

Bewertung natürlicher, organischer
Faserdämmstoffe

T 2902

T 2902

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2000, ISBN 3-8167-5712-X

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

Forschungsvorhaben:

BEWERTUNG NATÜRLICHER, ORGANISCHER FASERDÄMMSTOFFE

Abschlussbericht

Gefördert durch: Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin
Geschäftszeichen: IV 1-5-797/96
Erstellt von: Dipl.-Min. Dr. M. Fuehres und Dipl.-Min. L. Faul



Büro für Technischen Umweltschutz BTU

Carl-Benz-Straße 12 - 35447 Reiskirchen - Telefon: 06408/65213 - Telefax: 06408/65114
Saalburgring 4 - 63486 Bruchköbel - Telefon: 06181/976837 - Telefax: 06181/976838
e-mail: BTU.Reiskirchen@t-online.de

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung der Ergebnisse	4
2. Summary of the results	5
3. Les Résultats en Résumé	6
4. Einleitung	8
5. Grundlagen/Aufgabenstellung	9
6. Aufgabenstellung	15
7. Ausgewählte Produkte und Einbaumethoden	16
7.1 Einblasdämmstoffe:	17
7.2 Dämmstoffe zum manuellen Einbau:	27
8. Untersuchungsprogramm	39
8.1 Materialanalysen/Inhaltsstoffe.....	39
8.2 Baustellenmessungen bei der Verarbeitung	40
8.3 Innenraumbelastungen	42
9. Untersuchungsergebnisse	43
9.1 Materialanalysen/Inhaltsstoffe.....	43
9.1.1 Kristalline Inhaltsstoffe: Röntgendiffraktometer-Analyse (qualitativ):	43
9.1.2 Wasserlösliche Borate.....	44
9.1.3 Organische Inhaltsstoffe.....	48
9.2 Morphologie und Oberflächenstrukturen.....	52
9.3 Baustellenmessungen bei der Verarbeitung	73
9.3.1 Stäube	73
9.3.2 Fasern.....	77
9.4 Innenraumbelastungen	81
9.4.1 Auswirkungen auf die Nutzer.....	83
10. Das Staubmessgerät Respicon TM-3F	87
10.1 Aufbau und Funktionsweise	87
10.2 Geräteaufbau des Respicon.....	90
10.3 Bewertung des Probenahmeegerätes Respicon.....	91
10.3.1 Filter.....	91
10.3.2 Faserstaubspezifische Probleme	94
10.3.3 Aerodynamische Auftrennung.....	95
10.3.4 Weitere Fehlerquellen	96
10.3.5 Vorteile des Probenahmeegerätes	97
11. Zusammenfassung	98
11.1 Emittierte Fasern und Stäube	98
11.2 Materialanalysen/Inhaltsstoffe.....	100
11.3 Optische Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Fasern.....	101
11.4 Innenraumbelastungen	102
11.5 Das Staubmessgerät Respicon TM-3F	103
12. Empfehlungen / Handlungsbedarf	104
13. Schlusssatz	104
14. Anlagen	106

1. Kurzfassung der Ergebnisse

- Die emittierten Staub- und Faserkonzentrationen, insbesondere beim in-situ-Einbau der Dämmstoffe im Ein- oder Aufblasverfahren, sind mit Werten von teilweise über 100 Mio. Fasern/m³ als sehr hoch zu bezeichnen. Gleiches gilt für Staubkonzentrationen von über 14 mg/m³ A-Staub und von über 100 mg/m³ E-Staub.
- Die höchsten Staubbelastungen werden nicht beim Dämmstoff-Einbau sondern beim Befüllen der Einblasmaschine festgestellt.
- Staubbelastungen beim Einbau von vorkonfektionierten Matten und Platten sind abhängig von der Art der Verarbeitung. Werden diese Dämmstoffe auf Maß gefertigt bzw. mit Messer oder abgesaugten Bandsägen zugeschnitten, liegen die A-Staub-Konzentrationen bei $\leq 0,6$ mg/m³, beim Zuschnitt mit einer baustellentypischen, nicht abgesaugten Kreissäge bei 1,6 mg/m³.
- Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM) wurden in den untersuchten Dämmstoffen nicht nachgewiesen.
- Der bestehende Grenzwert für Bor im E- (Gesamt-) Staub wird auch unter worst-case-Bedingungen deutlich eingehalten.
- Geübte gewerbliche Dämmstoff-Verarbeiter arbeiten wesentlich staubärmer als ungeübte Verarbeiter bzw. Heimwerker.
- Einflüsse der eingebauten Dämmstoffe auf die Nutzer werden überlagert von sonstigen Baustellenaktivitäten, es werden keine signifikant erhöhten Werte gemessen.
- Es ist festzustellen, dass Verarbeiter beim Umgang mit NOFD ein deutlich geringeres Problembewusstsein hinsichtlich potentieller Gesundheitsgefährdungen haben als bei der Verarbeitung konventioneller Dämmstoffe. Gleiches gilt auch für Bauherren und Nutzer.
- Es bestehen begründete Zweifel an der homogenen Verteilung der Brandschutz-zusätze in den eingebauten Dämmstoffen. Aus Brandschutzgründen / Vorsorgegründen erscheint ein dringender Forschungsbedarf notwendig zu sein.
- Bei Überarbeitung bzw. Neueinführung von Grenzwerten sollten für organische Faserstäube Staubgrenzwerte und keine Fasergrenzwerte diskutiert werden, da Faser-Auswertungen von Baustellenstäuben aus unserer Sicht nicht oder nur sehr schwer zu standardisieren sind.

- Auf Grund morphologischer Unterschiede sind die organischen Fasern licht- und rasterelektronenmikroskopisch eindeutig voneinander zu unterscheiden, bei luftgetragenen Stäuben sind diese morphologischen Unterschiede nicht zu erkennen.
- Das Staubsammelsystem Respicon TM-3F ist trotz der beschriebenen Nachteile für Staubbmessungen geeignet. In Kombination mit einer zeitlich gleichgeschalteten Videoanalyse („online-Schwachstellenanalyse“) bietet es als einziges Staubbmesssystem die Möglichkeit, jede Tätigkeit und jeden Handgriff separat zu bewerten sowie Querstörungen, die von außen die Messung beeinflussen können, zu erkennen.

2. Summary of the results

- The dust- and fibre-emission, especially during in-situ installation (by blowing processes, e.g. spray-on-processes) and the filling of the insulation blowing machines is extremely high with amounts of more than 100 Mio F/m³, more than 14 mg/m³ alveolar dust and more than 100 mg/m³ inhalable dust. The maximum amount of dust is measured while filling the insulation blowing machines.
- Dust exposures during installation of prefabricated blankets and boards depend on the method of processing. Less than 0.6 mg/m³ alveolar dust are measured while this insulation material is fittingly produced respectively is cut by knives or by vacuumed processes. Whereas the use of a typical circular saw used on every building site shows alveolar dust-concentrations of 1.6 mg/m³.
- Biocides like insecticide and fungicide could not be found in the examined insulation materials.
- The existing exposure limit of Boron in the inhalable dust is kept also under worst-case conditions.
- Trained insulation users work definitely with less dust exposure than beginners.
- Influences of the installed insulation materials on the occupants are covered by other working processes on the building site.
- The users of insulation materials based on natural fibres show a lower awareness for the problems concerning potential health risks in comparison to the users of traditional insulation materials. The same applies for the owners and the occupants.
- There are reasonable doubts on the homogeneous distributions of the fire retardant chemicals additives of the installed insulation materials. An urgent need for research seems necessary because of the prevention of fire.

- In case of introduction or adaptation of exposure limits of organic fibres it is necessary to discuss dust-exposure-limits instead of fibre-exposure-limits since fibre measurements from building sites can hardly be standardised.
- The organic fibres can clearly be differentiated by light- or scanning-electron-microscopy because of their morphological differences. This might be difficult for airborne dusts.
- In spite of the above mentioned disadvantages the dust sampling system “Respicon TM-3F” is well suited for workplace measurements. Combined with a simultaneous video-documentation it uniquely offers the possibility to evaluate every single action separately as well as to notice outside disturbances that might influence the measurement.

3. Les Résultats en Résumé

- Les concentrations de poussières et de fibres, se dégageant en particulier lors du montage in-situ (par insufflation) et pendant le remplissage de la machine à insuffler, atteignent des valeurs dépassant partiellement 100 Mio. fibres/m³, 14 mg/m³ de poussières A (poussières fine) et 100 mg/m³ de concentrations de poussières E (poussières respirable), et peuvent, de ce fait, être qualifiées de très élevées.
- Les plus fortes concentrations de poussières n'ont pas été constatées lors du montage des matériaux isolants, mais pendant le remplissage de la machine à insuffler.
- Les concentrations de poussières constatées lors du montage de nattes et panneaux pré-confectionnés dépendent en grande partie du mode d'usage. Si ces matériaux isolants ont été fabriqués sur mesure ou coupés au couteau ou à la scie à ruban aspiré, les concentrations de poussières avoisinent les $\leq 0,6$ mg/ m³, alors qu'elles s'élèvent à 1,6 mg/ m³ environ si la coupe a été faite avec la scie circulaire en usage sur les chantiers .
- On n'a pu déceler de produits phytosanitaires (PSM) lors de l'examen des matériaux isolants.
- La valeur- limite de bore dans la poussière E (poussières respirable) est à respecter dans tous les cas, même dans les plus mauvaises conditions.
- Les travailleurs habitués au traitement des produits isolants occasionnent beaucoup moins de poussières que les «débutants».

- L'influence qu'exercent les matériaux isolants sur les usagers se conjuguant à celle des autres activités du chantier, aucune augmentation importante des valeurs n'a pu être mesurée.
- Force est de constater que les personnes qui travaillent avec fibres organiques (NOFD) semblent être beaucoup moins conscientes d'éventuelles répercussions sur la santé que les personnes qui travaillent avec les matériaux isolants traditionnels. Ceci est également valable pour les matière d' ouvrage et les usagers.
- On peut émettre des doutes justifiés quant à la répartition homogène des additifs prévus pour la protection contre les incendies dans les matériaux isolants intégrés. Pour des raisons de protection contre les incendies / par mesure de précaution, il semble qu'un programme de recherche soit impérativement nécessaire.
- Lors de la révision ou de l'introduction de nouvelles valeurs- limites, il serait opportun de discuter de valeurs- limites de poussière et non de valeurs- limites de fibres quand il s'agit de poussières fibreuses organiques, étant donné qu'il est à notre avis, impossible - ou très difficile- de standardiser les analyses de fibres dans les poussières de chantier.
- En raison de différences morphologiques, les fibres organiques sont nettement différenciables les unes des autres au microscope optique et au microscope électronique à balayage; il est impossible de reconnaître ces différences morphologiques s'il s'agit de poussières aéroportées.
- En dépit des inconvénients décrits ci- dessus, le jeu de barres Respicon TM-3F est bien approprié; combiné avec une analyse vidéo synchronisée, ("analyse online des points faibles"), il est le seul système de mesure de poussière qui permette d'évaluer séparément chaque activité et chaque manipulation et qui offre la possibilité de reconnaître les perturbations extérieures susceptibles d'influencer la mesure.

4. EINLEITUNG

An der Notwendigkeit eines verstärkten Einsatzes von Wärmedämmstoffen im Hochbau zur Reduktion der CO₂-Emissionen besteht spätestens seit dem Klimaschutzgipfel von Rio de Janeiro (1992) kein Zweifel mehr [1]. Die Bundesregierung verpflichtete sich dort, die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2005 um 30 % gegenüber dem Vergleichsjahr 1987 zu verringern. Die Umsetzung des Aktionsprogrammes für das 21. Jahrhundert (Agenda 21 [2]) in nationales Recht erfolgte in Deutschland mit Einführung der Wärmeschutzverordnung (WSchVO) von 1994 [3], mit einer Verringerung des Heizenergiebedarfs um ca. 30 % und der angekündigten Energieeinsparverordnung (EnVO) zum Jahre 2000, mit einer zusätzlichen Absenkung der Werte der aktuellen WSchVO um weitere 25–30 %.

Die Einhaltung dieser geforderten Werte bedingt – neben einer energiesparenden Anlagentechnik – vor allem eine deutlich leistungsfähigere Wärmedämmung. Dadurch bedingt wuchs der Dämmstoffmarkt in Deutschland von 1992 bis 1997 um ca. 50 % [4].

Zeitgleich entwickelte sich bei den Verbrauchern ein Bedürfnis nach 'natürlichen', 'ökologischen' bzw. 'gesunden' Baustoffen [5]. Diese Bedürfnisbefriedigung bei positiver Absatzprognose führte zur Markteinführung einer Reihe von natürlichen, organischen Faserdämmstoffen (NOFD), basierend auf der Rohstoffbasis von (Alt-) Papier, Schafwolle, Baumwolle, Kokos, Holz, Flachs, Hanf, etc.

Diese Dämmstoffe sind durch das Deutsche Institut für Bautechnik zeitlich befristet bauaufsichtlich zugelassen (Ausnahme: Kokos-Dämm-Matten sind geregelte Bauprodukte) und werden insbesondere im privaten Baubereich eingesetzt. Der Marktanteil dieser NOFD beträgt zur Zeit ca. 3-5 % [4].

Im Gegensatz zu herkömmlichen Dämmstoffen (Mineralwollen, Hartschäume etc.) ist der Kenntnisstand über Herstellungs-Rezepturen dieser Materialien bzw. Emissionen bei der Herstellung, der Verarbeitung und in der Nutzungsphase von mit NOFD gedämmten Häusern noch nicht ausreichend.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollen daher Informationsdefizite abgebaut und für die einzelnen Dämmstoffgruppen und Einbaumethoden eine exemplarische Datenbasis über Belastungen beim Einbau und in der Nutzungsphase erschaffen werden.

5. GRUNDLAGEN/AUFGABENSTELLUNG

Der Mensch war, zumindest in nördlichen Breiten, schon immer bestrebt, sich gegen äußere Einflüsse wie Kälte und Feuchtigkeit zu schützen. Bei der Auswahl der Zuflucht - beginnend mit Unterständen und Höhlen - wurde sicherlich auch bereits auf ausreichenden Wärmeschutz geachtet. Motivation für den Wärmeschutz war in jener Zeit also ausschließlich die Erhaltung der Gesundheit und die Schaffung einer einigermaßen behaglichen Behausung.

Die Ideen für den Wärmeschutz wurden der Natur abgeschaut und von ihr übernommen. Auf die Ressourcen der Natur zurückgreifend ergab sich der Einsatz von natürlichen organischen Dämmstoffen. So wurden in erster Linie leichte Naturstoffe wie Wolle, Stroh, Torf usw. verwendet. Mit der Zeit erkannte der Mensch, dass Stoffe um so besser dämmen, je mehr ruhende Luft eingeschlossen ist. Durch diesen Lernprozess wurden die natürlichen - und später die naturnahen - Dämmstoffe optimiert.

Mit steigender Technisierung ging man dazu über, sich die benötigten Eigenschaften der Dämmstoffe künstlich zu schaffen. Zu den Naturstoffen gesellten sich naturnahe Stoffe, d.h. verarbeitete Naturstoffe wie Holz-Weichfaserplatten, Holzwolle-Leichtbauplatten usw. Es sind aber auch immer mehr Produktgruppen auf anorganischer Basis, am häufigsten expandierter Ton und andere leichte mineralische Schüttungen, aufgekommen. Erst ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts kamen allmählich künstliche, synthetische, anorganische und organische Dämmstoffe auf.

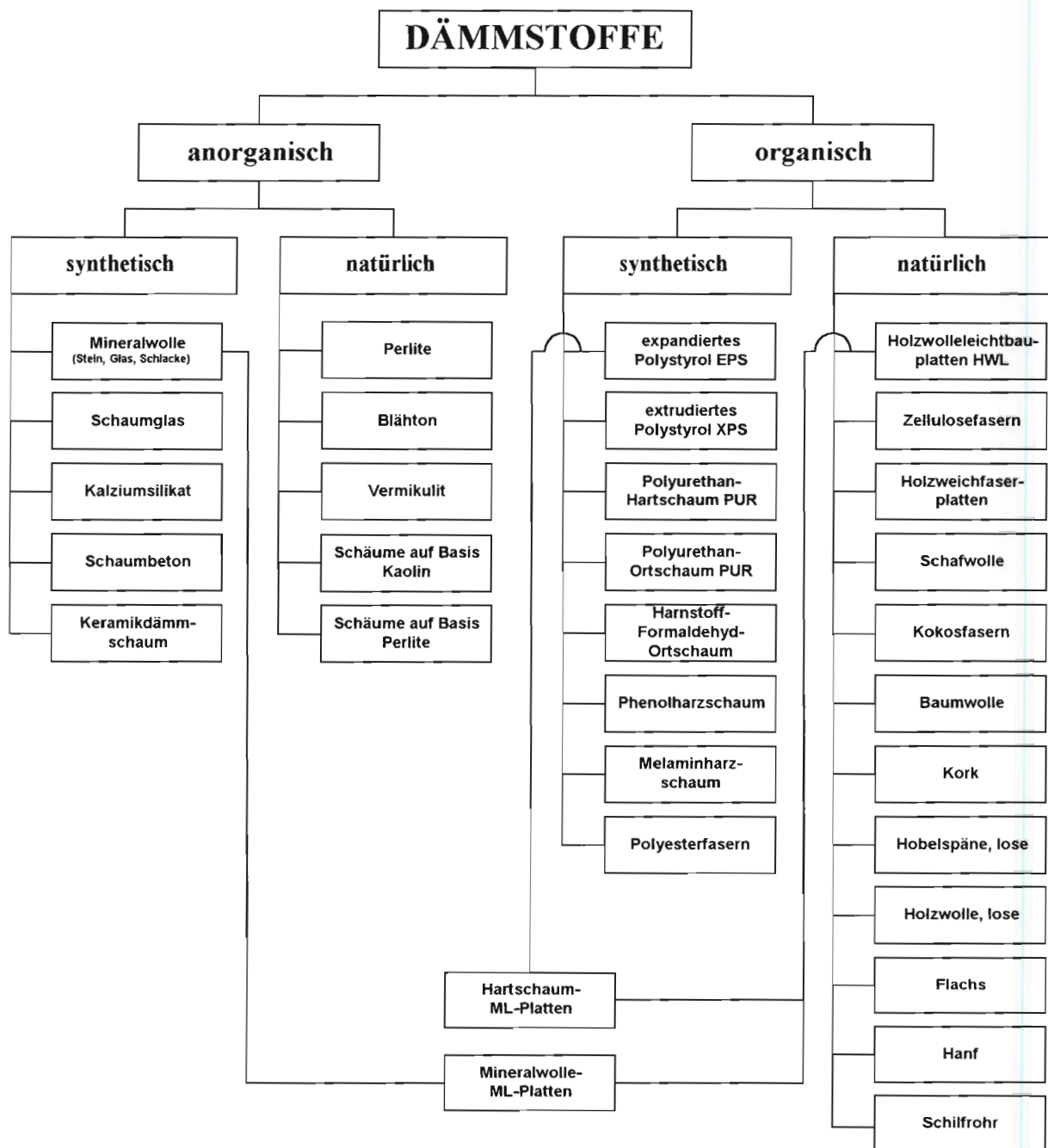
Aufgrund der Vielzahl von Vorteilen gegenüber den herkömmlichen Dämmstoffen wie z.B. geringer Rohdichte, unkritischem Brandverhalten, Schädlingsresistenz, Verrottungssicherheit und vor allem der verbesserten Dämmeigenschaften, setzten sich synthetische Dämmstoffe auf dem Markt durch und verdrängten alte, bekannte Produkte, Verfahren und Technologien. Heute gibt es zumindest im privaten und teilweise auch im öffentlichen Baubereich Tendenzen zu „natürlichen“, „ökologischen“ Baustoffen. Es fällt zunehmend schwerer, den Überblick über den mittlerweile weit über hundert Dämmstoffe zählenden Markt zu behalten und für das jeweilige Einsatzgebiet den richtigen Dämmstoff aus der umfangreichen Produktpalette auszuwählen.

Eine gebräuchliche Unterteilungsmöglichkeit der Dämmstoffe bezieht sich auf die Rohstoffbasis, wobei zwischen anorganischen und organischen und dabei noch nach natürlichen bzw. synthetischen Rohstoffen unterschieden wird (Abbildung 1 [5]). Unter natürlichen Rohstoffen werden hierbei solche Ausgangsmaterialien verstanden, die in ihrer mineralogischen Struktur während der Konfektionierung nicht strukturell verändert werden (bei anorganischen Ausgangsstoffen) oder in nach Jahren / Jahrzehnten zählenden Zeiträumen nachwachsen (bei organischen Ausgangsstoffen).

Die Auflistung erlaubt einen schnellen Überblick über alle marktgängige Produktgruppen, zeigt jedoch auch Schwierigkeiten der Abgrenzung auf. Die Einteilung in die Gruppe der anorganischen oder organischen Dämmstoffe bereitet die ersten Probleme, da es auch Dämmstoffe gibt, die sich aus anorganischen und organischen Bestandteilen zusammensetzen, beispielsweise Mehrschicht-Leichtbauplatten oder andere Verbundsysteme aus Zellulosefasern und Gips, wie auch die Verwendung organischer Bindemittel oder organischer Zusatzmittel (Imprägnierung, Hydrophobierung usw.) bei anorganischen Grundmaterialien.

Noch schwieriger wird es bei der Entscheidung, welche Rohstoffe als natürlich bzw. als synthetisch anzusehen sind. Sowohl bei den organischen als auch bei den anorganischen Dämmstoffen gibt es Abgrenzungsprobleme. Inzwischen setzt sich der Ansatz immer mehr durch, natürliche, organische Dämmstoffe dann als natürlich zu benennen, wenn deren Anteile an anderen Inhaltsstoffen (synthetische Stützfasern, Borate usw.) unter 25 % liegen, bei den anorganischen Produktgruppen wird ein Rohstoff als natürlich betrachtet, wenn er zwar behandelt, z.B. expandiert, jedoch nicht in seiner mineralogischen Zusammensetzung verändert wurde.

Abbildung 1 gibt eine systematisierte Übersicht über alle auf dem deutschen Markt befindlichen und zugelassenen Dämmstoffe.



ML-Platten = Mehrschicht-Leichtbau-Platten

Abbildung 1: Übersicht über alle auf dem Markt erhältlichen Dämmstoffe

Tabelle 1: Entwicklung Dämmstoffproduktion in Deutschland
 Angaben in 1 000 m³

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Mineralwolle	10 500	12 500	13 900	15 650	17 250	18 600	18 980	20 670	20.900
EPS-Hartschäume	5 162	6 131	6 405	7 354	8 773	9 071	9 100	9 610	9.500
abzgl. EPS *1			- 177	- 185	- 203	- 193	- 170	- 150	- 140
PUR-Hartschäume	888	977	1 022	1 134	1 253	1 291	1 365	1 481	1.500
XPS-Extruderschäume	538	591	688	766	890	957	985	1 056	1.098
Leichtbauplatten	265	277	295	307	366	343	310	280	260
Summe	17 353	20 476	22 133	25 026	28 329	30 069	30 570	32 467*	33.118*
NOFD *2							465		
Perlite							400		
Weichholzfaserplatten							200		
Schaumglas							180		
Kork							30		

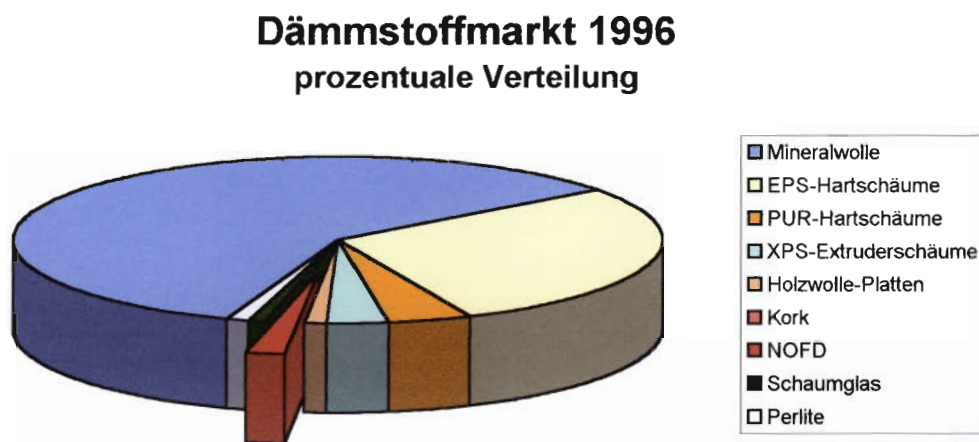
Quelle: GDI-Statistiken [4]

- *1: Diese Mengen an EPS-Hartschaumdämmstoffen sind in Mehrschichtbauplatten nach DIN 1101 verarbeitet, damit auch in der Gruppe Leichtbauplatten enthalten und werden daher von der Gesamtmenge abgezogen
- *2: NOFD = Natürliche organische Faserdämmstoffe, beinhalten Zellulose, Schafwolle, Weichholzfaserplatten, Baumwolle, Flachs/Hanf, Kokos, Schilf, Stroh,...
- * Erfasst sind etwa 95-96 % des deutschen Dämmstoffmarktes, es fehlen Angaben zu anorg. Granulaten, Zellulosefaser-Dämmstoffen, Kork, Schafwolle, Baumwolle und anderen pflanzlichen Fasern.

Marktführer bei den Dämmstoffen sind die Mineralwolle-Dämmstoffe mit den Gruppen Steinwolle und Glaswolle und einem Marktanteil von knapp 60 %, gefolgt von den EPS-Hartschäumen (expandiertes Polystyrol) mit ca. 30 % Marktanteil. Marktanteile von jeweils unter 5 % haben die PUR-Hartschäume, die Extruderschäume (XPS) und alle sonstigen Dämmstoffe. Die Anteile sogenannter natürlicher, alternativer, ökologischer oder biologischer Produkte wie Schafwolle, Baumwolle, Kokos, Zellulose, expandierter Kork usw. lagen 1997 je unter 1,5 Prozent. Zusammen machen sie einen

Anteil von etwa 3-5 % des Gesamtvolumens aus, wobei Marktführer die Zellulosefaser-Dämmstoffe sind, gefolgt von Schafwolle-Produkten.

Abbildung 2: Prozentuale Verteilung des Dämmstoffmarktes, nach [4]



Bemerkung: Für die Jahre 1997 und 1998 liegen noch keine Zahlen über die Produktion von NOFD vor.

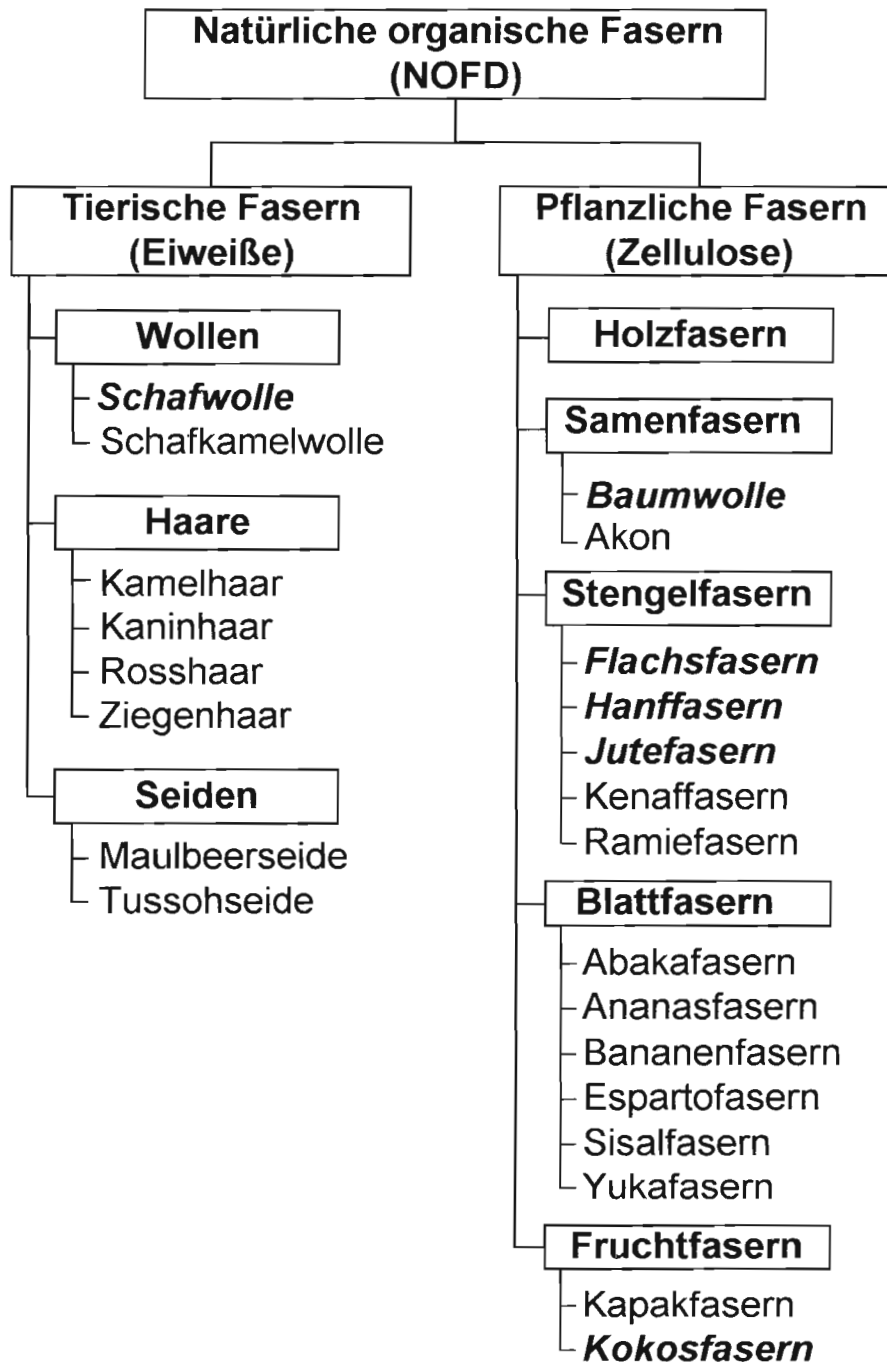


Abbildung 3: Übersicht über natürliche organische Fasern und daraus hergestellte Dämmstoffe (*kursiv*), nach [6]

6. AUFGABENSTELLUNG

Es soll eine Datenbasis über natürliche, organische Faserdämmstoffe geschaffen werden, um Informationsdefizite abzubauen und Grundlagen für eine Bewertung dieser Dämmstoffe zu schaffen.

Ableitend aus den Ergebnissen sollen Ansätze für staubärmeres Arbeiten auf Baustellen aufgezeigt und somit ein Beitrag zum Schutz der Beschäftigten und der späteren Nutzer geleistet werden. In diesem Zusammenhang soll das neu entwickelte und im Rahmen des Forschungsvorhabens eingesetzte Staubmessgerät Respicon TM-3F ausgetestet und im Hinblick auf die Entwicklung staubärmerer Arbeitsverfahren eingesetzt werden.

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in folgende Abschnitte:

- **Materialanalysen**
Durch Zusammenstellen eines Kataloges der einzelnen Dämmstoffarten (lichtoptische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen) werden morphologische Unterscheidungsmöglichkeiten aufgezeigt und die Faserverteilung im Ausgangsmaterial bestimmt.
- **Inhaltsstoffe**
Bestimmt wurden die anorganischen und organischen nicht-faserförmigen Bestandteile der Dämmstoffe, die als Zusätze zum Brand- und Insektizidschutz zugegeben werden sowie Rückstände von Bioziden (Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel) und sonstige Inhaltsstoffe.
- **Baustellenmessungen bei der Verarbeitung**
Im realen Baustellenbetrieb wurden die emittierten Stäube sowie die Faseranzahlkonzentrationen an luftgetragenen Fasern ermittelt. In Anlehnung an bestehende Auswerterichtlinien (für anorganische Fasern) wurden die Anteile an emittierten organischen Fasern, Calciumsulfat („Gips-“) Fasern sowie sonstige anorganischen Fasern stationär und personenbezogen bestimmt.

Darüber hinaus wurden nicht nur die reinen Einbauarbeiten, sondern auch Nebentätigkeiten, wie beispielsweise das Befüllen der Blasma-schinen bzw. unterschiedliche Dämmstoff-Schneidemethoden, messtechnisch erfasst.

In einer worst-case-Betrachtung wurde der Anteil an freigesetzten Boraten im Staub ermittelt.

- **Innenraumbelastung – Einflüsse auf die Nutzer**

Durch Bestimmung der Faseranzahlkonzentrationen vor und nach den Einbauarbeiten sowie Aufteilung in die Gruppen der emittierten organischen Fasern, Calciumsulfat- („Gips-“) fasern sowie sonstige anorganischen Fasern wird ein möglicher Einfluss der natürlichen organischen Faserdämmstoffe auf die Nutzungsphase der gedämmten Gebäude untersucht.

Durch diese umfassenden Untersuchungsreihen sollen natürliche, organische Faserdämmstoffe im Hinblick auf potentielle Gesundheitsgefahren für Verarbeiter und Nutzer bewertet werden

Darüber hinaus ist im Rahmen dieses Forschungsvorhabens das Staubmessgerät Respi-con TM-3F angeschafft und gründlich im Baustelleneinsatz ausgetestet worden. Vor- und Nachteile des Gerätes werden beschrieben.

7. AUSGEWÄHLTE PRODUKTE UND EINBAUMETHODEN

In den Untersuchungsumfang aufgenommen wurden Produkte, die über eine Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (Berlin) verfügen bzw. genormt sind und die in realen Bauvorhaben eingebaut wurden.

Es wurden alle Einbaustellen:

- Boden,
- Wand,
- Decke,
- Dach;

alle Einbaumethoden:

- offenes Aufblasen, trocken,
- offenes Aufblasen, angefeuchtet,
- Verarbeitung im Sprüh- (CSO-) Verfahren,
- Einblasen in vorbereitete Dachelemente,
- Einblasen in vorbereitete Wandelemente,
- manueller Einbau von Matten und Platten

und die gesamte Bandbreite der natürlichen, organischen Faserdämmstoffe (NOFD) beprobt.

Darüber hinaus wurden auch unterschiedliche Verarbeiter mit erfasst, vom „do-it-yourself“ Heimwerker, über Firmen, die natürliche, organische Faserdämmstoffe zum

ersten Mal einbauen, bis hin zu sehr professionellen Verarbeitern von Einblasdämmstoffen.

An insgesamt 15 Objekten aus der realen Baupraxis wurde das gesamte Spektrum an NOFD und an unterschiedlichen Einbaumethoden untersucht.

Folgende Produkte und Verarbeitungstechniken sind erfasst worden:

7.1 EINBLASDÄMMSTOFFE:

1. **Zellulose-Flocke „CWA“** (baugleich mit „K 40“):
Zulassungsnummer Z-23.11-289, DIBt, Berlin.

Grauer, flockenartiger Dämmstoff aus vorsortiertem und zerkleinerten Altpapier (aus Überproduktionen) mit Zusätzen von ca. 18% Boraten (lt. Herstellerangaben, der Anteil an Boraten soll in Zukunft deutlich reduziert werden) zum Brand-, Schädlings- und Schimmelschutz.

Zellulose-Einblas-Flocken (Typ „climacell“) wurden von oben in die Flanken des Spitzdaches eines Ein-Familien-Hauses einblasen. Die ausführende Firma (der Hersteller selbst) bläst das Material mit einer Einblasmaschine aus einem neu konzipierten Pumpenwagen ein.



Bild 1: Einblasen von Zellulose-Dämmstoff (CWA) in die Flanken eines Steildaches

Bei sehr beengten Verhältnissen liegt der Einbläser auf dem Bauch auf einer eingezogenen Zwischendecke in ca. 2,50 m Höhe und bläst den Dämmstoff von oben in die Flanken des Spitzdaches ein.

