

# Haus der Zukunft

Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung

Studie im Auftrag des  
Bundesministeriums für Verkehr Innovation und Technologie

in Zusammenarbeit mit asbn und StrohTec

Wandsystem aus Nachwachsenden Rohstoffen

Endbericht

Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie

Wandaufbauten aus Nachhaltigen Rohstoffen

Projektleitung  
Robert Wimmer (GrAT)

Gruppe Angepasste Technologie (GrAT)  
Hannes Hohensinner  
Luise Janisch

in Zusammenarbeit mit

Österreichisches Strohballen Netzwerk asbn  
Herbert Gruber  
Walter Passauer

StrohTec GesmbH

Kapitel Fehlerquellenanalyse und Anschlussdetails  
in Zusammenarbeit mit  
IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

Wien, Jänner 2001

## Inhaltsverzeichnis

<b>SUMMARY</b> .....	<b>6</b>
<b>KURZZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>10</b>
<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>14</b>
VORTEILE VON NACHWACHSENDE ROHSTOFFE.....	15
ZIEL DER STUDIE.....	15
AUSWIRKUNGEN .....	16
<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>17</b>
ROHSTOFFBEREITSTELLUNG UND AUFBEREITUNG .....	17
<i>Verfügbarkeit von Stroh</i> .....	17
<i>Qualität des Strohs und der Strohballen</i> .....	18
Landwirte .....	18
Landmaschinenhersteller.....	19
Mähdrescher .....	19
Ballenpressen.....	20
Abmessungen der Strohballen.....	21
<i>Halbindustrielle Rohstoffaufbereitung</i> .....	24
QUALITÄTSSICHERUNG .....	25
<i>Anforderungsprofile an den Baustoff – Strohballen</i> .....	26
Feuchte.....	27
Dichte.....	27
Form und Maßhaltigkeit der Strohballen .....	28
Herstellungstechnische Qualitätsparameter.....	29
<i>Mobiles Prüflabor</i> .....	30
Messgrößen .....	30
Aufbau des Prüflabors.....	31
Messinstrumente .....	32
Längenmessung .....	32
Gewichtsmessung .....	32
Feuchte- und Temperaturmessung.....	32
Messdatenverarbeitung .....	35
Messkoffer .....	35
Probemessungen.....	35
FEHLERQUELLENANALYSE/ANSCHLUSSDETAILS .....	37
<i>Aufgabenstellung</i> .....	37
<i>Bauphysikalische Beschreibung und Bewertung der ausgewählten Aufbauten</i> .....	38
Primärkonstruktion.....	38
Allgemeine Anmerkungen zu den Aufbauten mit hinterlüfteter Fassade .....	43
Konstruktion 1: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Gipsfaserplatten .....	44
Konstruktion 2: Strohwand hinterlüftet, innenseitig verputzt .....	47
Konstruktion 3: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Hourdisziegel .....	51
Konstruktion 4: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Lehmbauplatten.....	53
Allgemeine Anmerkungen zu den Aufbauten mit Putzfassade .....	55

Konstruktion 5: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Gipsfaserplatte .....	57
Konstruktion 6: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig verputzt .....	59
Konstruktion 7: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Hourdisziegel .....	62
Konstruktion 8: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Lehmbauplatte .....	64
Anschlussdetails .....	66
Kellerdecke leicht .....	66
Kellerdecke massiv .....	68
Pulldach .....	70
Steildach .....	72
Fenster .....	74
Luftdichte Bekleidungen, Empfehlungen .....	77
<i>Zusammenfassende Ergebnisse der Wandkonstruktionen und Anschlussdetails</i> .....	78
<i>Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse</i> .....	81
SCHÄDLINGSBEFALL .....	82
BRANDSCHUTZ .....	84
<i>Internationale Brandbeständigkeitsuntersuchungen</i> .....	84
<i>Brandbeständigkeitsuntersuchungen im Rahmen des Projekts</i> .....	86
B2 - Brandtest .....	86
B1 – Brandtest .....	88
<i>Bauteil-Brandbeständigkeits-Überprüfung</i> .....	88
<i>Schlussfolgerungen zur Brandbeständigkeit:</i> .....	93
WÄRMETECHNISCHE PERFORMANCE VON STROHBALLENWÄNDEN .....	95
<i>Vergleichende Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen in den USA</i> .....	95
<i>Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen im Rahmen dieses Projekts</i> .....	96
<i>Schlussfolgerungen aus den Wärmeleitfähigkeitstests</i> .....	99
NIEDRIGENERGIEHAUS – PASSIVHAUS UND STROHBALLENBAU .....	100
<i>Optimierung des Holzständersystems aus Sicht der Verarbeiter</i> .....	102
SCHALLSCHUTZ .....	107
<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>109</b>
<b>WEITERE WICHTIGE FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSFRAGESTELLUNGEN .....</b>	<b>111</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>112</b>
ANHANG: BEREITS ERRICHTETE STROHBALLENGEDÄMMTE GEBÄUDE IN ÖSTERREICH .....	115
ANHANG: PRÜFZERTIFIKATE .....	121
ANHANG: MOBILES PRÜFLABOR/MESSINSTRUMENTE .....	142
ANHANG: BAUPHYSIKALISCHE BERECHNUNGEN .....	146

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENERGIEVERBRAUCH BESTEHENDES GEBÄUDE UND PASSIVHAUS.....	14
ABBILDUNG 2: GETREIDESTROHAUFKOMMEN IN ÖSTERREICH.....	18
ABBILDUNG 3: KLEINBALLENPRESSE .....	21
ABBILDUNG 4: GROBBALLENPRESSE.....	22
ABBILDUNG 5: SCHEMA DES PRESSVORGANGS.....	22
ABBILDUNG 6: MAßE DES KLEINBALLENS .....	23
ABBILDUNG 7: MOBILES PRÜFLABOR.....	30
ABBILDUNG 8: SORPTIONS-ISOTHERME FÜR STROHMATTE .....	34
ABBILDUNG 9: KONSTRUKTION 1 – STROHWAND HINTERLÜFTET, INNENSEITIG GIPSFASERPLATTEN .....	44
ABBILDUNG 10: KONSTRUKTION 2 – STROHWAND HINTERLÜFTET, INNENSEITIG VERPUTZT .....	47
ABBILDUNG 11: KONSTRUKTION 2B – STROHWAND HINTERLÜFTET, INNENSEITIG HWL-PLATTE VERPUTZT .....	48
ABBILDUNG 12: KONSTRUKTION 3: STROHWAND HINTERLÜFTET, INNENSEITIG HOURDISZIEGEL.....	51
ABBILDUNG 13: KONSTRUKTION 4 – STROHWAND HINTERLÜFTET, INNENSEITIG LEHMBAUPLATTEN .....	53
ABBILDUNG 14: KONSTRUKTION 5: STROHWAND MIT PUTZFASSADE, INNENSEITIG GIPSFASERPLATTE.....	57
ABBILDUNG 15: KONSTRUKTION 6 - STROHWAND MIT PUTZFASSADE, INNENSEITIG VERPUTZT .....	59
ABBILDUNG 16: KONSTRUKTION 6B - STROHWAND MIT PUTZFASSADE, INNENSEITIG HWL-PLATTE VERPUTZT .....	60
ABBILDUNG 17: KONSTRUKTION 7 – STROHWAND MIT PUTZFASSADE, INNENSEITIG HOUDRISZIEGEL .....	62
ABBILDUNG 18: KONSTRUKTION 8 – STROHWAND MIT PUTZFASSADE, INNENSEITIG LEHMBAUPLATTE.....	64
ABBILDUNG 19: ANSCHLUSSDETAILS KELLERDECKE LEICHT.....	66
ABBILDUNG 20: ANSCHLUSSDETAILS KELLERDECKE MASSIV .....	68
ABBILDUNG 21: ANSCHLUSSDETAILS PULTDACH.....	70
ABBILDUNG 22: ANSCHLUSSDETAILS STEILDACH .....	72
ABBILDUNG 23: ANSCHLUSSDETAILS FENSTER VARIANTE 1.....	74
ABBILDUNG 24: ANSCHLUSSDETAILS FENSTER VARIANTE 2.....	75
ABBILDUNG 25: PROBEKÖRPER FÜR BRANDKLASSENÜBERPRÜFUNG .....	87
ABBILDUNG 26: AUFBAU DES KLEINPROBEKÖRPERS FÜR DIE BRANDBESTÄNDIGKEITSÜBERPRÜFUNG.....	89
ABBILDUNG 27: BRANDVERSUCH MIT KLEINPROBE – AUßENWAND MIT TEMPERATURMESSFÜHLERN.....	89
ABBILDUNG 28: ERRICHTUNG DER PROBEWAND.....	90
ABBILDUNG 29: LEHMVERPUTZTE INNENSEITE DES STROHWANDAUFBAUS BEIM BRANDVERSUCH.....	90
ABBILDUNG 30: DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DES WANDAUFBAUS FÜR DIE BAUTEILÜBERPRÜFUNG .....	91
ABBILDUNG 31: VORBEREITUNGEN FÜR DEN SCHLAGVERSUCH IM RAHMEN DER BAUTEILÜBERPRÜFUNG.....	92
ABBILDUNG 32: ERGEBNIS DES SCHLAGVERSUCHS .....	92
ABBILDUNG 33: VERGLEICH DER ENERGIEKENNWERTE .....	100
ABBILDUNG 34: PASSIVHAUS GEEIGNETE AUßENWANDKONSTRUKTIONEN .....	101
ABBILDUNG 35: OPTIMIERTES HOLZSTÄNDERSYSTEM MIT STROHBALLENDÄMMUNG .....	102
ABBILDUNG 36: OPTIMIERTES PASSIVHAUS -WANDSYSTEM .....	105

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: STROHERTRÄGE VERSCHIEDENER GETREIDEARTEN .....	17
TABELLE 2: ÖSTERREICHISCHE VERTRIEBSSTELLEN VON STROHBALLENPRESSEN .....	20
TABELLE 3: STANDARDFORMATE VON QUADERBALLEN .....	22
TABELLE 4: SELTEN VERWENDETE STROHBALLENFORMATE .....	22
TABELLE 5: QUALITÄTSANFORDERUNGEN FÜR DEN BAUSTOFF STROHBALLEN .....	26
TABELLE 6: BERECHNETE VARIANTEN DES STROHWANDAUFBAUS .....	37
TABELLE 7: TECHNISCHE KENNWERTE VON STROHBALLEN .....	38
TABELLE 8: MAßNAHMEN ZUR FEHLERVERMEIDUNG DURCH FEUCHTE .....	40
TABELLE 9: AUFBAU – KONSTRUKTION 1 .....	44
TABELLE 10: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 1 .....	45
TABELLE 11: AUFBAU – KONSTRUKTION 2A .....	47
TABELLE 12: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 2A .....	47
TABELLE 13: AUFBAU – KONSTRUKTION 2B .....	48
TABELLE 14: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 2B .....	48
TABELLE 15: AUFBAU – KONSTRUKTION 3 .....	51
TABELLE 16: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 3 .....	52
TABELLE 17: AUFBAU – KONSTRUKTION 4 .....	53
TABELLE 18: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 4 .....	54
TABELLE 19: AUFBAU – KONSTRUKTION 5 .....	57
TABELLE 20: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 5 .....	58
TABELLE 21: AUFBAU – KONSTRUKTION 6 .....	59
TABELLE 22: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 6 .....	59
TABELLE 23: AUFBAU – KONSTRUKTION 6B .....	60
TABELLE 24: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 6B .....	60
TABELLE 25: FEUCHTEVERHALTEN IN ABHÄNGIGKEIT VOM AUßENPUTZ – KONSTRUKTION 6A .....	61
TABELLE 26: AUFBAU – KONSTRUKTION 7 .....	62
TABELLE 27: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 7 .....	63
TABELLE 28: AUFBAU – KONSTRUKTION 8 .....	64
TABELLE 29: BAUPHYSIKALISCHE KENNWERTE – KONSTRUKTION 8 .....	65
TABELLE 30: AUFBAU – KELLERDECKE LEICHT .....	66
TABELLE 31: AUFBAU – KELLERDECKE MASSIV .....	68
TABELLE 32: AUFBAU - PULTDACH .....	70
TABELLE 33: AUFBAU - STEILDACH .....	72
TABELLE 34: AUFBAU – FENSTER VARIANTE 1 .....	74
TABELLE 35: AUFBAU – FENSTER VARIANTE 2 .....	75
TABELLE 36: ZUSAMMENFASSUNG DER BERECHNUNGSERGEBNISSE .....	81
TABELLE 37: WÄRMELEITFÄHIGKEIT FÜR STEHENDE BALLEN – USA .....	95
TABELLE 38: WÄRMELEITFÄHIGKEIT FÜR LIEGENDE BALLEN – USA .....	95
TABELLE 39: MESSERGEBNISSE IM RAHMEN DES PROJEKTS BEI UNTERSCHIEDLICHEN STROHBALLENDICHTEN .....	96
TABELLE 40: WÄRMELEITFÄHIGKEITSPRÜFUNG .....	96
TABELLE 41: U-WERT BERECHNUNG 1 .....	97
TABELLE 42: U-WERT BERECHNUNG 2 .....	97
TABELLE 43: EINSPARUNGSPOTENZIALE DER STROHBALLENDÄMMUNG .....	98

## Summary

Beside a good marketing concept, a successful implementation of new products into the market of building products is dependent on technical approval. It is the aim of this work to guide the innovative straw bale building method from the experimental stage to the professional stage and to support its market introduction by providing the necessary product certificates, tools for an efficient and effective quality management and optimised constructions, suitable for passive houses. Therefore, research and development work has been done on three different levels:

- building technical tests to provide certificates for fire resistance and heat insulation, to meet the criteria of the Austrian and European Building Codes.
- Optimising straw bale wall systems and connections of building components
- Developing a mobile straw bale testing lab to provide a tool to ensure an efficient and an effective quality management from the field to the straw bale house.

The used post and beam straw bale construction was tested at the *Municipal Department 39 - Testing and Research Institute of the City of Vienna* and led to some exceptionally good results concerning heat insulation and fire resistance. Thermal insulation of straw bales was already tested in the USA.

From these results a specific heat conductance of about ( $\lambda$ ; SI-unit: W/mK) 0,05 W/mK was expected. This would allow for a  $\lambda$  of 0,06 W/mK including the 20% humidity supplement for organic materials provided in Austria. The actual test results showed an even lower specific heat conductance of  $\lambda=0,0337$  W/mK and 0,0380 W/mK. 20% humidity supplement strawbales yielded the following properties:

### $\lambda$ -value of 0,0404 W/mK and 0,0456 W/mK

The first value was measured according to ISO 8301:1991 (Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus), the second one according to ÖNORM B 6015 Teil 1 (Determination of the thermal conductivity by the guarded hot plate apparatus). (Certificates see Appendix).

These test results confirm the high performance of heat insulation of straw bales.

The fire resistance of the building material - the strawbales and that of the building component - the straw bale wallsystem, was tested. Building materials are classified into 4 different groups:

- A not combustible
- B1 hardly combustible
- B2 normally combustible
- B3 easily combustible

To be able to use building materials without legal restrictions, a certificate of the combustibility grading period of B2 is needed.

Building components are classified into F30, F60, F90, which implies how many minutes the building component resists fire.

Already made tests in the USA came to the result, that lack of oxygen in the compressed straw bales is responsible for high fire resistance.

These experiences were confirmed with the tests made within the scope of the project. The straw bale and the straw bale wall system were tested according to ÖNORM B3800 (Certificates see Appendix).

**The straw bale was classified as B2**

and

**the tested straw bale wallsystem was classified as F90.**

These excellent test results show that high fire resistant constructions can be realized without chemical treatment of the straw bales.

The avoidance of sources of error and the optimization of building junction elements is essential to guarantee high functionality of the products and to ensure passive house standards in the long term. Therefore 8 different wall systems, based on the post and beam straw bale wall (wooden framework construction with straw bales in-fill) were further developed and optimised.

- Construction 1: Straw bale wall, outside ventilated, interior gypsum plaster board
- Construction 2: Straw bale wall, outside ventilated, interior clay plaster
- Construction 3: Straw bale wall, outside ventilated, interior Hourdis stone
- Construction 4: Straw bale wall, outside ventilated, interior clay board
- Construction 5: Straw bale wall, outside plastered, interior gypsum plaster board
- Construction 6: Straw bale wall, outside plastered, interior clay plaster
- Construction 7: Straw bale wall, outside plastered, interior Hourdis bricks
- Construction 8: Straw bale wall, outside plastered, interior clay panels



All these constructions fulfil the passive house standards. The calculation of thermal storage capacity to avoid overheating shows low to middle values. The diffusion open constructions avoid humidity problems within the wall and even enable fast drying after unexpected water damages. Sound insulation is sufficient using double shell construction. Single shell constructions still have to be optimised. The chosen construction examples can be made airtight without any problem. Fire resistance is F90 without further adaptation. The connections of the straw bale wall to the other building components can be realised without creating thermal bridges. Water and electric installation causes no damage of the airtight layer. Connections of the straw bale wall to windows, ceiling and cellar can fulfil passive house standards.

To ensure top quality of straw as building material an efficient and effective quality management has to be built up. In this respect the development of a mobile testing lab for straw bales is the first major step. The testing equipment is responsible for the analysis and assessment of the quality of the straw bales. It also allows for the measurement of all relevant parameters of the bales. Bale dimensions, weight, temperature and humidity are measured. Furthermore, colour, shape, homogeneity, pureness of the bale and appearance of mould are analysed and assessed by the testing person. The measurement equipment fits in a specially developed suitcase.

Test series of the lab led to adaptation and optimization of the measuring equipment and proved its functionality. The lab provides a testing tool, which is easily applicable and reliable during the whole production process from the field to the straw bale house.

An important point of the quality management is to avoid noxious animals and insects during storage of the bales and the construction of the building. The literature points out, that there are no such problems such as mice and insects, if the straw bale constructions are properly made. Furthermore, it is stated that clean straw has a low allergic potential.

Nevertheless it is important to use high quality bales and proper constructions, because badly constructed buildings and the use of humid straw bales or permanent penetration of water into the wall can cause mould growth and can reduce duration of use and occupant comfort considerably.

The results of the study lead to the conclusion, that straw bale building has a very high development potential, already pointed out in studies made in the USA.

With this project, technical fundamentals are provided for the straw bale building sector and necessary certificates support market introduction of this organic building material. So that this innovative building material is made available to the passive house sector.

The study „Supporting and Hindering Factors for Renewable Resources in the Building Sector“ points out that straw bale building can be used in many more fields than family houses. This conclusion leads to further R&D questions, which need to be worked out to enable the full economic potential of the straw bale building.

R&D work contains the following points:

- Improving dissemination of straw bale building
- Expanding the variety of straw bale constructions regarding technique and design
- Improving the availability of straw bales in the desired quantity and quality
- Enabling the full regional potential of straw bale building
- Maximising regional added value by local entrepreneurs and farmers
- Efficient co-operation structures for straw bale building
- Long term tests

With the current project „S-House“ within the scope of call for „Haus der Zukunft“ a straw bale demonstration project, based upon the results of this project will be put into practice. The “S-House” will help to disseminate all relevant information about building materials made out of renewable raw materials and ecologically sound constructions.

## Kurzzusammenfassung

Die erfolgreiche Markteinführung neuer Bauprodukte hängt, neben einem guten Marketing Konzept wesentlich von technischen Zertifizierungen ab.

Ziel dieses Projekts ist es, die Überleitung der innovativen Strohballen- Bauweise von einer experimentellen Phase in eine professionelle Phase durch die erforderlichen technischen Zertifizierungen, durch Hilfsmittel für eine effektive Qualitätssicherung und durch optimierte Passivhaus- taugliche Konstruktionen, zu unterstützen.

Dafür wurde Forschung und Entwicklungsarbeit in den folgenden drei Bereichen geleistet:

- Technische Tests und Prüfzertifikate hinsichtlich Feuerbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit in Übereinstimmung mit österreichischen und europäischen Baustandards
- Erarbeitung konstruktiver Lösungen für Wandaufbau und Anschlussdetails,
- Entwicklung eines mobilen Prüflabors zur Qualitätssicherung vom Strohballen am Feld bis zum fertigen Haus

Die untersuchten strohgefüllten Holzständerkonstruktionen wurden von der *Magistratsabteilung 39-VFA: Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien - Akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle*, durchgeführt und führten zu außerordentlich guten Ergebnissen, sowohl hinsichtlich der Wärmedämmeigenschaften als auch hinsichtlich der Brandbeständigkeit.

Auf Grund von vorliegenden in den USA durchgeführten Wärmeleittests lagen die erwarteten Werte der spezifischen Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ; SI-Einheit: W/mK) bei ca. 0,05W/mK<sup>1</sup>. Das bedeutet, dass mit dem für Nachwachsende Rohstoffe vorgesehenen 20%igen Feuchtezuschlag Strohballen ein  $\lambda$  von ca. 0,06W/mK zu erwarten war. Die tatsächlichen Ergebnisse der durchgeführten Messungen zeigten sogar deutlich bessere Werte . Die spezifischen Wärmeleitfähigkeiten der getesteten Strohballen mit Dichten von 83kg/m<sup>3</sup> bzw. 100kg/m<sup>3</sup> lagen bei 0,0337 W/mK bzw. 0,0380 W/mK. Diese Prüfwerte ( $\lambda_p$ ) entsprechen mit dem 20% Feuchtezuschlag Lambda Rechenwerten von

$$\lambda_R = 0,0404 \text{ W/mK bzw. } 0,0456 \text{ W/mK}$$

Der erste Wert wurde nach ISO 8301 und der zweite Wert nach ÖNORM B 6015 Teil 1 gemessen (Prüfzertifikate siehe Anhang).

---

<sup>1</sup> Die Dichte der gemessenen amerikanischen Strohballen lag bei 130 kg/m<sup>3</sup>. Die in Österreich am häufigsten verwendeten Kleinballenpressen erzeugen Strohballen mit Dichten zwischen 90 und 110 kg/m<sup>3</sup>. Die niedrigere Dichte ließ einen schlechteren Dämmwert erwarten.

Getestet wurde auch die **Brennbarkeitsklasse** des Baustoffs Stroh und der **Brandwiderstand** des ganzen Bauteils, des kompletten Wandaufbaus.

Baumaterialien sind hinsichtlich ihrer Brennbarkeit in vier Baustoffklassen unterteilt:

A	nicht brennbar
B1	schwer brennbar
B2	normal brennbar
B3	leicht brennbar

Für einen weitreichenden Einsatz von Strohballen im Bauwesen im Rahmen der rechtlichen Vorschriften ist die Baustoffklasse B2 – normal brennbar erforderlich.

**Bauteile** werden in Kategorien (F30, F60, F90) eingeteilt, die den Brandwiderstand des jeweiligen Bauteils in Minuten ausdrücken.

Die in den USA durchgeführten **Brandtests** zeigten, dass der geringe Sauerstoffgehalt im Ballen für die schlechte Brennbarkeit von gepresstem Stroh verantwortlich ist. Diese Ergebnisse wurden von den im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Brandtests bestätigt. Die verwendeten Strohballen und der untersuchte Stroh Wandaufbau wurden gemäß ÖNORM B3800 getestet.

Die Strohballen aus unbehandeltem Weizenstroh der Rohdichten  $120\text{kg/m}^3$  und  $90\text{kg/m}^3$  erreichten die

#### **Baustoffklasse B2 – normal brennbar**

(Prüfzertifikat siehe Anhang).

Für den getesteten Wandaufbau (mit Strohballen gedämmte Holzständerkonstruktion, beidseitig verputzt) wurde die

#### **Brandwiderstandsklasse F90**

erreicht (Prüfzertifikat siehe Anhang).

Diese ausgezeichneten Ergebnisse beweisen, dass Konstruktionen mit hoher Feuerbeständigkeit auch ohne chemische Brandschutzmittel realisiert werden können.

**Vermeidung von Fehlerquellen und Optimierung der Anschlussdetails** sind entscheidend für Funktionalität von Niedrigenergie- und Passivhauskonstruktionen. Im Projekt wurden acht verschiedene Varianten von Wandaufbauten auf der Basis strohgefüllter Holzständerkonstruktionen berechnet und optimiert:

Konstruktion 1: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Gipsfaserplatten

Konstruktion 2: Strohwand hinterlüftet, innenseitig verputzt

Konstruktion 3: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Hourdisziegel

Konstruktion 4: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Lehmbauplatten

Konstruktion 5: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Gipsfaserplatte

Konstruktion 6: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig verputzt

Konstruktion 7: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Hourdisziegel

Konstruktion 8: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Lehmbauplatte

Alle Aufbauten haben hohe Funktionalität und erfüllen durch die exzellente Wärmedämmung Passivhausstandard. Die vorhandenen Speichermassen gegen sommerliche Überhitzung erreichen mittlere Werte. Die diffusionsoffene Bauweise verhindert Probleme mit Feuchte in der Wand. Durch das hohe Austrocknungspotenzial solcher Bauweisen verursachen selbst kurzfristige unvorhersehbare Wassereinträge (z.B. Wasserrohrbruch) keine bleibenden Bauschäden. Den Schallschutz betreffend, kann davon ausgegangen werden, dass mit zweischaliger Bauweise ein ausreichender Schallschutz zu erzielen ist, einschalige Gebäude müssen in diesem Punkt noch verbessert werden.

Die winddichte Ausführung der Gebäudehülle kann ohne Probleme konstruktiv gelöst werden.

Der Brandschutz stellt keine bautechnischen Probleme dar. Strohballenwandaufbauten können ohne zusätzlichen Aufwand für Brandschutzmaßnahmen in F90 ausgeführt werden (siehe Prüfzertifikat im Anhang).

Die Konstruktionen für die Anschlüsse können wärmebrückenfrei ausgeführt werden, eine eigene Installationsebene vermeidet Beeinträchtigungen der Luftdichtigkeitsebene. Fensteranschlüsse, sowie Decken und Kelleraufbauten können ebenfalls passivhaustauglich ausgeführt werden.

Die bautechnischen Profile der untersuchten Varianten des Strohandaufbaus sind im Detail im Kapitel „Fehlerquellenanalyse/Anschlussdetails“ bzw. im Anhang ersichtlich.

Für die Überprüfung der Qualität der Strohballen und als Grundlage für den Aufbau eines Qualitätssicherungssystems wurde ein mobiles Prüflabor entwickelt, konstruiert und bereits in der Praxis getestet. Die adäquateste Lösung ist eine Mischung aus high-tech und low-tech Messgeräten die in einem Messkoffer montiert und daher leicht transportierbar sind. Abmessungen, Gewicht, Temperatur und Feuchte der Ballen werden ermittelt, um Maßhaltigkeit, Dichte und weitere bauphysikalische Faktoren feststellen zu können. Eine optische Beurteilung erfolgt in Bezug auf Farbe, Form, Homogenität, Reinheit (Korngehalt und Fremdpflanzen im Strohballen) und Schimmelbefall. Damit kann die Qualitätsbeurteilung der Strohballen vervollständigt werden.

Mit dem Praxistest konnten Einsatzfähigkeit und Tauglichkeit des mobilen Prüflabors überprüft und Erweiterungen des Messequipments vorgenommen werden. Die Produktbeschreibungen der verwendeten Messgeräte befinden sich im Anhang.

Beachtet werden muss beim Strohballenbau, dass es während der Bau- bzw. Nutzungsphase zu keinem **Schädlings** oder **Nagetierbefall** des Bauobjekts kommt. Die in der Literatur angeführten Untersuchungen widerlegen die gängigen Vorurteile und kommen zu dem Ergebnis, dass in der Nutzungsphase Strohballenbauten bei fachgerechter Verarbeitung weder unter Nagetierbefall, noch unter Schimmel- oder Bakterienbefall leiden.

Das allergene Potenzial von hellem, sauberem Stroh ist gering.

Nichts desto trotz ist es wichtig Ballen einwandfreier Qualität zu verwenden und die Konstruktionen fehlerfrei auszuführen. Bei unsachgemäßer, zu feuchter Verarbeitung von Stroh oder beim Eindringen von Feuchtigkeit in die Wand, kann es zu Schimmelbildung kommen, die Nutzungsdauer und Wohnqualität des Gebäudes erheblich einschränken würde.

Die bereits erarbeiteten Ergebnisse lassen die **Schlussfolgerung** zu, dass der Strohballenbau ein hohes Entwicklungspotenzial hat, welches schon durch die in den USA durchgeführten Studien aufgezeigt wurde. Mit den in diesem Projekt bereitgestellten technischen Grundlagen und der Zertifizierung des Baustoffes Stroh wird sein Markteinsatz vorbereitet und dem Niedrigenergie- und Passivhaus-Sektor der Zugang zu einem innovativen Baustoff ermöglicht. Die internationale Strohballenbau-Recherche im Rahmen des Parallelprojektes „Fördernde und Hemmende Faktoren für den Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen im Bauwesen hat ergeben, dass der Strohballenbau eine hohe Vielseitigkeit aufweist und neben dem Einfamilienhaus auch für weitere Gebäudenutzungen anwendbar ist. Aus diesen Erkenntnissen leiten sich weitere Forschungsfragen ab, deren Klärung notwendig ist, um den Strohballenbau zu entsprechendem marktwirtschaftlichen und bauökologischen Stellenwert zu verhelfen. Dazu zählen folgende Punkte:

- Die Verbesserung der Informationsverbreitung
- Die Erweiterung der Strohballenkonstruktionen in technischer und stilistischer Hinsicht
- Die Verbesserung der Verfügbarkeit des Baustoffs in der erwünschten Menge und Qualität
- Verbesserte Nutzung des regionalen Potenzials des Strohballenbaus
- Erhöhung der regionalen Wertschöpfung, im besonderen für die Landwirtschaft
- Effiziente Kooperationsformen und –strukturen für den Strohballenbau
- Überprüfung des Langzeit-Verhaltens

Mit der Realisierung und Nutzung des „S-House“, einem Projekt der GrAT („Haus der Zukunft“ - Themenschwerpunkt „Innovative Baukonzepte“), wird eine effektive Informations- und Disseminationsarbeit für den Strohballenbau ermöglicht. Das „S-House“ Projekt baut auf den Ergebnissen dieser Studie auf. Das Demonstrationsgebäude und Infozentrum wird als strohgefüllte Holzständerkonstruktion errichtet und zeigt neben dem Strohballenbau weitere Bauprodukte und ökologisch sinnvolle und funktionelle konstruktive Lösungen aus Nachwachsenden Rohstoffen im Einsatz.

