eine geringe Blattoberfläche und daher geringes Durchsetzungsvermögen gegenüber Unkräutern, so daß gewöhnlich Herbizideinsatz notwendig ist. Mit bis zu 60 kg ha⁻¹ ist der Stickstoffbedarf der Pflanze gering.

Für die Dämmstoffherstellung sind die Wirtschaftlichkeit und die ökologischen Vorteile des Flachses eng mit dem Faserertrag verbunden. Um Höchstserträge an Fasern zu erzielen, wird in der Literatur eine frühe Aussaat, schnelle und einheitliche Etablierung der gewünschten Pflanzpopulation, ausreichende Verfügbarkeit von Bodenwasser, Niederschläge im Mai und Juni (120 mm) und ausreichende Zn und B Ernährung angegeben. EASSON (1988) weist darauf hin, daß die Saatbettbedingungen entscheidend sind für die frühe Aussaat und das in der Praxis oft Anfang April die günstigste Aussaatzeit in den Flachs anbaugebieten Westeuropas ist. Die höchsten Stroh- und Fasererträge werden am Ende der Blüte erreicht, längere Kulturdauer bewirkt einen Anstieg der Biomasse im Samen. Maximalen Ertrag an Stengelmaterial erzielt das Raufen; dabei wird die Pflanze im gelb-grünen Reifestadium der Kapsel ausgezogen und parallel auf den Boden gelegt. Der gesamte Stengelertrag in

Nordeuropa beträgt im Mittel 7 t ha^{-1} (SULTANA 1996). Die Ertragsdaten der letzten Jahre für europäischen Flachs sind sehr konstant und weichen nur geringfügig von den Schätzungen von SULTANA ab.

Tabelle 5.1: Steckbrief zum Anbau von Flachs nach DAMBROTH und SEEHUBER (1988)

| | |
|---------------------------|--|
| Standortansprüche: | Gemäßigtes Klima mit höherer Luftfeuchtigkeit und 120 mm Niederschläge in Mai und Juni, gute Wasserversorgung, aber keine Staunässe oder schwere Tonböden. |
| Fruchtfolge: | Der Lein kann im Prinzip nach allen Getreidearten angebaut werden. Nicht selbstverträglich, Anbauphasen von sechs bis sieben Jahren müssen eingehalten werden. Nicht empfehlenswert für Böden mit hohem Gehalt an Mineralstickstoff (nach Leguminosen, Raps, Kartoffeln). Vorheriger Zuckerrübenanbau kann Probleme mit der Bodenstruktur hervorrufen. |
| Aussaat: | Saatzeit Mitte März bis Ende April, angestrebte Bestandesdichte $1500 - 1800 \text{ Pfl m}^{-2}$ Aussaatmenge ca. $100 - 120 \text{ kg ha}^{-1}$, Reihentfernung 7-10 cm, Saattiefe 2-3 cm.. Sehr anspruchsvoll in Bezug auf die Beschaffenheit des Saatbettes, verlangt feine und gleichmäßige Krümelstruktur, gute Durchlässigkeit, ebenes Saatbett. |
| Aussaat: | So früh wie möglich, auch bei Gefahr von Spätfrösten, jedoch nicht bei Temperaturen unter -3 °C , 15. März bis 15. April. |
| Düngung: | $0 - 60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, ausreichende Phosphorversorgung ist wichtig (P_2O_5 -Entzug: 20 kg ha^{-1}), K begünstigt Faserqualität (Entzug K_2O : 35 kg ha^{-1}), Chlorid vermindert Faserfeinheit und -festigkeit, Cl-freier Dünger wird bevorzugt, empfindlich gegenüber B- und Zn-Mangel. |
| Pflanzenschutz: | Unkrautkontrolle notwendig, Saatgutbeizung gegen Krankheiten Insektizide gegen tierische Schaderreger (Erdflöhen). |
| Ernte: | 1850 °C d nach Aussaat, ab Blühende, Mitte bis Ende Juli bis Anfang August, Grün - Gelbreife Stadium. |

Die Dämmqualität ist stark von der Faserfeinheit abhängig. Faserfeinheit beruht auf der Aufteilbarkeit der Faserbündel, dem Durchmesser der Einzelfaser und der chemischen Zusammensetzung der Faser. Die Produktion feiner Fasern kann erreicht werden durch die Wahl klassischer Faserleinsorten (DAMBROTH und SEEHUBER, 1988) und einer frühen Ernte. Die Produktion feiner Fasern wird auch durch hohe Bestandesdichten gefördert (EASSON, 1988). DAMBROTH und SEEHUBER (1988) empfehlen eine angestrebte Pflanzendichte von $1800 \text{ Pflanzen m}^{-2}$. EASSON (1988) zitiert eine Anzahl von Studien, die höhere Bestandesdichten empfehlen. Um jedoch das Risiko der Lagerung zu minimieren, wird die Bestandesdichte von $1800 \text{ Pflanzen pro m}^2$ weitgehend akzeptiert. Hohe Stickstoffgaben scheinen die Faserfeinheit zu reduzieren, jedoch ist dieser Effekt gering und nicht groß genug,

um sub-optimale Düngerraten zu rechtfertigen. Phosphormangel und Cl-Überschuß (aus Kalidüngesalzen) verändern die Faserfeinheit.

Die optimale Faserfeinheit wird erzielt, wenn die Pflanzen vor dem Ende des natürlichen Reifeprozesses abgetötet werden. Die Frühernte im Grünstadium verhindert eine Verholzung der Faser mit zunehmender Stengelreife und erhöht so die Faserfeinheit. Die hierfür verwendeten Methoden sind das Raufen (ausreißen), das Mähen oder die Hitzebehandlung an der Stengelbasis (Abflammen). Zur besseren Aufbereitung der Fasern ist für einige andere Anwendungen eine Röste notwendig. Die langen Fasern können dann z. B. traditionell in der Textilindustrie weiterverarbeitet werden und die kurzen Fasern zu Dämmstoffen.

Im Stadium der Grünreife geerntet, liefert Flachs nahezu 100 % Stroh.. Bei der Ernte im Stadium der Gelbreife (ca. 9 Tage später) besteht das geerntete Material von Hochleistungssorten zu 27 % aus Fasern, 7 % aus Leinsamen, 45 % aus Schäben und zu 21 % aus Spreu, Wurzeln und Staub.

Hanf

Der Hanf (*Cannabis sativa*) gehört botanisch zur Familie der *Moraceae* (Maulbeerbaumgewächse) und stammt aus dem mittleren Osten und Zentralasien. Er ist eine einjährige, zweihäusige, windbestäubende Kurztagpflanze mit einer kräftigen Pfahlwurzel. Seine Wuchshöhe kann bis zu vier Metern betragen. Die Hauptwachstumsphase des Hanfes ist im Juni und Juli. Männliche Pflanzen (Femelhanf) gehen in der Blüten- und Reifeentwicklung den weiblichen Pflanzen (Hanfhenne) voraus. Der Reifeprozess der Fasern beginnt nach dem Ausstäuben des Pollens. Um eine gleichmäßige Reife des Hanfbestandes zu erzielen, wurden einhäusige Formen gezüchtet, bei denen sich männliche und weibliche Blüten an einer Pflanze befinden

CHRISTEN und SCHULZE (1997) sowie BOSCA und KARUS (1997) geben eine ausführliche Zusammenstellung des Hanfanbaus. Der Bestand schließt sich sehr rasch, und die Pflanzen können in Deutschland in 100 Tagen 3 m hoch werden. (HÖPPNER und MENGE-HARTMANN, 1994). Hanf ist eine ausgezeichnete Zwischenfrucht und erfordert keine Pestizidanwendungen. Das überraschend schnelle Sproßwachstum wirkt sehr beeindruckend. Deshalb wurde bei den Kampagnen zur Liberalisierung des Hanfanbaus, neben ihrer Nutzung als eine sehr effektive Faserpflanze, auch angenommen, daß die Photosynthese sehr effektiv sei und zu einem großen Biomassertrag in kurzer Zeit führe. Untersuchungen in den Niederlanden zeigten jedoch, daß diese Annahme nicht haltbar ist. VAN DER WERF (1994) zeigte, daß Hanf unter günstigsten Wachstumsbedingungen 15 t pro ha Sproßbiomasse erzeugen kann, was vergleichbar ist mit anderen im Frühjahr ausgesäten C3-Pflanzen (z. B. Weizen, Kartoffeln). Was Photosynthese und Biomasseproduktion betrifft, ist Hanf in keiner Weise besonders vorteilhaft einzuordnen.

Für die Dämmstoffproduktion aus Hanf gibt es grundsätzlich zwei Optionen: Die Produktion von Dämmstoff als Hauptprodukt aus der Faser- und Schäbenfraktion oder die Produktion von Dämmstoffen als Nebenprodukte anderer Produktlinien. Für Dämmstoffe sind Fasern ein wertvolleres Produkt als Schäben. Ist der Dämmstoff das Hauptprodukt, sollte daher die Primärproduktion darauf abzielen, den absoluten Faserertrag pro ha zu erhöhen. Zudem ist die Dämmwirkung abhängig von der Faserfeinheit, die Faserfestigkeit ist relativ unwichtig. Es ist daher wichtig, die Produktion feiner Fasern anzustreben.

Landwirtschaftliche Statistiken (nach FILIP 1997) zeigen, daß von 1969-1984 die mittleren jährlichen Hanfstroherträge in Frankreich zwischen 3,0 t ha⁻¹ (1976) bis zu 8,9 t ha⁻¹ (1992) lagen. Als Standardertragswert können für Hanf in Europa 10 t ha⁻¹ angenommen werden (VAN DAM et al., 1994). BOSCA und KARUS (1997) beschreiben die höchsten Stroherträge für die diözische Stammsorte "Kompolti" aus Ungarn (12 t ha⁻¹). Dies wird bestätigt durch VAN DER WERF (1994), der in den Niederlanden einen Ertrag von 15 t ha⁻¹ für eine Kompolti-Hybride erzielte. Kompolti Varietäten sind Beispiele für südliche Sorten - sie benötigen 150-175 Tage bis zur Samenreife (BOSCA 1995).

Tabelle 5.2: Steckbrief zum Anbau von Faserhanf (nach HÖPPNER 1995; BOSCA und KARUS 1997)

| | |
|---------------------------|--|
| Standortansprüche: | Gemäßigtes Klima, Keimungsphase ist frostempfindlich, gedeiht auf fast allen Böden mit guter Wasserversorgung, verträgt keine Staunässe oder hohes Grundwasser. Hanf braucht mind. 1900 – 2000 °C d zur technische Faserreife (ca. 110 - 115 Tage), 2700 – 3000 °C d zur Samenreife. Das Wachstumsoptimum liegt zwischen 19 und 25 °C. In ganz Deutschland erreichen alle Sorten die Faserreife. In Süd- und Mitteldeutschland erreichen die mittelspätreifenden Sorten Samenreife, in Norddeutschland nur sehr früh- und frühreifende Sorten. |
| Wasserbedarf: | Verhältnismäßig hoher spezifischer Wasserbedarf, 300-500 l kg ⁻¹ Trockensubstanz. |
| Fruchtfolge: | Keine Vorfruchtansprüche, selbst gute Vorfrucht insbesondere für Getreide, selbstverträglich. |
| Aussaat: | Saatzeit April bis Ende Mai, angestrebte Bestandesdichte 200-250 Pflanzen m ⁻² , Reihenentfernung 10-20 cm, Saattiefe 3-4 cm. |
| Düngung: | Nährstoffaufnahme von 1 t Hanfstengel: 15-20 kg N, 4 - 5 kg P ₂ O ₅ , 15-20 kg K ₂ O. Düngung: 60-100 kg N ha ⁻¹ , 70-100 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ , 150-180 kg K ₂ O ha ⁻¹ . |
| Pflanzenschutz: | Bisher nicht nötig, sehr gute Unkrautunterdrückung, evtl. Saatgutbeizung (Vogelfraß, Auflaufkrankheiten). |
| Ernte: | Für die Feinfasergewinnung (Dämmstoffe) nach 100-120 Tagen Vegetationszeit, optimal nach der Blüte der männlichen Pflanzen bzw. beginnende Fruchtreife der weibl. Pflanzen. |

Bei Hanf kann man nicht von einem 'typischen Ertrag' sprechen. Die Biomasse und das Strohertragspotential variieren beträchtlich in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Reaktion von Sorten gegenüber der Tageslänge und dem Anteil der Biomasse in der Samenfraktion. Hanfsamen sind reich an Öl und Protein. Deshalb werden die Samen überproportional auf Kosten der Biomasse (Stroh) produziert (GÖHLICH *et al.*, 1992). Für Faserhanf wird daher angestrebt, die Samenproduktion so weit wie möglich zu minimieren. Die Faserausbeute (Stroh) variiert zwischen 15 und 30 %. Die höchsten Fasergehalte wurden

für diözische südliche Sorten beschrieben. Unter optimalen Bedingungen können $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ als der angestrebte Bastfaserertrag von Hanf betrachtet werden.

In der Praxis wird die Wahl der Sorte durch Bestimmungen und Saatgutbereitstellung stark beeinflusst. Es sind nur Sorten mit weniger als 0,3 % THC der EU-Sortenliste zum Anbau zugelassen. Die Beihilfebestimmungen fordern, daß mit der Ernte so lange gewartet werden muß, bis 50 % der Samen reif sind. Zur Zeit steht nur Saatgut von französischen Sorten in ausreichenden Mengen zur Verfügung.

5.2.2 Landwirtschaftliche Nebenprodukte

Schafwolle

Für die Herstellung von Dämmstoffen aus Tierfasern kommt in Deutschland nur die Schafwolle in Frage. Im Laufe der Evolution haben Schafe ein verstärktes Wollwachstum als Schutz gegen Witterungseinflüsse entwickelt. Daher ist klar, daß sich Wolle als Ausgangsmaterial für die Dämmstoffherstellung eignet. Die Rohwolleproduktion von Mutterschafen beträgt im Durchschnitt 4,0-4,5 kg pro Jahr. Spitzenwerte werden von Merino-Langwollschafen erreicht mit 8,0-12,0 kg pro Jahr; entsprechend einer Produktion von acht Meter Wollfaser pro Tag (DOPPELMAYER 1997).

In der Vergangenheit bildeten die Einnahmen aus dem Wollverkauf einen großen Anteil an den Gewinnen in der Schafhaltung. Um 1800 hatte 1 kg Wolle noch den Wert von 9 kg Fleisch. Mittlerweile hat sich die Situation umgekehrt, 1 kg Fleisch hat den Wert von etwa 8 kg Wolle. Dies liegt am Wettbewerb durch importierte Baumwolle, die hohe Produktion von Wolle in Australien und Neuseeland und der Entwicklung von synthetischen Fasern. Die Wolle ist lediglich ein Koppelprodukt der Fleischerzeugung, in einigen Fällen deckt ihr Wert noch nicht einmal die Kosten der Schur.

Getreidestroh

Getreidestroh als Nebenprodukt bietet für die industrielle Nutzung eine Reihe ökonomischer und ökologischer Vorteile: Erstens, werden die Produktionskosten durch den Verkauf des Korns gedeckt. Der Landwirt benötigt lediglich einen Lohn, um den Austrag der Nährstoffe, d. h. das Auslaugen des Bodens zu kompensieren, und um die Kosten für Strohpressen, Lagerung und Transport zu decken. Zweitens fällt in der Ökobilanz nur ein geringer Teil der Umweltbelastung durch den Getreideanbau auf die Strohfraktion. Dies hat wesentlichen Einfluß auf die Abschätzung des Umwelteintrags für Stroh als Basis industrieller Produkte.

Die gesamte erntbare Strohproduktion in Deutschland beläuft sich auf ca. 33 Millionen Tonnen. HARTMANN und STREHLER (1995) nehmen an, daß die Hälfte dieses Strohs für Einstreuzwecke und Tierernährung genutzt wird. Außerdem ist die Rückführung eines Teils des Strohs in den Boden notwendig, um den Gehalt des Bodens an organischem Material aufrecht zu erhalten. In einigen Gegenden kann dies nicht durch den Zwischenfruchtanbau ersetzt werden. Hiervon ausgehend schätzen HARTMANN und STREHLER (1995), daß nur 20 % der gesamten Strohproduktion für die industrielle Nutzung zur Verfügung steht. Nach diesen Annahmen wären ca. 6,6 Millionen Tonnen für die Industrie und die Energiegewinnung verfügbar.

Mais

Maisstengel haben einen sehr hohen Parenchymanteil (HESCH 1995), der eine Herstellung von Dämmstoffen ermöglicht. Das Mais-Parenchym ist im Gegensatz zu dem der Sonnenblume reichlich von Strängen aus Leit- und Festigkeitsgewebe durchzogen. Dies verspricht eine Steifigkeit der zu produzierenden Dämmplatten. Derzeit werden in Deutschland 345.000 Hektar Körnermais angebaut. In der gesamten EU beträgt die Fläche 3,8 Millionen Hektar (BML 1996). Bei einem mittleren Körnerertrag von ca. 7,08 t ha⁻¹ in Deutschland und einem Korn : Stroh-Verhältnis von 1,3, ergibt sich ein Strohertrag von 9,2 t ha⁻¹, bzw. eine Gesamtstrohmenge von 3,2 Million Tonnen. Geht man davon aus, daß lediglich 50 % des Strohes zur Verfügung stehen und von denen nur 50 % gepreßt werden können, verringert sich die Gesamtmenge auf 25 % (d. h. auf ca. 800.000 t).

Sonnenblumen

Für die Dämmstoffproduktion sind nur die markgefüllten Stengel von Bedeutung. In Deutschland wurden 1993 auf 81.000 ha Sonnenblumen angebaut (BML 1995) und ein Strohertrag von 648.000 t (ca. 8 t ha⁻¹) erzielt. Während des Ernteprozesses wurden bisher ca. 40 % der Stengelmasse wieder in den Boden gebracht. Somit verbleiben etwa 4,8 t pro ha, von denen im allgemeinen 85 % geerntet werden können. Dies gibt eine realistische Erntemenge von bis zu 330.000 t.

Öllein

Botanisch sind Öllein und Flachs dieselbe Pflanzenart (*Linum usitatissimum*). Öllein ist eine Züchtung auf kleinwüchsigeren Pflanzen mit hohen Samenerträgen (bis zu 2 t ha⁻¹) und niedrigerem Strohertrag als Flachs. Außerdem werden geringere Besatzdichten verwendet als für Flachs (ca. 300 Pflanzen m⁻²). Die Einzelpflanzen sind üblicherweise verzweigt.

Die Erträge für erntbares Stroh entsprechen in etwa dem der Samenerträge (ca. 2 t ha⁻¹). In Deutschland werden momentan etwa 54.000 ha Öllein angebaut, was einer erntbaren Strohreserve von über 100.000 t (2 t ha⁻¹) entspricht. Der Bastfaseranteil des Strohs, der verarbeitet werden kann (15 – 20 %), ist geringer als bei Flachs, zu dem sind die Fasern gröber. Dies liegt zum einen daran, daß nicht in Richtung Faserqualität selektioniert wird und zum anderen am Erntezeitpunkt. Zur Zeit der Ernte sind die Samen reif und die Lignifikation der Fasern ist weit fortgeschritten, was zu gröberen Fasern führt.

5.2.3 Importware

Baumwolle

Die Baumwolle wächst natürlicherweise in fast allen Ländern der Subtropen. Die Zellen der obersten Gewebeschicht der Samenschale bilden sich zu 2000 bis 7000 Samenhaaren um. Zusätzlich zu den 2 bis 6 cm langen verspinnbaren Fasern, den 'Lintfasern', befinden sich auf der Samenschale Kurzfasern, die 'Linters' genannten werden. Die Produktion beträgt weltweit ca. 18 Millionen t a⁻¹ (BML 1995).

Die Anfälligkeit für Schädlinge erfordert starken Einsatz von Pestiziden. Ungefähr 1.500 Krankheiten, 10.000 Insektenarten, 1.800 Unkrautarten und 1.500 Nematodenarten sowie verschiedene Pflanzen-Viren bedrohen den landwirtschaftlichen Anbau von Baumwolle.

Hieraus ergibt sich der größte Nachteil der Baumwollproduktion: Der hohe Pestizideinsatz. Ebenfalls nachteilig ist der sehr hohe Wasserbedarf. Bei einem völligen Verzicht auf Pestizide im Anbau, müßte nach einer US-Studie, auf 73 % der heutigen Baumwollernte verzichtet werden. Um den Pestizideinsatz zu verringern, wurden sicherere Mittel verwendet sowie ein Konzept für integrierten Pflanzenschutz (Integrated Pest Management, IPM) im Baumwollanbau entwickelt. Dies führte in den USA zur einer Reduktion des Pestizideinsatzes von 77 %. Die Verwendung von DDT und Lindan wurde inzwischen weltweit verboten. Aufgrund der ständigen Kontrollen der Bremer Baumwoll-Börse konnte verfolgt werden, wie die früher eingesetzten Mengen an persistenten chlorierten Kohlenwasserstoffen immer geringer geworden sind. Die gefundenen Konzentrationen liegen unter denen für pflanzliche Nahrungsmittel geltenden Werte der Pflanzenschutzhöchstmengen-Verordnung (BREMER BAUMWOLL-BÖRSE 1993).

Jute

Jute ist ein einjähriger Strauch und kommt natürlich in tropischen und subtropischen Gebieten vor. Die Fasern, die kommerziell genutzt werden, stammen von zwei Arten der Gattung *Corchorus*: Der Rundkapsel-Jute (*Corchorus capsularis*) und der Langkapsel-Jute (*Corchorus olitorius*). Der Stengel der Pflanze erreicht bis zu 4 m Höhe und einen Durchmesser von 25 mm. Die Einzelfaser hat lediglich eine Länge von 2 mm, jedoch sind die verspinnbaren Bündel 1 - 3 m lang. Die Entwicklung neuer Spinn- und Verarbeitungstechniken für Jutefasern in der schottischen Stadt Dundee um 1833 führte dazu, daß sich die einstige Gartenpflanze zu einer bedeutenden Weltwirtschaftspflanze entwickelte. Um 1900 erreichte der Jute-Anbau mit dem Aufschwung der indischen Textilindustrie eine Anbaufläche von 1 Million Hektar. Die Weltproduktion von Jute und juteähnlichen Fasern lag 1995 bei ca. 3,1 Millionen Tonnen (ANONYM 1997). Sie ist damit nach der Baumwolle weltweit die zweitwichtigste Naturfaser.

RENZ-RATHFELDER (1992) gibt eine präzise und klare Zusammenfassung der Biologie, Produktion und Verwendung von Jute. Die Rundkapsel-Jute verlangt nährstoffreichen, tiefgründigen Boden, hohe Luftfeuchtigkeit und hat ein Temperaturoptimum von 30 °C. Diese Bedingungen finden sich auf Auenböden in Monsun-Regionen. Die Langkapsel-Jute bevorzugt höhere Lagen wie z. B. die Vorberge des Himalajas und verträgt keine Staunässe. Die Aussaat erfolgt im März nach gründlicher Bodenvorbereitung. Die Pflanzen müssen vor dem Einsetzen des Monsunregens kräftig sein.

Die Ernte der Stengel erfolgt nach einer Wachstumszeit von 100 - 150 Tagen. Der Anbau unterliegt starken Ertragsschwankungen. Der Grünstengel hat einen Fasergehalt von lediglich 5,5 % (DEMPSEY 1975). Das Ertragspotential für getrocknete Fasern ist hoch und liegt bei 4 t ha⁻¹. Eine Wasserröste vereinfacht die Extraktion der langen Faserbündel. Zu den Eigenschaften der Fasern gehören geringe Reißfestigkeit, hohes Wasseraufnahmevermögen, gute Verrottbarkeit und gute Anfärbbarkeit. Von der gesamten Juteproduktion werden 75 % zu Verpackungsmaterialien verarbeitet. Aufgrund der oben genannten Eigenschaften zeichnen sich die aus Jute hergestellten Verpackungen durch eine gute biologische Abbaubarkeit aus. Zudem sind sie preiswert. Jute wird auch für Garne und Seile, Teppichgrundgewebe und Webteppiche, Bodenbeläge (Linoleum) sowie Polstermaterial, Filze und Geotextilien genutzt. Die Bedeutung von Jute für die Dämmstoffindustrie liegt in der Verfügbarkeit von Juteabfällen zu niedrigen Preisen. 1518 t wiederverwertbarer Jute wurden 1993 importiert (GORN und SCHUHMACHER 1997) und mehr wäre verfügbar aus Abfällen der Verpackungsindustrie.

Kokosnußfasern

Die ca. 30 m hohen Kokospalmen (*Cocos nucifera*) wachsen in tropischen Gebieten, Anbaugebiete sind vor allem: Indien, die Philippinen, Indonesien und Sri Lanka. Der Anbau erfolgt meist in industriellem Maßstab in großen Plantagen. Sie sind das Ausgangsmaterial einer Vielzahl von Produkten. Die Kokosfrüchte (Kokosnüsse) sind botanisch gesehen Steinfrüchte. Als Kokosfasern (Coir) werden die braunen, leichten und widerstandsfähigen Hartfasern von der äußeren Schale der Kokosnuß bezeichnet. Die Kokosfasern und das Kokosmark entstehen als Nebenprodukt während der Herstellung von Kokosfett (Kopragewinnung). Zur Gewinnung von 1 t Fasern müssen 13.000 Steinfrüchte aufgearbeitet werden. Die Röste erfolgt in Meerwasser. Die Kokosfasern sind elastisch, sehr strapazierfähig, scheuer- und verrottungsfest. Eine maschinelle Aufbereitung ohne Röste ist ebenfalls möglich, doch sind die gewonnenen Fasern gröber. Neben einer Verwendung als Dämmstoff (Kokosfaserplatten, Kokosrollfilz etc.) wird das Material auch für die Herstellung von Garnen, Stricken, Matten, Bürsten, Besen, Teppichen sowie für Polsterungen verwendet.

Kork

Das Hauptverbreitungsgebiet der Korkeiche (*Cercus suber*) ist die Mittelmeerregion (vor allem der westliche Teil mit Spanien, Portugal und Frankreich). Ursprünglich angebaut zur Gewinnung von Flaschenkork und als Viehfutter, hat sich durch die Verwendung von Kork als Dämmstoff eine neue Absatzmöglichkeit des minderwertigen Korks ergeben. Das Rindengewebe (der Kork) besteht aus einer Vereinigung stagnierender gleichmäßiger Zellen, die einen engen Verband bilden (40 Mio. m³). Die Wände sind mehrschichtig. Die innere Höhlung der Zelle ist mit einem der Luft ähnlichem Gas gefüllt und macht ca. 90 % des Korks aus. Die Ernte von Kork, d. h. der Rinde der Korkeichen, kann erst beginnen, wenn der Baum etwa 30 - 40 Jahre alt ist. Dabei wird eine sehr harzreiche Rinde (*Virges*) gewonnen. Die erneuten Ernten erfolgen je nach Region in der Regel etwa alle 9 - 14 Jahre und sind durch staatliche Gesetze meist streng geregelt. Die Rinde besteht zum größten Teil aus Zellulose. Die große Elastizität von Kork beruht auf den enthaltenden Wachsschichten, der Subrina. Das in der Virgis enthaltene Harz wird bei einigen Produkten als natürlicher Kleber verwendet.

Schilfrohr

Schilfrohr wächst in den Uferregionen von Seen in ganz Europa. Es ist eine mehrjährige Pflanze, deren oberirdische Teile im Winter absterben und die im Frühjahr aus dem Wurzelstock wieder austreibt. Schilfrohr wird nicht speziell für die Verwendung als Dämmstoff angebaut, sondern im Zuge von Landschaftspflegemaßnahmen geerntet. In Deutschland erfolgt keine Ernte für die Dämmstoffherstellung. Die verkauften Produkte werden vor allem aus osteuropäischem Material (Ungarn und Rumänien) hergestellt. Die Ernte der Stengel muß zu einem Zeitpunkt erfolgen, zu dem das Erntegut vollständig abgetrocknet ist, da es sonst Probleme mit Schrumpfungsprozessen während der Mattenherstellung gibt. Das Material wird im Winter geerntet, um auch dem Naturschutz (außerhalb der Brutzeit der Wasservögel) Rechnung zu tragen. Für die Ernte werden spezielle Fahrzeuge verwendet, da das Gelände, aus dem geerntet wird, sumpfig ist. Vorteilhaft ist es auch, wenn zum Zeitpunkt der Ernte der See zugefroren ist. Die Ernte wird meist in einem Zug durchgeführt und das Material anschließend trocken gelagert.

5.3 Rohstoffaufbereitung und Bereitstellung von Bastfasern

Dämmstoffe aus Bastfasern umfassen Vlies, Platten und lose Kurzfasern, Platten und Schüttung aus Schäben. Die Qualität der Produkte ist abhängig von der Feinheit der Fasern (MURPHY 1998). Erfahrene Hersteller erachten eine Mischung aus Faserlängen von 20 - 80 mm als ideal (BÖCKER 1997; FRIES 1996). Wenn der Dämmstofftrag pro Hektar verbessert werden soll, so muß das Ziel die Maximierung der Gewinnung von feinen Fasern durch Optimierung von Ernte und Aufbereitung sein. Dafür ist ein vollständiger Strohaufschluß unerlässlich.

5.3.1. Flachs

Die Ernte und Aufbereitung von Bastfaserpflanzen beinhaltet eine Vielzahl von miteinander verbundenen Ernte- und Verarbeitungsmöglichkeiten. Ein allgemeines Schema der Ernte von Flachs und Hanf zur Dämmstoffproduktion ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

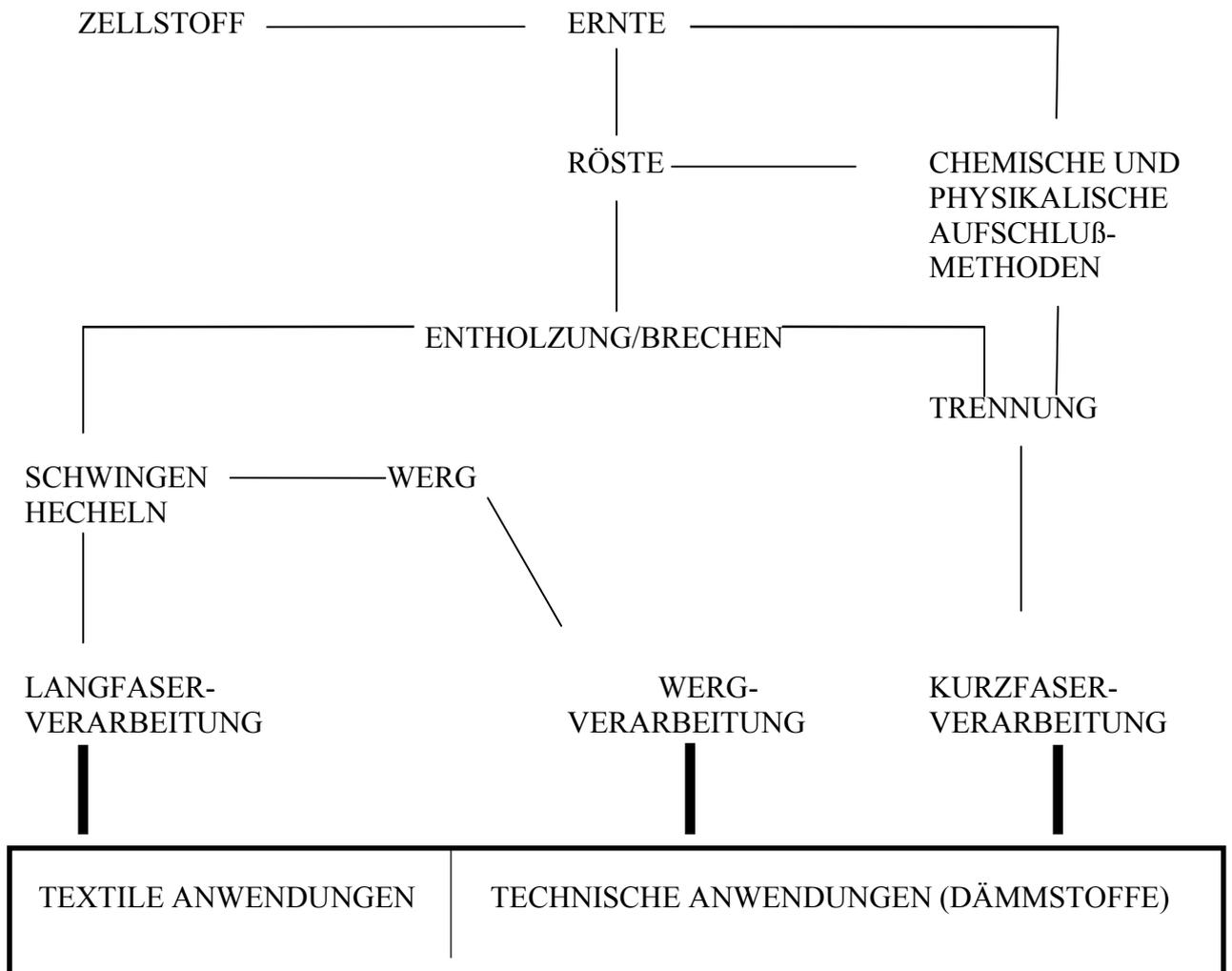


Abbildung 5.3: Schematische Darstellung der Bastfaserernte und -Verarbeitung

Die Möglichkeiten für die Verarbeitung von Flachs zu Dämmstoffen lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Verwendung von Werg als ein Nebenprodukt aus der Langfaserherstellung und die Verwendung von 'Kurzfasern' durch die Kurz-, Gesamt- oder Wirrfaserverarbeitung. Der Begriff Kurz- oder Wirrfaser beschreibt in der Bastfaserindustrie alle Fasern, die nicht in voller Länge und parallel gewonnen werden (TUBACH und NEBEL 1997). Die Technologie ist relevant für die Verarbeitung von Stroh als Nebenprodukt der Öllein- und Hanfsamenproduktion und die Verarbeitung von Faserhanf und Flachs. Man geht im allgemeinen davon aus, daß auf Basis der traditionellen Langfaser-Verarbeitungstechnologie (der Schwingprozeß) eine Ausweitung der Bastfaserproduktion in Deutschland nicht möglich ist. Die neue Verwendung von Flachs und Hanf in der Industrie wird sich auf Kurz- oder Wirrfaserverarbeitung stützen. Der Ernteprozeß ähnelt in einigen Teilen der Ernte von Heu. Der anschließende Prozeß hat nicht die Trennung von Langfasergewinnung und Werg zum Ziel, sondern die Gesamtfasergewinnung.

Flachs für die Gewinnung von Langfasern für die Textilherstellung wird im allgemeinen gerauft und danach direkt auf dem Boden abgelegt. Dabei sind die Halme parallel geordnet und senkrecht zur Fahrtrichtung der Raufmaschine ausgerichtet. Das Ziel des Rösteprozesses ist, die engen Verbindungen zwischen den Faserbündeln, dem inneren Kern und der äußeren Epidermis zu schwächen. Dieses ermöglicht die Abtrennung und Gewinnung der Fasern mittels mechanischer Verarbeitungsprozesse. Unter Röste versteht man allgemein das Verfahren, bei dem auf biologischem Wege die Bastfasern in den Stengeln freigelegt werden (DAMBROTH und SEEHUBER 1988). Wenn sich die Fasern vollständig und mühelos vom Holzteil abziehen lassen, gilt im allgemeinen die Röste als abgeschlossen. Dauert die Röste zu lange, wird 'übröste', werden die Verbindungen zwischen den Faserzellen geschädigt und die Faserqualität für Anwendungen bei denen die Festigkeit von Bedeutung ist, verschlechtert. Während der 4-6wöchigen Tauröstzeit werden die Schwaden 1-3 mal gewendet. Bei dem ersten Wendegang kann eine Abtrennung der Samenkapseln erfolgen. Nach Beendigung der Röste wird das Flachsstroh zu Ballen gepreßt.

Um ein gleichmäßiges Abreifen der Stengel zu ermöglichen und den Einfluß der Witterung auf die Röste zu mildern, wird die Standröste angewendet (HEINEMANN 1997). Die Pflanzen werden 'im Stand' bodennah durch die Flamme eines Brenners angesengt. Die an der Röste beteiligten Mikroorganismen besiedeln die stehenden Pflanzen vom Boden aus über den Stengel. Da die Witterungsbedingungen für alle Pflanzen gleich sind, kommt es zu einem einheitlichen Rösteverlauf. Das Resultat ist hohe und homogene Faserqualität.

Flachs-Ernteverfahren zur Dämmstoffgewinnung

TUBACH und NEBEL (1997) sowie KARUS *et al.* (1996) bieten einen detaillierten Einblick in die Wirrfasergewinnungstechnologie. HEINEMANN (1997) gibt einen guten Überblick über die möglichen Ernteverfahren für Flachs und die damit verbundenen Kosten (Abbildung 5.4). Im Gelbreife-Stadium wird der Flachs gerauft oder gemäht. SULTANA (1988) betont, daß die Wahl eines Mähwerks ungünstig sei und sich der Faserertrag durch den Verlust des unteren Stengels vermindert. Wenn keine Standröste verwendet wird, bleibt das Stroh zur Tauröste liegen, was mehrfaches Wenden mit einem Heuwender bedeuten kann. Das geröstete Stroh ist anschließend fertig für die Entholzung. Die Verwendung eines Feldbrechers führt zu einer 80%igen Entfernung der Schäben vor dem Pressen. Bei diesem Verfahren gehen die Schäben auf dem Feld verloren. Das direkte Pressen ohne Entholzung ermöglicht die vollständige Gewinnung des Strohs. Zur Fasergewinnung kann die gesamte Kurz- und Wirrfaserverarbeitungstechnologie verwendet werden.

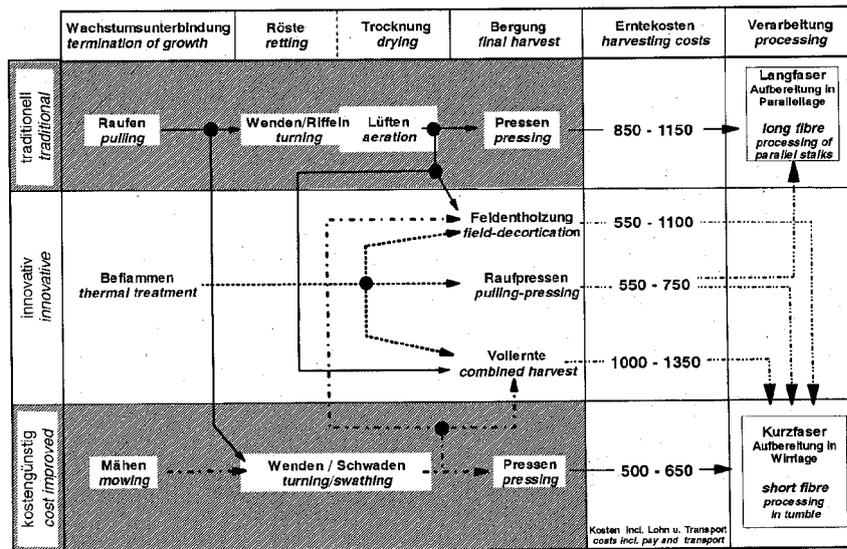


Abbildung 5.4: Verfahrensketten (Kosten in DM) in der Flachsernte (HEINEMANN 1997)

In den letzten Jahren konzentrierte man sich darauf, spezielle Ernteprozesse für die Wirrfasergewinnung zu entwickeln. Der CLAAS-Faservollernter entfernt die Samenkapseln vom Stroh und entholzt dieses. Hierdurch werden raue Fasern mit einem Schäbenanteil von bis zu 50 % erzeugt. Dieses Gerät wurde für die Entholzung von Grünflachs für Faserverbundwerkstoffe entwickelt. Es hat eine Kapazität von 200 - 250 ha pro Saison. HEINEMANN (1997) zeigte die Schwächen dieses Konzeptes auf: Die abgetrennten Schäben gehen verloren. Die Fasern könnten effizienter in einer stationären Anlage von den Schäben getrennt werden. Der sehr hohe Mechanisierungsaufwand für einen Vollernter erscheint fragwürdig. HEINEMANN (1997) ermittelte, daß der Flachsvollernter Kosten von 400-500 DM ha⁻¹ verursacht, was Erntegesamtkosten von 1.000-1.350 DM ha⁻¹ bedeuten würden.

Zusammengefaßt: Das Ziel der Flachsernte für die Dämmstoffherstellung ist eine größtmögliche Ausbeute an gut gerösteten Fasern für die Wirrfaserverarbeitung. Für die Verfeinerung der Fasern zur Dämmstoffherstellung ist die Standröste von Vorteil. Eine Erntekette mit Standröste / Raufen kostet 550-750 DM ha⁻¹. Da die Faserfestigkeit für Dämmstoffe nicht so wichtig ist, kann der Anbauer eine 'Überröstung' tolerieren. Daher sollte, wenn der Dämmstoffmarkt das Ziel ist, das preiswerteste Ernteverfahren in Betracht gezogen werden (Raufen oder Mähen, gefolgt von einer Tauröste und Pressen, 500-650 DM ha⁻¹).

Mechanische Wirrfaseraufbereitungstechnologien (Flachs, Öllein und Hanf)

Im allgemeinen beinhalten mechanische Wirrfaseraufbereitungstechnologien die Trennung der Bastfasern von Holzkern und Rinde (Strohaufschluß) sowie den Faseraufschluß, bei dem die Faserbündel oder Faserzellen (abhängig von der Bearbeitungsintensität) abgetrennt werden. In Europa werden zur Zeit prinzipiell 7 mechanische Aufbereitungstechnologien angewandt (Tabelle 5.3). Einen Überblick über die Aufschlußtechnologien zur Kurzfasergewinnung geben TUBACH und NEBEL (1997) sowie KARUS *et al.* (1996).

Tabelle 5.3: Mechanische Aufbereitungstechnologien für Hanf, Öllein und Flachs

| Aufbereitungsoption | Pflanzen | Prozeßbestandteile | Gewonnenes Material | derzeitiger Stand |
|-----------------------------|----------------------|--|---------------------------------|---|
| CLAAS Faservollerntetechnik | Flachs, Öllein | Pflanzenschneiden, Strohdreschen, Reinigung, Entholzung, Faserpressen | Grob entholzte Fasern | Prototyp - z. Z. nicht käuflich zu erwerben |
| System BAHMER | Öllein, Flachs, Hanf | Feldentholzung (optionell), Ballenauflöser, Brecher, Grob- Mittel- und Feinfaserauflöser | Fein aufgelöste Fasern | Schwierigkeiten bei Inbetriebnahme. Mit drei Anlagen soll der Betrieb in 1998 aufgenommen werden. |
| System Silsoe (FIBRELIN) | Öllein Flachs | Entholzer für Flachs und Öllein, Auflöser für Flachs, Öllein, Hanf | Fein aufgelöste Fasern | Prototyp |
| System CHARLE | Flachs, Öllein, Hanf | Ballenöffner und Brecher (bis jetzt nur für Flachs) | Entholzte Fasern | Anlagen im Betrieb (für Flachs). Eine Anlage geplant (mit TEMAFA) |
| System TEMAFA | Flachs, Öllein, Hanf | Auflöser für entholzte Fasern | Fein aufgelöste Fasern | Prototyp/Technikum im Betrieb, Anlage geplant (mit CHARLE) |
| System La ROCHE | Flachs, Öllein, Hanf | Auflöser für entholzten Flachs und Hanf | Fein aufgelöste Fasern | Anlagen im Betrieb |
| Impact Verfahren | Hanf | nicht publiziert | Mischung aus Fasern und Schäben | Laborphase |

Bei den meisten Systemen werden nach der Auflösung der Strohballen die Stengelteile durch eine aus mehreren geriffelten Brechwalzenpaaren bestehende Entholzungseinheit geführt. Dabei werden die gebrochenen Holzteile als Schäben vom Bast gelöst. Die z.Z. verwendeten Brecher sind ursprünglich für die Verarbeitung von Flachs entwickelt worden. Die widerstandsfähigeren Stengel des Hanfes bilden eine besondere Herausforderung, sowohl für die Auflösung der Strohballen, als auch für die Brecher. Aus diesem Grund nutzen einige Flachsproduzenten für den ersten Prozeßschritt die Hammermühle. Die Erfahrungen zeigen, daß diese einfache Technologie technisch und ökonomisch effizient ist.

Alle Systeme verwenden im Anschluß an das initiale Aufbrechen der Fasern oder die Hammermühle, Walzen, um die Fasern zu reinigen und zu verfeinern. Das Bahmer-System (Gebrüder Bahmer Maschinenbau GmbH, D-89555 Steinheim Söhnstetten) bildet die Basis für die meisten Anlagen in Deutschland. Die Abbildung 5.5 zeigt den Materialfluß und die anteiligen Fraktionen für Hanf und Öllein in der Bahmer-Anlage. Das System beinhaltet einen Ballenöffner, 3-4 Brechereinheiten, eine Reinigungsstufe zum Entfernen der Schäben, einen

Ballenöffner, 3-4 Brechereinheiten, eine Reinigungsstufe zum Entfernen der Schäben, einen ersten Separator mit anschließender Zwischenlagerung sowie eine Serie von Grob-, Mittel- und Feinauflösern und weiteren Separatoren. Der Begriff "Öffnen" bezieht sich auf das Abtrennen der Faserbündel und gegebenenfalls der Faserzellen. Das Öffnen verfeinert das Material. Die endgültigen Eigenschaften des Fasermaterials (Faserertrag, Feinheit und Länge der Faserbündel) werden zwar vor allem durch den Grad der Röstung bestimmt, teilweise aber auch durch die Prozeßführung bei der Verarbeitung beeinflusst.

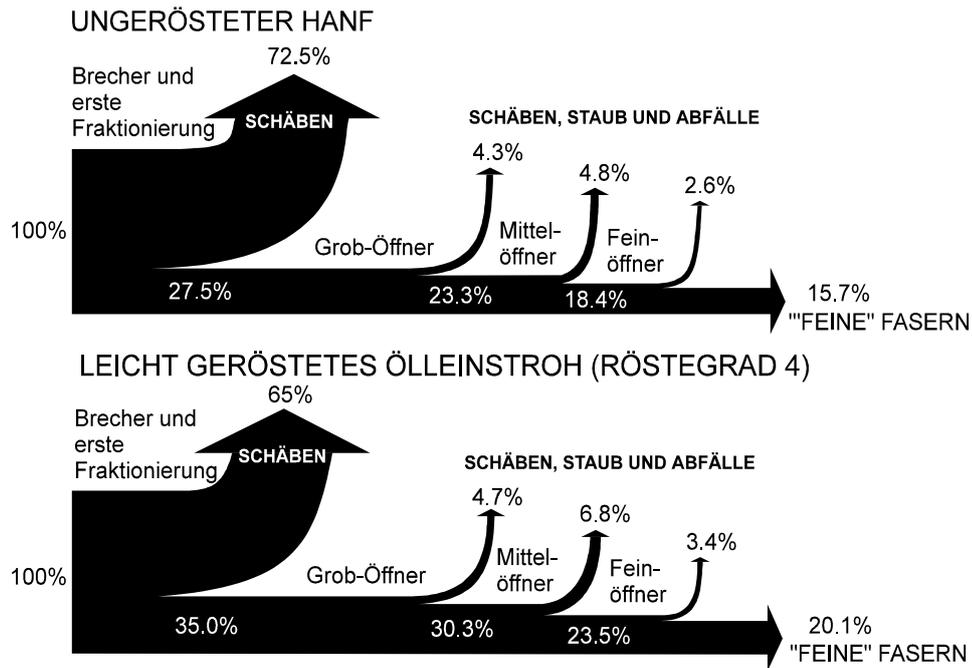


Abbildung 5.5: Materialfluß durch die Fraktionierungsanlage der Firma Bahmer

Marktführer im Bereich der Flachswerg-Aufbereitungsanlagen sind Charle & Co. (Charle & Co. B-8501 Bissegem-Kortrijk, Belgien). Ihre Maschinen basieren auf den traditionellen Wirrfaser-Aufbereitungstechnologien. Die Standardanlage beginnt beim Brechen und liefert nach mehreren Auflöse- und Reinigungsstufen gut entholzte, grobe Fasern von 100-500 mm Länge. Die produzierten Fasern entsprechen in etwa denen des Bahmer-Vorauflösers (KARUS *et al.* 1996). Die Anlage wurde variiert, so daß auch Hanf verarbeitet werden kann. Sie kann mit weiteren Produktionsanlagen (z. B. zur Feinöffnung) von Temafa und La Roche kombiniert oder in sie integriert werden. Neuere Veröffentlichungen geben Charle & Co. als kostengünstigste Anlage für das konventionelle Brechen und Entholzen an (KARUS *et al.* 1996; CHARLE und WOLPERS 1997).

Die Temafa Maschinenbau Gesellschaft (Temafa GmbH, D-51439, Bergisch Gladbach) hat einen Faseröffner für Flachs entwickelt, der auch für andere Fasermaterialien wie Hanf verwendet werden kann. Die Eigenschaften des produzierten Materials (Länge und Feinheit der Fasern) können über die Maschineneinstellung beeinflußt werden. Zur Verarbeitung von Faserpflanzen-Stroh, sollte das System mit einem Brecher und Separator aufgerüstet werden. Es wird erwartet, daß das Temafa-System zusammen mit Ballenöffner und Entholzer der Firma Charle & Co vermarktet wird (CHARLE und WOLPERS 1997).

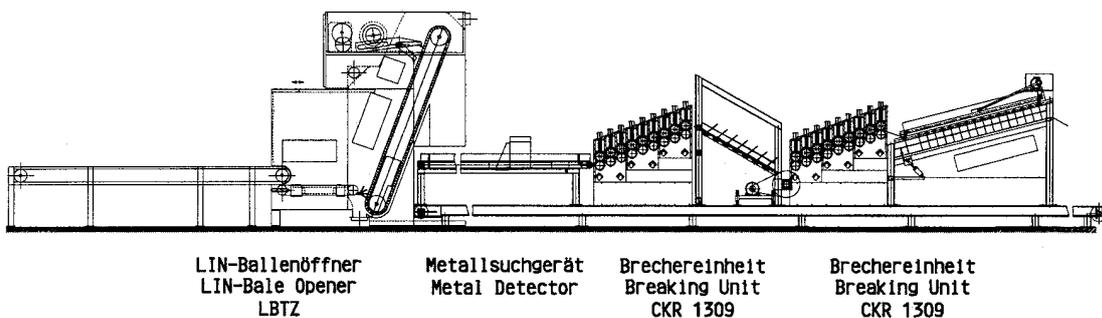


Abbildung 5.6: Ballenöffner und Brechereinheit von Charle & Co und Temafa (CHARLE/TEMAFA 1997)

Die modulare Bauweise des Temafa-Systems (Abbildung 5.7) ermöglicht es, die Anlage so zu gestalten, daß sie eine Anzahl verschiedener Rohmaterialien verarbeiten kann. Die Entholzer-Mengen und Faserfeinheit können eingestellt werden.

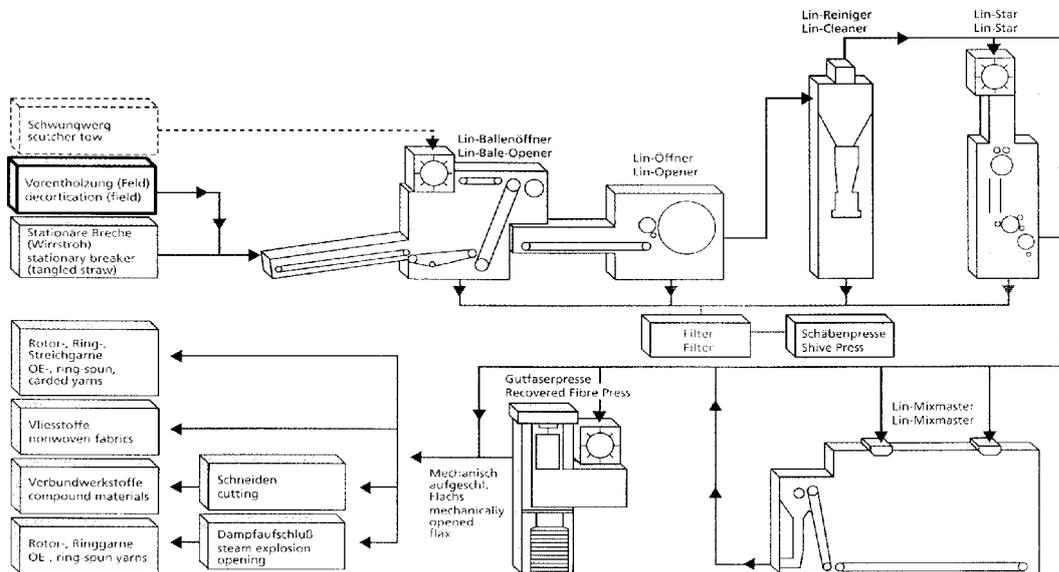


Abbildung 5.7: Flachsauflbereitungsanlage der Firma Temafa GmbH (TEMAFA 1993)

In Silsoe, England, wurde der Fibrelin Entholzer entwickelt und von der Natural Fibres Organisation (NFO) in die Praxis umgesetzt (GILBERTSON 1996). Er wurde speziell für die Verarbeitung von Ölleinstroh konzipiert. Verwendet wird ein System von gekapselten Rädern, die das Entholzen und Öffnen der Fasern in einem Prozeß durchführen.

Die Fa. La Roche (Cours, Frankreich) ist führend bei der Herstellung von Kurzfaserverarbeitungsanlagen für Flachs. La Roche baut komplette Anlagen zum Faseraufschluß von Flachs- und Hanfstroh, vom Entholzer bis über Feinauflöser. Insbesondere die Verfeinerungs- und Reinigungsstufen gelten als sehr gut (KARUS *et al.* 1996).

Zusätzlich zu den oben genannten Systemvarianten hatten einige Hersteller von Bastfaser-Aufbereitungsanlagen beachtlichen Erfolg, die bekannten Wirrfasertechnologien an individuelle Bedürfnisse anzupassen. Hemcore (Essex, England) adaptierte Hammermühlen und Wirrfaser-Reinigungstechnologie für die Aufbereitung von Hanf (ROBSON 1998). Die Gesamtkosten der Anlage, mit einer Kapazität von 2-3 t Stroh pro Stunde, waren mit 1-1,5 Millionen DM ausgesprochen günstig.

Physikalisch-chemischer Aufschluß

Physikalisch-chemische Prozesse wie Dampfexplosion (NEBEL 1995) und Ultraschall (ZIMMER und KLOß 1995) brechen die Bindung zwischen Faserbündeln und dem holzigen Kern auf und ergeben lange feine Faserbündel. In Abhängigkeit von der Prozeßführung können auch einzelne elementare Faserzellen erzeugt werden. Um das Verarbeitungsvolumen zu senken, wäre eine Fraktionierung vor der Weiterverarbeitung wünschenswert. Anwendung finden diese Methoden für geröstetes und ungeröstetes von Schäben befreites Stroh.

5.3.2 Hanf

Die Wahl des Ernteverfahrens und der Weiterverarbeitung von Hanf hängt vom gewünschten Ernteprodukt ab (nur Fasern oder Fasern und Samen). Die Auswahl der Kurzfasernernte und Verarbeitungsketten von Samenhanf beinhaltet besondere Probleme. Der späte Erntetermin liegt frühestens etwa Anfang September. Dies führt zu Ernteschwierigkeiten aufgrund schlechter Witterungsverhältnisse und Verzögerung der Aussaat der Nachfolgefrüchte (BREITFELD 1995). Zusätzlich kann nicht die gesamte Pflanze durch den Mähdrescher aufgenommen werden, so daß eine Zwei-Schritt-Ernte erfolgen muß. Dies wird in Frankreich und Luxemburg dadurch erreicht, daß man zuerst mit einem Mähdrescher die obersten 500 mm erntet und anschließend die stehengebliebenen Stoppeln abmäht. Für einen reibungslosen Ablauf ist eine hohe Fahrgeschwindigkeit wichtig. Leider geht ein Großteil des Strohes durch den Mähdrescher verloren.

Die Technologien für die Ernte von Faserhanf zur Gewinnung von Kurzfasern sind gut entwickelt. Die Ernte wurde von der holländischen Firma Hempflax mit einem modifizierten, reihen-unabhängigen Maishäcksler des Typs "Champion Hemper 2000" durchgeführt. Dieser schneidet die Stengel in 600 mm lange Stücke und legt sie im Schwad auf etwa 250 mm hohen Stoppeln ab. Die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt etwa 3 ha pro Stunde. Das Stroh wird dann, wenn notwendig nach einer Röste, zu Ballen gepreßt.

Entscheidend ist, daß das Stroh auf 85 % Trockensubstanz getrocknet wird. Eine entsprechende Vorbereitung des Strohs kann die Trocknungszeit halbieren. In dieser Richtung hat die Firma Deutz gute Erfahrungen mit dem selbstfahrenden Aufbereiter "Grasliner" gemacht. Die Entwicklung ist vielversprechend, allerdings ist das Aufnehmen noch zu verbessern. Einen ähnlichen Ansatz verfolgten HUISMANN *et al.* (1995). Die Vorbereitung des Strohs verbesserte sowohl das Trocknen als auch die Röste. Nachteilig war für einige Anwendungen der Verlust an Reißfestigkeit der gewonnenen Fasern. Für die Verwendung als Dämmmaterial ist dies ohne Bedeutung, und die beschleunigte Röste ist ein deutlicher Vorteil.

Im allgemeinen sind die Verarbeitungen von Flachs und Hanf sehr ähnlich, und einige der Technologien, die für Flachs genutzt werden, sind auch beim Hanf anwendbar. Der Hauptunterschied liegt in einem sehr frühen Schritt der Verarbeitungskette: Das Ballenöffnen und Entholzen. Dies hängt mit dem wesentlich dickeren und stabileren Stengel des Hanfes zusammen. Er stellt größere Ansprüche an den Ballenöffner und den Entholzer. Die erfolgreichsten Hanf-Prozessoren verwenden in diesem Zusammenhang die Hammermühlen-Technologie (FRANK 1998; ROBSON 1998). Le Charle und La Roche bieten modifizierte Anlagen zur Verarbeitung von Flachsstroh an. Ist das Stroh gut aufgelöst, können die hierdurch erhaltenen Grobfasern auf dem gleichen Weg wie der Flachs weiterverarbeitet werden.

HESCH *et al.* (1996) behaupten, daß eine Hanfröste mit anschließender vollständiger Trennung von Fasern und Schäben nicht notwendig ist, da die Schäben-Fasermischung einen idealen Dämmstoffe bietet. Die Verarbeitung von Bastfaserpflanzen ließe sich durch das sogenannte 'Impact'-Verfahren (Prallentholzer) stark vereinfachen. Hierbei wird die teure klassische Entholzung, basierend auf Brecheinheiten, durch einen Prallentholzer ersetzt, der nach ihren Angaben auch ungeröstetes Stroh verarbeiten kann. Die publizierten Informationen sind jedoch nicht ausreichend, um die erzielte Faserqualität, insbesondere in Hinsicht auf die Qualitätsansprüche an Dämmmaterialien, zu beurteilen.

5.3.3 Öllein

Bei Öllein ist das Stroh Nebenprodukt der Samengewinnung. Das Stroh wird nach dem Mähdreschen zu Ballen gepreßt. Eine Tauröste von 4 bis 6 Wochen Dauer könnte die anschließende Weiterverarbeitung sehr vereinfachen. Dadurch wäre die gesamte Breite der Wirrfaser-Extraktionstechnologien einsetzbar. Ein Problem ist die Zeit, die das Stroh zur Röste auf dem Acker liegen muß, da sich so die Vorbereitungen für die folgende Herbst-Aussaat der Nachfrucht verschieben kann.

5.3.4 Infrastruktur zur Faserpflanzenaufbereitung

Trotz der langen Geschichte des Flachs- und Hanfanbaus in Westeuropa können die derzeitigen Entwicklungen in der Verarbeitung von "Kurz- und Wirrfasern" als ein neuer Bereich der landwirtschaftlichen Industrie betrachtet werden. Diese Industrie sieht sich derzeit in einer infrastrukturellen Sackgasse. Die Anbauer von Faserpflanzen benötigen zunächst einen Absatzmarkt für ihr Stroh, bevor sie investieren. Potentielle Kunden aus der Industrie sind nur widerwillig bereit, in Produkte und Herstellungsanlagen zu investieren, für die es noch keine stabile Rohstoffversorgung mit Material der benötigten definierten Qualitäten gibt. Um dieses Problem zu bewältigen, schlugen MURPHY *et al.* (1997) eine Infrastruktur vor, die sich auf ein Netzwerk von im ländlichen Raum aufgebauten Aufbereitungsanlagen stützt, die eine Vielzahl von Bastfaserpflanzen verarbeiten können. Ein solches Netzwerk, dessen Aufbereitungszentren über eine Vielzahl von Anbaugebieten verteilt ist, würde die Versorgung über Perioden mit unterschiedlichen Ernten stabilisieren. Eine garantierte Versorgung mit Fasern der notwendigen Qualität ist für die Entwicklung einer Industrie für natürliche Fasern sehr wichtig. Die Verarbeitung im ländlichen Bereich minimiert die Kosten, erlaubt die Ausnutzung brachliegender Ressourcen (landwirtschaftliche Gebäude, Arbeitskraft, Management) und ermöglicht die Rückführung von Pflanzenresten in den Boden. Lokale Märkte für die Nutzung von Schäben als Tiereinstreu oder zur Energiegewinnung könnten erschlossen werden.

Ein wichtiger Aspekt der von MURPHY *et al.* (1997) vorgeschlagenen Infrastruktur ist ihre Flexibilität in Bezug auf die Rohmaterialien (Flachs, Hanf oder Öllein) und die Zielmärkte. Sie weisen darauf hin, daß die Orientierung auf ein bestimmtes Produkt zu engen Qualitätsanforderungen an das Rohmaterial führen, die mit einheimischen Faserpflanzen nur schwer zu erfüllen sind. Die Versorgung mit Fasern bleibt unter diesen Umständen unsicher, da die Anbauer aufgrund der Bedürfnisse dieses engen Marktes nur zögerlich investieren. Die vorgeschlagene Infrastruktur soll es ermöglichen, mehrere Märkte zu versorgen, die sich bezüglich ihrer Qualitätsansprüche ergänzen. Daher ist der Anbauer weniger an spezifische Endprodukte gebunden.

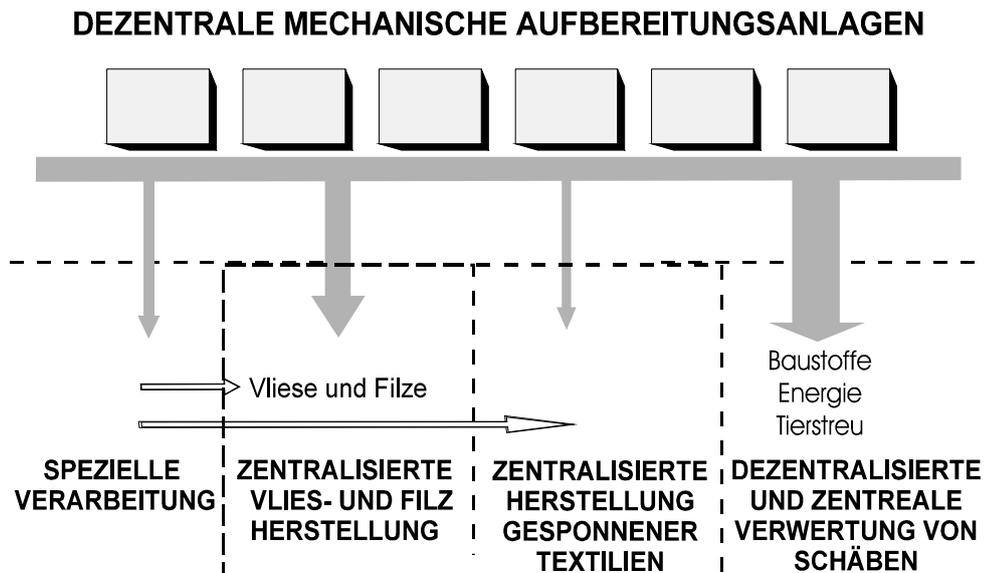


Abbildung 5.8: Mögliche Infrastruktur zur Verarbeitung von Faserpflanzen basierend auf ländlich gestützter Aufbereitung

Die erfolgreiche Fertigstellung der Badischen Naturfaseraufbereitungsanlage bei Karlsruhe (FRANK und MUTHMANN 1997) als einzige funktionierende Wirrfaseraufschlußanlage für heimische angebaute Fasern (Hanf) in Deutschland, bestätigt, daß die Strategie der flexiblen endproduktunabhängigen Verarbeitung die besten Chancen für eine Verbindung zwischen Faserpflanzenproduktion und industriellen Verarbeitern bietet. Die Anlage liefert Hanffasern für 6 verschiedene Märkte einschließlich des ersten Dämmstoffes, der ausschließlich mit Wirrfaser-Technologie hergestellt wurde. Die Vermeidung einer produktspezifischen Entwicklungsstrategie beinhaltet eine Bandbreite einander ergänzender Produktlinien, die es ermöglichen, Ungleichmäßigkeiten im Rohmaterial zu tolerieren. Indem man eine Reihe von Abnahmemärkten versorgt, können die für jeweilige Verwendung am besten geeigneten Faserchargen ausgewählt werden. Dies ermöglichen die beiden notwendigen Komponenten einer stabilen Infrastruktur: Ein Absatzmarkt für die Hersteller von verschiedenen Faserqualitäten und die Garantien für die Versorgung mit Material bestimmter Qualität für den industriellen Verarbeiter.

5.4. Rohstoffqualität

5.4.1 Wärmedämmeigenschaften

Die Prinzipien der Wärmedämmung sind in Kapitel 2 dargestellt. Tabelle 5.4 gibt einen Überblick über die Eigenschaften der in Deutschland erhältlichen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Als konventionelle Dämmmaterialien werden bevorzugt Mineralwolle (59 %) und Polystyrol (31 %) eingesetzt (GDI 1997). Die Wärmeleitfähigkeiten dieser Produkte ($\lambda = 0,030 - 0,040 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) setzen einen Maßstab für den Markt und die Baupraxis. Die auf dem Markt erhältlichen biogenen Materialien mit entsprechend niedriger Wärmeleitfähigkeit sind Schafwolle, Baumwolle, Flachsfasern, Kork und Zellulose aus Altpapier.

Tabelle 5.4: Wichtige Eigenschaften von Wärmedämmstoffen

| Produkt | Rohdichte (kg m ⁻³) | WLG | Spezif. Wärme- kapazität (J kg K) | Wasserdampf- diffusionswiderstand μ |
|----------------------------------|------------------------------------|---------|---|--|
| Zellulose Flocken | 35 - 70 | 040 | 2.200 | 1 - 2 |
| Zellulose-Platte (Homatherm®) | 70 - 100 | 040 | 2.000 | 1 |
| Flachplatte (Flachshaus®) | 30 | 040 | - | 1 - 2 |
| Schafwolle Doschawolle® | 32 | 040 | 1.720 | 1 - 2 |
| Baumwolle (Isocotten DMB-20®) | 20 | 040 | 840 | 1 - 2 |
| Hanffasern Thermo Hanf ↓ | 20 - 40 | 045 | - | 1 - 2 |
| Hanffasern Thermo Hanf | 40 - 70 | 040 | - | 1 - 2 |
| Holzweichfaser | 130 - 300 | 050 | 2.000 | 5 - 10 |
| Getreidestroh | 340 | 090 | | |
| Schilfrohr | 190 | 055/060 | | |
| Kork (Isolierkork®) | 100 - 130 | 045 | 1.800 | 5 - 10 |
| | | | | |
| Glaswolle | 25 | 040 | 840 | 1.5 - 2 |
| Steinwolle | 25 | 040 | 840 | 1 - 2 |
| Polysterol (EPS) | 20 | 035/040 | 1.500 | 30 - 70 |
| Polyurethan (PUR) | 30 | 030/035 | 1.870 | 30 - 100 |

Trotz der Menge an vorhanden Produkten und Prototypen ist die Wärmeleitfähigkeit von biogenem Material wenig untersucht. Die Wärmeleitfähigkeit einer Material/Luft-Matrix wird durch 4 Hauptfaktoren bestimmt: 1. durch die physikalischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials (z. B. der Faser), 2. durch den Anteil der Lufteinschlüsse in der Material/Luft-Matrix, 3. durch die Makrostruktur der Matrix, wie sie durch den Herstellungsprozeß entsteht, und 4. der Materialfeuchte.

Für die Produzenten des Ausgangsmaterials (Anbau und Vorverarbeitung) sind die ersten beiden Faktoren von Bedeutung. Der Einfluß von Anbau und Vorverarbeitung auf das Verhältnis von Matrixdichte zu Wärmeleitfähigkeit liefert die notwendige Grundinformation zur Bestimmung, ob ein Material zur Wärmedämmung verwendet werden kann oder nicht. Wärmedämmstoffe haben nur eine geringe Dichte ($< 50 \text{ kg m}^{-3}$), daher hat die Wärmeleitfähigkeit durch die feste Phase der Matrix (z. B. die Faser) nur wenig Einfluß auf die Gesamtwärmeleitfähigkeit.

RINGLEB (1996) bestätigte, daß die physikalischen Zusammenhänge der Wärmeleitung in Mineralfaserdämmstoffen auch auf die Naturfaser Lein übertragen werden können. Ihre Studien zeigen, daß die Wärmeleitfähigkeit mit abnehmendem Faserdurchmesser tendenziell sinkt mit einer Gleichung von $y = 1,9452x^2 - 0,0605x + 0,0404$ ($R^2 = 0.53$). Die Tatsache, daß die Wärmeleitfähigkeit sinkt, wird zu einem großen Teil durch den Faserdurchmesser erklärt. Er korrespondiert mit ähnlichen Verläufen von Werten für die Wärmeleitfähigkeit von Glasfasermaterialien über deren Faserdurchmesser (LARKIN und CHURCHILL 1959).

Abgesehen von den Untersuchungen RINGLEB, wurden bislang die Wärmeleitfähigkeiten von natürlichen Faser/Luft-Matrices nicht systematisch untersucht. Deshalb wurde am Institut für landwirtschaftliche Bauforschung der FAL eine breite Palette an Fasermaterialien auf ihre Wärmeleitfähigkeit geprüft. Verwendet wurden die folgenden, vom Institut für Pflanzenbau der FAL produzierten, Pflanzenmaterialien:

- Flachs, Sorte Belinka
Pflanzenbestand mit ungefähr 1500 Pflanzen m^{-2} . Der Flachs wurde im grünen/gelben reifen Stadium gerauft. Dem Raufen folgte nasses Wetter, wodurch eine intensive Röste einsetzte. Das Strohmaterial mit einem Röstgrad von 8 (übergeröstet für traditionelle Textil-Anwendungen) wurde sechs Wochen später gepreßt.
- Öllein, Sorte Antares
Pflanzenbestand mit ungefähr 300 Pflanzen m^{-2} . Das Stroh mit einem Röstgrad von 5 (mittel) wurde drei Wochen nach dem Mähdreschen gepreßt.
- Hanf, Sorte Felina 34
Pflanzenbestand mit ungefähr 200 Pflanzen m^{-2} . Der Hanf wurde im späten September gemäht (Samenreife). Ein Teil der Ernte wurde so schnell wie möglich nach dem Mähen gepreßt (ungeröstet). Der restliche Teil wurde nach einer sechswöchigen Röstperiode gepreßt. Dieses Material war gut geröstet und die Fasern konnten leicht von den Schäben getrennt werden.

Jede Charge dieses Erntematerials umfaßte ungefähr 500 kg. Hiervon wurden Chargen von 200 kg mechanisch entholzt und aufgeschlossen von den Firmen Bahmer GmbH und Temafa. Bei der Fa. Bahmer wurden Proben zwischen den einzelnen Phasenschritten gezogen, um ein Spektrum von groben bis zu feingeöffnetem Material für jede Charge zu erhalten. Bei der Firma Temafa wurden die Materialien mit einem integrierten Temafa 'Kotonisierer' verarbeitet (Lin-Star LSCY). Außer den bereits erwähnten Faserchargen wurden zusätzlich mit Ultraschall und mit Dampf-Explosion extrahierte Flachs-Proben sowie zwei kanadische Öllein-Faserproben (Durafibre Ltd., Winnipeg) und Recycling Jute (Fa. Homann) getestet.

Die Faserchargen wurden vier Monate in einer trockenen Umgebung (20 °C und 60 % relative Luftfeuchtigkeit) gelagert. Mechanisch gelegte Matten mit unterschiedlicher Dichte lassen sich nicht bei kleinen Probengrößen erstellen. Der Prüfstand umfaßt eine 500 x 500 mm-Kammer, dessen Wände aus 50 mm Dämmplatten (1 x 1 m) bestehen. Die Füllung der Testmaterialien in verschiedener Dichte als Luft/Faser-Matrix (Matte) erfolgte von Hand. Als Referenzmaterial wurden die Fasern einer handelsüblichen Glasfasermatte verwendet. Die Untersuchungen wurden mit einem Temperaturgradienten von 20 °C vorgenommen (die Kaltseite mit 5 °C und die Warmseite mit 25 °C), wobei die oberen und unteren Oberflächen der Kammer in direktem Kontakt mit der Fasermatte sind. Der Prüfstand ist mit Sensoren ausgerüstet, so daß die Temperatur der Plattenoberflächen direkt kontrolliert werden kann. Die Oberflächentemperaturen dienten der Kontrolle der Heizungs- und Abkühlungsaggregate. Ein Wärmeflußsensor (250 x 250 mm), kalibriert bei 25 °C, wurde zwischen der warmen Platte und der Testmatte eingebaut. Die Messungen der Temperatursensoren und der Wärmeflußplatte wurden alle 15 Minuten (gebildet aus einem Mittelwert von 15 Ein-Minutenwerten) über eine zweistündige Meßperiode aufgezeichnet, wobei vor der eigentlichen
Messung
eine

längere stabilisierende Vorperiode vorangestellt wurde. Die Ermittlung der Wärmeleit-

fähigkeit der Testmatte erfolgte bei sich ändernden Dichten ($5\text{-}50\text{ kg m}^{-3}$) auf Basis von etwa 8 Meßdurchgängen.

Zur Interpretation der Ergebnisse ist es notwendig, sich klar zu machen, daß die Fasern bei einer Luftfeuchte von 60 % gelagert und untersucht worden sind. Der Feuchtigkeitsgehalt der Proben betrug zwischen 8-10 %. Sie hatten eine um 4 % höhere Wärmeleitfähigkeit als getrocknetes Material. Diese Werte gaben den Dämmwert des Materials unter Praxisbedingungen wieder, d. h. unter Bedingungen, wie sie im eingebauten Zustand herrschen.

Der Luftflußwiderstand wurde von allen Faserproben mit einem ICC-Shirley-Feinheitstester gemessen. Diese Technik mißt den negativen Luftdruck, der sich durch eine Faserprobe (4 g) in einem Rohr ergibt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Abbildungen 5.9 bis 5.13 dargestellt. In allen Fällen werden die Werte mit einem Standard-Glas- bzw. Mineralwollematerial verglichen.

Heimische Bastfaserpflanzen

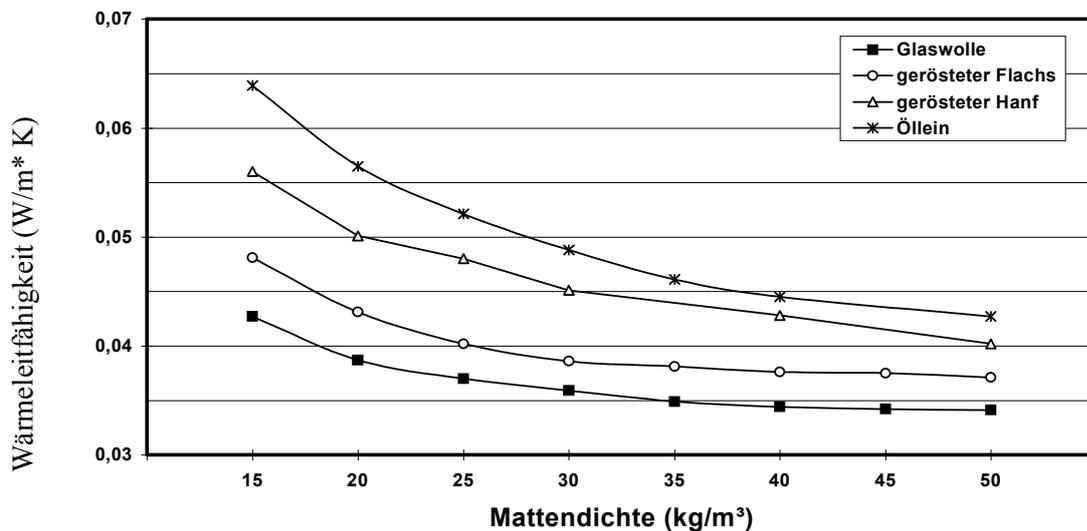


Abbildung 5.9: Wärmeleitfähigkeit (λ) von Glaswolle und heimischem Rösthanf, Röstflachs und Öllein Fasern in Abhängigkeit von der Mattendichte

Keine der heimischen Fasern erreicht die niedrige Wärmeleitfähigkeit von Glaswolle. Die Glaswolle erreicht den $\lambda = 0,04\text{ W/m}\cdot\text{K}$ Standard bei einer Dichte von weniger als 20 kg m^{-3} . Den gleichen Wert erreicht Flachs bei 25 kg m^{-3} und Hanf bei 50 kg m^{-3} . Die Wärmeleitfähigkeit von Öllein liegt über der von Rösthanf und Flachs, jedoch in einem ähnlichen Bereich wie Grünhanf (Abb. 5.11). Die Kurven zeigen deutlich, daß der $\lambda = 0,04\text{ W/m}\cdot\text{K}$ Standard mit heimischen Bastfasern nur schwer zu erreichen ist. Im Fall von Glaswolle und Flachs benötigt der Qualitätssprung von $\lambda = 0,045$ nach $0,040$ ca. 5 kg Fasern, bei dieser Hanfprobe werden hierfür 20 kg Faser erforderlich.

Heimische und importierte Pflanzenfasern

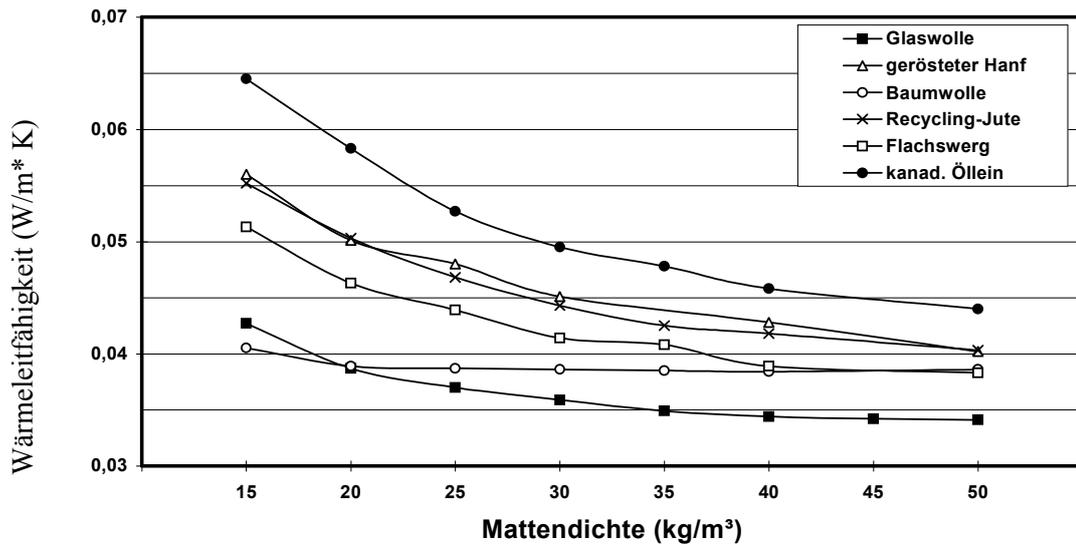


Abbildung 5.10: Wärmeleitfähigkeit (λ) von Glaswolle, Rösthhanf, Baumwolle, Jute, Flachswerg und kanadische Öllein Fasern in Abhängigkeit von der Mattendichte

Baumwollfasern haben einen Durchmesser von ca. 10 - 12 μm und sind damit die feinsten Fasern, die zur Verfügung stehen. Die Wärmeleitfähigkeit bei 20 kg m^{-3} liegt im gleichen Bereich wie der der Glaswolle. Im Gegensatz zur Glaswolle sinkt die Wärmeleitfähigkeit mit steigender Dichte nur noch unwesentlich. Die Ergebnisse zeigen auch die relativ niedrige Wärmeleitfähigkeit von Jute. Sie ist direkt vergleichbar mit Rösthhanf.

