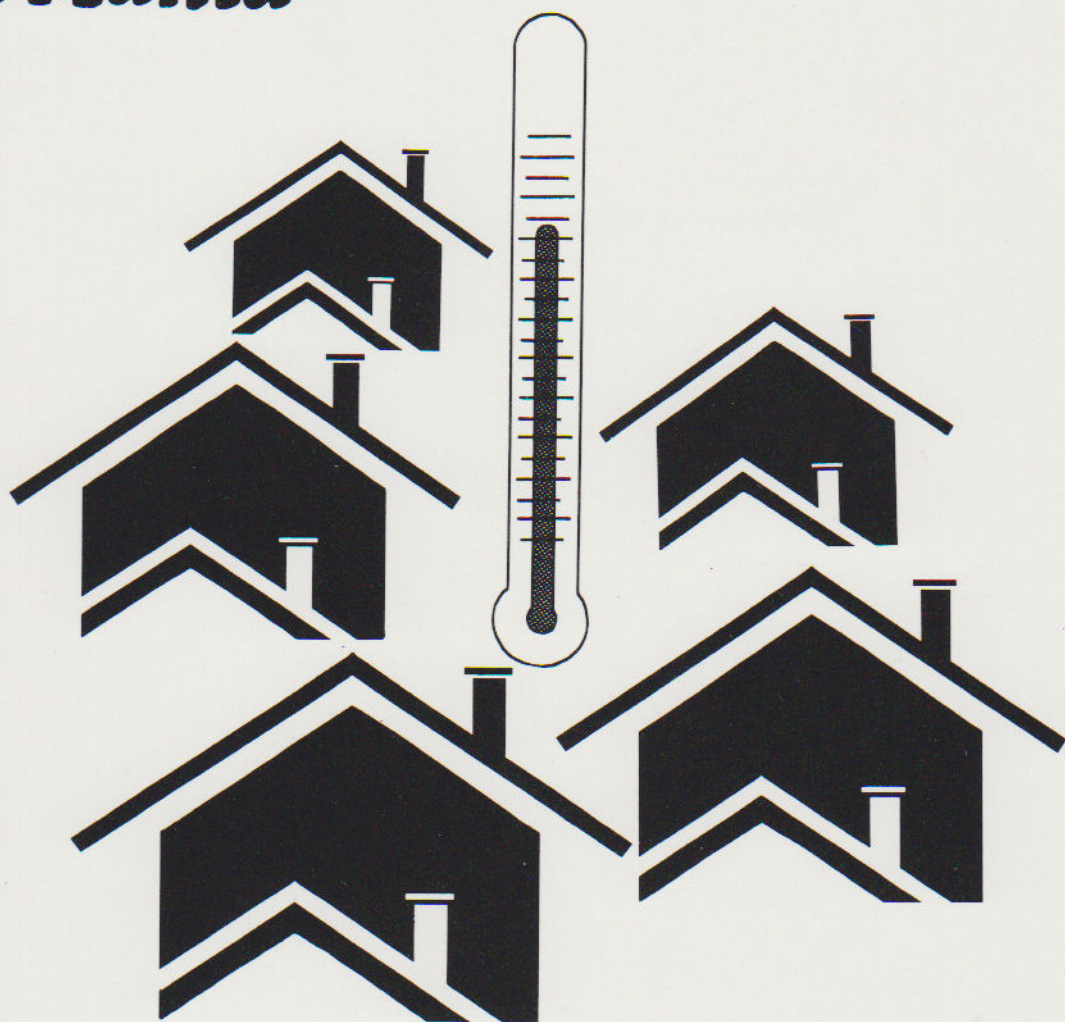


# Soznat

**Materialien für den Unterricht 36**

**Klaus Mahla**



**Mollig warm**

**Naturwissenschaften sozial**

**Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme**

**Mahla, Klaus :**

Mollig warm : Dämmstoffe im Produktlinienvergleich ;  
Materialien zu einer Unterrichtsreihe / Klaus Mahla. Hrsg.: AG  
Naturwissenschaften - Sozial. - 1.Aufl. - Marburg: Red.-  
Gemeinschaft Soznat, 1996

(Soznat ; Bd. 36)

ISBN 3-922850-70-7

NE: GT

1. Auflage 1995

© Redaktionsgemeinschaft Soznat Marburg, Postfach 2150, 35009 Marburg

Druck: Alpdruck Marburg

Alle Rechte vorbehalten - Kopien zu Unterrichtszwecken erlaubt

ISBN 3-922850-70-7

Klaus Mahla

Mollig warm -  
Dämmstoffe im Produktlinienvergleich

Materialien zu einer Unterrichtsreihe

Marburg 1995

Redaktion: Lutz Stäudel

Herausgeber:  
AG Naturwissenschaften - sozial

c/o Lutz Stäudel  
Universität Gh Kassel  
Fachbereich 19  
Heinrich-Plett-Str. 40  
34109 Kassel

c/o Armin Kremer  
AG Soznat  
Universität Marburg, FB 21  
Postfach 2150  
35009 Marburg

## **Inhalt**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Energiesparen, Ressourcenschonen, Klimaschutz</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Die Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen ...<br>... als Ziel von Umweltpolitik                             | 1         |
| 1.2 ... und als Gegenstand von Unterricht   | 2         |
| <b>2. Dämmstoffe und Produktlinienanalysen im naturwissenschaftlichen<br/>Unterricht in Mittel- und Oberstufe</b> | <b>5</b>  |
| 2.1 Produktlinienanalysen (und Ökobilanzen) als Instrumente zur Bewertung<br>von Stoffen und ihres Einsatzes      | 6         |
| 2.1 Sachproblemstrukturskizze   | 8         |
| 2.3 Bezüge zu den gegenwärtigen Lehrplänen  | 9         |
| <b>3. Materialien - Übersicht</b>   | <b>12</b> |
| <b>M Wärmedämmung heute</b>   | <b>13</b> |
| <b>K Dämmstoffkatalog</b>   | <b>20</b> |
| <b>E Eigenschaften und Strukturen von Dämmstoffen</b>   | <b>43</b> |
| <b>P Produktlinienanalysen und andere Bewertungsinstrumente</b>   | <b>53</b> |
| <b>V Experimente und Untersuchungen</b>   | <b>58</b> |
| <b>4. Beispielhafte Bewertung von Dämmstoffen mittels Produktlinienanalyse</b>                                    | <b>68</b> |
| 4.1 Expandiertes Polystyrol (EPS)   | 68        |
| 4.2 „Isofloc“   | 74        |
| 4.3 Kork-Dämmstoffe   | 76        |
| <b>5. Literatur - Hinweise auf Medien - Adressen</b>  | <b>80</b> |
| <b>Anhang I: Wärmeschutzverordnung (im Auszug)</b>  | <b>82</b> |
| <b>Anhang II: Öko-Dämmstoffe im Test</b>  | <b>84</b> |



## 1. Energiesparen, Ressourcenschonen, Klimaschutz

### 1.1 Die Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen ...

#### ... als Ziel von Umweltpolitik

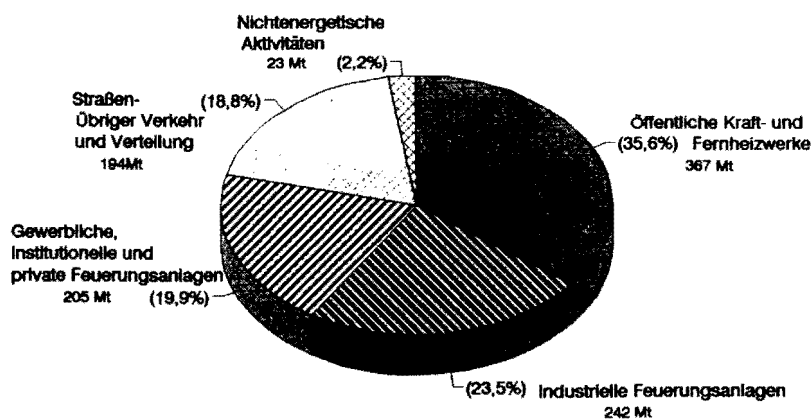
Auf der zweiten UNO-Umweltkonferenz im Juni 1992 in Rio de Janeiro/Brasilien haben rund 150 Staaten, darunter auch die Bundesrepublik Deutschland, die sogenannte "Klimakonvention" unterzeichnet. Diese Vereinbarung sieht eine Verringerung der Kohlendioxid-Emissionen<sup>1</sup> auf den Stand von 1990 vor, ohne jedoch einen verbindlichen Zeitpunkt für dieses Ziel oder gar konkrete Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels zu nennen. Bereits vorher hatte die Bundesregierung ihre Absicht erklärt, die Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005 um 25% gegenüber dem Stand von 1987 zu verringern.

Der Hintergrund für diese Bestrebungen ist die weltweit ansteigende Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre, die einen globalen Temperaturanstieg nahe der Erdoberfläche bewirkt, also einen vom Menschen verursachten zusätzlichen *Treibhauseffekt*. Dadurch wird es mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Störung im Klimahaushalt der Erde kommen; die möglicherweise drastischen negativen Auswirkungen dieser Veränderungen für alles Leben sind noch gar nicht abzusehen.<sup>2</sup>

Bereits 1987 richtete die Bundesregierung die Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" ein, die Ursachen und Wirkungszusammenhänge dieser Phänomene zusammentragen bzw. deren weitere Erforschung unterstützen sollte.<sup>3</sup> Der 1993 in einem Bericht der Bundesregierung festgestellte Rückgang des jährlichen Kohlendioxid-Ausstoßes in Deutschland um 14,5% bezogen auf 1987 (von 1060 auf 910 Mio Tonnen) war jedoch noch kein Erfolg ökologisch orientierter Politik, sondern nur Folge des wirtschaftlichen Zusammenbruchs in den fünf

neuen Ländern nach vollzogenem Anschluß an das Bundesgebiet. Im Westen Deutschlands ist der Kohlendioxid-Ausstoß seit 1987 im Gegenteil leicht angestiegen!

Aus welchen Quellen die klimawirksamen CO<sub>2</sub>-Emissionen (1990: 1031 Mt/a) kommen, zeigt die nebenstehende Graphik<sup>4</sup>:



Verursacher der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland

<sup>1</sup> In diesem Materialheft wird durchgängig der Begriff „Kohlendioxid“ an Stelle des durch die Nomenklaturregeln der wissenschaftlichen Chemie festgelegten Ausdrucks „Kohlenstoffdioxid“ benutzt. Uns scheint die Nähe zum (politischen, ökologischen und medialen) Alltag wichtiger als eine nicht näher begründete „Korrektheit“.

<sup>2</sup> Vgl. z.B.: Ch.-D. Schönwiese: Klima im Wandel. Tatsachen, Irrtümer, Risiken. Stuttgart 1992

<sup>3</sup> Die Ergebnisse wurden wie folgt veröffentlicht: Schutz der Erdatmosphäre. Eine internationale Herausforderung. Zwischenbericht der Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre". Bonn 1988 (Zur Sache 5/88)

<sup>4</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Klimaschutz in Deutschland. Bonn o.J., Abb. XII a, S. 21

Welche Möglichkeiten existieren, um das angestrebte Ziel der Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen in Deutschland zu erreichen - und welche Hindernisse dem entgegenstehen -, zeigt ein Blick auf die verschiedenen Gruppen von Emittenten.

\* Im *Verkehrsbereich* erhöhten sich in den letzten Jahren die CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund stetig zunehmender KFZ-Zulassungen und steigender Kilometerzahlen. Nach vagen Selbstverpflichtungen der Automobilindustrie, bis zur Jahrtausendwende (oder danach) das „Drei-Liter-Auto“ auf den Markt zu bringen, verzichtete die Politik auf jeglichen steuernden Eingriff. Ob der Prototyp des Öko-Autos von Greenpeace („Gringo“) eine Trendwende einleitet, ist noch ungewiß.

\* Bei *Kraftwerken und in der Industrie* sind die Energieeinsparpotentiale weitgehend erschöpft. Diese Stagnation (auf hohem Niveau) wird sich solange nicht verändern, solange keine tiefgreifenden Strukturänderungen stattfinden. Hier wie für den Verkehrsbereich werden seit Jahren Steuern diskutiert, deren Höhe sich am Energieverbrauch bzw. an der CO<sub>2</sub>-Emission orientieren sollte.

\* Ohne weitergehende Eingriffe bestehen allein im Bereich der *Gebäudeheizung* noch bedeutende Energieeinsparmöglichkeiten, die zur Senkung der Kohlendioxid-Emissionen beitragen könnten.

Wie der Anteil an den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen zeigt, können die hochgesteckten Ziele der Umweltpolitik in diesem Bereich alleine nicht erreicht werden, jedoch erscheint hier die Akzeptanz für staatliche Regelungen am größten.

Inzwischen gibt es Verordnungen, die für Neubauten einen maximalen jährlichen Heizölverbrauch von 15 bis 18 Litern pro m<sup>2</sup> Wohnfläche vorsehen - Wärmedämmung spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Doch zeigen die Normen in anderen Ländern, daß längst nicht alle Möglichkeiten ausgeschöpft sind; in Schweden zum Beispiel ist ein Verbrauch von 3 bis 7 Litern bei Neubauten die Norm.

Für die Minimierung der Heizenergie und -kosten kommen zahlreiche verschiedene Maßnahmen in Betracht; für den konventionellen Hausbau - Neubau wie Renovierung - spielen *Dämmstoffe* eine herausragende Rolle.

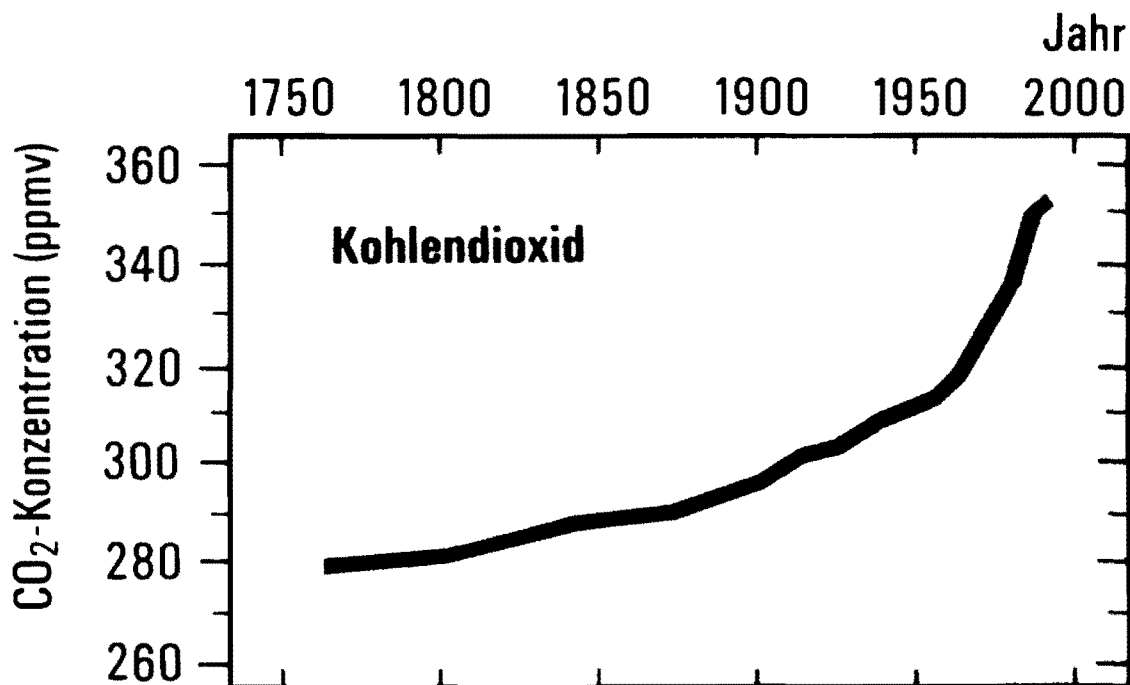
## 1.2 Die Reduzierung der Kohlendioxid-Emissionen ...

### ... als Gegenstand von Unterricht

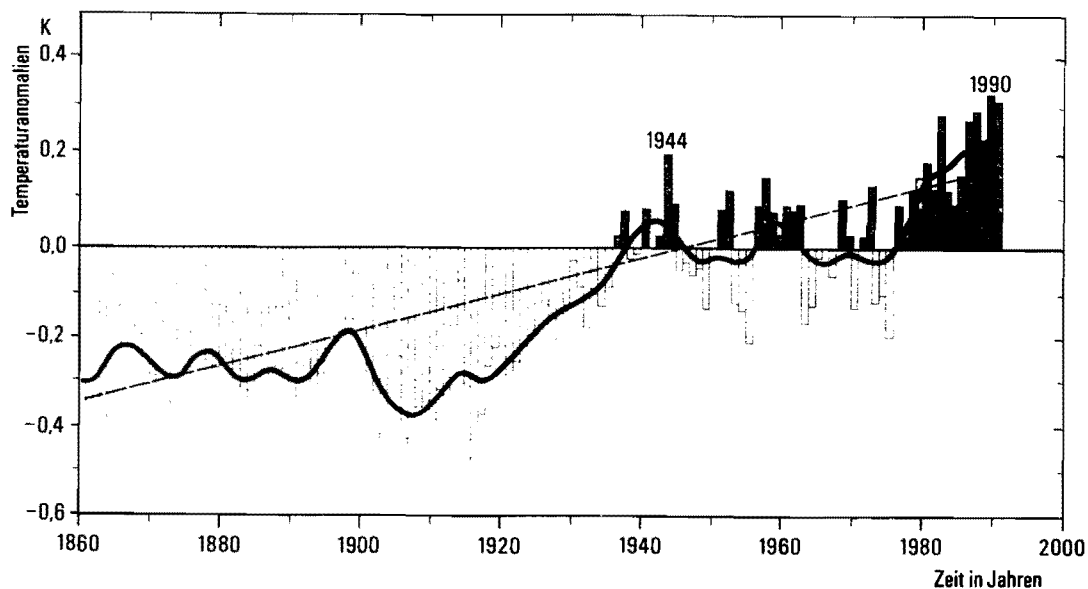
Energieeinsparung - als Voraussetzung zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen - läßt sich weder real noch in seiner schulischen Bearbeitung auf „Hausheizung“ bzw. „Wärmedämmung“ beschränken, jedoch ist dieser Bereich ebenso gut wie die übrigen infrage kommenden geeignet, die Problematik der damit verbundenen gesellschaftlich und ökologisch „brennenden“ Frage im Unterricht zu thematisieren. Dabei geht es nicht nur um das politisch Wünschenswerte und Mögliche, sondern auch um die praktische Auseinandersetzung mit den technischen und stofflichen Möglichkeiten.

Denn zwar sind die heute verfügbaren Dämmstoffe technisch alle in der Lage, ihrem Zweck gemäß Wärmeverluste zu mindern; jedoch rücken bei diesen wie anderen Produkten neben dem Hauptnutzungsaspekt auch Aspekte wie Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit in den Vordergrund. Die entsprechenden Fragen an ein Produkt reichen von der Unbedenklichkeit für den Anwender, der Belastung der Umwelt durch Rohstoffgewinnung, Produktion

und Entsorgung nach Ende der Nutzung bis in den Bereich des Arbeitsschutzes und in den Bereich globaler Wirkungen durch Energieverbrauch<sup>5</sup> (bzw. hier: der Energiebilanz).



**Abweichungen der bodennahen Weltmitteltemperaturen von Referenz-Mittelwert 1951 – 1980**



oben: Anstieg des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre  
 unten: Veränderung der Weltmitteltemperatur<sup>6</sup>  
 (durchgezogene Linie: zehnjährige Glättung; gestrichelt: Trend)

<sup>5</sup> Für den physikalisch „falschen“ Begriff „Energieverbrauch“ gilt eine ähnliche Begründung wie für die Benutzung des Ausdrucks „Kohlendioxid“. Um falsche Vorstellungen zu vermeiden ist mit den Schülerinnen und Schülern zu einem geeigneten Zeitpunkt zu klären, daß es sich beim Energieverbrauch tatsächlich um eine *Abwertung* von Energie handelt.

<sup>6</sup> Quelle: Enquete-Kommission (Hrsg.): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Bonn 1992, S. 38 / S. 26

Zur vergleichenden Bewertung der Vielzahl von Faktoren hat das Freiburger Öko-Institut die sogenannte *Produktlinienanalyse* (PLA) eingeführt, eine Methode zur Analyse eines Produktes von der Herstellung bis zur Entsorgung unter ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten. Diese Methode eignet sich zum einen zur Bewertung eines bestimmten Produktes, insbesondere im Vergleich zu anderen der gleichen Art, die aber auf verschiedenem Wege bzw. aus unterschiedlichen Materialien hergestellt wurden; zum anderen stellt die PLA eine Möglichkeit dar, sich in der Schule unter fachlichen, fachübergreifenden und schließlich auch gesellschaftspolitischen Fragestellungen der Sphäre industrieller (stofflicher) Produktion zu nähern.

Um diese komplexen Fragestellungen von Energienutzung und -sparmöglichkeiten, damit verbundene CO<sub>2</sub>-Emissionen und mögliche technische Lösungsansätze einer Bearbeitung für die Schule zugänglich zu machen, werden in diesem Heft verschiedene Informationen und Materialien zur Verfügung gestellt, darunter als wichtigste:

- grundlegende Informationen zu den gebräuchlichsten Wärmedämmstoffen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Umwelt- und Sozialverträglichkeit,
- Begriffe und Definitionen zur Wärmedämmung und entsprechenden Berechnungen,
- sowie Hinweise und didaktische Hilfen zur unterrichtlichen Umsetzung.
- Schließlich werden am Beispiel von Wärmedämmstoffen aus Kork, expandiertem Polystyrol und Cellulose beispielhaft (vergleichende) Produktlinienanalysen dargestellt.

Diese eher theoretischen Ansätze zur Bearbeitung werden ergänzt durch Vorschläge für Versuche mit Dämm-Materialien und andere praktische Untersuchungen.

## 2. Dämmstoffe und Produktlinienanalysen als Themen des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Mittel- und Oberstufe

Neben der wissenschaftlichen Analyse und der Entwicklung von Vorschlägen zur Abwendung einer möglichen Klimakatastrophe gab es bereits frühzeitig Versuche, Treibhausproblematik und Energiesparmöglichkeiten zum Thema von Schule und Unterricht zu machen. Nach Vorlage des Berichtes der Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre", die eher technische Möglichkeiten zur Abwendung drohender Klimagefahren suchen sollte, wurden 1990 Experten aus dem Bildungsbereich damit beauftragt, Vorschläge zu erarbeiten, wie die Resultate der Enquête-Kommission im Bildungssystem eingebracht werden könnten.

Gemäß der erarbeiteten Empfehlung<sup>7</sup> sollen sich die Schülerinnen und Schüler umfassend mit den möglichen Klimaveränderungen auseinandersetzen. Verdeutlicht werden soll ihnen, wodurch der zusätzliche Treibhauseffekt verursacht wird; gleichzeitig sollen sie Möglichkeiten zu umweltgerechtem Denken und Handeln erkennen bzw. für sich erarbeiten, für die individuelle Sphäre ebenso wie im gesellschaftlichen und politischen Feld.

Die Vermittlung von den dazu benötigten Sachkenntnissen kann nach Auffassung der Bildungsexperten nur gelingen, wenn sie ausgeht von den Fragen, Problemstellungen und Erfahrungen der alltäglichen Lebenswirklichkeit. Unter diesem Gesichtspunkt bietet das Thema "Wärmedämmung / Wärmedämmstoffe" gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche schulische Auseinandersetzung. Es tangiert einerseits den Energiesektor mit seinen Bezügen zum persönlichen Leben, dessen gesellschaftliche Voraussetzungen und ökologische Auswirkungen. Zum anderen wirkt es einer monokausalen Betrachtung und Verengung auf die (scheinbar unabwendbare) Problematik des Treibhauseffektes entgegen, indem es den Umgang mit Stoffen aus chemischer, technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht ermöglicht und fordert.

Die Bedeutung des Themas erschließt sich auch in ökonomischer Sicht sowohl über den privaten wie über den gesellschaftlich-ökologischen Bereich:

- \* Zum einen lassen sich durch Wärmedämmung die (individuellen) Heizkosten senken.
- \* Parallel dazu werden durch die Energieeinsparung wertvolle Ressourcen geschont und zum anderen sowohl die Handelsbilanz unserer Volkswirtschaft verbessert wie auch die Abhängigkeit von Erdölimporten verringert.
- \* Volkswirtschaftlich ist Wärmedämmung auch deswegen bedeutsam, weil die Schadstoff-Emissionen aus Gebäudeheizungen und damit Folgeschäden an Bauwerken und Pflanzen erheblich vermindert werden können.

Und schließlich sprechen auch die Tatsachen,

- \* daß Heizungsanlagen in Gebäuden ca. ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland verursachen,
- \* daß in diesem Sektor (neben dem Verkehrsbereich) die größten Einsparpotentiale zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen
- \* und daß praktisch jeder zweite der heute Schulpflichtigen später Haus- oder Wohnungseigentümer sein wird,

dafür, dem Thema Wärmedämmstoffe in der Schule eine vergleichbare Bedeutung zukommen zu lassen wie anderen Umweltthemen.

---

<sup>7</sup> Bundesminister für Bildung und Wissenschaft: Schutz der Erdatmosphäre - Eine Herausforderung an die Bildung. Zur Umsetzung der Empfehlungen der Bundestags-Enquête-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" in das Bildungssystem - Ergebnisbericht. Bonn 1990, S. 57



## 2.1 Produktlinienanalysen (und Ökobilanzen) - Instrumente zur Bewertung von Stoffen und ihres Einsatzes

Dämmung spart Energie, also ist Dämmung gut? So pauschal ist diese Feststellung heute nicht mehr gültig, wie die folgenden Einwände belegen:

- Der bis vor kurzem wegen seiner dämmenden und feuerhemmenden Eigenschaften verwendete Asbest, besonders auch in Mischung mit Zement auf Zwischendecken und Wände aufgespritzt, gilt als krebserregend.
- Kunststoffe wie das als Dämmstoff verwendete Polystyrol werden auf Basis von Erdöl hergestellt, verbrauchen mithin bei ihrer Produktion den Stoff, den sie in der Anwendung einsparen helfen sollen.
- Styropor selbst wurde bis vor wenigen Jahren ganz oder teilweise mittels inzwischen verbotener FCKWs aufgebläht, welche als klimaaktive Gase einerseits selbst zum Treibhauseffekt beitragen, andererseits die Ozonschutzschicht in der Stratosphäre beeinträchtigen.
- Ein massenweiser Einsatz von Naturprodukten wie Kork oder Schafwolle könnte schließlich ökologische Negativwirkungen ganz anderer Art mit sich bringen: einseitige Wirtschaftsweisen bei den landwirtschaftlichen Produzenten mit Verarmung der Biotope an Arten und Nährstoffen bzw. vermehrtem Einsatz von Chemikalien für Düngung oder Bestandsschutz.

Hier wie bei anderen Produkten hat sich in den letzten Jahren die Methode der Produktlinienanalyse (PLA) als Voraussetzung und Mittel einer begründeten Bewertung und Auswahl zwischen möglichen Alternativen bewährt. Dabei wird ein Produkt während seines gesamten „Lebensweges“ bzw. darüberhinaus - von der Erschließung und Bearbeitung der Rohstoffe bis hin zum Verbleib in der Umwelt nach Ende der Nutzung - verfolgt und möglichst quantitativ erfaßt<sup>8</sup>. Während der Energiebedarf, der in der Regel auf allen Stufen der Verarbeitung und - dazwischen - durch Transportaufwand anfällt, gut abgeschätzt werden kann, stehen sich an anderer Stelle oft kaum vergleichbare Qualitäten gegenüber: So könnte z.B. eine bessere Verträglichkeit eines Produktes oder eines Herstellungsverfahrens mit höheren Belastungen für die Umwelt gekoppelt sein; oder umgekehrt, ein material- und energiesparendes Verfahren könnte deutlich negative soziale Folgen mit sich bringen, etwa Arbeitsplatzverlust und minder qualifizierte Tätigkeiten.

Produktlinienanalysen liefern daher nie endgültige Entscheidungskriterien, sondern ermöglichen lediglich eine begründete Bewertung. Wie dabei z.B. Aspekte des Arbeitsschutzes, der Gebrauchssicherheit, der Umweltverträglichkeit und des Energieaufwandes gegeneinander aufgewogen werden, hängt von den (politischen) Setzungen ab, die wiederum diskutierbar sind.<sup>9</sup>

Für den Unterricht stellt der methodische Ansatz der PLA eine ausgesprochen interessante didaktische Möglichkeit dar, eine „natürliche“ Verbindung zwischen der Sphäre von Alltag, Lebenswelt und Umwelt auf der einen Seite und fachlichen Kenntnissen von den involvierten Stoffe, Prozesse und Veränderungen auf der anderen herzustellen. Lernen findet so im thematischen Kontext statt, und der Lernprozeß genügt ansatzweise den Bedingungen, die von der Klima-Schul-Kommission gefordert werden. Über den engeren Bereich von Däm-

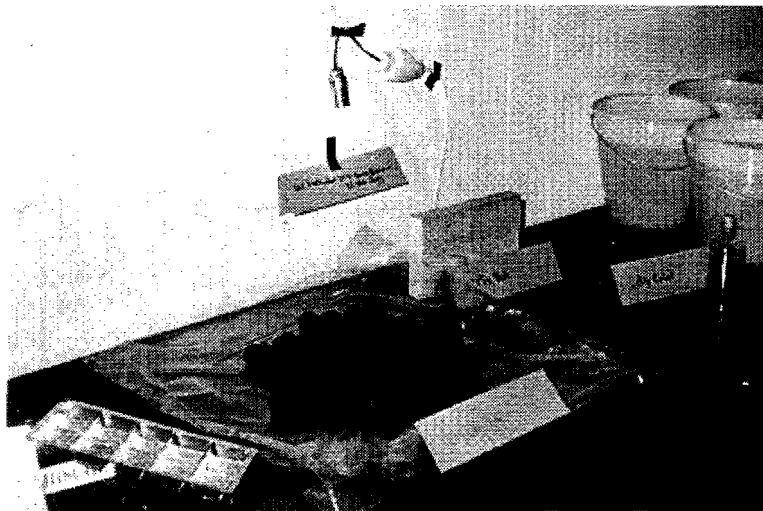
<sup>8</sup> Eine erste und auch für schulische Zwecke gut brauchbare Zusammenstellung von PLAs für verschiedene Produkte findet sich in: R. Griebhammer (Hrsg.): Produktlinienanalysen und Ökobilanzen. Öko-Institut Freiburg, o.J. (1991/92).

<sup>9</sup> Tatsächlich wird der Nutzen von PLAs inzwischen weniger in der Hilfe zur Entscheidung gesehen, als vielmehr als Mittel zur ökologischen Optimierung von Produktionsverfahren. Denn im ersten Schritt macht eine PLA ja die Mängel von Verfahren deutlich, insbesondere die Verschwendung von Rohstoffen und Energie, das Anfallen unliebsamer Nebenprodukte usw.

und ihrem Herstellungsprozeß zu einer Sensibilisierung beitragen, die viele Gegenstände des Alltags in differenzierterer Sicht erscheinen läßt. Und auch die persönlichen Konsumentscheidungen könnten so auf eine bewußtere Grundlage gestellt werden, als es z.B. eine wie auch immer geartete Ökomoral ermöglicht.

Natürlich dürfen die Erwartungen an die schulischen Möglichkeiten beim Umgang mit dem Instrument PLA nicht zu hoch angesetzt werden. Tatsächlich gibt es bislang nur für wenige Produkte hinreichend Daten, die eine Beurteilung in den genannten Grenzen ermöglichen. Glücklicherweise gehören Dämmstoffe zu den relativ gut untersuchten Produkten. Andere, zum Teil wichtigere Bereiche, etwa die Waschmittel, sind längst nicht so gut erfaßt. Einschränkungen sind weiterhin auch bzgl. der selbstständigen Analyse von „Produktlinien“ zu erwarten. Im Unterricht können oft nur anderswo erhobene Daten gesammelt und miteinander ins Verhältnis gesetzt werden. Nicht nur im Falle der Wärmedämmstoffe muß dabei auf außerschulische Informationsquellen zurückgegriffen werden. Industriebildungen und -medien können hier schulische Lehr- und Lernmittel sinnvoll ergänzen. Sie sind oft aktueller als Schulbücher und kostenlos oder gegen eine geringe Schutzgebühr zu beziehen. Da sie der Öffentlichkeitsarbeit dienen und deshalb notwendigerweise Eigeninteressen wie Imagepflege und Werbungsgesichtspunkte verfolgen, müssen die Schüler beim Umgang damit lernen, solche Informationen kritisch zu betrachten; ist die Interessenlage erkannt, können die Informationen nutzbringend verwendet werden. Gleiches gilt natürlich auch für Materialien von industriekritischer oder von staatlicher Seite.

Weitere Möglichkeiten beim Umgang mit PLAs liegen in der Veranschaulichung bzw. Vergegenständlichung der stofflichen und energetischen Zusammenhänge: Es ist durchaus beeindruckend zu sehen, wieviel Rohstoffe und Energie, dargestellt z.B. durch Steinkohlen, für ein Kilogramm eines bestimmten Produktes notwendig sind. Die dazu notwendigen Umrechnungen sind jedoch nicht immer so einfach, wie im nachfolgenden Beispiel. Hier wurde von einer Schülerinnengruppe dargestellt, wieviel Rohstoff (Holz), Energie (als brennende Glühlampe) und Wasser notwendig sind, um die Verpackung für eine bekannte Pralinen-sorte herzustellen.<sup>10</sup>

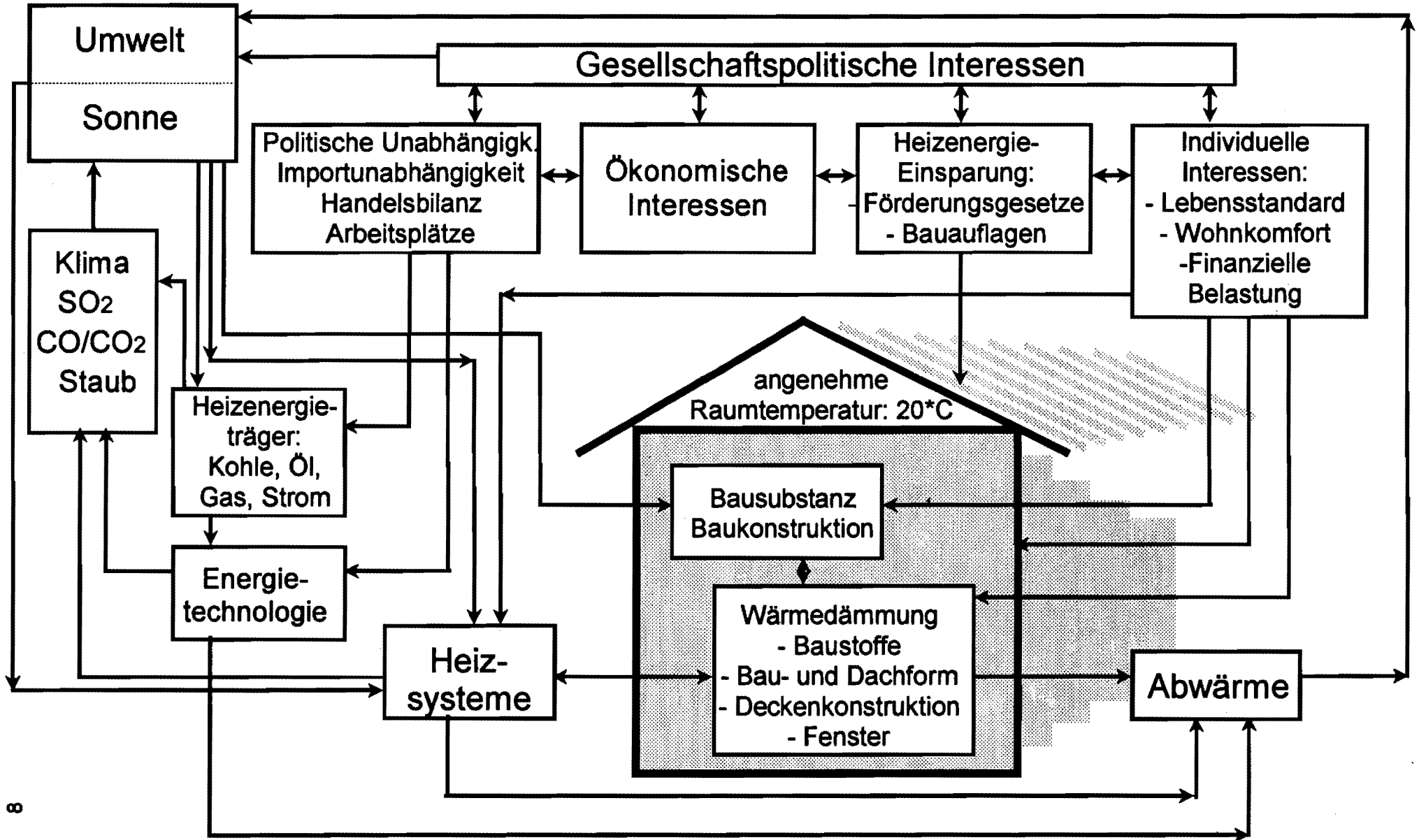


<sup>10</sup> Das Beispiel liegt schon einige Jahre zurück; die Herstellerfirma hat inzwischen den Verpackungsaufwand für viele ihrer Produkte reduziert, so daß die angegebenen Stoffmengen nicht unbedingt mehr zutreffend sein müssen. Das Projekt, an dessen Ende dieses erste Beispiel einer materialisierten PLA stand, ist dokumentiert in folgenden Beiträgen:

L. Stäudel: Projekt Verpackung - Situationen, Produkte, Strukturen. In: Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie 31 (1983), S. 49 - 52

L. Stäudel: "Frau Müller hat Geburtstag" - Berufsschülerinnen machen eine Bildergeschichte zum Thema "Verpackungen". In: päd.extra H. 2-3/1987, S. 20 - 22

# Sach-/Problemstrukturskizze "Dämmstoffe"



## 2.2 Sachproblemstrukturskizze

Angesichts der Komplexität der Thematik, in die „Dämmstoffe“ eingebettet sind - vom globalen und regionalen Energieverbrauch über die drohende Klimaveränderung zum technischen Dämmen und dem Lebensweg der dazu geeigneten Materialien - ist eine Auswahl bzw. Anpassung an die Interessen und die Leistungsfähigkeit der Lerngruppe/Klasse unbedingt erforderlich. Damit diese Auswahl begründet erfolgen kann, ist auf Seite 9 eine Sach-/ Problemstrukturskizze wiedergegeben, die die Beziehungen zwischen einzelnen Sachverhalten und Aspekten aufzeigt. Ähnlich einer Landkarte soll die Lehrerin / der Lehrer mit seinen SchülerInnen daraus einen gemeinsamen Weg finden, der sich für jede Gruppe verschieden gestalten könnte. Ausgangspunkte könnten etwa (aktuelle) Fragen des Hausbaus und der Dämmung bilden; ein Zugang ist aber auch von der „Klimaseite“ her möglich, verbunden mit Fragen der persönlichen Perspektive unter veränderten Lebensbedingungen.