Die Steuerung der Einblasmaschine erfolgt durch einen kabellosen Sender, der manchmal nicht richtig funktioniert. So reagiert er z. B. nicht sofort auf das Signal „Ausschalten“, so dass der Dämmstoff nach dem Befüllen eines Elementes der Flanken öfters aus der Einblasöffnung herausspritzt.

Es wurden ca. 400 kg (8 m³) Dämmstoff pro Stunde eingeblasen.

- 2. Zellulose-Flocke „Isolfloc“ (Standardflocke):**
Zulassungsnummer Z-23.11-104, DIBt, Berlin.



Bild 2: Aufblasen von Zellulosedämmstoff im CSO-Verfahren

Grauer, flockenartiger Dämmstoff aus vorsortiertem und zerkleinerten Altpapier (aus Überproduktionen) mit Zusätzen von ca. 12 % Boraten (Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ und Borsäure (Sassolin) H_3BO_3 ,) zum Brand-, Schädlings- und Schimmelschutz. Es wurden zwei unterschiedliche Einbaumethoden beprobt:

Zellulose-Flocken (Typ „Isofloc“) wurden feucht in offene, vertikale Holz-Ständerwände im Sprüh- (CSO-) Verfahren aufgeblasen; nach dem Sprühen wird die Oberfläche mit einer Planbürste oberflächenbündig abgezogen.

Pro Stunde werden ca. 200 kg (4 m³) Dämmstoff aufgeblasen.



Bild 3: Oberflächenbündiges Abziehen mit einer Planbürste

3. Zellulose-Flocken (Typ „Isofloc“) wurden offen auf eine Kirchenkuppel aufgeblasen. Zur Staubbindung war die Aufblasdüse mit zwei Wasserdüsen versehen, welche den Dämmstoff leicht anfeuchtete. Sehr professionelles Arbeiten.

Zeitgleich fanden in der Kirche weitere umfangreiche, staubintensive Arbeiten statt. Insbesondere werden die vorlaufende- und nachlaufende Messung durch Strahlarbeiten im darunterliegenden Kirchenschiff beeinträchtigt.

Pro Stunde wurden ca. 210 kg (4,2 m³) Dämmstoff verarbeitet.



Bild 4: Aufblasen von Zellulose-Dämmstoff auf eine Kirchenkuppel

4. Zellulose-Flocke „Isofloc-L“ (Leicht-Flocke):
Zulassungsnummer Z-23.11-280, DIBt, Berlin.

Grauer, flockenartiger Dämmstoff aus vorsortiertem und zerkleinertem Altpapier (aus Überproduktionen) mit Zusätzen von ca. 8 % Boraten (Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ und Borsäure (Sassolin) H_3BO_3 ,) zum Brand-, Schädlings- und Schimmelschutz. Im Unterschied zur Standardflocke ist das Ausgangsmaterial feiner zerkleinert, so dass eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040, Standardflocke: 045) erreicht wird.

Zellulose-Flocken (Typ „Isofloc-L“) wurden in vorbereitete, geschlossene Elemente im Steildach eines 4-stöckigen Hauses eingeblasen, sehr professionelles Arbeiten.

Es wurden ca. 115 kg (2,3 m³) Dämmstoff pro Stunde verarbeitet.



Bild 5: Einblasen von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-L) in vorbereitete Dach-Elemente

5. Zellulose-Flocke „Isofloc-s“ (Baustoffklasse B 1):
Zulassungsnummer Z-23.11-306, DIBt, Berlin.

Grauer, flockenartiger Dämmstoff aus vorsortiertem und zerkleinerten Altpapier (aus Überproduktionen) mit Zusätzen von ca. 20 % Boraten (Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ und Borsäure (Sassolin) H_3BO_3) zum Brand-, Schädlings- und Schimmelschutz. Isofloc-s ist der einzige Zellulose-Dämmstoff auf dem deutschen Markt mit der Zulassung nach Baustoffklasse B 1 (schwer entflammbar, nach DIN 4102).

Zellulose-Flocken (Typ „Isofloc-S“) wurden trocken auf die oberste Geschossdecke eines Plattenbaus (Siedlungs-Altbau) aufgeblasen. Die Einbautätigkeiten fanden in sehr beengten Verhältnissen statt, die Höhe des Arbeitsraumes betrug zwischen 0,80 und 1,20 m. Während der Einblasarbeiten kam es öfters zu Unterbrechungen, da beim Materialtransport die Schläuche mehrfach verstopft waren.

Auf Grund der sehr beengten Verhältnisse war es nicht möglich, personenbezogene Messungen durchzuführen, alle Probenahmen fanden stationär statt.

Alle Randbedingungen:

- Dämm-Material der Baustoffklasse B1, also mit einem erhöhten Anteil an Brandschutzzusätzen (Boraten),
- offenes, trockenes Aufblasen
- sehr beengte Bedingungen
- keine Möglichkeit zur Lüftung/Absaugung

ließen diese Form der Verarbeitung zur „worst-case“-Betrachtung geeignet erscheinen. Aus diesem Grund wurde der Anteil an Bor im Staub mit erfasst.

Es wurden ca. 450 kg (15 m³) Dämmstoff pro Stunde verarbeitet.



Bild 6: Blick auf die zu dämmenden Plattenbauten



Bild 7: Offenes Aufblasen des Zellulose-Dämmstoffes, im Vordergrund befinden sich die Staub- und Faserprobenahmegeräte

6. Holz-Flocke „Termoträ“

Zulassungsnummer Z-23.11-212, DIBt, Berlin.

Hell-gelber, flockenartiger Dämmstoff aus zerkleinertem Weichholz (Fichte und Kiefer) mit Zusätzen von Boraten (Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ und Borsäure (Sassolin) H_3BO_3 , sowie der „Komponente R“) zum Brand-, Schädlings- und Schimmelschutz.

Dämmstoff-Flocken aus Holz („Frisch-Zellulose“, Typ „Termoträ“) wurden in vorbereitete Elemente eines Steildaches eines 2-stöckigen Hauses eingeblasen.

Bei sehr professionellem Arbeiten wurden ca. 87 kg (4,7 m³) pro Stunde eingeblasen.

Zusätzlich wurde das Befüllen der Einblasmachine beprobt.



Bild 8: Einblasen von Holz-Dämmstoff Termoträ in vorbereitete Dach-Elemente



Bild 9: Befüllen der Einblasmachine mit Holz-Dämmstoff Termoträ

7. Holz-Flocke „Emfa-Zell“

Zulassungsnummer Z-23.11-1120, DIBt, Berlin.

Hell-beiger, flockenartiger Dämmstoff aus zerkleinertem Nadelholz mit Zusätzen von ca. 4 % Ammoniumphosphat und 2% Borsäure zum Brand- und Schädlingschutz.

Ein neu errichtetes Wohn- und Geschäftshaus in Holzbauweise wurde mit Holz-faser-Dämmstoff („Holzfaserplattenwerk Schönheide GmbH“) in den Bereichen Außenwände und Steildach gedämmt. Der Dämmstoff wurde jeweils in vorbereitete Elemente eingeblasen.

Bei diesem Objekt war es möglich, das Einblasen in Wandelemente, in Dachelemente sowie das Befüllen der Einblasmaschine messtechnisch zu begleiten.



Bild 10: Einblasen von Holzdämmstoff in Wandelemente



Bild 11: Einblasen von Holzdämmstoff in Dachelemente



Bild 12: Befüllen der Einblasmaschinen



Bild 13: Unsachgemäßes Beseitigen einer Verstopfung in der Einblasmaschine

7.2 DÄMMSTOFFE ZUM MANUELLEN EINBAU:

8. Zellulose-Platten „Homatherm“:

Zulassungsnummer Z-23.1.2-236, DIBt, Berlin.

Grau-braune, halbfeste Platten auf Basis von Zellulose aus Altpapier (aus Überproduktionen). Zur Verstärkung werden ca. 15 % Jute-Fasern eingebunden, als Bindemittel (insgesamt ca. 25 %) werden Ligninsulfonat, Tallharze und Aluminiumsulfat verwendet. Die eingesetzten Brandschutzzusätze bestehen aus insgesamt < 10 % Boraten (Borax und Borsäure).

Dämmstoff-Platten auf Basis von Zellulose (Homatherm-Platten des Typs: „K-ZP F040“, Abmessungen 1000 x 625 x 160 mm) wurden als Zwischensparrendämmung (nahezu identische Sparrenabstände) in ein Musterhaus durch den Hersteller professionell eingebaut. Bei diesem Objekt war es möglich, drei unterschiedliche Einbaumethoden messtechnisch zu begleiten:

- a. Einbau von vorkonfektionierten Platten
- b. Zuschnitt mit einer abgesaugten Bandsäge (Absaugleistung 1.000 m³/Std.)
- c. Zuschnitt mit einem Elektro-Fuchsschwanz mit oszillierender Klinge („Alligator“)

Pro Stunde wurden folgende Dämmstoff-Mengen eingebaut:

- a. ca. 124 kg, 1,5 m³,
- b. ca. 133 kg, 1,7 m³,
- c. ca. 112 kg, 1,4 m³.



Bild 14: Blick auf die personenbezogenen Probennahmesysteme



Bild 15: Einbau von vorkonfektionierten Zellulose-Platten



Bild 16: Zuschnitt der Zellulose-Platten mit einer abgesaugten Bandsäge



Bild 17: Zuschnitt der Zellulose-Platten mit einem Elektro-Fuchsschwanz

9. Kokos-„Estrichdämmplatten (Faist)“:

Genormtes Produkt nach DIN 18165/87 Teil 2.

Braune Faserplatten aus Kokos mit Al-Sulfaten ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$ und $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 12 \text{H}_2\text{O}$) zum Brand-, Schädlings- und Schimmelschutz.

Kokosfasermatten des Typs „T 25“, Abmessungen 1250 x 650 x 25 mm, wurden als Trittschalldämmung auf den Boden eines Kellerraumes beim Neubau eines Ein-Familien-Hauses im do-it-yourself-Verfahren manuell eingebaut. Die Platten wurden in zwei Lagen auf dem Boden verlegt, das Zuschneiden erfolgt mit einer baustellenüblichen Kreissäge.

Pro Stunde wurden ca. 180 kg (1,8 m³) Dämmstoff verarbeitet.



Bild 18: Einbau von Kokos-Estrichdämmplatten; Zuschnitt mit einer Kreissäge

10. Schafwolle-Matten „doscha“:

Zulassungsnummer Z-23.1.3-253, DIBt, Berlin.

Die hell-beigen Fasermatten mit eingearbeiteter dunkelbrauner Deckschicht bestehen aus gewaschener Schafschurwolle mit ca. 0,4 % Sulcofuron-Natrium-Salz zum Mottenschutz. Brandschutzzusätze werden werkseitig nicht benötigt.

Schafwolle-Matten („doschaWolle DRP 18-65“, Maße 6000 x 650 x 180 mm) wurden manuell in die Decke eines Anbaues eines 1-Fam.-Hauses eingebaut. Der Einbau erfolgte durch die Herstellerfirma und den Bauherrn. Zugeschnitten wurden die Matten mit einem Messer mit Wellenschliff.

Auf Grund von Nebenarbeiten und Reinigungstätigkeiten mit Besen (führte nur zur Aufwirbelung der Stäube) wurden die Probenahmen – überwiegend durch Gipsfasern – beeinträchtigt.

Pro Stunde wurden 90 kg (3,6 m³) Dämmstoff eingebaut.



Bild 19: Einbau von Schafwolle-Matten zwischen die Deckensparren

11. Schafwolle-Matten und -Platten „Herawool“:

Zulassungsnummer Z-23.11-333, DIBt, Berlin.

Braun-beige Fasermatten und -platten aus Schafwolle mit Harnstoffderivaten zum Schutz vor Insekten und Flammschutzmitteln (Borsalze) sowie Stützfasern aus Polyester ab 10 cm Dämmstoff-Dicke.

An dieser Baustelle wurden Schafwolle-Platten („Herawool – BP 040“, Maße 1200 x 600 x 180 mm) als Zwischensparrendämmung und Schafwolle-Matten („Herawool – BF 040 160“, Maße 2000 x 600 x 160 mm) zur Innenwanddämmung zeitgleich manuell eingebaut.

Das Zuschneiden erfolgte mit einem Messer.

Pro Stunde wurden insgesamt ca. 50 kg (1,7 m³) Dämmstoff verarbeitet.



Bild 20: Einbau von Schafwolle-Matten in Innenwände



Bild 21: Einbau von Schafwolle-Platten zwischen die Dachsparren

12. Baumwolle-Matten „Isocotton“:

Zulassungsnummer Z-23.1.3-251, DIBt, Berlin.

Weißer Fasermatten mit mechanisch verfestigter Oberfläche als Montagehilfe. Als Flammschutzmittel werden ca. 3 % Borate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$) hinzugegeben.

Manueller Einbau von Baumwolle-Matten („Isocotton – DMB 20“, Maße 3500 x 700 x 140 mm) zwischen die Decken-Sparren des 1. OG eines 1.-Fam. Hauses. Die ausführende Firma (Sub-Unternehmer des Weißbinders) verarbeitet dieses Material zum ersten Mal. Sie haben anfänglich große Schwierigkeiten, die Matten in Längsrichtung zu schneiden bzw. zu reißen. Nach zwei Tagen des „Ausprobierens“ und nach dem Bau einer speziellen Schneideeinrichtung konnten die Arbeiten fortgesetzt werden. Auf Grund o. g. Schwierigkeiten wurden die Matten am Tag der Arbeitsplatzmessungen quer auf Maß gerissen und auch quer zu den Sparren eingebracht und angetackert.

Auf Grund dieser Schwierigkeiten wurde nur verhältnismäßig wenig Material eingebaut, pro Stunde etwa 14 kg (0,7 m³).



Bild 22: Einbau von Baumwolle-Matten zwischen die Deckensparren

13. Flachs-Matten „Flachs-Haus“:

Zulassungsnummer Z-23.11-1010, DIBt, Berlin.

Braun-beige Fasermatten aus Flachs mit Stärke als Bindemittel und Borsalzen (Natriumoctaborat) als Flammschutzmittel.

Flachs-Dämmplatten, Typ „Wärmedämmplatte DP“ (1000 x 625 x 40 mm), wurden manuell in Aluminium-Ständerwände eingebaut, das Zuschneiden erfolgte mit einem Messer. Pro Stunde konnten 54 kg (1,8 m³) Dämmstoff eingebaut werden.



Bild 23: Einbau von Flachs-Matten in Aluminium-Ständerwände



Bild 24: Schneiden von Flachs-Matten mit einem Messer

14. Flachs-Matten „Heraflachs“:

Zulassungsnummer Z-23.11-276, DIBt, Berlin.

Braun-beige Fasermatten aus Flachs mit Ammoniumphosphaten als Flammschutzmittel sowie Stütz-/Bindefasern aus Polyester.

Flachs-Dämmplatten, Typ „Heraflachs - SF 040“ (800 x 600 x 40 mm), wurden manuell zwischen die Sparren der waagrechten Decken eingebaut, das Zuschneiden erfolgte mit einem Messer. Pro Stunde konnten 20 kg (0,66 m³) Dämmstoff eingebaut werden.



Bild 25: Einbau von Flachs-Matten in die Deckensparren, im Vordergrund sieht man stationäre Faser- und Staubmessgeräte

15. Vergleichsmessung: Mineralwolle Platten „Rockwool-Flexirock“:
Genormtes Produkt nach DIN 18165.

Grau-gelbe Fasermatten mit einer Komprimierungszone, welche Sparrenabstände von bis zu 5 cm ausgleicht. Das Produkt besteht aus Steinwolle mit duroplastischen Kunstharzen (Phenol-Formaldehydharze) sowie geringe Mengen an Mineralölmulsionen und Silikonöle.

Mineralwolle-Platten (Typ „Rockwool-Flexirock“ der Abmessungen 1000 x 650 x 180 mm) wurden manuell in die Zwischensparren eines Steildaches eingebaut, das Zuschneiden erfolgte mit einem Messer. Etwa 115 kg (3,5 m³) Dämmstoff wurden pro Stunde eingebaut.



Bild 26: Einbau von Mineralwolle-Platten als Zwischensparrendämmung



Bild 27: Schneiden der Mineralwolle-Platten mit einem Messer

8. UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

Das Untersuchungsprogramm beinhaltet Raumlufmessungen während der Verarbeitung von NOFD auf Fasern, Stäube und teilweise Staub-Inhaltsstoffe, Raumlufmessungen auf Fasern in der Nutzungsphase der mit diesen NOFD gedämmten Häuser sowie eine umfassende Analytik von – an Baustellen entnommenen – Materialproben.

8.1 MATERIALANALYSEN/INHALTSSTOFFE

Die zu untersuchenden Materialproben wurden an den beprobten Baustellen entnommen und der Auswertung zugeführt.

Es zeigte sich, dass die Materialien eine relativ heterogene Struktur aufweisen. Dies könnte durch Qualitätsschwankungen der Ausgangsmaterialien (beispielsweise Altpapier, Reißwolle,...) bedingt sein. Aus diesem Grund war es nicht möglich, repräsentative Aussagen über Faserverteilung und Längen-/Durchmesserverteilungen zu treffen.

Untersuchungen zu Inhaltsstoffen wurden mit folgenden Methoden durchgeführt:

- Mit Hilfe der Röntgendiffraktometer-Analyse wurden die kristallinen Bestandteile der Dämmstoffe untersucht,
- die Ermittlung der Brandschutzzusätze (Borate) erfolgte photometrisch nach Extraktion im Ultraschallbad gemäß DIN 38 405 D 17,
- Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM) wurden bestimmt nach Soxhlett-Extraktion mit Aceton/Hexan, Volumenreduzierung, Derivatisierungen (PCP/MCPA), Auswertung am GC im SIM-Modus (H-P-System), Auswertung und Quantifizierung über externe Standards, Ausschütteln mit konzentrierter Schwefelsäure, 2. Analyse Auswertung am GC im SIM-Modus (H-P-System),
- Organische Bestandteile (GC/MS-screening-Analyse) wurden analysiert nach Soxhlett-Extraktion mit Aceton/Hexan, Volumenreduzierung, Auswertung am GC im SCAN-Modus (HP-System), Auswertung der Daten über NBS- und HPPEST-Datenbank

Die Zusammenstellung eines Kataloges zur Unterscheidung der einzelnen Faserarten erfolgte sowohl lichtmikroskopisch (Polarisationsoptik), als auch rasterelektronenmikroskopisch.

8.2 BAUSTELLENMESSUNGEN BEI DER VERARBEITUNG

Die Baustellenmessungen erfolgten stationär und personenbezogen während den Einbauarbeiten der Dämmstoffe.

Als relevante Parameter wurden ausgewählt:

- Fasern
- Fein- (A-) Staub
- Gesamt- (E-) Staub
- Brandschutzzusätze (Borate), stichprobenartig

Die stationären Probenahmen auf Fasern, in Anlehnung an ZH 1/120.46 (VERFAHREN ZUR GETRENNTEN BESTIMMUNG VON LUNGENGÄNGIGEN ASBESTFASERN UND ANDEREN ANORGANISCHEN FASERN – RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHES VERFAHREN) [7], erfolgte durch Abscheiden der Partikel auf goldbedampfte Kernporenfilter mit einer Porenweite von 0,8 μm und einem Durchmesser von 25 mm. Die Partikel wurden von einer APC-PNA 384-Pumpe bei einem geregelten Volumenstrom von 2,0 l/min und einer Laufzeit von bis zu 2,0 Std. angesaugt. Als Monitor wurde ein offener Filterhalter mit

zylindrischem Ansaugrohr von 50 mm Länge und 22 mm Innendurchmesser aus Aluminium eingesetzt.

Zeitgleich wurden die personenbezogenen Fasermessungen in Anlehnung an ZH 1/120.46 [7] durchgeführt: Die Messungen erfolgten durch Abscheiden der Partikel auf goldbedampfte Kernporenfilter mit einer Porenweite von $0,8 \mu\text{m}$ und einem Durchmesser von 25 mm. Die Partikel wurden von einer duPont alpha-1-Pumpe bei einem geregelten Volumenstrom von 1 oder 2 l/min und einer Laufzeit (abhängig von der Staubbelastung) zwischen 5 Minuten und 2,0 Std. angesaugt. Als Monitor wurde ein offener Filterhalter mit zylindrischem Ansaugrohr von 50 mm Länge und 22 mm Innendurchmesser eingesetzt.

Die Probenahmeverfahren bei Verarbeitungsmessungen wurden den besonderen Bedingungen auf der Baustelle (hohe Konzentrationen von leichten Stäuben) angepasst, bestehende Verfahren weiterentwickelt.

Stationäre Fein- und Gesamtstaubmessungen wurden mit einer Gravikon VC-25-Pumpe mit einer geregelten Ansaugleistung von $22,5 \text{ m}^3/\text{Std.}$ durchgeführt. Die Abscheidung der Staubpartikel erfolgte auf konditionierte Membranfilter (Feinstaub: incl. Prallfleck) mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Porenweite von $8,0 \mu\text{m}$.

Die personenbezogenen Staubbmessungen fanden mit einem direktanzeigenden Probenahmesystem (RESPICON TM-3F) mit Fraktionierung nach EN 481 [8] statt. Ein solches Probenahmesystem besteht aus einem zweistufigen virtuellen Impaktor, drei Streulichtphotometern und drei Glasfaserfiltern. Mit dem virtuellen Impaktor wird eine aerodynamische Auftrennung des Staubes in drei Fraktionen (einatembare, thorakale und alveolengängige Fraktion) und eine Konzentrationsanreicherung des Grobanteils des Staubes vorgenommen. Darüber hinaus werden zwei weiteren Fraktionen (extrathorakale und tracheobronchiale Fraktion) berechnet.

In der EN 481 werden fünf Partikelgrößen-Fraktionen definiert:

- einatembare Fraktion,
- extrathorakale Fraktion,
- thorakale Fraktion,
- tracheobronchiale Fraktion,
- alveolengängige Fraktion.

Das RESPICON TM-3F ermöglicht es, alle fünf Fraktionen gesondert zu erfassen /8/.

Die Kombination aus Staubanreicherung und Photometrie erlaubt eine gleichzeitige online-Messung jeder einzelnen Fraktion. Zur besseren Auswertbarkeit wurden jeweils 30-sekündige Mittelwerte gebildet. Auf den Glasfaserfiltern wurden die drei Staubfraktionen für die Wägung (oder auch chemische Analyse) gesammelt. Das Probenahmesy-

stem war an eine portable Pumpe und einen Datenlogger angeschlossen. Bei einem kontinuierlichen Volumenstrom von 3,1 l/min und einer Photometer-Empfindlichkeit von 20 mV/mg/m³ konnte so im Konzentrationsbereich von 0,1 mg/m³ bis einige 100 mg/m³ Staub gemessen werden.

Das Staubprobenahmegeräte RESPICON TM-3F ist im Rahmen des Forschungsvorhabens angeschafft und ausgetestet worden. Verbunden mit einer Video-Dokumentation konnte so die „online-Schwachstellen-Analyse“ entwickelt werden. Mit diesem Gerät ist es möglich, komplexe Arbeitsabläufe (z. B. beim Einbau von Dämmstoffen) differenziert zu bewerten, jeden einzelnen Arbeitsablauf einzeln zu erfassen und Expositionsspitzen zu erkennen. Darüber hinaus kann man durch die Veränderungen der Staubzusammensetzung Querstörungen - die nicht den einzelnen Arbeitsschritt betreffen und somit das Ergebnis negativ beeinflussen würden - erkennen.

Es wurde ein Katalog an organischen Fasern erstellt, der bei der Zuordnung von Produktfasern in Stäuben hilfreich ist. Hierbei besteht das Problem, dass dicke Fasern durch typische morphologische und chemische Aspekte eindeutig zu identifizieren sind, aber Bruchstücke der Fasern und Fasern mit Durchmesser < 1 µm nicht eindeutig zugeordnet werden können. Dadurch besteht die Gefahr, dass dünne Fasern - bei Anwendung der Zählregeln in Anlehnung an VDI- bzw. ZH-Vorschriften fehlinterpretiert werden können. Die aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Faserauswertung wurden in den VDI-Arbeitskreis 3492: MESSEN ANORGANISCHER FASERFÖRMIGER PARTIKEL IN INNENRÄUMEN - RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHES VERFAHREN eingebracht [10].

8.3 INNENRAUMBELASTUNGEN

Zur Abklärung eines möglichen Einflusses aus den Dämmstoffen auf die Nutzer von Häusern, welche mit natürlichen anorganischen Faserdämmstoffen gedämmt sind, wurden vor und nach den Einbauarbeiten (meist ein Tag später) Raumluftmessungen auf Fasern in Anlehnung an VDI 3492 (MESSEN ANORGANISCHER FASERFÖRMIGER PARTIKEL IN INNENRÄUMEN - RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHES VERFAHREN [10]) durchgeführt (vorlaufende und nachlaufende Messungen).

9. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

9.1 MATERIALANALYSEN/INHALTSSTOFFE

9.1.1 Kristalline Inhaltsstoffe: Röntgendiffraktometer-Analyse (qualitativ):

Die Röntgendiffraktometer-Analyse (RDA) gestattet die Identifizierung kristalliner Substanzen und Substanzgemische. Im Unterschied zu anderen Verfahren werden hierbei keine Elementanalysen durchgeführt.

Bei diesem Verfahren wird die zu untersuchende Substanz als Pulver in den Strahlengang eingebracht und bei unterschiedlichen Winkeln mit Röntgenstrahlen behandelt. Durch die Beugung der Strahlen an den Gitterebenen kristalliner Stoffe können bei definierter Wellenlänge nach Umrechnung der Beugungswinkel in Netzebenenabstände kristalline Verbindungen identifiziert werden.

Die Nachweisgrenzen des Verfahrens ist materialabhängig. Sie beträgt zwischen ca. 0,2 und ca. 1,5 MA%.

Folgende Verbindungen wurden identifiziert
 (in Klammern die Nummer der Vergleichsdatei JCDD - Joint Committee of Diffraction Data):

Tabelle 2: Ergebnisse der Röntgendiffraktometeranalyse

Substanzgruppe	„Materialeigene Verbindungen“	Zusatzstoffe
Zellulose Isofloc-L	Zellulose, Kaolinit, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ [29-1488] Calcit, CaCO_3 [24-0027]	Sassolin H_3BO_3 [33-0596]
Isocotlon-B1	Zellulose, Kaolinit, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ [29-1488] Calcit, CaCO_3 [24-0027]	Sassolin H_3BO_3 [30-0199] Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ [24-1055]
Holz , Emfa-Zell	Zellulose	?
Kokos Emfa-Faist	Quarz, SiO_2 [33-1161]	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 12 \text{H}_2\text{O}$
Schafwolle doscha	?	-
Baumwolle Isocotlon	Zellulose	Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ [24-1055]
Flachs Flachs-Haus	Zellulose	?

Die identifizierten Substanzen stammen teilweise aus dem Fasermaterial (Quarz im Kokos), teilweise aus Zuschlägen des Ausgangsmaterials (Kaolinit und Calcit im Altpapier der Zellulosedämmstoffe) sowie teilweise aus den Zusätzen der Dämmstoffe zum Brandschutz, Insektizidschutz etc. Die Diagramme der Röntgendiffraktometeranalysen befinden sich im Anhang dieses Berichtes.

9.1.2 Wasserlösliche Borate

Die Bestimmung der als Brand- und Insektizidschutzmittel eingesetzten Borsalze und der Vergleich mit Literaturangaben zeigt ein grundsätzliches Problem auf. Es werden in der Praxis unterschiedliche Borverbindungen (Borax, Borsäure, Natriumoctaborat etc.), z. T. Mischungen aus mehreren Verbindungen und in unterschiedlichen Modifikationen (fest, verflüssigt), eingesetzt.

Die gefundenen Konzentrationen (siehe Tabelle 3) an Borverbindungen in den Produkten Kokos, FAIST und Schafwolle, DOSCHA sind ubiquitär.

Hersteller- bzw. Literaturangaben beschränken sich meistens auf die ungenaue Angabe Borsalze, einheitliche Berechnungsgrundlagen fehlen. Es wird vorgeschlagen, zukünftig auf die Angaben „Borate“ bzw. Borsalze“ zu verzichten und vergleichbare Angaben der u. g. Dimensionen vorzunehmen.

g_(Bor) / kg_(Dämmstoff) bzw.

g_(B₂O₃) / kg_(Dämmstoff)

Im folgenden sind alle verfügbaren Daten auf g/kg Bor bzw. %-Borsäure (H₂BO₃) umgerechnet und diese miteinander verglichen worden:

Produkt- gruppe	Handels- name/ Hersteller	Hersteller- Angaben	Fuehres [5]		Hölemann [11]		DIBT 1997/98	
			g _(B) /kg Bor	% Bor- säure	g _(B) /kg Bor	% Bor- säure	g _(B) /kg Bor	% Bor- säure
Zellulose	CWA	15-18 % Borsalze					20,4	6,5
	Isofloc	20 % Borsalze			25,9	8,3		
	Isofloc-L	Borsalze					12,3	3,9
	Isofloc B1	20 % Borsalze					34,4	11,0
	HOMA- THERM	11 % Borsalze			17,2	5,5	14,0	4,5
	WARM- CELL			8,4	2,7			
Holz	Emfa-Zell	Ammoni- umphos- phate, Bor- salze					3,6	1,2
	Termoträ	Borate, Kompo- nente „R“					15,7	5,0
Kokos	FAIST	keine Borate					0,03	0,01
Schaf- wolle	DOSCHA	keine Borate	0,5	0,15			0,01	0,003
	HERA- WOOL	Borsalze und Harnstoff- derivate					1,1	0,36
Baum- wolle	ISOCOT- TON	3 % Borax	4,7	1,5			4,4	1,5
Flachs	Flachs- Haus	Stärke, Borate					24,8	7,9
	ISO-Flachs		8,1	2,6	13,4	4,3		

Tabelle 3: Borsalze in Dämmstoffen, Vergleich Herstellerangaben, Literaturwerte, eigene Messungen

Die teilweise starken Unterschiede zwischen Hersteller-Angaben und Analysen-Ergebnissen können verschiedene Ursachen haben:

- **Möglichkeit 1:**

Die untersuchten Materialien sind nicht homogen zusammengesetzt.

Je nach Art der Behandlung (aufsprühen, trocken „aufschlagen“ etc.) kann die Zusammensetzung stark schwanken, beispielsweise wenn die Zusatzstoffe auf vorgefertigte Platten oder Matten aufgesprüht werden, ist mit Konzentrationsunterschieden innen/außen, oben/unten, an Schnittkanten usw. zu rechnen.

Aus der Literatur ist bekannt, dass es beispielsweise bei mit Boraten ausgerüsteten Schafwolle-Dämmstoffen, nur „bei gewissenhafter Nachbehandlung sämtlicher Schnitt- und Schadstellen (mit Borsalzlösungen) eine Motten- und Teppichkäferresistenz gegeben ist“ [12].

- **Möglichkeit 2:**

Zusatzstoffe sedimentieren, wandern etc.

Die teilweise relativ locker an die Dämmstoffe gebundenen Zusatzstoffe reichern sich bei Lagerung, Transport, Einbau etc. in bestimmten Bereichen an, sedimentieren, wandern. Es fehlen aussagefähige Untersuchungen darüber, ob die im Ausgangsmaterial enthaltenen Zusatzstoffe in gleichen Konzentrationen, Konsistenzen usw. auch im eingebauten (und besonders in älteren Dämmungen) noch vorhanden, homogen verteilt bzw. noch wirksam sind. Eine amerikanische Studie [13] zeigt, dass ältere Dämmungen ihre Brandschutzeigenschaften zumindest teilweise verlieren können, wenn sie einige Jahre eingebaut sind.

- **Möglichkeit 3:**

Es bestehen werksseitig Probleme bei der genauen Dosierung der Zusatzstoffe.

Es gibt Hersteller von Dämmstoffen, welche beispielsweise bei der Fertigung einen Teil der Zusatzstoffe über die Feinstaubabsaugung sofort wieder absaugen und aus diesem Grund die Zusatzstoffe überdosieren müssen, um genügend Zusatzstoffe im Endprodukt aufweisen zu können.

- **Möglichkeit 4:**

Hersteller verändern die Rezepturen.

Im Bereich des ökologischen, natürlichen Bauens werden Zusatzstoffe wie Brand- und Insektizidschutzmittel, aber auch synthetische Stützfasern etc. als unökologisch und damit für die Hersteller als verkaufsschädigend angesehen.

Es ist ein Trend bei vielen Herstellern zu beobachten, die Rezepturen so zu verändern, dass immer weniger Zusatzstoffe in die Produkte eingebracht werden. Analysen von Produkten aus unterschiedlichen Zeiträumen sind somit nicht zu vergleichen.

Die folgenden Möglichkeiten beziehen sich überwiegend auf den Einbau von Einblasdämmstoffen und auf eingebaute Dämmstoffe:

- **Möglichkeit 5:**
Zusatzstoffe entmischen sich beim Umgang (Ein-/Aufblasen)

Beim Ein- oder Aufblasen der Dämmstoffe müsste es aus ballistischer Sicht auf Grund der stark unterschiedlichen Rohdichten und Kornformen (beispielsweise von Papier und Boraten) zu Entmischungen an einer und zu Anreicherungen an anderer Stelle kommen. Auch durch elektrostatische Ladungen müsste das Verstaubungsverhalten beeinflusst werden. Hierzu sind weitergehende Untersuchungen notwendig.

- **Möglichkeit 6:**
Zusatzstoffe werden beim Umgang bzw. im eingebauten Zustand mobilisiert bzw. entmischen sich.

Zumindest theoretisch müssten anhaftende Salze an Dämmstoffen durch Luftbewegungen und Feuchtewanderungen mobilisiert werden können. Diese Effekte bedürfen einer Abklärung.

9.1.3 Organische Inhaltsstoffe

Um einen Überblick über alle Inhaltsstoffe zu gewinnen, werden GC/MS-screening-Analysen zur Sichtung der extrahierbaren Inhaltsstoffe durchgeführt sowie Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel untersucht.

Folgende Substanzgruppen konnten bei den untersuchten Dämmstoffen identifiziert werden:

Ursprung: Material	Pflanzlich								Tierisch	
	Zellulose-Flocken 1	Zellulose-Flocken 2	Zellulose-Flocken 3	Zellulose-platten	Holz	Flachs	Kokos	Baum-wolle	Schaf-wolle 1	Schaf-wolle 2
Substanzgruppe										
aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW)	C15-C30	C15-C20	C16-C30	C16-C40	C16-C36	C16-C34	C16-C36	C16-C44	C15-C20	C17-C36
aromatische KW				•						
aliphatische Alkohole		•	•	•	•	•		•	•	•
aliphatische Amide	•	•	•	•	•	•				
Carbonsäuren/-ester	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Cholesterinderivate			•				•	•	•	•
substituierte Phenole			•					•		•
Nicotin									•	
Vanillin					•	•	•			
Vitamin E Acetat							•			
Acetophenon/ Methylphenole							•			
Triacetin								•		•
Terpenderivat (Ursen/Azulen)								•		
Alkylphenole					•					
4-Hydroxy-Benzaldehyd					•					
Ölsäure				•	•	•				
Steroide				•						
Phenanthrensäurederivate				•						

Tabelle 4: Identifizierte Substanzgruppen

Erläuterungen zu den Substanzgruppen:

Aliphatische Kohlenwasserstoffe:

Reine Kohlenwasserstoffe, deren Moleküle aus mehr oder weniger verzweigten Kohlenstoffketten aufgebaut sind. Sie werden auch als **Paraffine** bezeichnet. Die in den Extrakten nachgewiesenen Aliphaten können mit hoher Sicherheit als toxikologisch unbedenklich eingestuft werden.