Ernteverfahren (Röste)

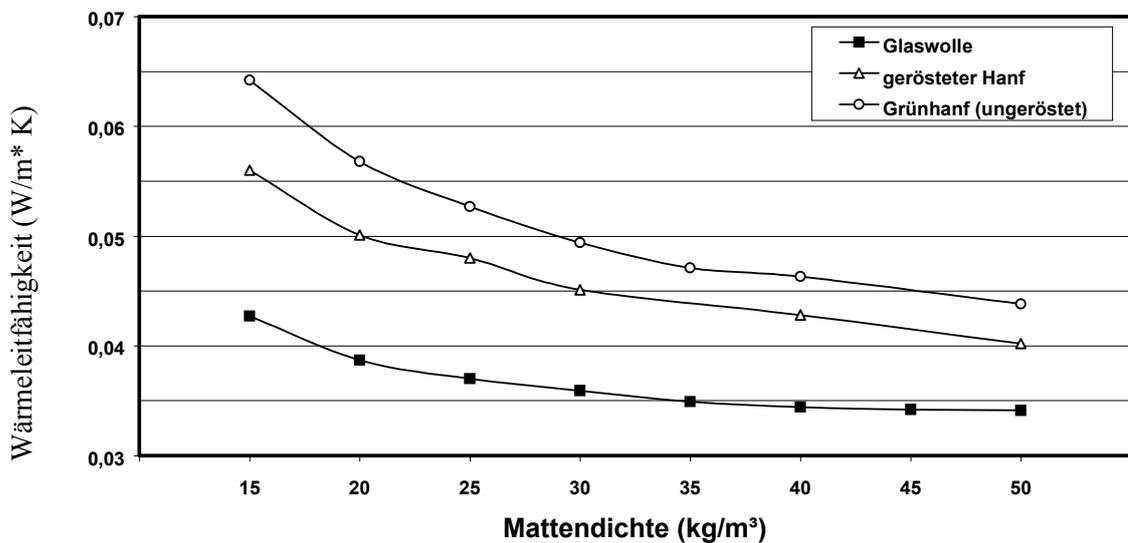


Abbildung 5.11: Wärmeleitfähigkeit (λ) von Glaswolle, Rösthhanf und Grünhanf in Abhängigkeit der Mattendichte

Die Röste verbessert die Qualität der Bastfasern für die Herstellung von Dämmstoffen. In diesem Vergleich wird ein Wert von $\lambda = 0,045$ bei Rösthhanf bei einer Mattendichte von 30 kg m^{-3} erreicht, bei ungeröstetem Hanf jedoch erst bei 50 kg m^{-3} . Neben der Verringerung

des Materialbedarfs zum Erreichen der gleichen Dämmleistung erhöht das Rösten zusätzlich die Faserausbeute beim Aufschluß.

Faseraufschluß

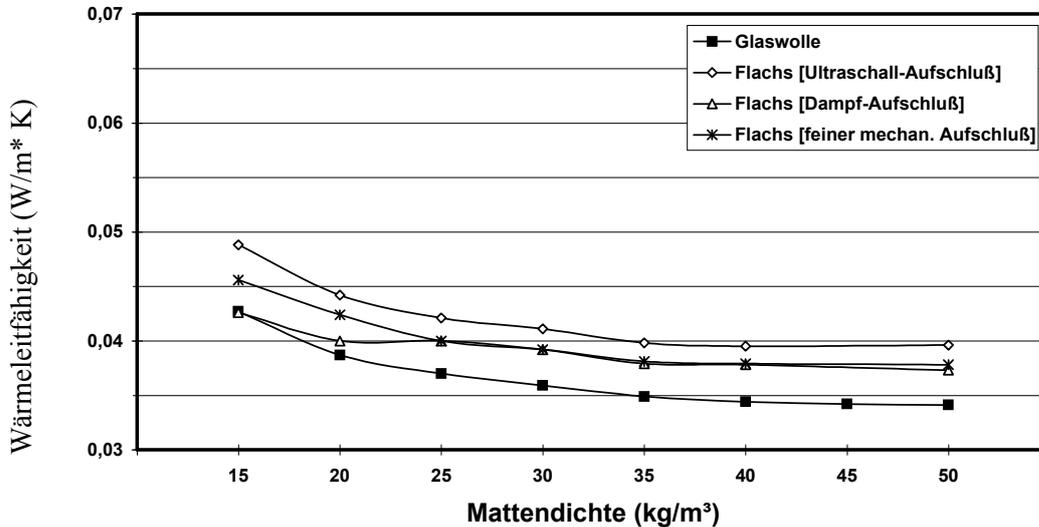


Abbildung 5.12: Wärmeleitfähigkeit (λ) von Glaswolle, Röstflachs (Bahmer Feinauflöser) Flachs (Ultraschallaufschluß), Flachs (Dampfaufschluß) in Abhängigkeit von der Mattendichte

Der dampfaufgeschlossene Flachs bestand aus einzelnen Elementar-Faserzellen. Hierdurch ergab sich die Möglichkeit, die Wärmedämmleistung des feinsten Flachsmaterials zu untersuchen, das zur Zeit hergestellt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, daß die Verbesserung der Dämmwertes durch diese Form der Faseraufbereitung, im Vergleich zur konventionellen mechanischen Verarbeitung, nur sehr gering ist. Jedoch ist der Unterschied bei den Prozeßkosten so groß, daß sich das Dampfaufschlußverfahren im allgemeinen nicht für die Dämmstoffherstellung rechnet.

Getreidestroh

Abbildung 5.13 demonstriert das Potential von Getreidestroh als Rohmaterial für Dämmstoffe. Die Getreidestrohprobe wurde gehäckselt und in einer Hammermühle leicht weiterverarbeitet. Niedrigere Wärmeleitfähigkeiten können erwartet werden, wenn das Material eine besser aufgeschlossene und gesplissene Struktur hat.

Alle natürlichen Fasermaterialien besitzen für die unterschiedlichen Mattendichten eine größere Wärmeleitfähigkeit als Glaswolle. Lediglich für Baumwolle und fein geöffneten gerösteten Flachs und Flachswerg konnten Werte annähernd dem Standardwert von Glaswolle nachgewiesen werden. Eine große Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit der Matten wird zwischen 15 und 25 kg m⁻³ erzielt. Bei weiter zunehmenden Dichten (über 35 kg m⁻³) ergibt sich nur eine sehr geringe Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit.

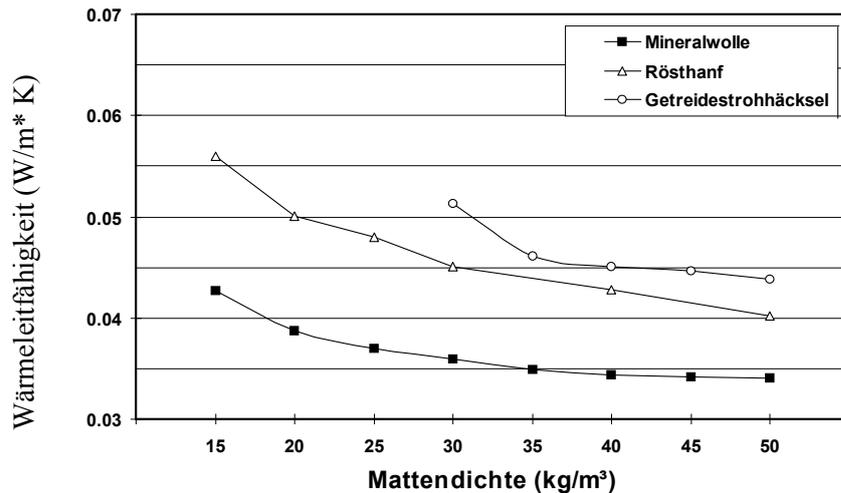


Abbildung 5.13: Wärmeleitfähigkeit (λ) von Glaswolle, Rösthanf (Bahmer Feinauflöser) und gehäckseltem Getreidestroh in Abhängigkeit von der Mattendichte

Es hat sich gezeigt, daß alle Materialien, vom fein geröstetem Flachs bis zum groben ungerösteten ‘Durafibre’ Öllein, sich in Bezug auf die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit durch veränderte Mattendichte ähnlich verhalten. Die Beziehung zwischen der ICC Shirley Feinheitstester Meßzahl und der Wärmeleitfähigkeit für 30 kg m^{-3} ist in Abbildung 5.14 dargestellt. Die Korrelation zwischen dem angepaßten Modell und den beobachteten Werten beträgt 0,99. Verwendet man also das angepaßte Modell, so läßt sich die Variabilität in der Wärmeleitfähigkeit mit einer Genauigkeit von über 95 % mit der Luftdurchlaßwiderstandsmessung vorhersagen.

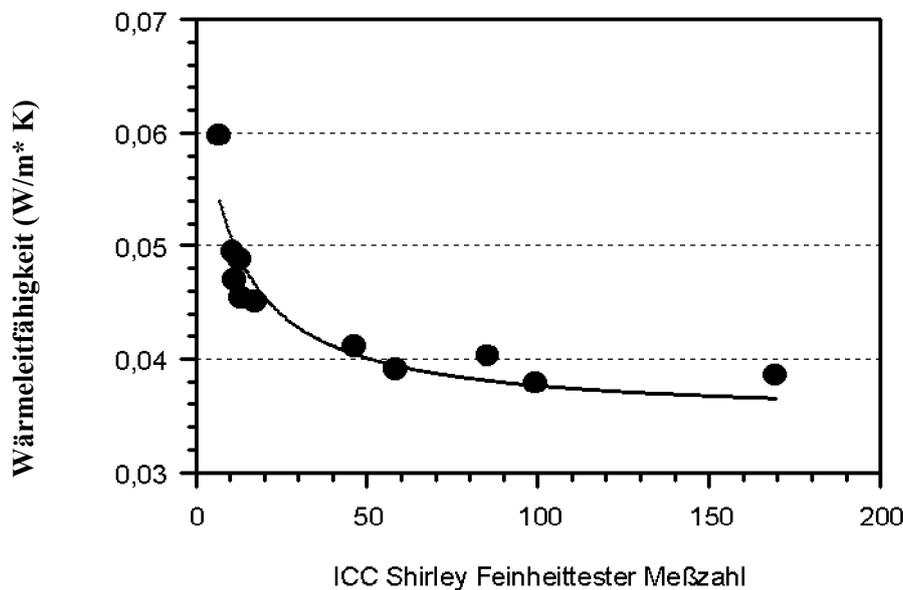


Abbildung 5.14: Beziehung zwischen ICC Shirley Feinheitstester Meßzahl und der Wärmeleitfähigkeit für 30 kg m^{-3} . Das Modell $a + (b/(1 + b*c*x))$ wurde angepaßt. Die Modellparameter hatten folgende Werte: $y = 0,0348 + (0,0338/(1 + 0,0338*3.176*x))$, $r=0.99$, $p \leq 0.001$

Alle Ergebnisse zeigen, daß für Fasermaterialien die Pflanzenart *per se* nur einen geringen Einfluß auf die Wärmedämmeigenschaften hat. Beobachtete Unterschiede innerhalb der verwendeten Arten beruhen auf Differenzen in der Feinheit der erhaltenen Fasern. Die Luftwiderstandsmessung (ICC Shirley) ist eine indirekte Bestimmung des Faserdurchmessers. Der Durchmesser von Fasern und Faserbündeln wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst: Pflanzenart, Sorte, Anbau und Ernte sowie Aufbereitung. Im allgemeinen läßt sich sagen, daß Arten, die feine Fasern hervorbringen wie z. B. Flachs und Baumwolle eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit bei Verwendung als Dämmstoff erreichen als die groberen Hanffasern. Die Jutfaser ist ebenfalls relativ fein. Diese Unterschiede werden deutlich bei den Dichten, die bei Dämmstoffen erreicht werden. Alle Behandlungen, die den Durchmesser von Faser und Faserbündeln verringern, verbessern die Dämmeigenschaften des Materials. Faserzellen sind hohl und der Dämmeffekt von Bastfaserdämmstoffen wird oft fälschlicherweise hierauf zurückgeführt. Im Prinzip dämmen hohle Fasern besser als gut gefüllte Fasern. Da jedoch der Anteil der Fasern am gesamten Dämmstoff sehr gering ist (ca. 2,5 % des Volumens sind Fasern) hat diese Struktur der festen Phase der Matrix nur einen geringen Einfluß auf den Dämmwert der Gesamtstruktur.

5.5 Dämmstoffsubstitutionspotential von heimischen nachwachsenden Rohstoffen

Besonders da, wo Dämmstoffe das Hauptprodukt sind, ist der Dämmstoffsubstitutionseffekt (Dämmstoffproduktion pro ha) von besonderer Bedeutung. Er ist die Basis für die Einschätzung der Umweltvorteile der Produktlinie 'nachwachsende Rohstoffe als Dämmstoffe' im Vergleich mit anderen Produktlinien für nachwachsende Rohstoffe (z. B. Energiegewinnung etc.). Abbildung 5.15 zeigt den Effekt der Produktdichte auf die Wärmeleitfähigkeit und den Dämmstoffsubstitutionseffekt von Hanf- (Faserertrag von 2.500 kg ha⁻¹) und Flachsfasern (1.750 kg Fasern ha⁻¹). Das Dämmstoffäquivalent gibt das Volumen (1 m³) an ersetzter Mineralwolle ($\lambda=0,04$) an.

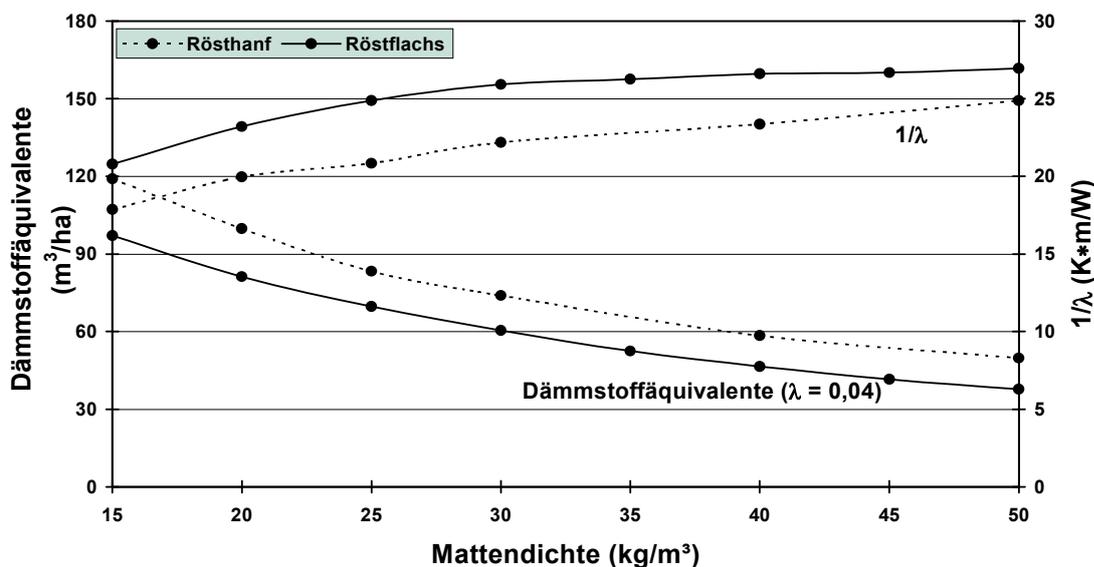


Abbildung 5.15: Wärmeleitfähigkeit und Dämmstoffsubstitution pro Hektar ($\lambda = 0,04$ Dämmstoffäquivalente) in Abhängigkeit der Dämmstoffdichte

Trotz der nur mäßigen Dämmeigenschaften der Hanffasern, hat Hanf das größte Dämmstoffpotential pro Hektar (Tabelle 5.5). Dies liegt am Faserertrag und am zusätzlichen Potential der Schäben. Hanf ist die einzige Pflanze, die in der Lage ist, mehr als 100 m³ Glaswolle pro Hektar zu ersetzen. Das niedrige Substitutionspotential von Wald spiegelt ein generelles Problem dieses Ökosystems wider - niedrige Biomasseerträge. Stroh ist das wichtigste Nebenprodukt im Sinne der Dämmstoffsubstitution pro Hektar.

5.6 Produktionsmöglichkeiten

Die einzigen heimischen landwirtschaftlichen Produktionsmöglichkeiten, die bisher unter dem Gesichtspunkt des direkten Ersatzes von konventionellen Dämmstoffen (WLG 040 bei 20 - 30 kg m⁻³) untersucht worden sind, bestehen für Flachs, Schafwolle und möglicherweise feine Hanffasern. Größere Mengen von Schafwolle stehen nicht zur Verfügung. Bastfasern als Hauptprodukte sind teuer und erfordern relativ energieaufwendige Verarbeitungstechnologien (hoher Verbrauch an elektrischer Energie). Hiervon ausgehend ist die Zukunft der Bastfaser (als Hauptprodukt) wahrscheinlich ökonomisch eingeschränkt. Wenn in der Baupraxis weiterhin alles an den Qualitäten der konventionellen Dämmstoffe gemessen wird, so werden sich die Möglichkeiten für nachwachsende Rohstoffe auf Produkte aus Zellulose und einige Nischenprodukte beschränken.

Wenn sich die Akzeptanz einer höheren Wärmeleitfähigkeit (WLG 045) in der Baupraxis durchsetzen würde, bestände für eine größere Palette von Rohstoffen die Möglichkeit des Einsatzes: Hanf- und Ölleinfasern, Holzweichfasern und eine große Anzahl von Nebenprodukten. Hanffasern sind ein teures Rohmaterial, aber die Anbau- und Erntekosten sind niedriger als für Flachs, die Schäbenfraktion ist preiswert und hat ein hohes Dämmstoffsubstitutionspotential. Schäben zur Trittschalldämmung ersetzen teure und energieaufwendige konventionelle Produkte. Die Verwendung von Schäben ist sowohl ökonomisch als auch sehr ökologisch.

Deutschland hat Nettoimporte von Holz und Holzprodukten von 20 bis 30 Mio. m³ pro Jahr (BML 1995). Das inländische Rohholz und Altpapieraufkommen zusammen decken 65-70 % des jährlichen Gesamtbedarfs. Der Holzeinschlag könnte von derzeit jährlich knapp 35 Mio m³ Holz auf rund 57 Mio m³ erhöht werden, ohne die Regeln einer ordnungsgemäßen, auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit beruhenden Forstwirtschaft zu gefährden (JÖRDENS 1996a). Dieser Holzvorrat ist theoretisch ausreichend für 40-120 Mio m³ Holzweichfaserplatten. In der Praxis kommen realistischerweise nur die Schwachholz- und Sägerestholzanteile von Fichte und Kiefer in Betracht mit einem geschätzten Potential von 18 Mio m³. Zusätzlich würde ein Teil (60 %) in die bestehende Sägeindustrie gehen, so daß noch 8 Mio m³ (4 Mio t) übrigbleiben. Dies entspricht einem Potential für 10-30 Mio m³ Holzweichfaserplatten. Die Verfügbarkeit 'geringerer Holzqualitäten' ist zu keiner Zeit ein limitierender Faktor (LEHNER 1996).

Nebenprodukte und Recyclingmaterialien haben drei Vorteile: Niedrige Kosten, gute Verfügbarkeit und ein gutes ökologisches Profil. Es ist zu erwarten, daß die Zukunft der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen von der Entwicklung dieser Ressourcen abhängt. Es kann und sollte nicht das Ziel sein, die konventionellen Dämmstoffe vom Markt zu verdrängen und vollständig zu ersetzen. Die oben aufgeführten Tatsachen verdeutlichen jedoch, daß die vorhandenen nachwachsenden Rohstoffe schon heute in beachtlichen Mengen vorhanden sind.

Tabelle 5.5: Dämmstoffdichte und Dämmstoffsubstitution pro Hektar für eine Anzahl von Produktlinien

| Produktionseinheit | | Dämmstoff-Dichte (kg m ⁻³) | λ (W m ⁻¹ K ⁻¹) | Dämmstoff substitution (m ³ ha ⁻¹ bei WLG 040 Äquival.) |
|-----------------------------|--|---|---|--|
| Hauptprodukte | | | | |
| 1 ha Wald (Nadelbäume) | 3500 kg | 100 - 350 | | 10 - 35 |
| 1 ha Hanf | 2000 - 2500 kg Fasern 4800 kg Schäben | 30 - 50 100 | 0,040 - 0,045 0,065 | 40 - 83 32 $\Sigma = 72 - 115$ |
| 1 ha Flachs | 1500 - 1750 kg Fasern 3000 kg Schäben | 25 - 30 | 0,040 - 0,045 | 50 - 70 70 - 90 |
| Miscanthus (Platten) | 15 000 | 220 | 0,060 | 46 |
| Roggenplatten | 4500 | 250 | 0,054 | 16 |
| Roggenschüttung | 4500 | 100 | 0,065 | 35 |
| Nebenprodukte | | | | |
| 10 Mutterschafe | 35 kg | 25 | | 1,4 |
| Weizenstroh- dämmplatten | 5 500 | 250 | 0,045 | 19 |
| Weizenstrohmatten | 5 500 | 100 | 0,045 | 49 |
| Sonnenblumenstroh | 2 000 | 50 | 0,040 | 40 |
| Flachswerg | 490 | 30 | 0,040 | 16 |
| Ölleinfaservlies | 530 | 40 | 0,045 | 12 |

5.7 Zusammenfassende Bewertung

- Dämmstoffe können aus pflanzlichen und tierischen Rohstoffen hergestellt werden. Bei der pflanzlichen Produktion fallen die Rohstoffe als Haupt- und Nebenprodukte an, bei der tierischen Produktion als Nebenprodukt.
- Im Rahmen der pflanzlichen Produktion bieten sich in Deutschland die Bastfaserpflanzen Flachs und Hanf für die landwirtschaftliche Praxis an. Die Fasergewinnung und –aufbereitung erfolgt bisher ausschließlich durch mechanische Anlagen. Neben der Faser werden auch die bei der Verarbeitung anfallenden Schäben zur Dämmstoffproduktion verwendet.
- Für die Dämmstoffproduktion ist die Feinheit der Fasern der wichtigste qualitative Meßparameter der Rohware. Eine Faser ist um so feiner, je kleiner ihr Durchmesser ist. Auf die Faserfeinheit kann durch verschiedene Maßnahmen Einfluß genommen werden: Wahl der Pflanzenart und Sorte, Anbautechnik, Ernte und Nacherntebehandlung.
- Der Wärmeleitfähigkeitswert einer Dämmmatte aus pflanzlichen Rohstoffen hat sich an jenem aus konventionellen Rohstoffen zu orientieren. Dieser liegt zwischen $0,030$ und $0,040 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Bei besseren Qualitäten der Rohware werden diese Vorgaben mit einer geringeren Aufwandmenge erfüllt. Folglich ist die Dämmmatte auch dünner.
- Die Eignung einer Pflanzenart für die Dämmstoffverwertung ist nicht nur von der Qualität, sondern auch von der Flächenertragsleistung abhängig. So hat beispielsweise gerösteter Flachs einen wesentlich besseren Wärmeleitfähigkeitswert als gerösteter Hanf. Dennoch hat Hanf einen größeren Flächenertrag an Fasern und Schäben. Somit kann dieser trotz höherer Aufwandmenge pro Dämmstoffmatte gegenüber Flachs einen größeren Anteil konventioneller Rohstoffe substituieren.

6 Dämmstoffherstellung

Wieland¹, H., Murphy¹, D.P.L.

6.1 Bauphysikalische Anforderungen an Rohmaterial und Produkte

Die bauphysikalischen und baubiologischen Anforderungen an das Bauteil und damit auch an das Dämmmaterial werden in der Hauptsache durch die folgenden Parameter bestimmt (s. auch Kap. 2):

- Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108
- Dampfdiffusionswiderstand nach DIN 4108
- Wärmeausdehnungskoeffizient
- Wasseraufnahmekoeffizient nach DIN 52617
- Trittschalldämmmaß nach DIN 4109
- Trittschallverbesserungsmaß nach DIN 4109
- Druckfestigkeit
- Setzmaß
- Baustoffklasse im Brandschutz nach DIN 4102
- Widerstand gegen Pilze
- Chemische Zusätze
- Wiederverwendbarkeit, Recycling.

Die rechnerische Wärmeleitfähigkeit λ_R soll den Einfluß des Feuchtegehalts auf den im trockenen Materialzustand im Labor gemessenen Wert berücksichtigen. Die Wärmeleitfähigkeit beeinflusst die Abmessungen (Dicke) der Dämmung, denn die nach der Wärmeschutzverordnung errechnete nötige Dämmstoffdicke bestimmt die Dicke des Bauteils, was sich gegebenenfalls auch auf die Statik auswirken kann.

Insbesondere für den sommerlichen Wärmeschutz ist die spezifische Wärmekapazität c von Bedeutung, denn bei hoher Wärmespeicherefähigkeit kann die über den Tag aufgenommene Wärme abends wieder abgegeben werden, bevor sie das Rauminnere erreicht (Amplitudendämpfung). Bei anorganischen Dämmstoffen liegt c im Bereich zwischen $0,9$ und $1,4 \text{ kJ (kg K)}^{-1}$, die biogenen Dämmstoffe liegen mit Werten zwischen $2,0$ und $2,7 \text{ kJ (kg K)}^{-1}$ höher, d. h., daß sie bei gleicher Rohdichte mehr Energie (Wärme) speichern. Die genannten Werte sind abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt des Materials.

Neben dem Wärmeschutz spielt die Luft- und Trittschalldämmung (bewertetes Trittschalldämmmaß $R_{w,r}$ und bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{nw,r}$ nach DIN 4109) eine wesentliche Rolle. Das Trittschallverbesserungsmaß wird für Decken bestimmt und ist in DIN 4109, Beiblatt 1, Tabelle 17 in Abhängigkeit von der dynamischen Steifigkeit s' z. B. für schwimmende Estriche aus Faserdämmstoffen angegeben. Es bewegt sich zwischen 20 und 34 dB . Je größer das Federungsvermögen s' um so größer ist auch das $\Delta L_{w,r}$. Für poröse Baustoffe gibt der längenbezogene Strömungswiderstand r (DIN 52213) Aufschluß über die Beziehung zwischen Materialstruktur und akustischen Eigenschaften (Absorption, Dämpfung).

In Abhängigkeit vom Ort des Einbaus spielen verschiedene Festigkeitseigenschaften eine wesentliche Rolle. Für den Deckeneinbau sind Druckfestigkeit und Elastizität maßgebend. Bei losem Material (Schüttungen) hat man auch in Wandbauteilen das Problem der Setzung. Die Formbeständigkeit (Maßhaltigkeit) wird durch Quell- und Schwindvorgänge (Wärmeaus-

dehnungskoeffizient α und Wasseraufnahme w) beeinflusst und ist insbesondere bei Platten, die zum Beispiel durch Nut- und Federsysteme miteinander verbunden werden, sehr wichtig.

Diese Eigenschaften gehen in die Klassifizierung in Anwendungstypen nach DIN 18161/18164/18165 ein.

Speziell für Dämmstoffe ist die Art der Befestigung von großer Bedeutung. Für die Zwischensparrendämmung ist die Klemmfähigkeit deshalb z. B. ein wichtiges Kriterium. Weiterhin ist dies ein wichtiger Aspekt für die Verarbeitbarkeit des Dämmstoffes, denn durch schnellen Einbau kann die Bauzeit optimiert werden.

6.2 Produktkompendium

Im Anhang Teil III werden Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in Form eines Produktkompendiums beschrieben.

6.3 Produktionsverfahren

6.3.1 Wärmedämmvliese

Das Ausgangsmaterial für biogene Wärmedämmvliese sind Bastpflanzenfasern (z. B. Flachs und Hanf), Baumwolle und Schafwolle. Die Verarbeitung von Fasern zu Matten kann im wesentlichen, unabhängig von der Faserherkunft (ob aus Flachs, Hanf, Schafwolle oder Baumwolle) in folgende Prozessschritte eingeteilt werden: Die Vliesbildung, die Verfestigung sowie die Brandschutzbehandlung, welche, abhängig vom Herstellungsverfahren, nach der Vliesbildung oder ganz am Ende der Verarbeitung stattfindet.

Eine Veröffentlichung des Arbeitskreises Gesamttextil (FRIES 1996) beinhaltet eine detaillierte Aufstellung zur Vlieserzeugung. Die Vliesbildung erfolgt entweder mechanisch in einer Krempel (Abbildung 6.1) oder mittels eines pneumatischen oder aerodynamischen Verfahrens. Das Krempeln ist das traditionelle Verfahren, das der Auflockerung, Reinigung, Homogenisierung und Ausrichtung der Fasern dient. RINGLEB (1996) gibt folgende prägnante Beschreibung: "Eine spitzenbesetzte, rasch umlaufende Haupttrommel, der sogenannte Tambour, zieht die Fasern auseinander und übergibt sie den um den oberen Teil des Tambours gelagerten Walzenpaaren (jeweils eine Arbeits- und eine Wendewalze). Da alle diese Walzen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten laufen, werden die Fasern sehr gut gelockert, gereinigt und als gleichmäßiger Flor von einer Ausstreichtrommel abgenommen. Der sehr dünne Flor wird dann von einem Kreuzleger gestapelt und als sogenanntes Vlies einer Verfestigungseinrichtung zugeführt".

Als nächster Schritt folgt die Verfestigung des Vlieses. Hierzu werden im allgemeinen zwei Methoden verwendet, die mechanische Vernadelung und die thermische Verfestigung oder eine Kombination beider Möglichkeiten. Beim Vernadeln wird das Vlies zwischen zwei Schienen hindurchgeführt auf denen Nadelbretter befestigt sind. Die mit Widerhaken versehenen Nadeln stechen von oben und unten mit hoher Geschwindigkeit in das Vlies ein und bewirken dadurch ein Verziehen einzelner Fasern innerhalb des Vlieses und damit einen Verbund der einzelnen Schichten. Die Festigkeit und Dichte des Vlieses kann über die Art und Anzahl der Nadeln sowie die Durchlaufgeschwindigkeit geregelt werden.

Das Ziel der Dämmstoffherstellung ist die Fertigung eines voluminösen Vlieses mit niedriger Dichte. Moderne Dämmsysteme benötigen Material mit einer Stärke von mindestens 120 mm. Leider sind solche leicht vernadelten voluminösen Vliese nicht sehr formstabil, besonders bei

größeren Dicken. Das bedeutet, daß eine Dicke von 120 mm die Grenze für vernadelte Produkte darstellt, außer wenn eine andere Verfestigungstechnik verwendet wird.

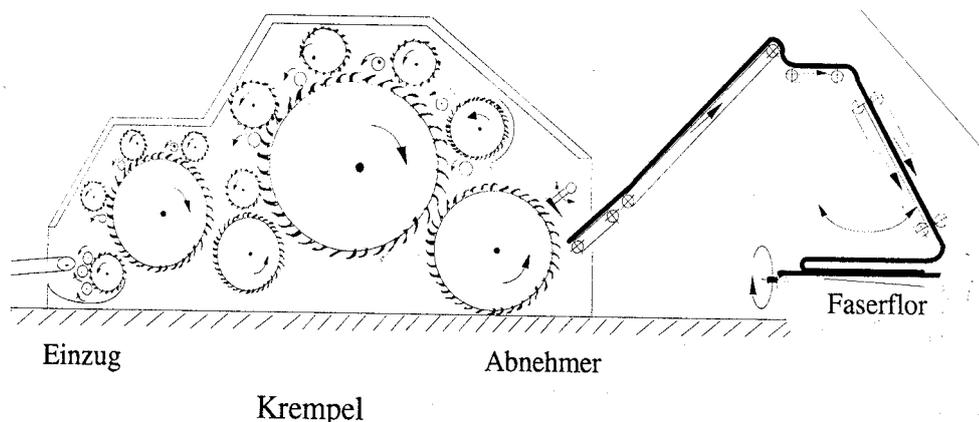


Abbildung 6.1: Funktionsskizze einer Krempel (KARUS *et al.* 1997)

Bei dem pneumatischen oder aerodynamischen Verfahren wird kein Kreuzleger benötigt. Die aufgelösten Fasern (z. B. mit Krempel oder Auflösewalze) werden durch einen mittels Düsen gelenkten Luftstrom aufgelockert und fein verteilt. Das entstehende Vlies ist dadurch nicht geschichtet und weniger homogen. Das Vlies hat weitgehend gleich große Festigkeiten in allen Richtungen. Dieses Verfahren ist technisch einfacher als der Krempelprozeß. Der große Nachteil ist der erhöhte Stützfasernbedarf (bis zu 50 %) bei der Dämmstoffherstellung. Synthetische Stützfasern sind teuer. Diese Verteuerung hebt den ökonomischen Vorteil der einfacheren Technologie auf.

Bei der thermischen Verfestigung wird den aufbereiteten Fasern ein bestimmter Prozentsatz an Stützfasern zugesetzt. Bei vernadeltem Vlies entspricht dieser Anteil 10-15 %. Diese Technik ermöglicht es, formstabile Matten auch mit größeren Dicken zu erzeugen ohne die Dichte zu erhöhen. Es handelt sich um Komponentenfasern aus Polypropylen und Polyethylen oder Polyester. Aus dieser Mischung wird ein Vlies gebildet, das - vernadelt oder nicht - kontinuierlich durch einen Bandrockner läuft und dabei erhitzt wird. Der Anteil der anschmelzenden Stützfasern verklebt mit den Bastfasern, die Polypropylenfasern im Kern der Komponentenfaser schmelzen bei diesen Temperaturen nicht und behalten ihre Stabilität und Elastizität. Flachshaus GmbH stellt eine 40 mm dicke vernadelte Platte her ohne die Verwendung von Schmelzfasern. Dieses wird erreicht durch die durch Stärke hervorgerufene adhäsive Bindung.

Viele dieser Fertigungsverfahren sind auf die Verarbeitung von synthetischen Fasern abgestimmt und noch nicht auf die Verwendung von natürlichen Fasern optimal umgestellt. Modifikationen sind oft notwendig, um natürliche Fasern gut verarbeiten zu können. Teilweise gut entwickelte Verarbeitungssysteme für einige Pflanzenfasern sind auch für Schafwolle gut geeignet. Die Verwendung von Pflanzenfasern führt zu einer Erhöhung des Staubproblems. Eine leistungsstarke Absaugung und eine Abkapselung der Maschinen ist erforderlich. Selbst mechanisch aufgeschlossener Hanf ist sehr widerstandsfähig, und die Verarbeitung im Krempel und im Vliesleger kann damit schwieriger sein.

Zum Erreichen der notwendigen Brandklasse (B2, normal entflammbar) bedürfen die meisten Dämmstoffe einer Behandlung mit Brandschutzmitteln. Verwendet werden vor allem Bor-säure/Borax-Mischungen oder Ammoniumphosphat. Sie werden in gelöster Form verwendet. Sie können entweder direkt zu den Fasern gegeben werden, wenn diese in den Krem-

pel/Auflöser eingespeist werden, oder gegen Ende des Verarbeitungsprozesses auf die Oberfläche des fast fertigen Produktes aufgesprüht werden.

6.3.2 Nadelfilz

Nadelfilze sind relativ dichte, dünne Matten (5 - 10 mm), die z. B. unter Parkett verlegt werden. Die Nadelfilzherstellung spielt eine besondere Rolle bei der Entwicklung der Verwendung von biogenen Fasern als Dämmstoff. Diese Produktkategorie wurde benutzt, um die Verwendung von biogenen Fasern als Ausgangsmaterial für Dämmstoffe zu untersuchen. Dies liegt an der besonderen Rolle der Nadelfilze in der Trittschalldämmung. Der Grund hierfür beruht darauf, daß die Trittschalldämmung baurechtlich nicht immer geregelt wird und die Materialien von daher keine besondere Zulassung benötigen. Die Herstellungstechnologien für diese Produkte sind aus der Textilindustrie hinlänglich bekannt. Die Ansprüche an das Ausgangsmaterial werden von einer Vielzahl von Pflanzenfasern erfüllt, besonders von den Bastfasern. Deshalb können diese Produkte neben einer breiten Palette anderer Produkte erzeugt werden (z. B. Bodenbeläge, Filtermaterial, Dekorationsmaterial, Geovlies, Filz für Faserverbundwerkstoffe).

Die Herstellung von Nadelfilz ähnelt der von vernadelten Vliesen. Der Hauptunterschied liegt in der Pressung des Vlieses während der Vernadelung. So entsteht ein fester, dichter und dünner Filz. Das spezifische Gewicht des Filzes ($g \cdot m^{-3}$), die Filzdicke, die Festigkeit und Dichte wird variiert über die Stärke des Pressens, die Anzahl der Vernadelungsstiche, die Nadelform und die verwendeten Rohstoffe. Dies bedeutet, daß für die Verarbeitung von neuen Ausgangsmaterialien (z. B. Hanf) eine große Anzahl von Möglichkeiten vorhanden sind.

6.3.3 Strohplatten

ENGLERT (1980) berichtet über die Verwendung von Stroh als Grundstoff für Matten und Platten. Bei den Platten (Stramit-Bauplatten) wird die hohe Faserfestigkeit und die Röhrenstruktur von vor allem Weizen und Roggenstroh ausgenutzt. Das Stroh wird in Form von Hochdruckballen beim Werk angeliefert und dort nach einer Reinigungsstufe in einer Spezialmaschine im Stopfpreßverfahren zu einer endlosen, 5 cm starken und 125 cm breiten Platte verarbeitet. Die Halme liegen senkrecht zur Oberfläche und sind miteinander verfilzt. Auf den Einsatz von Bindemitteln kann bei diesem Verfahren verzichtet werden, lediglich die Papierkaschierungen auf beiden Seiten (Kraftpapier mit oder ohne Bitumierung) muß geklebt werden. Die Platten haben mit $340 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ eine relativ hohe Dichte. Hieraus ergeben sich Vorteile im Bereich der Brennbarkeit (Zulassung mit F 60), der Schalldämmung und des Wärmespeichervermögens. Die Wärmeleitfähigkeit ist mit $\lambda = 0,09$ eher hoch.

6.3.4 Schilfplatten

Schilfrohrplatten als Wärmedämmstoff besteht zu 96 % aus Schilfrohr und zu 4 % aus verzinktem Metalldraht. Das Schilfrohr wird nach der Ernte zuerst nach Länge und Durchmesser sortiert. Dies ist wie viele Arbeiten bei der Herstellung von Schilfdämmstoffmatten Handarbeit. Anschließend wird der Blütenstand, die Fahne, entfernt. Nach diesem Sortieren werden die Schilfrohre wechselseitig in den "Webstuhl" eingelegt, damit die Platten nicht konisch verformt werden, hierbei muß auch auf die gleichmäßige Dicke der verwendeten Schilfrohre geachtet werden. Die Matten bestehen aus einer Vielzahl parallel neben- und übereinanderliegenden Schilfrohrhalmen, die mechanisch fest zusammengepreßt und mit 1,8 und 1,4 mm starken verzinkten Eisendrähten gebunden sind. Dieses Verfahren wurde Mitte des 19. Jhs entwickelt (MERINSKY 1953). So entsteht das Gewebe. Ebenfalls

wichtig ist eine Verarbeitung von ausschließlich trockenem Material, da feuchtes Schilf während der Trocknung schwindet und Lücken in den Platten entstehen. Die Platten werden in Stärken von 20 und 50 mm hergestellt. Es werden keine Zusatzstoffe beigegeben (z. B. Brandschutzsubstanzen, Bindemittel oder Imprägnierungsmittel). Eine Verbesserung der Mechanisierung der Produktion, bzw. deren Automatisierung scheiterte zu Beginn der 70er Jahre durch das Aufkommen neuer Betonbauweisen. Die traditionelle Bodendämmung wurde durch den schwimmenden Estrich abgelöst (FRIEDRICH 1997).

6.3.5 Schüttung aus Schäben

Bei Schäben handelt es sich um die Bruchstücke des Holzgewebes von Faserpflanzen. Sie entstehen beim Entholzen des Stroh zur Fasergewinnung. Die Schäben sind also ein Nebenprodukt aus der Fasergewinnung. Hauptsächlich werden Schäben von Hanf als Schüttdämmung eingesetzt. Bei dem Aufbereitungsprozeß fallen folgende Fraktionen an (KARUS *et al.* 1996):

1. Größere und dunklere Schäben (30 - 40 %)
2. kleinere, nahezu faserfreie, helle Schäben (30 - 35 %)
3. sehr kleine Schäben (10 - 15 %)
4. Staub, Faserreste (5 - 10 %)
5. Abfall (5 - 10 %).

Die Schäben zur Schüttdämmung werden zuerst gesiebt, um die zu feinen Bestandteile zu entfernen. Anschließend durchlaufen sie eine Reinigungsanlage, um den Staub zu entfernen. Aus Schäben werden eine Anzahl von Produkten hergestellt.

Bitumierte Schäben

Das Produkt MEHABIT gehört in die Produktlinie, die zur Fußbodendämmung und Trittschalldämmung eingesetzt werden. Diese Produkte werden bei schwimmendem und trockenem Estrich verwendet. Dabei verbinden sie hervorragende Dämmeigenschaften mit der Möglichkeit, Unebenheiten und verschiedene Höhen von Decken, auf einfachste Weise auszugleichen. Es läßt sich sehr gut für Sportböden in Turnhallen einsetzen. Beim Einbau wird das Granulat leicht verdichtet und verfestigt sich selbst zu einer fugenlosen, druckstabilen Dämmplatte. Die aufgesplitterten Hanfschäben sind selbstarmierend. Zusätzlich ist MEHABIT mit Bitumen imprägniert.

Schäben ohne Bindemittel

Bindemittelfreie Schäben werden in Frankreich als Dämmmaterial eingesetzt (KLUG 1995). Dieses Produkt wird verwendet in Dachstühlen, Zwischenwänden, unter Dielen, Innendämmung von Mauern usw. Der Herstellungsprozeß wird leider nicht beschrieben.

Mit Kalk behandelte Schäben

KLUG (1995) beschreibt die Verwendung von mit Kalk behandelten Schäben im Hochbau. Die Verwendung erstreckt sich auf die Bereiche Fußbodenbeläge, Estrich, Wände bei Holzkonstruktionen, in Schalungen ohne Armierung, Putz auf Ziegelhohlplatten, Dämmputz für Innen- und Außenwände. Der Herstellungsprozeß wird leider nicht beschrieben, der Kalk wird in gelöster Form den losen Schäben zugegeben. Das fertige Produkt hat eine Dichte von ca. 550 kg m^{-3} . Es ist davon auszugehen, daß das fertige Produkt schwer entflammbar sowie schwer verrottbar ist.

6.3.6 Platten aus Schäben

Eine weitere Möglichkeit für die Verwendung von Schäben besteht in der Herstellung von Dämmplatten. Hierbei ist der technologische Aufwand wesentlich größer als bei der Produktion von Schüttdämmung (HESCH 1995). Es ist wichtig, daß das zu verarbeitende Schäbenmaterial frei von jeglichen Verunreinigungen wie Feinstaub, Kurzfasern oder Schmutzpartikeln (anhaftender Lehm oder Sand) ist, um den Verschleiß der Maschinen so gering wie möglich zu halten und eine Homogenität der Platten zu garantieren. Außerdem ist auf eine gleichmäßige Größe sowie auf eine gleichmäßig niedrige Feuchtigkeit der Schäben zu achten, sonst muß das Material vorher getrocknet werden. Die Feuchtigkeit hat einen großen Einfluß auf die Länge der Preßzeit der Platten, je höher die Feuchtigkeit, desto länger die Preßdauer.

Die Schäben werden nach dem Trocknen mit dem Bindemittel gemischt, wobei eine sehr homogene Verteilung erreicht werden muß, um später gleichmäßige Platten erzeugen zu können. Von der Genauigkeit der Verteilung hängen sowohl die Festigkeitswerte als auch die Wärmedämmwerte ab. Über eine Formstraße wird das Material zur hydraulischen Presse transportiert, wo es entsprechend der gewünschten Rohdichte verdichtet wird, zudem erfolgt die Aushärtung des Bindemittels. Dämmplatten aus Schäben sind z. Z. auf dem Markt nicht erhältlich.

6.3.7 Schüttung aus Zellulose

Die zur Zeit verwendeten Produktionsverfahren für Dämmstoffe aus Altpapier sind sich sehr ähnlich. Die Produkte bestehen je nach Hersteller und späterer Verwendung zu 80 – 90 % aus Altpapier. Das Altpapier durchläuft, nachdem die angelieferten Papierballen in einem Kratzer geöffnet und in einem Schredder vorzerkleinert worden sind, einen mehrstufigen Zerreiß- und Mahlprozeß.



Abbildung 6.2: Foto einer Produktionsanlage der Firma ISOFLOC

Da bei diesen Produkten ein Einhalten der Brandklasse gewährleistet sein muß, werden, je nach Verfahren, gegen Ende oder zu Beginn des Mahlprozesses die notwendigen Stoffe (meistens Mischungen aus gemahlenem Borax und Borsäure (IBO Produktprüfung 1996a) oder anderer Salze wie z. B. Aluminiumhydroxid (STATTBAUHOF 1995) zugesetzt und trocken mit den Zelluloseflocken vermahlen. Diese Substanzen wirken aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften (pH senkend) zusätzlich auch fungizid. Die Zerkleinerungsmaschinen können je nach gewünschter Feinheit des Materials eingestellt werden. Während dieses Prozesses werden die Salze an den Fasern angelagert. Abhängig von der verwendeten Menge an Brandschutzsalzen kann auch die Brandschutzklasse B1 erreicht werden. Das Material wird anschließend in Säcke abgefüllt.

6.3.8 Zellulose-Platten

Für die Herstellung dieser Dämmstoffe werden vor allem Recyclingmaterialien verwendet. Neben Zellulose aus Altpapier (bis zu 50 %) werden zur Armierung und Stabilisierung der Platten Recycling-Jutefasern eingesetzt. Diese stammen von Transportverpackungen, in denen ehemals Rohkaffee oder Tabak gelagert wurde. Als Bindemittel für das Gemisch werden Lignosulfonate und Naturharze, z. B. Tallharz genutzt. Diese Stoffe fallen in der Zellstoffindustrie bei der Herstellung von Papier an und wurden bisher, wenn nicht anders verwendet, verbrannt. Der Anteil der Recyclingrohstoffe beträgt ca. 80 Gew.-%. Als Brandschutzmittel kommt Borax, Borsäure und Aluminiumsulfat zur Anwendung.

Tabelle 6.19: Zusammensetzung von Homatherm Dämmplatten (nach IBO 1996b)

| <i>Rohstoffe</i> | <i>Herkunft</i> | <i>Anteil</i> |
|------------------|--|---------------|
| Altpapier | Sekundärrohstoff | ca. 50 % |
| Recycling-Jute | Sekundärrohstoff | ca. 15 % |
| Lignosulfonat | Sekundärrohstoff, Abfallstoff aus der Zellstoffherzeugung nach altem Verfahren | ca. 15 % |
| Aluminiumsulfat | in großen Mengen gewässergefährdend, im Endprodukt unlöslich gebunden | keine Angabe |
| Borate | natürlich vorkommend, nicht erneuerbar, weite Transportwege | ca 10 % |
| Tallharze | Nebenproduktverwertung aus der Zellstoffindustrie | keine Angabe |

Zur Herstellung der Platten wird zuerst das Altpapier zerkleinert und im Wirbelstrom mit Borax und Borsäure gemischt. Der Prozeß ähnelt dem bei der Herstellung von Schütt- oder Einblasdämmstoffen aus Altpapier. Die Jutesäcke werden zu Fasern zerrissen und anschließend mit dem Aluminiumsulfat und den Bindemitteln Lignosulfonat und Tallharz gemischt. Beide Komponenten werden vermischt und in einer Verfahrensstraße zu Platten mit der erforderlichen Dichte verpreßt. Das verwendete Verfahren ermöglicht eine fast durchwegs trockene Verarbeitung der Ausgangsstoffe. Lediglich zur Aktivierung der Bindemittel vor dem Pressen werden die Platten kurzfristig von Wasserdampf durchströmt, der gleich nach dem Pressen wieder verdunstet. Dies hält den Energieverbrauch niedrig (HOMANN 1997). Hieran schließt sich das Konfektionieren an.

6.3.9 Kork

Das Ausgangsmaterial für die Produktion von Dämmstoffen aus Kork ist die Rinde der Korkeiche. Die Korkeiche ist keine einheimische Art und wächst im gesamten Mittelmeerraum (Spanien, Portugal, Italien und Nordafrika). Die Produzentländer für Korkdämmstoffe sind hauptsächlich Portugal und Spanien. Die Dämmstoffe werden im

allgemeinen in mittleren Betrieben mit 100 - 500 Beschäftigten hergestellt (ZIPSE 1997). Die Erntesaison für die Rinde liegt im Sommer (Juli). Der Kork wird anschließend je nach Güte und Verunreinigung sortiert. Anhaftende Holzteile werden zur Gewinnung von Prozeßwärme verbrannt. Die beste Qualität wird zur Herstellung von Weinkorken verwendet. Die mittlere Qualität zur Produktion von Bodenbelägen und die mindere für die Dämmstoffherstellung. Die Korkdämmstoffe können ohne weitere Zusätze wie Bindemittel, Brandschutzmittel oder Fungizide produziert werden. Dämmkorkgranulat oder -platten werden z. Z. ausschließlich aus expandiertem Kork hergestellt. Hierzu wird der Kork nach der Sichtung zu Korkschrot (2 - 30 mm) zermahlen und mit Wasserdampf zu Korkgranulat expandiert. Man nennt ihn dann auch Blähkork. In diesem Zustand wird er als Schüttdämmung eingesetzt. Wird das Granulat weiter expandiert, so treten bei diesen hohen Temperaturen (250 – 280 °C bei harzreichem Kork, 300 – 400 °C bei weniger harzreichem Kork) die natürlichen Harze (Suberin) aus den Zellen aus und verkleben die Granulatkörner zu einem Block (SÖRENSEN 1995). Dieser Block kann anschließend zu Platten zugeschnitten werden. Man bezeichnet ihn dann auch als expandierter Backkork oder einfach als Korkdämmplatte.

Mittlerweile gibt es eine einheimische Quelle für Kork als Dämmstoff. Es handelt sich um die Verwendung von Recyclingkork (Flaschenkorken). Die Sammlung erfolgt über mehrere zentrale Stellen (ca. 200 t Jahr⁻¹). Die Korken werden sortiert und zu mehreren Körnungsgrößen verarbeitet. Es wird hauptsächlich Korkgranulat zur Schüttdämmung hergestellt.

6.3.10 Schüttung aus Getreide

Ein weiteres Produkt auf Basis von Roggen wird mit Hilfe eines Extrusionsverfahrens hergestellt. Das Getreide wird zerkleinert und extrudiert. Weiter erfolgt eine Zugabe von Gesteinsmehl und Wasserglas als Bindemittel und zum Brandschutz. Dieser Dämmstoff kann als Schütt- oder Einblasdämmung in Hohlräumen von Dächern und Decken verwendet werden. Die Korngrößen liegen zwischen 2 - 4 mm. Verwendet wird das Material mit einer Schüttdichte von 90 - 110 kg m⁻³. Die Wärmeleitfähigkeit dieser Dämmung liegt bei etwa 0,049 - 0,065 W m·K⁻¹ (IGV 1996).

6.3.11 Holzwolle-Leichtbauplatten

Der Grundstoff für Dämmstoffe aus Holzwolle (Holzwolle-Leichtbauplatten) stammt aus der Produktion von holzverarbeitenden Betrieben. Verwendet wird vor allem langfaseriges Nadelbaumholz von Fichten und Kiefern. Um ein Verrotten des Holzes zu verhindern, wird die Holzwolle mit Bittersalz (Magnesiumsulfat) behandelt. Als Bindemittel für die Herstellung der Platten werden Magnesit, Gips oder Zement eingesetzt. Die Holzwolle muß vor ihrer Verwendung gut getrocknet werden, anschließend erfolgt die Vermischung mit dem Bindemittel. Das Pressen der Mischung erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt beinhaltet das Vorpressen in einer Einzelform, die das Plattenformat und die Plattendicke vorgibt. Nach dieser Einzelpressung werden die Rohlinge stapelweise zur Hauptpressung aufgeschichtet und noch einmal gepreßt. Nach der Aushärtung können die Platten zurecht geschnitten werden (IFB 1994).

6.3.12 Holzweichfaserplatten

Die Faserplattenherstellung umfaßt im wesentlichen folgende Arbeitsschritte:

- a. Aufbereitung des Rohmaterials
- b. Erzeugung des Faserstoffs (Vorbehandlung, Zerfaserung)
- c. Stoffaufbereitung (Sortierung, Mahlung, eventuell Trocknung)
- d. Beigabe von Zusatzmitteln
- e. Formung des Faservlieses
- f. Heißpressen bzw. Trocknen der Platten
- g. Nachbehandlung (Wärmevergütung, Klimatisierung).

Die verschiedenen Herstellungsverfahren unterscheiden sich vor allem in der Technik der Faserstoffherzeugung sowie in der Art der Vliesbildung. Je nachdem, ob Transport und Vliesbildung in Wasser oder Luft erfolgt, spricht man von Naß- oder Trockenverfahren. Beim Trocken- und Halbtrockenverfahren dient Luft zur Formung der Fasermatte, die Heißpressung wird aber in ähnlicher Weise durchgeführt wie beim Naßverfahren.

Verarbeitet werden vor allem Nadelhölzer, daneben in zunehmendem Maße Laubhölzer (verarbeitet werden könnte auch Pflanzenmaterial wie Bagasse, Flachs- und Hanfschäben, Schilf u. a.). In der Bundesrepublik Deutschland steht Fichte als Rohstoff an erster Stelle vor Kiefer und Buche. Ein erheblicher Teil davon sind Sägewerksabfälle (auch etwa Sägespäne), wobei ein Rindenanteil bis etwa 10 % keine Qualitätsminderung zur Folge hat. Soweit das Holz nicht bereits in kleinstückiger Form vorliegt, wird es in üblicher Weise zu Hackschnitzel zerkleinert, das Hackgut dann sortiert, mittels Magneten von Metallteilen befreit, gewaschen und schließlich in Vorratsbunkern oder im Freien gelagert. Ein Feuchtegehalt von 50 – 60 % hat sich für eine weitere Verarbeitung als günstig erwiesen. Einjahrespflanzen oder Schilf werden in entsprechender Weise behandelt.

Das Rohmaterial wird in der Regel vor der Zerfaserung gedämpft, um das Zellgefüge aufzuweichen und somit eine schonende Auftrennung in die Faserelemente zu erleichtern. Gleichzeitig geht der für die Defibrierung erforderliche Energiebedarf erheblich zurück, insbesondere wenn die Temperatur bei Nadelhölzern 175 °C, bei Laubhölzern 160 °C übersteigt. Andererseits wird ein mit Dämpftemperatur und -dauer zunehmender Anteil der Holzsubstanz zu wasserlöslichen Stoffen, vor allem Zuckern abgebaut. Beim Naßverfahren führt dies zu Ausbeuteverlusten und zu einer starken Belastung des Abwassers. Noch stärker wirkt sich in dieser Hinsicht eine chemische Vorbehandlung (Kochung) aus. Die Zerfaserung erfolgt im allgemeinen mittels Mühlen, wie sie in gleicher oder ähnlicher Form auch in der Holzstoff- oder Papierindustrie verwendet werden. Eine Ausnahme bildet das Masonite-Verfahren, dem ein anderes Prinzip zugrunde liegt. Der überwiegende Teil des Holzfaserplattenstoffes wird heute nach folgenden drei Verfahren hergestellt.

Holzfaserherstellung, Masonite-Verfahren (Dampfexplosions-Verfahren)

Dampfbehandlung und Zerfaserung erfolgt diskontinuierlich in einer sog. "Mason-Kanone", einem zylindrischen Druckgefäß von 0,5 m Durchmesser und 1,5 m Länge, das oben mit einem Einlaßventil, unten mit einem schnellöffnenden Auslaßventil versehen ist. Die Holzmenge je Charge beträgt ca. 90 kg. Nachdem das Druckgefäß gefüllt und geschlossen ist, wird 30 - 40 s lang Dampf von ca. 20 - 24 bar (210 – 220 °C) eingeleitet, dann der Druck für 5 s auf 70 bar (285 °C) erhöht. Durch plötzliches Öffnen des Auslaßventils entspannt sich der Dampf explosionsartig und schleudert die Holzspäne mit einer Geschwindigkeit von etwa 1000 m s^{-1} durch die enge Auslaßöffnung. Der expandierende Dampf und die Randleistung an den Ventilkanten zerreißen dabei das Holzgefüge zu Fasern und Faserbündeln. Nach Abtrennung des Dampfes in einem Zyklon wird der Stoff gewaschen, auf eine Konzentration

von 1 – 3 % verdünnt und sortiert. Die Leistung der Kanone beträgt etwa 18 Tonnen luftgetrockneten Stoff pro Tag, die Ausbeute ist mit 80 – 84 % verhältnismäßig niedrig. Die Formung von Faservliesen erfolgt hier im allgemeinen nach dem Naßverfahren.

Holzfaserverarbeitung, Defibrator-Verfahren

Dämpfen und Zerfaserung werden kontinuierlich in einem geschlossenen Aggregat, dem Defibrator, vorgenommen. Die mittels einer Schnecke oder eines Kolbens eingespeisten Holzspäne werden in einem Vorwärmer mit Dampf von 8 - 12 bar (170-187 °C) behandelt und erweichen dabei. Die Verweilzeit beträgt 30 - 40 s. Nadelhölzer erfordern eine etwas höhere Temperatur als Laubhölzer, um den gleichen Erweichungseffekt zu erzielen. Als Mahlgerät dient ein spezieller Scheibenrefiner. Defibratoren weisen heute Leistungen von bis zu 130 t pro Tag auf; bei einem Dampfverbrauch von 0,5 - 0,6 t und einem Energiebedarf von 468-648 MJ pro Tonne Faserstoff. Dank der mildereren Arbeitsbedingungen liegt die Ausbeute mit 90 – 95 % höher als beim Masonite-Verfahren. Der Stoff wird vorwiegend nach dem Naßverfahren, z. T. aber auch nach dem Trocken- und Halbtrockenverfahren weiterverarbeitet. Das Defibrator-Verfahren ist in der ganzen Welt verbreitet, in Europa ist es das bei weitem vorherrschende Verfahren.

Holzfaserverarbeitung, Bauer-Verfahren

Vor der Zerfaserung werden die Hackschnitzel meist in einem Grenco-Kocher 10 - 15 min lang mit Dampf von 2,5 - 4,0 bar (126 – 143 °C) behandelt. Durch Zugabe von Natronlauge oder Natriumsulfit kann die Erweichung des Holzes verstärkt werden. In diesem Fall wird häufig anstelle des Grenco-Kochers ein Impressafiner verwendet, in dem gleichzeitig eine Holzzerfaserung stattfindet. Nach der Vorbehandlung sollen die Späne eine Feuchtigkeit von etwa 100 % aufweisen. Die Zerfaserung erfolgt in Bauermühlen (Bauer-Doppelscheibenrefiner), die über zwei gegenläufig rotierende Mahlscheiben ($n = 1440 \text{ min}^{-1}$) verfügen. Die Gegenläufigkeit hat eine verstärkte Reib- und Quetschwirkung zur Folge, schließt aber Zentrifugalkräfte aus. Dadurch verläuft die Zerfaserung besonders schonend und ergibt einen hochwertigen Stoff mit hohem Langfaseranteil. Aus diesem Grund lassen sich auch Laubhölzer und Sägespäne mit gutem Erfolg verarbeiten. Der Energiebedarf ist allgemein höher als beim Defibrator-Verfahren. Ursprünglich wurde die Bauer-Mühle drucklos bei etwa 80 °C betrieben, seit einiger Zeit wird sie auch in druckdichter Ausführung gebaut, die ein Arbeiten bei höheren Dampftemperaturen erlaubt.

Die auf diese Weisen hergestellten Holzfasern können unterschiedlich weiterverarbeitet werden:

Holzfaserverarbeitung, Naßverfahren

Beim Naßverfahren wird, je nach Herstellungsverfahren der Fasern, noch eine Nachzerfaserung und Mahlung vorgenommen. Andernfalls können bei einem zu hohen Anteil an Splintern und groben Faserbündeln mit diesem Verfahren nur Platten minderer Qualität hergestellt werden. In neueren Anlagen wird deshalb der gesamte Stoff ohne vorherige Sortierung einer Mahlung unterworfen, die ihm auch den erforderlichen Mahlgrad verleiht.

Die Verwendung von Leimen und anderen Zusatzmitteln ist in der Regel nicht unbedingt erforderlich, da stoffeigene Bindekräfte für eine ausreichend feste Verklebung der Fasern sorgen. Doch lassen sich Festigkeit und Dimensionsstabilität der Platten durch geeignete Zusatzstoffe wesentlich verbessern. Zur Verbesserung der hygroskopischen Eigenschaften der

Platten werden häufig hydrophobierend wirkende Substanzen, wie Parafine, Wachse und Bitumen in emulgierter Form der Faser Masse beigemischt oder auch als Schmelze auf die Oberfläche des Faservlieses aufgetragen. Letzteres geschieht hinter der Langsieb-Entwässerungs-maschine.

Formung und Entwässerung erfolgen im allgemeinen auf Langsieb-Entwässerungsmaschinen, seltener auf Rundsiebmaschinen. Die Arbeitsgeschwindigkeit des Langsiebes hängt u.a. von den Maschinenkonstanten, Art und Mahlgrad des Faserstoffs, pH-Wert und Temperatur des Wassers, der anfänglichen Stoffdichte und der Plattendicke ab. Der Stoff wird als 0,7 - 2,0%ige Suspension auf das Sieb aufgebracht. Nach Durchlaufen der verschiedenen Entwässerungsstufen (Register-, Sauger- und Gautschpartie) weist die Faserbahn einen Trockengehalt von 35 – 45 % auf. Die Bahn wird seitlich besäumt, abgelängt und dem Trockner (bei nicht gepreßten Platten) oder der Heißpresse (bei gepreßten Platten) zugeführt. Bei der Herstellung von nicht gepreßten Fasermatten wird die Faserbahn mit Heißluft entweder in Einbahntrocknern von 100-200 m Länge oder, wie heute meist üblich, in Mehretagen-Rollentrocknern auf eine Restfeuchte von 3 – 5 % getrocknet (MÖMBÄCHER 1988).

Vorteil dieses Verfahrens ist, daß keine oder nur geringe Mengen an Bindemittel benötigt werden, da im Kochprozeß die holzeigenen Bindemittel aktiviert werden und diese zur Bildung der Platte nutzbar bleiben. Ein kleiner Nachteil des Naßverfahrens mit dem Trockner ist die, gegenüber dem Verfahren mit der Presse, geringere Maßhaltigkeit der Dicke. Wesentlich stärkere Auswirkungen auf das Entwicklungspotential der Holzfaserdämmplatte nach dem Naßverfahren ergeben sich aus der Beschränkung des Dichtespektrums nach unten. Bedingt durch das Formverfahren läßt sich die Rohdichte der Platten nicht unbegrenzt verringern. Diese Holzfaserdämmplatten liegen daher in ihrer Rohdichte zwischen 170 und 350 kg m⁻³. Diese relativ hohen Rohdichten bringen es mit sich, daß Holzfaserdämmplatten eine entsprechend hohe Wärmeleitfähigkeit von λ_R zwischen 0,045 und 0,070 W(m · K)⁻¹ haben. Holzfaserdämmplatten nach dem Naßverfahren finden heute hauptsächlich ihre Anwendung als diffusionsoffene Außenschale im Holzrahmenbau, als diffusionsoffene Unterdachplatte, als Dämmstoff in einem Wärmeverbundsystem, als Aufsparrendämmung und in der Trittschalldämmung (LANGE 1998).

Holzfaserverarbeitung, Trocken- und Halbtrockenverfahren

Beim Trocken- und Halbtrockenverfahren wird in der Regel das Sortieren und Nachmahlen erst nach der Trocknung vorgenommen. Sie können aber auch ganz entfallen, vor allem wenn die Zerfaserung vorher in Bauer-Mühlen erfolgte. Die Trocknung führt man häufig in u-förmigen Trockenrohren und Düsenrohr Trocknern, seltener in rotierenden Trommeltrocknern durch, wobei der Feuchtegehalt in der ersten Stufe von 100 % auf 60 – 70 % herabgesetzt wird. Die Endfeuchte beträgt beim Trockenverfahren 8 – 10 %, beim Halbtrockenverfahren 22 – 35 %. Da während des Trocknungsprozesses akute Brandgefahr besteht, sind die Anlagen meist mit einer besonderen Löschvorrichtung ausgestattet. Die Fähigkeit der Faser zur Eigenverklebung nimmt mit sinkendem Feuchtegehalt unterhalb des Fasersättigungsbereichs schnell ab, deshalb kommt man nicht ohne zusätzliche Leimung aus. Die Beleimung erfolgt entweder bereits in der Mahlzone des Zerfaserers oder aber im Verlauf der Stoffaufbereitung durch Aufsprühen auf die Fasern während des Transportes (Blow-line-Verfahren, Beleimung von Fasern) bzw. in besonderen Leimmischern. Für spezielle Zwecke werden den Faserstoffen auch insektizide, fungizide und feuerhemmende Mittel zugesetzt.

Bei den Trockenverfahren bereitet dies keine Schwierigkeiten, ist aber beim Naßverfahren wegen der damit verbundenen Abwasserbelastung problematisch.

Im Unterschied zum Naßverfahren wird Luft zum Transport der Fasern und zur Formung des Faservlieses verwendet. Letzteres geschieht mittels Streumaschinen, die es in verschiedenen Ausführungen gibt. Die Fasern werden pneumatisch durch Pendeldüsen über die Breite eines umlaufenden Siebs verteilt. Die Frequenz der Pendelschwingungen ist regelbar, ein gebräuchlicher Wert ist 120 min^{-1} . Bei Siebgeschwindigkeiten von 60 m min^{-1} beträgt die Leistung der Anlage etwa 300 t pro Tag (MOMBÄCHER 1988). Die Verfestigung der Matte erfolgt durch Aktivierung der Bindemittel mittels Wasserdampf. Kalibrierung, Trocknung und Aushärtung geschehen in einem Durchströmungstrockner, in dem die Platte mit heißer Luft durchströmt wird. Dies ermöglicht es, die Platten in wesentlich größeren Dicken herzustellen als bei Verfahren mit Pressen oder Düsentrocknern.

Vorteil der Trockenverfahren ist die Möglichkeit, die Rohdichte der Platten weit unter 100 kg m^{-3} senken zu können. Versuchsweise wurden an den verschiedenen Institutionen, die sich derzeit mit Trockenverfahren beschäftigen, schon Dichten von nur 60 kg m^{-3} erreicht. Dies eröffnet die Option, die Wärmeleitfähigkeit λ_R unter $0,045 \text{ W(m} \cdot \text{K)}^{-1}$ zu senken. Die bisher im Handel erhältlichen Holzfaserdämmplatten nach dem Trockenverfahren haben eine Rohdichte von $120\text{-}140 \text{ kg m}^{-3}$ und eine Wärmeleitfähigkeit λ_R von $0,045 \text{ W(m} \cdot \text{K)}^{-1}$ (LANGE 1998).

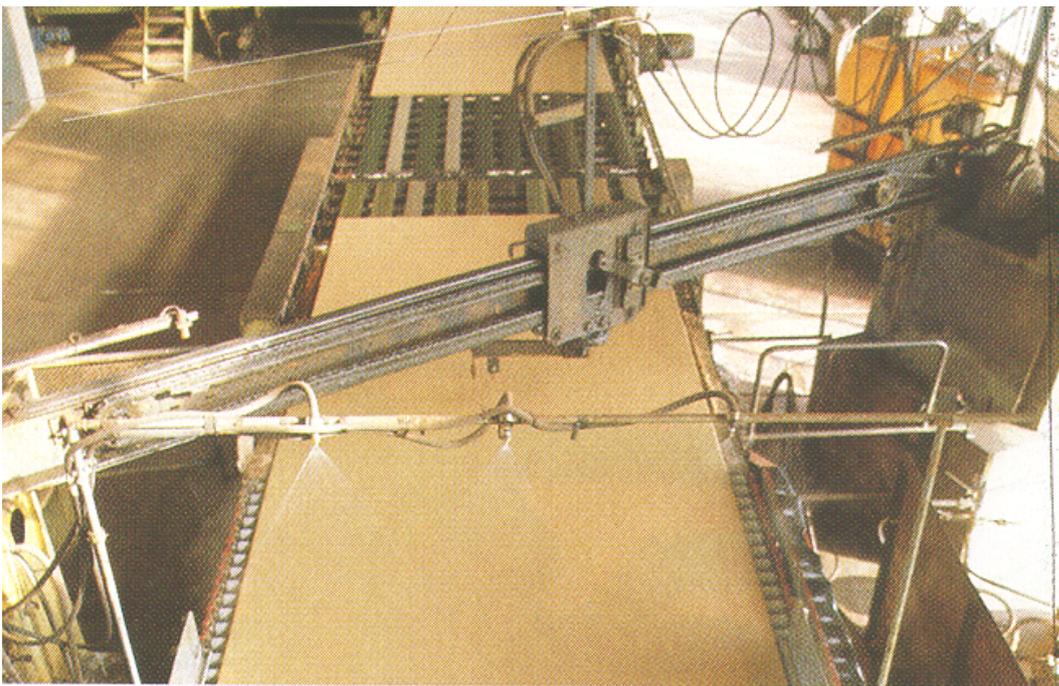


Abbildung 6.3: Foto einer Formstraße für Holzfaserdämmstoffe (PAVATEX 1996)

Frischzelluloseherstellung

Schütt- oder Sprühdämmung aus Frischzellulose (SVENSKA THERMOTRÄ 1997) werden ebenfalls zumeist aus Resthölzern der Forstwirtschaft oder Sägemühlenabfällen hergestellt. Das Material wird von Rindenresten befreit und anschließend zerfasert und gereinigt. Daran schließt sich eine Trocknung an. Die gewonnenen Fasern müssen wegen ihrer späteren Verwendung als Dämmstoff mit Brandschutzmitteln behandelt werden. Wie bei anderen Dämmstoffen wird auch hier vorwiegend eine Borax/Borsäure-Mischung verwendet.

Wasserglas-Verfahren

Eine weitere Möglichkeit der Herstellung von Dämmstoffen aus Holzfasern besteht in der Verwendung eines anderen Bindungsverfahrens. Die Verfestigung wird nicht durch Pressen erzeugt, sondern durch ein anorganisches Bindemittel, nämlich Wasserglas (RICHTER, SCHEIDING 1995). Die Herstellungstechnik kann für eine Vielzahl von Ausgangsmaterialien verwendet werden. Sie reicht von Gemischen aus Holzresten, pflanzlichen und tierischen Fasern, Stroh und Recyclingprodukten wie Altpapier, Alttextilien, Flotationsabfällen bis zu Polystyrolgranulat.

Tabelle 6.20: Vergleich von Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Einsatz von mit dem Wasserglas-Verfahren hergestellten Wärmedämmstoffen (RICHTER, SCHEIDING 1995)

| Dämmstoffvariante | Rohdichte (kg m ⁻³) | Wärmeleitfähigkeit (W/m · K) | vorrangiger Einsatzzweck |
|--|---------------------------------|------------------------------|--|
| Spandämmstoffe | | | - Innenausbau |
| Schneidspanplatte, starr | 130 - 153 | 0,0538 - 0,0782 | - selbsttragende Bauelemente mit wärmedämmendem Nebeneffekt |
| Waferplatte, starr | 134 | 0,0675 | |
| Fräspanplatte, starr | 131 | 0,0631 | |
| Faserdämmstoffe | | | - Wärmedämmplatte, selbsttragend |
| Holzfaserdämmstoff, grob, weich bis fest | 80 - 170 | (0,040 - 0,050)* | - Wärmedämmstoff, vorrangig in Verbundelementen als Zwischenlage |
| Holzfaserdämmstoff, fein, weich | 83 | 0,0351 | |
| Rindendämmstoffe | | | |
| Rindendämmplatte | 150 | 0,0747 | - Mulchplatte für gärtnerische und Forstkulturen |
| Kombinationsdämmstoffe | | | |
| Span-Faser-Dämmstoff, steif in Faserrichtung, weich quer zur Faserrichtung | 140 | (0,045 - 0,055)* | - Wärmedämmstoffe, vorrangig in Verbundelementen als Zwischenlage |
| Span-Polystyrol-Granulat-Dämmstoff, steif | 88 | 0,0556 | |
| Span-Polystyrol-Granulat-Dämmstoff, fest | 64 | (0,035)* | - Bauelemente, bedingt selbsttragend, vorrangig wärmedämmend |
| Holzfasertextil-Dämmstoff, weich | 140 | (0,045)* | |
| Holzfaserpapier-Dämmstoff, weich | (150)* | (0,035 - 0,045)* | |
| Verbunddämmstoffe | | | |
| Span-Faser-Span-Dämmplatte, starr in Span- und Faserrichtung, fest quer zur Span- und Faserrichtung | 185 | (0,045 - 0,050)* | - Selbsttragende und wärmedämmende Bauelemente für den Innen- und Außenbereich |
| Span-Papier-Span-Dämmplatte, starr in Span- und Faserrichtung, fest quer zur Span- und Faserrichtung | (160 - 190)* | (0,045 - 0,050)* | - geeignet als Putzträger |

()* Klammerwerte sind von vergleichbaren Produkten abgeleitete Werte

Der Gedanke liegt darin, eine Verminderung des für die Dämmleistung wichtigen Porenraumes durch das Pressen zu vermeiden. Deshalb wird bei diesem Verfahren (Trockenverfahren) Kaliwasserglas eingesetzt. Die Holzfasern oder Späne werden mit einer wässrigen Lösung von Wasserglas vermischt (Feststoffanteil des Bindemittels ca. 30 %). Die Partikel müssen gleichmäßig benetzt sein, um eine homogene Bindung zu erzielen. Das Gemisch wird dann zwischen zwei Siebbändern auf die gewünschten Abmessungen gebracht und mit Hilfe eines Wechselgebläses mit einem Heißluft-Kohlendioxid-Gemisch beaufschlagt. Als Quelle für dieses Gas können industrielle Heißgase aus Verbrennungsprozessen verwendet werden, deren CO₂-Anteil vom Dämmstoffvlies gebunden werden kann und deren Wärmeinhalt der Trocknung des

Vlieses dient. Während dieser Begasung reagiert das saure Kohlendioxid mit dem alkalischen Wasserglas zu Kieselsäure und Wasser. Dieses wird mit dem Heißluftstrom aus dem gehärteten Dämmstoffvlies ausgetrieben (RICHTER 1993). Die so entstandene Platte ist aufgrund der brandhemmenden Eigenschaften der Kieselsäure in die Brandklasse B2 einzustufen und kommt so ohne zusätzlichen Brandschutz aus. Weiterhin besitzt das Material einen pH-Wert von ca. 10,5 und wirkt deshalb insektizid sowie auch fungizid, da Pilze im allgemeinen einen neutralen pH-Wert ihres Lebensraumes bevorzugen.

6.3.13 Holzspäne

Für die Verwendung von Holzspänen als Grundstoff für die Dämmstoffherstellung gilt ähnliches wie für die anderen Dämmstoffprodukte aus Restholz. Holzspäne können in Plattenform oder als Schüttung eingesetzt werden. Als Beispiel für die Verwendung als Dämmschüttung ist das "Rosenheimer Haus" zu nennen (entwickelt an der Fachhochschule Rosenheim in Zusammenarbeit mit dem Fertighaushersteller Baufritz GmbH). Die Hobelspäne werden für diese Anwendung zuerst gesiebt und anschließend in einer Dosieranlage mit einer Mischung aus Molke, einem Abfallprodukt aus der Milchindustrie, und Soda vermengt. Diese Mischung bietet einen Schutz gegen Schimmelpilze und verbessert den Brandschutz (Brandschutzklasse B2) (SCHWARZ 1994). Die Messungen des Institutes für Wärmeschutz in München ergab eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,045 \text{ W/mK}$ ($\lambda_R = 0,055 \text{ W/mK}$) bei einem Verdichtungsgrad von 50 bis 75 kg m^{-3} .

6.4 Zusammenfassung und Diskussion

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen können aus einer Vielzahl von Ausgangsmaterialien hergestellt werden. Von gut bekannten Materialien wie Flachfasern bis zu Materialien wie Roggenschrot.

In den letzten Jahren sind im Rahmen des aufstrebenden Marktes für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen eine Reihe von neuen Entwicklungen entstanden. Es wurden unterschiedlichste Materialien auf ihre Eignung als Dämmstoff untersucht. Auch bereits bekannte aber seit längerer Zeit nicht mehr verwendete Ausgangsmaterialien (wie z. B. Stroh) wurden für diesen Bereich neu entdeckt. Aus der Vielzahl dieser Entwicklungen haben sich bis heute jedoch nur 3 Gruppen durchgesetzt. Dies sind zum einen die Dämmstoffe aus Zellulose aus Altpapier (28,4 % des Marktes der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen), zum zweiten die Dämmstoffe auf Basis von Holzfasern (21,4 %); als drittes sind hier die Produkte aus Flach- und Hanffasern mit 4,3 % des Marktanteils zu nennen.

In diesen Bereichen ist es zu einer Konzentration der Produktion auf nur wenige Firmen mit großen Produktionskapazitäten gekommen. Da der Absatz auf dem Markt noch nicht hoch genug ist, sind in der Euphorie des beginnenden Marktes Überkapazitäten geschaffen worden, die sich negativ auf die Preiskalkulierung auswirken. Ein Abbau dieser Überkapazitäten würde sich positiv auf eine Preissenkung auswirken.

Die für die Hauptgruppen verwendeten Produktionsverfahren sind im allgemeinen gut ausgereift; was jedoch den Energieverbrauch betrifft, sind diese Verfahren sicher noch optimierbar.

7 Ökologische Bewertung

Behring¹, H., Murphy¹, D.P.L., Höppner⁵, F.

7.1 Einleitung

Es ist nicht zu erwarten, daß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen allein über den Preis mit konventionellen Materialien erfolgreich konkurrieren können. Darum müssen diese Produkte gegenüber kostengünstigeren konventionellen Produkten weitere Vorteile aufweisen. Eine nachhaltige Akzeptanz für Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen kann daher nur durch die Kombination von drei Voraussetzungen erreicht werden. Erstens muß durch eine effiziente Produktion ein akzeptabler Produktpreis realisiert werden, zweitens müssen interne (technische) Vorteile für Produzenten und Konsumenten bestehen und drittens müssen die Produkte externe (umweltrelevante) Vorteile für die Gesellschaft bringen. Höhere Produktionskosten (im Vergleich zu den nicht erneuerbaren Alternativen) können durch einen angemessen höheren Marktpreis aufgefangen werden, wenn das Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen entsprechende technische Vorteile bei Anwendung und Nutzung bietet. Begünstigt wird der Einsatz dieser Produkte außerdem durch die Bereitschaft der Käufer, einen höheren Preis für umweltfreundliche Produkte zu zahlen. Eine weitere Möglichkeit, die Kostenlücke zu schließen, ist die Gewährung von Subventionen oder steuerlichen Vergünstigungen für Produkte, deren umweltschonende Eigenschaften die Kosten für die Gesellschaft reduzieren. Sowohl die Bereitschaft der Konsumenten, einen höheren Produktpreis zu zahlen, als auch die Bereitschaft der Gesellschaft zur Subventionierung von nachwachsenden Rohstoffen ist langfristig von unumstrittenen und überprüfbaren ökologischen Vorteilen abhängig.

Eine wichtige primäre Einflußgröße für Umweltschutz und Ressourcenschonung ist der rationelle Energieeinsatz. In diesem Zusammenhang ist bedeutend, daß ein großer Teil des Energieverbrauchs auf den Gebäudebereich entfällt. Etwa 37 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland wird für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser benötigt (BMBAU 1995). Eine bessere Wärmedämmung gilt als schnellste und wirksamste Maßnahme zur Reduzierung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes. Das Bestreben zur Reduktion von Energiebedarf und Emissionen sollte jedoch nicht dazu führen, daß Baustoffe eingesetzt werden, die bei der Herstellung, im eingebauten Zustand oder bei der Entsorgung, zusätzlich neue Probleme verursachen. Um den Umweltbelastungen wirksam zu begegnen, sollten ökologisch unbedenkliche Baustoffe mit einer langen Lebensdauer Verwendung finden, die bei der Herstellung umweltverträglich sind, von denen während der Nutzungsdauer keine Gefahren ausgehen und die bei Abbruch des Gebäudes möglichst wieder in den Stoffkreislauf integriert werden können (Abbildung 7.1). Neben den "klassischen" bautechnischen und bauwirtschaftlichen Anforderungen erlangen so die volkswirtschaftlichen, humantoxikologischen und abfallwirtschaftlichen Kriterien immer mehr Gewicht.

Die Methode zur ganzheitlichen Beurteilung ist die Ökobilanz, in welcher innerhalb bestimmter festgesetzter Systemgrenzen (Untersuchungsrahmen) die Stoff- und Energieflüsse erfaßt und ökologisch bewertet werden. Eine Ökobilanz soll möglichst lückenlos alle Umweltvorteile und -nachteile eines Lebensweges darstellen. Im Bauwesen sollte es sicherlich das Ziel sein, die Umweltwirkungen von kompletten Konstruktionen oder ganzen Gebäuden insgesamt zu betrachten. Produktökobilanzen, die als Grundlage für eine ökologische Bewertung der verschiedenen Konstruktionen herangezogen werden können, sind jedoch erst für wenige Baustoffe verfügbar.

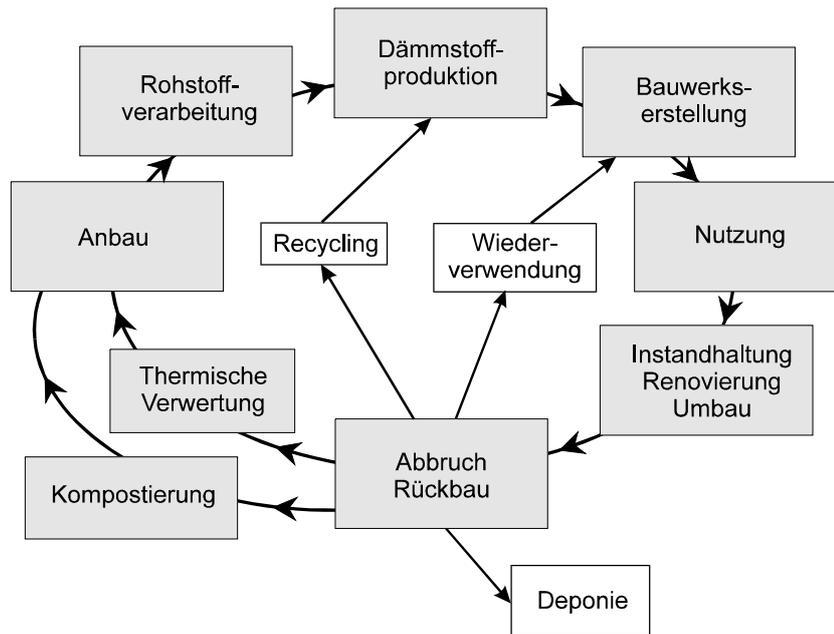


Abbildung 7.1: Lebenszyklus von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Eine solide, umfangreiche Datengrundlage der innerbetrieblichen Produktion ist für eine Produktökobilanz ebenso unerlässlich wie wissenschaftlich fundierte Untersuchungen zu den Wirkungen der verschiedenen Umweltparameter. Es ist daher leicht vorstellbar, daß die Aufstellung einer Ökobilanz in der Praxis einen erheblichen Arbeitsaufwand erfordert. Außerdem ist es oft schwierig, eine ausreichende Datenqualität zu erreichen und auch die ökotoxikologische Einschätzung verschiedener Stoffe zur Bewertung der Umweltwirkungen ist oftmals sehr umstritten. Ökobilanzdaten und Informationen zur ökologischen Bewertung von Baustoffen, insbesondere von Dämmstoffen, sind u.a. aufgrund folgender Veröffentlichungen zu erhalten:

- CEUTERICK, D. (1993): Life cycle inventory for wall insulation products.
- BOISITS, R. (1993): Dämmstoffe auf dem ökologischen Prüfstand.
- SCHWEIZERISCHE INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREIN (1995): Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten.
- STRANDDORF, K. *et al.* (1995): Thermal insulation products. Impact assessment and criteria for eco-labelling.
- FUEHRES, M. (1996): Die Alternativen.
- GÖHLER, S. (1996): Ökologische Baustoffe.
- STIFTUNG WARENTEST (1996): Dachdämmung.
- WEGENER, G. *et al.* (1997): Ökobilanzen Holz.
- SÖRENSEN, C. (1997): Wärmedämmstoffe im Vergleich.
- SCHWARZ, J. (1998): Ökologie im Bau.