Darüberhinaus muß eine Anpassung bzw. Abgrenzung der Thematik natürlich auch das Alter und möglicherweise verschiedene Bildungsgänge berücksichtigen.

Die Sachproblemstrukturskizze kann umgekehrt auch Teil des Ergebnisses der Auseinandersetzung mit dem Thema „Dämmstoffe“ sein: In einem Schema wie diesem kommen dann die entdeckten Anhängigkeiten und Wechselwirkungen anschaulich zum Ausdruck.

## 2.3 Bezüge zu den gegenwärtigen Lehrplänen

In den Lehr- und Kursstrukturplänen der gymnasialen Oberstufe sind in verschiedenen Fächern, besonders aber im Bereich der Chemie Themen ausgewiesen, in denen „Wärmedämmstoffe“ bzw. „Produktlinienanalysen“ bearbeitet werden können. Zum Teil kann dabei das Thema in seiner vollen Breite behandelt werden, z.T. ergeben sich aspekthafte Bezüge zur Wärmedämmung von anderen Themen aus, die entweder einen stofflichen oder physikalisch-energetischen Schwerpunkt besitzen.

### *Aspekt Struktur und Eigenschaften*

Im Unterschied zu metallischen Werkstoffen mit guter Leitfähigkeit für Wärme (und Elektrizität) ist die Leitfähigkeit von Dämmstoffen definitionsgemäß sehr gering. Diesem makroskopischen Unterschied entspricht auf der Ebene des stofflichen Feinbaus das Vorherrschen verschiedener Bindungstypen. Insbesondere die organisch-chemischen Verbindungen, natürliche wie synthetische, weisen lokalisierte Bindungen auf, die besonders bei großen Molekülverbänden wie Kunststoffen Mitursache sind für die geringe Wärmeleitfähigkeit. Dazu kommen in der Mehrzahl der Fälle physikalische Effekte wie die Isolation durch eingelagerte Gase.

Diesbezügliche Themen finden sich unter dem Stichwort „Struktur und Eigenschaften“ in den Plänen praktisch aller Bundesländer. Dämmstoffe bieten sich insoweit als Beispiele für eine Stoffgruppe mit entsprechenden Eigenschaften an, die über die fachliche Behandlung hinaus auch ökologisch und ökonomisch von hohem Interesse sind und eine fächerübergreifende Bearbeitung ermöglichen.

### *Methodischer Aspekt Produktlinienanalyse (PLA)*

In Produktlinienanalysen wird neben dem Nutzen auch der gesamte Lebensweg eines Produktes mit all seinen ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen betrachtet. Eine Produktuntersuchung in der Schule in Anlehnung an die PLA kommt der vielfach erhobenen Forderung nach, daß die Schüler im (Chemie-)Unterricht neben der fachlichen auch die ge-

sellschaftliche Bedeutung von Produkten kennenlernen und in diesem Zusammenhang durch Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen Kritikfähigkeit erwerben.

Thematisch bieten sich Kurse unter Stichwort „Biochemie und Makromoleküle“ in der Oberstufe an. Als stoffliche Beispiele für Vergleich von Natur- und Kunststoffen unter wirtschaftlichen und strukturellen Gesichtspunkten kommen u.a. Wärmedämmstoffen aus Cellulose und expandiertem Polystyrol<sup>11</sup> an. Produktlinienanalysen von Dämmstoffen können außerdem in Kursen wie „Chemie und Umwelt“ erstellt werden, um Nutzen und negative Auswirkungen von anderen Produkten für Umwelt und Gesellschaft zu zeigen.

#### *Umweltaspekt Luftverschmutzung*

Das Thema „Wärmedämmstoffe“ kann auch bei der Bearbeitung von Ursachen, Folgen und Möglichkeiten zur Reduzierung der Luftverunreinigung ausführlich behandelt werden. Die Bedeutung von Dämmstoffen kann in Verbindung mit dem oft unterschätzten Anteil der Gebäudeheizungen am CO<sub>2</sub>-Ausstoß und der großen Energieeinsparpotentiale in diesem Bereich gezeigt werden.

Vergleichbare Kursinhalte gibt es in Kursen unter der Überschrift „Analysemethoden zur Umweltuntersuchung“ oder „Chemie und Umwelt“ in den Jahrgangsstufen 12 oder 13.

#### *Aspekt Abfall und Recycling*

In der Bundesrepublik Deutschland fallen rund 40 Millionen Tonnen Hausmüll pro Jahr an. Durch knapper werdende Deponieräume und Diskussionen über Gesundheitsgefahren durch die Müllverbrennung ist der Hausmüll in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses geraten. Die rund 16 Millionen Kubikmeter Wärmedämmstoffe, die in Deutschland inzwischen pro Jahr produziert werden, werden in diesem Zusammenhang kaum berücksichtigt. Die Entsorgung der seit den letzten zwei Jahrzehnten verbauten Mengen wird zukünftig Probleme bereiten, denn ein Recycling ist bei vielen Dämmstoffen nicht bekannt oder nicht möglich. Herauszuarbeiten wäre hier beispielhaft, daß auch bei langlebigen Produkten auf Recyclingmöglichkeiten geachtet werden muß.

Thematisch bieten sich hier wiederum Bezüge bei Kursen an wie „Chemie und Umwelt“ oder „Aspekte der chemischen Technologie“.

#### *Aspekt Energieimportabhängigkeit*

Die Folgen der Energieimportabhängigkeit wurden in den 70er Jahren während der beiden Energie(preis)krisen deutlich. Seitdem bemüht sich der Staat, die Importabhängigkeit Deutschlands zu verringern, u.a. durch gesetzliche Bestimmungen zur Verbesserung der Wärmedämmung.

Ein hierzu passendes Kursthema könnte formuliert werden als „ Nutzenergiegewinnung durch chemische Vorgänge“.

#### *In der Mittelstufe ...*

... sehen die in verschiedenen Bundesländern reformierten Lehrpläne inzwischen mehrheitlich Themen vor, innerhalb deren die Dämm- und Dämmstoff-Frage bearbeitet werden

---

<sup>11</sup> Daß Polystyrol hierbei als Dämmstoff behandelt wird, ist keineswegs exotisch: Immerhin werden von den ca. 120.000 Tonnen Polystyrol-Schaumstoffen, die jährlich in Deutschland hergestellt werden, 85.000 Tonnen für den Dämmstoffbereich verwendet. Auf den Verpackungsbereich entfallen "nur" ca. 30.000 Tonnen.



kann, entweder in Zusammenhang mit Aspekten der Energiebereitstellung (Kraftwerke, Rohstoffe, Energieverbrauch) oder als Beispiel der Bearbeitung und Herstellung von Stoffen für einen bestimmten (industriellen/gesellschaftlichen) Zweck bei gleichzeitiger Betrachtung der Wirkungen dieser Produktion und Verwendung auf die Umwelt.

Der Entwurf eines Rahmenplan für das Fach Chemie für hessische Schulen sieht für die Mittelstufe sogar eine annähernde Vergleichbarkeit der Bezüge eines Themas zu den Feldern "Umwelt", "Alltag", "Technologie" und "Fachwissenschaft" vor.

#### *Außerhalb des Regelunterrichts ...*

... eignet sich das Thema auch für die Bearbeitung in Projekten/Projektwochen und im Wahlpflichtbereich. Dort sollten insbesondere die Möglichkeiten genutzt werden, durch kleinere oder größere Exkursionen Objekte *draußen* im Sinne von *außerschulischen Lernorten* in die Arbeit einzubeziehen (z.B. Niedrigenergiehäuser u.ä.).

In verschiedenen Städten haben sich zwischenzeitlich Aktionsbündnisse zum Energiesparen gebildet; diese oder die örtlichen Klimabündnis-Büros bieten sowohl Informationen zu thematisch interessanten Objekten an wie auch die Vermittlung von Fachleuten.

#### **Aktueller Literaturhinweis:**

Klima-Bündnis / Alianza del Clima e.V.

(Hrsg.):

*77 Klima-Bündnis-Ideen*

Beispiele aus der kommunalen Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit zum Nachdenken, Nachlesen, Nachahmen und Nachschlagen

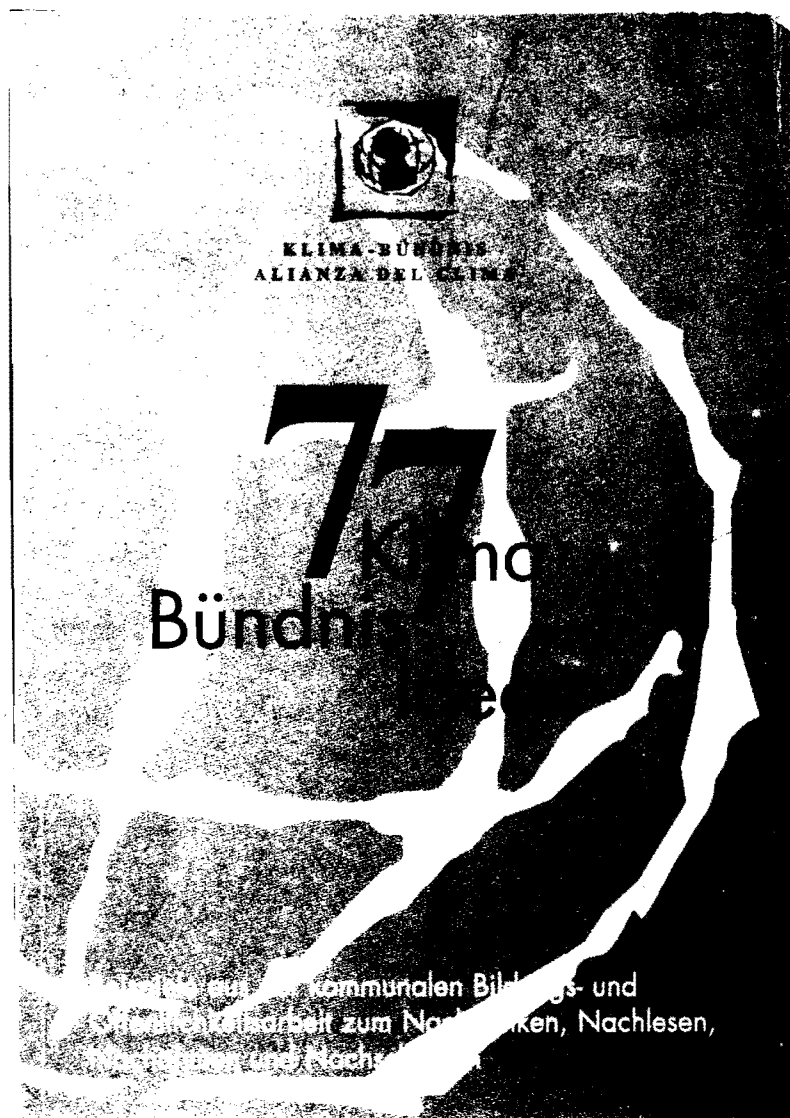
1. Auflage 1996, 344 S.

ISBN 3-9803733-2-0

zu beziehen beim Klima-Bündnis

Philipp-Reis-Straße 84

60486 Frankfurt

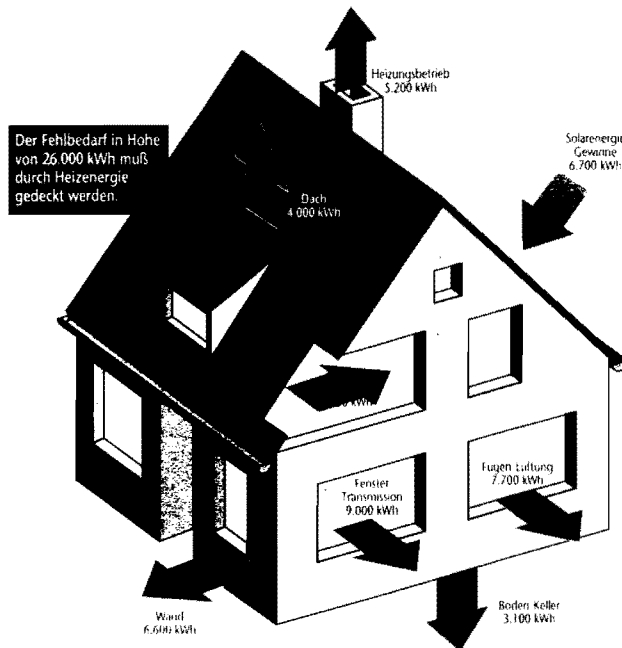


### 3. Materialien - Übersicht

|      |   |    |
|------|---|----|
|      | <b>Wärmedämmung heute</b>   |    |
| M 1  | Die gesellschaftliche und ökologische Bedeutung der Wärmedämmung  | 13 |
| M 2  | Der Dämmstoffmarkt  | 17 |
| M 3  | Wie wird gedämmt? - Dämmung von Gebäudeteilen   | 18 |
|      | <b>Dämmstoffkatalog</b>   |    |
| K 1  | Wärmedämmstoffe aus expandiertem Polystyrol (EPS)   | 20 |
| K 2  | Wärmedämmstoffe aus extrudiertem Polystyrol (XPS)   | 22 |
| K 3  | Polyurethan-Dämmstoffe (PUR)  | 23 |
| K 4  | Mineralfaser-Dämmstoffe   | 26 |
| K 5  | Perlite-Dämmstoffe  | 31 |
| K 6  | Schaumglas-Dämmstoffe   | 32 |
| K 7  | Cellulose-Dämmstoffe  | 34 |
| K 8  | Holzfasern-Dämmstoffe   | 37 |
| K 9  | Holzwohle-Leichtbauplatten  | 38 |
| K 10 | Kork-Dämmstoffe   | 39 |
| K 11 | Schafschurwolle-Dämmstoffe  | 42 |
|      | <b>Dämmstoffe - technische betrachtet</b>   |    |
| E 1  | Eigenschaften von Dämmstoffen - Wärmeleitfähigkeit  | 43 |
| E 2  | Eigenschaften von Dämmstoffen - charakteristische Strukturen  | 44 |
| E 3  | Rechtliche Vorschriften zu Wärmeschutz und Energieeinsparung  | 46 |
| E 4  | Technische Bewertung von Dämm-Maßnahmen: Der k-Wert   | 48 |
| E 5  | k-Wert - ein Berechnungsbeispiel  | 50 |
| E 6  | Weitere Eigenschaften von Dämmstoffen (Diffusionsfähigkeit und Baustoffklassen)   | 52 |
|      | <b>Umfassende Informationen für begründete Auswahl</b>  |    |
| P 1  | Richtig dämmen, aber wie? Hilfen und Instrumente zum Bewerten, Auswählen und Steuern  | 53 |
| P 2  | Die Produktlinienanalyse als Ansatz zur Bewertung der Umwelt- und Sozialverträglichkeit von Produkten   | 54 |
| P 3  | Kriterien zur Beurteilung von Wärmedämmstoffen<br>Energieeinsatz bei der Herstellung / Verfügbarkeit der Wärmedämmstoffe<br>Entsorgungsmöglichkeiten / Gesundheitsbelastungen | 56 |
|      | <b>Experimente und Untersuchungen zum Thema</b>   |    |
| V 1  | Hemmung und Förderung des Pflanzenwachstums durch Borax   | 58 |
| V 2  | Schädlingsschutz durch Borax  | 59 |
| V 3  | Brennbarkeit von Wärmedämmstoffen   | 59 |
| V 4  | Herstellung und Recycling von expandiertem Polystyrol   | 61 |
| V 5  | Polystyrol: Recycling durch Depolymerisation und Polymerisation mittels wasserfreiem Eisen(III)chlorid  | 63 |
| V 6  | Ermittlung von k-Werten im Schulversuch   | 65 |

### M 1 Die gesellschaftliche und ökologische Bedeutung der Wärmedämmung

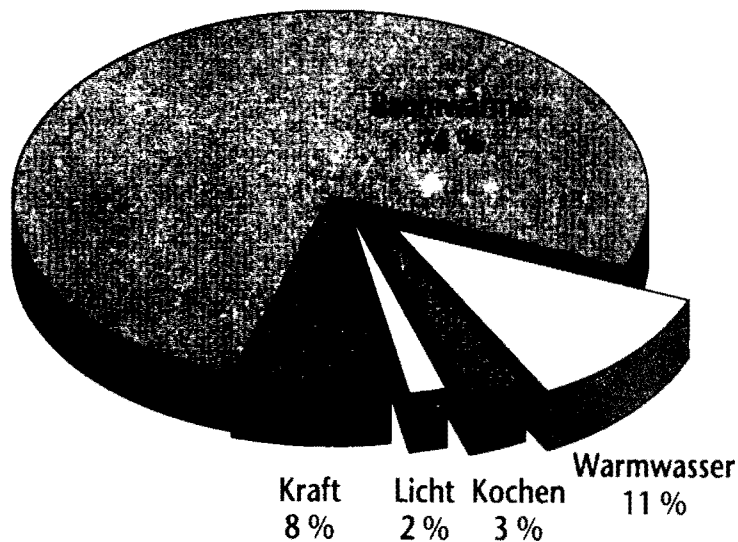
Bedingt durch die klimatischen Verhältnisse müssen Wohnhäuser in Deutschland bis zu neun Monate im Jahr beheizt werden. Hinzu kommt die Warmwasseraufbereitung, die das ganze Jahr hindurch benötigt wird. Die erzeugte Wärme gelangt über die Außenflächen der Gebäude, durch die Lüftung der Räume und durch das Brauchwasser über die Kanalisation in die Umwelt. Diese Wärmeverluste lassen sich durch Wärmedämmung von Gebäuden erheblich reduzieren.



#### Energiebilanz eines Einfamilienhauses

Der Fehlbetrag in Höhe von 26.000 kWh muß durch Heizenergie gedeckt werden

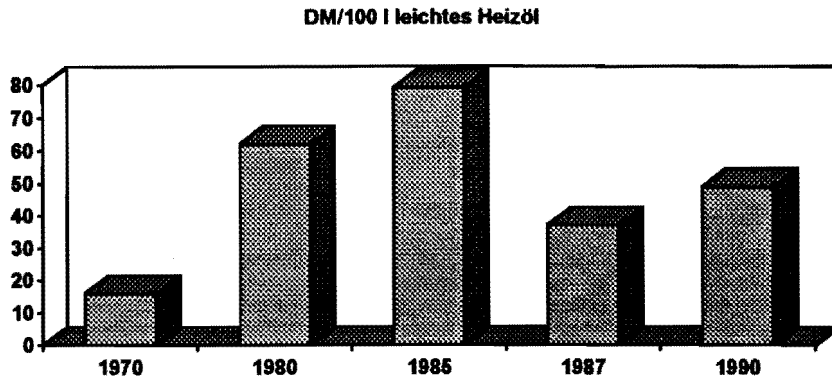
Tatsächlich verbraucht die Heizung bei weitem den größten Anteil der Energie, die in privaten Haushalten insgesamt benötigt wird:<sup>12</sup>



Aufteilung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte

<sup>12</sup> Abbildungen aus: Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Erneuerbare Energien verstärkt nutzen. Bonn 1993, S. 16 bzw. S. 15

Bis Anfang der 70er Jahre wurde der Wärmedämmung kaum Bedeutung zugemessen. Durch die beiden Öl(preis)krisen stiegen aber die bis dahin günstigen Heizölpreise in den Jahren 1973 und 1978/1979 besonders stark an.



Ölpreisentwicklung 1970 - 1980<sup>13</sup>

1976 wurde in der BRD das Energieeinsparungsgesetz und ein Jahr später die erste Wärmeschutzverordnung erlassen, um die Heizkosten durch sinnvolle Wärmedämmung zu senken. Damit sollten u.a. Hausbesitzer finanziell entlastet, die Handelsbilanz Deutschlands verbessert und die Energieimportabhängigkeit der Bundesrepublik verringert werden.

Nachdem ab Mitte der 80er Jahre die Preise für Rohöl und leichtes Heizöl wieder deutlich fielen, verloren die Fragen von Energiesparen und Wärmedämmung deutlich an öffentlichem Interesse. Erst durch drohende Klimaveränderungen und eine breite Diskussion über mögliche Störungen des Gleichgewichts in der Atmosphäre, aber auch durch Ereignisse wie den Golfkrieg kehrten diese Fragen ins Bewußtsein der Öffentlichkeit zurück.

Tatsächlich waren bereits die Ende der 70er Jahre ergriffenen Maßnahmen relativ erfolgreich. Der Expertenkreis Klimavorsorge im Bundesverband der Deutschen Industrie kam zu dem Ergebnis, daß zwischen 1978 und 1988 durch die in diesem Zeitraum produzierten Wärmedämmstoffe 72,8 Millionen Tonnen Heizöl eingespart und die Umwelt mit 455.000 Tonnen Schwefeldioxid und 311.000 Tonnen Stickoxiden weniger belastet wurde.<sup>14</sup>

**Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)** ist ein farbloses, giftiges Gas mit stechendem Geruch. Es bildet mit Wasser (Luftfeuchtigkeit) schweflige Säure, die im Beisein von Luftsauerstoff zu Schwefelsäure oxidiert. Die Säuren sind Bestandteil des "Sauren Regens". Dieser ist Mitverursacher des Waldsterbens, verantwortlich für die Versauerung von Böden und Gewässern sowie für die Korrosion von Metallen und die Zerstörung von Marmor und Kalkstein. Beim Menschen wirkt sich Schwefeldioxid negativ auf die Atemwege aus.

Die Gesamtemissionen an Schwefeldioxid in den alten Bundesländern sanken von 3.750.000 Tonnen im Jahr 1970 auf 940.000 Tonnen in Jahr 1990. Dazu hat neben den Entschwefelungsanlagen in Kraftwerken, der Entschwefelung von Heizöl und industriellem Umweltschutz auch die verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden beigetragen.

<sup>13</sup> Bundesminister für Wirtschaft (Hrsg.): Wärmeschutz bei Gebäuden. Wärmeschutzverordnung vom 24. Februar 1982. Bonn 1983, S. 19

<sup>14</sup> Gesamtverband Dämmstoffindustrie (Hrsg.): Wärmeschutz ist Umweltschutz. Neustadt/ W, 1990, S.1

Zu den Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) zählen die Gase Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) und Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ).  $\text{NO}_x$  entstehen bei Verbrennungsprozessen aus dem in der Luft enthaltenem Stickstoff und dem Sauerstoff oder durch Zersetzung von den im Brennstoff enthaltenen Stickstoffverbindungen. Dabei wird hauptsächlich  $\text{NO}$  gebildet, das in der Atmosphäre zum gesundheitsschädlicheren  $\text{NO}_2$  weiterreagiert. In Verbindung mit Niederschlägen kann sich aus  $\text{NO}_2$  Salpetersäure bilden, die mit zur Entstehung von Saurem Regen beiträgt. Stickoxide reizen die Haut und die Atemwege.

Die jährlichen Stickoxid-Emissionen haben in Deutschland seit 1970 trotz Verringerung der Emissionen aus Industrie, Haushalten und Kraftwerken durch den steigenden Verkehr bis 1990 um 250.000 Tonnen auf 2.600.000 Tonnen zugenommen.<sup>15</sup>

In Deutschland entfällt je ein Drittel der Gesamtemissionen an  $\text{CO}_2$  auf die Beheizung von Gebäuden, Kraftwerken/Industrie und den Verkehrsbereich. Die deutschen Kraftwerke wurden in den letzten Jahren mit Filtern nachgerüstet; diese haben zwar zur Senkung von Emissionen wie Schwefeldioxid beigetragen, können Kohlendioxid aber nicht zurückhalten. Auch bei der Industrie wurden durch verbesserte Produktionstechnologien hauptsächlich andere Emissionen verhindert. Die Möglichkeiten in diesem Sektor, die Kohlendioxid-Emissionen zu senken, werden auf nur 2% geschätzt. Größere Einsparpotentiale bestünden im Verkehrssektor. Doch wurde von der jetzigen Bundesregierung bisher weder ein Tempolimit auf deutschen Straßen eingeführt noch sonstige Maßnahmen ergriffen, um überflüssigen Verkehr zu vermeiden oder den Verkehr mehr auf die umweltfreundlichere Bahn zu verlagern.

Kurzfristige Einsparungen sind damit momentan nur bei der Gebäudeheizung möglich.

Wärmedämmung hat dazu noch den Vorteil, daß die Lebensqualität nicht eingeschränkt wird. Dies erleichtert umweltbewußtes Verhalten: Die  $\text{CO}_2$ -Emissionen können ohne Senkung der Zimmertemperaturen verringert werden. Die Kosten amortisieren sich in einigen Jahren durch den geringeren Energieverbrauch nach der Dämmmaßnahme.

Der Gesamtausstoß an Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) betrug 1990 in den alten Bundesländern 708 Millionen Tonnen und hat sich seit 1970 nur geringfügig geändert. Das Gas ist in den heute vorliegenden Konzentrationen (0,03%) für den menschlichen Organismus nicht schädlich und wird deshalb oft auch nicht als Schadstoff angesehen. Es ist aber mitverantwortlich für das unter dem Begriff "Treibhauseffekt" bekanntgewordene Phänomen der globalen Erwärmung der Erdoberfläche.<sup>16</sup>

Der niedrigere Energieverbrauch durch die Wärmedämmung schont nicht nur die Umwelt, sondern auch die weltweit begrenzten Vorräte an Kohle, Erdöl und Erdgas. Vor allem die chemische Industrie ist entscheidend von der Verfügbarkeit dieser Rohstoff- und Energieträger abhängig, da sie zum einen zu den größten industriellen Energieverbrauchern zählt und andererseits die Rohstoffe für die Herstellung von Zwischen- und Endprodukten benötigt.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Vgl. AG Naturwissenschaften sozial: Luft zum Leben I. Methoden zur Messung der Luftbelastung. Sozmat Materialien für den Unterricht Bd. 31. Marburg 1991

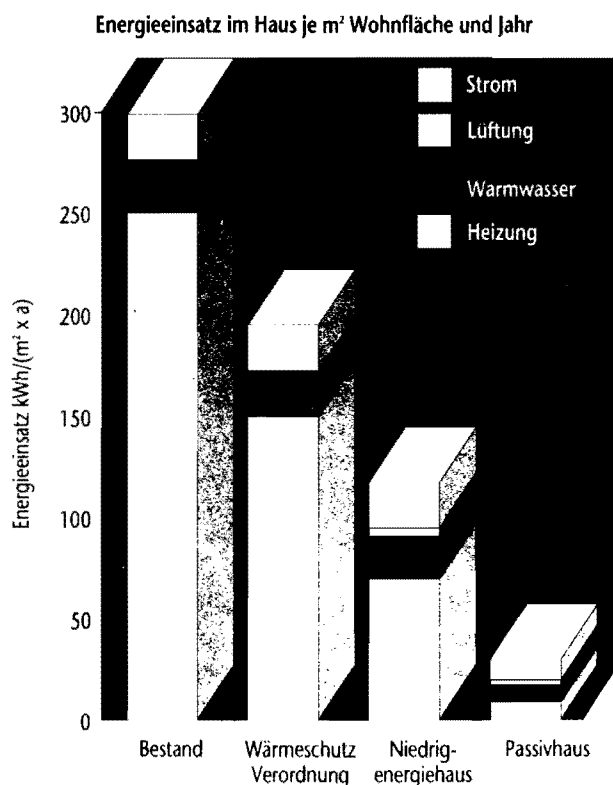
<sup>16</sup> L. Stäudel: Lufthülle aus dem Gleichgewicht. Bremen 1993

<sup>17</sup> K. Weissermel, H.-J. Arpe: Industrielle organische Chemie. Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte. Weinheim 1988 (3. Aufl.), S. 1



Durch die Wärmedämmung von Gebäuden und dem Einsatz von Heizkesseln mit höheren Wirkungsgraden ist seit Ende der 70er Jahre der Brennstoffverbrauch stark verringert worden. Verbrauchten bis 1977 Einfamilienhäuser noch bis zu 40 Liter Heizöl pro m<sup>2</sup> und Jahr, ist der Verbrauch bei Gebäuden, die nach der Wärmeschutzverordnung von 1982 gebaut wurden, auf 15 bis 20 Liter gesunken.<sup>18</sup> Mittlerweile ist eine erneute Novellierung der Wärmeschutzverordnung geplant. Durch moderne Heizanlagen und bessere Wärmedämmung soll der Wärmeenergieverbrauch um weitere 30 - 50 % reduziert werden. Trotzdem gibt es immer noch beträchtliche Energieeinsparpotentiale. Durch Verminderung der Wärmeverluste bei Gebäuden könnten die CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Bereich um mindestens 70% reduziert werden (optimistische Schätzungen sprechen von bis zu 90%).<sup>19</sup>

Mit der heutigen Technik lassen sich Häuser bauen, die nur noch 5 bis 10 Liter Heizöl pro m<sup>2</sup> Wohnfläche benötigen. Die Wärmedämmung bei diesen sogenannten *Niedrigenergiehäusern* liegt deutlich über den heutigen gesetzlichen Anforderungen aus der Wärmeschutzverordnung. Neben einer starken Dämmung besitzen sie Wärmeschutzverglasung, die Lüftungswärmeverluste werden durch Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung möglichst gering gehalten. Außerdem wird darauf geachtet, daß die Außenoberfläche der Gebäude möglichst gering gehalten wird. Die Baukosten erhöhen sich durch diese zusätzlichen Maßnahmen um ca. 4 - 6% gegenüber herkömmlichen Wohngebäuden.



Ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 100 m<sup>2</sup> verbraucht im Jahresdurchschnitt folgende Mengen an Öl: 2700 Liter bei Häusern, die auf konventionelle Art gebaut sind; 1600 Liter bei Häusern, die nach der Wärmeschutzverordnung von 1982 gebaut sind; 1100 Liter bei Häusern nach Schwedischer Norm von 1980 und 500 Liter bei einem Niedrigenergiehaus<sup>20</sup>

<sup>18</sup> Bundesminister für Raumordnung (Hrsg.): Energiesparbuch für das Eigenheim. Bonn 1991, S. 12

<sup>19</sup> Gesamtverband Dämmstoffindustrie, a.a.O.

<sup>20</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V. (Hrsg.): Wärmedämmstoffe und ihre Anwendung. Bonn 1992 (2. Aufl.), S. 7

## M 2 Der Dämmstoffmarkt

Auf dem Dämmstoffmarkt wird eine Vielzahl von Wärmedämmstoffen angeboten, die sich nach Stoffbasis und Stoffstruktur wie folgt einteilen lassen:

|                                      |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| <b>Schaumstoffe:</b>                 |                         |
| <u>organisch</u>                     | <u>anorganisch</u>      |
| Polystyrol-Hartschaum als            | Schaumglas              |
| - Partikelschaum (EPS)               | Calziumsilikat          |
| - Extruderschaum (XPS)               | Perlitdämmplatten       |
| Polyurethan-Schaumstoff (PUR) als    |                         |
| - Hartschaum                         |                         |
| - Ortschaum                          |                         |
| Phenolharz-Hartschaum (PF)           |                         |
| Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum (UF) |                         |
| <b>Faserdämmstoffe:</b>              |                         |
| <u>organisch</u>                     | <u>anorganisch</u>      |
| Holzfaserstoffe                      | Mineralfaserstoffe (MF) |
| Kokosfaserstoffe                     | - Glasfaser             |
| Torffasernstoffe                     | - Steinfaser            |
| Holzwolle-Leichtbauplatten           | - Schlackenfaser        |
| Schafschurwolle                      |                         |
| Cellulose                            |                         |
| <b>Schüttdämmstoffe:</b>             |                         |
| <u>organisch</u>                     | <u>anorganisch</u>      |
| Korkschröt                           | Blähgestein (Perlite)   |
| Hüttenbims                           |                         |
| Blähglimmer                          |                         |
| Bimskies                             | Schaumlava              |
| <b>Sonstige:</b>                     |                         |
| <u>organisch</u>                     |                         |
| Korkplatten                          |                         |

Trotz des vielfältigen Angebots an Wärmedämmstoffen werden bzw. wurden in der Praxis nur wenige Materialien eingesetzt. Den größten Anteil der in Deutschland zur Zeit jährlich produzierten 25 Mio. m<sup>3</sup> Dämmstoffe halten die Mineralfasern und Polystyrol (EPS):

| Dämmstoff                       | Menge in 1000 m <sup>3</sup> | Anteil in % |
|---------------------------------|------------------------------|-------------|
| Mineralfaser                    | 16000                        | 60,4        |
| Polystyrol-Hartschaum (EPS)     | 7400                         | 27,9        |
| Polystyrol-Extruderschaum (XPS) | 800                          | 3,0         |
| Polyurethan-Hartschaum (PUR)    | 1200                         | 4,5         |
| Perlite-Dämmgranulat            | 500                          | 1,9         |
| Holzwolle-Leichtbauplatten      | 400                          | 1,5         |
| sonstige                        | 200                          | 0,8         |
| Summe:                          | 26500                        | 100,0       |

Marktanteile einzelner Wärmedämmstoffe (Stand 1993):<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Nach: Gesamtverband Dämmstoffindustrie: GDI-Baumarktstatistik. Neustadt/W. 1994

### M 3 Wie wird gedämmt? - Dämmung von Gebäudeteilen<sup>22</sup>

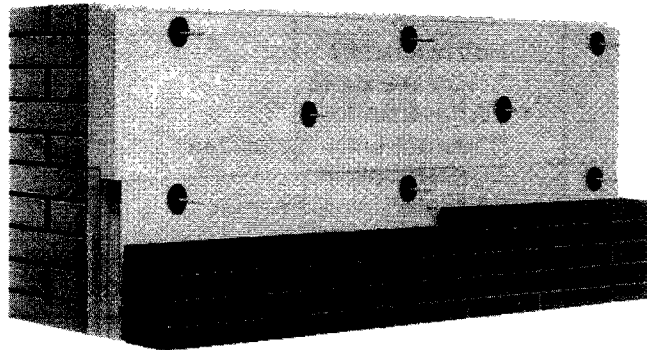
Zur Reduzierung des Wärmedurchgangs bei Gebäuden können Mauerwerk, Dach, Decken und Böden gedämmt werden. Die wichtigsten Dämm-Möglichkeiten sind nachfolgend dargestellt. Allerdings ist nicht jedes Material für alle Dämmarten geeignet, und bei einigen Dämmstoffen weicht der Einbau von den dargestellten Verfahren ab. Darauf und auf Besonderheiten, die nicht aus diesen vereinfachten Abbildungen ersichtlich sind (z.B. der Einbau von Dampfsperren), wird in der näheren Beschreibung der Dämmstoffe eingegangen.

#### A. Außendämmung von Mauerwerk

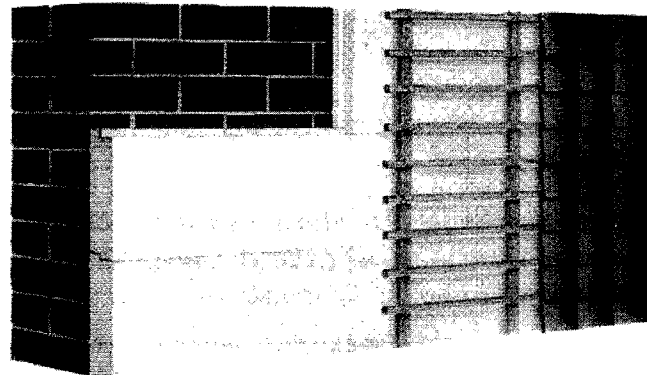
... erfolgt entweder

- durch Kerndämmung
- durch Dämmung einer hinterlüfteten (vorgehängten) Fassade,
- durch Dämmung unter Putz

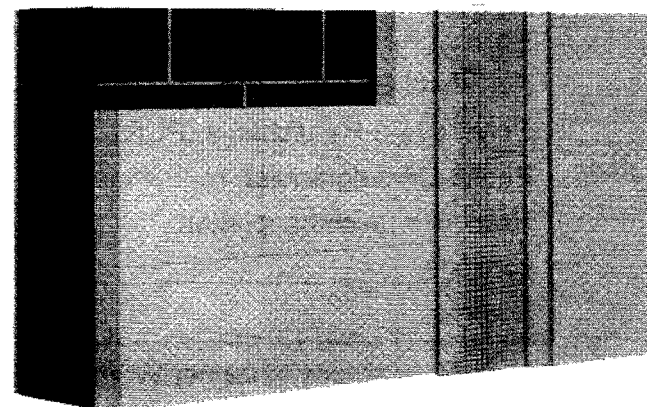
*Kerndämmung eines Mauerwerks*



*Dämmung hinterlüfteter Fassaden*



*Dämmung unter Putz*



<sup>22</sup> Nach: Industrierverband Hartschaum e.V. (Hrsg.): Wärmedämmung: Für jeden Zweck das richtige Material. Sonderdruck aus der Zeitschrift "bauen" Heft 12/1 (1984/85), Frankfurt /M. 1984

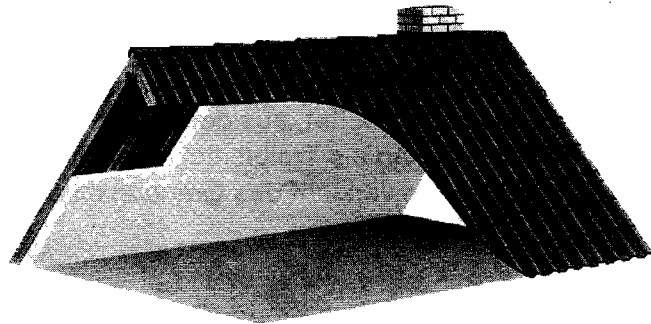
## B. Boden- und Deckendämmung

Eine Wärmedämmung von Decken bzw. Böden ist nur dann sinnvoll, wenn die einzelnen Etagen eines Gebäudes sehr unterschiedlich beheizt werden, z.B. bei Kellerdecken oder Decken, die an ungenutzten Dachböden grenzen.