Aromatische Kohlenwasserstoffe:

Reine Kohlenwasserstoffe, deren Moleküle aus ringförmig angeordneten, aromatischen Kohlenstoffatomen mit mehr oder weniger verzweigten Kohlenstoffketten aufgebaut sind. Sie werden auch als Alkylbenzole bezeichnet. Die in den Untersuchungen nachgewiesenen Stoffe sind zwar in der Regel toxikologisch bedenklicher als aliphatische Kohlenwasserstoffe, stellen jedoch u. E. insbesondere aufgrund der insgesamt niedrigen Konzentrationen im Zusammenhang der Untersuchungen keine Gesundheitsgefahr dar.

Aliphatische Alkohole:

Aliphatische oder aromatische Kohlenwasserstoffe mit einer oder mehreren Hydroxyl-Gruppen (OH-Gruppen) sind in der Natur weit verbreitet. Toxikologisch wahrscheinlich unbedenklich.

Aliphatische Amide:

Organische Stickstoff-Sauerstoff-Kohlenstoff-Verbindungen in Amidstruktur (RCONR); mit hoher Wahrscheinlichkeit Fragmente aus Polypeptiden (**Keratin**) der Wolle, toxikologisch wahrscheinlich unbedenklich.

Carbonsäure/Carbonsäureester:

Aliphatische oder aromatische Kohlenwasserstoffe mit einer oder mehreren Carboxyl-Gruppen (COOH/COOR), kommen in der Natur weit verbreitet vor, z.B. in Lebensmitteln (**Fettsäuren, Fetten**). Toxikologisch mit hoher Wahrscheinlichkeit im untersuchten Zusammenhang unbedenklich.

Cholesterinderivate:

Substituierte ringförmige Kohlenwasserstoffe aus der Gruppe der Steroide, die auch im menschlichen Körper vorkommen. Toxikologisch im untersuchten Zusammenhang unbedenklich.

Substituierte Phenole:

Aromatische Kohlenwasserstoffe mit einer oder mehreren Hydroxyl-Gruppen (OH-Gruppen) sowie anderen Substituten. Kommen in der Natur vor. Toxikologisch wahrscheinlich hier unbedenklich.

Alkylphenole:

Sammelbegriff für Derivate der Phenole, bei denen am aromatischen Ring eine oder mehrere H-Atome durch Alkylgruppen ersetzt sind. Weiterer Forschungsbedarf notwendig.

Nicotin:

Basische, in Pflanzen vorkommende Substanzen zur Gruppe der Alkaloide gehörend, früher auch als Insektizid, beispielsweise zur Blattlausbekämpfung, verwendet. Für den Menschen sind 50 mg infolge auftretender Atemlähmung tödlich. Weiterer Forschungsbedarf notwendig.

Steroide:

Eine Gruppe organischer Verbindungen, die aus 4 Kohlenwasserstoffringen bestehen und in einer großen Vielfalt in der Natur auftreten.

Ölsäure (cis-9-Octadecensäure):

Vorkommen in pflanzlichen und tierischen Fetten und Ölen, ohne thermischen Einfluss nicht flüchtig. Toxikologisch mit hoher Wahrscheinlichkeit im untersuchten Zusammenhang unbedenklich.

Phenanthrensäurederivat:

Die identifizierten Phenanthrensäurederivate sind laut Aussage der Spektrendatenbank als Naturstoff ausgewiesen.

Vitamin E Acetat (dl- α -Tocopherolacetat):

Findet Verwendung als Wirkstoff für die Lebensmittel-, Pharma- und Kosmetikindustrie. Toxikologisch wahrscheinlich im untersuchten Zusammenhang unbedenklich.

Acetophenon/Methylphenole (Kresole):

Vertreter der Methylphenole, teilweise natürliche Bestandteile zahlreicher Nahrungsmittel und ätherischer Öle sowie Bestandteile von Holz und anderer Pflanzen, auch im Steinkohlenteer enthalten. Acetophenon wirkt Haut- und Schleimhautreizend und kann Dermatitis hervorrufen. In höheren Konzentrationen kann es auch narkotisch wirken.

Triacetin (1,2,3-Propantrioltriacetat):

Findet u. a. Verwendung als Antipilzmittel sowie als Trägersubstanz in Fungizidzusammensetzungen. Nach Angabe der CHEMIS-CIVS-Datenbank tritt beim Verdampfen bei 20 °C eine schädliche Kontamination der Luft nicht oder nur sehr langsam ein. Weiterer Forschungsbedarf notwendig.

Phosphorsäureester:

Organophosphate, teilweise natürlich als Energiespeicher vorkommend. Sie wurden speziell als Schädlingsbekämpfungsmittel verwendet und wirken stark insektizid und auch akarizid und können teilweise auch als Nematizide, Fungizide und Herbizide ver-

wendet werden. Bestimmte Phosphorsäureester sind auch als Kampfstoffe verwendet worden. Physiologisch äußern sich Phosphorsäureester als Nervengifte. Die nachgewiesene Verbindung (Tri (2-Chlorethyl) Phosphat) ist nach Recherche über die Pesticid-Datenbank (HPPEST) nicht als Pesticid ausgewiesen. Toxikologisch aus unserer Sicht nicht beurteilbar.

Auf Grund fehlender Datenlagen zur toxikologischen Bewertungen können zur Zeit keine Aussagen zu folgenden Inhaltsstoffen getroffen werden:

Terpenderivat (Ursen/Azulen):

Vanillin (4- Hydroxy-3-Methoxy-Benzaldehyd):

4-Hydroxy-Benzaldehyd:

9.1.3.1 Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PSM)

Ergänzend zu den analysierten Substanzgruppen (Übersichten) wurden einzelne PSM gesondert untersucht. Anhand von umfangreichen Recherchen wurde die Art und Anzahl der zu untersuchenden Parameter (Biozide, Rückstände aus Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln) festgelegt. Basis dieser Festlegung waren Veröffentlichungen und Informationen:

- Bremer Baumwoll-Börse, Sonderdruck: Untersuchung von Rohbaumwolle auf mögliche Schadstoffe
- Interne Informationen von einem wollfettverarbeitenden Unternehmen (Kosmetikbranche)
- Zeitschrift Laborpraxis 8/85
- DIN Verfahren ChlororganoPestizide
- Allgemeine Informationen über den Einsatz von Pestiziden (Insektiziden, Fungiziden)

Nach Abschluss der Recherche konnten folgende Parameter als Untersuchungsgrundlage festgelegt werden:

- | | |
|-------------------|--------------------------------------|
| ● Aldrin/Dieldrin | Insektizid (Chlor-organo-Verbindung) |
| ● DDE/DDT/DDD | Insektizid (Chlor-organo-Verbindung) |
| ● Endosulfane | Insektizid (Chlor-organo-Verbindung) |
| ● Endrin | Insektizid |

- HCB Chlor-organo-Verbindung
- HCH's Insektizid (Chlor-organo-Verbindung)
- Heptachlor/-epoxid Insektizid (Chlor-organo-Verbindung)
- MCPA Herbizid (Phenoxycarbonsäure)
- PCB über Wärmetauscher/Isolierflüssigkeiten u.ä. ubiquitär verbreitete Substanzklasse (Chlor-organo-Verbindung)

- PCP Fungizid (Chlor-organo-Verbindung)
- Permethrin Insektizid (Pyrethroid)

In keiner der untersuchten Proben konnten Hinweise auf Rückstände von PSM oberhalb der Nachweisgrenzen (materialabhängig: zwischen 0,02 und 0,08 mg/kg) gefunden werden.

9.2 MORPHOLOGIE UND OBERFLÄCHENSTRUKTUREN

Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen

Die Unterscheidung der einzelnen Faserarten voneinander im Licht- und Elektronenmikroskop kann nur durch optische Unterschiede, also durch unterschiedliche Faserform bzw. Oberflächenstrukturen und Zerfaserungsmerkmale, vorgenommen werden.

Zumindest Materialproben können auf diese Weise anhand der folgenden Parameter eindeutig identifiziert werden. In Staubproben sind die aufgezeigten Identifizierungskriterien meistens nicht eindeutig zu erkennen, da es sich bei den meisten luftgetragenen Fasern um Bruchstücke oder abgespaltene Einzelfasern handelt.

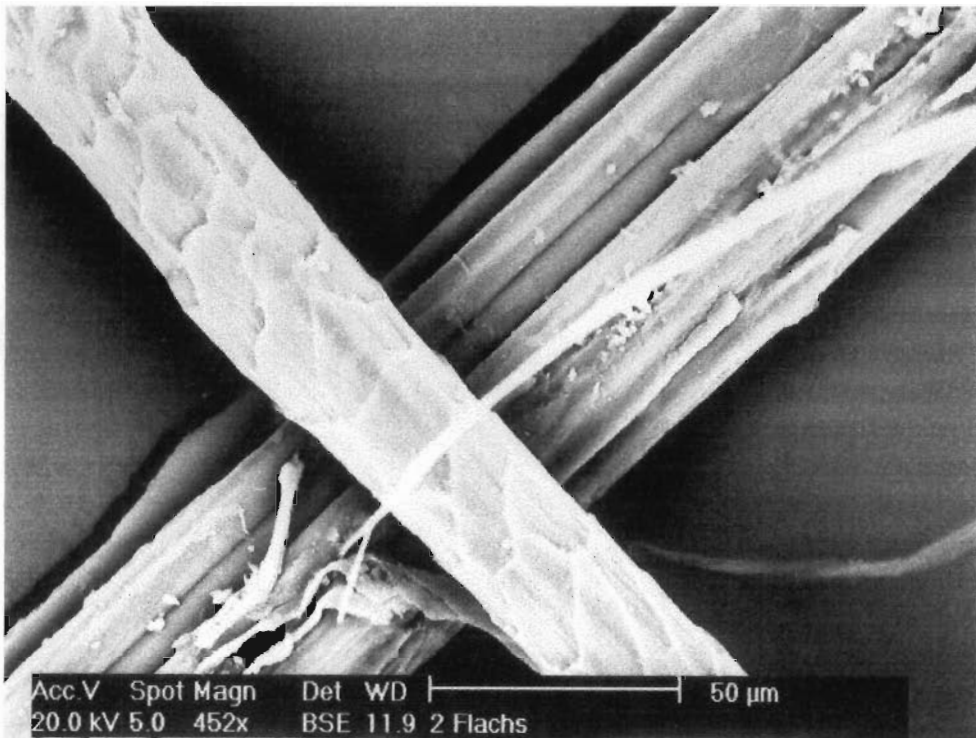


Bild 28: Strukturelle Unterschiede als Identifizierungskriterien zur Faserunterscheidung: geschuppte Schafwolle-Faser auf längsgestreiftem Flachs-Faserbündel

1. Dämmstoffe auf Basis von Zellulose und Holz

Dämmstoffe auf Basis von Zellulose (Papier) bzw. Holz zeigen unter dem Mikroskop eine vergleichbare Struktur. Zu erkennen ist jeweils ein sehr heterogenes Gemisch aus unterschiedlich großen Partikeln aus Faserbündeln, gestreckten Partikeln und bandartigen, längsgestreckten Partikeln.

Je nach Art der Rohstoffe (z. B. Altpapier mit unterschiedlich hohem Recycling-Anteil) und der mechanischen Bearbeitung während der Herstellung des Dämmstoffes (Zerfaserung, Hammermühle etc.) sind die Dämmstoffe unterschiedlich stark zerfasert. Mit steigendem Zerfaserungsgrad steigt auch der Anteil an lungengängigen Fasern stark an. Die Durchmesser der Fasern bzw. Partikeln variiert von weniger als 1 µm bis ca. 50µm.

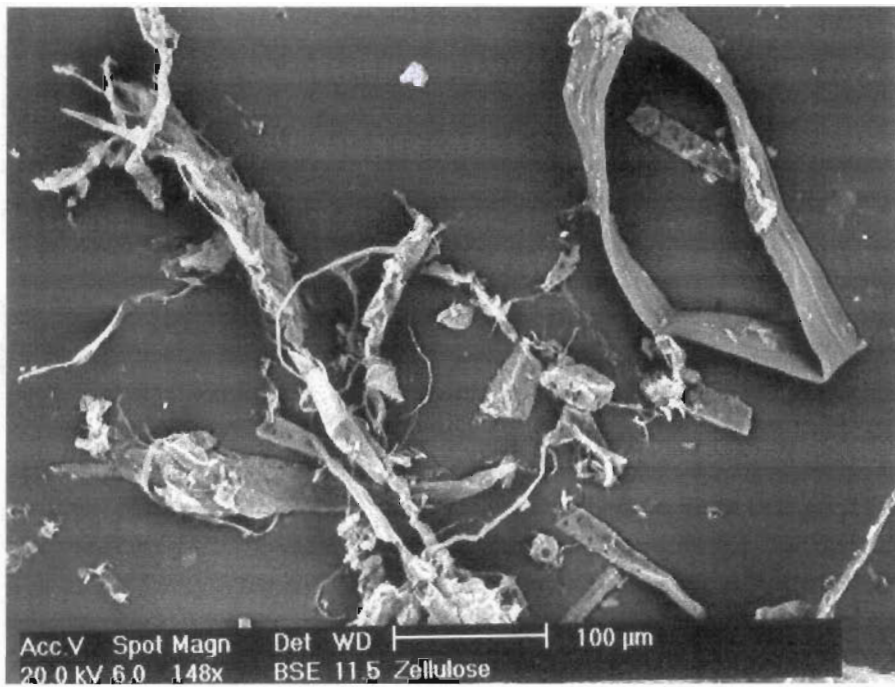


Bild 29: Zellulose Dämmstoff; Faserbündel, Einzelfasern und bandartige Partikel

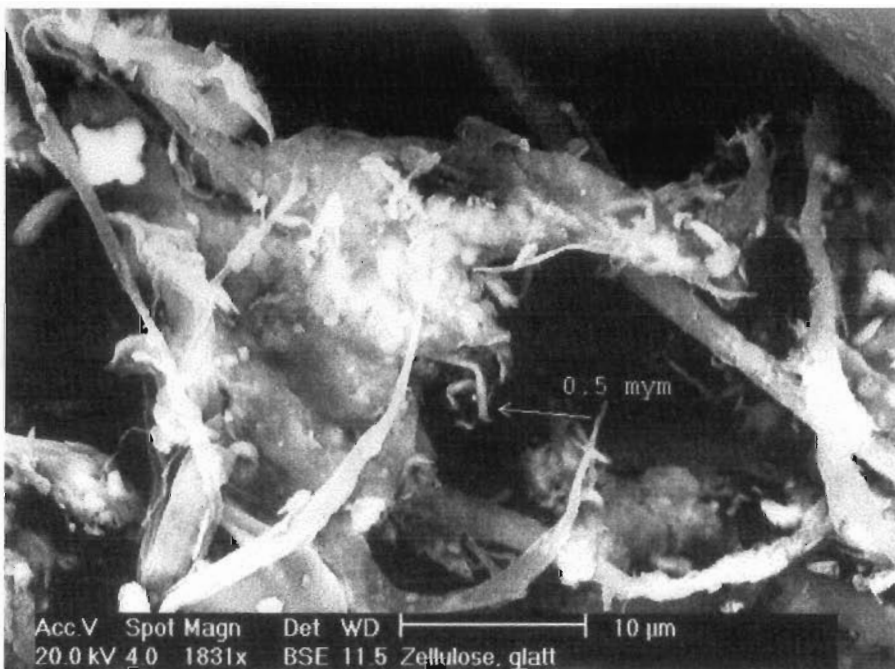


Bild 30: Zellulose Dämmstoff; heterogenes Gemisch aus teilweise lungengängigen Fasern und Partikeln

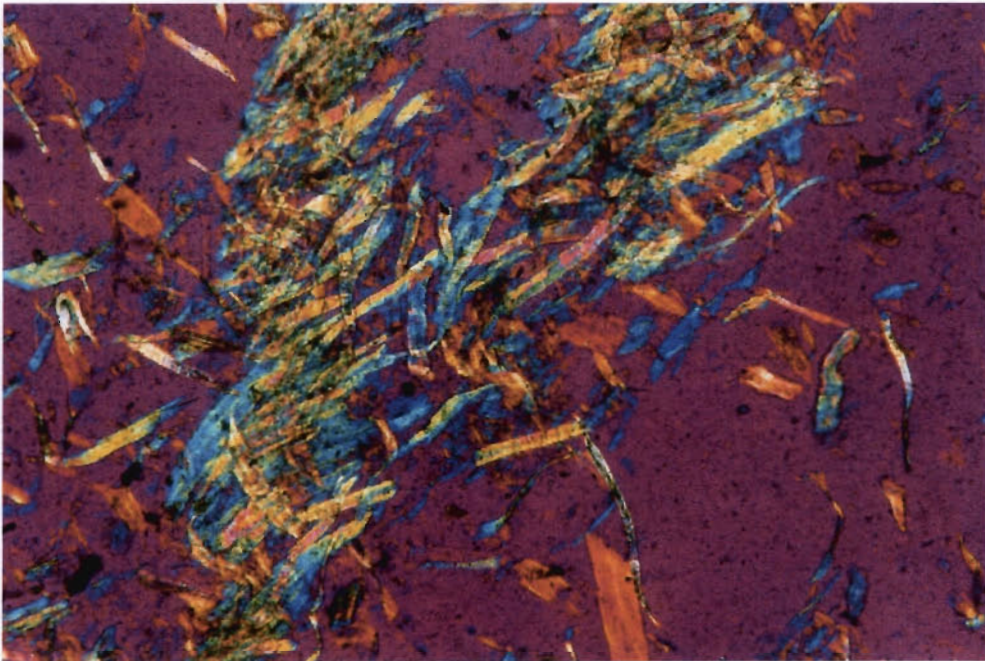


Bild 31: Zellulose Dämmstoff im Lichtmikroskop; heterogene Faserbündel und Einzelfasern (V = 100-fach, X-Pol., Gips Rot 1. O.)

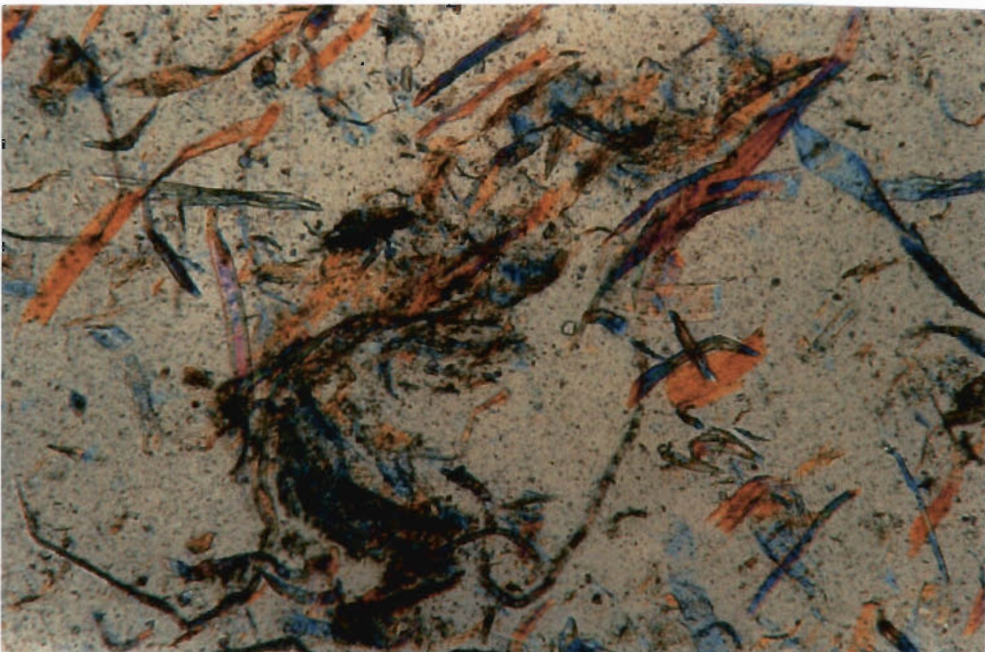


Bild 32: Zellulose Dämmstoff im Lichtmikroskop; heterogene Faserbündel und Einzelfasern (V = 100-fach, X-Pol), teil-kristalline Bereiche erscheinen farbig

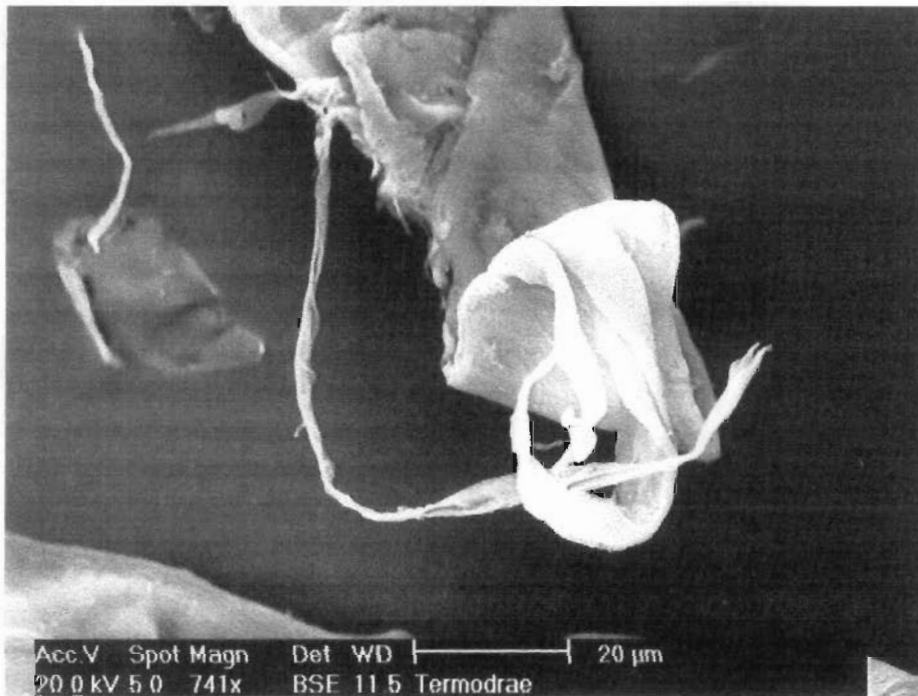


Bild 33: Holz-Dämmstoff; lungengängige Fasern neben bandartigem Partikel

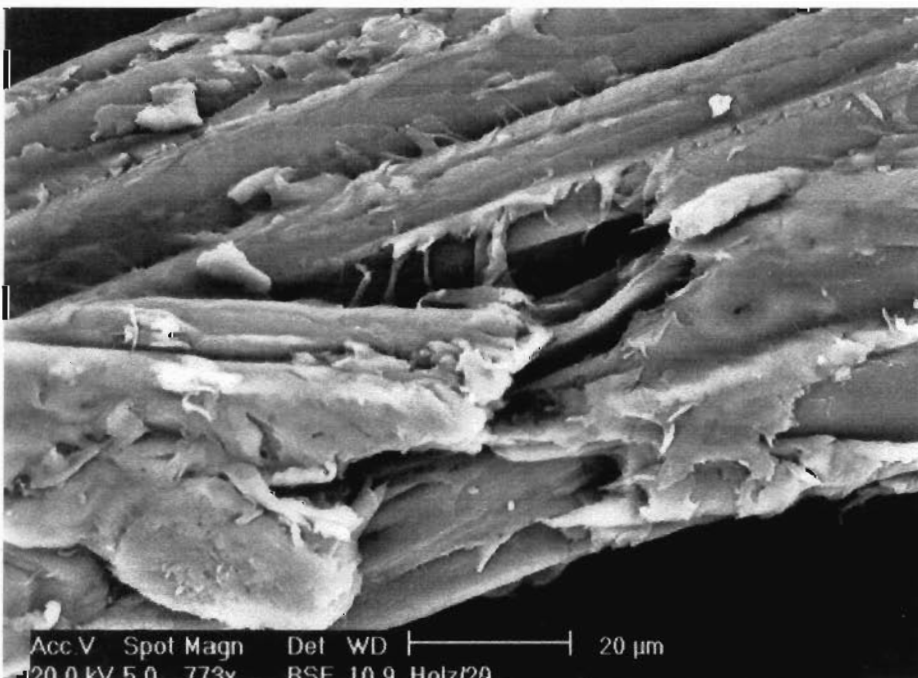


Bild 34: Holz-Dämmstoff; lungengängige Fasern im teilweise aufgelöstem Faserverbund



Bild 35: Einbau von Holz-Dämmstoffen; spitz zulaufendes, lungengängiges Faser-Ende im Staub, stationäre Messung

2. Jute-Fasern zur Verstärkung in Zellulose-Platten

Jute ist aufgebaut aus zusammenhängenden Faserbündeln. Einzelne Fasern oder Teile der Faserbündel spalten relativ leicht von dem Verbund ab. Auch an mechanisch beanspruchten Stellen ist der Verbund aufgelockert. Die Faseroberfläche ist leicht gerieft und an wenigen Stellen querverschoben.

Die Durchmesser der Faserbündel betragen $> 20 \mu\text{m}$, Einzelfasern sind zwischen < 1 und ca. $10 \mu\text{m}$ dick.

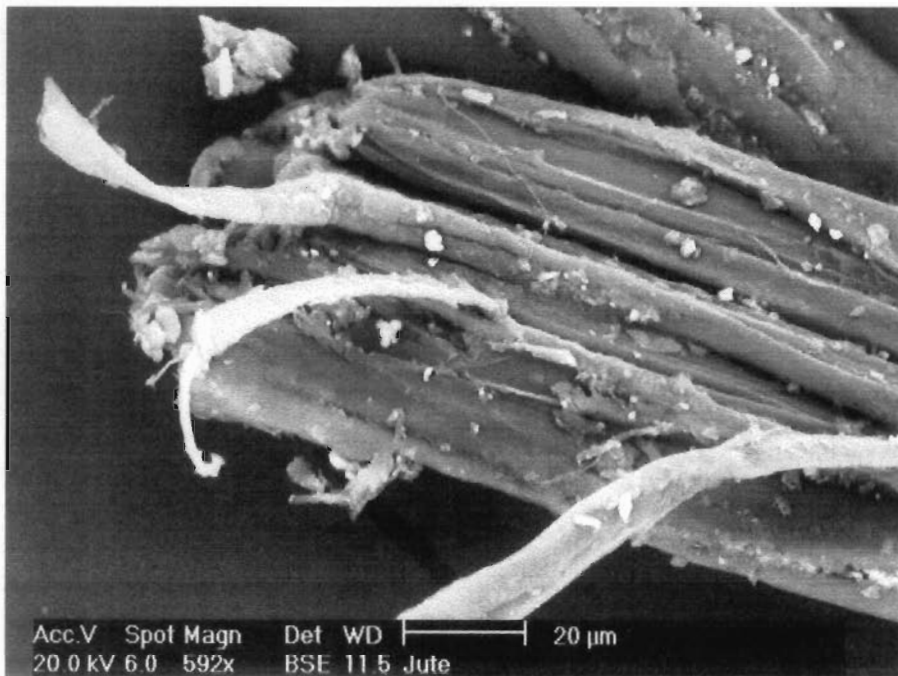


Bild 36: Jute-Faserbündel, aufgelockerter Verbund am Bündelende

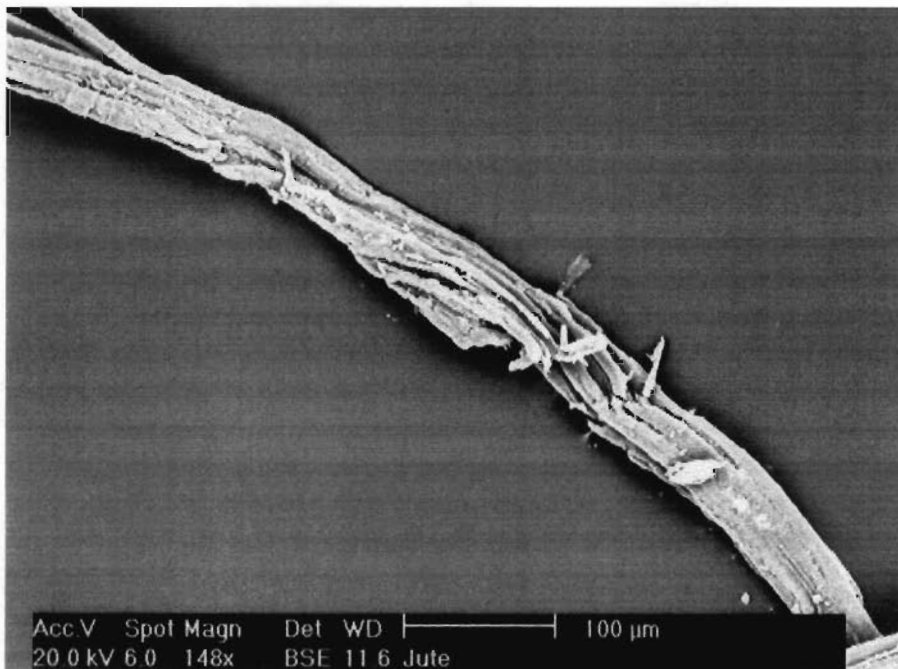


Bild 37: Jute-Faserbündel, aufgelockerter Verbund an mechanisch beanspruchten Stellen

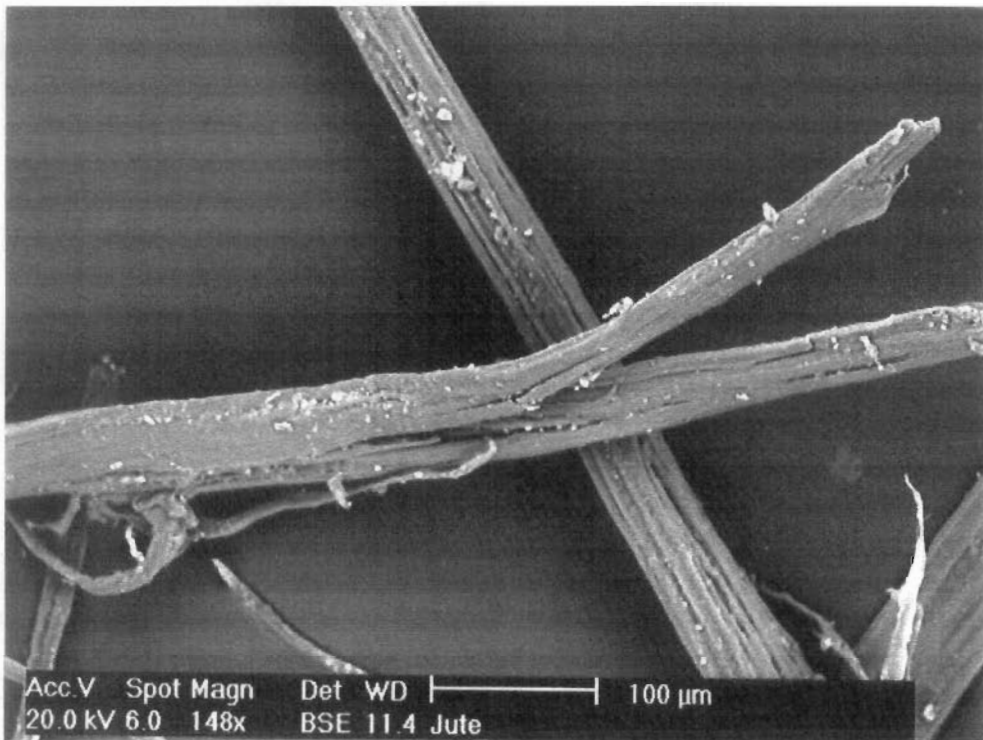


Bild 38: Jute-Faserverbund, lungengängige Fasern entstehen durch Abspaltungen

3. Dämmstoffe aus Kokos-Fasern

Kokos zeigt unter dem Mikroskop einen relativ festen Verbund, bestehend aus dicken Faserbündeln (s. Anschnitt, Bild 39). Bei mechanischer Beanspruchung neigt der Verbund in Längsrichtung zum Aufspalten (Bild 40). An den Enden der Faserbündel bzw. an Bruchstellen entstehen lungengängige Fasern (Bild 41). Der Durchmesser der Einzelfasern beträgt ca. 10 – 30 μm .

Typisch für Kokosfasern erscheinen die Porenfüllungen (Bild 42). Sie bestehen aus Quarz (SiO_2).

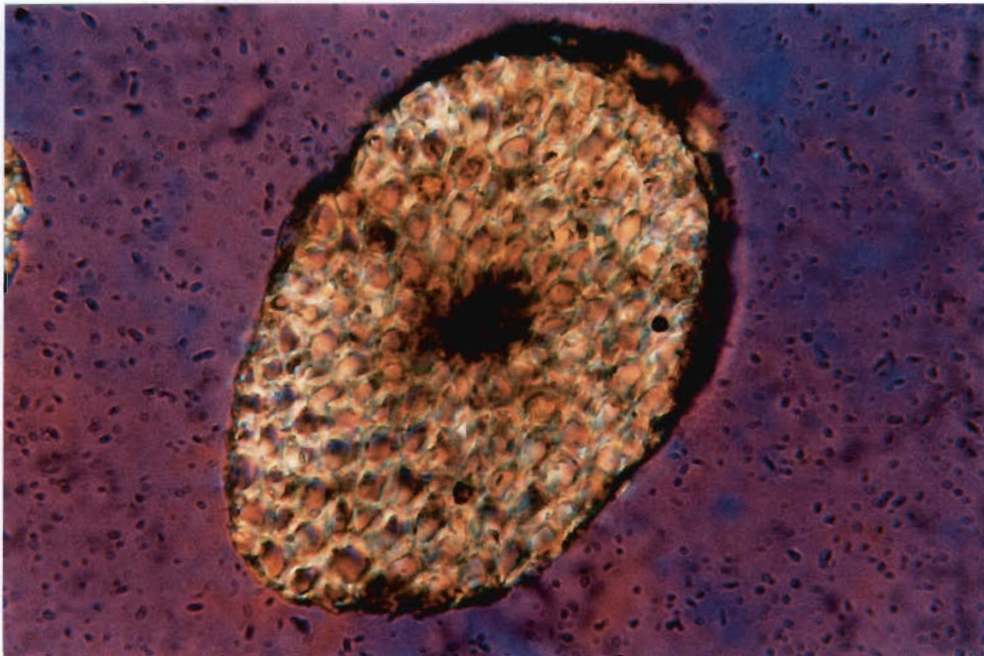


Bild 39: Anschnitt einer Kokosfaser, das Faserbündel besteht aus vielen Einzelfasern (V=50-fach, X-Pol., Gips Rot 1. O.)