Nach Auskunft von Herstellern sind Ökobilanzen für Mineralwolle-, Schafwolle- und Flachsdämmstoffe zur Zeit noch in Arbeit.

Bei einer Bewertung der Umwelteinflüsse während der Nutzungsphase von Dämmstoffen ergibt sich natürlich eine Energieeinsparung durch ihre Funktion (Dämmung). Eine starke

Gewichtung der Nutzungsphase bei der ökologischen Bewertung von Dämmstoffen würde dazu führen, daß alle Dämmstoffe "ökologische Produkte" sind, weil sich unabhängig von der Umweltverträglichkeit von Produktion und späterer Produkentsorgung immer eine Energieeinsparung und CO₂-Reduktion aufgrund der Dämmleistung ergibt. Die Bewertung der Umweltwirkungen durch Ersetzen eines konventionellen Dämmmaterials durch nachwachsende Rohstoffe stützt sich statt dessen größtenteils auf den Vergleich der Energie- und Stoffbilanzen von Produktion und Entsorgung.

Für die Produktion von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind Energieverbrauch und Transport die Hauptquellen der Umwelteinflüsse. Eine wichtige Größe im Rahmen einer ökologischen Bewertung für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen ist daher der Primärenergieaufwand. Wenn Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen mit einem "sehr niedrigen" Primärenergieaufwand (z. B. < 100 MJ m⁻³) zur Substitution von Produkten mit einem hohen Energieaufwand (über 1000 MJ m⁻³) genutzt werden, dann sind die umweltbedingten Vorteile für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hoch. In den Quellen weisen die Primärenergieaufwendungen z. T. jedoch sehr unterschiedliche Werte oder eine große mögliche Spanne auf. Gründe dafür sind: Unterschiedliche Produktionsverfahren bei einer Produktgruppe, der Einsatz verschiedener Energieträger oder unterschiedliche Datengrundlagen aufgrund Veränderungen in der Produktion. Außerdem wird ein direkter Vergleich erschwert durch mangelnde Klarheit bezüglich der Systemgrenzen und verwendeten Methoden. Bei den meisten Herstellerangaben ist unklar, ob es sich um End- oder Primärenergiewerte handelt. Auch die in der Literatur zu findenden Informationen sind leider oft unklar und manche Primärenergiewerte sind offensichtlich zu niedrig eingeschätzt. Außerdem liegen für einige Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bisher keine Sach- und Energiebilanzdaten vor (z. B. für Dämmstoffe aus Flachs und Hanf). Eine kritische Betrachtung der Herstellungsprozesse schließt die Frage ein, ob der Primärenergieaufwand von einigen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen tatsächlich derart niedrig ist.

7.2 Rohstoffbereitstellung und Dämmstoffproduktion

7.2.1 Landwirtschaftliche Hauptprodukte

Flachs

Im Mittelpunkt des europäischen Interesses stehen beim Flachsanzbau die langen Fasern, die für die Textilienproduktion eingesetzt werden. Dämmstoffe werden bisher überwiegend aus den Flachskurzfasern, dem sogenannten Werg gefertigt. Die vollständige Nutzung des Erntegutes ist sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen positiv zu beurteilen. Durch die Verwendung des Wergs zur Dämmstoffherstellung wird ein Reststoff zu einem sinnvollen und hochwertigen Produkt.

Der Anbau von Flachs kann zur Auflockerung der Fruchtfolge und zur Schaffung von neuen bzw. Wiederansiedlung von verschwundenen Agrarökosystemen beitragen. Mit der Wiedereinführung bzw. Ausdehnung des Flachsanzbaus kann sich möglicherweise eine seltene, weil spezifische Begleitflora entwickeln. Der Leindotter und das Flachsleinkraut sind z. B. gefährdete Pflanzenarten, die mit dem Anbau von Lein vor dem Aussterben bewahrt werden könnten. Mit dem Rückgang der Flachsproduktion sind diese Begleitpflanzen beinahe vollständig aus dem Landschaftsbild verschwunden. Ähnliches gilt für andere Pflanzen, wie z. B. den Leinloch und die Flachsseide, obwohl diese auch auf anderen Leinarten gedeihen können (WINTZER *et al.* 1993). Die Gefahr der Bodenbelastung ist bei diesen Pflanzenarten angesichts der niedrigen Erntemengen und der trockenen Witterung während der Erntezeit, als

eher gering anzusehen. Auch das Risiko der Bodenverdichtung und Erosion wird bei Flachs als gering eingestuft.

Flachs benötigt als Starthilfe eine Herbizidbehandlung, kommt danach aber meist ohne zusätzliche Krankheits- und Schädlingsbekämpfungsmittel aus. Gegen tierische Schaderreger ist nur bei sehr frühem (Keimpflanzen) Starkbefall durch den Wolfsmilcherdfloh (*Apthoria euphorbiae*) eine Insektizidbehandlung notwendig. Pilzliche Schaderreger wie Rost und Mehltau wurden gelegentlich beobachtet, traten bisher aber nur in abreifenden Beständen verstärkt auf und erfordern keine Behandlung, sondern können sogar die Feldröste unterstützen (ADAM *et al.* 1997). Eine Saatgutbeizung wird ebenfalls empfohlen. Die Stickstoffdüngung im Flachsanbau ist relativ niedrig. Eine organische Düngung des Flachs ist aufgrund der unkontrollierten Nährstofffreisetzung nicht zu empfehlen. Die Nährstoffbilanz für Stickstoff ist normalerweise negativ, die durch den Düngereinsatz verursachten Emissionen sind vergleichsweise unbedeutend.

Bei der Herstellung von Flachsdämmstoffen sind je nach Produkt verschiedene Zusatzstoffe wie Borsalz, Borsäure, Ammoniumphosphat, Wasserglas und Kartoffelstärke üblich (SDUNNUS 1997; STEINER 1997). Bei größeren Dämmstoffdicken können zusätzlich künstliche Stützfasern eingebracht sein. Die Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit von Bor und seinen Verbindungen wird ausführlich im Abschnitt 7.3.1 beschrieben.

In der Literatur gibt es bisher keine Energie- und Sachbilanzdaten für Dämmstoffe aus Flachs. Es wurde daher eine Energiebilanz für Modellprodukte (Flachsdämmstoffvlies als Hauptprodukt) aufgestellt (BEHRING und MURPHY 1998). Auf Anbau und Ernte entfallen 79 - 101 MJ m⁻³ und auf die Verarbeitung 64 - 82 MJ m⁻³. Der Primärenergieaufwand für den Transport von Fasern und fertigen Dämmstoffprodukten ist gering (ca. 28 MJ). Der größte Anteil des Primärenergieaufwandes entfällt mit 167 - 379 MJ m⁻³ auf die Produktion des Dämmstoffes, der mit der neuen 'Kurz'-Faser-Technologie hergestellt wurde.

Der errechnete Primärenergieaufwand für die Produktion stimmt mit Herstellerangaben überein (GRÄF 1998). In beiden zugrunde gelegten Produktionsbeispielen ist eine Optimierung durch eine effizientere Produktionskette und eine höhere Kapazitätsauslastung möglich, wodurch der Energieaufwand für die Produktion gesenkt werden könnte.

Der gesamte Primärenergieaufwand für Flachsdämmstoff liegt somit bei 350 - 600 MJ m⁻³. Bei der derzeitigen Verwendung des Nebenproduktes Kurzfasern als Rohstoff ist der tatsächliche Primärenergieaufwand geringer, denn der Hauptanteil der Umweltwirkungen des Anbaus wird dann dem Hauptprodukt zugerechnet.

Für den Vergleich von Flachsdämmstoffen mit künstlichen Mineralfasern wurde für letztere ein durchschnittlicher Primärenergieaufwand von 1077 MJ m⁻³ zugrunde gelegt. Es zeigt sich, daß der Primärenergieaufwand und die durch Anbau und Dämmstoffproduktion verursachten Emissionen von Flachsprodukten (mit Ausnahme von N₂O) bei 50 - 60 % der Werte liegen, die sich bei der entsprechenden Produktionsmenge von Glaswolle ergeben. Berücksichtigt man die Entsorgung durch thermische Verwertung (16 MJ kg⁻¹) und die Verwendung von Nebenprodukten zur Energiegewinnung ergibt sich ein Energievorteil von 104 -131 GJ ha⁻¹ und ein CO₂-Minderungseffekt von 8 - 10 t ha⁻¹ (BEHRING und MURPHY 1998).

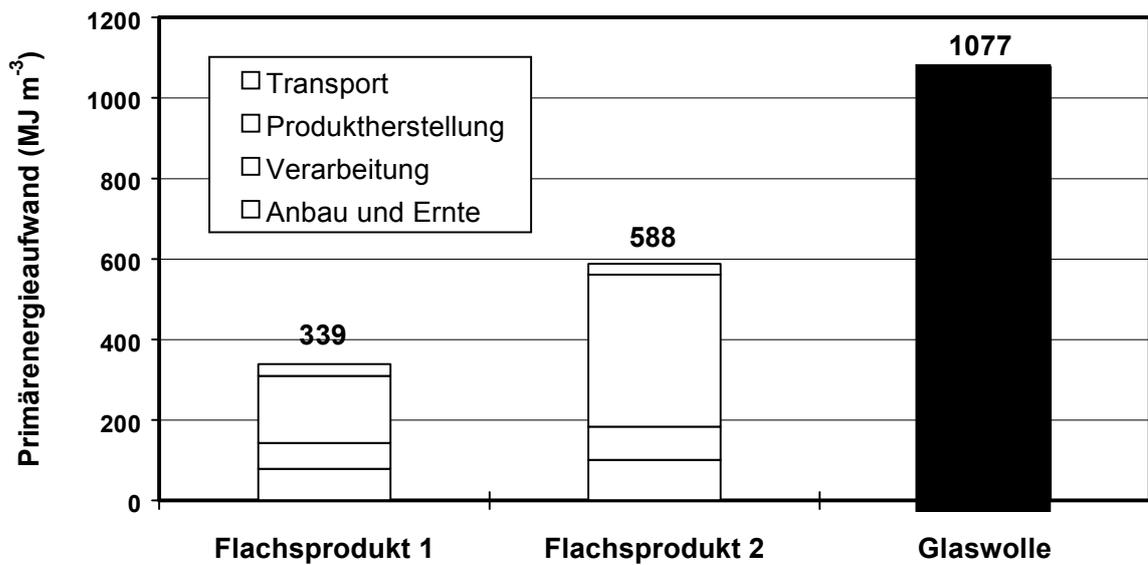


Abbildung 7.2: Vergleich des Primärenergieaufwandes für Flachsdämmstoffprodukte und Mineralfaserdämmstoffe

Hanf

Der Anbau von Hanf stellt ebenso wie Flachs eine positive Bereicherung der Kulturpflanzenpalette für die Fruchtfolge dar. Hanf erreicht aufgrund seines starken vegetativen Wachstums schon nach 2 - 3 Wochen eine vollständige Bodenbedeckung, die eine Bodenerosion weitestgehend verhindert. Hanf ist durch den hohen, auf dem Feld verbleibenden Wurzel- und Blattanteil als humusneutral bis leicht humusmehrend einzustufen (ADAM *et al.* 1997). Herbizide oder aufwendige mechanische Beikrautregulierung sind nicht erforderlich. Durch seine überdurchschnittliche Resistenz gegenüber Krankheiten und Schädlingen kann auch weitgehend auf Pestizide verzichtet werden. Ein Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel gegen pilzliche und tierische Schaderreger ist bis auf die Saatgutbeizung selten erforderlich (BOCSA und KARUS 1997).

Der Primärenergieaufwand für Dämmstoffe aus Hanf ist nicht bekannt. Für Hanfdämmmatten dürfte er sich in der gleichen Größenordnung wie bei Flachsdämmstoffen bewegen. Bisher kommen jedoch zur Dämmung überwiegend Hanfschäben zum Einsatz, die allein oder zusammen mit Korkschor oder Blähton in bitumierten Produkten für Fußbodenschüttungen Verwendung finden.

7.2.2 Landwirtschaftliche Nebenprodukte

Schafwolle

Schafe werden zur Landschaftspflege und Nahrungsmittelproduktion gehalten. Schafwolle fällt dabei geradezu als Nebenprodukt an. Zwar sind die Vorräte zur Erhaltung eines ökologischen Artengleichgewichts begrenzt, aber Schafwolle ist trotzdem als nachwachsender Rohstoff anzusehen. Als Rohstoff wird Schafschurwolle eingesetzt, die zum Teil aus Deutschland, zum überwiegenden Teil jedoch über das Internationale Wollsekretariat vom Weltmarkt bezogen wird. Zum Schutz vor Ektoparasitenbefall sind in den Haupterzeugerländern biologisch abbaubare Pestizide zur Behandlung der Schafe zugelassen. Als hydrophobe Substanzen binden sich Pestizide überwiegend an das Wollfett. Für die Nutzung als Dämmstoff muß die Wolle entsprechend behandelt werden, wobei sich der Pestizidgehalt auf Spurenmengen reduziert (SCHULZ 1993). In den Erzeugerländern der sogenannten dritten Welt kommt es durch den Pestizideinsatz jedoch immer wieder zu Gesundheitsschäden und zu Belastungen von Wasser und Boden (ZWIENER 1995).

Einige Dämmstoffprodukte werden mit Mottenschutzmitteln (Eulan, Pyrethroide) ausgerüstet, z. T. werden Borsalze und textile Stützfasern eingebracht. Der Primärenergieaufwand von Schafwolle-Dämmstoffen wird in der Literatur oft nur mit "sehr niedrig" oder mit 20 - 35 kWh m⁻³ (72-126 MJ m⁻³) angegeben (EIKE-HENNIG 1997; FUEHRES 1996). Diese Angabe ist zu niedrig, wenn man bedenkt, daß es sich prinzipiell um den gleichen Produktionsprozeß wie zur Herstellung von Flachsdämmstoffmatten handelt, für den ein Primärenergieaufwand von 167-379 MJ m⁻³ benötigt wird. Neue Herstellerdaten zeigen auch, daß allein für den Produktionsprozeß von Schafwolle-Dämmstoffen durchschnittlich 287 MJ m⁻³ Primärenergie eingesetzt werden (GRÄF 1998). Diesem Primärenergieaufwand liegen als Energieträger zu ca. 40 % Gas und ca. 60 % Strom zugrunde, welche mit den üblichen primärenergetischen Wirkungsgraden von 85 % (Gas) und 33 % (Strom) in die Berechnung eingehen. Der gesamte Primärenergieaufwand von Schafwolle-Dämmstoffen wird aufgrund dieser Daten auf etwa 300 MJ m⁻³ geschätzt, da der Rohstoff ein Nebenprodukt ist und ohne aufwendige Prozesse gewonnen wird. Ökologisch gesehen sollte, im Hinblick auf die Transportwege und die vorhandenen Kapazitäten, heimische Schafwolle verwendet werden.

7.2.3 Holz

Holzfasern und Holzwolle

Holzweichfaserplatten werden aus heimischen Nadelholzabfällen (Fichte, Tanne, Kiefer) hergestellt. Zum Verkleben der Platten wird oft Weißleim (Dispersionsklebstoff auf Basis von Polyvinylalkohol) verwendet. Gegen Schimmel und Fäulnis können Aluminiumsulfat und als Flammschutzmittel Ammoniumsulfat zugesetzt sein. Einige Produkte sind mit Paraffin oder mit bis zu 10 % Bitumen imprägniert. Bitumen wird des öfteren hinsichtlich seiner Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit diskutiert.

Holzwohle-Leichtbauplatten werden aus langfaseriger Fichten-, Linden- oder Kiefernholzwohle mit Magnesit, Gips oder Zement als Bindemittel hergestellt. Als Schutzimprägnierung gegen Verrottung wird Holzwohle mit Magnesiumsulfat (Bittersalz) behandelt. Der Einsatz von Bittersalz in Baustoffen ist unbedenklich, schützt jedoch nicht vor Schädlingsbefall (ZWIENER 1995). Toxische Emissionen während der Nutzungsphase sind nicht bekannt.

Der nachwachsende Rohstoff Holz ist ausreichend vorhanden. Die Rohstoffgrundlage Rest-, Alt- und Schwachholz fällt unmittelbar durch die vielen nationalen Holzverarbeitungsbetriebe im Überschuß an. Ihre Verwendung führt zu einer vollständigeren Rohstoffausbeute. Weitere Abfälle wie Rindenreste können als Humus aufbereitet werden. Zum vergleichsweise hohen Primärenergieaufwand von 2520 - 3240 MJ m⁻³ (SÖRENSEN 1997) ist anzumerken, daß als Energieträger oft Abfallholz und Holzschlämme aus dem Produktionsablauf verwendet werden. Außerdem kann bei nicht bitumierten Produkten der Heizwert von etwa 17 MJ m⁻³ nach Ausbau genutzt werden. Als Umweltbelastung bei der Produktion ist vor allem die Abwasserverunreinigung zu nennen. Der durch Hydrolyse von Hemizellulose entstehende Zucker belastet das Abwasser als Sauerstoffverzehrer (SÖRENSEN 1997). Wesentlich ist daher ein geschlossener Prozeß-Wasserkreislauf, wie er in vielen Herstellungsbetrieben schon zum umwelttechnischen Standard gehört. Unter dieser Voraussetzung ist die Verwendung von Holzfaser und -wolle ökologisch sinnvoll.

7.2.4 Recyclingrohstoffe

Zellulose

Zur Herstellung von Zellulosefaser-Dämmstoffen wird Altpapier von Tageszeitungen zu Flocken zerkleinert und trocken mit einem Gemisch aus Borsalz und Borsäure (bis zu 20 %) versetzt. Abwasser entsteht bei der Produktion nicht. Es kommt zu einer relativ hohen Staubentwicklung (ca. 1 %), der größtenteils durch spezielle Anlagen abgesaugt wird (RÄUSCHEL und KRÖNING 1997). Da der anfallende Staub bisher noch nicht in den Produktionsprozeß zurückgeführt werden kann, wird er z. Z. kostenpflichtig deponiert. Sehr positiv ist anzumerken, daß von der Produktionsfirma andere Verwertungswege gesucht werden. Derzeit werden auch Versuche zur Verbrennung und Kompostierung von Zellulosedämmstoffen durchgeführt.

Für Zellulose-Dämmplatten werden Tageszeitungspapier, Zellulosereste aus der Hygienepapierherstellung, Jutefasern aus ausgedienten Kaffee- und Tabaksäcken und Holzfasern aus Holzabfällen eingesetzt (LANGE 1997). Die Rohstoffe werden zerkleinert, mit verschiedenen Zusatzstoffen (Lignosulfonate, Tallharze, Aluminiumsulfat, Borax, Borsäure) gemischt und mit Wasserdampf gebunden. Das Verfahren ist ebenfalls abwasserfrei. Sowohl bei den Rohstoffen als auch bei den eingesetzten Bindemitteln Lignosulfonat und Tallharz, die in der Zellstoffindustrie bei der Herstellung von Papier anfallen, handelt es sich um eine Nebenproduktverwertung.

Die Verwendung von Altpapier für die Dämmstoffproduktion stellt eine Wertschöpfung und einen Schritt zur Kreislaufwirtschaft dar. Die Weiterverarbeitung erhöht die Umweltbelastung nicht (GÖHLER 1996). Zur Herstellung von Zellulose-Dämmstoff ist nur ein niedriger Primärenergieaufwand von 277 MJ m⁻³ erforderlich (CEUTERICK 1993). Der Heizwert von 767 MJ m⁻³ kann nach Rückbau des Dämmstoffes genutzt werden (SÖRENSEN 1997). Der Einsatz von Borverbindungen wird aus ökologischer und baubiologischer Sicht als vertretbare Kompromißlösung eingestuft (vgl. Kapitel 7.3.1).

7.2.5 Importrohstoffe

Kork

Kork wird als Rinde aus Wäldern oder Plantagen der Korkeiche gewonnen. Die Hauptanbauggebiete und Produktionsländer sind Spanien und Portugal, daneben auch noch Frankreich und

Tunesien. Es handelt sich meist um Mischkulturen mit Tierhaltung (Rinder, Schafe) oder Getreideanbau. Selbst Korkeichen-Reinbestände bilden stabile Ökotope mit artenreichem Unterwuchs (GÖHLER 1996). Die erste Rindung wird im Baumalter von 30 - 40 Jahren durchgeführt, danach wird der Baum kontrolliert mit mindestens 9 Jahren Abstand geschält. Die Abrindung erfolgt in der sechswöchigen Erntesaison im Sommer, nur dann ist das Lösen der Rinde ohne Beschädigung möglich und für den Baum unschädlich (ZIPSE 1997). Kork ist ein nachwachsender Rohstoff, der unter ökologischen Gesichtspunkten in begrenztem Umfang verfügbar ist.

Ökologisch und wirtschaftlich ist die Korkgewinnung als Bestandteil einer stabilen Kulturlandschaft positiv zu beurteilen (GÖHLER 1996). Im Vergleich mit anderen alternativen Dämmstoffen ist nach CEUTERICK (1993) ein hoher Primärenergieaufwand von insgesamt 3802 MJ m^{-3} für die Herstellung von Korkdämmstoffen erforderlich. Davon entfallen jedoch 3204 MJ m^{-3} auf erneuerbare Energieträger (Holz und Korkabfälle) und nur 598 MJ m^{-3} auf nicht erneuerbare Energien in Form von Strom und Transportenergie. Der bei einer thermischen Verwertung nutzbare Heizwert wird nach eigener Einschätzung bei ca. 19 MJ kg liegen. Bei einem Korkdämmstoff von durchschnittlich 120 kg , wie er zur Primärenergieberechnung zugrunde gelegt wurde, können somit 2280 MJ m^{-3} zurückgewonnen werden. In anderen Quellen werden mit $1296 - 1440 \text{ MJ m}^{-3}$ niedrigere Angaben zum Primärenergieaufwand gemacht, allerdings ohne genauere Berechnungsgrundlagen zu nennen (GÖHLER 1996). Als umweltbelastend sind außerdem die langen Transportwege zu nennen, die per Schiff oder LKW zurückgelegt werden. Die Abwicklung auf dem Seeweg ist dabei im Vergleich weniger umweltbelastend.

Baumwolle

Die Baumwolle gedeiht bevorzugt in den Tropen und Subtropen (RENZ-RATHFELDER 1992). Die Baumwollpflanzen werden meist einjährig, in großen Monokulturen gehalten, die erhebliche Umweltbelastungen verursachen. Aus ökologischer Sicht zu kritisieren sind ein hoher Einsatz von Pestiziden, die vor der Ernte mit Pflückmaschinen verwendeten Chemikalien zur Entlaubung, ein hoher Düngemitelesatz und ein großer Wasserverbrauch. So hat der Baumwollanbau vielerorts zu starken Oberflächen- und Grundwasserbelastungen geführt. Bekanntestes Beispiel ist wohl die Austrocknung des Aralsees (GÖHLER 1996). In den Jahren 1991 - 1993 wurde Rohbaumwolle aus unterschiedlichen Anbaugebieten auf mögliche Schadstoffe wie Organochlor, Organophosphor, N- und S-haltige Pestizide untersucht (BREMER BAUMWOLLBÖRSE 1993). Bei 25 von 33 Baumwollproben waren Pestizidbelastungen nachweisbar, auch Spuren von Lindan und DDT. Zwar lagen alle Werte, einschließlich der Werte von DDT, Lindan, Aldrin und Dieldrin, weit unter den Grenzwerten der Pflanzenschutzhöchstmengen-Verordnung, aber die vorgegebenen Grenzwerte sind z. T. hoch, und es gibt mehr eingesetzte Giftstoffe als Grenzwerte. Der Einsatz von Mottenschutzmitteln ist bei Baumwolle nicht notwendig, da Insekten (mit Ausnahme von Holzschädlingen) keine Zellulose verdauen können. Bei Feuchtigkeit ist jedoch mit Schimmelpilzbefall zu rechnen.

Als Dämmstoffmaterial ist Baumwolle zwar gut geeignet, aber es muß an die gesundheitsgefährdenden Arbeitsbedingungen bei den bisher üblichen Anbauverhältnissen gedacht werden. Unter gesundheitlichen Aspekten ist außerdem der Baumwollstaub bei der Verarbeitung zu nennen. Der Primärenergieaufwand für Baumwolldämmstoffe wird mit 720 MJ m^{-3} relativ niedrig angegeben (EICKE-HENNIG 1997). Allerdings ist unklar, inwieweit der Energieaufwand für Bewässerung und Chemikalien berücksichtigt ist. Der enorme weltweite

Bedarf an Baumwolle hat in vielen Anbauländern erhebliche Ökosystemschäden verursacht. Erst in ganz geringem Umfang wird auch biologischer Anbau mit Fruchtwechsel praktiziert (RENZ-RATHFELDER 1992). Unter Umweltaspekten sollte nur die Baumwolle aus kontrolliertem Anbau verarbeitet werden.

Schilf

In Deutschland gibt es nur relativ geringe Schilfbestände, die für die Dämmstoffproduktion relevant sind. Größere Bestände findet man in Österreich und Ungarn. Bei der Schilfernte im Winter (Dezember bis Februar) werden bestimmte Teilgebiete des Schilfgürtels maschinell gemäht, wenn die Seen gefroren und dadurch befahrbar sind (FRIEDRICH 1997). Die jährliche Schilfernte gehört zur Landschaftspflege, bei der der Bestand der einjährigen Gräser verjüngt wird. Bodenschäden und Störungen der im Schilf brütenden Vögel werden durch die Erntemethode vermieden (GÖHLER 1996).

Schilfdämmplatten bestehen aus einer Vielzahl parallel neben- und übereinanderliegender unbehandelter Schilfrohrhalme, die mechanisch zusammengepreßt und mit verzinkten Eisendrähten gebunden werden. Die Herstellung ist durch die aufwendigen Handarbeiten des Sortierens und Webens sehr lohnintensiv. Bisherige Versuche, den Prozeß zu automatisieren sind gescheitert oder wurden aufgrund des Nachfragerückganges durch die aufkommende Betonbauweise in den 60/70er Jahren eingestellt. Der Primärenergieaufwand ist mit 540 MJ m^{-3} niedrig (EICKE-HENNIG 1997).

Schilf ist ebenfalls ein nachwachsender Rohstoff, der ökologisch gesehen nur in begrenztem Maße zur Verfügung steht. Bei der derzeitigen Erntemethode sind Schilfdämmplatten als ökologisch sehr günstig zu beurteilen.

7.2.6 Konventionelle Produkte

Mineralwolle

Ausgehend von den verwendeten Rohstoffen werden unter dem Oberbegriff künstliche Mineralfasern (KMF) Glas- und Steinfasern, Keramikfasern und Schlackenwolle zusammengefaßt. Im Bauwesen kommen den Glas- und Steinwollen eine besonders große Bedeutung zu. Die Herstellung erfolgt durch Schmelzen eines mineralischen Rohstoffes und anschließender Herstellung der Faser. Bei der Herstellung müssen folgende Richtkonzentrationen für die Belastung von Arbeitsplätzen eingehalten werden (DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT 1997):

- 1 Mio Fasern m^{-3} (für Altanlagen nach TRK)
- Faserstaub MAK = 4 mg m^{-3}
- Phenol MAK = 20 mg m^{-3}
- Formaldehyd MAK = $0,62 \text{ mg m}^{-3}$
- Ammoniak MAK = 14 mg m^{-3}

Die produktionsbedingten Emissionen bei der Herstellung von Glaswolle werden angegeben mit (HÄRIG *et al.* 1994):

- 0,4 kg Staub pro t Glas
- 6,0 kg NO_x pro t Glas
- 100 mg CO pro m^{-3} .

Glaswolle ist Mineralwolle auf der Basis von Kalknatrongläsern, deren Hauptbestandteil Quarzsand ist. Als Rohstoff wird, neben den Glasrohstoffen, bis zu 70 % Altglas verwendet.

Das eingesetzte Recyclingglas ist entweder Flachglasabfall aus dem Baubereich (Fensterglas) oder Autoglas. Flaschenglas findet aufgrund seiner Eigenschaften nur in geringen Mengen Verwendung (TRAPPMANN und KÄSER 1997). Weitere Inhaltsstoffe sind (HÄRIG *et al.* 1994):

- 5-12 % Bindemittel Phenol-Formaldehydharz (PF) oder Melanin-Formaldehydharz (MF),
- bis 1 % aliphatische Mineralöle zur Staubminderung,
- bis 0,2 % Polysiloxanole zur Hydrophobierung.

Steinwolle ist Mineralwolle auf der Basis der Schmelze natürlicher Gesteine, Basalt und Diabas mit geringen Mengen an Zuschlagstoffen wie Kalk und Dolomit (ZWIENER 1995, HÄRIG *et al.* 1994). Die weiteren Inhaltsstoffe stimmen mit denen von Glaswolle überein, nur der Anteil der Bindemittel PF und MF ist mit 0,7 - 3,2 % wesentlich geringer.

Die Rohstoffvorräte können als nahezu unbegrenzt angesehen werden, und der Rohstoffabbau für Mineralfasern wird im allgemeinen als nicht schädlicher Eingriff eingeschätzt. Positiv bewertet wird der hohe Anteil an Recyclingglas. Nachteilig für Mineralfaserdämmstoffe ist ein relativ hoch ausgewiesener Primärenergieaufwand von durchschnittlich 20 - 40 MJ kg⁻³. Er kann jedoch in einem relativ großen Rahmen variieren, da er von dem jeweiligen Herstellungsverfahren und den eingesetzten Energieträgern abhängig ist. Ein weiterer Umweltnachteil sind die langen Transportwege bei der Rohstoffbeschaffung. Bei der gesundheitlichen Einschätzung ist vor allem die Diskussion um das kanzerogene Potential der lungengängigen Fasern zu nennen. Glas- und Steinwolle-Dämmstoffe sind aufgrund ihrer mineralischen Rohstoffe nicht brennbar (Baustoffklasse A1 oder A2). Durch die eingesetzten Bindemittel wird aber bei der Verschmelzung von Mineralfaserplatten Blausäure, Formaldehyd und Ammoniak freigesetzt (TSIVOS 1995). Der hohe Bindemittelanteil stellt jedoch vor allem eine Belastung aus arbeitsmedizinischer Sicht bei der Produktion und Verarbeitung dar. Die durch diese Bindemittel bedingte Belastung der Umwelt wird relativ gering bewertet.

Polystyrol

Expandierter Polystyrolschaum entsteht durch Polymerisation von Styrol. Die Herstellung von Styrol erfolgt über Benzol und Ethylen, beides sind Produkte der Erdölraffination. Styrol gehört zu den organischen lipophilen Lösungsmitteln und ist in die Wassergefährdungsklasse 2 (wassergefährdend) eingestuft. Styrol ist ein Nervengift und steht in Verdacht auf krebs-erzeugende und erbgutschädigende Wirkung. Eine Exposition gegenüber Styrol ist bei der Herstellung und technischen Anwendung an industriellen Arbeitsplätzen möglich (HOFFMANN 1996). Der MAK-Wert für die Styrolexposition liegt bei 20 ppm bzw. 86 mg m⁻³. Die auftretenden Konzentrationen bei der Verarbeitung von EPS-Schaumstoff sind nach Angaben vom INDUSTRIEVERBAND HARTSCHAUM e.V. (1995) sehr gering und auch aufgrund seiner geringen Halbwertszeit in der Produktionsanlagen-Umgebung nicht mehr meßbar. Andererseits wird beschrieben, daß 1,5 Gew.% Styrol, bezogen auf die Masse des Endproduktes, bei der Herstellung von EPS in die Umwelt gelangen, woraus auf eine Styrolemission von 6000-12000 t pro Jahr geschätzt wird (BORSCH-LAAKS 1994).

Als Treibmittel bei der Dämmstoffherstellung werden heute üblicherweise C₄- bis C₇-Kohlenwasserstoffe eingesetzt, in der Regel Pentan. Frisch hergestelltes EPS enthält etwa 6 % Treibmittel (SCHERZER 1996). Pentan ist in die WGK 1 eingestuft und der MAK-Wert für alle Isomere beträgt 1000 ml m⁻³ bzw. 3000 mg m⁻³. Das bei der Herstellung von EPS einge-

setzte Pentan wird zur Hälfte beim Schäumvorgang freigesetzt und zur anderen Hälfte beim späteren Gebrauch (SÖRENSEN 1997). Pentan wird kein Ozonabbaupotential und kein direkter Beitrag zum Treibhauseffekt zugeschrieben (ELSNER 1995). Längerkettige Kohlenwasserstoffe tragen aber zur Entstehung von Sommersmog bei, indem sie in Verbindung mit Stickoxiden zur Ozonbildung führen (HEINTZ und REINHARDT 1996). Als Flammschutzmittel werden in der Regel Hexabromcyclododekan und Dicumylperoxid zugegeben, die möglicherweise bei der Verbrennung toxische Emissionen verursachen.

Das fertige Produkt Polystyrol wird als biologisch neutral bewertet und ist als Lebensmittelverpackung zugelassen. Der Primärenergieaufwand pro m³ EPS liegt je nach Produkt und Dichte zwischen 1440 - 3420 MJ (CEUTERICK 1993). Der Heizwert, der bei einer thermischen Verwertung zurückgewonnen werden kann, wird nach eigenen Einschätzungen mit 450 - 900 MJ m⁻³ veranschlagt.

Polyurethan

Polyurethan (PUR) wird durch Polyaddition von zweiwertigen Alkoholen mit Isocyanaten synthetisiert. Die Herstellung von PUR und deren chemischen Rohstoffe weist eine Reihe von Umweltbelastungen und -risiken auf. Die Herstellung ist eng mit der Chlorchemie verbunden, und es entstehen eine Reihe von toxischen Zwischen- und Endprodukten, die insbesondere arbeitsmedizinisch bedenklich sind (SÖRENSEN 1997).

Isocyanate werden fast ausschließlich durch Reaktion des hochtoxischen Phosgen mit aromatischen Aminen hergestellt. Im industriellen Bereich gelten die Isocyanate als Hauptauslöser des berufsbedingten Asthmas, so daß der MAK-Wert für Isocyanate immer weiter herabgesetzt wurde. In einer Studie des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften (BOCK *et al.* 1995) konnte gezeigt werden, daß die Expositionen in den verschiedenen Arbeitsbereichen für den Datenzeitraum 1988-1992 unabhängig vom Verarbeitungsverfahren gering sind. Die Isocyanat-Werte sind kleiner oder gleich einem Zehntel des Grenzwertes. Eine Ausnahme bilden die Arbeitsbereiche Schäumen (Ausschäumen von Hohlräumen, Formen- und Blockschäumen), wo leicht erhöhte Expositionen vorliegen. Im Falle der Belastung mit Diisocyanaten bei der Produktion von Polyurethan scheint jedoch das Auftreten eines chronischen, persistierenden Asthmas bei bestimmten Personen die Folge einer Exposition gegenüber Konzentrationen weit unter dem anerkannten Industriestandard zu sein (ISSELBACHER *et al.* 1995). Besonders hoch ist der Sensibilisierungsgrad bei Inhalation von Toluol-Diisocyanat (TDI), so daß es auch bei geringer Exposition zu sehr schweren Asthmaanfällen kommen kann (GROSS *et al.* 1987). Nach der Gefahrstoffverordnung (Stand 10.11.1993) ist MDI als mindergiftig eingestuft. Derzeit wird geprüft, ob eine Bewertung von MDI gemäß der GefStoffV als krebserzeugend vorzunehmen ist. Nach MAK-Liste IIIB steht polymeres MDI in Verdacht auf krebserzeugendes Potential. Gesicherte Erkenntnisse zur krebserzeugenden oder fruchtschädigenden Wirkung beim Menschen gibt es bisher nicht. Die zur Zeit bestehenden Grenzwerte sind in Tabelle 7.1 aufgeführt.

Tabelle 7.1: Grenzwerte von Isocyanaten

| Isocyanat | MAK-Wert | internationaler Grenzwert |
|--|--|----------------------------------|
| MDI | 0,005 ppm (= 0,05 mg m ⁻³) | 0,005 ppm |
| andere Isocyanate (HDI, NDI, TDI, IPDI) | 0,01 ppm | 0,005 ppm |

Die Ausgasung von flüchtigen Isocyanaten während der Nutzung aufgrund unvollständiger Reaktionen kann nicht ausgeschlossen werden. Als Treibmittel wird bei der Aufschäumung von Polyurethan-Hartschaumplatten ebenfalls der Kohlenwasserstoff Pentan verwendet.

PUR-Dämmstoffe besitzen mit 2700 - 4788 MJ m⁻³ den größten Primärenergieaufwand (CEUTERICK 1993). Der relativ hohe Heizwert von 756 MJ m⁻³ kann bei einer thermischen Verwertung zurückgewonnen werden, wobei jedoch die entstehenden Emissionen zu berücksichtigen sind.

Tabelle 7.2: Primärenergieaufwand von Dämmstoffen

| Dämmstoffe | Primärenergieaufwand (MJ m ⁻³) | Gutschrift bei thermischer Verwertung (MJ m ⁻³) | Bemerkung |
|---|--|---|-------------------|
| Dämmstoffe aus heimischen Rohstoffen | | | |
| Flachsfaser | 350 - 600 ⁽¹⁾ | 488 ⁽¹⁾ | |
| Schafwolle | 300 ⁽²⁾ | | Nebenprodukt |
| Holzwohle, lose | 180-600 ⁽³⁾ | | Nebenprodukt |
| Holzweichfaser | 2520-3240 ⁽⁴⁾ | 1728 ⁽⁴⁾ | Nebenprodukt |
| Holzwohleplatten | 720-1188 ⁽⁴⁾ | | Nebenprodukt |
| Zellulose | 198-277 ^(5,6) | 767 ⁽⁴⁾ | Recyclingmaterial |
| Dämmstoffe aus Import-Rohstoffen | | | |
| Baumwolle | 720 ⁽³⁾ | 342 ⁽¹⁾ | |
| Kork | 1296-3802 ^(4,5,6) | 2280 ⁽²⁾ | |
| Schilf | 540 ⁽³⁾ | | |
| Konventionelle Dämmstoffe | | | |
| Glaswolle | 600-2520 ^(3,4,5) | - | Recyclingmaterial |
| Steinwolle | 1667-2520 ^(3,4,5) | - | |
| EPS (15-30 kg m ⁻³) | 1440-3420 ^(4,5) | 450-900 ⁽²⁾ | |
| PUR | 2700-4788 ^(3,4) | 756 ⁽⁴⁾ | |

Quellen:

- ¹ Eigene Berechnungen
- ² Eigene Einschätzung
- ³ EICKE-HENNIG (1997)
- ⁴ SÖRENSEN (1997)
- ⁵ CEUTERICK (1993)
- ⁶ GÖHLER (1996)

7.3 Ökotoxikologie wichtiger Zusatzstoffe

7.3.1 Borsäure und Borate als Flammschutzmittel

Dämmstoffe aus Fasermaterialien sind in der Regel leicht entflammbar. Die Baustoffklasse B2 wird über eine chemische Nachbehandlung mit Borverbindungen erreicht. Vielen Dämmstoffen aus natürlichen Materialien wie Schafwolle, Baumwolle und Flachs sowie Zellulose-Dämmstoffen aus Altpapier wird aus diesem Grund Borsäure (H₃BO₃) und/oder Borax (Na₂B₄O₇ • 10H₂O) oder Polybor (Na₂B₈O₁₃ • 4H₂O) zugesetzt. Diese Behandlung hat neben einer Verbesserung des Brandverhaltens auch eine antimikrobielle und fungizide Wirkung, wodurch eine Resistenz gegen Schimmelpilz und Schädlinge erzielt werden soll.

Das Element Bor wird in der Natur in oxidierter Form als Borsäure oder deren Salze (Borate), als Ester und Komplexe gebunden, weitergegeben und abgelagert. Borsäure und Borate kommen daher natürlicherweise ubiquitär in der Umwelt vor. Ihr Gehalt variiert zwischen 2-100 mg Gesamt-Borgehalt pro kg, abhängig von der geologischen Region. Die durchschnittlichen Borgehalte sind in Tabelle 7.3 aufgeführt.

Tabelle 7.3: Durchschnittliche Borgehalte nach LLOYD (1996) sowie KLIEGEL (1980)

| | |
|-------------------------|------------------------------------|
| Gesteinsmantel der Erde | 10 mg B kg ⁻¹ |
| Ackerboden | 10 - 20 mg B kg ⁻¹ |
| Meerwasser | 4,6 mg Bor l ⁻¹ |
| Frischwasser | 1 mg Bor l ⁻¹ |
| Mineralwasser | z.T. über 4 mg Bor l ⁻¹ |

Bor findet man sowohl in pflanzlichen als auch in tierischen Organismen. Den höchsten Borgehalt weisen Meerespflanzen auf. Während Bor für Menschen, Tiere und bestimmte Pflanzen niederer Ordnung kein essentielles Element ist, ist es für die höheren Pflanzen ein lebensnotwendiges Spurenelement. Die Problematik einer optimalen Versorgung liegt im unterschiedlichen Borbedarf der verschiedenen Kulturpflanzen. Wie bei keinem anderen Nährstoff ist der Grat zwischen Bormangel, optimaler Versorgung und schädlicher Überdosis sehr schmal. Die Aufnahme von Bor durch den Menschen erfolgt hauptsächlich über die Nahrung, aber auch über die Haut (insbesondere bei geschädigter Haut) und durch Inhalation. Der relative Beitrag der Absorption durch Nahrungsaufnahme und Inhalation konnte nicht ermittelt werden (ECETOC 1995).

Ein bedeutendes Reservoir an Borsäure sind die Weltmeere. Von dort wird Borsäure an die Atmosphäre abgegeben. Die Atmosphäre enthält in sehr geringer Konzentration Borsäure-Moleküle, die in der Gasphase eingebettet oder in Wassertröpfchen gelöst sind. Über die Regentropfen gelangen diese auf die Erde und über die Flüsse wieder ins Meer. Die Borate im Boden sind wasserlöslich und somit auswaschbar. Weil es zu keiner Anreicherung in Umweltkompartimenten oder Organismen kommt, wird das Bor letztendlich in die Ozeane transportiert. Auch das in den Abwässern enthaltene Bor tritt im wesentlichen unverändert in die Gewässer ein, da Borverbindungen in Kläranlagen nicht zurückgehalten werden.

Im Gegensatz zu elementarem Bor weisen Borverbindungen eine gewisse Toxizität auf. Borsäure und Borate sind für den Menschen aber nur dann giftig, wenn sie in großen Mengen (im Grammbereich) aufgenommen werden. Allerdings sind sie für Mikroorganismen, Pflanzen und Fische toxisch. Borsäure ist eine stabile und sehr schwache Säure, die in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft ist. In wässriger Lösung liegt bei physiologischem pH überwiegend die undissoziierte Form vor. Dies trifft auch auf die Natrium-Borate zu, die in wässrigen Lösungen schwach basisch reagieren. Die Toxizität dieser Substanzen ist in etwa gleich. Borax ist eher etwas weniger giftig als Borsäure.

Die Menge an Bor, die ein Europäer bei normaler Ernährung täglich aufnimmt, liegt durchschnittlich bei 5 mg B pro Tag. Die tolerierbare Aufnahme für einen Menschen mit 60 kg wird mit 34 mg B pro Tag kalkuliert (ECETOC 1995). Borsäure und Borate werden nicht metabolisiert, es findet also keine Umwandlung in körpereigene Stoffe statt. 90 % werden durch Exkretion innerhalb weniger Tage ausgeschieden. Eine langsame Anreicherung über längere Perioden ist (z. B. in Knochen) möglich.

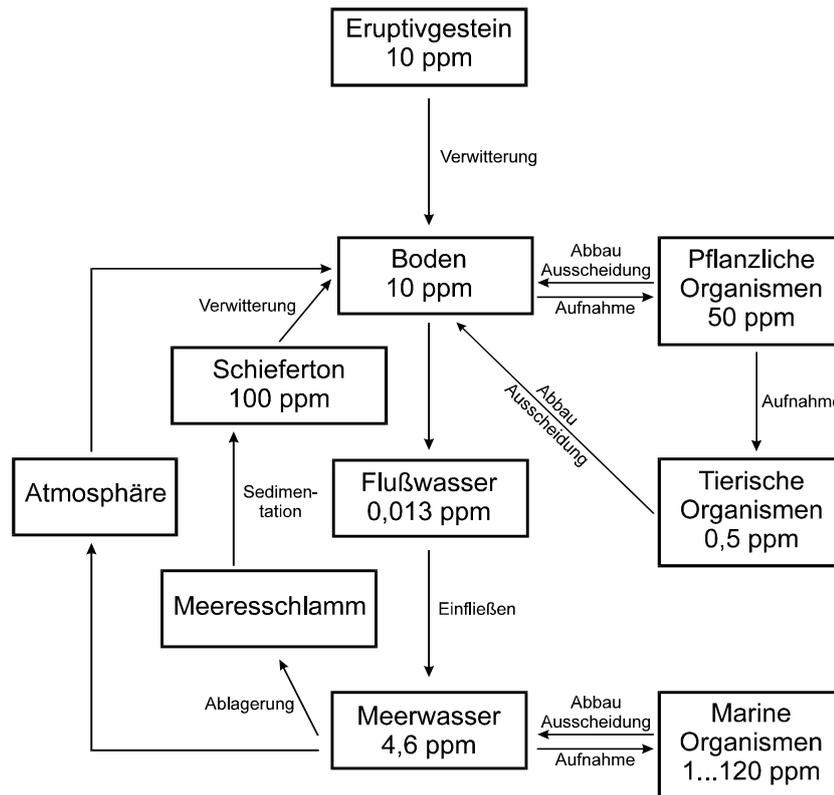


Abbildung 7.3: Schematische Darstellung des Bor-Kreislaufes mit Durchschnittswerten in ppm Bor (nach KLIEGEL 1980, erweitert)

Größere Mengen Borsäure oder Borate können, wenn sie einmalig oder fortgesetzt in den menschlichen Körper gelangen, toxisch wirken. Giftwirkung zeigt sich auch durch Resorption der Borverbindungen über Wunden oder durch Inhalation von Borsäurestäuben.

Tabelle 7.4: Grenzwerte für Borsäure und Borax

| MAK-Werte | |
|-------------|---|
| USA | 10 mg m ⁻³ für Borax und Borsäure (dem MAK-Wert vergleichbarer PEL-Wert) (<i>Permissible Exposure Limit</i>) |
| Schweiz | keine MAK-Werte für Borax und Borsäure 10 mg m ⁻³ für das giftigere Boroxid |
| Deutschland | keine MAK-Werte für Borsäure und Boroxid |

Borate sind nicht gentoxisch und nicht karzinogen, allerdings zeigt sich in Tierstudien mit Mäusen und Ratten ein nachteiliger Einfluß auf Fruchtbarkeit und Entwicklung (ECETOC 1995). Aufgrund dieser Studien wird die Aufnahme von Bor ohne Risiko für den Menschen auf Fruchtbarkeit und Entwicklung mit 19,2 mg B pro Tag angegeben, also niedriger als die o. g. tolerierbare Aufnahmemenge. Das allergene Potential der Borsäure wird im allgemeinen als gering eingestuft (GANN *et al.* 1992). In Deutschland ist für Borsäure bisher kein MAK-Wert aufgestellt.

Borate besitzen weiterhin eine geringe Toxizität gegenüber verschiedenen Mikroorganismen, wirbellosen Tieren und Fischen. In Tabelle 7.5 sind einige LC₅₀-Werte (letale Konzentration, die zum Tod von 50 % der Versuchstiere führte) aufgeführt.

Tabelle 7.5: Borat-Toxizität verschiedener Species nach LLOYD (1996)

| Organismen | LC ₅₀ |
|---|-----------------------------------|
| Bodenmikroorganismen und Invertebraten | >17,5 mg B kg ⁻¹ Boden |
| Fische: | |
| Scholle (<i>Limanda limanda</i> , 96-Std) | 74 mg B l ⁻¹ |
| Forelle (<i>Salmo gairdneri</i> , embryo-larval Stadium, 24-Tage) | 88 mg B l ⁻¹ |
| Goldfisch (<i>Carassius auratus</i> , embryo-larval Stadium, 3-Tage) | 71 mg B l ⁻¹ |

Wie andere Spurenelemente kann auch Bor für Pflanzen in höheren Konzentrationen schädlich wirken. Im allgemeinen kann davon ausgegangen werden, daß bis 10 ppm keine Bor-Toxizität auftritt. Der Toxizitätslevel liegt bei 500 mg kg⁻¹ Boden-Trockengewicht, das entspricht etwa 5 mM in Frischwasser (= 54 mg l⁻¹) (SHORROCKS 1990). Der übliche Gehalt als Spurenelement in der Landwirtschaft liegt in der Größenordnung von 0,5 bis 5 kg Bor pro ha (LLOYD 1996). Der optimale Borgehalt, bei dem ein Verlust in die unteren Bodenschichten vernachlässigt werden kann, liegt bei 1 kg pro ha (SHORROCKS 1990). Der kritische Gehalt, bei dem Bor-Mangel-Symptome zu erwarten sind, ist 0,3 ppm für leichte Böden und 0,5 ppm für schwere Böden. Weil Bormangel erhebliche Ertrags- und Qualitätsverluste verursachen kann, wird häufig Boratdünger eingesetzt. Verwendung in Bordünger finden sowohl Borax als auch Polybor (GOLDBERG 1993). Die Borgabe sollte immer konkret nach Bedarf erfolgen. Borbedarf und Bortoleranz der Pflanzen sind sehr unterschiedlich. Durch überschüssige Gabe im Boden verbleibendes Bor wird ausgewaschen.

Der relativ hohe Anteil von Borverbindungen in den Dämmstoffen (bis über 20 %) stellt eine große Borfracht dar. Diese Borverbindungen sind ökologisch gesehen nicht erwünscht. Die vom Menschen verursachten Veränderungen der natürlichen Verteilung von Bor sind insgesamt jedoch geringfügig (PAETZOLD 1994). Borax und Borsäure sind bei Aufnahme im Grammbereich für den Menschen giftig. Beim bestimmungsgemäßen Umgang mit borhaltigen Dämmstoffen ist jedoch nicht mit einer gesundheitlichen Gefährdung durch Bor und seine Verbindungen zu rechnen (BAU- UND UMWELTSCHUTZDIREKTION BASEL-LAND 1996). Borate und Borsäure gelten nicht als potentielles Umweltgift, da keine Akkumulation eintritt. Der Einsatz von Borverbindungen wird daher als eine ökologisch und baubiologisch vertretbare Kompromißlösung angesehen.

7.3.2 Bitumen

Einer Reihe von Dämmstoffen (z. B. Holzweichfaserplatten oder Fußbodendämmungen aus Hanfschäben) wird Bitumen zugesetzt. Bitumen entsteht aus den nicht flüchtigen Bestandteilen des Erdöls. Naturbitumen kommt dort vor, wo oberflächennahe Ölvorkommen durch Verdunstung erhärten. Überwiegend wird synthetisches Bitumen eingesetzt, das aus Erdöl oder Steinkohle gewonnen wird. Die genaue Zusammensetzung ist nicht bekannt. Sie schwankt stark in Abhängigkeit vom Herkunftsort des entsprechenden Ausgangsrohöls und vom Herstellungsverfahren. Der Summengehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) liegt in der Bandbreite von 6 - 60 mg kg⁻¹ (ZWIENER 1995). Die Nicht-Kohlenwasserstoffe setzen sich aus Schwefel-, Sauerstoff- und Stickstoffverbindungen zusammen. An Sauerstoffverbindungen kommen die drei Gruppen Phenole, Fettsäuren und Naphthensäuren vor. Über die Stickstoffverbindungen ist relativ wenig bekannt (BIGLER-MÜNICHSDORFER *et al.* 1996). Wegen ihres hydrophoben Charakters werden PAK in Böden und Sedimenten sowie tierischer und pflanzlicher Matrix angereichert. Vier- oder mehrringige PAK sind biologisch nur schwer oder nicht abbaubar. Zahlreiche PAK weisen mutagene bzw. im Tierversuch karzinogene Wirkungen auf (BAHADIR *et al.* 1995). Bitumen

ist daher mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential in die MAK-Werte-Liste III B eingestuft. An Arbeitsplätzen ist eine Gefährdung durch Einatmen von Bitumennebel und über Hautkontakt möglich (ZWIENER 1995). Es gibt verschiedene Verfahren der Reinigung von Bitumen, die mehr oder weniger umweltbelastend sind und problematische Rückstände liefern (GÖHLER 1996).

7.4 Zusammenfassung und Diskussion

Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Einflüsse ist die Ökobilanz. Dabei ist im Bauwesen zwischen Produktökobilanzen von Baustoffen und Ökobilanzen für Konstruktionen oder ganze Gebäude zu unterscheiden. Sicherlich sollte das Ziel sein, die Umwelteinflüsse der Gesamtkonstruktion zu betrachten. Nur für einige Baustoffe liegen bisher vollständige Ökobilanzen vor, und für viele Produkte, auch für eine Reihe von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, sind bisher nicht einmal Sach- oder Energiebilanzen aufgestellt.

Bei einer Bewertung der Umwelteinflüsse der Nutzungsphase ergibt sich für alle Dämmstoffe natürlich eine Energieeinsparung durch ihre Funktion (Dämmung). Die Bewertung der Umweltwirkungen durch Ersetzen eines konventionellen Dämmmaterials durch nachwachsende Rohstoffe stützt sich daher größtenteils auf den Vergleich der Energie- und Stoffbilanzen von Produktion und Entsorgung. Für die Produktion von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind der Energieverbrauch und Transport die Hauptquelle der Umwelteinflüsse. Daher dient die Energiebilanz als effektiver Indikator für die meisten relevanten Umwelteinflüsse. Das ökologische Argument bezüglich des Einsatzes von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen basiert auf der Annahme, daß diese Materialien Produktionssysteme mit geringem Energieverbrauch und saubere Technologien nutzen und anspruchsvolle Hochenergieprozesse der konventionellen Produkte ersetzen. Eine weitere Voraussetzung ist, daß die Produkte recycelbar sind und die Produktionsvorteile in einer Materialkaskade reproduziert werden können.

Für Dämmstoffe aus Flachs lag bisher keine Energiebilanz vor. Daher wurde eine eigene Energiebilanz für Flachsdämmstoffe aufgestellt, welche mit der neuen 'Kurz'-Faser-Technologie hergestellt wurden und unter der Annahme des Flachsangebotes zur ganzheitlichen Verwendung als Dämmstoff. Die Ergebnisse werden mit den veröffentlichten Ergebnissen von Analysen von konventionellen Produkten verglichen. Insgesamt reicht der Primärenergieaufwand für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen von etwa 200 - 700 MJ m⁻³ (Tabelle 7.2). Für Holzweichfaserplatten und Korkdämmstoffe werden in der Literatur sehr viel höhere Werte genannt, diese basieren aber zum Großteil auf erneuerbaren Energien durch die Nutzung von Produktionsreststoffen für Prozeßwärme. Der in der Literatur genannte durchschnittliche Primärenergieaufwand für Mineralwolle liegt bei über 1000 MJ m⁻³, die Werte für Polystyrol und Polyurethan liegen noch höher.

Insgesamt zeigt sich für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ein Energievorteil gegenüber konventionellen Produkten, der aber nicht so hoch ausfällt, wie durch die häufig zu findende Angabe "Primärenergieaufwand sehr gering" suggeriert wird. Vor allem dann nicht, wenn für die konventionellen Produkte ein rationeller Energieeinsatz erfolgt und primärenergetisch günstige Energieträger eingesetzt werden.

Für das Beispiel Flachsdämmstoffe mit einem Primärenergieaufwand von 350 - 600 MJ m⁻³ ergibt sich, verglichen mit dem durchschnittlichen Primärenergieaufwand für konventionelle Materialien (1077 MJ m⁻³), ein Energievorteil von 477 - 727 MJ m⁻³ (einschließlich Entsor-

gung durch energetische Verwertung) oder 56 - 83 GJ ha⁻¹ für den Faseranteil der Faserpflanzen. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden. Zum einen wird erwartet, daß der Energieverbrauch für die zugrundegelegte Flachsdämmstoff-Produktion aufgrund einer effizienteren Produktionskette und einer höheren Kapazitätsauslastung in Zukunft geringer sein wird. Zum zweiten muß bedacht werden, daß die Bilanz sehr stark vom Produktionsverfahren der Glaswolle abhängt, insbesondere hinsichtlich der eingesetzten Hauptenergieträger (Gas oder Elektrizität). Einige Literatur- und Industriedaten zeigen, daß Standard-Glaswolleprodukte durch Einsatz von Erdgas mit einem geringeren Primärenergieaufwand produziert werden. In diesem Fall wären die Umweltvorteile durch die Substitution mit Flachs wesentlich geringer.

Bei der Herstellung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen überwiegt die Nutzung von Rest- und Nebenprodukten. Dadurch werden Reststoffe zu einem sinnvollen und hochwertigen Produkt verwertet. Die Rohstoffe stehen im allgemeinen in ausreichendem Maße zur Verfügung und die vorhandenen Kapazitäten sollten genutzt werden. Nebenprodukte und Recyclingmaterial haben Vorteile bei der ökologischen Bewertung. Bei Nebenprodukten werden die Hauptanteile der Umwelteinflüsse der Primärproduktion dem Hauptprodukt zugewiesen. So werden z. B. nur rund 25 % der Umwelteinflüsse beim Getreideanbau dem Stroh angerechnet. Gleiches gilt für Schafwolle. Der Lebenszyklus beginnt mit dem Scheren, und die Umwelteinflüsse der Schafhaltung werden der Fleischgewinnung zugerechnet. Im Falle von Recyclingmaterial beginnt die Bewertung mit dem ökonomischen Wendepunkt durch die Verwendung von Abfallstoffen (z. B. Altpapier). Die konventionellen EPS- und PUR-Dämmstoffe sind dagegen Produkte auf der Rohstoffbasis Erdöl. Ihre Herstellung stellt somit einen Verbrauch an auf Dauer nicht mehr reproduzierbaren Rohstoffvorräte dar. Umweltrisiken sind in den langen Transportwegen des Rohöls zu sehen und vor allem in den langen Prozeßketten der Produktherstellung mit toxischen Ausgangs- und Zwischenprodukten. Die mineralischen Rohstoffe zur Herstellung von Glas- und Steinwolle können dagegen als nahezu unbegrenzt angesehen werden, und der Rohstoffabbau wird im allgemeinen nicht als schädlicher Eingriff eingeschätzt. Außerdem ist bei Glaswolleprodukten der hohe Recyclingglasanteil positiv zu bewerten.

Die bei vielen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als Zusatzstoff verwendeten Borverbindungen stellen kein Problem dar. Beim bestimmungsgemäßen Umgang mit borhaltigen Dämmstoffen ist nicht mit einer gesundheitlichen Gefährdung zu rechnen, und die eingesetzten Borverbindungen stellen kein potentiell Umweltgift dar.

Aus ökologischer Sicht ist die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoffe hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe, des Primärenergieaufwandes der Produktion und der thermischen Verwertung von Altdämmstoffen positiv zu beurteilen. Wesentliche Umweltvorteile ergeben sich beim Vergleich mit den konventionellen Produkten EPS und PUR.

7.5 Zusammenfassende Bewertung

Für die Produktion von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen haben der Energieverbrauch und der Transport maßgeblichen Einfluß auf die Umwelt.

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen haben gegenüber konventionellen Dämmstoffen leicht geringere Primärenergieaufwendungen. Durch rationellen Energieeinsatz und Verwendung primärenergetisch günstiger Energieträger kann sich dieser Sachverhalt jedoch umkehren.

Zur Herstellung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen werden bisher überwiegend Nebenprodukte verwendet. Für die ökologische Bewertung dieser Dämmstoffe ist dieses vorteilhaft, da der wesentliche Anteil von Umwelteinflüssen dem Hauptprodukt zugeordnet wird.

Bei vielen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen müssen Borverbindungen als Flammenschutzmittel zugesetzt werden. Aus ökologischer Sichtweise ist diese Zugabe unproblematisch.

8 Expertenbefragung zur Nutzung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Behring¹, H., Wieland¹, H., Murphy¹, D.P.L.

8.1 Einleitung

Der Markt für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ist eng assoziiert mit dem ökologischen Bauen und ein gutes Beispiel für die Trends in der industriellen Ökologie (GRAEDEL 1994). Das ökologische Bauen (BOTT 1995) stellt einen Markt dar, bei dem die technischen (internen) und ökologischen (externen) Vorteile der nachwachsenden Rohstoffe kombiniert genutzt werden. Im Gegensatz zum konventionellen Bauwesen wird im ökologischen Bauwesen das Gebäude als integrierter Teil der humanen und natürlichen Umwelt angesehen. Der Schwerpunkt wird vom Gebäudedesign auf das Raumklima im Gebäudeinneren verlegt. Ideale ökologische Baumaterialien sind umweltverträglich bei der Herstellung und Entsorgung und reduzieren die Belastung durch toxische Schadstoffe im Gebäude. Des weiteren werden Materialien oder Konstruktionstechniken bevorzugt, die extreme Luftfeuchteschwankungen ausgleichen können. Das ökologische Bauwesen ist zur Zeit ein schnell wachsender Sektor, dessen Anteil 1995 in Deutschland 6 % des Bauwesens betrug (ÖKO-ZENTRUM NRW 1995).

Aktuellen Umfragen zufolge sind 42 % der privaten Bauherren in Deutschland bereit, höhere Kosten für ökologische Baustoffe zu tragen (KUHN 1997). Es ist jedoch nicht zu erwarten, daß die Konsumenten bereit sind, einen höheren Preis allein aufgrund von Umweltvorteilen zu akzeptieren. Da Dämmstoffprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen wesentlich teurer sind als vergleichbare konventionelle Produkte, kann eine erfolgreiche Marktentwicklung nur erreicht werden, wenn die Verwendung dieser Materialien auch direkte Vorteile für den Nutzer mit sich bringen. Die "naturnahen" Produkte des Bausektors sind somit an die Voraussetzung geknüpft, spezielle Qualitätsvorteile für den Konsumenten zu bieten. Im folgenden werden die Vorteile von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen kritisch betrachtet. Da durch die relativ kurze Einsatzzeit kaum Informationen zur Anwendungs- und Nutzungsphase in der Literatur zur Verfügung stehen, diente eine eigene Erhebung als Datengrundlage.

Ziel der hier dargestellten Untersuchung ist die Identifizierung der tatsächlichen Vorteile bei der Anwendung und Nutzung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen für den Konsumenten. In einer Umfrage wurden dafür die bisherigen Erfahrungen von Produzenten, Händlern, Bauberatern, Architekten, Fertighausherstellern, Handwerkern und Forschungsinstituten und deren qualitative Beurteilung verschiedener Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ermittelt. Insgesamt wurden 593 Fragebögen verschickt (Anbau und Vorverarbeitung: 103; Hersteller: 104; Händler: 70; Handwerker: 62; Bauberatung: 153; Fertighaushersteller: 50; Forschung: 51). Zurückgesandt wurden 144 Fragebögen, was einer Quote von 24,3 % entspricht. In diesem Kapitel werden die Daten aus der Erhebung vorgestellt und diskutiert, die Aufschluß bezüglich einer Beurteilung der verschiedenen alternativen Dämmstoffe geben.

8.2 Erfahrungen und Einschätzungen zum Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

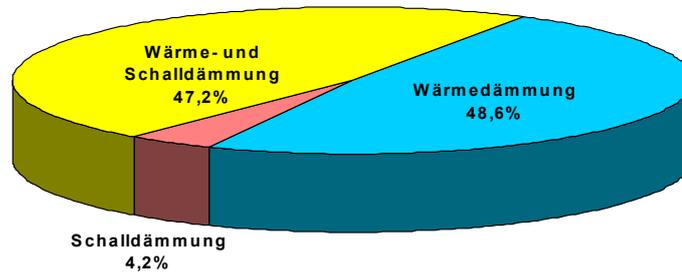
8.2.1 Einsatzgebiete

Der gegenwärtige Anwendungsbereich von Dämmstoffprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen ist fast ausschließlich auf die Anwendungstypen W (nicht druckbelastbare Dämmstoffe) und WL (nicht druckbelastbare Dämmstoffe, z. B. für Dämmungen zwischen Sparren- und Balkenlagen) beschränkt (siehe Kapitel 2). Dies ist insbesondere für die neueren Vliesprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen der Fall, die eng mit dem ökologischen Bauen assoziiert sind (Bastfasern und Schafwolle). Eine Ausnahme bilden die Zellulose-Jute-Platten (Fa. Homann) und die gut etablierten Holzwolle-Platten. Die Zellulose-Jute-Platte ist für den Anwendungstyp WV (für Beanspruchbarkeit auf Abreiß- und Scherfestigkeit, z. B. für angesetzte Vorsatzschalen ohne Unterkonstruktion) zugelassen. Holzwolle-Platten finden hierzulande schon seit langer Zeit in der Baupraxis Verwendung und sind zugelassen für W, WL, WV und WB (beanspruchbar auf Biegung, z. B. zur Bekleidung von windbelastetem Fachwerk und Ständerkonstruktionen). Außerdem wird Schafwolle für einige spezielle technische Anwendungen genutzt, und eine große Anzahl von biogenen Materialien wird zur Trittschalldämmung verwendet.

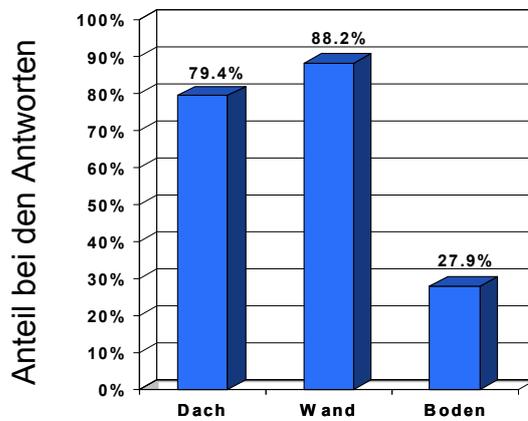
Die genannten Einschränkungen reflektieren zwei Hauptnachteile von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe: Die begrenzte Druck- und Reißfestigkeit und die Sensitivität gegenüber Feuchtigkeit. Biogene Materialien können nicht dort eingebracht werden, wo ein Risiko der Wasserakkumulation (z. B. Kellerdämmung) besteht, und sie sind ebenfalls für Wärmeverbundsysteme ungeeignet. Der Dämmstoffmarkt wird jedoch von W- und WL-Produkten für die Dach- und Wanddämmung dominiert, so daß die genannten Einschränkungen eine Vergrößerung des Marktanteils von biogenen Dämmstoffen nicht ernstlich behindern.

Die Umfrage zeigte, daß fast alle Befragten (96 %) einen Einsatz von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen zur Wärmedämmung vornehmen bzw. empfehlen, nur die Hälfte der Befragten (51 %) gab einen Einsatz zur Schalldämmung an (Abbildung 8.1 a). Entsprechend waren die Angaben für eine Verwendung in Dach und Wand mit 79 % und 88 % wesentlich höher als die für den Einsatz zur Bodendämmung (28 %, siehe Abbildung 8.1 b). Bei der Unterteilung der Bauobjekte in Neubau, Umbau und Sanierung zeigte sich dagegen insgesamt kein wesentlicher Unterschied (Abbildung 8.1 c). Durch die Möglichkeit der Mehrfachnennung bei paralleler Nutzung lagen die Angaben für alle drei Bauobjektarten bei 80 %. Bezüglich dieses Aspektes ist anzumerken, daß Dämmstoffe aus Hanf, Schilf, Stroh und Jute/Kokos aufgrund zu geringer Angaben nicht in die Auswertung einbezogen wurden.

a. Art der Dämmung



b. Dämmungsbereich



c. Bauobjekt

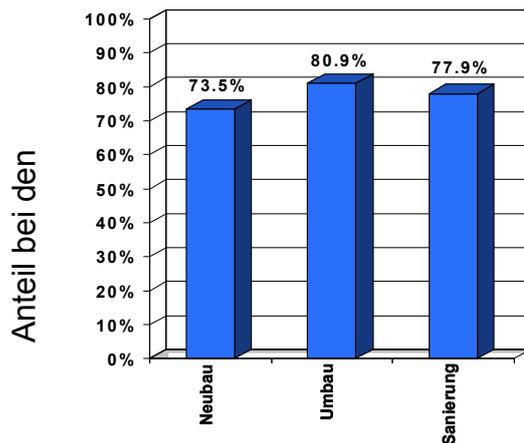


Abbildung 8.1: Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen - Gesamtergebnis der Befragung aus allen Zielgruppen (ausschließlich Anbauberatung und Forschung)

Tabelle 8.1: Einsatzgebiete für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen - Ergebnis aus der Zielgruppe Handwerker

| Bauobjekt (16) | Häufigkeit |
|----------------|------------|
| Neubau | 54 % |
| Umbau | 22 % |
| Sanierung | 24 % |

(n) = Anzahl der Antworten

Wird die Zielgruppe Handwerker für sich betrachtet, so zeigte sich bei der Art der Baumaßnahme eine Abweichung zum Gesamtergebnis. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wurden von Handwerkern überwiegend im Neubau eingesetzt (Tabelle 8.1). Nach Angaben von 13 der 16 Befragten handelte es sich in der Regel außerdem um relativ kleine Baumaßnahmen von 1 - 2,5 Wohneinheiten.

8.2.2 Verwendungsgründe und Hemmnisse

In der Erhebung wurden die Zielgruppen Hersteller, Bauberater und Handwerker nach ihren Verwendungsgründen und denen von den Käufern von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen befragt. Dabei sollte eine Bewertung verschiedener vorgegebener Gründe von unwichtig bis sehr wichtig vorgenommen werden. Den Antworten wurden entsprechend Werte von 1 - 4 zugeordnet. Die errechneten Mittelwerte sind in Tabelle 8.2 wiedergegeben. Der Verwendungsgrund ist danach eindeutig eine erwartete bessere Gesundheits- und Umweltverträglichkeit der Produkte. Die ersten 5 Ränge werden von den Antwortvorgaben belegt, die Gesundheits- oder Umweltvorteile angeben. Auch der spezielle Grund einer positiven Wirkung auf das Raumklima durch einen besseren Feuchtigkeitsausgleich wird sehr hoch bewertet. Dieses Ergebnis ist sehr interessant, da aus bauphysikalischer Sicht eine Beteiligung von Dämmstoffen am Feuchtigkeitsausgleich nicht bestätigt wird (Kapitel 2). Händler und Fertighaushersteller wurden danach befragt, ob und welche Käufergruppen sich für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen entscheiden (Kapitel 4.1.2). Danach werden diese Dämmstoffe insbesondere von Käufern mit einem hohen Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein erworben.

Der Markt für konventionelle Dämmstoffe, insbesondere für künstliche Mineralfasern und Polystyrol, ist sehr übersichtlich. Der Markt für alternative Dämmstoffe ist dagegen durch die Vielfalt der angebotenen Produkte und der großen Spannbreite hinsichtlich der Preise wesentlich schwieriger zu überschauen. Die Preise für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen betragen teilweise das Vierfache der Preise konventioneller Produkte. Aus der Befragung ging klar hervor, daß der Preis der Dämmstoffe entscheidend für den Kauf ist, und entsprechend wird von den Herstellern bezüglich der Schwierigkeiten bei der Vermarktung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen der Preis an erster Stelle genannt. Bei der Befragung der Zielgruppen Bauberater, Händler und Handwerker nach den Schwierigkeiten beim Einsatz wurde ebenso mit über 91 % der Preis am häufigsten erwähnt (Abbildung 8.2). An zweiter Stelle stand die Unübersichtlichkeit des Dämmstoffmarktes (61 %). An dritter Stelle mit jeweils 37 % wurden Schwierigkeiten für die neuen Rohmaterialien aufgrund der derzeitigen Zulassungskriterien gesehen und ein zu geringes Marktinteresse. Ein Drittel der Befragten gab außerdem an, daß die Produkte schwer zu bekommen sind, weil sie nicht zum normalen Sortiment gehören (Rang 4). Zu lange Lieferzeiten stehen einem Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen jedoch nicht entgegen. Zweifel an gesundheitlichen und ökologischen Vorteilen wurden nur von wenigen als Grund für

Schwierigkeiten beim Einsatz angegeben; unzureichende Produktqualität und Haltbarkeit der Produkte wurden öfter genannt. Eine schlechte Handhabbarkeit der Dämmstoffprodukte wird nur von sehr wenigen als Hindernis beim Einsatz gesehen. Bei dieser Auswertung ist zu berücksichtigen, daß die Anzahl der vorgegebenen Antworten bei den 3 Zielgruppen nicht vollkommen identisch gewählt wurde, so daß sich die Berechnungsgrundlagen für die Prozentangaben unterscheiden.

Tabelle 8.2: Gründe für den Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen - Gesamtergebnis der Zielgruppen Hersteller, Bauberater und Handwerker (Bewertung von 1 = unwichtig bis 4 = sehr wichtig)

| Antwortvorgaben | Hersteller (21) | Bauberaterung (44) | Handwerker (16) | Gesamt (81) | Rangfolge |
|--|--------------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------|
| gesundheitliche Vorteile bei der Nutzung | 3,82 | 3,93 | 3,44 | 3,81 | 1 |
| umweltverträgliches Produkt | 3,53 | 3,73 | 3,73 | 3,68 | 2 |
| gutes Raumklima durch Reduktion toxischer Emissionen | 3,18 | 3,71 | 3,60 | 3,57 | 3 |
| gutes Raumklima durch Feuchtigkeitsausgleich | 3,47 | 3,60 | 3,50 | 3,55 | 4 |
| Vermeidung d. Freisetzung von Mineralfasern | 3,18 | 3,57 | 3,20 | 3,41 | 5 |
| Kundenwunsch | 3,47 | - | 3,17 | 3,33 | 6 |
| gute Schall- und/oder Wärmedämmqualitäten | 3,39 | 3,08 | 3,53 | 3,25 | 7 |
| lange Haltbarkeit (Lebensdauer) | 3,00 | 3,07 | 3,62 | 3,15 | 8 |
| gute Handhabbarkeit beim Einbau | 2,88 | 2,71 | 3,46 | 2,89 | 9 |
| Recyclingmöglichkeiten | 2,76 | 2,72 | 3,13 | 2,82 | 10 |
| Entsorgungsmöglichkeiten | 2,35 | 2,59 | 3,21 | 2,66 | 11 |
| Produktpreis | 2,59 | 2,31 | 2,83 | 2,47 | 12 |

Schäden an Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind selten. Von den Befragten aller Zielgruppen (ohne Anbauberaterung) gaben aber immerhin knapp 27 % an, daß ihnen Schadensfälle bekannt geworden sind. Als Ursache dieser Schäden wurde jedoch nicht das Dämmstoffmaterial verantwortlich gemacht, sondern hauptsächlich Fehler in Konstruktion und Verarbeitung. Diese Einschätzung wurde auch in den durchgeführten Expertengesprächen bestätigt.

Die Frage, ob die Kunden nach Meinung der Befragten mit den Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zufrieden sind, wurde entsprechend von 87 % bejaht und von keinem Befragten verneint. Vor allem in persönlichen Gesprächen hat sich herausgestellt, daß alternative Dämmstoffe oft deshalb nicht zum Einsatz kommen, weil viele Handwerker und Anwender im Umgang mit den Materialien nicht geschult sind. Obwohl eine Reihe alternativer Dämmstoffe wie z. B. Schilf und Kork nicht "neu" sind, sondern eher heute eine Renaissance erleben, ist der Umgang mit diesen natürlichen Materialien nicht Gegenstand einer Handwerker Ausbildung. Sorgfältiges Arbeiten und spezifisches Wissen ist jedoch erforderlich, um spätere Bauschäden zu vermeiden. Viele Anbieter alternativer Dämmstoffe offerieren daher zusätzlich Seminare und Schulungen, um dieses Defizit auszugleichen.

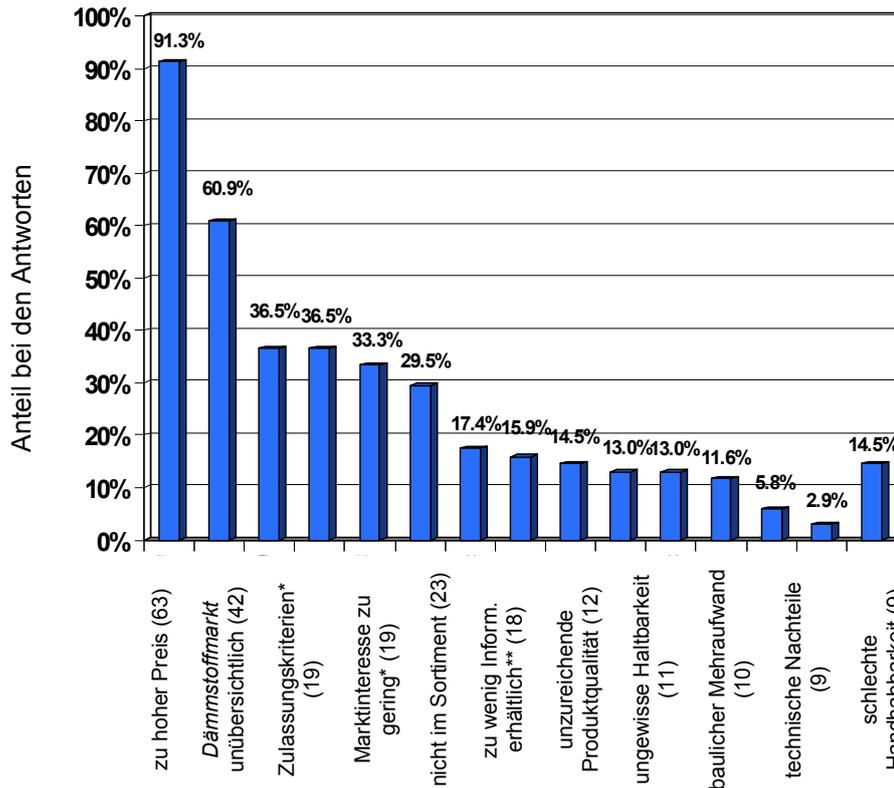


Abbildung 8.2: Beurteilung der Schwierigkeiten beim Einsatz von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe; (n) = Anzahl der Nennungen

Besonders gering ist der Anteil nachwachsender Rohstoffe zur Zeit im Fertighausbau. Hier liegt noch ein mögliches Einsatzpotential für diese Dämmstoffe. Von den insgesamt 15 Fertighausherstellern beantworteten 7 die zusätzliche Frage nach den Gründen für einen Nichteinsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Fertighausbau (Abbildung 8.3). Wie erwartet wurde vor allem ein zu hoher Preis (71 %) genannt. Gerade in dieser Branche ist kostengünstiges Bauen der entscheidende Faktor. Interessanterweise folgte mit 57 % auf Rang 2 die schlechte Handhabbarkeit der Materialien. Für fundierte Aussagen ist hier jedoch die Datengrundlage nicht ausreichend.

Mittels einer Bewertungsfrage wurden die Schwierigkeiten bei der Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bei der Zielgruppe Forschung ermittelt. Durch ein vorgegebenes Antwortschema sollten die verschiedenen Aussagen in vier Kategorien von "kein Problem" bis "sehr schwierig" eingestuft werden. Für die Auswertung erhielten die Antworten entsprechend ihres Schwierigkeitsgrades Werte von 1 - 4 (Abbildung 8.4). Die Anzahl der Werte aus denen anschließend der Mittelwert gebildet wurde, wich von der Anzahl der ausgewerteten Fragebögen ab, da einige vorgegebene Aussagen von den Befragten nicht eingeordnet werden konnten und wurden daher jeweils mit angegeben.

