

Entwicklung von Schallschutzkonstruktionen aus Stroh: Brandverhalten von hochverdichtetem Stroh und Möglichkeiten der Oberflächenmodifizierung

Dipl.-Ing. (FH) Marcus Schöbel, Phone: +49 (0) 341/3076 6639, E-Mail: marcus.schoebel@fb.htwk-leipzig.de, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Fakultät Bauwesen, Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig

B. Eng. Matthias Fuhrmann, E-Mail: matthias.fuhrmann@stud.htwk-leipzig.de, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Fakultät Bauwesen, Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig

Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt befasst sich mit alternativen und modifizierten Materialien für die Errichtung von kostengünstigen temporären und permanenten Schallschutzkonstruktionen. Die Arbeiten konzentrieren sich dabei auf die potentielle Eignung und Nutzung des nachwachsenden, jährlich anfallenden und biologisch abbaubaren Wertstoffs Stroh in Form von hochverdichteten, quaderförmigen Strohballen. Dabei müssen vor allem Brandverhalten und -schutz, Schallschutz, Dauerhaftigkeit, Statik und Optik berücksichtigt werden. Erste Vorversuche am Strohballen zeigten, dass eine unbehandelte Strohoberfläche ein Brandverhalten aufweist, welches nicht für eine Klassifizierung in die Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) geeignet ist bzw. den Widerstand gegen Unterholzbrand (Feuerresistenz) nicht ausreichend gewährleisten kann. Diese vorläufigen Ergebnisse, die angedachte Anwendung im öffentlichen Bereich, die Kriterien aus Regelwerken und die Idee, das eigentlich leicht entflammbare Stroh als Baustoff zu nutzen, rücken das Brandverhalten sehr stark in den Vordergrund.

Aufgrund der inhomogenen Dichteverteilung im Ballen sind die Ergebnisse der Vorversuche lediglich für einen ersten Erkenntnisgewinn nützlich gewesen, aber unzureichend bezüglich der Normanforderungen. Deshalb wurden definierte Prüfkörper hergestellt, die eine präzisere Bewertung hinsichtlich des Brandverhaltens ermöglichen. Diese wurden in Abhängigkeit ihrer Dichte in Gruppen zu jeweils fünf Proben zusammengefasst und für Versuchsreihen in unbehandelte, gestutzte (Halmkürzung an der Oberfläche) sowie durch zusätzliche Materialien vergütete Oberfläche untergliedert. Anschließend erfolgte durch eine Prüfsystematik (Anlehnung an DIN 4102-1) die vorläufige Einstufung der Prüfkörper. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigen, dass mit steigender Dichte in Kombination mit einer gekürzten Oberfläche die Entflammbarkeit von Stroh erheblich abgemindert wird (Einstufung B2 möglich). Die Oberflächenbeschichtungen vermindern die Entflammbarkeit sogar um ein Vielfaches im Vergleich zu der reinen Strohoberfläche. Im weiteren Forschungsverlauf muss untersucht werden, ob die auf B2 klassifizierten Varianten einer Prüfung auf Feuerresistenz (DIN EN 1794-2, Anhang A) im Großversuch standhalten.

Schlüsselwörter: Schallschutzkonstruktion, Strohballen, Baustoffklasse, Brandverhalten

1 Einleitung

Mit dem Fortschritt der technischen Infrastruktur nimmt auch der Neubau und Ausbau von Verkehrswegen zu, welcher eine stetige Erhöhung des Verkehrsaufkommens bewirkt und folgerichtig intensivere Verkehrsemissionen bedeutet. Der Begriff Verkehrsemission beinhaltet die drei Faktoren: Staub, Abgase und Lärm. Diese beeinflussen erheblich das Wohlempfinden der Menschen und stellen laut wissenschaftlicher Studien auch ein Risiko für die Gesundheit dar [1, 2].