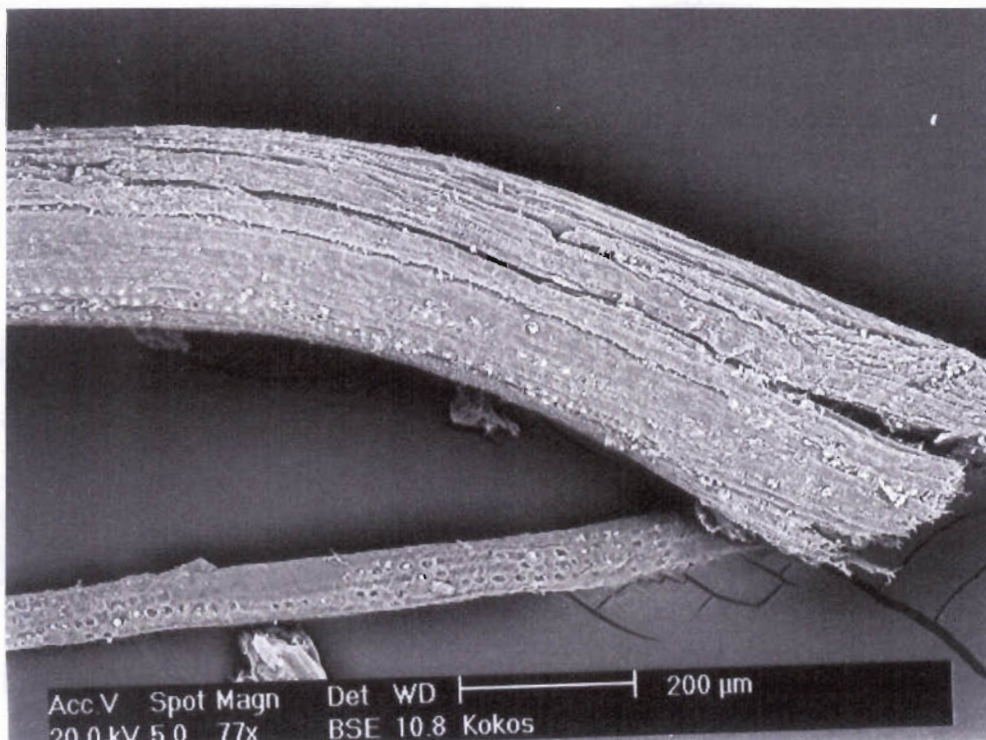


Bild 40: Kokos-Faserbündel mit leichten Aufspaltungsstrukturen und typischen (hier weißen) Porenfüllungen

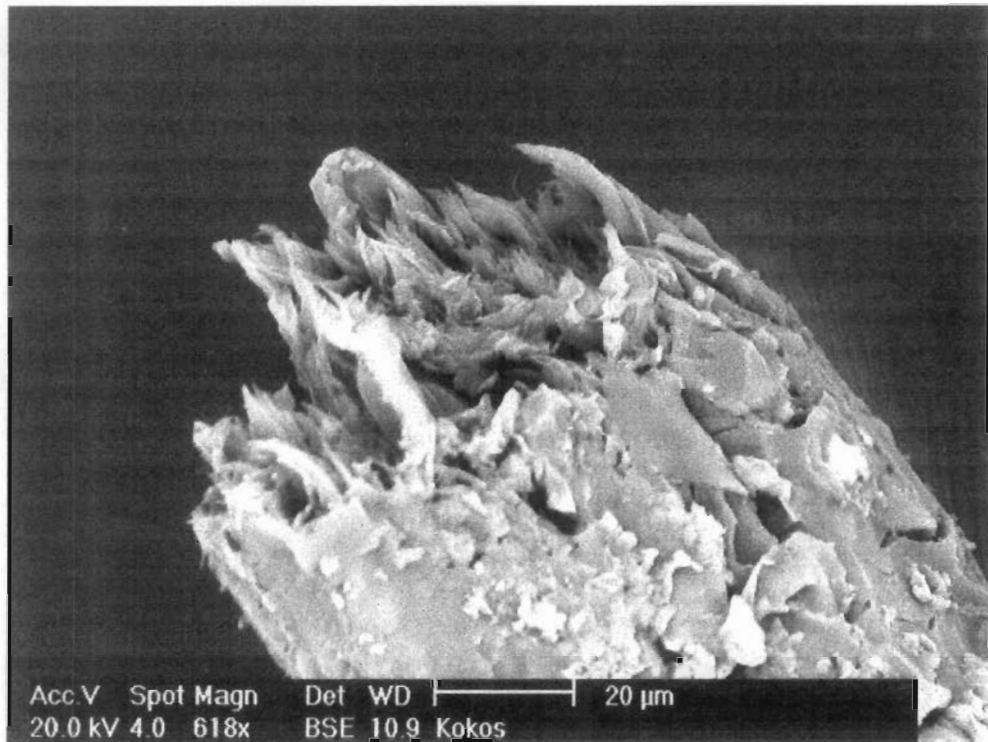


Bild 41: Ende eines Kokos-Faserbündels; Entstehung von lungengängigen Fasern

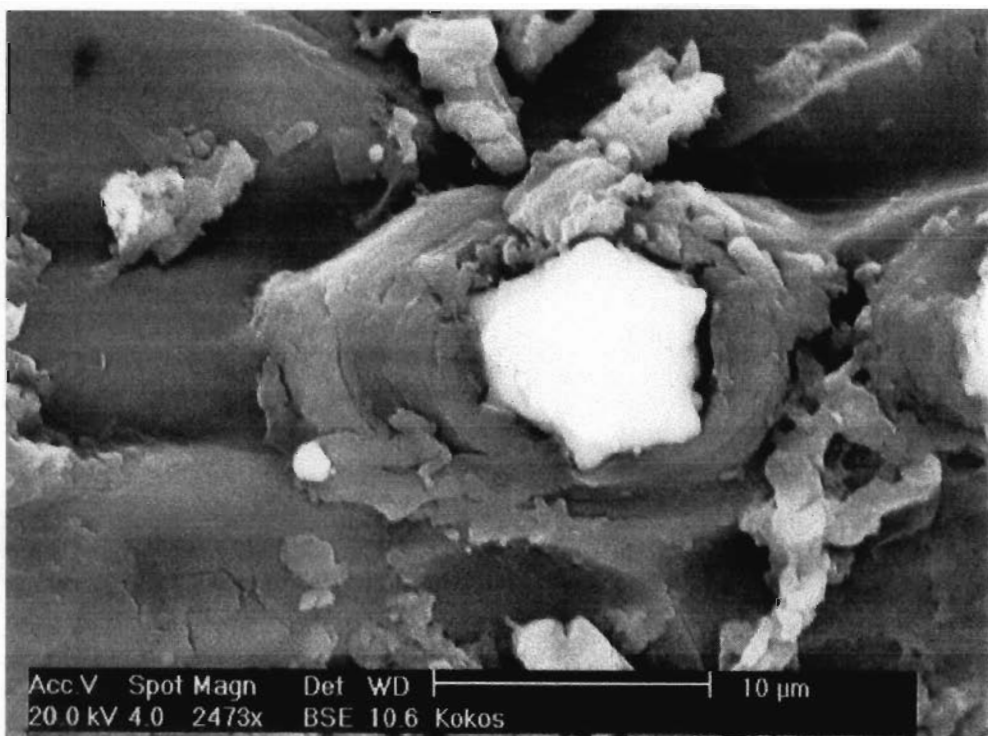


Bild 42: Die typischen Poren im Kokos bestehen aus Quarz (SiO_2)

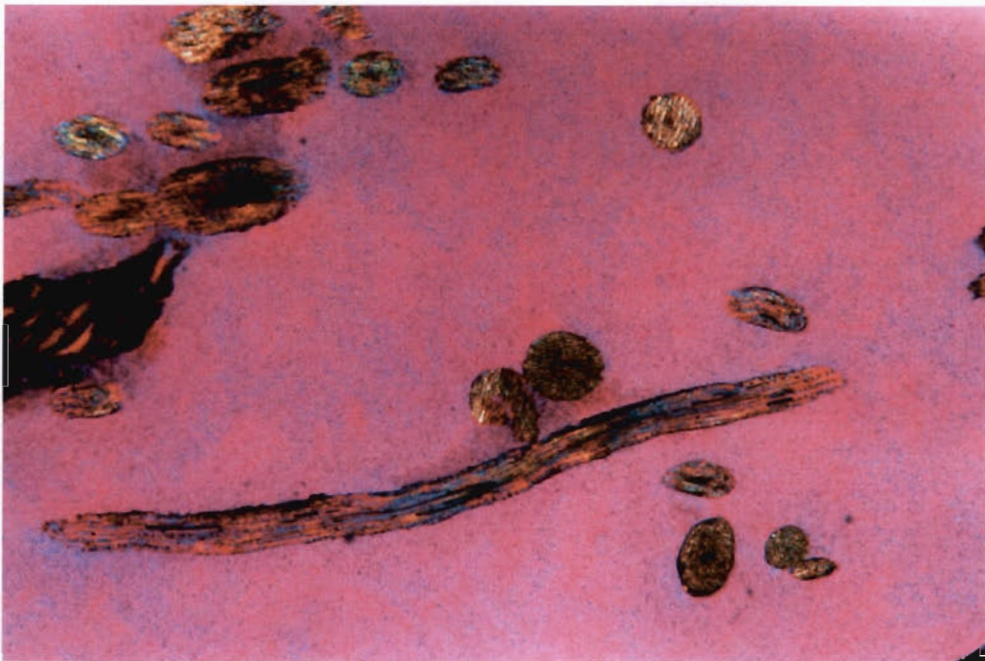


Bild 43: Längsgestreifte Kokosfaser und Faseranschnitte im Lichtmikroskop
(V=50-fach, X-Pol., Gips Rot 1. O.)

4. Dämmstoffe aus Schafwolle

Schafwolle-Fasern sind gut an ihrer geschuppten Oberflächenstruktur zu erkennen, die Schuppenstruktur bildet ein regelmäßiges Mosaik, wobei die Schuppenspitze immer zur Faserspitze (Wachstumsrichtung) zeigt (Bild 44).

Die Faserdurchmesser verändern sich an einer Faser, die Spitze ist immer dünner als die Wurzel (Bild 45). Schafwolle-Fasern erscheinen als Einzel-Fasern, können aber bei mechanischer Beanspruchung oder beim Einsatz von (qualitativ minderwertiger) Reißwolle in Elementarfibrillen aufspalten (Bild 46).

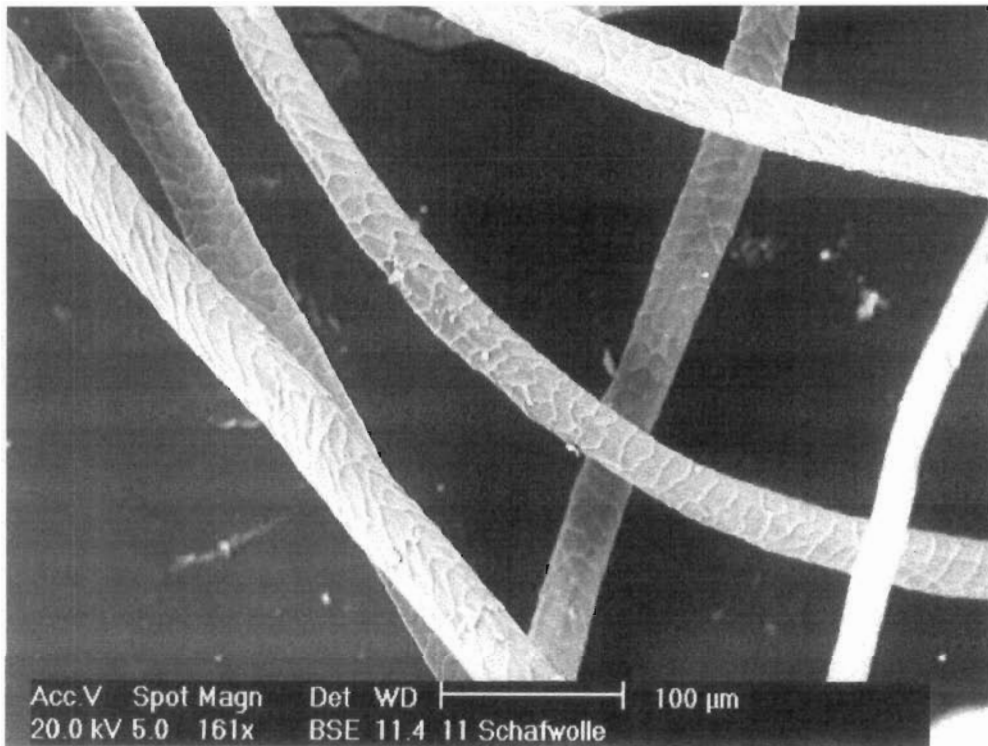


Bild 44: Schafwolle-Fasern mit geschuppter Oberflächenstruktur



Bild 45: Spitz zulaufende Schafwolle-Faser

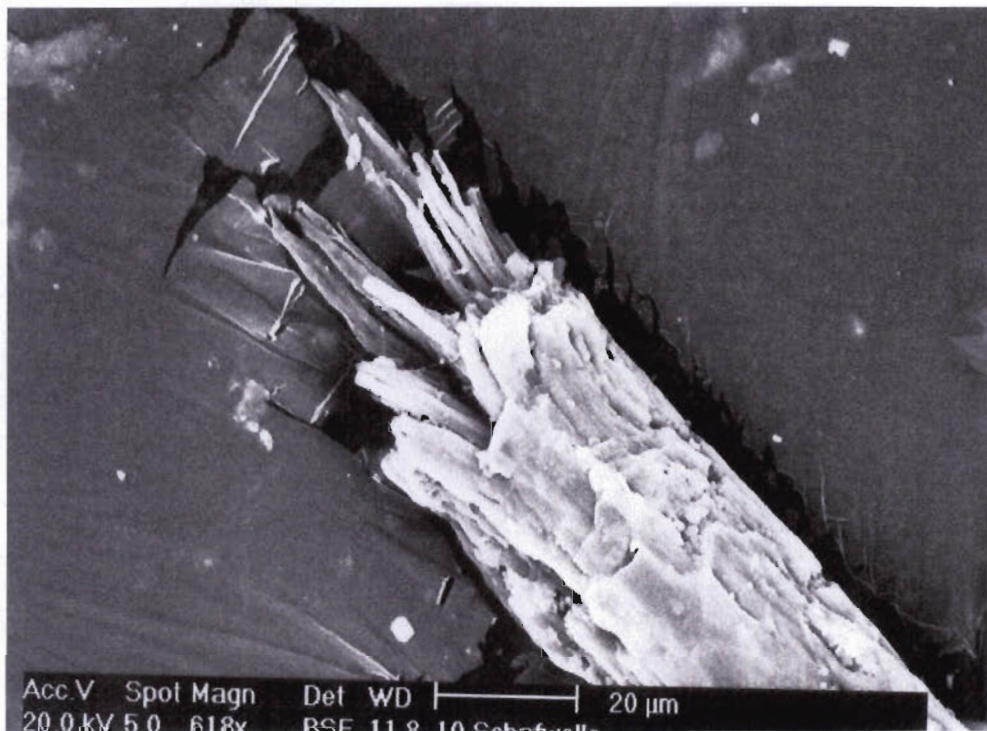


Bild 46: Aufspaltung einer Schafwolle-Faser in lungengängige Fasern

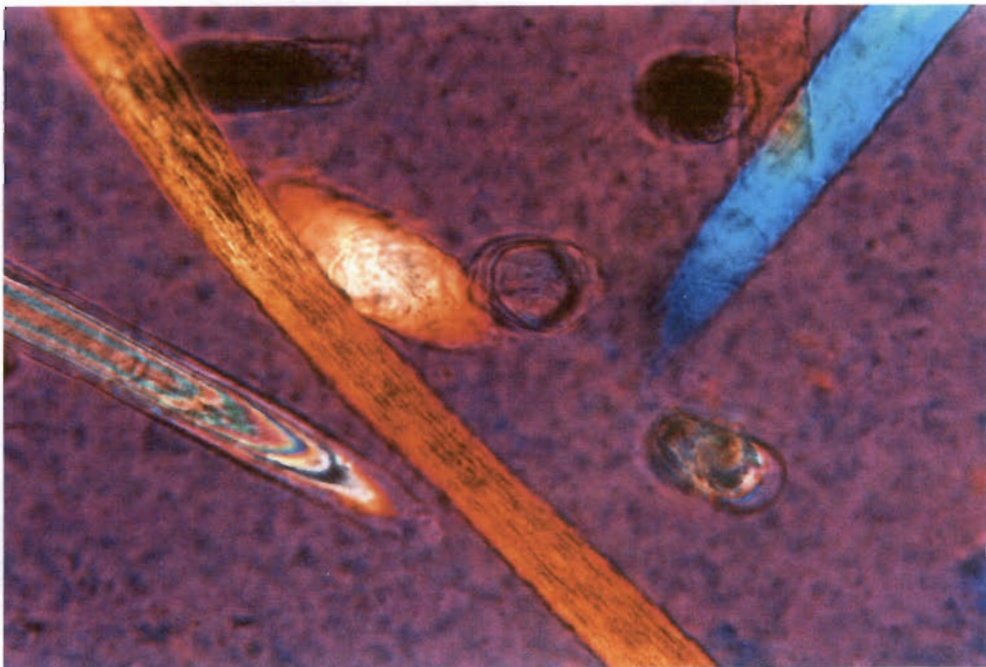


Bild 47: Schafwolle-Fasern (blau und braun) und Polyester-Stützfaser (bunte Interferenzfarben), V=200-fach, X-Pol., Rot 1. O.)

5. Fasern aus Polyester

Polyesterfasern werden teilweise zu Schafwolle-Dämmstoffen als Stützfasern zugegeben. Sie liegen als Einzel-Faser mit einer sehr gleichmäßigen, glatten Oberfläche vor. Die Faserdurchmesser sind ebenfalls relativ regelmäßig zwischen 10 und 25 μm .

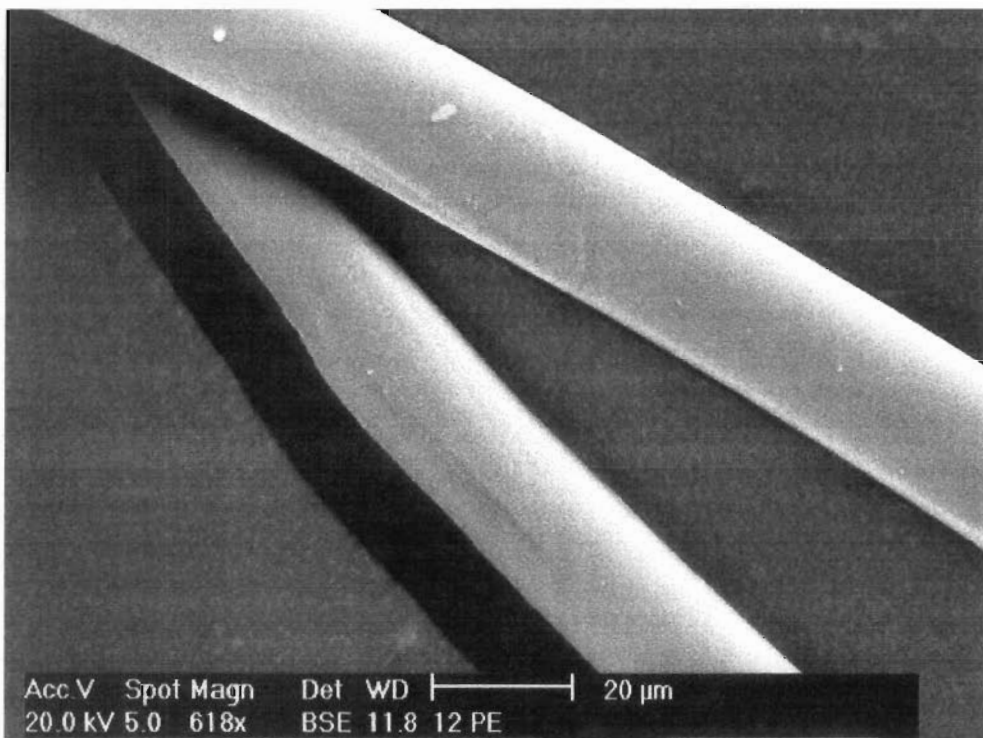


Bild 48: Polyesterfasern mit glatter Oberfläche und gleichmäßigen Durchmesser

6. Baumwolle-Dämmstoffe

Baumwolle-Fasern sind unter dem Mikroskop relativ einfach an ihren helixförmigen Verwindungen (Bild 49) zu erkennen. Sie liegen vor als in sich verdrehte Einzelfasern.

Die Durchmesser betragen ca. 10 bis 30 μm . Bruchstücke oder abgeplatzte Bereiche der Fasern haben Durchmesser bis unter 1 μm (Bild 50).

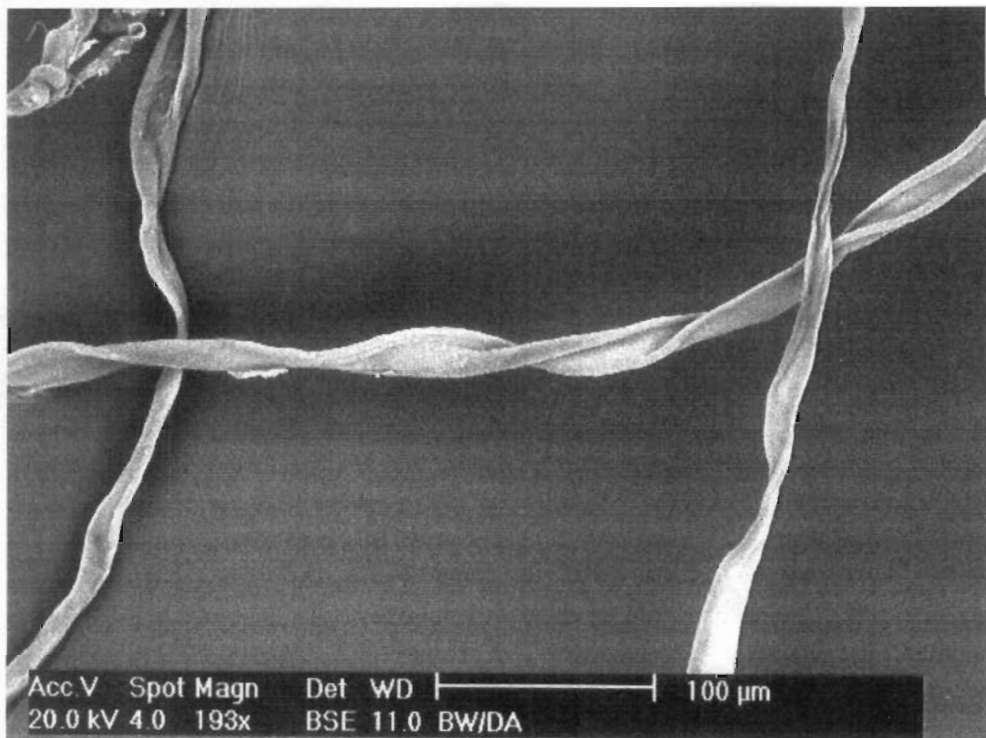


Bild 49: Baumwolle-Fasern mit helixförmiger Verwindung

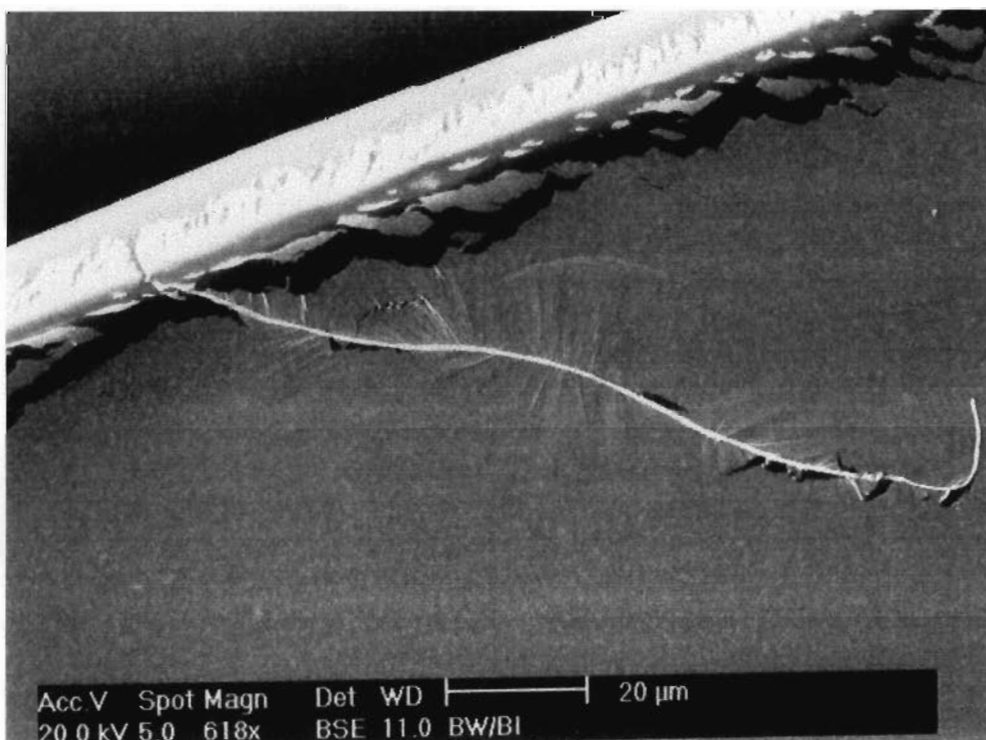


Bild 50: Lungengängiges Baumwolle-Partikel

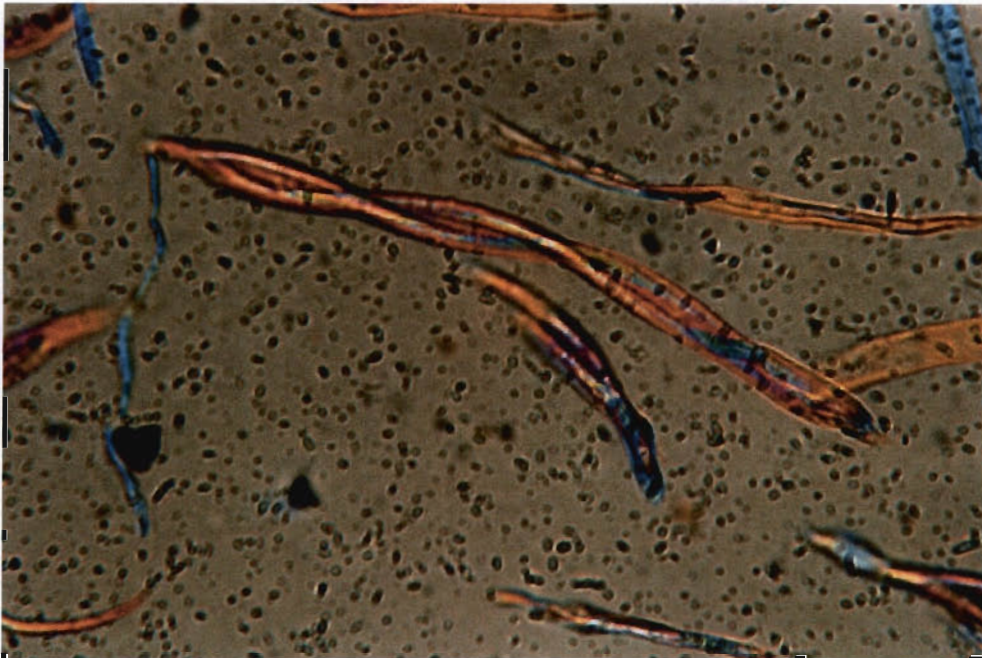


Bild 51: Baumwolle-Fasern im Lichtmikroskop (V= 400-fach, X-Pol.)

7. Dämmstoffe aus Flachs und Hanf

Dämmstoffe aus Flachs/Hanf bestehen aus Faserbündeln und Einzelfasern, teilweise gebündelt. Die Faserbündel neigen zum Aufspalten in Elementarfasern. An den Fasern sind Längsstreifen und deutliche Querverschiebungen sichtbar.

Die Durchmesser der Faserbündel betragen zwischen 20 μm und 200 μm , die Durchmesser der Einzelfasern liegen zwischen kleiner 1 μm und 10 μm . Lungen-gängige Hanf- und Flachs-Fasern sind morphologisch nicht zu unterscheiden.

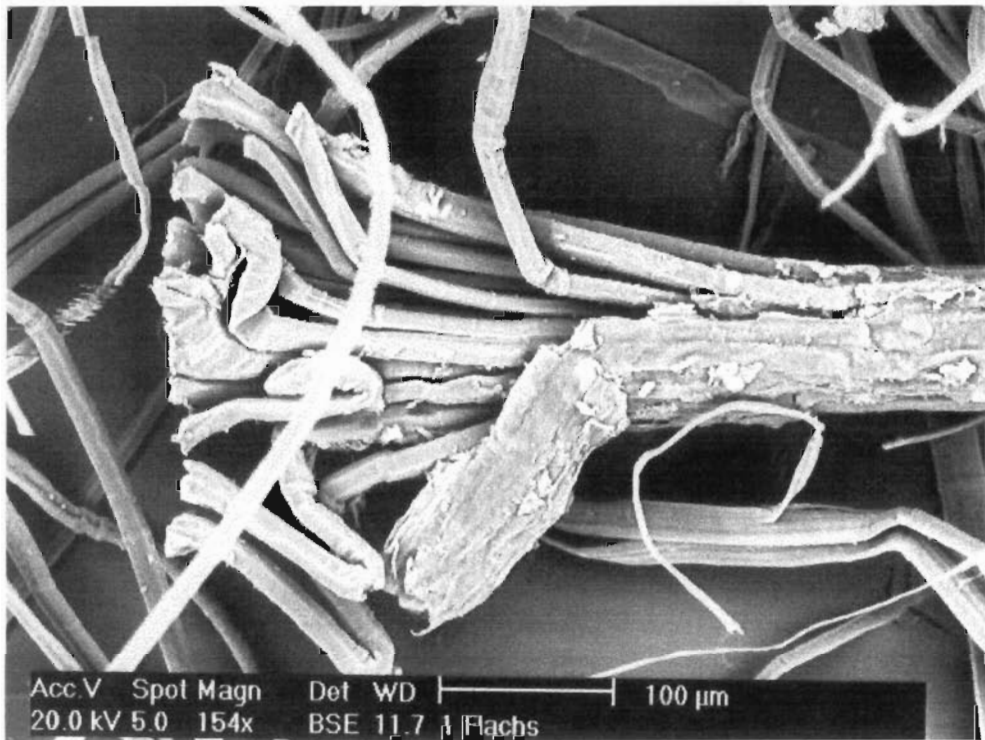


Bild 52: Flachs-Faserbündel, in Elementarfasern aufspaltend

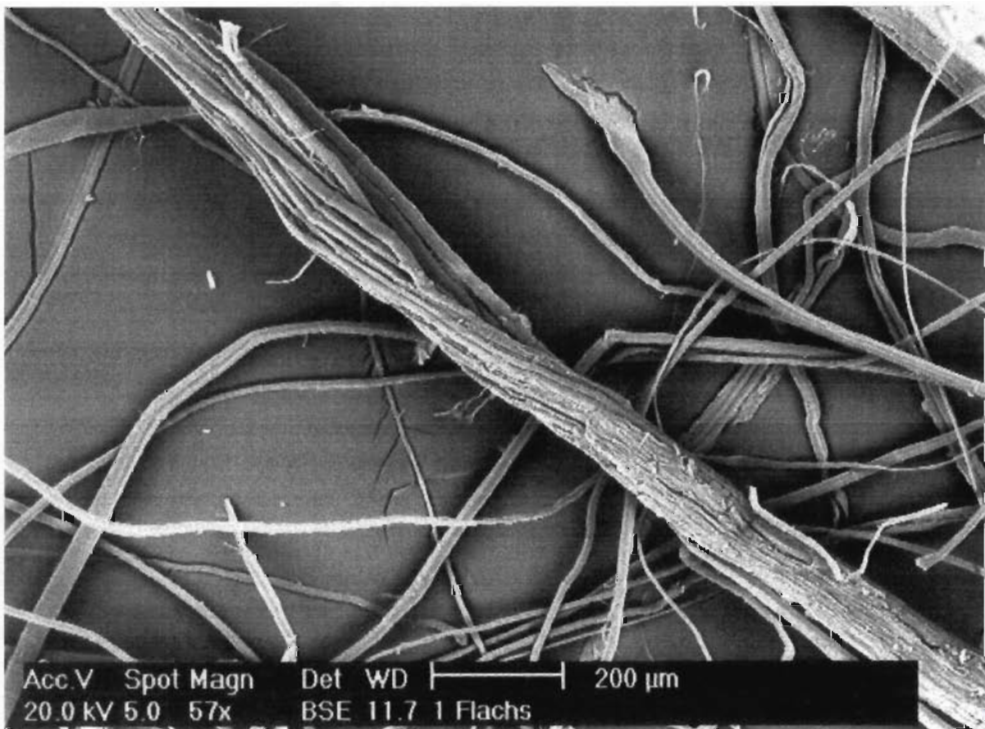


Bild 53: Bündel aus Flachs-Einzelfasern und teilweise gebänderte Fasern

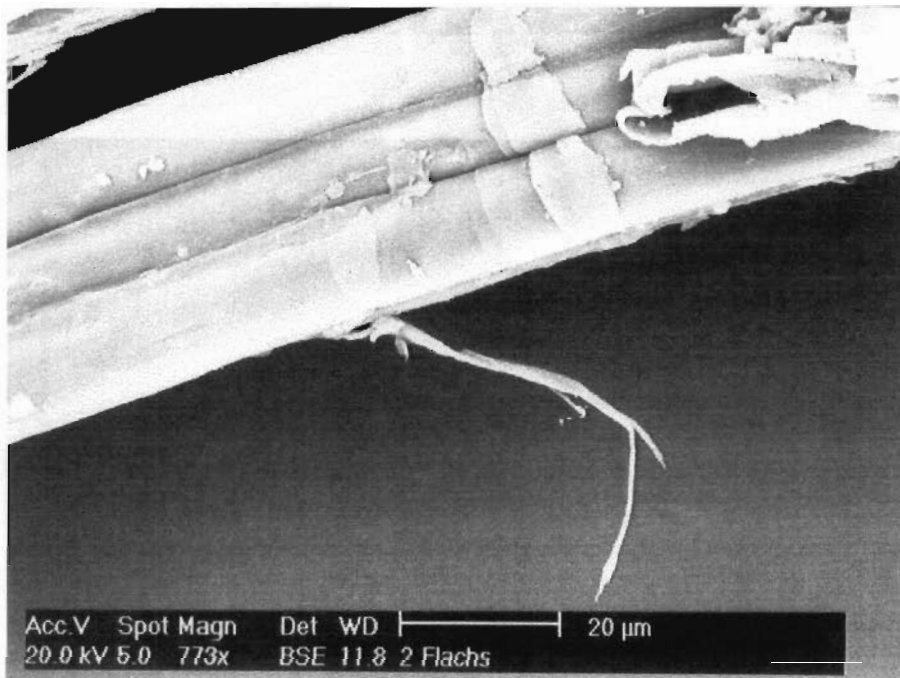


Bild 54: Flachs-Faserbündel mit Querverschiebungen und lungengängige Flachs-Faser

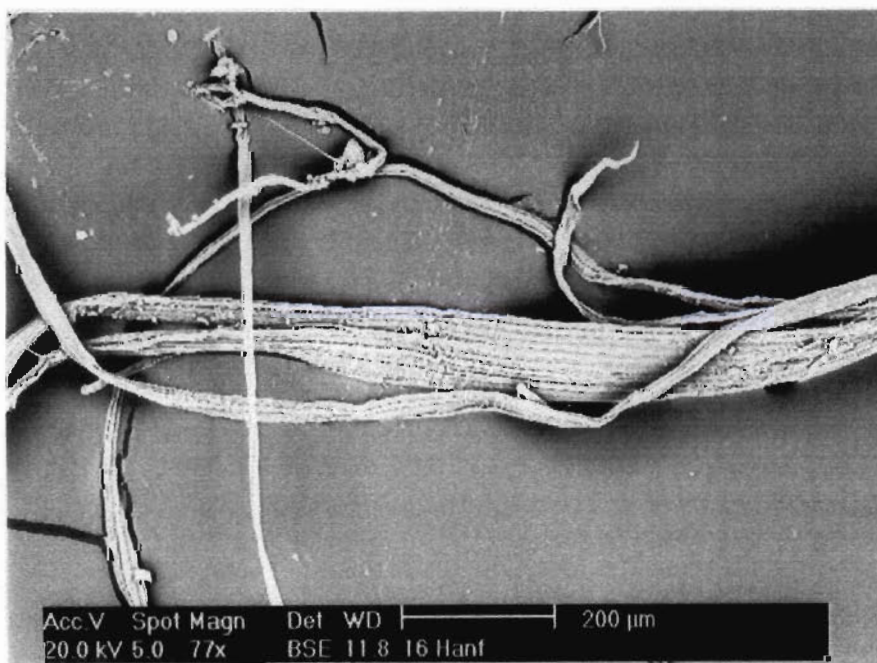


Bild 55: Gebändertes Hanf-Faserbündel, teilweise in Elementarfasern aufspaltend

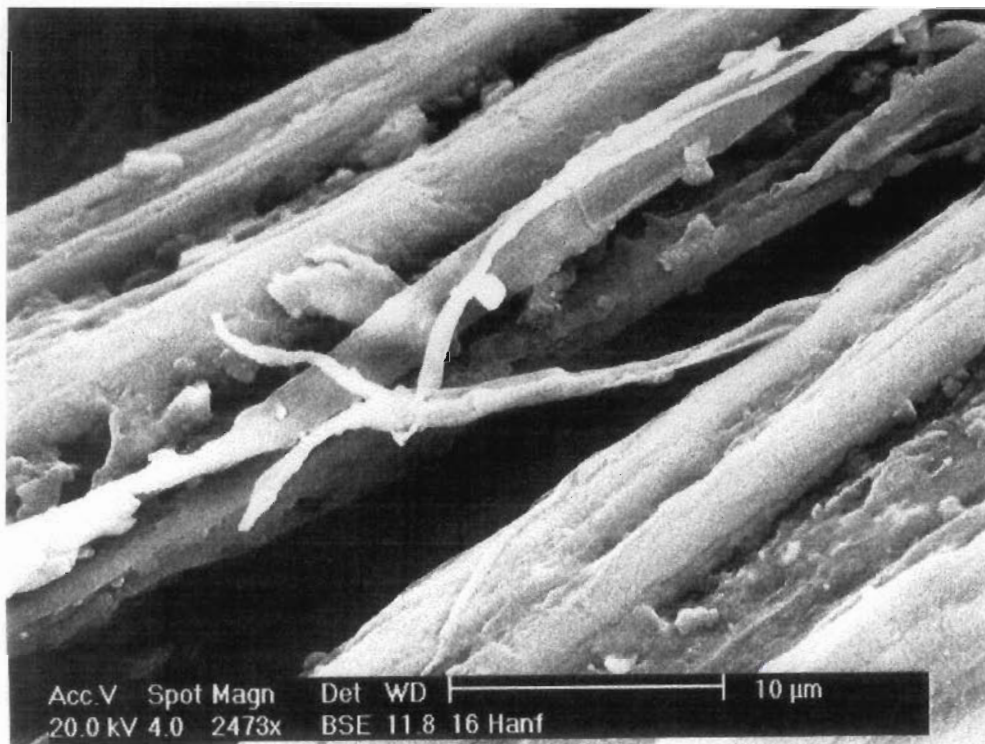


Bild 56: Lungengängige Hanf-Faser auf Hanf-Faserbündel

8. Baustoffe auf Basis von Stroh

Baustoffe auf der Basis von Stroh sind auf Grund der höheren Wärmeleitfähigkeit keine Dämmstoffe im engeren Sinn. Sie wurden aber vergleichsweise mit aufgenommen.