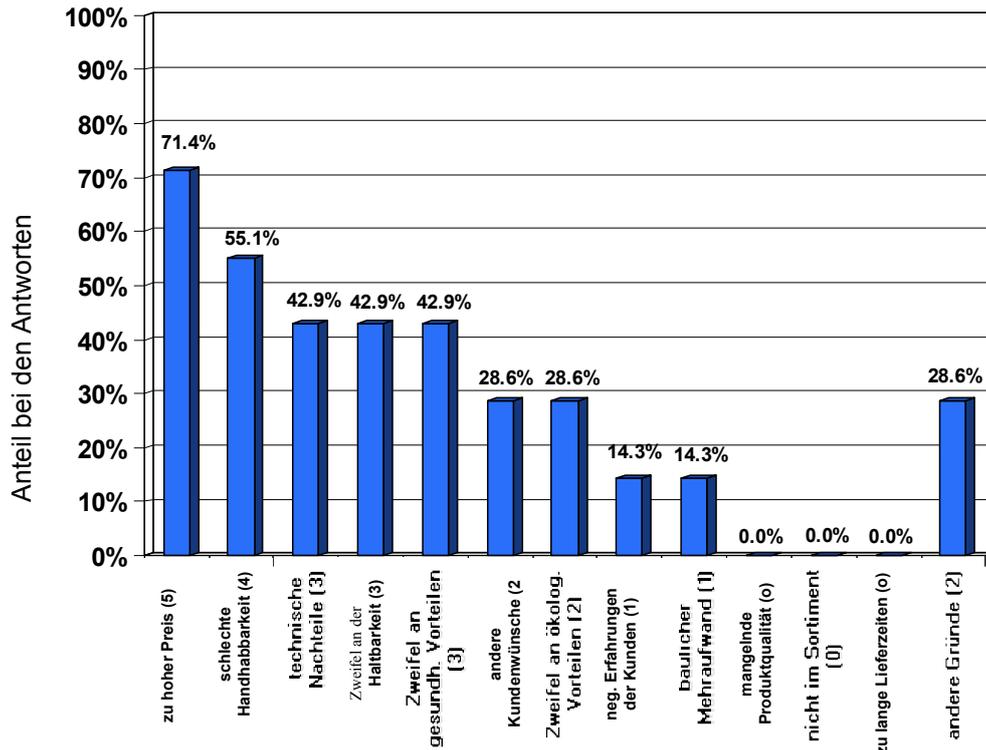


Abbildung 8.3: Gründe für den Nichteinsatz von biogenen Dämmstoffen beim Fertighausbau; (n) = Anzahl der Nennungen

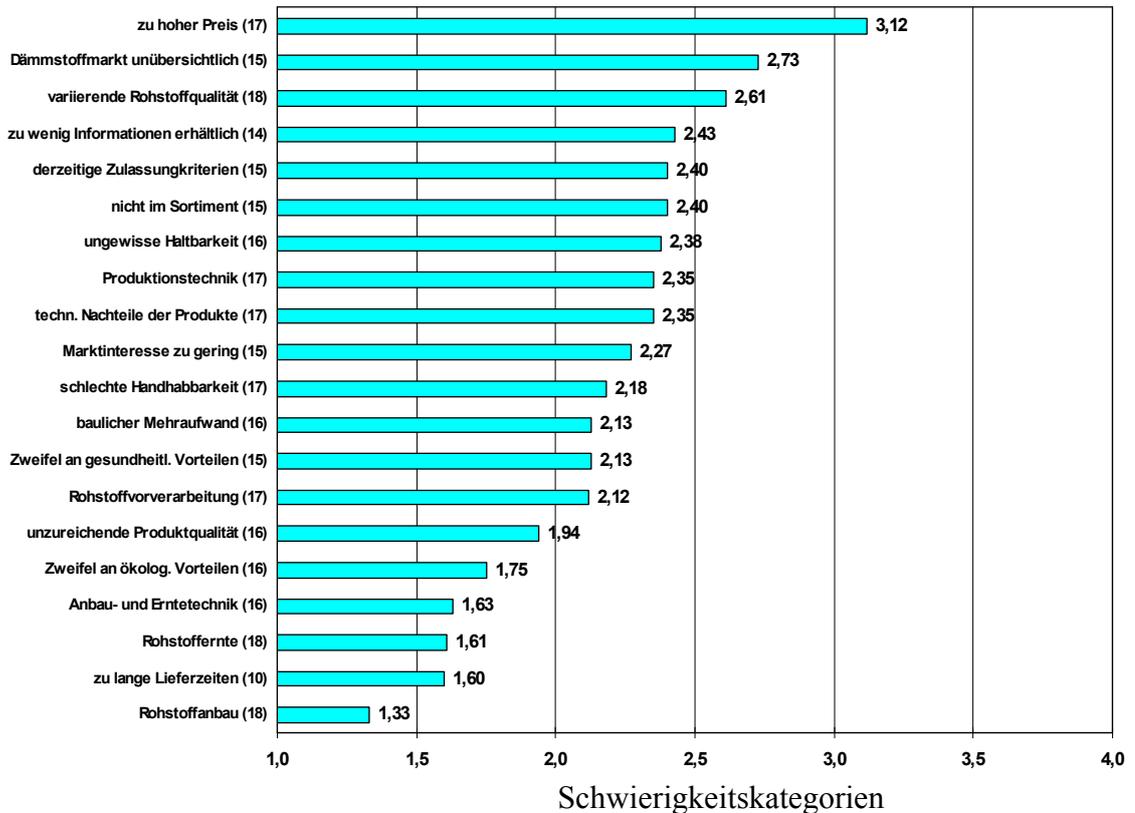


Abbildung 8.4: Bewertung der Schwierigkeiten bei der Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen aus Sicht der Zielgruppe Forschung (Mittelwerte aus einer Bewertung von 1 = kein Problem bis 4 = sehr schwierig, mit n = Anzahl der Nennungen)

In Übereinstimmung mit den Zielgruppen Bauberater, Händler, Handwerker und Fertighaushersteller wurde auch aus Sicht der Forschung das größte Problem im Produktpreis gesehen (Mittelwert 3,12). An zweiter Stelle wurde als Schwierigkeit bei der Verwendung ein unübersichtlicher Dämmstoffmarkt (2,73) genannt. Kaum Probleme wurden bei Rohstoffanbau und -ernte (1,33/1,61), einschließlich der einsetzbaren Techniken (1,63), angegeben. Wenn Probleme in diesem Bereich gesehen wurden, dann in Bezug auf variierende Rohstoffqualitäten (2,61). Auch die Produktqualität (1,94) wurde von der Forschung nicht als unzureichend eingestuft und eher nicht als Hemmnis für den Einsatz gesehen. Die Handhabbarkeit (2,18) der Dämmstoffprodukte und ein zu geringes Marktinteresse (2,27) wurde als etwas schwieriger eingestuft.

8.3 Erfahrungen und Einschätzungen zur qualitativen Bewertung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Entscheidend für eine Bewertung der Dämmstoffe sind die Qualitätsmerkmale hinsichtlich ihrer eigentlichen Funktion (Wärme- und Schalldämmung) und ihrer Haltbarkeit (Lebensdauer). Daneben sind aber auch die praktischen Aspekte bei der Verarbeitung (Handhabbarkeit und Staubentwicklung beim Einbau) und die Auswirkungen bei der Nutzung (Raumklima) wichtig. Die Beantwortung einer Bewertungsfrage, bei der die verschiedenen Qualitätsmerkmale mit Noten von 1 - 6 beurteilt werden sollten, gab Aufschluß über die Einschätzung der Zielgruppen Bauberater, Händler, Handwerker, Fertighaushersteller und Forschung.

Im folgenden wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse dargestellt. Zunächst erfolgt eine Einteilung der Dämmstoffe aufgrund ihrer Rohstoffe (Tabelle 8.3). Dabei läßt sich erkennen, daß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen insgesamt recht gut bewertet wurden, ohne wesentliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Rohstoffen. Die Mittelwerte aller Dämmstoffe lagen zwischen 2 und 2,3; nur Dämmstoffe auf Getreidebasis wurden mit 2,6 etwas schlechter bewertet. Allerdings lagen für eine Beurteilung dieses Rohstoffes eigentlich noch zu wenig Informationen vor, so daß es sich hier mehr um eine Einschätzung als um tatsächliche Erfahrungen handelt. Die Werte für Jute/Kokos können dabei nicht direkt mit den übrigen Mittelwerten verglichen werden, weil diese Rohstoffe im Unterschied zu den anderen Materialien nicht vorgegeben waren, sondern von einigen Befragten zusätzlich genannt wurden. Dadurch gingen für Jute/Kokos zum einen wesentlich weniger Werte in den Mittelwert ein, zum anderen lag die Vermutung nahe, daß diese zusätzlichen Nennungen nur bei besonders positiver Einschätzung erfolgten.

Auffällig war, daß die Wirkung auf das Raumklima bei allen Dämmstoffen am besten beurteilt wurde. Der Gesamtmittelwert dieses Qualitätsmerkmals liegt bei 1,75. Insbesondere Hanf (1,50) und Zellulose (1,55) wurden hoch bewertet. Die bauphysikalische Einschätzung der Raumklimawirkung bestätigt diese Beteiligung von Dämmstoffen am Feuchtigkeitsausgleich nicht. Auf Rang zwei in der Bewertung stand der Gesamtmittelwert des Qualitätsmerkmals Haltbarkeit mit 2,08. Besonders gut wurden Dämmstoffe aus Kork (1,84), Holzfasern (1,92) und -wolle (1,86), Zelluloseflocken (1,93) und Hanfmatten (2,00) hinsichtlich ihrer Lebensdauer bewertet. Auf Rang drei folgten die Wärme- und Schalldämmeigenschaften, wobei Zelluloseflocken (1,94) und Korkdämmstoffe (2,18) besonders gut beurteilt wurden, während Dämmstoffe aus Getreide (insbesondere die Getreideschüttung mit 3,23), Flachsschäben (3,03), Holzhobelspane (3,01), Hanfschäben (2,76) und Schilf (2,73) schlechter eingeschätzt wurden. Bezüglich der Handhabbarkeit

erhielten die Holzweichfaser- (2,18) und Holzwolleplatten (2,38) die beste Bewertung, aber auch Hanf- (2,00) und Baumwollmatten (2,05) wurden gut bewertet. Bei der Staubentwicklung schnitten erwartungsgemäß die Dämmstoffschüttungen am schlechtesten ab. Zelluloseflocken erhielten im Mittel eine Bewertung von 4,22, Getreideschüttung 3,50 und Flachsflocken 3,29. Korkplatten (1,78), Schafwoll- (1,81) und Baumwollmatten (1,90) wurden dagegen hinsichtlich der entstehenden Stäube sehr positiv beurteilt. Insgesamt gesehen erhielten die Schafwollmatten (Mittelwert der Rohstoffe 2,02), Korkdämmstoffe (2,05) und Baumwollmatten (2,06) die besten Bewertungen.

Tabelle 8.3: Bewertung der Qualitätsmerkmale von Dämmstoffen nach Rohstoffklassen (Mittelwerte aus einer Bewertungsskala von 1 = sehr gut bis 6 = sehr schlecht)

| Dämmmaterialien | Qualität (Wärme- und Schalldämmung) | Haltbarkeit (Lebensdauer) | Handhabbarkeit | Staubentwicklung | Raumklimawirkung | Mittelwert der Rohstoffe |
|---|-------------------------------------|---------------------------|----------------|------------------|------------------|--------------------------|
| Flachsplatten | 2,41 | 2,13 | 2,24 | 2,08 | 1,68 | 2,22 |
| Flachsmatten | 2,09 | 2,13 | 2,31 | 2,26 | 1,47 | |
| Flachsflocken | 2,35 | 2,06 | 2,88 | 3,29 | 1,65 | |
| Flachsschäben | 3,03 | 2,27 | 2,83 | 2,92 | 1,83 | |
| Mittelwert | 2,37 | 2,13 | 2,46 | 2,49 | 1,61 | |
| Hanfmatten | 2,10 | 1,91 | 2,00 | 2,25 | 1,40 | 2,17 |
| Hanfeschäben | 2,76 | 2,03 | 2,94 | 2,75 | 1,64 | |
| Mittelwert | 2,41 | 1,96 | 2,43 | 2,47 | 1,50 | |
| Holzhobelspäne | 3,01 | 2,67 | 2,96 | 2,46 | 1,75 | 2,14 |
| Holzwolle | 2,38 | 1,86 | 1,96 | 2,04 | 1,83 | |
| Holzweichfaser | 2,18 | 1,92 | 1,85 | 2,29 | 1,76 | |
| Mittelwert | 2,28 | 1,89 | 1,90 | 2,17 | 1,79 | |
| Zelluloseplatten | 2,38 | 2,05 | 2,81 | 2,60 | 1,69 | 2,34 |
| Zelluloseflocken | 1,94 | 1,93 | 2,17 | 4,22 | 1,49 | |
| Mittelwert | 2,14 | 1,98 | 2,46 | 3,51 | 1,58 | |
| Getreideplatten | 2,76 | 2,19 | 2,50 | 2,30 | 1,90 | 2,62 |
| Getreideschüttung | 3,23 | 2,79 | 3,43 | 3,50 | 1,85 | |
| Mittelwert | 2,94 | 2,43 | 2,88 | 2,79 | 1,88 | |
| Schafwollmatten | 2,21 | 2,25 | 2,19 | 1,81 | 1,55 | 2,02 |
| Baumwollmatten | 2,26 | 2,30 | 2,05 | 1,90 | 1,69 | 2,06 |
| Korkplatten | 2,17 | 1,83 | 2,28 | 1,78 | 2,06 | 2,05 |
| Korkschüttung | 2,19 | 1,84 | 2,24 | 2,25 | 1,91 | |
| Mittelwert | 2,18 | 1,84 | 2,26 | 2,00 | 1,99 | |
| Schilfplatten | 2,73 | 2,41 | 2,77 | 2,07 | 1,81 | 2,29 |
| Kokos/Jutefasern* | (2,08) | (2,33) | (1,67) | (1,67) | (1,67) | (1,98) |
| Mittelwert der Qualitätsmerkmale | 2,36 | 2,08 | 2,34 | 2,47 | 1,75 | |

* von Befragten zusätzlich aufgeführt

Die gleiche Datengrundlage wurde zur Bewertung nach den Dämmstoffarten Matten, Platten und Schüttungen verwendet (Tabelle 8.4). Den schlechtesten Gesamtmittelwert mit 2,4 erzielten dabei die Dämmstoffschüttungen. Dieses Ergebnis beruhte zum einen auf der hohen Staubentwicklung bei der Verarbeitung (3,20), aber auch in der Handhabbarkeit (2,54) und

der Dämmqualität (2,46) wurden die Schüttungen schlechter als Matten (2,15/2,18) oder Platten (2,29/2,38) eingeschätzt. Die niedrigste Staubentwicklung wurde bei den Matten (2,00) gesehen, während die längste Haltbarkeit bei den Platten (2,00) ermittelt wurde. Die schlechteste Raumklimawirkung wurde den Platten (1,82) und die beste den Matten (1,55) zugeschrieben.

Tabelle 8.4: Bewertung der Qualitätsmerkmale nach Dämmstoffart (Mittelwerte aus einer Bewertungsskala von 1 = sehr gut bis 6 = sehr schlecht)

| Dämmstoffart | Qualität (Wärme- und Schall- dämmung) | Haltbarkeit (Lebens- dauer) | Handhab- barkeit | Staubent- wicklung | Raumklima- wirkung | Mittelwert der Rohstoffe |
|--|--|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Flachsmatten | 2,09 | 2,13 | 2,31 | 2,26 | 1,47 | 2,03 |
| Hanfmatten | 2,10 | 1,91 | 2,00 | 2,25 | 1,40 | |
| Schafwollmatten | 2,21 | 2,25 | 2,19 | 1,81 | 1,55 | |
| Baumwollmatten | 2,26 | 2,30 | 2,05 | 1,90 | 1,69 | |
| Kokos/Jutefasern* | 2,08 | 2,33 | 1,67 | 1,67 | 1,67 | |
| Mittelwert | 2,18 | 2,19 | 2,15 | 2,00 | 1,55 | |
| Flachsplatten | 2,41 | 2,13 | 2,24 | 2,08 | 1,68 | |
| Holzwole | 2,38 | 1,86 | 1,96 | 2,04 | 1,83 | |
| Holzweichfaser | 2,18 | 1,92 | 1,85 | 2,29 | 1,76 | |
| Zelluloseplatten | 2,38 | 2,05 | 2,81 | 2,60 | 1,69 | |
| Getreideplatten | 2,76 | 2,19 | 2,50 | 2,30 | 1,90 | |
| Korkplatten | 2,17 | 1,83 | 2,28 | 1,78 | 2,06 | |
| Schilfplatten | 2,73 | 2,41 | 2,77 | 2,07 | 1,81 | |
| Mittelwert | 2,38 | 2,00 | 2,29 | 2,17 | 1,82 | |
| Flachsflocken | 2,35 | 2,06 | 2,88 | 3,29 | 1,65 | 2,40 |
| Flachsschäben | 3,03 | 2,27 | 2,83 | 2,92 | 1,83 | |
| Hanfschäben | 2,76 | 2,03 | 2,94 | 2,75 | 1,64 | |
| Holzhobelspäne | 3,01 | 2,67 | 2,96 | 2,46 | 1,75 | |
| Zelluloseflocken | 1,94 | 1,93 | 2,17 | 4,22 | 1,49 | |
| Getreideschüttung | 3,23 | 2,79 | 3,43 | 3,50 | 1,85 | |
| Korkschüttung | 2,19 | 1,84 | 2,24 | 2,25 | 1,91 | |
| Mittelwert der Qualitätsmerkmal e | 2,46 | 2,12 | 2,54 | 3,20 | 1,69 | |

* von Befragten zusätzlich aufgeführt

Weitere interessante Ergebnisse ergab die Aufteilung nach Zielgruppen, für die die gleichen Daten wie für die zwei vorherigen Tabellen aufbereitet wurden (Tabelle 8.5). Es wurden wiederum die Mittelwerte der Bewertungen von 1 bis 6 ermittelt. Auffallendstes Ergebnis bei dieser Betrachtungsweise war, daß die Staubentwicklung bei der Verarbeitung von den Handwerkern (1,48) insgesamt wesentlich niedriger eingestuft wurde als von den anderen Gruppen (2,36 - 2,63). Gleiches galt für die Handhabbarkeit (2,11) der Dämmstoffe, wobei der Unterschied zu den übrigen Gruppen (2,35 - 2,45) nicht so groß ausfiel. Die Haltbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wurde gut bewertet, wobei die Händler (1,70) und Handwerker (1,73) die besten Noten vergaben. Die Qualität hinsichtlich der Wärme- und Schalldämmung wurde von der Zielgruppe Forschung (2,53) etwas schlechter bewertet als von den anderen Gruppen (2,28 - 2,40). Die Raumklimawirkung wurde von allen Zielgruppen gleichermaßen hoch bewertet. Diese Wirkungen von natürlichen Dämmstoffen aus bautechnischer Sicht wurden in Kapitel 2 behandelt.

Tabelle 8.5: Bewertung der Qualitätsmerkmale von Dämmstoffen durch verschiedene Zielgruppen (Mittelwerte aus einer Bewertungsskala von 1 = sehr gut bis 6 = sehr schlecht)

| Zielgruppe | Qualität (Wärme- und Schalldämmung) | Haltbarkeit (Lebensdauer) | Handhab- barkeit | Staubent- wicklung | Raumklima- wirkung |
|---------------------------|---|------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bauberatung | 2,28 | 2,28 | 2,35 | 2,42 | 1,79 |
| Händler | 2,40 | 1,70 | 2,45 | 2,63 | 1,68 |
| Handwerker | - | 1,73 | 2,11 | 1,48 | 1,62 |
| Fertighaus- hersteller | 2,28 | 2,00 | - | - | - |
| Forschung | 2,53 | 1,95 | 2,35 | 2,36 | 1,65 |
| Gesamt | 2,36 | 2,08 | 2,34 | 2,47 | 1,72 |

8.4 Zu leistende Forschungs- und Entwicklungsarbeit

Neben der Qualitätsbeurteilung der bestehenden Produkte ist es natürlich wichtig, inwieweit eine Weiterentwicklung im Bereich der Dämmstoffe als erforderlich angesehen wird. Die Auswertung der diesbezüglichen Frage aus der eigenen Erhebung war eindeutig. Von 134 Befragten bejahten 133 die Frage (eine Nichtbeantwortung), ob nach ihrer Meinung weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit erforderlich ist. Dabei wird die Weiterentwicklung der Produkte von 82 % notwendiger angesehen als eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Konstruktionen.

Eine weitergehende Bewertungsfrage sollte nähere Auskunft darüber geben, auf welchen Forschungsgebieten noch Entwicklungsarbeit zu leisten ist. Verschiedene vorgegebene Bereiche sollten dafür in vier Kategorien, von nicht notwendig bis sehr wichtig, eingestuft werden. Zur Auswertung wurden diesen vier Kategorien Werte von 1 - 4 zugeordnet und für die jeweiligen Forschungsgebiete Mittelwerte gebildet. Da von einigen Zielgruppen keine Einschätzung für bestimmte Forschungsgebiete vorgenommen werden konnte, wurde die Anzahl der Nennungen in Klammern angegeben. Nachfolgend ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse dargestellt (Abbildung 8.5).

Der größte Forschungsbedarf wurde für den Bereich Marketing (Mittelwert 3,64) angegeben, gefolgt von den 3 Bereichen des Bauwesens (3,44/3,36/3,30). Der geringste Forschungsbedarf wurde insgesamt im Bereich Anbau und Ernte gesehen (Pflanzengenetik 2,11, Ackerbau 2,33 und Erntetechnik 2,57). Allerdings gab es hier unterschiedliche Einschätzungen der verschiedenen Gruppen. So wurde die Notwendigkeit von Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Pflanzengenetik von der Zielgruppe Anbauberatung wesentlich höher beurteilt (3,52). Technik (2,86) und Logistik (2,97) der Vorverarbeitung wurde im Mittelfeld eingestuft. Die Erstellung von Ökobilanzen für alternative Dämmstoffprodukte beurteilte die Bauberatung (3,56) etwas wichtiger als die anderen Zielgruppen, insgesamt belegte dieser Bereich Rang 6.

Es überraschte nicht, daß die Zielgruppen Anbauberatung und Forschung eher einen Forschungsbedarf bezüglich der Rohstoffgewinnung und Vorverarbeitung sahen, während Hersteller, Bauberatung, Händler und Fertighaushersteller eher die Forschungsarbeiten als notwendig erachteten, die das fertige Produkt betreffen.

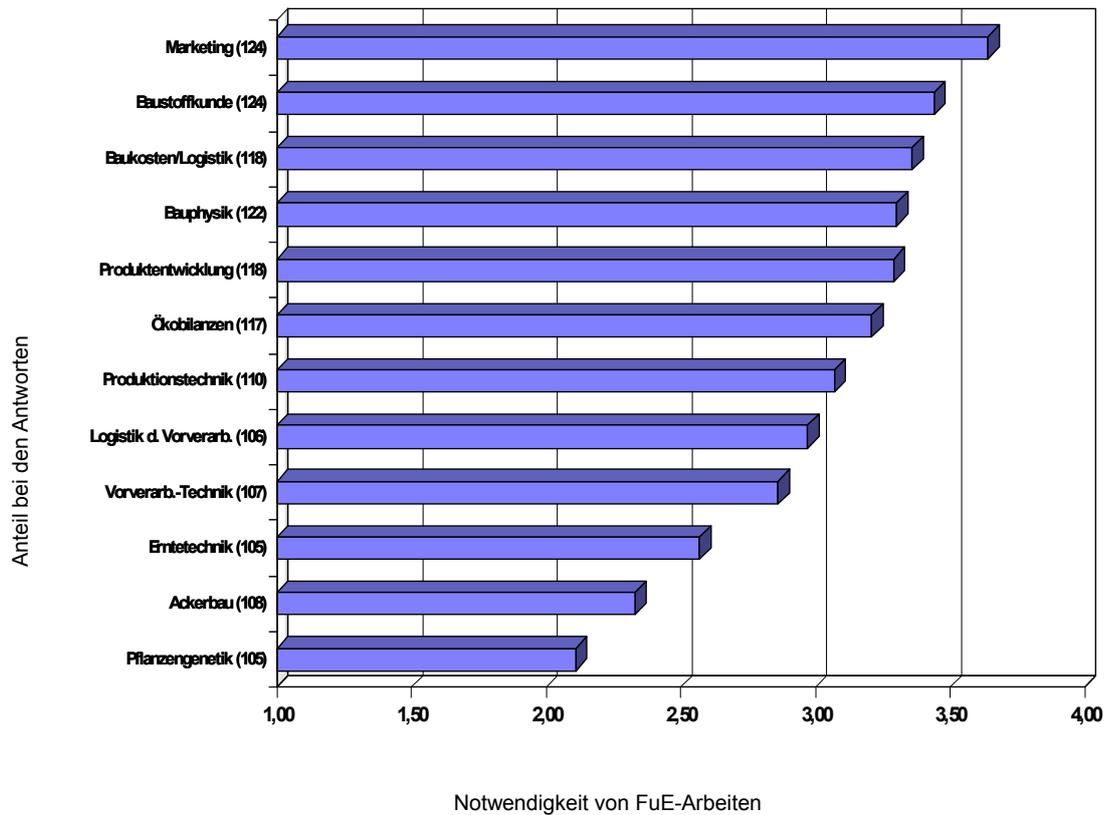


Abbildung 8.5: Einschätzung der Notwendigkeit von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf verschiedenen Gebieten (Mittelwerte aus einer Bewertungsskala von 1 = nicht notwendig bis 4 = sehr wichtig), (n) = Anzahl der Nennungen

Die Erhebung zeigte deutlich, daß eine Übereinstimmung bezüglich der als notwendig angesehenen Forschungsaktivitäten besteht. Neben dem Marketing konzentrierte sich der Forschungsbedarf auf die Bereiche Bauwesen, Produktentwicklung und -technik und die Erstellung von Ökobilanzen. Die Primärproduktion und Rohstoffbereitstellung erhielten dagegen keine Priorität.

8.5 Zusammenfassung und Diskussion

Die Auswertung der Umfrage zeigte, daß bisher insgesamt gute Erfahrungen für die Anwendung und Nutzung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen vorliegen. Wesentliche Unterschiede bezüglich des eingesetzten Rohstoffmaterials ergaben sich dabei nicht. Die Bauherren waren mit den eingesetzten Dämmstoffen zufrieden, die Qualitätsmerkmale Dämmleistung und Haltbarkeit wurden gut beurteilt. Schadensfälle traten nur selten auf und waren dann auf Verarbeitungs- oder Konstruktionsfehler zurückzuführen. Bei den praktischen Aspekten wurde die Handhabbarkeit beim Einbau ebenfalls recht gut beurteilt. Die höchste Staubentwicklung ergab sich erwartungsgemäß bei den Dämmstoffschüttungen. Eine Einschränkung der Verwendung ergab sich daraus aber nicht, da eine Gesundheitsgefährdung durch die auftretenden Stäube durch einfache Vorkehrungen, wie z. B. das Tragen von Staubmasken, reduziert werden kann.

Aus bautechnischer Sicht (Dämmwert, Festigkeit) sind Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen nicht besser als konventionelle Produkte einzustufen. In der Praxis ist ihre Anwendung auf die Bereiche W (nicht druckbelastbar, z. B. Wände, Decken und belüftete Dächer) und WL (zwischen Sparren und Balkenlagen) beschränkt. Die zumeist wesentlich höheren Produktpreise müssen daher durch Vorteile auf anderen Gebieten, außerhalb von technischen Kennwerten, gerechtfertigt werden. Nach der Umfrage wurden die Hauptvorteile eindeutig im bauökologischen und gesundheitlichen Bereich gesehen. Die erwarteten gesundheitlichen Vorteile waren:

- ein besserer Feuchtigkeitsausgleich
- die Vermeidung von Mineralfaserfreisetzung
- die Reduktion von Schadstoffen in der Innenraumluft.

Der große Vorteil natürlicher Dämmstoffe, die Sensitivität gegenüber Feuchtigkeit, reflektiert zugleich ihren größten Nachteil, da diese Eigenschaft mit der Haltbarkeit, Dämmleistung und einem möglichen mikrobiellen Befall gekoppelt ist. Materialien aus natürlichen Fasern sind in Bereichen mit Kondensationsprozessen empfindlich gegenüber mikrobieller Zerstörung. Versuche unter extremen Bedingungen in der Klimakammer bestätigten, daß es nur bei Matten, die nicht mit einem entsprechenden Schutz gegen Feuchtigkeit versehen sind (ohne Dampfbremse) zu einer erhöhten Feuchtigkeitsaufnahme kommt. Bei den Matten mit einer Dampfbremse wurde die gesamte Feuchtigkeit durch das Mattenmaterial transportiert, ohne daß es zu Kondensationsprozessen kam, da der Abtransport nach außen schneller als die Nachlieferung von innen erfolgte. Das Ziel der diffusionsoffenen Bauweise ist die Verbesserung des Raumklimas durch die Nutzung des hydrophilen Charakters der natürlichen Fasern und der Verringerung der Feuchtigkeitsbarrieren zwischen Raumluft und dem Dämmmaterial. Um dies zu erreichen, muß die Stärke der Dampfbremse entsprechend der Gefahr der Kondensation im Dämmmaterial und des Feuchtigkeitstransportes von innen nach außen gewählt werden. Aus bauphysikalischer Sicht ist der Einfluß der raumumschließenden Bauteile auf das Raumklima auf die oberen Zentimeter beschränkt. Eine Beteiligung am Feuchtigkeitsausgleich wird in der Praxis, durch die zumindest einige Zentimeter innerhalb der Konstruktion gelegenen Dämmstoffe, nicht bestätigt.

Hinsichtlich der Gesundheitsverträglichkeit von Dämmstoffen ist die Diskussion über eine Gefährdung durch lungengängige Fasern zu nennen. Von einer höheren Faserstaubbelastung bei der Nutzung von ordnungsgemäß gedämmten Räumen ist aber weder bei mineralischen, noch bei Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe auszugehen. Das gesundheitsgefährdende Potential von Faserstäuben hat seine Relevanz in der Arbeitsmedizin. Ein weiterer wichtiger Aspekt für eine gesunde Innenraumluft ist die Konzentration an Schadgasen. Kunststoffe und Bindemittel sind in die Kritik geraten, weil sie Schadgase emittieren können. Von Naturstoffen wird erwartet, daß sie keine Emissionen verursachen und zusätzlich die Fähigkeit zur Adsorption besitzen. So konnte für Holz und Schafwolle die Adsorption von Schadstoffen aus der Luft gezeigt werden. Für andere nachwachsende Rohstoffe gibt es diesbezüglich keine Untersuchungsergebnisse. Zudem stehen noch Erkenntnisse über die allergene Verträglichkeit aus. Dieser Aspekt ist aber von besonderer Bedeutung, da immer mehr Personen mit allergischen Überempfindlichkeitsreaktionen nach alternativen Baustoffen suchen, um eine gesundheitliche Belastung zu minimieren. Im Brandfall können sich Vorteile für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen gegenüber konventionellen Produkten (auch bei solchen mit einer Einstufung in die Baustoffklasse B1 oder A) aufgrund einer geringeren Qualmbildung, weniger toxischen Brandgasen und ggf. auch durch eine brandhemmende Wirkung ergeben.

Zu leistende Forschungsarbeit wird an erster Stelle auf dem Gebiet Marketing gesehen. Aber auch wesentliche gesundheitliche Aspekte bedürfen noch einer fundierteren Grundlage durch wissenschaftliche Untersuchungen. Die Ergebnisse dieser Studie spiegeln deutlich die eigentliche Problematik wider. Der Markt für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wird direkt vom "Glauben" der Konsumenten bestimmt, daß diese Produkte Eigenschaften besitzen, die zu gesundheitlichen und raumklimatischen Vorteilen bei der Nutzung führen. Im Gegensatz zu dieser Überzeugung sind diesbezüglich nur wenige Anhaltspunkte in der wissenschaftlichen Literatur feststellbar.

Marktchancen werden verbessert durch:

- positive Beurteilung durch die Bauherren
- gutes Image
- Erwartung einer Verbesserung des Raumklimas
- Trend zum „gesünderen“ Wohnen

Hemmnisse:

- Preis
- Unübersichtlichkeit des Dämmstoffmarktes
- Zulassungskriterien
- Angebotslücke vieler Baumärkte

Lösungsvorschläge:

- Preissenkungen
- Marketing
- Überzeugungsarbeit bei Bauberatern
- breiterer Einstieg in die Angebotspalette von Baumärkten
- Senkung der Kosten durch bessere Technik bei Vorverarbeitung und Herstellung
- mehr Kenntnisse über die Eigenschaften kombinierter Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe, um z. B. gleichmäßigere Produktqualitäten und –mengen liefern zu können.

9 Entsorgung und Wiederverwertung von Dämmstoffen

Joachim³, T., Behring¹, H., Widdecke³, H., Murphy¹, D.P.L.

9.1 Einleitung

Ein entscheidendes Kriterium für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen ist eine gute Umweltverträglichkeit. Die Umweltbelastungen und damit die externen Kosten für die Gesellschaft können reduziert werden, wenn Produkte mit einer langen Lebensdauer Verwendung finden, die nach einer umweltverträglichen Herstellung und Nutzung möglichst wieder in den Stoffkreislauf integriert werden können. Die Wiederverwertung oder umweltfreundliche Entsorgung ist eine wichtige Einflußgröße bei der ökologischen Bewertung und stellt eine wichtige Voraussetzung für eine anhaltende Marktakzeptanz dar. Ausgediente Dämmstoffe zur Verwertung oder Entsorgung fallen hauptsächlich mit dem Abriß bzw. Rückbau des Gebäudes an. Bei Umbauten und Sanierungen wird auf dem vorhandenen Dämmmaterial meist eine zusätzliche Dämmschicht aufgebracht. Der Anfall der Dämmstoffe wird deshalb im wesentlichen von der Lebensdauer des Gebäudes bestimmt.

Gebäudedämmung war nicht immer so selbstverständlich wie heute. Gebäude werden erst seit etwa 50 Jahren mit einer Wärmedämmung versehen und erst seit Anfang der 60er Jahre wird der Wärmeschutz im Hochbau in der DIN 4108 geregelt. Aus diesem Grund und wegen der langen Lebensdauer werden heute hauptsächlich Gebäude abgerissen, die keine Wärmedämmung besitzen. Nur ein Teil der Abrisse sind wärmegeämmte Gebäude (HEUSER 1997). Durch technischen Fortschritt verkürzte Lebensdauer von Gebäuden kann dazu führen, daß künftig vermehrt wärmegeämmte Gebäude zum Abriß anstehen. Mit einem größeren Aufkommen ausgedienter konventioneller Dämmstoffe kann daher schon in den nächsten Jahren gerechnet werden. Neben den konventionellen Dämmstoffen werden seit 1992 vermehrt Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zur Dämmung von Wohngebäuden verwendet. Diese Dämmstoffe sind demzufolge erst kurze Zeit in Nutzung und ihr Anteil am Gesamtdämmstoffverbrauch ist noch sehr gering. Derartige Altdämmstoffe werden also erst in einigen Jahrzehnten anfallen. Es können daher nur grundsätzliche Möglichkeiten für Wiederverwertungs- und Entsorgungswege aufgezeigt werden.

Aus Sicht der Wiederverwertung sind viele Dämmstoffe bereits auf einem niedrigen Niveau angesiedelt. Rohstoffgrundlage vieler Dämmstoffe sind Reststoffe anderer Produktlinien (z. B. Schafwolle und Flachswerge) oder Recyclingrohstoffe (z. B. Altglas für Glaswolle und Altpapier für Zellulosedämmstoffe). Diese Dämmstoffe sind somit bereits Bestandteil einer ganzheitlichen Verwertung oder Wiederverwertung. Grundsätzlich sind aber alle Dämmstoffe wiederverwendbar und recycelbar. Entscheidend sind die Rückbaumöglichkeiten und der Zustand der Dämmstoffe. Für die Entsorgung und Wiederverwertung von Dämmstoffen ergeben sich je nach Art und Zustand folgende Möglichkeiten:

- Wiederverwendung ohne zusätzliche Aufarbeitungsschritte
- Recycling (wieder zu neuen Dämmstoffen oder anderen Produkten)
- Kompostierung
- energetische Verwertung (Verbrennung)
- Entsorgung durch Deponierung oder thermische Behandlung (Abfallverbrennung).

Für Dämmstoffe aus Kunststoffen besteht außerdem die Möglichkeit der chemischen Verwertung. Darunter sind chemische oder thermische Verfahren zu verstehen, bei denen die Kunststoffe zu niedermolekularen Bruchstücken abgebaut werden.

Welcher Weg für welche Dämmstoffe geeignet ist, ist abhängig von dem physikalischen, chemischen und biologischen Verhalten der Rohstoffe und vom Umweltverhalten der eingesetzten Zusatzstoffe. Es wird hierzu chemisches, medizinisches und biologisches Grundwissen zusammengetragen, Daten spezieller Veröffentlichungen und Expertenmeinungen wiedergegeben und z. T. mit eigenen Ergebnissen und Einschätzungen ergänzt. Eine abschließende toxikologische Bewertung kann aufgrund fehlender Erfahrungswerte und noch ausstehender praxisnaher Versuche nicht vorgenommen werden.

9.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

9.2.1 Regelungen zur Abfall- und Kreislaufwirtschaft

Das Ziel des Gesetzes zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen ist in § 1 KrW-/AbfG festgelegt: *„Zweck des Gesetzes ist die Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen“*. Das Gesetz unterscheidet zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung (§ 3 Abs. 1 Satz 2 KrW-/AbfG). Sowohl bei der Verwertung als auch bei der Beseitigung wird Abfall entsorgt (Abs. 7). Das Kreislaufwirtschaftsgesetz legt für die Verwendung des Abfalls eine Rangfolge fest. Abfälle sind danach als erstes zu vermeiden. Nach der Vermeidung steht die Verwertung von Abfällen (§ 4). Die Beseitigung steht erst an dritter Stelle. Ist die Beseitigung allerdings umweltverträglicher, hat die Verwertung nicht mehr den Vorrang vor der Beseitigung (§ 5). Die energetische Verwertung von Abfällen ist gemäß dem KrW-/AbfG (§ 6) zulässig, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- der Heizwert des unvermischten Abfalls beträgt mindestens 11 MJ kg^{-1}
- ein Feuerungswirkungsgrad von mindestens 75 % wird erzielt
- die entstehende Wärme wird selbst genutzt oder an Dritte abgegeben, und
- die bei der Verwertung anfallenden weiteren Abfälle können möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden.

Werden diese Anforderungen an eine energetische Verwertung nicht eingehalten, spricht man von einer thermischen Behandlung von Abfällen. Vorzuziehen ist in jedem Fall die umweltverträglichere Verwertungsart. Bei Abfällen aus nachwachsenden Rohstoffen ist im Gegensatz zu anderen Abfallarten kein Mindestheizwert vorgeschrieben. Eine energetische Verwertung von Abfällen aus nachwachsenden Rohstoffen ist daher auch dann möglich, wenn der Heizwert unter 11 MJ kg^{-1} liegt.

Nach dem neuen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sind Wertstoffe aus Bauabfällen wiederzugewinnen und in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Bei den mit Borsalzen behandelten Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen handelt es sich nicht um besonders überwachungsbedürftige Abfälle (Sonderabfälle), da keine Eintragung im Sonderabfallkatalog vorliegt (UMWELTBUNDESAMT 1997). Abfälle dieser Dämmstoffe sind lt. Definition der TA Siedlungsabfall als hausmüllartiger Gewerbeabfall einzuordnen. Daraus ergibt sich lt. § 4 des KrW-/AbfG, daß die Abfälle in erster Linie zu vermeiden, sekundär zu verwerten (stofflich oder energetisch) und erst dann zu beseitigen sind. Ist eine Verwertung nicht möglich oder wirtschaftlich unzumutbar oder die Beseitigung des Abfalls die umweltverträglichere Lösung (§ 5 Abs. 4,5), so ist der Abfall zu beseitigen. Stark verunreinigte Materialien aus Abrissen dagegen zählen zu den besonders überwachungsbedürftigen Abfällen.

Mit dem neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde auch eine Produktverantwortung eingeführt, die Industrie, Handel und Verbraucher dazu verpflichtet, den Abfallanfall zu vermindern. Der gesamte Lebenszyklus eines Produktes soll dadurch in die Produktentwicklung einbezogen werden. Ziel ist, daß Erzeugnisse mehrfach verwendbar, technisch langlebig und verwertungsfreundlich sind.

9.2.2 Regelungen zur Kompostierung

Die Kompostierung hat die Aufgabe, Abfälle in verwertbaren Kompost umzuwandeln. Damit der erzeugte Kompost verwertbar ist, schreibt die TA Siedlungsabfall die Einhaltung der Anforderungen des LAGA-Merkblattes M10 (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL) vor. Dies gilt auch im Hinblick auf die angestrebte Anwendungsmenge. Gemäß der TA Siedlungsabfall sind bei der Aufbringung gleichzeitig die Vorgaben des Düngemittelgesetzes zu erfüllen (TA-SI, 5.4.1.2 Anforderungen an die erzeugten Komposte). Auf freiwilliger Basis werden für die Bewertung von Komposten außerdem die Qualitätskriterien für Kompost der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. und die des Umweltzeichens "Blauer Engel" für Bodenverbesserungsmittel/Bodenhilfsstoffe aus Kompost "weil schadstoffarmes Kompostprodukt" (RAL ZU 45) angewandt (SÜSSER 1995, DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG e.V. 1992).

Im LAGA-Merkblatt M10 sind die Anforderungen an die erzeugten Komposte u.a. in Form von Schadstoffgrenzwerten, genauen Anforderungen an den Kompostierungsvorgang und Vorgaben zur Begrenzung der Schadstofffrachten festgelegt. In diesem Merkblatt sind auch geeignete Testverfahren zur Prüfung von Komposten beschrieben. Gemäß dieser Richtlinie sind zudem Bodenuntersuchungen und Nachweise über den Schadstoffgehalt der Komposte notwendig (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL 1995). Weitere Anforderungen an den Kompost sind in den Qualitätskriterien der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. und im Gütezeichen "Blauer Engel" enthalten.

Bei der Aufbringung von Komposten gelten zudem die Bestimmungen des Düngemittelgesetzes. Komposte aus Siedlungsabfällen und Klärschlämmen, die für die Düngung verwendet werden, sind nach dem Düngemittelgesetz als Sekundärstoffdünger definiert. Vor der Kompostsanwendung ist nach den Regelungen und Anforderungen der Düngemittelverordnung eine Düngemitteltypen-Zulassung erforderlich (§ 2 DüngeMG). Schadstoffanreicherungen in der menschlichen Nahrungskette sollen damit ausgeschlossen werden. Die Düngung soll außerdem dem Bedarf der Pflanzen gerecht werden und eine umweltverträgliche Verwertung der Kompostnährstoffe sicherstellen (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL 1992).

Entwurf der Bioabfallverordnung

§ 8 des KrW/AbfG ermächtigt zum Erlaß von Rechtsverordnungen im Agrarbereich zur ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung von Abfällen. Die Bioabfallverordnung soll künftig die nötigen Vorgaben dazu enthalten (KUNIG 1996).

In Hinblick auf die Nährstoffseite ist das Düngemittelrecht zu beachten. Nach dem neuen Düngemittelgesetz können organische Abfälle, die nicht Wirtschaftsdünger sind, nur dann in Verkehr und auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden, wenn sie entsprechend den Anforderungen der Düngemittelverordnung eine Düngemitteltypen-Zulassung als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe oder Kultursubstrate erhalten haben. Hierbei gelten

für die Anwendung von Sekundärrohstoffdüngern im Pflanzenbau neben den schadstoffbezogenen Regelungen des Abfallrechts auch die nährstoffbezogenen Regelungen der Düngeverordnung (JÖRDENS 1996). Eine Zulassung als Sekundärrohstoffdünger ist grundsätzlich im Rahmen einer Genehmigung möglich. Gegenwärtig sind die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen aber nicht auf der Positivliste der KompostVO, somit ist z. Z. eine Zulassung in der DüngemittelVO nicht gegeben (UMWELTBUNDESAMT 1997).

Entwurf DIN 54900

Für die Prüfung der Kompostierbarkeit von polymeren Werkstoffen hat der FNK-Arbeitsausschuß (KOMMISSION FÜR FORSCHUNG UND WISSENSCHAFTLICHEN NACHWUCHS) 103.3 "Bioabbaubare Kunststoffe" auf der Grundlage des Merkblattes M10 der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) von 1995 geeignete Verfahren entwickelt. Die Verfahren sind in dem Entwurf DIN 54900 dargestellt. Anhand dieser Prüfverfahren soll festgestellt werden, ob ein polymerer Werkstoff während einer kontrollierten Kompostierung abgebaut wird und wie sich seine Abbauprodukte bzw. der Werkstoff auf den Kompostierungsprozeß und die Qualität des entstehenden Kompostes auswirken. Sollte die DIN 54900 in Kraft treten, so ist diese auf polymere Stützfasern in Faserdämmstoffen anzuwenden. Im ersten Teil wird eine chemische Prüfung der Werkstoffe vorgenommen. Im nächsten Schritt wird der polymere Werkstoff unter definierten und reproduzierbaren Laborbedingungen auf seine vollständige biologische Abbaubarkeit untersucht. Eine Prüfung unter realen Kompostbedingungen erfolgt im dritten Teil. Bei diesem Verfahren werden die Verwertungseigenschaften der Komposte ermittelt. Im letzten Teil wird die Ökotoxizität des Kompostes geprüft (FNK 1997).

9.3 Maßgebende Kriterien beim Recycling

Für die Zuordnung der Produkte zu einem geeigneten Recyclingprozeß werden verschiedene technische, zeitliche und den Wert und die Menge von Produkten betreffende Kriterien angewandt. Weitere Kriterien sind der Fortschritt, die Rohstoff- und Schadstoffgehalte und die Marktanforderungen.

9.3.1 Materialwert-Kriterium

Viele Dämmstoffe sind aus Sicht des Recyclings auf einem niedrigen Materialwertniveau angesiedelt, da Rohstoffgrundlage vieler Dämmstoffe Reststoffe anderer Produktlinien (z. B. Schafwolle und Flachswerg) oder bereits Recyclingrohstoffe (z. B. Altpapier, Altglas, Flaschenkork) sind. Der Wert von Dämmstoffprodukten unterliegt aber noch verschiedenen anderen Einflußfaktoren. So erfährt Material, das stark verschmutzt oder mit anderen Stoffen oder Hilfsstoffen wie Kleber kontaminiert ist, eine Wertminderung. Eine Verschmutzung ist nicht immer auszuschließen, sie kann jedoch durch eine umsichtige Handhabung minimiert werden. Dazu ist das Produkt sortenrein zu erfassen und darf nicht mit anderen Fraktionen vermischt werden. Eine Aufbereitung verschmutzter oder mit anderen Fremdstoffen kontaminierter Materialien ist aufwendig und kostenintensiv.

Die Materialeigenschaften von Altprodukten werden gleichzeitig an denen von Neumaterialien gemessen. Nur Altmaterialien, die für einen bestimmten Verwendungszweck mit den Eigenschaften von Neumaterialien auch im Hinblick auf den Preis konkurrieren können, sind wirtschaftlich zu recyceln. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, daß Materialien und Produkte in wenigen Jahren technisch überholt sind. Diese Entwicklung trifft insbesondere bei polymeren Materialien zu. Neben den Zusatzstoffen werden auch Herstellungsverfahren

und Eigenschaften der Polymere ständig weiterentwickelt. Materialien können nach einer längeren Einsatzdauer nur in Bereichen eingesetzt werden, in denen keine besonderen Anforderungen an das Material gestellt werden.

9.3.2 Mengen-Kriterium

Bei den Möglichkeiten für ein Recycling ist bei den anfallenden Abfallmengen zu unterscheiden zwischen:

- Produktionsabfällen,
- beim Einbau anfallendes Verschnittmaterial oder Produktreste
- und Abfällen aus Rückbau und Abriß.

Die Produktionsabfälle werden in den meisten dämmstoffherstellenden Firmen mittels sogenannten internen Recyclings in den Produktionsprozeß zurückgeführt (z. B. Rockwool Steinwollehersteller). Das eigentliche Problem bei der Wiederverwertung von allen Dämmstoffarten besteht in der Logistik für Dämmstoffabfälle. Zum einen ist ein geordneter Rückbau notwendig, bei dem eine Trennung der Bauschuttfraktionen stattfindet, damit sortenreiner Dämmstoff vorliegt. Zum anderen fehlen Sammel- und Annahmestellen. Bei Dämmstoffabfällen aus Rückbau handelt es sich in der Regel um jeweils geringe Mengen einer Dämmstoffart mit einem relativ großen Volumen. Hersteller als mögliche Verwerter können räumlich weit getrennt sein. Für die Erfassung, Sammlung und den Transport von Abfällen zur Verwertungsanlage ist damit vor allem die räumliche Verteilung des Abfallaufkommens von Bedeutung. Ein Abfallprodukt mit geringem Mengenaufkommen aus einem großen Einzugsbereich und vergleichsweise geringem Wert ist für ein Recycling eher ungeeignet. Dieser Umstand hat vor allem hohe Logistikkosten zur Folge. Geringe Mengen lassen daher oft eine wirtschaftliche Aufbereitung nicht zu. Neben den Logistikkosten müssen die Kosten für die Verwertung eingeplant werden. Sind nur die Produkthersteller zu einem Recycling in der Lage, so müssen die Altmaterialien über weite Strecken zur Verwertung transportiert werden. Um die Verwertungskosten zu reduzieren, müssen Verwertungsanlagen in der näheren Umgebung vorhanden sein.

Dämmstoffe auf gleicher Rohstoffbasis unterscheiden sich zudem aufgrund unterschiedlicher Herstellungsverfahren im Aufbau und in der Zusammensetzung (unterschiedliche Zusatzstoffe). Dies ist einer der Hauptgründe, warum die meisten Hersteller nicht bereit sind, Dämmstoffe anderer Hersteller anzunehmen. Einige Hersteller sind nach eigenen Aussagen zwar in der Lage, Dämmstoffe anderer Erzeuger zu verwerten, lehnen die Annahme aber dennoch ab. Das Rücknahmeangebot dient Werbezwecken und soll den eigenen Produkten einen Marktvorteil verschaffen. Dieses Verhalten ist verständlich, schränkt aber die Recyclingfähigkeit von Dämmstoffen weiter ein.

Nur ein Teil der zur Zeit zum Abriß anstehenden Gebäude besitzen eine Wärmedämmung. Die anfallende Menge an Altdämmstoffen ist daher gering und wird derzeit mit dem Bauschutt deponiert. Wird auch in Zukunft aus wirtschaftlichen Gründen kein Ausbau von ausgedienten Dämmmaterialien vorgesehen, müssen die Dämmmaterialien für ein Recycling vom verbleibenden Bauschutt abgetrennt werden. Zu prüfen ist, ob dies aufgrund der geringen Gewichtsanteile von Dämmstoffaltmaterialien im Bauschutt notwendig und andererseits durch vorhandene Aufbereitungsverfahren auch wirtschaftlich möglich ist. Der Gewichtsanteil von Dämmstoffaltmaterial am Bauschuttanfall eines Abrißobjektes beträgt weniger als 1 Gew.% (KLOSE 1994). Wie sich die Mengen anfallender Dämmstoffmaterialien zeitlich entwickeln, kann z. Z. nicht vorausgesagt werden.

9.4 Recycling von Dämmstoffen

9.4.1 Recycling von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Flachs

Die bei der Produktion anfallenden Dämmstoffreste werden nach einer Aufbereitung entweder wieder dem Produktionsprozeß zugeführt oder bei der Herstellung von Filzen oder Geotextilien eingesetzt. Die Schnittreste werden zunächst in der Krempel gerissen und in einzelne Fasern aufgelöst. Die Fasern erfahren bei dieser Behandlung eine Einkürzung, der Vorgang ist mit einer starken Staubeentwicklung verbunden. Der Staubanfall von 2 kg m^{-3} Dämmstoff während der Dämmstoffherstellung, verdoppelt sich auf 4 kg m^{-3} . Bei Filzvliesen wird die Staubeentwicklung durch die dichtere Vernadelung unterbunden. Ein Recycling von ausgebauten Dämmstoffen ist grundsätzlich möglich. Anhaftende Kalk- und Mörtelreste stören bei der Aufbereitung nicht. Sie werden mit dem Staub aus dem Produktionsprozeß entfernt (STEINER 1997).

Den Herstellern werden keine anfallenden Dämmstoffabfälle oder ausgebauten Dämmstoffe zur Verwertung geliefert. Die Handwerksbetriebe setzen übergebliebene Materialreste bei neuen Bauvorhaben zum Ausstopfen von Fenstern- oder Türritzen und Hohlräumen ein. Ausgebaute Dämmstoffbahnen werden von einigen Verarbeitern nach einer groben Stückelung vor allem zum Dämmen von alten Dielenböden wiederverwendet.

Holzwohle und Holzfasern

Holz ist ein etablierter Brennstoff. Holzwerkstoffe sind, sofern sie keine Holzschutzmittel enthalten, zugelassene Festbrennstoffe für gewerbliche Feuerungsanlagen und lassen sich daher nach Gebrauch energetisch entsorgen. Neue Entwicklungen eröffnen aber auch Möglichkeiten für stoffliche Verwertungswege. So können in einem Recyclingprozeß aus alten Span- und mitteldichten Faserplatten (MDF) des Möbel- und Innenausbaus wieder neue Platten hergestellt werden (MICHANICKL und BOEHME 1996). Auch mit Weißleim gebundene Holzfasernplatten können mit dieser Recyclingmethode verwertet werden. Enthaltene Zusätze wie Aluminium- oder Ammoniumsulfat stören den Prozeß nicht. Zu prüfen wäre jedoch, inwieweit sich diese Zusätze im geschlossenen Prozeßwasser-Kreislauf anreichern (BÖHME 1998). Holzwohleplatten, die mit wasserunlöslichem Magnesit, Gips oder Zement gebunden sind, eignen sich nicht für dieses Recyclingverfahren. Im Sinne des Recyclings ist hier nur eine Rückführung von Produktionsresten und Verschnitten zu nennen, die nach mechanischer Zerkleinerung bis zu einem Anteil von 10 % wieder in den Produktionsprozeß eingebracht werden können.

Schafwolle

Die in der Produktion beim Besäumen der Dämmstoffbahnen anfallenden Randstreifen werden gesammelt und als sogenannte Lose- oder Stopfwolle kostengünstig weitergegeben. Ausschußmaterial aus der Produktion wird in Krempelmaschinen wieder zu Fasern aufgelöst. Die Auflösung der Fasern ist mit einer hohen Staubeentwicklung verbunden, die aus einer starken mechanischen Beanspruchung während des Auflösens resultiert. Die aus dem Prozeß gewonnenen Fasern werden hauptsächlich zur Filzherstellung eingesetzt. Filzvliese sind eng vernadelt, daher ist eine Emission von Fasern kaum möglich. Der Anteil der Recyclingfasern an der Filzherstellung liegt bei etwa 50 %. Neben der Staubeentwicklung ist die Fasereinkürzung beim Recyclingprozeß nicht zu vermeiden. Die Faserlänge der

Recyclingware verringert sich von ca. 18 auf ca. 6 cm Länge. Auch beim Einsatz von geringen Mengen der Recyclingfasern werden ab einer Dämmstoffdicke von 20 cm Stützfasern erforderlich.

Bei der Verarbeitung höherer Recycling-Anteile befürchtet der Hersteller einen negativen Einfluß auf die Dämm- und Schalleigenschaften und eine Erhöhung der Feuchteaufnahme bei recycelten Fasern durch die Oberflächenvergrößerung. Nach bisherigen Erfahrungen und Einschätzungen sind diese Befürchtungen nicht nachzuvollziehen. Durch eine wiederholte Aufarbeitung wird das Material immer feiner, wodurch die Dämmeigenschaften eher verbessert werden. Über eine Veränderung der Feuchteaufnahme ist nichts bekannt.

Zellulose

Rohstoffgrundlage der Zellulose-Dämmstoffe ist Altpapier aus Tageszeitungen. Es handelt sich daher um ein Recyclingprodukt und erst im weiteren Sinne um ein Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen. Bei der Produktion kommt es zu einer relativ hohen Staubentwicklung von etwa 1 Gew.%, welche größtenteils durch spezielle Anlagen abgesaugt wird (RÄUSCHEL und KRÖNING 1997). Der anfallende Staub kann bisher noch nicht in den Produktionsprozeß zurückgeführt werden, er wird z. Z. kostenpflichtig deponiert.

Zelluloseflocken werden von Fachbetrieben mittels eines Gebläses zwischen einer zur Pfannenseite hin montierten dünnen Dämmstoffplatte und der Wandinnenverkleidung pneumatisch eingeblasen. Die Zelluloseflocken bilden in dem vollständig ausgefüllten Zwischenraum einen dichten Filz. Für ihre Dämmstoffprodukte gibt es von der Fa. Isofloc eine Rücknahmeerklärung. Beim Einbringen der Dämmstoffschüttung anfallende Produktreste werden in der Regel vom verarbeitenden Betrieb mit zur nächsten Baustelle genommen und dort eingesetzt. Eine Rückgabe an den Hersteller ist daher selten erforderlich. Mit einem größeren Aufkommen an ausgedienten Materialien ist erst in einigen Jahren zu rechnen. Ein Ausbau von Dämmstoffen erfolgt z. Z. nur bei Umbaumaßnahmen. Das Material kann nach dem Öffnen des gedämmten Hohlraums entweder mit Schaufeln entnommen oder mit Hilfe eines Gebläses pneumatisch abgesaugt werden. Von der Fa. Isofloc wird z. Z. eine spezielle Absauganlage für den Rückbau entwickelt. Gegenüber dem Einblasen ist beim Ausbau für das Absaugen der Materialien eine 10fach höhere Leistung erforderlich. Das zurückgewonnene Material wird in Säcke verpackt und der Wiederverwertung zugeführt. Voraussetzung bei der Wiederverwertung ist der Ausbau einer sauberen und trockenen Schüttung. Beim Absaugen oder Entnehmen des Dämmstoffes ist mit einer erheblichen Staubentwicklung zu rechnen, die entsprechende Schutzmaßnahmen erforderlich macht.

Eine direkte Wiederverwendung des Zellulosedämmstoffes ist nur möglich, wenn das Material infolge von Setzungen nicht zu stark verfilzt ist. Das Material wird meist erneut dem Produktionsprozeß zugeführt. Mit der wiederholten Behandlung der Zelluloseflocken ist i. d. R. auch hier eine Verkürzung der Fasern und ein erhöhter Staubanfall in der Produktion verbunden. Auch durch den zunehmenden Anteil von Recyclat bei der Herstellung von Tageszeitungen werden die Fasern beim Rohstoff Altpapier immer kürzer. In Zukunft könnte deshalb eine Beimischung von längeren Fasern (z. B. Holzfasern) notwendig werden.

Kork

Kork wird als Rinde der Korkeiche gewonnen. Für die Produktion wird die Rinde nach Gewicht und Verunreinigung sortiert. Über die beste Qualität verfügt helle, leichte Rinde, sie

wird für die Weinkorken-Produktion eingesetzt. Je höher die Holzanteile sind, um so dunkler und schwerer ist der Kork und um so niedriger ist die Qualität. Weniger gute Rindenqualität wird für Bodenbeläge und mindere Qualität für Dämmstoffe eingesetzt (ZIPSE 1997). Für die qualitativ hochwertigen Flaschenkorken bietet sich daher ein Down-Recycling zu Dämmstoffen an.

Seit 1995 sammelt die Werkstatt für Behinderte am Epilepsiezentrum Kehl-Kork bundesweit naturbelassene, sortenreine Flaschenkorken sowie naturbelassene Korkreste. Inzwischen gibt es im gesamten Bundesgebiet Sammelstellen. Ab 5 m³ entstehen den Sammelstellen für das Abholen der gesammelten Korken keine Kosten. Das Aufkommen der gesammelten Korken belief sich im Jahr 1995 auf ca. 2000 m³ (ca. 70 Millionen Korken). Das gesamte Potential wird auf etwa 5000 - 6000 m³ Korken geschätzt. Im Vergleich dazu werden für einen Neubau zwischen 20 - 70 m³ Korkschat benötigt (RECYKORK 1997). Die gebrauchten sauberen Korken werden zu Korkgranulat weiterverarbeitet. Über 100 Händler, die gleichzeitig Korksammelstellen sind, bieten mittlerweile RecyKork an. Das Material wird lose zwischen Holzverschalungen im Wand- oder Deckenbereich sowie unter Dachschrägen zur Schalldämmung geschüttet. Bei größeren Bauvorhaben wird Dämmstoffgranulat mit handelsüblichen Zellulose-Verarbeitungsmaschinen im Einblasverfahren in vorbereitete, winddichte Decken-, Dach- und Wandholräume eingebaut (RECYKORK 1997).

Auch Dämmkork-Platten werden von Kork-Sammelstellen und einigen Händler zurückgenommen und wiederum zu Schrot verarbeitet (GÖHLER 1996). Die Recycling-Mengen werden aber als sehr gering eingeschätzt. Wegen des relativ hohen Preises und da das Material im allgemeinen unbeschichtet und sauber bleibt, könnte sich eine Wiederverwertung künftig stärker entwickeln. Zu prüfen ist, ob Recyclingmaterial aus Korkdämmstoffen den Anforderungen zur Herstellung von neuen Dämmstoffen gerecht wird. Durch die bereits bestehenden Sammel- und Verwertungssysteme besteht eine gute Voraussetzung, Kork in den Kreislauf zurückzuführen.

9.4.2 Recycling konventioneller Dämmstoffe

Steinwolle

Der führende deutsche Steinwolle-Hersteller, die Deutsche Rockwool Mineralwoll-GmbH, führt in erster Linie ein innerbetriebliches Recycling durch. Anfallende Produktionsreststoffe werden dabei als Rohstoff für den Herstellungsprozeß wiederverwertet (KLOSE 1997). Die Deutsche Rockwool Mineralwoll-GmbH bietet seit 1993 gegen eine Gebühr von 275 DM je Tonne die Rücknahme von Steinwolle-Dämmstoffen aus eigener Produktion an. Bedingung ist, daß es sich um sortenreine und unkaschierte Baustellen-Abfälle handelt, die an eines der Herstellerwerke geliefert werden. Durch die anfallenden Transportkosten ist jedoch die Deponierung oft kostengünstiger als der Rücktransport zum Hersteller. Um die Produkteigenschaften einhalten zu können, muß der Anteil alter Dämmstoffmaterialien an der Rohstoffaufgabe begrenzt werden. Der Einfluß der Altmaterialien auf die Qualität der Dämmstoffprodukte ist nur mit hohem analytischen Aufwand abschätzbar.

Glaswolle

Zur Herstellung von Glaswolle wird bis zu 70 % Altglas verwendet. Das eingesetzte Recyclingglas ist entweder Flachglasabfall aus dem Baubereich (Fensterglas) oder Autoglas, Flaschenglas findet aufgrund seiner Eigenschaften nur in geringen Mengen Verwendung.

Eigene Produktionsreststoffe werden schon seit längerem in den Produktionsprozeß zurückgeführt (TRAPPMANN und KÄSER 1997).

Um auch Glaswolle-Abfälle verwerten zu können, wurde im November 1996 von der Firma Grünzweig und Hartmann die erste große Glaswolle-Recyclinganlage mit einer Kapazität von 50 t pro Tag in Speyer (Rheinland-Pfalz) in Betrieb genommen (GRÜNZWEIG UND HARTMANN AG 1997). Dabei handelt es sich um eigene Produktionsabfälle und sortenreine Rücklieferungen von Resten und Verschnittmengen von Industriekunden und Fertighausherstellern. Ausgediente Dämmstoffe aus Abriß oder Rückbauten werden bisher nicht recycelt. Der Grund dafür ist, daß die einzuschmelzenden Stoffe sortenrein vorliegen müssen und derzeit nur die neuartigen KI40-Dämmstoffe in der Recyclinganlage verwertet werden. Die alte Glaswolle kann deshalb nur zu einem geringen Anteil eingebracht werden.

Die angesetzten Kosten für ein Recycling des vom Kunden angelieferten Recyclingmaterials liegen bei etwa 300 DM je Tonne (WIRTZ 1996). Auch hier ergibt sich, daß bei der Entsorgung von Dämmstoffen die kostengünstigere Deponierung mit ca. 195 DM je Tonne genutzt wird (JAKOBI 1997). Der Glaswolle-Hersteller geht jedoch davon aus, daß die Recyclingkosten in Zukunft reduzierbar sind.

Polystyrol

Der Werkstoff Polystyrol kann ohne wesentliche Qualitätseinbußen mehrfach verarbeitet werden. Bei der Produktion anfallende Fehlchargen oder Randfraktionen werden in monomeres Styrol aufgelöst und so mitverwertet. Auch Recyclat läßt sich so verwerten (SCHERZER 1996).

Obwohl das Haupteinsatzgebiet von EPS-Schäumen in Deutschland mit 85 % das Bauwesen ist und der Verpackungssektor nur einen Anteil von 15 % hat (KLEMENT 1996), war der Ausgang des EPS-Recyclings das Verpackungsmittelaufkommen. Es existiert ein Sammelsystem mit derzeit ca. 1500 Sammelstellen. Die Kosten liegen um 20 DM m⁻³ (VOSS 1996). Die Recyclingquote liegt für Verpackungen bei ca. 70 %. Einige Polystyrol-Dämmstoffhersteller nehmen saubere Baustellenabfälle an und führen sie erneut der Produktion zu. Eine Weiterverwertung von gebrauchtem Polystyrol wird auch in anderen Bereichen des Bauwesens durchgeführt. Gemahlene Polystyrol dient unter anderem als Zuschlagstoff für Polystyrol-Leichtbeton, Dämmputz, Leichtputz und in der Tonindustrie zum Porosieren (INDUSTRIEVERBAND HARTSCHAUM 1995). Gemahlene Schaumstoffabfälle aus Polystyrol finden auch als zugelassener Hilfsstoff für Pflanzenmedien (Handelsname Styromull) Verwendung.

Polyurethan

Bei der Herstellung von Polyurethan anfallender Verschnitt und Ausschuß kann im Rahmen einer stofflichen Verwertung wieder dem Produktionsprozeß zugeführt werden oder zu Briketts auf bis zu 700 kg m⁻³ gepreßt und einer thermischen Verwertung in einem Müllheizkraftwerk zugeführt werden (IVPU 1997a). Das jährliche Abfallpotential an PUR im Baubereich wird auf 65.000 t geschätzt (GÖHLER 1996). Neben der thermischen Verwertung wird für die Verwertung von sauberen PUR-Hartschaum-Abfällen die Glykolyse und das Klebpressen angewandt (IVPU 1997b).

In der Vergangenheit wurden PUR Hartschaumstoffe mit FCKW geschäumt. Aufgrund der langen Lebensdauer von Dämmstoffen ist auch in Zukunft mit einem erheblichen Aufkommen von FCKW haltigem PUR-Material zu rechnen. Neben dem FCKW enthalten Dämmstoffe aufgrund von baurechtlichen Brandschutzvorschriften häufig Flammschutzmittel. Insbesondere bei älteren Dämmstoffen muß damit gerechnet werden, daß aus heutiger Sicht toxische Flammschutzmittel eingesetzt wurden. Die Detektion von Flammschutzmitteln ist möglich, gestaltet sich jedoch schwierig und teuer. Als einziger Entsorgungsweg dieser PUR-Dämmstoffe verbleibt die Verbrennung über die Hausmüllverbrennungsanlagen, da eine Deponierung nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht zulässig ist. Durch den hohen Heizwert von etwa 25 MJ kg^{-1} trägt die Verbrennung von PUR zudem zur Energiegewinnung bei. Als Verwertungskosten sind die jeweils geltenden Hausmüllentsorgungskosten anzusetzen.

9.5 Thermische Verwertung

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz von 1996 wird die stoffliche und energetische Abfallverwertung grundsätzlich gleichgestellt. Vorrang hat die jeweils umweltverträglichere Verwertung. Abfälle aus nachwachsenden Rohstoffen sind bei der energetischen Verwertung dadurch begünstigt, daß im Gegensatz zu anderen Abfallarten ein Mindestenergiegehalt nicht vorgeschrieben wird.

Die thermische Reststoffbehandlung bietet folgende günstige Eigenschaften:

- die weitestgehende Volumenreduzierung der Abfälle
- die Inertisierung der organischen Bestandteile
- die Immobilisierung von Schadstoffen durch Einbindung in die Schlacke
- die thermische Nutzung der freiwerdenden Energie
- und ggf. eine stoffliche Verwertung der verbleibenden Verbrennungsrückstände.

Durch lange Einsatzzeiten von Dämmstoffen muß die Frage der Alterung von Dämmmaterialien und des technischen Fortschritts auf dem Gebiet der Dämmstoffforschung gestellt werden. Liegt eine Materialalterung oder ein durch technischen Fortschritt verbessertes Dämmmaterial vor, so ist das stoffliche Recycling zur Wiederverwertung wenig sinnvoll. Zudem ist die Rohstoffgrundlage vieler alternativer Dämmstoffe ein Nebenprodukt einer anderen Produktlinie (z. B. Flachskurzfasern) oder ein Reststoff (z. B. Altpapier). Diese Dämmstoffe sind demzufolge bezüglich einer stofflichen Wiederverwertung bereits auf einem niedrigen Niveau angesiedelt. Die thermische Verwertung stellt daher eine interessante Alternative zur stofflichen Verwertung dar.

9.5.1 Verbrennung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen

Für Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe hängt die Eignung zur Verbrennung zum einen vom Heizwert und dem Ascheschmelzverhalten und zum anderen vom Verhalten der Zusatzstoffe und den entstehenden Emissionen bei der Verbrennung ab.

Eine Schwierigkeit bei der Verbrennung ist die Schlackebildung. Sie hängt zunächst einmal sehr stark von den Temperaturen im Feuerraum ab. Welche Feuerraumtemperaturen zulässig sind, ist dabei wiederum eine Funktion des Brennstoffes. So besitzen Holzwerkstoffe einen sehr hohen Ascheschmelzpunkt, der Feuerraumtemperaturen von über 1100 °C erlaubt. Hohe Temperaturen wirken sich auch sehr günstig auf den Ausbrand und auf die Umsetzung organischer Problemstoffe aus. Schwieriger ist dagegen die Verbrennung von halmförmigen

Materialien, wie etwa Flachs, da hier bereits ein Ascheschmelzen bei Temperaturen von 1000 °C, ggf. sogar darunter eintreten kann. Aus diesen großen Unterschieden folgt, daß eine Verbrennung von Verbundmaterialien, die aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sind, besondere Schwierigkeiten bereiten kann. Allerdings sollte der Aspekt der Schlackebildung nicht überbewertet werden. In der Regel stellt nicht die Verschlackungsneigung den begrenzenden Faktor hinsichtlich des Einsatzes eines Brennstoffes dar, sondern die dabei entstehenden gasförmigen Emissionen, die nach der TA-Luft eingestuft werden.

Tabelle 9.1: Heizwerte und Inhaltsstoffe von nachwachsenden Rohstoffen

| Pflanze | Flachs Stroh, Ganzpflanze | Hanf Stroh, Ganzpflanze | Miscanthus Stroh, Ganzpflanze | Holz | Roggen Stroh, Ganzpflanze | halmgutart. Biobrennst. Durchschnittswerte |
|---|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------|---------------------------------|--|
| Heizwert MJ kg ⁻³ TS | 18-19 | 16-18 | 17-18 | 19-20 | 16-18 | 16-19 |
| N-Gehalt | 0,67 % | 0,99 % | 0,65 % | 0,11 % | 0,4 % | 0,4-1,8 % |
| Cl-Gehalt | 0,32 % | 0,16 % | 0,23 % | 0,01 % | 0,23 % | 0,2-1 % |
| C-Gehalt | 47,82 % | 44,83 % | 47,9 % | 50,88 % | 47,8 % | 40-45 % |
| O-Gehalt | | | 41 % | 42 % | 41,2 % | 36-44 % |
| H-Gehalt | 5,83 % | 5,17 % | 6,5 % | 5,62 % | 6,0 % | 4,5-6,8 % |
| S-Gehalt | 0,14 % | 0,07 % | 0,12 % | 0,01 % | 0,1 % | 0,05-0,2 % |
| Sinterbeginn | 970°C | 1300 °C | 840 °C | 1180 °C | | 700 - 1380°C |
| Aschegeh. | 4,1 % | 6,9 % | 3 % | 0,5 % | 4,5 % | 3-8 % |

Quelle: RÖSCH *et al.* (1996), HARTMANN und STREHLER (1995), BUTTLAR (1995), HOFBAUER (1994), BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1992)

Tabelle 9.1 gibt eine Übersicht über die Heizwerte und Inhaltsstoffe einiger Rohstoffpflanzen. Unerwünschte Bestandteile bei der thermischen Verwertung sind vor allem:

- **N:** Der Stickstoffgehalt im biogenen Brennstoff bestimmt weitgehend die NO_x-Emissionen bei der Verbrennung. Bei Pflanzen mit Stickstoffgehalten über 1,5 % sind bei der Verbrennung Entstickungsmaßnahmen erforderlich, weshalb ab diesem Wert eine thermische Verwertung als kritisch angesehen wird (HOFBAUER 1994). Bei Stickstoffgehalten im Brennstoff unter 1 % sind bei der Verbrennung keine Probleme mit der Einhaltung des NO_x-Grenzwertes zu erwarten. Zudem besitzen Ganzpflanzen höhere N-Gehalte als das Stroh, das für Dämmstoffe verwendet wird.
- **K:** Der Mineralstoffgehalt (insbesondere K, aber auch Ca und Mg) beeinflusst in hohem Maße das Ascheschmelzverhalten. Je geringer der Mineralstoffgehalt um so günstiger wird der Brennstoff beurteilt (BUTTLAR 1995). Das Ascheschmelzverhalten wird über den Sinterbeginn charakterisiert. Er darf nicht unter 800 °C liegen, ansonsten ist das Material als Brennstoff ungeeignet. Der Kaliumgehalt ist abhängig von Standort, Düngung und Erntezeit. Hanf weist hier mit einem Sinterbeginn von 1300 °C besonders gute Eigenschaften auf.
- **Cl:** Bei hohen Chlorgehalten ist einerseits die Korrosionsgefahr und andererseits die Emissionsproblematik zu beachten. Neben erhöhten HCl-Emissionen könnte hier durch unangepasste Feuerungssteuerung oder bei feuchter Biomasse auch ein Potential zur Dioxin- und Furanbildung vorhanden sein. Die Chlorkonzentrationen sind von Standort, Düngung und den eingesetzten Pflanzenschutzmitteln abhängig (HOFBAUER 1994, BUTTLAR 1995). Mit 0,01 % zeigt die Biomasse Holz den geringsten Chlorgehalt.

- **S:** Verglichen mit fossilen Energieträgern sind die S-Gehalte in Biomasse als niedrig anzusehen (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG 1992). Außerdem sind die anfallenden Aschen stark alkalisch und weisen daher ein hohes Einbindungspotential für das bei der Verbrennung entstehende SO₂ auf. Probleme bei der thermischen Verwertung bezüglich der SO₂-Emissionen sind also nicht zu erwarten.

Bei der energetischen Bewertung von pflanzlichen Rohstoffen als Brennstoff ist der Wassergehalt zu berücksichtigen, da mit steigendem Wassergehalt der tatsächliche Heizwert sinkt. Der Feuchtegehalt der Dämmstoffe ist mit ca. 10 % gegenüber anderen pflanzlichen Abfällen sehr gering. Der kritische Feuchtigkeitsgehalt liegt bei 20 %. Es ist zu erwarten, daß sich das Material verbrennungstechnisch unproblematisch verhält.

Bei der Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen muß die 17. BImSchV eingehalten werden. Biobrennstoffanlagen sind auf naturbelassene pflanzliche Brennstoffe ausgelegt und müssen die Grenzwerte der TA-Luft einhalten.

Tabelle 9.2: Emissionsgrenzwerte für Verbrennungslagen

| Emissions-Grenzwerte (in mg m ⁻³) | 17. BImSchV (Tagesmittelwert) | TA Luft |
|--|----------------------------------|---------|
| Gesamtstaub | 10 | 50 |
| CO | 50 | 250 |
| Gesamtkohlenstoff TOC | 10 | 50 |
| Schwefeloxide (angegeben als SO ₂) | 50 | 400 |
| Stickoxide (angegeben als NO ₂) | 200 | 500 |
| HCl | 10 | 50 |
| Dioxine u. Furane ng/m ³ TE | 0,1 | - |

Quelle: 17. BImSchV vom 23.11.1990 (Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe), TA Luft vom 27.02.1986 (Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft).

Verglichen mit fossilen Brennstoffen befeuerten Öl- oder Gasheizungen emittieren Biomassefeuerungen mehr CO und unverbrannte Kohlenwasserstoffe (RÖSCH 1996). Aufgrund des höheren Stickstoffgehaltes von Biobrennstoffen ist auch mit einer Mehrbelastung an Stickoxiden, bezogen auf den Heizwert, zu rechnen, als bei Braun- oder Steinkohleanlagen. Bei der Betrachtung der Klimaverträglichkeit stehen somit der günstigen CO₂-Bilanz die höheren Emissionen an CO, Kohlenwasserstoffen und NO_x gegenüber. Dabei ist das höhere Treibhauspotential dieser Gase zu berücksichtigen. Die Umrechnungsfaktoren liegen je nach Betrachtungszeitraum zwischen 200 und 300 für N₂O und zwischen 20 und 60 für CH₄.

Der Ausstoß größerer Biobrennstoffanlagen wird nach dem heutigen Stand der Technik für Primärmaßnahmen zwischen 150-500 NO_x m⁻³ und 20-200 SO_x m⁻³ geschätzt und liegt damit unterhalb der TA-Luftgrenzwerte. Die zu erwartenden Staubemissionen von Bioabfallanlagen dürften sich zwischen 10-50 mg m⁻³ bewegen (WINTZER *et al.* 1994). Ob die Grenzwerte der 17. BImSchV ohne sekundäre Rückhaltemaßnahmen eingehalten werden können, muß im Einzelfall geprüft werden. Durch Rauchgasreinigungsanlagen kann eine erhebliche Senkung der Emissionswerte erwartet werden, so daß die Anforderungen der 17. BImSchV erfüllt werden.

Für Plattenwerkstoffe auf Holzbasis ist die energetische Nutzung grundsätzlich möglich und unproblematisch (WEGENER *et al.* 1997). So sind z. B. Holzweichfasern für Müll- und

Biobrennstoffanlagen und auch für eine Vergasung geeignet. Bei einer Rohdichte zwischen 150-180 kg m⁻³ liegt der Heizwert bei 2000-2700 MJ m⁻³. Zellulose- (durchschnittlicher Heizwert etwa 750 MJ m⁻³) und Korkdämmstoffe (durchschnittlicher Heizwert etwa 3000 MJ m⁻³) sind ebenfalls für die Müllverbrennungsanlage geeignet. Das gleiche gilt für Dämmstoffe aus Flachs, Hanf, Schafwolle, Baumwolle und Schilf. Ob neben der Müllverbrennungsanlage noch andere Verfahren in Frage kommen, hängt von den Einflüssen der Zusatzstoffe und den entstehenden Emissionen ab.

Als zur Zeit einsetzbare Verfahren zur energetischen Verwertung sind zu nennen:

- Verbrennung zusammen mit anderen forstwirtschaftlichen Abfällen.
Die Abfälle aus der Forstwirtschaft werden in einer Hackmaschine zerkleinert, zwischengelagert und der Feuerungsanlage zugeführt. Für den Leistungsbereich bis 5 MW werden für die Stroh- und Hackschnitzelverbrennung Wirbelbrennkammerkessel genutzt. Bei größeren Leistungen werden in erster Linie Rostfeuerungen eingesetzt (GESELLSCHAFT FÜR WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE INFORMATION MBH 1990).
- Brennstoff in Biomassefeuerungen.
Im Rahmen des BML-Modellversuchs "Wärme- und Stromgewinnung aus Biomasse" wurden für 30 unterschiedliche Standorte Machbarkeitsstudien für Großanlagen auf Biomassebasis erstellt. Hierbei ergab sich, daß für die Holzverbrennung oft die Wirbelschichtfeuerung in die engere Wahl gezogen wurde, während bei der Verbrennung von Stroh oder Getreideganzpflanzen meist die Verbrennung in Zigarrenbrennern angestrebt wurde. Bei der Verbrennung von Biomasse in Großanlagen kann deren Gehalt an N, Cl, und K zu Problemen führen. Insgesamt haben die Versuche in den Großanlagen jedoch gezeigt, daß die sichere Zündung, der vollständige Ausbrand und insbesondere auch die Emissionen bei der Zusatzverbrennung grundsätzlich beherrschbar sind. Größere Probleme treten durch Verschlackungen (z. B. an den Heizflächen) infolge niedriger Erweichungspunkte der Biomasseasche auf. Der gegenüber konventionellen Brennstoffen erhöhte Chlorgehalt kann zur Hochtemperaturkorrosion führen. Auch über den Einfluß der Biomasserauchgase auf nachgeschaltete Anlagenteile, wie z. B. Rauchgaswäscher, Katalysator und Elektrofilter, stehen noch genaue Erkenntnisse aus.
- Müllverbrennungsanlagen.
- Thermische Vergasung.
Die Vergasung von Holz und holzartigen Rest- und Abfallstoffen in Festbett- oder Wirbelschichtvergäsern und die Gasnutzung zur Wärmeerzeugung ist Stand der Technik (RÖSCH *et al.* 1996). Dagegen ist die Vergasung von Stroh und anderen festen Biomassen noch in der Entwicklungsphase. Inzwischen konnte aber in Langzeitversuchen mit Miscanthus, Gerste, Weidelgras und Triticale der Beweis erbracht werden, daß die Vergasung von Biomasse in der Wirbelschicht im stationären Dauerbetrieb bei geeigneter Prozeßführung möglich ist (HAHN 1994).
- Zusatzbrennstoff in kohlebefeueten Großkraftwerken.
Derzeit wird auch die Mitverbrennung von Biomasse in vorhandenen Kohlekraftwerken untersucht. Ein wesentlicher Vorteil bei der Integration von Vergasungsanlagen für Biomasse in Kohlekraftwerken ist die Flexibilität bei Schwankungen in der Biomasseverfügbarkeit (RÖSCH *et al.* 1996).

Da für die Zukunft mit einem weiteren Ausbau von Verbrennungsanlagen zu rechnen ist, die Biomasse als Brennstoff verwerten können, ist die thermische Verwertung von ausgedienten biogenen Dämmstoffen die geeignetste Lösung. Allerdings sind die einzelnen Zusatzstoffe auf ihre Eignung zur Verbrennung noch genauer zu untersuchen. Die Erfahrungen der nächsten Jahre wird voraussichtlich zu einer Reihe von gesicherten Aussagen führen, die heute noch

nicht möglich sind. Die Hausmüllverbrennung wird deshalb für diese Materialien in Zukunft das wichtigste Verfahren sein. Die Kosten der Hausmüllverbrennung liegen z. Z. bei 150–600 DM t⁻¹.