## Einleitung

Die Entwicklungen im Wohnbau gehen in den letzten Jahren stark in Richtung Niedrigenergie- und Passivhausstandard. So wird in Deutschland der Niedrigenergiehausstandard für Neubauten im Wohnbausektor angestrebt. In Schweden ist dieser bereits seit 1991 gesetzlich vorgeschrieben.

Bestand (Wohnbau)	180 kWh/m <sup>2</sup> a Heizenergiebedarf (ca. 100W/m <sup>2</sup> )
WSVO 95	75 kWh/m <sup>2</sup> a Heizenergiebedarf
Energiesparhaus	50 – 70 kWh/m <sup>2</sup> a Heizenergiebedarf
Niedrigenergiehaus	15 – 50 kWh/m <sup>2</sup> a Heizenergiebedarf
Passivhaus	0 – 15 kWh/m <sup>2</sup> a Heizenergiebedarf (ca. 10W/m <sup>2</sup> )

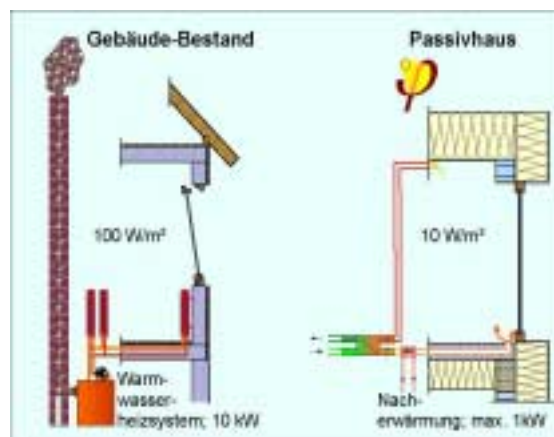


Abbildung 1: Energieverbrauch bestehendes Gebäude und Passivhaus

Die Einführung des Niedrigenergiehausstandards würde eine entscheidende Verringerung des Heizenergiebedarfs gegenüber dem derzeitigen Gebäudebestand und den nach Wärmeschutzverordnung (WSVO 95) errichteten Bauten bringen. Der dafür notwendige U-Wert (k-Wert) der Gebäudehülle ist mit erhöhtem Materialeinsatz im Dämmstoffbereich verbundenen und stellt gerade im Passivhausbereich einen wesentlichen Kostenfaktor dar. Während die energetische Optimierung bereits weit fortgeschritten ist, finden die eingesetzten Materialien und ihre Herstellung (inkl. „Graue Energie“) derzeit noch wenig Beachtung. Die Erreichung eines niedrigen U- (k-)wertes steht eindeutig im Vordergrund. Die Wahl der Baustoffe, ihre Herstellung und der damit verbundene Energie- und Ressourcenverbrauch werden kaum in Betracht gezogen, sind aber im Hinblick auf nachhaltiges Bauen wesentlich. Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bieten über den gesamten Lebenszyklus eine Reihe von entscheidenden Vorteilen.

## Vorteile von nachwachsende Rohstoffe

Schon heute können mit Baustoffen aus nachwachsende Rohstoffe innovative Lösungen realisiert werden, die sich einerseits durch hohe Funktionalität auszeichnen, andererseits in der Herstellung weniger Energie und Ressourcen verbrauchen als herkömmliche Bauprodukte und die am Ende des Produktlebens wieder in natürliche Kreisläufe eingebracht werden können.

Der Baustoff Stroh hat ein hohes Entwicklungspotenzial und ausgezeichnete Eigenschaften als Dämmstoff mit einer besonders energie- und ressourcensparenden Erzeugung.

Betrachtet man die nachwachsende Rohstoffe über den gesamten Lebenszyklus, so lassen sich die Vorteile grob in folgende Bereiche gliedern:

- baubiologische Vorteile in der Nutzungsphase (gesundes Raumklima)
- regionale bzw. wirtschaftliche Vorteile auf Grund ihrer dezentralen Verfügbarkeit und des Potenzials zur Schaffung regionaler Wertschöpfungsketten aus einem landwirtschaftlichen Abfallprodukt
- ökologische Vorteile (geringe Herstellungsenergie und CO<sub>2</sub> Neutralität, Entsorgung)

## Ziel der Studie

Ziel der Studie ist es, einen Holzständer-Strohballen-Wandaufbau weiterzuentwickeln und die Grundlage für seine Marktreife zu schaffen. Dazu wurden die notwendigen Untersuchungen durchgeführt (Wärmeleitfähigkeit, Brandwiderstand, Feuchtverhalten), die bauphysikalischen Kenndaten ermittelt, und konstruktive Lösungen für die Anschlussdetails und Installationsebenen bzw. optimierte Wandsysteme erarbeitet. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Definition des optimalen Strohballens für den Einsatz als Bauprodukt (Anforderungen zur Sicherung der ökologischen und technischen Qualität) und die Konstruktion eines mobilen Prüflabors zur Qualitätsüberprüfung und -sicherung.



## Auswirkungen

Der Strohballenbau kann in Österreich entscheidend zur Verringerung der Stoffflüsse in der Bauwirtschaft beitragen und durch seine gute Wärmedämm-Eigenschaften, sowie seine CO<sub>2</sub> Neutralität einen wesentlichen Beitrag zu Nachhaltigem Wirtschaften leisten.

Österreich kann die bereits in den USA, Kanada, Australien und Neuseeland gemachten Erfahrungen in die Forschung und Technologieentwicklung miteinbeziehen und in Kooperation mit heimischen Unternehmen des Bau- und Baunebengewerbes (z.B. Fertighaus-Unternehmen, Zimmereien) die Chance zur raschen praktischen Umsetzung mit europaweiter Vorbildwirkung im Bereich Nachhaltiger Technologien und Nutzung Nachwachsender Rohstoffe ergreifen.

Der Strohballenbau eröffnet den Landwirten neue Absatzmöglichkeiten und Kooperationen mit der Bauwirtschaft. Weiters hat Stroh als heimischer Rohstoff ökologische Vorteile gegenüber importierten Produkten, wie Kokos und Kork und kann mineralische (z.B. Stein- oder Glaswolle) und fossile Dämmstoffe (z.B. EPS) substituieren.

Die relativ geringen Kosten für den Dämmstoff Stroh ermöglichen es, zusätzliche ökologische Produkte und Technologien kostenneutral einzusetzen.

In diesem Projekt wurden die Bereiche, in denen Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, identifiziert, die dabei entscheidenden Kriterien definiert und konstruktive Lösungen erarbeitet. Zusätzlich wurden bauphysikalische Tests durchgeführt und Kostenrechnungen angestellt. Diese Überprüfungen stellen die Basis für den Einsatz des Bauprodukts (Strohballen) und des Bauteils (Holzständer-Strohballen-Wandaufbau) dar und sind ein wichtiger Schritt in Richtung einer marktgezielten Technologieentwicklung.

## Ergebnisse

### Rohstoffbereitstellung und Aufbereitung

Den Projektzielen entsprechend sind die Qualitätssicherung, ein effizientes Qualitätsmanagements grundlegende Faktoren für den Einsatz von Stroh im Bauwesen. Hierbei sind zwei Aspekte zu beachten:

- Die Verfügbarkeit des Rohstoffs und
- Die Qualität des Rohstoffes bzw. des Bauprodukts - Strohballen

### Verfügbarkeit von Stroh

Das Strohaufkommen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Kurzfristige (jährliche) Veränderungen entstehen durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Getreidanbaufläche und den Einfluss der Witterung. Zu den langfristigen Faktoren zählen der Standort mit seinen klimatischen und bodenbürtigen Eigenschaften, die Nährstoffversorgung und die Bestockungszahl, sowie die Züchtung und ihre Zielsetzungen. Für letztere gilt, dass die Entwicklung eindeutig hin zu kurzstrohigen Sorten geht, mit dem Ziel den Kornanteil (Harvestindex) zu erhöhen und die Standfestigkeit und Ertragsicherheit zu verbessern. (Dissemond, 1994)

Die Getreideart stellt einen weiteren Faktor für den Strohertrag dar. Faustzahlen dafür sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Getreideart	Kornertrag dt/ha	Strohertrag dt/ha
Winterweizen	30-55	45-75
Sommerweizen	30-45	35-60
Wintergerste	35-55	40-70
Sommergerste	30-50	35-50
Winterroggen	25-50	50-80
Sommerroggen	20-40	35-50
Hafer	30-50	40-55

*Tabelle 1: Stroherträge verschiedener Getreidearten  
(Löhr, 1990)*

Die Stroherträge sind in den letzten Jahrzehnten heftigen Schwankungen unterlegen. Das Aufkommen variierte von 4 Mio t im Jahre 1984 bis zu 2 Mio t im Jahre 1993. Seit Mitte der 90er Jahre schwankte der Strohertrag in Österreich zwischen 2 und 2,2 Mio t pro Jahr.

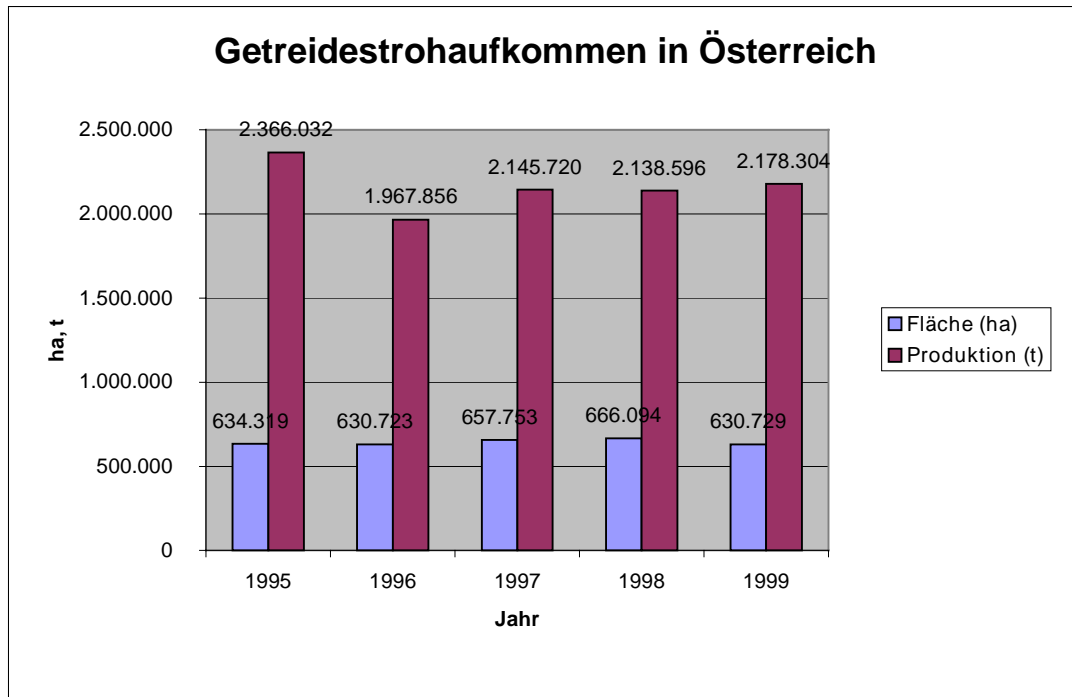


Abbildung 2: Getreidestrohaufkommen in Österreich  
(ÖSTAT, 2000)

Die durchschnittlichen Stroherträge pro ha bewegten sich in diesem Zeitraum von 37,3 dt/ha bis 31,2 dt/ha.

Neben dem Ertrag des Rohstoffs stellt sich auch die Frage konkurrenzierender Nutzungspfade und verfügbarer Menge an Stroh. Generell wird angenommen, dass ein Drittel als Einstreu verwendet wird, ein Drittel eingeachert wird und ein Drittel frei verfügbar ist. (Dissemond, 1994)

Für das Jahr 1992 wurde von Dissemond ein frei verfügbares Strohpotenzial von 400 000 t ermittelt, welches in den Bundesländern Oberösterreich, Niederösterreich und Burgenland vorhanden ist. Bei der Nutzung von beispielsweise 50% des freien Strohpotenzials für den Hausbau könnten jährlich mehr als 1300 Strohballenhäuser mit einer Grundfläche von 150m<sup>2</sup> (Wandfläche 400m<sup>2</sup>) gebaut werden. Daraus folgt, dass die Verfügbarkeit von Stroh derzeit keinen begrenzenden Faktor für den Strohballenbau darstellt. Viel eher sind qualitative Aspekte als Randbedingung zu sehen.

### Qualität des Strohs und der Strohballen

Um jene Qualität zu erreichen, die erforderlich ist, um Strohballen als Bauprodukt einsetzen zu können, muss die Rohstoffbereitstellung und die Rohstoffaufbereitung – das Pressen des losen Strohs zu kompakten Ballen – adaptiert werden und die im Projekt definierten Qualitätskriterien von den Rohstoffbereitsteller beachtet werden.

### Landwirte

Die Landwirte spielen in der Bereitstellung des Baustoffes Stroh die zentrale Rolle, da ein Großteil der Produktionskette in ihrem Aufgabenbereich liegt und sie mit wenigen Arbeitsgängen ein

hochwertiges Bauprodukt kostengünstig herstellen können. Dazu bedarf es aber eines speziellen Know Hows, welches zu erarbeiten ein Ziel dieser Studie war.

Folgende Kriterien beeinflussen die Qualität der erzeugten Strohballen:

- Verunkrautungsgrad des Getreideackers
- Ausdruschgrad des geernteten Getreides
- Zeitpunkt der Ernte bzw. Zeitpunkt des Strohballenpressens (Tageszeit)
- Fahrgeschwindigkeit des Dreschers bzw. der Strohballenpresse
- Technischer Zustand des Dreschers bzw. der Presse (Wartung der Maschinenteile)

Es hat sich auch gezeigt, dass neben den erntetechnischen Parametern die Lagerung der Ballen eine wichtige Rolle spielt, die vor allem Auswirkungen auf den Feuchtegehalt des Erntegutes haben kann.

### **Landmaschinenhersteller**

Hersteller von Landmaschinen entwickeln und optimieren ihre Produkte nach bestimmten Gesichtspunkten, die sich aber nur teilweise mit den Anforderungen und Qualitätskriterien decken, die an den Strohballen gestellt werden, wenn er als Baumaterial verwendet werden soll. Bei Neuentwicklungen von Mähdreschern und Ballenpressen stehen die Leistungssteigerung (höherer Durchsatz, höhere Fahrgeschwindigkeit, Zeitersparnis, größere Ballen) und die Verbesserung des Arbeitsklimas für den Maschinenführer im Vordergrund. Die Kriterien sauberes Stroh, Maßhaltigkeit der Ballen und gleichmäßige Dichte spielen eine untergeordnete Rolle. Zwei wichtige Punkte für den Strohballenbau werden jedoch, wenn auch mit einer anderen Motivation, bereits heute von den Landmaschinenherstellern beachtet. Zum Einen ist dies der optimierte Ausdruschgrad, mit dem Ziel die Ernteerträge zu maximieren. Damit können Strohballen mit einem geringen Korngehalt hergestellt werden, womit die Schädlings- und Mäuseanfälligkeit verringert werden kann. Zum Anderen versuchen die Pressenhersteller Ballenpressen zu entwickeln, die immer höher komprimierte Ballen herstellen können. Ballen mit hoher Dichte sind formstabiler, brandbeständiger und haben bis zu einem gewissen Verdichtungsgrad bessere wärmeisolierende Eigenschaften als Ballen mit niedriger Dichte.

Im Folgenden wird auf die beiden Landmaschinentypen – Mähdrescher und Strohballenpresse – eingegangen und analysiert inwieweit sie für die Rohstoffbereitstellung geeignet sind und wo die Entwicklungspotenziale liegen.

### **Mähdrescher**

Die bestehenden gängigen Druschsysteme (Tangential-, Axialdreschwerk) haben Ausdruschverluste, je nach Erntegutdurchsatz, von wenigen Prozenten. Bei entsprechend niedrigem Durchsatz können die Verluste auf 2% reduziert werden (siehe Caspers, 1987; Wacker, 1985; Srivastava, 1990). Wie oben bereits erwähnt ist ein möglichst geringer Kornanteil im Ballen ein Qualitätskriterium für den Strohballen. Diese Zielsetzung stellt weniger ein technisches Problem dar, sondern wird vielmehr durch die landwirtschaftlichen Produktionsstrukturen beeinflusst. Die Getreideernte wird immer häufiger von Lohndruschunternehmen durchgeführt, bei denen eine

Maximierung von Tonnen pro Hektar und Stunde oberste Priorität hat. Die Minimierung der Druschverluste wird aus Zeit- und Kostengründen kaum beachtet.

Nachteilig ist, dass durch die hohe mechanische Belastung beim Dreschvorgang die Struktur des Strohs verletzt wird.

### Ballenpressen

Strohballenpressen sind in unterschiedlichsten Ausführungen - Klein-, Groß- und Rundballenpressen - am Markt. In Österreich werden folgende Marken vertrieben:

Vertrieb in Österreich	Hochdruckkleinballenpressen	Großpackenpresse	Rundballenpresse
Eibl & Wondrak HandelsgesmbH Hofstättenweg 2 2201 Gerasdorf	Claas	Claas	Claas
ÖKOTECH Maschinenvertrieb GmbH St. Pöltner Str. 50 3130 Herzogenburg	John Deere	John Deere	John Deere
Lely Maschinen GmbH Kottingrat 23 4470 Enns	Lely-Welger	Lely-Welger	Lely-Welger
New Holland Deutschland GmbH Zweigniederlassung Österreich Eferdinger Str. 71 4600 Wels		New Holland	New Holland
Case Steyr Landmaschinen GmbH Steyrerstr. 32 4300 St Valentin		CASE	
Deutz-Fahr Austria GmbH Gastgebasse 20 1230 Wien	Deutz-Fahr	Deutz-Fahr	Deutz-Fahr
Krone Österreich Engelbert Neumair Strienzing 48 4552 Wartberg		Krone	Krone
GARBE Haus der Landmaschine GmbH Industriegasse 7 1230 Wien		Vicon	Vicon
Alois Pöttinger GmbH Industriegelände 1 4710 Grieskirchen			Pöttinger
L.T.V. Landmaschinen und Traktoren Vertrieb GmbH Hainburger Bundesstr. 1 2320 Schwechat			Orkel
Compensa HandelsgesmbH & Co Eugendorf Wiener Str. 62 5302 Henndorf am Wallersee			Volvo
Spiegl GmbH Lechen 34 8232 Grafendorf bei Hartberg			FORT

Table 2: Österreichische Vertriebsstellen von Strohballenpressen

Aus arbeitstechnischen Gründen geht die Entwicklung eindeutig in Richtung Großballenpressen bzw. Rundballenpressen. Diese Quaderballenpressen produzieren Strohballen mit Abmessungen von bis zu 80x120x250cm und Massen bis über 500kg. Solche Ballenformate sind auf einer Baustelle nicht manuell verarbeitbar und könnten nur maschinell eingebaut werden. Außerdem wären Wandstärken in solchen Ausmaßen nur für spezielle Anwendungen verwendbar. Kleinballenpressen, die praktischere Formate (35x50x100) liefern, werden jedoch von einigen Herstellern als Auslaufmodelle bezeichnet und sind teilweise nicht mehr im Lieferprogramm enthalten.



*Abbildung 3: Kleinballenpresse*

### **Abmessungen der Strohballen**

Großballen werden - vor allem des einfacheren Transports wegen - in verschiedenen Größen gepresst, die größten davon kommen, wie bereits erwähnt, auf ein Gewicht von über 500 kg. Das Herstellungsprinzip ist unabhängig von der Ballengröße für alle quaderförmigen Ballen gleich. Das Stroh wird schichtweise in der Ballenpresse komprimiert und mit Schnüren zu Ballen gebunden. Löst man die Schnüre, lassen sich die einzelnen Schichten (auch händisch) wieder trennen, und man erhält ca. 10 cm dicke, instabile "Strohplatten".



Abbildung 4: Großballenpresse

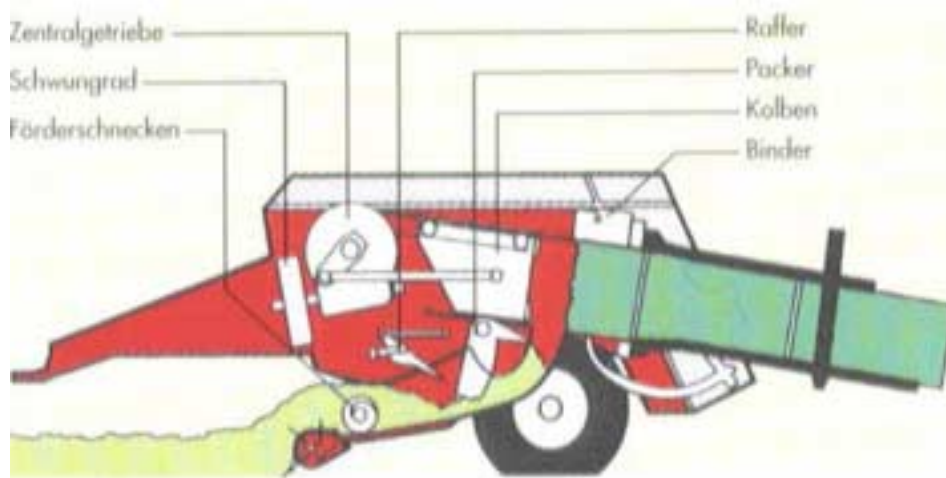


Abbildung 5: Schema des Pressvorgangs

Die Standardformate von Quaderballen (in Abhängigkeit von den Kanalmaßen der Ballenpressen) in Europa betragen:

Ballenformat	Höhe (cm)	Breite (cm)	Länge (cm)	Pressdichte (kg/m <sup>3</sup> )
Kleinballen	46	36	40-110	90-110
Mittelgroße Ballen (Claas)	50	80	70-240	180-200
Großballen	70	120	100-300	190-200

Tabelle 3: Standardformate von Quaderballen

Anm.: Die Länge ist bei Großballenpressen exakt in 5 cm-Schritten einstellbar.

Zu den Ballenformaten, die selten in Verwendung sind zählen:

Ballenformat	Höhe (cm)	Breite (cm)	Länge (cm)	Pressdichte (kg/m <sup>3</sup> )
Kleinballen (Welger)	37 / 40	60 / 50	60-120	-150
Mittelgroße Ballen (Welger)	50	80	70-240	180-200
Mittelgroße Ballen (Krone)	80	80	100-250	150-180
Großballen (Krone)	80	120	100-250	150-180

Tabelle 4: Selten verwendete Strohballenformate

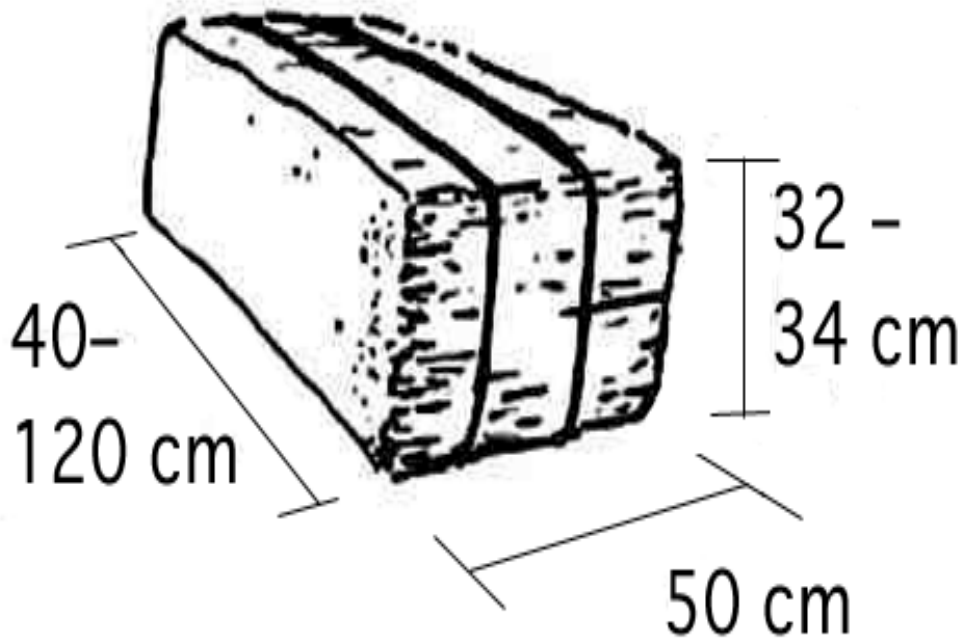


Abbildung 6: Maße des Kleinballens

Bei den meisten modernen Ballenpressen lässt sich der Pressdruck mit Hilfe des Bordcomputers variieren. Neue Großballenpressen erreichen Ballendichten bis zu  $180\text{kg/m}^3$ .

Das entwickelte Wandsystem ist auf die Verwendung von Kleinballen ausgelegt und auf diese Ballengröße optimiert. Kleinballen haben für die Anwendung als Baustoff gegenüber Großballen einige Vorteile. Sie sind mit einem Gewicht zwischen 10 und 35 kg leicht handhabbar und können ohne Probleme manuell eingebaut werden. Ihre Verwendung ergibt Wandstärken von 40 - 45cm, was durchaus den heute üblichen Wandstärken entspricht. Der U-Wert von Wandaufbauten mit Kleinballen ist mit  $0,12\text{ W/mK}$  passivhaustauglich.

Für eine breitere Anwendbarkeit des Strohballenbaus ist es jedoch sinnvoll variable Ballenformate herzustellen, um damit maßgeschneiderte konstruktive Lösungen für Neubauten und Althausanierungen anbieten zu können. In Zusammenarbeit mit Landwirten wurde die Möglichkeit der Herstellung variabler Strohballenformate geprüft. Es stellte sich heraus, dass durch geringe Modifikationen der Ballenpresse, im speziellen des Presskanals die Strohballenmaße um einige Zentimeter verändert werden können. Diese Möglichkeit ist aber stark von den verwendeten Ballenpressentyp abhängig. Speziell für die Herstellung von „Strohziegel“ geeignete Pressen sind nicht am Markt. Eine weiterführende F&E-Fragestellung für nachfolgende Projekte wäre die Entwicklung einer solchen Presse zusammen mit Landmaschinenherstellern.



### **Halindustrielle Rohstoffaufbereitung**

Eine andere Verarbeitungs und Aufbereitungsmöglichkeit neben der rein landwirtschaftlichen Produktion von Strohballen stellt die halindustrielle Verarbeitung dar. Diese Vorgangsweise hat den Vorteil, dass auch Großballen verarbeitet werden können. Der Nachteil ist ein zusätzlicher Arbeitsgang der den günstigen Baustoff verteuern und seine Behauptung am Markt erschweren würde. Industriell gefertigt werden derzeit nur Strohplatten.

Es handelt sich aber bei der industriellen Verarbeitung von Stroh, um ein innovatives Gebiet, welches vor allem für die Herstellung von Baustoffen aus Stroh für spezielle Anwendungen, wie Strohballen, -platten oder -matten in der Altbausanierung, interessant wäre und deshalb in nachfolgenden F&E-Projekten Beachtung finden sollte.

## Qualitätssicherung

Die Überprüfung und Garantie einer konstanten Qualität der Strohballen ist eine wesentliche Grundlage für die Marktfähigkeit des Strohbaus.

Die erforderlichen Qualitätsparameter wurden in einem Anforderungskatalog an Strohballen definiert und darauf aufbauend ein mobiles Prüflabor entwickelt.

Die Zielsetzung war eine möglichst einfache und genaue Ermittlung der notwendigen Messdaten, die schnell und vorort eine Qualitätsbeurteilung der geprüften Strohballen erlaubt.

Neben der prinzipiellen Messbarkeit der Parameter (siehe Abb. Sorptions-Isotherme für Strohmatte) wurden auch praktische Lösungen für die Qualitätsüberprüfung und -kontrolle erarbeitet.

Stroh in Ballenform wird derzeit nur als Einstreu und Heizmaterial verwendet. Für diese Anwendungen sind nur wenige Qualitätsparameter von Bedeutung. Im Großen und Ganzen sind diese beschränkt auf die Feuchte der Ballen und eine transportierbare Form. Daraus folgt, dass erstens die derzeit erforderlichen Mindeststandards Auswirkungen auf Herstellung, Transport und Lagerung des Strohs haben, die einen Einsatz als Bauprodukt erschweren.

Zweitens gilt durch die tiefgreifenden strukturellen Veränderungen in der Landwirtschaft der Rohstoff Stroh als minderwertiges Rest- oder Abfallprodukt, welchem nur geringer wirtschaftlicher Wert beigemessen wird. Diese Haltung der Landwirte wird durch den niedrigen Strohpreis gestärkt. Daher wird im Hinblick auf eine funktionierende Qualitätssicherung auch ein angemessener Rohstoffpreis notwendig sein.

## Anforderungsprofile an den Baustoff – Strohballen

Die wesentlichen Anforderungen an die Strohballen und die daraus resultierenden Prüfparameter sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Messgröße/-parameter	Qualitätsbeeinflussende Eigenschaften	Messverfahren	Mobil messbar
Feuchte	Verrottung, Mikroorg., Keimung, (Wärmeleitfähigkeit), Rückschluss auf Lagerbedingungen	Handelsübliche Sensoren (el. Sonde), elektrische Leitwertmessung, Messung der relativen Luftfeuchte	Ja
Dichte	Wärmeleitfähigkeit, Tragfähigkeit, Setzung, Nagetierbeständigkeit	Abhängig von: Masse, Volumen, Feuchte Zollstock, Waage	Ja
Maßhaltigkeit + Form	Einbaueignung, Wärmebrücken, Nagetierbeständigkeit	Radiusschablone, Winkelmesser, Zollstock	Ja
Korngehalt	Schädlingsbefall	-	Nein
Zusammensetzung (Beikräuter, ...)	Verrottung, Mikroorg., Wärmeleitfähigkeit	Optisch	Ja
Mikrobieller Befall (Schimmel, ...)	Allergiepotenzial, Baueignung, Akzeptanz, Messung der Sporenzahl	Mikroskop, Kulturen, optisch	Ja Nein
Schadstoffgehalt	Baubiologie	Chem. Messverfahren, Studien, Anbaumethoden	Nein
Strohart	Wärmeleitfähigkeit, Haltbarkeit, Stabilität	Optisch	Ja
Pressdruck / Elastizität	Einbauverhalten, Statik, Erdbeben	Druck-, Dichtemessung	Ja
Schnürung	Material, Art d. Bindung	Optisch	Ja
Ballenaufbau	Ausrichtung der Halme	Optisch	Ja
Langfristverhalten (unter feuchten Bedingungen)	Haltbarkeit, Akzeptanz	(Studien USA) Langzeittests an Demonstrationsgebäuden	Nein
Brand	Feuerbeständigkeit	Brandtests	Nein

Tabelle 5: Qualitätsanforderungen für den Baustoff Strohballen

## Feuchte

Der Feuchtegehalt ist entscheidend für die Haltbarkeit des Ballens und beeinflusst auch die wärmetechnischen Eigenschaften des Baustoffs. Eine Messung des Feuchtegehalts gibt außerdem Aufschluss über die Lagerbedingungen des Strohballens und über die Einsatztauglichkeit des Baustoffs. Eine Untersuchung vergleichbarer Dämmstoffe zeigt, dass:

*Trotz der teilweise hohen Feuchtigkeitsaufnahme sich die Wärmeleitfähigkeitswerte der organischen Faserdämmstoffe nur um 1 bis 7% erhöhen. Zum Vergleich: eine Ziegelmauer erhöht bei einer Feuchtigkeitszunahme von ca. 3M.-% die Wärmeleitung um ca. 50% (Bauer,2000).*

Der optimale Bereich für eine gute Wärmedämmung organischer Materialien liegt zwischen 8% und 14M.-% Materialfeuchte.