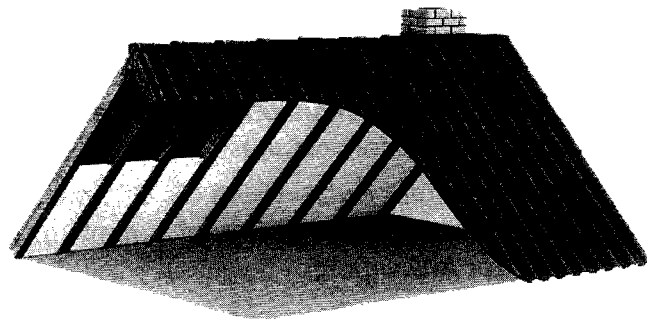
## C. Dachdämmung

... ist zwischen, unter und über den Sparren möglich. Zwischen Dämmschicht und Dacheindeckung muß in allen Fällen für Hinterlüftung gesorgt werden, damit eingetretene Feuchtigkeit wieder abziehen kann.

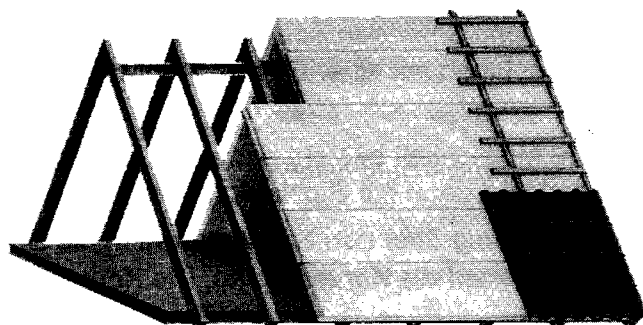
*Dämmung unter den Sparren*



*Dämmung der Sparren-Zwischenräume*



*Dämmung über den Sparren*



## K 1 Wärmedämmstoffe aus expandiertem Polystyrol (EPS)

### Allgemeines

Partikelschaum aus expandiertem Polystyrol (EPS) hat mit 30% den zweitgrößten Marktanteil unter den Wärmedämmstoffen in Deutschland. Er wird aus aufgeschäumten, miteinander verklebten Kügelchen aus Polystyrol hergestellt.

EPS besitzt eine niedrige Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda = 0,035 \dots 0,040$ ), hat eine mittlere bis schlechte Diffusionsfähigkeit und ist schwerentflammbar (Baustoffklasse B1). Sind die Dämmplatten beschichtet, werden sie als normalentflammbar (B2) eingestuft. Im Handel werden Platten, Rollen, Formteile und Blöcke angeboten.

EPS-Dämmstoffe sind unverrottbar, verspröden aber unter UV-Bestrahlung.

### Herstellung

Die Rohstoffe Ethen und Benzol werden aus Erdöl gewonnen. Sie werden zum Zwischenprodukt Styrol weiterverarbeitet, aus dem durch Polymerisation das Polystyrol entsteht. Polystyrol wird mit Pentan als Treibmittel unter Hitzeeinwirkung zu Partikelschaum aufgebläht. Durch die Wärme verklebt das Granulat miteinander.

### Verwendung

#### a) Dämmung von Außenwänden

Für die Dämmung von zweischaligen Mauerwerken (*Kerndämmung*) kann der Raum zwischen den Mauerschalen ganz ausgefüllt werden oder eine Luftschicht zwischen Dämmung und Vormauerschale eingeplant werden.

Bei der *Dämmung von hinterlüfteten Fassaden* sitzen die Dämmplatten direkt auf der tragenden Mauer. Auf der Dämmschicht wird eine Unterkonstruktion aus Latten angebracht, darauf wird die Verkleidung montiert. Dadurch erhält man eine Luftschicht zwischen Dämmstoff und äußerer Verkleidung.

Bei einer *Dämmung unter Putz* werden die Dämmplatten mit Klebemasse oder Klebemörtel an der tragenden Wand befestigt. Darauf kommt zunächst eine Armierungsschicht mit Gewebe und dann der Außenputz.

Für eine Dämmung *von der Raumseite aus* werden Verbundplatten benutzt, die mit Gipskarton, Fertigputz oder Holzwerkstoffen beschichtet sind. Die Platten werden mit Haftgips direkt auf die Wand geklebt.

#### b) Dämmung von Dachschrägen

Bei der *Dämmung unter den Sparren* werden die Dämmplatten direkt auf dem Holz befestigt. Verbundplatten mit einer Oberflächenschicht ermöglichen den weiteren Ausbau des Daches.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die *Zwischenräume der Sparren* mit Dämmplatten auszukleiden und dann mit Gipskarton oder anderen Platten zu verkleiden.

Bei einer *Dämmung über den Sparren* werden die Dämmplatten direkt auf die Sparren genagelt und darauf die Konterlattung. Die Konterlattung garantiert die nötige Hinterlüftung.



### c) Dämmung von Decken und Böden

EPS-Dämmplatten können mit einem Baukleber auf der Unterseite von Decken befestigt werden. Bei Neubauten werden die Platten direkt in die Schalung gelegt und einbetoniert. Für Böden werden spezielle druckfeste Dämmplatten verlegt und z.B. mit Spanplatten abgedeckt.

### Umweltverträglichkeit

Die Herstellung von EPS ist mit Emissionen von Styrol, Benzol und anderen Stoffen verbunden. Für einen Kubikmeter Dämmstoff werden 1050 kWh Energie benötigt, das entspricht einer Menge von 35 kWh/kg.

Die Entsorgung erfolgt meist durch Deponierung. Ein Recycling ist nur begrenzt möglich: Saubere Polystyrolreste können zu bestimmten Anteilen der Neuproduktion zugegeben werden. Durch physikalisches Recycling erhält man nur qualitativ minderwertigere Stoffe, bei einem Recycling mit stofflicher Umwandlung der Abfälle entstehen viele unerwünschte Nebenstoffe.

### Gesundheitsaspekte

Aus Polystyrol-Dämmstoffen können Styrolreste in die Raumluft entweichen. Laut Herstellerangaben liegen die Styrolemissionen deutlich unter den Grenzwerten. In einem Test des Hygiene-Instituts der Universität Heidelberg wurden in einem Versuchsraum unter extremen Testbedingungen 4 mg/m<sup>3</sup> Luft als Maximalkonzentration gemessen.<sup>23</sup>

Als Flammenschutzmittel im EPS-Schaum enthaltene bromierte Kohlenwasserstoffe können sich im Brandfall oder in Müllverbrennungsanlagen zu Dioxinen und Furanen umwandeln.

#### **Exkurs: Gesundheitsgefährdungen durch Styrol**

Wird die maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) von 420 mg/m<sup>3</sup> Luft überschritten, kann es durch Styrol zur Reizung der Schleimhäute kommen.<sup>24</sup>

Bei einer inhalativen Aufnahme über einen längeren Zeitraum können u.a. Leberschäden und Störungen des reproduktiven Systems auftreten.<sup>25</sup>

In Untersuchungen fand man bei Mitarbeitern in styrolverarbeitenden Betrieben ein häufigeres Auftreten bestimmter Krankheiten wie Störungen des Nervensystems und des Verdauungstraktes, Hautschäden oder Tuberkulose.<sup>26</sup>

Im Körper wird Styrol zu 7,8-Styroloxid umgewandelt, das sich in Tierversuchen als krebserzeugend und erbgutverändernd gezeigt hat.<sup>27</sup>

<sup>23</sup> H. Schmitt, Hans, 1985, S.2

<sup>24</sup> Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der GDCh: Styrol, 1990, S.122

<sup>25</sup> Koch, 1989, S.375

<sup>26</sup> Kur, 1986, S.199

<sup>27</sup> Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der GDCh: Styrol, a.a.O., S.58

## K 2 Wärmedämmstoffe aus extrudiertem Polystyrol (XPS)

### Allgemeines

Polystyrol-Extruderschaum (XPS) hat einen Marktanteil bei den Wärmedämmstoffen von 2 bis 3 %. Er wird aus Polystyrol hergestellt, das mit teilhalogenierten Kohlenwasserstoffen (HFCKW) oder Kohlendioxid aufgeschäumt wird. Die Wärmeleitfähigkeit liegt bei  $\lambda = 0,030 \dots 0,035$ , die Diffusionsfähigkeit ist schlecht.

Angeboten wird der Dämmstoff in Form von Platten, die schwerentflammbar (Baustoffklasse B1) sind. Beschichtete Platten sind normalentflammbar (Baustoffklasse B2).

Der Dämmstoff ist unverrottbar.

### Herstellung

Wie expandiertes Polystyrol wird XPS aus Polystyrolgranulat hergestellt. Die Weiterverarbeitung zu den Dämmplatten verläuft jedoch anders. Das treibmittelfreie Granulat wird in Extrudern aufgeschmolzen und mit dem Treibmittel vermischt. Es tritt durch eine Breit-schlitzdüse aus. So entsteht ein Schaumstoffband, das zu Dämmplatten zugeschnitten wird. Als Treibmittel werden hauptsächlich teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe wie HFCKW 142b oder HFCKW 22 verwendet, vereinzelt werden auch Kohlendioxid oder Ethanol eingesetzt.

### Verwendung

XPS-Dämmstoffe besitzen hohe Druckfestigkeit und sind stark wasserabweisend. Sie werden daher vor allem bei der Wärmedämmung von Außenwänden eingesetzt, die mit Erde in Berührung kommen, bei der Bodendämmung von Lagerhallen, Parkdecks oder im Straßenunterbau. Außerdem wird XPS für die Dämmung von Wänden, Dächern, Böden und Decken verwendet. Der Einbau ist der ähnlich wie beim EPS.



*Dämmung gegen Frostaufbrüche im Straßenbau<sup>28</sup>*

### Umweltverträglichkeit

Für ein Kilogramm Dämmstoff werden bei der Herstellung 12 kWh an Energie benötigt. Wie beim EPS ist beim XPS mit Styrolemissionen bei Produktion und Weiterverarbeitung zu rechnen.

Zum Aufschäumen der Dämmstoffe werden hauptsächlich (teil-)halogenierte Kohlenwasserstoffe verwendet. Sie können während der Produktion, Nutzung oder Entsorgung in die Luft

<sup>28</sup> Abb. aus: BASF AG: Styrodur. Eigenschaften und Anwendungen. Ludwigshafen 1990

gelangen, wo sie bis in die Stratosphäre aufsteigen und zum Abbau der Ozonschicht beitragen. Außerdem verstärken diese Stoffe den Treibhauseffekt.

Das von der BASF heute verwendete HFCKW 142b besitzt nach Herstellerangaben ein um 95% geringeres Ozonabbaupotential und ein um 88% geringeres Treibhauspotential als das früher eingesetzte FCKW 12.

Ein Recycling ist nur während der Herstellung durch Zurückführen von Verschnittgut bekannt. Der Dämmstoff wird deponiert oder in Müllverbrennungsanlagen entsorgt.

### Gesundheitsaspekte

Aus XPS-Dämmstoffen entweicht monomeres Styrol in die Raumluft. Die Konzentration liegt nach Herstellerangaben auch in ungünstigen Fällen deutlich unter dem MAK-Wert von 420 mg/m<sup>3</sup> Luft.

Beim Zuschneiden der Platten mit Heißdraht können die krebserzeugenden Stoffe Styrol und Dichlormethan freigesetzt werden. Im Brandfall kann es zu Gesundheitsbelastungen durch Bromverbindungen (Flammschutzmittel) kommen.

\*\*\*

## K 3 Polyurethan-Dämmstoffe (PUR)

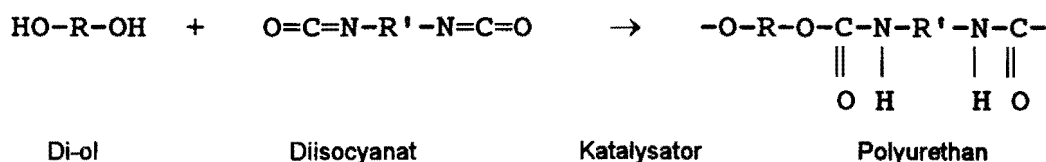
### Allgemeines

Polyurethan-Schaumstoffe haben Anteil von 4 - 5 % am Dämmstoffmarkt und sind damit nach den Mineralfasern und Polystyrol die am drittmeisten verwendete Produktgruppe.

Man unterscheidet zwischen Hart- und Ortschaum. Hartschaum-Polyurethan kommt als Platten in den Handel, Ortschaum wird direkt an der Anwendungsstelle zum Ausschäumen von Hohlräumen, z.B. bei Fenster- und Türrahmen, verwendet. PUR-Hartschaum ist als schwerentflammbar (B1) oder normalentflammbar (B2) eingestuft, Ortschaum ist normalentflammbar. Die Wärmeleitfähigkeiten liegen sehr niedrig ( $\lambda = 0,020 \dots 0,035$ ), die Diffusionseigenschaften sind schlecht.

### Herstellung

Polyurethane werden durch Polyaddition von Di- oder Polyisocyanaten und Di- oder Polyolen hergestellt. Das mengenmäßig bedeutendste Diisocyanat ist das 4.4'-Diphenylmethan-diisocyanat (MDI). Daneben werden auch Hexamethylen-1.6-diisocyanat (HDI) und das Toluylendiisocyanat (TDI) verwendet. Die Isocyanate erhält man durch Umsetzung der Di- oder Polyamine mit Phosgen (COCl<sub>2</sub>). Für die Additionsreaktion werden hauptsächlich Polyetheralkohole (Polyethylen- und Polypropylenglykole) und Umsetzungsprodukte von Propylenoxid mit mehrwertigen Alkoholen verwendet. Außerdem werden auch Polyesteralkohole eingesetzt.



Die durch die Polyaddition entstehenden Ketten werden durch den Zusatz von drei- und mehrwertigen Alkoholen (z.B. Glycerin) vernetzt. Anschließend wird mit Treibgasen aufgeschäumt und das PUR im Falle von Hartschaum zu Platten geschnitten.

Bei Ortschaum werden die Grundmaterialien erst unmittelbar bei der Verwendung - z.B. beim Verankern von Fenstern - mit Hilfe von Luft- oder Flüssigkeitsdruck aufgeschäumt.

### Verwendung

Polyurethan-Ortschaum wird hauptsächlich zur Dämmung von Schiffen, Anlagenteilen in der Industrie oder Kühlhäusern verwendet. Der Schaum eignet sich zum Ausfüllen von Hohlräumen, aber auch für Dämmschichten beliebiger Dicken. Pro Arbeitsgang kann eine Schicht von 15 mm aufgetragen werden. Der Vorgang kann beliebig wiederholt werden.

Polyurethan-Hartschaumstoffe gibt es in sehr unterschiedlichen Ausführungen für viele Einsatzmöglichkeiten:

#### a) Dämmung von Außenwänden

Die PUR-Platten werden bei der Außendämmung unter Putz mit Spezialklebern auf einschaliges Mauerwerk aufgeklebt und dann mit einem gewebeverstärkten Kunstharzputz versehen.

Bei einer Innendämmung werden die Platten zusammen mit einer Dampfsperre an der Wand angebracht und mit Elementen wie Gipskartonplatten verkleidet.

Bei der Kerndämmung werden die PUR-Platten an der tragenden Mauer befestigt. Zwischen Dämmstoff und Verblendmauerwerk wird ein Luftraum belassen.

Für die Dämmung einer Außenwand mit vorgehängter, hinterlüfteter Fassade werden die PUR-Platten an der Mauer befestigt und die Fassade durch den Dämmstoff hindurch an der Mauer angebracht.

#### b) Dämmung von Dachschrägen

Zur Dämmung unter den Sparren werden die PUR-Platten auf den Sparren befestigt und mit Elementen wie Gipskartonplatten verkleidet. Bei Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit sollte eine Dampfsperre zwischen Dämmstoff und Verkleidung eingebaut werden.

Erfolgt die Dämmung auf den Sparren, wird die Konterlattung durch die Dämmplatten hindurch auf die Sparren genagelt.

Bei einer Dämmung zwischen den Sparren muß auf gute Hinterlüftung zwischen Dämmplatten und Dacheindeckung geachtet werden.

#### c) Dämmung von Böden und Decken

Die Dämmung von Böden und Decken mit PUR-Platten erfolgt wie mit Mineralfaser-Dämmplatten.

### Umweltverträglichkeit

Der Energieaufwand zur Herstellung von Polyurethan-Dämmstoffen liegt bei 38 kWh/kg. Das ist der unter den in diesem Katalog vorgestellten Dämmstoffen höchste Wert. Zur Aufschäumung wurde bis vor kurzem teilweise noch das ozonschädigende FCKW R11 als Treibmittel eingesetzt.

**Exkurs: FCKW-Lager PUR-Schaum**

1991 wurden in der Bundesrepublik Deutschland 40.000 Tonnen FCKWs verbraucht. 22.000 Tonnen, also mehr als die Hälfte, wurden für die Produktion von Schäumen - meist PUR-Schäume - verwendet. Ein großer Teil dieser Gase befindet sich noch in den bereits verarbeiteten Dämmstoffen. Diese FCKWs werden nach und nach freigesetzt, spätestens bei Renovierung oder Abriß der betreffenden Gebäude.

Übergangsweise soll PUR mit „Hydrofluorchlor-Kohlenwasserstoffen“ aufgeschäumt werden, deren ozonschädigendes Potential im Vergleich zu R11 „nur“ 5 - 10% beträgt. Zukünftig soll nur noch Pentan oder Wasser zum Aufschäumen verwendet werden. Wasser reagiert mit der Isocyanat-Gruppe zu einem Polyhamstoff, wobei Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht, das dann als eigentliches Treibmittel fungiert.

Die Entsorgung von PUR erfolgt durch Deponierung, der Stoff ist biologisch nicht abbaubar. Das Recycling der Polyurethane (Einschmelzen und erneutes Formgeben) ist bei den vernetzten PUR-Produkten nicht möglich. Zur Zeit wird daran gedacht, PUR-Abfall zerkleinert als Füllstoff bei Neuteilen zu verwenden oder daraus mit Hilfe von Bindemittel Platten für den Möbel- und Bausektor herzustellen.

**Gesundheitsaspekte**

Diisocyanate sind hochgiftig. Gesundheitsgefährdungen bei der Produktion sind nicht auszuschließen. Auch im Brandfall können gesundheitsschädliche Brandgase entstehen, die kohlenstoff- und stickstoffhaltige Spaltprodukte sowie Cyanwasserstoff enthalten.<sup>29</sup>

Bei Ortschaum kann es schon bei den Dämmarbeiten zu Gefährdungen kommen, da Restmonomere, Stabilisatoren oder Weichmacher emittieren können.<sup>30</sup>

Die Herstellung der Diisocyanate erfolgt je nach Herstellungsverfahren mit Phosgen. Dieser Stoff wurde im Ersten Weltkrieg als Kampfstoff eingesetzt. Um die Unfallgefahr bei der Produktion von Polyurethanen möglichst gering zu halten, wird dieses Vorprodukt heute weitestgehend nur nach Bedarf erzeugt, um die eingesetzte Menge Phosgen möglichst gering zu halten und um auf gefährliche Lagertanks verzichten zu können.

---

<sup>29</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., a.a.O., S.35

<sup>30</sup> Tomm, a.a.O., S. 116

## K 4 Mineralfaser-Dämmstoffe

### Allgemeines

Zu den Mineralfaser-Dämmstoffen zählen Steinwolle und Glaswolle sowie die weniger bedeutsame Basaltwolle und Schlackenwolle. Mit nahezu 60 % halten die Mineralfasern den größten Marktanteil unter den Wärmedämmstoffen in Deutschland. Sie werden in Form von Matten, Rollen, Filze, Streifen oder Platten angeboten.

Mineralfaserdämmstoffe sind in Baustoffklasse A1 und A2 (nichtbrennbar) eingestuft. Die Wärmeleitfähigkeiten von Glaswolle liegen bei  $\lambda = 0,035 \dots 0,040$ , von Steinwolle bei  $\lambda = 0,035 \dots 0,050$ . Die Diffusionsfähigkeit ist gut.

### Herstellung

Mineralfaserstoffe werden aus Altglas, Hochofenschlacke oder Sedimentgesteinen (Kalkstein, Dolomit u.a.) hergestellt. Die Rohstoffe werden bei großer Hitze geschmolzen und dann durch Düsen gepreßt, wodurch sich Fasern bilden. Durch Kunstharze (hergestellt aus Phenol, Formaldehyd und Harnstoff) werden die Fasern miteinander verklebt. In einem Heißluftstrom härtet das Kunstharz aus. Dabei entstehen Emissionen am Arbeitsplatz, u.a. entweichen flüchtige Stoffe wie Formaldehyd oder Phenol. Nach dem Aushärten wird der Dämmstoff zu den gewünschten Fertigprodukten zugeschnitten. Durch Zugabe von verschiedenen Ölen soll das frühzeitige Brechen der Fasern verhindert werden. Insgesamt bestehen die Dämmstoffe aus mindestens 90% Mineralfasern, ca. 7% Kunstharz sowie 1% Öle und andere Zusätze (z.B. wasserabweisende Stoffe).

### Verwendung

Aufgrund der geringen Bedeutung von Basaltwolle und Schlackenwolle beziehen sich die folgenden Anwendungsmöglichkeiten nur auf Steinwolle und Glaswolle. Beide Dämmstoffe werden für verschiedene Zwecke in unterschiedlichen Ausführungen angeboten:

#### a) Dämmung von Außenwänden



Für die *Außendämmung bei vorgehängten Fassaden* werden Dämmplatten direkt auf das Mauerwerk geklebt. Auf die Dämmschicht wird die Fassade befestigt. Bei hinterlüfteten Fassaden wird zwischen Dämmschicht und Fassade eine Lattung angebracht.

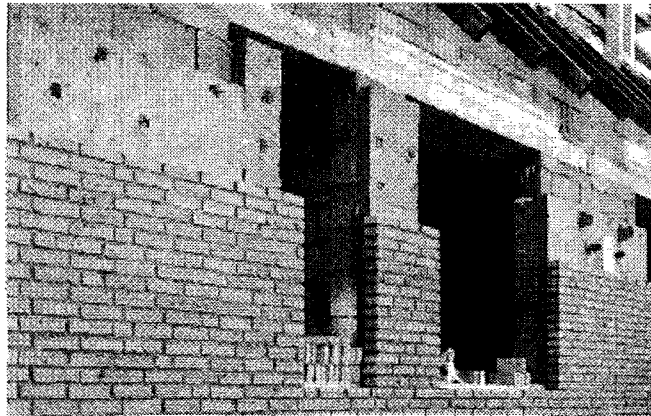
*Außendämmung bei vorgehängter, hinterlüfteter Fassade<sup>31</sup>*

<sup>31</sup> Grünzweig+Hartmann AG, 1990, S.11

Für die *Dämmung mit Putzschicht* gibt es spezielle Verbundsysteme. Sie werden an dem Mauerwerk befestigt und darauf direkt der Außenputz aufgetragen.

Für die *Innendämmung von Außenwänden* gibt es ebenfalls spezielle Systeme, bei denen der Putz direkt auf die Dämmplatten aufgetragen werden kann. Eine andere Möglichkeit besteht darin, Ständerwerk aus Holz- oder Metallprofilen an der Wand anzubringen, zwischen denen die Dämmplatten eingeklemmt werden. Auf das Ständerwerk wird eine Dampfsperre (z.B. Polyethylen-Folie) und dann die Wandverkleidung (z.B. Gipskartonplatten) angebracht.

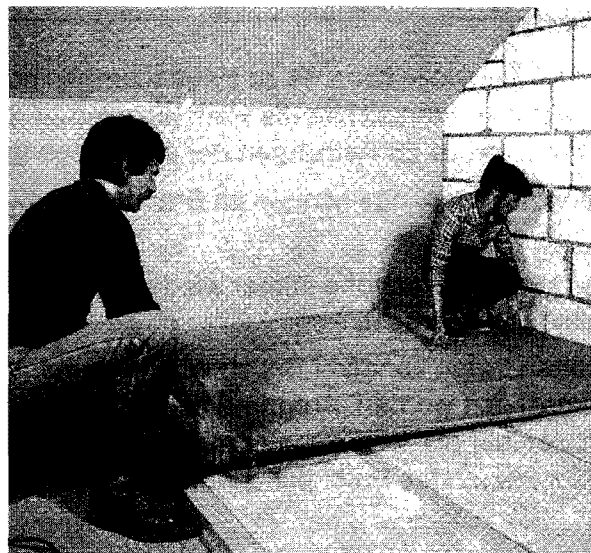
Bei einer *Dämmung von zweischaligem Mauerwerk* werden die Dämmplatten zwischen Verblendmauerwerk (evtl. mit Luftschicht dazwischen) und tragendem Mauerwerk angebracht.



*Dämmung von zweischaligem Mauerwerk<sup>32</sup>*

#### b) Dämmung von Böden und Decken

Für die *Dämmung von Decken und Böden* werden Kanthölzer am Untergrund angeschraubt und die Dämmplatten zwischen die Hölzer geklemmt. Die Verkleidung wird dann auf der Holzkonstruktion angebracht.



*Dämmung eines Bodens<sup>33</sup>*

<sup>32</sup> Abb. aus: Deutsche Rockwool Mineralwoll-GmbH, 1990, S.9

<sup>33</sup> Abb. aus: Grünzweig+Hartmann AG, a.a.O. S.9



### c) Dämmung von Dachschrägen

Für die Dämmung *zwischen den Sparren* gibt es Dämmfilze, die einseitig mit Aluminiumfolie beschichtet sind. Der Dämmstoff wird in die Sparren (Aluminiumfolie zur Raumseite) eingepaßt. Mit Aluminiumband werden die Nähte zwischen den Dämmstoffbahnen verklebt. Bei Filzbahnen ohne Aluminiumbeschichtung werden nach der Einpassung der Mineralwolle Dampfbremsen aus Kunststoffolien zur Raumseite hin angebracht. Für die *Dämmung auf den Sparren* gibt es spezielle Verbundprodukte mit einseitig aufgeklebter Kaschierung.

### Umweltverträglichkeit

Zur Herstellung von Mineralwolle wird im Vergleich zu aufgeschäumtem Polystyrol nur ca. ein Siebtel der Energie (5 kWh/kg statt 35 kWh/kg) benötigt. Bei der Herstellung entstehen Emissionen von Phenol und Formaldehyd aus den Bindemitteln.

Ein Recycling von Mineralwolle ist kaum möglich. Ausgedientes Material landet als Bauschutt auf der Deponie. Es ist biologisch nicht abbaubar.

Inzwischen wird für die Produktion von Glaswolle hauptsächlich Altglas verwendet.

### Gesundheitsaspekte

Bei der Produktion entstehen gesundheitliche Belastungen durch Mineralfasern und den bei der Produktion entweichenden Bindemittel-Bestandteilen Phenol und Formaldehyd.

#### **Exkurs: Gesundheitsgefahren durch Formaldehyd und Phenol <sup>34</sup>**

Formaldehyd ist ein stechend riechendes Gas, das beim Einatmen Kopfschmerzen, Atemwegreizungen und bei Hautkontakt allergische Reaktionen hervorrufen kann. Bei hohen Konzentrationen sind Lungenschäden zu befürchten.

Formaldehyd zeigte bei Tierversuchen krebserzeugende Wirkung.

Die Aufnahme von Phenol in den Körper kann zu Beeinträchtigungen des Kreislauf- und Nervensystems führen sowie Leber- und Nierenschäden verursachen. Eine erbgutverändernde Wirkung wird nicht ausgeschlossen.

Bei der Verarbeitung von Mineralwolle kann es zu Hautreizungen kommen, denn Fasern mit einer Dicke über 5 Mikrometer können sich in die Haut einspießen. Durch den bei der Verarbeitung auftretenden Staub kann es zu Reizungen der Atemwege und der Augen kommen.

Mineralwolle ist nicht brennbar, allerdings können im Brandfall Formaldehyd-Dämpfe freigesetzt werden.

In der letzten Zeit wurden Mineralfaserstoffe immer wieder mit der Gefahr einer Lungenkrebserkrankung in Verbindung gebracht.

Bei Tierversuchen mit Ratten traten verstärkt Bauchfelltumore auf, nachdem den Tieren Fasern in die Bauchhöhlen gespritzt wurden. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden Fasern mit einem Durchmesser von weniger als 1 Mikrometer mit „begründetem Verdacht auf vermutetes nennenswertes krebserzeugendes Potential“ eingestuft.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Vgl. Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.): MAK-Liste 1994

<sup>35</sup> Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V., a.a.O., S.5

**Exkurs: Krebsgefahren durch Fasermaterialien**

Um Krebs erzeugen zu können, muß eine Faser einen bestimmten Durchmesser und eine bestimmte Länge besitzen sowie eine gewisse Beständigkeit im Körper haben.

Nur Fasern mit einem Durchmesser kleiner als 3 und einer Länge kürzer als 100 Mikrometer können in die Lunge gelangen.<sup>36</sup> Länge und Dicke der Fasern müssen zudem mindestens im Verhältnis 3:1 zueinander stehen.

Krebserkrankungen können auftreten, wenn Fasern mit einer Länge über 5 und einer Breite unter 3 Mikrometer über einen längeren Zeitraum in der Lunge verbleiben.<sup>37</sup>

Laut Herstellerangaben besitzt der überwiegende Teil der Stein- und Glaswollfasern eine Länge von einigen Zentimetern und einen mittleren Durchmesser von 3 bis 5 Mikrometern. Die als gefährlich eingestuft Fasern unter einem Mikrometer Durchmesser haben bei den Mineralfaser-Dämmstoffen einen Anteil von 1 - 10%.<sup>38</sup>

Trotz dieses Anteils an gefährlichen Fasern konnten bei Untersuchungen an Arbeitnehmern der Glaswollindustrie keine Häufungen bösartiger Erkrankungen festgestellt werden.<sup>39</sup> Die Hersteller begründen dies vor allem mit folgenden zwei Punkten:

1. Um Krebs auslösen zu können, müssen die Fasern eine bestimmte Zeit im Körper verbleiben. Im Gegensatz zu den erwiesenermaßen krebserzeugenden Asbestfasern, die sich theoretisch bis zu 100 Jahren im menschlichen Körper einlagern könnten, lösen sich Mineralfasern nach einigen Jahren auf.

2. Asbestfasern spleißen sich der Länge nach auf, werden dadurch immer dünner und damit gefährlicher. Mineralwollfasern brechen quer zur Faser und werden dadurch im Körper immer mehr zu Staubpartikeln.<sup>40</sup>

Die Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung in Bonn kommt dagegen zu einem anderen Urteil bezüglich der Gefährlichkeit bzw. der Unbedenklichkeit von Mineralfaser-Dämmstoffen. In einer Broschüre wird darauf verwiesen, daß laut amerikanischen Untersuchungen die Lungenkrebsrate bei Mitarbeitern der Mineralwollindustrie um 25% höher liegt als im Durchschnitt.<sup>41</sup>

Das Bundesgesundheitsamt, das Umweltbundesamt und das Bundesamt für Arbeitsschutz hatten eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die die Gefährlichkeit von Mineralfaser-Dämmstoffen beurteilen sollte. Im September 1993 lautete das Ergebnis, daß Mineralfasern genauso krebserregend sein können wie Asbestfasern. Die Keramikfasern, die hauptsächlich für Hochtemperaturisolierungen verwendet werden, wurden als „nachweislich beim Menschen krebserregend“ eingestuft. Trotz deutlich geringerer Gefährdung durch Glas- und Steinwollfasern muß nach Meinung der Experten bei allen Mineralfasern eine krebserregende Wirkung angenommen werden. Für die Keramikfaser-Industrie forderte die Arbeitsgruppe eine Verschärfung der Grenzwerte am Arbeitsplatz.

<sup>36</sup> Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V., a.a.O., S.6

<sup>37</sup> Tomm, 1992, S.115

<sup>38</sup> Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V., a.a.O., S.3

<sup>39</sup> Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., BUND Umweltzentrum Stuttgart, ebenda

<sup>40</sup> Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V., a.a.O., S.6

<sup>41</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., a.a.O., S.32

Eine endgültige Klärung dieses Sachverhaltes ist zur Zeit nicht in Sicht. Wer kein Risiko eingehen möchte, sollte deshalb auf Mineralwolle als Dämmstoff verzichten oder zumindest die Verarbeitungshinweise beachten, z.B. für gute Lüftung der Räume sorgen und eine Atemschutzmaske bei der Verarbeitung tragen.

Daß die Diskussionen um die möglichen Gesundheitsgefahren durch Mineralfaser-Dämmstoffe noch nicht beendet sind, zeigt der folgende, leicht gekürzte Beitrag aus den „Ökologischen Briefen“ Mitte 1995 <sup>42</sup>

## Krebserregende Dämmstoffe weiter auf dem Markt

*Der deutsche Markt für konventionelle Dämmstoffe ist im Umbruch: Jahrelang hatte sich die Mineralfaserindustrie gegen eine Einstufung ihrer Erzeugnisse als krebserzeugend zur Wehr gesetzt. Jetzt beugt sie sich - wenn auch ungern - dem Urteil deutscher Experten und stellt auf Produkte um, von denen angenommen wird, daß sie keine Tumoren verursachen. Doch der Konflikt ist noch nicht beendet. Nicht alle Hersteller halten sich an die Bewertungskriterien, die der Bundesminister für Arbeit in einer Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) festgelegt hat. Auch von Seiten der Europäischen Union könnte das mühsam geschaffene Regelwerk wieder zu Fall gebracht werden.*

Winzig klein sind sie, die heimtückischen Fasern, die ebenso wie Asbest durch Einatmen Tumoren in der Lunge, im Brust- und im Bauchfell erzeugen können. Seit Juni diesen Jahres ist es in der TRGS 905 amtlich festgeschrieben: Herkömmliche Glas-, Stein-, Keramik- und Schlackefasern, die länger sind als fünf Mikrometer, dünner als drei Mikrometer und mindestens dreimal so lang wie dick, gehören zu den krebserzeugenden Stoffen. Damit übernahm der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (BMA) offiziell die 1993 erfolgte Neueinstufung durch die MAK-Kommission (MAK=Maximale Arbeitsplatzkonzentration) und setzte so dem langjährigen Streit zwischen Experten aus Forschung und Mineralfaserindustrie ein - zumindest vorläufiges - Ende.

### Entscheidend ist die Biobeständigkeit

Neben der Größe der Faser entscheidet die biologische Beständigkeit der Partikel im Körper über deren Gefährlichkeit. Zur Einstufung der Mineralfaserprodukte bietet der federführende Ausschuß für Gefahrstoffe (AGS) des BMA in der TRGS einen sehr pragmatischen Ansatz an: den sogenannten Kanzerogenitätsindex KI. Um langwierige Tierversuche zu vermeiden, soll aus der chemischen Zusammensetzung glasiger Fasern mittels einer Formel ihre Biobeständigkeit und ihre dadurch bedingte kanzerogene Wirkungsstärke ermittelt werden ( $KI = \text{Summe Na-, K-, B-, Ca-, Mg-, Ba-Oxide} - 2 \times \text{Al-Oxide}$ ). Vom Verdacht freigesprochen werden die Fasern, deren KI-Wert größer 40 ist, bei Fasern mit einem KI zwischen 30 und 40 besteht Krebsverdacht, Fasern, die noch schlechter abschneiden, gelten als im Tierversuch erwiesenermaßen krebserregend.

### Zweifelhafte Selbsteinstufung

„Um die Diskussion um die Gesundheitsgefährdung ein für allemal zu beenden“ stellt eine der beiden Marktführerinnen, die Grünzweig und Hartmann AG, ihre Mineralwolle-Dämmstoffe auf KI-40 Produkte um. Bei Glaswolle-Produkten sei dies bereits geschehen, bei den Steinwolle-Erzeugnissen befindet man sich in der Umstellung.

Im Gegensatz dazu lehnt die Deutsche Rockwool Mineralwool-GmbH den Kanzerogenitätsindex vehement ab. Der KI ihrer „Neuen Rockwool“, einem Steinwolleprodukt, liegt noch deutlich schlechter als der der alten (-20 gegenüber 5), berichtet Pressereferent Ulrich Gartner. Trotzdem werde sie aus der Lunge mindestens dreimal so schnell entfernt wie die herkömmlichen Mineralfasern. Die Halbwertszeit der „Neuen Rockwool“ liege nach den Ergebnissen des Fraunhofer-Instituts für Toxikologie und Aerosolforschung in Hannover bei nur etwa 100 Tagen. Die Selbsteinstufung von Rockwool lautet daher: „Die 'Neue Rockwool' ist unbedenklich und frei von Krebsverdacht.“ Auf Nachfrage teilte jedoch das Fraunhofer-Institut mit, es sei zwar eine Faser mit ähnlicher Zusammensetzung, nicht jedoch die „Neue Rockwool“ getestet worden. Diese werde momentan gemeinsam mit einigen anderen der neuen Produkte untersucht. Die Ergebnisse werden für Anfang nächsten Jahres erwartet. Das Unbedenklichkeitsfazit der Firma Rockwool ist auch in anderer Hinsicht fragwürdig. So sieht die TRGS neben dem KI-Index „unter besonderen Umständen“ auch andere Prüfmöglichkeiten vor. Die Fasern müssen dann eine nachweislich sehr geringe Biobeständigkeit aufweisen, vergleichbar mit den leicht löslichen Gips- oder Wollastonitfasern. Die Halbwertszeiten dieser Fasern liegen jedoch bei maximal 14 Tagen - sehr viel niedriger als die der angeblich unbedenklichen „Neuen Rockwool“.

## K 5 Perlite-Dämmstoffe

### Allgemeines

Perlit ist der Name eines Vulkangesteins, das überwiegend aus Siliziumdioxid und Aluminiumoxid besteht. Der Dämmstoff besitzt eine körnige Struktur, wodurch er sich auch als Leichtzuschlag für Beton und Mörtel eignet. Der Marktanteil unter den Dämmstoffen liegt bei 2 - 3 %.