9.5.2 Verhalten von Zusatzstoffen bei der Verbrennung

Neben den Eigenschaften des eigentlichen Rohstoffes sind die eingesetzten Zusatzstoffe bei der thermischen Verwertung entscheidend. Probleme können Zuschlagstoffe wie organische Leime oder Harze bereiten, welche zu erhöhten Emissionen führen können. Dennoch stellt der Einsatz von Resten, z. B. aus der Spanplattenindustrie, in einer Holzfeuerung mit moderner Verbrennungsführung, kein Problem dar. Die entstehenden Schadstoffemissionen liegen noch weit unter den Grenzwerten der TA-Luft. Entsprechend den Verordnungen dürfen Reste aus der Spanplattenindustrie als Brennstoffe auch in Anlagen nach der 4. BImSchV verbrannt werden. Ob Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen aufgrund ihres Emissionsverhaltens ähnlich einzustufen sind, ist zu prüfen.

Ein wichtiger Zusatzstoff biogener Dämmstoffe sind Borverbindungen. Über den Einfluß von Borverbindungen auf den Heizwert gibt es in der Literatur keine verfügbaren Informationen. Eigene Untersuchungen mit Dämmmaterial aus Zellulose und Flachs sollen daher Aufschlüsse geben, inwieweit durch die Behandlung mit Borverbindungen der Heizwert beeinflusst wird (Tabelle 9.3).

Tabelle 9.3: Der Einfluß von Borverbindungen auf den Heizwert

| Dämmstoff-material | Heizwert MJ/kg TS | Anteil organische Substanz | Anteil Borverbindungen |
|--------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Zellulose | | | |
| Zelluloseflocken | 17,32 | 100 % Altpapier | 0 % |
| Zelluloseflocken | 15,55 | 89 % Altpapier | 11 % (9 % Borsäure + 2 % Borax) |
| Zelluloseflocken | 15,47 | 82 % Altpapier | 18 % (7 % Borsäure + 11% Borax) |
| Zelluloseflocken | 16,35 | 78 % Altpapier | 22 % (16 % Borsäure + 6 % Borax) |
| Flachs | | | |
| Flachsfaser | 17,90 | 100 % Flachs | 0 % |
| Flachs-Dämmplatte | 16,26 | 80 % Flachs 10 % Kartoffelstärke | 10 % (Polybor) |

Die in kalorimetrischen Messungen ermittelten Werte zeigen für Flachs einen Heizwert von knapp 18 MJ kg⁻¹ TS. Für unbehandelte Altpapierflocken liegen die Werte mit 17,3 MJ kg⁻¹ TS geringfügig niedriger. Wird der Heizwert der behandelten Proben auf den Anteil der organischen Substanz bezogen, so zeigt sich, daß der Heizwert der nachwachsenden Rohstoffe durch die Behandlung mit den Borverbindungen nicht herabgesetzt wird.

Schon frühere Untersuchungen zeigen, daß Borat und Boroxidpartikel keinen Anteil an der Toxizität von Pyrolysegasen borathaltiger Materialien haben (KLIEGEL 1980). Im Brandfall entstehende Gase werden daher als ungiftig angesehen. Da die anorganischen Bestandteile in der Asche verbleiben, kommt es bei der Verbrennung zu einer Anreicherung des Bors in der Asche. Aufschlüsse geben auch Untersuchungen über die Verbrennung von borhaltigen Hölzern (POHLANDT 1994). Das Bor lag im Holz als Borat bzw. Borsäure vor, also vergleichbar mit dem Bor in den Dämmstoffen. Es zeigte sich eine Anreicherung des Bors in der Asche um den Faktor 10 - 20 mit unterschiedlicher Löslichkeit. Eine thermische Behandlung bei niedrigen Temperaturen (bis 600 °C) hatte keinen merklichen Einfluß auf die Borlöslichkeit, sie lag unverändert bei 100 %. Behandlungen über 700 °C dagegen führten zu einer fortschreitenden Herabsetzung der Löslichkeit. Bei einer Behandlungstemperatur von

1200 °C waren nur noch 3,4 % des Bors löslich. Vermutlich kommt es zu einem thermischen Fixierungsprozeß, bei dem schlechter lösliche Verbindungen (z. B. Borsilikate) gebildet werden.

9.5.3 Verbrennungskapazitäten

Die Deponierung von Dämmstoffen ist laut KrW-/AbfG aufgrund des hohen Glühverlustes ab 2005 untersagt. Daher besteht nur die Möglichkeit der Materialverwertung, die eine Verbrennung mit energetischer Nutzung einschließt. In einer Hausmüllverbrennung werden feste und gering pastöse Stoffe verbrannt. Bei den Abfällen handelt es sich im wesentlichen um Hausmüll, Sperrmüll, Klärschlamm, hausmüllähnlichen Gewerbe- oder Industriemüll. In Deutschland werden heute 53 Hausmüllverbrennungsanlagen betrieben, in denen 11 Mio t Siedlungsabfälle pro Jahr verbrannt werden. Weitere Anlagen zur Hausmüllverbrennung werden z. Z. geplant bzw. in den nächsten Jahren in Betrieb genommen. Bis zum Jahre 2000 werden die Kapazitäten voraussichtlich um weitere 3,8 Mio t steigen (THOME-KOZMIENSKY 1994). Die entstehende Energie wird in fast allen bundesdeutschen Verbrennungsanlagen zur Stromerzeugung, Fernwärmenutzung, Klärschlamm-trocknung, Prozeßdampf für die Industrie oder in Form einer Kraft-Wärme-Kopplung genutzt. Durch die Nutzung der Verbrennungsenergie stellt die Abfallverbrennung die wichtigste energetische Verwertung von Reststoffen dar.

Durch die getrennte Erfassung von Abfällen, insbesondere die der Kunststoffe und Altpapiere, ist der Brennwert von Hausmüll in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Brennbare Dämmstoffe können positive Auswirkungen auf das Brandverhalten von Hausmüll haben. Neben der Nutzung des Heizwertes gewährleistet eine Müllverbrennungsanlage auch eine nach dem Stand der Technik ausgelegte Abgasreinigung. In Deutschland bestehen weltweit die höchsten umwelttechnischen Standards zur Abgasreinigung.

Die thermische Verwertung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen in Biomasseverwertungsanlagen ist einer genauen Prüfung zu unterziehen. Biomasseverwertungsanlagen sind in der Regel kleiner als Hausmüllverbrennungsanlagen und unterliegen somit nicht den strengen Bestimmungen der 17. BImSchV.

Das derzeitige Mengenaufkommen von Dämmstoffen liegt bei ca. 30 Mio m³ pro Jahr. Bei einer durchschnittlichen Dichte von 30 kg m⁻³ errechnet sich ein Gesamtaufkommen von 0,9 Mio t pro Jahr. Auch unter Annahme, daß der Anteil von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen mittelfristig auf 10 % ansteigt, liegt die zu entsorgende Dämmstoffmenge von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen mit 90.000 t pro Jahr bei nur 0,8 % der zur Zeit zur Verfügung stehenden Müllverbrennungskapazitäten. Die Entsorgung der ausgedienten Dämmstoffe in einer Müllverbrennungsanlage ist daher aus heutiger Sicht ökologisch sinnvoll und mit den bestehenden Kapazitäten realisierbar.

9.6 Deponierung

9.6.1 Ablagerung auf Deponien

Gemäß der TA Siedlungsabfall dient die Deponie als Abfallentsorgungsanlage der dauerhaften oberirdischen Ablagerung von nicht verwertbaren Abfällen. Die Anforderungen an die abzulagernden Abfälle sind im Anhang B der TA Siedlungsabfall festgelegt. Besonders relevante Parameter sind der Glühverlust, die Gewässergefährdung durch die abzulagernden Abfälle und der Deponievolumenbedarf. Aufgrund der unterschiedlichen Beschaffenheit der Abfälle sind für die Ablagerung im wesentlichen zwei Deponieklassen vorgesehen. Kennzeichnende Zulassungsbedingung für die Deponieklassen ist der organische Anteil der Originalsubstanz. Durch einstündiges Glühen des Trockenrückstandes der Reststoffprobe bei 550 °C, eine Temperatur, bei der Calciumcarbonat noch nicht merkbar zersetzt wird, gewinnt man den Glührückstand. Der Glühverlust gibt dann in grober Näherung die Masse an organischer Substanz wieder (SCHMEKEN und SCHWADE 1993; WAGNER 1995).

Deponieklasse 1

Für den Klasse 1 - Deponietyp darf der organische Anteil, bestimmt als Glühverlust, nur ≤ 3 Masse-% (und bestimmt als Gesamtkohlenstoff TOC ≤ 1 Masse-%) betragen. Auf Deponien der Klasse 1 können somit nur Abfälle mit einem sehr geringen organischen Anteil abgelagert werden. Auch darf die Schadstofffreisetzung dieser Abfälle nur gering sein.

Deponieklasse 2

Sowohl der organische Anteil als auch die Schadstofffreisetzung der dieser Deponieklasse zugeordneten Abfälle, ist gegenüber den Abfällen der Deponieklasse 1 höher. Der Zuordnungswert des Glühverlustes für die Deponieklasse 2, nach TA Siedlungsabfall, beträgt maximal 5 Masse-%.

Erfüllt der Abfall die geforderten Zuordnungskriterien nicht, kann die zuständige Behörde während der Übergangszeit, die mit dem Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall am 01.06.1993 begonnen hat, einer Ablagerung zustimmen. Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Klärschlamm und andere organische Abfälle müssen danach, spätestens ab dem 01. Juni 2005, die Zuordnungskriterien erfüllen. Für Bodenaushub, Bauschutt und andere mineralische Abfälle gelten die Ablagerungskriterien bereits ab 01. Juni 2001 (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL 1992).

9.6.2 Deponierung von Wärmedämmstoffen

Wärmedämmstoffe werden wie die meisten Baumaterialien hauptsächlich als Baumischabfall auf Deponien abgelagert. Als Verbundmaterial eingebaut ist die Trennung des Verbundes bei einer stofflichen Verwertung sehr schwierig und aufwendig. Die Dämmstoffe werden zudem so eingebaut, daß sie beim Ausbau oder beim Abbruch zerstört werden (HEUSER 1997; THIEL 1997).

Die Beschränkung durch das Kriterium des Glühverlustes (s. o.) schließt die Deponierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wegen ihres hohen organischen Anteils ab 01. 06. 2005 aus. Dies gilt auch für EPS- und Polyurethandämmstoffe (SCHOLZ 1997). Bei der Ablagerung der Schaumstoffdämmstoffe bis zu diesem Zeitpunkt sollte jedoch bedacht werden, daß noch FCKW enthaltene PUR-Produkte anfallen, da es noch bis 1993 zur

Aufschäumung benutzt wurde und bei EPS eine Freisetzung von toxischem Styrol möglich ist. Als Entsorgungsweg kommt langfristig nur die energetische oder stoffliche Verwertung dieser Dämmstoffe in Frage.

Glas- und Steinwollgedämmstoffe können auch nach 01. 06. 2005 abgelagert werden. Glaswolle weist einen mittleren Glühverlust von 0,5 – 7 % auf (GRÜNZWEIG und HARTMANN 1997). Bei Steinwollgedämmstoffen ist der Glühverlust mit 0,2 – 4 % noch geringer. In der Regel wird aber nicht zwischen Glas- und Steinwollgedämmstoffen unterschieden. Die Eluate der Mineralwolle-Dämmstoffe entsprechen den Anforderungen der Deponieklasse 1 (KLOSE 1994).

Derzeit muß für die Deponierung von Baumischabfall im Mittel mit Kosten von ca. 195 DM pro t gerechnet werden. Für die Deponierung von unvermischt anfallenden Dämmstoffen sind die Deponiegebühren derzeit ähnlich hoch. Es ist jedoch eine Differenzierung der Deponiekosten zu erwarten, da Dämmstoffe eine negative Auswirkung auf den erreichbaren Verdichtungsgrad und die Stabilität des Deponiekörpers haben (JAKOBI 1997). Ein weiterer Nachteil für die Deponierung von Dämmstoffen ist, daß das leichte Material leicht verweht, so daß es in den Deponiekörper eingearbeitet oder erst einmal zwischengelagert werden muß. Einige Deponiebetreiber versuchen daher auf Druck entsprechender Ämter, die Ablagerung zu behindern. Mit Baumischabfällen vermengt, wirken sich diese Nachteile der Dämmstoffe nicht so gravierend aus. Auch wenn die Deponierung den kürzesten Entsorgungsweg darstellt und auf der Deponie eine vernachlässigbare Luft- und Gewässerbelastung verursacht wird, sollte doch die Deponieraumeinsparung das erklärte Ziel bleiben. Die beanspruchte Deponiefläche verbleibt für ca. 20 Jahre und bedeutet einen Eingriff ins Landschaftsbild. Es sollten daher alternative Möglichkeiten verstärkt ausgebaut und genutzt werden.

9.7 Kompostierung

Im Bereich der landwirtschaftlichen Verwertung ist die Kompostierung ein wesentliches Abfallverwertungsverfahren. Auch in der Entsorgungspolitik von Städten und Kommunen werden Kompostierungsverfahren zur stofflichen Verwertung eingesetzt. Dafür werden Grün- und Bioabfälle getrennt vom übrigen Hausmüll gesammelt. In den nächsten Jahren soll in Deutschland ein flächendeckendes Kompostanlagennetz entstehen. Die Durchführung ist Ländersache, daher werden sich Verschiebungen in der Fertigstellung der flächendeckenden Entsorgung der Bundesländern ergeben.

Unter Kompostierung ist die aerobe Verrottung von organischen Feststoffen durch Mikroorganismen bei genügender Sauerstoffzufuhr und ausreichendem Wassergehalt zu ihren Mineralisationsprodukten und Humus zu verstehen. Bei der Kompostierung werden Bioabfälle in verwertbaren Kompost umgewandelt. Die Kompostierung hat als Entsorgungssystem verschiedene Aufgaben zu erfüllen. So ist zu beachten, daß Endprodukte sowie Nebenprodukte unbedenklich für Mensch und Umwelt sein müssen. Als wesentliche Aufgaben der Kompostierung sind zu nennen (THOME-KOZMIENSKY 1995):

- Mineralisierung, Stabilisierung
- Geruchsminderung
- Abtötung von Pathogenen, Parasiten und Unkrautsamen
- Gewinnung von Kompost als Wertstoff
- Verminderung von Masse und Volumen (40-80 %)
- Bindung von Stickstoff in Biomasse

- Verbesserung der Handhabbarkeit.

In der Bundesrepublik Deutschland waren laut der Bundesgütegemeinschaft 1995 mehr als 380 Kompostierungsanlagen in Betrieb. Die Menge der zu verwertenden Bioabfälle hat sich von 1990 bis 1995 von 1 Mio t auf 4 Mio t Bioabfälle erhöht. Im gleichen Zeitraum hat sich die Anzahl der Anlagen verdreifacht. Die hergestellte Menge Kompost betrug zuletzt etwa 2 Mio t (KEHRES 1994). Der Kompostmarkt ist allerdings derzeit nicht in der Lage, den gesamten anfallenden Bioabfall aufzunehmen (SCHOLZ 1997).

Tabelle 9.4: Die fünf wichtigsten Absatzbereiche für Kompost nach KEHRES 1994)

| | |
|-----------------------------|--------|
| Garten- und Landschaftsbau: | 22,5 % |
| Landwirtschaft: | 21,7 % |
| Erwerbsgartenbau: | 14,7 % |
| Rekultivierung: | 12,5 % |
| Hobbygartenbau: | 11,7 % |

Zur Zeit betragen die Betriebskosten für die Bioabfallkompostierung zwischen 100 - 180 DM je Tonne Input (THOME-KOZMIENSKY 1995).

9.7.1 Kompostierung biogener Dämmstoffe

Für das Ziel der Kompostierung, die biologische Stabilisierung von Abfallstoffen zur Herstellung eines Bodenverbesserungsmittels mit Düngeigenschaften, ist eine Kompostierung der ausgedienten biogenen Dämmstoffe eigentlich nicht notwendig, da sie wegen des weiten C/N-Verhältnisses und der Zuschlagstoffe biologisch bereits sehr stabil sind. Das C/N-Verhältnis wird häufig als Maß für die Kompostierbarkeit organischer Stoffe herangezogen. Das Optimum liegt bei ca. 30; bei Werten, die wesentlich höher liegen (über 50), ist die Kompostierbarkeit stark eingeschränkt (HELM 1995). Prinzipiell dürfte das Dämmmaterial jedoch als Struktur-Zuschlagstoff gut geeignet sein. Derart biologisch stabile Stoffe, zumal sie noch Wasser binden können, sind für die praktische Kompostierung der meist sehr wasserhaltigen und strukturarmen Abfälle (wie z. B. Biomüll oder Gülle) sehr hilfreiche Zuschlagstoffe, da sie zur Schaffung eines luftporenen Haufwerkes beitragen (SCHUCHARDT 1996).

Die organischen Materialien Flachs, Hanf, Schilf, Getreidestroh, Schafwolle, Baumwolle, Zellulose und Holz sind grundsätzlich kompostierbar. Die Eignung dieser Materialien zur Kompostierung hängt im wesentlichen von der mechanischen Aufbereitung der Materialien sowie deren mengenmäßigem Anteil im Rottegemisch ab. Die Stoffe müssen so aufbereitet werden, daß sie mit anderen Kompostrohstoffen gut mischbar sind. Das geeignete Verfahren ist noch zu ermitteln. Kork ist sehr verrottungsfest und fäulnisresistent. Kork wird sich aufgrund dessen wahrscheinlich nicht zur Kompostierung eignen. Genauere Erkenntnisse über die Kompostierbarkeit von Kork konnten nicht ermittelt werden.

Ist eine Aufbereitung durch vorhandene Anlagen nicht möglich, können evtl. bestehende Verfahren an die Erfordernisse der Einsatzstoffe angepaßt werden (KEHRES 1997; THOME-KOZMIENSKY 1995). Es stellt sich jedoch die Frage, ob das Aufkommen der Dämmstoffabfälle hohe Entwicklungs- und Verfahrenskosten rechtfertigt. Auch der für die Zerkleinerung erforderliche Energieaufwand muß berücksichtigt werden.

Voraussetzung für eine Kompostierung ist ein geringer Gehalt an unerwünschten Inhalts- und Fremdstoffen der Ausgangsmaterialien. Den Dämmstoffen werden beim Herstellungsprozeß

verschiedene Zusatzstoffe zugegeben. Dadurch soll u. a. eine Verbesserung des Brandverhaltens erreicht und ein mikrobieller Befall während der Nutzungsphase verhindert werden. Durch diese Behandlung wird aber auch ihre biologische Abbaubarkeit herabgesetzt. Andere Zusatzstoffe dienen als Stützfasern der Stabilisierung. Mit Ausnahme eines Grenzwertes für Fremdstoffe von 0,5 % existieren in den Gütekriterien der Bundesgütegemeinschaft Kompost keine Grenzwerte für die eingesetzten Zusatzstoffe. Ob eine Kompostierbarkeit in üblichen Rottezeiten möglich ist, muß in Kompostierungsversuchen geprüft werden.

Borverbindungen

Bor ist für alle Pflanzen ein lebensnotwendiges Nährelement. Die Problematik einer optimalen Versorgung liegt im unterschiedlichen Borbedarf der verschiedenen Kulturpflanzen. Wie bei keinem anderen Nährstoff ist der Grad zwischen Bormangel, optimaler Versorgung und schädlicher Überdosis sehr schmal. Ein zu geringer Borgehalt im Boden kann zu Mangelerscheinungen führen, die den Ertrag und die Qualität der Ernte erheblich beeinträchtigen. Da die Schäden durch Bormangel irreversibel sind, wird empfohlen, Bormangelsituationen vorzubeugen. Es ist auch auf die Folgefrucht zu achten, weil alle Getreidearten auf erhöhte Borgehalte empfindlich reagieren. Und besonders auf leichten Böden unterliegt Bor der Auswaschung. Je nach Niederschlagsmenge können bis zu 150 g Bor ha⁻¹ und Jahr ausgewaschen werden (DUNAJTSCHIK 1997). Borsalz ist als wassergefährdender Stoff eingestuft. In der Trinkwasser-Verordnung besteht für Bor ein Grenzwert von 1 mg l⁻¹. Die Borgabe sollte daher immer konkret nach Bedarf erfolgen.

Es gibt derzeit keinen Grenzwert für Bor in Komposten. Entscheidend ist daher was pflanzenbaulich benötigt wird. Der Entzug von Pflanzen mit hohem Bor-Bedarf (Raps, Leguminosen, Steckrüben, Blumenkohl, Sellerie, Kohlrabi) wird mit 400 - 2000 g ha⁻¹ pro Jahr angegeben. Pflanzen mit geringem Bor-Bedarf (Getreide, Gräser) haben dagegen nur einen Entzug von 50 - 200 g ha⁻¹ pro Jahr. Bor-Mangel tritt besonders auf leichten Böden mit erhöhten pH-Werten auf. Insbesondere nach hohen Rapsertträgen wird häufiger von Bormangel berichtet. Wegen der Gefahr eines Nährstoffüberschusses für die Nachfolgefrucht Getreide sollte eine Bor-Düngung nur gezielt für den jeweiligen Bedarf gegeben werden. Gedüngt wird Bor nur zu Pflanzen mit hohem Borbedarf und zwar mit 1 - 3 kg B ha⁻¹.

Nimmt man einen N-Gehalt von 2,5 % und eine Düngergabe von 125 kg ha⁻¹ an, so wären 5 t Kompost pro ha zu düngen. Diese 5 t Kompost dürften entsprechend den Düngemittelgaben 1 - 3 kg Bor enthalten. Ausgehend von einer Zuschlagsmenge von 5 % Dämmaterial bei der Kompostierung und unter Berücksichtigung der Verringerung der Ausgangsmasse durch Rotteschwund um 60 % dürfte der Dämmstoff 1,6-4,8 g Bor kg⁻¹ enthalten (SCHUCHARDT 1996). Bei der Verwendung von Borax ist demnach ein Gehalt von 1,5 - 4,5 % in den Dämmstoffen für die Kompostierung akzeptabel, bei der Verwendung von Polybor vermindert sich dieser Wert aufgrund des höheren Boranteils dieser Verbindung auf 0,7 - 2,3 %. Für Kompost mit solchem Dämmaterial als Zuschlagstoff wäre dieser Anwendungsbereich eingeschränkt, aber sicher nicht ausgeschlossen. Den Dämmstoffen wird jedoch i. d. R. ein höherer Anteil an Borverbindungen zugesetzt, um den Brandschutzbestimmungen zu genügen. Der Borgehalt müßte also bereits vor dem Kompostierungsprozeß gesenkt werden, um eine Verwertung zu gewährleisten. Da Borsalze sehr gut wasserlöslich und damit auswaschbar sind, dürfte dies technisch kein Problem darstellen. Allerdings muß dann die Frage nach der praktischen Durchführbarkeit und der Wirtschaftlichkeit der Kompostierung gestellt werden.

Bei dem bisherigen geringen Mengenaufkommen der Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe haben die mineralischen Zusatzstoffe bei einer Mitkompostierung mit anderen biologischen Abfällen nach Ansicht der Bundesgütegemeinschaft voraussichtlich keinen Einfluß auf die Qualität des Fertigkompostes. Ihre Wirkung auf den Kompostierungsverlauf und die Kompostprodukte muß aber erst durch praxisnahe Versuche ermittelt werden.

Kautschuk

Einigen Dämmstoffprodukten aus Schafwolle, Zellulose und Holzfasern wird Kautschuk zugesetzt. Naturkautschuk wird überwiegend aus dem Milchsaft des Kautschukbaums gewonnen. Der milchartige Latex wird zunächst eingedampft und u.a. mit Zinkoxid stabilisiert. Für die Weiterverarbeitung wird das Konzentrat mit verschiedenen Chemikalien vulkanisiert. Art und Anteile der verwendeten Chemikalien sind je nach Hersteller und Herstellungsprozeß sehr verschieden. Die Zusatzstoffe können u. U. bis zu 50 % ausmachen, größtenteils handelt es sich um mineralische Füllstoffe und synthetischen Latex.

Kautschuk ist ein ungesättigtes Polymer, das oxidativ abgebaut werden kann. Die mikrobielle Zersetzung vulkanisierten Naturkautschuks ist abhängig vom Vernetzungsgrad durch Schwefelbrücken. Die Geschwindigkeit des Abbaus wird vom C/N-Verhältnis beeinflusst. Kompostierungsversuche eines Verpackungsmaterials auf Basis einer Holzwolle-Kautschuk-Vernetzung haben gezeigt, daß die im Kompost vorhandene Mikroflora dazu fähig ist, sowohl Kautschuk als auch mit Kautschuk beschichtete Holzwolle abzubauen (VOSS *et al.* 1995). Dieses Material läßt sich aufgrund seiner porösen Struktur vorzugsweise als Strukturmaterial zur besseren Durchlüftung des Kompostes verwenden. Allerdings muß im Einzelfall der Schwermetallgehalt (insbesondere der Zinkgehalt) geprüft werden. Für Zink liegt der Grenzwert nach der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (RAL-GZ-251) bei 400 mg kg⁻¹ TS (bezogen auf 30 % organische Substanz).

Grundsätzlich steht einer Behandlung nachwachsender Rohstoffe mit Kautschuk einer Kompostierung nicht entgegen. Da die Zusammensetzung dieses Zusatzstoffes jedoch stark variieren kann, sind praxisorientierte Kompostierungsversuche für eine klare Einschätzung notwendig. Die zur Kompostierung bitumenhaltiger Weichfaserplatten laufenden Versuche haben nach bisherigen Ergebnissen die Unbedenklichkeit gereinigten Bitumens im Kompost bestätigt (GÖHLER 1996).

Stützfasern

Nicht abbaubare organische Materialien wie z. B. die Stützfasern gelten als Fremdstoffe. Sie sind als Kompostrohstoffe ungeeignet und deshalb von der Kompostierung ausgeschlossen. Inzwischen gibt es jedoch schon eine Reihe biologisch abbaubarer Polymere. Die Kompostierbarkeit von mit Polymeren verstärkten Dämmstoffen hängt also von den verwendeten Polymerfasern ab. Praxisnahe Untersuchungen, die die Wirkung auf den Kompostierungsverlauf und den entstehenden Kompost aufzeigen, stehen noch aus.

9.8 Selektiver Gebäuderückbau

Eine wesentliche Voraussetzung für eine Wieder- oder Weiterverwendung von Dämmstoffen ist ein geordneter Rückbau, damit sortenreiner Dämmstoff vorliegt. Umfassende Recyclingkonzepte sind aber bisher für den Hochbau noch nicht entwickelt worden. Erste Ansätze zur Separierung von Gebäuden in verwertbare Bestandteile werden durch den selektiven Rückbau praktiziert. Zahlen über bereits durchgeführte Rückbauten liegen nicht vor. Wegen der hohen Kosten wird der Rückbau von Gebäuden allerdings nur vereinzelt durchgeführt. Eine Demontage erfolgt fast ausschließlich wegen umweltgefährdender Stoffe wie z.B. Asbest, um diese Stoffe gefahrlos entsorgen zu können. Die stufenweise Demontage von Gebäuden wird in einer Reihe von Projekten wissenschaftlich untersucht (HEUSER 1997).

Ziel des selektiven Rückbaus ist es zum einen, gut erhaltene Bauteile einer Wiederverwendung zuzuführen. Zum anderen soll durch Rückbaumaßnahmen die Verwertungsquote für Bauschutt und deren Umweltverträglichkeit erhöht werden. Das Bauteilrecycling wird nur bei historisch wertvollen Bauteilen durchgeführt. Anfallende Baustoffe werden in erster Linie aufbereitet, um Wertstoffe zurückzugewinnen. Weil sich die Vermischung schadstoffbelasteter Bauteile mit aufzubereitenden Stoffen auf die Verwertungsqualität und -kosten negativ auswirkt, ist bei der Demontage eines Gebäudes die frühzeitige Entfernung von Schad- sowie Störstoffen vorgesehen. Durch belastende umweltgefährdende Stoffe ist eine effektive Verwertung vermischten Bauschutts, wie er bei Abrissen anfällt, nur begrenzt möglich.

Der selektive Gebäuderückbau setzt einen hohen Planungsaufwand voraus und seine Wirtschaftlichkeit wird hauptsächlich durch die abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmt. Die Vorteile des selektiven Rückbaus sind vor allem die hohe Qualität der sortenrein gewonnenen Materialien, ihre Umweltverträglichkeit und gute Verwertbarkeit. Von Nachteil sind die teilweise höheren Gesamtkosten und die Länge der Rückbauarbeiten. Einsparungen bei den Verwertungskosten können durch die zusätzlichen Kosten für die Demontage nicht immer ausgeglichen werden (SCHULTMANN und RENTZ 1997).

9.9 Zusammenfassung und Diskussion der Entsorgungswege

Jährlich fallen rund 300 Mio t Baurückstände an, von denen rund 80 % auf Deponien abgelagert werden (WALTER und ROOS 1996; LÖFFLAD 1995). Die ersten Schritte auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft werden aber auch im Bauwesen getan. Inzwischen werden fast 30 Mio Tonnen Altbaustoffe pro Jahr aufbereitet und entlasten damit Deponien und Rohstoffreserven (WILLKOMM 1995). An verschiedenen Orten sind Bauelemente-Lager und Anbieter von aufgearbeiteten Second-hand Bauteilen tätig geworden.

Gebäude werden erst seit etwa 50 Jahren mit einer Wärmedämmung versehen. Aus diesem Grund und wegen der langen Lebensdauer kommen heute hauptsächlich Gebäude zum Abriß, die keine Wärmedämmung besitzen. Mit einem größeren Aufkommen ausgedienter konventioneller Dämmstoffe kann in den nächsten Jahren gerechnet werden. Ausgediente Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe und ähnliche werden erst in einigen Jahrzehnten anfallen. Es können daher nur grundsätzliche Möglichkeiten für Wiederverwertungs- und Entsorgungswege aufgezeigt werden.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz legt generell für die Verwendung von Abfallstoffen eine Rangfolge fest. Abfälle sind danach als erstes zu vermeiden, danach zu verwerten und an letzter Stelle steht die Beseitigung. Dementsprechend sind Wertstoffe aus Bauabfällen wiederzugewinnen und in den Stoffkreislauf zurückzuführen. Ist die Beseitigung allerdings umweltverträglicher, hat die Verwertung nicht mehr den Vorrang vor der Beseitigung.

Ab Juni 2005 ist die Deponierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wegen ihres hohen organischen Anteils nicht mehr zulässig. Dies gilt auch für die Dämmstoffe auf Kunststoffbasis wie EPS und PUR, die ebenfalls einen zu hohen Glühverlust aufweisen. Glas- und Steinwollämmstoffe können dagegen weiterhin auf Deponien abgelagert werden. Auch wenn die Deponierung den kürzesten Entsorgungsweg darstellt und auf der Deponie eine vernachlässigbare Luft- und Gewässerbelastung verursacht wird, sollte doch die Deponieraumeinsparung das erklärte Ziel bleiben und auch für Mineralwolle die Möglichkeiten der Wiederverwertung und des Recyclings genutzt werden.

Das interne Recycling von Produktionsabfällen durch Rückführung in den Produktionsprozeß hat sich bei Dämmstoffen weitgehend durchgesetzt. Für anfallende Verschnittmengen und Reste beim Verarbeiten, sowie für Dämmstoffabfälle nach Rückbau, konnte keine Recyclingrate ermittelt werden. Sie wird aber sehr niedrig eingeschätzt. Die Deponierung von Dämmstoffen zusammen mit anderem Bauschutt ist bisher noch die einfachste und meist auch kostengünstigste Lösung. Dies liegt vor allem darin begründet, daß keine Trennung des Bauschutts durchgeführt wird und in dem bisher geringen Mengenaufkommen an Altdämmstoffen.

Auch wenn die Abfallmengen der verschiedenen Dämmstoffe mittel- oder langfristig steigen, besteht das eigentliche Problem bei der Wiederverwertung, das sich für natürliche wie für künstliche Dämmstoffe gleichermaßen ergibt, in der Logistik. Aufgrund der Gestaltung und Konstruktion der Gebäude ist ein geordneter Rückbau i. d. R. mit einem großen Zeitaufwand und entsprechend hohen Kosten verbunden. Bei der Erbauung wird kaum an den Abriß gedacht. Die Nutzung überdauert häufig mehrere Generationen, und die Abrißkosten können so an die nächste oder übernächste Generation weitergegeben werden. Umfassende Recyclingkonzepte sind für den Hochbau noch nicht entwickelt. Allerdings wird inzwischen an neuen Konstruktionsalternativen für recyclingfähige Wohngebäude gearbeitet, die einen kostengünstigen Ausbau und die Wiederverwendung der einzelnen Baustoffe ermöglichen sollen. Erste Ansätze zur Separierung von Gebäuden in verwertbare Bestandteile werden durch den selektiven Rückbau praktiziert. Oberste Priorität hat aber bisher die Separierung von Materialien mit umwelt- oder gesundheitsschädigenden Inhaltsstoffen. Die Rückgewinnung der Materialien steht nicht im Vordergrund. Zum anderen fehlen Sammel- und Annahmestellen. Bei Dämmstoffabfällen aus Rückbau handelt es sich in der Regel um jeweils geringe Mengen einer Dämmstoffart mit einem relativ großen Volumen. Dieser Umstand hat ebenfalls hohe Logistikkosten zur Folge.

Ein positives Beispiel ist die hohe Recyclingaktivität bei Polystyrolwerkstoffen. Es existieren Sammelstellen und Aufbereitungssysteme, die Polystyrol von Verpackungen und Baustoffen zu verschiedenen Werkstoffen aufarbeiten. Aber das Polystyrol-Recycling-System ist unter anderen Voraussetzungen entstanden. Ausgang war ein hohes Verpackungsmittelaufkommen. Verpackungen besitzen im Gegensatz zu Baustoffen eine extrem kurze Nutzungsdauer und fallen dann sortenrein und sauber an. Für Dämmstoffe besteht ein Hindernis bezüglich des Recyclings durch die lange Lebensdauer, die auf der anderen Seite natürlich bautechnisch notwendig und ökologisch erwünscht ist. Durch den technischen Fortschritt in der Bautechnik

und durch neue Baustoffentwicklungen entsprechen die aus Altbauten gewonnenen Baustoffe meist nicht mehr den neuen Anforderungen und Bedürfnissen. Beispiele dafür sind die "alten" in Krebsverdacht stehenden Mineralwoll-Dämmstoffe oder FCKW aufgeschäumte Kunststoffe. Auch in Zukunft ist damit zu rechnen, daß durch Innovationen neue verbesserte Dämmstoffe auf den Markt kommen und dadurch die im Einsatz befindlichen Dämmstoffmaterialien kontinuierlich an Wert verlieren. Außerdem sind aus Sicht der Wiederverwertung viele alternative Dämmstoffe bereits auf einem niedrigen Niveau angesiedelt. Rohstoffgrundlage für viele dieser Dämmstoffe sind Reststoffe anderer Produktlinien (z. B. Schafwolle und Flachswerk) oder Recyclingrohstoffe (z. B. Altpapier für Zellulose-Dämmstoffe). Diese Dämmstoffe sind somit bereits Bestandteil einer ganzheitlichen Verwertung oder Wiederverwertung. Ein Abfallprodukt mit geringem Mengenaufkommen aus einem großen Einzugsbereich und vergleichsweise geringem Wert, wie es für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen typisch ist, ist für ein Recycling eher ungeeignet.

Wenn ein Recycling der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu neuen Werkstoffen nicht sinnvoll ist, dann stellen sie einen Beitrag zur Abfallvermeidung dar, wenn sie durch biologische Verwertung als Kompost verwendet werden können. Naturbelassene nachwachsende Rohstoffe sind generell für die Kompostierung zugelassen. Dämmstoffe sind jedoch nach der Produktion als Werkstoffe und nach dem Gebrauch als Abfall einzustufen. Nach dem neuen Düngemittelgesetz können organische Abfälle, die nicht Wirtschaftsdünger sind, nur dann in Verkehr und auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden, wenn sie entsprechend den Anforderungen der Düngemittelverordnung eine Düngemitteltypen-Zulassung als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe oder Kultursubstrate erhalten haben. Eine Zulassung als Sekundärrohstoffdünger ist grundsätzlich im Rahmen einer Genehmigung möglich. Gegenwärtig sind die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen aber nicht auf der Positivliste der BioabfallVO, somit ist z. Z. eine Zulassung in der DüngemittelVO nicht gegeben. Außerdem steht bei borhaltigen Dämmstoffen die hohe Borfracht einer problemlosen Kompostierung entgegen. Gegen eine Kompostierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen spricht aber vor allem, daß das Angebot an Kompost zur Zeit stärker steigt als die Nachfrage.

Es wird oft diskutiert, inwieweit nachwachsende Rohstoffe als Energieträger sinnvoll Verwendung finden können. Die thermische Verwertung von biogenen Altdämmstoffen stellt hier eine gute Möglichkeit dar. Dafür sprechen die stofflichen Voraussetzungen und daß für die Zukunft mit einem weiteren Ausbau von Verbrennungsanlagen zu rechnen ist. Für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wird aus den aufgeführten Gründen die thermische Verwertung favorisiert. Aufgrund fehlender Versuchsdaten kann jedoch noch keine Aussage darüber getroffen werden, welchen Einfluß die Zusatzstoffe auf das Brandverhalten, die Aschebildung und den Schadstoffausstoß besitzen. In modernen Müllverbrennungsanlagen dürften sich jedoch keine Probleme ergeben.

Entsorgungs- und Wiederverwertungsmöglichkeiten für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen:

- **Hemnisse:**
- zur Zeit keine Erfahrung, da eine lange Nutzungsphase besteht

Prognose:

- Kompostierung – nicht praktikabel
- Recycling – nicht praktikabel
- thermische Verwertung – wahrscheinlich geeignetster Entsorgungsweg

Handlungsbedarf:

- Untersuchungen zur Kompostierung sind notwendig, insbesondere wenn Zusatzstoffe Bor oder Kautschuk eingesetzt werden
- Untersuchungen zur thermischen Verwertung sind notwendig, u. a. wenn Zusatzstoffe eingesetzt werden
- Entwicklung von Bautechniken, die einen effektiven Rückbau ermöglichen.

10 Ökonomische Bewertung von Dämmstoff-Produktlinien aus nachwachsenden Rohstoffen

Jäger² Ch., Murphy¹, D.P.L., Hinrichs², P.

In diesem Kapitel werden die Kosten der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen von den Kosten für die Produktion, Bereitstellung der Rohstoffe über Vorverarbeitung und Dämmstoffproduktion bis hin zu den Entsorgungskosten zusammengestellt und soweit möglich untereinander, sowie mit konventionellen Dämmstoffen verglichen. Dabei werden sowohl der Dämmstoffmarkt und der Rohstoffmarkt als auch die Einkommensmöglichkeiten der Landwirtschaft berücksichtigt (Abbildung 10.1).

Die Rohstoffkosten werden in diesem Kapitel für zwei Produktionsabschnitte (oder -stufen) kalkuliert: Die erste Stufe umfaßt den Anbau und die Ernte der Rohstoffpflanzen oder das Einbringen der Nebenprodukte (Stroh, Schwachholz) in den Landwirtschafts- und Forstbetrieben, so daß für diese eine separate betriebswirtschaftliche Beurteilung der Verfahren möglich wird, und die zweite Stufe umfaßt die sich anschließende Verarbeitung der Erntemengen zu Standardrohstoffen, die dann mit den entsprechenden Importprodukten um den Einsatz in der Dämmstoffproduktion konkurrieren.

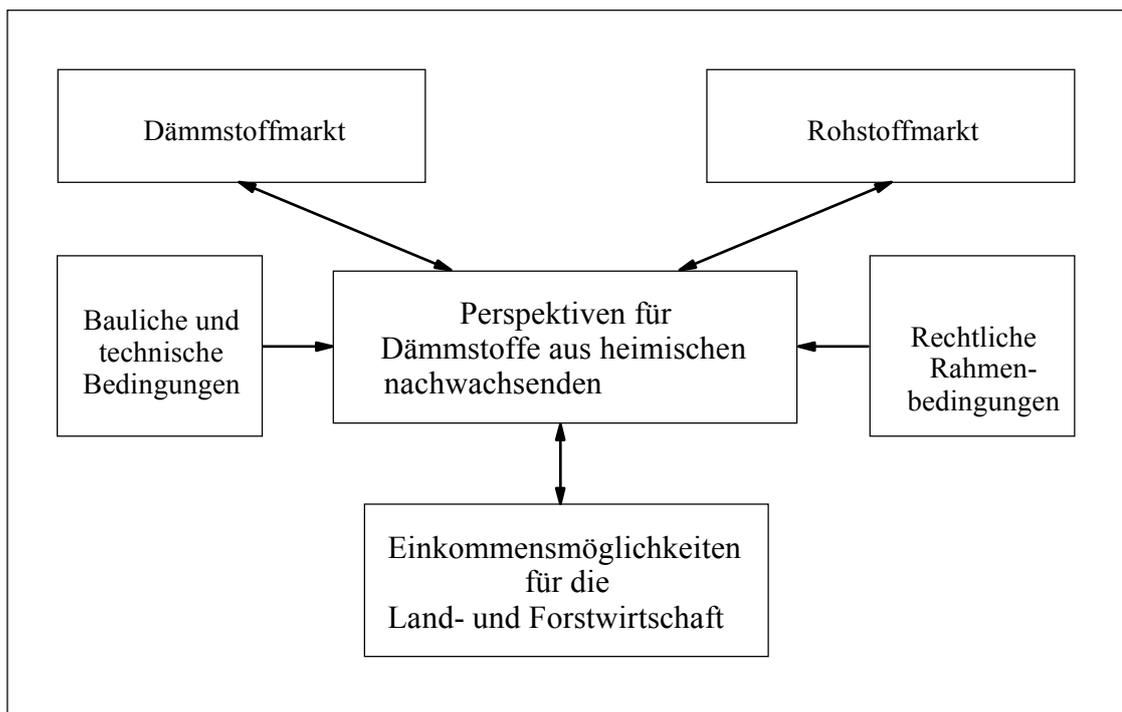


Abbildung 10.1: Das Marktumfeld für nachwachsende Rohstoffe zur Dämmstoffproduktion

10.1 Rohstoffkosten im Bereich der land- und forstwirtschaftlichen Produktion

Auf der ersten Stufe werden für Flachs und Hanf die Anbau- und Erntekosten zunächst pro ha Anbaufläche ausgewiesen. Dies ist das gebräuchlichste Kriterium für Fragestellungen, die sich auf die Entlohnung der eingesetzten Produktionsfaktoren und auf die innerbetriebliche Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsverfahren konzentrieren. Außerdem ist schon auf dieser Stufe der Wettbewerb zwischen verschiedenen Standorten oder Intensitätsniveaus von Interesse. Vergleichskriterium in diesem Kontext sind die Produktionskosten je

Produkteinheit (in DM dt⁻¹ oder DM t⁻¹). Den Rest- und Nebenprodukten wie Industrie- und Schwachholz sowie Stroh werden diejenigen Anbaukosten, die bei der Produktion der Hauptprodukte (Getreide und Holz) ohnehin anfallen, nicht zugeordnet. Lediglich erhöhte Erntekosten für die Bergung von Stroh oder Industrie- und Schwachholz werden in Anrechnung gebracht.

10.1.1 Kosten und Deckungsbeiträge des Flachs- und Hanfanbaues

Soll ein Produktionsverfahren für längere Zeit einen festen Platz im Produktionsprogramm eines Landwirtschaftsbetriebes haben, so muß es vor allem einen positiven Beitrag zum landwirtschaftlichen Einkommen leisten. Daneben sind noch andere Kriterien zu beachten, sofern sie nicht indirekt auch schon einkommensrelevant sind: Es muß für den Standort (Boden, Klima, Fruchtfolge) geeignet sein und es muß in die Betriebsorganisation (Arbeitswirtschaft, Nebenproduktverwertung, Finanzierungsspielraum) passen. Das gilt auch für den Anbau von Rohstoffpflanzen für die Dämmstoffproduktion.

Die erzielbaren Deckungsbeiträge der Rohstoffpflanzen und ihrer unmittelbaren Konkurrenten auf der Ackerfläche (meist Sommergetreide) geben erste Anhaltspunkte für die Vorzüglichkeit des Faserpflanzenanbaus innerhalb der standortspezifischen Produktionsprogramme (Fruchtfolgen).

Dafür sind auch die aktuellen Prämien- und Beihilfezahlungen relevant. Die allgemeine Wirtschaftslage in Europa ist derzeit von Einsparmaßnahmen und Forderungen nach weiteren Einsparungen geprägt. Die kommenden WTO-Verhandlungen bedingen zusätzliche Unsicherheiten bei der Prognose der Entwicklung der europäischen Agrarpolitik. Aus diesen Gründen ist für eine mittel- bis langfristige Abschätzung der Wettbewerbsfähigkeit von einzelnen Pflanzen auch ein Szenario ohne Prämien- oder Beihilfezahlungen zu evaluieren. Aus den Resultaten dieser Evaluierung läßt sich dann in einem folgenden Schritt auch die Höhe notwendiger Prämien ableiten für den Fall, daß der Anbau bestimmter Pflanzen aus ökologischen, regional- oder sozialpolitischen Gründen gewünscht wird.

Die Deckungsbeiträge ermitteln sich aus der Marktleistung einer Frucht abzüglich der variablen Kosten, die durch Anbau und Ernte und gegebenenfalls durch Vorverarbeitung, Lagerung und Transport entstehen. Anders als bei den Deckungsbeiträgen, die in großen Betriebsmodellen mit expliziter Einbeziehung der Arbeitswirtschaft verwendet werden, ist in dieser Studie in den variablen Kosten auch der Lohnanspruch des unterschiedlich hohen Arbeitszeitbedarfs für Anbau und Ernte berücksichtigt. Dagegen bleibt die Pacht für den eingesetzten Boden außer Ansatz; denn der Boden ist in diesem Vergleich der Faktor, um den die Alternativen konkurrieren und auf den die Leistungsmerkmale sich beziehen. Eine zusätzliche Berücksichtigung der Pacht wäre eine Doppelbewertung. Für den Vergleich werden die Deckungsbeiträge des Hanf- und Faserleinanbaues denen des Anbaues anderer Rohstoffpflanzen sowie den Deckungsbeiträgen des Getreideanbaues gegenüber gestellt.

Flachs

Die Angaben zu den Kosten von Anbau und Ernte von Flachs unterscheiden sich in der Literatur teilweise ganz erheblich voneinander (Tabelle 10.1).

Tabelle 10.1: Kosten für unterschiedliche Anbau- und Ernteverfahren von Flachs

| | Kosten in DM ha ⁻¹ | | |
|--|-------------------------------|------------------------------------|--|
| | | | |
| Anbau | 1457 | 1025 | 880* |
| davon: | | | |
| Saatgut | 480 | 360 | 360 |
| Düngung (N,P,K zu 40, 80, 120) | 341 | 240 | 180 |
| Pflanzenschutz | 286 | 175 | 90 |
| variable Maschinenkosten | 210 | 200 | 200 |
| Hagelversicherung / sonstiges | 140 | 50 | 50 |
| Ernte | 750 | 1150 | 550** |
| davon: | | | |
| Raufen | | 300 | |
| Wenden (3 x) | | 400 | |
| Pressen | | 300 | |
| Transport zur Schwinge | | 150 | |
| Anbau + Ernte | 2207 | 2175 | 1430 |
| Schwingkosten | | 1150 | |
| sonstiges | | 200 | |
| | | mit Vorverarbeitung: | ohne Vorverarbeitung |
| Strohertrag (6,5 t à 120 DM) | | | 780 |
| Langfasern (826 kg ha ⁻¹) | 3000 - 4200 | 2900 | |
| Kurzfasern (627 kg ha ⁻¹) | 400 - 640 | 502 | |
| Samenertrag (0,7 t bis 0,8 t) | 700 - 840 | 400 | 245 |
| Marktleistung | 4100 - 5680 | 3802 | 1025 |
| Deckungsbeitrag ohne Prämie | 1893 - 3473 | 277 | -405 |
| Flachsprämie (815,86 ECU ha ⁻¹) | | 1558 | 1558 |
| Deckungsbeitrag mit Prämie | | 1835 | 1153 |
| Quellen: | KTBL, 1986, S. 8 | DAMBROTH und SEEHUBER, 1988, S. 96 | Zusammenstellung der geringsten Kosten |
| * N,P,K 40, 80, 120 bewertet mit sehr günstigen Düngerpreisen, Pflanzenschutz: LWK Hannover und LWK Weser-Ems (1997), für Öllein | | ** Heinemann 1997 | |

Im Anbaubereich variieren die angesetzten Kosten für Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie Saatgut. Während in den Angaben des KTBL (BRENNDÖRFER und HUMMELT 1986) noch variable Kosten von 1457 DM ha⁻¹ (+ 750 DM ha⁻¹ variable Kosten für Fremdmaschineneinsatz) kalkuliert wurden, sind die variablen Kosten für den Anbau bei DAMBROTH und SEEHUBER (1988) mit 1025 DM ha⁻¹ kalkuliert.

Im Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe 1995 sind die variablen Kosten für den Anbau von Flachs mit 1195 DM ha⁻¹ ohne Ernte und die variablen Kosten der Ernte zusätzlich mit 1326 DM ha⁻¹ kalkuliert worden. Auch die Angaben zu den Ernte- und Schwingkosten variieren in den verschiedenen Quellen erheblich. Aus diesen Unterschieden und weiteren Differenzen bei den Angaben zu den zu erzielenden Preisen ergeben sich bei der Literaturlauswertung Deckungsbeiträge zwischen -3197 DM ha⁻¹ bis hin zu +3473 DM ha⁻¹ ohne Anrechnung einer Prämie für den Flachs-anbau. Bei diesen Untersuchungen wurde jeweils die Vorverarbeitung des Flachsstrohs mittels einer Schwinganlage zu Flachslangfasern, -kurzfasern, Flachsschäben und Samen unterstellt. Für die Herstellung von Dämmstoffen ist die Aufbereitung von Flachsfasern in einer Schwinge jedoch nicht notwendig. Ausreichend ist, wie bei der Hanfaufbereitung, eine Gewinnung von Wirrfasern, die mit wesentlich kostengünstigerer Technik zu erreichen ist. Daher wurde für den Flachs-anbau zur Herstellung von Rohstoffen für die Dämmstoffproduktion eine eigene Schätzung durchgeführt. Für den Pflanzenschutz wurden neuere Daten zu den

Pflanzenschutzkosten in der Ölleinproduktion (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER und LANDWIRTSCHAFTSKAMMER WESER-EMS 1997) zurückgegriffen. Die Düngekosten wurden auf der Basis der Düngermengen aus den Angaben von DAMBROTH und SEEHUBER (1988) und neuerer Daten zu Düngemittelkosten (KTBL 1995) geschätzt. Die anderen variablen Kosten des Anbaus wurden von DAMBROTH und SEEHUBER (1988) übernommen. Für die Erntekosten wird das Ernteverfahren zur Wirrfasergewinnung unterstellt (HEINEMANN 1997).

Für die Kalkulation der Herstellungskosten für Flachsfasern wird angenommen, daß für Anbau und Ernte von Flachs minimale Kosten in Höhe von 1300 DM ha⁻¹ anfallen und 6,5 t Flachsstroh mit einem Fasergehalt von 20 bis 25 % geerntet werden. Damit liegen die beim Anbau und der Ernte anfallenden Kosten der Flachsfasern ohne Kosten für den Faseraufschluß zwischen 0,80 DM kg⁻¹ und 1,00 DM kg⁻¹.

Hanf

Untersuchungen von BÖCKER (1997) weisen je nach Ernteverfahren variable Kosten für Anbau und Ernte von Hanf zwischen 1241 DM ha⁻¹ und 1379 DM ha⁻¹ aus (Tabelle 10.2). Diese Angaben stimmen gut mit den Angaben der Landwirtschaftskammern Hannover und Weser-Ems überein (Tabelle 10.1) und weisen auf Potentiale zur Kosteneinsparung durch neuere Technik hin. Für die kombinierte Ernte von Hanffasern und Hanfsamen werden von BÖCKER (1997) Kosten für Anbau und Ernte in Höhe von 1476 DM ha⁻¹ angegeben. Die LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU FORCHHEIM (1996) kalkuliert den Deckungsbeitrag (einschließlich einer Hanfprämie in Höhe von 1510 DM ha⁻¹) zwischen 1010 und 1910 DM ha⁻¹, je nach Ertrag und Preisen für Hanfstroh.

Tabelle 10.2: Kosten für Anbau und Ernte von Hanf

| <i>Kriterium</i> | Langfasergewinnung (ungarische Methode) | Kurzfasergewinnung (Hempflax-Methode) | Kombinierte Faser- und Samengewinnung |
|--|--|--|--|
| Anbau (DM ha ⁻¹) | 819 | 819 | 819 |
| <i>Kostenanteil (% von (Anbau + Ernte))</i> | 59% | 66% | 55% |
| Ernte (DM ha ⁻¹) | 560 | 422 | 657 |
| <i>Kostenanteil (% von (Anbau + Ernte))</i> | 41% | 34% | 45% |
| Anbau + Ernte (DM ha ⁻¹) | 1379 | 1241 | 1476 |
| <i>Anbau + Ernte relativ (Hempflax=100%)</i> | 111% | 100% | 119% |
| Quelle: BÖCKER, 1997, S. 505-512 und eigene Berechnungen | | | |

Wenn man eine Erntemenge von 10 t ha⁻¹ Hanfstroh, einen Fasergehalt von 20 bis 25 % und Kosten für Anbau und Ernte von 1240 DM ha⁻¹ (Tabelle 10.2 und 10.3) annimmt, ist eine kostendeckende Erzeugung von Hanf, ohne Berücksichtigung der Prämie, bei einem Preis von 108 DM t⁻¹ zu erzielen. Das entspricht Preisen zwischen 0,43 und 0,54 DM kg⁻¹ Hanffaser ohne Berücksichtigung der Kosten für den Faseraufschluß.

Zur Wettbewerbsfähigkeit des Hanfanbaus im Vergleich mit anderen landwirtschaftlichen Produkten geben Untersuchungen von DRESCHER und BRODERSEN (1997) mit einem einzelbetrieblichen Standortmodell Auskunft. Danach ist der Hanfanbau in der Bundesrepublik bei einer Hanfbeihilfe in Höhe von 1510 DM ha⁻¹, einem Strohertrag von 8 t ha⁻¹ und Preisen für Hanfstroh von 120 DM t⁻¹ „in weiten Teilen der Bundesrepublik außerordentlich wettbewerbsstark“, und auch schon bei einem Preis von 90 DM t⁻¹ Hanfstroh findet der Hanfanbau starke Verbreitung (DRESCHER und BRODERSEN 1997). Sollte jedoch, wie es derzeit gerade geschieht, die Hanfprämie gekürzt werden, müssten erheblich höhere Preise je t Stroh gezahlt werden, um den Anbau von Hanf für die deutschen Landwirte attraktiv zu machen. Ohne Prämie für Hanf liegt nach den Kalkulationen von DRESCHER und BRODERSEN die unterste Preisschwelle (der Preis bei dem in einer von 126 Regionen der Untersuchung Hanf angebaut wird) bei 240 DM t⁻¹ Stroh.

Eine Schätzung der LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU FORCHHEIM (1996) zufolge liegen die zu erzielenden Preise für Hanfstroh zwischen 100 und 150 DM t⁻¹. Allgemein wird derzeit ein Preisniveau von ca. 120 DM t⁻¹ Hanfstroh angenommen. Bei Abschaffung der Hanfprämie wäre demnach der Hanfanbau in Deutschland nicht mehr wettbewerbsfähig.

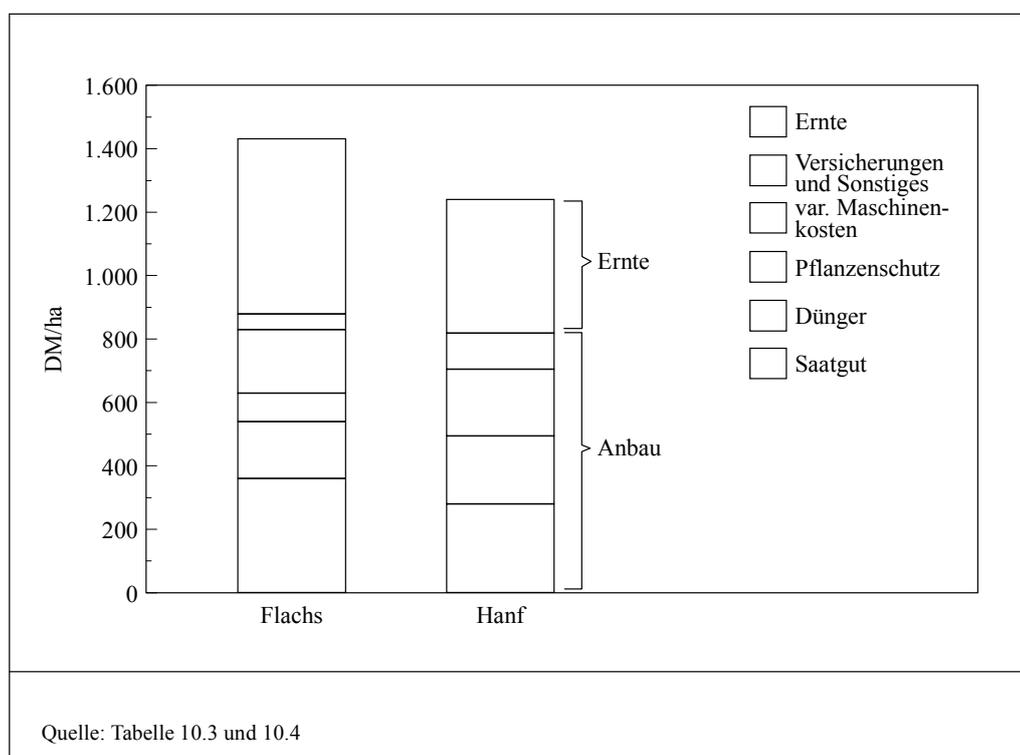


Abbildung 10.2: Kostenstruktur für Anbau und Ernte von Flachs und Hanf

Aus den Auswertungen in den Tabellen 10.3 und 10.5 lässt sich auch ableiten, ab welchem Erzeugerpreis der Anbau der Industriepflanzen zumindest die variablen Kosten deckt (Tabelle 10.3). Dabei werden eingesparte Kosten für die Pflege der Flächen mit 163 DM ha⁻¹ berücksichtigt. Für Hanf ist demnach zur Deckung der variablen Kosten bei einem Ertrag von 8 t ha⁻¹ ein Mindestpreis von 135 DM t⁻¹ bzw. bei einem Ertrag von 10 t ha⁻¹ ein Mindestpreis von 108 DM t⁻¹ notwendig. Bei Flachs sind bei realistischen Erträgen von 6 t ha⁻¹ bis 7 t ha⁻¹ zur Deckung der zusätzlichen variablen Kosten Erzeugerpreise für Flachsstroh in Höhe von 211 DM t⁻¹ bzw. 181 DM t⁻¹ notwendig (vgl. auch Abbildung 10.2). In diesen Kalkulationen

ist der Lohnanspruch nicht berücksichtigt. Unterstellt man für den Anbau und die Ernte von Flachs oder Hanf einen Arbeitszeitbedarf von mindestens $7,5 \text{ Akh ha}^{-1}$ und einen Lohn von 20 DM h^{-1} , so steigen die variablen Kosten je Hektar um 150 DM. Zur Deckung der variablen Kosten muß bei Berücksichtigung des Lohnanspruchs folglich ein entsprechend höherer Erzeugerpreis erzielt werden.

Ein Vergleich der mindestens notwendigen Erntemengen bei angenommenen Erzeugerpreisen von 120 bzw. 140 DM t^{-1} zeigt deutlich den Vorteil von Hanf. Mit Hanf ist in diesem Beispiel schon mit Röststroherträgen von ca. 8 bis 9 t ha^{-1} eine Deckung der variablen Kosten möglich. Diese Erträge sind als realistisch anzusehen. Für Flachs wären dagegen bei Röststrohpreisen von 120 bis 140 DM t^{-1} zur Deckung der variablen Kosten Erträge von etwa 9 bis $10,5 \text{ t ha}^{-1}$ nötig. Derart hohe Erträge sind für Flachs jedoch nicht zu erwarten. Ohne Prämie ist der Anbau von Hanf und insbesondere von Flachs in Deutschland offensichtlich unter derzeitigen Preisbedingungen nicht wettbewerbsfähig.

Tabelle 10.3: Mindestpreise zur Deckung der variablen Kosten beim Flachs- und Hanfanbau (ohne Prämien)

| <i>Kriterium</i> | Hanf | | Flachs | |
|---|-------------|------|---------------|------|
| Anbau- und Erntekosten (DM ha^{-1}) | 1.241 | | 1.430 | |
| - einsparbare variable Kosten für Pflege der stillgelegten Flächen | -163 | | -163 | |
| = standortspezifische variable Kosten | 1078 | | 1267 | |
| erwarteter Ertrag (t ha^{-1}) | 8 | 10 | 6 | 7 |
| Mindestpreis (DM t^{-1}) zur Deckung der standortspezifischen variablen Kosten | 135 | 108 | 211 | 181 |
| erwarteter Preis (DM t^{-1}) | 120 | 140 | 120 | 140 |
| Mindesterntemenge (t ha^{-1}) zur Deckung der standortspezifischen variablen Kosten | 8,98 | 7,70 | 10,55 | 9,05 |
| Quellen: LWK Hannover und LWK Weser-Ems (1997, S.2), Tabellen 10.3. und 10.4, eigenen Berechnungen | | | | |

GRIESELER (1998) gibt für eine gesamte Wertschöpfungskette von der Produktion von Flachspflanzen bis zur Verwertung der Fasern in der Automobilindustrie einen Deckungsbeitrag für Flachs von 1767 DM ha^{-1} einschließlich 1550 DM ha^{-1} Flachsprämie an. Dabei ist ein Flachsstrohpriess von 150 DM t^{-1} unterstellt sowie ein stark vereinfachtes Ernteverfahren. In einem weiteren Schritt untersucht GRIESELER (1998), wie sich der Preis für Flachsstroh ändern müßte, um den Deckungsbeitrag für die Landwirte bei sinkender Prämie konstant zu erhalten. Bei einer 50%igen Senkung der Prämie müßte demnach der Preis für Flachsstroh auf 290 DM t^{-1} ansteigen. Ein völliger Wegfall der Flachsprämie könnte nur mit einem Preis für Flachsstroh in Höhe von 430 DM t^{-1} ausgeglichen werden. Angesichts dieser Kalkulationen und der Weltmarktpreise für Flachsfasern von ca. 1 bis 2 DM kg^{-1} wird wiederum deutlich, wie stark politikabhängig die Wettbewerbsfähigkeit des heimischen Faserpflanzenanbaus ist.

10.1.2 Preise für Holz zur Dämmstoffherstellung

Für die Herstellung von Dämmstoffen kommen in erster Linie Rest-, Schwach- und Industrieholz in Frage. Auch Holz, das z. B. in Form von Paletten genutzt wurde, kann zu Fasern verarbeitet werden. Rest- und Schwachholz fällt bei der Holzernte zu ca. 35 % an. Die Kosten der Holzernte müssen derzeit dem Nutzholz zugeschrieben werden. Nach Expertenaussagen ist ein Markt für Rest- und Schwachholz aus heimischer Produktion in Deutschland kaum vorhanden. Dieses Holz ist nur zu Preisen, die für Biomasse zur Energiegewinnung angesetzt werden, am Markt absetzbar. Diese liegen derzeit loco Abnahmebetrieb etwa bei 100 DM t⁻¹. Dieser Preis wird im folgenden für den Rohstoff Holz für die Dämmstoffherstellung in Ansatz gebracht.

10.1.3 Preise für Zellulose aus Altpapier

Nach Angaben von DIX und ROFFAEL (1996) liegen die Preise für Altpapierfaserstoff je nach Qualität und Herkunft zwischen 0 und 100 DM t⁻¹. Für die Herstellung von Schüttdämmungen aus Zellulose eignen sich allerdings nur bestimmte Qualitäten, nämlich sortenreines Altpapier von Tageszeitungen. Pappe und Illustriertenpapier sowie unsortierte Papiermischungen sind für diesen Zweck ungeeignet (Aussagen eines Herstellers von Zelluloseflocken). Demnach müßte für die Herstellung von Schüttdämmungen aus Altpapier etwa mit Rohstoffkosten von 100 DM t⁻¹ gerechnet werden. Allerdings zeigen weitere Recherchen von DIX und ROFFAEL (1996), daß die Preise für Altpapier starken Schwankungen unterliegen und im letzten Quartal 1994 bis auf 250 DM t⁻¹ für alte Zeitungen angestiegen sind. Diese Aussage zu starken Preisschwankungen entspricht den Ergebnissen der eigenen Befragung. Von den befragten Experten wurden jedoch Preise von bis zu 600 DM t⁻¹ für sortenreines Tageszeitungspapier für das Jahr 1993 und aktuelle Preise zwischen 120 und 220 DM t⁻¹ genannt.

10.1.4 Kosten für sonstige Rohstoffe

In Tabelle 10.4 sind Marktpreise verschiedener Rohstoffe aufgelistet. Die teilweise großen Spannen bei einzelnen Rohstoffen sind einerseits auf stark schwankende Marktpreise und zum anderen auf unterschiedliche Qualitäten zurückzuführen.

Tabelle 10.4: Rohstoffpreise

| Rohstoffart | Rohstoffpreis (DM kg ⁻¹) |
|------------------------|---|
| Flachsfasern | 1,00 - 2,00 |
| Flachswerg | 0,80 - 1,00 |
| Hanfswerg | 0,80 - 2,00 |
| Hanfschäben | 0,15 - 0,36 |
| Stroh | ca. 0,10 |
| Schafwolle (gewaschen) | 5,00 - 6,00 |
| Zellulose | 0,07 - 0,40 |
| Baumwolle | ca. 2,00 |
| Jute (Import) | 0,60 - 0,85 |
| Jute (Recycling) | 0,20 - 0,40 |
| Schwachholz | 0,10 |
| Kokos | ca. 0,65 |
| Altglas | 0,02 - 0,05 |

In dieser Zusammenstellung wird deutlich, daß die Rohstoffpreise für Sekundärrohstoffe und landwirtschaftliche Nebenprodukte unter denen der Hauptprodukte liegen. Land- und forstwirtschaftliche Koppelprodukte, die sich zur Dämmstoffherstellung eignen, sind Schäben von Flachs und Hanf, Rest- und Schwachholz, Stroh sowie Schafwolle. Bis auf die Schafwolle sind diese Rohstoffe zu wesentlich niedrigeren Preisen zu beziehen als Flachs und Hanf. Für Stroh ist der Preis von Biomasse von ca. 0,10 DM kg⁻¹ anzusetzen. Die im Dämmstoffbereich gehandelten Schäben von Flachs und Hanf müssen bestimmten Qualitätsanforderungen genügen und erzielen derzeit nach Expertenaussage Preise zwischen 0,25 und 0,30 DM kg⁻¹. Andere auf dem Weltmarkt erhältliche Naturfasern wie z. B. Kokos und Jute sind zu relativ niedrigen Preisen deutlich unter 1 DM kg⁻¹ zu bekommen. Lediglich Baumwolle liegt mit etwa 2 DM kg⁻¹ im gleichen Preissegment wie Flachs- und Hanffasern.

10.2 Kosten der Rohstoffaufbereitung / Vorverarbeitung

Um aus den Rohstoffen, die Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Recyclingunternehmen und der Weltmarkt liefern können, Dämmstoffe herstellen zu können, sind je nach Rohstoff, Dämmstoffart und Qualitätsanforderung unterschiedliche Aufbereitungsschritte notwendig (siehe Kapitel 5 und 6). Hanf- und Flachsstroh muß durch Aufbereitung in Fasern und Schäben getrennt werden. Holz bedarf eines Aufschlusses in Fasern. Altpapier muß zerkleinert werden, Schafwolle in einer eigens dafür nötigen Anlage gewaschen werden.

Die Verfahren der Rohstoffaufbereitung erfordern unterschiedlich hohen technischen Aufwand und verursachen somit unterschiedlich hohe Kosten. Die Kosten der Verfahren hängen von einer Reihe verschiedener Faktoren ab: Die erforderliche Technik, die Größe der Anlage, die Auslastung sowie die Qualität der angelieferten Rohstoffe sind die wesentlichen Faktoren, die Einfluß auf die Kosten der Rohstoffaufbereitung haben. Die folgenden Auswertungen aus Literatur und Expertenbefragungen können daher lediglich einen groben Überblick geben. Ob und unter welchen Voraussetzungen eine Anlage zur Vorverarbeitung wirtschaftlich arbeiten kann, zu welchen Kosten die Rohstoffaufbereitung tatsächlich erfolgen kann, sind Fragen, die in jedem Einzelfall sorgfältig unter Berücksichtigung aller standortspezifischen Rahmenbedingungen untersucht werden müssen.

10.2.1 Faser- und Schäbengewinnung aus Flachs und Hanf

Die Kosten der Herstellung von Hanffasern sind von BÖCKER (1997) eingehend untersucht worden. In dieser Untersuchung werden insbesondere die Kosten zweier Verfahren zur Herstellung von Fasern aus Hanf analysiert. Dabei handelt es sich um "moderne mechanische Entholzungsverfahren", die auch als Kurz- oder Wirrfaserverfahren bezeichnet werden. Die traditionelle Gewinnung von Langfasern in Schwingereien findet derzeit nur in Osteuropa und Asien mit veralteter Technik statt, so daß nach Angaben von BÖCKER (1997) keine Angaben über die Investitions- und Betriebskosten entsprechender Anlagen zu machen sind. Das Verfahren der Wirrfasergewinnung hat zudem den Vorteil, daß die Hanfstengel nicht in paralleler Lage vorliegen müssen, so daß kostengünstigere, moderne Ernteverfahren eingesetzt werden können.

Die von den Firmen Temafa und Gebrüder Bahmer in Betrieb befindlichen Anlagen haben einen potentiellen Stundendurchsatz von 2.000 - 2.500 kg Faserstroh. Die jährlichen Kosten des mechanischen Aufschlusses von Hanf mit diesen beiden Anlagen im Ein-Schicht-Betrieb gibt BÖCKER (1997) mit 613.350 bis 1.134.000 DM, je nach Anlage, an. Für jede weitere Schicht erhöhen sich die Gesamtkosten um 210.000 DM bzw. 460.000 DM. In der

Kalkulation sind Investitionen für Boden, Gebäude, Maschinen und maschinelle Anlagen sowie Betriebs- und Geschäftsausstattung enthalten. Die Finanzierungskosten wurden mit 7 – 8 % Zinsen (gefördertes und ungefördertes Darlehen) kalkuliert. Für in der Kalkulation angesetztes Eigenkapital wurden keine Zinsen kalkuliert. Die Abschreibungen sind mit 4 % für Gebäude und 10 % für Maschinen, Betriebs- und Geschäftsausstattung kalkuliert.

Diese Angaben beruhen weitgehend auf Firmenangaben. Nach Einschätzung von BÖCKER (1997) sind die Personalmittel in den Firmenangaben nicht ausreichend hoch kalkuliert. Zu den Angaben der Firmen kommen weitere Managementaufgaben hinzu. Insbesondere in der Aufbauphase der Unternehmen sind vielfältige Aktivitäten in den Bereichen Anbauberatung und Rohstoffbeschaffung notwendig, für die Personalmittel einkalkuliert werden müssen.

Tabelle 10.5: Kosten des Faseraufschlusses (in DM) von Hanf nach BÖCKER

| Schichten | Gebrüder Bahmer | | | Temafa | | |
|--------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Stundenkosten (DM) | 913,93 | 682,06 | 604,14 | 807,91 | 597,55 | 526,80 |
| 1.500 kg Durchsatz | | | | | | |
| 25 % Ausbeute | 2,44 | 1,82 | 1,61 | 2,15 | 1,59 | 1,40 |
| 30 % Ausbeute | 2,03 | 1,52 | 1,34 | 1,80 | 1,33 | 1,17 |
| 35 % Ausbeute | 1,74 | 1,30 | 1,15 | 1,54 | 1,14 | 1,00 |
| 2.000 kg Durchsatz | | | | | | |
| 25 % Ausbeute | 1,83 | 1,36 | 1,21 | 1,62 | 1,20 | 1,05 |
| 30 % Ausbeute | 1,52 | 1,14 | 1,01 | 1,35 | 1,00 | 0,88 |
| 35 % Ausbeute | 1,31 | 0,97 | 0,86 | 1,15 | 0,85 | 0,75 |
| 2.500 kg Durchsatz | | | | | | |
| 25 % Ausbeute | 1,46 | 1,09 | 0,97 | 1,29 | 0,96 | 0,84 |
| 30 % Ausbeute | 1,22 | 0,91 | 0,81 | 1,08 | 0,80 | 0,70 |
| 35 % Ausbeute | 1,04 | 0,78 | 0,69 | 0,92 | 0,68 | 0,60 |

Quelle: BÖCKER (1997)

Die Betriebskosten kalkuliert BÖCKER (1997) für einen Ein-Schicht-Betrieb, für einen Zwei- oder Drei-Schicht-Betrieb wären die Kostenpositionen "Personal" und "sonstige Kosten" jeweils zu verdoppeln bzw. zu verdreifachen. Für die weiteren Kalkulationen unterstellt BÖCKER (1997) zusätzlich für den Zwei- oder Drei-Schicht-Betrieb höhere Abschreibungen für die Maschinen von 15 % bzw. 20 %, um der höheren Abnutzung der Maschinen Rechnung zu tragen. Zu den in den Firmenangaben enthaltenen Kostenpositionen nimmt BÖCKER (1997) eine weitere Position "Reparatur, Maschinen und Hilfsmittel" in seine Untersuchung auf, die er je nach Ein-, Zwei- oder Drei-Schicht-Betrieb mit 5 %, 8,5 % und 12 % ansetzt. Auf dieser Grundlage schätzt BÖCKER (1997) die jährlichen Kosten der Anlagen zum Aufschluß von Hanfstroh nach modernen mechanischen Verfahren zwischen 1.462.280 und 2.889.880 DM für eine Anlage der Firma Gebrüder Bahmer und zwischen 1.292.648 und 2.528.648 DM für eine Anlage der Firma Temafa, wobei jeweils eine Anlage mit einem potentiellen Stundendurchsatz von 2.000 - 2.500 kg Hanfstroh unterstellt ist. Auf dieser Grundlage ermittelte Kosten des Faseraufschlusses sind in Tabelle 10.5 wiedergegeben. Deutlicher Einfluß auf die Höhe der Verfahrenskosten geht demnach insbesondere von drei Faktoren aus. Die Auslastung der Anlagen hat erheblichen Einfluß auf die Stückkosten. Im voll ausgelasteten Drei-Schicht-Betrieb sind die Kosten je kg Hanffaser deutlich geringer als im Ein- oder Zwei-Schicht-Betrieb. Die Beherrschung des Produktionsprozesses durch qualifiziertes und im Umgang mit den speziellen Anlagen vertrautes Personal hat über den tatsächlich erreichbaren Stundendurchsatz der Anlagen ebenfalls deutlichen Einfluß auf die Kosten je kg Hanffaser. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Qualität des Hanfstrohs, die

deutlichen Einfluß auf die Ausbeute an Fasern und damit ebenfalls auf die Kosten je kg hat. Nach Einschätzung von BÖCKER (1997) sind in der Anfangsphase einer neuen Anlage zum Faseraufschluß von Hanf Kosten von etwa 2 DM kg⁻¹ Fasern als realistisch anzusehen. Mittel- bis langfristig könnten die Kosten durch Qualitätsmanagement, Optimierung des technischen Prozesses, qualitative und quantitative Sicherung und Steigerung der Rohstofflieferung sowie züchterische Fortschritte unter optimistischen Annahmen auf etwa 1,00 DM kg⁻¹ bis zu 0,70 DM kg⁻¹ Faser gesenkt werden.

Einer schriftlichen Mitteilung von HESCH (1997) ist zu entnehmen, daß mit einem anderen Verfahren ("Impact-Verfahren"), das auf eine Tauröste des Hanfstrohs auf dem Feld verzichten kann, technische Fasern aus Hanf gewonnen werden können, die für die Zwecke der Dämmstoffherstellung sehr gut geeignet sind. Einschließlich Anbau und Erntekosten sind, in Abhängigkeit vom Ertrag, Herstellungskosten für Hanffasern auf deutlich niedrigerem Niveau kalkuliert als das für die oben beschriebenen Verfahren der Fall ist.

Bei dem von HESCH erwähnten Verfahren handelt es sich um eine Entwicklung, für die eine Prototypanlage geplant ist. Praktische Erfahrungen aus dem Betrieb einer Anlage in technischem Maßstab liegen noch nicht vor. Die Untersuchungen weisen aber darauf hin, daß bei einer Anpassung der Technologie von Anbau, Ernte, Vorverarbeitung und Dämmstoffherstellung noch Potentiale zur Kostensenkung bei der Fasergewinnung für den technischen Bereich bestehen. Für technische Verwendungen ist die hohe Faserfeinheit und Faserlänge nicht so entscheidend wie für die Verarbeitung der Produkte wie bei der traditionellen Verwendung im Textilbereich. Daher kann für die Herstellung technischer Fasern auf einfachere Verfahren zurückgegriffen werden.

Einer Untersuchung von RINGLEB (1996) zufolge, liegen die Kosten des Faseraufschlusses für Flachs wesentlich niedriger (Tabelle 10.6). RINGLEB (1996) hat ebenfalls zwei unterschiedliche Mechanisierungen untersucht. Wie in der Studie von BÖCKER (1997) ist jeweils eine Anlage der Firma Bahmer und eine Anlage der Firma Temafa den Berechnungen zugrunde gelegt. RINGLEB (1996) ermittelt für eine Anlage der Firma Bahmer unter bestimmten Voraussetzungen Kosten des Faseraufschlusses von 0,89 DM kg⁻¹ und für eine Anlage der Firma Temafa Faseraufschlußkosten von 0,57 DM kg⁻¹.

Bei näherer Betrachtung fallen jedoch wesentliche Unterschiede bei den zugrunde gelegten Annahmen auf. Die Kalkulationen von BÖCKER (1997) beziehen alle anfallenden Kosten mit ein. In den Kalkulationen von RINGLEB (1996) sind weder Kosten für Gebäude, bauliche Anlage, Grund und Boden noch Kosten für Management und Verwaltung enthalten. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Ergebnissen von RINGLEB (1996) und BÖCKER (1997) zu gewährleisten, müßten jedoch weitgehend gleiche Kostenpositionen zugrunde liegen. Daher werden im folgenden die Berechnungen von RINGLEB (1996) um die Kostenpositionen Gebäude, bauliche Anlagen, Grund und Boden sowie Verwaltung und Management ergänzt. Zusätzlich wird der Versuch unternommen, die Kosten des Faseraufschlusses auf Grundlage der Berechnungen von RINGLEB (1996) ebenfalls für einen Zwei-Schicht- und einen Ein-Schicht-Betrieb der Anlagen zu ermitteln.

Unter Berücksichtigung geschätzter Investitionen für Gebäude, bauliche Anlagen und Grund und Boden in Höhe von insgesamt 500.000 DM, sowie den geschätzten Kosten für das Management der Anlage von 120.000 DM, ergeben sich Faseraufschlußkosten von 0,69 bzw. 1,00 DM kg⁻¹ Faser. Die Erfahrungen der bestehenden Anlagen zum Faseraufschluß und zur

Produktion von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zeigen jedoch, daß zumindest in den ersten Jahren nicht mit einer vollen Auslastung der Anlagen gerechnet werden kann.