Der Vorteil von organischen Baustoffen, wie Stroh, ist, dass sie Wasserdampf relativ schnell abgeben können. Eine Studie des WKI über das Feuchteverhalten von organischen Dämmstoffen kommt zum Schluss, dass

*...im hygroskopischen Bereich keine Bedenken bei der Anwendung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, da die Wasserdampfabgabe relativ schnell erfolgt.*

*.....Im überhygroskopischen Bereich wird Wasser nicht gasförmig, sondern flüssig gespeichert und transportiert und die Austrocknung erfolgt nur sehr langsam. Dies kann in feuchteempfindlichen Konstruktionen bei fehlendem chemischen Schutz zu Pilzbefall führen (Bauer,2000).*

Da Pilzbefall bei hoher Wasserbelastung vor allem durch Schlagregen oder durch sehr hohen Einbaufeuchten auftritt, kann er im Strohballenbau mit entsprechenden konstruktiven Lösungen und einer effizienten Qualitätskontrolle der Strohballen auch ohne chemischen Schutz verhindert werden.

Ein geringer Feuchtegehalt ist außerdem notwendig, um die Keimung eventuell eingeschlossener Getreidesamen zu verhindern.

Für die Berechnung der Dichte der Strohballen ist die Feuchte ein miteinzubeziehender Faktor.

Die möglichen Verfahren der Feuchtemessung und die gewählten Lösungen werden im Unterkapitel Mobiles Prüflabor beschrieben.

## Dichte

Einen weiteren wichtigen Teil der Qualitätskontrolle stellt die Überprüfung der Ballendichte dar. Die Voraussetzung für den Einsatz als Baustoff sind die Größe und Homogenität der Ballendichte. Unregelmäßige Dichten verschlechtern die Wärmedämmung. Die Setzung der Strohballen ist ebenfalls von der Dichte abhängig und sollte möglichst gleichmäßig sein und so gering wie möglich gehalten werden.

Die Dichte spielt auch eine Rolle für die Nagetierbeständigkeit des Baustoffs. Nur gleichmäßig verdichtetes Stroh garantiert einen Schutz vor Mäusen.

Die erreichbaren Dichten sind abhängig von den verwendeten Ballenpressen und liegen zwischen 90 und 180kg/m<sup>3</sup>. Bei den durchgeführten Wärmeleit- und Brandtests wurden Kleinballen mit Dichten zwischen 70 und 100kg/m<sup>3</sup> verwendet. Die guten Dämmeigenschaften und das Erreichen der F90 Brandwiderstandsklasse zeigen die Brauchbarkeit dieser Strohballen. Es stellen sich jedoch interessante Fragen betreffend der Veränderung dieser Parameter mit zunehmender Dichte. Über spezielle Messreihen könnte die optimale Dichte ermittelt werden, die bei minimaler Herstellungsenergie die maximale Wärmedämmung ermöglicht.

Für die Berechnung der spezifischen Dichte benötigt man die Maße des Ballens, sein Gewicht, die Temperatur und den Feuchtgehalt. Die Lösungsvorschläge für die Messungen dieser Parameter werden im Unterkapitel Mobiles Prüflabor detailliert beschrieben.

### **Form und Maßhaltigkeit der Strohballen**

Die Anforderungen an die Maßhaltigkeit und Form der Strohballen beziehen sich auf exakte Kanten und Ecken, sowie eine gleichmäßige Ausrichtung der Halme im Ballen und plane Flächen. Zur Herstellung rechteckiger Ballen wird das Stroh von der Ballenpresse aufgenommen und zu etwa 5-10 cm dicken Lagen gepresst, die mehrfach aneinandergereiht, einen Strohballen ergeben.

Während die Breite und Höhe der Ballen durch den Kanal der Ballenpresse vorbestimmt sind, ist die Länge der Ballen variabel einstellbar. Bei den üblicherweise im Strohbau verwendeten kleinen Quader-Ballen (Höhe 46 x Breite 35 x Länge 65 - 90 cm) variieren die Längen auch bei gleicher Längeneinstellung der Ballenpresse mitunter stark, was ihre Eignung als standardisierter Baustoff in Ständersystemen mit Normabständen reduziert. Bei modernen Großballenpressen sind auch die Längen relativ exakt einstellbar.

Der Strohballen wird nach der voreingestellten Länge - je nach Größe - mit 2 bis 3 Polypropylen-Schnüren bzw. manchmal auch mit Draht oder Metallbändern zusammengebunden.

### **Herstellungstechnische Qualitätsparameter**

Größe, Dichte, Art der Pressung sowie Formhaltigkeit und damit die besondere Eignung der Strohballen als Baustoff bzw. als Dämmebene in Ständerkonstruktionen hängen von mehreren produktionstechnischen Faktoren ab:

- Art der Ballenpresse
- Zustand bzw. von der Wartung der Presse
- Voreinstellung des Mähdreschers und der Ballenpresse.

Wird das Getreide zu tief am Boden abgeschnitten, gelangt die - feuchtere - grüne Untersaat in den Ballen, was zu Schimmel im Stroh bzw. zum Zusammenkleben der Halme führen kann.

- Geschwindigkeit des Pressvorgangs. Hier gilt: je geringer die Erntegeschwindigkeit, desto exakter wird die Quaderform an den Kanten.
- Zeitpunkt der Ernte. Das heißt, in Abhängigkeit von der Tageszeit kann dies zu unterschiedlichen Resultaten führen, da das Stroh am Vormittag feuchter ist, als am Nachmittag.

Strohballen differieren je nach Ballenpresse in der Länge, in der Ausrichtung des Strohs im Ballen, im Feuchtegehalt nach dem Trocknen (5-15 % Gewichtsprozent) und entsprechend auch im Dämmvermögen (abhängig Dichte und Feuchtegehalt, zum Teil auch von der Art des Strohs). Generell können diese äußeren Einflüsse auf die Qualität von Strohballen mit modernen Ballenpressen und ihren Bordcomputern besser ausgeglichen werden, als mit mechanischen Kleinballenpressen. Dennoch lässt sich daraus ableiten, dass eine gleichbleibende, gesicherte Qualität von Strohballen für das Baugewerbe nur dann wirklich garantiert werden kann, wenn die Ballen speziell für das Baugewerbe erzeugt und aussortiert werden.

## Mobiles Prüflabor

Als Aufgabenstellung für die Konzeption des mobilen Prüflabors war ursprünglich nur die Qualitätssicherung von Kleinballen vorgesehen. Bei der Erarbeitung der Anforderungsprofile an den Strohballen als Baustoff, stellte sich jedoch heraus, dass auch Großballen im Strohbau verwendet werden können. Großballen besitzen sogar die besseren bautechnischen Eigenschaften. Sie müssen allerdings in Dämmelemente umgebaut werden, da sie mit Gewichten bis 500 kg nicht mehr manuell verarbeitet werden können. Dies bedeutet einen zusätzlichen Arbeitsschritt und erfordert neue Technologien. Eine andere Möglichkeit stellt die Entwicklung spezieller Kleinballenpressen zur Herstellung von Strohballen dar, die genau den Anforderungen als Baustoff entsprechen. Derzeit werden nur Kleinballen als Baustoff verwendet.

Das Prüflabor wurde für beide Ballengrößen ausgelegt. Dies soll die Festlegung und Überprüfung von Qualitätsstandards für Klein- sowie Großballen ermöglichen.

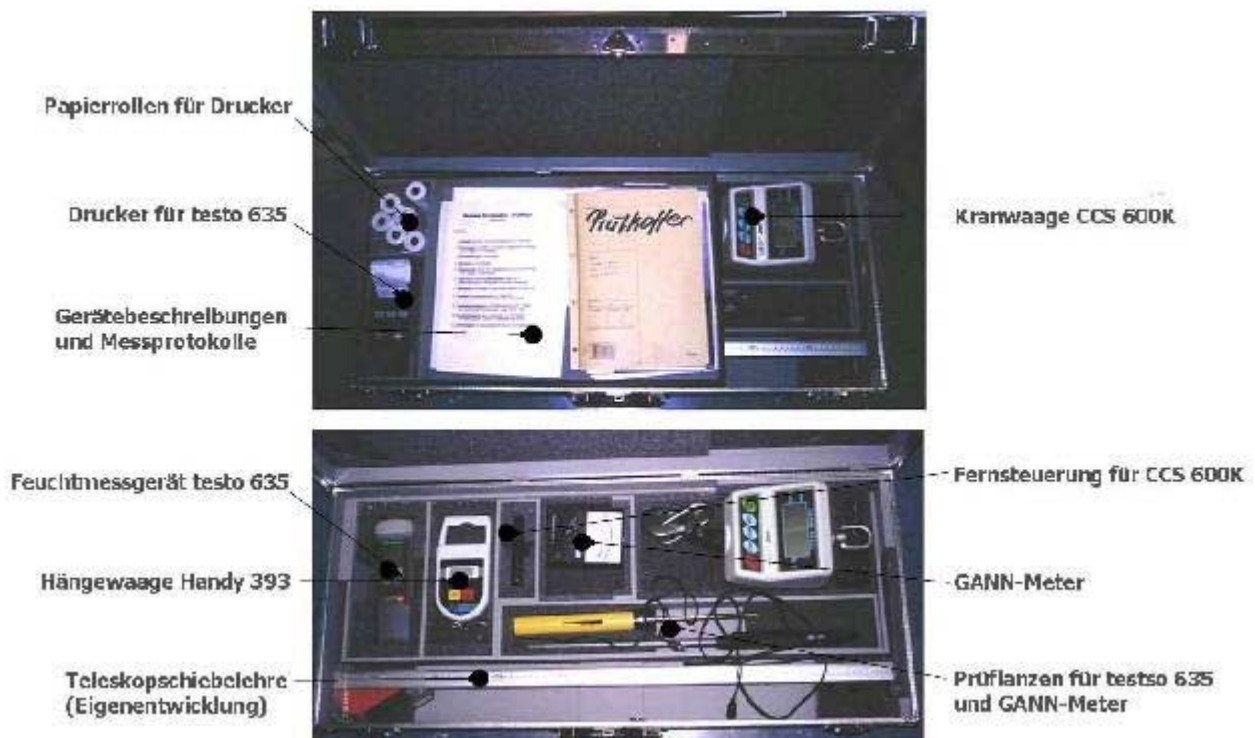


Abbildung 7: Mobiles Prüflabor

## Messgrößen

Für die Überprüfung von Längen, Gewicht, Temperatur und Feuchte der Ballen werden entsprechende Messgeräte verwendet (Detailinformation zu den verwendeten Messgeräten siehe Anhang). Aus diesen Daten kann die Dichte des Strohballens errechnet werden.

Zusätzlich zu den oben angeführten Messungen erfolgt eine optische und geruchsmäßige Beurteilung der Ballen, die folgende Parameter beinhaltet:

- Farbe,
- Homogenität,
- Form,
- Ausrichtung der Strohhalme,
- Schnürung des Ballens,
- Einschluß von Beikräutern und anderen Pflanzen,
- mikrobieller Befall.

Letzterer kann zusätzlich stichprobenartig in einem Labor untersucht werden.

### **Aufbau des Prüflabors**

Die Anforderungen an dieses Prüflabor sind leichte Transportierbarkeit, einfache Handhabung, robuste Ausführung für Messungen vorort und genaue Messdatenerfassung. Außerdem müssen die elektronischen Geräte vor Staub- und anderen Umwelteinwirkungen geschützt sein.

Ausgehend von zwei extremen, einer low-tech Variante und einer high-tech Variante wurden die notwendigen Messgenauigkeiten, der Messkomfort, die Datenspeicherung und die Weiterverarbeitung diskutiert und die jeweiligen Vor- und Nachteile herausgearbeitet. Daraus resultierten zwei praktikable Versionen, von denen Version 1 realisiert wurde.

- Version 1: manuelle und elektronische Messungen / manuelle Messdatenaufnahme
- Version 2: vollelektronische Messungen / elektronische Messdatenaufnahme vor Ort mittels Notebook

Die vollelektronische Version benötigt entsprechende elektronische Messgeräte zur Messung der Maße, des Gewichts, der Temperatur und der Feuchte, die folgende Kriterien erfüllen müssen:

- Jedes Gerät muss über eine Schnittstelle zur Datenübertragung in einen Computer verfügen.
- Alle Daten sollen in einem einzigen oder wenigen Messvorgängen gemessen und gespeichert werden
- Die Daten sollen in ein und dem selben Programm abgespeichert und verarbeitet werden.

Die Probleme bei dieser Variante waren fehlende Schnittstellen bei einigen Messgeräten. Geräte mit Schnittstelle verursachen wesentlich höhere Anschaffungskosten als Messgeräte ohne Schnittstelle. Die mit der üblichen RS 232 Schnittstelle ausgestatteten Geräte hatten jeweils eigene nicht kompatible Programme. Dadurch hätte pro Messvorgang nur eine Messgröße ermittelt werden können und für jede Messgröße wäre ein spezielles Programm notwendig gewesen. Der Einsatz solcher Geräte hätte zur Folge, dass das automatische Einspielen der Daten in einen PC um vieles zeitaufwändiger wäre als eine manuelle Eingabe. Trotz vollelektronischer Aufzeichnung der Daten wäre eine Nachbearbeitung der Daten notwendig.

Die Erstellung eines eigenen EDV-Programmes zur Erhebung und Aufzeichnung der Messdaten wäre theoretisch möglich. Die Realisierung dieses Vorhabens wäre allerdings sehr aufwändig gewesen und hätte den Rahmen des Projekts gesprengt.



## Messinstrumente

Das mobile Prüflabor besteht aus folgenden Messinstrumenten:

- Längenmaßstab zur Messung der Ballenmaße
- Kranwaage bis 600kg zur Ermittlung des Gewichts von Großballen
- Hängewaage bis 200kg zur Ermittlung des Gewichts von Kleinballen
- Feuchte- und Temperaturmessgerät zur Messung der relativen Luftfeuchte und -temperatur
- Elektrisches Leitfähigkeitsmessgerät zur Überprüfung der Materialfeuchte der Strohballen

## Längenmessung

Die Längenmaße werden mit einer eigens entwickelten und speziell angefertigten Teleskopschiebelehre gemessen, die von einer Person bedient werden kann. Das Messgerät ist so ausgeführt, dass es mit einem Messbereich von 20cm bis 4m die Abmessungen von sowohl Klein-, als auch Großballen überprüfen kann.

## Gewichtsmessung

Die Gewichtsmessung erfolgt mittels einer Kranwaage und einer Hängewaage. Mit der Kranwaage können Großballen bis 600kg gewogen werden. Der Messvorgang läuft folgendermaßen ab:

Der Ballen wird mittels einer Aufhängevorrichtung an der Kranwaage befestigt und diese samt Ballen von einem Traktor (Frontlader) gehoben. Die Waage ist mittels Fernsteuerung bedienbar, was einerseits den Arbeitskomfort erhöht und andererseits ein Hantieren in unmittelbarer Nähe der schweren Großballen überflüssig macht und somit das Unfallrisiko verringert. Über die große LCD Anzeige wird der Messwert abgelesen.

Die Gewichtsüberprüfung der Kleinballen erfolgt mit Hilfe einer elektronischen Hängewaage. Die Waage kann entweder von der Person, welche die Messung durchführt gehalten oder an einem fixen Punkt aufgehängt werden. Die Hängewaage ist mit einem Haken ausgestattet, an dem die Kleinballen mittels der Schnüre befestigt werden können.

Der Messbereich beträgt 25kg bei einer Abstufung von 50g-Schritten. Der Messwert wird mittels LCDisplay angezeigt.

## Feuchte- und Temperaturmessung

Die Feuchtemessung spielt eine wichtige Rolle bei der Qualitätssicherung der Strohballen. Einerseits muss die Feuchte der Ballen vor dem Einbau überprüft werden und andererseits besteht die Notwendigkeit, die Strohfeuchte nach dem Einbau überprüfen zu können. Erstere Messung stellt sicher, dass nur einwandfreies Baumaterial verwendet wird. Zweitere ermöglicht Aussagen über den Zustand eingebauter Strohballen im Schadensfall (z.B. Wassereintritt in die Wand) und dient als Grundlage für Sachverständigen-Gutachten.

Die technische Lösung dieser Aufgabe besteht aus der Kombination von zwei verschiedenen Messmethoden, dem Leitfähigkeits- und dem hygrometrischen Messverfahren.

**Elektrische Leitfähigkeitsmessung für qualitative Aussagen**

Das Leitfähigkeitsmessprinzip beruht auf dem Effekt, dass die elektrische Leitfähigkeit proportional mit der Zunahme der Materialfeuchte ansteigt. Mittels einem eigens entwickelten Elektrodenhalter werden die beiden Messingelektroden in einem definierten Abstand in den Strohballen gesteckt und die elektrische Leitfähigkeit des Strohs wird mittels eines elektrischen Leitfähigkeitsmessgeräts (GANN-Meter) gemessen und die Materialfeuchte auf einer analogen Skala ohne Zeitverzögerung angezeigt. Damit lassen sich viele Messungen in kurzer Zeit durchführen und Strohballen können sowohl vor dem Einbau, als auch in eingebautem Zustand auf eventuell vorhandene Feuchte-Stellen überprüft werden. Die Praxistests zeigten, dass mit dem GANN-Meter schnell und zuverlässig feuchte Stellen im Ballen bzw. in der Strohballenwand festgestellt werden können.

Die Leitfähigkeit ist aber neben der Feuchte noch von vielen anderen Faktoren abhängig, vor allem von der Temperatur (1°C entspricht 0,1% Änderung der Leitfähigkeit), der Auflagekraft (0,1kp bzw. 1N entspricht 0,25% Änderung der Leitfähigkeit) und der Dichte (Götte, 1966). Dichte und Auflagekraft sind Parameter, die zusätzliche Meßeinrichtungen erfordern würden, damit genaue quantifizierende Leitfähigkeitsmessungen möglich wären. Dieser Aufwand ist aber nicht zielführend, da mit den GANN-Meter-Messungen gut und schnell qualitative Aussagen gemacht werden und dabei ein größerer Toleranzbereich erlaubt ist. Eine sinnvolle Ausführung wäre die Ausstattung des Messgeräts mit einer grob gestuften Farbsegment-Tendenz-Anzeige (vgl. Kupfer, 1997), wobei die Farbe grün für gute Qualität steht, ein Ausschlag im gelben Bereich zusätzliche quantifizierende Messungen erfordert und der rote Bereich Ausschussballen kennzeichnet.

Für quantifizierende Leitfähigkeitsmessungen müssen materialspezifische Kalibrierungskurven erstellt werden.

### Hygrometrische Messung für quantifizierende Aussagen

Hygrometrische Messverfahren beruhen auf dem Effekt, dass sich in einem geschlossenen Hohlraum über einem feuchten Stoff nach einer bestimmten Zeit ein Dampfdruckgleichgewicht zwischen Luft- und Materialfeuchte einstellt. Dieser Zusammenhang ist material- und temperaturabhängig und wird im Sorptionsfeuchtebereich durch die Sorptionsisothermen beschrieben. Mit dem Luftfeuchte-Ausgleichsverfahren können so über die Sorptionsisothermen Rückschlüsse auf die Materialfeuchte gezogen werden (vgl. Kupfer, 1997).

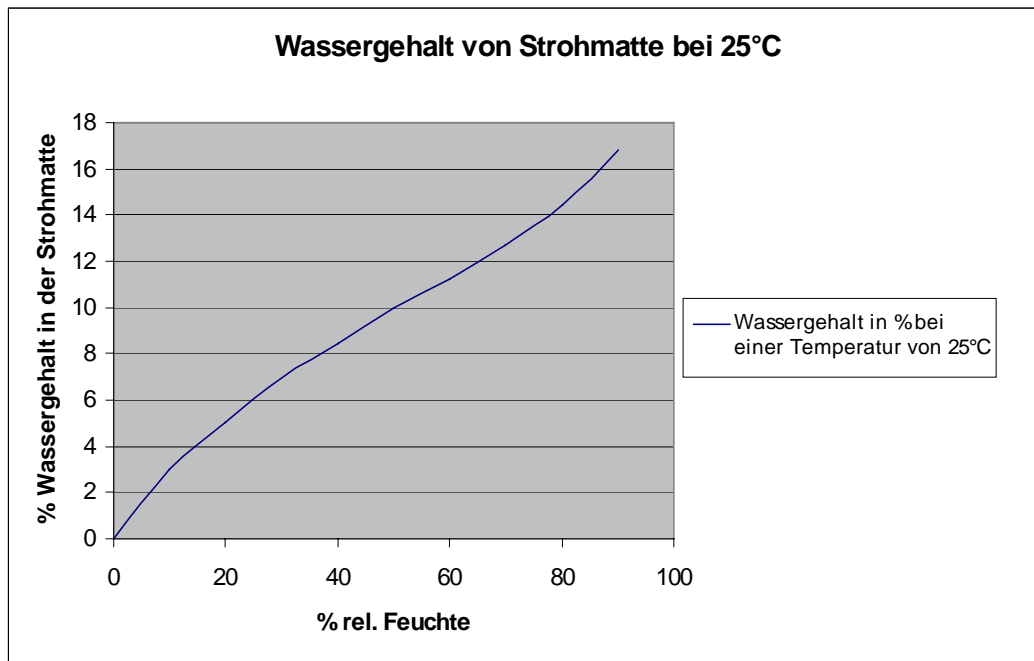


Abbildung 8: Sorptions-Isotherme für Strohmatte

Der mobile Prüfkoffer ist mit einem Temperatur- und Feuchtemessgerät (*testo 635*), ausgerüstet, welches mittels hygrometrischer Messung Ballentemperatur und Ballenfeuchte ermittelt. Das Gerät dokumentiert die gemessenen Feuchte- und Temperaturwerte mit einem Drucker, der über eine IR-Schnittstelle angesteuert wird. Diese Lösung wurde ausgewählt, da damit garantiert ist, dass sich der relativ schnell ändernde Messwert ohne Lese- und Übertragungsfehler dokumentieren lässt.

Die Praxistests brachten einige Defizite der hygrometrischen Messung zum Vorschein, die spezielle Adaptionen und Ergänzungen des mobilen Prüflabors notwendig machten.

Das Messgerät eignet sich nicht zum Auffinden von feuchten Stellen im Ballen oder in der Wand, da zum Einen die Prüflanze einen zu großen Durchmesser hat und dadurch das Einstechen in höher verdichtete Strohballen nur schwer möglich ist. Zum Anderen liegt der zeitliche Aufwand für einen Messvorgang im Minutenbereich und erlaubt somit aus zeitökonomischen Gründen nur Stichprobenmessungen. Aus diesen Gründen wurde das Leitfähigkeitsmessgerät eingesetzt, welches an jeder Stelle des Ballen, bzw. der Wand einsetzbar ist und ohne Zeitverzögerung einen Messwert anzeigt.

Die Quantifizierung der Messwerte mit dem hydrometrischen Verfahren benötigt Informationen über die materialabhängigen Sorptions-Isothermen. Diese Sorptionsisothermen sind für eine Reihe von Baustoffen vorhanden. Da Strohballen in Europa einen sehr neuen und innovativen Baustoff darstellen, fehlen noch solche Daten. Die Recherche über die vorhandenen Sorptions-Isothermen von Baustoffen (vgl. Schneider, 1994; Hansen, 1986, Kupfer, 1997) hat ergeben, dass es zwar Sorptions-Isothermen von Strohmatte und Strohfasern gibt, aber keine verlässlichen Datenquellen über Strohballen. Aus diesem Umstand ergeben sich weitere wichtige Forschungsaufgaben. Vor allem müssen die Zusammenhänge zwischen Feuchte und Wärmedämmung und Feuchte und biologischer Abbaubarkeit in Langzeittests untersucht werden.

### **Messdatenverarbeitung**

Sämtliche Messdaten werden abgelesen und in ein Messprotokoll eingetragen (Muster des Protokolls siehe Anhang) . Das Protokoll dient einerseits dem Strohballenhersteller als Prüfzertifikat für die überprüften Strohballen und andererseits dem Bau-Sachverständigen als Information über den Zustand der Strohballenwand im Schadensfall.

Der Eintrag und die Verarbeitung der Messdaten mit entsprechenden Computerprogrammen ermöglicht eine kontinuierliche Erfassung der Strohballenqualitäten und eine schnelle und genaue Beurteilung einzelner Lieferanten und ist damit ein essentieller Bestandteil für den Aufbau eines Qualitätssicherungssystems für den Strohballenbau.

### **Messkoffer**

Das mobile Prüflabor wurde so gestaltet, das es in einem Koffer mit den Maßen 89x40x18cm Platz findet. Der Messkoffer wiegt knappe 16 kg und ist stabil ausgeführt. Das mobile Prüflabor erfüllt somit die Anforderung der leichten Transportierbarkeit.

### **Probemessungen**

Das Prüflabor wurde an verschiedenen Bauobjekten und Strohballen getestet und auf seine Funktionalität hin überprüft. Dabei stellte sich bei eingebauten Strohballen folgende Vorgangsweise als die effizienteste heraus:

- Feststellen von feuchten Stellen mit dem GANN-Meter, welches extrem kurze Messintervalle ermöglicht und geringste Feuchtegehalte des Baustoffs anzeigt. Bei Problemstellen, wo keine eindeutige quantitative Aussage mit dem GANN-Meter möglich ist, wird mit dem testo 635 nachgemessen.
- Bei der Qualitätsüberprüfung der Strohballen in nicht eingebautem Zustand erfolgt zusätzlich noch die Längen- und Gewichtsmessung, die problemlos von einer Person durchgeführt werden kann. Die Überprüfung von Großballen erfordert, wie bereits erwähnt, eine Hebevorrichtung (Gabelstapler, Traktorfrontlader) für die Kranwaage.

Die Probemessungen führten zu interessanten Ergebnissen:

- Strohballen die äußerlich trocken sind, können innen feucht sein (rel. Luftfeuchte im Ballen bis zu 90%). Feuchtestellen im Inneren der Ballen können auf sehr kleinem Raum beschränkt sein. Diese Bereiche im Ballen, bzw. in der Strohwand konnten mit dem GANN-Meter leicht eruiert werden.
- Die gemessenen feuchten Stellen konnten nach Zerlegen des Ballen eindeutig mittels der Geruchs- und Tastprobe bestätigt werden. Feuchtes Stroh hat einen leichten Modergeruch, der aber beim Auftrocknen schnell abklingt. Die Halme feuchter Ballen sind flexibel und rascheln nicht.
- Die Vermutung, dass mikrobielle Tätigkeiten im Stroh zu einer messbaren Temperaturerhöhung führen, konnte nicht nachgewiesen werden.
- Im Falle eines Wasserschadens (eindringendes Regenwasser) wurden bei einem Strohballenhaus mit unverputzten Wänden nach 6 Wochen Trocknungszeit keine feuchten Stellen mehr gemessen. Hingegen waren bei Ballen, die im feuchten Zustand als Deckendämmung vollverschalt eingebaut wurden, noch feuchte Stellen messbar. Daraus läßt sich schließen, dass Konstruktionen, in denen eingetretenes Wasser sowohl kapillar als auch im hygroskopischen Feuchtebereich abgeleitet werden kann, gut austrocknen können.

Aus den Ergebnissen leiten sich wichtige Fragestellungen ab:

- Welche Auswirkungen haben feuchte Stellen im Ballen auf die Qualität des Baustoffs und wie verändert sich die Feuchtigkeit des Strohs bei richtiger Lagerung?
- Wie rasch erfolgt der Feuchtigkeitsabbau in unverputzten bzw. verputzten Wänden?
- Welche Mängel bei Erntetechnik, Verarbeitung, Lagerung und Einbau verursachen feuchte Stellen im Ballen und wie sind diese vermeidbar?
- Welche Zusammenhänge zwischen Feuchte und Wärmedämmung und Feuchte und biologischer Abbaubarkeit bestehen und wie wirken sie über die gesamte Nutzungsphase?

## Fehlerquellenanalyse/Anschlussdetails

### Aufgabenstellung

Das entwickelte Strohwandssystem soll in einigen Aufbauvarianten in bauphysikalischer Sicht beurteilt und konstruktive Lösungen für Detailanschlüsse (Fenster, Decke, Dach) erarbeitet werden. Das Österreichische Institut für Baubiologie und –ökologie (IBO) wurde beauftragt diese Fragestellungen zu bearbeiten.

Folgenden Eigenschaften werden bewertet:

- Wärmeschutz
- Feuchteverhalten und Dampfdiffusion
- Luftdichtigkeit
- Schallschutz
- Brandverhalten

Lösungsvorschläge für folgende Anschlüsse wurden erarbeitet:

- Kellerdecke leicht
- Kellerdecke massiv
- Pultdach
- Steildach
- Fenster

Aufbauten und Anschlüsse

Folgende Aufbauten wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern erarbeitet:

<b>Variante 1: Außenseite verputzt</b>	<b>Innenseitige Ausführung</b>	<b>Variante 2: Hinterlüftete Fassade</b>
Konstruktion 1	innenseitig Gipsfaserplatte	Konstruktion 5
Konstruktion 2	innenseitig mit Lehm verputzt	Konstruktion 6
Konstruktion 3	innenseitig Hourdisziegel	Konstruktion 7
Konstruktion 4	innenseitig Lehmbauplatten	Konstruktion 8

*Tabelle 6: Berechnete Varianten des Strohwandaufbaus*

## Bauphysikalische Beschreibung und Bewertung der ausgewählten Aufbauten

### Primärkonstruktion

#### Beschreibung

Die Strohwand ist eine Holzständerwand, die mit einer 34 cm starken Strohballendämmung versehen ist. Die Aussteifung erfolgt mit einer außen- und innenseitig angebrachten Diagonallattung. Diese wird als Sparschalung ausgeführt. Das Tragsystem besteht aus zwei 16/5 Holzsteher, die mit Distanzbrettern fix miteinander verbunden sind. Zwischen den beiden Stehern liegt eine 20 mm Holzweichfaserplatte.