Reine Perlite-Dämmstoffe sind nicht brennbar und gehören damit der Baustoffklasse A1 an. Die Diffusionsfähigkeit ist gut, die Wärmeleitfähigkeit höher als bei vielen anderen Dämmstoffen, wodurch zur Erzielung des gleichen Dämmeffektes 10 - 20 % mehr Material verwendet werden muß.

### Herstellung

Perlit ist ein Mineral vulkanischen Ursprungs. Es enthält einen Wasseranteil von ca. 3 - 6%. Das Wasser wurde bei dem Einfließen der Lava in das Meer im Gestein eingeschlossen.

Bei der Herstellung des Dämmstoffes wird das Gestein zunächst zu Sand zerkleinert und dann auf über 1000 °C erhitzt, wodurch das Material schmilzt. Das eingeschlossene Wasser verdampft dabei und bläht den Sand auf das 15 - 20 fache des ursprünglichen Volumens auf. Je nach Verwendungszweck wird das Material weiterverarbeitet, z.B. imprägniert oder bitumiert.

### Verwendung

#### a) Dämmung von Außenwänden

Für die *Kerndämmung von Außenwänden* wird expandiertes, wasserabweisend behandeltes Perlit verwendet. Das Material läßt sich in die Hohlräume der zweischaligen Mauerwerke schütten oder einblasen. Die Räume werden hohlraumfrei und fugenlos (wie bei den Cellulose-Dämmstoffen) gefüllt. Eventuell in der Mauer auftretende Feuchtigkeit durch Niederschlagswasser oder Kondensationswasser wird über Fußpunktdränagen abgeleitet.

#### b) Dämmung von Dachschrägen

Zur nachträglichen Wärmedämmung von Dachschrägen werden Folienschläuche auf die Flächen zwischen den Sparren zugeschnitten, verschweißt und in das Sparrenfeld zwischen Dachabdeckung und Wandverkleidung eingeschoben. Nachdem das Perlit-Schüttgut eingeblasen wurde, wird die Einfüllöffnung verschlossen.

#### c) Dämmung von Böden

Bei der *Bodendämmung* wird expandiertes, bitumiertes Perlit-Schüttgut auf Packpapier zwischen Auflegeschiene eingefüllt, gleichmäßig verteilt und leicht verdichtet. Auf den Auflegeschiene werden Bodenplatten befestigt.

### Umweltverträglichkeit

Zur Herstellung des Dämmstoffes werden 2,4 kWh/kg an Energie benötigt. Das Material kann nach Gebrauch wiederverwendet oder deponiert werden.

### Gesundheitsaspekte

Bei Perlite-Dämmstoffen besteht die Gefahr einer erhöhten radioaktiven Belastung durch das Vulkangestein.<sup>43</sup> Durch das Imprägnieren oder Bitumieren von Perlite-Dämmstoffen können bei Produktion und Gebrauch Gesundheitsbelastungen auftreten.

#### Exkurs: Gesundheitsgefahren durch Bitumen

Bitumen wird bei der Aufarbeitung von Erdöl gewonnen. Es besteht der begründete Verdacht auf krebserregendes Potential.<sup>44</sup>

In Bitumen sind geringe Mengen polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wie Benzo-a-pyren enthalten.<sup>45</sup>

\*\*\*

## K 6 Schaumglas-Dämmstoffe

### Allgemeines

Schaumglas-Dämmstoffe bestehen aus Glaspartikeln, die unter Zugabe von Kohlenstoff als Blähmittel aufgeschäumt werden. Die Rohstoffe stehen nahezu unbegrenzt zur Verfügung.

Schaumglas hat eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,045 \dots 0,060$  und ist praktisch diffusionsdicht. Das Material ist in der Baustoffklasse A1 oder A2 (nichtbrennbar) eingestuft, ist alterungsbeständig und schädlingssicher.

### Herstellung

Schaumglas wird in einem vierstufigen Prozeß hergestellt. Zunächst wird ein Gemisch aus Quarzsand (41 Gew.-%), Calciumcarbonat (17 Gew.-%), Kalifeldspat (22 Gew.-%), Eisenoxid (3 Gew.-%) und Natriumcarbonat (17 Gew.-%) zu Glas eingeschmolzen. Außer Natriumcarbonat werden die Rohstoffe aus Sand, Dolomit, Feldspat und anderen natürlich vorkommenden Mineralien gewonnen. Das Natriumcarbonat wird nach dem Solvay-Verfahren ( $2 \text{NaCl} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$ ) hergestellt. Teilweise wird dem Prozeß heute auch Altglas zugegeben. Die Schmelze läßt man in der zweiten Stufe zu dünnwandigen Glasrohren erstarren. Anschließend wird das Glas zu einem feinen Pulver zermahlen, Kohlenstoff beigemischt und die beiden Stoffe gut miteinander vermischt. Im darauffolgenden Aufschäumprozeß wird das Gemisch bei Temperaturen von 700 bis 1000 °C aufgeschäumt und dann langsam abgekühlt. Der Kohlenstoff reagiert während des Prozesses zu gasförmigem Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), wodurch kleine Glaszellen entstehen, die das Gas einschließen. In der letzten Produktionsstufe wird der Dämmstoff zugeschnitten und verpackt.

### Verwendung

Neben den "normalen" Platten werden auch Platten angeboten, die beidseitig mit einem Spezialglasvlies versehen sind. Die Schaumglasplatten lassen sich vor Ort zusägen.

<sup>43</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., a.a.O., S.44

<sup>44</sup> Umweltbundesamt, a.a.O., S.45

<sup>45</sup> Deutsche Pittsburgh Coming GmbH, 1992, S.66

Dampfsperren sind auch bei einer Innendämmung von Mauerwerk nicht nötig, da die Platten wasser- und dampfdiffusionsdicht sind.

#### a) Dämmung von Außenwänden

Die Außendämmung kann mit *Vorhängefassade*, durch *Kerndämmung* oder *Innendämmung* erfolgen. Die Schaumplatten werden mit heißflüssigem Bitumen oder bituminösen Kaltklebern miteinander verklebt.

Die Verarbeitung erfolgt ansonsten wie bei Mineralfaser-Dämmplatten.

#### b) Dämmung von Dachschrägen

Bei der Dachdämmung *unter den Sparren* werden die Schaumplatten direkt auf den Sparren befestigt und mit Hilfe von heißflüssigem Bitumen oder bituminösen Kaltklebern miteinander verklebt. Verkleidet werden die Dämmplatten z.B. mit Profilholz oder Gipskartonplatten. Bei der *Dämmung auf den Sparren* wird die Konterlattung durch die Dämmplatten hindurch auf den Sparren verschraubt. Auf die Platten werden Bitumen-Dachdichtungsbahnen fixiert.

#### c) Dämmung von Böden

Bei der Bodendämmung werden die Schaumplatten mit Hilfe von heißflüssigem Bitumen oder bituminösen Kaltklebern miteinander verklebt.

### Umweltverträglichkeit

Für die Herstellung von Schaumglas werden an Energie 6,3 kWh/kg benötigt. Zum Abkühlen des aufgeschäumten Schaumglases wird Wasser benutzt, das in einem geschlossenen Rücklaufsystem zirkuliert. Nach der Nutzung als Dämmstoff fällt Schaumglas als Bauschutt an, der im Straßenbau dem Schotter zugesetzt werden kann (bisher nur bei einigen Projekten). Ein Recycling findet nicht statt.

### Gesundheitsaspekte

Bei der Herstellung und bei dem Zuschneiden der Dämmplatten entweicht eingeschlossener Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), dessen geringe Konzentration i.a. nicht zu Gesundheitsgefährdungen führt.

Der Dämmstoff ist faser- und bindemittelfrei. Je nach Verarbeitungsmethode entstehen Heißbitumendämpfe, z.B. beim Verkleben der Bodendämmung.<sup>46</sup> Während die Hersteller Bitumen wegen der nur geringen Konzentrationen von PAK gesundheitlich für unbedenklich halten<sup>47</sup>, hält die Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung gesundheitliche Beeinträchtigungen für möglich.<sup>48</sup> Bitumen-Kleber sollten daher in geschlossenen Räumen nur bei ausreichender Durchlüftung verwendet werden. Um mögliche Gesundheitsgefahren auszuschließen, sollte mit Bitumen verklebtes Schaumglas nur außerhalb von geschlossenen Wohnräumen eingesetzt werden.

---

<sup>46</sup> Studentengruppe Wärmedämmstoffe, a.a.O., S.15

<sup>47</sup> Deutsche Pittsburgh Corning GmbH, a.a.O., S.66

<sup>48</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., ebenda

## K 7 Cellulose-Dämmstoffe

### Allgemeines

Dämmstoffe auf Cellulosebasis sind in Ländern wie Schweden, Kanada und den USA bereits seit etwa 70 Jahren bekannt. In Deutschland wird „Isfloc“ als erster zugelassener Dämmstoff aus Papierabfällen erst seit etwa 10 Jahren produziert.

Isfloc ist in der Baustoffklasse B2 (normalentflammbar) eingestuft und hat eine gute Diffusionsfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit liegt je nach Verarbeitungsverfahren zwischen  $\lambda = 0,040$  und  $0,045$ . Im Brandfall verkohlt der Dämmstoff bei Beflammung, dickere Schichten verschwelen langsam. Isfloc selbst ist jedoch nicht brennbar, es kann im Brandfall nicht schmelzen.

### Herstellung

Isfloc wird aus Altpapier (Tageszeitungen) hergestellt, das durch den Zusatz von Borsalzen vor Brand, Verrottung und Schädlingsbefall geschützt wird. Das Papier wird zerkleinert und dann mit Boraxsalz und Borsäure imprägniert. Der Grad der Zerkleinerung variiert je nach Anwendungszweck. Der Dämmstoff wird in Säcke abgepackt und zu Fachbetrieben weitertransportiert.

### Verwendung

Die Verarbeitung von Isfloc erfolgt durch lizenzierte Fachbetriebe, die über spezielle Maschinen zur Verarbeitung verfügen und deren Mitarbeiter vom Hersteller speziell geschult werden.

Isfloc eignet sich für Außendämmung (bei hinterlüfteten Fassaden, Innendämmung von Außenwänden und Hohlraumdämmung), Dachdämmung unter, zwischen und über den Sparren sowie zur Dämmung von Decken und Böden. Teilweise müssen Dampfsperren angebracht werden. Es gibt verschiedene Verfahren, um Isfloc zu verarbeiten:

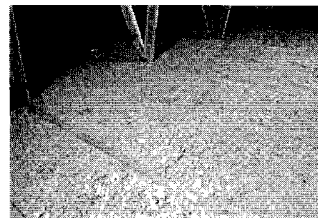
#### a) Einblasverfahren

Isfloc wird über einen Luftschlauch in Hohlräume eingeblasen. Dabei verdichtet es sich und bildet eine winddichte und fugenlose Dämmschicht.

#### b) Aufblasverfahren

Dieses Verfahren wird bei abgehängten oder leicht zugänglichen Decken angewendet. Decken ungenutzter Dachräume können so z.B. innerhalb kürzester Zeit gedämmt werden.

*offenes Aufblasen  
bei einem ungenutzten  
Dachraum<sup>49</sup>*



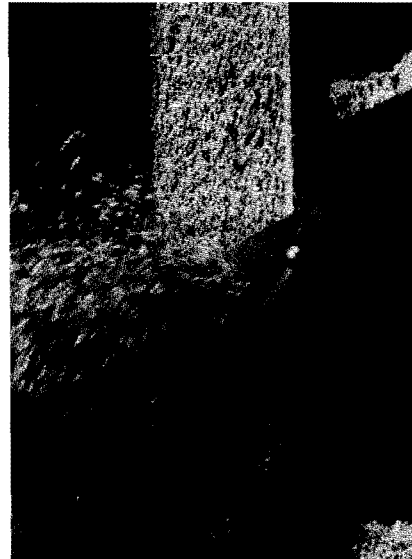
<sup>49</sup> Ökologische Bautechnik Hirschhagen GmbH: Dämmung nach Maß mit Zellulose, 1992 a, S.2



## Sprühverfahren

Befeuchtetes Isofloc wird auf massive Wände, Leichtbauwände oder Holzständerwerk aufgetragen. Durch das Befeuchten bleiben die Celluloseschnitzel aneinander haften.

Pro Arbeitsgang können bis zu 20 cm Isofloc aufgetragen werden. Überstände werden mit einer Planbürste abgezogen. Isofloc ermöglicht so eine exakte Ausfachung. Undichtigkeiten zwischen Dämmstoff und angrenzenden Baustoffen (z.B. Holzständern) können damit verhindert werden.



*Abziehen der Überstände mit einer Planbürste* <sup>50</sup>

## Umweltverträglichkeit

Bei der Produktion wird auf Abfallvermeidung geachtet: Die Borsalze für die Produktion von Isofloc werden in Mehrwegbehältern angeliefert, das Altpapier wird mit Drähten zusammengehalten, die dem Metallrecycling zugeführt werden. Der fertige Dämmstoff verläßt das Werk auf Paletten in Papiersäcken.

Während der Produktion fällt borhaltiger Staub an, der recycelt werden kann. Der Energieeinsatz bei der Produktion von Isofloc beträgt 0,34 kWh/kg.

Nach der Nutzung kann Isofloc entnommen und an anderer Stelle in gleicher Qualität wieder verwendet werden. Durch Eluierung (Auswaschung) können die Borate wieder vom Papier getrennt werden, das Papier ist mit oder ohne Borate kompostierbar.<sup>51</sup>

## Gesundheitsaspekte

Cellulosefasern sind im Gegensatz zu z.B. Asbestfasern nicht lungengängig.

In Isofloc wurden polychlorierte Biphenyle (PCB) in geringen Mengen nachgewiesen (PCB werden u.a. zur Imprägnierung von Papier verwendet).<sup>52</sup>

### **Exkurs: Gesundheitsgefährdung durch polychlorierte Biphenyle (PCB)**

PCB werden in der Umwelt nur sehr langsam abgebaut und können sich deshalb in Organismen anreichern. Größere Mengen aufgenommener PCB können zu Leber-, Milz- und Nierenschäden führen. Man vermutet krebserzeugende Wirkungen von PCB.<sup>53</sup>

<sup>50</sup> Ökologische Bautechnik Hirschhagen GmbH: Dämmung nach Maß mit Zellulose, a.a.O., S.3

<sup>51</sup> Ökologische Bautechnik Hirschhagen GmbH: Isofloc: Daten zur Umweltverträglichkeit, 1992 b, S.3

<sup>52</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., ebenda

<sup>53</sup> Umweltbundesamt, 1990, S.141



## K 8 Holzfaser-Dämmstoffe

### Allgemeines

Holzfaser-Dämmstoffe werden aus Weichholz hergestellt. Sie besitzen eine niedrige Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda = 0,045 \dots 0,060$ ), gute Diffusionsfähigkeiten und gehören der Baustoffklasse B2 an (normalentflammbar). Sie werden als Platten angeboten.

### Herstellung

Holzfaserplatten werden aus Restholz von Fichten und Tannen, das vor allem in Sägewerken anfällt, hergestellt. Das Holz wird zerkleinert, zu Schnitzel weiterverarbeitet und mit Hilfe von Wasserdampf erweicht. Nach Zugabe von Aluminiumsulfat (0,5 Gew.-%) wird der erweichte Brei entwässert, getrocknet und dann zu Platten geschnitten. Die Holzfasern werden durch das holzeigene Bindemittel *Lignin* gebunden.

### Verwendung

Holzfaser-Dämmplatten eignen sich zur Dämmung von Böden, Dächern, Wänden und Decken. Sie werden wie Mineralfaserplatten verarbeitet.

- a) Eine *Dämmung von Außenwänden* mit Holzfaserplatten ist bei *vorgehängter Fassade* möglich.
- b) Die *Dämmung von Dachschrägen* ist *zwischen und unter den Sparren* möglich. Die Dämmung des Daches *über den Sparren* kann mit speziellen, einseitig bitumierten Dämmplatten erfolgen.
- c) Holzfaserdämmplatten eignen sich als wärmedämmende *Deckenplatten* ebenso wie als *Bodenplatten* unter dem eigentlichen Fußboden. Für Holzdielenböden werden Spezialplatten mit eingesetzten Fugenlatten zur Befestigung der Holzdielen angeboten.<sup>56</sup>

### Umweltverträglichkeit <sup>57</sup>

Der Energieaufwand bei der Produktion beträgt 33 kWh/kg. Das Holz für die Herstellung stammt aus Abfällen der Holzverarbeitung. Bei Herstellung, Verarbeitung oder Entsorgung der Dämmplatten entstehen außer beim Transport keine Emissionen in die Luft. Wenn die Platten bei einem Ausbau nicht beschädigt werden, können sie erneut verwendet werden. Die Platten sind verrottbar und damit kompostierbar. Im Brandfall entstehen vergleichbare Emissionen wie bei der Verbrennung von Massivholz.

### Gesundheitsaspekte <sup>58</sup>

Bei der Herstellung der Dämmplatten kann es zu Staubbelastungen der Mitarbeiter kommen. Bei der Verarbeitung, insbesondere der Verspannung von Holz wird Formaldehyd freigesetzt. Weitere Gesundheitsbeeinträchtigungen sind nicht bekannt.

---

<sup>56</sup> Pavatex AG 1990

<sup>57</sup> Borsch-Laaks, a.a.O., S.5

<sup>58</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., ebenda

## K 9 Holzwole-Leichtbauplatten

### Allgemeines

Der Marktanteil von Holzwole-Leichtbauplatten liegt in Deutschland bei ca. 2%. Sie besitzen Wärmeleitfähigkeiten von  $\lambda = 0,090$  bis  $0,150$ , haben eine gute Diffusionsfähigkeit und sind der Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) zugeordnet. Neben den reinen Holzwoleplatten werden auch Mehrschicht-Leichtbauplatten hergestellt, die einseitig oder zweiseitig mit Mineralfaser- oder Polystyrol-Dämmplatten beschichtet sind. Die Wärmeleitfähigkeiten der beschichteten Dämmplatten liegen niedriger ( $\lambda = 0,045 \dots 0,040$ ), die Platten sind eingestuft in Baustoffklasse B2 (normalentflammbar).

### Herstellung

Dämmstoffe aus Holzwole werden aus längsgehobelter, langfaseriger Nadelholzwole hergestellt, die mit mineralischen Bindemitteln (Zement, Magnesit) zusammengebacken wird.

### Verwendung

Die Hersteller von Holzwole-Leichtbauplatten bieten eine große Produktpalette an. Die Dämmplatten können für fast alle Zwecke der Gebäudedämmung eingesetzt werden.

a) *Dämmung von Außenwänden*: Bei Neubauten werden die Dämmplatten mit Mörtel an die Wand angeblendet und dann mineralisch verputzt. Die unterste Plattenreihe wird angedübelt oder auf einen Sockelvorsprung gestellt. Bei Altbauten werden die Platten an das Mauerwerk gedübelt und verputzt. Gleiches gilt für die *Innendämmung von Außenwänden*.

#### b) Dämmung von Dachschrägen

Bei einer *Dämmung auf den Sparren* werden die Dämmplatten zusammen mit einer wasserabweisenden, dampfdurchlässigen Spezialpappe direkt auf den Sparren befestigt. Die Befestigung der Dachlattung erfolgt durch die Platten hindurch auf die Sparren. Zwischen den Sparren kann eine weitere Dämmschicht mit einer Dampfbremse eingepaßt werden.

Bei *Dämmung unter den Sparren* werden die Dämmplatten an die Sparren geschraubt, die Räume zwischen den Sparren evtl. auch mit einer Dämmschicht ausgefüllt und unter der Dachlattung die Spezialpappe angebracht.

c) Bei der *Dämmung von Decken und Böden* können die Dämmplatten einfach angedübelt oder anbetoniert werden. Für eine spätere Verkleidung werden die Dämmplatten zwischen angeschraubten Kanthölzern verlegt und die Verkleidung an den Hölzern befestigt.

### Umweltverträglichkeit und Gesundheitsaspekte

Weder bei der Rohstoffgewinnung, noch bei der Herstellung oder Verarbeitung sind nennenswerte Umweltbeeinträchtigungen durch die Holzwole-Leichtbauplatten bekannt. Der Energieaufwand bei der Herstellung der Holzwole-Platten ist gering. Die Wiederverwendung der Dämmplatten ist möglich, wenn die Platten bei einem Ausbau nicht beschädigt werden. Das Dämmmaterial ist biologisch abbaubar. Bei den Mehrschicht-Leichtbauplatten muß die Umweltverträglichkeit von Polystyrol- bzw. Mineralfaserdämmstoffen berücksichtigt werden.

Über negative Auswirkung für die Gesundheit liegen bei den Holzwole-Leichtbauplatten keine Angaben vor. Bei den Mehrschicht-Leichtbauplatten müssen die Polystyrol- oder Mineralfaserschichten berücksichtigt werden.

## K 10 Kork-Dämmstoffe

### Allgemeines

Kork-Dämmstoffe werden aus den Rinden der Korkeichen gewonnen. Die Verfügbarkeit von Kork ist deutlich begrenzt. Zur Zeit werden nur etwa 0,2% des Dämmstoffbedarfs durch Kork gedeckt.

Die Diffusionsfähigkeiten von Korkschat sind gut, die von Platten etwas schlechter. Kork hat gute Wärmedämmeigenschaften ( $\lambda = 0,045 \dots 0,055$ ) und wirkt feuerhemmend, da sich die Korkzellen bei Hitze aufblähen und damit die Wärmeleitfähigkeit weiter herabsetzen. Kork fällt in die Baustoffklasse B2 (normalentflammbar).

### Herstellung

Kork wird aus den äußeren Rinden („sekundäres Abschlußgewebe“) der Korkeichen gewonnen. Im Alter von ca. 30 bis 40 Jahren werden Korkeichen zum ersten Mal geschält. Danach können sie ca. 100 bis 150 Jahre lang im zeitlichen Abstand von je 10 bis 15 Jahren erneut abgerindet werden. Die geerntete Rinde wird zunächst zerkleinert und dann zu verschiedenen Produkten weiterverarbeitet:



*Schälen einer Korkeiche*

#### a) Korkschat

Korkschat besteht aus geschroteter Korkrinde, eine weitere Verarbeitung findet nicht statt. Der Dämmstoff zählt zu den unveränderten Naturmaterialien, die ohne fremde Zusätze auskommen.

#### b) Expandierter Korkschat

Die Herstellung expandierten Korkschat erfolgt durch Schrotten mechanisch beschädigter Korkplatten aus der Backkorkherstellung. Oft besitzt dieser Dämmstoff einen starken Schwelungsgeruch. Das liegt daran, daß sich unter der Ausschußware auch Platten befinden, die bei der Produktion zu brennen anfangen. Expandiertes Korkschat hat ein geringeres Rohgewicht als normaler Korkschat. Die Dämmeigenschaften entsprechen in etwa dem der Dämmkorkplatten.

#### c) Niedrig rein expandierter Backkork

Korkgranulat wird in stählerne Gußformen gegeben und mit überhitztem Wasserdampf unter Druck auf ca. 350 bis 380 °C erhitzt. Das Granulat expandiert dabei und verklebt durch eigene Naturharze zu Blöcken, die anschließend zu Platten weiterverarbeitet werden. Bei Kork aus späteren Ernten sind höhere Verbackungstemperaturen nötig. Dadurch kann es zu unangenehmer Geruchsbelästigung kommen.

## Verwendung

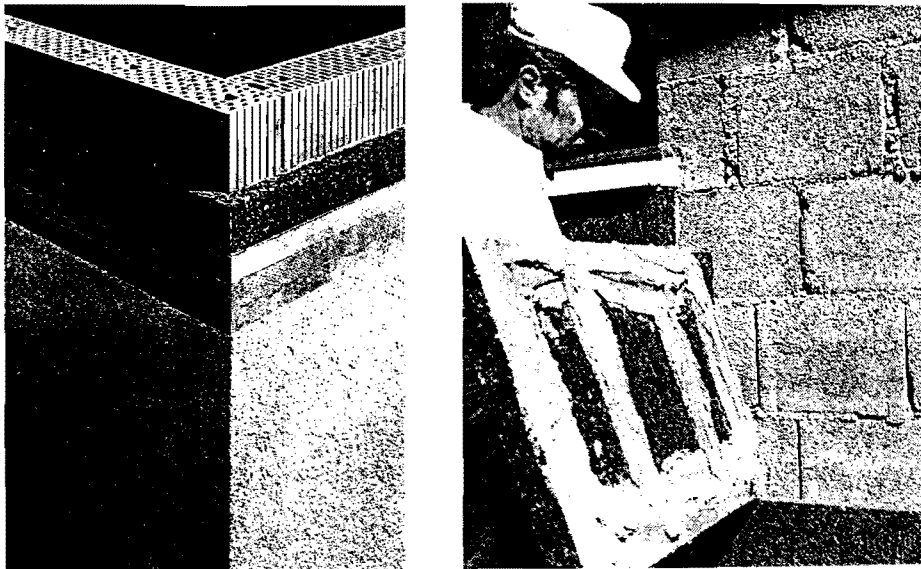
Korkschröt eignet sich als Schüttung in Fußböden, Decken und anderen Hohlräumen (z.B. Kerndämmung), Korkplatten können für die Innen-, Außen- und Dachdämmung genutzt werden.

### a) Dämmung von Außenwänden

Für eine *Innendämmung von Außenwänden* können Korkplatten zwischen Außenwand und der Wandverkleidung (z.B. Gipsfaserplatten) angebracht werden. Hinter der Wandverkleidung muß eine Dampfbremse (z.B. kautschukbeschichtete Filzpappe aus Recyclingpapier, im „Normalfall“ Folien aus Aluminium oder Kunststoff) eingebaut werden.

Eine *Außendämmung bei hinterlüfteter Fassade* eignet sich hauptsächlich für Holzständerkonstruktionen. Die Korkplatten werden an dem Mauerwerk befestigt und mit Baupapier verkleidet. Auf die Platten wird eine Konterlattung und darauf die Fassade (z.B. Holz oder Schindeln) angebracht. Durch die Konterlattung kann Nässe abtrocknen, wodurch Schimmelbildung vermieden werden kann.

Bei einer *Außendämmung mit Putzschicht* werden Korkplatten mit Mörtel oder Spezialdübeln am Mauerwerk befestigt. Anschließend wird direkt auf die Platten ein Armierungsgewebe angebracht, das den nötigen Haftgrund für den anschließend aufzutragenden Deckputz schafft.



*Aufbau und Montage einer verputzten Dämmfassade<sup>59</sup>*

Für eine *Kerndämmung* zwischen zweischaligem Mauerwerk eignet sich Korkschröt, das per Hand oder maschinell durch ein Einblasverfahren in die Zwischenräume eingefüllt wird.

### b) Dämmung von Dachschrägen

*Dämmung auf den Sparren* ist die beste Möglichkeit der Dachdämmung mit Kork, da Wärmebrücken sicher vermieden werden können. Die Korkplatten werden zwischen der Konterlattung unter der Dacheindeckung (i.d.R. Dachziegeln) und der Schalung auf den Dachsparren (z.B. Nut- und Federholz) angebracht. Von beiden Seiten wird die Dämmschicht mit Baupapier abgedeckt.

<sup>59</sup> Hänisch, a.a.O., S.66

Bei der *Dämmung zwischen oder unter den Sparren* werden die Korkplatten ebenfalls von beiden Seiten mit Baupapier umgeben, wobei auf eine Hinterlüftung zwischen den Korkplatten und der Dacheindeckung gesorgt werden muß, damit eingedrungene Feuchtigkeit wieder abtrocknen kann. Sind unter den Dachziegeln Platten angebracht, die mit den Verkleidungsplatten zur Raumseite hin einen dichten Hohlraum bilden, kann auch Korkschröt zur Dämmung eines Dachgeschosses eingefüllt werden.

#### c) Böden und Decken

Decken- oder Bodendämmungen können ebenfalls durch Korkschröt erfolgen. Böden werden mit Kanthölzern ausgelegt und dann das Korkschröt in die Zwischenräume eingefüllt. Anschließend werden die Fußböden verlegt ( z.B. Holzboden). Werden Decken mit Korkschröt gedämmt, muß der Hohlraum von unten mit Rieselschutzpapier abgedeckt werden.

#### Umweltverträglichkeit

Da Korkeichenbestände nur in Nordafrika, Spanien und den Iberischen Halbinseln zu finden sind, entstehen durch den Transport nicht unerhebliche Emissionen. Der Energieaufwand bei der Herstellung beträgt für Dämmplatten 0,59 kWh/kg, für Korkschröt 0,47 kWh/kg.

Korkschröt und bei einem Ausbau nicht beschädigte Korkplatten können nach Gebrauch erneut als Dämmstoff eingesetzt werden. Korkplatten können zudem zu Korkschröt weiterverarbeitet werden.

#### Gesundheitsaspekte <sup>60 61</sup>

Durch Kork erfolgt keine Feinstaubabgabe wie z.B. bei Mineralfaserplatten. Wenn Backkork bei der Herstellung zu hoch erhitzt wurde, können polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzpyrene enthalten sein. In einer Untersuchung der Stiftung Warentest wurden jedoch in keinem der geprüften Korkprodukte Benzpyrene gefunden. Auch im Brandfall kann minderwertiger, häufig verbackener Kork Benzpyren freisetzen.

#### **Exkurs: Gesundheitsgefahren durch Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**

Diese Verbindungen (PAK) entstehen u.a. bei der unvollständigen Verbrennung (ungenügende Sauerstoffzufuhr) oder bei Temperaturen über 700 °C aus organischen Substanzen. Von vielen dieser Stoffe gehen karzinogene (krebserzeugende) Wirkungen aus. Als stark karzinogen gelten z.B. Benzo-a-pyren (3,4-Benzpyren) oder Benzo-b-fluoranthren.

<sup>60</sup> Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V., ebenda

<sup>61</sup> Hänisch, a.a.O., S. 41 u. S. 75

## K 11 Schafschurwolle-Dämmstoffe

### Allgemeines

Seit kurzem wird in Deutschland ein Wärmedämmstoff aus Schafschurwolle angeboten. Zwar wurden schon früher vereinzelt Häuser mit Schurwolle gedämmt, doch durch den hohen Preis konnte sich dieses Material nicht durchsetzen. Neue Chancen, sich auf dem Markt zu etablieren, hat der Dämmstoff durch die derzeit niedrigen Preise für Schafschurwolle auf dem Weltmarkt. Auch die Schafzüchter können so hoffen, ihre Überschüsse an Schurwolle wieder zu einem akzeptablen Preis verkaufen zu können. Die Wärmeleitfähigkeit der Schurwolle von  $\lambda = 0,031$  ist günstiger als die von Glaswolle oder aufgeschäumtem Polystyrol, die beide Wärmeleitfähigkeiten zwischen  $\lambda = 0,035$  und  $0,040$  besitzen.

Schurwolle ist der Brandklasse B2 zugeordnet. Sie brennt nicht, sondern schmilzt beim Entflammen. Das auftretende Glimmen der Wolle endet sofort nach der Beflammung. Die Schafschurwolle wird in Vliesbahnen in verschiedenen Längen und Breiten angeboten.

### Herstellung

Die Rohwolle wird mit Kernseife und Soda gereinigt und anschließend mehrmals ausgewaschen, um Reinigungsmittel und evtl. an der Wolle haftende Chemikalien (z.B. Pestizide) zu entfernen. Aus Brandschutzgründen und als Schutz vor Insektenbefall wird die Wolle wie Cellulose-Dämmstoffe mit Borax behandelt. Borax ist ein meist in vulkanischen Gebieten mit Wüstenklima vorkommendes Mineral.

Die Wolle wird schließlich zu Bahnen versteppt und kommt in verschiedenen Größen auf den Markt.

### Verwendung

Schurwolle kann zur Wärmedämmung von Böden, Decken, Wänden und Dächern verwendet werden. Für Wände bestehen die Möglichkeiten der Kerndämmung und der Dämmung hinter Fassaden. Dächer können zwischen, unter und über den Sparren gedämmt werden. Die Verarbeitung erfolgt nach Herstellerangaben wie bei den Dämmstoffmatten aus Stein- oder Glaswolle.

### Umweltverträglichkeit

Die Vliesbahnen zählen unter ökologischen Gesichtspunkten mit zu den unbedenklichsten Dämmstoffen. Sie sind nach Gebrauch wiederverwendbar oder kompostierbar. Die verwendete Wolle stammt zur Zeit ausschließlich aus Deutschland, die Transportwege sind dadurch im Vergleich zu anderen Dämmstoffen relativ gering. Allerdings muß die Wolle von dem in Deutschland bisher einzigem Anbieter zum Waschen nach Belgien transportiert werden, was aber möglichst bald geändert werden soll. Eine geringe Umweltbelastung tritt durch das Waschen der Wolle auf.

### Gesundheitsaspekte

Weder bei Produktion, noch bei Einbau, Nutzung oder Entsorgung sind bei diesem Dämmstoff negative Auswirkungen auf die Gesundheit bekannt. Nach einer Untersuchung des Instituts für Holzforschung München entstehen im Brandfall keine toxischen Gase.



## E 1 Eigenschaften von Dämmstoffen - Wärmeleitfähigkeit

"Als Wärmedämmstoffe bezeichnet man Baustoffe, bei denen auf Kosten anderer typischer Baustoffeigenschaften (wie z.B. Statik) vor allem eine Aufgabe in den Vordergrund rückt - eben die Wärmedämmung."<sup>62</sup>

Welche Eigenschaften muß ein Material haben, um als Dämmstoff eingesetzt werden zu können?

### **Gute und schlechte Wärmeleiter**

#### *Gute Wärmeleiter: Metalle*

In Metallen sind die positivierten Metallatome dicht gepackt und werden von den Elektronen, die ein sogenanntes Elektronengas bilden, umhüllt. Diese Elektronen können sich frei im Metall bewegen; sie nehmen Wärme in Form von kinetischer Energie auf und verteilen diese im Metall rasch in alle Richtungen. Dies ist Ursache für eine hohe Wärmeleitfähigkeit.

#### *Mäßige Wärmeleiter: Gase*

In Gasen, also auch in Luft, sind die Moleküle oder Atome räumlich weit voneinander entfernt. Die Teilchen bewegen sich zwar mit hohen Geschwindigkeiten (bei 0°C beträgt z.B. die Wurzel aus dem mittleren Geschwindigkeitsquadrat<sup>63</sup> für Wasserstoffmoleküle 6616 km/h), die Wärme kann aber trotzdem nur langsam weitergeleitet werden, da die Teilchen durch Kollision mit anderen Teilchen ständig ihre Richtung ändern.

Z.B. erfährt ein Wasserstoffmolekül bei 0°C unter Normaldruck im Durchschnitt ca.  $1,4 \cdot 10^{10}$  Stöße pro Sekunde.

Die Wärmeleitfähigkeit von Gasen ist daher deutlich schlechter als die von Metallen.

#### *Schlechte Wärmeleiter: Dämmstoffe*

Wärmedämmstoffe sollen den Wärmeübergang z.B. zwischen Innen- und Außenseite einer Gebäudemauer begrenzen und müssen deshalb geringe Wärmeleitfähigkeiten besitzen. Sie bestehen in der Regel aus einem Stoffgerüst mit dazwischen gelagerten Luftpolstern, wobei der Anteil der Luftporen bis 98 % des Volumens betragen kann. Die Luftporen sind teilweise in sich abgeschlossen oder stehen, wie bei den Faserdämmstoffen, miteinander in Verbindung.

<sup>62</sup> Gesamtverband Dämmstoffindustrie 1990, S. 1

<sup>63</sup> Mittleres Geschwindigkeitsquadrat = Geschwindigkeit eines Teilchens mit einer kinetischen Energie, die dem Mittelwert der kinetischen Energien aller Teilchen eines Gases entspricht.

## E 2 Eigenschaften von Dämmstoffen - charakteristische Strukturen

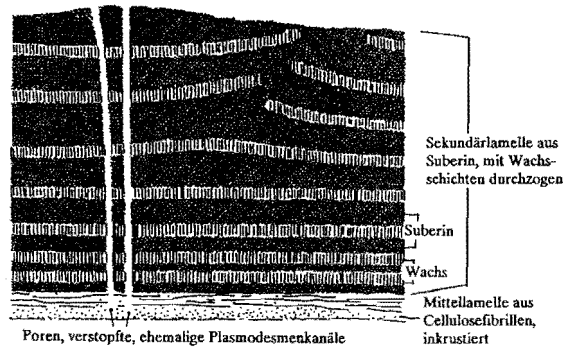
Die folgenden vier Beispiele zeigen typische Strukturen von Dämmstoffen.

- \* Bei *Kork* und *Polystyrol* sind die Luftporen in sich abgeschlossen.
- \* *Mineralwolle*-Dämmstoffe und Dämmstoffe auf *Cellulosebasis* sind Beispiele für Dämmstoffe, bei denen die Luftporen miteinander in Verbindung stehen.

**Kork** besteht aus abgestorbenen, eng miteinander verbundenen Pflanzenzellen der Kork-*eiche*. In  $1\text{cm}^3$  Kork befinden sich etwa 40 Millionen Zellen.



Geometrie der Korkzelle

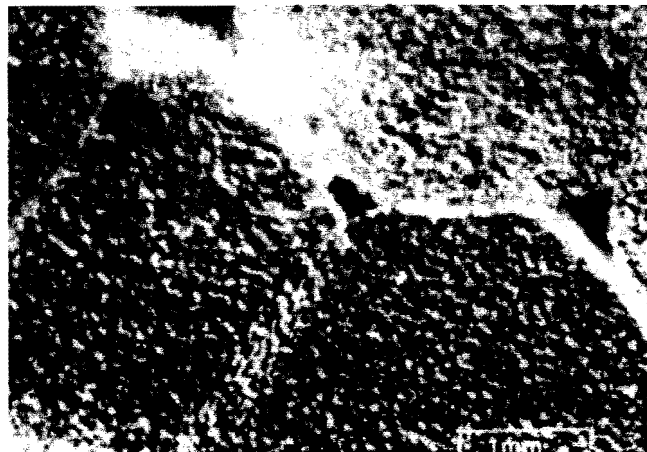


Aufbau einer Zellwand von Kork <sup>64</sup>

In der Zelle befindet sich ein luftähnliches Gasgemisch, das nicht durch die Zellwand entweichen kann. Die Zellwand ist weder für Flüssigkeiten noch für Gase durchlässig. Sie besteht aus einer Schicht Cellulosefibrillen. Umhüllt ist diese von der sogenannten Suberinaschicht, die das korneigene Harz enthält und von zahlreichen Wachsschichten durchzogen ist.