Stroh besteht aus Faserbündeln, zum Teil bandartig. Typisch für Stroh sind die „herauswachsenden Stengel“, die Durchmesser der Einzelfasern liegen zwischen kleiner 1 µm und größer 20 µm.

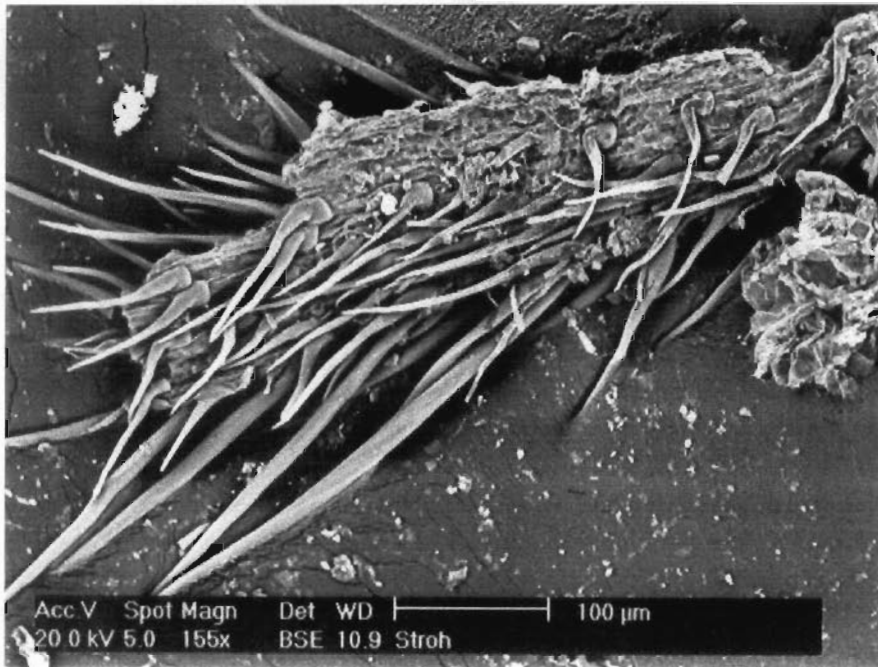


Bild 57: Stroh-Partikel mit herauswachsenden Stengeln, teilweise lungengängig

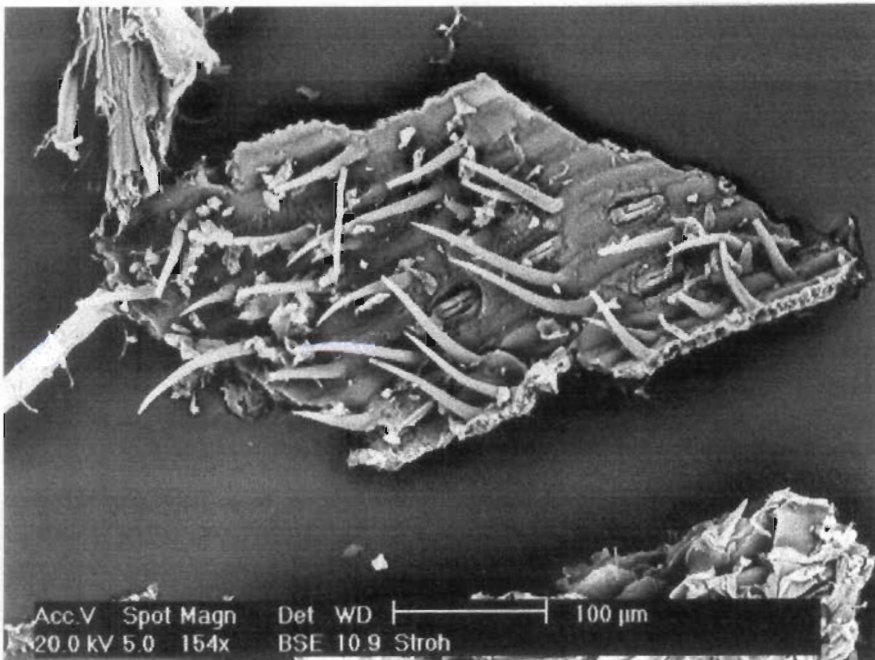


Bild 58: Abgeplattetes Stroh-Partikel mit herauswachsenden Stengeln, teilweise lungengängig

9. Mineralwolle-Dämmstoffe

Dämmstoffe aus Mineralwolle sind unter dem Mikroskop an ihrer Einzelfaser-Struktur mit glatten Oberflächen zu erkennen. Typisch für Materialproben von Mineralwolle-Dämmstoffen ist der – herstellungsbedingte - unterschiedlich hohe Shot-Anteil (glasige Kügelchen, siehe Bild 59).

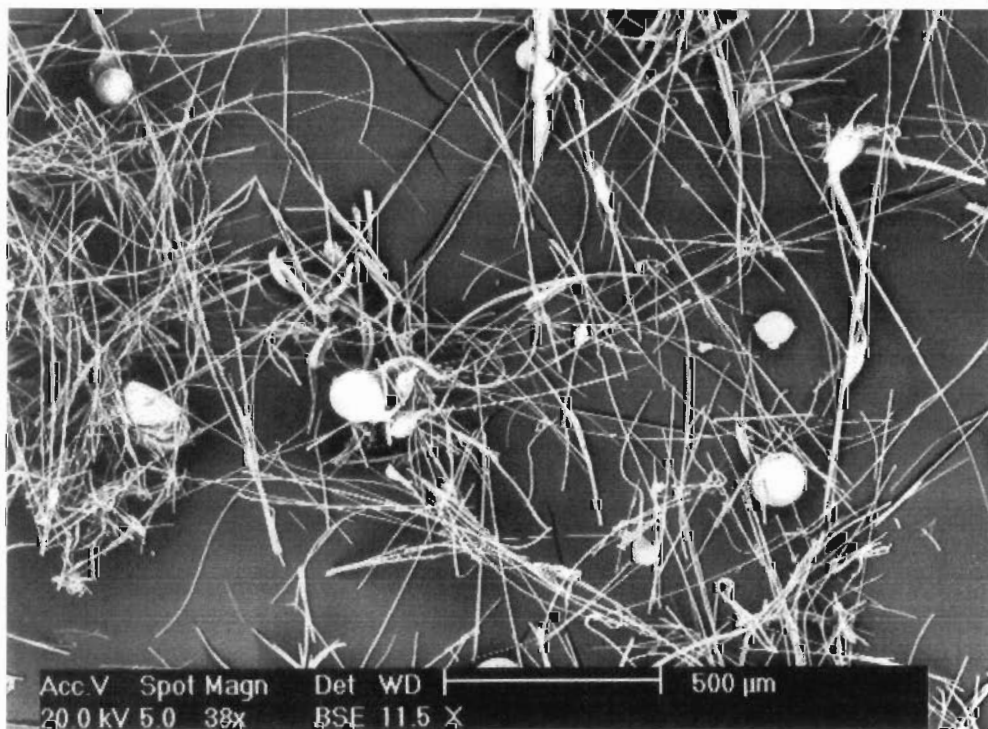


Bild 59: Mineralwolle-Fasern mit dem typischen Shot-Anteil (Kügelchen)

9.3 BAUSTELLENMESSUNGEN BEI DER VERARBEITUNG

9.3.1 Stäube

Die Ergebnisse der Fein- und Gesamtstaubmessungen sind sehr unterschiedlich.

Die Gehalte an **Fein- (A-) Staub** variieren bei den Einblasdämmstoffen von 0,2 mg/m³ bis 14,5 mg/m³, bei manuell eingebauten Dämmstoffen bis 1,6 mg/m³.

Beim Befüllen der Einblasmaschine wurden Feinstaub-Konzentrationen zwischen 0,3 und 7,7 mg/m³ ermittelt.

Vier von insgesamt 22 Messungen liegen mit 7,7 bis 14,5 mg/m³ deutlich oberhalb des allgemeinen Staubgrenzwertes in Höhe von 6 mg/m³, an acht von insgesamt 22 Arbeitsplätzen liegen die Feinstaubkonzentrationen oberhalb des zur Zeit in der Diskussion befindlichen Feinstaubgrenzwertes in Höhe von 1,5 mg/m³.

Die emittierten **Gesamt- (E-) Staubanteile** liegen bei den Einblasdämmstoffen zwischen 3,0 und 140 mg/m³, beim manuellen Einbau zwischen 1,75 und 38,2 mg/m³. Der höchste gemessene Wert (215,5 mg/m³) wurde allerdings nicht beim Einbau der Dämmstoffe, sondern beim Befüllen der Einblasmaschine gemessen.

Für Holzstäube gibt es einen eigenen Grenzwert in Höhe von 2 mg/m³ einatembaren Staub, so dass an diesem Arbeitsplatz der gültige Grenzwert um mehr als das 100-fache überschritten wurde. Alle Messungen beim Verarbeiten von Holz-Dämmstoffen lagen, teilweise vielfach, über dem zulässigen Grenzwert.

Vergleicht man die erhaltenen Werte mit dem in der Diskussion befindlichen Grenzwert für Gesamtstaub in Höhe von 4 mg/m³, dann übersteigen die Gesamtstaubkonzentrationen an 13 von 15 Arbeitsplätzen diesen Grenzwert bis zum Faktor 35-fach, das Befüllen der Einblasmaschine mit Holzdämmstoffen liegt mehr als 50-fach über dem diskutierten Grenzwert.

Entscheidend für die freigesetzten Staubkonzentrationen erscheint die Art Verarbeitung sowie das „Handling“, also der richtige Umgang mit Werkzeug, Einblasmaschinen und Zubehör. Diese Hypothese stützt sich auf folgende Daten:

Die höchste Fein- (A-) Staubkonzentration wurde beim Einblasen von Zellulosedämmstoff (CWA) in Wandelemente gemessen. Bei diesem Einblasvorgang funktionierte die (kabellose) Abschaltung der Einblasmaschine nicht richtig. Das Dämmstoffmaterial spritzte öfters aus der Einblasöffnung heraus.

Beim Einblasen von Holzdämmstoff (Emfa-Zell) in Dach- und Wandelemente wurde Fein- (A-) Staubgehalte bis zu $9,3 \text{ mg/m}^3$ und Gesamt- (E-) Staubgehalte bis zu $125,8 \text{ mg/m}^3$ festgestellt. Auch bei diesen Einblasvorgängen spritzte der Dämmstoff aus dem gefüllten Element heraus.

Demgegenüber stehen die Einblasvorgänge mit Isofloc-L und Termoträ, also ebenfalls Zellulose- und Holzdämmstoffe, welche ebenfalls in vorbereitete Elemente eingeblasen wurden. Mit Fein- (A-) Staubkonzentrationen zwischen $0,3$ und $0,5 \text{ mg/m}^3$, sowie Gesamt- (E-) Staubkonzentrationen zwischen $3,0$ und $17,6 \text{ mg/m}^3$ wurde bei diesen Einbauarbeiten wesentlich weniger Staub freigesetzt. Eingeblasen wurden diese Dämmstoffe von einer routinierten Fachfirma, welche seit Jahren diese Dämmstoffe verarbeitet.

Bei manuellen Einbautätigkeiten liegen, bis auf eine Ausnahme, die Feinstaubkonzentrationen deutlich unter 1 mg/m^3 . Die Ausnahme bildet die Verlegung von Kokos-Estrichdämmplatten. Die erhöhte Feinstaubkonzentration erklärt sich durch die Art der Verarbeitung. Die Dämmplatten wurden mit einer – baustellentypischen – Kreissäge zugeschnitten.

Zum Vergleich der gewonnenen Ergebnisse wurde der Einbau von Mineralwolle-Matten als Zwischensparrendämmung messtechnisch begleitet. Sowohl die Fein- (A-) Staubkonzentration ($0,6 \text{ mg/m}^3$) als auch die Gesamt- (E-) Staubkonzentration ($9,8 \text{ mg/m}^3$) liegen im Bereich der weiteren manuellen Einbauarbeiten

Die Staubkonzentrationen beim Einbau von Baumwolle müssen differenziert betrachtet werden. Die verarbeitende Firma hatte keine Erfahrung mit dem Einbau dieses Dämmstoffes. Da sie große Schwierigkeiten mit dem Zuschneiden der Matten hatten, wurde in der Messzeit sehr wenig Material eingebaut. Dennoch wurde der Grenzwert für Baumwollstaub ($1,5 \text{ mg/m}^3$ einatembarer Staub) überschritten.

Da die untersuchten Arbeitsvorgänge, Einbaumengen und Einbaumethoden stark voneinander abweichen und nur schwer miteinander vergleichbar sind, werden im folgenden Abschnitt die Ergebnisse auf 1 m^3 eingebauten Dämmstoff umgerechnet. Diese Zahl gibt an, wieviel Staub (in mg/m^3) beim Einbau von 1 m^3 Dämmstoff freigesetzt wird:

Dämmstoff	Einbaustelle, -methode	Mess- platz	Staubfraktion				
			Fein- (A-) Staub	Gesamt- (E-) Staub	Thorakal- Staub	Tra.-Bron.- Staub	N.-R.-K.- Staub
			Staubkonzentration [mg/m ³]				
Einblasdämmstoffe							
Zellulose	Befüllen, Wandelemente	1	14,5	49,6			
	CSO-Verfahren	2	4,0	140,9			
	offen aufblasen	3	1,9	36,5			
	Befüllen, Dachelemente	4	0,4	3,0			
	offen aufblasen	5	12,5	44,5	26,3	13,8	27,2
Holz	Dach, personenbezogen	6a	0,4	17,6	2,0	1,6	15,6
	Befüllen d. Blasmuschine	6b	0,3	18,2	1,9	1,7	16,2
	Dach, stationär	6c	0,2	4,0	0,9	0,7	3,1
	Wand	7a	2,8	63,9	5,2	2,5	58,7
	Dach	7b	9,3	125,8	14,3	5,0	111,6
	Befüllen d. Blasmuschine	7c	7,7	215,5	26,3	18,6	189,2
Manueller Einbau							
Zellulose- Platten	Schneiden m. Alligator	8a	0,1	8,0	0,4	0,4	7,6
	Bandsäge m. Absaugung	8b	0,0	4,4	0,1	0,1	4,3
	vorgefertigte Elemente	8c	0,1	4,5	0,8	0,7	3,7
Kokos	Bodendämmung	9	1,6	9,9			
Schafwolle	Deckendämmung	10	0,1	38,2	1,7	1,6	36,5
	Wand/Dach	11	0,5	24,7	0,7	0,2	23,9
Baumwolle	Deckendämmung	12	0,5	1,8			
Flachs	Wand	13	0,2	11,8	0,4	0,2	11,4
	Deckendämmung	14	0,4	12,8	0,7	0,3	12,1
Mineral- wolle	Zwischensparren- dämmung	15	0,6	9,8	1,0	0,3	8,7

Tabelle 5: Freigesetzte Stäube beim Einbau von NOFD

Dämmstoff	Einbaustelle, -methode	Mess- platz	Staubfraktion			
			Fein- (A-) Staub	Thorakal- Staub	N.-R.-K.- Staub	Gesamt- (E-) Staub
			Staubkonzentration [%]			
Einblasdämmstoffe						
Zellulose	Befüllen, Wandelemente	1	29,3			100,0
	CSO-Verfahren	2	2,8			100,0
	offen aufblasen	3	5,2			100,0
	Befüllen, Dachelemente	4	12,0			100,0
	offen aufblasen	5	28,1	59,1	61,1	100,0
Holz	Dach, personenbezogen	6a	2,5	11,5	88,5	100,0
	Befüllen d. Blasma-schine	6b	1,5	10,6	89,4	100,0
	Dach, stationär	6c	4,4	22,9	77,1	100,0
	Wand	7a	4,4	8,2	91,8	100,0
	Dach	7b	7,4	11,3	88,7	100,0
	Befüllen d. Blasma-schine	7c	3,6	12,2	87,8	100,0
Manueller Einbau						
Zellulose- Platten	Schneiden m. Alligator	8a	1,2	5,4	94,6	100,0
	Bandsäge m. Absaugung	8b	0,7	2,3	97,7	100,0
	vorgefertigte Elemente	8c	1,6	16,7	83,3	100,0
Kokos	Bodendämmung	9	15,8			100,0
Schafwolle	Deckendämmung	10	0,3	4,4	95,6	100,0
	Wand/Dach	11	2,0	2,9	97,1	100,0
Baumwolle	Deckendämmung	12	28,0			100,0
Flachs	Wand	13	1,7	3,0	96,9	100,0
	Deckendämmung	14	3,1	5,4	94,5	100,0
Mineral- wolle	Zwischensparren- dämmung	15	6,1	10,7	89,1	100,0

Tabelle 6: Prozentuale Staubverteilung

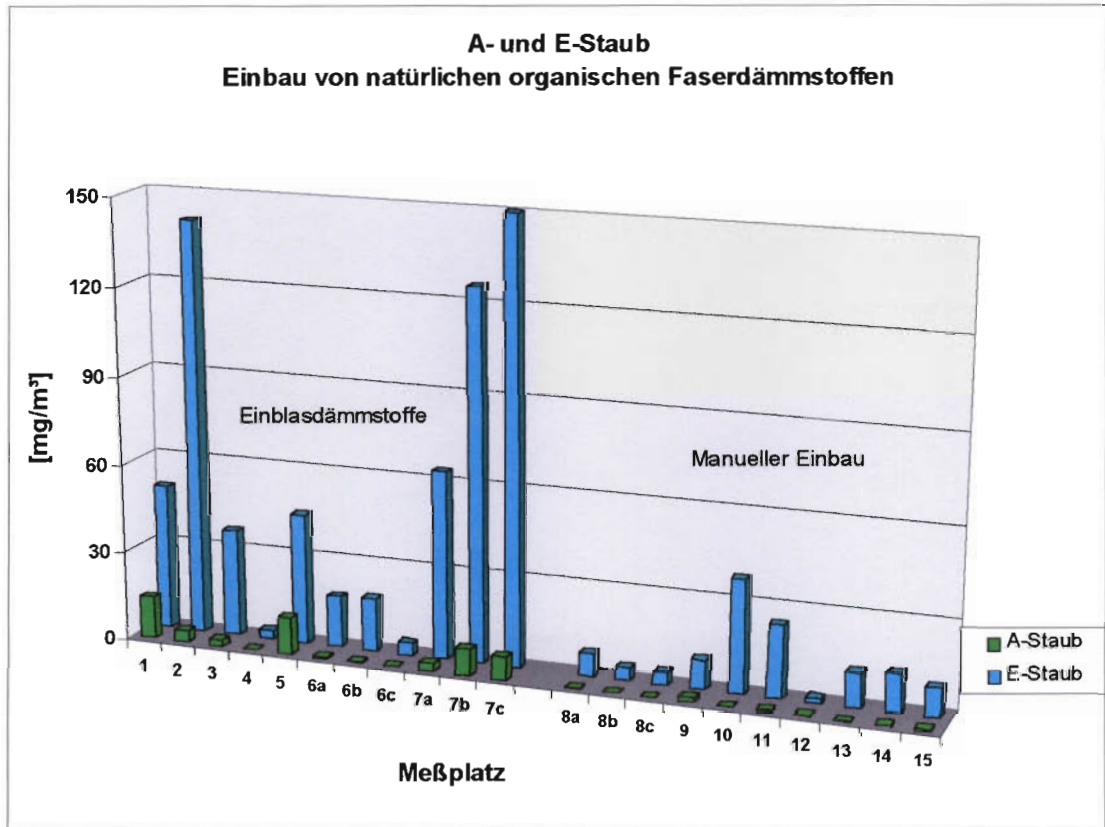


Abbildung 4: A- und E-Staub-Konzentrationen beim Einbau von NOFD

9.3.2 Fasern

Die im Folgenden angeführten Faseranzahlkonzentrationen beziehen sich immer – wenn nicht anders erwähnt – auf organische „who-Fasern“ ($L \geq 5 \mu\text{m}$, $D < 3 \mu\text{m}$, $L:D \geq 3:1$). Darüber hinaus wurden auch anorganische Fasern und Fasern mit Durchmessern $> 3 \mu\text{m}$ mit ausgewertet.

Probleme bei den Probenahmen auf Fasern:

- Durch statische Aufladung werden Partikel nicht auf das Filter abgeschieden, sondern „kleben“ an den Monitoren,
- bei staubintensiven Tätigkeiten sind die Filter selbst bei kürzesten Gerätelaufrufen überbelegt und können teilweise nicht ausgewertet werden,
- bei nachlaufenden Probenahmen können die Ergebnisse durch Nebenarbeiten beeinträchtigt werden.

Probleme bei der Präparation und Auswertung auf Fasern:

- Die (leichten) organischen Fasern haften nur schlecht auf den Filtern. Insbesondere bei der Präparation können Fasern verlorengehen. Dies kann auf zwei Wegen erfolgen: Bei der manuellen Bearbeitung der Filter (schneiden, präparieren) können Fasern wegfliegen; bei einer nachträglichen Gold-Besputterung bzw. beim Einbringen der Probenhalter in das Rasterelektronenmikroskop können Fasern während der Evakuierung der Probenkammern abgesaugt werden.

Auf Grund der beschriebenen Probleme müssen die gewonnenen Ergebnisse als „Mindest-Zahlen“ angesehen werden.

Ergebnisse:

In Abhängigkeit von Material, Verarbeitungs- und Einbaumethode sind die Ergebnisse höchst unterschiedlich, personenbezogene Messungen ergaben immer höhere Faseranzahlkonzentrationen als stationäre Messungen.

Die Faseranzahlkonzentrationen variieren von 67.000 bis über 100 Mio. F/m³ (abgeschätzt). Im Gegensatz zu den Probenahmerichtlinien wurde das angesaugte Luftvolumen auf bis zu 0,005 m³ reduziert. Eine weitere Reduzierung erscheint nicht sinnvoll. Die niedrigsten Ergebnisse (unter 200.000 F/m³ bei personenbezogener und stationärer Messung) ergab der Einbau von Baumwolle-Matten, die mit einer Schere zugeschnitten und manuell in die Decke eingebaut wurden. Alle anderen Messungen ergaben Konzentrationen von über 1 Mio. F/m³. Dies ist zurückzuführen auf die Art der Verarbeitung, also das Einblasen, Aufblasen und Aufsprühen von Dämm-Material. Erstaunlich hohe Werte lieferte auch das manuelle Verlegen von Kokos-Dämmplatten als Trittschalldämmung (2,3 Mio. F/m³ bei stationärer und 6,7 Mio F/m³ bei personenbezogener Messung), welche auf das Zuschneiden mit einer (baustellenüblichen) Kreissäge zurückzuführen sind.

Dämmstoff	Einbaustelle, -methode	Mess- platz	WHO-Fasern				Fasern mit D > 3 µm	
			Organische Fasern	Sonst. anorg. Fasern	"Gips"- Fasern	Asbeste	Organische Fasern	Anorganische Fasern
			Faserkonzentrationen [F/m ³]					
Einblasdämmstoffe								
Zellulose	Befüllen, Wandelemente	1	37,9 Mio.	3,4 Mio.	0	0	1,7 Mio.	< 2,6 Mio.
	CSO-Verfahren	2	ca. 300 Mio.					< 5,7 Mio.
	offen aufblasen	3	6,5 Mio.	0	0	0	640 000	< 383 000
	Befüllen, Dachelemente	4	2,1 Mio.	0	0	0	104 000	< 124 000
	offen aufblasen	5	n. a.					
Holz	Dach, pers.-bez.	6a	236 000	12 400	0	0	62 100	< 37 300
	Wand	7a	136 700	24 800	0	0	97 000	< 37 300
	Dach	7b	372 800	24 800	0	0	248 500	< 74 500
	Befüllen der Blasmaschine	7c	124 260	0	0	0	223 660	< 37 300
Manueller Einbau								
Zellulose- Platten	Schneiden m. Alligator	8a	181 000	7 700	3 850	0	23 100	7 700
	Bandsäge m. Absaugung	8b	93 200	0	0	0	42 700	7 770
	vorgefertigte Elemente	8c	75 160	0	3 000	0	9 000	6 000
Kokos	Bodendämmung	9	1,7 Mio.	426 500	85 300	0	213 250	0
Schafwolle	Deckendämmung	10	n. a.					0
	Wand/Dach	11	224 000	0	0	0	24 800	24 800
Baumwolle	Deckendämmung	12	85 500	12 200	0	0	36 670	24 400
Flachs	Wand	13	186 400	12 400	37 300	0	24 850	12 400
	Deckendämmung	14	66 600	39 900	133 100	0	0	13 300
Mineral- wolle	Zwischensparren- dämmung	15	37300	74 500	3 730	0	0	74 500

n. a. = nicht auswertbar

Tabelle 7: Faseranzahlkonzentrationen bei stationären Arbeitsplatzmessungen

Dämmstoff	Einbaustelle, -methode	Mess- platz	WHO-Fasern				Fasern mit D > 3 µm	
			Organische Fasern	Sonst. anorg. Fasern	"Gips"- Fasern	Asbeste	Organische Fasern	Anorganische Fasern
			Faserkonzentrationen [F/m ³]					
Einblasdämmstoffe								
Zellulose	Befüllen, Wandelemente	1	n. a.					
	CSO-Verfahren	2	n. a.					
	offen aufblasen	3	39,4 Mio.	790 000	0	0	790 000	< 2,4 Mio.
	Befüllen, Dachelemente	4	9,5 Mio.	185 000	0	0	93 000	< 556 000
	offen aufblasen	5	n. a.					
Holz	Dach, pers.-bez.	6a	n. a.					
	Wand	7a	99 400	49 700	0	0	745 550	< 149 700
Manueller Einbau								
Zellulose- Platten	Schneiden m. Alligator	8a	601 000	54 000	0	0	69 350	< 46 200
	Bandsäge m. Absaugung	8b	93 200	0	15 500	0	15 500	< 46 200
	vorgefertigte Elemente	8c	111 000	31 700	0	0	0	7 700
Kokos	Bodendämmung	9	5,1 Mio.	326 500	0	0	1 034 000	7 770
Schafwolle	Deckendämmung	10	n. a.					6 000
	Wand/Dach	11	472 200	49 700	0	0	99 400	< 74 500
Baumwolle	Deckendämmung	12	174 000	0	24 850	0	74 550	< 74 500
Flachs	Wand	13	435 000	82 800	82 800	0	124 250	24 800
	Deckendämmung	14	146 100	49 700	323 000	0	24 800	24 400
Mineral- wolle	Zwischensparren- dämmung	15	0	62 100	0	0	0	13 300

n. a. = nicht auswertbar

Tabelle 8: Faseranzahlkonzentrationen bei personenbezogenen Arbeitsplatzmessungen

9.4 INNENRAUMBELASTUNGEN

Die Untersuchungen zu Innenraumbelastungen zeigen ein uneinheitliches Bild. Es gibt keinen generellen Trend zu höheren Faseranzahlkonzentrationen in der Raumluft nach dem Dämmstoff-Einbau (s. Abbildung 5).

Insbesondere vorangegangene Tätigkeiten, wie beispielsweise das Sägen von Holz (Messplatz 2) und Trockenbauarbeiten (Messplätze 6, 10 und 13), beeinflussen vorlaufende Messungen im starken Maße, während nachlaufende Messungen teilweise stark durch Strahlarbeiten (Messplatz 3) und Trockenbauarbeiten (Messplätze 4 und 14) zum Teil so stark beeinträchtigt wurden, dass die Filter wegen Überbelegungen nicht auswertbar waren.

Innenraumbelastungen - Organische Fasern

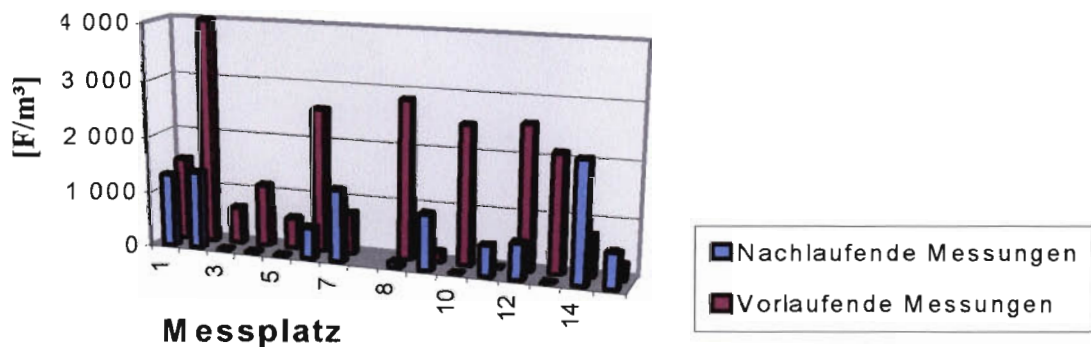


Abbildung 5: Faseranzahlkonzentrationen an organischen Fasern bei vor- und nachlaufenden Messungen

Dämmstoff	Messplatz	Vorlaufende Messungen				Nachlaufende Messungen			
		Organische Fasern	Sonstige anorganische Fasern	"Gips"-Fasern	Asbeste	Organische Fasern	Sonstige anorganische Fasern	"Gips"-Fasern	Asbeste
		Faserkonzentrationen [F/m³]							
Einblasdämmstoffe									
Zellulose	1	1 460	180	0	0	1 280	180	0	0
	2	27 900	1 175	1 680	0	1 370	0	0	0
	3	640	12 800	0	0	n. a.			
	4	1 100	640	0	0	n. a.			
	5	550	275	0	0	n. a.			
Holz	6	2 560	460	180	0	550	90	0	0
	7	730	460	0	0	1 280	275	0	0
Manueller Einbau									
Zellulose-Platten	8	2 830	0	0	0	90	0	0	0
Kokos	9	180	0	0	0	1 000	0	0	0
Schafwolle	10	2 470	90	274	0	n. a.			
	11	-				550	0	90	0
Baumwolle	12	2 560	275	275	0	640	90	0	0
Flachs	13	2 100	90	90	0	n. a.			
	14	730	275	90	0	2 160	3 180	9 980	0
Mineralwolle	15	275	0	0	0	640	90	180	0

n. a. = nicht auswertbar

Tabelle 9: Vor- und nachlaufende Messungen der Faseranzahlkonzentrationen

9.4.1 Auswirkungen auf die Nutzer

Nach Beendigung der Einbauarbeiten werden Baustellen in der Regel besenrein an die Nutzer übergeben. Nicht selten bleiben Reste und Verschnitt im Gebäude und werden von Nutzer „weiterverarbeitet“ bzw. entsorgt.

Bei Einblastätigkeiten fallen Reste nur in Form von aus den Einblasöffnungen herausgetriebenen Dämmstoff an. Diese Reste sind nach Beendigung der Tätigkeiten unbedingt aufzunehmen. Dies erfolgt am einfachsten durch Umkehrung der Saugrichtung der Einblasmaschine. Reste können so in die Blasmuschine zurückgesaugt werden.

Auf eine gründliche Absaugung ist unbedingt zu achten, da in der Regel die betroffenen Bereiche nicht feucht zu reinigen sind und sich Reste im Zuge des Baufortschritts im gesamten Gebäude verteilen würden.

Das Befüllen der Einblasmaschinen ist ein sehr staubintensiver Vorgang. Es muss unbedingt darauf geachtet werden, dass der Dämmstoff nicht großflächig die Umgebung der Blasmuschine verunreinigt, wie es beispielsweise durch Windböen erfolgen kann.

Die teilweise praktizierte Vorgehensweise, dass der Bauherr o. ä. die Einblasmaschine befüllt (ohne Atemschutz), darf nicht geduldet werden. Die Einblasmaschine darf nur von ausgebildeten und mit persönlicher Schutzausrüstung versehenen Personal bedient werden. Bei Nebentätigkeiten (beispielsweise Materialtransport) im selben Arbeitsbereich sind die gleichen persönlichen Schutzausrüstungen wie bei den Einbauarbeiten notwendig.

In diesem Zusammenhang weisen wir darauf hin, dass die Entwicklung staubarm arbeitender Einblasmaschinen unbedingt vorangetrieben werden sollte. Dies könnte beispielsweise durch eine automatische Befülleinrichtung incl. Absaugung erfolgen.

Messungen der Faser- und Staubkonzentrationen einen Tag nach Beendigung der Einbauarbeiten ergaben keine signifikant höhere Belastung als vor den Einbauarbeiten. Die Faser- und Staubkonzentrationen wurden maßgeblich von Nebentätigkeiten und anderen Gewerken bestimmt. Das „System Baustelle“ mit seinen vielen staubintensiven Arbeiten überlagert den Einfluss des eingebauten Dämmstoffes.

Aus der Praxis ist bekannt, dass Stäube in der Nutzungsphase aus Ritzen emittieren bzw. aus Decken rieseln können.

Grundsätzlich sollten **alle** eingebauten Dämmstoffe so dicht eingebaut werden, dass keine Abgaben von Stäuben, Fasern, gasförmigen Emissionen etc. an die Raumluft

stattfinden können. Dies gilt insbesondere für Konstruktionen, die sich im Laufe der Zeit verändern (bewegen) können, wie beispielsweise Holzkonstruktionen oder schwingende Konstruktionen.

Bei diesen Konstruktionen, in Verbindung mit eingeblasenen Dämmstoffen ist auf eine sorgfältige Ausführung der Abdichtung, mit Reserven für mögliche Bewegungen, großen Wert zu legen.