Durch Lärm, resultierend aus dem Straßenverkehr oder beispielsweise Baustellenbetrieb, fühlen sich viele Menschen belästigt. Dabei ist zu erkennen, dass verschiedene Schallquellen von Menschen in unterschiedlichem Maße als störend empfunden werden. Etwa zwei Drittel der Deutschen fühlen sich, laut Umweltbundesamt, im Alltag durch Straßenlärm belästigt [3]. Um beim aktiven und passiven Schutz gegen Verkehrslärm deutliche Fortschritte zu erzielen, müssen in nächster Zeit ganz erhebliche Anstrengungen unternommen werden.

2 Hintergrund

Maßnahmen des aktiven Schallschutzes scheitern heutzutage oftmals an den verhältnismäßig hohen Baukosten. Deshalb sollen neue Ansätze geprüft werden, welche die geforderten Wirkungsgrade von Schallschutz-Systemen auch durch alternative und modifizierte Baustoffe unter dem maßgebenden Ansatz der Ressourcenschonung und Kostensenkung einhalten.

Eine neue Verarbeitung des Rohstoffs Stroh in Ballenform mit Dichten über 200 kg/m^3 stellt dem Markt einen qualitativ neuen Baustein mit definierten Eigenschaften zur Verfügung, welcher als Grundelement von Schallschutzsystemen erheblich zur Kostensenkung führen kann. Diese Strohbälle können beispielsweise ohne viel Zeitaufwand in hochvariabler Form zu einer temporären Lärmschutzkonstruktion aufgeschichtet werden. Im Zuge eines späteren Rückbaus der Konstruktion kann der Baustoff wieder verwendet bzw. in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

Pressemitteilungen der vergangenen Jahre berichten immer wieder von Strohbällenbränden. Ein Strohbrand, durch Fremdeinwirkung oder ungünstig zusammenspielende Faktoren entzündet, stellt beispielsweise eine Gefahr für angrenzende Bebauung dar. Es sind somit effektive Brandschutzmaßnahmen notwendig, damit die Brandgefahr minimiert wird und eine Schädigung des Bauteils sowie der Umgebung ausbleibt. Die angestrebten Entwicklungen sollen dabei den geltenden Anforderungen für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen (ZTV-Lsw 06) entsprechen.

3 Material und Methoden

3.1 Analyse eigener und fremder Vorarbeiten

Umfangreiche Recherchen zeigten, dass es Brandschutznachweise gibt, bei denen Strohbälle mit normaler Dichte ($\rho = 90\text{-}130 \text{ kg/m}^3$) und Strohdämmplatten ($\rho = 150 \text{ kg/m}^3$), die Baustoffklasse B2 (normal entflammbar), eine unverputzte Strohballenwand die Feuerwiderstandsklasse F30 und eine einfach verputzte Wand F120 erreicht haben [6, 7, 9, 10]. Daraus resultiert die Vermutung, dass hochdichte Bälle ebenfalls die notwendigen Zielkriterien erreichen können. Für Lärmschutzeinrichtungen ist ein Nachweis auf Feuerresistenz zu führen, falls nicht alle im Element verwendeten Materialien die Anforderungen der Klasse A oder B1 erfüllen (ZTV Lsw 06). Ausgehend von den Literaturangaben wurden zunächst Voruntersuchungen hinsichtlich der



Abb. 1: links: Boraxlösung; rechts: unbehandelt

Klasse B2 und Feuerresistenz an der unbehandelten und behandelten (Borax, Bentonitsuspension, Putz) Ballenoberfläche durchgeführt. Mit diesen Tastversuchen konnten erste Erkenntnisse zum Brandverhalten und dessen Beeinflussung gewonnen werden.

Anhand dieser Voruntersuchungen ist nur schwer abschätzbar, ob die kostenintensiven Normprüfungen auf Baustoffklasse bzw. Feuerresistenz bestanden werden können. Die folgenden Vorabversuche dienen der groben Einordnung, um die Lösungsansätze und deren Auswirkung zu prüfen. Im Hinblick auf Normprüfungen (Gutachten) soll mit dieser Methodik ein optimiertes System entwickelt werden.