Dennoch ist Kork dampfdurchlässig, da die Korkzellen Plasmodesmenkanäle aufweisen, die einen Feuchtigkeitsausgleich zwischen dem Zellinnern und der Umgebung erlauben. Über diese Kanäle erfolgt auch ein Druckausgleich, z.B. bei Erwärmung.

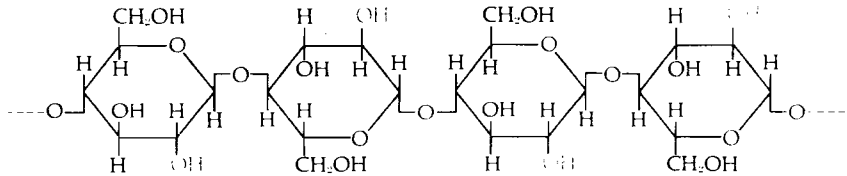
**Expandiertes Polystyrol** wird aus Styrolkugeln hergestellt, die in mehreren Teilschritten mit Butan als Treibgas aufgeschäumt werden. Durch das Aufschäumen bläht sich der Stoff bis auf das 50-fache seines ursprünglichen Volumens auf. In den Hohlräumen des Polystyrols befinden sich nach dem Aufblähen Luft und Butangas.



Struktur von Polystyrol

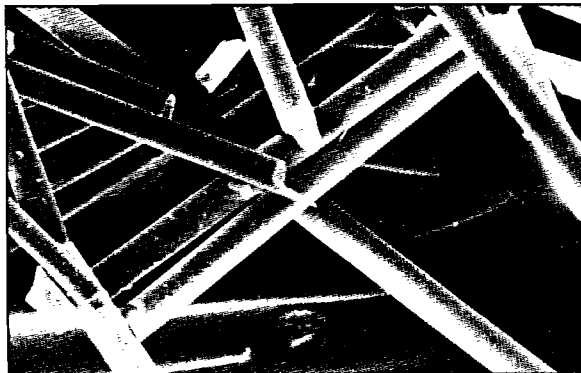
<sup>64</sup> G. Hänisch: Kork: Ein Baustoff und seine Anwendung. Staufen bei Freiburg i.Br. 1990, S. 14

**Cellulose-Dämmstoffe** wie Isofloc werden aus Altpapier hergestellt. Das Polysaccharid Cellulose ist aus D-Glucose-Molekülen aufgebaut. Die einzelnen D-Glucose-Bausteine sind bei Cellulose  $\beta$ -glykosidisch über 1,4'-Etherbindungen verknüpft. Mehrere Hundert dieser langen, dünnen Cellulosemoleküle liegen geradkettig in Mikrofibrillen von ca. 10 - 20 nm Durchmesser nebeneinander. Die Mikrofibrillen wiederum schlingen sich umeinander und bilden die Makrofibrillen von 0,5 m Durchmesser und bis zu 4 m Länge.



*Cellulose-Molekül*

**Mineralwolle-Dämmstoffe** wie Stein- bzw. Glaswolle werden aus Gesteinsarten wie Kalkstein oder Dolomit bzw. aus Altglas, Sand, Soda und Kalk hergestellt. Die Rohstoffe werden geschmolzen, die Schmelzen zerkleinert, anschließend zum Erstarren gebracht und mit verschiedenen Kunstharzen gebunden.



*Struktur der Mineralfaserdämmstoffe<sup>65</sup>*

<sup>65</sup> Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V. (Hrsg.): Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffen. Frankfurt am Main 1990, S. 5

### E 3 Rechtliche Vorschriften zu Wärmeschutz und Energieeinsparung

#### Deutsche Industrie-Norm (DIN) 4108

Die DIN 4108 „Wärmeschutz im Hochbau“ ist in fünf Teile auf gegliedert:

Teil 1 enthält eine für den Wärmeschutz wichtige Auflistung von Größen und Einheiten.

In Teil 2 sind Anforderungen an Wärmedämmung und Wärmespeicherung sowie Hinweise für die Planung und Ausführung von Wärmeschutz in Hochbauten enthalten. Durch den Wärmeschutz bei Gebäuden soll ein gesundes Raumklima geschaffen werden, das Niederschlagen von Kondenswasser an Außenbauteilen verhindert sowie der Energieverbrauch und damit die Heizkosten gesenkt werden.

Dieser Teil enthält auch Mindestwerte der Wärmedurchlaßwiderstände ( $1/\Lambda$ ) und Maximalwerte des Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k$ ) für nichttransparente (Einzel-)Bauteile.

Teil 3 befaßt sich mit Feuchteschutz bei Hochbauten. Er enthält Anforderungen an den Tauwasserschutz von Bauteilen, Empfehlungen für Schlagregenschutz und feuchteschutztechnische Hinweise für Planung und Ausführung von Hochbauten.

In Teil 4 sind wärmeschutztechnische Rechen- und Kennwerte enthalten, mit deren Hilfe ein rechnerischer Nachweis über den Wärmeschutz von Gebäuden und deren Bauteilen geführt werden kann.

Teil 5 enthält die Berechnungsverfahren, mit denen die für Teil 2 und Teil 3 zu berechnenden Größen (z.B. die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten) ermittelt werden können.<sup>66</sup>

#### Die Wärmeschutzverordnung

Rechtliche Grundlage für Wärmeschutzverordnungen ist das Energieeinsparungsgesetz (EnEg), das am 22.07.1976 in Kraft getreten ist und zum 20.06.1980 geändert wurde. Die erste Wärmeschutzverordnung trat 1977 in Kraft, z.Zt. gilt die Verordnung vom 16.08.1994. Die Verordnung setzt Maximalwerte für den Heizungswärmebedarf fest. Dazu werden Maßnahmen und Anforderungen an Bauteile definiert, durch die der Wärmeverlust (und dadurch den Heizenergieverbrauch) minimiert werden soll.

Bei Gebäudehüllen treten Wärmeverluste in Form von Transmissions- und Lüftungswärmeverluste auf:

*Lüftungswärmeverluste* entstehen, wenn Raumluft durch undichte Fenster und Türen auf unbeabsichtigte Weise entweicht sowie durch das Lüften der Räume bei geöffnetem oder gekipptem Fenster. Durch die verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden haben die Lüftungswärmeverluste in den letzten Jahren einen (relativ) höheren Anteil am Gesamtwärmeverlust bei Gebäuden erlangt. Um die Lüftungswärmeverluste möglichst gering zu halten, muß auf richtiges Lüften geachtet werden. Für außenliegende Fenster und Fenstertüren schreibt die Wärmeschutzverordnung maximal zulässige Fugendurchlaßkoeffizienten ( $a$ ) vor.

*Transmissionswärmeverluste* entstehen durch Wärmeabgabe über die Gebäudehülle (Außenwände, Dach, Keller, Fenster). Sie werden mit Hilfe der  $k$ -Werte der Bauteile berechnet. Die Wärmeverluste hängen von Dicke und Art des Bau- oder Dämmstoffes ab.

---

<sup>66</sup> Normenausschuß Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 1981

Zur Begrenzung des Wärmedurchgangs wurden bei Neubauten maximale Wärmedurchgangskoeffizienten für Bauteile der Gebäudehülle (z.B. Fenster, Außenwände) festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen. Werden bestehende Gebäude baulich verändert, z.B. An- oder Ausbau beheizbarer Räume und Dachgeschosse, Einbau oder Ersatz von Fenstern, muß in bestimmten Fällen ein nachträglicher Wärmeschutz erfolgen.

Die Einhaltung der durch die Wärmeschutzverordnung geforderten Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) läßt sich durch zwei verschiedene Verfahren ermitteln:

#### a) Hüllflächenverfahren (Verhältnis Außenfläche zu Volumen)

Bei diesem Verfahren wird ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient  $k_m$  für alle Hüllflächen eines Gebäudes errechnet.

Dieser Wert darf den in der Wärmeschutzverordnung vorgegebenen Wert  $k_{m,max}$  nicht übersteigen.  $k_{m,max}$  ist abhängig vom Verhältnis der Außenfläche eines Gebäudes zu seinem Volumen ( $A/V$ ) und liegt zwischen 0,6 und 1,2  $W/m^2K$  (Watt pro Quadratmeter und Kelvin).

Je größer die Oberfläche eines Gebäudes, desto mehr Wärme wird nach außen abgegeben. Mit steigendem Verhältnis der Außenfläche eines Gebäudes zu dem Volumen ( $A/V$ ) wird daher ein besserer Wärmeschutz nötig; für Gebäude mit sehr großem  $A/V$ -Verhältnis gibt es Ausnahmeregelungen.

#### b) Bauteilverfahren

Nach dem Bauteilverfahren darf der k-Wert eines einzelnen Bauteils den vorgegebenen k-Wert aus der Wärmeschutzverordnung nicht übersteigen. Die Verordnung legt folgende k-Werte fest:<sup>67</sup>

\* für Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Decken, die Wohnraum gegen die Außenluft abgrenzen  $k_{max} = 0,30$

\* für Wände, Kellerdecken und Decken gegen unbeheizte Räume oder Erdreich  $k_{max} = 0,55$

\* für Außenwände inklusive Fenstertüren und Fenster  $k_{max} = 1,2 \dots 1,5$

Bei der Einreichung von Bauanträgen müssen Berechnungen beigelegt werden, aus denen die Einhaltung der Vorschriften aus der Wärmeschutzverordnung hervorgehen. Kontrolliert wird die Einhaltung der Werte aus der Wärmeschutzverordnung in der Praxis allerdings nicht.

Und:

Ob ein Gebäude nach den bestehenden Anforderungen gebaut wurde, ist *nach seiner Fertigstellung* nicht mehr feststellbar.

---

<sup>67</sup> vgl. Bundesminister für Wirtschaft, 1983

## E 4 Technische Bewertung von Dämmmaßnahmen: Der k-Wert

*"Der k-Wert ... ist ein Maß für den Wärmestrom, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Grad zwischen innen und außen durch ein 1 Quadratmeter großes Bauteil fließt."*<sup>68</sup>

Mit Hilfe des Wärmedurchgangskoeffizienten k werden die Wärmemengen, die durch ein Bauteil hindurch entweichen, beschrieben. Der „k-Wert“ ist eine wichtige wärmeschutztechnische Größe. Er bezieht sich auf die Wärmeschutzverordnung und die DIN 4108, in der Maximalwerte des k-Wertes für Bauteile festgelegt sind.

Um den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung zu entsprechen, dürfen bei einem Neu- oder Umbau bestimmte k-Werte zur Begrenzung des Wärmedurchgangs durch die Außenflächen des Gebäudes nicht überschritten werden .

Rechnerisch ergibt sich der Wärmedurchgangskoeffizient k ergibt sich aus den bauphysikalischen Größen *Wärmedurchlaßwiderstand* ( $1/\Lambda$ ) und *Wärmeübergangswiderstand* ( $1/\alpha$ ):<sup>69</sup>

### Der Wärmedurchlaßwiderstand ( $1/\Lambda$ )

Die Berechnung erfolgt aus den Dicken der Bauteile und den Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeiten der Baustoffschichten, die der DIN 4108 entnommen werden:

$$1/\Lambda = \frac{\text{Dicke des Stoffes in Meter (s)}}{\text{Wärmeleitfähigkeit } (\lambda)} \quad \text{Einheit:} \quad \text{m}^2\text{K/W}$$

Diese Formel besagt:

\* Umso dicker ein Bauteil (s), desto geringer ist Wärmeverlust. Je größer der Wärmedurchlaßwiderstand, desto besser ist die Dämmwirkung eines Baustoffes:

\* Je höher die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes, desto geringer ist seine Wärmedämmeigenschaft.

Die Wärmeleitfähigkeit (Einheit:  $\lambda = \text{W/mK}$ ) gibt dabei die Wärmemenge an, die bei einem Temperaturunterschied von 1 C° innerhalb einer Stunde durch einen Würfel mit einer Kantenlänge von einem Meter hindurchgeleitet wird. Vier Wände eines solchen Würfels sind dabei gegen Wärmeabgabe geschützt.

Während z.B. Beton eine Wärmeleitfähigkeit von 2 W/mK besitzt, liegt der Wert bei Wärmedämmstoffen meist zwischen 0,02 - 0,05 W/mK. Schlechte Wärmeleitfähigkeit ist also Voraussetzung für die Eignung eines Stoffes als Wärmedämmstoff.

### Der Wärmeübergangswiderstand ( $1/\alpha$ )

Der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  ist ein Maß für die Wärmemenge, die innerhalb einer Stunde zwischen 1 m<sup>2</sup> Oberfläche und der angrenzenden Luft bei ständiger Beheizung und einem Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Luft von 1 C° ausgetauscht wird (Einheit:  $1/\alpha = \text{m}^2 \text{K/W}$ ).

Damit werden die Luftbewegungen an Bauteilen berücksichtigt. Jedes Bauteil, das an eine Luftschicht grenzt, ist von einem Luftpolster umgeben, in dem die Wärme im wesentlichen

<sup>68</sup> Bundesministerium für Raumordnung , Bauwesen und Städtebau, 1991, S.7

<sup>69</sup> vgl. hierzu: Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V.,1985

durch Wärmeleitung transportiert wird. Bei starkem Wind ist der k-Wert deshalb viel höher als bei Windstille.

Die Werte für diese Größen können der DIN 4108 entnommen werden. Sie enthält unterschiedliche Werte für Bauteile, die an die Außenseite eines Gebäudes ( $1/\alpha_i$ ) oder die an die Raumseite angrenzen ( $1/\alpha_a$ ).

Der k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient k) wird wie folgt ermittelt:

|                            |                      |                |
|----------------------------|----------------------|----------------|
| Wärmedurchlaßwiderstand    | $1/\Lambda$          | (aus DIN 4108) |
| + Wärmeübergangswiderstand | $\frac{1}{\alpha_i}$ | (aus DIN 4108) |
| + Wärmeübergangswiderstand | $\frac{1}{\alpha_a}$ | (aus DIN 4108) |

---

= Wärmedurchgangswiderstand  $1/k$

(reziproker Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten k)

Aus dem Kehrwert von  $1/k$  erhält man den k-Wert:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

Einheit:  $k = \text{W/m}^2 \text{ K}$

Neben dem k-Wert - d.h. der Wärmedämmung eines Gebäudes - beeinflussen noch eine Anzahl weiterer Faktoren den Brennstoffverbrauch, z.B.:

- die Gewohnheiten der Bewohner eines Hauses in Bezug auf Raumtemperatur, Warmwasserverbrauch oder Lüftung der Räume
- Ausrichtung und Größe der Fensterflächen
- der Baustil - je kompakter ein Haus gebaut ist, desto geringer ist der Energieverbrauch
- die Qualität der Heizungsanlage
- die Lage des Hauses, klimatische Bedingungen, Windverhältnisse etc.

## E 5 k-Wert - ein Berechnungsbeispiel

Eine 24 cm dicke Betonwand ist innen und außen verputzt. Mit den Werten aus der DIN 4108 wird zunächst der Wärmedurchlaßwiderstand der Wand berechnet:

| Bauelemente | Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) | Dicke des Baustoffes (s) |
|-------------|----------------------------------|--------------------------|
| Innenputz   | 0,70 W/mK                        | 0,015 m                  |
| Betonwand   | 2,10 W/mK                        | 0,240 m                  |
| Außenputz   | 0,87 W/mK                        | 0,005 m                  |

Aus Wärmeleitfähigkeit und Dicke des Baustoffes erhält man den Wärmedurchlaßwiderstand ( $1/\Lambda$ ):

| Bauelemente | Quotient $s/\lambda$ | Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$ |
|-------------|----------------------|-------------------------------------|
| Innenputz   | 0,015 m / 0,70 W/mK  | 0,021 m <sup>2</sup> K/W            |
| Betonwand   | 0,240 m / 2,10 W/mK  | 0,114 m <sup>2</sup> K/W            |
| Außenputz   | 0,005 m / 0,87 W/mK  | 0,006 m <sup>2</sup> K/W            |

Mit Hilfe der Wärmeübergangswiderstände  $1/\alpha$  aus der DIN 4108 läßt sich der  $1/k$  ermitteln:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

| Bauelemente                              | Wärmedurchlaßwiderstand  |
|--|--------------------------|
| Innenputz $1/\Lambda$                    | 0,021 m <sup>2</sup> K/W |
| Betonwand $1/\Lambda$                    | 0,114 m <sup>2</sup> K/W |
| Außenputz $1/\Lambda$                    | 0,006 m <sup>2</sup> K/W |
| Bauteil z. Raumseite $1/\alpha$          | 0,130 m <sup>2</sup> K/W |
| Bauteil z. Außenseite $1/\alpha$         | 0,040 m <sup>2</sup> K/W |
| $\Sigma$ Wärmedurchgangswiderstand $1/k$ | 0,311 m <sup>2</sup> K/W |

Aus dem reziproken Wert dieses Ergebnisses erhält man den k-Wert:

$$k = 1/0,311 \text{ m}^2 \text{ K/W} = 3,212 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Nach der Wärmeschutzverordnung gelten nach dem Bauteilverfahren für Außenwände inklusive Fenster und Fenstertüren ein k-Wert von 1,2 W/m<sup>2</sup> K. Der errechnete Wert genügt den gesetzlichen Anforderungen nicht.

Durch Wärmedämmung, z.B. mit 10 cm Glaswolle, kann der Wert erheblich verbessert werden:



## Betonwand mit Wärmedämmung durch Glaswolle

| Bauelemente | Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) | Dicke des Baustoffes (s) |
|-------------|----------------------------------|--------------------------|
| Innenputz   | 0,70 W/mK                        | 0,015 m                  |
| Betonwand   | 2,10 W/mK                        | 0,240 m                  |
| Außenputz   | 0,87 W/mK                        | 0,005 m                  |
| Glaswolle   | 0,04 W/mK                        | 0,100 m                  |

| Bauelemente | Quotient $s/\lambda$ | Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$ |
|-------------|----------------------|-------------------------------------|
| Innenputz   | 0,015 m / 0,70 W/mK  | 0,021 m <sup>2</sup> K/W            |
| Betonwand   | 0,240 m / 2,10 W/mK  | 0,114 m <sup>2</sup> K/W            |
| Außenputz   | 0,005 m / 0,87 W/mK  | 0,006 m <sup>2</sup> K/W            |
| Glaswolle   | 0,100 m / 0,04 W/mK  | 2,500 m <sup>2</sup> K/W            |

| Bauelemente                              | Wärmedurchlaßwiderstand  |
|--|--------------------------|
| Innenputz $1/\Lambda$                    | 0,021 m <sup>2</sup> K/W |
| Betonwand $1/\Lambda$                    | 0,114 m <sup>2</sup> K/W |
| Außenputz $1/\Lambda$                    | 0,006 m <sup>2</sup> K/W |
| Glaswolle $1/\Lambda$                    | 2,500 m <sup>2</sup> K/W |
| Bauteil z. Raumseite $1/\alpha$          | 0,130 m <sup>2</sup> K/W |
| Bauteil z. Außenseite $1/\alpha$         | 0,040 m <sup>2</sup> K/W |
| $\Sigma$ Wärmedurchgangswiderstand $1/k$ | 2,811 m <sup>2</sup> K/W |

Hieraus errechnet sich ein k-Wert von 0,36 W/m<sup>2</sup> K.

Nimmt man einen Fensteranteil dieser Mauer von 24% an und eine Isolierverglasung mit  $k_F = 2,6$  W/m<sup>2</sup>K so ergibt sich ein Wert von

$$k_{m,W+F} = 76\% \cdot 0,36 \text{ W/m}^2 \text{ K} + 24\% \cdot 2,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$k_{m,W+F} = 0,8976 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Dieser Wert liegt unter den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung von  $k_{m,W+F} = 1,2$ .

Der Brennstoffverbrauch durch die Wärmeverluste eines Baustoffes läßt sich aber auch grob abschätzen.

Bei Außenwänden und Dächern gilt die Faustregel:

k-Wert \* 10 = Brennstoffverbrauch in Liter Heizöl pro m<sup>2</sup> Außenfläche und Jahr. Für Böden wird mit dem Wert 5 multipliziert.

## E 6 Weitere Eigenschaften von Dämmstoffen

### Diffusionsfähigkeit von Dämmstoffen

Die Diffusionsfähigkeit eines Baustoffes gibt dessen Fähigkeit an, Wasserdampf durchzulassen. Wasserdampf entsteht vor allem in Küche und Bad sowie durch Körperausdünstungen. Er wird hauptsächlich durch die Lüftung der Räume nach außen geleitet. Nur etwa 2% des Wasserdampfes diffundieren durch die Wände nach außen. Trotzdem kann es dadurch zu Bauschäden, verminderten Wärmedämmeigenschaften und gesundheitlich gefährlicher Schimmelpilzbildung kommen. Denn wenn in der Wand die Temperatur nach außen hin sinkt, kann der Sättigungsgrad der Luft für Wasserdampf überschritten werden und der Dampf zu Wasser kondensieren.

Das Feuchtwerden von Wänden vermeidet man durch folgende Maßnahmen:

- Die verwendeten Baustoffe sollten gute Diffusionsfähigkeiten besitzen.
- Die Diffusionsfähigkeiten sollten in der Wand von innen nach außen zunehmen.
- Außendämmung verhindert das Absinken der Temperaturen innerhalb der Wände und ist deshalb wenn möglich einer Innendämmung vorzuziehen.
- u.U. sollte raumseitig eine Dampfsperre oder -bremse eingebaut werden. Bei dampfdiffusionsdichten Wärmedämmstoffen wie z.B. Schaumglas sind keine Dampfsperren nötig.

### Baustoffklassen

Baustoffe einschließlich der Wärmedämmstoffe sind in der DIN 4102 nach ihrem Brandverhalten eingeteilt.

Der *Klasse A1* gehören nichtbrennbare Materialien an, die keine oder nur geringfügig organische Bestandteile enthalten (z.B. Perlit).

In der *Klasse A2* sind nichtbrennbare Stoffe mit organischen Anteilen eingeteilt.

Stoffe der *Klasse B1* sind schwerentflammbar (z.B. Holzwolle).

Normalentflammbare Baustoffe wie Kork sind in der *Baustoffklasse B2* eingestuft.

Baustoffe der *Klasse B3* sind leichtentflammbar. In Deutschland dürfen sie nur verwendet werden, wenn sie beim Einbau von Baustoffen der Klassen A1 bis B2 umhüllt werden.

## **P 1 Richtig Dämmen, aber wie?**

### **Hilfen und Instrumente zum Bewerten, Auswählen und Steuern**

#### Argumente

Die Umweltpolitik der Bundesrepublik Deutschland - wie die praktisch aller anderen Industrienationen - war größtenteils nachsorgend ausgerichtet. So wurden z.B. Kohlekraftwerke erst mit Filtern nachgerüstet, als das Waldsterben durch die Schwefeldioxidemissionen einen großen Teil des Baumbestandes erfaßt hatte. Ähnliches gilt für die meisten Umwelttechnologien, von der Kläranlage bis zur Müllverbrennungsanlage.

Versuche, den Nutzen und die Gefahren von Produkten zu erfassen, haben in der Vergangenheit kaum stattgefunden, allenfalls auf der unmittelbaren Ebene des Gebrauchsnutzens. Solange aber nur ökonomische Vorteile, technischer Nutzen und Nachfrage Kriterien für die Bewertung von Produkten blieben, standen denen Anforderungen an den Umweltschutz oder die Schonung von Rohstoffen und Energieressourcen wie feindlich gegenüber. Daher kamen in der Vergangenheit auch kaum politisch-ökonomische Steuerungsinstrumente mit ökologischer Zielrichtung zur Anwendung, auch wenn es solche gibt, die mit dem System der Marktwirtschaft vereinbar sind. Wenn davon bislang kaum Gebrauch gemacht wurde, um ökologische oder gesellschaftliche Schäden abzuwenden, so lag das z.T. am fehlenden politischen Willen, zum anderen Teil fehlten einfach oft Grundlagen für eine rationale Einschätzung von Produkten, insbesondere auf seiten des Gesetzgebers.

Um eine Produktpolitik ökologisch zu gestalten, werden deshalb Instrumente benötigt - etwa wie die Umweltverträglichkeitsprüfung bei einem Straßenbau -, die die Auswirkungen von Produkten über deren gesamten Lebensweg beschreiben.

Die *Öko-Bilanz* kommt diesen Ansprüchen nach. Allerdings werden durch sie nur die ökologischen Auswirkungen eines Produktes erfaßt und aufsummiert. Weitreichender ist die *Produktlinienanalyse*. In Deutschland wurde sie von dem Freiburger Öko-Institut eingeführt, methodisch begründet und verbessert.

In einer *Produktlinienanalyse* werden Produkte entlang ihres "Lebensweges" - von der Rohstoffbeschaffung und Produktion über den Gebrauch bis zur Entsorgung auf ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen hin untersucht. PLAs besitzen dadurch Informations-, Lenkungs- und Kontrollfunktion für die Produktpolitik und sind damit u.a. als Grundlage zur Auswahl der geeigneten produktpolitischen Instrumente geeignet.

Der Staat kann auf den Markt Einfluß nehmen

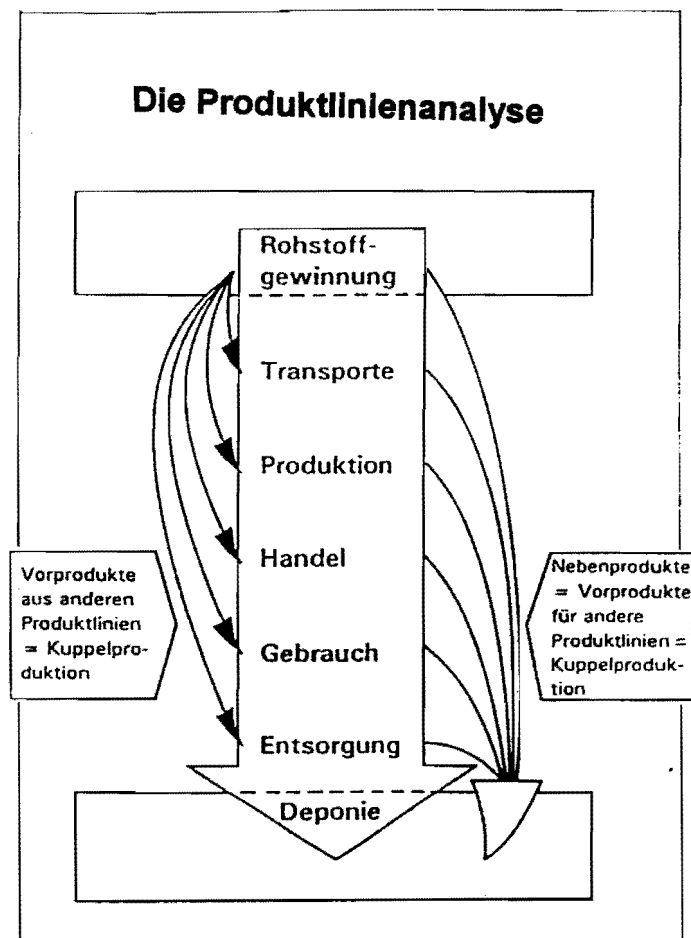
- a) durch direkten Eingriff, z.B. durch Verbote oder Grenzwerte,
- b) durch indirekten Eingriff über Steuern, Ökoabgaben oder das staatliche Beschaffungswesen, von dem eine Signalfunktion ausgehen kann,
- c) durch Verbraucheraufklärung.

## P 2 Die Produktlinienanalyse als Ansatz zur Bewertung der Umwelt- und Sozialverträglichkeit von Produkten <sup>70</sup>

Eine Produktbewertung besteht aus einer Produktlinienanalyse und einer anschließenden Produktlinienbewertung. Diese Bewertung muß, da oft nicht-vergleichbare Größen, Effekte und Besonderheiten in Beziehung gesetzt werden müssen, notwendig „subjektiv“ sein; in diesem Zusammenhang beutet „subjektiv“ jedoch keineswegs „willkürlich“, sondern meint eine begründete Entscheidung, z.B. die Inkaufnahme einer bestimmten Belastung der Umwelt, eines definierten Effektes auf Art und Zahl von Arbeitsplätzen oder das Akzeptieren oder Ablehnen eines bestimmten Produktes.

Durch ihre Komplexität besteht bei der Erstellung einer Produktlinienanalyse ein enormer Informationsbedarf. Dies führt oft dazu, daß die Produktlinienanalyse aufgrund nicht zur Verfügung stehender Daten eingeschränkt werden muß.

PLAs können prinzipiell auf jedes Produkt angewandt werden, auch auf komplexe Systeme und Dienstleistungen. Da sie - besonders im Vergleich ähnlicher Produkte - in der Regel die ökologischen, ökonomischen und/oder sozialen Schwachstellen bei der Herstellung aufzeigen, eignen sich PLAs in gleicher Weise zur Auswahl eines bestimmten Fabrikats auf definierter Rohstoffbasis wie auch zur Optimierung des jeweiligen Herstellungsprozesses.



<sup>70</sup> Griebhammer, 1990, S.8

### P 3 Kriterien zur Beurteilung von Wärmedämmstoffen <sup>71</sup>

Neben ihren technischen Eigenschaften und ihrem Preis sind besonders folgende material- und produktbezogene Faktoren für die Beurteilung und einen Vergleich von Wärmedämmstoffen von Bedeutung:

- \* Herstellung: Rohstoffe, Energieverbrauch, Produktionsverfahren
- \* Verwendung
- \* Entsorgungsmöglichkeiten
- \* Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit

#### Energieeinsatz bei der Herstellung

Auf die lange Nutzungszeit und die durch Dämmung eingesparte Energie bezogen, läßt sich feststellen, daß Wärmedämmung auf jeden Fall sinnvoll ist.

Je nach Energiebedarf für die Herstellung der einzelnen Dämmstoffe dauert es zwischen ca. 0,3 und 23 Monaten, bis sich der Energieaufwand für einen Dämmstoff durch die Energieeinsparung der Dämmung amortisiert hat.

| Dämmstoff       | Rohdichte<br>kg/m <sup>3</sup> | Energieaufwand |                    | Amortisationszeit<br>in Monaten<br>(bezogen auf kWh/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|--------------------------------|----------------|--------------------|--|
|                 |                                | kWh/kg         | kWh/m <sup>3</sup> |  |
| Exp. Polystyrol | 30                             | 35             | 1050               | 20   |
| Polyurethan     | 35                             | 38             | 1330               | 23   |
| Mineralfaser    | 140                            | 5              | 700                | 13   |
| Perlite         | 100                            | 2,3            | 235                | 4  |
| Korkplatten     | 110                            | 0,59           | 65                 | 1,5  |
| Korkschröt      | 85                             | 0,47           | 40                 | 0,5  |
| Holzfaser       | 240                            | 3,1            | 785                | 16   |
| Schaumglas      | 150                            | 6,26           | 751                | keine Angaben  |
| Cellulose       | 70                             | 0,34           | 17                 | 0,3  |

*Energieverbrauch bei der Herstellung von Dämmstoffen*

#### Verfügbarkeit der Wärmedämmstoffe

Bei den Rohstoffen für die marktführenden Dämmstoffe aus Polystyrol, Mineralfaser und Polyurethan gibt es auf absehbare Zeit keine Beschaffungsprobleme. Doch gerade bei diesen Produkten bestehen Bedenken bezüglich ihrer Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit. Im Gegensatz dazu sind die Rohstoffe für die meisten Dämmstoffe, die in dieser Hinsicht positiver bewertet werden, nur begrenzt verfügbar. Beispielsweise ist der Marktanteil an Kork-Dämmstoffen durch den Korkreichtum beschränkt und auch bei totaler Ausschöpfung der Potentiale nur beschränkt steigerungsfähig. Ähnlich stellt sich die Sachlage

<sup>71</sup> Nach: Borsch-Laaks, 1991, S.5 ff.

bei Holzfaserdämmplatten dar. Auch das als Rohstoff benötigte Restholz aus der Holzverarbeitung steht nicht unbegrenzt zur Verfügung.

Lediglich bei Cellulose-Dämmstoffen sind die Rohstoffmengen für den Bedarf ausreichend. Rein theoretisch könnte mit den jährlich in Deutschland anfallenden Altpapiermengen der gesamte Bedarf an Wärmedämmstoffen durch Cellulose-Dämmstoffe gedeckt werden. Für ca. 1 MioTonnen Altpapier gibt es derzeit keine Verwendungsmöglichkeiten. Damit ließen sich rund 20 Millionen m<sup>3</sup> Cellulose-Dämmstoff herstellen, was mehr als dem jährlichen Umsatz der gesamten Dämmstoffindustrie (16 Millionen m<sup>3</sup>) entspricht.

### Entsorgung von Wärmedämmstoffen

In Deutschland haben seit den 70er Jahren die Dämmmaßnahmen immer mehr zugenommen. Inzwischen werden jährlich über 16 Millionen Kubikmeter Dämmstoff produziert. In den nächsten Jahrzehnten werden durch die Entsorgung nach Abriß oder Renovierung erhebliche Probleme entstehen, da ein Recycling bei vielen Dämmstoffen nicht bekannt oder möglich ist und Deponieraum immer knapper wird. Bei einer Entsorgung über Müllverbrennungsanlagen können giftige Verbrennungsprodukte entstehen.

### Gesundheitsbelastungen

Es ist oft nicht möglich, sichere Aussagen über Gesundheitsbelastungen durch Wärmedämmstoffe zu treffen, weil von verschiedenen Interessengruppen wissenschaftliche Untersuchungen mit den unterschiedlichsten Ergebnissen vorgelegt werden. Als Beispiel sei die Krebsgefahr durch Mineralwolle-Dämmstoffe zu nennen.

Hier und auch bei anderen Materialien ist zu unterscheiden zwischen Herstellung, Verarbeitung und Nutzung. Die größten Risiken existieren bei der Mineralwolle ohne Zweifel bei (nicht fachgerechter) Verarbeitung und bei der Entsorgung. Dagegen kann man davon ausgehen, daß eine Gesundheitsgefährdung für die Bewohner nicht befürchtet werden muß; denn Dämmstoffe sind in der Regel hinter Verkleidungen verborgen und haben dadurch keine direkte Verbindung zur Raumluft - es sei denn bei offener Verlegung über leichten Deckplatten, wie in vielen öffentlichen Gebäuden (Schulen!) üblich. Bei anderen Materialien wie Polystyrol kann es bei der Produktion zu Gesundheitsgefährdungen kommen.

Für eine Bewertung dürfen daher nicht nur die unmittelbaren Gefährdungen während der Nutzung berücksichtigt werden, sondern die Summe aller möglichen Risiken.

Zur Illustration werden im Abschnitt 4 Wärmedämmstoffe aus Kork, expandiertem Polystyrol und Cellulosefasern in Anlehnung an die Produktlinienanalyse untersucht und u.a. deren ökologische und gesellschaftliche Auswirkungen aufgezeigt. Dabei wird auch auf die spezifischen Risiken für Menschen und Umwelt eingegangen.

Daß eine systematische Untersuchung mit anschließender Bewertung notwendig ist, macht der nachstehende Auszug aus einer Broschüre des Gesamtverbandes Dämmstoffindustrie (GDI) deutlich:

## ENERGIE- UND STOFFEINSPARUNG

# Dämmstoffe und Ökologie

Der Begriff „ökologisch“ ist mittlerweile von vielen Interessengruppen gepachtet, ohne daß diese sich mit einer eindeutigen Definition festgelegt hätten. Ökologie ist kurzgefaßt die Wissenschaft von der Beziehung des Menschen zur Umwelt. Alle vom Menschen hergestellten Produkte haben daher eine bestimmte ökologische Qualität.

... Ökologisch ist also zunächst ein wertneutrales Attribut. Zum Begriff „ökologisch“ muß immer noch die Bewertung gut, vorteilhaft, nützlich bzw. schlecht, schädlich, etc. hinzukommen. Genau für eine solche Bewertung fehlen jedoch die Maßstäbe. Auch die vielen Bemühungen um die Ökobilanzen haben das Problem der verbindlichen Definition solcher Maßstäbe bisher nicht gelöst, wobei der Ansatz richtig ist, Nutzen und Schaden gegeneinander abzuwägen und den „Sal-do“ zu betrachten, der dann die Bewertung ermöglicht.

Ökologisch vorteilhaft oder nützlich sind alle diejenigen Produkte zu bezeichnen, die per Saldo zur Energie- und Stoffeinsparung beitragen, weil sie damit die ständige Entwertung von Stoffen und Energien im Hinblick auf ihre Nutzbarkeit, die auch durch erneuerbare Ressourcen nur zum Teil aufgefangen werden kann, zwar nicht verhindern, aber verlangsamen. ...

## Ökologie und Nutzen

Ökologisch nützlich sind solche Bauprodukte, die bei der Rohstoffbereitstellung, Herstellung und Verarbeitung einen geringen Energie- und Stoffaufwand hervorrufen, die eine geringe Emissionsquote und eine hohe Verwertungs- bzw. geringe Abfallquote aufweisen.

Gleichzeitig müssen die Produkte einen hohen Nutzen, also zum einen eine hohe technische Leistungsfähigkeit aufweisen, die in der Regel durch die Materialeigenschaften bedingt ist, und zum anderen einen hohen ökonomischen Nutzen, der sich in Verfügbarkeit und niedrigen Produktkosten, bzw. Preisen ausdrückt. Hier müssen der technische, ökonomische und ökologische Nutzen zu einem Optimum verknüpft werden. Erst dieses Optimum entscheidet, ob ein Bauprodukt letztlich als ökologisch vorteilhaft und damit als „zukunftsverträglich“ anzusehen ist.

## KLASSISCHE DÄMMSTOFFE SIND ÖKOLOGISCH VORTEILHAFT

Die klassischen Dämmstoffe aus Mineralfasern, Hartschäumen oder in Form von Mehrschichtleichtbauplatten sind ökologisch vorteilhaft.