Tabelle 10.6: Kosten des Faseraufschlusses von Flachs

| <i>Kriterium</i> | | Bahmer | Temafa |
|---|---------------------------|---------------|---------------|
| Jährliche Kosten, ohne Gebäude, bauliche Anlagen, Grund und Boden, ohne Management und Verwaltung | DM a ⁻¹ | 1523552 | 979212 |
| Maschinenlaufzeit (Drei-Schicht-Betrieb) | h a ⁻¹ | 4760 | 4760 |
| Durchsatz | kg Faser h ⁻¹ | 360 | 360 |
| Faseraufschlußkosten bei voll ausgelastetem Drei-Schicht-Betrieb | DM kg ⁻¹ Faser | 0,89 | 0,57 |
| Quelle: RINGLEB (1996) | | | |
| 500.000 DM Investitionen für Gebäude, Boden etc. 10 Jahre Abschreibung, 8,5 % Zinsen | | 76200 | 76200 |
| Geschäftsführung und Verwaltung | DM a ⁻¹ | 120000 | 120000 |
| Jährliche Kosten, incl. Gebäude, bauliche Anlagen, Grund und Boden, incl. Management und Verwaltung | DM a ⁻¹ | 1719752 | 1175412 |
| jährliche Maschinenlaufzeit bei Drei-Schicht-Betrieb | h a ⁻¹ | 4760 | 4760 |
| Durchsatz | kg Faser h ⁻¹ | 360 | 360 |
| Faseraufschlußkosten bei voll ausgelastetem Drei-Schicht-Betrieb | DM kg ⁻¹ Faser | 1,00 | 0,69 |
| abzügl. Personalkosten für eine Schicht | DM a ⁻¹ | 1624752 | 1080412 |
| abzügl. Reparaturkostenanteil für eine Schicht (2,5 %) | DM a ⁻¹ | 1552127 | 1039285 |
| abzügl. Strom für eine Schicht (1/3 der Stromkosten) | DM a ⁻¹ | 1483583 | 1003621 |
| jährliche Maschinenlaufzeit bei Zwei-Schicht-Betrieb | h a ⁻¹ | 3175 | 3175 |
| Durchsatz | kg Faser h ⁻¹ | 360 | 360 |
| Faseraufschlußkosten bei voll ausgelastetem Zwei-Schicht-Betrieb | DM kg ⁻¹ Faser | 1,30 | 0,88 |
| abzügl. Personalkosten für eine Schicht | DM a ⁻¹ | 1388583 | 908621 |
| abzügl. Reparaturkostenanteil für eine Schicht (2,5 %) | DM a ⁻¹ | 1315958 | 867493 |
| abzügl. Strom für eine Schichten (1/3 der Stromkosten) | DM a ⁻¹ | 1247414 | 831829 |
| jährliche Maschinenlaufzeit bei Ein-Schicht-Betrieb | h a ⁻¹ | 1590 | 1590 |
| Durchsatz | kg Faser h ⁻¹ | 360 | 360 |
| Faseraufschlußkosten bei voll ausgelastetem Ein-Schicht-Betrieb | DM kg ⁻¹ Faser | 2,18 | 1,45 |
| Quelle: BÖCKER (1997), ergänzt durch eigene Berechnungen in Anlehnung an RINGLEB (1996) | | | |

Daher wurden die Faseraufschlußkosten nach einem einfachen Verfahren auf einen Zwei- und einen Ein-Schicht-Betrieb umgerechnet. Dazu wurden für den Zwei-Schicht-Betrieb, ausgehend von den Berechnungen von RINGLEB (1996) die Stromkosten und Personalkosten um ein Drittel reduziert. Die Reparaturkosten wurden um 2,5 % reduziert. Es wird davon ausgegangen, daß bei einer nicht ausgelasteten Anlage eine Erhöhung der Anlagenauslastung angestrebt wird. Die dazu nötigen Maßnahmen im Bereich der Materialbeschaffung und des Absatzes sind Managementaufgaben. Daher wurden die Verwaltungs- und Managementkosten nicht reduziert. Für den Zwei-Schicht-Betrieb wurden dann entsprechend die Personal- und Stromkosten, ausgehend von den Daten von RINGLEB (1996) um zwei Drittel reduziert. Es wurden Reparaturkosten von 5 % unterstellt. Auf dieser Grundlage ergeben sich für den Zwei-Schicht-Betrieb Faseraufschlußkosten in Höhe von 0,88 bzw. 1,30 DM kg⁻¹ Faser. Für den Ein-Schicht-Betrieb werden Faseraufschlußkosten von 1,45 bzw. 2,18 DM kg⁻¹ Faser

ermittelt. Vergleicht man diese Werte mit den Ergebnissen von BÖCKER (1997), so stellt man fest, daß unter Berücksichtigung der nicht ganz identischen Durchsatzleistung und immer noch teilweise nicht ganz gleichen Annahmen, die Ergebnisse der beiden Studien relativ gut übereinstimmen. Mit der Technik von Temafa lassen sich demnach Flachsfasern aus Flachsstroh unter günstigsten Bedingungen zum Preis von ca. 0,88 DM kg⁻¹ aufschließen. Unterstellt man für die Anfangsphase der Faserproduktion, daß die Anlage nicht voll ausgelastet ist, muß man von entsprechend höheren Kosten ausgehen.

SYRING und WARNECKE (1997) kommen bei ihren Kalkulationen auf ähnlich hohe Kosten des Faseraufschlusses. Für eine Anlage mit 2.000 bis 2.500 kg Durchsatz pro Stunde und einem Ein- bis Zwei-Schicht-Betrieb werden jährliche Kosten in Höhe von 0,9 bis 1,1 Mio. DM ausgewiesen. Wird ein Strohdurchsatz von 5.100 t erreicht, fallen nach den Berechnungen von SYRING und WARNECKE (1997) Faseraufschlußkosten von 0,80 DM kg⁻¹ an.

10.2.2 Gewinnung von Holzfasern

Die Herstellung von Dämmplatten aus Holz und auch die Herstellung von Stopf- oder Schüttdämmstoffen aus Holz erfordert für die meisten Produkte einen Aufschluß von Holz zu Holzfasern. Entsprechende Technik ist vorhanden und erprobt. Laut Expertenaussagen (RICHTER 1998; LANGE 1998) sind Holzfasern zu Preisen zwischen 0,30 bis 0,36 DM kg⁻¹ erhältlich. Die Rohstoffkosten für Holz können mit 100 DM t⁻¹ veranschlagt werden, da für die Herstellung von Holzfasern für Dämmstoffe Schwach-, Rest- und Industrieholz ausreichend ist. Die Verarbeitung von Holz zu Holzfasern ist mit Kosten von etwa 0,20 bis 0,25 DM kg⁻¹ Holzfasern verbunden (RICHTER 1998; LANGE 1998).

Holzhobelspäne als Dämmstoff werden von einem Fertighaushersteller seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt. Die Holzhobelspäne fallen bei der Herstellung von Holzfernhäusern ohnehin an. Auch bei anderen Verarbeitungsarten von Holz fallen Hobelspäne an. Dieses Verfahren ist in bezug auf die Vorverarbeitung äußerst günstig, denn die Kosten der Abfälle aus der Holzverarbeitung sind extrem gering. Nach Expertenaussage (FRITZ 1998) bestehen bezüglich der Infrastruktur der holzverarbeitenden Betriebe keine größeren Hemmnisse für eine Produktion von Holzhobeldämmstoffen.

10.2.3 Aufbereitung von Schafwolle

Schafwolle bedarf an Vorverarbeitung lediglich einer Reinigung. Die Wolle wird mit Kernseife und Soda gewaschen (SCHULZ *et al.* 1993). Gewaschene, trockene Wolle wird dann zumeist in Form von Ballen gehandelt. Ungünstig ist hier die Infrastruktur der Wollreinigung in Deutschland. Nach Angaben der Hersteller von Schafwollämmstoffen stellt die Logistik beim Einkauf und der Vorverarbeitung das größte Problem deutscher Schafwolle dar. Die Vermarktung von deutscher Wolle ist kaum organisiert; die nächstgelegene Firma, die die Vorverarbeitung - d.h. Wäsche - von Schafwolle anbietet, liegt in Belgien. Das bedeutet, daß auch heimische Schafwolle große Strecken transportiert werden muß, bevor sie zu Dämmstoffen verarbeitet werden kann. KARUS *et al.* (1997) geben Preise von 3,00 bis 3,50 DM kg⁻¹ ungewaschene Wolle und 6,00 bis 6,40 DM kg⁻¹ für gewaschene Wolle an. Daraus läßt sich ein Preis für die Wollwäsche incl. Transport von etwa 3 DM kg⁻¹ Wolle ableiten. Dieser Wert wurde auch von SWEREDJUK (1998) genannt. Zusätzlich fallen Kosten in Höhe von 1,60 DM kg⁻¹ Schafwolle für die Ausrüstung der Wolle mit einem Mottenschutzmittel an (SWEREDJUK 1998).

10.2.4 Vorverarbeitung von Stroh zu Strohhäcksel

Bei den Platten aus Getreidestroh handelt es sich um ein sehr einfaches Produkt. Für die Herstellung wird langstieliges Getreidestroh verwendet, welches zuerst gehäckselt wird. Die Strohhäcksel werden mit den notwendigen Bindemitteln gemischt und gepreßt (z. B. 94 % Stroh und 6 % Bindemittel). Ein in der Landwirtschaft üblicher Strohhäcksler (Gebläsehäcksler mit 22 kW-Elektromotor) hat einen Anschaffungspreis von etwa 17.000 DM, die jährlichen Abschreibungen sind mit 1214 DM zu kalkulieren und variable Maschinenkosten mit $10,24 \text{ DM h}^{-1}$ (KTBL 1995). Ein Spezial-Häckselwagen mit 5,0 t Ladekapazität kostet etwa 42.000 DM, ist mit jährlichen Abschreibungen von 3500 DM und variablen Maschinenkosten von $0,50 \text{ DM} + 0,08 \text{ DM km}^{-1}$ Transportentfernung zu kalkulieren (KTBL 1995). Angenommen, mit dieser Mechanisierung werden jährlich von 100 ha jeweils 5 t Stroh geborgen und gehäckselt, also 500 t Strohhäcksel pro Jahr, so verursacht die Vorverarbeitung dieses Strohs Kosten von $7,50 \text{ DM t}^{-1}$. Bei einer Verdopplung der jährlichen Erntefläche lassen sich die Kosten der Strohvorverarbeitung auf 4 DM t^{-1} reduzieren. Allerdings muß man davon ausgehen, daß der Einsatz von Strohhäckslern für die Dämmstoffherstellung eine feinere gleichmäßigere Qualität des Häckselgutes erfordert als Strohhäcksel für landwirtschaftliche Zwecke, so daß die hier kalkulierten Kosten eine Untergrenze darstellen.

Bei einer Verbesserung der Qualität des Häckselgutes ist mit höheren Kosten zu rechnen, durch den Einsatz größerer Anlagen zur Produktion von Strohdämmplatten ist aber auch eine Reduzierung der Kosten möglich.

10.2.5 Vorverarbeitung von Schilf

Das Schilfrohr wird nach der Ernte zuerst nach Länge und Durchmesser sortiert. Dies ist wie viele Arbeiten bei der Herstellung von Schilfdämmstoffmatten Handarbeit. Anschließend wird der Blütenstand entfernt. Die Matten werden auf Bestellung hergestellt und "just in time" ausgeliefert. Da die Herstellung der Matten zum größten Teil manuell erfolgt, kann die Produktion, um profitabel zu sein, nur in Niedriglohnländern (Ungarn, Rumänien etc.) erfolgen oder durch billige Saisonkräfte (Kapitel 6.3.4). Für die Vorverarbeitung von Schilf fallen ausschließlich Personalkosten an.

10.3 Dämmstoffherstellungskosten

Nach Produktion und Vorverarbeitung der verschiedenen Rohstoffe stehen vielfältige Materialien zur Herstellung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zur Verfügung. Die verschiedenen Möglichkeiten zur Herstellung von Dämmstoffen und die entsprechenden technischen Daten sind im Anhang Teil III dargestellt. Als Dämmstoffe eignen sich Platten, Matten und Vliese aus Fasern, Platten aus Schäben oder Verbundplatten mit einem bestimmten Fasergehalt. In loser Form können Dämmstoffe als Schüttungen und Einblasdämmstoffe eingesetzt werden. Im folgenden sind die Herstellungskosten zusammengestellt.

10.3.1 Matten- und Vliesherstellung

Nach BATSCHKUS *et al.* (1997) liegen die Gesamtkosten für die Herstellung von Vliesen aus Flachfasern zwischen 73 und 101 DM m⁻³, wobei die geringsten Kosten für die Verfahrenskette "Fasererzeugung mit Sägezahnwalzenanlage, Vliesherstellung mit Krempel, thermische Verfestigung und Imprägnierung" kalkuliert werden. Die Kosten der Mattenherstellung und Verfestigung plus anschließender Nachbehandlung (Imprägnierung und Zuschnitt) liegen nach BATSCHKUS *et al.* (1997) zwischen 61,35 und 94,80 DM m⁻³.

Für eine Anlage zur Herstellung von Dämmvliesen mit einer Durchsatzkapazität von 500 kg Fasern pro Stunde sind nach Aussage verschiedener Experten Investitionen in Höhe von etwa 5 bis 6 Mio DM erforderlich. Zusätzlich sind etwa 1 bis 2 Mio DM Investitionen für Gebäude und Grundstück zu kalkulieren. Für die folgenden Kalkulationen wird angenommen, daß eine Anlage mit einer Kapazität von 500 kg h⁻¹ für 6 Mio DM erstellt werden kann, die notwendigen Gebäude und baulichen Anlagen Investitionen von 1 Mio DM erforderlich machen und das Grundstück ebenfalls für 1 Mio DM gekauft wird. Mit dieser Anlage lassen sich, ein spezifisches Gewicht der Dämmstoffe von 30 kg m⁻³ unterstellt, jährlich ca. 80.000 m³ Dämmstoffvliese herstellen. Für die weiteren Kalkulationen ist ein Abschreibungszeitraum von 10 Jahren für die Maschinen und von 25 Jahren für die Gebäude unterstellt. Damit ergibt sich eine Abschreibungssumme von insgesamt 640.000 DM jährlich. Dazu wird eine Verzinsung von 50 % des eingesetzten Kapitals über die gesamte Nutzungszeit zu 6 % unterstellt. Somit ergibt sich ein jährlicher Zinsanspruch des eingesetzten Kapitals von 420.000 DM und insgesamt 1.060.000 DM für Abschreibungen und Verzinsung des Kapitals. Soll die Anlage voll ausgelastet werden, muß in drei Schichten gearbeitet werden. Es wird angenommen, daß pro Schicht 6 Arbeiter eingestellt werden müssen. Für die Anlage wird zudem ein Produktionsleiter und ein Geschäftsführer einkalkuliert. Für die Buchführung und sonstige Büroarbeiten wird eine Bürokraft benötigt. Unterstellt man Lohn- und Lohnnebenkosten für die Arbeiter und die Bürokraft von 90.000 DM, 120.000 DM für den Produktionsleiter und 150.000 DM für den Geschäftsführer, so kommt man auf Lohn- und Lohnnebenkosten von insgesamt knapp 1.980.000 DM jährlich. Zusammen mit den Abschreibungen und der Kapitalverzinsung ergeben sich damit Fixkosten der Anlage von 3.040.000 DM. Umgerechnet auf die Kapazität der Dämmstoffproduktion von etwa 80.000 m³ ergibt sich eine Fixkostenbelastung der Dämmstoffe von 38,00 DM m⁻³. Ist die Anlage nicht voll ausgelastet, kann jedoch im Zwei-Schicht-Betrieb weitgehend ausgelastet werden, verringern sich die Fixkosten insgesamt um 540.000 DM (eine Schicht weniger = sechs Arbeitskräfte in der Produktion weniger). Somit fallen für die Produktion von ca. 53.000 m³ Fixkosten von 2.500.000 DM an. Das entspricht einer Fixkostenbelastung von 47,17 DM m⁻³. Kann die Anlage aufgrund geringer Nachfrage nur im Ein-Schicht-Betrieb gefahren werden, erhöht sich die Fixkostenbelastung auf 73,50 DM m⁻³. Die Arbeiter können nicht beliebig mit Teilzeitarbeit beschäftigt werden. Die Lohn- und Lohnnebenkosten für die Arbeiter sind daher mittelfristig als sprungfixe Kosten anzusehen. Sinkt beispielsweise die Nachfrage von 80.000 m³ auf jährlich 65.000 m³ Dämmstoffe, so können die Arbeiter der dritten Schicht nicht sofort nur noch eine Halbezeitstelle bekommen. Somit würde sich in diesem Beispiel die Fixkostenbelastung der Dämmstoffe im nicht voll ausgelasteten Drei-Schicht-Betrieb von 38,00 DM auf 46,77 DM m³ erhöhen. Die Erfahrungen der bisher am Markt tätigen Hersteller von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen deuten darauf hin, daß eine Auslastung der Anlagen, zumindest in den ersten Jahren und bei den derzeit hohen Preisen nicht zu erwarten ist (Möglichkeiten und Chancen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Workshop am 16. und 17.03.1998 in Braunschweig). Zumindest

kurz- bis mittelfristig muß folglich mit einer Fixkostenbelastung von Vliesdämmstoffen von mindestens 50 DM m^{-3} kalkuliert werden.

Die variablen Kosten der Vliesherstellung setzen sich aus Rohstoff- und Energiekosten, Kosten für Brandschutz- und sonstige Hilfsstoffe, Verpackungs- und Transportkosten zusammen. Je nachdem, welche Fasern (Qualität, Rohstoff, Menge) und Hilfsstoffe verarbeitet werden, können die variablen Kosten je Kubikmeter unterschiedlich hoch ausfallen. In Anlehnung an GRÄF (1998) muß man bei einem Flachsfaservlies mit 20 % synthetischen Fasern von variablen Kosten von fast 60 DM m^{-3} ausgehen. In dieser Kalkulation ist ein Preis der Flachsfasern von $0,40 \text{ DM kg}^{-1}$ berücksichtigt. Aus den Ausführungen unter Kapitel 10.2.1 geht jedoch klar hervor, daß sich mittelfristig alleine die Aufschlußkosten für Flachsfasern wahrscheinlich auf mindestens 1 DM kg^{-1} belaufen werden. Berücksichtigt man diesen, derzeit für in Deutschland angebaute und vorverarbeitete Flachsfasern realistischen Preis, so erhöhen sich die variablen Kosten im Vergleich zu den Angaben von GRÄF (1998) um weitere $14,40 \text{ DM m}^{-3}$. Somit liegen die Kosten für Rohstoffe und Produktion von Vliesdämmstoffen bei der derzeit üblichen Technik zwischen 110 und 130 DM m^{-3} für ein Flachsfaservlies.

Die Herstellung von Dämmvliesen aus anderen Fasern, z. B. Hanffasern, Schafwolle oder Baumwolle unterscheidet sich nur wenig in der Technik, die für Flachsfasern eingesetzt wird. Teilweise werden höhere spezifische Dichten der Dämmstoffe angestrebt. Dadurch sinkt die Kapazität bezogen auf das produzierte Dämmstoffvolumen ab; die Fixkostenbelastung je Kubikmeter Dämmstoff steigt entsprechend an. Unter der Annahme, daß ein Schafwoll-dämmstoff mit 40 kg m^{-3} spezifischem Gewicht aus 100 % hochwertiger Schafschurwolle hergestellt werden soll, fallen rund 53 DM m^{-3} Fixkosten und variable Kosten von rund 200 DM m^{-3} an. Davon entfallen bei einem günstigen Preis für gewaschene Schafschurwolle von $4,50 \text{ DM kg}^{-1}$ allein 180 DM m^{-3} auf die Rohstoffkosten. Expertenaussagen zufolge ist für die Herstellung entsprechend dichter Schafwollvliese eine modifizierte Technik notwendig, so daß sich durch Änderungen im Bereich der Investitionen in die Herstellungsanlage noch eine Veränderung der Herstellungskosten ergeben kann.

10.3.2 Herstellung von Platten aus Holz und Zellulose

Die Herstellung von Platten ist am Beispiel von Holzweichfaser- und Zellulosedämmplatten dargestellt. Eine Anlage zur Herstellung von jährlich 300.000 m^3 Faserplatten ist nach Experteneinschätzung mit Investitionen von ca. 45 Mio DM verbunden. Diese Summe verteilt sich auf 1 Mio DM für das Grundstück, 11 Mio DM für Gebäude und bauliche Anlage sowie 33 Mio DM für Maschinen und Betriebsausstattung. Für die weiteren Kalkulationen ist ein Abschreibungszeitraum von 10 Jahren für die Maschinen und von 25 Jahren für die Gebäude und baulichen Anlagen unterstellt. Damit ergibt sich eine Abschreibungssumme von insgesamt $3.740.000 \text{ DM}$ jährlich. Dazu wird eine Verzinsung von 50 % des eingesetzten Kapitals über die gesamte Nutzungszeit zu 6 % unterstellt. Somit ergibt sich ein jährlicher Zinsanspruch des eingesetzten Kapitals von $1.350.000 \text{ DM}$. Insgesamt sind jährlich $5.090.000 \text{ DM}$ für Abschreibungen und Verzinsung des Kapitals in Ansatz zu bringen. Es wird unterstellt, daß je Schicht 11 Arbeiter eingesetzt werden. Für die Anlage wird weiter ein Produktionsleiter und ein Geschäftsführer einkalkuliert. Für die Buchführung und sonstige Büroarbeiten wird eine Bürokräft benötigt. Unterstellt man Lohn- und Lohnnebenkosten für die Arbeiter und die Bürokräft von 90.000 DM , 120.000 DM für den Produktionsleiter und 150.000 DM für den Geschäftsführer, so kommt man auf Lohn- und Lohnnebenkosten von insgesamt ca. $3.300.000 \text{ DM}$ jährlich. Zusammen mit den Abschreibungen und der

Kapitalverzinsung ergeben sich damit Fixkosten der Anlage von 8.390.000 DM. Umgerechnet auf die jährliche Kapazität der Dämmstoffproduktion von 300.000 m³ ergibt sich eine Fixkostenbelastung des Dämmstoffes von 27,97 DM m⁻³. Ist die Anlage nicht voll ausgelastet, kann jedoch im Zwei-Schicht-Betrieb weitgehend ausgelastet werden, verringern sich die Fixkosten insgesamt um 990.000 DM (eine Schicht weniger = elf Arbeitskräfte in der Produktion weniger). Somit fallen für die Produktion von ca. 200.000 m³ Fixkosten von 7.400.000 DM an. Das entspricht einer Fixkostenbelastung von 37,00 DM m⁻³. Kann die Anlage aufgrund geringer Nachfrage nur im Ein-Schicht-Betrieb gefahren werden, erhöht sich die Fixkostenbelastung auf 64,10 DM m⁻³. Die Arbeiter können nicht beliebig mit Teilzeitarbeit beschäftigt werden. Die Lohn- und Lohnnebenkosten für die Arbeiter sind daher mittelfristig als sprungfixe Kosten anzusehen. Sinkt beispielsweise die Nachfrage von 300.000 m³ auf jährlich 250.000 m³ Dämmstoffe, so können die Arbeiter der dritten Schicht nicht sofort nur noch eine Halbzeitstelle bekommen. Somit würde sich in diesem Beispiel die Fixkostenbelastung der Dämmstoffe im nicht voll ausgelasteten Drei-Schicht-Betrieb von 27,97 DM auf 33,56 DM m⁻³ erhöhen. Nach den Erfahrungen der bisher am Markt tätigen Hersteller muß davon ausgegangen werden, daß eine Auslastung der Anlagen, zumindest in den ersten Jahren und bei den derzeit hohen Preisen nicht zu erwarten ist (Möglichkeiten und Chancen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, Workshop am 16. und 17.03. 1998 in Braunschweig). Das bedeutet, daß zumindest kurz- bis mittelfristig mit einer Fixkostenbelastung von Dämmstoffplatten von mindestens 40 DM m⁻³ kalkuliert werden muß.

Die variablen Kosten der Herstellung von Dämmplatten setzen sich aus Rohstoff- und Energiekosten, Kosten für Brandschutz- und sonstige Hilfsstoffe, Verpackungs- und Transportkosten zusammen. Je nachdem, welche Fasern (Qualität, Rohstoff, Menge) und Hilfsstoffe verarbeitet werden, können die variablen Kosten je Kubikmeter unterschiedlich hoch ausfallen. In Anlehnung an TRÖGER (1998) muß man bei Zellulosedämmplatten mit Materialkosten von 470 DM t⁻¹ und Energiekosten von 70 DM t⁻¹ rechnen. In Abhängigkeit von der Rohdichte ist daher mit Material- und Energiekosten zwischen 27 und 54 DM m⁻³ zu rechnen. Für Holzweichfaserplatten liegen die Materialkosten bei rund 560 DM t⁻¹ und die Energiekosten bei 30 DM t⁻¹. In Abhängigkeit von der Rohdichte ist entsprechend mit Material- und Energiekosten zwischen 30,50 und 61,00 DM m⁻³ zu rechnen.

Damit liegen die Herstellungskosten für Zellulosedämmplatten in der unterstellten Modellanlage zwischen 67 und 94 DM m⁻³, die Preise für Holzweichfaserplatten zwischen 70 und 100 DM m⁻³, d.h. die Dämmplatten sowohl aus Zellulose als auch aus Holzfasern liegen bei den Herstellungskosten, einschließlich Kosten für die eingesetzten Rohstoffe, je nach Anlagenauslastung und spezifischem Gewicht der Platten um 10 bis 50 % unter den Kosten für die Herstellung von Flachsfasermatten.

10.3.3 Herstellung von Schüttungen und Einblasdämmstoffen

Beispielhaft sollen hier die Kosten der Herstellung von Zelluloseflocken kalkuliert werden. Da nur wenige Anhaltspunkte zu den tatsächlich anfallenden Investitionen und Betriebskosten vorliegen, beruhen die Kalkulationen auf einer Reihe von Annahmen und sind daher sehr vorsichtig zu interpretieren. Nach Expertenaussage werden für Werke zur Herstellung von Zelluloseflocken-Dämmstoff mit einer Kapazität 7,5 t h⁻¹ Investitionen in Höhe von ca. 5 Mio DM benötigt. Bei einem kalkulierten Abschreibungszeitraum der gesamten Investitionen über 10 Jahre und Kapitalzinsen von 6 % für die halbe Investitionssumme ergibt sich eine Summe aus Abschreibungen und Kapitalverzinsung von 650.000 DM. Bei einer Kapazität von 7,5 t h⁻¹, lassen sich bei 250 Arbeitstagen im Jahr und Drei-Schicht-Betrieb

rund 45.000 t Zellulosedämmstoffe herstellen. Schütt-Dämmstoffe aus Zelluloseflocken haben etwa ein spezifisches Gewicht zwischen 30 und 45 kg m⁻³, je nach Einsatzzweck. Bei einem spezifischen Gewicht von 40 kg m⁻³ entsprechen 45.000 t einer jährlichen Produktionskapazität von ca. 1,1 Mio m⁻³. Die Produktion der Flocken besteht aus relativ einfachen Verfahren und läßt sich gut mechanisieren. Pro Schicht sind je nach Mechanisierung der Anlage und Intensität der Qualitätskontrolle 1 bis 8 Arbeitskräfte erforderlich. Dazu ist, wie in den vorhergehenden Kalkulationen, eine Bürokräft, ein Produktionsleiter und ein Geschäftsführer unterstellt. Daraus lassen sich jährliche Personalkosten zwischen 630.000 DM und 2.550.000 DM ableiten. Nimmt man folglich jährliche Fixkosten von rund 3 Mio DM an, so ergibt sich eine vergleichsweise geringe Fixkostenbelastung der Zelluloseflocken.

Zu den variablen Kosten liegen nur wenige Informationen vor. Die Preise für sortenreines Tageszeitungsaltpapier liegen derzeit zwischen ca. 120 bis 220 DM t⁻¹. Allerdings unterliegen die Preise starken Schwankungen und sind beispielsweise 1993 kurzfristig bis auf 600 DM t⁻¹ angestiegen. Damit ist bei einem spezifischen Gewicht von 40 kg m⁻³ von Rohstoffkosten zwischen 4,80 DM m⁻³ und 24,00 DM m⁻³ auszugehen. Dazu kommen Kosten für die Brandschutzausstattung der Dämmflocken sowie Energiekosten.

Der Einbau von Zelluloseflocken erfordert besondere Kenntnisse. Ein Großteil der Zelluloseflocken wird durch spezialisierte Handwerksbetriebe eingebaut. Diese Dienstleistung ist nach Expertenaussage nicht getrennt von den Herstellungskosten zu sehen. Ein direkter Vergleich mit den Produktionskosten von Matten- und Plattendämmstoffen ist daher nicht möglich. Es kann trotzdem festgehalten werden, daß die Kosten für die Produktion von Dämmstoffen aus Zelluloseflocken aufgrund der im allgemeinen geringeren Rohstoffkosten und auch wegen der wesentlich geringeren Fixkostenbelastung relativ gering sind.

10.4 Kosten der Verwertung und Entsorgung von Dämmstoffen

Im Lebenszyklus eines Dämmstoffes fallen neben den Kosten für die Herstellung der Rohstoffe und der Produkte sowie Kosten für den Einbau irgendwann auch Kosten für die Verwertung oder Entsorgung an. Zu Beginn sind es die Produktreste, die beim Einbau anfallen. Unklar ist, wie lange die eingebauten Dämmstoffe genutzt werden, bevor sie wieder rückgebaut und entsorgt oder anderweitig verwertet werden müssen. Unklarheit besteht auch über die in einigen Jahren oder Jahrzehnten anfallenden Kosten für eine Entsorgung oder Verwertung.

Die Kosten für die Entsorgung bzw. Verwertung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind bei der Kaufentscheidung heute noch nicht von besonders hoher Bedeutung. Bei der Befragung wurden Hersteller von Dämmstoffen, Bauberater und Architekten sowie Handwerker gebeten, verschiedene mögliche Gründe für eine Kaufentscheidung auf einer Skala von "unwichtig" bis "sehr wichtig" einzuordnen. Der Einfluß der Möglichkeit der späteren Entsorgung bzw. eines späteren Recycling von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen auf die Kaufentscheidung wurde von insgesamt 81 Personen bewertet. Für die Auswertung wurden den einzelnen Bewertungen Zahlenwerte von 1 bis 4 (1 = "unwichtig" bis 4 = "sehr wichtig") zugeordnet. Im Mittel aller Angaben wurden die Entsorgungsmöglichkeit mit 2,66, die Recyclingmöglichkeit mit 2,82 bewertet. Im Vergleich zwischen insgesamt 12 möglichen Gründen für eine Kaufentscheidung liegen die Entsorgungs- und Recyclingmöglichkeiten an zehnter und elfter Stelle.

10.4.1 Verwertung

Recycling

Saubere, trockene ausgediente Dämmstoffe eignen sich potentiell als Recyclingmaterialien (Kapitel 9). Problematisch ist die Logistik der Einsammlung und Wiederverwertung der Dämmstoffe. Die Einsammlung, Lagerung und Qualitätskontrolle der alten Dämmstoffe verursachen Kosten und u. U. technische Probleme. Durch Unterschiede hinsichtlich Art und Konzentration von Zusatzstoffen, unterschiedliche Qualität der Ausgangsmaterialien sowie unterschiedlicher Verarbeitungstechniken ist es nicht ohne weiteres möglich, daß ein Hersteller Dämmstoffe anderer Hersteller zurücknimmt und sie wieder in seiner eigenen Dämmstoffproduktion einsetzt. Das spiegelt sich auch in der Praxis der Herstellerbetriebe wider. In der Regel werden ausgediente Dämmstoffe entweder nicht zurückgenommen (41 % der Hersteller, die auf diese Frage geantwortet haben) oder es werden ausschließlich Dämmstoffe aus eigener Herstellung zurückgenommen (70 % der Antworten auf diese Frage).

Teilweise ist es möglich, sauberes, trockenes und sortenreines ausgedientes Dämmstoffmaterial problemlos und ohne großen Aufwand zu neuen Dämmstoffen zu recyceln. Beispielsweise können Abschnitte von verschiedenen Vliesen und Matten als Stopfmateriale zum Dämmen von kleinen Hohlräumen eingesetzt werden. Als Kosten des Recycling von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind, wenn das Material nicht direkt als Stopfmateriale eingesetzt werden kann, zumindest die Herstellungskosten anzusetzen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß es noch keine ausgereifte Logistik zur Erfassung von Resten und ausgedienten Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen gibt.

Auch bei den konventionellen Dämmstoffen ist ein Recycling theoretisch möglich, wird jedoch nur in sehr geringem Umfang umgesetzt. Rockwool bietet seit 1993, gegen eine Gebühr von 275 DM je Tonne, die Rücknahme von Steinwolle-Dämmstoffen aus eigener Produktion an (Kapitel 9). Bedingung ist, daß es sich um sortenreine und unkaschierte Baustellenabfälle handelt, die an eines der Herstellerwerke geliefert werden. Ein Recycling von ausgedienten Steinwolle-Dämmstoffen ist nicht vorgesehen. Die angesetzten Kosten für ein Recycling der vom Kunden angelieferten Glaswollendämmstoffe liegen bei ca. 300 DM t⁻¹. Das entspricht bei einem spezifischen Gewicht von 50 kg m⁻³ Steinwolle-Recyclingkosten von 15 DM m⁻³. Der Glaswolle-Hersteller geht jedoch davon aus, daß die Recyclingkosten in Zukunft reduzierbar sind.

Die Kosten für die Annahme von Polystyrol zum Recycling liegen um 20 DM m⁻³. Bei einem spezifischen Gewicht von 15 bis 30 kg m⁻³ entsprechen umgerechnet 33 bis 66 m³ einer Tonne. Somit ist mit Recyclingkosten von etwa 670 bis 1300 DM t⁻¹ Polystyrol zu rechnen.

Recyclingkosten von PUR-Hartschaum konnten nicht in Erfahrung gebracht werden.

Bisher liegen keine Erfahrungen vor über Aufbau und Umsetzung eines Logistiksystems zur Erfassung von Resten und ausgedienten Dämmstoffen mit dem Ziel, einen möglichst großen Anteil der Reste und ausgedienter Dämmstoffe zu erfassen und einem gezielten Recycling zuzuführen.

Kompostierung

Ein (Verkaufs-)Argument für die Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ist die Möglichkeit einer Verwertung der Produkte und Rückführung in den Kreislauf landwirtschaftlicher Produktion über die Kompostierung ausgedienter Dämmstoffe.

In Kapitel 9 wird jedoch gezeigt, daß die Kompostierung von reinen Dämmstoffen aus unterschiedlichen Gründen schwierig bis unmöglich ist. Trotzdem wird an dieser Stelle kurz auf die Kosten der Kompostierung eingegangen.

Anlagen zur Kompostierung von organischen Reststoffen sind in vielen Gemeinden schon vorhanden, da die Kommunen verpflichtet sind, anfallende organische Reststoffe aus der Sammlung der Haushalte zu verwerten. Für die folgenden Überlegungen ist Voraussetzung, daß die rechtlichen Regelungen eine Kompostierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zulassen und eine entsprechende Vermischung der borhaltigen Dämmstoffe mit dem restlichen Kompostierungsmaterial gewährleistet werden kann.

Die notwendige Vermischung zur Reduzierung des Borgehaltes auf ein ökologisch, technisch und pflanzenbaulich vertretbares Maß ist bei einer Kompostierung von ausgedienten Dämmstoffen im Hausgarten nicht gewährleistet. Ferner kann bei einer Kompostierung im Hausgarten die Auswaschung und Verlagerung von Bor nicht verhindert werden. Die Kompostierung von Dämmstoffen mit Bor in Hausgärten ist, unabhängig vom eingesetzten Rohstoff, aus den zuvor genannten Gründen nicht empfehlenswert. Daher sind mindestens die Kosten der Kompostierung kommunaler organischer Reststoffe für die Kompostierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen in Ansatz zu bringen. Zur Zeit betragen die Betriebskosten für die Bioabfallkompostierung zwischen 100 - 180 DM je Tonne Input (Kapitel 9).

Thermische Verwertung

Eine energetische Verwertung ist möglich, wenn bestimmte Kriterien erfüllt sind. Der Heizwert des unvermischten Abfalls muß mindestens 11 MJ kg^{-1} betragen, es muß mindestens ein Feuerungswirkungsgrad von 75% erzielt und die entstehende Wärme selbst genutzt oder an Dritte abgegeben werden. Es muß gewährleistet sein, daß die anfallenden weiteren Abfälle möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden können (Kapitel 9). Ansonsten gilt die Verbrennung als thermische Behandlung von Abfällen. Vorzuziehen ist in jedem Fall die umweltverträglichere Verwertungsart. Bei Abfällen aus nachwachsenden Rohstoffen ist im Gegensatz zu anderen Abfallarten kein Mindestheizwert vorgeschrieben. Eine energetische Verwertung von Abfällen aus nachwachsenden Rohstoffen ist daher auch dann möglich, wenn der Heizwert unter 11 MJ kg^{-1} liegt.

Die thermische Verwertung wird nach den Ergebnissen aus Kapitel 9 in Zukunft das wichtigste Verfahren für die Entsorgung bzw. Verwertung von Dämmstoffen sein. Die Kosten der Hausmüllverbrennung liegen bei $150 - 600 \text{ DM t}^{-1}$ (Kapitel 9). Aber nicht nur die Kosten der Verbrennung sind ausschlaggebend für diese Einschätzung. Hausmüll wird flächendeckend in der Bundesrepublik seit Jahrzehnten gesammelt, folglich ist die entsprechende Logistik vorhanden, gut ausgebaut und erprobt. Sowohl Fahrzeuge und Personal zur Sammlung sind vorhanden, als auch die entsprechenden Kapazitäten zur Zwischenlagerung und Verbrennung. Es bestehen flächendeckend Systeme zur Abrechnung der anfallenden Kosten.

10.4.2 Entsorgung

Als Möglichkeiten der Entsorgung nicht mehr gebrauchter Dämmstoffe, Dämmstoffreste oder auch alte Dämmstoffe, bieten sich aus technischer Sicht die Verbrennung und Deponierung an.

Verbrennung

Sind die Voraussetzungen für eine thermische Verwertung, d.h. für die Nutzung des Energiegehalts nicht gegeben, können ausgediente Dämmstoffe ebenfalls durch Verbrennung - thermische Behandlung von Abfällen - entsorgt werden.

Deponierung

In einem so dicht besiedelten Land wie der Bundesrepublik Deutschland ist Fläche für die Anlage von Deponien aus ökologischen, geologischen und gesellschaftlichen Gründen ein knapper Faktor. Nach den Regelungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes hat die Verwertung von Abfällen Vorrang vor der Deponierung. Zudem ist eine Deponierung von Stoffen mit mehr als 5 % organischem Anteil nicht mehr zulässig. Für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bedeutet dies, daß eine Deponierung zukünftig aus gesetzlichen Gründen wahrscheinlich nicht in Frage kommt. Für konventionelle Dämmstoffe wie Glas- und Steinwolle, die aus mineralischen Fasern bestehen, gilt dieser Einwand nicht.

Derzeit muß für die Deponierung von vermischtem Bauabfall im Mittel mit Kosten von ca. 195 DM t⁻¹ gerechnet werden (Kapitel 9). Für die Deponierung von unvermischt anfallenden Dämmstoffen sind die Deponiegebühren derzeit ähnlich hoch. Es ist jedoch eine Differenzierung der Deponiekosten zu erwarten, da Dämmstoffe eine negative Auswirkung auf den erreichbaren Verdichtungsgrad und die Stabilität des Deponiekörpers haben. Damit ist für die Zukunft tendenziell mit einer Steigerung der Deponierungsgebühren für Dämmstoffe zu rechnen. Bisher gilt für mineralische Dämmstoffe jedoch, daß die Gebühren für die Deponierung von Glas- und Mineralwolle niedriger sind, als die Kosten, die entstehen, wenn die Stoffe in sortenreinem und sauberem Zustand zum Hersteller zurückgebracht werden (Kapitel 10.4.1 und Kapitel 9).

10.5 Ökonomische Gesamtbewertung

Die Zusammenführung des Sachstandes zu den Kosten von der Rohstoffproduktion bis hin zur Entsorgung verschiedener Dämmstoffe aus biogenen Herkünften sowie künstlicher Dämmmaterialien wird beispielhaft für einen Flachsdämmstoff sowie für einen Dämmstoff aus Altpapierzellulose dargestellt.

10.5.1 Wettbewerbsfähigkeit nachwachsender Rohstoffe für Dämmstoffe versus Anbau anderer Pflanzen

Grundsätzlich bestehen für nachwachsende Rohstoffe zwei Anbaumöglichkeiten. Zum einen können nachwachsende Rohstoffe auf normalen Ackerflächen angebaut werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, auf Stilllegungsflächen Pflanzen zur Nutzung als nachwachsende Rohstoffe, anzubauen.

Ein Blick in die Statistik zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen zeigt deutlich, daß bisher kaum Rohstoffe zur Dämmstoffproduktion auf Stilllegungsflächen angebaut werden. Das gilt sowohl für Faserpflanzen als auch für andere Rohstoffpflanzen, die technisch ebenfalls zur Herstellung von Dämmstoffen geeignet sind.

Für Faserpflanzen bestehen gesonderte Prämienregelungen, wenn sie auf nicht stillgelegten Flächen angebaut werden. Im Rahmen der Förderung des Faserpflanzenanbaus (Faserleinprämie, Hanfprämie) wurden in den beiden letzten Jahren insgesamt rund 6000 ha (1996) und 4140 ha (1997) Bastfaserpflanzen angebaut.

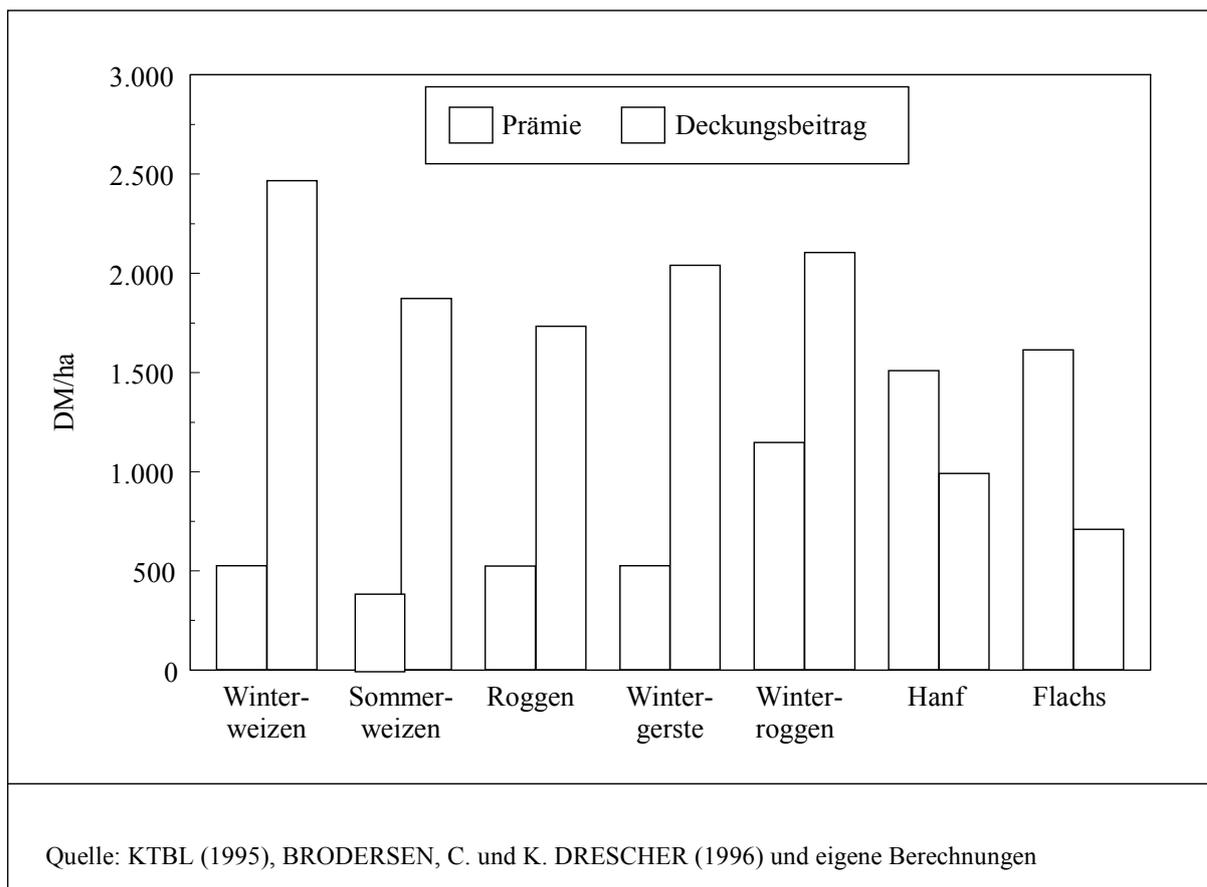


Abbildung 10.3: Vergleich von Deckungsbeiträgen und Prämien für verschiedene Kulturen

Ein Vergleich der Deckungsbeiträge und der Prämien bzw. Ausgleichszahlungen verschiedener Kulturen weist darauf hin, daß für Flachs und Hanf im Durchschnitt ohne Beihilfen derzeit noch kein positiver Deckungsbeitrag zu erzielen ist. Verantwortlich dafür sind einerseits die hohen Kosten der Ernte, andererseits die sehr geringen Erzeugerpreise für Flachs- und Hanfstroh (Abb. 10.3).

Ein Vergleich der Erzeugerpreise von Flachstroh als Hauptprodukt und Getreidestroh als Nebenprodukt macht deutlich, daß bei Nichtberücksichtigung der Prämien Faserpflanzen derzeit absolut nicht wettbewerbsfähig gegenüber Getreide sein können. Die Erzeugerpreise für Flachstroh liegen mit etwa 120 DM t^{-1} bei etwa gleichen Erträgen kaum über denen für Getreidestroh. Nach einer mündlichen Mitteilung von RINGLEB (1998) wird in einem in der Entwicklung befindlichen Projekt zur Herstellung von Dämmstoffen aus Faserpflanzen in den neuen Bundesländern sogar mit einem Erzeugerpreis für Flachstroh von 80 DM t^{-1} kalkuliert.

Allein die aus dem Verkauf der Körner zu erzielende Marktleistung beim Getreide liegt bei einem mittleren Ertrag von $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ und einem Erzeugerpreis von 230 DM t^{-1} Getreide bei rund 1500 DM ha^{-1} . Aus dem Verkauf von Flachsstroh als Hauptprodukt der Faserleinproduktion ist bei einem mittleren Ertrag von $6,5 \text{ t ha}^{-1}$ und einem Erzeugerpreis von 120 DM t^{-1} eine Marktleistung von nur 780 DM ha^{-1} zu erzielen. Solange sich an den Relationen von Erzeugerpreisen, Erntemengen und Erntekosten nicht erhebliche Veränderungen ergeben, kann die Faserpflanzenproduktion in Deutschland aus Sicht der Landwirtschaft nur dann eine wettbewerbsfähige Alternative sein, solange Prämien gezahlt werden, die um 500 bis 800 DM über den Ausgleichszahlungen für Getreide liegen.

10.5.2 Wettbewerbsfähigkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen versus konventionellen Dämmstoffen

Es wurde gezeigt, daß die Preise für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen mit Ausnahme der Zelluloseflocken deutlich über den Preisen für konventionelle Dämmstoffe liegen. In Bezug auf die Wärmedämmleistung sind die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen gleich gut oder etwas schlechter einzustufen als die konventionellen Dämmstoffe. Zusätzlich zur Wärmedämmung werden weitere Nutzen vom Einsatz von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen erwartet. Aus ökologischer Sicht bestehen Vorteile durch den geringeren Primärenergieverbrauch bei der Herstellung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen. Auch in gesundheitlicher Hinsicht werden Vorteile durch die Nutzung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen erwartet. Diese gesundheitlichen Vorteile sind jedoch bis jetzt nicht ausreichend wissenschaftlich belegt (Kapitel 7 und Kapitel 8). Als weiterer technischer Vorteil wird von den Herstellern die höhere Kapazität der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zum sommerlichen Wärmeschutz angegeben.

Die Wettbewerbsfähigkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen wird in Zukunft wesentlich davon abhängen, ob es gelingt, alle Vorteile wissenschaftlich zu belegen und für den Verbraucher deutlich zu machen.

Ganz besonders in Hinblick auf die Vielfalt der angebotenen Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen (Abbildung 10.4) kommt einer gezielten Information der Verbraucher eine besondere Bedeutung zu. Die gezielte Ansprache bestimmter Gruppen bzw. Multiplikatoren bietet die Möglichkeit, Informationen gezielt zu verbreiten. Kurse und Seminare für Architekten und Handwerker können dazu beitragen, das Wissen über die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zu verbreiten. Die Zusammenarbeit mit Fertighausherstellern bietet u. U. die Möglichkeit längerfristiger Abnahmeverträge und für die Hersteller der Dämmstoffe kurze und übersichtliche Absatzwege. Auch die Infrastruktur der Vermarktung könnte verbessert werden. Aktivitäten einzelner Baumärkte oder Baumarktketten zur Ausweitung des Sortiments an ökologischen Baustoffen, verbunden mit einer verbesserten Kundenberatung weisen darauf hin, daß sich die Entwicklung in diese Richtung bewegt.

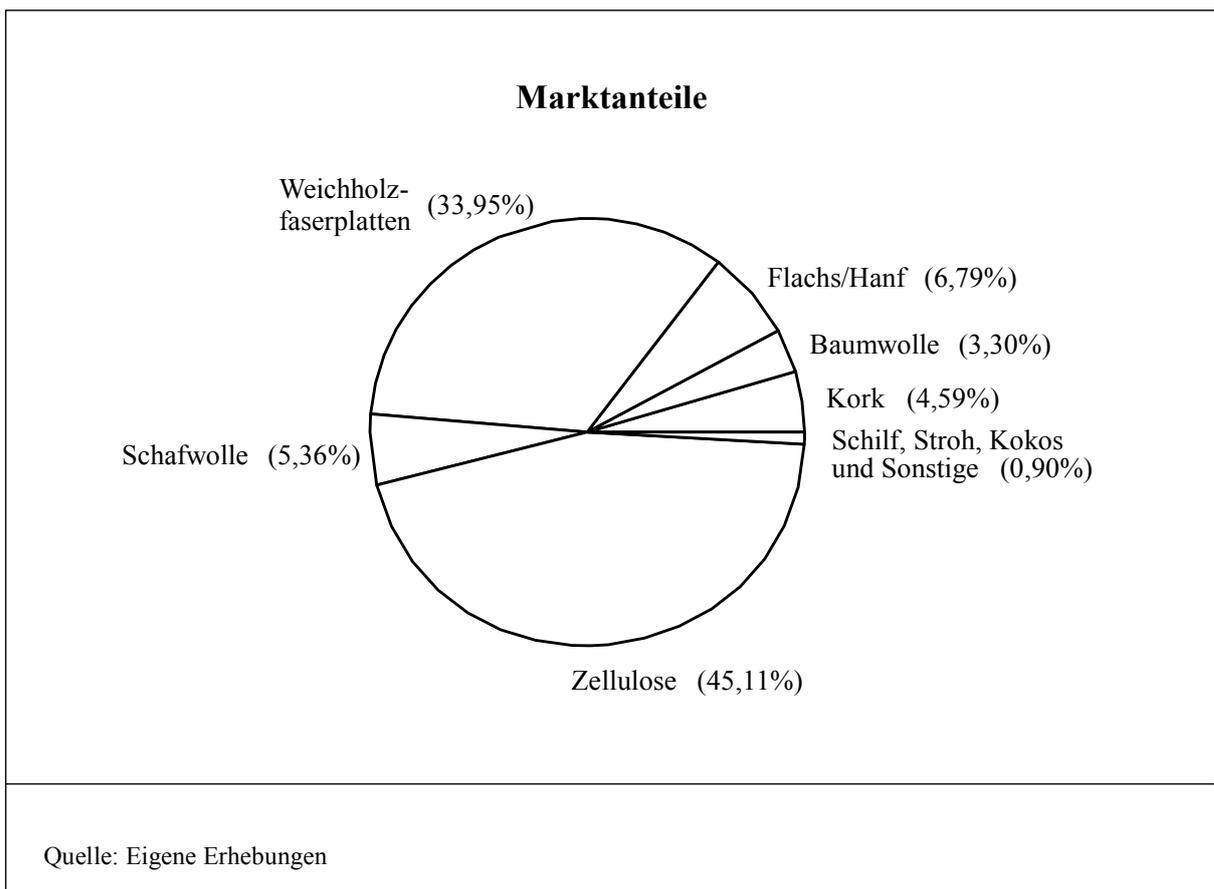


Abbildung 10.4: Der Markt für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen und organischen Sekundärrohstoffen

10.5.3 Produktlinienvergleich

Um einen Vergleich zwischen konventionellen und Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zu ermöglichen, wird versucht, die Kosten einzelner Dämmstoffproduktlinien an Modell-Dämmstoffen aufzuzeigen. Als erstes wird ein Vliesdämmstoff aus Flachs näher untersucht. Zum Vergleich dazu sind ein Hanfschäbendämmstoff (Schüttung) und ein Zellulosedämmstoff (Schüttung) sowie ein konventioneller Dämmstoff gegenübergestellt.

Flachsfaser-Dämmmatte

Die Herstellungskosten von Flachsstroh liegen bei mindestens 1300 DM ha^{-1} , bei $6,5 \text{ t Röstflachs ha}^{-1}$ fallen also Herstellungskosten für Flachsstroh von ca. 200 DM t^{-1} an (Kapitel 10.1.1, Tabelle 10.1). Je nachdem, in welcher Höhe eine Prämie für den Anbau von Flachs gezahlt wird, variiert der Mindestpreis, der alleine zur Deckung der Kosten für eine Tonne Flachsstroh gezahlt werden müßte, zwischen 120 und 200 DM t^{-1} . Das Flachsstroh muß einer Vorverarbeitung unterzogen werden, um die Flachsfasern zu gewinnen. Im Durchschnitt können aus Flachsstroh ca. 20 bis 25 % Fasern gewonnen werden. Damit liegen die Kosten der Rohstoffproduktion ohne Kosten der Vorverarbeitung je nach Fasergehalt zwischen $0,80$ und $1,00 \text{ DM kg}^{-1}$. Für die Vorverarbeitung ist nach derzeitigem Stand der Technik mittelfristig mit Kosten in Höhe von ca. 1 DM kg^{-1} Fasern zu rechnen. Daraus ergeben sich Gesamtkosten in Höhe von ca. $1,80$ bis $2,00 \text{ DM je Kilogramm Fasern}$.

Durch eine Nutzung der anfallenden Schäben lassen sich die Kosten, die für Anbau, Ernte und Vorverarbeitung der Fasern zu kalkulieren sind, etwas senken. Fallen bei der Aufbereitung von Flachs neben den Fasern 500 kg Schäben je Tonne Flachsstroh an und können diese z. B. für 100 DM t⁻¹ vermarktet werden, senken sich die Aufbereitungskosten, die den Fasern angerechnet werden müssen, um 0,20 bis 0,25 DM kg⁻¹, je nach Fasergehalt des Flachsstrohs.

Um aus den Flachsfasern eine Dämmatte herstellen zu können, sind verschiedene technische Schritte notwendig, die im wesentlichen aus der textilverarbeitenden Industrie stammen (Kapitel 6). Je nach spezifischem Gewicht und Zusammensetzung der Dämmatten setzen sich die Kosten des Dämmstoffes aus Rohstoffkosten für die Flachsfasern, Kosten für sonstige Rohstoffe und Zusatzstoffe für Brandschutz, sowie den Herstellungskosten zusammen.

Um kostendeckend zu sein, muß ein Flachsdämmstoff demnach mindestens zu einem Preis von 110 bis 130 DM m⁻³ angeboten werden. In dieser Kalkulation ist die derzeitige Flachsprämie dadurch berücksichtigt, daß bei den variablen Rohstoffkosten nur ein Preis von 1 DM kg⁻¹ für die Flachsfasern kalkuliert wurde. Das entspricht alleine den Kosten für den Faseraufschluß. Sollte die Flachsprämie gekürzt oder gestrichen werden, sind die kalkulierten Mindestkosten für Flachsfaserdämmstoffherstellung entsprechend auf ca. 140 bis 160 DM m⁻³ nach oben zu korrigieren.

Werden Flachsfaserdämmstoffe nach der Nutzung nicht mehr benötigt, so sind sie aufgrund des Borgehaltes nicht problemlos zu kompostieren. Aufgrund logistischer Probleme ist auch nicht zu erwarten, daß ein Recycling von ausgedienten Flachsfaserdämmstoffen stattfinden wird. Vermutlich wird mittelfristig die thermische Verwertung das häufigste Verfahren zur Verwertung sein.

Dämmstoffplatten aus Zellulose und Holzfasern

Bei den Rohstoffen für Zellulose- und Holzweichfaserplatten handelt es sich um Recyclingmaterialien (Tageszeitungsaltpapier und Industrieholz) bzw. um ein Nebenprodukt der Holzwirtschaft (Schwachholz). Der Sekundärrohstoff für die Herstellung von Recyclingzellulose ist Tageszeitungsaltpapier. Dieses kann derzeit am Markt zu Preisen zwischen etwa 120 und 220 DM t⁻¹ zugekauft werden. Die Preise unterliegen jedoch starken Schwankungen und waren kurzzeitig bis auf 600 DM t⁻¹ angestiegen. Selbst bei diesem nur kurzzeitig realisierten Höchstpreis liegen damit die Rohstoffkosten für Zellulosedämmstoffe unter 0,60 DM kg⁻¹, im Normalfall zwischen 0,12 bis 0,22 DM kg⁻¹. Im Vergleich zu den Flachsfasern, liegen die Kosten für den Rohstoff Altpapierzellulose (ohne Vorverarbeitung) zwischen 40 bis 75% niedriger. Eine Vorverarbeitung des Altpapiers ist, abgesehen von der Entnahme möglicher Verunreinigungen, nicht erforderlich. Holz ist mit etwa 100 DM t⁻¹ zu bewerten und liegt damit noch kostengünstiger. Allerdings muß Holz zu Fasern aufgeschlossen werden, um daraus Holzweichfaserplatten herstellen zu können. Der Marktpreis für Holzfasern liegt bei ca. 0,30 bis 0,36 DM kg⁻¹.

Zur Herstellung von Dämmplatten werden die Zellulose- oder Holzfasern zusammen mit Bindemitteln und Brandschutzmitteln verarbeitet. Je nach dem spezifischen Gewicht der Platten (unterschiedliche Eigenschaften) liegen die Herstellungskosten einschließlich Rohstoffkosten zwischen etwa 65 bis 95 DM m⁻³ für Zellulosedämmplatten bzw. zwischen 70 und 100 DM m⁻³ für Holzweichfaserplatten. Ein relativ großer Anteil der Materialkosten entfällt allerdings auf Bindemittel und Brandschutz (55 bis 75 %), so daß sich Änderungen der Preise für Zellulose und Holzfasern nur relativ wenig auf die Herstellungskosten auswirken.

Schüttungen aus Zellulose

Für die Rohstoffkosten bei den Zellosoeschüttungen gilt für das Tageszeitungsaltpapier das gleiche wie für die Zelluloseplatten. Tageszeitungsaltpapier ist momentan zu Preisen zwischen 0,12 und 0,22 DM kg⁻¹ erhältlich. Die Preise unterliegen starken Schwankungen. Im Gegensatz zu den Platten aus Zellulose muß den Altpapierflocken kein Bindemittel, sondern lediglich Brandschutzmittel zugegeben werden.

Die Herstellungskosten von Zelluloseflocken konnten nur sehr vage kalkuliert werden. Entsprechend vorsichtig sind die folgenden Aussagen zu werten. Bei einer geschätzten Fixkostenbelastung von 3 DM m⁻³, Kosten für Altpapier zwischen 4,80 DM m⁻³ und 8,80 DM m⁻³ und geschätzten Kosten für Brandschutzmittel von 28 DM m⁻³ kann man davon ausgehen, daß die reinen Herstellungskosten für Zelluloseflocken aus Altpapier 50-60 DM m⁻³ nicht übersteigen werden. Ein direkter Vergleich mit den Dämmvliesen und Dämmplatten ist jedoch nicht möglich. Die Verarbeitung von Schüttdämmungen stellt ganz andere Anforderungen an die Konstruktion des zu dämmenden Gebäudes und an die Ausbildung und technische Ausrüstung desjenigen, der die Dämmung einbaut. Daher sind in der graphischen Darstellung (Abbildung 10.5) lediglich Dämmvliese aus Flachs und Dämmplatten aus Holz und Zellulose gegenüber gestellt.

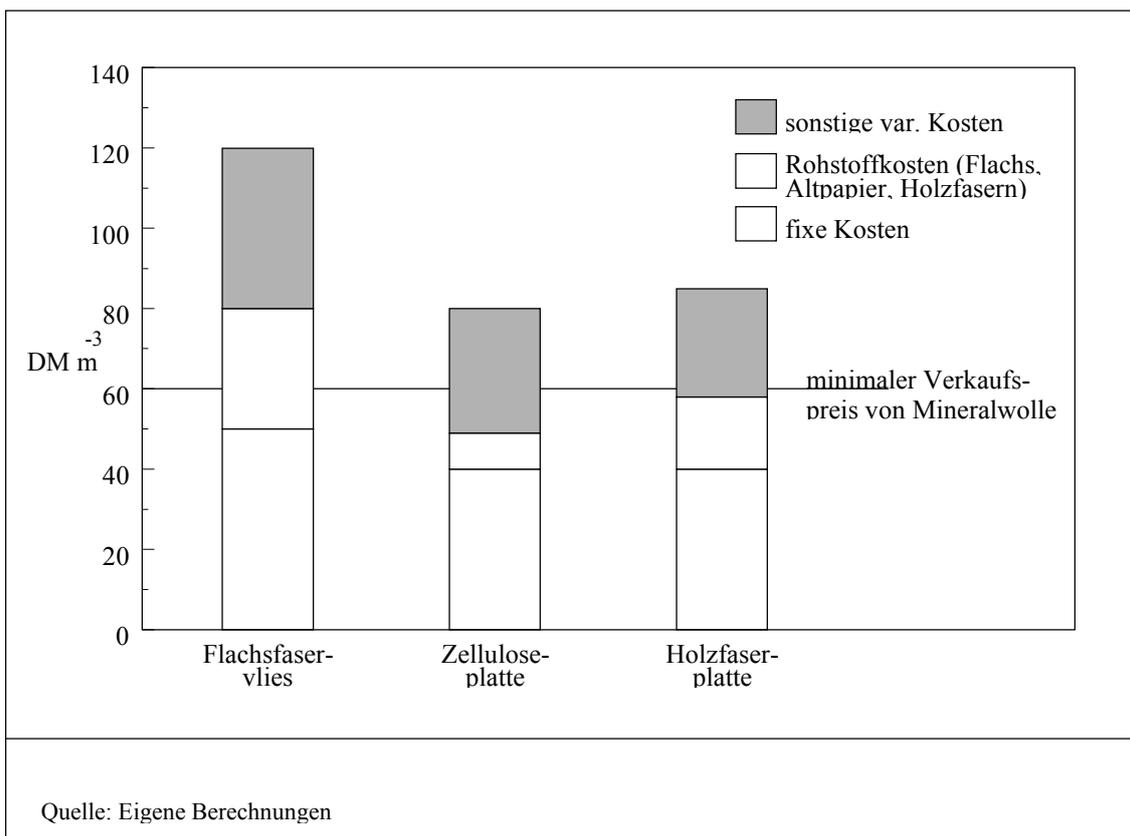


Abbildung 10.5: Herstellungskosten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (ohne Berücksichtigung von Kosten für F&E sowie Marketing)

10.6 Diskussion

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen können in sehr großer Vielfalt hergestellt und eingesetzt werden. Sowohl bezüglich der Rohstoffe als auch hinsichtlich der Form der fertigen Produkte bieten sich unterschiedliche Möglichkeiten an. Auch in qualitativer Hinsicht können diese Dämmstoffe mit den konventionellen Produkten konkurrieren. Zusätzlich werden große Erwartungen in die ökologischen und gesundheitlichen Vorteile der Produkte gesetzt. Trotzdem liegt der bisher erreichte Marktanteil (in Volumeneinheiten) bei nur etwa 3 %. Die größte Schwierigkeit bei der Vermarktung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ergibt sich nach übereinstimmender Meinung von Experten aus den im Vergleich zu konventionellen Produkten erheblich höheren Angebotspreisen (Herstellungskosten). Zudem ist die große Vielfalt der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen für die Verbraucher unübersichtlich. Die technischen, ökologischen und gesundheitlichen Vorteile der Produkte sind zum Teil nicht wissenschaftlich belegt und werden nicht klar genug herausgestellt. Daraus ergeben sich für die Zukunft zwei vorrangige Ziele. Erstens sollte versucht werden, die Herstellungskosten (einschließlich Rohstoffproduktion und Vorverarbeitung) zu senken, um Spielraum für Produktpreissenkungen zu bekommen. Zweitens ist es unerlässlich, die technischen, ökologischen und gesundheitlichen Vorteile zu belegen und den Verbrauchern in verständlicher Form zugänglich zu machen.

In den Kalkulationen zu den Kosten der Rohstoffbereitstellung, Vorverarbeitung und Verarbeitung zeigt sich deutlich, daß einer Reduzierung der Preise von Dämmstoffen aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen Grenzen gesetzt sind. Die Produktion von Bastfaserpflanzen, also insbesondere Flachs und Hanf, ist für die Landwirtschaft langfristig nur attraktiv, wenn damit ein entsprechendes Einkommen erzielt werden kann. Bei Beibehaltung der derzeitigen Prämien ist die Produktion von Flachs- und Hanfstroh schon ab Erzeugerpreisen von mehr als 100 DM t^{-1} in bestimmten Gebieten rentabel. Werden die Prämien gekürzt, müssen entsprechend höhere Erzeugerpreise realisiert werden. GRIESELER (1998) kalkuliert einen Preis für Flachsstroh von 430 DM t^{-1} , der realisiert werden müßte, um den Flachs-anbau bei Wegfall der Prämie gegenüber dem Anbau anderer Kulturpflanzen wettbewerbsfähig zu machen. Die Herstellung von Fasern aus Flachs- und Hanfstroh ist nach derzeitigem Stand mittelfristig mit Kosten nicht unter 1 DM kg^{-1} zu bewerkstelligen. Unter Berücksichtigung der Rohstoff-, Vorverarbeitungs- und Verarbeitungskosten sind die Kosten der Herstellung von Dämmmatten/Dämmvliesen aus heimischen Bastfasern oder gar Schafwolle nach derzeitigem Stand des Wissens nicht unter 120 DM m^{-3} zu realisieren. Wenn die entsprechenden Anlagen nicht voll ausgelastet werden können, steigen die Herstellungskosten der Produkte je Kubikmeter erheblich an. Günstiger sind Dämmstoffe aus land- und forstwirtschaftlichen Nebenprodukten und Sekundärrohstoffen herzustellen. Diese sind zudem unter dem Gesichtspunkt der Ökobilanzierung günstiger zu bewerten.

Im Bereich der land- und forstwirtschaftlichen Nebenprodukte ist festzustellen, daß die Kosten der Rohstoffproduktion wesentlich geringer sind als bei Bastfaserpflanzenanbau. Die Rohstoffe fallen ohnehin beim Anbau der Hauptprodukte an. Wenn durch die Ausweitung der Herstellung von Dämmstoffen aus land- und forstwirtschaftlichen Nebenprodukten neue Absatzmärkte für die landwirtschaftlichen Nebenprodukte geschaffen werden, kann dies zur Einkommenssteigerung in der Landwirtschaft beitragen.

Recyclingmaterialien wie Tageszeitungsaltpapier, Jutefasern aus gebrauchten Kaffee- oder Tabaksäcken, Holz z. B. von gebrauchten Paletten oder Hobelspäne sind preisgünstige

Rohstoffe zur Dämmstoffherstellung. Bei der weiteren Entwicklung und Förderung alternativer Dämmstoffe sollte diese Tatsache berücksichtigt werden.

Im Bereich des Marketing ist festzuhalten, daß weitere Aktivitäten unerlässlich sind, wenn erreicht werden soll, daß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen in größerem Umfang als bisher eingesetzt werden. Das zeigte sich auch bei dem Workshop am 16. und 17. März 1998 in Braunschweig. Ziele der Aktivitäten im Bereich des Marketing sollten sein, vergleichbare technische und ökologische Standards für die alternativen Dämmstoffe zu setzen. Einen Nutzen davon haben die Verbraucher jedoch erst dann, wenn solche Standards ihnen und ihren Beratern (Architekten) transparent und verständlich zur Verfügung gestellt werden.

10.7 Zusammenfassung

Für die wirtschaftliche Beurteilung der Dämmstoffproduktion aus inländischen nachwachsenden Rohstoffen sind drei Kriterien wichtig:

- die Gesamtkosten der Dämmstoffherstellung vom Anbau der Rohstoffpflanzen bis hin zur Belieferung der Baustoffmärkte, Fertighaushersteller oder dergleichen
- die Preise und Nachfragemengen auf den Absatzmärkten der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Dämmstoffprodukte
- und die Höhe der Fördermittel, die den einzelnen Produktionsstufen gewährt werden, um die Deckungslücke zwischen den Produktionskosten und den Erlösen zu überbrücken und damit am gewünschten Standort eine nachhaltige Produktion zu ermöglichen.

Als viertes Kriterium gewinnen die Wiederverwertbarkeit der Dämmstoffe zum Ende der Nutzungsdauer bzw. die Kosten einer umweltschonenden Entsorgung an Bedeutung.

Bei der Behandlung dieser Fragen wurden die verschiedenen Produktionsstufen nacheinander untersucht, um auch dem Umstand Rechnung zu tragen, daß Produzenten unterschiedlicher Gruppen (Landwirtschaft, Aufbereitung, Endproduktion) mit spezifischen Interessen und Marktpositionen daran beteiligt sind. Die Ergebnisse lassen sich für die verschiedenen Produktlinien wie folgt kurz zusammenfassen:

- Bei den Faserpflanzen **Hanf** und insbesondere **Flachs** decken die geringen Stroherlöse von 120 DM t⁻¹ im allgemeinen nicht einmal die standorttypischen Anbau- und Erntekosten. Mit finanziellen Stützungsmaßnahmen kommt eher der ertragreichere Hanf- als der Flachs-anbau zum Anbau. Die hohen Aufbereitungskosten machen die Fasern – einheimische ebenso wie importierte Ware - dennoch zu einem relativ teuren Rohstoff (1800 – 2000 DM t⁻¹), geeignet für Dämmstoffe, die einem kaufkräftig nachgefragten Profil positiver Produkteigenschaften entsprechen müssen.
- Die **Schafwolle** ist bereits als Rohwolle relativ teuer, die Aufbereitungskosten (Waschen) lassen sich im Bereich der Logistik noch verringern, doch bleibt Schafwolle mit 5000 – 6000 DM t⁻¹ ein sehr teurer Rohstoff für Dämmstoffprodukte, die besonders hohen Ansprüchen der Käufer genügen.
- Gehäckseltes **Getreidestroh** ist nur mit Ernte-, Transport- und geringen Aufbereitungskosten belastet und damit ein billiger Rohstoff (ca. 100 DM t⁻¹), erfüllt dafür aber als Dämmstoff nur einfachste Qualitätsansprüche. Ebenso kostengünstig herzustellen sind Dämmstoffe aus Holzfasern, die aus **Schwachholz**, Verarbeitungsabfällen oder ausrangierten Paletten gewonnen werden. Ihre

Verarbeitungsmöglichkeiten sind vielfältiger als die von Getreidestroh, und entsprechend größer ist ihr Anteil am Dämmstoffmarkt.

- Ein ebenfalls bereits gut eingeführter Rohstoff sind Zellulosefasern, die aus Altpapier, am besten Zeitungspapier, gewonnen werden. Die Beschaffung des Altpapiers ist einfach und mit ca. 200 DM t⁻¹ auch nicht teuer. Es wird zu Zelluloseflocken für Schüttungen und Einblasfüllungen oder zu Dämmplatten verarbeitet. Die Kosten der zugesetzten Brandschutz- und bei Herstellung von Platten auch Bindemittel übersteigen den Anteil der Rohstoffkosten.

Alle hier behandelten Dämmstoffe aus neu gewonnenen oder recycelten nachwachsenden Rohstoffen können nach Ende der Nutzungsdauer kompostiert, in Heizanlagen verbrannt oder sogar wieder in die Dämmstoffproduktion recycelt werden, das jedoch nur mit starken Einschränkungen (Reinheit, Herkunft aus dem gleichen Verarbeitungswerk) und relativ hohen Kosten. Die Befürworter dieser Rohstoffalternativen sehen darin dennoch einen wichtigen Vorteil gegenüber den konventionellen Dämmstoffen, die zur Entsorgung i. d. R. auf Deponien verbracht werden. Bei den Käufern von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen rangieren die Recyclierbarkeit und die problemlose Entsorgung jedoch nur als Kaufargumente geringerer Wichtigkeit hinter den unmittelbarer wirksamen (erwarteten) Vorzügen im Bereich der Wohnqualität.

11 Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen

Murphy¹, D.P.L., Behring¹, H., Jäger², Ch.

Die nachhaltige Akzeptanz von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen ist abhängig von dem Zusammenspiel von internen Vorteilen für den Hersteller oder den Verbraucher, mit Umweltvorteilen für die Gesellschaft und dem Produktpreis. Es ist sehr unwahrscheinlich, daß Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen aus der Landwirtschaft allein über den Preis mit konventionellen Materialien erfolgreich konkurrieren können. Darum müssen diese Produkte gegenüber den herkömmlichen Produkten technische und umweltrelevante Vorteile besitzen. Höhere Produktionskosten, im Vergleich zu den nicht erneuerbaren Alternativen, können durch höhere Marktpreise aufgefangen werden, wenn das Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen technische, ökologische oder gesundheitliche Vorteile bietet.

Bei der weiteren Entwicklung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sollten folgende Prioritäten gesetzt werden:

- Minimierung der Kosten
- Produkte mit geprüften technischen Vorteilen für den Verbraucher sind zu fördern
- umweltbelastende Produkte sind durch umweltfreundlich hergestellte zu ersetzen.

Auf diese Punkte wird im folgenden näher eingegangen.

11.1 Kostenreduktion

Die Marktanteile aller alternativen Dämmstoffe liegen nach Angaben des Gesamtverbandes der deutschen Dämmstoffindustrie bei insgesamt 2,17 % (Kapitel 4, Tabelle 4.1). Eigenen Erhebungen zufolge sind die Marktanteile der alternativen Dämmstoffe jedoch höher und liegen bei über 3 %. Die größten Anteile nehmen Holzweichfaserplatten und Zellulose ein. Nach Expertenaussagen dürfte sich der Marktanteil der alternativen Dämmstoffe mittelfristig auf etwa 10 % erhöhen.

Ein Vergleich der Preise zeigt deutliche Differenzen, sowohl zwischen verschiedenen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als auch zwischen den konventionellen Dämmstoffen. Die Preise für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen liegen zwischen 21 und 155 DM m⁻² für eine Dicke, die einem 16 cm dicken Dämmstoff mit einem λ -Wert von 0,04 entspricht. Der Preis wird von den Herstellern als mit Abstand größte Schwierigkeit beim Absatz der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen genannt. Es ist von daher absolut klar, daß unabhängig von den angenommenen technischen Vorteilen und den Vorteilen für die Umwelt, Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen preislich konkurrenzfähiger werden müssen, wenn sie einen größeren Teil des Marktes erobern wollen.

Das beinhaltet die folgenden Ziele:

- Verringerung der Rohmaterialkosten
- Verringerung der Verarbeitungskosten
- Verringerung der Investitionskosten und laufenden Kosten
- Rationalisierung der Entwicklung, Qualitätskontrolle und der Marketingaktivitäten.

Wie bei allen Produkten setzt sich der Verbraucherpreis aus der Summe von Rohmaterialpreis, Entwicklungs- und Herstellungskosten, Marketingkosten und dem zu erzielenden Gewinn zusammen. Mit Ausnahme der gut eingeführten Holzfaserprodukte, ist

die Produktionskette für biogene Dämmstoffe hauptsächlich durch das Auftreten kleiner innovativer Firmen gekennzeichnet. Da hohe Forschungs- und Entwicklungskosten getragen werden und die Produktionsmengen relativ klein sind, sind die Produkte mit einem hohen Anteil an Entwicklungskosten belastet. Durch einen großen Anteil ungenutzter Produktionskapazitäten wird dieser Effekt noch wesentlich verstärkt. Falls sich die Industrie für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen quantitativ weiterentwickelt, kann man davon ausgehen, daß dieser Anteil an den Kosten geringer wird. Allerdings sind die aufgezeigten Probleme in vielen Bereichen so groß, daß eine geschickte Entwicklungsstrategie diesen Wachstumsprozeß begleiten muß. Nach den Ergebnissen dieser Studie erscheint es sinnvoll, die Priorität auf eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Produktionskapazitäten zu setzen. Zudem müssen die hohen Kosten für Forschung und Entwicklung, die Kosten im Zusammenhang mit den Bauproduktregelungen und die Kosten für die Produktüberwachung reduziert werden. Sie sind im Vergleich zur Produktionsmenge sehr hoch.

11.1.1 Rohstoff- und Produktionskosten

Zur Zeit entfallen je nach Produkt bis zu 20 % der Herstellungskosten von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen auf die Rohmaterialkosten. Die wichtigsten heimischen nachwachsenden Rohstoffe konkurrieren miteinander, mit importierten Rohstoffen und mit Sekundärrohstoffen. Daher ist die Land- und Forstwirtschaft gezwungen, die Kosten der Rohstoffherstellung zu minimieren.

Produkte auf Flachsbasis

Flachs ist die einzige einheimische Pflanze, die Material liefert, das in der Lage ist, Mineralwolle bezüglich Produktform, Dichte und Dämmqualität direkt zu ersetzen. Die gegenwärtigen Produkte basieren auf der Verwendung von Flachswerg (zum größten Teil importiert), und es gibt z. Z. keine Produktion von Flachs direkt für die Dämmstoffindustrie. Die Kosten für die Herstellung von existierenden Flachsvlies-Produkten können wie folgt aufgegliedert werden: Flachsfasern 30 - 50 DM m⁻³ (1 DM kg⁻¹), andere Rohstoffe 25 DM m⁻³, fixe und variable Herstellungskosten, Produktentwicklung, Zulassung und Produktionsüberwachung, Marketing und Profitspielraum (+ 175 DM). Bei einem Faserpreis von 1 DM kg⁻¹ entfallen ca. 15 - 25 % des Endproduktpreises auf den Flachs. Mit Ausnahme von RINGLEB (1996), die einen Preis von 0,40 DM kg⁻¹ für möglich hält, geht der größte Teil der Pflanzenfaser-Industrie weiter von einem Kostenniveau für Flachskurzfasern von 0,80 - 1,00 DM kg⁻¹, wenn nicht sogar mehr, aus. Dies würde nur einen kleinen Spielraum für eine Kostenreduzierung bei der Bereitstellung von heimischen Rohstoffen für die Vlies- und Filzherstellung lassen.

Vlies- und Filzherstellung ist ein Zweig der Textilindustrie. Im allgemeinen ist die Textilindustrie (im Vergleich zur konventionellen Dämmstoff- und Holzweichfaserplattenindustrie) an einem niedrigen Durchsatz von hochwertigen Produkten orientiert. Der Bedarf an Investitionen für eine Verarbeitungstechnologie bestehend aus Krempel/Vernadelung/Querleger liegt bei ca. 6 Millionen DM für Einheiten, die eine Leistung von 15 m³ h⁻¹ haben und ist damit relativ hoch. Zusätzlich benötigen diese Technologien eine große Kapazität an Arbeitskräften (6 - 8 Arbeitskräfte pro Schicht). Die Prozesse können vereinfacht und die Investitionskosten gesenkt werden, wenn ein Herstellungsprozeß verwendet wird, der auf dem pneumatischen Verfahren beruht. Leider benötigt dieses

Verfahren einen höheren Anteil an teuren Stützfasern. Daher sind die Möglichkeiten, die Rohmaterial- und die fixen Herstellungskosten mit dieser Technologie zu senken, begrenzt. Informationen aus der Industrie zeigen, daß die vorhandenen Produktionskapazitäten für Flachsvliesdämmstoffe und ähnliche Produkte nur zu 25 – 30 % ausgelastet sind. Dies deutet an, daß es im Bereich der Produkte auf Bastfaserbasis einen hohen Anteil an laufenden Kosten gibt, der durch eine bessere Ausnutzung der bestehenden Kapazitäten reduziert werden könnte. Investitionen in weitere Produktkapazitäten sind daher zur Zeit in jedem Einzelfall kritisch zu hinterfragen. Zusätzlich zu den Überkapazitäten in den Anlagen der Dämmstoffindustrie gibt es weitere im Bereich der Textilindustrie für Non-Woven-Produkte, die ebenfalls für die Dämmstoffherstellung auszunutzen wären.

Hanffasern

Hanffasern sind im allgemeinen gröber als Flachsfasern und daher als Rohmaterial für Dämmstoffe von geringerer Qualität. Man kann die WLG 045 mit ca. 30 kg Hanffaser m⁻³ erreichen. Hanf ist z. Z. die einzige Pflanze, die in Deutschland direkt für die Dämmstoffherstellung angebaut wird. Da die Hanfvlies-Produktion die gleiche Technologie verwendet wie die zur Herstellung von Flachsvliesen, sind die Herstellungskosten ähnlich. Trotz des augenscheinlichen Nachteils des Hanfes, was die Faserqualität für die Dämmung betrifft, bleibt der Hanf ein potentieller Rohstofflieferant. Die Anbau- und Erntekosten für Hanf sind niedriger als die für Flachs. Mit Ausnahme eines speziell angepaßten Maishäckslers basiert die Produktion der Pflanzen auf herkömmlichen landwirtschaftlichen Maschinen. Es kommt hinzu, daß Hanfschäben einen höheren Wert haben als Flachsschäben. Sie haben einen Marktwert von 0,15 - 0,30 DM kg⁻¹. Dies hat einen deutlichen Einfluß auf das ökonomische Gesamtergebnis. Die Verwendung von Hanfschäben zur Dämmung wirkt sich stark auf die flächenbezogene Umweltwirkung und den Deckungsbeitrag aus. Weiterhin besitzt Hanf ein gutes ökologisches Profil, insbesondere in Beziehung auf den Aspekt als Zwischenfrucht. Negativ zu sehen ist, daß der Hanf nur ähnliche Dämmwerte wie Ölleinfasern und Jute erreicht, und Recycling-Jute in ausreichenden Mengen zu sehr niedrigen Preisen (0,20 - 0,50 DM kg⁻¹) erhältlich ist.

Die vorhandenen Informationen deuten darauf hin, daß es einen Spielraum für die Verbesserung der Dämmqualität der Hanffasern gibt. Bisher ermittelte Dämmwerte wurden bei Hanffasern geprüft, wo die Hanfernte erst nach dem Stadium der Faserreife stattgefunden hat. Feinere Fasern mit einem besseren Dämmwert werden von Hanf erwartet, der während des Stadiums der Faserreife geerntet wird. Wenn es Veränderungen bei den Regulierungen der Beihilfe gibt, die es erlauben, den Hanf im Faserreifestadium zu ernten, so könnte dies zu feineren Fasern führen. Zusätzlich kann durch die frühe Ernte eine längere Röste erfolgen, die ebenfalls zu einer verbesserten Dämmeigenschaft der Fasern beitragen würde.