3.2 Prüfkörperherstellung

Die nach DIN 4102-1 geforderten quaderförmigen Prüfkörper lassen sich aus dem Strohballen, hinsichtlich seiner strukturellen Eigenschaften, nicht herstellen (Auflockerung, Zerfall der Probe). Für aussagekräftige Betrachtungen zum Brandverhalten sind aber Prüfkörper notwendig, die dem Aufbau des Strohballens hinsichtlich Struktur, Halmanordnung und Dichte entsprechen.



Abb. 2: Bohrkernentnahme

Als sinnvolle Lösungsidee für die Herstellung ungestörter Versuchskörper hat sich die Bohrkernentnahme herausgestellt (Abb. 2). Zunächst wurden einzelne rechteckige Strohsegmente aus dem Ballen herausgetrennt. Diese waren während des Trennprozesses mit einer Umspannung gesichert. Mittels einer entwickelten Bohrkronen ($h = 400 \text{ mm}$, $d_i = 245 \text{ mm}$), angeschlossen an ein herkömmliches Kernbohrgerät, konnten aus diesen Segmenten weitestgehend ungestörte Strohzyylinder entnommen werden. Mit dieser Methode wurde eine kreisförmige Prüffläche definiert.

Die entnommenen Strohzyylinder wurden auf ca. 100 mm Länge aus der Bohrkronen herausgeschoben und anschließend durch ein umlaufendes KG-Rohrsegment fixiert. Danach wurden bei 80 – 90 mm Länge die gesicherten Scheiben abgetrennt. Damit standen repräsentative Prüfkörper (Abb. 3) mit einer \varnothing Fläche $A = 445 \text{ cm}^2$ und einer \varnothing Dicke $d = 8,5 \text{ cm}$ für die Versuche zur Verfügung. Die Prüfkörper wurden anschließend bezüglich der Dichte in zehn Versuchsreihen zu je 2 x 5 Teilversuchen zusammengefasst und untergliedert in unbehandelte Oberfläche, gestutzte Oberfläche ($\rho \sim 100/150/200 \text{ kg/m}^3$) und durch zusätzliche Materialien vergütete Oberfläche ($\rho \sim 150 \text{ kg/m}^3$, gestutzt). Die zusätzlichen Materialien wurden unter Berücksichtigung der ökologischen Unbedenklichkeit und Witterungsbeständigkeit ausgewählt. Zum Einsatz kamen Kalialaun (Kaliumaluminiumsulfat), Kaliumsilikat (Kaliumwasserglas), Kalkputz, Zementputz, verzinktes Metallgitter und eine Kombination von Metallgitter und darunter liegendem Glasfasergewebe.



Abb. 3: Seitenansicht Prüfkörper (Rohrsegment $b = 40 \text{ mm}$)

3.3 Prüfsystematik

Mit der Festlegung die Untersuchungen zum Brandverhalten bezüglich der Klasse B2 (Anlehnung an DIN 4102-1) durchzuführen, sollten vorab ungeeignete Strohoberflächen hinsichtlich der geplanten weiterführenden Untersuchungen (DIN EN 1794-2, Anhang A) ausgeschlossen werden.



Abb. 4: Prüfeinrichtung zur Kantenbeflammung

Dazu wurde für die Kantenbeflammung (Abb. 4) eine Messmarke bei 150 mm ab Unterkante des Prüfkörpers aufgebracht. Für die Flächenbeflammung (Abb. 5) liegen Marken bei 40 mm (Beflammungspunkt) und 190 mm ab Unterkante des Prüfkörpers. Zusätzlich gab es zwei seitliche Begrenzungen im Abstand von 90 mm (Breite der quaderförmigen Prüfkörper, DIN 4102-1). Die Neigung der Brennerdüse betrug 45° und die Flammhöhe (Streichholzflamme) ca. 20 mm (DIN 4102-1).

Die Messmarken und Begrenzungen dürfen während und nach der Beflammung (15s + 5s) nicht von Flammen oder Schadensflächen überschritten werden damit der Teilversuch als bestanden gilt. Als erstes wurde die unbehandelte Oberfläche, danach die gestutzte Oberfläche in Abhängigkeit der Dichte und anschließend die durch zusätzliche Materialien behandelte Oberfläche mit dieser Systematik untersucht. Mit dem Nichtbestehen einzelner Prüfkörper innerhalb einer Prüfserie (Kriterium) gilt die gesamte Versuchsreihe als nicht bestanden. Durch Mittelwertbildung der Brandhöhe (fünf Proben je Versuchsreihe) wurde eine deutlichere Gegenüberstellung der untersuchten Varianten ermöglicht.