#### Technische Kennwerte

In der untenstehenden Tabelle sind die wesentlichen technischen Kennwerte der Strohballen aufgeführt.

Kenngröße	Wert	Einheit	Quelle
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$	0.045	W/mK	Gutachten MA39
Diffusionswiderstandszahl $\mu$	2.5	-	TGL 35424/2
Brennbarkeitsklasse	B2		Gutachten MA39
Dichte $\rho$	100.8	kg/m <sup>3</sup>	Gutachten MA39
Spez. Wärmekapazität c	2.0	kJ/kgK	TGL 35424/2
Elastizitätsmodul E			Keine Angaben

Tabelle 7: Technische Kennwerte von Strohballen

#### Bauphysikalische Bewertung

Holzständerkonstruktionen stellen bei soliden Aufbauten und Anschlüssen und sorgfältiger Holz Auswahl langlebige Wandkonstruktionen dar. Die Diagonal-Sparschalung ist eine bewährte Möglichkeit zur Aussteifung.

Wichtig für die Funktionstüchtigkeit des Bauteils ist der passgenaue Einbau der Strohballen. Potenzielle Schwachstellen sind die zumeist abgerundeten Kanten der Strohballen und die dadurch entstehenden durchgängigen Lufträume. Fugen bzw. durchgängige Luftkanäle können

- lokal den Wärmeschutz vermindern (Wärmebrücke);
- dadurch zu feuchtetechnischen Problemen führen (Kondensat);
- den Schallschutz vermindern.

Die Entstehung von Fugen kann durch eine hohe Formgenauigkeit der Strohballen, durch sorgfältigen Einbau und gegebenenfalls genaues Ausstopfen der Lücken mit losem vermieden werden.

Längendehnungen durch Feuchtebewegungen können Geräusche, Risse und Fugen in Bekleidungsflächen verursachen.

Eine Bewertung des Schallschutzes ist wegen fehlender technischer Kenndaten nur in qualitativer Art möglich (siehe Kapitel Schallschutz).

#### Anforderungen

Die Anforderungen an Außenwände sind in den Bauordnungen der Länder und in Normen festgelegt und dienen als Grundlage zur bauphysikalischen Bewertung der Strohwand. Ein guter Überblick über Leichtbauten wird in „Proholz (Hrsg), Mehrgeschoßiger Holzbau in Österreich, 1999“ gegeben.

Folgende Eigenschaften der Primärkonstruktion bzw. der Strohdämmung sind für die Ausbildung von Innen- und Außenschale von zentraler Bedeutung:

- Stroh kann sich bei erhöhter Feuchte über längere Zeiträume zersetzen und muss daher besonders gut vor Feuchte geschützt werden.
- Durch das hohe Fugenmaß sind hohe Anforderungen an die innen- und außenseitige luftdichte Ebene gegeben.
- Leichtbaukonstruktionen zeichnen sich zumeist durch eine geringe wirksame Speichermasse aus.
- Einschalige Holzkonstruktionen besitzen geringen Schallschutz (siehe Kapitel Schallschutz).

Während die ersten zwei Punkte zentrale Bedingungen formulieren, unter denen Stroh über die Gebäudelebensdauer seine Funktion erfüllen kann, müssen die letzteren beiden „nur“ für bestimmte Einsatzzwecke (z.B. Bauklassen, architektonische Gestaltung) durch konstruktive Maßnahmen verbessert werden.

Auf der Basis der genannten Eigenschaften der Strohwand-Primärkonstruktion und der einschlägigen Normen ergeben sich folgende Anforderungen:

#### Wärmeschutz

- Winterlicher Wärmeschutz: Gesetzlich vorgeschriebener U-Wert  $< 0,4 - 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  je nach Bundesland verschieden. Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen sollten allerdings U-Werte  $< 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  angestrebt werden. Die untersuchte Strohwand liegt im Passivhausbereich (U-Wert  $< 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) und unterschreitet die Mindestanforderungen sehr deutlich.
- Sommertauglichkeit: Die Sommertauglichkeit von Wohn- und Arbeitsräumen ist in der ÖNORM B 8110 T3 festgelegt. Diese wird neben dem solaren Eintrag und der Belüftbarkeit insbesondere durch die Wärmespeichereigenschaften der Bauteile bestimmt. Kenngröße ist die wirksame Speichermasse eines Bauteils. Die wirksame Speichermasse der Primärkonstruktion kann durch einen entsprechenden Aufbau der inneren Bekleidung erhöht werden. Hierzu bieten sich besonders schwere, dicke Putzschichten an. Diese wirken sich auch positiv auf den Luftschallschutz aus.



## Feuchteverhalten

Die Beständigkeit der Strohdämmung (und auch des Holzes) hängt vom Feuchteschutz der Konstruktion ab: hoher Feuchtigkeitsgehalt über einen längeren Zeitraum durch eindringendes Wasser oder Kondensation könnten zu Schimmelbildung und Zersetzung der Strohhalme führen. Aus diesem Grund müssen gegenüber ÖNORM B 8110 T2 erhöhte Anforderungen an den Feuchteschutz gestellt werden, sodass

- nur geringste Mengen an Kondensat anfallen und
- eine hohe Austrocknungskapazität für außerplanmäßigen Feuchteeintrag zur Verfügung steht.

Das Eindringen von erhöhter Feuchtigkeit oder Wasser in die Strohdämmung ist über die in Tabelle 8 angegebenen Mechanismen möglich. Ebenfalls angegeben sind die Maßnahmen, die das Risiko vermeiden oder zumindest minimieren. Das Auftreten von Oberflächenkondensat ist wegen des hervorragenden Wärmeschutzes auszuschließen.

Mechanismus	Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Schäden
Anfall Kondensat in Dämmstoffebene durch Wasserdampfkonvektion	Strömungsdichte Verlegung der innenseitigen Luftdichtigkeitsschicht, z.B. sorgfältige Verklebung der Dampfbremse an den Stößen, keine Durchdringungen, Schutz der Schicht vor Beschädigungen während des Einbaus und im Betrieb (anliegende Platte, Installationsebene, rascher Einbau der innenliegenden Verkleidung)
Eindringendes Wasser durch Schlagregen	Hinterlüftungsebene mit 2. wasserableitender Schicht, bzw. Putzsystem, das gegen Wasser abdichtet, aber diffusionsoffen ist
Eintrag von hoher Feuchtigkeit durch "nasse" Baustoffe	Nur ausreichend trockenes Holz und Stroh verwenden, diffusionsoffene Konstruktion wählen
Eintrag Niederschlagswasser beim Aufbau der Außenwand	Vorfertigung der Wandelemente, sorgfältige Abdeckung der Konstruktion
Anfall Kondensat durch Wasserdampfdiffusion	Bauphysikalisch richtiger Aufbau der einzelnen Schichten, diffusionsoffener Aufbau der Außenschicht
Anfall Wasser durch Rohrbruch	Hohe Austrocknungskapazität durch diffusionsoffenen Aufbau

*Tabelle 8: Maßnahmen zur Fehlervermeidung durch Feuchte*

Die beiden erstgenannten Mechanismen sind für die meisten Schäden in Holzbaukonstruktionen verantwortlich. Deren langfristigen Vermeidung kommt daher eine zentrale Rolle für eine nachhaltige Funktionsweise zu.

## Diffusion

Die Windsperre sollte möglichst diffusionsoffen, luft- und wasserdicht sein. Durch Windsperren mit sehr niedrigem  $s_d$  -Wert wird die Austrocknungskapazität und damit die Sicherheit gegenüber kurzfristigem Anfall von Feuchtigkeit und Wasser (z.B. durch stark durchfeuchtetes Bauholz, Wassereintritt während des Einbaus, Rohrbruch etc.) erhöht. Um dies zu erreichen, kann die Dimensionierung der innenseitigen Dampfsperre mittels folgender Faustformel berechnet werden:

$$s_{d,i} > 10 \times s_{d,a}$$

$s_{d,i}$ : Äquivalente Luftschichtdicke der Bauteilschichten innerhalb der Dämmung

$s_{d,a}$ : Äquivalente Luftschichtdicke der Bauteilschichten außerhalb der Dämmung

Im Fall von Putzfassaden folgt aus den feuchtetechnischen Berechnungen für die Dampfsperre:

$$s_{d,i} > 10 \times s_{d,a}$$

Der innere  $s_d$  -Wert sollte allerdings nicht sehr viel stärker als in der oben angegebenen Formel dimensioniert werden, um:

- eine hohe Austrocknungskapazität auch nach innen zu ermöglichen
- Kondensation während der Sommerperiode an der Außenseite der Dampfbremse zu vermeiden.

Es sollte  $s_{d,i} < 5$  m eingehalten werden.

Wenn das Bauteil dauerhaft robust gegen unvorhergesehenen Feuchteanfall geschützt ist, kann auch auf vorbeugenden chemischen Holzschutz gegen Pilzwachstum verzichtet werden. Durch eine hohe Austrocknungskapazität des Bauteils kann diese Feuchte rasch abgegeben werden, bevor sich Pilze ausbreiten können.

Die Wasserdampfdiffusionsberechnung nach Glaser befindet sich im **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

### Luftdichtheit

Die Luftdichtheit der Strohwand und der Anschlüsse ist insbesondere für die Vermeidung von Wasserdampfkongvektion im Bauteil notwendig.

Sie muss durch die sorgfältige Planung und Ausführung der inneren (Innenputz, Dampfbremse) und äußeren luftdichten Schicht (Außenputz, Windbremse) sichergestellt werden. Für diese sind nur Materialien geeignet, die die Luftdichtheitsfunktion über einige Jahrzehnte erfüllen können.

Durch die luftdichte Ausbildung der äußeren Schicht und dem Dampfdiffusionsnachweis nach ÖNORM B 8110 T2 kann darüber hinaus auf einen vorbeugenden Insektenschutz der Holzsteher verzichtet werden.

### Brandschutz

Die Anforderungen an den Brandschutz von Bauteilen sind in ÖNORM B 3800 und in den Bauordnungen der Länder festgelegt. Die von der MA39 - VFA durchgeführten Brandversuche an einer beidseitig verputzten Strohballenwand zeigen allerdings folgendes: Trotz des baldigen Abbröckelns des Innenputzes erfüllten die Strohballen allein die Brandklasse F90. Daraus kann geschlossen werden, daß für wahrscheinlich alle hier untersuchten Aufbauten Brandklasse F90 erreicht werden kann. Strohballen zeigen somit ein hervorragendes Brandverhalten, das vor allem in der hohen Pressung des Strohs begründet liegt.

## Allgemeine Anmerkungen zu den Aufbauten mit hinterlüfteter Fassade

Der Standardaufbau der hinterlüfteten Fassade wird folgendermaßen festgelegt:

Auf die Diagonalschalung wird eine diffusionsoffene Windsperre aufgebracht. Darauf wird eine vertikale Lattung befestigt, die der Hinterlüftung der Konstruktion dient. Die Bekleidung besteht aus einer Stülpchalung.

### Wärmeschutz

Die Konstruktion bietet einen ausgezeichneten Wärmeschutz durch die Strohballendämmung. Die außenseitige Hinterlüftungsebene schützt vor hohen thermischen Lasten an der Primärkonstruktion, da die Holzschalung konvektiv gekühlt wird.

### Feuchteverhalten und Dampfdiffusion

Die Konstruktion ist bei sorgfältiger Dimensionierung und Ausführung der Windsperre durch die Hinterlüftungsebene hervorragend zum sicheren Abführen von Feuchtigkeit geeignet.

### Luftdichtigkeit

Durch die durchgehende Windsperre ist eine sehr gute Winddichtigkeit der Strohwand gegeben.

### Schallschutz

Der Beitrag der äußeren Beplankung zum Schallschutz ist gering. Eine Verbesserung könnte durch eine durchgängige Holzschalung oder durch Plattenbaustoffe erreicht werden.

**Konstruktion 1: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Gipsfaserplatten**

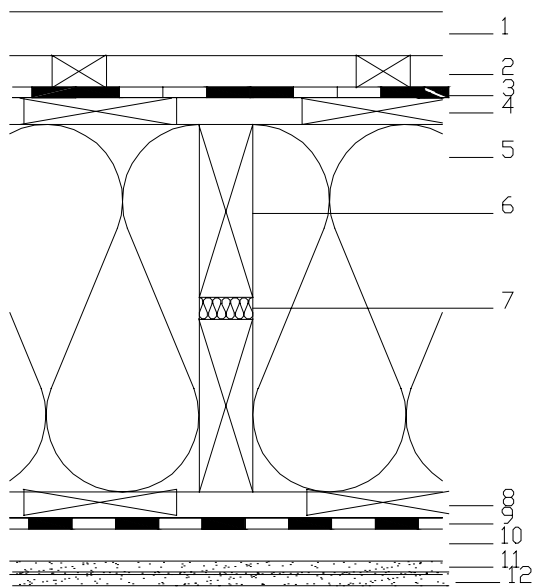


Abbildung 9: Konstruktion 1 – Strohwand hinterlüftet, innenseitig Gipsfaserplatten

**Aufbau**

1	Stülpschalung	2 cm
2	Lattung 4/4	4 cm
3	Windsperrschicht	0,02 cm
4	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
5-7	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
8	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
9	Dampfsperre	0,02 cm
10	Lattung	3 cm
11-12	2 Lagen Gipsfaserplatten	3 cm

Tabelle 9: Aufbau – Konstruktion 1

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.12
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0/0
Holzsteher		0.008/0.297
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	31.8

Tabelle 10: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 1

## Wärmeschutz

Die Konstruktion bietet einen ausgezeichneten Wärmeschutz durch die Strohballenkonstruktion. Die innenliegende Dämmung unterbricht die Wärmebrücke der Steher und erhöht damit die Dämmwirkung weiter.

Das Potenzial zu natürlicher Kühlung bei verstärktem nächtlichen Luftwechsel im Sommer sowie zur Speicherung solarer Energie in der Heizsaison ist gering. Besonderes Augenmerk sollte auf sommerlichen thermischen Komfort gelegt werden, beispielsweise durch optimale Verschattung und massive Innenbauteile.

## Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

- Ersatz der Windsperre durch gewachste Holzweichfaserplatte, die den Holzträger thermisch schützt und Wärmebrücke weiter vermindert.
- Erhöhung der Schichtdicke der Installationsebene, weitere Verminderung der Wärmebrückenwirkung der Holzsteher, Verbesserung des Wärmeschutzes.

## Feuchteverhalten und Dampfdiffusion

Durch die Trockenbauweise ist die Einbaufeuchte bei sorgfältiger Auswahl der Baustoffe und Schutz vor Niederschlagwasser gering.

Bei richtiger Dimensionierung und fachgerechter Ausführung von Dampfbremse und Windsperre entsteht selbst bei der Ausführung mit einer sehr leichten Dampfsperre ( $s_d < 1\text{m}$ ) in der Strohdämmung kein Kondensat, im Holzteil wenige Gramm Wasser. Die Austrocknungskapazität liegt weit über den Kondensatmengen.

Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

Ersatz der Windsperre durch gewachste Holzweichfaserplatte, die den Holzträger thermisch schützt und Wärmebrücke weiter vermindert.

Einsatz einer Windsperre mit sehr niedrigem  $s_d$ -Wert

Innenseitige Sparschalung vollflächig aufbringen

Luftdichtigkeit

Die Luftdichtigkeit der Konstruktion wird innenseitig durch eine Dampfbremse bzw. einer luftdichten Folie/Papier gewährleistet. Außenseitig schützt eine Windsperre vor dem Eindringen von kalter Außenluft.

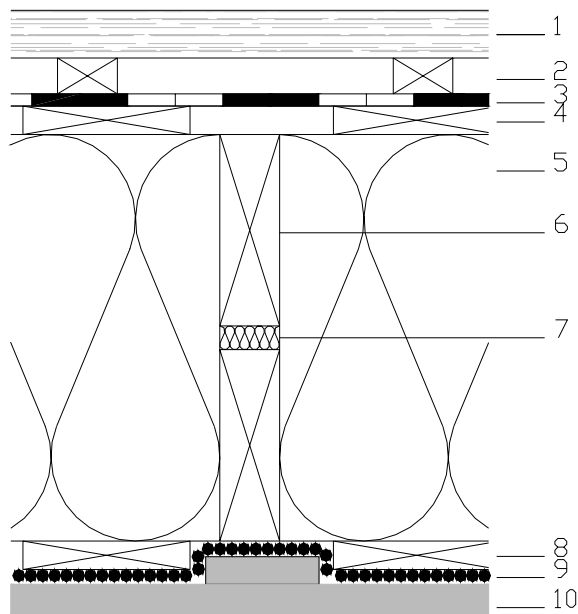
**Konstruktion 2: Strohwand hinterlüftet, innenseitig verputzt**

Abbildung 10: Konstruktion 2 – Strohwand hinterlüftet, innenseitig verputzt

**Aufbau 2a**

1	Stülpchalung	2 cm
2	Lattung 4/4	4 cm
3	Windsperr	0,02 cm
4	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
5-7	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
8	Diagonal-Sparschalung/Lehmputz	2,4 cm
9-10	Lehmputz armiert zweilagig	2 cm

Tabelle 11: Aufbau – Konstruktion 2a

**Bauphysik Kennwerte**

Bauphysik – Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.14
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0/0
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	66.7

Tabelle 12: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 2a



## Aufbau 2b

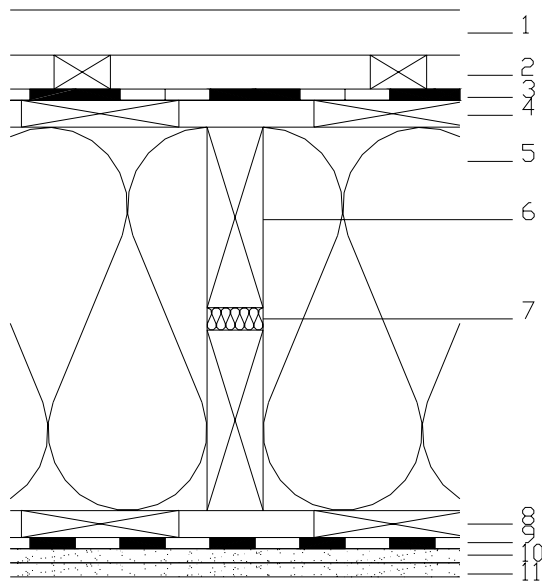


Abbildung 11: Konstruktion 2b – Strohwand hinterlüftet, innenseitig HWL-Platte verputzt

1	Stülp Schalung	2 cm
2	Lattung 4/4	4 cm
3	Windsperre	0,02 cm
4	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
5-7	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
8	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
9	Dampfsperre	0,02 cm
10	Holzwolleleichtbauplatte	5 cm
11	Lehmputz armiert zweilagig	2 cm

Tabelle 13: Aufbau – Konstruktion 2b

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.13
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0.001/0.289
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	54.7

Tabelle 14: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 2b

### Verarbeitung

Die Putzträgerarmierung ist sorgfältig auszuführen.

Konstruktion ohne Putzträger: Installationen müssen aufputz geführt werden. Durch den inhomogenen Putzgrund (Stroh/Schalung) sind hohe Anforderungen an Putzqualität und die einwandfreie Anwendung zu stellen. Österreichische Anbieter bieten speziell für diesen Anwendungsfall Putzsysteme an (Armierung im Putz).

Konstruktion mit Putzträger: Installationen können problemlos in HWL-Schicht eingebaut werden.

### Wärmeschutz

Durch die Holzwolleleichtbauplatten (Konstruktion 2b) wird die Wärmebrückenwirkung der Holzsteher verringert.

Es wird ein mittleres Potenzial zu natürlicher Kühlung bei verstärktem nächtlichen Luftwechsel im Sommer sowie zur Speicherung solarer Energie in der Heizsaison bereitgestellt.

### Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

- Ersatz der Windsperre durch gewachste Holzweichfaserplatte, die den Holzträger thermisch schützt und Wärmebrücke weiter vermindert.
- Wenn keine Installationen vorgesehen sind, kann die Holzwolleleichtbauplatte auch weniger stark dimensioniert werden (z.B. 20mm)
- Die Holzwolleleichtbauplatte könnte die innenliegende Diagonalschalung ersetzen
- Weitere Erhöhung der speicherwirksamen Masse durch zusätzliche Lehmputzschichten

### Feuchteverhalten und Dampfdiffusion

Konstruktion 2a ist bei dauerhaft rissfreier Putzebene (siehe Abschnitt Verarbeitung) unproblematisch hinsichtlich Dampfdiffusion und Kondensation.

Installationen (z.B. Steckdosen) dürfen die Putzebene nicht durchdringen, da allzu leicht Fugen mit den bekannten Risiken der Wasserdampfkonvektion auftreten. Diese müssen aufputz oder in anderen Bauteilen z.B. im Boden geführt werden. Auch die Bearbeitung des Lehmputzes durch die Bewohner wie das Einschlagen von Nägel oder das Befestigen von Möbeln mittels Schrauben kann mittelfristig zu Undichtigkeiten führen. Eine Aufklärung der Bewohner über die Bedeutung der Funktion des Innenputzes als luftdichte Ebene ist daher notwendig. Von Vorteil ist allerdings, dass Risse in der luftdichten Ebene unmittelbar sichtbar sind und umgehend ausgebessert werden können.

Konstruktion 2b mit Putzträger und leichter Dampfsperre bietet höhere Sicherheit und sollte im Fall von Mietwohnungen auf jeden Fall zur Ausführung kommen.

Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

- Die Holzwolleleichtbauplatten können durch Schilf- oder Strohplatten ersetzt werden.
- Es sollte eine Windsperre mit sehr niedrigem  $s_d$ -Wert gewählt werden, damit die Austrocknungskapazität möglichst erhöht wird. Dadurch besteht eine hohe Sicherheit gegenüber kurzfristigen Anfall von erhöhter Feuchtigkeit und Wasser (z.B. durch stark durchfeuchtetes Bauholz, Wassereintritt während des Einbaus, Rohrbruch etc.), die sehr schnell wieder austrocknen können und damit Holzkonstruktion und Strohdämmung nicht schädigen.
- Die Holzwolleleichtbauplatte ist bei entsprechender Befestigung für die Aussteifung ausreichend. Auf die Diagonal-Sparschalung kann in diesem Fall verzichtet werden.
- Wenn keine Installationen vorgesehen sind, könnte die Holzwolleleichtbauplatte auch weniger stark dimensioniert werden.

Luftdichtigkeit

Die Luftdichtigkeit der Konstruktion wird innenseitig durch den Lehmputz gesichert. Außenseitig schützt eine Windsperre vor dem Eindringen von Außenluft.

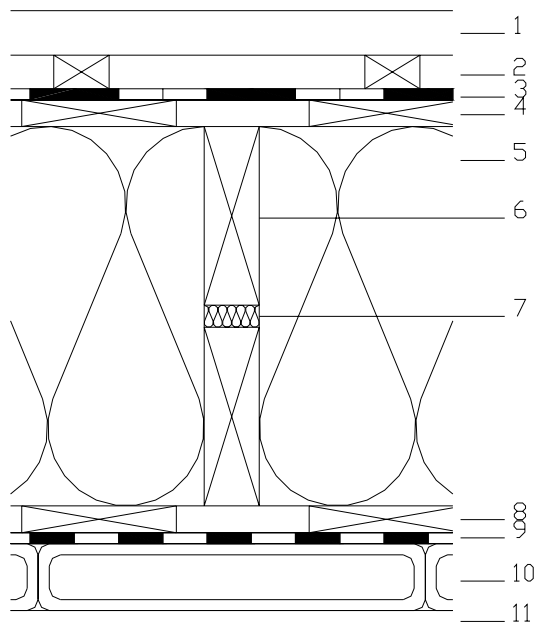
**Konstruktion 3: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Hourdisziegel**

Abbildung 12: Konstruktion 3: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Hourdisziegel

**Aufbau**

1	Stülp Schalung	2 cm
2	Lattung 4/4	3 cm
3	Windsperre	0,02 cm
4	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
5-7	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
8	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
9	Dampfsperre	0,02 cm
10	Hourdisziegel	8 cm
11	Lehmputz zweilagig armiert	1 cm

Tabelle 15: Aufbau – Konstruktion 3

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.13
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0/0
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	44.0

Tabelle 16: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 3

## Ausführung

Die Hourdisziegel (großformatige Ziegelbauelemente, Verwendung als tragende Zwischenglieder in Stahlträger und Holzbalkendecken, für Leichtbauwände, Trockenunterböden, Fußbodenheizungen und Klimadachplatten) dienen auch als Installationsebene.

Vor- und Rücklauf der Heizung können in den Sockelbereich der Hourdisziegel eingefräßt werden und erwärmen dadurch diese auch innenseitig durch Konvektion.

Die Rissfreiheit des Lehmputzes ist durch sorgfältige Putzauswahl und Ausführung zu gewährleisten.

## Wärmeschutz

Durch die Holzsteher besteht eine leichte Wärmebrücke.

Die Konstruktion bietet ein mittleres Potenzial zu natürlicher Kühlung bei verstärktem nächtlichen Luftwechsel im Sommer sowie zur Speicherung solarer Energie in der Heizsaison.

Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

Ersatz der Windsperre durch gewachste Holzweichfaserplatte, die den Holzträger thermisch schützt und Wärmebrücke weiter vermindert.

## Feuchteverhalten und Dampfdiffusion

Die Konstruktion entspricht auch ohne Dampfsperre den Anforderungen nach ÖNORM B 8110 T.2. Das Anbringen einer strömungsdichten Folie wäre daher ausreichend. Eine dampfsperrende Folie bietet allerdings ein zusätzliches Maß an Sicherheit (z.B. gegen hohe Luftfeuchtigkeit in Nassräumen und Küche).

Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

- Einsatz einer Windsperre mit sehr niedrigem  $s_d$ -Wert
- Innenseitige Sparschalung vollflächig aufbringen

## Luftdichtigkeit

Die Luftdichtigkeit der Konstruktion wird innenseitig durch eine Dampfbremse gewährleistet. Außenseitig schützt eine Windsperre vor dem Eindringen von Außenluft.

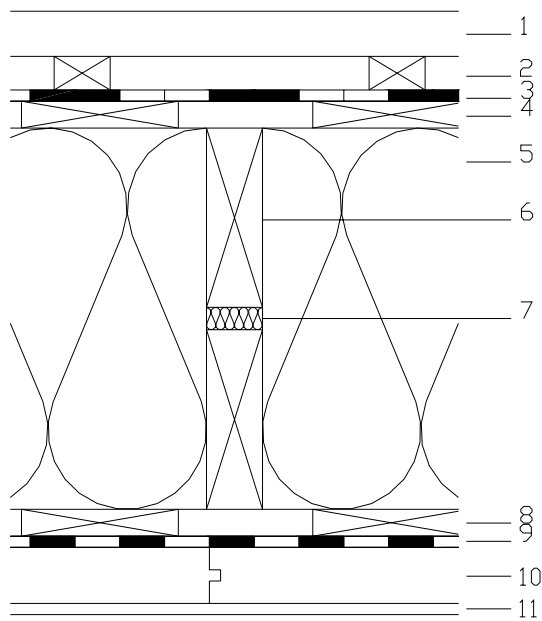
**Konstruktion 4: Strohwand hinterlüftet, innenseitig Lehm- bauplatten**

Abbildung 13: Konstruktion 4 – Stroh- wand hinterlüftet, innenseitig Lehm- bauplatten

**Aufbau**

1	Stülp- schalung	2 cm
2	Lattung 4/4	3 cm
3	Windsperre	0,02 cm
4	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
5-7	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
8	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
9	Dampfsperre	0,02 cm
10	Lehm- bauplatten	5 cm
11	Lehmputz zweilagig armiert	1.5 cm

Tabelle 17: Aufbau – Konstruktion 4

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.13
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0/0
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	66.8

Tabelle 18: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 4

## Verarbeitung

Die Putzarmierung ist sorgfältig auszuführen. Installationen können in manchen Fällen direkt in den Lehmbauplatten geführt werden. Bei Ausführungen mit dünneren Lehmbauplatten ist die Schaffung einer Installationsebene mittels Lattung sinnvoll.

## Wärmeschutz

Durch die Lehmbauplatten kann der Effekt der Wärmebrückenwirkung der Holzsteher verringert werden.

Es wird ein mittleres Potenzial zu natürlicher Kühlung bei verstärktem nächtlichen Luftwechsel im Sommer sowie zur Speicherung solarer Energie in der Heizsaison erzielt.

Bei Verzicht auf den innenseitigen Lehmputz und der Spachtelung sinkt die speicherwirksame Masse auf ca. 50kg/m<sup>2</sup>a.

## Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

- Ersatz der Windsperre durch gewachste Holzweichfaserplatte, die den Holzträger thermisch schützt und Wärmebrücke weiter vermindert.
- Weitere Erhöhung der speicherwirksamen Masse durch zusätzliche Lehmputzschichten.

## Feuchteverhalten und Dampfdiffusion

Die Konstruktion ist durch sorgfältige Dimensionierung und Ausführung von Dampfbremse und Windsperre unproblematisch hinsichtlich Dampfdiffusion und Kondensation.

Die Windsperre sollte möglichst diffusionsoffen, luft- und wasserdicht sein.

## Optimierungsmöglichkeit, Alternativen:

Einsatz einer Windsperre mit sehr niedrigem  $s_d$ -Wert

Innenseitige Sparschalung vollflächig aufbringen

## Luftdichtigkeit

Die Luftdichtigkeit der Konstruktion wird innenseitig durch eine Dampfbremse bzw. eine luftdichte Folie/Papier gewährleistet, die durch die Wirkung des Lehmputzes verstärkt wird. Außenseitig schützt eine Windsperre vor dem Eindringen von Außenluft.