Infrastruktur für die Bastfaserverarbeitung

Trotz der langen Geschichte des Flachs- und Hanfanbaus in Westeuropa können die derzeitigen Entwicklungen der Verarbeitung von "Kurz- und Wirrfasern" als ein neuer Bereich der landwirtschaftlichen Industrie betrachtet werden. Eines der Hauptprobleme, denen sich die Industrie gegenüber sieht, ist der Mangel an Infrastruktur für die Verarbeitung. Viel Anstrengung und Geld wurden in Deutschland bei dem Versuch, eine Verarbeitungsinfrastruktur aufzubauen, investiert. Zur Zeit haben sich diese Bemühungen darauf konzentriert, neue Aufbereitungsmaschinen zu entwickeln, leider mit wenig kommerziellem Erfolg. Um dieses Problem zu bewältigen, wird eine Infrastruktur vorgeschlagen, die sich auf

ein Netzwerk von Aufbereitungsanlagen für Stroh stützt, die eine Vielzahl von Bastfaserpflanzen verarbeiten kann. Ein solches Netzwerk, dessen Aufbereitungszentren über mehrere Anbauggebiete verteilt sind,

würde die Versorgung mit Fasern für bestimmte Anwendungen stabilisieren können. Die Verarbeitung im ländlichen Bereich minimiert die Kosten, erlaubt die Ausnutzung brachliegender Ressourcen (landwirtschaftliche Gebäude, Arbeitskraft, Management) und ermöglicht die Rückführung von Pflanzenresten in den Boden. Lokale Märkte für die Nutzung von Schäben als Einstreu in der Nutztierhaltung oder zur Energiegewinnung können erschlossen werden. Ein wichtiger Aspekt der Infrastruktur ist ihre Flexibilität in Bezug auf die Rohmaterialien (Flachs, Hanf oder Öllein) und die Zielmärkte. Die vorgeschlagene Infrastruktur soll mehrere Märkte versorgen, die sich bezüglich ihrer Qualitätsansprüche ergänzen. Die Vermeidung einer produktspezifischen Infrastrukturentwicklungsstrategie beinhaltet eine Bandbreite einander ergänzender Produktlinien, die es ermöglichen, Ungleichmäßigkeiten im Rohmaterial zu tolerieren. Indem man eine Reihe von Abnahmemärkten versorgt, können für die jeweilige Verwendung die am besten geeigneten Faserchargen ausgewählt werden. Dies ist die Grundlage für die beiden notwendigen Komponenten einer stabilen Infrastruktur: Ein Absatzmarkt für die Hersteller von verschiedenen Faserqualitäten wird aufgebaut und damit wird die Garantie für die Versorgung mit Material bestimmter Qualitäten für den industriellen Verarbeiter gewährleistet.

Das Scheitern der teuren Neuentwicklungen in Deutschland steht im Kontrast zu den Erfolgen, die im Ausland für die Verarbeitung von Werg und Kurzfasern durch die Anpassung vorhandener gut entwickelter Technologien erzielt wurden. Dies war selbst auch mit Hanf erfolgreich. Die Badische Naturfaseraufbereitungsanlage bei Karlsruhe und Hempcore in England verwenden hierzu die existierende Hammermühlentechnik, um den Hanf für die Weiterverarbeitung vorzubereiten. Es ist klar, daß der Mangel an einer Verarbeitungsinfrastruktur für Bastfaserpflanzen in Deutschland behoben werden muß, wenn die Produktion von Bastfaserpflanzen eine Zukunft haben soll. Es ist wichtig, daß man sich vergegenwärtigt, daß dies für alle Bastfaserproduktlinien gilt, nicht nur für die Dämmstoffe. Die Unterstützung von Investitionen in diese Infrastruktur sollte folgendes berücksichtigen:

1. Die Verfügbarkeit von Recycling-Bastfasern (z. B. Jute) und Faser-Nebenprodukten (Flachswerg). Diese Materialien konkurrieren direkt mit den Kurzfasern als Hauptprodukt.
2. Die Verarbeitungsinfrastruktur sollte flexibel sein, sowohl bezüglich des Rohmaterials (Flachs, Öllein oder Hanf), als auch bezüglich des Endprodukts (Fasern für Faserverbundwerkstoffe, Dämmstoffe, Geotextilien usw.).
3. Besonders im Falle des Hanfes ist es wichtig, daß Investitionen, die für die Fasergewinnung erfolgen, ebenfalls die Verwendung und Vermarktung der Schäbenfraktion berücksichtigen.

Hanfschäben

Der Erfolg einer Reihe von Produkten der Firma MEHA, die auf Schäben basieren, zeigt das Potential der Schäben. Auch das französische Produkt ISOCHANVRE demonstriert den großen Verwendungsbereich von Schäben als Dämm- und Konstruktionsmaterial. Die Verarbeitung von Hanfschäben ist relativ einfach und benutzt vorhandene Technologien. Die Zukunft hängt von der Verfügbarkeit von Hanfschäben zu einem akzeptablen Preis ab, was im Gegenzug wieder von einem sich entwickelnden Fasermarkt abhängt. Eine parallele Entwicklung der Verwendung von Schäben als Dämmstoff mit einer Entwicklung der Faserdämmstoffe ist zu empfehlen.

Schafwolle

Produkte auf der Basis von Schafwolle sind die am besten bekannten Beispiele für Dämmstoffe aus biogenen Materialien. Trotzdem machen sie nur einen kleinen Marktanteil bei den biogenen Dämmstoffen aus. Heimische Schafwolle ist in ausreichenden Mengen nicht verfügbar. Die Infrastruktur für das Sammeln und Anliefern der vorhandenen heimische Wolle ist nur schwach entwickelt. Der Preis für gewaschene gegen Motten behandelte Wolle ist hoch, bis zu 6 DM kg⁻¹. Das ergibt Rohmaterialkosten um die 120 DM m⁻³.

Trotz dieser Probleme ist es wichtig, die besondere Rolle, die Dämmstoffe aus Schafwolle in bezug auf ihre Vorreiterrolle innerhalb der Dämmstoffindustrie für biogene Materialien gespielt haben, zu beachten. Das Image der Schafwolle ist bezüglich ihrer Qualität hoch. Innerhalb der Bauindustrie ist sie anerkannt wegen ihrer guten Dämmwerte (WLG 040). Von daher ist es klar, daß Anstrengungen unternommen werden müssen, daß die vorhandene Industrie die heimische Schafwolle als Rohmaterial voll ausnutzen kann. Dies erfordert die Bereitstellung einer Infrastruktur für das Sammeln und Verarbeiten der Wolle.

Getreidestroh

Getreidestroh hat eine Reihe von Vorteilen als Rohmaterial für die Dämmstoffe:

1. Der Dämmwert von gehäckseltem Getreidestroh bei einer Dichte von 50 - 100 kg m⁻³ ist gut (WLG 045). Intensivere Weiterverarbeitung (Spleißen/Reißen) könnte diesen Wert weiter verbessern.
2. Stroh ist preiswert (ca. 0,10 DM kg⁻¹, d. h. 8 - 15 DM m⁻³ Dämmstoff) und ist in großen Mengen verfügbar.
3. Die Vorverarbeitung von Stroh zur Gewinnung von Rohmaterial für die Weiterverarbeitung ist einfach, benötigt wenig Energie.
4. Als ein Nebeneffekt besitzt Stroh ein vorteilhaftes ökologisches Profil.

Trotz all dieser Vorteile ist Karphos[®] DIE WAND z. Z. das einzige Produkt auf dem Markt. Es wird nicht als Dämmstoff vertrieben. Es gab einige Versuche, Dämmstoffe auf Strohbasis herzustellen, die jedoch an verschiedenen technischen Problemen scheiterten. Das Hauptproblem bei Stroh besteht darin, eine gute Verbindung zwischen den Strohpunkten zu erreichen, so daß man eine akzeptable, staubfreie Matte oder Platte erhält. Zur Zeit macht dieser hohe Bedarf an Bindemitteln den Hauptteil der Produktionskosten aus. Trotz dieser Schwierigkeiten erregt die Verwendung von Stroh das Interesse von Herstellern, die nicht nur biogene Dämmstoffe als Nischenprodukte produzieren wollen. Die Herausforderung besteht in der Produktion von Produkten auf Strohbasis mit geringer Dichte (50 - 100 kg m⁻³) in den WLG 045 oder WLG 040 mit guten technischen Eigenschaften wie Staubbefreiheit, Formstabilität, Klemmfähigkeit.

Eines der Argumente in Deutschland gegen die Verwendung von Stroh, ist der Effekt den die Entwicklung von Produktlinien für Stroh auf die Holzwirtschaft haben würde. Es ist klar, daß erfolgreiche Produkte aus Stroh teilweise Produkte auf Holzbasis ersetzen könnten. Dies scheint hinsichtlich der großen Menge an verfügbarem Holz, kontraproduktiv zu sein. Andererseits hatte der starke Anstieg des Holzverbrauches seit 1960 keinen Effekt auf den Verbrauch von heimischem Holz. Hinzu kommt, daß der Überschuß an Schwachholz in Deutschland nicht die globale Situation in bezug auf die Holzversorgung widerspiegelt. Auf lange Sicht gesehen, wird der Bedarf an Lignozellulose global weiter steigen. Es ist daher im

Interesse des globalen Schutzes der Waldreserven, daß der Überschuß von Lignozellulose aus landwirtschaftlichen Quellen genutzt wird.

Holz

Holz ist der älteste und bekannteste nachwachsende Rohstoff für Dämmstoffe. Obwohl im großen Maße Holz und Holzprodukte nach Deutschland importiert werden, ist Holz im Inland in großen Mengen verfügbar. Fast 50 % der pro Jahr wachsenden Holzmenge wird nicht geerntet und bildet so ein enormes Rohstoffpotential. Der Hauptgrund für die geringe Ausnutzung des Holzes besteht in den hohen Kosten der Schwachholzernte, kombiniert mit einem Mangel an Weiterverarbeitungsmöglichkeiten (Zellstoffproduktion) sowie einer zu geringen Verwendung zur Energiegewinnung.

Trotz der großen Verfügbarkeit von Holz und der führenden Position der Holzfasern bei den biogenen Dämmstoffen, haben diese Produkte eine Anzahl an Nachteilen, die genannt werden sollten:

1. Die meisten der eingeführten Holzweichfaser-Produkte haben eine hohe Dichte ($250 - 350 \text{ kg m}^{-3}$) und eine hohe Wärmeleitfähigkeit (WLG 055 - 060). Die hohe Wärmeleitfähigkeit erfordert ergänzende Veränderungen in den Konstruktionen, was von vielen Architekten und Bauingenieuren nur ungern akzeptiert wird.
2. Auch wenn Holz preiswert ist ($0,10 \text{ DM kg}^{-1}$), kosten Holzfasern ca. $0,25 - 0,30 \text{ DM kg}^{-1}$, was einen Rohmaterialpreis von ca. $70 - 90 \text{ DM m}^{-3}$ ergibt, solange die Dichte der Produkte nicht verringert wird.
3. Der Bedarf an Energie bei der Produktion ist hoch und eng verbunden mit dem Holzfasereinsatz.

Die Erweiterung der Nutzung von Dämmstoffen aus Holz würde stark unterstützt durch die Entwicklung von Produkten mit niedriger Dichte und geringeren Wärmeleitfähigkeiten. Holzweichfaserplatten in der WLG 045 mit einer Dichte von $100 - 130 \text{ kg m}^{-3}$ sind bereits erhältlich. Die gegenwärtige Forschung und Entwicklung zeigt, daß die WLG 040 mit Produkten mit einer Dichte von ca. 70 kg m^{-3} erreicht werden kann. Zusätzlich gibt es beträchtlichen Spielraum bei der Verwendung von Holzfasern als einblasbare Dämmung in der Fertighausindustrie.

Da die Weiterentwicklungen im Bereich der Holzfasern eng mit der Herstellung von Produkten niedriger Dichte verbunden sind, ist es unwahrscheinlich, daß eine vermehrte Nutzung des Holzfaserdämmmaterials mittelfristig zu einem deutlichen Anstieg der Nachfrage nach Schwachholz führt.

Zellulose

Zellulose-Schüttungen sind der Marktführer im Bereich der biogenen Dämmstoffe. Die Zellulose-Dämmstoffindustrie ist durch eine dezentralisierte Produktionsstruktur gekennzeichnet. Der Marktpreis ist im Vergleich zu anderen biogenen Produkten niedrig und wird wahrscheinlich wettbewerbsfähig bleiben, wenn sich die Produktion ausdehnt. Der große Gehalt dieser Produkte an Bor ist der größte Kostenfaktor. Eine Verringerung der Verwendung von Bor durch eine Veränderung der Brandklassenprüfung würde allen biogenen Dämmstoffen helfen, besonders den Schüttdämmungen auf Zellulosebasis.

Die Dämmplatte der Firma Homatherm besteht zu 50 % aus Zellulose aus Altpapier und zu 15 % aus Jute, die zu einem Preis von 0,20 - 0,50 DM kg⁻¹ erhältlich ist. Der Hersteller sieht keine Probleme bei der weiteren Beschaffung von Recycling-Jute, von daher ist es unwahrscheinlich, daß sich durch dieses Produkt ein Markt für einheimische Bastfasern eröffnet. Die Fabrik ist z. Z. nur zu 25 – 30 % ausgelastet, so daß eine Steigerung der Produktion eine Verminderung der laufenden Kosten ermöglichen würde.

Der Rohstoffmarkt - Chancen für heimische Rohstoffe

Von Interesse für die Landwirtschaft ist die Frage, ob und in welcher Höhe durch die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen Einkommen erzielt werden kann. Für die Landwirtschaft besteht prinzipiell die Möglichkeit, die Vorverarbeitung der Rohstoffe zu übernehmen oder die Produkte ohne Vorverarbeitung z. B. als Hanf- oder Flachsstroh zu verkaufen. In der Literatur werden für den Faserpflanzenanbau ohne Berücksichtigung der Prämien sehr geringe, teilweise negative Deckungsbeiträge ausgewiesen. Die Höhe der Deckungsbeiträge hängt ganz wesentlich von der Höhe der Anbauprämien ab. Für Hanf weist eine Studie der Landwirtschaftskammern Hannover und Weser-Ems einen Deckungsbeitrag ohne Beihilfe von -24 DM ha⁻¹ aus. Ein Blick auf die neuere Entwicklung der Anbauprämien für Hanf, die in diesem Jahr im Vergleich zum Vorjahr gekürzt werden soll, macht deutlich, wie politikabhängig die Wirtschaftlichkeit des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen ist.

Anders sieht die Situation für die Verwertung land- oder forstwirtschaftlicher Nebenprodukte aus, die durch die Herstellung von Dämmstoffen genutzt werden können. Teilweise nicht genutzte Nebenprodukte wie Stroh oder Industrie- und Schwachholz könnten der Land- bzw. Forstwirtschaft zusätzliche Einnahmen bringen, ohne zusätzliche Investitionen zu erfordern. Sekundärrohstoffe haben den Vorteil, daß sie preisgünstig sind und ähnliche Eigenschaften aufweisen wie biogene Primärrohstoffe. Dabei sind die ökologischen Auswirkungen von Nebenprodukten günstiger zu bewerten als die von Hauptprodukten. Die Erweiterung der Verwendung von Dämmstoffen auf Holzbasis wird wahrscheinlich keinen entscheidenden Einfluß auf die Entwicklung des Marktes für Schwachholz haben.

11.1.3 Zulassungs- und Überwachungskosten

Alle Hersteller, die in Verbindung mit dieser Studie befragt wurden, sehen in den zur Zeit geltenden Bestimmungen für Baustoffe ein Hindernis für die Produktentwicklung und eine Quelle für bedeutende laufende Kosten. Viele Hersteller schreiben diese Schwierigkeiten dem allgemeinen Bereich der "Zulassung" zu. Nach Aussagen von Herstellern und auch Aussagen von im akkreditierten Prüfwesen tätigen Personen, können diese Zeiträume bei 3 - 4 Jahren liegen. Diese Zeitspanne macht den derzeit häufig noch kleinen (innovativen) Firmen mit zeitweiligen Liquiditätsproblemen sehr zu schaffen.

Das Verfahren der Zulassung in Deutschland ist mit denen im Ausland vergleichbar. Es wird von der EU als Basis für ein europäisches System übernommen. Ausgehend von den Informationen, die durch diese Studie erarbeitet wurden, kann man davon ausgehen, daß das Zulassungsverfahren in Deutschland effektiv arbeitet und daß die hohen Kosten und die Hindernisse, die bei der Baustoffprüfung entstehen, nicht ausschließlich durch die Zulassung hervorgerufen werden.

Das Zulassungsverfahren ist nur relevant für nicht geregelte Bauprodukte und Anwendungen. Der Markt für Dämmstoffe ist von genormten Produkten dominiert (ca. 98 %). Außer

Holzweichfaserplatten, müssen Dämmstoffprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen trotz vieler herstellerübergreifenden Gemeinsamkeiten in der Regel als zulassungspflichtige Produkte "überleben". Die Entwicklung neuer Normen für neue Produkte, wie z. B. biogene Schüttungen oder die Erweiterung der bestehenden Normen für Faserdämmstoffe auf Grundlage nachwachsender heimischer Rohstoffe (z. B. Bastfasern), würden die Entwicklung der neuen Produkte vereinfachen und die Zusammenarbeit zwischen den Herstellern beleben. Es sind Untersuchungen anzustreben, die eine Normung solcher Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die in möglichst vielen Eigenschaften weitgehend gleichartig sind, anregen und europaweit voranbringen bzw. in Aussicht stellen.

Viele der Probleme, die durch die Regulationen für Baustoffe hervorgerufen werden, lassen sich sowohl auf die rechtlichen Rahmenbedingungen, die eine Verwendung von unregulierten oder nicht zugelassenen Produkten verbieten, als auch auf die Zulassungsprozedur selbst zurückführen. In den meisten anderen Staaten haben die Architekten und Handwerker mehr Freiheit (und Verantwortung, die mit dieser Freiheit zusammenhängt), mit neuen noch nicht erprobten Materialien zu bauen. Der Sicherheitsaspekt dieser Gebäude und Produkte wird auf der individuellen Ebene des Risikoträgers kontrolliert. Mit anderen Worten, der Hauseigentümer oder der Versicherer eines Gebäudes entscheidet im Einzelfall über die Zulässigkeit. Diese Freiheiten versorgen den Hersteller neuer Produkte schon im frühen Stadium der Entwicklung mit Absatzmärkten. Dadurch werden die zeitlichen Lücken zwischen der Prototypentwicklung und den ersten Einnahmen kürzer. Diese Möglichkeit der frühen Geldeinnahmen ist ein wichtiger Vorteil für kleine und mittelgroße innovative Firmen in anderen Ländern.

In Diskussionen mit der Industrie und den Zulassungsämtern hat sich gezeigt, daß ein Großteil der schlechten Erfahrungen, die von der Industrie für biogene Dämmstoffe im Bereich der Zulassung beklagt werden, durch eine Zusammenarbeit der Hersteller verringert oder vermieden werden könnten. Auch in der durch wesentlich größere Unternehmen dominierten konventionellen Dämmstoffindustrie kooperieren die Firmen miteinander, insbesondere bei Verhandlungen mit Behörden. Dies spart Zeit und Geld und wird durch einen wirkungsvollen Industrieverband unterstützt.

Brandklasse

Die meisten Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe gehören zur Brandklasse B2 (normal entflammbar), während konventionelle Polystyrol-Produkte in die Baustoffklasse B1 (schwer entflammbar) eingestuft werden. Von den biogenen Produkten erreichen lediglich diejenigen, die stark mit Brandschutzmitteln ausgerüstet sind, die Baustoffklasse B1. Bezüglich einiger Aspekte geht von Polystyrol ein größeres Gesundheitsrisiko im Brandfall aus als von biogenen Materialien. Es scheint nicht angemessen, daß in Bezug auf die Baustoffklasse, einer Holzweichfaserplatte (B2) ein größeres Brandrisiko zugeschrieben wird als einem Produkt aus Polystyrol (B1). Der Grund für diese unvorteilhafte Einschätzung von biogenen Produkten liegt in der Art der Bestimmung der Baustoffklasse mit einer offenen Flamme. Es kann vermutet werden, daß biogene Stoffe bei einer Brandsituation eine bessere Barriere gegen die Ausbreitung des Feuers bieten als Polystyrol. Es wird ein gründlicher Bericht über die Brandschutztestverfahren benötigt, der die möglichen Vorteile von Materialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe berücksichtigt. Eine vorteilhaftere Neueinschätzung des Brandverhaltens von diesen Dämmstoffen könnte den Bedarf an zu verwendenden Brandschutzmitteln reduzieren und so einen deutlichen Beitrag zur Kostenreduzierung liefern. Im bestmöglichen Fall könnten sogar einige dieser Produkte als

Material für die Verwendung in einem integrierten Gebäudebrandschutzkonzept angesehen werden.

Der Einfluß von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit

Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe nehmen im Vergleich zu mineralischen Faserdämmstoffen relativ viel Feuchte auf. Absorbiertes Wasser erhöht die Wärmeleitfähigkeit und deshalb erhält die ermittelte Wärmeleitfähigkeit einen feuchtebezogenen Zuschlag zur Bestimmung des Rechenwerts der Wärmeleitfähigkeit (λ_R). Der entsprechende Defaultzuschlag liegt bei biogenen Dämmstoffen bei 20 %. Ergebnisse von Untersuchungen, die im Zuge dieser Studie gemacht wurden, stimmen mit der Ansicht von Prüfexperten überein, daß der reale Anstieg der Wärmeleitfähigkeit unter Verwendungsbedingungen lediglich 1-7 % beträgt. Dies bedeutet, daß viele Materialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe einen besseren Dämmwert besitzen als ihr Rechenwert λ_R zeigt. Viele Hersteller von solchen Dämmstoffen scheinen nicht zu wissen, daß der 20 %ige Zuschlag verwendet wird, wenn keine anderen ausreichenden Informationen vorhanden sind, die einen realistischeren, niedrigeren Wert unterstützen würden. Das amtliche Prüfverfahren ist flexibel genug, einen niedrigeren Zuschlag zu berücksichtigen, wenn der Antragsteller die notwendigen Daten nachweisen kann. Hier würde ein gemeinsamer Versuch helfen, einen realistischeren Zuschlag zu erhalten.

11.1.4 Baukonstruktion und -kosten

Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe unterscheiden sich von konventionellen Produkten in einer Reihe von wichtigen Eigenschaften, die bei der Konstruktion eines Gebäudes berücksichtigt werden müssen. Dazu gehören Wärmeleitfähigkeit, Brandschutz und Haltbarkeit.

Wärmeleitfähigkeit

Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe haben derzeit generell eine etwas höhere Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Mineralwolle und Polystyrol. Mit Ausnahme von Schafwoll- und Flachsdämmstoffen und Produkten aus Zellulose gehören sie zur WLG 045 oder höher. Studien zur Dämmqualität zeigen, daß Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe der WLG 045 aus einer Fülle von Rohstoffen produziert werden können. Die Produktion solcher Dämmstoffe erlaubt niedrigere Herstellungskosten im Vergleich zu Produkten aus der WLG 040. Eine Akzeptanz der WLG 045 würde die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen wesentlich vereinfachen und zu einer deutlichen Reduktion der Produktionskosten führen. Darüber, ob Dämmstoffe mit der WLG 045 akzeptabel sind, gehen die Meinungen zwischen den Architekten oder Bauingenieuren sehr weit auseinander. Architekten, die sich auf das ökologische Bauen spezialisiert haben, sehen nur geringe Probleme bei der Anpassung an 10 – 15 % dickere Dämmschichten. “Konventionelle” Architekten und Bauingenieure sehen hier hingegen einen großen Nachteil.

Die von vielen Architekten und Planern durch die Verschärfungen der Anforderungen im wärmetechnischen Bereich befürchteten Einschränkungen im Entwurf von Gebäuden können als unbegründet zurückgewiesen werden. Richtig ist sicherlich, daß durch das Anforderungsniveau der Wärmeschutzverordnung (WSVO) bauteilbezogene Wärmedämmdicken zu vergrößern waren und sind. Die Konzeption der WSVO läßt außerdem mit der Jahresheizwärmebilanzierung bzw. der kommenden

Gesamtenergiebedarfsberechnung Freiheiten zu bestimmen, wo man mehr oder weniger für die Energieeinsparung tun möchte.

Brandschutz

Vorbehalte gegen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind in Deutschland meist auf dem Brandschutzsektor zu finden. Sie lassen sich jedoch von daher entkräften, daß mit geeigneten Konstruktionen, die dafür sicherlich eine größere Sorgfalt in der Ausführung erfordern, eine Versagenssicherheit von 90 Minuten und mehr problemlos zu erreichen ist. Viele Hersteller von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bieten dazu auch in der Eignung nachgewiesene Konstruktionen an.

Der Brandschutz als Schutz der Hausbewohner vor Feuer hängt nicht allein von der Brennbarkeit der verwendeten Materialien ab, sondern auch von der Brandausbreitung, Qualmbildung und der Entstehung von toxischen Brandgasen. Es ist auf die Notwendigkeit der Ausstattung mit nachweisbar unbedenklichen Baustoffen und einer umfassenden Ausstattung mit Rauchmeldern hinzuweisen.

Haltbarkeit

Für Architekten und Bauherren, die eine Verwendung von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe erwägen, sind die Zweifel an der Haltbarkeit dieser Materialien kaum ein Hindernis bei der Auswahl. Erfahrungen mit Stroh und Holz in mehreren hundert Jahre alten Gebäuden zeigen, daß biogene Materialien sehr haltbar sind, wenn sie gegen Feuchtigkeit geschützt werden. Der Schutz der Dämmstoffe vor Feuchtigkeit wird durch eine geeignete Konstruktion erreicht. Die Verwendung der diffusionsoffenen Bauweise in Verbindung mit hygroskopischen biogenen Materialien stellt den Architekten vor das Problem zweier gegensätzlicher Ziele. Auf der einen Seite steht das Ziel, den hydrophilen Charakter des biogenen Materials durch die Verminderung der Barriere zwischen Dämmstoff und Innenraumluft auszunutzen (Feuchtigkeitsausgleich). Auf der anderen Seite ist es jedoch unbedingt notwendig, die Konstruktion, insbesondere den Dämmstoff, vor Beschädigung durch zu feuchte Raumluft zu schützen. Eine wichtige Frage ist dabei, unter welchen Bedingungen ein mikrobieller Befall stattfindet und es zum Abbau der Konstruktion und Verminderung der dämmenden Eigenschaften kommt. Schimmelbildung verursacht zudem eine Verschlechterung der Raumluft, die sich weit ungünstiger auf die Gesundheit auswirken kann, als zu trockene oder feuchte Raumluft. Man würde durch einen Puffer die Wasserdampfkondensation an kalten Raumboberflächen verhindern, aber gleichzeitig die Bildung von Schimmelpilzen innerhalb der Konstruktion fördern.

Um festzustellen, ob bzw. wann in einer Konstruktion Tauwasser ausfällt oder die Gefahr von Schimmelpilzbildung besteht, sind bauphysikalische Simulationsprogramme sehr hilfreich. Das Fraunhofer Institut für Bauphysik hat hierfür das Computerprogramm WUFI entwickelt. Es ist ein gutes Beispiel dafür, wie ein Simulationsprogramm helfen kann, Voraussagen über den Feuchte- und Wärmetransport in Bauteilen zu machen. Dieses Programm ist ursprünglich für konventionelle Materialien entwickelt worden, so daß es von daher notwendig ist, die für das Programm benötigten Daten für Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe zu erarbeiten. Sind diese vorhanden, lassen sich die mit dem Programm erarbeiteten Simulationen unter Laborbedingungen überprüfen. Forschungsarbeit in diesem Bereich wird z. Z. vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau gefördert.

11.1.4 Marketing

Diese Studie hat gezeigt, daß es in der Industrie einen weiten Konsens über die Dringlichkeit von F+E Aktivitäten im Bereich des Marketings gibt. Des weiteren hat sich gezeigt, daß der unübersichtliche Dämmstoffmarkt das zweitgrößte Problem darstellt, das den Einsatz von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe negativ beeinflusst. Der Begriff Marketing umfaßt ein weites Feld möglicher Maßnahmen. Die Diskussionen anlässlich des Workshops am 16. und 17. März 1998 in Braunschweig führten zu folgenden konkreten Überlegungen:

Es ist klar, daß die Kaufentscheidung üblicherweise nicht allein vom Bauherren gefällt wird, sondern eher durch den, der das Haus tatsächlich baut oder plant. Nahezu 50 % der Hersteller erachten die Architekten als zu konservativ und einige Quellen führen zu der Annahme, daß viele Architekten nur sehr wenig Wissen über Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe besitzen. Daher ist es notwendig, diese Zielgruppe mit gezielten Marketing- und Informationsaktivitäten zu erreichen.

Die Industrie für biogene Dämmstoffe ist durch eine "Einzelkämpfer"-Mentalität geprägt. Viele Aktivitäten, die für alle Beteiligten auf diesem Markt von gemeinsamem Interesse sind, werden nicht auf einer gemeinsamen Grundlage durchgeführt. Dies steht im Gegensatz zur wesentlich größeren konventionellen Dämmstoffindustrie, die viele Aktivitäten gemeinsam durchführen und so Kosten sparen. Es besteht die dringende Notwendigkeit, eine gemeinsame Marketingstrategie zu entwickeln, um das Bewußtsein und das Verständnis für biogene Dämmstoffe zu verbessern.

Der wenig transparente Markt für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ist gekennzeichnet durch eine Fülle unterschiedlicher Produkte mit unterschiedlichen Produkteigenschaften, verschiedenen Anforderungen an die Baukonstruktion und einem nicht optimal ausgebauten Vertriebsnetz. Hier bieten sich eine ganze Reihe von Ansatzpunkten für Marketing-aktivitäten.

11.2 Maximierung der Vorteile für den Verbraucher

Umfragen zeigen, daß viele private Bauherren in Deutschland bereit sind, in bestimmtem Maße höhere Kosten für ökologische Baustoffe zu tragen. Weil Dämmstoffprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen wesentlich teurer sind als vergleichbare konventionelle Produkte, kann eine erfolgreiche Marktentwicklung nur erreicht werden, wenn die Verwendung dieser Materialien auch direkte Vorteile für den Verbraucher mit sich bringen. Die "naturnahen" Produkte des Bausektors sind somit an die Voraussetzung geknüpft, spezielle Qualitätsvorteile für den Konsumenten zu bieten. Vom rein bauphysikalischen Standpunkt haben Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe einige Nachteile und nur wenige Vorteile im Vergleich zu den konventionellen Produkten. Die informierten Verbraucher sind in der Regel jedoch mit den bauphysikalischen Qualitäten der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zufrieden. Die durchgeführten Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit zu diesen Dämmstoffen zeigen, daß es unwahrscheinlich ist, daß Dämmstoffe mit einer noch besseren Wärmedämmung entwickelt werden können. Daher müssen interne Vorteile für den Verbraucher in anderen Bereichen bestehen, wenn ein hoher Marktpreis auf längere Sicht akzeptiert werden soll. Die Studie zeigt, daß wahrnehmbare gesundheitliche Vorteile bei der Nutzung einer der wichtigsten Gründe für die Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen sind.

11.2.1 Gesundheitliche Vorteile

Wahrnehmbare Vorteile für die Gesundheit des Verbrauchers nehmen einen hohen Rang bei den Gründen für die Verwendung von biogenen Dämmstoffen ein. Es gibt keine Zweifel daran, daß diese Produkte im Vergleich zu den konventionellen Produkten mit weniger Risiken behaftet sind. Auf der anderen Seite werden in der Literatur die Risiken, die von konventionellen Materialien ausgehen als sehr klein oder nichtexistent beschrieben. Die wahrnehmbaren Risiken können drei Gebieten zugeordnet werden: Der Raumluftfeuchte, dem Faserstaub und den toxischen Emissionen.

Feuchtigkeitsausgleich

Die wahrnehmbaren Vorteile für den Verbraucher sind eng verbunden mit der Wasserspeicherfähigkeit von raumumschließenden Teilen. Die Aussage, daß Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe durch Feuchtigkeitsausgleich das Raumklima verbessern und so Vorteile für die Gesundheit mit sich bringen, wird durch den derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Literatur nicht gestützt. Zur Interpretation muß man sich vergegenwärtigen, daß es nach unserem Kenntnisstand diesbezüglich noch keine konkreten Studien gibt. Es ist daher dringend notwendig, daß diese möglichen Vorteile vollständig wissenschaftlich geprüft werden. Untersuchungen im Bereich Raumfeuchteausgleich, sowie in dem damit verbundenen Bereich der Anfälligkeit gegenüber mikrobiellem Befall wird vom Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau unterstützt.

Faserstaub

Die wahrnehmbaren Gesundheitsrisiken, hervorgerufen durch Mineralfaserstaub, sind durch die Einführung der KI40 Mineralwolle stark reduziert worden. Damit ist der Hauptkritikpunkt an der Verwendung von Mineralfasern entschärft. Die Erfahrungen der Mineralfaserindustrie bei der Einführung des KI40 Standards zeigen den Unwillen vieler Verbraucher, höhere Produktpreise für einen wahrnehmbaren gesundheitlichen Vorteil zu bezahlen. KI40 Mineralfaserprodukte sind um 10 – 20 % teurer (ca. 10 DM m⁻³) als das vorher handelsübliche KI30 Material. Diese Preiserhöhung hat sich für KI40 Mineralwollehersteller als ein bedeutender Wettbewerbsnachteil erwiesen. Dieses Beispiel demonstriert die Schwierigkeiten, höhere Preise auf Basis des Argumentes einer besseren Gesundheitsverträglichkeit durchzusetzen.

Toxische Emissionen

Toxische Emissionen können ihren Ursprung in Polystyrol, Polyurethan und in den Bindemitteln, die für Mineralfaserprodukte verwendet werden, haben. Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe sind nicht mit diesen Risiken behaftet. Jedoch ist es schwierig, in der Literatur konkrete Hinweise darauf zu finden, daß konventionelle Dämmstoffe ein deutliches Risikopotential beinhalten. Das Sick-Building-Syndrom wird selten mit Dämmstoffen in Verbindung gebracht. Auf der anderen Seite steigt die Anzahl der Allergiefälle in Verbindung mit Expositionen gegenüber Mischungen aus xenobiotischen Verbindungen immer mehr an. Von daher müssen auch mögliche Emissionen aus Dämmstoffen in die Ursachenforschung für dieses Syndrom einbezogen werden.

In der Baupraxis sind Dämmstoffe aus Mineralwolle die größte potentielle Quelle für die Emission toxischer Gase in Gebäuden. Es ist daher zu erwarten, daß die Hersteller von Mineralwolle auf diesen wichtigen marktbeeinflussenden Faktor entsprechend reagieren

werden. Der Einsatz besserer Bindemittel würde das damit verbundene Argument für die Verwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen entkräften.

11.2.2 Schalldämmung und Wärmeschutz (außer Wärmedämmung *per se*)

Mit Ausnahme der Faserprodukte mit geringer Dichte (z. B. Flachs, Schafwolle und Baumwolle), sind Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe deutlich dichter als konventionelle Materialien. Dieses bringt deutliche Vorteile für den Wärme- und Schallschutz, was jedoch beim Marketing dieser Produkte nur selten oder sogar ungenau erklärt wird. Deshalb besteht hier ein Bedarf, diese Eigenschaften und Vorteile der Produkte in den Mittelpunkt zu stellen und dem Verbraucher zu zeigen, wie er diese vorteilhaften Eigenschaften optimal ausnutzen kann. Die Konzentration auf diese technischen Vorteile und deren Weiterentwicklung könnte dazu beitragen, Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen für die Mehrheit der Architekten und Bauingenieure attraktiver zu machen.

11.3 Umwelt (externe) Vorteile

Die Studie zeigt, daß Umweltargumente der zweitwichtigste Faktor ist, der die Nachfrage nach Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen positiv beeinflusst. Hinzu kommt, daß Produkte aus der Landwirtschaft direkt oder indirekt von Subventionen abhängen. Die Erfahrung mit Biodiesel zeigt, daß Produktlinien auf Basis nachwachsender Rohstoffe hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen kritisch zu überprüfen sind. Eine finanzielle Unterstützung des Anbaues von nachwachsenden Rohstoffen auf Ackerflächen ist dann akzeptabel, wenn signifikante Umweltvorteile erzielt werden.

Trotz der wichtigen Stellung der ökologischen Vorteile sind die von der Herstellung und Verwendung von Dämmstoffen aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen auf die Umwelt ausgehenden Einflüsse weitgehend unbekannt, und die damit verbundenen Diskussionen und Aussagen sind durch Unklarheiten und Gegensätze charakterisiert. Die meisten Darstellungen bezüglich der Umweltvorteile beinhalten nur sehr allgemeine Formulierungen wie 'umweltfreundlich', 'ressourcenschonend', 'CO₂ - neutral', 'geschlossener Kreislauf' usw. Außerdem wird die Diskussion oft durch die Einbeziehung der Effekte der Nutzungsphase - die Dämmwirkung und die erwarteten raumklimatischen Vorteile - noch konfuser. Die ökologische Beurteilung dieser Produktlinien wird auch dadurch erschwert, daß der Hauptanteil der Umweltwirkungen von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe durch die Substitution von konventionellen Produkten (z. B. Mineralwolle oder Polystyrol) sehr eng vom Energieeinsatz, Ressourcenverbrauch und von den entstehenden Emissionen bei der Produktion abhängt.

Für Hersteller von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe ist es wichtig zu beachten, daß die konventionelle Industrie sehr effektiv auf den Trend hin zu biogenen Dämmstoffen reagiert hat. Diese Reaktion der konventionellen Dämmstoffindustrie wird in einer gut koordinierten Öffentlichkeitsarbeit sichtbar. In vielen Fällen sind die Angaben der konventionellen Industrie wissenschaftlich fundiert und belegt. Die konventionelle Industrie hat den hohen Energieverbrauch bei der Herstellung ihrer Produkte als Problem erkannt und begonnen, den Herstellungsprozeß dahingehend zu optimieren. Auch im Bereich des Recyclings wurde bereits investiert. So ist beispielsweise Polystyrol der einzige Dämmstoff, für den bereits eine praktikable Möglichkeit für ein echtes Recycling gegeben ist. Zudem zeigen Untersuchungen zum Primärenergieverbrauch bei der Produktion biogener

Dämmstoffe, daß der Energieverbrauch höher ist als bisher angenommen. Viele Unklarheiten über den Energieverbrauch werden durch unterschiedliche Ansätze bei der Berechnung verursacht. Eine koordinierte ganzheitliche Beurteilung der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ist erforderlich.

Grundlage für die Beurteilung der ökologischen Einflüsse ist die Sachbilanz, die die Datensammlung und datenanalytische Phase der Ökobilanzierung darstellt. Dabei ist im Bauwesen zwischen Bilanzen von Baustoffen und Bilanzen für Konstruktionen oder ganze Gebäude zu unterscheiden. Sicherlich sollte das Ziel sein, die Umwelteinflüsse der Gesamtkonstruktion zu betrachten. Jedoch nur für einige Baustoffe liegen bisher vollständige Ökobilanzen vor und für viele Produkte, auch für eine Reihe von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, sind bisher nicht einmal Sach- oder Energiebilanzen aufgestellt. Einige Kommentatoren suggerieren, daß ein Abschätzungsansatz für eine Entscheidungsfindung ausreichend ist. Für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, insbesondere für Produkte auf Basis landwirtschaftlicher Hauptprodukte, ist es jedoch notwendig, die Energie und Stoffflüsse genauer zu quantifizieren und zwar nicht ausschließlich produktbezogen, sondern auch flächenbezogenen.

Insgesamt zeigt sich für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ein Energievorteil gegenüber konventionellen Produkten, der aber nicht so hoch ausfällt, wie das durch die häufig zu findende Angabe "Primärenergieaufwand sehr gering" suggeriert wird. Vor allem dann nicht, wenn für die konventionellen Produkte ein rationeller Energieeinsatz erfolgt und primärenergetisch günstige Energieträger eingesetzt werden. Die Industrie muß ihre Priorität auf die Erhaltung der Vorteile für die Umwelt setzen. Das folgende kann dabei helfen:

- Konzentration auf die Verwendung von Nebenprodukten oder Sekundärrohstoffen. Nebenprodukte und Sekundärrohstoffe besitzen ein sehr gutes ökologisches Profil und können nicht bezüglich der Verdrängung einer anderen Landnutzung kritisiert werden.
- Konzentration auf Produktionssysteme, die effektive Energieformen nutzen (z.B. Gas anstatt Elektrizität). Das schließt die Vermeidung von Textiltechnologien zur Vliesproduktion ein. Dämmstoffschüttungen besitzen ein sehr gutes ökologisches Profil hinsichtlich des Energieeinsatzes.

Ein Großteil der Diskussion, die die Entwicklung von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe betrifft, wird von den verwendeten Zusatzstoffen dominiert. Nicht nur die konventionelle Industrie kritisiert einige biogene Produkte bezüglich dieser Zusatzstoffe, sondern auch einige Vertreter der biogenen Dämmstoffindustrie selbst. Viele dieser Diskussionen sind irreführend und oft ist die Kritik unbegründet. So ist der Einsatz von Borverbindungen akzeptabel. Beim bestimmungsgemäßen Umgang mit borhaltigen Dämmstoffen ist nicht mit einer gesundheitlichen Gefährdung zu rechnen, und die eingesetzten Borverbindungen stellen kein Umweltgift dar. Der Hauptnachteil des hohen Inputs sind die dadurch verursachten Kosten. Ebenso gibt es keine hinreichende Begründung, daß Produkte mit Stützfasern grundsätzlich weniger ökologisch sind als andere Produkte. Aus ökologischer Sicht ist die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoffe hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe, deren Verfügbarkeit und des Primärenergieaufwandes der Produkte positiv zu beurteilen. Wesentliche Umweltvorteile ergeben sich beim Vergleich mit den konventionellen Produkten EPS und PUR.

Das ökologische Profil von Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe wird stark beeinflusst von den Entsorgungs- und Wiederverwertungsmöglichkeiten. Aufgrund der langen Nutzungsphase gibt es bisher wenig Erfahrung bezüglich des Recyclings oder Entsorgung von

Dämmstoffen im allgemeinen und praktisch keine Erfahrungen mit Dämmstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Die Diskussion über die Kompostierbarkeit ist größtenteils irrelevant. Ein Recycling ist unter den gegebenen Umständen eher für konventionelle Produkte durchführbar; für Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe dagegen ist dieses praktisch nicht realisierbar. Die Studie zeigt, daß die thermische Verwertung der geeignetste Entsorgungsweg für die meisten dieser Materialien ist.

11.4 **Schlußwort**

Ein Ziel der vorliegenden Studie war die Identifizierung von Lösungsansätzen, die aufzeigen, wie die Industrie für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen unterstützt werden könnte. Die Ergebnisse zeigen, daß es kein einfaches Rezept gibt, das die Basis für einen Marktdurchbruch von Dämmstoffen aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen bildet.

Ausführliche Untersuchungen haben gezeigt, daß der Anteil der Rohstoffe bei den Herstellungskosten für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bei maximal 20 – 25 % liegt. Große Anstrengungen zur Reduzierung dieses Kostenanteils können folglich nur zu relativ kleinen Preissenkungen beim Endprodukt führen. Daraus läßt sich ableiten, daß eine Förderung des Absatzes von Dämmstoffen auf Basis heimischer nachwachsender Rohstoffe eher über eine Senkung der Produktionskosten der Endprodukte zu erreichen ist. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, daß alle Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe nicht nur mit konventionellen Dämmstoffen konkurrieren müssen, sondern mit biogenen Dämmstoffen aus Recyclingmaterialien. Diese weisen ähnliche technische und ökologische Eigenschaften auf wie die Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen und können bisher mit wesentlich geringeren Kosten hergestellt werden. Der Verbraucher entscheidet sich allgemein für biogene Dämmstoffe, wobei auch der Preis eine entscheidende Rolle spielt. Dies bedeutet, daß der Markt derzeit für biogene Dämmstoffe neutral ist in Bezug auf Rohstoffart und Herkunft.

Für die zukünftige Unterstützung und Förderung können jedoch einige Leitpunkte vorgeschlagen werden:

- Eine Konzentration auf Rohstoffe, die in ausreichenden Mengen vorhanden sind, um eine Expansion der Dämmstoffherstellung zu gewährleisten, erscheint sinnvoll.
- Ein Aspekt der Förderung sollte sich auf die Untersuchung und Ausnutzung der technischen und ökologischen Eigenschaften der Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe richten. Wissenschaftlich fundierte Daten zu besonderen technischen (z. B. Schall- und Wärmeschutz, Feuchtigkeitsausgleich) und ökologischen Eigenschaften sind eine zwingende Voraussetzung für ein lang- und mittelfristig erfolgreiches Marketing.
- Anstrengungen im Bereich des Marketing sind unerlässlich. Die zukünftige Entwicklung wird ganz entscheidend durch den Willen und die Fähigkeit der Hersteller beeinflusst werden, gemeinsame Anstrengungen im Marketing zu unternehmen.
- Die gleiche enge Zusammenarbeit wird auch in anderen Bereichen, z. B. bei der Mitarbeit in Normungsausschüssen und bei Verhandlungen mit wichtigen Behörden erforderlich sein, wenn die Industrie für Dämmstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe langfristig ihren Marktanteil ausbauen will.

Die konstruktive Zusammenarbeit von Herstellern verschiedener biogener Dämmstoffe im gemeinsamen Verbund ist dringend notwendig. Hier ist sicherlich ein Ansatzpunkt zur Unterstützung anderer Maßnahmen und für eine erfolgreiche Förderung zu sehen. Ein weiteres Augenmerk sollte auf eine Überarbeitung der gesetzlichen Regelungen zur

Zulassung, Normung etc. gelegt werden, damit neue innovative Produkte - bei Wahrung der Sicherheitsstandards - besser als in der Vergangenheit gefördert werden können.

12 Zusammenfassung

Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämmmaterial

Herausgeber: Murphy¹, D. P. L.; Bockisch¹, F.-J.; Schäfer-Menuhr¹, A.

Projektkoordination und Berichtredaktion: Behring¹, H.; Jäger², Ch. und Murphy¹, D.P.L.

Projektgruppe: Behring¹, H.; Jäger², Ch.; Joachim³, T.; Kuntz⁴, S.; Wieland¹, H.; Steffens⁴, H.; Murphy¹, D.P.L. unter Mitarbeit von Hinrichs², Peter; Höppner⁵, Frank

Laufzeit: 01. Juli 1997 – 31. März 1998

Die Nutzung von heimischen nachwachsenden Rohstoffen als Dämmmaterial wird in der vorliegenden Studie durch eine Zusammenführung und kritische Auswertung der zur Verfügung stehenden Informationen beurteilt. Eine Informationsbasis wurde aufgebaut und umfaßt wissenschaftliche Veröffentlichungen, Literatur zu kommerziellen Produkten, die Auswertung zur Verfügung stehender Labordaten und Informationen aus Expertenbefragungen, einer Fragebogenaktion und einem von der Projektgruppe organisierten Workshop (FAL, Braunschweig, 16. - 17.03.1998). Die zur Verfügung stehenden Daten wurden ausgewertet unter der Annahme, daß eine nachhaltige Akzeptanz von Dämmstoffen aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen vom Zusammenspiel aus technischen Vorteilen für den Hersteller oder den Verbraucher, Umweltvorteilen für die Gesellschaft und dem Produktpreis abhängig ist.

Die Befragung der Hersteller zeigt, daß Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen etwa 3 % des Marktes für Dämmstoffe ausmachen. Davon nehmen Holz und Recyclingmaterialien den größten Anteil ein. Während der letzten 5 Jahre hat sich dieser Markt ständig ausgeweitet, und es wird ein weiteres Anwachsen des Marktanteils bis maximal 10 % des Dämmstoffmarktes angenommen. Unter allen konsultierten Gruppen von Fachleuten herrscht Einigkeit darüber, daß der hohe Preis für biogene Dämmstoffe (2- bis 4mal teurer als konventionelle Materialien) das Haupthindernis für diesen Markt und den damit verbundenen Rohstoffmarkt ist. Obwohl die Kosten für Rohstoffe nur etwa 10 bis 25 % der gesamten Produktionskosten ausmachen, herrscht ein großer Druck, den Rohstoffpreis zu minimieren. Die Industrie macht deutlich, daß der Markt für nachwachsende Rohstoffe zur Nutzung als Dämmstoff in starkem Maße mit dem Markt für geringwertige Güter (Recycling-Materialien, landwirtschaftliche Nebenprodukte und Schwachholz) verbunden und beeinflußt ist. Recyclingmaterialien und Nebenprodukte sind nicht nur preiswert, sie haben außerdem ein sehr günstiges ökologisches Profil. Die Zukunft landwirtschaftlicher Hauptprodukte (z. B. Bastfasern von Flachs und Hanf) in der Dämmstoffindustrie ist wahrscheinlich eingeschränkt. Dies ist nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen (Rohstoffkosten) anzunehmen, sondern auch aufgrund der Verfügbarkeit von Rohstoffen. Es ist unwahrscheinlich, daß die Landwirtschaft in der Lage sein wird, die zur Erreichung eines deutlichen Marktanteiles notwendigen Mengen an landwirtschaftlichen Hauptprodukten (z. B. Flachsfasern) zum erforderlichen Preis zu liefern. Im Gegensatz dazu stehen bereits große Mengen an Schwachholz, landwirtschaftlichen Kuppelprodukten (z. B. Flachswerg und Stroh) und Sekundärrohstoffe (z. B. Zellulose und Jute) zur Verfügung. Außer wenigen Fällen ist dieser Markt neutral bezüglich Rohstoffart und Herkunft.

Die Studie legt besonderes Augenmerk auf die Nutzung von mit modernen Wirrfaser Technologien hergestellten Flachsfasern in der Dämmstoffproduktion. Laboruntersuchungen des Dämmwertes verschiedener landwirtschaftlicher Rohstoffe belegen, daß Flachsfaser einer der wenigen Rohstoffe ist, der Mineralwolle direkt ersetzen kann. Die Laborstudien zeigen jedoch auch das Potential sehr viel preisgünstigerer Materialien wie Stroh und wiederverwerteter Jute. Würde eine 10 bis 12%ige Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit (im Vergleich zu den üblichen konventionellen Materialien wie Mineralwolle) in Kauf genommen, kämen noch weitaus mehr preisgünstige land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe in Betracht. Die wirtschaftliche Analyse ergibt, daß die Produktion von Dämmstoffen auf der Basis von Wirrfaserflachs mit Anbau- und Herstellungskosten verbunden ist, die die von Kuppelprodukten wie Schwachholz und Recyclingmaterialien überschreiten. Trotz des erwarteten Anstiegs des Marktvolumens an Produkten mit Holz als Grundstoff, wird eine bedeutende Steigerung der erforderlichen Holzmengen kurz- und mittelfristig nicht erwartet. Das beruht auf technischen Entwicklungen in der Produktion von Holzweichfaserplatten, die es erlauben, die Dichte der Produkte zu reduzieren, und dabei gleichzeitig nicht nur ökonomischer und ökologischer zu produzieren, sondern auch zu einer Qualitätssteigerung in Bezug auf Wärmeleitfähigkeit führen.

Die biogene Dämmstoffindustrie ist durch Überkapazität, besonders in der Fertigung von Bastfaserprodukten, gekennzeichnet. Nimmt man an, daß fixe Kosten 45 % der Fertigungskosten ausmachen (Fertigungskosten derzeit ca. 75 bis 90 % der Produktionskosten) liegt ein beträchtlicher Spielraum für Kostensenkungen in einer besseren Ausnutzung der Produktionskapazitäten. Vorausgesetzt, daß Kosteneinsparungen an den Verbraucher weitergegeben werden, sollte eine unterstützende Politik die bessere Ausnutzung bestehender Herstellungskapazitäten im Bastfaserproduktsektor als wichtiges Ziel betrachten.

In der Befragung wurden Vorteile für Gesundheit und Raumklima als Hauptgrund für einen Kauf genannt. Im allgemeinen bestätigt die wissenschaftliche Literatur nicht die Ansicht, daß biogene Dämmstoffe deutliche Vorteile für die Gesundheit des Verbrauchers oder das Raumklima bringen. Dagegen wurden einige bautechnische Vorteile zumeist übersehen. Im allgemeinen sind biogene Dämmstoffe dichter und haben eine höhere spezifische Wärmekapazität als konventionelle Materialien. Das bringt Vorteile für Wärmeschutz und Schalldämmung, die selten und oft nur unklar in der Vermarktung der Produkte aufgegriffen werden. Eine Klarlegung der technischen Vorteile hätte einen stärkeren Einfluß auf eine Kaufentscheidung als fragwürdige Aussagen in Bezug auf Bauökologie und Umwelt.

Umweltvorteile werden als zweithäufigster Grund für einen Kauf dieser Materialien genannt und von allen Herstellern angeführt. In der vorliegenden Studie wurde die Produktion von Dämmstoffen, vor allem aus Flachs, detailliert untersucht. Es zeigt sich, daß in vielen Fällen mit der Behauptung von Umweltvorteilen übertrieben wird, und einige der Aussagen in der wissenschaftlichen Literatur nicht belegt sind. Die Umweltwirkung der Dämmstoffproduktion ist eng verknüpft mit dem Energieverbrauch. Insgesamt zeigt sich für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ein Produktionsenergievorteil gegenüber konventionellen Produkten, der aber, vor allem für Vliesprodukte, nicht so hoch ausfällt, wie das durch die häufig zu findende Angabe "Primärenergiegehalt sehr gering" suggeriert wird. Der Energievorteil reduziert sich auch dann, wenn für die konventionellen Produkte ein rationeller Energieeinsatz erfolgt und primärenergetisch günstige Energieträger eingesetzt werden. Das ökologische Profil von biogenen Dämmstoffen wird stark von den Entsorgungs- und Wiederverwertungsmöglichkeiten beeinflusst. Aufgrund der langen Nutzungsphase gibt es bisher wenig Erfahrungen bezüglich des Recyclings oder Entsorgung von Dämmstoffen im

allgemeinen und praktisch keine Erfahrungen mit biogenen Dämmstoffen. Unter den gegebenen Umständen ist bei den derzeitigen und erwarteten Mengenaufkommen ein Recycling für konventionelle Produkte eher durchführbar, für biogene Dämmstoffe dagegen praktisch nicht realisierbar. Die Studie zeigt, daß die thermische Verwertung der geeignetste Entsorgungsweg für die meisten dieser Materialien ist. Die Diskussion über die Kompostierbarkeit ist also größtenteils irrelevant.

Der Trend in Richtung biogene Dämmstoffe ist im allgemeinen zu begrüßen, insbesondere vom Umweltstandpunkt. Die Produkte können ein naturnahes Wohnumfeld unterstützen. Die Studie deckt eine Reihe Hindernisse für eine Markterweiterung auf. Der Industrie fehlen koordinierte Aktivitäten in Bezug auf die Zulassung, Vermarktung und Produktkennzeichnung. Bei der Herstellung konventioneller Produkte arbeiten im Gegensatz dazu, selbst die größten Produzenten zur Kostenminimierung zusammen. Architekten haben den vorherrschenden Einfluß auf die Kaufentscheidung, und die konservative Einstellung im Bauwesen und der Baupraxis wird als Hindernis für eine Marktentwicklung gesehen. Neben dem Marketing werden Untersuchungen in Konstruktion und Bauphysik als dringendst notwendig angesehen. Obwohl das Zulassungsverfahren in Deutschland effizient durchgeführt wird, wird es von vielen Herstellern von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als Hindernis für die Produktentwicklung gesehen. In Diskussionen mit der Industrie und den Zulassungsämtern hat sich gezeigt, daß ein Großteil der schlechten Erfahrungen, die von der Industrie für biogene Dämmstoffe im Bereich der Zulassung beklagt werden, durch eine Zusammenarbeit der Hersteller verringert oder vermieden werden könnten.

Ein Hauptziel der Studie war die Identifizierung von Lösungsansätzen, die aufzeigen, wie die Industrie für Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen unterstützt werden könnte. Die Ergebnisse zeigen, daß es kein einfaches Rezept für einen Marktdurchbruch von Dämmstoffen aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen gibt. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, daß Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen als Primärprodukte nicht nur mit konventionellen Dämmstoffen konkurrieren müssen, sondern mit biogenen Dämmstoffen aus Recyclingmaterialien und Sekundärrohstoffen, die ähnliche technische und ökologische Eigenschaften aufweisen und bisher mit wesentlich geringeren Kosten hergestellt werden können. Für die zukünftige Unterstützung und Förderung können jedoch einige Leitpunkte vorgeschlagen werden. Eine Konzentration auf Rohstoffe, die in ausreichenden Mengen vorhanden sind, um eine Expansion der Dämmstoffherstellung zu gewährleisten, erscheint sinnvoll. Ein Hauptaugenmerk der Förderung sollte sich auch auf die Untersuchung und Ausnutzung der technischen und ökologischen Eigenschaften der biogenen Dämmstoffe richten. Wissenschaftlich fundierte Daten zu besonderen technischen und ökologischen Eigenschaften sind eine zwingende Voraussetzung für ein lang- und mittelfristig erfolgreiches Marketing. Anstrengungen im Bereich des Marketing sind unerlässlich. Die zukünftige Entwicklung wird entscheidend durch den Willen und die Fähigkeit der Hersteller beeinflußt werden, gemeinsame Anstrengungen im Marketing zu unternehmen. Die gleiche enge Zusammenarbeit wird auch in anderen Bereichen, z. B. bei der Mitarbeit in Normungsausschüssen und bei Verhandlungen mit wichtigen Behörden erforderlich sein, wenn die Industrie für biogene Dämmstoffe langfristig ihren Marktanteil ausbauen soll. Die konstruktive Zusammenarbeit von Herstellern verschiedener biogener Dämmstoffe im gemeinsamen Verband ist dringend notwendig. Hier ist sicherlich ein Ansatzpunkt zur Unterstützung anderer Maßnahmen und für eine erfolgreiche Förderung zu sehen. Ein weiteres Augenmerk sollte auf eine Überarbeitung der gesetzlichen Regelungen zur Zulassung, Normung etc. gelegt werden, damit neue innovative Produkte - bei Wahrung der Sicherheitsstandards - besser als in der Vergangenheit gefördert werden können.

13 Summary

Prospects for renewable materials in the insulation materials market

Editors: Murphy¹, D. P. L.; Bockisch¹, F.-J.; Schäfer-Menuhr¹, A.

Project coordination and report editing: Behring¹, H.; Jäger², Ch. und Murphy¹, D.P.L.

Project group: Behring¹, H.; Jäger², Ch.; Joachim³, T.; Kuntz⁴, S.; Wieland¹, H.; Steffens⁴, H.; Murphy¹, D.P.L.
and cowork of Hinrichs², Peter; Höppner⁵, Frank

Project time: 01. July 1997 – 31. March 1998

The use of home-grown industrial crops for insulation was evaluated through the critical examination of literature and other information sources. The information base built up includes scientific literature, industry data relating to products, some laboratory data, information from expert interviews, the results a postal survey of seven expert groups, and information gathered at a specially organised workshop (FAL, Braunschweig, 16. - 17.03.1998).

The study was conducted under the assumption that a sustainable acceptance of the use of industrial crop material in insulation depends on the interaction between technical advantages for the consumer, environmental advantages for society, and the product price.

The survey of manufacturers showed that products based on arable materials, wood and wool account for 3 % of the insulation material market in Germany. Wood and recycled paper cellulose account for a large proportion of this 3 %. The market has grown over recent years and is assumed to have a maximum potential of 10 %. All the expert groups consider that the greatest barrier to market expansion, and thus expansion of the market for the relevant raw materials, is the high price of biogenic products compared with conventional materials (200 – 400 % more expensive). Even though the raw material represents a small proportion (10 – 25 %) of production costs, the market for these raw materials is very competitive and cost conscience. The industry indicates clearly that the market for suitable agricultural raw materials is strongly linked to, and influenced by, the market for low value materials (recycling materials, agricultural by-products and low grade wood). Recycling materials and agricultural by-products are not only low cost materials, they also have a good ecological profile. The future for primary agricultural materials (e.g. bast fibres, ryegrain and miscanthus) in this market is considered limited. This is not only because of economic factors (raw material cost) but is also because of poor raw material availability. It is unlikely that agriculture will be in a position to supply the quantities of bast fibre as a primary product required to make a significant impact on the insulation materials market. In contrast to this, there already exists large quantities of low grade wood, agricultural by-products (e.g. flax tow fibre and cereal straw) and recycling materials (e.g. cellulose and jute).

The study pays special attention to the use of bast fibre produced using modern fibre extraction technologies. Laboratory examinations of the thermal conductivity of mats made from these materials show that flax fibre is one of the few biogenic materials that compares directly with glass fibre in terms of thermal insulation. However, these investigations also show the potential of much lower cost materials such as cereal straw and recycled jute. If products with a 10 – 12 % higher thermal conductivity (in comparison with mineral wool) were acceptable to the market, a wide range of low cost agricultural and wood materials can be considered. The economic analysis shows that the production of insulation material from

flax involves greater costs compared with products based on recycling paper, jute, or wood. Despite the expected growth in the market for wood based products, a significant increase in raw wood consumption by this industry is not expected. This is due to the development of lower density wood fibre products. These products are not only cheaper and more ecological compared with older wood products, but also have better thermal insulation qualities.

The biogenic insulation materials industry is characterised by over-capacity, especially in the manufacture of bast fibre based products. Assuming that fixed costs account for 45 % of manufacturing costs (manufacturing costs in turn account for 75 – 90 % of production costs), there is considerable scope for reducing costs by better utilisation of the existing capacity. Provided that these cost savings are passed on to the consumer, support policy should aim to obtain better use of existing manufacturing capacity.

In the expert interviews and surveys, advantages for room climate and consumers health were cited as the main reason for the decision to purchase these biogenic insulation materials. The scientific literature does not support the view that these materials bring such advantages. In contrast to these unsupported claims, the industry has paid little attention to some advantages that are supported in the scientific literature. In general, biogenic materials are denser than conventional materials and have a high specific thermal capacity. The advantages for summer heat protection and sound insulation are rarely mentioned and seldom clearly explained in the marketing of the products. A clarification of these technical advantages would have a greater influence on the purchase decision than questionable statements relating to building biology and environment.

Environmental advantages were the second most cited reason for a purchase decision. These advantages are claimed by all manufacturers. In this study, the environmental impact of the use of flax for insulation materials was studied in detail. This shows that, in many cases, the claims made by manufacturers are exaggerated. The environmental advantage of biogenic insulation materials is closely linked to the energy consumption in production. In general, the production of biogenic insulation materials consumes less energy compared with the conventional materials. However, particularly for non-woven textile products, this advantage is not as great as statements from the industry suggest. In addition, the energy advantage (over conventional products) is greatly reduced where primary energy inputs into the production of conventional materials are reduced to the minimum through the use of the most efficient energy carriers (e.g. natural gas) and modern processes.

The ecological profile of biogenic materials is strongly influenced by the disposal or recycling phase of the life-cycle. Because of the long consumption phase, there is practically no experience with the disposal of biogenic insulation materials. The discussion concerning the composting of these products is largely irrelevant. Under present circumstances, the recycling of conventional materials is easier and more practical than the recycling of biogenic materials. This is due to the large quantities needed to support a recycling infrastructure. Because of the small quantities, the recycling of biogenic materials is very difficult. The study shows that the incineration (with energy recovery) is likely to be the most acceptable disposal method.

The trend towards the use of biogenic insulation materials is to be greeted in general, especially from an environmental viewpoint. These products could, especially when combined with other ecological building practices, contribute to a more natural building environment. The study uncovers a range of barriers to market development. Development, product labelling, product registration and marketing activities in the industry are not co-ordinated. In contrast, the much larger companies in the conventional industry work together to reduce their costs in these areas. Architects play a dominating role in the consumer's decision to purchase, conservative attitudes to new products and building practices are seen as

a barrier here. Apart from marketing, investigations into construction and building physics are regarded as urgently required. Even though the registration procedure functions efficiently in Germany, it is regarded by many manufacturers as a barrier to product development. Discussions with the industry and the registration authorities revealed that a large proportion of the negative experiences could be greatly reduced by manufacturers co-ordinating their activities.

The identification of policies that could support the use of agricultural and forest materials for the production of insulation materials was a major aim of this study. The results show that there is no simple recipe for a market breakthrough for home-grown raw materials. In particular it is emphasised that these materials compete with conventional materials on one side and with biogenic recycling materials and very low cost imported by-products which have similar technical ecological characteristics on the other. Against this background, priorities for policy making and support are proposed. Efforts should concentrate on raw materials that are already available in quantities sufficient to support an expansion in the industry. Policy should also give priority to identifying the technical advantages of these products. Scientifically founded data to support claims relating to technical advantages are an urgent prerequisite for a middle and long term successful market development. Effective co-operation between producers is essential to the future of these products, especially with regard to marketing. Similar close co-operation in dealing with standards authorities and product registration is necessary if the biogenic insulation materials industry is to expand markets share. An effective producers association could also function as a vehicle for other supporting measures, and should be seen as a prerequisite of such support. Priority should also be given to reviewing the registration procedures, norms etc. so that, while maintaining safety standards, new products can be easily introduced to the market.

14 Literaturverzeichnis

- ADAM, L., DITTMANN, B., PATSCHKE, K. (1997): Damit Rohstoffe besser nachwachsen. Teil I. Neue Landwirtschaft 3/97: 46-50.
- ALBRECHT, W. (1995): Dämmstoffe im Härtestest: Verhalten bei Brand, Feuchte und mechanischer Belastung. *renova* 1 (4), 48ff.
- ALBRECHT, W. (1997): Anwendungsgebiete, Eigenschaften und Klassifizierung von "alternativen" Wärmedämmstoffen. *Bauphysik* 19 (4), 121-125.
- ANONYM (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- ANONYM (1997): Jahrbuch der Textilindustrie. Textil-Service Verlags- und Zertifizierungsstelle Öko-Tex GmbH, Eschborn.
- ANONYM (1996): Haus im Schafspelz. *Ökotest*, Sonderheft Nr. 20 Bauen Wohnen Renovieren: 48-57.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT HOLZ e.V. (1997): Informationsdienst Holz. Nichtbelüftete Dächer mit Brettschalung - ohne chemischen Holzschutz. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. (Hrsg.), Düsseldorf.
- ARUNDEL, A. V., STERLING, E.M., BIGGIN, J.H., STERLING, T.D. (1986): Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. In: *Environment Health Perspectives* 65: 351-361.
- B. M. BAU (1995): Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Förderprogramm zur CO₂-Einsparung bei Wohngebäuden in den alten Bundesländern. Stand November 1995.
- BAHADIR, M., PARLAR, H., SPITELLER, M. (1995): Springer Umwelt Lexikon. Springer-Verlag.
- BARTH, W.-D. (1997): Die neue Niedersächsische Bauordnung. Deutscher Gemeinde-Verlag, 2. Auflage, Hannover.
- BATSCHKUS, V., 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. Oktober 1997 in Braunschweig. Verein Deutscher Ingenieure (VDI), VDI Berichte 1356.
- BAU- UND UMWELTSCHUTZDIREKTION BASEL-LAND (1996): Wärmedämmstoffe aus Altpapier mit borhaltigen Flammschutzmitteln: Umweltverträglichkeit und Brandverhalten. Amt für Umweltschutz und Energie.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1992): Verfahrensrelevante Untersuchungen zu Bereitstellung und Nutzung jährlich erntebare Biomasse als Festbrennstoff unter besonderer Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und umweltbezogener Aspekte. Referat Landmaschinenwesen und Energiewirtschaft, Gelbes Heft 44.
- BEHRING, H., MURPHY, D.P.L. (1998): Environmental impacts of the use of flax for insulation. *Proceedings of Ag. Eng '98*, Oslo.

- BELLMANN, B., MUHLE, H. (1995): Biobeständigkeit verschiedener Mineralfasertypen in der Rattenlunge nach intratrachealer Applikation. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Forschung - Fb 711.
- BIGLER-MÜNICHSDORFER, H., ERHARDT, H., MELZER, H., SCHOLZ, H., THIELKE, U., THIEL, A., ULRICH-RAITHEL, H. (1996): Wohnen und Wohlfühlen. Schadstoffe im Innenraum erkennen und vermeiden. Umweltinstitut München.
- BLE (1997): Schriftliche Mitteilungen zum Anbau von Hanf und Flachs in der Bundesrepublik, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Frankfurt am Main.
- BML (1994, 1996): Statistisches Jahrbuch, 1994 und 1996, Bonn.
- BML (1995): Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe 1995. Schriftenreihe des BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft, Bonn.
- BML (1996): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- BML (1998): Schriftliche Mitteilung, Juli 1998.
- BOBRAN, H., BOBRAN-WITTFHOIT, I. (1995): Handbuch der Bauphysik. Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden.
- BOCK, W., HAHN, J.U., STAMM, R., STÜCKRATH, M. (1995): Isocyanate. BIA-Report Isocyanate 4/95. Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit BIA, Sankt Augustin. Hrsg. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften HBVG.
- BÖCKER, A. (1997): Kostenstruktur der Hanfverarbeitung - Von der Hanffasergewinnung bis zu deren Verwendung unter besonderer Berücksichtigung der Qualität. In: Hanf. Teil 2, Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema "Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf". Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 7, S. 493-622
- BOCSA, I. (1995): Die Hanf-Züchtung in Ungarn; Zielsetzung, Methoden und Ergebnisse. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln, S. 200-215.
- BOCSA, I., KARUS, M. (1997): Der Hanfanbau. C.F. Müller Verlag, Heidelberg.
- BÖHME, C. (1998): Wilhelm-Klauditz-Institut, Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Braunschweig. Persönliche Mitteilung vom März 1998.
- BOISITS, R. (1993): Dämmstoffe auf dem ökologischen Prüfstand. Forschungsberichte Baubiologie und Bauökologie. Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie.
- BORSCH-LAAKS, R. (1994): Ökologie der Dämmstoffe. Energie- und Umweltzentrum am Deister e.V., Springe/Eldagsen.
- BOTT, H. (1995): Ökologisches Planen und Bauen, Versuch einer Begriffsdefinition. Bundes Bau Blatt 44: 601-604.
- BRAMM, A., SEEHUBER, R., DAMBROTH, M. (1988): Möglichkeiten und Grenzen für die Wiederentwicklung des Faserleinbaus in der Bundesrepublik Deutschland - ein Sachstandsbericht. Institut für Pflanzenbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig, Deutschland.
- BRANDT, J., MORITZ, H. (1995): Bauphysik nach Maß. Beton-Verlag, Düsseldorf.

- BREITFELD, R. (1995): Rohstoff Hanf - Anbau der Kulturpflanze Hanf (*Cannabis sativa* L.): Aktueller Kenntnisstand. Hanfgesellschaft e.V. Berlin.
- BREMER BAUMWOLLBÖRSE (1993): Bremen Cotton Report. Wochenbericht der Bremer Baumwollbörse 3/4, Januar 22.
- BRENDÖRFER, M., HUMMELT, G. (1986): Faserlein. KTBL (Hrsg.), Arbeitspapier 109, Darmstadt.
- BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (1997): Schriftliche Mitteilung über Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe auf Stilllegungsflächen sowie Anbauflächen von Flachs und Hanf in Deutschland, Frankfurt.
- BUNDESGESUNDHEITSAMT (1994a): Krebsgefährdung durch künstliche Mineralfasern am Arbeitsplatz und in der Umwelt. Ein gemeinsamer Bericht des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und des Umweltbundesamtes, Berlin, Dortmund.
- BUNDESGESUNDHEITSAMT (1994b): Vom Umgang mit Mineralfasern. Eine Informationsschrift des Bundesgesundheitsamtes, S. 45-55.
- BUTTLAR von, H.-B. (1995): Hanf: Perspektiven zur thermischen Verwertung. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln, S. 527-535.
- BVSE (1997): Zahlen, Daten, Fakten 1996/1997. bvse-recyconsult GmbH, Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V., Bonn.
- CEUTERICK, D. (1993): Life cycle inventory for wall insulation products. Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (Vito), Mol, Belgium.
- CHARLE, F., WOLPERS, M. (1997): Flax Tow and Hemp Processing Line "Line Lin". In: nova Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln, S. 293-305.
- CHARLE/TEMAFA (1997): Produktinformation. Temafa GmbH., Bergisch Gladbach.
- CHRISTEN, O., SCHULZE, B. (1997): Produktionstechnik der Hanferzeugung I. In: Hanf. Teil 2, Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema "Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf". Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 7, S. 179-152.
- DAMBROTH, M., SEEHUBER, R. (1988): Flachs Züchtung, Anbau und Verarbeitung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Deutschland.
- DEMPSEY, J. M. (1975): Fibre crops. The University Presses of Florida, Gainesville, USA.
- DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (1997): MAK- und BAT-Werte-Liste 1997. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Mitteilung 33.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG e.V. (1992): Kompost-Gütesicherung RAL-GZ 251, Beuth Verlag, Berlin.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (1997): Referatensammlung: Verwendbarkeits- und Übereinstimmungsnachweise für Bauprodukte in Deutschland und im Europäischen Binnenmarkt. Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), Köln.
- DIX, B., ROFFAEL, E. (1996): Altpapier als Rohstoff für Span- und Faserplatten. Holz-Zentralblatt, Sonderdruck WKI-Mitteilungen 656/1996.

- DOPPELMAYER, F. (1997): Schafwolle. *Isolier Technik* 23(2), 26-39.
- DRESCHER, K., BRODERSEN, C.M. (1997): Bestimmung der Wettbewerbskraft von Hanf in Deutschland. *Agrarwirtschaft* 46 (2), 100-108.
- DUDEN (1992): *Das Wörterbuch medizinischer Fachausdrücke*. 5. Auflage, Dudenverlag.
- DUNAJTSCHIK, S. (1997): Bor zu Zuckerrüben nicht vergessen. *Top Agrar* 2/97: 102-104.
- EASSON, D. L. (1988): The agronomy of flax and its effect on fibre yield and quality following glyphosate desiccation. 61 - 70. In: Marschall, G. (Hrsg.) *Flax: Breeding and Utilisation*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- ECETOC (1995): Reproductive and general toxicology of some inorganic borates and risks assessment for human beings. Technical Report No. 63. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. Brussels, Belgium.
- ECKEL, Ä., HOFMANN, K. (1996): Brandschutz. In: GAUSEPOHL, H., GELLERT, R.. *Polystyrol. Kunststoff Handbuch* 4. Carl Hauser Verlag, München Wien.
- EICKE-HENNIG, W. (1997): Neue Dämmstoffe - (k)eine Alternative? *WKSZ Zeitschrift für Wärmeschutz, Kälteschutz, Schallschutz und Brandschutz* 39: 47-53.
- ELSNER, C. (1995): Stand der FCKW-Substitution. *Umwelttechnologie Aktuell* 2/95: 122-124.
- ENGLERT, G. (1980): Baustoffe aus Stroh. *Landtechnik* 35 (8/9), 380-381.
- ESAU, K. (1969): *Pflanzenanatomie*. G. Fischer, Stuttgart, Deutschland.
- FAUSTZAHLEN FÜR LANDWIRTSCHAFT UND GARTENBAU (1993): *Hydro Agri Dülmen GmbH*. 12. Auflage, Münster-Hiltrup.
- FILIP, J. (1997): Entwicklung von Anbau, Verarbeitung und Verwertung der Rohstoffpflanze Hanf. In: Hanf. Teil 2, *Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema "Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf"*. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 7, S. 13-178.
- FNK (1997): Arbeitsausschuß 103.3 "Bioabbaubare Werkstoffe", Verfahren für die Prüfung der Kompostierbarkeit eines polymeren Werkstoffes. Norm - Entwurf, Stand Januar 1997.
- FRANK, B. (1998): Telefonische Mitteilung vom 30.3.1998.
- FRANK, B., MUTHMANN, P. (1997): Die erste deutsche Faseraufschlußanlage für Hanf. In: nova-Institut (Hrsg.), *Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium*, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln, S. 306-309.
- FRANKE, L., DECKELMANN, G. (1996): Eine vergleichende Bewertung der Anforderungen der Wärmeschutzverordnungen von 1982, 1995 und 1999. *Bauphysik* 18 (5), 129-136.
- FRIEDRICH, W. (1997): Firma Friedrich Spezialbaustoffe, mündliche Mitteilung vom 31.10.1997.
- FRIES (1996): *Vliesstoffherzeugung*. Arbeitgeberkreis Gesamttextil. Ausbildungsmittel Unterrichtshilfen. Eschborn.

- FRITZ, H. (1998): Mündliche Mitteilung anlässlich des Workshops "Chancen und Möglichkeiten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen" am 16. und 17. März 1998, Braunschweig.
- FRITZ, H.G., SEIDENSTÜCKER, T., BÖLZ, U., JUZA, M., SCHREETER J., ENDRES, H.J. (1994): Production of thermoplastics and fibres based mainly on biological materials. European Commission Directorate-General XII, EUR16102 EN, Luxembourg.
- FUEHRES, M. (1996a): Die Alternativen. Isoliertechnik 5, Jg. 22, Sonderdruck.
- FUEHRES, M. (1996b): Stellungnahme - Gesundheitsgefahren beim Umgang mit Dämmstoffen aus Mineralwolle, Perlite und Zellulosefasern. Im Auftrag von Isofloc ökologische Bautechnik GmbH. Büro für Technischen Umweltschutz BTU.
- GANN, M., SCHWABL, H., FIGL, H. (1992): Borverbindungen im bauökologischen Bereich. Studie des Österreichischen Instituts für Baubiologie.
- GDI (1997): Sogenannte ökologische Dämmstoffe. GDI-Informationsservice für das Planen und Bauen, Gesamtverband Dämmstoffindustrie. Dämmjournal, 6/97: 1-3.
- GEHLE, S. (1997): Die "intelligente" Dampfbremse. bauen mit Holz 4/1997: 236-240.
- GESAMTVERBAND DER TEXTILINDUSTRIE (1996): Faserfeinstaub. Kompendium, erstellt von Mitgliedern des Arbeitskreises "Fibrilläre Stäube" beim Forschungskuratorium Gesamttextil. Hrsg. Gesamtverband der Textilindustrie in der Bundesrepublik Deutschland - Gesamttextil e.V., Eschborn.
- GESELLSCHAFT FÜR WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE INFORMATION MBH (1990): Kommunale Energieversorgung, Energiekonzepte, Nah- und Fernwärme, energetische Nutzung von Abfall. Fachinformationszentrum Karlsruhe. Kap. 2.1.2 Anlagentechnik und Betriebsweise.
- GILBERTSON, H. (1996): British Flax Fibre - New Markets. SULTANA, C. (1996): Strategies for upgrading the income of flax growers. Proceedings of the 4th Workshop of the FAO on flax: 341-356.
- GÖHLER, S. (1996): Ökologische Baustoffe - Produkte, Preise, Bezugsquellen, Ökobilanzen - ein konkreter Wegweiser zu umweltschonenden, gesunden Alternativen. S. Göhler Verlag, Lübeck.
- GÖHLICH, F., GREEF, J.M., PASDA, G., HANSEN, F., DIEPENDENBROCK (1992): Die Energie- und CO₂- Bindung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen als Grundlage der Nutzung Nachwachsender Rohstoffe. Bioenergetische Grundlagen. Landwirtschaftliches Jahrbuch 69: 788-810.
- GOLDBERG, S. (1993): Chemistry and mineralogy of boron in soils. In: Boron and its role in crop production. Gupta U.C., CRC Press. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals, Brussels, Belgium.
- GORN, P., SCHUMACHER, S. (1997): Absatzpotentiale und industrielle Nachfrage nach Hanf. In: Hanf. Teil 2, Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema "Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf". Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 7, S. 623-742.
- GÖSELE, K. (1998): Schallschutz im Mauerwerk. In: Mauerwerk-Kalender 1998. Verlag Ernst & Sohn, München, S. 127-152.

- GÖSELE, K., SCHÜLE, W., KÜNZEL, H. (1997): Schall · Wärme · Feuchte: Grundlagen. Neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau. 10. Auflage. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin.
- GRAEDEL, T. (1994): Industrial Ecology: Definition and Implementation. In: Industrial Ecology and Global Change. Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, England, S. 23-42.
- GRÄF, G. (1998a): Produktlinien Schafwolle und Bastfasern. Workshop "Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoff" am 16. und 17. März 1998, Braunschweig.
- GRÄF, G. (1998b): Schriftliche Mitteilung vom 26.03.1998, Kosten der Vliesdämmstoffherstellung, Simbach.
- GRIESELER, B. (1998): Rohstoffe ohne Zukunft? DLG-Mitteilungen, Heft 4: 55-57.
- GROSS, R., SCHÖLMERICH, P., GOREK, W. (1987): Lehrbuch der Inneren Medizin. 7. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart New York.
- GRÜNZWEIG UND HARTMANN AG (1997): Werk Speyer. Antwortschreiben vom 15.08.1997 auf eine Anfrage zum Recycling von Mineralwolle-Dämmstoffe.
- HAHN, W. (1994): Vergasung nachwachsender Rohstoffe in der zirkulierenden Wirbelschicht. Berichte aus dem Institut für Eisenhüttenkunde, Band 2/94. Technische Hochschule Aachen. Dissertation. Hrsg. W. Dahl, T. El Gammal, H.W. Gundenau. Verlag Shaker.
- HAMM, H. (1997): Neue Zulassung erforderlich. Natur (4), 32-34.
- HÄRIG, S., GÜNTHER, K., KLAUSEN, D. (1994): Technologie der Baustoffe. C.F. Müller Verlag, Heidelberg.
- HARTMANN, H., STREHLER, A. (1995): Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 3, Abschlußbericht für das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster. Kap. 4 Energie- und CO₂-Bilanzen.
- HEINEMANN, O. (1997): Flachserntetechnik - Erfahrungen und Entwicklungen. Landtechnik 52: 72-73.
- HEINTZ, A., REINHARDT, G.A. (1996): Chemie und Umwelt. 4. Auflage. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden.
- HELM, M. (1995): Prozeßführung bei der Kompostierung von organischen Reststoffen aus Haushalten. KTBL Schrift 371.
- HERAKLITH (1995): Rundschau - Das Heraklith Magazin für modernes Bauen. Heft 97, September 1995, A 9586 Fürnitz.
- HESCH, R. (1994a): Das Holztechnologisches Labor der Fachhochschule Lippe. Arbeitsschwerpunkte: Nachwachsende Rohstoffe, Membranpreßtechnik, Formpreßtechnik. Schriftreihe der FH Lippe, Heft 10, 32657, Lemgo, Deutschland.
- HESCH, R. (1995b): Hanfschäben für die Dämmstoffherstellung. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln.
- HESCH, R. (1995): Sonnenblumenstengel für die Industrie. Land und Forst 43(26): 10-11.