- weil sie einen geringen Input an Energie und Stoffen bei der Rohstoffbereitstellung, Herstellung und Verarbeitung der Dämmstoffe benötigen.  
In etlichen Untersuchungen ist nachgewiesen, daß der Input an Energie schon innerhalb weniger Monate durch die Energieeinsparung während der Nutzungszeit aufgehoben wird.
- weil sie einen geringen Output an Emissionen im gesamten Lebenszyklus verursachen.  
Die Dämmstoffindustrie hat durch zahlreiche Untersuchungen nachgewiesen, daß für den Nutzer keine emissionsbedingten Gesundheitsrisiken bestehen und daß der Verarbeiter von klassischen Dämmstoffen sich durch wenig aufwendige Schutzmaßnahmen vor bestimmten minimalen Risiken schützen kann.
- weil sie eine hohe Verwertungsquote aufweisen.  
Produktabfälle lassen sich bei der Herstellung von Dämmstoffen, aber auch bei der Herstellung und der Erhaltung von Bauwerken wiederverwenden oder aber im Rahmen der energetischen Verwertung zur Energiegewinnung und damit zur Energieeinsparung benutzen.

## Rohstoffbereitstellung und die sog. Öko-Dämmstoffe

Alle Dämmstoffe sind grundsätzlich zunächst als ökologisch nützlich anzusehen, weil sie zu den wenigen Bauprodukten zählen, die während der Nutzungsphase eines Bauwerkes in hohem Maß zur Energieeinsparung und Emissionsreduzierung beitragen. Der ökologische Nutzen von Dämmstoffen im einzelnen muß jedoch im Hinblick auf Stoffeinsparung, Emissionen und Abfälle sehr genau betrachtet werden. Hier wird sich zeigen, ob die sogenannten „ökologischen“ Dämmstoffe wirklich als ökologisch vorteilhaft anzusehen sind. Wesentlich erscheint z. B., daß die Rohstoffbereitstellung als Vorphase der Herstellung gerade bei den Dämmstoffen aus Schaf-, Baumwolle oder Zellulose in die Betrachtung und Bewertung einbezogen wird. Hier ergeben sich große Fragezeichen im Hinblick auf die Energie- und Stoffeinsparung wegen der intensiven Tierhaltung, im Hinblick auf die öko- und toxikologischen Probleme der sogenannten „textilen Kette“ (vgl. Berichte Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“) und den nötigen Bedarf an Agrarflächen, wenn die Produkte in nennenswertem Umfang verfügbar sein sollen.

Klassische Dämmstoffe als ökologisch vorteilhafte Bauprodukte stehen in genügender Menge bereit, um zur Herstellung von ökologisch nützlichen Bauwerken beizutragen. Die Dämmstoffindustrie hat darüber hinaus in Zusammenarbeit mit vielen Architekten und Ingenieuren Standardkonstruktionen für die Bauwerksherstellung erarbeitet, die die Sicherheit geben, daß das Bauwerk bei Verwendung der Dämmstoffe seinen ökologischen Nutzen voll entfalten kann. ...

gekürzt aus:

GD: Dämmstoffjournal  
H. 1/95, S. 2 - 3

## V 1 Hemmung (und Förderung) des Pflanzenwachstums durch Borax

### Didaktischer Bezug

Dämmstoffe aus Cellulose und Schafschurwolle werden gegen Schädlingsbefall mit Borax-Salzen behandelt. Diese Salze kommen in der Natur in geringen Konzentrationen vor und wirken sich bis ca. 1 Gramm Borax je  $m^2$  Boden positiv auf das Pflanzenwachstum aus. Bei höheren Konzentrationen wird das Pflanzenwachstum jedoch gehemmt.

Größere Mengen Borax können in den Boden gelangen, wenn entsprechend behandelte Dämmstoffe in undichten Verpackungen gelagert werden oder bei der Kompostierung ohne Vorbehandlung.

### Benötigte Chemikalien und Geräte

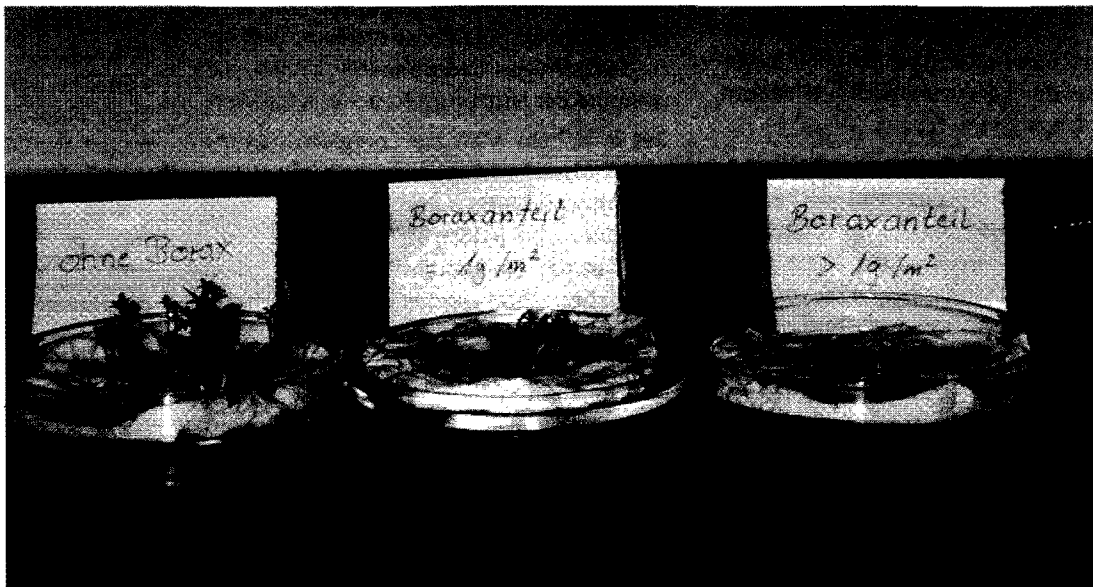
3 Glasschalen (Petrischalen), Kressesamen, Zellstofftücher, Borax, Waage

### Durchführung

In die erste Schale wird kein Borax gegeben. Von den beiden anderen Schalen errechnet man die Grundfläche und gibt dann in die zweite soviel Borax, daß der Wert von  $0,5 \text{ g/m}^2$  gerade erreicht wird. In die dritte Glasschale gibt man das Äquivalent von 2 bis  $3 \text{ g/m}^2$ .

In die Schalen wird anschließend so viel (dest.) Wasser gegeben, daß der Boden gut bedeckt ist. Die Zellstofftücher werden eingelegt und Kressesamen daraufgestreut.

Die Beobachtung erfolgt über mehrere Tage, bis die Kresse ca. 3 - 4 cm groß ist. Die Zellstofftücher müssen mit unbehandeltem Wasser feucht gehalten werden.



*Unterschiedliches Wachstum von Kressesamen in Abhängigkeit von der Boraxkonzentration*

### Beobachtung / Deutung

Die Kresse wächst unterschiedlich schnell und gut. Meist ist jedoch zu beobachten, daß der Wuchs auch bei der prinzipiell verträglichen Borax-Konzentration von  $0,5 \text{ g/m}^2$  beeinträchtigt ist. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, daß reale Böden ein Puffersystem darstellen sowie Ionenaustauschereigenschaften besitzen, die bewirken, daß aufgebrachtes Borax erst allmählich pflanzenverfügbar wird.



## V 2 Schutz gegen Schädlingsbefall durch Borax

### Didaktischer Bezug

Dämmstoffe aus Cellulose und Schafschurwolle werden gegen Schädlingsbefall mit Boraxsalzen behandelt. Die Wirkung gegen Schädlinge läßt sich am Beispiel von Fruchtfliegen (*Drosophila melanogaster*) zeigen.

### Benötigte Chemikalien und Geräte

2 große Reagenzgläser mit Stopfen, Borax, 2 kleine Stückchen Obst (Apfel o.ä.)

### Durchführung

Für diesen Versuch legt man zwei kleine Obststücke auf einen Teller und läßt diesen einige Zeit stehen, bis sich einige kleine Fliegen ansammeln, die man leicht einfangen kann.

Dann werden die beiden Obststücke in je ein großes Reagenzglas gegeben, das eine wird zuvor mit wenigen Tropfen Boraxlösung beträufelt. Sobald einige Fliegen im Glas sind, wird es mit einem Stopfen verschlossen.

### Beobachtung / Deutung

In dem Reagenzglas mit dem Obststück, das mit Boraxlösung beträufelt wurde, verenden die Fliegen nach kurzer Zeit.

\*\*\*

## V 3 Brennbarkeit von Wärmedämmstoffen

### Didaktischer Bezug

Dämmstoffe werden je nach Materialeigenschaften in verschiedene Baustoffklassen eingeteilt, von „nichtbrennbar“ bis „normalentflammbar“.

Im Versuch wird das Brandverhalten von Dämmstoffen untersucht. Prinzipiell können beliebige Dämmstoffe verwendet werden, die Auswertung unten bezieht sich auf Kork, Styropor, Mineralfaser (Glaswolle) und Schafschurwolle.

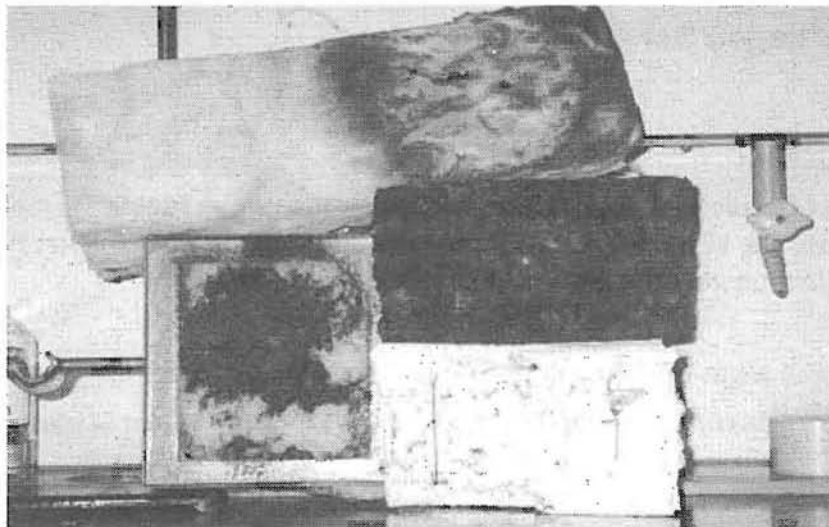
### Benötigte Chemikalien und Geräte

***Unter dem Abzug arbeiten!***

Je ein ca. 20 \* 20 cm großes Stück aus Kork, Styropor, Glaswolle und Schafschurwolle, Stativ, Bunsenbrenner

### Durchführung

Für den Versuch werden nacheinander Kork, Mineralwolle, Schafschurwolle und Styropor an ein Stativ montiert und dann im Abzug mit einem Brenner beflammt.



*Styropor, Schurwolle, Kork und Glaswolle nach der Beflammung*

### Beobachtung / Deutung

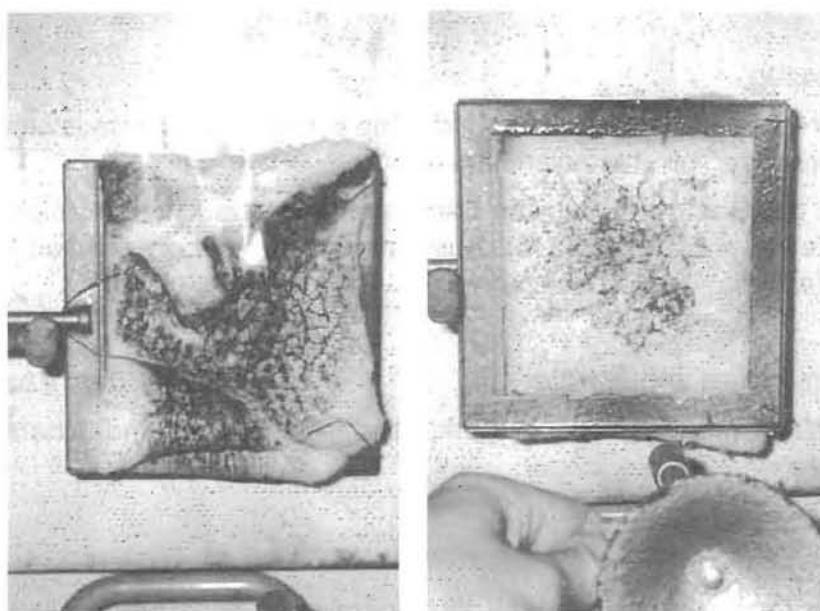
Die Schurwolle färbt sich oberflächlich schwarz, Kork und Mineralwolle nehmen eine grauschwarze Farbe an. Das Styropor schmilzt sofort bei Beflammung.

*Kork* zählt zur Baustoffklasse B2 (normalentflammbar). Wird eine Korkplatte beflammt, beginnt die Probe zögernd zu brennen oder zu glimmen. Wird die Beflammung unterbrochen, hört der Kork schnell auf zu glimmen.

*Glaswolle* ist der Baustoffklasse A1 (nichtbrennbar) zugeordnet.

*Expandiertes Polystyrol* ist in die Baustoffklasse B1 (schwerentflammbar) eingeordnet. Es schmilzt bei Beflammung.

*Schafschurwolle*, die *mit Borax* behandelt wurde, ist ebenfalls in der Baustoffklasse B2 zugeordnet ist. Sie brennt nicht, schmilzt aber an der Oberfläche beim Entflammen. Nach der Beflammung hört das auftretende Glimmen der Wolle sofort auf.



*Brandverhalten unbehandelter und mit Borax behandelter Schurwolle*

## V 4 Herstellung und physikalisches Recycling von expandiertem Polystyrol <sup>72</sup>

### Didaktischer Bezug

Der Versuch zeigt Möglichkeiten, expandiertes Polystyrol herzustellen, und zwar aus Neumaterial, Altmaterial oder einer Mischung aus beiden. Die Herstellung erfolgt durch Aufblähen der Polystyrolkugeln mit Wasserdampf.

Expandiertes Polystyrol, Polyethylen, Polyvinylchlorid und Polypropylen sind wichtige Thermoplaste. Kunststoffe dieser Stoffgruppe lassen sich durch Wärmeeinwirkung verformen. Diese Eigenschaft nutzt man bei dem sog. „physikalischen Recycling“. Über die Schmelze werden Abfälle zu neuen Stoffen verarbeitet, die stofflich mit dem Material des Abfallproduktes identisch sind.

Geeignet ist das Verfahren für sortenreine, farblich einheitliche und nicht verschmutzte Abfälle. Die erhaltenen Recyclingprodukte besitzen trotz stofflicher Einheitlichkeit nicht mehr die gleiche Qualität wie die Ausgangsprodukte, da durch das (wiederholte) Erwärmen der Kunststoffe Umwandlungs- und Abbaureaktionen ablaufen. Dabei werden Molekülketten verkürzt und die Eigenschaften der Kunststoffe verändert.

Über das physikalische Recycling von Styropor schreibt die BASF: „Ein Recycling ist durch Aufschmelzen ... möglich. ... Dabei entsteht der Rohstoff Polystyrol, der zwar nicht wieder zu Styropor verarbeitet werden kann, aber zum Beispiel für die Herstellung einfacher Spritzgußteile eine sinnvolle Verwendung findet.“<sup>73</sup>

Bei EPS besteht neben dem Aufschmelzen noch die Möglichkeit, Dämmstoffabfälle zu zermahlen und das Granulat anschließend zu neuen Produkten zu verbacken. Der zu Kügelchen gemahlene Dämmstoff wird in eine Form gegeben und mit heißem Wasserdampf behandelt. Im Granulat befinden sich noch Treibmittelreste aus der ersten Produktion, durch die das Granulat aufgebläht wird und zu neuen Formen verklebt. Auch eine Beimischung zu frisch hergestelltem Polystyrol ist in begrenztem Maße möglich.<sup>74</sup> Recyclingprodukte dieser Herkunft sind qualitativ deutlich schlechter als Produkte aus Neumaterial.

### Benötigte Chemikalien und Geräte

250 ml-Becherglas, kleines Sieb (ca. 6 cm), Tee-Ei, Stativ mit Klammer, Glastrichter, Bunsenbrenner, Dreifuß mit Auflage, expandierbares Polystyrol, Polystyrolabfälle

#### a) EPS-Neuherstellung

Man bringt im Becherglas ca. 150 ml Wasser zum Sieden. In den entstehenden Wasserdampf wird das Sieb mit ca. 1,5 Gramm des neuen Polystyrols gehalten. Die Kugeln blähen sich nach wenigen Minuten auf eine Größe von ca. 2 - 5 mm auf.

Nun gibt man die Kugeln in das Tee-Ei, hängt dieses in den Glastrichter, der dann mit der breiten Öffnung nach unten an dem Stativ befestigt und über dem Becherglas montiert wird. Das Tee-Ei läßt man ca. 7 Minuten von dem Wasserdampf umströmen und hält es dann

<sup>72</sup> Zum folgenden vgl. Bader, a.a.O., S.47 ff

<sup>73</sup> Industrieverband Verpackung und Folien aus Kunststoff e.V., a.a.O., S.27

<sup>74</sup> Die Hersteller bemerken dazu: "... saubere Schaumstoffteile werden gemahlen und bei der Fertigung von neuen Schaumstoff-Verpackungen ... in gewissen Grenzen wiederverwendet." Industrieverband Verpackung und Folien aus Kunststoff e.V., a.a.O., S.30

unter fließend kaltes Wasser. Anschließend kann das entstandene Formteil entnommen werden. Es entsteht ein fester Körper mit geschlossener Oberfläche, die nur wenige Unregelmäßigkeiten aufweist.

#### b) Herstellung von Mischprodukten aus Neu- und Recyclingmaterial

Zunächst werden 0,8 Gramm neuen Polystyrols wie oben beschrieben vorgebläht. Die Polystyrolabfälle werden auf ungefähr die gleiche Größe zerteilt und mit dem neuen Material vermischt. Das Gemisch wird dann ca. 10 Minuten wie beschrieben in den Wasserdampf gehalten.

Der entstandene Körper ist an seiner Oberfläche weniger geschlossen und glatt, aber annähernd so fest wie das Material aus dem ersten Versuch.

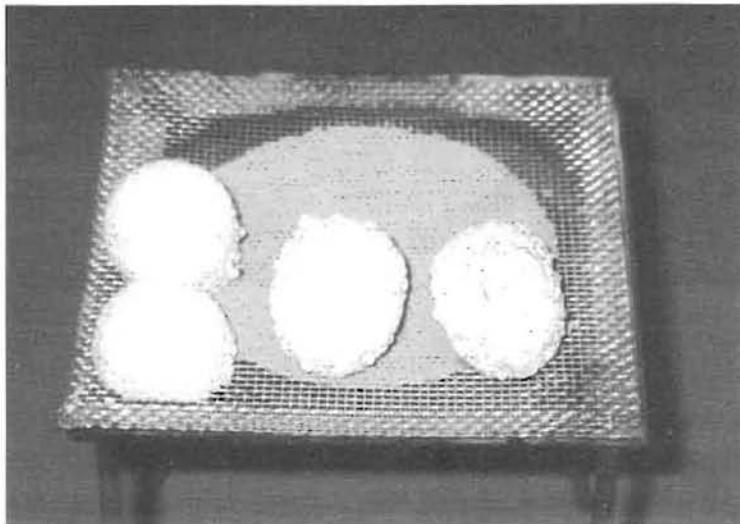
#### c) Herstellung mit Altmaterial

Polystyrolabfälle werden so zerteilt, daß die Stückchen etwa die gleiche Größe haben wie bei den vorangegangenen Versuchen, und dann in das Tee-Ei gefüllt. Man nimmt so viel Polystyrol, daß sich das Tee-Ei nur unter leichtem Druck schließen läßt. Das Tee-Ei wird dann ca. 15 Minuten in den Dampfstrom gehängt.

Der entstandene Körper ist weniger fest wie bei den obigen Versuchen und weist auf seiner Oberfläche zahlreiche Unregelmäßigkeiten auf.

#### *Anmerkung:*

Wenn die Ergebnisse bei der Nachahmung des großtechnischen Aufblähens mit Wasserdampf unbefriedigend sind, kann das Tee-Ei in allen drei Fällen auch direkt in kochendes Wasser eingetaucht werden.



*Formteile aus Neumaterial, einer Mischung aus Abfällen und Neumaterial sowie aus Polystyrolabfällen mit ihren unterschiedlichen Oberflächen*

## V 5 Recycling durch Depolymerisation von Polystyrol und Polymerisation von Styrol mit wasserfreiem Eisen(III)-chlorid<sup>75</sup>

### Didaktischer Bezug

Eine weitere Möglichkeit des Kunststoff-Recyclings ist die Depolymerisation der Abfallstoffe mit anschließender Polymerisation. Dies ermöglicht die Herstellung von Produkten, deren Qualität mit denen der Neuwaren vergleichbar ist, wenn sortenreine Kunststoffe verwendet werden.

Die Bildung niedermolekularer Stoffe geschieht dabei entweder hydrolytisch oder pyrolytisch. Diese Verfahren eignen sich u.a. für Polystyrol, Polyethylen oder Polyvinylchlorid.

Unter *Hydrolyse* versteht man die Spaltung chemischer Verbindungen durch Wasser, unter Umständen mit Hilfe von Katalysatoren oder Enzymen. Geeignet sind dafür z.B. Polyester, Polycarbonate oder Polyurethane.

Von *Pyrolyse* spricht man im Zusammenhang mit einer Zersetzung von Verbindungen durch Hitzeeinwirkung. Neben den entsprechenden Monomeren entstehen bei diesem Verfahren auch viele Nebenprodukte, die zum Teil schwer abzutrennen sind. So erhält man aus Polystyrol je nach Pyrolysetemperatur eine Monomerenausbeute von 40 bis 70%. Als Nebenprodukte fallen u.a. Ethylbenzol, Toluol, Benzol, Naphthalin oder Di- und Tristyrole an.

Die Rückbildung zu Styrol erfolgt über mesomeriestabilisierte Radikale. Nach der destillativen Abtrennung von Nebenprodukten werden dem Styrol Radikalfänger zugesetzt, um eine vorzeitige Polymerisation des Stoffes zu unterbinden.

Im hier beschriebenen Versuch wird Polystyrol durch Pyrolyse depolymerisiert. Die entstandenen Styrol-Monomere können anschließend wieder zu Polystyrol aufgebaut werden.

### Benötigte Chemikalien und Geräte

#### *Für die Depolymerisation:*

Destillationsapparatur (500ml-Rundkolben, Liebig-Kühler, Claisen-Aufsatz mit Thermometer von 0 - 250 °C, Vorstoß), 2 100ml-Rundkolben, Heizpilz, Polystyrolabfälle

#### *Für die Polymerisation:*

Becherglas mit warmen Wasser, Reagenzglas, Stativ, Eisen(III)-chlorid (wasserfrei) und das gewonnene Styrol

### Durchführung

#### **Abzug I Schutzbrille!**

Die Depolymerisation ist als Demonstrationsversuch durchzuführen. Nach dem Aufbau der Apparatur werden die Polystyrolabfälle in den 500 ml-Rundkolben gegeben, bis dieser etwa zu zwei Drittel gefüllt ist. Das Styropor wird geschmolzen, und dann die Temperatur weiter erhöht bis sich ein weißer Nebel bildet, der zu einer farblosen bis gelblichen Flüssigkeit kondensiert. Bis zu einer Temperatur von 140 °C nimmt man den Vorlauf ab, danach wird die Hauptfraktion aufgefangen, die größtenteils Styrol (Siedepunkt 146 °C) enthält.

Die erneute Polymerisation kann auch als Schülerversuch (Schutzbrille!) durchgeführt werden. Der Recyclingkunststoff wird durch kationische Polymerisation des Styrols mit Eisen-

---

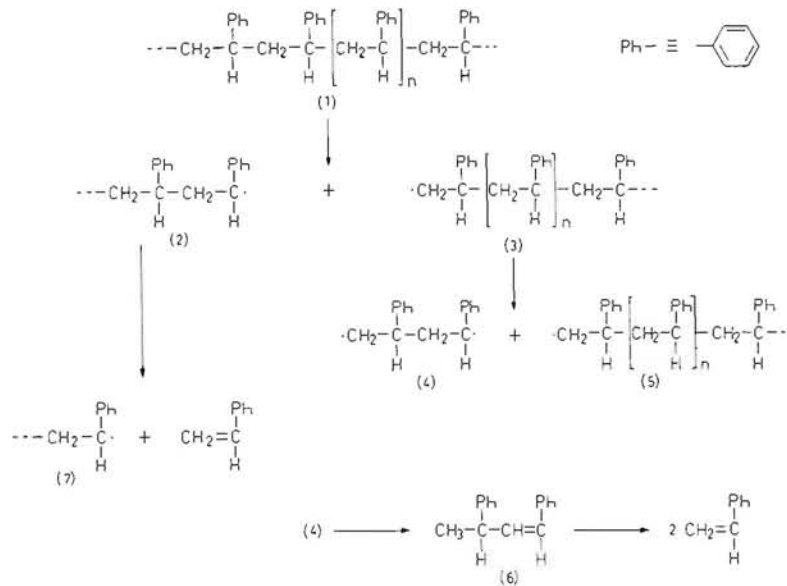
<sup>75</sup> Zum folgenden vgl. Bader, a.a.O., S.70 ff

(III)-chlorid hergestellt. Dazu wird das Reagenzglas an einem Stativ befestigt und dann dem Styrol einige Körner Eisen(III)-chlorid zugegeben.

Es darf nicht zuviel Eisen(III)-chlorid zugegeben werden, da es sonst zu einer sehr heftigen Reaktion kommen kann! Um die Reaktion zu starten, muß evtl. im Wasserbad erwärmt werden. Das Reaktionsgemisch erwärmt sich stark und bildet schnell eine grüne bis braune feste Masse.

### Deutung

Der Abbau des Polystyrols kann z.B. mit dem nachstehenden Reaktionsschema gedeutet werden:



Bei einer Temperatur von max. 500 °C zerfällt ein Makromolekül (1) in ein primäres (3) und ein sekundäres (2) Radikal. Letzteres wird durch die Phenylgruppe mesomeriestabilisiert und spaltet Styrol ab (7). Dadurch entsteht erneut ein sekundäres Radikal und der Vorgang wiederholt sich. Das primäre Bruchstück (3) könnte weiter zerfallen, wobei ein Diradikal (4) entstehen kann, das sich zu Distyrol (6) umlagert. Distyrol kann weiter zu zwei Molekülen Styrol zerfallen.



## V 6 Ermittlung von k-Werten im Schulversuch <sup>76</sup>

Die Wärmeenergieverluste, die bei einem Gebäude auftreten, sind proportional

- zur Wandfläche ( $A$ ),
- zur Zeit ( $t$ ) und
- zur Temperaturdifferenz von Raumtemperatur ( $T_i$ ) und Außentemperatur ( $T_a$ ).

Außerdem hängt der Energieverlust von den wärmedämmenden Eigenschaften der verwendeten Materialien und - im Gegensatz zu der Wärmeleitfähigkeit - von den Windverhältnissen ab.

Dieser Versuch zeigt über die Berechnung der k-Werte modellhaft die Einflüsse der verwendeten Materialien und der Windverhältnisse auf die Wärmedämmeigenschaften eines Bauteils.

Wenn die Ermittlung des k-Wertes zu schwierig oder zu aufwendig erscheint, können mit diesem Versuch qualitativ Wärmedämmeigenschaften unterschiedlicher Materialien aufgezeigt werden.

### Benötigte Chemikalien und Geräte

Würfelförmige Styropor-Kiste (Kantenlänge ca. 40 cm, Wandstärke 4 cm), Glühlampe (25 W) mit Fassung, Holzbrett, Stromquelle, Thermometer, Wellpappe (ca. 20 \* 20 cm, Dicke 6 mm), Dreifuß, verschiedene Wärmedämmstoff-Platten (z.B. Styropor, Kork, Schaumglas)

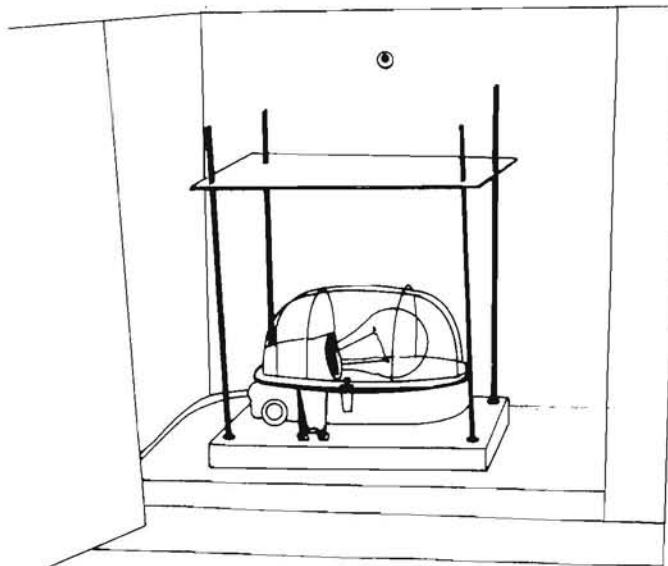
### Durchführung

#### A) Qualitative Methode

Die Glühlampen-Fassung wird auf das Brett montiert und in die Styropor-Kiste gestellt. Das elektrische Kabel wird durch eine Bohrung am unteren Ende eines Seitenteils der Kiste nach außen geführt.

Im Abstand von 4 cm zur Oberkante und mittig muß eine weitere Bohrung in einer Seitenwand der Kiste das Thermometer aufnehmen, das ca. 4 cm weit in die Kiste hineinragen soll.

Um das Thermometer vor direkter Strahlung abzuschirmen, wird die Wellpappe in ausreichendem Abstand über der Lampe angebracht (z.B. auf Stricknadeln gelegt, die in die Seitenteile der Kiste gesteckt werden können). Auf die Kiste wird ein Deckel aus einer Dämmstoff-Platte passender Größe gelegt. Die Kiste wird auf den Dreifuß gestellt und die Temperatur im Kisteninnern festgehalten.



<sup>76</sup> Nach: Zimmermann, U., 1981, S. 323

Die Lampe wird für eine bestimmte Zeit (z.B. 15 Minuten) angeschaltet. Danach wird der Temperaturunterschied festgestellt und die Werte mit denen anderer Dämmstoff-Platten verglichen.

#### Beobachtung/Deutung:

Die Ergebnisse - unterschiedliche Erwärmung des Innenraums der Kiste - zeigen, daß die untersuchten Materialien unterschiedliche Eigenschaften als Wärmedämmstoffe besitzen und daß durch die Verwendung geeigneter Materialien für die Gebäudedämmung Energie eingespart werden kann.

#### B) Quantitative Methode

Die Kiste wird wie oben beschrieben vorbereitet. Dann wird die erste Deckelplatte aufgelegt und die Glühlampe angeschaltet. Wenn die Temperatur in dem Kisteninnern nicht mehr weiter ansteigt, hat sich eine Gleichgewichtstemperatur eingestellt, die zusammen mit der Außentemperatur abgelesen werden kann.

#### Berechnung des k-Wertes

Die Energieverluste (Q) sind abhängig vom k-Wert (Material, Wärmeleitfähigkeit, Windverhältnisse) sowie proportional abhängig von Wandfläche (A), Zeit (t) und der Temperaturdifferenz ( $T_i - T_a$ ):

$$Q = k \cdot A \cdot (T_i - T_a) \cdot t \quad (1)$$

Bei der Gleichgewichtstemperatur entspricht der Energieverlust der Kiste pro Zeiteinheit ( $Q'$ ) der Leistung (P) der Glühlampe:

$$Q' = Q/t = P \quad (2)$$

$$Q' = k \cdot A \cdot (T_i - T_a) \quad (2a)$$

wobei der Index i die Gleichgewichtstemperatur in der Kiste und a die Außentemperatur (Raumtemperatur) bezeichnet.

Um mögliche Abweichungen zwischen Nennleistung und Heizleistung der Glühlampe zu erkennen und Berechnungsfehler zu vermeiden, sollten dabei Spannung (U) und Stromstärke (I) an der Versuchsanordnung gemessen und daraus die Leistung berechnet werden:

$$P = U \cdot I$$

Der Gesamtenergieverlust  $Q'_{ges}$  setzt sich zusammen aus dem Energieverlust der Kiste  $Q'_k$  und dem Energieverlust des Deckels  $Q'_d$ .

$$Q'_{ges} = Q'_k + Q'_d \quad (3)$$

Energieverlust der Kiste ( $Q'_k$ )

$$Q'_k = k_k \cdot A \cdot (T_i - T_a) \quad (4)$$

**Der k-Wert** errechnet sich aus dem Wärmedurchlaßwiderstand  $1/\Lambda$  (Wärmeleitfähigkeit) und Dicke des Styropors (4 cm) sowie aus dem Wärmeübergangswiderstand  $1/\alpha$ .<sup>77</sup>

Für Styropor hat  $\lambda$  den Wert  $\lambda = 0,04$ .

Für  $1/\alpha$  werden die Werte für den Wärmeaustausch Zimmerluft - Innenwände verwendet.

Wenn während des Versuches z.B. reale Windverhältnisse an Außenwänden mit einem Ventilator nachgestellt werden, dann müssen die Werte für den Wärmeaustausch Zimmerluft - Innenwände und Außenluft - Außenwände eingesetzt werden.

<sup>77</sup> Vgl. hierzu die Ausführungen unter E 3 und E4.



Die **Gesamtfläche A** der Kistenwände wird als geometrische Mittel aus innerer und äußerer Kistenfläche berechnet:

$$A = \sqrt{A_i + A_a} \quad (5)$$

Aus den so berechneten und den gemessenen Werten läßt sich der Energieverlust durch den Deckels errechnen.

Energieverlust des Deckels

Gleichung (4) gilt analog für  $Q'_d$ :

$$Q'_d = k_d * A * (T_i - T_a) \quad (6)$$

Bei der Berechnung der Fläche des Deckels dürfen die (vier) Seitenränder nicht vergessen werden!

Aus (3) und (4) ergibt sich

$$Q'_d = Q'_{ges} - Q'_k = P - Q'_k$$

und 
$$P - Q'_k = k_d * A * (T_i - T_a) \quad (7)$$

bzw. 
$$k_d = \frac{P - Q'_k}{A * (T_i - T_a)} \quad (8)$$

mit

P = Heizleistung der Glühlampe

A = das geometrische Mittel aus innerer und äußerer Deckelfläche

$T_i$  = Gleichgewichtstemperatur

$T_a$  = Raumtemperatur.

Durch Einsetzen der Werte in Gleichung (8) erhält man den k-Wert des Deckelmaterials.

## 4. Beispielhafte Bewertung von Dämmstoffen mittels Produktlinienanalyse

### 4.1 Produktlinienanalyse für Wärmedämmstoffe aus expandiertem Polystyrol <sup>78</sup>

#### Rohstoffe

Polystyrol wird aus den Grundstoffen Benzol und Ethen hergestellt, diese wiederum kommen aus der Erdölraffination.

In den Raffinerien wird das Erdöl durch Destillation in seine Bestandteile zerlegt. Die Hauptfraktion enthält neben Gasen, Kerosin, Diesel- und Heizöl sowie Schmierölen auch das Rohbenzin (Naphtha), aus dem man Ethen und Benzol gewinnt.

Die Verfügbarkeit beider Stoffe ist durch die endlichen Ressourcen an Rohöl begrenzt. Die als sicher gewinnbaren Reserven werden derzeit auf ca. 136 Mrd. Tonnen geschätzt. Daneben vermutet man noch unbekannte Vorkommen im Umfang von 420 Mrd. Tonnen. 1991 wurden 3,11 Mrd. Tonnen Erdöl gefördert. Durch eine steigende Nachfrage in den Entwicklungsländern und Osteuropa wird der jährliche Verbrauch weiter ansteigen. Die als sicher gewinnbaren geltenden Rohölvorkommen werden unter diesen Bedingungen in ca. 40 Jahren aufgezehrt sein.

Neben Benzol und Ethen werden hauptsächlich folgende Hilfsstoffe benötigt: Pentan zum Aufschäumen des Polystyrols, Eisenoxid und  $\text{AlCl}_3$  als Katalysatoren, Ethylchlorid,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  und  $\text{K}_2\text{CO}_3$  als Promotoren, Brenngas und Wasser.

#### Produktion

Ausgehend von den Rohstoffen Ethen und Benzol verläuft die Produktion von expandiertem Polystyrol in drei Stufen:

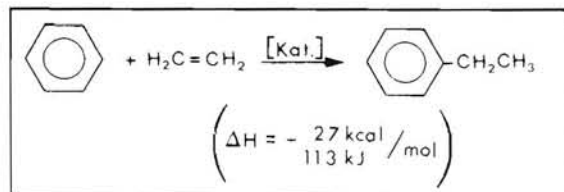
- \* Aus Benzol und Ethen wird Ethylbenzol hergestellt,
- \* das bei der anschließenden Dehydrierung zu Styrol weiterverarbeitet wird.
- \* Das expandierte Polystyrol entsteht durch Polymerisation von Styrol und anschließendem Aufschäumen.

#### Ethylbenzol

Ethylbenzol wird großtechnisch überwiegend durch Alkylierung von Benzol mit Ethen gewonnen. Der Prozeß findet in einer Gasphase oder in flüssiger

Phase statt. Beschrieben wird der Prozeß in flüssiger Phase, nach dem in Deutschland überwiegend produziert wird:

Die Alkylierung wird bei Temperaturen von 85 bis 95 °C und Normal- oder leichtem Überdruck durchgeführt. Die Reaktionsenthalpie beträgt -113 kJ/mol Ethylbenzol.



Als Katalysatoren werden z.B.  $\text{BF}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , hauptsächlich aber  $\text{AlCl}_3$  eingesetzt. Zudem wird etwas Ethylchlorid als Promotor eingesetzt, das mit Benzol zu Ethylbenzol weiterreagiert. Dabei entsteht  $\text{HCl}$ , das als Co-Katalysator zum  $\text{AlCl}_3$  wirkt. Da die Katalysatorenwirkung während des Prozesses nachläßt, wird der Katalysator teilweise ersetzt. Zur Produktion von 100 kg Ethylbenzol wird ca. 1 kg  $\text{AlCl}_3$  benötigt.

Das Ethen wird in geringerem Anteil als Benzol in den Alkylierungsturm gegeben, um die Bildung von Di- und Polyethylbenzolen zu begrenzen. In einer Destillationsanlage wird das Reaktionsgemisch, ca. 37% Ethylbenzol, 45% Benzol, 15% Diethylbenzol, 2% Polyethylbenzol und 1% teeriger Rückstand, getrennt. Der Katalysator  $\text{AlCl}_3$  muß durch wäßrige und alkalische Wäsche aus den Reaktionsprodukten entfernt werden. Benzol wird getrocknet und zusammen mit den mehrfach ethylierten Benzolen in den Reaktionsprozeß zurückgeführt.