## Allgemeine Anmerkungen zu den Aufbauten mit Putzfassade

Der Standardaufbau der Putzfassade wird folgendermaßen festgelegt:

Auf die Diagonalschalung wird eine 35 mm starke Holzwoleleichtbauplatte aufgebracht. Diese wird mit einem Silikatputz auf einem Leichtgrundputz verputzt. In den Putz ist ein Armierungsgitter einzulegen.

### Putzauswahl

Eine Putzfassade bringt eine relativ hohe Feuchtigkeit ein, die zum Schutz der Dämmung und der Holzteile möglichst rasch abgeführt werden muss. Da die Dampfdiffusionsrichtung während eines Großteils des Jahres nach außen gerichtet ist, muss die Austrocknung vor allem über die Putzfassade erfolgen. Diese muss allerdings auch ausreichend dicht gegen eindringendes Wasser (Schlagregen, eventuell Spritzwasser) sein. Ansonsten kann das im Putz angereicherte Wasser bei anschließender Sonneneinstrahlung zu einer Befeuchtung der gesamten Strohdämmung infolge Wasserdampfdiffusion führen. Der geeigneten Auswahl des Außenputzes kommt somit eine zentrale Bedeutung zu:

- Der Außenputz sollte möglichst diffusionsoffen sein und
- Der Außenputz muss ausreichend wasserdicht sein.

Geeignet sind folgende Putzsysteme in wasserabweisender Ausführung:

- Silikatputze
- Kalk(zement)putze

Wenn durch große Dachüberstände, ausreichende Abstände vom Spritzwasserbereich (Höhe > 80cm) oder durch eine windgeschützte Lage direkte Wassereinwirkung sicher ausgeschlossen werden kann, sind auch Lehm- oder der leicht wasserhemmende Trasskalkputz geeignet.

Grundsätzlich dürfen nur Putzsysteme eingesetzt werden, die vom Hersteller ausdrücklich für diesen Anwendungszweck empfohlen werden und deren bauphysikalischen Kennwerte bekannt sind (insbesondere Diffusionswiderstandszahl und Wasseraufnahmekoeffizient).

### Armierung

Der Außenputz ist hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt:

- Längendehnungen durch Feuchtebewegung der Holzteile
- Thermische Spannungen, die durch die hohen Temperaturen an der Putzoberfläche (bei Sonnenstrahlung) entstehen können, da der Wärmefluss nach innen durch die Dämmung stark verringert ist

Aus diesem Grund muss der Außenputz armiert ausgeführt werden. Besondere Sorgfalt ist auf Schwachstellen (Leibungen etc.) zu verwenden.



### Putzträger

Die benötigte Stärke des Putzträgers richtet sich nach der Dichte der Nagelung. Es sollten die Empfehlungen des Herstellers beachtet werden.

Anmerkung: Von einer Ausführung ohne Putzträger wird abgeraten. Das hat folgende Gründe:

- Stärkere mechanische Belastung des Putzes durch inhomogenen Untergrund (Diagonal-Sparschalung, Strohballen)
- Stärkere Belastung der Primärkonstruktion durch Baufeuchte

### Wärmeschutz

Die außenseitig entstehenden thermischen Spannungen bei Sonneneinstrahlung führen bei sorgfältiger Ausführung der Armierung zu keinen Rissen. Des Weiteren sind außer der Armierung helle Anstrichfarben von Vorteil, da sie die absorbierte Solarenergie deutlich reduzieren.

### Feuchteverhalten und Dampfdiffusion

Die Konstruktion ist bei sorgfältiger Dimensionierung und Ausführung von Dampfbremse und Außenputz unproblematisch hinsichtlich Dampfdiffusion und Kondensation. Durch entstehende Risse könnte Niederschlagwasser kapillar nach innen transportiert werden und die Primärkonstruktion schädigen.

### Luftdichtigkeit

Die Luftdichtigkeit der Konstruktion wird durch die sorgfältige Ausführung des armierten Außenputzes gewährleistet.

### Schallschutz

Durch eine Verstärkung der Außenputz- und der Putzträgerschicht kann der Schallschutz leicht verbessert werden.

### Brandverhalten

Die Außenschicht ist nicht brennbar.

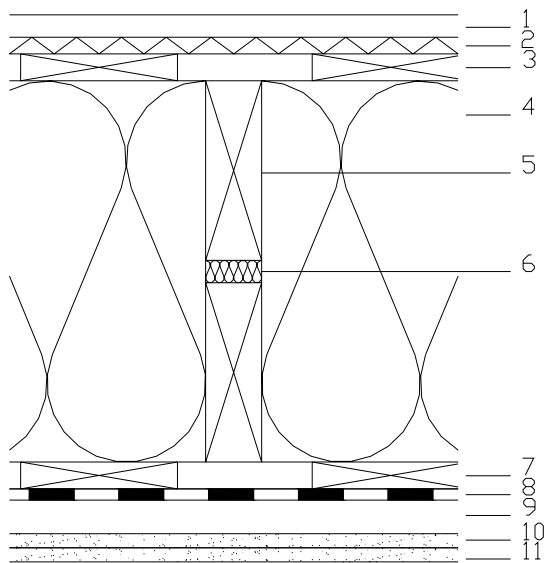
**Konstruktion 5: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Gipsfaserplatte**

Abbildung 14: Konstruktion 5: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Gipsfaserplatte

**Aufbau**

1	Silikatputz auf Leichtgrundputz armiert	2 cm
2	Holzwolleleichtbauplatte	3,5 cm
3	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
4-6	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
7	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
8	Dampfsperre	0,02 cm
9	Lattung	3 cm
10-11	2 Lagen Gipsfaserplatten	3 cm

Tabelle 19: Aufbau – Konstruktion 5

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.12
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0/0
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	33.6

Tabelle 20: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 5

Im Unterschied zu Konstruktion 1 (zur bauphysikalischen Beurteilung siehe auch Konstruktion 1) muss auf das Dampfdiffusionsverhalten höhere Aufmerksamkeit gelegt werden, da der Dampfwiderstand der Putzfassade über demjenigen der hinterlüfteten Fassade liegt. Eine Dampfsperre ist in diesem Fall für eine ausreichende Sicherheit gegen Kondensatanfall notwendig. Beim gewählten Außenputz ergibt eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 4.6 m einen guten Schutz vor Tauwasser. Vor dem Einsatz von Dampfbremsen mit deutlich höheren  $s_d$ -Werten wird abgeraten, da dadurch

- die Austrocknungskapazität deutlich reduziert wird und
- im Sommer an der Außenseite der Dampfsperre beträchtliche Mengen an Kondensat entstehen können.

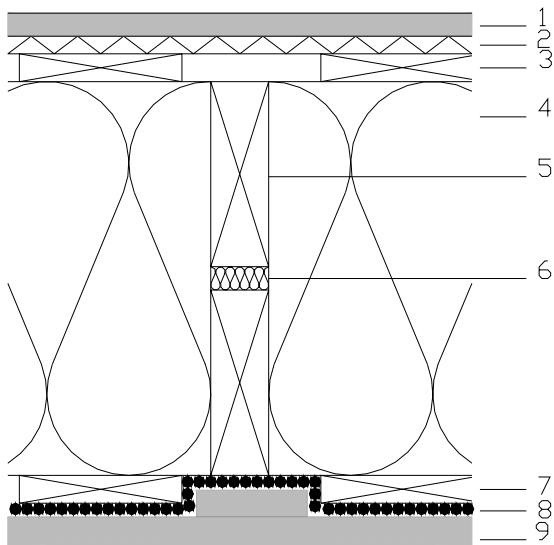
**Konstruktion 6: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig verputzt**

Abbildung 15: Konstruktion 6 - Strohwand mit Putzfassade, innenseitig verputzt

**Aufbau**

1	Silikatputz auf Leichtgrundputz armiert	2 cm
2	Holzwolleleichtbauplatte	3.5 cm
3	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
4-6	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
7	Diagonal-Sparschalung / Lehmputz	2,4 cm
8-9	Lehmputz zweilagig armiert	2 cm

Tabelle 21: Aufbau – Konstruktion 6

**Bauphysik Kennwerte**

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.13
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung Lehm		1.03/3.6
Strohdämmung Sparschalung		0.247/3.138
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	66.7

Tabelle 22: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 6

## Aufbau 6b

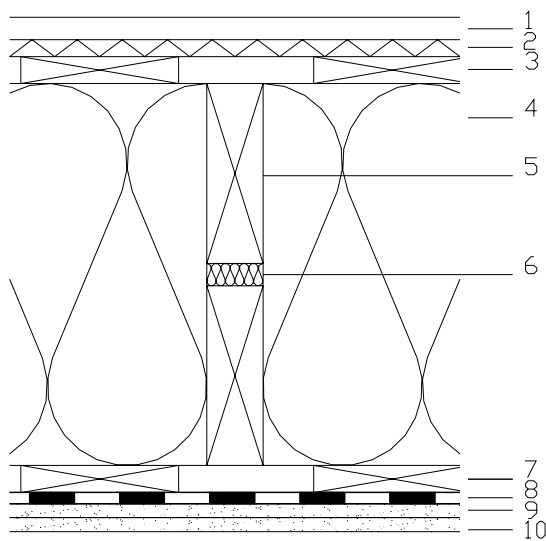


Abbildung 16: Konstruktion 6b - Strohwand mit Putzfassade, innenseitig HWL-Platte verputzt

1	Silikatputz auf Leichtgrundputz armiert	2 cm
2	Holzwoleleichtbauplatte	3.5 cm
3	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
4-6	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
7	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
8	Dampfsperre	0,02 cm
9	Holzwoleleichtbauplatte	5 cm
10	Lehmputz zweilagig armiert	2 cm

Tabelle 23: Aufbau – Konstruktion 6b

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.12
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0.011/3.020
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	57.6

Tabelle 24: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 6b

Zur bauphysikalischen Beurteilung hinsichtlich Wärmeschutz und Luftdichtigkeit siehe Konstruktion 2a und 2b.

Konstruktion 6a: Ohne Putzträger und Dampfbremse führen alle untersuchten Konstruktionsaufbauten zu mittleren bis unzulässigen Kondensatmengen im Bauteil von 0.5 bis knapp über 1 l Wasser pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche. Die Austrocknungskapazität ist zwar deutlich höher, die Konstruktion bietet allerdings kein ausreichendes Maß an Sicherheit.

In der untenstehenden Tabelle ist das Feuchteverhalten in Abhängigkeit vom Außenputz dargestellt. Das Kondensatanfall ist immer an der Innenseite der Holzwoleleichtbauplatte lokalisiert. In allen in Tabelle 25 angeführten Varianten ist keine ausreichende Sicherheit gegeben.

Variante	Kondensat/Austrocknung
Konstruktion 6a	1.03/3.6
HWL-Platte, Silikatputz auf Lehmputz	0.946/4.767
Ausschließlich Lehmputz (wie innen)	1.031/5.496
Lehmputz auf HWL-Platte	0.522/6.012

Tabelle 25: Feuchteverhalten in Abhängigkeit vom Außenputz – Konstruktion 6a

Anmerkung: Nicht wasserabweisende Putze könnten Kondensat, das an ihrer Innenseite anfällt, kapillar nach außen transportieren. Da dieser Bereich allerdings gerade im Winter häufig unter 0°C liegt, gefriert das Kondensat. Die Austrocknung erfolgt daher erst in der wärmeren Jahreszeit.

Da alle Konstruktionen keine allzu große Sicherheit bieten, wird folgende Änderung der Primärkonstruktion vorgeschlagen:

Die innenseitige Diagonal-Sparschalung wird durch eine ebenfalls diagonal und möglichst dicht ausgeführte Holzschalung (eventuell Nut/Feder Ausführung) ersetzt. Darauf wird Schilfstukkatur und Lehmputz aufgebracht. Durch diese Maßnahme fällt nur mehr 0.25kg Wasser an. Dies ist zwar ausreichend, allerdings bietet die Konstruktion nur ein geringes Maß an Sicherheit.

Eine leichte Dampfsperre zwischen Strohdämmung und Holzschalung würde ein hohes Maß an Sicherheit bringen

Konstruktion 6 b: mit Putzträger und Dampfbremse:

Beim gewählten Außenputz ergibt eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 4.6 m einen guten Schutz vor Tauwasser. Vor dem Einsatz von Dampfbremsen mit deutlich höheren  $s_d$ -Werten wird abgeraten, da dadurch

- die Austrocknungskapazität deutlich reduziert wird und
- im Sommer an der Außenseite der Dampfsperre beträchtliche Mengen an Kondensat entstehen können.

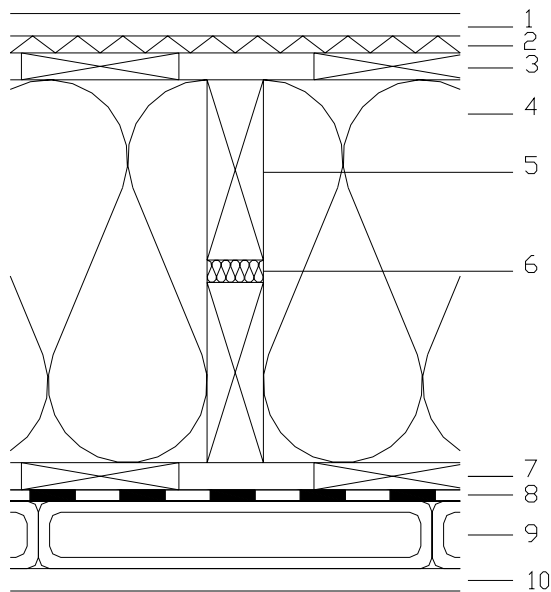
**Konstruktion 7: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Hourdisziegel**

Abbildung 17: Konstruktion 7 – Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Hourdisziegel

**Aufbau**

1	Silikatputz auf Leichtgrundputz armiert	2 cm
2	Holzwoleleichtbauplatte	3,5 cm
3	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
4-6	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
7	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
8	Dampfsperre	0,02 cm
9	Hourdisziegel	8 cm
10	Lehmputz zweilagig armiert	1 cm

Tabelle 26: Aufbau – Konstruktion 7

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.13
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0.012/3.140
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	44.2

*Tabelle 27: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 7*

Zur bauphysikalischen Beurteilung des Wärmeschutzes und der Luftdichtigkeit siehe Konstruktion 3.

Im Unterschied zu Konstruktion 3 muss auf das Dampfdiffusionsverhalten höhere Aufmerksamkeit gelegt werden, da der Dampfwiderstand der Putzfassade über demjenigen der hinterlüfteten Fassade liegt. Eine Dampfsperre ist in diesem Fall für eine ausreichende Sicherheit gegen Kondensatanfall notwendig. Beim gewählten Außenputz ergibt eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 4.6 m einen guten Schutz vor Tauwasser. Vor dem Einsatz von Dampfbremsen mit deutlich höheren  $s_d$ -Werten wird abgeraten, da dadurch

- die Austrocknungskapazität deutlich reduziert wird und
- im Sommer an der Außenseite der Dampfsperre beträchtliche Mengen an Kondensat entstehen können.



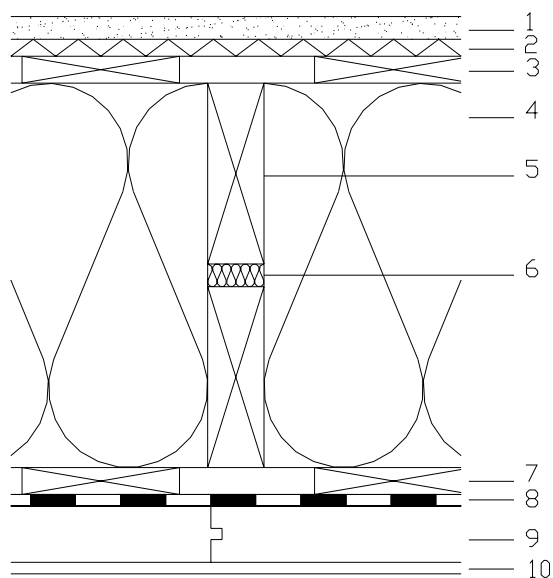
**Konstruktion 8: Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Lehm- bauplatte**

Abbildung 18: Konstruktion 8 – Strohwand mit Putzfassade, innenseitig Lehm- bauplatte

**Aufbau**

1	Silikatputz auf Leichtgrundputz armiert	2 cm
2	Holzwoleleichtbauplatte	3,5 cm
3	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
4-6	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
7	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
8	Dampfsperre	0,02 cm
9	Lehm- bauplatten	5 cm
10	Lehmputz zweilagig armiert	1.5 cm

Tabelle 28: Aufbau – Konstruktion 8

## Bauphysik Kennwerte

Bauphysik - Baukonstruktion	Einheit	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	0.13
Kondensat/Austrocknung	kg/m <sup>2</sup> a	
Strohdämmung		0.012/3.140
Holzsteher		0/0
Speicherwirksame Masse innen	kg/m <sup>2</sup>	66.9

Tabelle 29: Bauphysikalische Kennwerte – Konstruktion 8

Zur bauphysikalischen Beurteilung des Wärmeschutzes und der Luftdichtigkeit siehe Konstruktion 4.

Im Unterschied zu Konstruktion 4 muss auf das Dampfdiffusionsverhalten höhere Aufmerksamkeit gelegt werden, da der Dampfwiderstand der Putzfassade über demjenigen der hinterlüfteten Fassade liegt. Eine Dampfsperre ist in diesem Fall für eine ausreichende Sicherheit gegen Kondensatanfall notwendig. Beim gewählten Außenputz ergibt eine Dampfbremse mit einem  $s_d$ -Wert von 4.6 m einen guten Schutz vor Tauwasser. Vor dem Einsatz von Dampfbremsen mit deutlich höheren  $s_d$ -Werten wird abgeraten, da dadurch

- die Austrocknungskapazität deutlich reduziert wird und
- im Sommer an der Außenseite der Dampfsperre beträchtliche Mengen an Kondensat entstehen können.

## Anschlussdetails

## Kellerdecke leicht

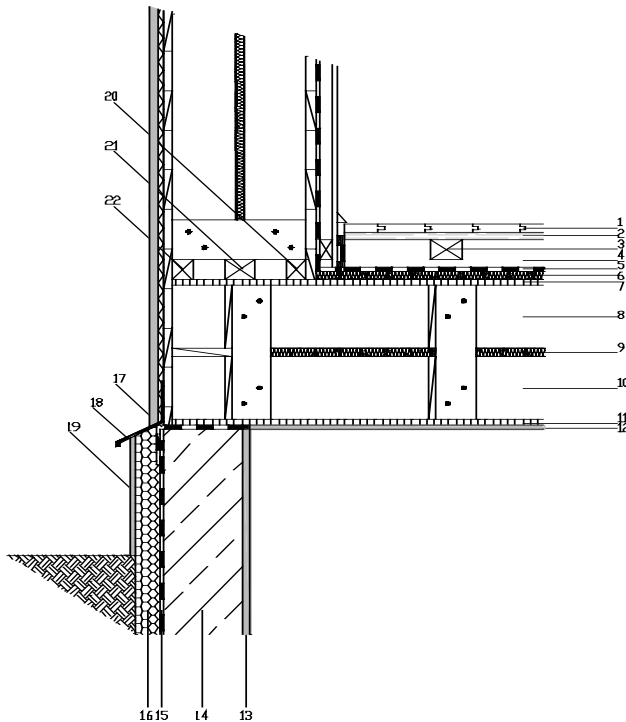


Abbildung 19: Anschlussdetails Kellerdecke leicht

## Außenwandkonstruktion 5

1	Schiffboden
2	Blindboden
3	Polsterholz
4	Sand
5	Folie
6	Trittschalldämmung
7	OSB-Platte
8	Dämmung zwischen Sparren
9	Holzweichfaserplatte
10	Dämmung zwischen Sparren
11	OSB-Platte
12	Gipsfaserplatte
13	Innenputz
14	Beton
15	Feuchtigkeitsabdichtung
16	Perimeterdämmung
17	Horizontalsperre, verbunden mit vertikaler Abdichtung
18	Wetterschenkel
19	Wasserabweisender Außenputz (Spritzwasserbereich)
20-22	Staffel

Tabelle 30: Aufbau – Kellerdecke leicht

## Bauteile:

- Außenwand: Konstruktionen 1-8
- Kellerdecke: Leichtbaukonstruktion mit Strohballendämmung ähnlich den Außenwänden
- Kellerwand: Betonwand mit Außendämmung

## Verarbeitung:

- Dampfsperre Außenwand luftdicht an OSB-Platte mittels Klebeband ("Schlaufe") anschließen
- Horizontalsperre zwischen Kellerwand - Decke auch über Innenputz ziehen und zwischen Gipsfaserplatte - OSB-Platte klemmen
- Hinterlüftete Außenfassade: Windsperre mit vertikaler Sperrschicht (Kelleraußenwand) verkleben
- Putzfassade: Putzträger und Außenputz über Wetterschenkel ziehen

## Kommentar:

- Der Anschluss ist wärmebrückenfrei
- Die Luftdichtigkeitsebenen innen wie außen sind geschlossen
- Alle dampf- und wassersperrenden Schichten sind direkt miteinander verbunden. Bei sorgfältiger Ausführung feuchtetechnisch sichere Konstruktion

**Kellerdecke massiv**

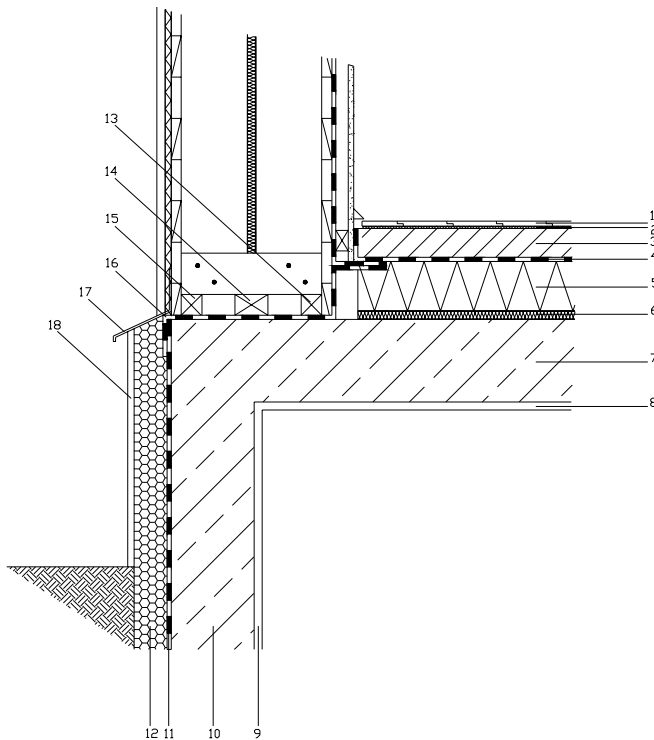


Abbildung 20: Anschlussdetails Kellerdecke massiv

**Außenwand Strohwand Konstruktion 5**

1	Fertigparkett
2	Korkment
3	Estrich (Randdämmstreifen einlegen)
4	Dampfbremse
5	Dämmung druckfest
6	Trittschalldämmung
7	Stahlbetondecke
8	Innenputz
9	Innenputz
10	Beton
11	Feuchtigkeitsabdichtung
12	Perimeterdämmung
13-15	Staffel
16	Horizontalsperre, verbunden mit vertikaler Abdichtung
17	Wetterschenkel (Unter Holzwoleleichtbauplatte befestigt)
18	Wasserabweisender Außenputz (Spritzwasserbereich)

Tabelle 31: Aufbau – Kellerdecke massiv

## Bauteile:

- Außenwand: Konstruktionen 1-8
- Kellerdecke: Leichtbaukonstruktion mit Strohballendämmung ähnlich den Außenwänden
- Kellerwand: Betonwand mit Außendämmung

## Verarbeitung:

- Dampfsperre Außenwand luftdicht an OSB-Platte mittels Klebeband ("Schlaufe") anschließen
- Horizontalsperre zwischen Kellerwand - Decke auch über Innenputz ziehen und zwischen Gipsfaserplatte - OSB-Platte klemmen
- Hinterlüftete Außenfassade: Windsperre mit vertikaler Sperrschicht (Kelleraußenwand) verkleben
- Putzfassade: Putzträger und Außenputz über Wetterschenkel ziehen

## Kommentar:

- Der Anschluss ist wärmebrückenfrei
- Die Luftdichtigkeitsebenen sind innen wie außen geschlossen
- Alle dampf- und wassersperrenden Schichten sind direkt miteinander verbunden. Tauwasser innenseitig am Außenwand-Fußpunkt ist damit ausgeschlossen: Die vertikale dampfbremsende Schicht schließt direkt an die Dampfsperre des Fußbodens und der Horizontalsperre an.

**Pulldach**

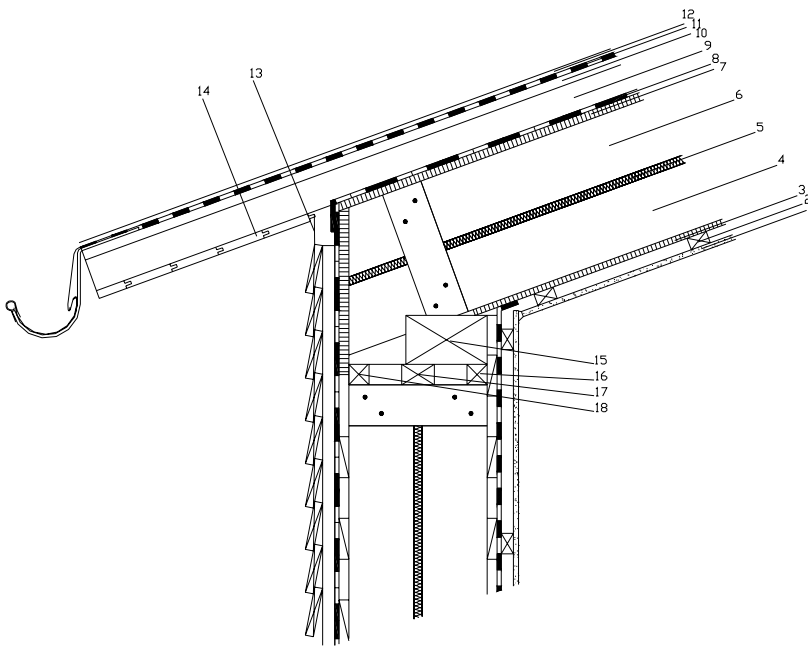


Abbildung 21: Anschlussdetails Pulldach

**Außenwand Strohwand Konstruktion 1**

1	Gipsfaserplatte
2	Lattung
3	OSB-Platte, verklebt mit Dampfbremse der Außenwand
4	Strohdämmung zwischen Sparren
5	Holzweichfaserplatte zwischen Sparren
6	Strohdämmung zwischen Sparren
7	Holzweichfaserplatte
8	Dachbahn diffusionsoffen
9	Lattung/Hinterlüftung
10	Holzschalung
11	PE-Folie (galvanische Trennung Holz-Blech)
12	Blechdach, z.B. Stahlblech verzinkt
13	Vogelgitter
14	Holzschalung
15	Fußpfette
17-19	Staffel

Tabelle 32: Aufbau - Pulldach

## Bauteile:

- Außenwand: Konstruktionen 1-8
- Dach: Leichtbaukonstruktion mit Strohballendämmung ähnlich den Außenwänden, allerdings mit OSB-Platte innenseitig und Holzweichfaserplatte außenseitig

## Verarbeitung:

- Dampfsperre Außenwand luftdicht an OSB-Platte kleben
- Hinterlüftete Außenfassade: Dachauflegebahn mit Doppelklebeband auf Windsperre luftdicht anschließen
- Putzfassade: Weichfaserplatte ca. 4cm vorstehen lassen, Dachauflegebahn wird um Holzweichfaserkante geführt und mit Holzwolleleichtbauplatte festgeklemmt.

## Kommentar:

- Der Anschluss ist wärmebrückenfrei.
- Die Luftdichtheitsebenen sind innen wie außen geschlossen, die Balken durchstoßen die Luftdichtheitsebene nicht.
- Alle dampf- und wassersperrenden Schichten sind direkt miteinander verbunden.