- HESCH, R. (1997): Technische und ökonomische Daten zu einem neuen Verfahren zur Aufbereitung von Hanf (Impact-Verfahren): Schriftliche Mitteilungen vom 31.10.1997, Lemgo.
- HESCH, R., MEYER, A., BECKMANN, F., HESCH, K. (1996): Hanf. Taoasis, Lemgo.
- HEUSER, N. (1997): Kreislaufwirtschaftsträger Bau, Bonn. Persönliche Mitteilung vom Dezember 1997.
- HOFBAUER, H. (1994): Charakterisierung von biogenen Brennstoffen und Verwertung von Holzaschen. In: Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz, Tagungsband zum ENET-Symposium 3, Schweizer Bundesamt für Energiewirtschaft.
- HOFFMANN, D. (1996): Toxikologie. In: Gausepohl, H. und Gellert, R., Polystyrol - Kunststoffhandbuch. Hrsg. Becker und Braun, Hauser Verlag, München Wien.
- HOMANN (1997): Produktinformation, Ökologie, Baubiologie. Homann Dämmstoffwerk GmbH & Co. KG., Berga.
- HÖPPNER, F. (1995): Zur Situation der Agrarpflanze Hanf in Deutschland. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln, S. 229ff.
- HÖPPNER, F., MENGE-HARTMANN, U. (1994): Anbauversuche zur Stickstoffdüngung und Bestandesdichte von Faserhanf. Landbauforschung Völkenrode 44: 314 - 324.
- HUISMANN, W., de MAEYER, E., FRERICHS, L. (1995): Harvest and storage of hemp. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff: Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln.
- IBO (1996a): IBO Produktprüfung. ISOFLOC Wärmedämmung. Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO), IBO-Verlag, Wien.
- IBO (1996b): IBO Produktprüfung: Homatherm Dämmplatten. Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO), IBO-Verlag, Wien.
- IFB (1994): Grundlagenermittlung zur Erarbeitung von Informationen über Fragen des gesunden Bauens und Wohnens im Zusammenhang mit Ausbaustoffen. W. Zapke und F. Blomensaht, Institut für Bauforschung e. V., Hannover.
- IGV (1996): Institut für Getreideverarbeitung GmbH. Ceralith® Wärmedämmstoff aus landwirtschaftlichen und naturnahen Rohstoffen. Produktinformation, Bergholz-Rehbrück.
- INDUSTRIEVERBAND HARTSCHAUM e.V. (1995): Styropor und Umwelt, Umweltverträgliches Bauen und Wohnen mit Styropor. Dämmpraxis 1.111.
- ISOFLOC (1992): Video zur Feuerprobe in Berlin 1992. Isofloc ökologische Bautechnik GmbH.
- ISOFLOC (1996): Fasern aus Dämmstoffen - Hintergrundinformation T-U-106/11.96. Isofloc ökologische Bautechnik GmbH.
- ISSELBACHER, K.J., BRAUNWALD, E., WILSON, J.D., MARTIN, J.B., FAUCI, A., KASPER, D.L. (1995): Harrisons Innere Medizin 1. Deutsche Ausgabe der 13. Auflage. Herausgeber Kurt J.G. Schmailzl. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin.
- IVPU (1997a): Industrieverband Polyurethan Hartschaum e.V. Verwertung (Recycling) und Entsorgung von PUR-Hartschaum-Abfällen. Blick in Wirtschaft und Umwelt 3/97: 30.
- IVPU (1997b): Industrieverband Polyurethan Hartschaum e.V. IVPU Nachrichten 60, 9/97.

- JAKOBI, N. (1997): Umweltbundesamt Berlin Sonderabfallentsorgung. Persönliche Mitteilung vom November 1997.
- JÖRDENS, R. (1996a): Die Forschungsförderung der Bundesregierung im Bereich "Lignocellulose". Symposium zur Vorstellung der wissenschaftlichen Studien zu den Themen 'Umsetzung der neuentwickelten umweltverträglichen Holzaufschlußverfahren' (Jaakko-Pöyry Deutschland GmbH) und 'Nebenproduktverwertung bei der Zellstoffgewinnung' (Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, BFH), FAL Braunschweig, Oktober 29-30, 1996.
- JÖRDENS, R. (1996b): Rahmenbedingungen für biologisch abbaubare Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Beitrag zur Fachtagung "Biologisch abbaubare Werkstoffe", 28./29.02.1996 in Würzburg.
- KARUS, M. (1998): Schriftliche Mitteilung, August 1998, nova-Institut GmbH, Hürth.
- KARUS, M. et al. (1996): Das Hanfproduktlinienprojekt. Studie des nova-Instituts, DBU-Projekt Nummer 07956, Hürth/Köln.
- KÄSER, R. (1997): Reportage: Sommerlicher Wärmeschutz. Stuck · Putz · Trockenbau 5/1997: 2-5.
- KEHL, S. (1990): Erfassung und Beurteilung der Belastung durch Isocyanate am Arbeitsplatz sowie im Wohnbereich. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Dissertation.
- KEHRES, B. (1994): Neue Märkte gesucht. Entsorga-Magazin, Entsorgungswirtschaft 7/8: 20-29.
- KEHRES, B. (1997): Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. Persönliche Mitteilung vom November 1997.
- KLEMENT, E. (1996): EPS und Umwelt. In: Thermoplastische Partikelschaumstoffe: aktueller Stand und Perspektiven. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik. Düsseldorf.
- KLIEGEL, W. (1980): Bor in Biologie, Medizin und Pharmazie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- KLOSE, G.-R. (1994): Recycling von Dämmstoffen. Isoliertechnik 2/94: 16-37.
- KLOSE, G.-R. (1997): Deutsche Rockwool Mineralwoll-GmbH. Persönliche Mitteilung vom Oktober 1997.
- KLUG, M. (1995): Bauen mit Hanf. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln.
- KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN UNION (1998): Agrarpreisvorschläge der Europäischen Kommission. In: AGRA-EUROPE 6/98, Sonderbeilage.
- KÖNIG, N. (1998): Wärmeschutz im Mauerwerkbau. In: Mauerwerk-Kalender 1998. Verlag Ernst & Sohn, München, S. 107-125.
- KREISLAUFWIRTSCHAFTS- UND ABFALLGESETZ vom 27.09.1994, BGBl. I.: 2705.
- KTBL (1995): Daten für die Betriebsplanung 1995/96. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Landwirtschaft. Münster-Hiltrup.
- KUHN, L. (1997): Mit Wolle und Papier. Wirtschaftswoche vom 17.7.1997: 77-79.

- KUNIG, P. (1996): Dokumentation zur Tagung der Gesellschaft für Umweltrecht e.V. am 31.10.1996. Kreislaufwirtschaft und Abfallgesetz - was ändert sich. Erich Schmidt Verlag, Berlin, S. 8-41.
- KÜNZEL, H. (1996): Dachdeckung und Dachbelüftung. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (1992): Informationsschrift Abfallarten, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (1995): Merkblatt M 10, Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost.
- LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU FORCHHEIM (1996): Hanf die wiederentdeckte Faserpflanze. Merkblätter für Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Heft 11, Rheinstetten.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER UND LANDWIRTSCHAFTSKAMMER WESER-EMS (1997): Nachwachsende Rohstoffe - Möglichkeiten und Chancen für den Energie- und Industriepflanzenanbau, Hannover und Oldenburg.
- LANGE, K. (1997): Homann Dämmstoffwerk GmbH & Co. KG. Persönliche Mitteilung vom Oktober 1997.
- LANGE, K. (1997): Die Hitze unter dem Dach. Herstellerbroschüre Fa. Homann Dämmstoffwerk GmbH & Co. KG, Berga.
- LANGE, U. (1998): Kosten der Gewinnung von Holzfasern. Mündliche Mitteilung anlässlich des Workshops "Chancen und Möglichkeiten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen" am 16. und 17. März 1998, Braunschweig.
- LARKIN, B.K., CHURCHILL, S.W. (1959): Heat transfer by radiation through porous insulations. American Institute of Chemical Engineers Journal 5: 467-473.
- LEHNER, L. (1996): Vorstellung der Marktanalyse. Symposium zur Vorstellung der wissenschaftlichen Studien zu den Themen 'Umsetzung der neuentwickelten umweltverträglichen Holzaufschlußverfahren' (Jaakko-Pöyry Deutschland GmbH) und 'Nebenproduktverwertung bei der Zellstoffgewinnung' (Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, BFH), FAL Braunschweig, Oktober 29-30, 1996.
- LEMKE, S., HÖFKEN, U. (1995): Die stoffliche Verwertung nachwachsender Rohstoffe - Impulse für den ländlichen Raum. Nachwachsende Rohstoffe - Strohfeuer oder Ausweg? Beiträge zum Hearing am 8/9 Juni 1995. Bündnis 90 Die Grünen, Bonn.
- LLOYD, J. (1996): Borax Consolidated Limited London. Antwortschreiben vom 18.09.1996 auf Anfrage nach Umweltwirkungen von Borsalzen bei Anwendung für nachwachsende Rohstoffe.
- LÖFFLAD, H. (1995): Das Recyclinghaus, eine material- und energieschonende Bauweise als globaler Kreislaufansatz. In: Bauen und Ökologie. Energie- und Ökobilanzen im Hochbau. Tagungsreader, 3. Bremerhavener Umwelt-Fachtagung.
- LOHMEYER, G. (1995): Praktische Bauphysik. B. G. Teubner, 3. Auflage, Stuttgart.
- LOHSE, G., RENKEWITZ, K., SCHURIG, L. (1995): Holzstaubbelastungen. Untersuchungsergebnisse aus der Holzbranche der neuen Bundesländer. Staub - Reinhaltung der Luft 55: 369-372.
- MANGELSDORF, I., PHLENZ-MICHEL, C. (1994): Toxikologische Beurteilung von Dämmstoffen aus künstlichen Mineralfasern. Institut für Toxikologie und

Umwelthygiene der Technischen Universität München. Hrsg. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.

- MARX, B. (1997): Baulicher Schallschutz und europäische Normung. *Lärmbekämpfung* 44: 117-119.
- MERINSKY, J. (1953): Entwicklungsgeschichtliches über die Putzbodenträger. In: Baravalle-Brackenburg, F. (Hrsg.) *Stauss Ziegel Gewebe; Formgebendes und konstruktives Element im Bauwesen*. Dipl.-Ing. R. Bohmann Industrie- und Fachverlag, Wien-Heidelberg.
- MEYER, H.G. (1995): Anmerkungen zu Bauregelliste A und Liste C. *Mitteilungen des DIBt* (6), 166ff.
- MICHANICKL, A., BOEHME, C. (1996): Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffen. *Holz- und Kunststoffverarbeitung* 4/96: 50-55.
- MIKADO (1997): Testverfahren prüfen. *Mikado* (12), 10ff.
- MOMBÄCHER, R. (1988): *Holz-Lexikon; Nachschlagewerk für die Holz- und Forstwirtschaft*. 6. Aufl.; DRW-Verlag, Stuttgart.
- MUHLE, H. (1996): Biobeständigkeit anorganischer und organischer Fasern. *Umwelttechnik Forum* 11, 2/96: 18-20.
- MURPHY, D.P.L., BEHRING, H., GEORG, H. UND WIELAND, H. (1998): Thermal insulation quality of bast fibres. *Proceedings of Ag. Eng '98, Oslo*.
- MURPHY, D.P.L., GEORG, H., BOCKISCH, F.-J. (1997): Development of a fibre crop processing infrastructure. In: *Biomass and energy crops. Aspects of Applied Biology* 49: 321-326.
- NEBEL, K.M. (1995): New processing strategies for hemp. *Journal of the International Hemp Association* 2(1). In: nova-Institut (Hrsg.), *Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995*. 3. Auflage, Köln, S. 312-316.
- NIKOLAISEN, L., NIELSEN, C., LARSEN, M.G., KELLER, P., KRAG, L. (1992): Stroh als Energieträger. Center für Biomasse-Technologie der dänischen Energiebehörde, Kopenhagen.
- NIKOLAISEN, L., NIELSEN, C., LARSEN, M.G., KELLER, P., KRAG, L. (1992): Stroh als Energieträger. Center für Biomasse-Technologie der dänischen Energiebehörde, Kopenhagen.
- ÖKOLOGISCHE VERBRAUCHERBERATUNG MAINFRANKEN e.V. (1995): *Tu was - Ökologisch bauen - aber wie?* Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- ÖKO-ZENTRUM NRW (1995): *Analyse des Marktes für ökologisches Bauen*. Öko-Zentrum NRW, Sachsenweg 8, 59073, Hamm, Germany.
- PAETZOLD, P. (1994): *Zur Einwirkung borhaltiger Komponenten im Wärmedämm-Material Isofloc auf Mensch und Umwelt*. Gutachten. Institut für Anorganische Chemie der Technischen Hochschule Aachen.
- PAVATEX (1996): *PAVATEX - Natürliche Materialien zum Bauen und Wohnen*. Produktinformation, Pavatex GmbH.
- POHLANDT, K. (1994): *Zusammensetzung, Verwertung und Entsorgung von mineralischen Rückständen aus der Verbrennung unbehandelter und behandelter Hölzer*. TU Braunschweig, Dissertation.

- PSCHYREMBEL (1994): Klinisches Wörterbuch, 257. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin New York.
- RÄUSCHEL, S., KRÖNING, U. (1997): Isofloc ökologische Bautechnik GmbH. Persönliche Mitteilung vom Oktober 1997.
- RECYKORK (1997): Lehmbausystem in der Praxis. Presse und Produktinformation Recykork. Werkstatt für Behinderte, Epilepsiezentrum Kork. Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft.
- RENNOCH, D. (1986): Physikalisch-chemische Analysen sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase. Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, Forschungsbericht 123.
- RENZ-RATHFELDER, S. (1992): Faserpflanzen. Palmengarten Sonderheft 18. Hrsg. Stadt Frankfurt am Main, Dezernat für Umwelt, Energie und Brandschutz. Pippert + Koch GmbH & Co KG, Frankfurt am Main.
- RICHTER, C. (1993): Neues Verfahren zur Herstellung von Dämmstoffen niedriger Dichte aus Holz und Einjahrespflanzen. Holz als Roh- und Werkstoff 51: 235-239.
- RICHTER, C. (1998): Preise für Holzfasern. Mündliche Mitteilung anlässlich des Workshops "Chancen und Möglichkeiten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen" am 16. und 17. März 1998, Braunschweig.
- RICHTER, C., SCHEIDING, W. (1995): Neue Möglichkeiten zur Herstellung von Dämmstoffen und Verpackungskörpern aus Dünnholz und Holzresten. Holz-Zentralblatt Nr. 2/3: 16-19.
- RINGLEB, A. (1996): Verfahrenstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen aus Lein und deren ökonomische und energetische Bewertung. Dissertation an der Technischen Universität München in Weihenstephan. Forschungsbericht Agrartechnik (VDI-MEG) 290.
- RINGLEB, A. (1998): Mündliche Mitteilung anlässlich des Workshops "Chancen und Möglichkeiten von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen" am 16. und 17. März, Braunschweig.
- ROBSON, J. (1998): Telefonische Mitteilung vom 30.3.1998.
- RÖSCH, C. (1996): Vergleich stofflicher und energetischer Wege zur Verwertung von Bio- und Grünabfällen - unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Baden-Württemberg. Institut für Technikfolgeabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 5857.
- RÖSCH, C., WINTZER, D., LEIBLE, L., NIEKE, E. (1996): Monitoring "Nachwachsende Rohstoffe" - Verbrennung von Biomasse zur Wärme und Stromgewinnung. Arbeitsbericht 41, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- SCHERZER, G. (1996): Herstellverfahren für EPS. In: Gausepohl H. und Gellert R., Polystyrol. Kunststoff Handbuch 4, Carl Hauser Verlag, München Wien.
- SCHMEKEN, W., SCHWADE, W. (1993): TA Siedlungsabfall. Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14. Mai 1993. GKU Verlagsgesellschaft.
- SCHMIDT, K., NEUSSER, H. (1986): Erforschung baubiologischer und bauphysikalischer Kennwerte. Kurzberichte aus der Bauforschung 97: 403-407.

- SCHNEIDER, K.-J. (1996): Bautabellen für Ingenieure. Werner Verlag, 12. Auflage, Düsseldorf.
- SCHOLZ, M. (1997): Deutsches Umweltbundesamt. Persönliche Mitteilung vom Dezember 1997.
- SCHUCHARDT, F. (1996): Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Persönliche Mitteilung vom Dezember 1996.
- SCHULTMANN, F., RENTZ, O. (1997): Abriß mit System. Müllmagazin 2/1997: 15-20.
- SCHULZ, H. (1993): Einsatz überschüssiger Schafwolle für technische Zwecke. Landtechnischer Verein in Bayern e.V. Gelbes Heft Nr. 48, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat für Landmaschinen und Energiewirtschaft.
- 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.
- SCHULZE DARUP, B. (1996): Bauökologie. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin.
- SCHULZE, H. (1994): Vorlesungsumdrucke. Institut für Baukonstruktion und Holzbau der TU Braunschweig.
- SCHUMACHER, W. (1961): Die Bedeutung der allgemeinen Zulassungen neuer Baustoffe und Bauarten im Rahmen der Technischen Baubestimmungen. Dissertation, TH Braunschweig.
- SCHUMM, M. (1996): Hohe Biolöslichkeit von KI-40-Mineralwollefasern nachgewiesen. Kurzbericht. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 56 (9), 332.
- SCHWARZ, B. (1994): Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsobjekt "Das Rosenheimer Haus"; Produktinformation, Baufritz GmbH, Erkheim/Allgäu.
- SCHWARZ, J. (1998): Ökologie im Bau. Entscheidungshilfen zur Beurteilung und Auswahl von Baumaterialien. 4. Auflage, Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart.
- SCHWEIZERISCHER INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREIN (1995): Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten. SIA-Dokumentation D 0123. Bearbeiter Intep AG und Steiger, P., Zürich.
- SDUNNUS, N. (1997): Flachshaus GmbH. Persönliche Mitteilung vom Dezember 1997.
- SHORROCKS, V.M. (1990): Behaviour, Functions and Significance of Boron in Agriculture. Report on an International Workshop, St. Johns College, Oxford, 23. - 25. July 1990, Micronutrient Bureau, Wigginton, Tring, England. Published by Borax Consolidated Ltd., London.
- SÖRENSEN, C. (1995): Die "ökologischen" Dämmstoffe. In: Wärmedämmstoffe im Vergleich. Umweltinstitut München e.V. (Hrsg.), Umweltinstitut München e.V..
- SÖRENSEN, C. (1997): Wärmedämmstoffe im Vergleich. Umweltinstitut München e. V., München, 6. Auflage.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1994, 1995, 1997): Ausgewählte Zahlen für die Agrarwirtschaft 1994, 1995 und 1996/97, Fachserie 3, Reihe 1, Wiesbaden.

- STATTBAUHOF (1995): Zellulosedämmstoff aus Altpapier. Produktinformation ISODAN - Planungsmappe, ökologisch bauen. Stattbauhof GmbH, Berlin.
- STEINER, B. (1997): Steiner GmbH. Persönliche Mitteilung vom November 1997.
- STIFTUNG WARENTEST (1996): Dachdämmung, Test 8/96, Sonderdruck.
- STRANDDORF, K., SCHMIDT, A., HANSEN ENGEL, L., JENSEN, A.A., THORSEN, M. (1995): Thermal insulation products. Impact assessment and criteria for eco-labelling. Department of Environmental Impact Assessment, Søborg, Denmark.
- SULTANA, C. (1988): Constraints and difficulties in harvest according to the ultimate use of the fibre and retting process. In: Marschall, G. (Hrsg.), Flax: Breeding and Utilisation, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, S. 93-106.
- SULTANA, C. (1996): Strategies for upgrading the income of flax growers. Proceedings of the 4th Workshop of the FAO Network on Flax. Rouen, France.
- SÜSSER, P. (1995): Prüfung und Bewertung der Kompostierbarkeit von Pavopor Trittschallplatten und Isolier-Natur-Dämmplatten der Pavatex GmbH. Institut für gewerbliche Wasserwirtschaft und Luftreinhaltung e.V.
- SVENSKA THERMOTRÄ (1997): Zellulose-Dämmstoff aus den schwedischen Wäldern, Produktinformation. Isofloc Ökologische Bautechnik GmbH, Hessisch-Lichtenau.
- SWEREDJUK (1998): Kosten der Wollwäsche. Telefonische Mitteilung vom 05.03.1998, Kempten.
- SYRING, O., WARNECKE, D. (1996): Entscheidungsgrundlagen für die Umsetzung eines Musterprojektes im Bereich "Nachwachsende Rohstoffe" am Beispiel der Nachfolgenutzung für die Zuckerfabrik Fallersleben. Kapitel 3.4: 168-187, Braunschweig.
- TEMAFA (1993): Flachs/Flax. Produktinformation. Temafa GmbH., Bergisch Gladbach.
- THIEL, N. (1997): Umweltinstitut München e.V. Persönliche Mitteilung vom Dezember 1997.
- THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1994): Thermische Abfallbehandlung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin.
- THOME-KOZMIENSKY, K.J. (1995): Biologische Abfallbehandlung. Enzyklopädie der Kreislaufwirtschaft, Berlin.
- TRAPPMANN, KÄSER (1997): Grünzweig + Hartmann AG. Persönliche Mitteilung vom Oktober 1997.
- TRÖGER (1998): Angaben zu Dämmstoffkosten. Mündliche Mitteilung.
- TSIVOS, C. (1995): Zur Toxizität von Brandgasen, die bei der Verschwelung und Verbrennung von Bau- und Dämmstoffen entstehen können und ihre Einwirkung auf die menschliche Gesundheit. Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Geowissenschaften der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Dissertation.
- TUBACH, M., NEBEL, K. (1997): Technologie der Hanfverarbeitung und die Bedeutung der Produktqualität für die Hanfverwertung. In: Hanf. Teil 2, Wissenschaftliche Untersuchung zum Thema "Anbau, Ernte und Aufbereitung sowie Verwendung von Hanf". Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" Band 7.

- UMWELTBUNDESAMT (1994): Untersuchungen zur Innenraumbelastung durch faserförmige Feinstäube aus eingebauten Mineralwolle-Erzeugnissen. Texte 30/94, Umweltbundesamt, Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (1997): Antwortschreiben vom 18.04.1997 auf Anfrage zur Rechtsetzung bei der Entsorgung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.
- USEMANN, K.W. (1996): Die neue Wärmeschutzverordnung (WSVO) für Gebäude. R. Oldenbourg Verlag, 2. Auflage, München.
- USEMANN, K.W., GRALLE, H. (1997): Bauphysik. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart/Berlin/Köln.
- VAN DAM, J.E.G., VAN VILSTEREN, G.E.T., ZOMERS, F.H.A., SHANNON, W.B., HAMILTON, I.T. (1994): Increased application of domestically produced plant fibres in textiles, pulp and paper production, and composite materials. Directorate-General XII, European Commission.
- VAN DER WERF, H. (1994): Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.): Doctoral Thesis, University of Wageningen (ISBN 90-9007171-7), The Netherlands.
- VDI (1997): Dämmstoff "frei von Krebsverdacht" eingestuft. VDI Nachrichten 47: 27.
- VOSS, G. (1996): Praktische Erfahrungen zum Werkstoffrecycling. In: Thermoplastische Partikelschaumstoffe: aktueller Stand und Perspektiven. Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik, Düsseldorf.
- VOSS, J., MITTENDORF, N., GRABBE, K. (1995): Prüfung der Kompostierbarkeit Kautschuk-beschichteter Holzwolle (HowoPack). Abschlußbericht zum Teilprojekt "Entwicklung von umweltfreundlichen und qualitativ hochwertigen Verpackungsmaterialien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe". Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- WAGNER, K. (1995): Abfall- und Kreislaufwirtschaft. Erläuterungen zu deutschen und europäischen Regelwerken. VDI Verlag.
- WALTER, I., ROOS, H.-J. (1996): Im Aufbruch - Bei der Bauabfallverwertung und der Vermarktung der Recyclingprodukte besteht Handlungsbedarf. Müllmagazin 3/1996: 40-45.
- WEGENER, G., ZIMMER, B., FRÜHWALD, A., SCHARAI-RAD, M. (1997): Ökobilanzen Holz. Informationsdienst Holz. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. München.
- WIELAND, H., MURPHY, D.P.L. (1997): Durability of flax fibre materials in buildings. Proceedings of the Flax and other bast plants. FAO Symposium, Institute of Natural Fibres, Poznan, Poland, S. 160-161.
- WILLKOMM, W. (1995): Umweltschonende Material- und Energiekreisläufe durch recyclinggerechtes Bauen. In: Bauen und Ökologie. Energie- und Ökobilanzen im Hochbau. Tagungsreader, 3. Bremerhavener Umwelt-Fachtagung.
- WINTZER, D., FURNISS, B., KLEIN-VIELHAUER, S., LEIBLE, L., LEICHSENRING, C., NIEKE, E., TANGEN, H. (1994): Modellversuch "Wärme- und Stromerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen". Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 1, Abteilung für angewandte Systemanalyse, Kernforschungszentrum Karlsruhe.
- WINTZER, D., FURNISS, B., KLEIN-VIELHAUER, S., LEIBLE, L., NIEKE, E., RÖSCH, CH., TANGEN, H. (1993): Technikfolgenabschätzung zum Thema Nachwachsende

- Rohstoffe. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, (BML). Landwirtschaftsverlag GmbH, 48165, Münster.
- WIRTZ, W. (1996): Mineralfaser: Besser & Billiger – 16 Dämmstoffe im Vergleich. Sonderdruck Natur 12/1996.
- ZIMMER, H., KLOSS, K. D. (1995): Ultrasonic breakdown of hemp. In: nova-Institut (Hrsg.), Biorohstoff Hanf. Tagungsband zum Symposium, Frankfurt am Main, 2.-5. März 1995. 3. Auflage, Köln, S. 335-350.
- ZIPSE, L. (1997): Firma Zipse, mündliche Mitteilung vom 08.11.1997.
- ZMP (1997): ZMP-Bilanz Vieh und Fleisch 1997, Deutschland, EU, Weltmarkt. Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH., Bonn.
- ZWIENER, G. (1995): Ökologisches Baustoff-Lexikon. 2. Auflage, Müller Verlag GmbH, Heidelberg.

15 Anhang

Teil I

Dämmstoffe, gegliedert nach ihrer Verwendung

Teil II

Auswahl relevanter technischer Regeln (EN- und DIN-Normen)

Teil III

Produktkompendium

Teil I

Dämmstoffprodukte, gegliedert nach ihrer Verwendung

Dachdämmung

1. Flachdach
2. Gefälledach
3. Steildachdämmung auf dem Sparren
4. Steildachdämmung zwischen den Sparren
5. Steildach unter den Sparren
6. Hohlraumdämmung

Tabelle 2.8: Dachdämmung - Konventionelle Dämmstoffe

| Material | Form | Anwendungsbereiche | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------|-----------|----------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Calcium-Silikat | | | | | | WD, WS | |
| Foamglas | Platten | WDS, WDH | | | | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | |
| Glaswolle | Platten | | | W | W, WL | | |
| | Vlies | | | W, | W, WL | W, WL | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Glimmerstein | | | | | | | * |
| Perlite | Platten | * | | | * | | |
| | Flocken/Lose | * | | | * | | * |
| Polyester Faser | Platten | | | | W, WL | W, WL | |
| | Vlies | | | | | | |
| Polystyrol | Platten | W, WD, WS | W, WD, WS | W, WD, WS | W | W, WD,WS | |
| Expand. Partikelschaum | Flocken/Lose | | | | * | | * |
| Polystyrol | Platten | WD, WS | WS, WS | WD, WS | W, WD | WD, WS | |
| Extr. Hartschaum | | | | | | | |
| Polyurethan | Platten | WD, WS | WD, WS | WD, WS | WD | WD, WS | |
| Risol-Hartschaum | | WD | | | | | |
| Steinwolle | Platten | W, WD, | WD | W, WD | W, WL, WV | W, WL | |
| | Streifen | | | WV | | | |
| | Vlies | | | | W, WL | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Vermiculite | Flocken/Lose | | * | * | | | * |

Tabelle 2.9: Dachdämmung – Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

| Material | Form | Anwendungsgebiete | | | | | |
|------------------------------|--------------|-------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Baumwolle | Matten | | | | W | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | |
| Getreide | Flocken/Lose | | | | * | | * |
| Flachsfaser | Matten | | | | W, WL | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Hanffaser | Platten | | | | W, WL | | |
| Hanfschäben | Flocken/Lose | | | | | | |
| Holzfaser | Platten | | | * | | W | |
| Holzspäne | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Holzwolle | Platten | | | W, WD, WV, WB, WS | W, WD, WV, WB, WS | W, WD, WV, WB, WS | |
| Kokos | Matten | | | | * | | |
| Kork | Platten | | | | * | WD | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Schafwolle | Matten | | | | W, WL | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Schilfrohr | Platten | | | | * | * | |
| Zellulose | Flocken/Lose | | | | * | | * |
| Zellulose/Jute | Platten | | | | W, WL, WV | | |
| Zellulose/ Calciumsilikat | Platten | | | | | WD, WS | |
| Sonnenblumen- stengel | Platten | | | | * | * | * |
| Stroh (Getreide) | Platten | | | * | * | * | |

Wanddämmung

1. Außendämmung mit Hinterlüftung
2. Außendämmung ohne Hinterlüftung
3. Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
4. Innendämmung
5. Hohlraumdämmung

Tabelle 2.10: Wanddämmung - Konventionelle Dämmstoffe

| Material | Form | Anwendungsgebiete | | | | |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-----------|-----------|---------------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Foamglas | Platten | | WDS, WDH | | | |
| Glaswolle | Platten | W | W | WD, WV | W, WV | |
| | Matten | | | | WL | |
| | Flocken/Lose | | | | | * |
| Perlite | Flocken/Lose | | | | | * |
| Polyester Faser | Platten | | | | * | |
| | Vlies | | | | * | |
| Polystyrol | Platten | W, WD, WS, WV | W, WD, WS | W, WD, WS | W, WD, WS WV, WB | |
| Expand. Partikel- schaum | Flocken/Lose | | | | | * |
| Polystyrol | Platten | WS, WD, WS | W, WD, WS | W, WD, WS | WD, WS | |
| Extr. Hartschaum | | | | | | |
| Polyurethan | Platten | WD, WS | W, WD, WS | WD, WS | | |
| Steinwolle | Platten | W, WV | W, WV | WD, WV | W, WD, WV, WB | |
| | Vlies | | | | WL | |
| | Flocken/Lose | | | | | * |

Tabelle 2.11: Wanddämmung – Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

| Material | Form | Anwendungsbereiche | | | | |
|--------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Baumwolle | Matten | | | | W, WL | |
| | Flocken/Lose | | | | | * |
| Getreide | Flocken/Lose | | | | | * |
| Flachsfaser | Matten | | | | W, WL | |
| | Flocken/Lose | | | | | * |
| Hanffaser | Platten | | | | W, WL | |
| Holzfaser | Platten | * | | | W | |
| Holzspäne | Flocken/Lose | | | | | * |
| | | | | | | |
| Holzwolle | Platten | W, WD, WB, WV, WS | W, WD, WB, WV, WS | W, WD, WV, WB, WS | | |
| Kokos | Matten | | | | * | |
| Kork | Platten | WD | WD | WD | WD | |
| | Flocken/Lose | | | | | * |
| Schafwolle | Matten | | | | W, WL | |
| | Flocken/Lose | | | | | * |
| Schilfrohr | Platten | * | * | * | * | |
| Stroh | Platten | | | | * | |
| Zellulose | Flocken/Lose | | | | | * |
| Zellulose/Jute | Platten | W, WL, WV | W, WL, WV | W, WL, WV | W, WL | |
| Zellulose/Calciumsilikat | Platten | | | | WD, WS | |

Decken- und Fußbodendämmung

1. Druckbelastbare Boden- und Deckendämmung
2. Nicht druckbelastbare Boden- und Deckendämmung
3. Akustikdecken
4. Trittschalldämmung
5. Kellerdeckendämmung
6. Hohlraumdämmung

Tabelle 2.12: Decken- und Fußbodendämmung - Konventionelle Dämmstoffe

| Material | Form | Verwendungsbereiche | | | | | |
|--------------------|--------------|---------------------|-----------|-----------|------------------|---------------|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Blähton | | | | | | | * |
| Foamglas | Platten | WDH, WDS | | | | | |
| Gips | | | | | | | * |
| Glaswolle | Platten | | | W, WL | T, TK | | |
| | Matten | | WL | W, WL | | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Glimmergestein | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Perlite | Platten | WD, WS | | | TK | | * |
| | Flocken/Lose | | | | | | |
| Polyethylen | Platten | | | | T, TK | | |
| Polystyrol | Platten | W, WD, WS | W, WD, WS | W, WD, WS | W, WD, WS, T, TK | W, WD, WS, WV | |
| Exp. Partikelschm. | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Polystyrol | Platten | WD, WS | WD, WS | WD, WS | WD, WS, T, TK | WD, WS | |
| Extr. Hartschaum | | | | | | | |
| Polyurethan | Platten | WD, WS | WD, WS | WD, WS | WD, WS, T, TK | | |
| Resol-Hartschaum | Platten | | | | | | |
| Steinwolle | Platten | | W, WL, WV | W | T, TK | WD, WS | |
| | Vlies | | WL | | | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Vermiculite | Flocken/Lose | | | | | | * |

Tabelle 2.13: Decken- und Fußbodendämmung – Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

| Material | Form | Anwendungsgebiete | | | | | |
|------------------------------|---------------|-------------------------|--------------|-------|----|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Baumwolle | Matten | | W | | | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | W |
| Getreide | Flocken/Lose | | | | | | |
| Flachsfasern | Matten | | W, WL | * | | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | |
| Hanffasern | Platten, Filz | | W, WL | | | | * |
| Hanfschäben | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Holzfaser | Platten | W | | | TK | | |
| Holzspäne | Flocken/Lose | | | | | | |
| Holzwolle | Platten | W, WD, WV, WB, WS | | | | | |
| Kokos | Matten | | * | | | | |
| Kork | Platten | WD | | | TK | | * |
| | Flocken/Lose | | | | | | |
| Schafwolle | Matten | | W, WL | W, WL | | | |
| | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Schilfrohr | Platten | | * | | | | |
| Stroh | Platten | | | | | | |
| Zellulose | Flocken/Lose | | | | | | * |
| Zellulose/Jute | Platten | | W, WL, WV | | | | |
| Zellulose/ Calciumsilikat | Platten | WD, WS | | | | | |

Teil II

Auswahl relevanter technischer Regeln (EN- und DIN-Normen)

Für alle Normen und ähnliche technische Regeln ist jeweils die letzte Ausgabe ihres Erscheinens maßgebend.

VDI Richtlinie 4100 Schallschutz von Wohnungen (09/1994)

DIN 4102

Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen;
[Generaltitel]

- 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen (01/1998)
- 2: Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen (09/1977)
- 3: Brandwände und nichttragende Außenwände (09/1977)
- 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe,
Bauteile und Sonderbauteile
- 8: Kleinprüfstand
- 15: Brandschacht
- 16: Durchführung von Brandschachtprüfungen (01/1998)
- 17: Schmelzpunkt von Mineralfaser-Dämmstoffen

DIN EN ISO 7345

Wärmeschutz (01/1996)

DIN EN 822

Bestimmung der Länge und Breite (11/1994)

DIN EN 823

Bestimmung der Dicke (11/1994)

DIN EN 824

Bestimmung der Rechtwinkligkeit (11/1994)

DIN EN 825

Bestimmung der Ebenheit (11/1994)

DIN EN 826

Bestimmung des Verhaltens bei Druckbeanspruchung

DIN EN 832

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden für Wohn- und wohnähnliche Nutzung

DIN EN 316

Holzfasерplatten; Definition (08/1993)

DIN EN 1602

Wärmedämmstoffe für das Bauwesen; Bestimmung der Rohdichte (07/1997)

DIN EN 1603

Bestimmung der Dimensionsstabilität im Normalklima (07/1997)

DIN EN 1604

Bestimmung der Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur- und
Feuchtebedingungen (07/1997)

DIN EN 1605

Bestimmung der Verformung bei definierter Druck- und
Temperaturbeanspruchung (07/1997)

| | |
|---|------------|
| DIN EN 1606 | |
| Bestimmung des Langzeitkriechverhaltens bei Druckbeanspruchung | (07/1997) |
| DIN EN 1607 | |
| Bestimmung der Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene | (07/1997) |
| DIN EN 1608 | |
| Bestimmung der Zugfestigkeit in Plattenebene | (07/1997) |
| DIN EN 1609 | (07/1997) |
| Bestimmung der Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisen Eintauchen | |
| ISO 9164 | |
| (Berechnungsgrundlage für Bilanzierungsverfahren) | |
| DIN EN ISO 9229 | |
| Thermal insulation-materials, products and systems | (06/1997) |
| DIN EN ISO 9272 | (06/1997) |
| Wärmeschutz - Bestimmung der Luftdichtheit von Gebäuden; Differenzdruckverfahren | |
| DIN EN ISO 10456 | |
| (Rechnorm für Bemessungsrechenwerte) | |
| E DIN EN ISO 13792 | (10/1997) |
| Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik; Allgemeine Kriterien für vereinfachte Berechnungsverfahren | |
| DIN 4108 | |
| Wärmeschutz im Hochbau | |
| - 1: Größen und Einheiten | |
| - 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung, Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung | (08/1981) |
| - 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung | (08/1991) |
| - 4: Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte | (11/1995) |
| - 5: Berechnungsverfahren | (08/1981) |
| - 6: (als Vornorm: zur Luftdichtheit von Gebäudehüllen) | |
| (Entwurf: Beiblatt 1: Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen) | (03/1995)) |
| DIN 4701 | |
| Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden | (1983) |
| - 1: Grundlagen der Berechnung | |
| - 2: Tafeln, Bilder, Algorithmen | |
| DIN 50014 | |
| Klimate und ihre technische Anwendung; Normalklimate | |
| DIN 51066 | |
| Bestimmung der Längenänderung fester Körper unter Wärmeeinfluß | |
| DIN 52272-1 | |
| Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen; Druckversuch; Ermittlung der Druckspannung und Druckfestigkeit | |
| DIN 52274 | |
| Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen; Abreißfestigkeit; Ermittlung senkrecht zur Dämmschichtebene | |

DIN 52275-1

Prüfung von Mineralfaser-Dämmstoffen; Bestimmung der linearen Maße und der Rohdichte; ebene Erzeugnisse

DIN 52611

Wärmeschutztechnische Prüfungen

- 1: Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Wänden und Decken; Prüfung im Laboratorium. (1991)

- 2: Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Wänden und Decken; Weiterbehandlung der Meßwerte für die Anwendung im Bauwesen (1990)

Teil 1 ersetzt durch:

DIN EN ISO 8990

Bestimmung der Wärmedurchgangseigenschaften im stationären Zustand; Verfahren mit dem kalibrierten und dem geregelten Heizkasten (09/1996)

DIN 52612

Wärmeschutztechnische Prüfungen - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät

- 1: Durchführung und Auswertung (09/1979)

- 2: Weiterbehandlung der Meßwerte für die Anwendung im Bauwesen (06/1984)

DIN 52615

Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen, Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung (11/1987)

DIN 52616

Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Wärmestrommeßplattengerät (1977)

DIN 52617

Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen (05/1987)

DIN 52620

Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen; Ausgleichsfeuchtegehalt bei 23 °C und 80 % relativer Luftfeuchte (04/1991)

Die vorangegangenen Normen DIN 52612 und DIN 52616

sollen teilweise durch folgende Norm ersetzt werden:

DIN EN 12664

Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommeßplattengerät

DIN 4109

Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise (1989)

Beiblatt 1: Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren

Beiblatt 2: Hinweise für Planung und Ausführung, Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz, Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich

Beiblatt 3: Berechnung von R'_{wR} für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Laboratorium ermittelten Schalldämm-Maßes R_w

DIN EN ISO 717

Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen

- 1: Luftschalldämmung (01/1997)

- 2: Trittschalldämmung (01/1997)

DIN 52210

Bauakustische Prüfungen, Luftschalldämmung und Trittschalldämmung

- 1: Meßverfahren (1984)

- 2: Prüfstände für Schalldämm-Messungen an Bauteilen (1984)

- 3: Prüfung von Bauteilen in Prüfständen und zwischen Räumen am Bau (1987)

- 4: Ermittlung von Einzahlangaben (1984)

- 5: Messung der Luftschalldämmung von Außenbauteilen am Bau (1985)

- 6: Bestimmung der Schallpegeldifferenz (1989)

- 7: Bestimmung des Schall-Dämm-Maßes (1989)

DIN 52212

Bauakustische Prüfungen; Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum (1961)

DIN 52213

Bauakustische Prüfungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes

DIN 52214

Bauakustische Prüfungen; Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von Dämmschichten für schwimmende Estriche (1984)

DIN 52217

Flankenübertragung; Begriffe. (1984)

DIN EN ISO 29052-1

Akustik - Bestimmung der dynamischen Steifigkeit (Ersatz für DIN 52214)

DIN EN 29053

(Schalldämmstoffe für das Bauwesen: Bestimmung des längenbezogenen Strömungswiderstandes: r)

DIN EN ISO 140

(10/1997)

Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen

- 1: Anforderungen an Prüfstände mit unterdrückter Flankenübertragung

- 3: Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen in Prüfständen

- 8: Messung der Trittschalldämmung durch Deckenauflage auf massiver Unterdecke

DIN EN 11654

(7/1997)

Akustik - Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden - Bewertung der Schallabsorption

DIN 52615 soll ersetzt werden durch:

E DIN EN ISO 12572

(9/1997)

Baustoffe - Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit

DIN EN 12085

Wärmedämmstoffe für das Bauwesen - Bestimmungen der linearen Maße von Probekörpern

DIN EN 12086

Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit (ersetzt teilweise DIN 52615 und DIN 18174)

DIN EN 12087

Bestimmung der Wasseraufnahme bei langzeitigem Eintauchen (ersetzt teilw. DIN 18165-1)

DIN EN 12088

| | |
|--|------------------------|
| Bestimmung der Wasseraufnahme durch Diffusion (Umkehrdach, Perimeterdämmung) (ersetzt teilweise DIN 18165-1) | (08/1997) |
| DIN EN 12089 Bestimmung des Verhaltens bei Biegebeanspruchung (ersetzt teilweise DIN 1101) | (08/1997) |
| DIN EN 12090 Bestimmung des Verhaltens bei Scherbeanspruchung | (08/1997) |
| DIN EN 12091 Bestimmung des Verhaltens bei Frost-Tau-Wechselbeanspruchung (ersetzt teilweise DIN 18165-1) | |
| E DIN EN 12354 Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - 3: Luftschalldämmung gegen Außengeräusche - 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie | |
| DIN 1101 Holzwohle-Leichtbauplatten und Mehrschichtleichtbauplatten als Dämmstoffe für das Bauwesen - Anforderungen, Prüfung | (11/1989) |
| DIN 1102 Holzwohle-Leichtbauplatten und Mehrschichtleichtbauplatten als Dämmstoffe für das Bauwesen - Verarbeitung, Verarbeitung | (11/1989) |
| DIN 18200 Überwachung (Güteüberwachung) von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten; Allgemeine Grundsätze | (12/1986) |
| DIN 18159 Schaumkunstschäume als Ortschäume für das Bauwesen | (12/1991) |
| DIN 18161 Korkerzeugnisse als Dämmstoffe für das Bauwesen - 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung - 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung | (12/1976) |
| DIN 18164 Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen - 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung - 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung | (03/1991) (08/1992) |
| DIN 18165 Faserdämmstoffe im Bauwesen - 1: Dämmstoffe für die Wärmedämmung - 2: Dämmstoffe für die Trittschalldämmung | (07/1991) (03/1987) |
| DIN 18174 Schaumglas als Dämmstoff für das Bauwesen | (01/1981) |
| DIN 68752 Bitumen-Holzfaserdämmplatten; Gütebedingungen | (1974) |
| DIN 68755 Holzfaserdämmplatten für das Bauwesen; Begriff, Anforderungen, Prüfung, Überwachung | (07/1992) |

| | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---------|---|-----|------------|--|--|-----------|--|
| DIN 68800-2 | | | | | | | | | |
| Holzschutz - Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau | | | | | | | | (05/1996) | |
| DIN EN 622 | | | | | | | | (08/1997) | |
| Anforderungen an Holzfaserplatten | | | | | | | | | |
| Teil 1: Faserplatten | | | | | | | | | |
| Teil 4: poröse Platten | | | | | | | | | |
| DIN IEC 68-2 bis 10 | | | | | | | | (04/1991) | |
| Elektrotechnik; Grundlegende | Umweltprüfverfahren; | Prüfung | J | und | Leitfaden: | | | | |
| Schimmelwachstum | | | | | | | | | |

Teil III

Produktkompendium

Ein Großteil der Literatur und des Marktes teilen die biogenen Dämmstoffe nach ihrem Haupt-Rohmaterialbestandteil ein. Daher werden die Dämmstoffe in diesem Kompendium kurz bezüglich ihres Haupt-Rohmaterialbestandteils beschrieben. Die biogenen Dämmstoffe umfassen Haupt- und Nebenprodukte der heimischen Landwirtschaft, Holzprodukte, Recycling-Produkte und Produkte aus Importware.

Tabelle 6.1: Rohstoffe für biogene Dämmstoffe in Bezug zu ihrer Herkunft

| | |
|--------------------------------------|--|
| Heimische Hauptprodukte | Heimisches Nebenprodukt |
| Hanffasern Roggen | Flachswerg Hanfschäben Schafwolle Stroh |
| Holzprodukte | |
| Holzfaser Holzwolle Zellulose | |
| Importware | Recycling Rohstoffe |
| Baumwolle Kork Kokos Schilf | Zellulose |

Heimische landwirtschaftliche Hauptprodukte

Hanffasern

Zur Zeit ist Hanf die einzige Pflanze, die in Deutschland für die Produktion von Dämmstoffen angebaut wird. Das Produkt, was hier in Frage kommt, ist "Thermo-Hanf", das im Werk der ROWAF Rothmund GmbH & Co. (Aalen) für die Badische Naturfaser Aufbereitung GmbH in Malsch hergestellt wird. Das Produkt wurde im Februar 1998 zugelassen. Angaben zum Produkt sind in Tabelle 6.2 aufgeführt.

Tabelle 6.2: Produktdaten von "Thermo-Hanf"

| | |
|--------------------------------------|---|
| Material | Hanffasern (ca. 80 %) Polyesterfasern (ca. 15 %) |
| Form | Platten (2,8 x 2.0 m) |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 20 – 70 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 045 (20 - 40 kg m ⁻³) 040 (40 - 70 kg m ⁻³) |
| Brandverhalten | B2 (normal entflammbar) |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl | 1 – 2 |
| Anwendungstyp | W (nicht druckbelastbar, z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer) WL (nicht druckbelastbar, z. B. für Dämmungen zwischen Sparren und Balkenlagen) |

Neben dem Wärmedämmstoff "Thermo - Hanf" sind eine Reihe von Trittschalldämmstoffen vorhanden. Beispiele sind die Produkte der Hanf Fabrik GmbH in Zehdenick und der Otto Heck GmbH & Co. KG in Gummersbach. Diese Produkte bestehen meist aus vernadeltem Filz, der oft mit Papier kaschiert ist. Tabelle 6.3 bietet einen Überblick über die Produkte, die von der Firma Otto Heck GmbH erhältlich sind.

Tabelle 6.3: Eigenschaften des Trittschalldämmfilz-Produkts der Firma Otto Heck GmbH

| Produkt | Dicke (mm) | Dichte (kg m ⁻³) |
|--------------------------------------|------------|------------------------------|
| HLP 3 mm Hanf-Laminat Parkettdämmung | 3 | 167 |
| Estrarand (Estrichrandstreifen) | 5 | 150 |
| Estradämm (Estrichabdämmung) | 15 | 100 |

Roggenschrot

Ceralith ® ist ein poröses Granulat, das aus Roggenschrot oder Roggenmehl, Kalk, Zement, Gesteinsmehl und einem Hydrophobierungsmittel auf Kieselsäurebasis hergestellt wird. Die Vermarktung dieses Materials hat gerade erst begonnen.

Tabelle 6.4: Dämmstoffe auf Roggenmehl- oder Roggenschrot-Basis (IGV 1996)

| | Ceralith ®150 | Ceralith ® 100 |
|-------------------------------------|---|---|
| Hersteller/Vertrieb | IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH | IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH |
| Material | Roggenmehl oder Roggenschrot, Kalk, Zement, Gesteinsmehl und Hydrophobierungsmittel | Roggenmehl oder Roggenschrot, Kalk, Zement, Gesteinsmehl und Hydrophobierungsmittel |
| Form | poröses Granulat | poröses Granulat |
| Schüttgewicht (kg m ⁻³) | 150 – 190 | 90 - 110 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 065 | 050 |
| Setzmaß für Böden und schräge Wände | 0,5 % | 2,6 % |
| Brandverhalten | B2 | B2 |
| Anwendungstyp | Schüttung für Wärme-, Trittschall- und Luftschalldämmung | |

Heimische landwirtschaftliche Nebenprodukte

Flachswerg

Flachswerg (ein Nebenprodukt der Langfaserproduktion) wird als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Wärmedämmstoffen aus Flachs verwendet. Wie andere feinaufgeschlossene Flachsfasern kann Flachswerg direkt dazu verwendet werden, Mineralwolleprodukte zu ersetzen. Es können hiermit Produkte mit einer Dichte von 25 - 30 kg m⁻³ hergestellt werden, die zur WLG 040 gehören. Zur Zeit vertreiben 3 Firmen in Deutschland Dämmstoffe aus Flachswerg: die Firma Steiner GmbH (Flintsbach), die Firma Flachshaus GmbH (Giesendorf) und die Firma Deutsche Heraklith GmbH (Simbach am Inn).

Tabelle 6.5: Technische Daten zu Produkten aus Flachsfasern

| | ISO-FLACHS Dämmatten | Flachs- Dämmplatte DP | HERAFLAX-SF 040 | HERAFLAX-SP 040 |
|--|---|--|--|--|
| Hersteller/ Vertrieb | Steiner GmbH | Flachshaus GmbH | Deutsche Heraklith GmbH | Deutsche Heraklith GmbH |
| Material | Flachs, textile Stützfasern, Borsalz (4 %) | Flachs, Kartoffelstärke, Borsalz | Flachs (80 – 90 %), textile Stützfasern (ca. 15 %), Ammoniumphosphate | Flachs (80 – 90 %), textile Stützfasern (ca. 15 %), Ammoniumphosphate |
| Form | Vlies | Platten | Vlies | Platten |
| Dicke (mm) | 10, 60, 80, 100 | 40 – 200 | 30, 40, 50, 60, 80, 100 | 120, 140, 160 |
| Breite (mm) | 500, 600, 650, 700, 800, 900, 1000, 1200 | 625 | 600, 625, 700, 800 | 600, 700, 800, 900, 1000 |
| Länge (m) | 10 | 1 | 3 – 10 | 1,2 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 20 - 40 | ca. 30 | 20 - 40 | 20 - 40 |
| Wärmeleitfähig- keitsgruppe | 040 | 040 | 040 | 040 |
| Wasserdampf- diffusionswider- standszahl μ | 1 - 2 | 1 | 1 - 2 | 1 - 2 |
| Zugfestigkeit (N mm ⁻²) | 0,058 | - | - | - |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp | W (nicht druckbelastbar, z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer) WL (nicht druckbelastbar, z. B. für Dämmungen zwischen Sparren und Balkenlagen) | | | |

Zusätzlich zu den oben genannten Produkten stellen die Firmen Flachshaus GmbH und Steiner GmbH Filze zur Trittschalldämmung her.

Hanfschäben

Bei der Verarbeitung von einer Tonne Hanfstroh fallen etwa 500 - 650 kg Schäben an. Trotzdem sind die Schäben ein Nebenprodukt, obwohl sie den größten Teil der Ernte bilden. Die Verwendung der Schäbenfraktion ist ein wichtiger Teil der Wirtschaftlichkeit der Hanfproduktion, und daher sind Dämmstoffe aus Hanfschäben eine wichtige Produktgruppe im Hanfbereich. Im Augenblick gibt es lediglich einen Hersteller von Dämmstoffen aus Hanfschäben auf dem deutschen Markt. Angaben zu dessen Produkten sind in Tabelle 6.6 dargestellt.

Tabelle 6.6: Technische Daten zu Produkten aus Hanfschäben

| | MEHABIT S | MEHAKORK | MEHAPOR |
|----------------------------------|--|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | MEHA Dämmstoffe GmbH | | |
| Material | Hanfschäben, Bitumen | Hanfschäben, Bitumen, Ton- und Korkgranulatzusatz | Hanfschäben, Bitumen, Tongranulatzusatz |
| Form | Schüttung | Schüttung | Schüttung |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | ca. 150 | ca. 130 | ca. 205 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 060 | 050 | 070 |
| Trittschallverbesserungsmaß (dB) | 19 - 26 | 19 - 26 | 19 - 26 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungsbereiche | Dämm- und Ausgleichschüttung für den Fußbodenbau | Dämm- und Ausgleichschüttung für den Fußbodenbau | Dämm- und Ausgleichschüttung für den Fußbodenbau |

Schafwolle

Zusammen mit Flachs ist Schafwolle eng mit dem Markt für ökologische Dämmstoffe verbunden. Angaben zu auf dem Markt befindlichen Produkten sind in den Tabellen 6.7a bis 6.7c dargestellt.

Tabelle 6.7a: Technische Daten zu Produkten aus Schafwolle

| | Alchimea lana | Clima Wool | grabowoll | Doscha Wolle Isoliermatte DRP |
|--|---|--|--------------------------------|---|
| Hersteller/Vertrieb | Alchimea Naturwaren GmbH | Klöber GmbH | Forster Recycling GmbH | Fritz Doppelmayr GmbH |
| Material | Schafschurwolle, Borsalz, Eisenoxid, Kalk, Tonerde, Naturkautschukmilch | Schafschurwolle (85 %) Textilfaser (15 %) | 100 % deutsche Schafschurwolle | reine Schafwolle Sulcofuron-Natriumsalz (0,3 %) |
| Form | Vlies | Platten | Vlies | Vlies |
| Dicke (mm) | 60, 80 | 30, 40, 50, 70, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 | auf Anfrage | 80, 110, 140, 170 |
| Breite (mm) | 550 - 850 | 400 – 1000 | auf Anfrage | 550 - 800 |
| Länge (m) | | 1,2 | auf Anfrage | 6 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | - | 25 | - | 25 - 60 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 040 | 040 | 040 | 040 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 | 1 – 2 | | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp | W (nicht druckbelastbar, z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer) WL (nicht druckbelastbar, z. B. für Dämmungen zwischen Sparren und Balkenlagen) | | | |

Tabelle 6.7b: Technische Daten zu Produkten aus Schafwolle

| | Doscha Wolle Dämmplatte WPP | Doscha Wolle Schalldämmplatten | Doscha Wolle Isoliermatten | Doscha Wolle lose Wolle |
|--|---|--|---|------------------------------------|
| Hersteller/Vertrieb | Fritz Doppelmayer GmbH | | | |
| Material | Schafschurwolle, Sulcofuron- Natriumsalz (0,3 %) | Schafschurwolle, Sulcofuron- Natriumsalz (0,3 %) | Schafschurwolle Sulcofuron- Natriumsalz (0,3 %) Alufolie-kaschiert | reine Schaf- schurwolle |
| Form | Platte | Platte | Vlies | lose |
| Dicke (mm) | 40, 60, 80, 100 | 20, 30, 40, 50 | 20, 30, 40, 50 | - |
| Breite (mm) | 625 | 600 | 500 | - |
| Länge (m) | 1,25 | 1 | 6 | - |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 25 - 60 | 25 - 60 | 25 - 60 | 25 - 60 |
| Wärmeleitfähig- keitsgruppe | 040 | 040 | 040 | 040 |
| Wasserdampf- diffusionswiderstands- zahl μ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp | W (nicht druckbelastbar, z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer) WL (nicht druckbelastbar, z. B. für Dämmungen zwischen Sparren und Balkenlagen) | | | |

Tabelle 6.7c: Technische Daten zu Produkten aus Schafwolle

| | LAMISOL | LAMISOL | Herawool NF 040 | Herawool BF/BP 040 |
|--|----------------------------|---|--|--|
| Hersteller/Vertrieb | Schülke Lammer | Schülke Lammer | Deutsche Heraklith GmbH | Deutsche Heraklith GmbH |
| Material | Schafschurwolle Borsalz | Schafschurwolle Borsalz | Schafschurwolle mit zusätzlicher Textilfaser, Borsalz, Harnstoffderivat | Schafschurwolle mit zusätzlicher Textilfaser, Borsalz, Harnstoffderivat |
| Form | Filz | Filz | Vlies | Platten oder Vlies |
| Dicke (mm) | 3,5; 7; 10 | 50; 80 | bis zu 100 | Platte ab 180, Vliese bis 160 |
| Breite (mm) | 2000 | 600, 700, 800 | 600, 700, 800, 900, 1000 | 600, 700, 800, 900, 1000 |
| Länge (m) | 25 | 10 | 2,5 - 4,0 | 1,2 - 3,0 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 100 | - | 25 | 25 |
| Wärmeleitfähig- keitsgruppe | 035 - 040 | 040 | 040 | 040 |
| Wasserdampf- diffusions- widerstandszahl μ | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp | Schalldämmung | W (nicht druckbelastbar, z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer) WL (nicht druckbelastbar, z. B. für Dämmungen zwischen Sparren und Balkenlagen) | | |

Zusätzlich zu den aufgeführten Produkten liefern die Hersteller auch Produkte (wie die Fritz Doppelmeyer GmbH) in loser Form.

Getreidestroh

Trotz einer ganzen Reihe Produkt-Prototypen von Dämmstoffen aus Getreide, Mais- und Sonnenblumenstroh ist momentan nur ein Produkt aus Stroh auf dem deutschen Markt erhältlich. Das Produkt ist KAPHOS® DIE WAND, vertrieben durch die BIO PACK GmbH. Angaben zu diesem Wandelement sind in Tabelle 6.8 aufgelistet. Das Wandelement besteht aus hochverdichtetem stranggepresstem Stroh.

Tabelle 6.8: Technische Daten von KAPHOS® DIE WAND

| | KAPHOS® DIE WAND |
|--|---|
| Hersteller/Vertrieb | BIO PACK GmbH |
| Material | Getreidestroh, Vollpappe kaschiert |
| Form | Fertigwandelement |
| Dicke (mm) | 58 |
| Breite (mm) | 600, 1200 |
| Länge (m) | 2,5 - 3,2 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 340 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 095 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 8 |
| Bewertetes Schalldämm-Maß R'_w | 32 dB |
| Brandverhalten | B2 |
| Feuerwiderstandsklasse | F60 (mit 2 x 9,5 mm Gipskarton) F90 (2 x KAPHOS-Element mit 2 x 9,5 mm Gipskarton) |
| Anwendungstyp | nichttragende Innenwände mit leichten und mittelschweren Konsollasten ($F < 0,4$ KN/m) z. B. Hängeschränken |

Das Wandelement ist, wie in Tabelle 6.8 beschrieben, auch mit ein- bzw. beidseitiger Beplankung lieferbar. Sie werden mit einer Standardhöhe von 2,5 m gefertigt und sind für die Elektromontage vorgefertigt. Das Wandelement wird nicht als Wärmedämmstoff verkauft, da seine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,094$ W(m K)⁻¹ hoch ist.

Holzprodukte

Produkte, die aus Holz hergestellt werden, gehören zu den ältesten biogenen Dämmstoffen auf dem Markt. Zu den Produkten dieser Kategorie gehören jene, die aus Holzweichfasern, Holzwolle, Hobelspänen oder Frisch-Zellulose hergestellt werden.

Holzweichfaserplatten

Holzweichfaserplatten werden im Wand-, Decken-, Dach- und Fußbodenbereich verwendet. Einige Produkte sind auch für den Außenwandbereich verwendbar. Sie eignen sich sowohl für den konstruktiven als auch für den wärmedämmenden Bereich. Die spezifische Wärmekapazität c ist mit 2700 J(kg K)⁻¹ hoch. Holzweichfaserplatten haben eine Dichte von $270 - 350$ kg m⁻³, was ein zusätzlicher Vorteil für die Wärmespeicherkapazität ist. Die hohe Dichte bietet gleichfalls Vorteile beim Trittschall- und Luftschallschutz. Die Verwendung von Holzweichfaserplatten läßt sich bis in die 30er Jahre zurückverfolgen, so daß man sagen kann, daß die Architekten mit diesem Material vertraut sind. Technische Angaben zu einigen unbitumierten Produkten sind in den Tabellen 6.9a bis 6.9c dargestellt, zu bitumierten in den Tabellen 6.9d und 6.9e.

Tabelle 6.9a: Technische Daten unbitumierten Holzweichfaserplatten

| | CELIT W18/S Innenwand- Dämmplatte | DOBRY-THERM L | EMFA-Dämm- Standard | EMFA-Dämm WD |
|--|---|--|--------------------------------|-----------------------------|
| Hersteller/Vertrieb | isofloc Ökologische Bautechnik GmbH | DOBRY-Dämmstoffe GmbH | HÖMBERG Naturbaustoffe | HÖMBERG Naturbaustoffe |
| Rohstoffe | unbehandelte Holzabfälle | 94 % Holzfasern, 5,5 % Wasser, 0,5 % Alaun | Nadelholz | Nadelholz |
| Dicke (mm) | Typ W18 = 18 Typ S = 10 - 18 | 40 - 100 | 8, 10, 12, 16, 20 | 20, 25, 40, 50, 60, 80, 100 |
| Breite (mm) | Typ W18 = 1200 Typ S = 1220 | auf Anfrage | 850, 1200, 1700 | 600 |
| Länge (m) | Typ W18 = 2,5 Typ S = 2,44 | auf Anfrage | 1,3; 1,7; 2,6 | 1,7 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | ca. 270 | 170 | 240 | 160 - 180 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 060 | 045 | 055 | 045 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 2 - 5 | 9 | 5 | 5 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Wärme- und Schalldämmung von Wand, Dach, Boden und Decke im Innenausbau | | | |

Tabelle 6.9b: Technische Eigenschaften von unbitumierten Holzweichfaserplatten

| | EMFA- Dachdämm Plus- Klick | HOMATHERM | PAVATHERM | Isoself- Steildachplatte |
|--|---|---|--|-------------------------------------|
| Hersteller/Vertrieb | HÖMBERG Naturbaustoffe | HOMANN Dämmstoffwerk GmbH & Co. KG | PAVATEX GmbH | Perlite Dämmstoff GmbH |
| Rohstoffe | Nadelholz, imprägniert mit Naturharz | Holz hackschnitzel und Sägereste | 93 % Nadelholz 5 % Wasser 1,5 % Weißleim 0,5 % Al-Sulfat | Holzfasern |
| Dicke (mm) | 20 | 80, 100, 120 | 30 - 100 | 20 |
| Breite (mm) | 850 | 626 | 800 - 2000 | 1 |
| Länge (m) | 2,36 | 1 | 1,2 | 2,4 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 250 | 100 – 140 | 170 | 300 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 055 | 045 | 045 | 060 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 5 - 10 | < 5 | 10 | 5 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Steildachdämmung auf den Sparren | Für belüftete Dächer, Wände und Decken, zwischen Sparren und Balkenlagen, für Vorsatzschalen mit mineralischem Putz | Steildachdämmung auf und zwischen den Sparren | Steildachdämmung auf den Sparren |

Tabelle 6.9c: Technische Eigenschaften von unbitumierten Holzweichfaserplatten

| | GUTEX MULTIPLEX- top | GUTEX THERMOSAFE | NOVOPAN Dämmplatte FF | Fasoperl - TSN |
|--|---|--------------------------------------|--|---|
| Hersteller/Vertrieb | GUTEX-Dämmsysteme H. Henselmann GmbH | GUTEX-Dämmsysteme H. Henselmann GmbH | GLUNZ Deutschland GmbH | Perlite Dämmstoff GmbH |
| Rohstoffe | Restholz, verseiftes Baumharz, Wachsemulsion | Restholz ohne chem. Bindemittel | Holzfasern | Holzfasern |
| Dicke (mm) | 18 - 15 | 20 – 100 | 8 - 12,5 | 13 - 15 |
| Breite (mm) | 750 | 625 | 1000 - 1200 | 600 |
| Länge (m) | 2,5 | 1,2 | 1,2 - 2,5 | 1200 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 250 | < 160 | 260 | 150 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 050 | 045 | 045 | 045 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 5 - 6 | 5 | - | 5 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | zur Dämmung von Decken, Wänden u. Steildächern; innen wie außen | | für Fußbodenkonstruktionen, z. B. über Trokensüttungen | Trittschalldämmung von Fußbodenkonstruktionen |

Tabelle 6.9d: Technische Daten von bitumierten Holzweichfaserplatten

| | Celit 4D Unterdach- Dämmplatte | DOBRY-BIT/ -BIT 3000 | GUTEX MULTIPLEX-b | HUNTON Schalungsplatte HS 18/25 B |
|--|--|--|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | isofloc Ökologische Bautechnik GmbH | DOBRY-Dämmstoff GmbH | GUTEX-Dämmsysteme H. Henselmann GmbH | HUNTON FIBER Vertriebs GmbH |
| Rohstoffe | unbehandelte Holzabfälle, 12 % Bitumenemulsion | 79 % Holzfasern 5,5 % Wasser 0,5 % Alaun 15 % Bitumen | Holzfasern + Bitumen | 83 % Nadelholzfasern, 11 % Bitumen, 6 % Wasser |
| Dicke (mm) | 22 | 8 – 25 | 18 - 24 | 18 - 25 |
| Breite (mm) | 595 | 600 – 1200 | 750 | 595 |
| Länge (m) | 2,5 | 1,2 – 25 | 2,5 | 2,5 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 270 | 250 – 310 | 250 | 270 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 060 | 060 | 055 | 060 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 5 | 13 | 5 | 5 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereiche | Steildachdämmung auf den Sparren | Wärme- und schalldämm. Konstruktionsplatte | Wärme- und Schalldämm. von Wänden (außenseitig) | diffusionsoffene Unterdachplatte |

Tabelle 6.9e: Technische Daten von bitumierten Holzweichfaserplatten

| | Celit W18/S Außenwand-Dämmplatte | STEICO/LIGNOTOP-Holzfaserdämmplatte (bitumiert) |
|--|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | isofloc Ökologische Bautechnik GmbH | Steinmann & Co. GmbH |
| Rohstoffe | Holzabfälle, 12 % Bitumenemulsion | 82,5 % Nadelholz, 6 % Wasser, 0,5 % Alaun, 11 % Naturbitumen |
| Dicke (mm) | Typ W18 = 18; Typ S = 10 - 18 | 10 - 19 |
| Breite (mm) | Typ W18 = 1200; Typ S = 1220 | 1200 |
| Länge (m) | Typ W18 = 2,5; Typ S = 2,44 | 2,5 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 270 | 280 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 060 | 060 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 2 - 5 | 5 |
| Brandverhalten | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Dämmung von hinterlüfteten Fassadenkonstruktionen | Dämmung zur winddichten Verwendung im Aussenwandbereich |

Holzwohle-Leichtbauplatten

Grobe Holzwohle wird seit mehr als 80 Jahren mit Magnesit als Bindemittel zu robusten Platten verarbeitet. Im allgemeinen werden diese Produkte nicht als Wärmedämmstoff angesehen, gehören aber trotzdem mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_R = 0,09$ in diese Gruppe. Technische Angaben sind in Tabelle 6.10 dargestellt.

Tabelle 6.10: Technische Daten von Produkten aus Holzwohle

| | Heraklith-M | BIO-Plafonith | Fibrolith HWL-Platte |
|--|------------------------------|---|---|
| Hersteller/Vertrieb | Deutsche Heraklith GmbH | PLATINA Dämmbaustoffe Brandt GmbH | Fibrolith-Dämmstoffe Wilms GmbH |
| Rohstoffe | Holzwohle, magnesitgebunden | Holzwohle (langfaserig, mineralisiert) zementgebunden | Holzwohle mit mineralischem Bindemittel |
| Dicke (mm) | 15 - 100 | 25 - 75 | 15 - 100 |
| Breite (mm) | 500 - 600 | 500 | 500 |
| Länge (m) | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | ca. 400 | ca. 400 | 360 - 570 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 090 | 070 | > 090 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 2 - 5 | 2 - 5 | 2 - 5 |
| Brandverhalten | B1 | B1 | B1 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Außenwänden und Steildächern | Innen- u. Außenwänden und Steildächern | Innen- und Außenwände sowie Steildächer, wo auf Abreißfestigkeit (WV) und Biegung (WB) beansprucht wird |

Hobelspäne

Die Firma Baufritz GmbH hat zusammen mit der Fachhochschule Rosenheim einen Dämmstoff aus Holzhobelspänen entwickelt. Sie ist auf die Herstellung von Holzhauskonstruktionen spezialisiert, deshalb läßt sich die Verwendung der Hobelspäne als ein internes Recycling betrachten. Die dabei entstehenden Produktionskosten liegen unter denen von Mineralwolle.

Tabelle 6.11: Daten von Dämmstoffen aus Hobelspänen

| Hersteller/Vertrieb | Baufritz GmbH |
|--|-------------------------|
| Rohstoffe | Hobelspäne, Molke, Soda |
| Dicke (mm) | - |
| Breite (mm) | - |
| Länge (m) | - |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | ca. 80 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 055 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Wände, Decken, Dächer |

Frischzellulose

Neben der Herstellung von Produkten aus Zellulose aus Altpapier vertreibt die Firma Isofloc GmbH einen Schüttdämmstoff, der aus Frischzellulose produziert wird. Die Produktinformationen zeigen, daß die Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 mit einer Dichte von 30 - 45 kg m⁻³ erreicht wird, einer geringeren Dichte als der beim vergleichbaren Produkt aus Altpapier.

Tabelle 6.12: Technische Daten eines Produktes aus Frischzellulose

| | Thermotrü |
|--|--|
| Hersteller/Vertrieb | isofloc Ökologische Bautechnik GmbH |
| Rohstoffe | Frischzellulose, Borsalze |
| Form | Schüttung |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 30 - 45 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 040 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Schüttdämmstoff für Wände und Fußböden |

Produkte aus Recyclingmaterial

Mit Ausnahme von Holz ist Zellulose der am meisten bekannte biogene Dämmstoff. Seit über 30 Jahren wird er häufig in Nordamerika verwendet und erhält in Deutschland immer breitere Anerkennung. Der Erfolg dieses Materials ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen, die niedrigen Kosten des Produktes, eine Produktion mit einer gut entwickelten Infrastruktur und die Anstrengungen der Hersteller, Einbau- und Konstruktionssysteme zu entwickeln, die an das Rohmaterial angepaßt sind.

Platten aus Zellulose

Die Homann Dämmstoffwerk GmbH stellt eine Dämmplatte aus Zellulose und Jute her. Das Produkt hat ein vorteilhaftes ökologisches Profil durch die Verwendung von Recycling-Material, Nebenprodukten aus der Holzverarbeitung und der Nutzung von Produktionsverfahren mit einem niedrigen Energieverbrauch. Das Produkt ist sehr gut entwickelt, und der Hersteller bietet detaillierte Informationen für eine breite Palette an Konstruktionen.

Ein anderes Produkt aus Zellulose wird von der Firma CALSITHERM SILIKAT BAUSTOFFE GmbH hergestellt. In Verbindung mit Calciumsilikat erreicht dieses Material die Brandklasse A1 und wird daher für spezielle Anwendungen eingesetzt, weniger für normale Dämmung.

Tabelle 6.13: Technische Daten zu Produkten aus Recycling-Zellulose (Platten)

| | HOMATHERM | CALSITHERM SILCA 200 |
|--|--|---|
| Hersteller/Vertrieb | Homann Dämmstoffwerk GmbH | CALSITHERM SILIKATBAUSTOFFE GmbH |
| Rohstoffe | Zellulose aus Altpapier, Jute, Ligninsulfonat, Tallharz, Aluminiumsulfat, Borax und Borsäure (10 – 14 %). | Zellulose und Calciumsilikat |
| Dicke (mm) | 40 – 160 | 50 – 100 |
| Breite (mm) | 625 | 500 – 1000 |
| Länge (m) | 1,0 | 1,25 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 70 – 100 | 180 – 220 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 040 | 060 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 | 2 |
| Brandverhalten | B2 | A1 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | W (belüftete Dächer, Wände und Decken) WL (zwischen Sparren und Balkenlagen) WV (wo auf Abreißfestigkeit beansprucht wird) | WD (in druckbelasteten und höher druckbelasteten Stellen) |

Schüttungen aus Zellulose

Zur Zeit ist eine große Anzahl an Produkten aus Zellulose-Flocken erhältlich. Da die fachgerechte Einbringung für die Dämmwirkung ausschlaggebend ist, wird das Material nur in Verbindung mit den verarbeitenden Fachfirmen abgegeben.

Tabelle 6.14a: Technische Daten zu Produkten aus Recycling-Zellulose (Flocken)

| | CLIMACELL | CLIMATIZER Plus | DOBRY-EKOVILLA | isofloc |
|--|---|--|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | Climacell GmbH | Climatizer GmbH | Dobry-Dämmstoff GmbH | isofloc Ökologische Bautechnik GmbH |
| Rohstoffe | Zellulose aus Altpapier und Borsalze | Zellulose aus Altpapier, 11 % Borax und Borsäure | 80 % Zellulose aus Altpapier, 20 % Borate | Zellulose aus Altpapier, 11 % Borax und Borsäure |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 30 - 50 | 30 - 55 | 35 - 60 | 35 - 70 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 040 | 040 | 040 | 045 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Dämmung von Dach-, Wand-, Decken- und Bodenkonstruktionen | | | |

Tabelle 6.14b: Technische Daten zu Produkten aus Recycling-Zellulose (Flocken)

| | Isodan | isofloc S | WARMCEL |
|--|---|--|---------------------------------------|
| Hersteller/Vertrieb | Stattbauhof GmbH | Isofloc Ökologische Bautechnik GmbH | Intercel Dämmstoff Vertriebs GmbH |
| Rohstoffe | Zellulose aus Altpapier, Borsalz, Aluminiumhydroxid | Zellulose aus Altpapier, 22 % Borat / Borsäure | Zellulose aus Altpapier, Borate, Gips |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 35 - 75 | 35 - 75 | 35 - 55 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 045 | 045 | 040 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 | B1 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Dämmung von Dach-, Wand-, Decken- und Bodenkonstruktionen | | |

Produkte aus Importware

In diese Rubrik fallen die Dämmstoffe aus Baumwolle, Kork, Kokosfasern sowie Schilf.

Baumwolle

Baumwolle ist das biogene Material mit der besten Dämmleistung aufgrund der extrem feinen Fasern. Die Produkte in der WLG 040 haben lediglich eine Dichte von 20 kg m⁻³.

Tabelle 6.15: Technische Daten einiger Produkte aus Baumwolle

| | ISOCOTTON DMB-20 | ISOCOTTON BW-Blaswolle | ISOCOTTON DF-60 (DFE-60) | ISOCOTTON SW-02 |
|--|--|-----------------------------------|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | Isocotten GmbH | | | |
| Rohstoffe | Baumwolle mit Borsalzen (3 %) | Baumwolle mit Borsalzen (3 %) | Baumwolle mit Borsalzen (3 %) (DFE-60 einseitig schwarz bedruckt) | Baumwolle mit Borsalzen (3 %) |
| Dicke (mm) | 50 - 180 | - | 2 - 20 | - |
| Breite (mm) | 500 - 1200 | - | 625 - 1800 | - |
| Länge (m) | 2,5 - 9,0 | - | 1,5 - 4,0 | - |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 20 | 25 (Flocken) | 60 | - |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 040 | 040 | 040 | - |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 | 1 - 2 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | W (nicht druckbelastbar, z. B. für Wände, Decken und belüftete Dächer) | | Trittschalldämmung | Ausstopfen von Hohlräumen in Dämmungen |

Kork

Produkte, die aus Kork hergestellt werden, sind im Bereich der ökologischen Baubranche gut etabliert und werden von den Architekten gut angenommen. Zusätzlich zu den guten Dämmeigenschaften hat Kork den Vorteil, daß er sehr verrottungs- und fäulnisfest ist.

Tabelle 6.16a: Technische Daten von Produkten aus Kork (Platten)

| | CORTEX ISOLIER KORK | Jungfernkork Wärmedämm- platte | EMFA- Dämmkork-platte | G & S ISO- KORK |
|--|--|---|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | Cortex Dämmsysteme | Kork-Import Gärtner | Hömberg Naturbaustoffe | Gradl & Stürmann Korkhandel |
| Rohstoffe | Kork, mit eigenem Bindemittel verbacken | Kork, expandiert | expand. Korkgranulat, mit eigenem Bindemittel verbacken | expand. Korkschat, mit eigenem Bindemittel verbacken |
| Dicke (mm) | 20 - 100 | 10 - 100 | 20 - 100 | 20 - 100 |
| Breite (mm) | 500 - 600 | 500 | 500 - 600 | 500 |
| Länge (m) | 1,0 - 1,2 | 1,0 | 1,0 - 1,2 | 1,0 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 100 - 130 | 110 - 120 | 100 - 130 | 100 - 120 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 045 | 045 | 045 | 045 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 5 - 10 | 5 - 10 | 5 - 10 | 20 - 30 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | WD (druckbelastbar, unter druckverteilenden Böden) | | Dämmung von Steildächern, Wänden, Decken und Böden | |

Tabelle 6.16b: Technische Daten von Produkten aus Kork (Platten)

| | Heck-Korkplatte-B2-045 | KORK Untertapete + Trittschalldämmung |
|--|--------------------------------------|--|
| Hersteller/Vertrieb | Heck Dämmsysteme GmbH | Korkimporteur Gärtner |
| Rohstoffe | Kork | Kork |
| Dicke (mm) | 40 – 100 | 2 – 10 |
| Breite (mm) | 500 | 500 – 1000 |
| Länge (m) | 1,0 | 10 – 30 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 130 – 140 | 200 – 220 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 045 | 045 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 10 | - |
| Brandverhalten | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Dämmung für Wärmedämm-Verbundsysteme | Dämmung innenseitig, Trittschalldämmung |

Tabelle 6.16c: Technische Daten von Produkten aus Kork (Schüttungen)

| | Recycling-Korkgranulat | RecyKORK-Dämmstoffgranulat | CORTEX KORK-SCHROT | G & S Korkschröt |
|--|---|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Hersteller/Vertrieb | Schweinfurter KORK GmbH | Wfb Epilepsiezentrum Kork | Cortex Dämmsysteme | Gradl & Stürmann Korkhandel |
| Rohstoffe | Korkgranulat aus Flaschenkorken und Naturkorkresten | Korkgranulat aus Flaschenkorken | expandiertes Korkschröt | expandiertes Korkschröt |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | ca. 110 | ca. 100 | 130 / 100 / 70 (je nach Körnung) | 115 / 80 / 65 (je nach Körnung) |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 050 | 045 | 050 | 050 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | - | 2 – 8 | - | - |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Schüttung, Dämmung von Hohlräumen in Steildächern u. Fußböden | | | |

Kokosfasern

Wie Kork wurden auch Kokosfasern während der Anfänge der biogenen Dämmstoffe verwendet. Das Material ist ebenso wie Kork durch seine Beständigkeit gegen Nässe und Verrottung ausgezeichnet. Vlies-, Filz- und Plattenprodukte sind z. Z. erhältlich.

Tabelle 6.17: Technische Daten von Produkten aus Kokosfasern

| | EMFA-Kokosrollfilz | EMFA-Kokoswand-platte | EMFA-Kokos-Estrichdämm-platte | EMFA-Kokosfaser, lose |
|--|--|---|---|--|
| Hersteller/Vertrieb | Hömberg Dämmstoffwerk GmbH | | | |
| Rohstoffe | Kokosfasern, Ammoniumsulfat oder Borsalz | Kokosfaser, Ammoniumsulfat oder Borsalz | Kokosfasern, Ammoniumsulfat oder Borsalz | Kokosfasern, ohne Brandschutzimprägnierung |
| Form | vernadelter Filz | Vernadelte Platte | Platten, mehrfach genadelt und gepreßt | lose Kokosfasern |
| Dicke (mm) | 20 - 35 | 20 - 40 | 10 - 28 | - |
| Breite (mm) | 400 - 1000 | 625 | 625 | - |
| Länge (m) | 10 | 1,25 | 1,25 | - |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | 75 - 85 | - | - | - |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 045 | 045 | 045 | 045 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Brandverhalten | B2 | B2 | B2 | B3 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Dämmung für Dach, Wand u. Boden | Dämmung von Vorsatzschalen u. Trennwänden | Trittschalldämmung für schwimmende Estriche | Ausstopfen von Hohlräumen in Dämmungen |

Schilf

Die Verwendung von Schilf als Dämmstoff hat eine Tradition, die über 100 Jahre zurück reicht. Schilf-Platten sind die einzigen Produkte, die auch im Außenwandbereich unter Putz eingesetzt werden können.

Tabelle 6.18: Technische Daten von Produkten aus Schilf

| | eiwa Schilfrohrdämmplatte | STERO-Schilfrohrplatte |
|--|----------------------------------|---|
| Hersteller/Vertrieb | eiwa Lehm bau | Sterflinger & Sohn GmbH |
| Rohstoffe | Schilfrohr, ohne Bindemittel | Schilfrohr |
| Dicke (mm) | 20 - 50 | 20 – 50 |
| Breite (mm) | 1000 - 1500 | 1000 – 2000 |
| Länge (m) | 2,0 | 2,0 |
| Rohdichte (kg m ⁻³) | ca. 190 | ca. 190 |
| Wärmeleitfähigkeitsgruppe | 055 | 055 |
| Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ | 2 | 2 |
| Brandverhalten | B2 | B2 |
| Anwendungstyp, Anwendungsbereich | Dämmung im Innenausbau | Innen- und Außendämmung (auch als Putzträger) |