Bei der Gewinnung von Benzol kommt es in den Raffinerien zu Benzolemissionen in einer Größenordnung von 240 Tonnen pro Jahr. Weitere 460 t/a entweichen bei der chemischen Industrie, davon ca. 150 g Benzol pro Tonne verarbeitetem Benzol bei der Herstellung von Ethylbenzol.

<sup>78</sup> Soweit nicht anders angegeben, wurden die für diesen Abschnitt verwendeten Informationen und Daten den folgenden Quellen entnommen:

Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der Gesellschaft Deutscher Chemiker: Styrol (Ethenylbenzol). Weinheim 1990 (BUA-Stoffbericht 48)

Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der Gesellschaft Deutscher Chemiker: Benzol. Weinheim 1988 (BUA-Stoffbericht 24)

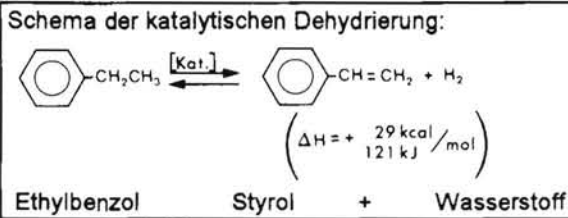
Studentengruppe Wärmedämmstoffe: Wärmedämmstoffe. Der Versuch einer ganzheitlichen Betrachtung. Basel, Muttenz (Schweiz) 1989

Verband der Chemischen Industrie e.V.: Umwelt und Chemie von A - Z. 8. verbesserte Auflage. Freiburg 1990  
K. Weissmerel, H.-J. Arpe: Industrielle organische Chemie. Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte. 3. überarbeitete u. erweiterte Aufl., Weinheim 1988

Benzol kann u.a. schädigend auf Organe wirken. Es ist außerdem als eindeutig krebserzeugender Arbeitsstoff eingeordnet. Ethylbenzol zeigte in Tierversuchen eine gesundheitsschädliche Wirkung.<sup>79</sup>

**Styrol**

Styrol wird heute in Deutschland ausschließlich durch direkte, katalytische Dehydrierung von Ethylbenzol hergestellt. Ältere Verfahren, wie z.B. die Seitenketten-Chlorierung von Ethylbenzol, sind nicht mehr gebräuchlich. Für die Abspaltung des Wasserstoffes wird ein hohes Energieniveau benötigt (ca. 550 bis 600 °C).



Bei der Dehydrierung handelt es sich um eine reversible, endotherme Reaktion mit einer Reaktionsenthalpie von + 121 kJ pro Mol Styrol. Die Wärmezufuhr erfolgt über zwei verschiedene Verfahren:

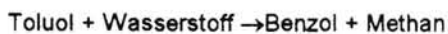
Beim BASF-Verfahren wird die Wärme von außen durch Brenngas zugeführt, die endotherme Reaktion läuft isotherm in Röhrenöfen ab. Beim DOW-Verfahren wird direkt durch reichlich Zuführung von überhitztem Wasserdampf (ca. 720 °C; 2,5 - 3 kg Wasserdampf pro kg Ethylbenzol) die Wärme für die adiabatische Reaktion zugeführt.

Als Katalysator wird Eisenoxid benutzt, dem meist Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und KOH oder K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> als Promotoren beige-setzt werden. Bei beiden Verfahren wird durch die Zufuhr von Wasserdampf im gleichen Anteil wie Ethylbenzol der Partialdruck des Ethylbenzols verringert (Verschiebung des Reaktionsgleichgewichtes zu Styrol), um Nebenreaktionen einzuschränken. Als Nebenprodukte entstehen u.a. Toluol, Benzol und zu geringeren Teilen auch teerige Substanzen.

Die Anteile verteilen sich in etwa wie folgt:

- 45 Gew.-% Styrol
- 52 Gew.-% Ethylbenzol
- 0,7 - 0,08 Gew.-% Benzol
- 2,0 - 2,5 Gew.-% Toluol
- 0,5 Gew.-% höher siedende Aromaten und Rückstand

Das als Nebenprodukt anfallende Toluol wird anderweitig eingesetzt oder zu Benzol hydrodealkyliert:



*Toluol kann schädigend auf Leber, Nieren und Gehirnzellen wirken. In Tierversuchen wirkte es krebserzeugend.*

Die Reaktionsprodukte werden schnell abgekühlt, um eine Polymerisation des Styrols zu verhindern (Styrol polymerisiert teilweise schon bei Raumtem-

peratur). Nicht umgesetztes Ethylbenzol, Styrol und die teerigen Rückstände werden durch fraktionierte Kondensation getrennt. Der bei dieser Reaktion entstehende Wasserstoff wird zur Erzeugung der nötigen Dehydriertemperatur eingesetzt. Anschließend erfolgt die Feinreinigung des Styrols. In einer Vakuumdestillation mit 4 Kolonnen erreicht man unter Zusatz von Polymerisationsinhibitoren (meist auf Phenolbasis) einen Reinheitsgrad von mehr als 99,8%. Das Verfahren ist aufwendig, weil Ethylbenzol und Styrol sehr ähnliche Siedepunkte besitzen (Ethylbenzol: 136 °C, Styrol: 133 °C).

Im ersten Schritt werden Benzol, Toluol und zum Teil auch Ethylbenzol abgetrennt. In der zweiten Fraktionskolonne wird das Ethylbenzol entfernt, das in den Produktionsprozeß zurückgeführt wird. Zurück bleibt das sogenannte Rohstyrol, das in der dritten Kolonne als Reinprodukt erhalten wird. Der Rückstand enthält noch Styrol und wird deshalb in einem Dünnschichtverdampfer nachfraktioniert.

Rückstände wie Stabilisatoren, Polymerisat und Stilben werden zur Energieerzeugung verbrannt.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1989 1.170.000 Tonnen Styrol hergestellt und 1.000.000 Tonnen weiterverarbeitet. Bei Produktion und Verarbeitung gelangt der Stoff teilweise in Wasser und Luft. Genaue Daten über die Höhe der Belastungen in Bezug auf die Wärmedämmstoffe wurden nach Aufstellen folgenden Schemas aus verschiedenen Angaben in der Literatur in etwa ermittelt:

|   |              |
|---|--------------|
| Produktion von Styrol (1989):                 | 1.170.000 t  |
| Verbrauch (1989):                             | 1.000.000 t  |
| Weiterverarbeitung zu Polystyrol              | sonstige     |
| 500.000 t                                     | 500.000 t    |
| Weiterverarbeitung zu expandiertem Polystyrol | sonstige     |
| 120.000 t                                     | 380.000 t    |
| Dämmstoffe                                    | Verpackungen |
| 85.000 t                                      | 30.000 t     |
|   | Formteile    |
|   | 5.000 t      |

Daraus folgt, daß etwa 8,5% des verbrauchten Styrols für Dämmstoffe eingesetzt wurden, das sind 7,3% des in Deutschland produzierten Styrols.

Aus diesen Werten ergeben sich folgende Belastungen durch Styrol bei Produktion und Weiterverarbeitung:

- a) Abwasser:  
Gesamteintrag bei Herstellung: 85 kg/Jahr;  
**Anteil der Dämmstoffe: 6,2 kg/Jahr**
- b) Abluft:  
Gesamtemission bei Herstellung: 8 t/Jahr;  
**Anteil der Dämmstoffe: 580 kg/Jahr**  
Gesamtemission bei Weiterverarbeitung zu Polystyrol: 180.000 kg/Jahr;  
**Anteil der Dämmstoffe: 13.000 kg/Jahr**  
**Gesamtemission durch Aufschäumen der Dämmstoffe: 76.500 kg/Jahr**

<sup>79</sup> Koch, a.a.O., S.234

Damit ergibt sich eine Gesamtbelastung an Styrol durch Produktion und Weiterverarbeitung zu Dämmstoffen von 6,2 kg/Jahr in Gewässer und ca. 90.000 kg/Jahr in die Luft.

*In der Umwelt wird Styrol leicht abgebaut. Beim Menschen kann Styrol vor allem über die Atemwege in den Körper gelangen und zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Die maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) liegt bei 100ml/m<sup>3</sup> Luft. Wird dieser Wert überschritten, kann es zur Reizung der Schleimhäute kommen. Bei Personen, die über einen längeren Zeitraum Styrol inhalativ aufnahmen (z.B. Arbeiter der chemischen Industrie), wurden u.a. Leberschäden und Aktivitätsminderungen entgiftender Leberenzyme festgestellt. Außerdem wird ein Zusammenhang zwischen erhöhtem Eintritt von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Styrol-Expositionen (Belastungen) vermutet. Bei beruflich exponierten Personen wurden Störungen des reproduktiven Systems festgestellt. Im Körper wird Styrol zu 7,8-Styroloxid umgewandelt, das sich in Tierversuchen als krebserzeugend und erbgutverändernd gezeigt hat.*

### Expandiertes Polystyrol

In einem Polymerisationsvorgang wird Styrol zu treibmittelhaltigem, perlformigem Polystyrol weiterverarbeitet. Dem Polymerisationsgemisch werden Additive, Pentan als Treibgas, Wasser und weitere Hilfsstoffe (z.B. Hexabromcyclo-Dodecan als Flammschutzmittel, Antioxidantien, UV-Stabilisatoren oder Gleitmittel) zugesetzt. Während der Polymerisation wird das Gemisch mit Wasser gekühlt. Das entstandene Granulat wird in einem dreistufigen Prozeß zu expandiertem Polystyrol weiterverarbeitet:

Im ersten Schritt werden die Teilchen mit Wasserdampf bei etwa 100 °C in Vorschäumen expandiert. Durch den steigenden Dampfdruck von Pentan und durch den Wasserdampf wird das Granulat bis zum ca. Fünzigfachen des Ursprungsvolumens aufgebläht (Durchmesser ca. 0,2 bis 3 mm).

Anschließend werden die entstandenen Partikel in Silos zwischengelagert. Dort kühlen sie ab, das Treibmittel und der Wasserdampf in den Zellen der Teilchen kondensieren und erzeugen dadurch einen Unterdruck. Dieser wird durch eindiffundierende Luft ausgeglichen. Bei diesem Vorgang erhalten die Partikel die nötige mechanische Stabilität und weitere Blähkraft für die Weiterverarbeitung. Dieses Material wird an die Schaumstoffhersteller ausgeliefert.

Im letzten Produktionsschritt werden die Teilchen weiter aufgeschäumt. Mit Wasserdampf wird das Zellgerüst erweicht. Durch das Treibmittel und die Luft in den Zellen werden die Kügelchen weiter aufgebläht. In Blockformen oder Formteilautomaten verkleben sie bei diesen Temperaturen zu festem Dämmstoff. Die Fertigprodukte enthalten 2% Polystyrol und 98% Luft. Sie werden zwischengelagert, wobei ein Großteil der Styrolmonomere in diesem Zeitraum aus den Dämmstoffen emittiert.

### Transport

Die Rohstoffe für expandiertes Polystyrol, Benzol und Ethen, werden heute zum überwiegenden Teil aus Erdöl gewonnen. Die größten Erdöllieferanten Deutschlands sind die GUS-Staaten, Großbritannien, Libyen, Norwegen, Saudi-Arabien und andere OPEC-Staaten. Das Rohöl muß daher meist über weite Strecken nach Deutschland transportiert werden, was mit hohen Emissionen verbunden ist. Bei dem Transport mit Tankschiffen kommt es immer wieder zu Tankerunfällen, bei denen durch auslaufendes Rohöl immer wieder Umweltkatastrophen verursacht werden.

Der Transport der Zwischen- und Endprodukte erfolgt meist per LKW, was ebenfalls mit entsprechenden Emissionen verbunden ist.

### Energieverbrauch

Die Produktionsschritte zur Herstellung von Wärmedämmstoffen aus expandiertem Polystyrol benötigen erhebliche Energiemengen. Die meisten Reaktionen verlaufen bei hohen Temperaturen, Zwischen- und Endprodukte müssen durch aufwendige Verfahren von Nebenprodukten getrennt und gereinigt werden.

Für die Herstellung von einem Kubikmeter Polystyrol-Dämmstoff mit einer Rohdichte von 30 kg/m<sup>3</sup> werden insgesamt 1050 Kilowattstunden Energie benötigt, das entspricht 35 kWh/kg.<sup>80</sup>

### Gebrauch

Expandiertes Polystyrol wird hauptsächlich in Plattenform angeboten. Bei der Verarbeitung fallen durch das Zuschneiden der Platten Verschnittreste an. Sie werden wie die Plastikverpackungen der Dämmplatten über den Hausmüll oder als Bauschutt entsorgt. Aus fabrikrischen Dämmplatten entweicht monomeres Styrol größtenteils schon bei der Lagerung in den Herstellungsbetrieben. Reste können besonders bei der Verarbeitung zu Belastungen führen. Während der Lagerung der Polystyrol-Dämmstoffe bei den Herstellern entweichen ca. 78 Tonnen monomeres Styrol pro Jahr in die Luft. Im Brandfall kann es zu Emissionen von Styrol-Monomeren, Aromaten und Bromwasserstoffen kommen.

### Entsorgung

Für die Entsorgung von Polystyrol-Dämmstoffen nach Gebrauch gibt es drei Möglichkeiten:

#### a) Deponierung

Das Material wird als Bauschutt auf Deponien gelagert. Bei der Verrottung gelangen aus deponierten Polystyrol-Dämmstoffen ca. 14 Tonnen Styrol pro Jahr in die Sickerwässer und die Luft. Die Dämmstoffe lassen sich nicht verfestigen und nehmen daher großen Raum auf den Deponien ein.

#### b) Verbrennung

Vor allem verunreinigte Polystyrol-Dämmstoffe können über Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden. Der Heizwert liegt mit 46.000 kJ/kg zwar

<sup>80</sup> Borsch-Laaks, a.a.O., S.5



höher als bei Heizöl (44.000 kJ/kg).<sup>81</sup> Für die Herstellung von einem Kilogramm Dämmstoff wird jedoch eine Energiemenge von 126.000 kJ benötigt.

#### c) Wiederverwendung

Sortenreines, farblich einheitliches und nicht verschmutztes expandiertes Polystyrol kann durch "physikalisches Recycling" zu neuen Stoffen verarbeitet werden. Dazu werden die Abfallstoffe zerkleinert, in Extrudern verdichtet und erwärmt und zu neuen Produkten weiterverarbeitet. Allerdings besitzen die Recyclingprodukte eine geringere Qualität als die Abfallstoffe.

Die sauberen Polystyrolabfälle können auch zermahlen und das Granulat in eine Form gegeben werden. Durch die anschließende Behandlung mit Wasserdampf blähen Reste des Treibmittels aus der Erstproduktion die Kügelchen auf und das Material verbackt erneut zu einem Schaumstoff. Bei diesem Verfahren können auch Gemische aus Neu- und Recyclingmaterial verwendet werden. Auch hier besitzen die Recyclingprodukte eine geringere Qualität als Neuprodukte.

Bei einer *stofflichen Umwandlung* der Abfallstoffe werden aus gereinigten, sortenreinen Kunststoffen durch pyrolytische Verfahren niedermolekulare Stoffe hergestellt, die anschließend wieder zu Makromolekülen aufgebaut werden. Neben den Monomeren entstehen bei diesem Verfahren auch etliche Nebenprodukte, z.B. Ethylbenzol, Toluol, Benzol, Naphthalin oder Di- und Tristyrole. Aus Polystyrol erhält man je nach Pyrolysetemperatur eine Ausbeute an Monomeren von 40 bis 70%.<sup>82</sup> Aus den Monomeren lassen sich bei diesem Recyclingverfahren Produkte herstellen, deren Qualität mit denen der Neuwaren vergleichbar ist, wenn sortenreine Kunststoffe verwendet werden.

Die BASF verarbeitet Abfälle aus expandiertem Polystyrol auch durch Zerkleinerung zu Flocken mit einer Größe von 4 bis 25 mm und verkauft diese als *Bodenhilfsstoff* zur Auflockerung von Böden.<sup>83</sup>

#### Bewertung

Unter ökologischen und sozialen Gesichtspunkten weisen Wärmedämmstoffe aus expandiertem Polystyrol überwiegend Nachteile auf.

Der Verbrauch an Rohöl mit dessen begrenzten Vorkommen amortisiert sich durch die Energieeinsparung der Wärmedämmung innerhalb von ca. 1 bis 2 Jahren.

Der Transport der Roh-, Zwischen- und Endprodukte erfolgt teilweise über sehr weite Strecken und ist daher mit hohen Emissionen verbunden. Bei Erdöltransporten mit Tankschiffen bestehen Risiken durch Tankerunfälle für Umwelt und Natur.

Die Herstellung der Dämmstoffe ist mit hohem Energieaufwand und mit Emissionen von - teils gesundheitsschädlichen - Stoffen (z.B. Styrol, Toluol, Benzol) verbunden.

Bei Herstellung und Gebrauch muß unter Gesundheitsaspekten vor allem das Styrol berücksichtigt werden. Der Stoff steht im Verdacht, krebserregend zu sein. Durch die Produktion entstehen Styrol-Emissionen von über 90 Tonnen jährlich. Laut Herstellerangaben liegen die Styrol-Konzentrationen unterhalb der MAK-Werte von 100 mg/l Luft.

Auch während des Gebrauchs entweicht aus Polystyrol-Dämmstoffen monomeres Styrol in die Raumluft.

Zwar werden die MAK-Werte für Styrol bei Einbau und Gebrauch der Dämmstoffe weit unterschritten, jedoch ist zu berücksichtigen, daß bei Untersuchungen von exponierten Mitarbeitern in der styrolverarbeitenden Industrie gesundheitliche Beeinträchtigungen wie Leberschäden, Störungen des Nervensystems oder des reproduktiven Systems festgestellt wurden.

Eine direkte Wiederverwertung von EPS-Dämmstoffen nach Gebrauch ist nicht möglich. Abfälle können entweder, wenn sie sortenrein und sauber sind, begrenzt der Neuproduktion zugegeben werden oder einem Recycling mit oder ohne stoffliche Umwandlung zugeführt werden. In den ersten beiden Fällen lassen sich jedoch nur qualitativ minderwertiger Produkte herstellen. Durch ein Recycling mit stofflicher Umwandlung entstehen viele unerwünschte Nebenprodukte, deren Entsorgung evtl. selbst wieder mit Problemen verbunden ist. Ein flächendeckendes Sammeln von Polystyrol-Abfallstoffen findet nicht statt.

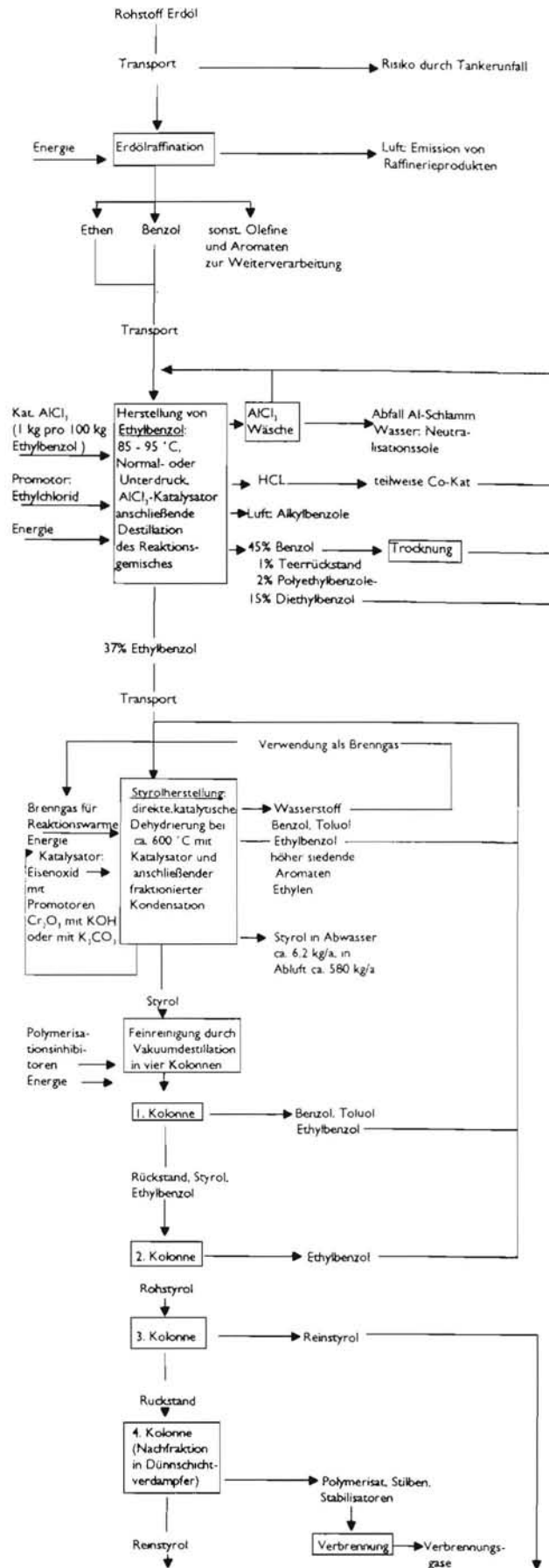
Polystyrol-Dämmstoffe sind für alle Zwecke der Wärmedämmung verwendbar. Sie sind einfach zu verarbeiten und billig zu erwerben. Unter diesen Gesichtspunkten sind Polystyrol-Dämmstoffe für Verbraucher vorteilhafter als beispielsweise Isofloc oder Wärmedämmstoffe aus Kork.

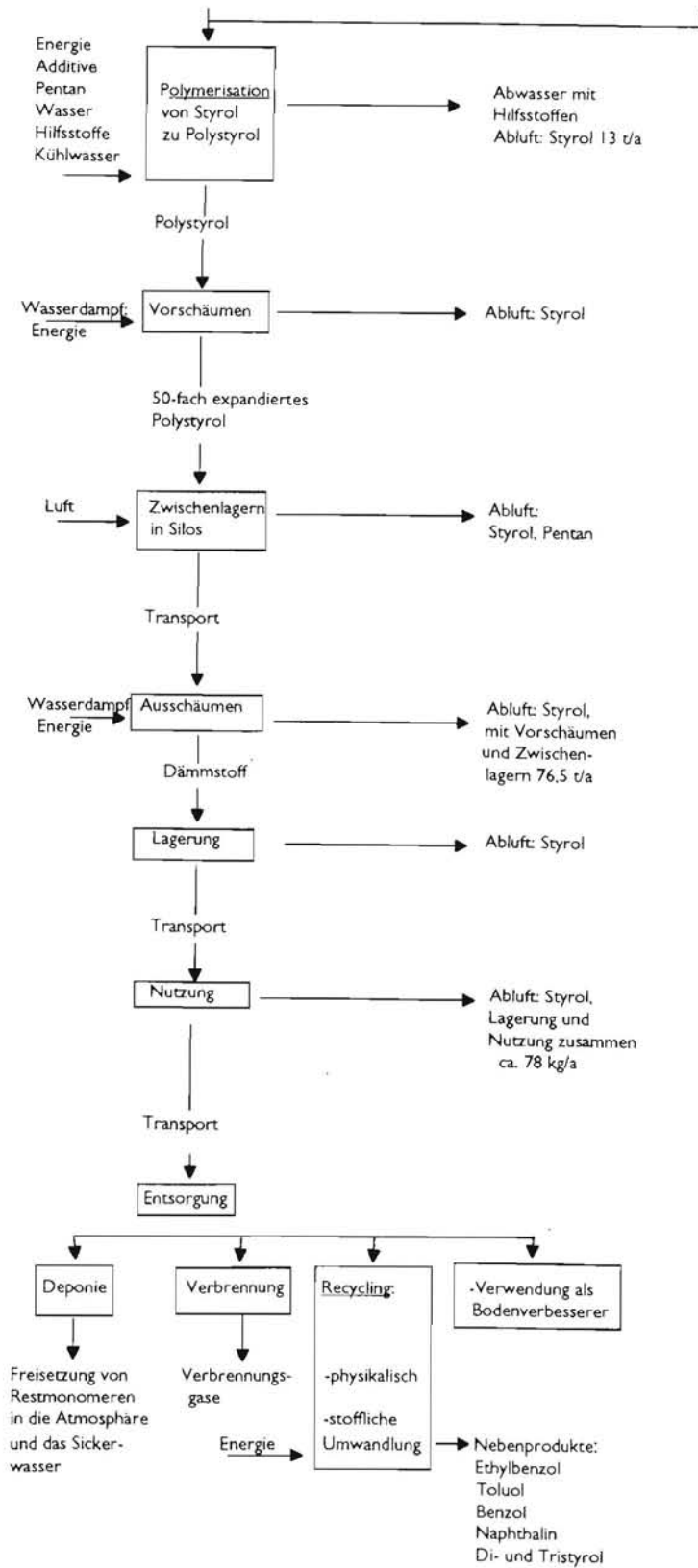
<sup>81</sup> Bader, a.a.O., S.37

<sup>82</sup> Bader, a.a.O., S.78

<sup>83</sup> Industrieverband Verpackung und Folien aus Kunststoff e.V., a.a.O., S.28

### Schema für eine Produktlinienanalyse für expandiertes Polystyrol





## 4.2 Produktlinienanalyse für "Isofloc" <sup>84</sup>

### Rohstoffe

Isofloc ist ein Dämmstoff auf Cellulosefaserbasis. Er wird hergestellt zu 80% aus Altpapier (Abfälle von Tageszeitungen) sowie aus den Zusatzstoffen Borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) (12%) und Borsäure ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) (8%) hergestellt wird.

### Altpapier

Das Altpapier stammt vor allem aus Remittenden von Tageszeitungen. Daneben werden aber auch Verlagsabfälle und Tageszeitungspapier, das manuell aus Altpapiersammlungen sortiert wird, verwendet. Das Papier stammt zum größten Teil aus Deutschland, geringe Mengen kommen aus dem Ausland.

Die Bereitstellung des Rohstoffes Altpapier ist mit nur geringen Emissionen verbunden. Lediglich durch den Transport zur Produktionsstätte und beim Sortieren des Papiers entstehen Emissionen.

### Borax und Borsäure

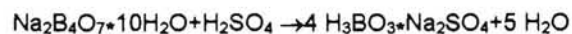
Borax ist ein Mineral, das vor allem in vulkanischen Gebieten mit Wüstenklima vorkommt. Wichtige Herkunftsländer sind die USA, China, Frankreich, Türkei, Argentinien und die GUS-Staaten. Die weltweiten Vorräte an Borax gelten als nahezu unerschöpflich. Borsäure wird durch Weiterverarbeitung von Borax gewonnen.

Zu den Bormineralien zählen hauptsächlich magnesium-, calcium- und natriumhaltige Bor-Sauerstoff-Verbindungen. Sie werden im Tiefbau und Tagebau gewonnen.

Alkalimetallborate lösen sich gut in Wasser. Zur Gewinnung des Borax werden Natriumborate nach dem Abbau mit Wasser ausgelaugt, die Rohlösungen anschließend vom Rückstand abgetrennt und dann auskristallisiert. Einfacher kann man Borax aus Salzsolen erhalten, aus denen die Natriumborate nur auskristallisiert werden müssen.

Für die Gewinnung der Borsäure ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) gibt es zwei verschiedene Methoden:

Im ersten Verfahren werden Bormineralien mit Schwefelsäure aufgeschlossen und mit Polyolen extrahiert:



Bei der zweiten Möglichkeit erhält man die Borsäure direkt durch Extraktion der Salzsolen mit Polyolen.

Die durch die Gewinnung der Borate entstehenden Kalkschlämme und borathaltige Gipse werden deponiert.

### Produktion

Die Herstellung von Isofloc erfolgt in folgenden Schritten:

#### 1. Vorstrecke

Das Tageszeitungspapier wird in Pressballen angeliefert. Zusammengehalten werden die Ballen mit Drähten, die nach Gebrauch dem Metallrecycling zugeführt werden.

Nach der Bestimmung von Feuchte und der Kontrolle auf Sauberkeit und Zusammensetzung des Papiers, wird es auf einem Kettenförderband zu einem Schredder transportiert und dort mechanisch aufgelöst und in ca. handtellergroße Stücke zerhackt. Anschließend gelangt das Papier zu einer Bandwaage, wo es kontinuierlich gewogen wird. Dadurch ist es möglich, die Salze dem Papier stets im gleichen Verhältnis zuzugeben.

#### 2. Imprägnierstrecke

Die Borate werden in Mehrweg-Behältern angeliefert, gemischt, pulverisiert und dann trocken und ohne Staubaustritt zu den Zeitungspapierschnitzeln gegeben.

#### 3. Zerkleinerung

In einer Hammerröhle werden die Zeitungsschnitzeln zerschlagen und die zugegebenen Salze angelagert. Die Papierschnitzeln sind zu 80% zwischen 5 und 21 mm<sup>2</sup> groß. Anschließend wird das Material je nach gewünschter Feinheit durch einen Transportventilator direkt zu dem sogenannten Zyklon transportiert oder zu einer Feinzerfaserungsmaschine umgeleitet, wo es in Fasern zerlegt wird. Im Zyklon findet die Trennung des Materials vom Luftstrom und der Transport in einen Bunker statt.

#### 4. Verpackung

Aus dem Bunker heraus wird das Material in Papiersäcke abgefüllt. Durch einen Stempel wird das Isofloc dabei komprimiert.

Bei der Produktion von Isofloc entsteht staubhaltige Luft, die bis auf Atemluftqualität gefiltert wird. Die Mitarbeiter sind Lärm ausgesetzt, der jedoch durch Schalldämmung der Maschinen reduziert wird. Boden, Luft und Wasser werden bei der Produktion nicht belastet. Der anfallende borathaltige Staub (aus den Filteranlagen) ist recycelbar.

### Transport

Isofloc wird direkt von der Produktionsstätte zu den Baustellen oder regionalen Umschlagstellen in Deutschland und dem angrenzenden Ausland transportiert. Der Transportweg beträgt durchschnittlich 350 km und wird meist mit Lkws zurückgelegt. Der Transport per Bahn soll zukünftig vor allem im Ferntransport ausgebaut werden.

### Energieverbrauch

Laut Herstellerangaben liegt der Primärenergieverbrauch für die Rohstoffe pro Tonne hergestelltes Isofloc inkl. der Transporte der Rohstoffe bei 2200,6 MJ thermischer Energie und 30,8 kWh elektrischer Energie. Der Energieverbrauch verteilt sich anteilmäßig wie folgt auf die einzelnen Rohstoffe:

<sup>84</sup> Zum folgenden vgl.: Ökologische Bautechnik Hirschhagen GmbH, 1992 b



| Rohstoff       | therm. Energie | elektr. Energie |
|----------------|----------------|-----------------|
| Tageszeitungen | 13,6 MJ        | 11,7 kWh        |
| Borax          | 707,0 MJ       | 2,8 kWh         |
| Borsäure       | 748,0 MJ       | 2,2 kWh         |
| Papiersäcke    | 732,0 MJ       | 24,1 kWh        |
| Summe          | 2200,6 MJ      | 30,8 kWh        |

Der Primärenergiebedarf für die *Produktion* pro Tonne Isofloc liegt bei 1.223 MJ thermischer Energie und 13,8 kWh elektrischer Energie.

Bei der *Verarbeitung* von Isofloc entsteht durch die verschiedenen Verfahren (z.B. Einblasverfahren) inkl. durchschnittlichem Transportweg ein Primärenergieverbrauch von 192 MJ thermischer Energie und 21,5 kWh elektrischer Energie.

Bei der *Deponierung* von Isofloc werden im Durchschnitt 68 MJ thermische Energie für den Transport von der Baustelle zur Deponie benötigt.

Der gesamte Energieverbrauch pro Tonne Isofloc beträgt danach:

|                            | therm. Energie | elektr. Energie |
|----------------------------|----------------|-----------------|
| Rohstoffe incl. Verpackung | 2201 MJ        | 30,8 kWh        |
| Produktion                 | 1223 MJ        | 13,8 kWh        |
| Verarbeitung               | 192 MJ         | 21,5 kWh        |
| Entsorgung                 | 68 MJ          |                 |
| Summe                      | 3684 MJ        | 66,1kWh         |

Für eine Tonne Isofloc ist eine Energiemenge von 4.600 MJ erforderlich. Das entspricht 64 kWh pro Kubikmeter Isofloc (bei 50 kg/m<sup>3</sup>) oder 1,28 kWh pro Kilogramm, darunter 0,34 kWh/kg für die Herstellung allein.

**Gebrauch**

Bei der Verarbeitung des flockigen Isofloc entstehen keine Abfälle in Form von Verschnittresten. Die Verpackungssäcke aus Papier werden zurückgenommen und wiederverwertet. Gelangen während der Verarbeitung größere Mengen Isofloc auf unversiegelten Boden, z.B. durch beschädigte Verpackungen, kann es kurzfristig durch Boreintrag zu vermindertem Pflanzenwachstum kommen. Durch Wasser (Regen) wird der Eintrag rasch auf unproblematische Werte verdünnt.

Während der Verarbeitung kann es zu hohen Staubbelastungen kommen. Deshalb wird das Tragen von Atemfiltern empfohlen.

**Entsorgung**

Isofloc kann nach der Nutzung prinzipiell wieder an anderer Stelle zur Dämmung eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit zur Entsorgung von Isofloc besteht darin, den Dämmstoff in geringen Konzentrationen auf landwirtschaftliche Nutzflächen aufzustreuen (max. 1 g Borax pro m<sup>2</sup> entsprechend 5 g Isofloc). Der Boratgehalt des Dämmstoffes fördert

in diesen Konzentrationen das Pflanzenwachstum. Isofloc kann auch durch Verbrennung entsorgt werden. Da durch die Borsalze der Brennwert von Isofloc praktisch neutralisiert wird, ist diese Form der Entsorgung wenig sinnvoll.

Bei der Deponierung von Isofloc besteht die Gefahr des Auswaschens der Borsalze. Da noch nicht geklärt ist, wie sich dies auf die Umwelt auswirkt, sollte Isofloc nur auf abgedichteten Deponien abgelagert werden.

Möglich wäre prinzipiell auch eine stoffliche Verwertung von Isofloc. Die Borate könnten von dem Papier getrennt und damit wieder für die Produktion verfügbar gemacht werden. Das Papier könnte kompostiert werden. Diese Methode wird bisher nicht angewandt.

**Bewertung**

Unter Umwelt- und Sozialaspekten weist der Isofloc überwiegend Vorteile auf. Beim der Herstellung wird darauf geachtet, daß durch Produktion, Nutzung und Entsorgung dieses Dämmstoffes Umwelt- und Gesundheitsbelastungen möglichst gering gehalten oder vermieden werden. Auf problematische Abfallstoffe bei der Aufbereitung von Bormineralien gibt es keine Hinweise.

Für die Herstellung von Isofloc wird vergleichsweise wenig Energie benötigt.

Während der Produktion wird an mehreren Stellen entstehender Staub abgesaugt, um die Belastung für die Mitarbeiter möglichst gering zu halten. Der Staub wird in Polyethylen-Säcke abgefüllt. Die Rückluft der Filter wird zur Heizung der Produktionshalle verwendet.

Die Borate werden in Mehrwegverpackungen angeliefert, die Drähte um die Altpapierballen werden dem Recycling zugeführt.

Nur die Borate müssen über weite Entfernungen herantransportiert werden. Die transportbedingten Emissionen bleiben daher insgesamt gering.

Bei der Verarbeitung von Isofloc sind außer der Staubentwicklung keine negativen Umwelt- oder Gesundheitsauswirkungen bekannt.

Gleiches gilt auch während des und nach dem Gebrauch von Isofloc. Der Dämmstoff kann erneut als Dämmstoff eingesetzt oder kompostiert werden.

Isofloc ist volkswirtschaftlich vorteilhaft. Die Preise für Altpapier sind in den letzten Jahren stark gesunken, seitdem Papier verstärkt getrennt gesammelt wird. Bekamen die Kommunen vor einigen Jahren das Abliefern von Altpapier noch vergütet, müssen sie heute für die Entsorgung bezahlen. Ein vermehrter Einsatz von Isofloc als Dämmstoff kann dazu beitragen, Altpapier einer sinnvollen Verwertung zuzuführen.

Isofloc besitzt bisher nur sehr geringe Marktanteile unter den Wärmedämmstoffen. Dies liegt u.a. daran, daß dieser Dämmstoff nicht für alle Anwendungsgebiete geeignet ist und nur durch Fachbetriebe verarbeitet werden kann.

Diese Nachteile gelten jedoch nicht weiter für die seit einiger Zeit angebotenen Dämmplatten auf Basis von Altpapier und Jute.

### 4.3 Produktlinienanalyse für Kork-Dämmstoffe

#### Rohstoffe

Kork wird aus den Rinden der Korkeichen (*Quercus suber lin.*) gewonnen, die im gesamten westlichen Mittelmeerraum wachsen. Die größten Anbaugelände befinden sich in Spanien und Portugal, kleinere Bestände gibt es in Nordafrika, Italien, Südfrankreich, Sardinien und Korsika. Die Kultivierung dieser Baumart in anderen Regionen ist bisher noch nicht gelungen.

#### Produktion <sup>85</sup>

Nach starken Rückgängen der Korkproduktion bis 1985 steigt die Menge an produziertem Kork langsam wieder an. Ursachen für diesen Rückgang wurden vor allem gesehen in:

- einem schlechten Marketing der Korkhersteller
- und einer Verdrängung dieses Rohstoffes durch (billigere) Kunststoffe, z.B. PVC für Fußböden oder Wärmedämmstoffe aus aufgeschäumtem Polystyrol.

Die Bäume nehmen - bei sachgemäßer Ausführung - durch die Schälung keinen Schaden. Der durchschnittliche Ertrag von 170 kg Rohkork pro Hektar und Jahr ließe wirtschaftlich und ökologisch sogar noch eine größere Produktion zu. In Spanien werden z.B. zur Zeit nur ca. 60% der Korkeichenbestände bewirtschaftet.

In Portugal gibt es seit dem 14. Jahrhundert Gesetze, um den Raubbau zu verhindern und die Korkeichenbestände den nächsten Generationen zu erhalten.