Einbau von vorkonfektionierten Dämmstoff-Matten und -Platten:

- Staubarm arbeiten
- Wenn möglich, Außenfenster/-türen öffnen, für gute Belüftung sorgen
- Im Arbeitsbereich nicht Essen, Trinken, Rauchen
- Material nicht werfen
- Dämmstoffe erst am Einbauort auspacken
- Schneiden mit staubarmen Methoden: Messer, Schere, Säge mit Absaugung, keinesfalls baustellentypische Kreissägen verwenden
- Produktreste (Verschnitt, Reste, Verpackungen) direkt am Entstehungsort in geeignete Behälter (z. B. Plastiksack) sammeln.
Beim Verschließen die enthaltene Luft nicht herausdrücken

Persönliche Schutzmaßnahmen:

- **Atemschutz:**
Empfohlen wird die Benutzung von Halb-/Viertelmasken mit P1-Filter bzw. partikelfiltrierende Halbmaske FFP1
- **Augenschutz:**
Bei Überkopfarbeiten und Staubentwicklung Schutzbrille tragen
- **Körperschutz:**
Langärmelige, geschlossene, locker sitzende Arbeitskleidung sowie Schutzhandschuhe aus chromatfreiem Leder oder Kunststoff mit Gewebeeinlagen tragen

Einbau von losen Dämmstoffen im Schütt- und Blasverfahren

a. Einbauvorgang:

- Arbeitsbereich abtrennen (z. B. durch Folienvorhang an den Türen)
- Im Arbeitsbereich nicht Essen, Trinken, Rauchen
- Wenn möglich, Außenfenster/-türen öffnen, für gute Belüftung sorgen
- Im Arbeitsbereich nicht Essen, Trinken, Rauchen
- Nach Arbeitsende und vor jeder Pause Hände gründlich reinigen, stark verunreinigte Kleidung wechseln
- Abfälle (Reste) gründlich aufsaugen (in Blasmaaschine zurücksaugen oder mit Staubsauger mind. Kat. „C“ – in Zukunft „M“ - aufnehmen)
M = Staubklasse „mittel“ nach [10]
- Verpackungsmaterial direkt am Entstehungsort in geeignete Behälter (z. B. Plastiksack) sammeln.
Beim Verschließen die enthaltene Luft nicht herausdrücken

b. Befüllen der Blasmaaschine:

- Witterungsgeschützt, insbesondere windgeschützt, aufstellen (Fahrzeug, separater Raum, Garage usw.)
- Im Arbeitsbereich nicht Essen, Trinken, Rauchen
- Dämmstoff dosiert (aufgelockert) zugeben
- Bei Verstopfung der Maschine Notausschalter betätigen
- Verpackungsmaterial direkt am Entstehungsort in geeignete Behälter (z. B. Plastiksack) sammeln.
Beim Verschließen die enthaltene Luft nicht herausdrücken
- Abfälle (Reste) gründlich aufsaugen (in Blasmaaschine zurücksaugen oder mit Staubsauger mind. Kat. C aufnehmen)

Persönliche Schutzmaßnahmen:

- **Atemschutz:**
Empfohlen wird die Benutzung von gebläseunterstützten Atemschutzhauben (Air-Stream-Helm), partikelfiltrierende Halbmasken FFP2 bzw. Halb-/Viertelmasken mit P2-Filter für die Tätigkeiten Ein-/Aufblasen und Befüllen der Blasmaaschine
- **Augenschutz:**
Bei Halb- und Viertelmasken Schutzbrille tragen
- **Körperschutz:**
Einweg-Schutzanzüge oder langärmelige, geschlossene, locker sitzende Arbeitskleidung sowie Schutzhandschuhe aus chromatfreiem Leder oder Kunststoff mit Gewebeeinlagen tragen

Nutzer der Gebäude

Verhalten während Schütt- oder Blasarbeiten

- Arbeitsbereiche während der Arbeiten nicht ohne Atemschutz betreten
- Im Arbeitsbereich nicht Essen, Trinken, Rauchen
- Kinder von den Arbeitsbereichen fernhalten
- alle anfallenden Reste von der ausführenden Firma sorgfältig entfernen lassen, nicht trocken kehren
- Nach Abschluss der Arbeiten Bereich gründlich reinigen (lassen). Möglichst feucht reinigen.
- auf eine sorgfältige Ausführung der Abdichtungen achten (incl. Zugabe für mögliche Bewegungen, Schwingungen etc.)

Nutzer der Gebäude

Verhalten nach Abschluss der Schütt- oder Blasarbeiten

- Bei nachträglichen Arbeiten an der Dämmung bzw. bei Nachdämmungen Einrichtungsgegenstände entfernen oder mit Folie schützen
- dabei Staubverfrachtungen in angrenzende Bereiche vermeiden, z. B. Öffnungen mit Folie abkleben und
- Bereiche nach Abschluss der nachträglichen Arbeiten gründlich feucht reinigen
- in der Nutzung auftretende Fugen, Ritzen oder andere Undichtigkeiten sorgfältig abdichten (lassen)

Nachfolgende Gewerke

- Räume erst nach Beendigung der Dämmarbeiten und gründlicher Reinigung betreten

10. DAS STAUBMESSGERÄT RESPICON TM-3F

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist das Staubmessgerät Respicon TM-3F angeschafft worden,

Das Respicon ist ein neu entwickeltes Verfahren zur Messung von luftgetragenen Stäuben, insbesondere gesundheitsgefährdenden Stäuben am Arbeitsplatz. Da nach der DIN/EN 481 [8] die drei physiologisch relevanten Staubfraktionen, einatembare, thorakale und alveolare Fraktion, zu bestimmen sind, wurde am Fraunhofer-Institut Toxikologie und Aerosolforschung (Fh-ITA) in Hannover das Respicon entwickelt [9]. Das Respicon wird von der Fa. Hund in Wetzlar gebaut und vertrieben.

An Messverfahren, die zur gewerbehygienischen Staubüberwachung eingesetzt werden, sind besondere Anforderungen zu stellen. Die Messgeräte sollen zu einer besseren Charakterisierung eines Arbeitsplatzes oder Arbeitsbereichs dienen. Bezüglich der Staubexposition eines Beschäftigten sollen sie sowohl stationär einsetzbar sein als auch die individuelle Belastungssituation der beschäftigten Person erfassen können. Dies ist in den meisten Fällen nur durch eine personenbezogene Messung zu realisieren. Aus diesem Grund muss ein solches Gerät klein, leicht und robust sein, um nicht den normalen Arbeitsgang zu behindern. Des Weiteren ist eine einfache Handhabung des Messgerätes wichtig, um auch eine fehlerfreie Funktion unter den in der Praxis auftretenden „Baustellenbedingungen“ zu gewährleisten. Aus den oben genannten Forderungen und Überlegungen heraus wurde das Respicon entwickelt.

Das Respicon ist mit nur einem Probenahmekopf in der Lage, in einem Messgang bis zu fünf physiologisch relevante Fraktionen zu bestimmen. Die einatembare, die thorakale und die alveolengängige Fraktion werden nach dem gravimetrischen Prinzip aus der auf Filtern gesammelten Staubmasse bestimmt. Die Nasen-Rachen-Kehlkopf und die tracheo-bronchiale Fraktion ergeben sich mittels Differenzbildung aus den bereits genannten Fraktionen.

10.1 AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE

Zur Größenklassierung der angesaugten Staubpartikeln wird ein zweistufiger virtueller Impaktor genutzt. Der Virtualimpaktor funktioniert auf gleiche Weise wie ein herkömmlicher Impaktor und trennt die Partikeln nach ihrem aerodynamischen Durchmesser auf. Dem aerodynamischen Durchmesser eines Teilchens beliebiger Form und Dichte wird ein Durchmesser einer Kugel mit der Einheitsdichte von 1000 kg/m^3 zugeordnet, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit in ruhender oder laminar strömender Luft besitzt.

Das Trennverfahren beruht auf den unterschiedlichen Massenträgheitskräften der Partikeln und ist in erster Linie abhängig von der Größe und der Dichte jedes einzelnen Partikels. Durch die abrupte Strömungsumlenkung werden Fein- und Grobstaub voneinander getrennt, bleiben jedoch luftgetragen. Die Strömungsumlenkung wird durch eine Aufteilung des angesaugten Volumenstroms in einen großen und einen wesentlich kleineren Volumenstrom erzeugt. Die Konzentration der Feinstaubfraktion bleibt im abgelenkten Volumenstrom \dot{V}_F und im geradlinig durchgehenden Volumenstrom \dot{V}_A gleich, jedoch ist die Konzentration der Grobstaubfraktion im Strom \dot{V}_A um den Faktor

$\alpha = \frac{\dot{V}_E}{\dot{V}_A}$ im Vergleich zum Ansaugvolumenstrom \dot{V}_E angereichert. Da die Stäube nach

erfolgter Klassierung luftgetragen bleiben, kann man einen zweiten virtuellen Impaktor am Hauptstrom \dot{V}_A in Reihe schalten. Auf diese Weise ist es möglich, mehrere bestimmte Trennkorndurchmesser im Nebenstrom \dot{V}_F zu erreichen und den Grobstaub \dot{V}_F zu erreichen und den Grobstaub weiter anzureichern. Diese Funktionsweise ist charakteristisch für den virtuellen Impaktor, wie er schematisch in Abbildung 6 dargestellt ist. Die größeren Partikeln, die größer sind als die Trenngrenze der Impaktorstufe vorgibt, werden im durchgehenden Hauptstrom angereichert. Der Faktor der Aufkonzentrierung ergibt sich aus dem Verhältnis von Hauptstrom zu Nebenstrom.

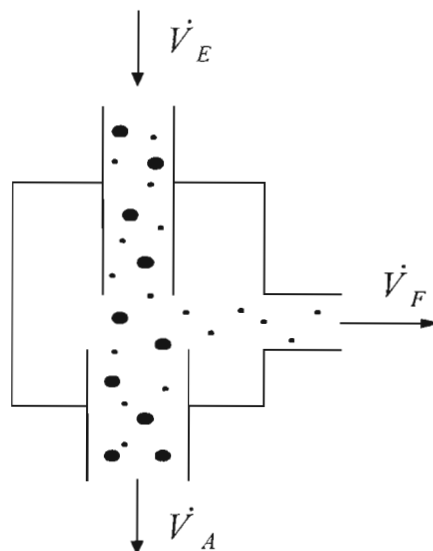


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines virtuellen Impaktors

Der aerodynamische Äquivalentdurchmesser d_{ae}^{50} , bei dem die Trennkurve einen Wert von 50 % annimmt, also 50 % der Partikeln größer und 50 % kleiner sind als der vorgegebene Trennkorndurchmesser, ist in erster Linie von der Reynoldszahl Re , der Staupunktströmung und dem Durchmesser D der Einlaufdüse abhängig. Um eine grobe Dimensionierung eines virtuellen Impaktors vornehmen zu können, kann für Trennkorndurchmesser $> 2 \mu\text{m}$ folgende Gleichung verwendet werden [9]:

$$d_{ae}^{50} = 3 \cdot D \sqrt{\frac{Stk^{50} f(Re, \alpha) \rho_g}{Re \rho_0}}$$

Hierin bedeuten:

D Durchmesser der Einlaufdüse

Stk^{50} kritische Stokeszahl nach Marple im Bereich von 0,6 bis 0,9

Re Reynoldszahl

ρ_g Dichte des Trägergases

ρ_0 Einheitsdichte von 1000 kg/m^3

Hier soll jedoch nicht näher auf diese Formel eingegangen werden, da im verwendeten Messsystem keine dieser Variablen beeinflusst werden kann.

Die genaue Lage und Form der Kurve, welche die Trenncharakteristik wiedergibt, muss in Experimenten ermittelt werden.

Wichtig ist, dass generell bei Staubmesstechniken beachtet werden muss, dass die Messtechnik bzw. deren physikalisches Messprinzip einen Einfluss auf das Messergebnis hat. Eine Messtechnik, die das aerodynamische Verhalten der Staubpartikeln ausnutzt, wird z.B. als Messergebnis eine Partikelgröße ergeben, die das aerodynamische Verhalten beschreibt. Man spricht hier von Äquivalentgrößen; diese geben immer die Größe eines isometrischen Partikel mit dem gleichen Verhalten im untersuchten Effekt wieder. Hierbei kann natürlich der aerodynamische Äquivalentdurchmesser eines Staubteilchens erheblich von beispielsweise einer optischen Äquivalentgröße abweichen, dies gilt insbesondere für faserförmige Partikeln.

Bei dem Probenahmegerät Respicon erfolgt die Abtrennung der jeweiligen Grobkornanteile in den Stufen 1 und 2. Die Trennkorndurchmesser der beiden Stufen liegen bei $4 \mu\text{m}$ in der ersten Stufe und bei $10 \mu\text{m}$ in der zweiten, dabei folgt die Sammeleffizienz näherungsweise der Definitionskurve aus der DIN/EN 481. Somit können aus den abgeschiedenen Staubfraktionen gravimetrisch die Massen m_1 , m_2 und m_3 , die über die Sammelzeit t gemittelten Konzentrationen an der alveolengängigen, der thoraxgängigen und der einatembaren Fraktion, ermittelt werden.

10.2 GERÄTEAUFBAU DES RESPICON

Im Respicon sind zwei virtuelle Impaktoren in Reihe geschaltet.

Der angesaugte Gesamtvolumenstrom \dot{V}_E von 3,11 l/min wird in die drei Teilvolumenströme $\dot{V}_{F1} = 2,66$ l/min, $\dot{V}_{F2} = 0,33$ l/min und $\dot{V}_{F3} = 0,11$ l/min aufgeteilt. Die in den einzelnen Luftströmen getragenen Partikeln werden auf Filter abgeschieden und darauf gesammelt. Die Volumenstromaufteilung wird mittels Kapillardrosseln mit einem Druckabfall von jeweils 4 kPa erzielt.

Das Gerät besteht in seiner einfachsten Ausführung aus der Sammeleinheit und der separaten Sampler-Pumpe. Die in Abbildung 7 dargestellte Sammeleinheit besteht aus einem Mantelteil, der die Drosselkapillaren zur Volumenstromaufteilung beinhaltet und als Aufnahme der drei Bauteile dient, die den virtuellen Impaktor bilden. Jedes dieser Impaktorbauteile nimmt zusätzlich eine Filterkassette auf. Über einen rotationssymmetrisch und konisch zulaufenden Probenahmekopf, der zuoberst als Abschlusselement auf das Impaktorpaket aufgesetzt ist, wird die Probenluft in das Gerät eingesaugt. Durch die Bauform des Probenahmekopfes soll der Staub allmählich umgelenkt werden, um mit der nötigen Fokussierung in vertikaler Richtung auf den virtuellen Impaktor zu gelangen. Dabei muss eine vorzeitige Fraktionierung unter dem Einfluss der Zentrifugalkraft an der Wand des inneren Konus verhindert werden.

Der Einlasskopf mündet in der ersten Trennstufe des Impaktors. Die jeweils größeren Volumenströme der beiden Stufen werden konzentrisch über ein das innere Impaktorrohr umgebendes, in der Mitte gelochtes Filter abgesaugt. Die Filter sind in der Regel Glasfaserfilter mit einem Durchmesser von 37 mm. Die Filter werden zusammen mit den bekannten BIA-Transportkassetten in die entsprechende Aufnahme eingelegt. Die Absaugung der Luft geschieht über eine Fritte, die unterhalb des jeweiligen Filters sitzt.

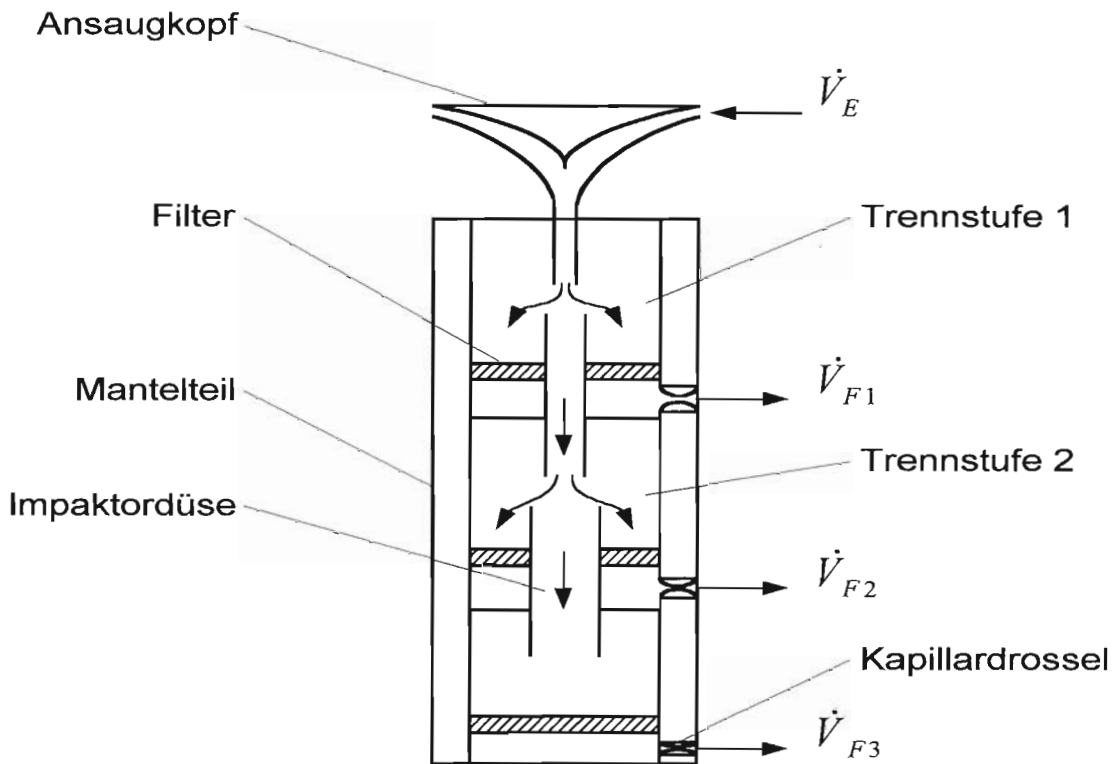


Abbildung 7: Querschnittszeichnung des RESPICON

10.3 BEWERTUNG DES PROBENAHMEGERÄTES RESPICON

Im Verlauf der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Arbeitsplatzmessungen beim Umgang mit faserförmigen Stäuben sind im Praxis-Einsatz des Gerätes verschiedene Stärken und Schwächen des Messsystems ersichtlich geworden. Diese Vor- und Nachteile sollen im Folgenden beschrieben werden.

10.3.1 Filter

Bei den ersten gravimetrischen Auswertungen, die im Vorfeld der eigentlichen Messreihen stattfanden, ist aufgefallen, dass bei kurzer Beaufschlagung, d.h. geringer Staubbelastung, die Glasfaserfilter leichter wurden als vor der Probenahme. Dieses paradoxe Ergebnis konnte wiederholt festgestellt werden, obwohl das Äquilibrierungsverfahren im

Wägeraum durchgeführt wurde. Die ungewöhnliche Massendifferenz der Filter wurde durch Blindwertfilter systematisch untersucht. Hierzu wurden die im Durchschnitt 37 mm abmessenden Filter ausgewogen und anschließend in die Filterträger (BIA-Filterkapseln) und dann in das Respicon eingesetzt. Ohne einen Luftvolumenstrom durch die Filter zu saugen, wurden die Filter wieder entnommen und zurückgewogen. Es wurden Massenverluste von bis zu 0,32 mg ermittelt.

In Abbildung 8 ist der Verlauf der Wägungen in einzelne Arbeitsschritte unterteilt dargestellt. Es wird ersichtlich, dass zum einen das Einsetzen der Filter in die Filterkassette und zum anderen das Einsetzen in das Respicon zu Verlusten der Massen führte. Dies ist auf entstehenden Filterbruch und durch Abrieb der Filter im Respicon zurückzuführen.

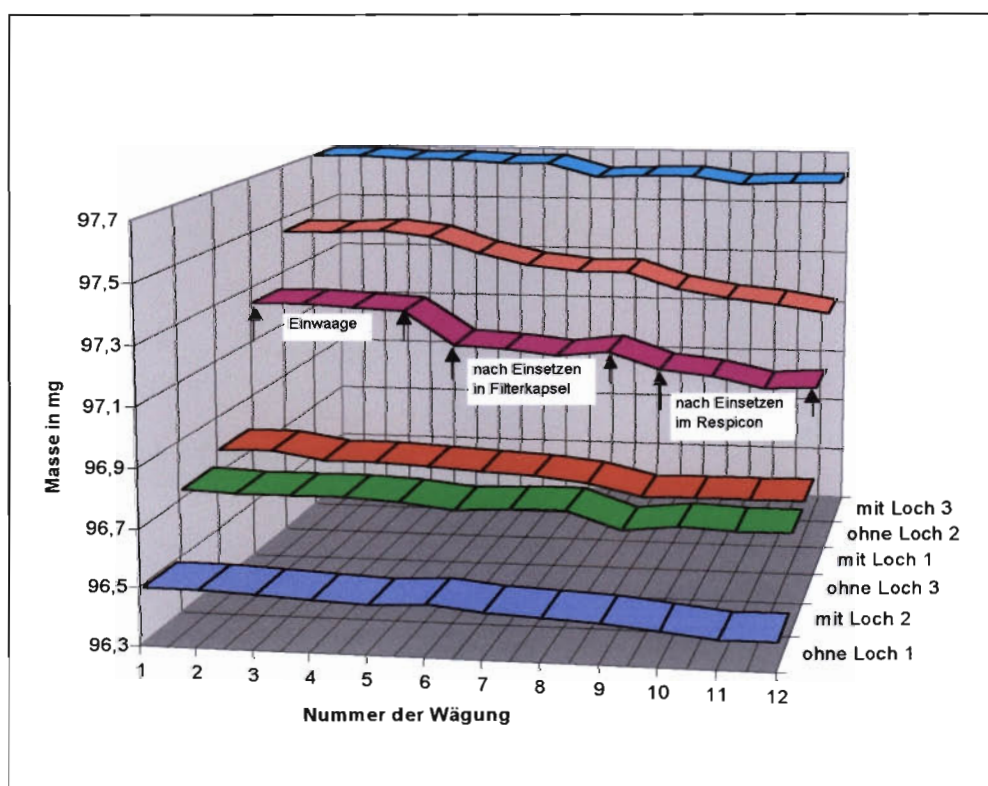


Abbildung 8: Massenverlust der 37 mm-Glasfaserfilter durch „Filterbruch“ und Materialabrieb beispielhaft an sechs Messungen mit und ohne Zentrallochung der Filter dargestellt

Signifikant ist der festgestellte Unterschied der zentral gelochten zu den ungelochten Filtern. Die gelochten Filter müssen beim Einsetzen in das Probenahmegerät vollkommen zentriert über die Impaktordüse geschoben werden. Liegt das Filter etwas exzentrisch in der Filterkassette, kommt es zu einem Materialabrieb des Filters an der Impaktordüse des Respicon. Laut Bedienungsanleitung für das Respicon TM, ist aus diesem Grund folgendermaßen zu verfahren: „Es ist auf zentrierten Sitz der Filter über den Düsen zu achten. Dazu müssen die Filterkassetten in die Filterkassettenaufnahme gelegt werden. Dann werden die Filter über den Düsen zentriert. Danach wird die Filterkassette mit ihrem Oberteil verschlossen.“

Die beschriebene Vorgehensweise ist für den Betrieb des Gerätes in der Praxis jedoch zu umständlich; man benötigt beispielsweise einen Schraubendreher oder eine abgeflachte Pinzette, um sehr fest sitzende Filterkapseloberteile zu lösen. Zudem wurde gelegentlich bei der Entnahme der belegten Filter ein Abrieb des Glasfasermaterials beobachtet.

Das Problem der Zentrierung ist bei den Entwicklern des Gerätes bekannt. Aus diesem Grund werden am Fraunhofer Institut Toxikologie und Aerosolforschung (Fh-ITA) in Hannover, dem Sitz der Entwicklungsgruppe des Probenahmegerätes um Dr. Koch, 38 mm-Filter und nicht die üblichen 37 mm-Filter eingesetzt. Durch den etwas größeren Durchmesser der Filter kommt es zu einer selbstständigen Zentrierung in der BIA-Filterkapsel. Auf mehrmalige Nachfrage bei der Fa. Hund in Wetzlar wurden und werden trotzdem alle verfügbaren Filtertypen für das Respicon den Durchmesser von 37 mm besitzen.

Durch sorgfältiges Abklopfen des anhaftenden Filterbruchs vor der eigentlichen Konditionierung der Filter konnte der mittlere Massenverlust auf ca. 0,043 mg gesenkt werden. Anhand dieser Angabe konnte, eine gravimetrische Nachweisgrenze des Verfahrens berechnet werden. Die Nachweisgrenze für Glasfaserfilter wurde mit 0,101 mg berechnet.

Der Entwickler sowie der Vertreiber des Gerätes machten keine Angaben über die Nachweisgrenzen. Die berechneten Nachweisgrenzen liegen im Verhältnis zu den untersuchten sehr leichten organischen Faserstäuben sehr hoch. Die geringe Dichte der Stäube in Verbindung mit dem relativ geringen Probenahmestrom, der sich noch auf drei Filter aufteilt, und eine begrenzte Probenahmezeit ergeben nicht immer befriedigende relative Nachweisgrenzen. Eine Verbesserung kann durch eine Erhöhung des durchgesetzten Probenahmestroms von derzeit 3,11 l/min auf ca. 8 l/min erreicht werden. Dies ist durch ein einfaches Auswechseln der Kapillardrosseln zu erreichen.

Im Rahmen der durchgeführten Messreihen ist versuchsshalber mit dem Einsatz zur Reduzierung auf eine Impaktorstufe gearbeitet worden. Jedoch lag zum Zeitpunkt der Messungen kein Formblatt zur Auswertung vor. Eine einfache Übertragung der Be-

rechnungsvorschriften bei der Konzentrationsbestimmung von dem zweistufigen Impaktor auf einen einstufigen Impaktor ist allerdings nicht ohne weiteres möglich. Beim Respicon ist die Ansauffizienz des Sammelkopfes im Vergleich zu Referenzgeräten (Gravikon VC 25) um ca. 33 % zu niedrig. Bei der Berechnung wird dieser Tatsache Rechnung getragen, indem die primär gesammelte Grobstaubfraktion mit dem Faktor 1,5 multipliziert wird.

Bei der Messung mit dem einstufigen Impaktor ist diese Korrektur nicht möglich, da keine thorakale Fraktion separat erfasst wird. Für Partikeln, die einen aerodynamischen Durchmesser von $> 10 \mu\text{m}$ bis $15 \mu\text{m}$ besitzen, ist die Sammeleffizienz nicht bekannt. Es ist sowieso die Frage zu stellen, warum der eigentliche Vorteil des Gerätes, nämlich die Fraktionierung von drei physiologisch wichtigen Korngrößen, in diesem Bereich umgangen werden soll, um die relativen Nachweisgrenzen zu verbessern.

10.3.2 Faserstaubspezifische Probleme

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden in erster Linie Messungen an Arbeitsplätzen vorgenommen, an denen teilweise mit hohen bis sehr hohen Konzentrationen von Faserstäuben zu rechnen war. Durch die Struktur dieser Faserstäube kam es im Verlauf einiger Messungen zu unterschiedlichen Problemen.

10.3.2.1 Zusetzen des Probenahmekopfes

Bei hohen Staubkonzentrationen kam es des öfteren zu einem Zusetzen des Ringspaltes am Ansaugkopf. An den im Kopf befindlichen Distanzstäben setzen sich zuerst einzelne Fasern fest. Ausgehend von diesen Fasern bildet sich durch das Ineinanderverhaken weiterer Fasern ein geschlossenes Staubvlies. Das entstandene Vlies wirkt in dem Ringspalt als eine Art Filter. Durch die Auswertung der aufgezeichneten Photometerdaten und einer zeitlich gleichgeschalteten Videodokumentation konnte nachgewiesen werden, dass bei zugeseztem Probenahmekopf das Verhältnis einatembarer Staub zu alveolengängigem Staub stark in Richtung des alveolengängigen Staubes verschoben wird. Nach dem Ausblasen des Probenahmekopfes steigt dann die Konzentration an einatembarem Staub wieder stark an. In Abbildung 9 ist die Stelle des Ausblasens eingezeichnet. Sehr deutlich ist der starke Anstieg der einatembaren Fraktion zu erkennen.

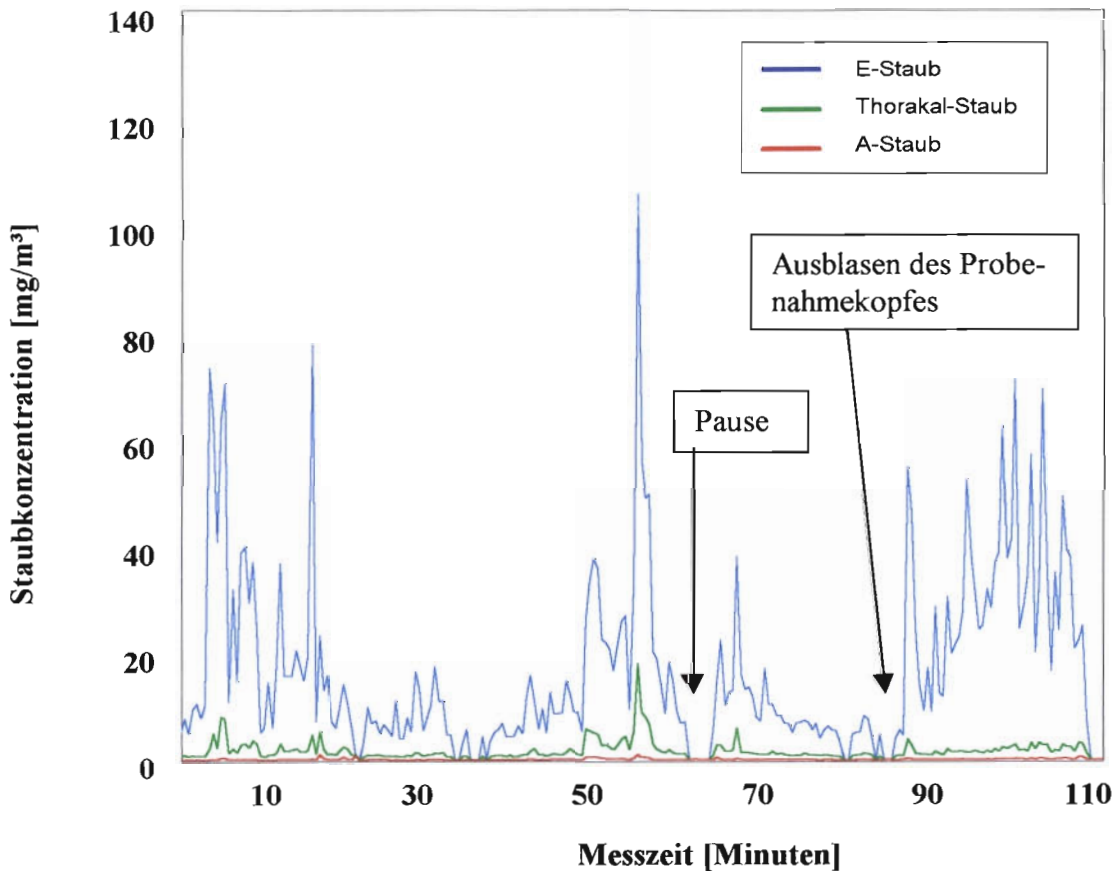


Abbildung 9: Darstellung der Konzentrationsverläufe beim Einblasen von Holzfaserdämmstoff in Dachelemente; der Zeitpunkt des Ausblasens des verstopften Probenahmekopfes ist gekennzeichnet

10.3.3 Aerodynamische Auftrennung

Bei den gravimetrischen Auswertungen einiger Messreihen sind sehr lange, mit bloßem Auge erkennbare Fasern auf dem obersten Filter, also in der alveolengängigen Fraktion, gefunden worden. Bei den Messungen, die beim Einblasen eines Dämmstoffes auf Holzbasis durchgeführt wurden, sind Fasern mit einer Länge von 1 mm bis 1,5 mm gefunden worden. Da auch bei anschließenden Messreihen immer wieder sehr lange Fasern in der alveolengängigen Fraktion entdeckt wurden, konnte eine Verunreinigung

durch z.B. hereingefallene Fasern beim Wechseln der Filterkassette ausgeschlossen werden.

Nach Angaben der Entwicklungsabteilung der Fa. Hund sind diese Fasern als alveolengängiger Staub zu behandeln, da sie aerodynamisch dieser Fraktion zugeordnet wurden. Wahrscheinlicher als die aerodynamische Aufteilung hingegen ist, dass diese sehr langen Fasern aufgrund von Strömungsturbulenzen ihre Ausrichtung im Luftstrom verändert haben und dann sozusagen querfliegend an der Impaktordüse hängengeblieben sind und sich auf dem entsprechenden Filter ablagerten. Dafür spricht auch die Lage der Fasern auf den Filtern direkt rings um die Impaktordüse. Diese sehr großen Fasern in der alveolengängigen Fraktion deuten auf eine starke Überbewertung dieser Fraktion des Staubanteils hin. Jedoch ist der gemessene Anteil bei den Zellulosefaserstäuben sehr gering. Dieser geringe Anteil läßt sich durch die starke Neigung dieser Fasern zur Agglomeratbildung erklären. Durch diese Agglomeratbildung wird der Feinkornanteil in der einatembaren Fraktion gebunden.

Um die aerodynamische Auftrennung von unterschiedlichen Faserstäuben mit Hilfe des Respicon untersuchen zu können, wurden in einem Versuchsaufbau unterschiedliche Zellulosefaserprodukte untersucht. Dabei liefen Respicon und Respicon TM-3F parallel. Das Respicon TM-3F wurde mit Nukleoporenfiltern aus Polycarbonat mit einem Porendurchmesser von 3 µm bestückt, um eine spätere rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der einzelnen Filter vornehmen zu können. Bei den Versuchen wurden mittelhohe Staubkonzentrationen, wie sie des öfteren auf Baustellenmessungen vorkommen, erzeugt. Untersucht wurden EMFA-Zell, Isofloc und eine unbehandelte Kokosfaser. Nach der Entnahme der Filterkapseln aus dem Staubsammelgerät sind augenscheinlich besonders große Fasern auf dem obersten Filter nicht aufgefallen. Eine Erklärung dürfte der fehlende direkte Kontakt des Sammelkopfes mit dem Fasermaterial sein, wie er in der Praxis z.B. durch Über-Kopf-Arbeiten bei personenbezogenen Messungen vorkommt. Während des Versuches gelangten hingegen ausschließlich luftgetragene Stäube an die Sammeleinheit.

10.3.4 Weitere Fehlerquellen

Das Respicon TM-3F ist mit Lichtfallen und einer lichtabsorbierenden schwarzen matten Schicht im Inneren beschichtet. Die Beschichtung ist notwendig, um vagabundierendes Streulicht möglichst schnell zu absorbieren, da es sonst zu Verfälschungen der Photometerdaten kommt. Häufig war nach Messungen ringförmig abgelagerter Staub auf der Unterseite der ersten Filterkassettenaufnahme, d.h. über der thorakalen Fraktion, zu erkennen. Die faserförmigen Partikeln werden allem Anschein nach durch Strömungen in der Messkammer verwirbelt und bleiben bei Kontakt mit der rauhen Oberfläche des Impaktors anhaften. Dieses Anhaften ist auf die Rauigkeit der Oberfläche und die Struktur der aufgesplissten Fasern zurückzuführen.

Statische Aufladung als Grund für die Anlagerungen kann weitestgehend ausgeschlossen werden, da die glatte Oberfläche des „kleinen“ Respicon diese Ablagerungen nicht aufweist. Je nach Fasermaterial und der Staubkonzentration des untersuchten Arbeitsplatzes ist unterschiedlich viel Material haften geblieben. Das anhaftende Material kann zum einen der gravimetrischen Auswertung nicht zugeführt werden und zum anderen wäre es bei hellen Stäuben, wie sie bspw. bei Holzfasern die Regel sind, denkbar, dass die Photometerwerte aufgrund der hellen Oberfläche durch Reflexion des Lichts verfälscht werden.