Abb. 5: Flächenbeflammung, Bsp.: Teilversuch $\rho = 143 \text{ kg/m}^3$ gestutzt, Prüfung bestanden

4 Ergebnisse

4.1 Oberfläche – unbehandelt/gestutzt

Dichteanalysen ergaben Schwankungen von $100 - 200 \text{ kg/m}^3$, also eine inhomogene Dichteverteilung im Ballen.

Die Brandversuche zeigen, dass mit zunehmender Dichte die Brandhöhe minimiert wird. Allerdings haben bei den Versuchsreihen für $\rho \sim 100 \text{ kg/m}^3$ und $\rho \sim 150 \text{ kg/m}^3$ jeweils ein bis zwei von je fünf Prüfkörpern entweder die Kanten- oder Flächenbeflammung nicht bestanden. Unter Beachtung des Prüfkriteriums (Pkt. 3.3) gelten diese zwei Versuchsreihen als nicht bestanden. Lediglich bei der Testreihe $\rho \sim 200 \text{ kg/m}^3$ haben alle fünf Prüfkörper die Versuche bestanden. Maßgebend ist dennoch die geringste Dichte im Ballen, weil sie den größeren Porenraum (höhere Sauerstoffzufuhr, Angriffsfläche – freiliegende Strohfasern) aufweist und somit eine bessere Entflammbarkeit ermöglicht.

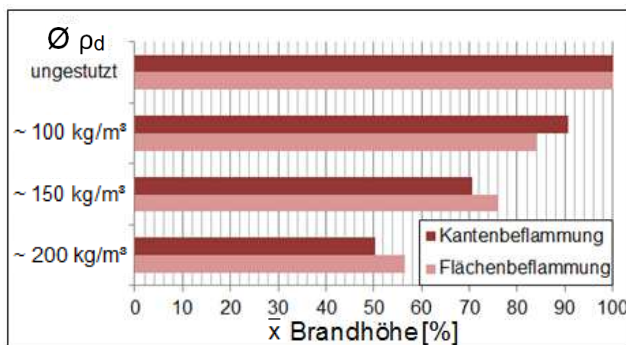


Abb. 6: Abnehmende Brandhöhe bei zunehmender Dichte



Abb. 7: Vergleich Schadensfläche Flächenbeflammung: links: unbehandelt - sofortiges Hochbrennen, rechts: Dichte $\sim 200 \text{ kg/m}^3$ und gestutzte Oberfläche

Einzelne auftretende Ausreißer können damit erklärt werden, dass beispielsweise bei zwei verschiedenen Prüfkörpern mit gleicher Dichte eine unterschiedliche Oberflächenstruktur vorliegt. Diese kann zwar feinporig, aber mit intakten oder ausgefranzten Halmenden vorliegen. Das ist zu einem großen Teil vom Stroh selbst abhängig, da es auch bei den Halmen Unterschiede bezüglich der Struktur gibt. Diese Unterschiede können auf das Wachstum der Pflanze, auf Umwelteinflüsse und die mechanische Bearbeitung des Strohs zurückgeführt werden. Eine Dichte von $\sim 200 \text{ kg/m}^3$ in Kombination mit feinporiger Oberfläche kann für den kompletten Ballen nicht gewährleistet werden. Somit ist eine Oberflächenmodifizierung durch zusätzliche Materialien notwendig, damit die Entflammbarkeit effektiv minimiert wird [4, 5, 8].

4.2 Oberfläche – durch zusätzliche Materialien modifiziert

Die Wirksamkeit der zusätzlichen Materialien sollte unabhängig von der Dichteveränderung bewertet werden. Deshalb wurden Prüfkörper in einheitliche Versuchsreihen ($\rho \sim 150 \text{ kg/m}^3$) zusammengefasst und vergütet. Die versiegelte Oberfläche verhindert eindeutig das Entstehen von offenen Flammen. Bei Hitzeeinwirkung, beispielsweise auf Kaliumaluminiumsulfat oder Kaliumsilikat, ist durch freiwerdendes Kristallwasser oder flammerstickende Gase nur ein Glühen mit anschließender oberflächlicher Verkohlung möglich [5].