Im Alter von 30 - 40 Jahren werden Korkeichen zum ersten Mal geschält, danach ca. alle 10 - 15 Jahre. Nur maximal 1/3 der Rinde eines Baumes wird entfernt, damit die Bäume keinen Schaden nehmen.

Die Auswahl von Korkeichen, die gerindet werden sollen, erfolgt nach Jahreszahlen, die in den Bäumen eingraviert sind. Die Rinden werden mit speziellen Äxten von den Bäumen gelöst. Die Ernte erfolgt hauptsächlich durch Saisonarbeiter, in der Regel Bauern aus der näheren Umgebung.



*Abrinden einer Korkeiche*

Die abgeernteten Rinden werden zu regionalen Sammelstellen gebracht und dort bei Auktionen verkauft. Die Produktion der verschiedenen Korkprodukte findet hauptsächlich in den Herkunftsländern selbst statt. In Deutschland gibt es kaum noch Betriebe, die Rohkork selbst verarbeiten.

Für den Dämmstoffmarkt werden folgende Produkte hergestellt:

- Korkschor/Korkgranulat
- expandierter Korkschor
- niedrig rein expandierter Korkschor
- hochexpandierter Korkschor

In Schrotmühlen werden Reste aus der Flaschenkorkherstellung sowie ganze Rindenstücke gemahlen und das entstehende Schrot nach Körnung von 0,5 bis zu 22,5 mm Durchmesser sortiert.

Die Körnungen von 3 - 5 mm eignen sich am besten als Schüttgut für die Wärmedämmung. Sie werden nicht weiter behandelt und unverändert verkauft.

In den Mühlen wird auch Kork aus Korkfertigprodukten gemahlen. Die Eigenschaften dieses Granulates sind weniger gut. Aufgrund eines möglichen Anteils gesundheitsschädlicher Kleber und der Tatsache, daß sich durch Lack- und Kleberreste Elastizität und Diffusionsfähigkeit (und damit die Eigenschaft als Dämmstoff) verschlechtern, sollte man dieses Material nicht verwenden.

Kork aus Korkfertigprodukten wird meist bei der Herstellung von Leichtbeton zugegeben. Teilweise gelangt dieses Material aber auch als Schüttgut in den Handel oder wird in den Betrieben als Heizmaterial verwendet. Bedingt durch die Kleberückstände kann es dadurch zu schädlichen Emissionen kommen.

#### Expandierter Korkschor

Abfälle aus der Dämmkorkherstellung (expandierte Korkplatten) werden geschrotet und weitervermarktet.

In früheren Zeiten wurde der Schrot zusätzlich über offenem Feuer "geröstet". Dadurch entstanden Benzpyrene und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, das Material hatte einen starken Schwelungsgeruch. Dieses Verfahren wird aufgrund mangelnder Nachfrage heute so gut wie nicht mehr angewandt.

#### Niedrig rein expandierter Dämmkork

"Niedrig rein expandiert" bedeutet, daß Korkschor bei Temperaturen von 350 bis 380°C nur durch eigenes Harz gebunden wird. Das Volumen des Korks wird mit überhitztem Wasserdampf vergrößert. Diese Art der Dämmkorkherstellung ist aus bauphysikalischen und gesundheitlichen Gründen die beste Herstellungsmethode.

Der Dämmkork hat einen guten Dämmwert und ist bei ordentlicher Verarbeitung frei von gefährlichen Stoffen wie Benzpyren. Zur Herstellung wird verschiedenartiges Granulat verwendet. Stets wird ein bestimmter Teil an Rindengranulat aus der ersten

<sup>85</sup> Zum folgenden vgl. Hänisch, a.a.O., S.10 ff

Schälung der Bäume verwendet, da in den Rinden der ersten Schälung große Harzmengen enthalten sind, die für die Verklebung des Schrotens nötig sind.

Das gemischte Korkgranulat wird in stählernen Gußformen mit überhitztem Wasserdampf unter Druck erhitzt. Der Kork nimmt zum einen Wasserdampf in seine Zellen auf und gibt gleichzeitig Harz nach außen ab. Außerdem dehnen sich die Zellen aus. Durch die eigenen Harze verklebt der Kork zu Blöcken. Anschließend werden die Korkblöcke in Kühlhallen mit ca. 70°C warmen Wasser besprüht, um Spannungsrisse zu vermeiden. Die Korkblöcke werden schließlich zu Platten geschnitten. In einigen Betrieben werden die Platten noch entstaubt, was sich angenehm bei der Verarbeitung auswirkt. Die Platten werden in Kartons oder Polyethylenfolie verpackt.

Für die Beschäftigten in den Betrieben kann es zu gesundheitlichen Risiken kommen, wenn der Kork nicht ordnungsgemäß verarbeitet wird. Zu hoch erhitzter Backkork kann polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe freisetzen.

### Hochexpandierter Dämmkork

Für die Wärmedämmung spielt hochexpandierter Backkork keine Rolle, da die Dämmeigenschaften schlechter sind als bei den anderen Kork-Dämmstoffen.

Bei diesem Verfahren wird der Korkschat in Backformen gegeben und auf ca. 400 °C erhitzt. Die Kügelchen vergrößern sich bei diesem Prozeß auf das Zwei- bis Vierfache. Danach wird der Kork mit einem Bindemittel, z.B. Bitumen oder Harz, zu Blöcken verarbeitet und dann zu Platten geschnitten.

### Produktionsbedingungen

In den Korkfabriken rund um das Mittelmeer herrschen meist schlechte Arbeitsbedingungen. In den Produktionsstätten haben die Arbeiter unter großer Hitze, Lärm und Staub zu leiden. Die Sicherheitsstandards sind im Vergleich zu deutschen Verhältnissen oft unzureichend. Die Löhne können als zufriedenstellend angesehen werden.

### Transport

Durch den weiten Transport des Korks per LKW aus den Herstellungsländern nach Deutschland entstehen nicht unerhebliche Emissionen.

### Energieverbrauch

Die Herstellung von Wärmedämmstoffen aus Kork erfordert nur wenige und einfache Produktionsschritte. Der Energieverbrauch ist dementsprechend niedrig. Für Dämmplatten werden pro Kubikmeter 65 kWh bei einer Dichte von 110 kg/m<sup>3</sup> benötigt, für Korkschat 40 kWh bei einer Dichte von 85 kg/m<sup>3</sup>. Auf ein Kilogramm bezogen sind das 0,59 bzw. 0,47 kWh/kg.<sup>86</sup>

### Gebrauch

Von Korkschat geht in der Regel weder bei Einbau, Ausbau oder während der Nutzung ein gesundheitliches Risiko aus. Bei expandiertem Backkork kann es zu gesundheitlichen Risiken kommen, denn zu hoch erhitzter Backkork kann polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe freisetzen. Gleiches gilt für rein niedrig expandierten Kork, der nicht einwandfrei verarbeitet wurde.

An Korkplatten haftet Oberflächenstaub durch das Zuschneiden der Platten. Dadurch kann es bei Dämmarbeiten zu Staubbelaustigungen kommen. Im Brandfall beginnt Kork zu glimmen oder zögernd auch zu brennen. Wird die Beflammung unterbrochen, hört das Material aber schnell auf zu glimmen.

### Entsorgung

Korkschat läßt sich wiederverwenden. Gleiches gilt für Korkplatten, wenn sie bei einem Ausbau nicht beschädigt werden. Außerdem lassen sich die Platten zu Granulat weiterverarbeiten.

Umweltgefährdungen durch die Deponierung von Kork sind nicht bekannt.

### Bewertung

Das Anpflanzen von Korkeichen kann insgesamt als positiv bewertet werden. Korkeichen wachsen entgegen landläufiger Meinung nicht in Plantagen und sind typische Gewächse der Regionen, die sich positiv auf das Ökosystem auswirken.

Die 10 bis 12 Meter hohen Bäume sind anspruchslose Gewächse, die trockene Perioden gut überstehen. Unter ihren Kronen siedelt sich üppiges Unterholz an. Die Wurzeln verhindern Erosionen. In den vergangenen Jahrhunderten wurden in Spanien und Portugal für den Schiffsbau weite Teile der Wälder gerodet. In den letzten Jahren wurden in Spanien zur Wiederaufforstung in großem Maße Eukalyptusbäume angepflanzt. Da diese in Spanien nicht heimische Baumart aber aromatische Harze ausscheidet, sterben andere Pflanzen in ihrer näheren Umgebung ab. Nachdem eingesehen wurde, daß die schnellwüchsigen Eukalyptusbäume mehr Schaden als Nutzen bringen, pflanzt man wieder vermehrt Korkeichen an.

Bei der Ernte wird darauf geachtet, daß kein Raubbau betrieben wird. Dies geschieht zum einen durch gesetzliche Regelungen, zum anderen sind die Besitzer von Korkeichen selbst daran interessiert, die Bäume zu schonen, um auch in späteren Jahren noch Ernten einfahren zu können. In vielen unwegsamen Regionen erfolgt der Abtransport der Rinden noch immer mit Maultieren.

Die Arbeiter, meist Saisonarbeiter aus der näheren Umgebung, werden nach Gewicht der abgelieferten Menge Kork bezahlt. Die Korckernte ist für die meist ärmeren Arbeiter ein wichtiger Nebenerwerb. Sie sind gewerkschaftlich organisiert und werden für ihre Arbeit angemessen bezahlt. Die Arbeitsbedingungen sind mangelhaft. Oft fehlen bei Sägen und anderen Maschinen Sicherheitseinrichtungen, in den Fabriken begleitet Hitze, Staub und Lärm die Arbeit. Außerdem kann es bei der Herstellung

<sup>86</sup> Borsch-Laaks, a.a.O., S.5

durch zu hohe Erhitzung des Korks zur Freisetzung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen kommen.

Die Herstellung erfordert nur einen geringen Energieeinsatz. Abfallprodukte entstehen nur in sehr geringem Maße.

Für den weiten Transport der Korkprodukte nach Deutschland entstehen allerdings nicht unerhebliche Emissionen.

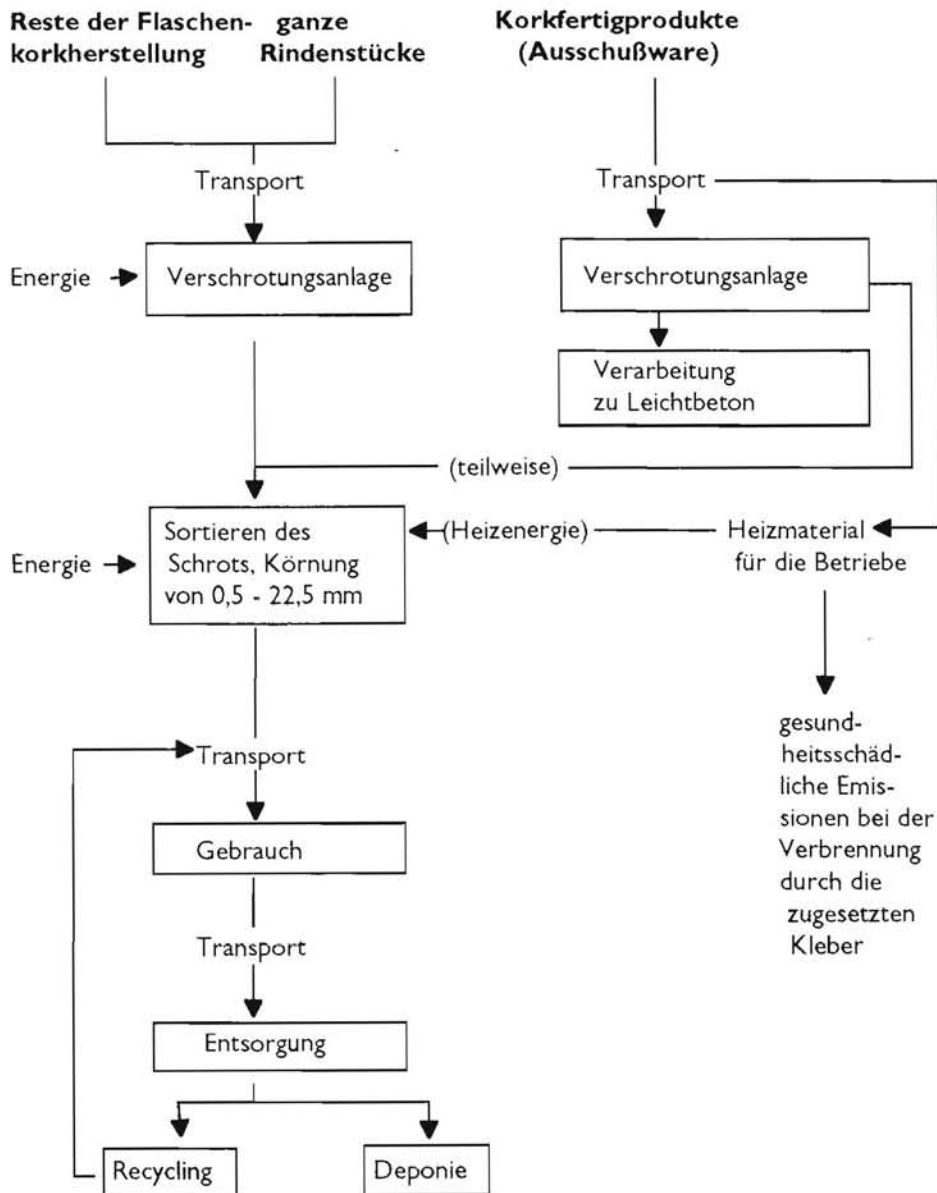
Mit Bitumen bearbeiteter Kork kann langfristig zu gesundheitlichen Risiken führen. Bei Kork erfolgt (im Vergleich zu den Mineralfaserstoffen) während der Verarbeitung keine Feinstaubabgabe. Im Brandfall glimmt Kork, manchmal beginnt er zu brennen, solange er direkt beflammt wird. Kork schmilzt nicht.

Die Entsorgung von Kork-Dämmstoffen bereitet keine Probleme. Korkschröt und nicht beschädigte

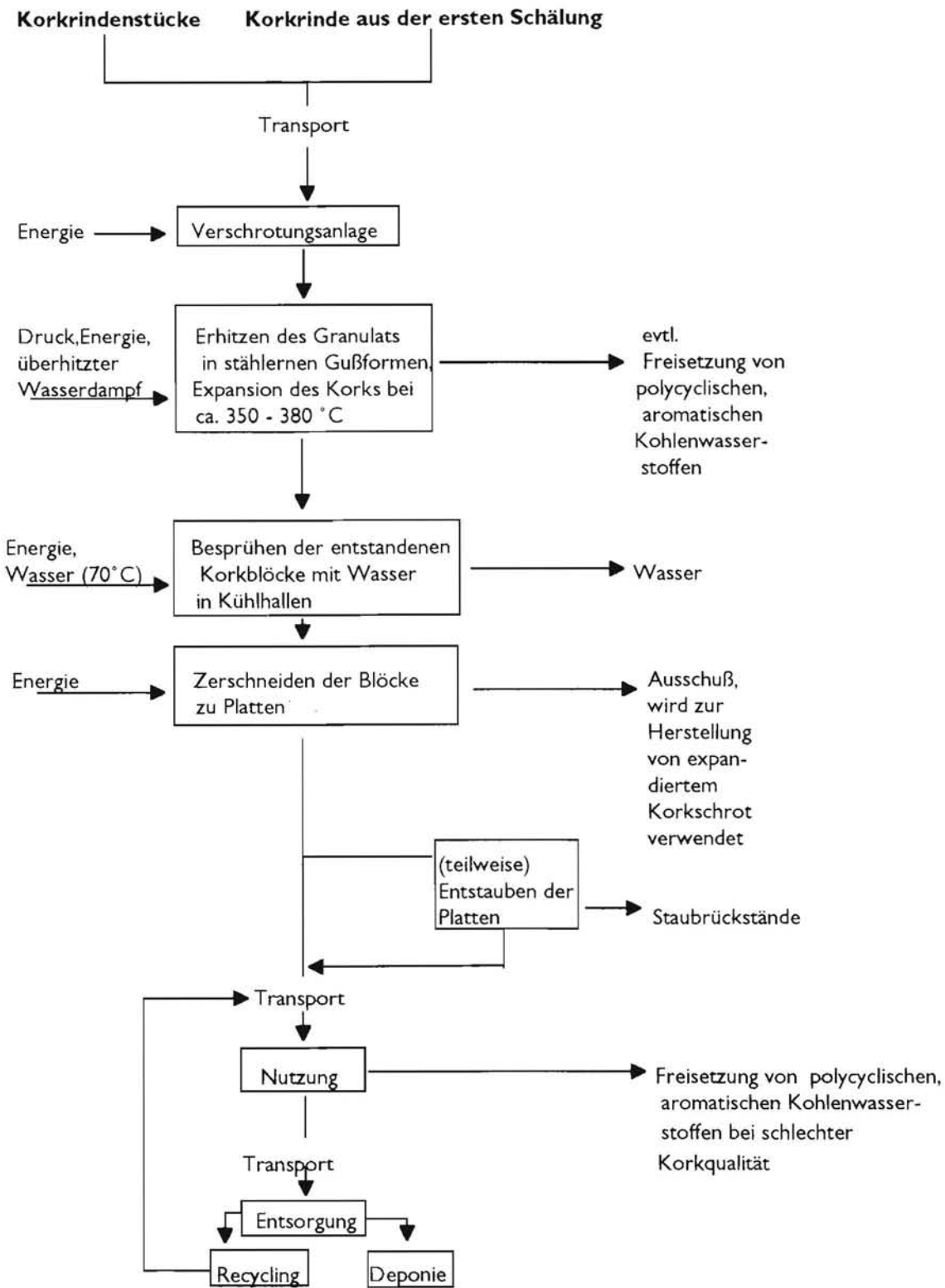
Platten können ohne Aufbereitung wiederverwendet werden. Die Korkplatten lassen sich nach Gebrauch zu Korkschröt schreddern und erneut verwenden.

Korkschröt und niedrig rein expandierter Kork sind unter ökologischen und sozialen Gesichtspunkten als Wärmedämmstoffe zu empfehlen, während Kork aus anderen Herstellungsverfahren (hochexpandierter Backkork und imprägnierter Kork) aufgrund möglicher ökologischer und gesundheitlicher Bedenken nur eingeschränkt empfehlenswert sind. Bei ihnen können evtl. Verschmelzungsprodukte wie Phenole entstehen. Allerdings ist die Verfügbarkeit von Kork stark begrenzt. Im Vergleich zu marktführenden Dämmstoffen wie z.B. Polystyrol hat Kork weiter die Nachteile, daß er teurer und die Beschaffung des Dämmmaterials meist aufwendiger ist.

### Zusammenfassung der Produktlinienanalyse für Korkschröt



Zusammenfassung der Produktlinienanalyse für niedrig rein expandierten Dämmkork





## 5. Literatur - Hinweise auf Medien - Adressen

Im folgenden werden solche Publikationen aufgeführt, die für die Durchführung einer Unterrichtseinheit bzw. eines Projektes Dämmen/Dämmstoffe hilfreich sein und die mit vertretbarem Aufwand beschafft werden können. Bei Schriften ohne Jahresangabe ist das ungefähre Erscheinungsjahr in Klammern angegeben.

Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e.V.: Wärmedämmstoffe und ihre Anwendung. Bonn 1992<sup>2</sup>

Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe (BUA) der Gesellschaft Deutscher Chemiker: Styrol. Weinheim 1990 (BUA-Stoffbericht Nr. 48)

R. Borsch-Laaks: Ökologie der Dämmstoffe. Springe-Eldagsen 1991

Bundesminister für Bildung und Wissenschaft: Schutz der Erdatmosphäre - Eine Herausforderung an die Bildung. Zur Umsetzung der Empfehlungen der Bundestags-Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" in das Bildungssystem. Ergebnisbericht. Bonn 1990

Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Energiesparbuch für das Eigenheim. Bonn 1991

Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.): Erneuerbare Energien verstärkt nutzen! Bonn 1993

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) e.V.: Wärmedämmstoffe. Umweltfreundliches Bauen. Stuttgart 1991

Deutsche Pittsburgh Corning GmbH: Energie- und Ökobilanz des Sicherheitsdämmstoffes FOAMGLAS. Haan 1992

Deutsche Rockwool Mineralwoll-GmbH: Rockwool. 1. Wahl, Dämmen mit Steinwolle. Gladbeck 1990

Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Klimaänderung gefährdet globale Entwicklung. Zukunft sichern - Jetzt handeln. Bonn 1992

Fachvereinigung Mineralfaserindustrie e.V.: Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffen. Handlungsanleitung. Frankfurt/M. 1990

Gesamtverband Dämmstoffindustrie GDI (Hrsg.):

- Wärmeschutz ist Umweltschutz. Hamburg 1990
  - Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz. Hamburg o.J.
  - Dämmjournal (GDI-Informationsservice für das Planen und Bauen)
- (Bezug: Griegstraße 17, 22763 Hamburg)

R. Gießhammer, E. Schmincke: Produktbewertung und Produktlinienanalyse. In: Ökoinstitut (Hrsg.): Reader zur Produktlinienanalyse. Freiburg 1990, S. 8 - 11

Grünzweig+Hartmann AG: Mineralwolle-Dämmstoffe. Ludwigshafen 1990

G. Hänisch: Kork: ein Baustoff und seine Anwendung. Staufen 1990

Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V. (HEA):

- CO<sub>2</sub>-Emission - zehn Kopiervorlagen. Frankfurt 1995
- Energieversorgung. Daten und Fakten. Heidelberg 1994<sup>10</sup>
- Energie und Umwelt: - Informationsziele - Kopiervorlagen. Frankfurt 1995
- Handbuch Niedrigenergiehaus. Frankfurt 1995<sup>2</sup>

(Bezug: Am Hauptbahnhof 12, 60329 Frankfurt/M.)

Industrieverband Hartschaum e.V.: Energiesparbuch. Wohnkomfort heben, Energieverbrauch senken. Heidelberg o.J.

Industrieverband Verpackung und Folien aus Kunststoff e.V.: Thema Styropor: 24 Fragen - 24 Antworten. Frankfurt/M. 1990

Informationszentrale Elektrizitätswirtschaft e.V. (IZE): Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie Sekundarstufe I

- Heft 1: Energie: Der Begriff. Die Ressourcen. Der Bedarf

- Heft 2: Wärmekraftwerke
- Heft 3: Struktur und Verbundsystem der Energiewirtschaft
- Heft 4: Erneuerbare Energien
- Heft 5: Energiesparen
- Heft 6: Energie und Umweltschutz

Isowoll-Krickl Lüftungsbau GmbH: Isowoll. Wärmedämmung mit Schafwolle. Waldkraidburg 1990

R. Koch: Umweltchemikalien: Physikalisch-chemische Daten, Toxizitäten, Grenz- und Richtwerte, Umweltverhalten. Weinheim 1989

Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (Hrsg.): Umweltbewußte Bauteil- und Baustoffauswahl. Ökologischer Baustoffratgeber. Beschreibung und Bewertung raumumschließender Bauteile. Aachen 1993  
(Bezug: Theaterplatz 14, 52062 Aachen)

Ökologische Bautechnik Hirschhagen GmbH:

- Isofloc. Dämmung nach Maß mit Zellulose. Hessisch Lichtenau 1992
- Isofloc: Daten zur Umweltverträglichkeit. Hessisch Lichtenau 1992
- Ökobaujournal. Hessisch Lichtenau 1992

Pavatex AG: Baustoffe aus der Natur. Pavatex-Platten und -Systeme. CH-Cham 1990

A. Tomm: Ökologisch planen und bauen: das Handbuch für Architekten, Ingenieure, Bauherren, Studenten, Baufirmen, Bauverwaltungen, Stadtplaner, Politiker. Braunschweig 1992

Umweltbundesamt (Hrsg.): Was Sie schon immer über Umweltchemikalien wissen wollten. Stuttgart 1990

Verband der Chemischen Industrie e.V.: Umwelt und Chemie von A - Z. Freiburg i.Br. 1990<sup>8</sup>

K. Weissermel, H.-J. Arpe: Industrielle organische Chemie. Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte. Weinheim 1988<sup>3</sup>

# Öko-Dämmstoffe

Von enormen Zuwächsen und guten Geschäften sprechen die einen, die anderen, von Stagnation. Genaue Zahlen über den kleinen Markt baubiologischer Dämmstoffe sind jedoch nicht zu bekommen – weder bei den großen Absatzforschungs-Instituten noch beim Gesamtverband Dämmstoffindustrie in Hamburg. Der weiß nur von seiner alteingesessenen Klientel zu berichten. Demnach haben die Hersteller umwelt-schädlicher Schaumstoffe und gesundheitlich bedenklicher Mineralfasern ihre Umsätze in den vergangenen Jahren noch gewaltig gesteigert – nicht zuletzt dank des Baubooms, den die Wende mit sich brachte.

Wer glaubt, daß der jahrelang schwellende Krebsverdacht gängige Mineralfasern in Mißkredit gebracht hat, sieht sich getäuscht. Nach offiziellen Angaben verdoppelte sich ihr Absatz seit 1986 nahezu, so daß 1994 mehr als 17 Millionen Kubikmeter Mineralwoll-dämmstoffe in der Bundesrepublik verbaut wurden.

»Die Industrie hat ihre Fasertechnologie so verändert, daß ihre Produkte nicht mehr als krebserzeugend gelten«, behauptet Isolde Elkan von der Fachvereinigung Mineralfaserindustrie. Die Hersteller hätten sich auf die Vorgaben des Bundesarbeitsministeriums eingestellt. Das hatte im Juni eine Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) durchgedrückt, in der Glas-, Stein-, Keramik- und Schlackefasern, die länger als fünf Mikrometer, dünner als drei Mikrometer und mindestens dreimal so lang wie dick sind, als krebserregend eingestuft werden.

Neben der Größe der Faser entscheidet deren Beständigkeit im Körper über die Gefährlichkeit der Partikel. Je schneller sich die Fasern in der Lunge auflösen, desto geringer ist die Gefahr, daß sie Schaden anrichten können. Daher soll nun ein »Kanzergenitätsindex« helfen, die Beständigkeit einer Faser und ihr krebserzeugendes Potential ohne langwierige Tierversuche abzuschätzen.

## Naturstoffe dämmen ebenso gut

Einer der beiden Marktführer im konventionellen Bereich, die Grünzweig und Hartmann AG, orientiert sich inzwischen an dem Index und hat den überwiegenden Teil ihrer Produkte umgestellt. Doch damit sind nicht alle Bedenken aus dem Weg geräumt. »Der Kanzergenitätsindex ist mit

Sicherheit nicht ausreichend untersucht«, sagt Dr. Klaus Rödelsperger. Der Mitarbeiter am Gießener Institut für Arbeits- und Sozialmedizin sitzt auch in der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Man habe sich beim Ausschuß für Gefahrstoffe für einen »sinnvollen pragmatischen Weg entschieden, der von der Industrie auch angenommen werden kann«.

Trotzdem lehnt die Deutsche Rockwool Mineralwoll-GmbH den Kanzergenitätsindex schlicht ab und erfüllt – entgegen der Selbsteinschätzung – die Löslichkeitskriterien des Bundesarbeitsministeriums mit ihrer Neuen Rockwool nicht.

Wie die Mineralfaser segelt auch Schaumstoff weiter im Aufwind – ungebremst von wachsender Kritik an seiner Umweltschädlichkeit. Was offenbar zieht, sind die ausgesprochen guten Dämmwerte des energieaufwendig hergestellten Kunstproduktes auf der Basis von Erdöl.

## Chlorchemie im Naturprodukt

Mit guten Dämmwerten warten auch die Alternativen auf. Schafwolle und Kokos, Zellulose und Kork können sich durchaus mit Mineralfasern messen. Sie leiten in einem standardisierten Versuch etwa 0,050 bis 0,040 Watt pro Meter und Kelvin (W/mK) von einer Innen- an die Außenwand weiter. Mineralfasern liegen mit 0,050 bis 0,035 nur unwesentlich besser. Zudem hat unser Test gezeigt, daß die meisten der untersuchten Materialien zumindest nach heutigem Kenntnisstand keine Probleme machen dürften. Von 53 getesteten Marken sind 46 »empfehlenswert« und die restlichen sieben immer noch »eingeschränkt empfehlenswert«.

Da Kork bei der Bearbeitung oft stark erhitzt wird, untersuchten wir ihn auf Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), die bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Materialien entstehen können. Ergebnis: Fehlanzeige. Die radioaktive Strahlung von Glimmer- und Blähschiefer, Blähton oder Vulkangestein lag im Rahmen der natürlichen Belastung. Die Suche nach umwelt- und gesundheitsschädlichen halogenorganischen Verbindungen in Flachfasern, Zellulose- und Wollprodukten, die wegen ihrer Zusätze unseren Verdacht erregt hatten, war dreimal positiv. Bei Holzfasern, Zellulose und

Wolle richteten wir unser Augenmerk auch auf Formaldehyd, das als Bindemittelkomponente in Zellulose und Holzwerkstoffen eingesetzt wird. Lediglich die Homatherm-Platte fiel auf – und damit ausgerechnet ein Produkt aus Altpapier, das im Do-it-yourself-Verfahren verarbeitet werden kann.

Der Anbieter, das Homann Dämmstoffwerk, wollte es nicht wahrhaben. Eigene Untersuchungen hätten niemals erhöhte Werte ergeben, so Uwe Lange von der Forschungsabteilung. In einer Nachuntersuchung bestätigte sich unser erstes Ergebnis.

Eine zweite, von Homann nachgereichte Probe war dagegen kaum belastet. Uwe Lange nimmt an, daß das Formaldehyd übers Altpapier eingeschleust wurde. Formaldehydhaltige Bindemittel würden nicht zugesetzt und sämtliche Rohstoffe stets stichprobenartig auf Belastungen untersucht. (Lesen Sie dazu auch unsere Nachwirkungen.)

Halogenorganische Verbindungen stöberten wir in einem Teil der Produkte aus Schurwolle auf. Sie sollen vor Fraßinsekten schützen und werden oft unter dem Ciba-Geigy-Markennamen *Mitin FF* deklariert. So auch bei *ClimaWool*, einem Produkt, das der Strumpfersteller Falke-Garne über die Firma Klöber vertreibt. Carl Kellersmann, Geschäftsführer bei Falke-Garne, hält die Substanz für besser als die Borate der Konkurrenz. Schließlich würden die harnstoffähnlichen Substanzen in geringen Mengen und so aufgebracht, daß sie sich keinesfalls vom Produkt lösen könnten. Dennoch sind wir der Ansicht, daß Chlorchemie einem Naturprodukt nicht gut ansteht.

Nicht nur in Wollprodukten kommen Borverbindungen wie Borax und Borsalze als Flamm- und Fraßschutzmittel zum Einsatz. In Zellulose-Produkten beträgt ihr Anteil sogar bis zu 20 Prozent. Die Firma Isofloc hat daher Professor Peter Paetzold vom Institut für anorganische Chemie der Technischen Hochschule Aachen damit beauftragt, die Einwirkung borhaltiger Substanzen auf Mensch und Umwelt zu überprüfen. Demnach sind Borax und Borsäure weniger oder ähnlich giftig wie normales Kochsalz.



Für Bewohner Zellstoff-gedämmter Häuser gebe es keine Probleme. Borax und Borsäure sollten aber als mindergiftige Arbeitsstoffe behandelt werden und Arbeiter, die Zellstoff-Dämmmaterial herstellen oder einblasen, Atemfilter, Schutzbrillen und -kleidung tragen.

Ganz ähnlich lauten auch die Empfehlungen, die das Unternehmen Isofloc als Zwischenbericht aus einem weiteren Gutachten zur Gefährlichkeit von Fasern und Feinstäuben ihrer Zellulose-Flocken vorlegt. Die Faserdiskussion verschont nämlich auch die Hersteller alternativer Dämmstoffe nicht, weil Zellulose-Partikel eine ähnliche Gestalt haben wie Mineralfasern. Beweise dafür, daß auch die organischen Materialien wie die anorganischen Mineralfasern Krebs erzeugen könnten, gibt es aber nicht. Isofloc will sich nicht auf den Mangel an Beweisen verlassen. In dem Zwischenbericht aus dem laufenden Gutachten heißt es: »Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen läßt sich kein Verdacht gegen die Fasern ableiten.« Bis zur endgültigen Beurteilung solle aber ein Maximum an Vorsicht walten.

## Einigkeit könnte Alternative stark machen

Gesundheitliche und ökologische Vorteile der Bio-Dämmstoffe, wie die Herstellung aus Altpapier und nachwachsenden Rohstoffen, die Möglichkeit zum Recycling sowie die Fähigkeit, aufgenommene Feuchte wieder abzugeben und das Raumklima günstig zu beeinflussen, reichen offenbar nicht aus, ihnen einen größeren Markt zu sichern. Für Ludwig Faist, Eigentümer der

gleichnamigen Firma, ist der höhere Preis das stärkste Hindernis für mehr Absatz. »Wer für ein Drittel des Preises Glasfaser kaufen kann, den interessiert Kork oft einfach nicht mehr.«

Den Preis läßt Jorgen Munter von der Firma Isodan nur bedingt als Absatzhemmnis gelten. Der dänische Hersteller von Zellulose-Flocken ist seit drei Jahren am deutschen Markt vertreten und macht »enorme Zuwächse«. Sein Produkt ist deutlich günstiger zu haben als die Ware von Isofloc. »Wir wollen nicht, daß sich nur Zahnärzte und Rechtsanwälte die Zellulose-Dämmung leisten können«, sagt Munter.

»Es war schon immer etwas teurer, sich das Original zu leisten«, hält Peter Henniges von Isofloc entgegen. Hohe Qualität, bestmögliche Verarbeitung durch speziell geschultes Personal und aufwendige Werbung hätten eben ihren Preis. Außerdem kämpfe Isofloc gegen die konventionellen Anbieter, die Mitbewerber aus dem Öko-Sektor dagegen holten sich ihr Stück vom Isofloc-Kuchen.

Jorgen Munter beklagt seinerseits die mangelnde Bereitschaft zur Zusammenarbeit. »Der Markt ist riesengroß. Wenn man davon ausgeht, daß es um ökologisches Engagement geht, müßten wir uns nicht bekriegen«, sagt auch Peter Henniges. Isofloc strebe ebenfalls einen Verbund der Konkurrenten an. Allerdings sollten die

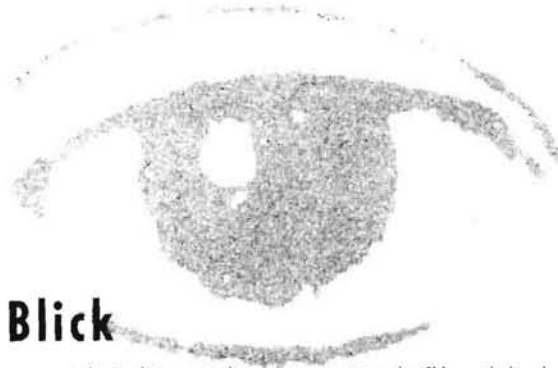
sich dann dem Qualitätsstandard von Isofloc verschreiben, um den Ruf der Bio-Branche nicht zu verschandeln.

Vor den endgültigen Durchbruch haben Sicherheitsexperten allerdings die Brandklassen gesetzt. Alle Baustoffe werden danach kategorisiert: von A1 nicht brennbar bis B3 leicht entflammbar. Die meisten Bio-Dämmstoffe sind B2 eingestuft und dürfen daher nur in Ausnahmefällen in Häuser eingebaut werden, die mehr als zwei Vollgeschosse haben. Für lohnende Gebäudekomplexe kommen sie damit kaum in Frage.

Diese Einstufung sei auf den starken Einfluß und die gute Lobbyarbeit konventioneller Anbieter zurückzuführen, meint Ludwig Faist. Die Beurteilungskriterien benachteiligten die organischen Baustoffe, findet Ulrich Kröning, Anwendungstechniker bei Isofloc. Versuchsanordnungen und DIN-Vorschriften seien an den gängigen Dämmstoffen orientiert. Isofloc fordert vergleichende Tests, die zum Beispiel nicht nur die Entflammbarkeit berücksichtigen, sondern auch die Geschwindigkeit der Brandentwicklung. Gerechtere, sprich umfassendere Bewertungen erwartet der Zellulose-Spezialist aber erst zur Jahrtausendwende.

Monika Kappus

ÖKO-TEST 11.95



## Auf einen Blick

gekürzt aus:

Öko-Test, H. 11/1995  
S. 79 ff.

Praktisch alle mineralischen Baustoffe sind von Natur aus mehr oder weniger stark **radioaktiv** belastet. Unser Labor schaute auf die natürlichen Isotope Kalium-40, Radium-226, Thorium-232, Cäsium-137 und Cobalt-60. Keiner der Werte bot Anlaß zur Sorge.

Erste Symptome einer Belastung mit **Formaldehyd**, einem stechend riechenden Gas, sind Augen- und Schleimhautreizungen mit Schwellung der Nasenschleimhäute und Hustenreiz. Dazu können Atembeschwerden, Kopfschmerzen und ein allgemeines Unwohlsein auftreten. Längerfristig kann Formaldehyd all-

ergische Reaktionen auslösen oder allergische Reaktionen auf andere Substanzen begünstigen.

**Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe**, kurz PAK, ist die Sammelbezeichnung für eine Gruppe chemischer Substanzen. Ein Großteil davon ist stark krebserzeugend. Am bekanntesten ist Benzo(a)pyren.

**Halogenorganische Verbindungen** werfen entlang ihrer ganzen Produktlebenslinie von der Herstellung bis zur Entsorgung Probleme auf. Sie schaden der Gesundheit und der Umwelt. Verbindungen mit Fluor, Brom oder Jod können mindestens allergische Reaktionen hervorrufen. Die

meisten der Chlor enthaltenden Kohlenwasserstoffe wirken beim Menschen krebserregend oder stehen im begründeten Verdacht. Die **Wärmedämmfähigkeit** heißt im Fachdeutsch eigentlich Wärmeleitfähigkeit. Sie wird mit dem griechischen Buchstaben Lambda bezeichnet und in Watt pro Meter und Kelvin (W/mK) gemessen. Der Dämmstoff hält Wärme umso besser, je kleiner der Wert ist. Das Problem bei den **Brandklassen**: Sie sagen nichts über die im Brandfall freier werdenden Stoffe wie etwa hochgiftige Dioxine und die damit verbundene Gefährdung von Mensch und Umwelt.