10.3.5 Vorteile des Probenahmeegerätes

Als besonders aufschlussreich erwies sich die vom BTU entwickelte on-line-Schwachstellenanalyse, die durch das Respicon TM-3F ermöglicht wird. Das Gerät ermöglicht *personenbezogene* Messungen in *drei* relevanten Fraktionen, die zusätzlich zur gravimetrischen Auswertung *photometrisch* gemessen werden. Bisher konnten Messgeräte, die vergleichbare Leistungen erbrachten, nur stationär betrieben werden. Der Vorteil dieser Staubmessungen liegt in der zeitparallelen Darstellung der von den Photometern ermittelten Messwerte und einer zeitgleichen Videoaufzeichnung. Jeder Arbeitsablauf kann exakt und einzeln bewertet werden. Kurzzeitige Expositionsspitzen, die bisher nicht erfasst werden konnten, aber die Ergebnisse der Staubmessungen nachteilig beeinflussten, werden erkannt und durch die Videoaufzeichnung den entsprechenden Tätigkeiten zugeordnet. Das Respicon TM-3F deckt den direkten Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung auf und quantifiziert die Staubkonzentrationen.

Durch die Auftrennung der Fraktionen nach DIN/EN 481 ist es möglich, Unterschiede in der Staubzusammensetzung, die z.B. durch Verstopfen des Ansaugkopfes, durch Querströmungen oder durch fremderzeugte Stäube verursacht wurden, zu erkennen und dementsprechend zu bewerten.

11. ZUSAMMENFASSUNG

11.1 EMITTIERTE FASERN UND STÄUBE

- Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass beim Einbau von organischen Dämmstoffen sehr hohe Konzentrationen an Stäuben und Fasern freigesetzt werden. Dabei scheint die Art der Verarbeitung der ausschlaggebende Faktor für die hohen Emissionen zu sein. Bei den Arbeitsabläufen: Einblasen, Aufblasen und Aufsprühen von Dämmstoffen sowie Schneiden von Dämmstoffmatten mit einer Kreissäge sind Faseranzahlkonzentrationen von deutlich über 1 Mio. F/m³ bis hin zu über 100 Mio. F/m³ gemessen worden. Beim Zuschneiden von vorkonfektionierten Dämmstoff-Matten und Platten mit einer Schere und manuellem Einbau wurden Konzentrationen von unter 200.000 F/m³ gemessen.

- Emittierte Stäube waren teilweise in sehr hohen Konzentrationen festzustellen. Beim Befüllen von Wandelementen gab es die größten Unterschiede bei der Staubfreisetzung. Die Messergebnisse liegen zwischen 0,4 und 14,5 mg/m³ A- (Fein-) Staub und zwischen 3,0 und 140,9 mg/m³ E-(Gesamt-) Staub. Diese starken Schwankungen sind hauptsächlich auf die Qualität der Einbauarbeiten und der Zuverlässigkeit des Einbau-Equipments und weniger auf das Verstaubungsverhalten einzelner Dämmstoffe zurückzuführen, wenngleich nach subjektiver Beobachtung das Einblasen eines Holz-Dämmstoffes die größten Staubmengen freisetzte.

Überraschenderweise wurden die höchsten freigesetzten Staubmengen nicht beim Einbau der Dämmstoffe, sondern beim Befüllen der Einblasmaaschinen, mit weit über 200 mg/m³ E- (Gesamt-) Staub als Mittelwert über 71 Minuten gemessen.

Im Bereich der vorkonfektionierten Dämmstoffe liegen alle Messwerte mit $\leq 0,6$ mg/m³ A- (Fein-) Staub deutlich unter dem allgemeinen Staubgrenzwert. Lediglich der Einbau von Kokos-Matten ergab - bedingt durch das Zuschneiden der Matten mit einer baustellentypischen Kreissäge - höhere Konzentrationen (1,6 mg/m³ A- (Fein-) Staub).

Die E- (Gesamt-) Staub-Messungen unter Baustellenbedingungen ergaben Konzentrationen zwischen ca. 8 und 25 mg/m³ und sind nach Auswertung der Video-Dokumentationen weniger von der Art des Dämmstoffes als vielmehr von den Einbaubedingungen abhängig. Arbeiten über Kopf, vermehrtes Zuschneiden sowie Tätigkeiten in beengten Bereichen (Traufe, Ecken etc.) ergeben höhere Staubkonzentrationen. Einbau-Arbeiten, bei denen entweder kein Zuschnitt erfolgte (auf Maß gefertigte Zellulose-Platten) oder die mit einem abgesaugten Verfahren durchgeführt wurden (in diesem Fall eine Bandsäge mit gut funktionierender Absaugung) reduzierten die Staubbelastungen auf ca. 4 mg/m³ E- (Gesamt-) Staub. Das Ergebnis der Deckendämmung mit Baumwolle (1,8 mg/m³) ist in diesem Zusammenhang nicht zu vergleichen, da im Messzeitraum nur wenig Dämmstoff eingebaut wurde.

- Die in einer Ausnahmesituation unter **worst-case-Betrachtungen** ermittelte Bor-Konzentration im E- (Gesamt) Staub liegt mit $6,5 \text{ mg/m}^3$ deutlich unter dem Grenzwert von 15 mg/m^3 . Es wird erwartet, dass der Grenzwert für Bor an allen Arbeitsplätzen eingehalten werden kann.
- Der einzige für den Umgang mit natürlichen organischen Faserdämmstoffen verfügbare Staub-Grenzwert von 6 mg/m^3 Feinstaub (Allgemeiner Staubgrenzwert) ist zur Bewertung dieser Arbeitsabläufe nur bedingt geeignet. Die emittierten Stäube sind sehr leicht (Rohdichte deutlich unter 1 g/cm^3 ; zum Vergleich: mineralische Stäube deutlich über 2 g/cm^3); ein hohes Staubvolumen ergibt demzufolge nur einen sehr niedrigen gravimetrischen Wert.

Der Anteil am Gesamtstaub lag bis zu 35-fach über dem entsprechenden Feinstaubwert. Es sollte darüber nachgedacht werden, zur Bewertung solcher Emissionen einen Grenzwert auf Basis des Gesamtstaubes heranzuziehen oder/und die österreichische Diskussion über einen speziellen Grenzwert für 'Leichtstäube' aufzunehmen /11/.

- Die Auswertrichtlinien für Fasern (VDI 3492 und ZH 1/120.46) sind für anorganische Fasern konzipiert. Sie sind nicht direkt anwendbar auf organische Fasern, da diese oft auch Anteile an anorganischen Komponenten besitzen und somit - richtlinienkonform - als SONSTIGE ANORGANISCHE FASERN eingestuft werden müssen. Insbesondere dünne Fasern und Faserbruchstücke, bei denen eine Zuordnung auf Grund morphologischer Kriterien nicht möglich ist, können so fehlinterpretiert werden. Sie werden der Gruppe SONSTIGE ANORGANISCHE FASERN zugeordnet, obwohl es sich hierbei um organische Fasern handelt. Die Problematik, dass auch organische Fasern fallweise anorganische Peaks liefern, wurde über den Obmann in den Arbeitskreis VDI 3492 eingebracht, es wurde angeregt, diese Thematik auf einer der nächsten Sitzungen gemeinsam zu diskutieren.
- Die Qualifikation der die Dämmstoffe einbauenden Firmen muss zum Teil in Frage gestellt werden. Auf Baustellen werden teilweise Beschäftigte angetroffen, die keine fachspezifische Ausbildung haben und über keine oder nur geringe Erfahrung verfügen. Die ausführenden Firmen (z. B. Sub-Unternehmer eines Malerunternehmens) bauen oft die Dämmstoffe zum ersten Mal ein. Es fehlen Informationen über Verarbeitungsmethoden, Werkzeuge, Schutzausrüstungen und elementare Grundkenntnisse der Bauphysik bezüglich Winddichtigkeit, Ausbildung von Anschlüssen, Dampfbremsen/-sperren usw. Dies gilt in besonderem Maße für das Einblasen von Zellulosefaser-Dämmstoffen, die nur von autorisierten Firmen eingebaut werden dürfen. In der Praxis stellt sich die Frage, ob eine (ggf. länger zurückliegende) ca. zweitägige Schulung im Herstellerwerk ausreicht, um die notwendigen Kenntnisse zu erhalten und umzusetzen.

Daher ist nicht auszuschließen, dass - bedingt durch Verarbeitungsunzulänglichkeiten - oft potentielle Bauschäden bereits während des Einbaus produziert werden. Die Verar-

beitungsqualität könnte beispielsweise dadurch erhöht werden, dass der Einbau solcher Produkte in die Ausbildungspläne der entsprechenden Berufsschulen aufgenommen würden.

- In diesem Zusammenhang weisen wir darauf hin, dass die Entwicklung staubarm arbeitender Einblasmachinen **unbedingt** vorangetrieben werden sollte. Dies könnte beispielsweise durch eine automatische Befüllereinrichtung incl. Absaugung erfolgen.

11.2 MATERIALANALYSEN/INHALTSSTOFFE

- Rückstände von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PSM) wurden in **keiner** Probe nachgewiesen.
- Röntgendiffraktometer-Analysen (RDA) ergaben neben der Hauptkomponente Zellulose weitere materialeigene Inhaltsstoffe wie Calcit und Kaolinit bei Zellulose-Dämmstoffen (Bestandteile von Papier) und Quarz bei Kokos-Dämmstoffen (in Porenfüllungen). Darüber hinaus konnten die Borate Sassolin (Borsäure) und Borax als Zusätze zu Zellulose-Dämmstoffen sowie unterschiedliche Al-Sulfate bei Kokos-Dämmstoffen nachgewiesen werden.
- Die Ergebnisse der Bor-Analysen, Literatur- und Herstellerangaben variieren stark. Einheitliche Berechnungsgrundlagen fehlen. Es wird vorgeschlagen, zukünftig auf die Angaben „Borate“ bzw. Borsalze“ zu verzichten und vergleichbare Angaben der Dimensionen $g_{(Bor)}/kg_{(Dämmstoff)}$ bzw. $g_{(B_2O_3)}/kg_{(Dämmstoff)}$ vorzunehmen.
- Auf Grund der Analysenergebnisse bestehen Zweifel an der homogenen Verteilung der Brandschutzzusätze bzw. Insektizidschutzzusätze im eingebauten Produkt. Sedimentationserscheinungen bei Lagerung und/oder Transport bzw. beim Einbauen können ebensowenig ausgeschlossen werden wie Mobilisierungen durch Feuchte bzw. Entmischungen in eingebauten Zustand.

Weiterführende Untersuchungen zur Frage ob die **eingebauten** Dämmstoffe noch die Brandschutzanforderungen erfüllen und ob die Resistenz gegenüber biologischen Angriffen gewährleistet bleibt, **erscheinen dringend notwendig**, vor allem vor dem Hintergrund, dass viele Hersteller sich bemühen, Zusatzstoffe in ihren Produkten zu reduzieren, um die Produkt-Zusammensetzung „ökologischer“ zu gestalten.

11.3 OPTISCHE UNTERSCHIEDUNGSMERKMALE DER EINZELNEN FASERN

- Die einzelnen Faserarten können voneinander im Licht- und Elektronenmikroskop nur durch optische Merkmale, durch unterschiedliche Faserform bzw. Oberflächenstrukturen und Zerfaserungsmerkmale unterschieden werden.

Zumindest Materialproben können auf diese Weise anhand der folgenden Parameter eindeutig identifiziert werden. In Staubproben sind die aufgezeigten Identifizierungskriterien meistens nicht eindeutig zu erkennen, da es sich bei den meisten luftgetragenen Fasern um Bruchstücke oder abgespaltene Einzelfasern handelt

- Dämmstoffe auf Basis von Zellulose (Papier) bzw. Holz zeigen unter dem Mikroskop eine vergleichbare Struktur. Zu erkennen ist jeweils ein sehr heterogenes Gemisch aus unterschiedlich großen Faserbündeln, gestreckten Partikeln und bandartigen, längsgestreckten Partikeln, unterschiedlich stark zerfasert. Der Durchmesser der Fasern bzw. Partikeln variiert von weniger als $1\ \mu\text{m}$ bis ca. $50\ \mu\text{m}$.
- Jute ist aufgebaut aus zusammenhängenden Faserbündeln. Einzelne Fasern oder Teile der Faserbündel spalten relativ leicht von dem Verbund ab. Auch an mechanisch beanspruchten Stellen ist der Verbund aufgelockert. Die Faseroberfläche ist leicht gerieft und an wenigen Stellen querverschoben. Die Durchmesser der Faserbündel betragen $> 20\ \mu\text{m}$, Einzelfasern sind zwischen < 1 und ca. $10\ \mu\text{m}$ dick.
- Kokos zeigt einen relativ festen Verbund aus dicken Faserbündeln. Bei mechanischer Beanspruchung neigt der Verbund in Längsrichtung zum Aufspalten. Der Durchmesser der Einzelfasern beträgt ca. $10 - 30\ \mu\text{m}$. Typisch für Kokosfasern erscheinen die Porenfüllungen aus Quarz (SiO_2).
- Schafwolle-Fasern sind gut an ihrer geschuppten Oberflächenstruktur zu erkennen. Sie erscheinen als Einzel-Fasern, können aber bei mechanischer Beanspruchung oder beim Einsatz von (qualitativ minderwertiger) Reißwolle in Elementarfibrillen aufspalten. Die Durchmesser betragen in der Regel zwischen 10 und ca. $30\ \mu\text{m}$, spitz zulaufende Fasern oder Bruchstücke haben Durchmesser im lungengängigen Bereich.
- Polyesterfasern werden teilweise zu Schafwolle-Dämmstoffen als Stützfasern zugegeben. Sie liegen als Einzel-Faser mit einer sehr gleichmäßigen, glatten Oberfläche vor. Die Faserdurchmesser sind ebenfalls relativ regelmäßig zwischen 10 und $25\ \mu\text{m}$.
- Baumwolle-Fasern sind unter dem Mikroskop an ihren helixförmigen Verwindungen zu erkennen. Sie liegen vor als in sich verdrehte Einzelfasern. Die Durchmesser betragen ca. 10 bis $30\ \mu\text{m}$. Bruchstücke oder abgeplatze Bereiche der Fasern haben Durchmesser bis unter $1\ \mu\text{m}$.

- Dämmstoffe aus Flachs/Hanf bestehen aus Faserbündeln und Einzelfasern, teilweise gebündert. Die Faserbündel neigen zum Aufspalten in Elementarfasern. An den Fasern sind Längsstreifen und deutliche Querverschiebungen sichtbar. Die Durchmesser der Faserbündel betragen zwischen 20 μm und 200 μm , die Durchmesser der Einzelfasern liegen zwischen kleiner 1 μm und 10 μm . Lungengängige Hanf- und Flachs-Fasern sind morphologisch nicht zu unterscheiden.
- Baustoffe auf der Basis von Stroh sind auf Grund der höheren Wärmeleitfähigkeit keine Dämmstoffe im engeren Sinn. Sie wurden aber vergleichsweise mit aufgenommen. Stroh besteht aus Faserbündeln, zum Teil bandartig. Typisch für Stroh sind die „herauswachsenden Stengel“, die Durchmesser der Einzelfasern liegen zwischen kleiner 1 μm und größer 20 μm .
- Die zum Vergleich untersuchten Dämmstoffe aus Mineralwolle sind unter dem Mikroskop an ihren Einzelfaser-Strukturen mit glatten Oberflächen zu erkennen. Typisch für Materialproben von Mineralwolle-Dämmstoffen ist der – herstellungsbedingte - unterschiedlich hohe Shot-Anteil (glasige Kügelchen).

11.4 INNENRAUMBELASTUNGEN

- Messungen der Faser- und Staubkonzentrationen einen Tag nach Beendigung der Einbauarbeiten ergaben **keine signifikant höhere Belastung** als vor den Einbauarbeiten. Die Faser- und Staubkonzentrationen wurden maßgeblich von Nebentätigkeiten und anderen Gewerken bestimmt. Das „System Baustelle“ mit seinen vielen staubintensiven Arbeiten überlagert den Einfluss des eingebauten Dämmstoffes.
- Aus der Praxis ist bekannt, dass Stäube von Dämmstoffen in der Nutzungsphase aus Ritzen emittieren bzw. aus Decken rieseln können.

Grundsätzlich sollten **alle** eingebauten Dämmstoffe so dicht eingebaut werden, dass keine Abgaben von Stäuben, Fasern, gasförmigen Emissionen etc. an die Raumluft stattfinden können. Dies gilt insbesondere für Konstruktionen, die sich im Laufe der Zeit verändern (bewegen) können, wie beispielsweise Holzkonstruktionen oder schwingende Konstruktionen. Bei diesen Konstruktionen, in Verbindung mit eingeblasenen Dämmstoffen, ist auf eine sorgfältige Ausführung der Abdichtung, mit Reserven für mögliche Bewegungen, großen Wert zu legen.

- Insbesondere während der Einblas-/ Aufblasarbeiten sollten die Nutzer der Gebäude und andere Personen die Arbeitsbereiche (ohne geeigneten Atemschutz) nicht betreten.

- Auf eine gründliche Vorreinigung der gedämmten Bereiche, bestehend aus zurücksaugen von Resten der Blasdämmstoffe in die Blasmaschine, Verpacken von Matten und Platten in Folie, und anschließende (möglichst feuchte) Grundreinigung muss unbedingt geachtet werden.

11.5 DAS STAUBMESSGERÄT RESPICON TM-3F

Vorteile des Staubmessgerätes sind:

- Es ermöglicht personenbezogene Messungen in drei relevanten Staubfraktionen, die zusätzlich zur gravimetrischen Auswertung photometrisch gemessen werden. Bisher konnten Messgeräte, die vergleichbare Leistungen erbrachten, nur stationär betrieben werden.
- Der Vorteil dieser Staubmessungen liegt in der zeitparallelen Darstellung der von den Photometern ermittelten Messwerte und einer zeitgleichen Videoaufzeichnung.

Jeder Arbeitsablauf kann exakt und einzeln bewertet werden. Kurzzeitige Expositionsspitzen, die bisher nicht erfasst werden konnten, aber die Ergebnisse der Staubmessungen nachteilig beeinflussten, werden erkannt und durch die Videoaufzeichnung den entsprechenden Tätigkeiten zugeordnet. Das Respicon TM-3F deckt den direkten Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung auf und quantifiziert die Staubkonzentrationen.

- Diese Analytik gestattet es, Unterschiede in der Staubzusammensetzung, die z.B. durch Verstopfen des Ansaugkopfes, durch Querstörungen (fremderzeugte Stäube) verursacht wurden, zu erkennen und dementsprechend zu bewerten.

Nachteile in der Staubmesstechnik sind:

- Bei der Messung von Faserstäuben in höheren Konzentrationen neigt der Sammelkopf zum Verstopfen und muss während der Messung gesäubert (ausgeblasen) werden.
- Die aerodynamische Auftrennung eines Staubes, der sehr lange Fasern enthält (im mm-Bereich), funktioniert nicht vollständig, so dass bei der gravimetrischen Auswertung der Anteil an alveolengängigen Staub überbewertet werden kann.
- Bei hellen Stäuben kann es durch Anhaftungen von Staubanteilen an der Geräteinnenseite zu Verfälschungen der Photometer- und gravimetrischen Daten kommen.

Inwieweit dieser Einfluss signifikante Auswirkungen auf die Ergebnisse hat, konnte nicht ermittelt werden.

12. EMPFEHLUNGEN / HANDLUNGSBEDARF

- Ein dringender weiterer Forschungsbedarf besteht zur Frage der homogenen Verteilung und damit der **Wirksamkeit der Brandschutzzusätze** im eingebauten Material und den damit verbundenen Mobilisations-, Entmischungs-, Wanderungs- und Löslichkeitsvorgängen bei Produktion, Transport, Lagerung und Einbau der Dämmstoffe.
- Die erhaltenen Ergebnisse geben einen Überblick über das Verstaubungsverhalten von NOFD. Sie sind Momentaufnahmen von teilweise zeitlich kurzen Messreihen. Um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten, sind ergänzende Messungen sowie Messungen bei mittlerweile neu auf den Markt gekommenen Dämmstoffen notwendig.
- Die Entwicklung staub- und faserreduzierender Ein- /Aufblasverfahren sowie die Entwicklung staub- und faserreduzierender Einblasmaaschinen sollte intensiviert werden, um die sehr hohen Staub- und Faserbelastungen auf Baustellen wirkungsvoll reduzieren zu können.
- Bei Überarbeitung bzw. Neueinführung von Grenzwerten sollten für organische Faserstäube Staubgrenzwerte und keine Fasergrenzwerte diskutiert werden, da Faser-Auswertungen von Baustellenstäuben aus unserer Sicht nicht oder nur sehr schwer zu standardisieren sind und so leicht zu Fehlinterpretationen führen können. Darüber hinaus wäre in diesem Zusammenhang die Einführung eines Staubgrenzwertes für leichte Stäube (mit einer Rohdichte unter 1 g/cm^3) zu diskutieren.
- Die Qualifikation der verarbeitenden Unternehmen muss in der Praxis teilweise angezweifelt werden. Durch nicht ausreichend qualifiziertes Personal oder durch den Einsatz von berufsfremden Sub-Unternehmern wächst die Gefahr erhöhter Faserfreisetzung sowie das Risiko, Bauschäden zu produzieren. Besonders riskant ist die Verarbeitung durch Heimwerker im DO-IT-YOURSELF-Bereich, wenn Erfahrung und Kompetenz nicht gegeben sind.
- Das Problembewusstsein der Verarbeiter und Bauherren sowie der Nutzer auf mögliche Gefährdungen durch "natürliche" Materialien sollte gestärkt werden.
- Bei der Zulassung neuer Bauprodukte sollten Eigenschaften wie Verarbeitungssicherheit, Verstaubungsverhalten und potentielle Innenraumbelastungen ebenso untersucht und bewertet werden wie chemische Zusammensetzung, Nutzungsdauer und Recyclingfähigkeit. Die erforderlichen rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen sind zu schaffen.

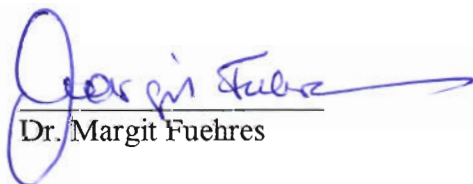
13. Schlusssatz

Die Anfertigung der vorliegenden Untersuchungen mit allen durchgeführten zeitintensiven Baustellenmessungen sowie die Entwicklung von geeigneten Analyse- und Bewertungsverfahren war nur durch die fachliche und finanzielle Mithilfe und Förderung des DIBt in Berlin möglich. Allen in das Projekt eingebunden Mitarbeitern sowie dem Präsidenten, Herrn Prof. Dr.-Ing. Horst Bossenmayer sei an dieser Stelle für die stete Bereitschaft zur kritischen und konstruktiven Diskussion gedankt.

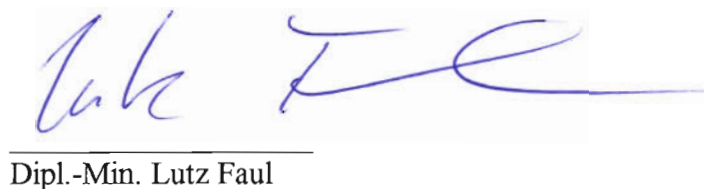
Vielen Dank auch allen Fachkollegen und Fachkolleginnen, die das Projekt verfolgt und unterstützt haben und deren Erfahrungen halfen, manchen komplizierten Sachverhalt zu lösen.

Zur Vollendung haben letztendlich auch alle Mitarbeiter des Büro für Technischen Umweltschutz - BTU - in Reiskirchen beigetragen, eine neben dem Tagesgeschäft nicht immer einfach zu leistende Aufgabe.

Reiskirchen, den 08. November 1999



Dr. Margit Führes



Dipl.-Min. Lutz Faul

14. ANLAGEN

Literatur

I Zitierte Literatur

- [1] Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, Juni 1992, Rio de Janeiro – Dokumente
- [2] **Agenda für eine nachhaltige Entwicklung** : Eine allgemein verständliche Fassung der Agenda 21 und deren Abkommen von Rio. Herausgeber.: Centre for Our Common Future, 52, Rue de Pâquis, 1201 Genf, Schweiz
- [3] **Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV)** vom 16. August 1994
- [4] **GDI-Baumarktstatistik 1990-1998**, Gesamtverband Dämmstoffindustrie, Griegstr. 17, 22763 Hamburg, 10.03.1999
- [5] Fuehres, M. (1996): Die Alternativen - wie gesund sind ökologische Baustoffe wirklich ?; Isoliertechnik 22. Jahrgang (1996), Heft 5, S. 4 – 23
- [6] **Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 521, Teil 1**
Technische Regeln für anorganische Faserstäube mit BIA/BG-Empfehlungen. Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft, Abruf-Nr. 626.2, Auflage 1997
- [7] **ZH 1/120.46**: Verfahren zur getrennten Bestimmung von lungengängigen Asbestfasern und anderen anorganischen Fasern – Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin, Jan. 1991.
- [8] **DIN/EN 481**: Arbeitsplatzatmosphäre: Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel (Sept. 1993).
- [9] **Koch, W., W. Dunckhorst und H. Lödding (1997)**: Respicon TM 3-F: Ein neues personengetragenes Mehrfraktionen-Staubmeßsystem für die Staubmessung im Arbeitsschutz; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, Nr. 57 (1997), S. 177-184.

- [10] **VDI 3492:** Messen von Innenraumluftverunreinigungen, Messen anorganischer faserförmiger Partikel in Innenräumen - Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren, Blatt 2, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN, Juni 1994.
- [11] **Hölemann, H. (1997)**, Stellungnahme zum Artikel v. M. Fuehres: Die Alternativen - wie gesund sind ökologische Baustoffe wirklich ?; schriftliche Mitteilung vom 24.01.1997
- [12] Schulz, H., H. Mitterleitner, W. Krauß: Einsatz überflüssiger Schafwolle für technische Zwecke, Landtechnischer Verein in Bayern e. V., Freising-Weihenstephan, Heft 6, 1993
- [13] Dowds, T. J., L. J. Infante, E. Pentz: A field study of their fire resistance characteristics of aged loose fill Insulations; Fire safety and Thermal Insulation, 5.-6. Nov. 1990, St. Petersburg/Florida/USA

II Allgemeine Literatur

Architektur, Energieeinsparung und Wärmeschutz. Herausgeber: Gesamtverband Dämmstoffindustrie GDI, 22763 Hamburg, 1994

Baulicher Wärmeschutz. Erläuterungen zur Wärmeschutzverordnung 1995. Herausgeber: Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. und Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V., Bonn, Ausgabe 12/1993

Baustoffe - Umwelt - Gesundheit. Ein Informationssystem der Bayerischen Architektenkammer. Herausgeber: Bayerische Architektenkammer, Informationsbüro Bauen - Umwelt - Gesundheit

Baustoffe unter ökologischen Gesichtspunkten; Ministerium für Bauen und Wohnen des Landes Nordrhein-Westfalen, 1.22 - 1999

Bewertung der Luftqualität in Innenräumen. Bekanntmachung des BGA; Bundesgesundheitsblatt 3/93, Seite 177-181

Borverbindungen im bauökologischen Bereich, Studie des Österreichischen Instituts für Baubiologie, 1030 Wien, Jänner 1992

Dämmstoffe aus der heimischen Natur, Centrale Marketing - Gesellschaft der Deutschen Agrarwirtschaft mbH, 53133 Bonn - Bad Godesberg

Dämmstoffe aus heutiger Sicht, Baubiologie-Sondernummer „Swissbau 97“

Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz. Herausgeber: Gesamtverband Dämmstoffindustrie GDI, 22763 Hamburg,

Das LBS-Ökohaus; Bauherren-Handbuch. LBS Münster/Düsseldorf

Deutsche Pittsburgh Corning: Energie- und Ökobilanzen der hauptsächlich industriell gefertigten Dämmstoffe, 1991

Die Alternativen kommen. In: Trockenbau 3/1996, Seiten 56 – 64

eco-Fachtagung „Dämmstoffe in der Diskussion“, eco-Umweltinstitut Köln, 11. April 1997

Energie- und kostensparende Wohngebäude in Schopfheim. Herausgeber: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1995

Energie- und Stoffbilanzen bei der Herstellung von Wärmedämmstoffen, BEW-EMPA-Projekt, Dübendorf (Schweiz), 1995

Energie- und Umweltdaten. Herausgeber: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1994

Energiesparendes Bauen und gesundes Wohnen. Dritte überarbeitete Auflage unter Berücksichtigung der neuen Wärmeschutzverordnung vom 16. August 1994. Herausgeber: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Fachtagung AGÖF, Ökologisches Bauen und Sanieren II, Berlin, 1993

Fachtagung AGÖF, Ökologisches Bauen und Sanieren III, Fulda, 1997

Fachtagung AGÖF, Ökologisches Bauen und Sanieren IV, Nürnberg, 1998

Fachtagung AGÖF, Ökologisches Bauen. Energiesparend, emissionsarm und zukunftsfähig?!, Bremen 1999

Fachtagung Dämmstoffe im Bauwesen - Klassiker und Alternativen - Weiterbildungs-Akademie Weinheim, Weinheim Okt. 1996

FMPA Stuttgart, Untersuchung: Lebensdauer und Langzeitverhalten von Dämmstoffen für den Hochbau, 1996

Forschungsbericht: Raumlufthygienische Bewertung von Emissionen aus Bauprodukten.
T 2575, IRB Verlag 70569 Stuttgart

Fuehres, M., (1995): Belastung durch organische Fasern in der Bauwirtschaft; Ergo-Med., 19. Jahrgang (1995), Heft 3, S. 66 – 70

Fuehres, M., und L. Faul (1996): Orientierende Raumlufmessungen auf organische und anorganische Fasern; VDI-Berichte Nr. 1257 (1996), S. 455 – 468

Fuehres, M. und H.-U. Kröning (1997): Emissionen aus natürlichen Dämmstoffen in Abhängigkeit von der Einbaumethode; In: H. Große, G. Lehmann, M. Mittag: 2. Internationale EIPOS-Konferenz, Ökologie im Bauwesen, Europäisches Institut für post-graduale Bildung an der TU Dresden, Sammlung der Vorträge (1997), S. 177-184

Gahlmann, H.: Sachliche Gesamtbewertung statt gefühlsmäßiger Vorverurteilung. In: Isoliertechnik 4/1994, Seiten 4 – 11

Handbuch Niedrigenergiehaus. 2. Ausgabe. Herausgeber: Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung -HEA-e.V., 60329 Frankfurt, 1992

Heisel, J. P: Luftqualität in sogenannten 'alternativen' Häusern. Erfahrungen aus einem Projekt in Schleswig-Holstein. In: VDI-Berichte Nr. 1128, 1994, Seite 329-345

IEC 335-2-69 Annex AA: Particular requirements for vacuum cleaners, suction sweeping machines and dust extractors for the collection of dusts hazardous of health (Entwurf IEC 1994)

Klose, R.: Kommentar zur WSV0. In: Isoliertechnik 3/1995, Seite 4 – 8

KMF. Künstliche Mineralfasern in der Diskussion, Umweltinstitut München e.V. in Kooperation mit Regenbogen Bayern e.V., 1te Auflage, Umweltinstitut München e.V., 81667 München, 8/1994

König, H.: Wärmedämmung - Vom Keller bis zum Dach, Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft der Verbraucherverbände e. V., 53123 Bonn, März 1997

König, H.: Wege zum gesunden Bauen, 9. Auflage, ökobuch, 1997, Staufen bei Freiburg

Kriterienkatalog für den Neu- und Umbau umweltgerechter Verbrauchermärkte, Hrgb.: Ministerium f. Umwelt, Natur u. Forsten des Landes Schleswig-Holstein, 2. Aufl. 1997

Lappessen, D.: Der kumulierte Energiebedarf für die Herstellung und Nutzung von Gebäuden zur energetischen Beurteilung; unveröff. Diplomarbeit Fachhochschule für Technik, Fachbereich Bauphysik, Stuttgart (1994), Prüfer: M. Stohrer, H. Bossemeyer

MAK-Werte Liste - Kundmachung des Bundesministers für Arbeit und Soziales vom 28. Dezember 1994; veröffentlicht in den Amtlichen Nachrichten Arbeit - Gesundheit - Soziales; Juni 1995, Österreich

Öko-Haus 1/1998: Öko-Test Dämmstoffe, Seite 42 – 53

Ökologie der Dämmstoffe. Informationen Energie- und Umweltzentrum am Deister e.V., 31832 Springe-Eldagsen, 1991

Öko-Test 11/1995: Öko-Test Dämmstoffe, Seite 78 – 89

Öko-Test, Bauen, Wohnen, Renovieren, Sonderheft Nr. 20, 1996, Öko-Test-Verlag, Frankfurt

Öko-Test. Magazin für Gesundheit und Umwelt, Heft 11, 11/1995

Ökozentrum NRW: Werkstattbericht 2: Analyse des Marktes für ökologisches Bauen, Öko-Zentrum Hamm, 1/95

RWE Energie Bauhandbuch. Herausgeber: RWE Energie AG, Bereich Anwendungstechnik, 45117 Essen, 11. Ausgabe 4/95; 2. Auflage

Tagungsband 7. EUZ Baufachtagung '95. Gute Luft...wenig Energie. Energie- und Umweltzentrum am Deister e.V., 31832 Springe-Eldagsen

Tagungsband 8. EUZ Baufachtagung '97. Messung der Luftdichtheit von Gebäuden – Theorie und Praxis. Energie- und Umweltzentrum am Deister e.V., 31832 Springe-Eldagsen

Umweltverträglichkeit von Baustoffen, Stiftung Verbraucher Institut, Berlin 1992

Unabhängige Sachverständigenkommission beim Ministerpräsidenten des Landes Nordrhein-Westfalen zur Prüfung von Konsequenzen aus dem Brand auf dem Rhein-Ruhr-Flughafen Düsseldorf; Bericht – Teil 1, Analyse des Brandes am 11. April 1996, Empfehlungen und Konsequenzen, 14. April 1997

Veranstaltung 'Wärmebrücken' der Firmen Grünzweig und Hartmann AG und BASF AG am 14. März 1996 in Offenbach

Wärmedämmstoffe im Vergleich. Herausgeber: Umweltinstitut München, Verein zur Erforschung und Verminderung der Umweltbelastungen e.V.; 4te, überarbeitete Auflage, 4/94

Wilson S., Hedge A.: The office environment survey, a study of building sickness. Building Use Studies, Ltd., London, 1987

III Spezielle Literatur

Baumwolle

Bahners, Th.: Literaturrecherche „Baumwollstaub“, Dez. 1992, Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West e. V., Krefeld

Bahners, Th., P. Ehrler und M. Hengstberger: Erste Untersuchungen zur Erfassung und Charakterisierung textiler Feinstäube, melliand Textilberichte, Sonderdruck 1/94, S. 24-30

Faserfeinstaub, ein Kompendium, erstellt von Mitgliedern des Arbeitskreises „Fibrilläre Stäube“ beim Forschungskuratorium Gesamttextil, Gesamtverband der Textilindustrie, 65760 Eschborn, 1996

Flachs

-

Holz

Pohland, K., Chr. Bockelmann und R. Marutzky: Mineralische Rückstände von Holz- und Biomasseverfeuerungen, Umwelt 1/2 97, S. 42 - 44, Springer-VDI, Düsseldorf

Seeger, K.: Innovatives Konzept zur Altholzverwertung, Umwelt 1/2 97, S. 44 - 47, Springer-VDI, Düsseldorf

Herger, P., R. Bolz: Umweltmanagement in einem Unternehmen der Holzrecycling-Branche, Umwelt 1/2 97, S. 48 - 49, Springer-VDI, Düsseldorf