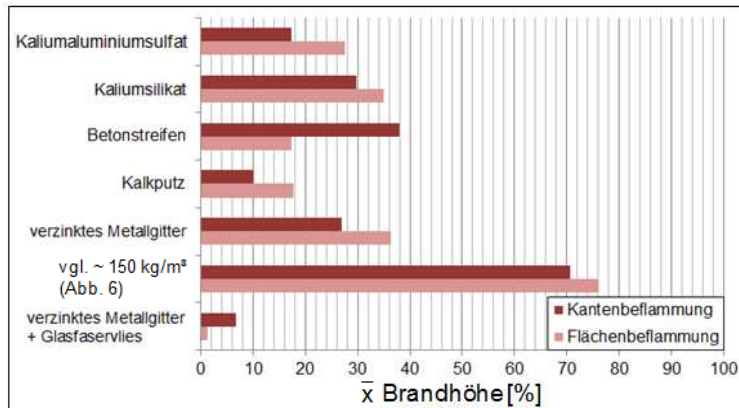


Abb. 8: Brandhöhe in Abhängigkeit von den gewählten Modifizierungen



Abb. 9: Prüfkörper mit Kalialaun behandelt, links: Beflammung B2-Prüfung, rechts: Erhöhung der Flammintensität, keine Flammenentwicklung

5 Diskussion

Die Prüfkörper mit der langfaserigen Oberfläche haben bei den Brandversuchen am schlechtesten abgeschnitten und die Prüfungen nicht bestanden. Das bestätigen auch die Ergebnisse aus den Voruntersuchungen (Pkt. 3.1). Die unbehandelte Oberfläche entfällt somit für weitere Untersuchungen und anwendungstechnische Betrachtungen. Eine gleichmäßige Oberfläche des Strohballens durch Abtrag der äußeren 10-15 cm (stutzen) ist das erste bautechnische Kriterium, damit ein Verringerungseffekt bezüglich der Entflammbarkeit entsteht. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass nur die Prüfkörper mit gestutzter Oberfläche und einer durchschnittlichen Dichte von 200 kg/m^3 die Prüfungen bestanden haben. Daraus folgt das zweite Kriterium, dass zusätzlich zur gestutzten Oberfläche eine hohe Dichte gewährleistet sein muss, da mit steigender Dichte die Entflammbarkeit abgemindert wird (Abb. 6). Die zusätzlichen Materialien bewirken eine erhebliche Minimierung der Entflammbarkeit (Abb. 8). Alle getesteten Varianten können nach der Bewertungssystematik vorläufig in die Klasse B2 eingeordnet werden. Selbst bei Erhöhung der Flammenintensität bieten beispielsweise Kaliumaluminiumsulfat, Putz oder die Gitter/Vlies-Kombination noch ausreichend Schutz, um die Prüfkriterien zu erfüllen.

6 Schlussfolgerungen

Zur erfolgreichen Einordnung in die Baustoffklasse B2 ist eine über den Ballen konstant verteilte Dichte von $\geq 200 \text{ kg/m}^3$ notwendig. Zusätzlich muss die inhomogen ausgerichtete und langfaserige Oberfläche gestutzt werden, damit ein rasches Aufsteigen der Flammen verhindert wird. Die nach dem Kürzen der langen Strohfaseren entstandene feinporige Oberfläche kann bei Anwendung einer Oberflächenbeschichtung auch eine gleichmäßige Eindringtiefe des Stoffes (Lösung) bzw. einen guten