## Steildach

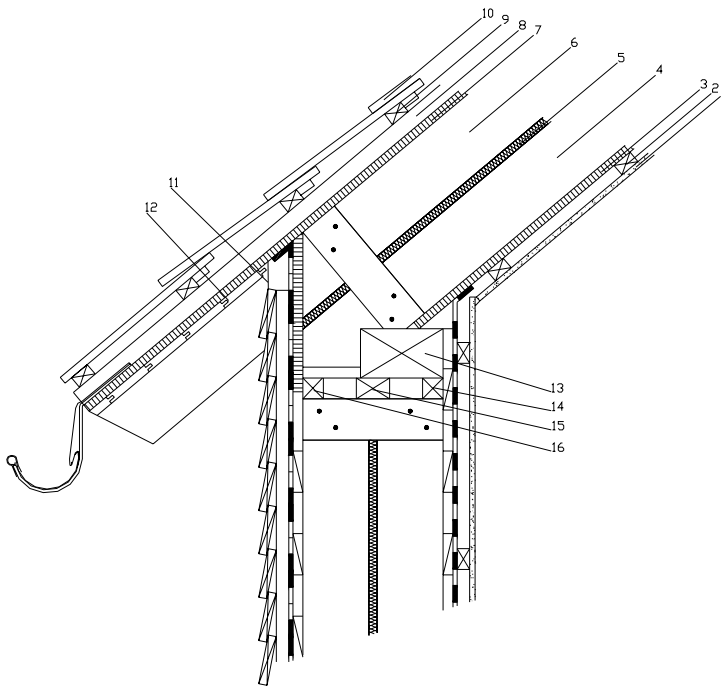


Abbildung 22: Anschlussdetails Steildach

## Außenwand Strohwand Konstruktion 1

1	Gipsfaserplatte
2	Lattung
3	OSB-Platte, verklebt mit Dampfbremse der Außenwand
4	Strohdämmung zwischen Sparren
5	Holzweichfaserplatte zwischen Sparren
6	Strohdämmung zwischen Sparren
7	Gewachste Holzweichfaserplatte
8	Konterlattung/Hinterlüftung
9	Lattung
10	Dachziegel
11	Vogelgitter
12	Holzschalung zwischen Sparren
13	Fußpfette
14-16	Staffel

Tabelle 33: Aufbau - Steildach

## Bauteile:

- Außenwand: Konstruktionen 1-8
- Dach: Leichtbaukonstruktion mit Strohballendämmung ähnlich den Außenwänden, allerdings mit OSB-Platte innenseitig und hydrophobierter Holzweichfaserplatte außenseitig

## Verarbeitung:

- Dampfsperre Außenwand luftdicht an OSB-Platte kleben
- Hinterlüftete Außenfassade: OSB-Platten mit dauerelastischer Masse luftdicht an Sparren und Unterdachbahn anschließen, Windsperre mit Hilfe von Manschetten an durchdringende Sparren anschließen, an Oberkante luftdicht an Unterdachplatte kleben.
- Putzfassade: OSB-Platten mit dauerelastischer Masse luftdicht an Sparren und Unterdachbahn anschließen; Putz bis an Sparren und Unterdachplatte ausführen, Spalt mit dauerelastischer Masse verfüllen

## Kommentar:

- Der Anschluss ist wärmebrückenfrei
- Die Luftdichtigkeitsebenen sind innen wie außen geschlossen, die Balken durchstoßen allerdings die Luftdichtheitsebene
- Alle dampf- und wassersperrenden Schichten sind direkt miteinander verbunden

## Fenster

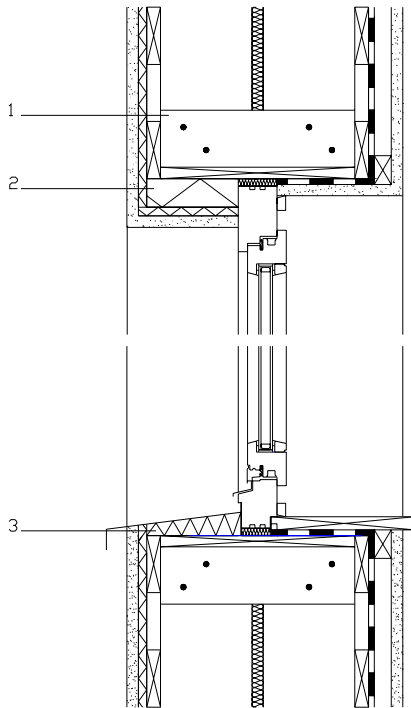


Abbildung 23: Anschlussdetails Fenster Variante 1

1	Strohdämmung zwischen Holzsteher
2	Wärmedämmung, Rahmen überdämmt
3	Druckfeste Dämmung (z.B. Kork), darüber Windsperre

Tabelle 34: Aufbau Fenster - Variante 1

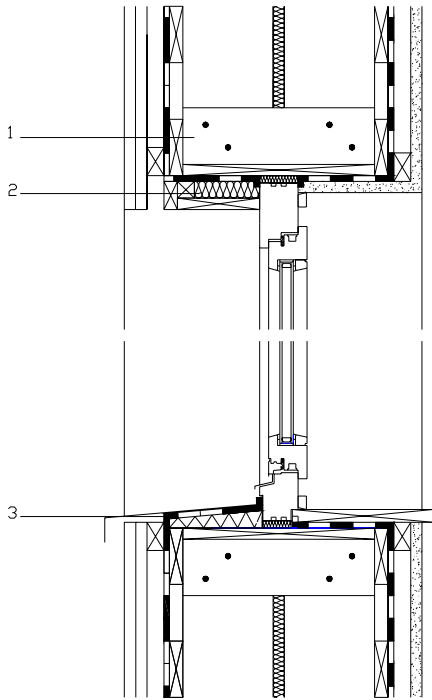


Abbildung 24: Anschlussdetails Fenster Variante 2

1	Strohdämmung zwischen Holzsteher
2	Druckfeste Wärmedämmung, Rahmen überdämmt
3	Druckfeste Dämmung

Tabelle 35: Aufbau – Fenster Variante 2

## Bauteile:

- Außenwand: Konstruktionen 1-8
- Fenster: Konventionelles Holzfenster oder Passivhausfenster

## Kommentar:

- Der Anschluss entspricht bei konventionellen Holzfenstern den Anforderungen der Niedrigenergiebauweise, bei Holzfenster mit außenseitig hochgezogenem Profil annähernd Passivhausbauweise (Voraussetzung: Fenstern sind passivhaustauglich).
- Die Luftdichtigkeitsebenen sind innen wie außen geschlossen
- Alle dampfsperrenden Schichten sind direkt an den Fensterstock befestigt.
- Durch mittelbündigen Einbau ist das Fenster gut vor Niederschlägen geschützt. Durch die Fensterbank, die seitlich unter den Außenputz, bzw. die Schalung gezogen wird, kann Niederschlagswasser einwandfrei abfließen.

## Verarbeitung:

- Dampfsperre luftdicht an Fensterstock kleben
- Hinterlüftete Außenfassade: Parapet: Windsperre über Dämmkeil bis an Fensterstock ziehen und dort luftdicht ankleben; Leibung und Sturz: Windsperre an Fensterstock luftdicht kleben
- Putzfassade: Putz bis an Sparren und Unterdachplatte führen; Parapet: Putz bis an Fensterbank ziehen; Leibung und Sturz: Putz bis an Fensterstock ziehen

## **Luftdichte Bekleidungen, Empfehlungen**

### **Überlappungen von Folien und Papieren**

Stöße von Folien und Papieren müssen bei hinterlüfteten Holzfassaden luftdicht abgeklebt werden (bei verputzten Oberflächen ist auch eine Überlappung möglich).

Folgende Hinweise sind bei Auswahl und Einbau zu beachten:

- Nur Klebebänder und Kleber verwenden, die ausdrücklich vom Folien/Papierhersteller empfohlen werden
- Entscheidend ist auch ein ausreichender Anpressdruck. Im Falle der Diagonal-Sparschalung ist kein homogener Untergrund gegeben. Bewährt hat sich die Verklebung von beiden Innenseiten oder auch der gesamten Wandfläche am Boden oder das Unterlegen einer stabilen Unterlage.

### **Durchdringungen (Installationen)**

Die Führung von Installationen (z.B. Elektro, Heizung) ist bei den Konstruktionen 1-3; 5-7 problemlos, da eine eigene Installationsebene vorgesehen ist.

Für Durchdringungen, die insgesamt durch die Außenwand führen müssen, können 2 Fälle unterschieden werden:

- Die luftdichte Ebene, die durchdrungen wird, ist eine Gipsfaserplatte, Putz, OSB-Platte etc.: In diesem Fall wird ein ausreichend großer Spalt zwischen Durchdringung und Platte ausgespart, der mit dauerelastischer Masse geschlossen wird.
- Die luftdichte Ebene ist eine Folie, z.B. Dampfbremse oder Windsperre: Es wird eine Folienmanschette hergestellt (für bestimmte Maße auch am Markt erhältlich), die mit Hilfe eines Spezialklebebandes mit der Folie und der Durchdringung luftdicht verklebt wird.

## Zusammenfassende Ergebnisse der Wandkonstruktionen und Anschlussdetails

Die untersuchten strohballengefüllten Konstruktionsvarianten bieten neben den ökologischen Vorteilen eine Reihe von hervorragenden bauphysikalischen Eigenschaften. Die Schwächen des Systems können durch die Auswahl der innen- und außenseitigen Bekleidung je nach Anwendungsfall vermindert oder ganz vermieden werden.

### Wärmeschutz

Der Wärmeschutz der untersuchten Strohwandkonstruktionen ist ausgezeichnet und liegt im Passivhausniveau. Die vorgeschlagenen Anschlüsse an Kellerdecke und Dach sind durchwegs wärmebrückenfrei. Die wirksame Speichermasse und daher das Potenzial zu natürlicher Kühlung bei verstärktem nächtlichen Luftwechsel im Sommer sowie zur Speicherung der solaren Energie in der Heizsaison ist je nach Aufbau der Innenschale gering bis mittel, kann aber durch massive Zwischenwände leicht kompensiert werden.

### Feuchteverhalten

Stroh ist im Vergleich zu anderen Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen, wie Flachs oder Hanf unter erhöhtem Feuchteeinfluß leichter zersetzbar und muss daher sicher davor geschützt werden. Um hohe Feuchtwerte in Strohbällenwänden zu verhindern empfiehlt sich eine leichte Dampfbremse ( $S_d$ -Wert: 6–7m) als Luftdichtung an der Innenseite. Lehmputze unterstützen aufgrund ihrer hydrophilen Eigenschaft die Verteilung von Feuchtespitzen auf einen längeren Zeitraum (Lehmputze haben bei Fachwerkhäusern das Holz auf lange Zeit derart ausgetrocknet und konserviert, dass weder Schädlinge noch Pilze und Mikroorganismen dem Holz schaden konnten).

Die untersuchten Strohwandkonstruktionen sind bei der vorgeschlagenen Dimensionierung und bei sorgfältiger Ausführung unproblematisch hinsichtlich Dampfdiffusion und Kondensation. Durch das hohe Austrocknungspotenzial sind sie auch gegenüber kurzfristigen, unvorhergesehenem Wassereintritt beständig. Eine Ausnahme bilden die direkt innenseitig verputzten Wandquerschnitte in den Fällen, in denen auch die Außenbekleidung als Putzfassade ausgeführt wird. Die innenseitige Diagonal-Sparschalung muss vollflächig ausgeführt werden. Der Außenputz sollte nur auf Putzträger aufgebracht werden. Auch in diesem Fall sollten nur dafür zugelassene Putzsysteme oder bereits erprobte Außenputze zum Einsatz gelangen. Lehmputze dürfen nur an Fassaden ausgeführt werden, die sicher weder von Spritzwasser noch von Schlagregen belastet werden. Neuere Entwicklungen mit Endbeschichtung aus Wasserglas oder Mikrokristallinen stehen noch in der Erprobungsphase. Mit Wasser belastete Außenwände sollten mit dafür zugelassenen Silikatputzen endbeschichtet werden.

Damit aber eventuell anfallende Feuchtigkeit (anfallendes Tauwasser, Raumfeuchte, Beregnung von Außen, Luftfeuchtigkeit) in der Dämmebene auf jedem Fall wieder abdiffundieren kann, ist darauf zu achten, dass sowohl die äußere Winddichtung, als auch die Fassadenoberfläche diffusionsoffen ausgeführt wird. Das betrifft nicht nur Putze sondern auch die Anstriche.

Eine Studie der Canada Mortgage Housing Corporation - CMHC (Straube, 2000) hat durch umfangreiche Testserien bestätigt, was im Strohballenbau Stand der Technik ist: Feuchteempfindliche Naturdämmstoffe sollten unter allen Umständen diffusionsoffen verputzt werden, da nur „atmende“ Systeme langfristig Schutz vor erhöhtem Feuchteanfall in den Wänden garantieren können. In diesem Zusammenhang empfiehlt die CMHC, Strohballen-Wandsysteme in Kombination mit Kalk- und Lehmputzen zu verwenden, da diese auch mit erhöhtem Feuchteanfall aus der Raumluft umgehen können, während bei Zementputzen und diffusionsdichten Anstrichen oftmals die typischen Bauschäden erkennbar sind (Schimmel, vermoderndes Stroh, Wärmebrücken). Die Eignung verschiedenen Putze und Anstriche ist im folgenden aufgelistet:

- Zementputze sind relativ wasserdampfundurchlässig (diffusionsdicht), ein 40 mm starker Zementputz wirkt wie eine Dampfsperre (ca. 40 ng/Pa s m<sup>2</sup>). Deshalb Zementputze nur dort verwenden, wo wasserabweisende Eigenschaften notwendig sind, wie im Spritzwasserbereich der Außenwand.
- Die Mischung mit Kalk (Kalkzementputze) hat positive Auswirkungen auf die Diffusionsfähigkeit.
- Reine Kalkputze sind besonders diffusionsoffen (ca. 460 ng/Pa s m<sup>2</sup>). Es konnten keine grossen Diffusions-Unterschiede zwischen Trasskalk und Hydratkalk festgestellt werden, obwohl Unterschiede beim Putzen feststellbar waren.
- Ein Ölansrich – selbst auf relativ dampfdiffusionsoffenen Putzen – wirkt wie eine Dampfsperre 40 ng/Pa s m<sup>2</sup>).
- Ein Latexanstrich (Dispersion) auf einem 1 (Zement) : 1 (Kalk) : 6 (Sand)-Putz (300 ng/Pa s m<sup>2</sup>) reduziert die Dampfdiffusion um 1/3 (200 ng/Pa s m<sup>2</sup>).
- Elastomere (z.B. Bitumenanstriche) sind dampfdiffusionsdicht (Dampfsperren) und zeigen nur geringe Wasserabsorption. Der Gebrauch dieser Elastomere wird von CMHC für den Spritzwasserbereich empfohlen.
- Siloxane haben sowohl bei Zement- als auch Zement-Kalkputzen keine Auswirkungen auf den Dampfdiffusionswiderstand, wohl aber auf die Wasserabsorption. Ihr Einsatz kann aufgrund der CMHC-Studie nicht empfohlen werden.
- Leinöl ist ein kaum wirksamer Nässeschutz und hat beinahe keine Auswirkungen auf die Dampfdiffusion.
- Calcium-Stearate als Zement-Additive reduzieren die Dampfdiffusion und haben nur geringe Auswirkungen auf die Wasserabsorption. Ihr Einsatz kann von CMHC nicht empfohlen werden.



### Luftdichtigkeit

Die Luftdichtigkeit ist mit bei sorgfältiger Ausführung ausreichend gegeben.

Das Aufbringen eines Lehminnenputzes direkt auf der Primärkonstruktion reicht für die Luftdichtigkeit aus, allerdings können nur hochwertige Putzqualitäten und sorgfältige Ausführung annähernd Rissfreiheit garantieren. Hier sind weitere Untersuchungen und Langzeittests notwendig.

Der Außenputz ist hohen thermischen Belastungen ausgesetzt, Risse setzen die Winddichtigkeit deutlich herab. Es sollten daher nur an die Primärkonstruktion angepasste Putzsysteme eingesetzt bzw. eine Winddichtigkeitsfolie vorgesehen werden.

### Schallschutz (siehe Kapitel Schallschutz)

### Brandschutz

Durch den hervorragenden Brandwiderstand der Strohballen ist in allen Fällen die Brandwiderstandsklasse F90 erreichbar (Prüfergebnisse siehe Anhang).

## Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Zusammenfassung		U-Wert	Kondensat	Austrocknung	Speichermasse
		W/m <sup>2</sup> K	kg/m <sup>2</sup> a	kg/m <sup>2</sup> a	kg/m <sup>2</sup>
Stroh1_hinterl	Strohanteil	0.11	0.000	-	31.8
	Holzanteil	0.25	0.008	0.297	32.4
	Gesamt 92/8%	0.12			31.8
Stroh2_hinterl	Strohanteil/Holz	0.13	0.000	-	56.8
	Strohanteil/Lehmputz	0.13	0.000	-	77.1
	Holzanteil	0.31	0.000	-	63.6
	Gesamt 46/46/8%	0.14			66.7
Stroh2hwl_hinterl	Strohanteil	0.12	0.001	0.289	54.4
	Holzanteil	0.26	0.000	-	57.8
	Gesamt 92/8%	0.13			54.7
Stroh3_hinterl	Strohanteil	0.12	0.000	-	43.3
	Holzanteil	0.29	0.000	-	52.5
	Gesamt 92/8%	0.13			44.0
Stroh4_hinterl	Strohanteil	0.12	0.000	-	66.7
	Holzanteil	0.29	0.000	-	68.2
	Gesamt 92/8%	0.13			66.8
Stroh1_putz	Strohanteil	0.11	0.000	-	33.7
	Holzanteil	0.22	0.000	-	32.5
	Gesamt 92/8%	0.12			33.6
Stroh2_putz	Strohanteil/Holz	0.12	0.247	3.138	56.8
	Strohanteil/Lehmputz	0.12	1.030	3.600	77.1
	Holzanteil	0.27	0.000	-	63.8
	Gesamt 46/46/8%	0.13			66.7
Stroh2hwl_putz	Strohanteil	0.11	0.011	3.020	57.8
	Holzanteil	0.23	0.000	-	54.8
	Gesamt 92/8%	0.12			57.6
Stroh22_putz	Strohanteil	0.12	0.946	4.767	77.1
Stroh23_putz	Strohanteil	0.13	1.031	5.496	77.1
Stroh24_putz	Strohanteil	0.12	0.522	6.012	77.1
Stroh3_putz	Strohanteil	0.12	0.012	3.090	43.5
	Holzanteil	0.26	0.000	-	52.7
	Gesamt 92/8%	0.13			44.2
Stroh4_putz	Strohanteil	0.12	0.012	3.140	66.8
	Holzanteil	0.26	0.000	-	68.4
	Gesamt 92/8%	0.13			66.9

Tabelle 36: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

## Schädlingsbefall

Aus der Literatur (Gruber, 2000) lässt sich entnehmen, dass sauberes, helles Stroh ein äußerst geringes allergenes Potenzial besitzt und kaum Schimmelpilze oder Sporen enthält. Lediglich schimmelndes Stroh kann für Asthmatiker problematisch sein. Sobald die Strohwand verputzt ist, stellt auch die Verwendung von Stroh schlechterer Qualität kein Allergiepotezial mehr dar. Es ist jedoch darauf zu achten, dass nicht durch zu feuchtes Verputzen und extrem langsames Trocknen des Verputzes Schimmelbildung auftritt. Daher sollte besonders in kalten oder feuchten Klimazonen bzw. während ebensolcher Jahreszeiten zu flüssiger oder übernässter Verputz ebenso wie diffusionsdichter Verputz auf nicht hinterlüfteten Strohänden vermieden werden.

Der Nagetierbefall von Strohballen stellt in der Praxis kein Problem dar, ist jedoch ein weit verbreitetes Vorurteil, dessen Beseitigung verstärkter Aufklärung bedarf.

*Wenige Menschen wissen, dass der Rohstoff, aus dem Stroh besteht – Zellulose – nur von Termiten verdaut werden kann (und auch hier hat sich gezeigt, dass Holz zur bevorzugten Nahrung gehört).*

*... Im Gegensatz zu Heu oder Getreideähren bietet Stroh also keinen besonderen Anziehungspunkt für Kleinnagetiere und Insekten aller Art. (Gruber, 2000)*

Die Erfahrungen bei der Realisierung aktueller Strohbauten sind, dass während der Bauphase, speziell in der kalten Jahreszeit, Strohballen aufgrund ihrer guten Wärmedämmeigenschaften von Mäusen als Behausung aufgesucht werden können. Durchgängige Putzschichten oder OSB-, Gipsfaserplatten etc., stellen "bisssichere" Abdeckungen dar, die nach der Fertigstellung des Bauteils bzw. des Gebäudes den Nagern ein Eindringen in eventuell vorhandene Hohlräume nicht mehr ermöglichen und das Problem somit eliminieren.

Um den Mäusebefall während der Errichtungsphase von Strohballenbauten zu verhindern, gelten die selben Zielsetzungen, die auch für die Vermeidung von Schadinsektenbefall (siehe unten) relevant sind inklusive einer hohen und gleichmäßigen Ballendichte.

Die Entomologin Linda Wiener aus Santa Fe, New Mexiko konnte in mehrjährigen Beobachtungen in Strohballenhäusern folgende Kleininsekten feststellen (Reynolds, 1990):

- mehrere Arten von kleinen Käfern (silken fungus, minute fungus, minute brown scavenger, hairy fungus),
- kleine Wespen, die in den Halmen nisten, allesamt nicht größer als 3 mm.

Diese Kleininsekten ernähren sich ausschließlich von Schimmelpilzen im Stroh und konnten auch nur bei feuchtem Stroh festgestellt werden (bzw. Stroh, das über einen gewissen Zeitraum feucht war und deshalb Schimmelpilze enthielt).

Ihr Rat für die Errichtung von Strohballenbauten ist, atmungsfähige (diffusionsoffene) Verputze zu verwenden, um eventuell mit Schimmelpilzen infiziertem Stroh die Möglichkeit zu geben, austrocknen zu können. Da die obengenannten Insekten sich ausschließlich von Pilzen ernähren und die Pilze bei Trockenheit absterben, stellt das Austrocknen die beste Sanierungsmöglichkeit dar, zudem die Insekten auf Insektizide und Pestizide kaum reagieren.

Das North Carolina Agricultural Extension Office (Reynolds, 1990) konnte darüberhinaus in einer (zum Teil) unverputzten Strohballenwand eine besondere Art einer Lebensmittelmotte (*Sitotroga cerealella*) identifizieren, die sich vom Restkorn in den Strohballen ernährt. Ein Befall mit dieser Mottenart kann unangenehme Folgen haben, da ihre Geschlechtsreife nur rund 5 Wochen beträgt und sie sich dadurch rasch vermehren kann. Um einem Insektenbefall vorzubeugen, empfiehlt sich:

- Verunreinigungen und Beikräuter bei der Ernte möglichst zu vermeiden,
- den Restkorngehalt im Strohballen (durch längeres Dreschen) möglichst gering zu halten,
- das Stroh während Ernte, Lagerung und Einbau möglichst trocken zu halten,
- die Wände nach der Errichtung möglichst rasch und vollständig zu verputzen.

## Brandschutz

Das Erreichen der entsprechenden Baustoffklasse (Brennbarkeitsklasse A bis B3) ist für den Einsatz als Baustoff unumgänglich. Die Zertifikate (ÖNORM B 3800) gelten bis zur Einführung einer einheitlichen europäischen Richtlinie nur länderspezifisch, können jedoch dank der mittlerweile harmonisierten Prüfverfahren auch europaweit anerkannt werden. Österreichische Bautechnikverordnungen verlangen für einen Baustoff, der auch im Außenwandbereich einsetzbar sein soll, mindestens die Brennbarkeitsklasse B2 (normal brennbar). Bauteile, hier der Strohballenwandaufbau, werden in verschiedene Bauteilklassen eingeteilt, – F30, F60, F90, F180 – wobei F für „feuerhemmend“ steht und die Zahl die Brandwiderstandsdauer in Minuten angibt.

Die gute Brandbeständigkeit bei mit Stroh gedämmten Wandsystemen erreicht man vor allem durch die Verwendung von (dicht) gepressten Strohballen (90 – 150 kg/m<sup>3</sup>). Eine zusätzliche Behandlung mit brandhemmenden Mitteln wie Kalk oder Wasserglas ist möglich, aber nicht notwendig. Der Brandwiderstand kann nämlich durch entsprechende Verputze (Lehm, Kalk, Zement) bzw. Verschalungen mit brandbeständigen Platten (Gipsfaserplatten, magnesit- oder zementgebundene Holzwolleplatten) oder mit einer vorgesetzten Wand aus unbrennbaren (Lehm)Ziegel- oder Betonsteinen erhöht werden.

Dass Strohballen gute Brandbeständigkeiten aufweist, wurde schon in verschiedenen Tests in Amerika und Kanada untersucht. Die internationalen Ergebnisse wurden auch durch die im Rahmen des Projekts durchgeführten Tests bestätigt.

### Internationale Brandbeständigkeitsuntersuchungen

In New Mexiko und Kanada wurden bereits Anfang der 90iger Jahre Strohballenwandaufbauten auf Brandbeständigkeit getestet.

*"Brandtests nach ASTM-Richtlinien haben ergeben, dass sich verputzte Strohballen-Wände als besonders beständig gegen Feuer erweisen. Strohballen halten genug Luft, um einen guten Dämmwert zu garantieren, aber aufgrund ihrer kompakten Pressung zu wenig Luft, um eine Verbrennung zu erlauben." Bericht an die Canada Mortgage and Housing Corporation, die oberste kanadische Baubehörde (Eisenberg)*

*"Die Resultate dieser Tests haben bewiesen, dass Strohballen in einer Holzständerwand bei gleicher Oberflächenbehandlung beständiger gegenüber Feuer sind als die Konstruktionshölzer." Arch. Manuel E. Fernandez, nach 2 stündigen Feuertests, Bericht an die Construction Industries Commission of New Mexiko, 1993 (Steen; Bainbridge, 1994)*

*"Das Brandverhalten von Strohballen ist vergleichbar mit massiven Holzbalken, die außen verkohlen und damit eine zusätzliche Feuerbarriere aufbauen, die das weitere Verbrennen behindern." Skillfull Means Builders, Strohbau-Gruppe, Junction City, Kalifornien*

Gemäß SHB AGRA-Test (Piepkorn, Mark: The Last Straw) bestand eine unverputzte Strohballenwand ohne Probleme einen F30-Test (30 min Brandwiderstand) nach ASTM-Richtlinien bei einseitiger Befeuerung. Nach 30 Minuten betrug die Temperatur in der Brennkammer 922°C und war auf der Außenseite der Testwand lediglich um 12°C gestiegen. Erst nach rund 35 Minuten schlugen Flammen durch die Fugen der Strohballenwand. In einem weiteren SHB AGRA-Test wurden verputzte Testwände dem Brennkammerversuch unterzogen und widerstanden der Befeuerung sogar 120 Minuten, was nach DIN 4102, Teil 2, der Brandwiderstandsklasse F120 entspräche. Die Erklärung für den hohen Brandwiderstand von Strohballen - im Unterschied zu losem Stroh - ist, dass die dichte Pressung zu wenig Luft zum Brandherd lässt, wodurch sich das Feuer nur schlecht ausbreitet und die beginnende äußere Verkohlung - wie bei Holz - eine zusätzliche Brandschutzschicht bietet.

## Brandbeständigkeitsuntersuchungen im Rahmen des Projekts

Die Untersuchungen zum Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen wurden bei der MA39-VFA, der Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien (Akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle) in Auftrag gegeben und durchgeführt.

Die Untersuchungsbedingungen basieren auf der ÖNORM B3800 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“. Diese Norm ist als Vornorm bis zum Erscheinen der EN-Normen in Kraft. Teil 1 dieser Vornorm regelt die Klassifizierung der Baustoffe (Brennbarkeitsklasse), Teil 2 die Bauteile (Brandwiderstandsklasse) und Teil 3 Sonderbauteile.

Die Klassifizierung der Baustoffe erfolgt in

- A nichtbrennbar
- B1 schwerbrennbar
- B2 normalbrennbar
- B3 leichtbrennbar

Die Klassifizierung der Bauteile erfolgt in

- F30 brandhemmend
- F60 hochbrandhemmend
- F90 brandbeständig
- F180 hochbrandbeständig

Die ÖNORM-Überprüfungen verlangen die Erstellung spezieller Probekörper bzw. Musterwände sowie eigene Prüfanordnungen und genormte Feuchtebedingungen (Lagerung in Trockenkammern).

B2 - Brandtest

### Testmodule für B2-Test

Es wurden Probekörper mit unterschiedlichen Maßen und unterschiedlicher Dichte aus Weizenstroh, welches aus verschiedenen Kleinballen (0,36x0,46x0,75m) bzw. Großballen (1,20x0,70x2,50m) entnommen wurde, hergestellt.

Probekörper: 5 Versuchsproben à 19x10x5cm und 5 Versuchsproben à 24x10x5cm  
Strohart: Weizenstroh / unbehandelt  
Dichte : 90 kg/m<sup>3</sup>  
Ballengröße: Kleinballen

Probekörper: 5 Versuchsproben à 19x10x5cm und 5 Versuchsproben à 24x10x5cm  
Strohart: Weizenstroh / unbehandelt  
Dichte : 120 kg/m<sup>3</sup>  
Ballengröße: Großballen



Abbildung 25: Probekörper für Brandklassenüberprüfung

Die Probekörper wurden bis zur Massekonstanz in einem definierten Normklima ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  bzw.  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  und  $65\% \pm 5\%$  bzw.  $50\% \pm 5\%$  rel. Luftfeuchtigkeit) gelagert. Anschließend wurden sie der Überprüfung – einer Flächen- und einer Kantenbeflammung – unterzogen. Bei der Kantenbeflammung wird der Probekörper mit einer 20mm langen Flamme im Winkel von  $45^{\circ}$  an der unteren Kante 15 Sekunden lang beflammt. Bei der Flächenbeflammung wird mit der selben Brennerstellung eine Fläche der Probe im Abstand von 40mm von der Unterkante beflammt.

*Baustoffe gelten als normalbrennbar (Brennbarkeitsklasse B2), wenn bei allen 5 bzw. 10 Probekörpern die Flammenspitze die Messmarke innerhalb eines Zeitraumes von 20s nach Beginn der Beflammung nicht erreicht. (ÖNORM B3800 Teil 1; S. 4)*

Damit ein Baustoff aus brandschutztechnischer Sicht in eine Außenwand eingebaut werden darf, muss dieser mindestens die Anforderungen der Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) erfüllen.

In den Tests wurde die Baustoffklasse B2 für unbehandeltes, nicht imprägniertes Weizenstroh sowohl mit einer Rohdichte von  $90\text{ kg/m}^3$  wie auch von  $120\text{ kg/m}^3$  ohne Schwierigkeiten erreicht.



## B1 – Brandtest

## Testmodule für B1-Test

Es wurden 2 Probekörper mit den Maßen 78,8x29x5,5cm (Innenmaß der Strohfüllung) aus Weizenstroh aus verschiedenen Kleinballen hergestellt.

Probekörper:	2 Versuchsproben à 78,8x29x5,5cm
Strohart:	Weizenstroh / unbehandelt
Dichte :	90 kg/m <sup>3</sup>
Ballengröße:	Kleinballen

Der B1-Test schlug jedoch für unbehandeltes Weizenstroh fehl und wurde abgebrochen.

**Schlussfolgerung:** Um für Strohballen die Baustoffklasse B1 zu erreichen, müsste das Material brandhemmend imprägniert werden. Dies ist durch Beifügung von Wasserglas, bis zu einem gewissen Grad auch durch die Beifügung von Kalk möglich. Da Kalk zur Neutralisierung von Böden auf dem Feld ausgebracht wird und dabei die Fruchtbarkeit des Bodens verbessert, wäre das Aufbringen von (gelöschem) Kalk auf das Stroh kostengünstig während des Erntevorgangs und bereits vor der Pressung zum Ballen möglich. Diese Imprägnierung hätte auch einen Nebeneffekt - den zusätzlichen Schutz vor Nagetieren bzw. Insekten. Zugleich würde sie das Bauprodukt Strohballen ev. auch optisch für viele Bauherrn interessanter machen und damit zu höherer Akzeptanz beitragen und bestehende Vorurteile abbauen.