Kokos

-

Schafwolle

Russel, I. M.: Combined Insect-Resist and Rot-Resist Treatments for Wool Insulation, CSIRO, Division of Wool Technology, May 1992

Zahn, H., G. Blankenburg: Einsatz deutscher Schafwolle als Isoliermaterial im Hausbau, Deutsche Schafzucht 2/1993, S. 31 – 33

Tonin, C., P. D. Pozzo, A. Motta, F. Ferraris, A. Massola: Airborne Dust in Wool Textile Mills, Part 1: Sampling Methodologies, Monitoring, Microscopical Classification and Size Distribution Analysis of Dust from Early Stages of Wool Processing; International Wool Textile Organisation, Technical Committee, Istanbul Report No. 11, May 1993

Freddi, G., A. Motta, R. Canton, C. Tonin: Airborne dust in wool textile mills. Part 2: Chemistry of individual inorganic particles; International Wool Textile Organisation, Technical Committee, Report n° 12, Istanbul, May 1993

Innocenti, R., M. Zoccola, G. Freddi, A. Motta, G. Catenacci: Airborne dust in wool textile mills. Part 3: Amino Acid Analysis of organic Particles; International Wool Textile Organisation, Technical Committee, Report n° 3, Nice, Nov. 1993

Schmitz, V., K. Schäfer und H. Höcker: Wollstaub - Eine Gefahr für die Gesundheit ? (AiF 10585), DWI-Reports 121 1998 (in Druck)

Schmitz, V., K. Schäfer und H. Höcker: Health risks by wool dusts in wool processing?, IWTO Technology & Standards Committee, Nice Meeting 6-11 December 1997

Doppelmayer, F. (1997): Schafwolle; Isoliertechnik 23 Jahrgang (1997), Heft 2, S. 26 - 39

Zellulose

Tiesler, H. und J. Schnittger: Untersuchung zur Belastung durch faserförmige Stäube bei der Verarbeitung von Cellulose-Dämmstoffen, Zbl. Arbeitsmed. 42 (1992), S. 278 - 285

K.H. Friedrichs, M. Rosenbruch, H.-W. Schlipkötter: Zur Charakterisierung einiger Ersatzfaserstoffe und deren Wirkung im Tierversuch, Zbl. Arbeitsmed. 42 (1992), S. 298 - 306

Uebersax-Ingold, H. K. und U. F. Gruber: Cellulosefasern zur Herstellung von Faserzement, Zbl. Arbeitsmed. 42 (1992), S. 346 - 354

Rosenbruch, M., K.H. Friedrichs und H.-W. Schlipkötter: Zur gesundheitlichen Bedeutung der zur Herstellung von Faserzement verwendeten Asbestersatzfasern, Zbl. Arbeitsmed. 42 (1992), S. 355 - 362

Büro Cirscium 1992, Energie und Schadstoffbilanz von Isofloc, Isofloc AG Schweiz

Lanes S. F., K. J. Rothman, N. A. Dreyer, K. J. Soden: Mortality update of cellulose fibre production workers; Scand J Work Environ Health 1993; 19: 426-8

Weltecke-Fabricius, U.: Ökologische Dämmstoffe - Quo Vadis? In: BBauBl Heft 1, 1995, S. 46 - 48

Räuschel, S.: Zellulose-Dämmstoffe; In: Isoliertechnik 3/97, S. 18 - 29 (1997)

Fuehres, M. und H.-U. Kröning: Emissionen aus natürlichen Dämmstoffen in Abhängigkeit von der Einbaumethode, 2. Internationale EIPOS-Konferenz Ökologie im Bauwesen, Schriftenreihe zur Wissenschaftlichen Weiterbildung, Dresden Jan. 1997

Tödt, T.: Brennt Öko-Haus ?; In: Feuerwehr 6/97, S. 32-35

Haupt, E.: Naturbaustoffe und Brandschutz; In: Isoliertechnik 3/98, S. 40 - 43 (1998)

Räuschel, S.: Zellulose-Dämmstoffe; In: Isoliertechnik 6/98, S. 26 - 31 (1998)

Verzeichnis der Bilder

Bild 1:	Einblasen von Zellulose-Dämmstoff (CWA) in die Flanken eines Steildaches.....	16
Bild 2:	Aufblasen von Zellulosedämmstoff im CSO-Verfahren.....	17
Bild 3:	Oberflächenbündiges Abziehen mit einer Planbürste.....	18
Bild 4:	Aufblasen von Zellulose-Dämmstoff auf eine Kirchenkuppel.....	19
Bild 5:	Einblasen von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-L) in vorbereitete Dach-Elemente.....	20
Bild 6:	Blick auf die zu dämmenden Plattenbauten.....	21
Bild 7:	Offenes Aufblasen des Zellulose-Dämmstoffes, im Vordergrund befinden sich die Staub- und Faserprobenahmegeräte.....	22
Bild 8:	Einblasen von Holz-Dämmstoff (Termoträ) in vorbereitete Dach-Elemente.....	23
Bild 9:	Befüllen der Einblasmaschine mit Holz-Dämmstoff (Termoträ).....	23
Bild 10:	Einblasen von Holzdämmstoff in Wandelemente.....	24
Bild 11:	Einblasen von Holzdämmstoff in Dachelemente.....	25
Bild 12:	Befüllen der Einblasmaschinen.....	25
Bild 13:	Unsachgemäßes Beseitigen einer Verstopfung in der Einblasmaschine.....	26
Bild 14:	Blick auf die personenbezogenen Probenahmesysteme.....	27
Bild 15:	Einbau von vorkonfektionierten Zellulose-Platten.....	28
Bild 16:	Zuschnitt der Zellulose-Platten mit einer abgesaugten Bandsäge.....	28
Bild 17:	Zuschnitt der Zellulose-Platten mit einem Elektro-Fuchsschwanz.....	29
Bild 18:	Einbau von Kokos-Estrichdämmplatten; Zuschnitt mit einer Kreissäge.....	30
Bild 19:	Einbau von Schafwolle-Matten zwischen die Deckensparren.....	31
Bild 20:	Einbau von Schafwolle-Matten in Innenwände.....	32
Bild 21:	Einbau von Schafwolle-Platten zwischen die Dachsparren.....	33
Bild 22:	Einbau von Baumwolle-Matten zwischen die Deckensparren.....	34
Bild 23:	Einbau von Flachs-Matten in Aluminium-Ständerwände.....	35
Bild 24:	Schneiden von Flachs-Matten mit einem Messer.....	35
Bild 25:	Einbau von Flachs-Matten in die Deckensparren, im Vordergrund sieht man stationäre Faser- und Staubmessgeräte.....	36
Bild 26:	Einbau von Mineralwolle-Platten als Zwischensparrendämmung.....	37
Bild 27:	Schneiden der Mineralwolle-Platten mit einem Messer.....	38
Bild 28:	Strukturelle Unterschiede als Identifizierungskriterien zur Faserunterscheidung: geschuppte Schafwolle-Faser auf längsgestreiftem Flachs-Faserbündel.....	52
Bild 29:	Zellulose Dämmstoff; Faserbündel, Einzelfasern und bandartige Partikel.....	53
Bild 30:	Zellulose Dämmstoff; heterogenes Gemisch aus teilweise lungengängigen Fasern und Partikeln.....	53
Bild 31:	Zellulose Dämmstoff im Lichtmikroskop; heterogene Faserbündel und Einzelfasern (V = 100-fach, X-Pol., Gips Rot 1. O.).....	54
Bild 32:	Zellulose Dämmstoff im Lichtmikroskop; heterogene Faserbündel und Einzelfasern (V = 100-fach, X-Pol), teil-kristalline Bereiche erscheinen farbig.....	54
Bild 33:	Holz-Dämmstoff; lungengängige Fasern neben bandartigem Partikel.....	55

Bild 34:	Holz-Dämmstoff; lungengängige Fasern im teilweise aufgelöstem Faserverbund.....	55
Bild 35:	Einbau von Holz-Dämmstoffen; spitz zulaufendes, lungengängiges Faser-Ende im Staub, stationäre Messung.....	56
Bild 36:	Jute-Faserbündel, aufgelockerter Verbund am Bündelende.....	57
Bild 37:	Jute-Faserbündel, aufgelockerter Verbund an mechanisch beanspruchten Stellen.....	57
Bild 38:	Jute-Faserverbund, lungengängige Fasern entstehen durch Abspaltungen.....	58
Bild 39:	Anschnitt einer Kokosfaser, das Faserbündel besteht aus vielen Einzelfasern (V=50-fach, X-Pol., Gips Rot 1. O.).....	59
Bild 40:	Kokos-Faserbündel mit leichten Aufspaltungsstrukturen und typischen (hier weißen) Porenfüllungen.....	59
Bild 41:	Ende eines Kokos-Faserbündels; Entstehung von lungengängigen Fasern.....	60
Bild 42:	Die typischen Poren im Kokos bestehen aus Quarz (SiO ₂).....	60
Bild 43:	Längsgestreifte Kokosfaser und Faseranschnitte im Lichtmikroskop (V=50-fach, X-Pol., Gips Rot 1. O.).....	61
Bild 44:	Schafwolle-Fasern mit geschuppter Oberflächenstruktur.....	62
Bild 45:	Spitz zulaufende Schafwolle-Faser.....	62
Bild 46:	Aufspaltung einer Schafwolle-Faser in lungengängige Fasern.....	63
Bild 47:	Schafwolle-Fasern (blau und braun) und Polyester-Stützfaser (bunte Interferenzfarben), V=200-fach, X-Pol., Rot 1. O.).....	63
Bild 48:	Polyesterfasern mit glatter Oberfläche und gleichmäßigen Durchmesser.....	64
Bild 49:	Baumwolle-Fasern mit helixförmiger Verwindung.....	65
Bild 50:	Lungengängiges Baumwolle-Partikel.....	65
Bild 51:	Baumwolle-Fasern im Lichtmikroskop (V= 400-fach, X-Pol.).....	66
Bild 52:	Flachs-Faserbündel, in Elementarfasern aufspaltend.....	67
Bild 53:	Bündel aus Flachs-Einzelfasern und teilweise gebänderte Fasern.....	67
Bild 54:	Flachs-Faserbündel mit Querverschiebungen und lungengängige Flachs-Faser.....	68
Bild 55:	Gebändertes Hanf-Faserbündel, teilweise in Elementarfasern aufspaltend.....	68
Bild 56:	Lungengängige Hanf-Faser auf Hanf-Faserbündel.....	69
Bild 57:	Stroh-Partikel mit herauswachsenden Stengeln, teilweise lungengängig.....	70
Bild 58:	Abgeplattetes Stroh-Partikel mit herauswachsenden Stengeln, teilweise lungengängig.....	70
Bild 59:	Mineralwolle-Fasern mit dem typischen Shot-Anteil (Kügelchen).....	71

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Übersicht über alle auf dem Markt erhältlichen Dämmstoffe.....	10
Abbildung 2:	Prozentuale Verteilung des Dämmstoffmarktes, nach [4].....	12
Abbildung 3:	Übersicht über natürliche organische Fasern und daraus hergestellte Dämmstoffe (<i>kursiv</i>), nach [6].....	13
Abbildung 4:	A- und E-Staub-Konzentrationen beim Einbau von NOFD.....	76

Abbildung 5:	Faseranzahlkonzentrationen an organischen Fasern bei vor- und nachlaufenden Messungen.....	80
Abbildung 6:	Schematische Darstellung eines virtuellen Impaktors.....	87
Abbildung 7:	Querschnittszeichnung des RESPICON.....	90
Abbildung 8:	Massenverlust der 37 mm-Glasfaserfilter durch „Filterbruch“ und Materialabrieb beispielhaft an sechs Messungen mit und ohne Zentrallochung der Filter dargestellt.....	91
Abbildung 9:	Darstellung der Konzentrationsverläufe beim Einblasen von Holzfaserdämmstoff in Dachelemente; der Zeitpunkt des Ausblasens des verstopften Probenahmekopfes ist gekennzeichnet.....	94

Verzeichnis der Diagramme (Anlage)

- Diagramm 1:** Röntgendiffraktometeranalyse von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-L)
- Diagramm 2:** Röntgendiffraktometeranalyse von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-s)
- Diagramm 3:** Plot der Röntgendiffraktometeranalyse von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-s)
- Diagramm 4:** Röntgendiffraktometeranalyse von Holz-Dämmstoff (Emfa-Zell)
- Diagramm 5:** Röntgendiffraktometeranalyse von Kokos-Dämmstoff (Faist)
- Diagramm 6:** Röntgendiffraktometeranalyse von Baumwolle-Dämmstoff (Isocotton)
- Diagramm 7:** Röntgendiffraktometeranalyse von Flachs-Dämmstoff (Flachs-Haus)

Diagramm 1:
Röntgendiffraktometeranalyse von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-L)

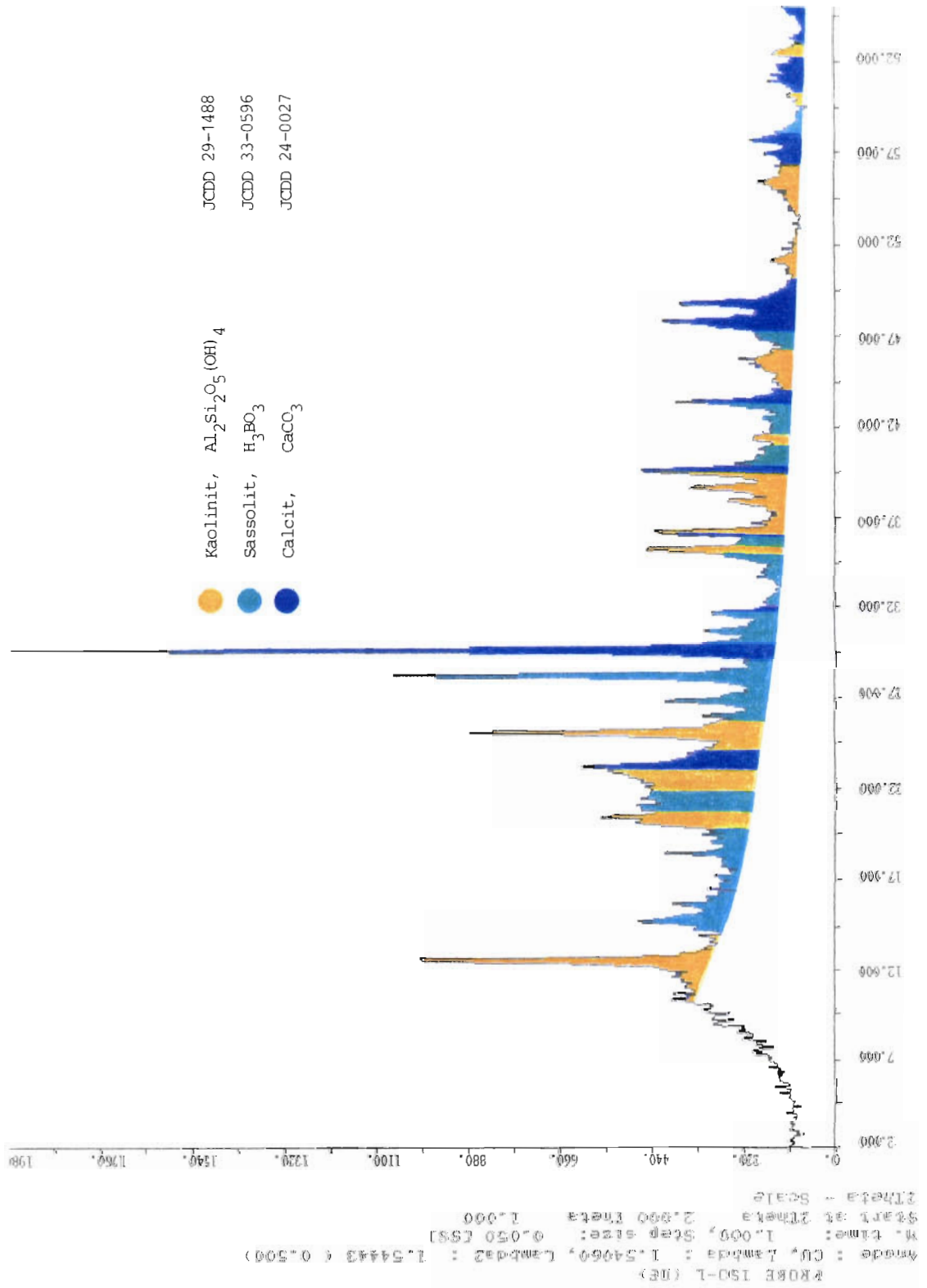


Diagramm 2:
Röntgendiffraktometeranalyse von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-S)

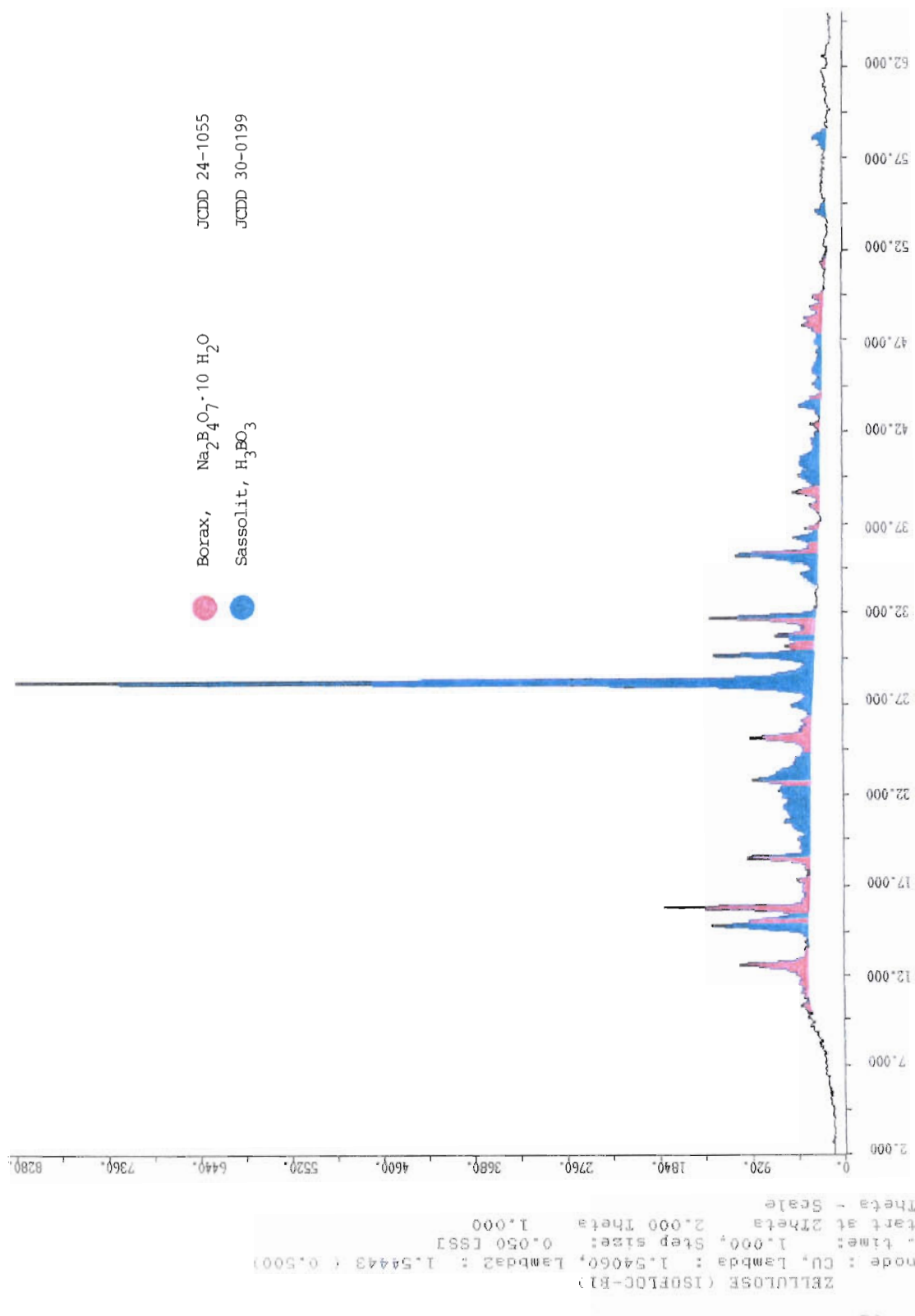


Diagramm 3:

Plot der Röntgendiffraktometeranalyse von Zellulose-Dämmstoff (Isofloc-S)

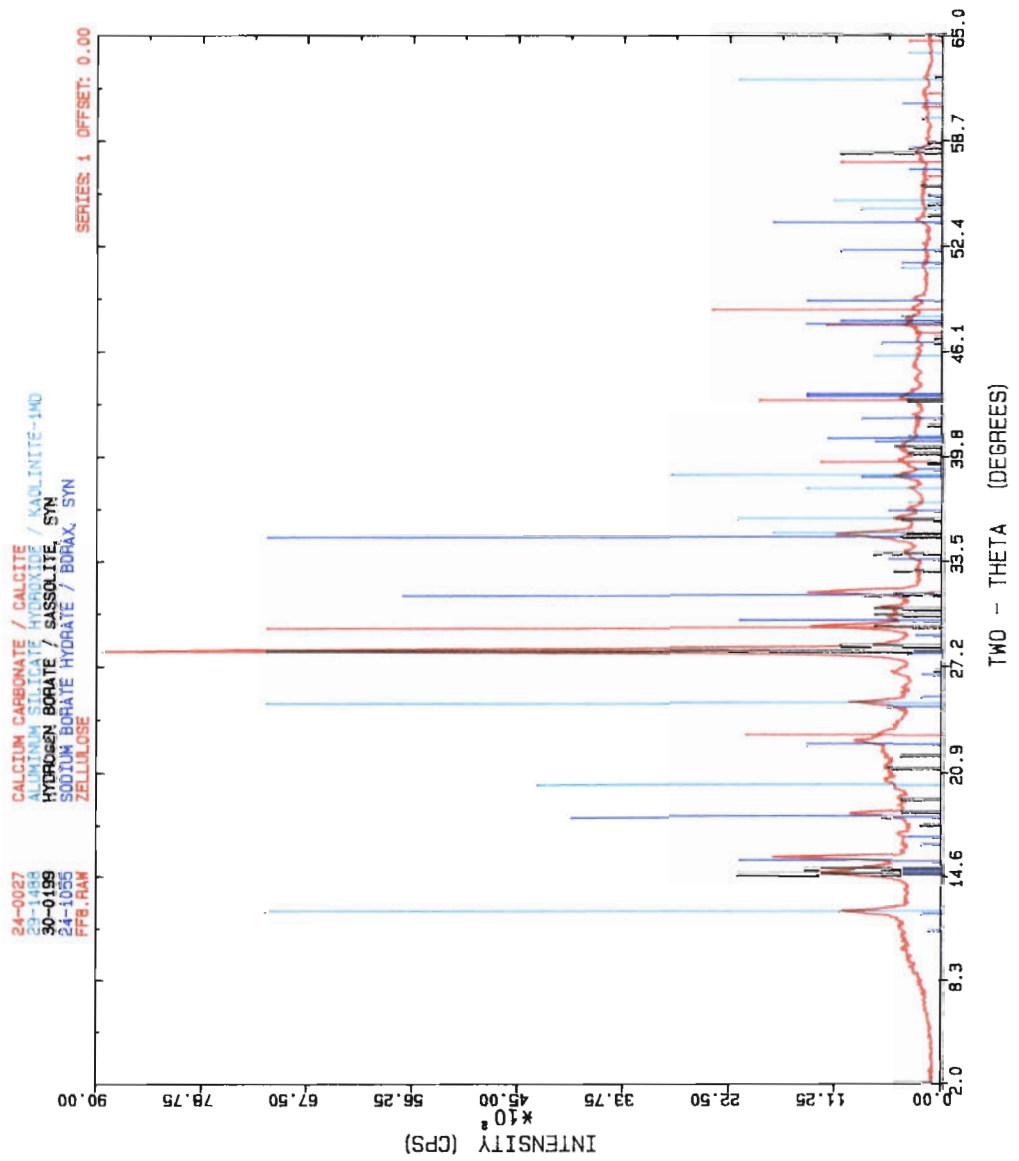


Diagramm 4:
Röntgendiffraktometeranalyse von Holz-Dämmstoff (Emfa-Zell)

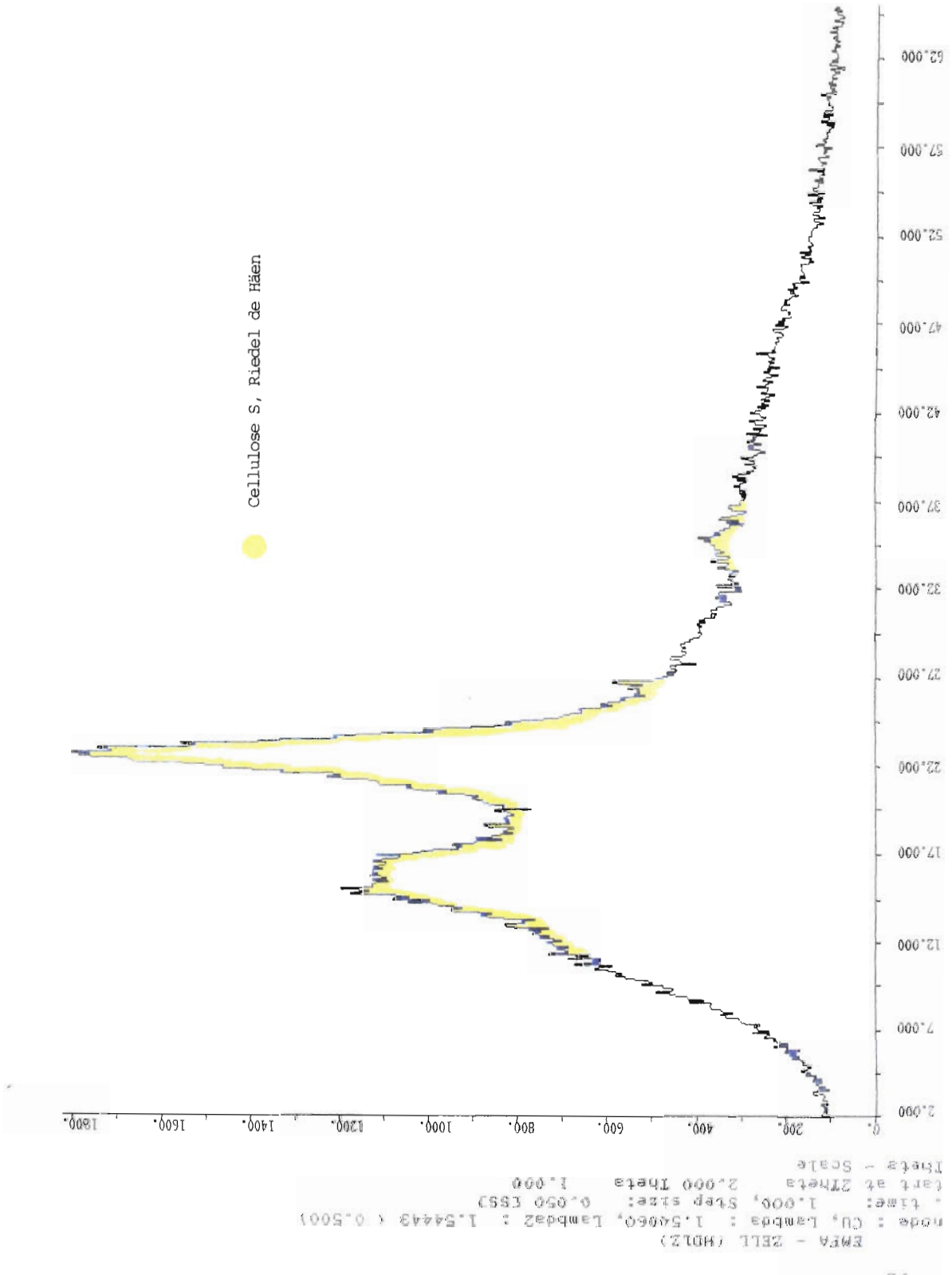


Diagramm 5:
Röntgendiffraktometeranalyse von Kokos-Dämmstoff (Faist)

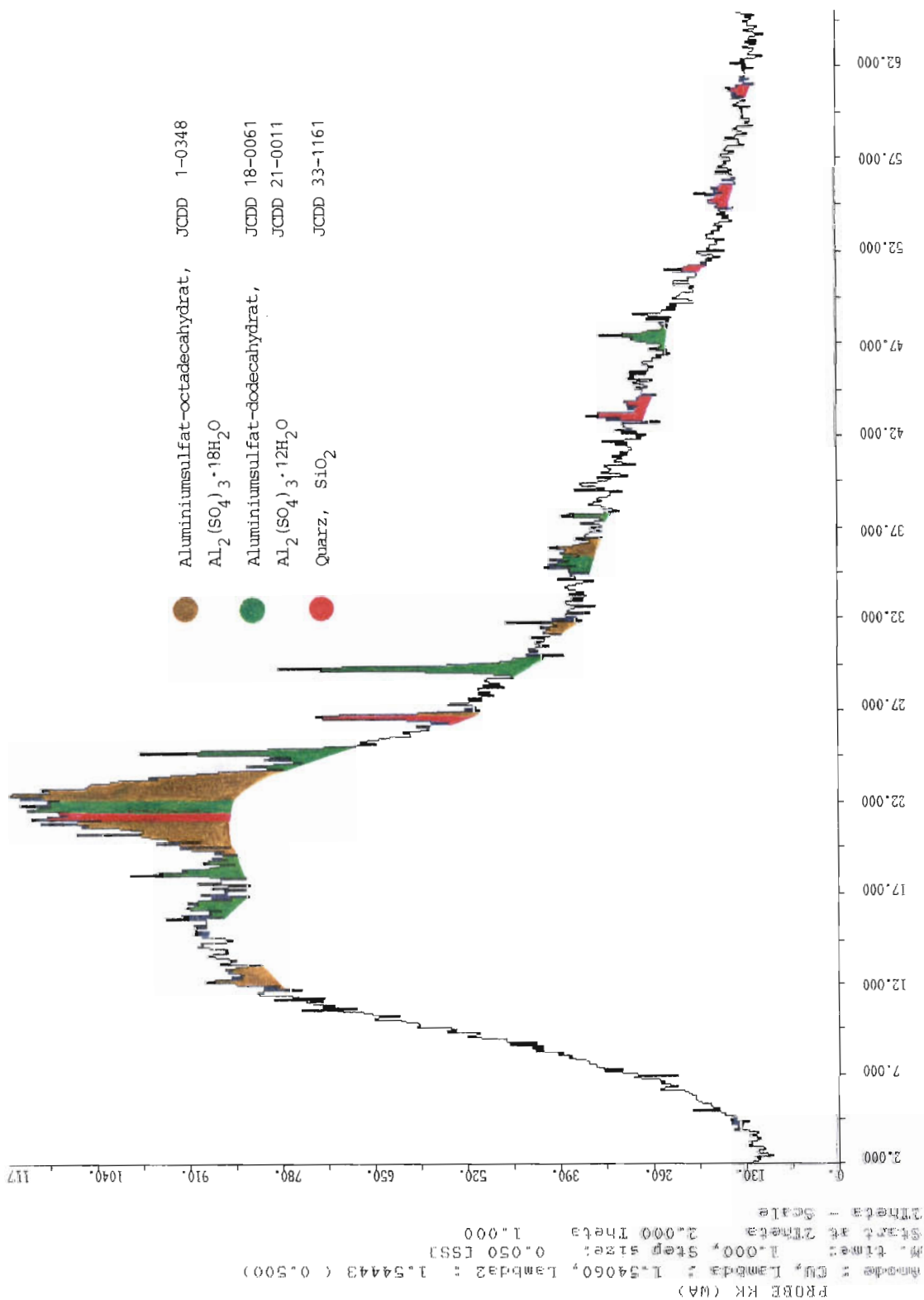


Diagramm 6:
Röntgendiffraktometeranalyse von Baumwolle-Dämmstoff (Isocotton)

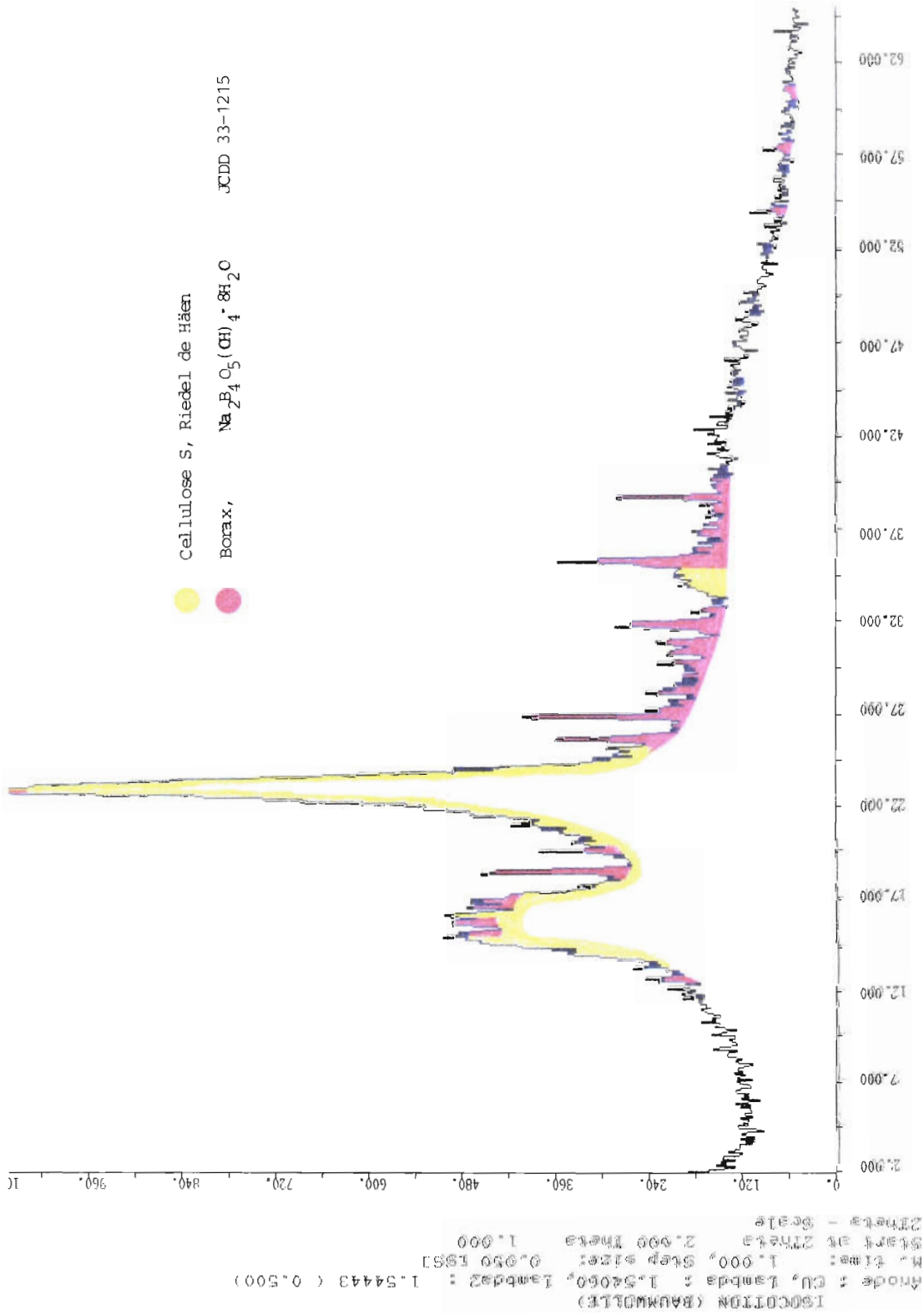


Diagramm 7:
Röntgendiffraktometeranalyse von Flachs-Dämmstoff (Flachs-Haus)