Haftgrund (Putz) gewährleisten. Das Problem des inhomogenen Aufbaus der Strohballen muss durch Analyse der Pressvorgänge untersucht werden. Gelingt es maschinentechnisch nicht, eine homogen verteilte Dichte $\geq 200 \text{ kg/m}^3$ im Strohballen zu gewährleisten, müssen zusätzliche Materialien zur Minimierung der Entflammbarkeit aufgebracht werden. Des Weiteren sind Kombinationen von Maßnahmen zum Schutz ausgewählter Wandbereiche denkbar, beispielsweise das Versiegeln kritischer Bereiche (Fugen) mit Putz und Schützen flächiger Bereiche durch eine Gitterkonstruktion. Der Einfluss der Modifizierungen auf die schalltechnischen Eigenschaften ist zu prüfen, denn eine vollständige Versiegelung der Oberfläche bedeutet eine Abschwächung oder gar Verhinderung der Schallabsorptionsfähigkeit des Strohs. Da es sich um eine Konstruktion im Außenbereich handelt, ist als weiteres Kriterium die Witterungsbeständigkeit der Modifizierungen zu analysieren. Nach Auswahl geeigneter Modifizierungen soll für die auf B2 klassifizierten Varianten eine abschließende Untersuchung im Großversuch, in Anlehnung an die DIN EN 1794-2 Anhang A (Feuerresistenz), erfolgen. Für die Varianten mit guten Eigenschaften hinsichtlich Feuerresistenz, Schallschutz und Dauerhaftigkeit werden im späteren Forschungsverlauf Laborprüfungen (Fremdgutachten/Zertifizierung) durchgeführt.

7 Literatur

Normen:

- DIN 1794-2 (2011): Lärmschutzeinrichtungen an Straßen: Nichtakustische Eigenschaften - Teil 2: Allgemeine Sicherheits- und Umwelanforderungen
- DIN 4102-1 (1998): Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 50051 (1977): Prüfung von Werkstoffen; Brennverhalten von Werkstoffen; Brenner
- DIN 51622 (1985): Flüssiggase; Propan, Propen, Butan, Buten und deren Gemische; Anforderungen
- DIN 53438-1 (1984): Prüfung von brennbaren Werkstoffen; Verhalten beim Beflammen mit einem Brenner; Allgemeine Angaben
- DIN EN ISO 11925-2 (2011): Prüfung zum Brandverhalten - Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung - Teil 2: Einzelflammentest
- DIN EN 13501-1 (2010): Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
- ZTV Lsw 06 (2006): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen

Literatur:

1. <http://www.umweltbundesamt.de/luft/schadstoffe/feinstaub.htm>, Zugriff: 23.02.2012
2. <http://www.bmu.de/laermschutz/ueberblick/laermwirkung/doc/41237.php>, Zugriff: 23.02.2012
3. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=20445>, Zugriff: 23.02.2012
4. ADENSAM, H.; BREINESBERGER, J.; STARIBACHER, M.; HILLER, S.; UNFRIED, G.; SCHWARZMÜLLER, E.; HEGEDYS, H.; FROSCH, V.; GANGLBERGER, E. (2005): Stroh kompakt: Fabrik der Zukunft als regionales Produktionsnetzwerk auf Basis nachwachsender Rohstoffe anhand eines Pilotprojektes im Bereich Dämmstoffe, Wien, S. 42 ff.
5. BENEDIX, R. (2003): Bauchemie: Einführung in die Chemie für Bauingenieure, 2. Auflage, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, S. 435 ff.
6. BRUCKNER, H.; SCHNEIDER, U. (1998): Naturbaustoffe, 1. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf, S. 94
7. GRUBER, H.; GRUBER, A.; SANTLER, H. (2008): Neues Bauen mit Stroh, 3. Auflage, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, S. 42 f.
8. KROISS, J.; BAMMER, A. (2000): Biologisch natürlich Bauen, 1. Auflage S. Hirzel Verlag, Stuttgart, S. 182; S. 361 ff.
9. MINKE, G.; MAHLKE, F. (2004): Der Strohballenbau: Ein Konstruktionshandbuch, 1. Auflage, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, S. 35 f.
10. WIMMER, R.; HOHENSINNER, H.; JANISCH, L. (2001): Endbericht: Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie, Wandaufbauten aus Nachwachsenden Rohstoffen, Wien, S. Anhang A 42