**Bauteil-Brandbeständigkeits-Überprüfung**

Im Rahmen des Projekts wurde auch die Bauteilüberprüfung eines Wandaufbaus mit Strohballendämmung zur Beurteilung der Brandbeständigkeit und zur Einteilung der entsprechenden Bauteilklasse durchgeführt (F30 - F90). Solche Brandtests sind aufgrund der Bauordnung für jeden neu entwickelten Bauteil vorgeschrieben, können aber auch – nach einem Gleichwertigkeits-Grundsatz (z.B. §2 der NÖ Bautechnikverordnung 1997) – anerkannt werden, wenn sie von einem nach der jeweiligen Norm überprüften vergleichbaren Bauteil nur geringfügig abweichen.

Das Testmodul für die Bauteil-Überprüfung (Kleinprobe) bestand aus einem Strohballen in einer Holzständerkonstruktion und ist folgendermaßen aufgebaut (s. Abb.):

Probekörper:	1 Kleinprobe 49,5 x 49,5 x 39cm
Strohart:	Weizenstroh
Dichte:	90kg/m <sup>3</sup>

Schichtaufbau von innen nach außen:

2cm	Lehmputz auf Schilfputzträger
35cm	Stroh gepresst (Strohballen) in Holzständerkonstruktion Winddichtheitsfolie (Omega-Bahn)
2cm	Trassitkalkputz auf Schilfputzträger

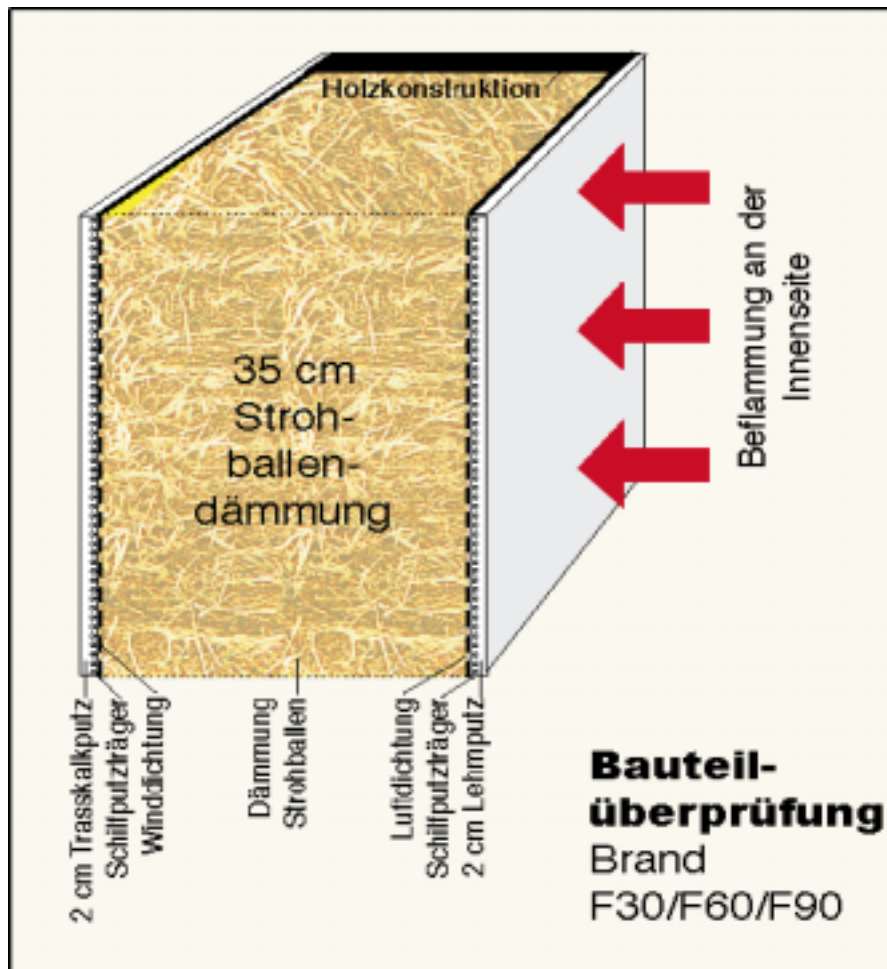


Abbildung 26: Aufbau des Kleinprobekörpers für die Brandbeständigkeitsüberprüfung

Dieser Brandbeständigkeitstest stellte eine Vorprüfung zur Feststellung der Bauteilklasse dar und wurde lediglich auf eine Brandbeständigkeit von 60 min (F60) überprüft.



Abbildung 27: Brandversuch mit Kleinprobe – Außenwand mit Temperaturmessfühlern

Die Bauteilüberprüfung nach ÖNORM wurde an einem Muster-Wandteil in den Abmessungen 250 x 228 cm und einer Dicke von 43 cm durchgeführt. Hier wurde die Holzkonstruktion mit der Strohballendämmung zusätzlich beidseitig mit einer Brettverschalung verkleidet (Wind-Aussteifung), hierauf wurde das Putzgitter befestigt und danach mit Lehm (innen) und Trassitkalk (außen) verputzt.

Bau des F90-Brandmodells (v.l.n.r.): Befüllen der Holzständerkonstruktion mit den Strohballen, Brettverschalung (Innenseite horizontal, Außenseite diagonal), Anbringen und Verkleben der Luftdichtung, Befestigung des Putzgitters (Schilf), Verputzen (Innen: Lehm, Außen: Kalk)



Abbildung 28: Errichtung der Probewand

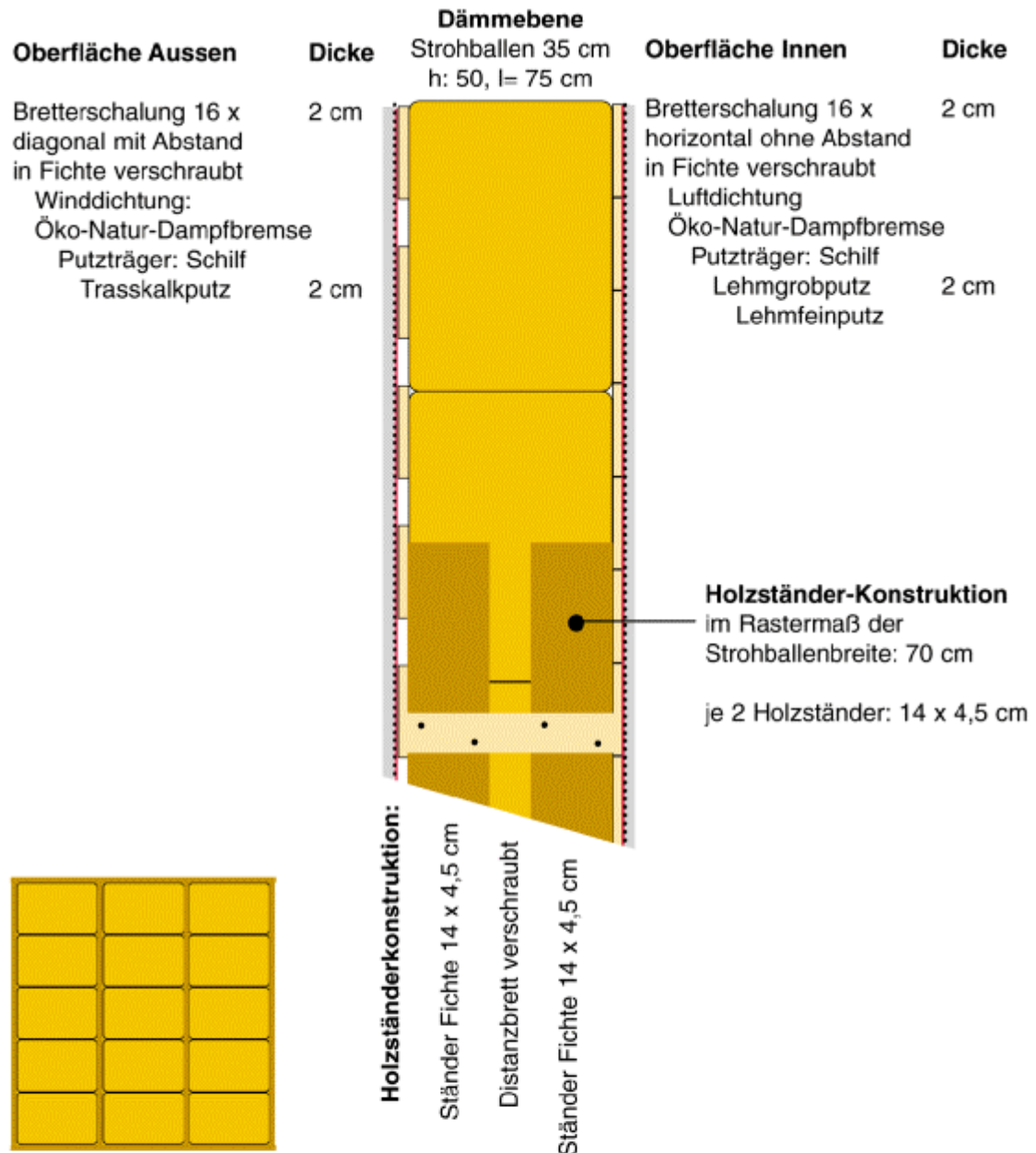
Die brandtechnische Überprüfung dieses Bauteils ergab

### F90 (brandbeständig).

*Anforderungen nach ÖNORM F90 (brandbeständig): Verhinderung des Feuerdurchgangs, keine Entwicklung entzündbarer Gase und Temperaturerhöhungen um weniger als 140° C auf der dem Feuer abgekehrten Seite sowie Erhaltung einer Mindestdicke des Bauteils, der in diesem Endzustand einem genormten Schlagversuch widerstehen muss. Erfüllt der Bauteil diese Anforderungen noch nach einer Brandeinwirkung von 90 min, so ist er brandbeständig (F90). (ÖNORM B3800)*



Abbildung 29: Lehmverputzte Innenseite des Strohwandaufbaus beim Brandversuch



**Brandmodell für F90-Überprüfung:** (b) 228 x (h) 250 cm, Dicke: 43 cm

Kenndaten Materialien:	Material	Maße	Anmerkung
Aussenputz:	Trasskalk	2 cm	verrieben
Putzträger:	Schilf		drahtgebunden, angetackert
Dampfbremse:	Öko-Natur		Kraftpapier verklebt
Bretterschalung:	Fichte	2 cm	an Konstruktion verschraubt
Wärmedämmung:	Strohballen	35 cm	Weizenstroh unbehandelt
Bretterschalung:	Fichte	2 cm	an Konstruktion verschraubt
Dampfbremse:	Öko-Natur		Kraftpapier verklebt
Putzträger:	Schilf		drahtgebunden, angetackert
Innenputz:	Lehm	2 cm	Grob- und Feinputz

Abbildung 30: Detaillierte Beschreibung des Wandaufbaus für die Bauteilüberprüfung



*Abbildung 31: Vorbereitungen für den Schlagversuch im Rahmen der Bauteilüberprüfung*



*Abbildung 32: Ergebnis des Schlagversuchs*

## Gesetzliche Brandschutzvorschriften und Einsatzmöglichkeiten von Strohballen:

Derzeit gilt z.B. für Ein- und Zweifamilienhäuser in NÖ:

- Außenwände, tragende Innenwände, Wohnungstrennwände: mind. F30 (brandhemmend)
- Decken: mind F30 (brandhemmend)
- Dachschrägen, Decken über Dachgeschoßräumen, Trennwände gegen nicht ausgebaute Dachräume, Dachkonstruktionsteile innerhalb von Dachgeschoßräumen: mind. F30
- Kellerdecken und Decken über Durchfahrten oder Durchgängen, die den einzigen Fluchtweg bilden: F60 (hochbrandhemmend)
- Wände, Decken und sonst. tragende Teile von Garagen (in Gebäuden) mit max. 35m<sup>2</sup>: F60
- Außenwände und tragende Innenwände von Kellerräumen: F90 (brandbeständig)
- Brandwände (z.B. Haustrennwände, Garagenwände): F90 (brandbeständig)
- Wände von brandgefährdeten Räumen: mind. F90 (brandbeständig)
- Heizräume, Öllagerräume: mind. F90 (brandbeständig), Fußböden aus nicht brennbaren Stoffen
- Schornsteine: mind. 5 cm Abstand zu brennbaren Konstruktionsteilen
- Außendämmung unter Fassadenverkleidungen (bezieht sich nicht auf Kerndämmung):  
bis 2 Geschoße: B2 (normal brennbar) ausreichend  
3 – 4 Geschoße: mind. B1 (schwer brennbar)  
mehr als 4 Geschoße: A (nicht brennbar)

Obiges gilt sinngemäß auch für Bauwerke im Grünland, Nebengebäude, landwirtschaftliche Gebäude

Für Reihenhäuser gilt zusätzlich, sofern sie 2 Geschoße nicht überschreiten:

- Brandwände zwischen den Wohneinheiten: mind. F90 (brandbeständig)
- Kellerdecken: mind. F60 (hochbrandhemmend)

Für freistehende Garagen gilt:

- Wände, Decken und sonst. tragende Bauteile in Garagen bis 35 m<sup>2</sup>: mind. F30 (brandhemmend),  
bei Garagen mit mehr als 35m<sup>2</sup> bis max. 100m<sup>2</sup>: mind. F60 (hochbrandhemmend), außer, es wird ein Abstand von 3m zur Grundstücksgrenze eingehalten (dann gilt: F30)

Für Wirtschaftsgebäude (land- und forstwirtschaftliche Bauwerke) gilt zusätzlich:

- Brandwände zur Trennung von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen: mind. F90 (brandbeständig)
- Abstand brennbarer Außenwände zur Grundstücksgrenze mind. 5m (Ausnahmen möglich)
- Trennwände zwischen Stallungen und Aufenthaltsräumen in diesen: mind. F30 (brandhemmend)

Darüber hinaus gelten in den Bundesländern z.T. unterschiedliche Sonderregelungen für mehrstöckige Gebäude (3 – 4 Geschoße: Dämmschicht mind. B1, über 4 Geschoße: A – nichtbrennbar) bzw. Gebäude im dicht verbauten Gebiet von Großstädten.

*Anmerkung zur NÖ Bauordnung 1997:* Im Widerspruch zur ÖNORM B3800, die für brandbeständige Bauteile (F90) lediglich den Nachweis F90 nach ÖNORM fordert (der auch dann erzielbar ist, wenn der Bauteil wesentliche Teile aus brennbaren Baustoffen enthält), schreibt die NÖ BTV 1997 vor: *„Brandbeständige Bauteile (Anm.: F90) müssen in ihren wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen“*, obwohl diese Eigenschaft „aus technischer Sicht weder notwendig noch hinreichend für eine Brandbeständigkeit F90 ist“ (Pokorny, 2000).

„Die NÖ BTV 1997 bietet aber durch ihren §2 eine Lösung an: Kann nachgewiesen werden (z.B. durch Versuche an einer befugten Versuchsanstalt), dass in geeigneten Ausführungen Bauteile aus Stroh in technischer Hinsicht den brandschutztechnischen Anforderungen an brandbeständige Bauteile (F90) entsprechen, so kann auf diese §2 „Gleichwertiges Abweichen“ (s.u.) angewendet werden. D.h. sie wären trotz der o.a. Definition gemäß §2 lt. NÖ BTV 1997 zulässig (GrAT, IBO, GLOBAL2000, 2000)

§2 der NÖ BTV 1997 im Wortlaut:

*„Von den nachfolgenden bautechnischen Bestimmungen darf über die bereits vorgesehenen Ausnahmen hinaus dann abgewichen werden, wenn der Bauwerber nachweist, dass die Abweichungen die wesentlichen Anforderungen nach §43 Abs.1 Z.1 bis 6 der NÖ Bauordnung 1996, LGBl.8200, die in dieser Verordnung als Zielvorgaben näher bestimmt sind, gleichwertig erfüllt. Dies ist jedenfalls anzunehmen, wenn harmonisierte Normen, europäische technische Zulassungen oder österreichische technische Zulassungen eingehalten werden.“*

Das bedeutet für den in der MA39 nach ÖNORM B3800 überprüften Wandaufbau (F90), dass dieser in der geeigneten Ausführung in sämtlichen Bauteilen von Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäusern bis 2 Geschoßen (außer Keller) sowie in überirdischen Garagen bis 100 m<sup>2</sup>, landwirtschaftlichen Nebengebäuden und Wirtschaftsgebäuden uneingeschränkt eingesetzt werden kann (Ausnahme: Sonderregelungen in Wien). Besonderes Augenmerk aus brandschutztechnischer Hinsicht ist dabei auf die Detailausbildung zum Schornstein (mind. 5 cm Abstand, Dämmung mit nichtbrennbaren Stoffen, wie z.B. Blähperlite, Steinwolle, Mineralwolle) zu legen.

## Wärmetechnische Performance von Strohballenwänden

### Vergleichende Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen in den USA

Die spezifische Wärmeleitfähigkeit<sup>2</sup> wird durch einen materialabhängigen Zahlenwert ( $\lambda$ ,  $\lambda$ ) beschrieben. Gängiger und bekannter ist der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert, früher k-Wert) für einen bestimmten Bauteil (Wand, Dach, Boden, Fenster usw.).

Bisher geprüfte Wärmedämmwerte bei stehenden Ballen (wie für Ständerbauten verwendet) (McCabe,1993) ergaben folgende spez. Wärmeleitfähigkeitswerte ( $\lambda$ -Werte) und Rechenwerte (inkl. 20% Feuchtezuschlag).

Quelle	Test Konfiguration	Stärke cm	Dichte kg/m <sup>3</sup>	rel. Feuchte %	$\lambda$ -Prüfwert W/mK	$\lambda$ -Rechenwert W/mK
McCabe2	Weizenstroh	41	133	8,4	0,048	[0,057]
McCabe3	Weizenstroh	41	133	8,4	0,045	[0,054]
McCabe3	Reisstroh	41	133	8,2	0,045	[0,054]

*Tabelle 37: Wärmeleitfähigkeit für stehende Ballen – USA (McCabe, University of Arizona)*

Bisher geprüfte Wärmedämmwerte bei liegenden Ballen (wie für lasttragende Bauten verwendet) ergaben folgende spez. Wärmeleitfähigkeitswerte ( $\lambda$ -Werte) und Rechenwerte (inkl. 20% Feuchtezuschlag).

Quelle	Test Konfiguration	Stärke cm	Dichte kg/m <sup>3</sup>	rel. Feuchte %	$\lambda$ -Prüfwert W/mK	$\lambda$ -Rechenwert W/mK
McCabe1	Weizenstroh	57	133	8,4	0,060	[0,072]
Sandia Lab.	Weizenstroh	46	83	4-5	0,054	[0,065]
Nova Scotia	verputzte Wand	46	133	8	0,065	[0,065]

*Tabelle 38: Wärmeleitfähigkeit für liegende Ballen – USA (McCabe, University of Arizona)*

*Sandia = Sandia Laboratories Albuquerque; Nova Scotia = in einem bestehenden Haus wurde die Wand gemessen*

<sup>2</sup>Die spezifische Wärmeleitfähigkeit gibt den Wärmestrom (in Watt) an, der pro m<sup>2</sup> Oberfläche durch 1m eines Werkstoffs bei einem Temperaturgefälle von einem Kelvin (entspricht 1° C) hindurchströmt.



### Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen im Rahmen dieses Projekts

Da die oben beschriebenen Wärmedämmwerte in Tests ermittelt wurden, die für Europa aufgrund unterschiedlicher Testbedingungen nicht der hier üblichen Norm entsprechen und daher bei Baueinreichungen nicht verwendbar sind, wurden Weizen-Strohballen unterschiedlicher Dichte im Rahmen dieses Projekts von der Versuchs- und Forschungsanstalt der MA39 neu und der ÖNORM B6015 gemäß getestet.

MA39 Konfiguration	Test Konfiguration	Stärke cm	Dichte kg/m <sup>3</sup>	rel. Feuchte %	λ-Prüfwert W/mK	λ-Rechenwert W/mK
Hesto-Gerät	Weizenstroh	12,65	73	Ausgleichsfeuchte*	0,0369	0,0443
Hesto-Gerät	Weizenstroh	11,28	83,8	Ausgleichsfeuchte*	0,0337	0,0404

*Tabelle 39: Messergebnisse im Rahmen des Projekts bei unterschiedlichen Strohballendichten (\*gemäß ÖNORM in Trockenkammer gelagert)*

Um den europäischen Normen zu entsprechen, wurden weitere Wärmeleitfähigkeitsuntersuchungen unter EU-Norm-Bedingungen durchgeführt. Auch diese Werte liegen trotz geringerer Dichte unter den amerikanischen Ballen. Mit den Messungen wurde die hohe wärmedämmtechnische Performance der Strohballen bestätigt (Zertifikate siehe Anhang).

Test Konfiguration	Stärke cm	Mitteltemp. der Proben °C	Dichte kg/m <sup>3</sup>	rel. Feuchte %	λ <sub>Prüfwert</sub> W/mK	λ <sub>Rechenwert</sub> W/mK
Weizenstrohballen	10,06	10	100.8	Ausgleichsfeuchte*	0,0380	0,0456
Weizenstrohballen	10,06	19,5	100.8	Ausgleichsfeuchte*	0,0394	0,0456
Weizenstrohballen	10,06	28,7	100.8	Ausgleichsfeuchte*	0,0408	0,0456

*Tabelle 40: Wärmeleitfähigkeitsprüfung*

Da EU-weit der  $\lambda$  -Wert inkl. 20% Feuchtezuschlag als Referenzwert anzugeben ist, gilt für Weizenstrohbällen mit einem Raumgewicht von  $100 \text{ kg/m}^3$

$$\lambda_{\text{Rechenwert}} = 0,0456 \text{ W/mK}$$

Die Wärmeleitfähigkeit von Strohballen liegt damit exakt im Bereich anderer Nachwachsender Rohstoffe wie Flachsmatten, Korkplatten, Kokosmatten, Schafwolle und Zellulose.

Durch diese guten Dämmeigenschaften des Materials Stroh erreichen (verputzte) Außenwände bei einer Dämmstoff-Stärke von 35 cm und Gesamtstärke von 42 cm (inkl. Putzträger und Verputz) einen U-Wert (k-Wert) von  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$  (ca.  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  in bezug auf die Gesamtkonstruktion bei Holzständerbauweise). Eine solche Konstruktion erreicht Passivhausstandard ( $k \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

U-Wert-Berechnung 1	Dicke (m)	$\lambda$ (W/mK)	$d/\lambda$ ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Wärmeübergang innen			0,13
Lehmputz/Putzträger	0,025	0,80	0,031
Holzlattung	0,02	0,13	0,15
Strohballen stehend	0,35	0,045	7,777
Holzlattung	0,02	0,13	0,15
Kalkputz/Putzträger	0,025	0,87	0,02
Wärmeübergang außen			0,04
Gesamt-U-Wert: $1/8,298$ : <b><math>U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}</math></b>		Gesamt-U-Wert inkl. Konstr: $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$	

Tabelle 41: U-Wert Berechnung 1

U-Wert-Berechnung 2	Dicke (m)	$\lambda$ (W/mK)	$d/\lambda$ ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )
Wärmeübergang innen			0,13
Lehmputz/Putzträger	0,025	0,80	0,031
Holzlattung	0,02	0,13	0,15
Strohballen liegend	0,40	0,045	8,888
Holzlattung	0,02	0,13	0,15
Kalkputz/Putzträger	0,025	0,87	0,02
Wärmeübergang außen			0,04
Gesamt-U-Wert: $1/9,409$ : <b><math>U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}</math></b>		Gesamt-U-Wert inkl. Konstr: $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	

Tabelle 42: U-Wert Berechnung 2

Anm: Da die Holzkonstruktion in beiden Beispielen einen Anteil von 8 % an der Gesamtkonstruktion hält, ergibt sich in Beispiel 1 ein U-Wert von  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ , in Beispiel 2 von  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### Einsparungspotenziale der Strohballendämmung

Eine grobe Abschätzung der Kosten verschiedener Dämm Lösungen zeigt hohes Einsparungspotenzial bei der Strohballendämmung auf. Im Vergleich zu anderen Dämm Lösungen mit gleichem Wärmedämmwert zählt Stroh zu den günstigsten:

Dämmstoff	$\lambda_{RT,10}$	Dämmdicke für $U_{Ges}=0,15W/m^2K$	Preis inkl. Mwst in ATS/m <sup>2</sup>	Materialpreis Dämmstoff für ein 150 m <sup>2</sup> -Haus(400 m <sup>2</sup> Wand/Dachfl.)
Strohballen <sup>1</sup>	0,045	30 cm	50,-	ATS 20.000,-
Zellulose <sup>2</sup>	0,045	30 cm	252,-	ATS 100.800,-
EPS-W15 blau	0,038	24 cm	280,-	ATS 112.000,-
Steinwolle	0,038	24 cm	324,-	ATS 129.600,-

Tabelle 43: Einsparungspotenziale der Strohballendämmung

Anm.: (Preise in ATS inkl. 20% Mwst, Quelle: Quester, Öbau, Biomilan, Bios, Nowak)

1) qualitätsgesicherte, hallengelagerte Weizen-Strohballen inkl. Zustellung

2) Zelluloseflocken nicht eingblasen

Nimmt man für eine vereinfachte Schätzung des finanziellen Aufwandes der Dämmstoff-Montage inkl. Zubehör (Dichtung, Schneiden, Verkleben, Befestigung ...) für alle angeführten Dämm Lösungen ATS 300,-/m<sup>2</sup> an, dann ergeben sich daraus bei einem m<sup>2</sup>-WNF-Preis von rd. ATS 20.000,- Einsparungspotenziale von ca.:

2,6% (ATS 80.800,-) gegenüber Zellulose-Dämmflocken

3,0% (ATS 92.000,-) gegenüber EPS-Dämmplatten

3,6% (ATS 109.600,-) gegenüber Steinwolledämmmatten

## Schlussfolgerungen aus den Wärmeleitfähigkeitstests

Als Resultat der durchgeführten Tests lässt sich folgern:

- Die Dichte der Strohballen ist für ihr Wärmedämmvermögen weniger ausschlaggebend als ursprünglich angenommen. Aufgrund von Erfahrungen und Tests und bestätigt durch die durchgeführten Überprüfungen, nimmt der Wärmedämmwiderstand zwar mit zunehmender Dichte zu (auch die stark verdichteten AgriBoard-Platten weisen noch einen sehr guten Wärmeleitfähigkeitskoeffizient ( $\lambda = 0,049 \text{ W/mK}$ ) auf). Dennoch war hier überraschend, dass selbst Kleinballen mit einer relativ geringen Dichte ( $80\text{--}110 \text{ kg/m}^3$ ) erstaunlich gute Dämmwerte aufweisen und die Differenz der Wärmeleitfähigkeitswerte bei unterschiedlichen Dichten geringer war als angenommen. Natürlich gilt das nicht im selben Maße für eine Konstruktion, da stärker gepresste Kleinballen ( $90\text{--}110 \text{ kg/m}^3$ ) gegenüber besonders leicht gepressten ( $75\text{--}80 \text{ kg/m}^3$ ) eine exaktere Quaderform und damit weniger Wärmebrücken in den Stößen (durch abgerundete Kanten) aufweisen. Dennoch läßt sich feststellen: Nicht nur Großballen mit ihren hohen Dichten (mind.  $130 \text{ kg/m}^3$ ) sondern auch Kleinballen mit Dichten zwischen  $80$  und  $110 \text{ kg/m}^3$  sind aus technischer Sicht für Wärmedämmungen bestens geeignet.
- Die Überprüfungen im Rahmen des Haus der Zukunft-Projekts wurden mit Weizenstroh, jene in den USA auch mit Reisstroh durchgeführt, die ein ähnliches Wärmedämmvermögen aufweisen (McCabe, 1993). Signifikante Unterschiede zu anderen Getreidesorten (Roggen, Hafer, Dinkel) sind aufgrund der ähnlichen Zusammensetzung auszuschließen. Es ist sogar anzunehmen, dass auch andere Stroharten wie das wesentlich schwerere Hanf- oder Flachsstroh sich in ihrem Wärmedämmvermögen nicht maßgeblich unterscheiden, hier fehlen aber noch systematische Tests.
- Der für einen guten Wärmedämmwert optimale Feuchtegehalt von Strohballen liegt bei  $8\text{--}14\%$  rel. Feuchte. Im Langzeitversuch (Straube, 2000) konnte belegt werden, dass unabhängig von Außen-, Innentemperatur und Klima bzw. jahreszeitlichem Temperaturverlauf die relative Feuchte in Strohballen im eingebauten und verputzten Zustand im Durchschnitt annähernd konstant bei  $13,4\%$  bleibt. Ist der Wandaufbau diffusionsoffen konstruiert (keine Dampfsperren, außer als Abgrenzung zum Fundament) pendelt sich der Feuchtegehalt im Ballen innerhalb weniger Wochen auf diesem Niveau ein. Das bedeutet für den Wärmedämmleitwert, dass dieser in diffusionsoffenen Konstruktionen auch über die gesamte Nutzungsphase den Testergebnissen entsprechen wird. Um Sicherheit darüber zu erlangen, ist jedoch eine Langzeituntersuchung in einem Testhaus in unseren Breiten zu empfehlen.
- Die relativ geringen Kosten für den Dämmstoff machen – besonders bei größeren Dämmstärken, wie z.B. im Passivhausbereich – die Kosten der aufwändigeren Haustechnik (kontrollierte Lüftung) und 3-Scheibenverglasung zum Teil wieder wett.

## Niedrigenergiehaus – Passivhaus und Strohballenbau

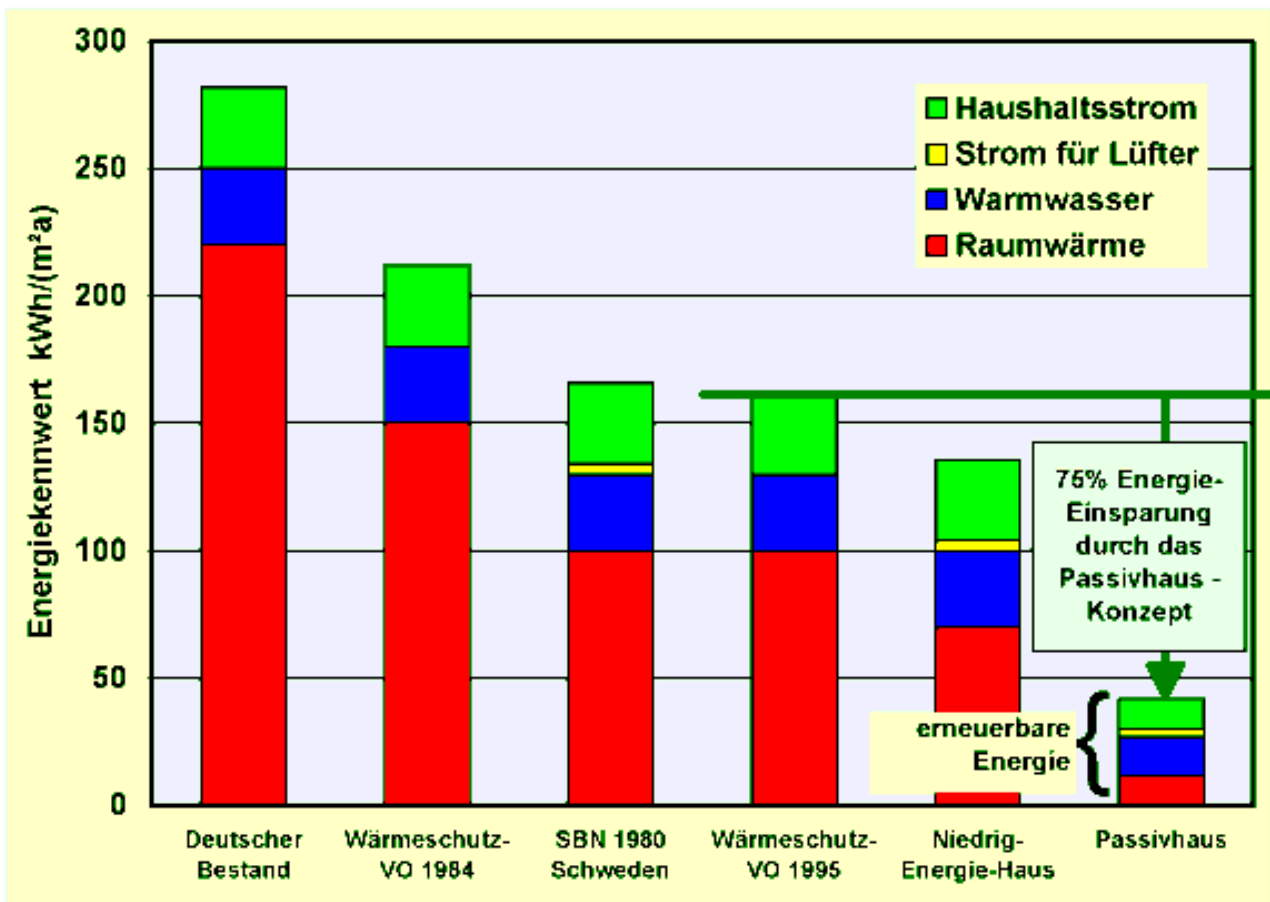


Abbildung 33: Vergleich der Energiekennwerte  
(Passivhaus Institut Darmstadt)

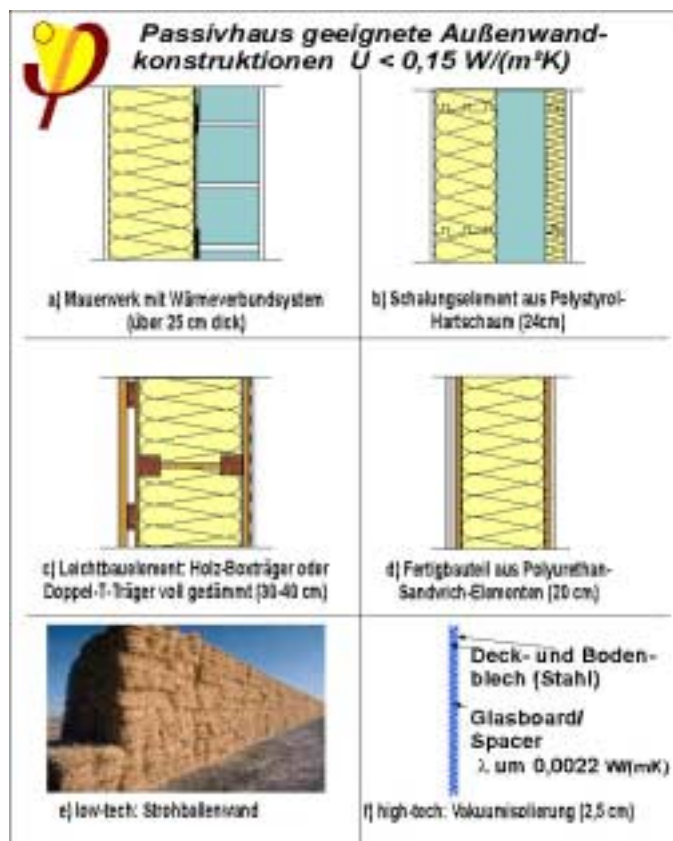
Niedrigenergiehäuser (NEH) haben einen Jahresheizwärmebedarf unter 70 kWh/(m²a). Der Heizenergieverbrauch von Niedrigenergiehäusern ist damit um mindestens 30% geringer als der von Wohnhäusern nach der Wärmeschutzverordnung von 1995. Die wichtigsten Komponenten eines NEH sind:

- guter Wärmeschutz und Vermeidung von Wärmebrücken
- hohe Luftdichtheit
- Wärmeschutzverglasungen
- kontrollierte Wohnraumlüftung

„Das Niedrigenergiehaus (NEH) erwies sich als ein einfacher, kostengünstiger und rasch einführbarer Standard. In Schweden waren bereits am Anfang der achtziger Jahre zahlreiche Niedrigenergiehäuser in Forschungs- und Demonstrationsprojekten gebaut worden. Dieser Standard hat sich dort so bewährt, daß schon Mitte der achtziger Jahre überwiegend in Übererfüllung der Baunorm Niedrigenergiehäuser gebaut wurden. Mit dem "Nybyggnadsregler" wurde 1991 der NEHStandard in Schweden obligatorisch. Auch in Deutschland soll das Niedrigenergiehaus laut Forderung des Bundesrates und Erklärung der Bundesregierung in den nächsten Jahren zum allgemein verbindlichen Baustandard werden.“ (W. Feist, Passivhaus-Institut Darmstadt)

### Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus

Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem ein komfortables Innenklima ohne aktives Heizungs- und Klimatisierungssystem erreicht werden kann - das Haus "heizt" und kühlt sich rein passiv (Adamson, 1987 und Feist, 1988).



Voraussetzung hierfür ist ein spezifischer Jahresheizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/(m²a). Der gesamte spezifische Primärenergiebedarf pro m² Wohnfläche in einem Passivhaus darf 120 kWh (für Raumheizung, Warm-wasserbereitung und Haushaltsstrom-verbrauch) nicht überschreiten. Der verbleibenden Energiebedarf kann zur Gänze aus erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Damit wird in einem Passivhaus insgesamt weniger Energie verbraucht, als in durchschnittlichen europäischen Neubauten allein an Haushaltsstrom und für die Warmwasserbereitung benötigt wird.

Abbildung 34: Passivhaus geeignete Außenwandkonstruktionen (Passivhaus Institut Darmstadt)

Der gesamte Energieverbrauch eines Passivhauses ist daher um mindestens den Faktor 4 geringer als der durchschnittliche Verbrauch in Neubauten nach den jeweils geltenden nationalen Vorschriften.

„Ein Passivhaus ist kosteneffizient, wenn die kapitalisierten Gesamtkosten (Investitionen in das Gebäude einschließlich Planung und Haustechnik plus Betriebskosten über 30 Jahre) nicht höher sind als in einem durchschnittlichen Neubau.“ (W. Feist, Passivhaus-Institut Darmstadt).

Eine Strohballenwand (Holzständersystem oder lasttragend) kann aufgrund des geringen Rohstoffpreises auf ideale Weise dazu beitragen, ein Passivhaus kosteneffizient zu errichten (siehe Abbildung 34: Passivhaus geeignete Außenwandkonstruktionen). Damit ist nachhaltiges Bauen mit Strohballen zu niedrigeren Preisen als mit anderen Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen realisierbar. Das hohe Verbreitungspotenzial des Strohballenbaus wird daher gerade im Niedrigenergie- und Passivhausbereich zukünftig enorm zur Kompensation von Polystyrol-Hartschaum- und Polyurethan-Sandwichelementen beitragen.

### Optimierung des Holzständersystems aus Sicht der Verarbeiter

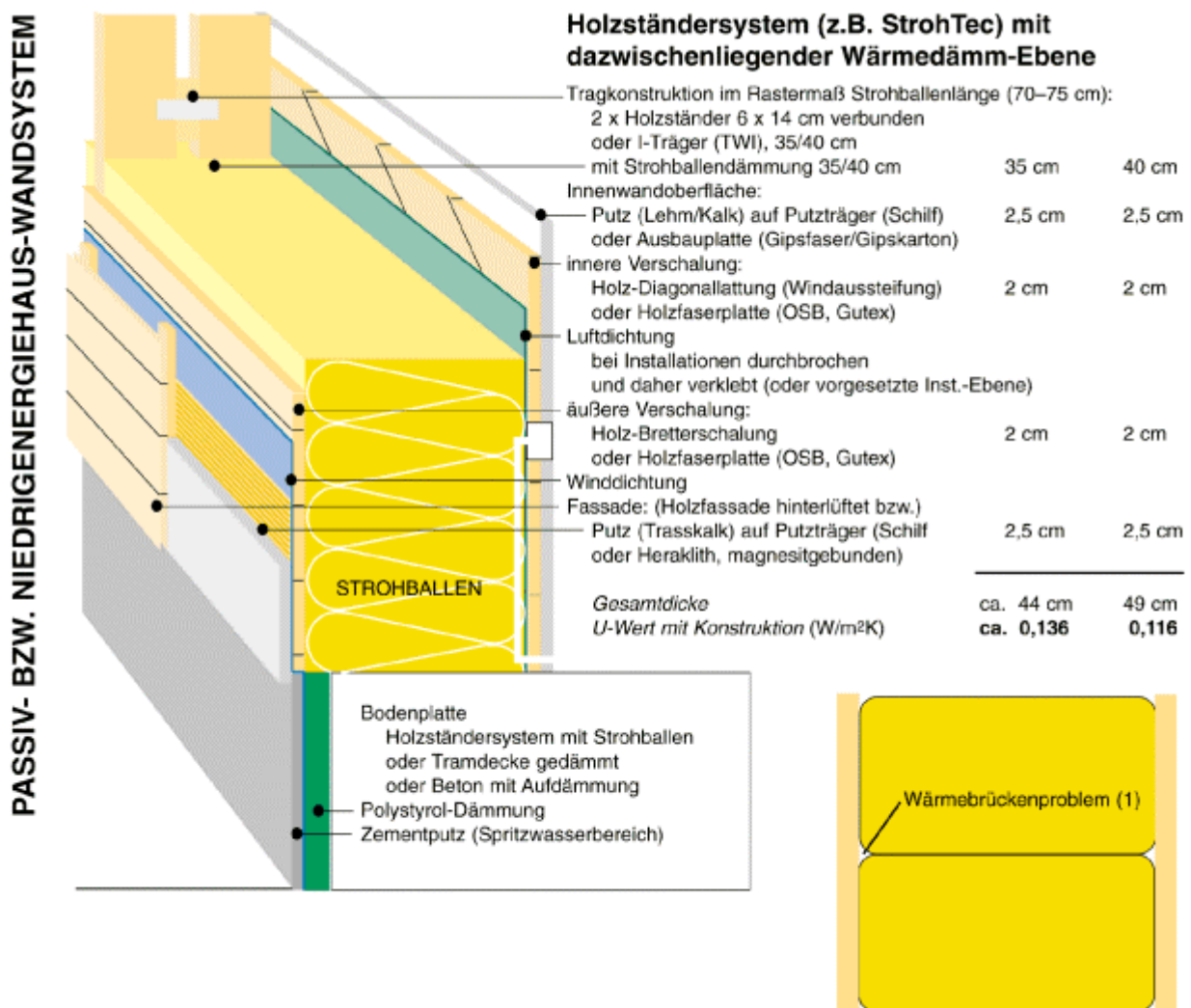


Abbildung 35: Optimiertes Holzständersystem mit Strohballendämmung

**Vorteile der Holzständerkonstruktion:**

- Die Vorfertigung ist leicht möglich und eignet sich daher gut als Fertighaus-System.
- Es entstehen geringere Kosten im Vergleich zu anderen Dämmstoffen, trotz 35 – 40 cm Wärmedämmung.
- Eine Einfache Montage der Strohballen durch Einklemmen zwischen der Konstruktion
- Die Fassadenmontage auf einer Bretterschalung ist leicht möglich.
- Die Wandstärken bleiben für Niedrigenergiehäuser mit 44 – 49 cm in vertretbarem Maß.
- Die Holzständer dienen zugleich als Rahmen für Fenster- und Türöffnungen.

**Nachteile der Holzständerkonstruktion:**

- Das Rastermaß der Holzständer ist abhängig von der Strohballenbreite und damit starr. Dies ist eine Einschränkung für die architektonische Gestaltung.
- Der hohe Verbrauch an Holz für die tragende Konstruktion ist aus statischen Gründen nicht berechtigt.
- Der Luftraum zwischen den Holzständern wirkt als Wärmebrücke. Das Dämmen dieser Hohlräume ist mit aufwändiger händischer Arbeit verbunden.
- Die Luftdichtung wird von Elektro-Installationen durchbrochen.
- Es fehlt eine Installationsebene für Sanitärinstallationen. Daher ist eine zusätzliche Konstruktion - Distanzholz und Verschalung bzw. Ausbauplatte - notwendig.
- Durch unterschiedliche Strohballenlängen ist ein u.U. aufwändiges Nachstopfen bzw. Kürzen im Sinne einer winddichten, wärmebrückenfreien Konstruktion unumgänglich (Qualitätssicherung).
- Durch abgerundete Kanten bei Strohballen entstehen Hohlräume in der Wärmedämmebene, die den U-Wert verschlechtern können. Das Dämmen dieses Hohlraums ist mit aufwändiger manueller Arbeit verbunden.



**Verbesserungsvorschläge:**

- Die Fundament-Außenisolierung bis zu Oberkante Bodenplatte hochziehen (siehe Abbildung 36).
- XPS (CO<sub>2</sub> aufgeschäumt) anstatt EPS als Fundament-Außenisolierung
- Holzständer-Konstruktion ev. durch I-Träger (TWI) ersetzen (weniger Wärmebrücken, leichtere Konstruktion) oder mit außenseitiger Dämmplatte (HWL) verschalen (siehe z.B. Aufbau – Konstruktion 6b).
- Innere Diagonallattung kann auch als Horizontallattung ausgeführt werden (Windaussteifung nur an einer Seite notwendig). Um den Dampfdiffusionswert dieser Bretterschalung gegenüber der äußeren Verbretterung zu erhöhen (bauphysikalisch optimal: nach außen abnehmender Dampfdiffusionswiderstand), sollte diese Horizontallattung ohne Abstände ausgeführt werden. Dies garantiert zugleich bessere Befestigungsmöglichkeit an der Wandoberflächen und verringert Luftzirkulation in der Wand.
- Sanitär- und Heizungsinstallationen sollten nicht in Strohballebene ausgeführt werden. Es bestehen 3 alternative konstruktive Lösungen:
  - a) zusätzliche Installationsebene durch Aufdoppeln,
  - b) Ausweichen in Zwischenwände, wenn diese massiv ausgeführt sind,
  - c) Überputz hinter Küchenverbauten bzw. Sanitäreinrichtung.
- Weitere energetisch wirksame Verbesserungsmöglichkeiten werden in der Art des Heizsystems gesehen. Anstelle einer Fußleistenheizung (50 – 70° C Vorlauftemp.) sollte eine Niedertemperatur-Wandheizungen (30 – 40° C Vorlauftemp.), die in massivem Lehmputz eingebaut wird, Verwendung finden. Diese kann dann im NEH bzw. Passivhaus mit solarem Warmwasser betrieben werden.
- Um die Wärmespeicherkapazität zu erhöhen sollten die Zwischenwände massiv (Lehm-Nut-Feder-Elemente z.B. Karphosit, Ziegel, Leicht-Lehm-Platten) ausgeführt werden oder eine dickere Lehmputzschicht aufgetragen werden.
- Die Fenster in optimale Position zwischen Außen- und Innenwand setzen.
- Für die Fassade sind alternativ zur Kombination der äußeren Holz-Bretterlage mit Schilfputzträger auch magnesitgebundene Holzwolleleichtbauplatten verwendbar, die einfacher montierbar sind und zusätzlichen Schlagregenschutz und größere Sicherheit vor Nagetieren bieten. Der Abschluss erfolgt mit Zementvorspritzer und Trasskalkputz-Fassade. Die äußere Luftdichtung und Bretterlage kann auch in OSB-NF-Platten ausgeführt werden, allerdings besteht dann der Nachteil eines höheren Diffusionswiderstandes.

Weitere Verbesserungsvorschläge sowie internationale Recherchen führten zur Entwicklung eines optimierten Passivhaus-Systems mit Strohballendämmung:

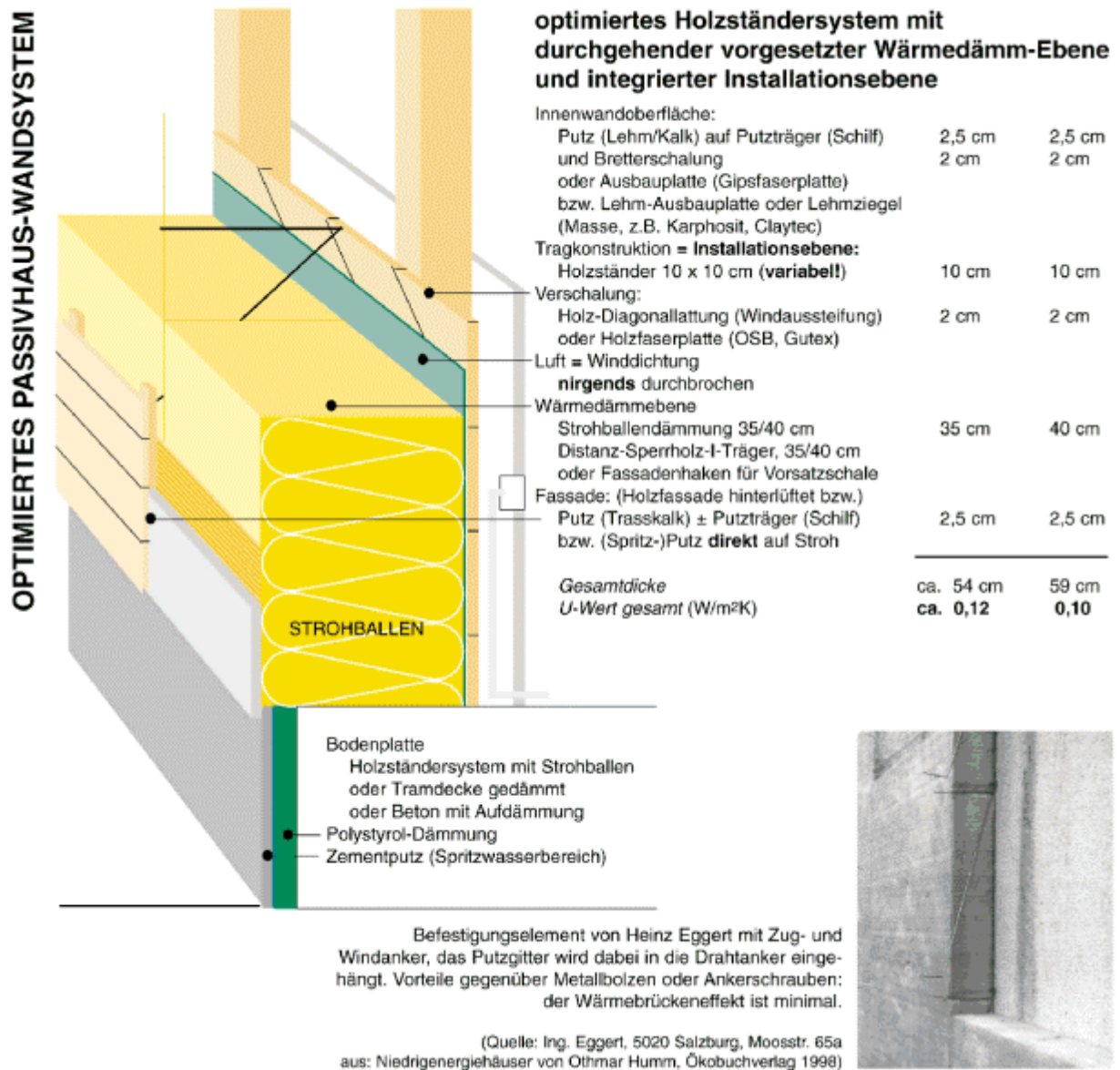


Abbildung 36: Optimiertes Passivhaus -Wandsystem

**Vorteile des optimierten Passivhaus-Systems gegenüber der Holzständerkonstruktion:**

- durchgehende Wärmedämm-Ebene, weniger Wärmebrücken durch Konstruktion
- durch Strohballen im Versatz geringere Wärmebrücken bei Stößen
- dadurch besserer U-Wert der gesamten Wand
- Konstruktionsebene = Installationsebene für Sanitär- und Elektroinstallationen
- variables Rastermaß der Holzständer (in Abhängigkeit von Fenstern, Türen, Decken, ...)
- größere Abstände der tragenden Holzkonstruktion (statisch erforderlich)
- Holz-Einsparung, ressourcensparend (nachhaltiges System)
- einfachere Konstruktion, schnellerer Aufbau, dadurch günstiger
- Luftdichtung = Winddichtung, von Installationen nicht durchbrochen
- Möglichkeit des Direktverputzes (Spritzputz) auf den Strohballen ( $\pm$  Putzgitter) wird derzeit überprüft, müsste aber möglich sein (Voraussetzung: Maßhaltigkeit und plane Oberfläche der Ballen)

**Nachteile des optimierten Passivhaus-Systems gegenüber der Holzständerkonstruktion:**

- 54 – 59 cm Wandstärke inkl. Installationsebene (nur im Passivhaus vertretbar)
- dadurch auch stärkeres Fundament notwendig (ca. 40 cm + 10 cm EPS)
- Für Fenster- und Türöffnungen ist ein eigener Holzrahmen notwendig

## Schallschutz

Der Schallschutz in einem Gebäude ist ein wichtiger Aspekt für das Wohlbefinden der NutzerInnen. Einerseits soll das Gebäude den Außenlärm abschirmen. Andererseits soll die Ausbreitung des im Gebäude entstehendes Schalls bestmöglich verhindert werden. Die entsprechenden Normen beinhalten Mindeststandards für unterschiedliche Gebäudearten und verschiedene Bauteile (Decke, Feuerwand, Türen, Fenster) die sich auf entsprechende Außenlärmpegel beziehen. Bei Krankenhäusern muss der Mindestschallschutz bei einem Außenlärmpegel von 61-65dB (entspricht gewöhnlicher Zimmerlautstärke) 52dB betragen, für Wohngebäude zwischen 43dB und 52dB und für Bürogebäude zwischen 38dB und 52dB. Die Mindestanforderungen an den Luftschallschutz für Außenbauteile bei Mehrfamilienhäusern sind in ÖNORM B 8115 festgelegt ( $R_w < 47\text{dB}$ ). Die Wiener Bauordnung gibt Mindeststandards vor:

*§99.(3) Die nichttransparenten Teile der Außenwände von Wohnungen und Aufenthaltsräumen müssen bei jedem Raum ein bewertetes Schalldämmmaß  $R_w$  von mindestens 47dB, die transparenten Teile von mindestens 38dB, aufweisen. Jedenfalls muss sich bei Außenwänden von Wohnungen und Aufenthaltsräumen bei jedem Raum ein bewertetes resultierendes Schalldämmmaß  $R_{res,w}$  von mindestens 43dB ergeben. (Wiener Bauordnung)*

Die Schalldämmwirkung einer Wand bzw. Raumes oder Gebäudes ist abhängig von den verwendeten Materialien und deren Masse, Dichte, Elastizität, Struktur und Wanddicke.

Da Schallmessungen fehlen und die schalltechnischen Kennwerte von Strohballen nicht bekannt sind, kann hier nur eine qualitative Abschätzung der Schallschutzeigenschaften erfolgen bzw. auf bestehende Studien verwiesen werden.

Schallschutzmessungen an Strohballengebäuden bzw. Strohballenwänden in Australien haben ein gutes Schallschutzmaß ergeben. Die Messungen erfolgten an einem Musikstudio. Die Strohwände haben 45cm Dicke und sind mit Platten verkleidet. Bei einem Schallpegel von 114-117dB innerhalb des Gebäudes liegt der gemessene Außenlärmpegel zwischen 62 und 71dB (Messfrequenz 500-10,000Hz). Das entspricht einer Schallpegeldifferenz  $D$  von 43-55dB (John Glassford, Huff n Puff Constructions, Australien).

Die qualitative Bewertung der Schallschutzeigenschaften der verschiedenen Strohwand-Varianten (siehe Kapitel Fehlerquellenanalyse/Anschlussdetails) haben ergeben, dass bei durchgängigen Schalen an der Außen- und Innenseite der Strohdämmung (Putze, Platten, in den anderen Fällen vollflächige Diagonalschalung innen und Plattenbaustoffe außen) gute Schalldämmwerte erreichbar sind. Durch zweischalige Bauweise ist sehr guter Schallschutz erreichbar.

Bei einschaligem Aufbau der Strohwand kann der Mindestschallschutz je nach Art der Beplankung eingehalten werden. Ein höherwertiger Schallschutz benötigt höheren konstruktiven Aufwand. Beispielsweise kann die Sparschalung innenseitig als durchgängige Holzschalung ausgeführt werden, außenseitig kann bei den Varianten mit Hinterlüftungsebene eine diffusionsoffene Platte (z.B. Holzweichfaserplatte) verwendet werden (eventuell auf Sparschalung, wenn diese aus Aussteifungsgründen notwendig ist). Bei zweischaligen Aufbau kann der Schallschutz deutlich verbessert werden. Dies gilt auch für die beidseitig verputzten Aufbauten. Je nach Aufbau sind in diesen Fällen  $R_w$ -Werte (bewertetes Schalldämmmaß) deutlich über 50dB durchaus realistisch. Für präzisere Aussagen zum erreichbaren Schalldämmmaß werden Daten über die dynamische Steifigkeit der Strohballen benötigt.

Umfassende Schallschutzmessungen sind im Projekt „S-House“ geplant.

## Schlussfolgerungen

In den Untersuchungen wie auch in ergänzenden Literaturrecherchen konnte bestätigt werden, dass der Strohballenbau – und hier besonders die strohgefüllte Holzständerkonstruktion - alle technischen Voraussetzungen für einen vielfältigen Einsatz bietet. Das Anwendungsspektrum dieser Strohwandssysteme reicht vom Einfamilienhaus über mehrgeschoßigen Wohnbau, Industriehallenbau bis zum landwirtschaftlichen Wirtschaftsbau. Die bestehenden konstruktiven Lösungen sind passivhaustauglich und entsprechen den Nutzerbedürfnissen an einen bauphysikalisch und hygienisch einwandfreien funktionellen Dämmstoff.

### Bereitstellung bautechnischer Daten und Zertifikate

Mit den in diesem Projekt bereitgestellten technischen Grundlagen und der Zertifizierung des Baustoffes Stroh wird eine marktgerechte Technologieentwicklung unterstützt und vor allem im Niedrigenergie- und Passivhaus-Sektor die Verwendung dieses innovativen Dämmstoffs ermöglicht. Die erzielten Ergebnisse der

- Brandbeständigkeitsuntersuchung B2, der
- Brandwiderstandsüberprüfung F90 und der
- Wärmeleitfähigkeitsprüfung  $\lambda_R=0,0456W/mK$

zeigen die ausgezeichnete Funktionalität des Bauteils bzw. des Baustoffs und ermöglichen seinen breiten Einsatz. Damit kann der nach ÖNORM B3800 überprüfte Wandaufbau in geeigneter Ausführung in sämtlichen Bauteilen von Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäusern bis 2 Geschoßen (außer Keller) sowie in überirdischen Garagen bis 100 m<sup>2</sup>, landwirtschaftlichen Nebengebäuden und Wirtschaftsgebäuden uneingeschränkt eingesetzt werden. Durch seine guten Wärmedämmeigenschaften können alle untersuchten Strohballenkonstruktionen passivhaustauglich ausgeführt werden.

### Fehlerquellenanalyse und konstruktive Lösungen

Des Weiteren wurden in der Studie die verschiedensten Fehlerquellen analysiert und praktikable Detaillösungen für 8 Strohwandvarianten, basierend auf einer Grundkonstruktion, erarbeitet. Für diese Konstruktionsvarianten sowie Fenster-, Decken- und Dachanschlüsse wurden wichtige bauphysikalische Parameter (Temperaturverteilung, Diffusionskennwerte, Wärmespeicherkapazität) berechnet und eine bauphysikalische Bewertung der Aufbauten vorgenommen.

Die Konstruktionen sind luftdicht ausführbar. Durch ihre diffusionsoffene Bauweise kann Kondensationsbildung in der Wand vermieden und ein behagliches Raumklima geschaffen werden. Durch das hohe Austrocknungspotenzial werden die Wandaufbauten selbst durch kurzfristigen Wassereintritt z.B. durch einen Wasserrohrbruch nicht beeinträchtigt. Diese Eigenschaft verhindert auch Schimmelbefall in der Konstruktion.

Alle berechneten Anschlussdetails für Decke, Fenster und Dach sind wärmebrückenfrei und luftdicht ausführbar und passivhaustauglich. Durch eigens vorgesehene Installationsebenen sind Elektro- und Sanitärinstallationen leicht auszuführen und haben keinen negativen Einfluss auf die Luftdichtheit der Gebäudehülle, da keine Luftdichtigkeitsebenen durchdrungen werden.

Zur Verbesserung der Putzhaftung sind entsprechende Putzträger und Armierungsgewebe zu verwenden. Innovative Ansätze in diesem Bereich bedürfen noch weiterer Entwicklungsarbeit und der Durchführung von Langzeittests.

Der Wärmeschutz ist durch das ausgezeichnete Dämmverhalten der Strohballen gewährleistet. Sommerliche Überhitzung ist auch bei geringerer Wärmespeicherkapazität der Strohwandaufbauten gegenüber massiv ausgeführten Außenmauern nicht zu erwarten und kann durch Verputzen der Innenwände oder zusätzliche massive Zwischenwände vermieden werden.

Die qualitative Bewertung des Schallschutzes zeigt, dass ein guter bis sehr guter Schallschutz bei den entwickelten Konstruktionen gegeben ist. Die messtechnische Überprüfung ist im Folgeprojekt „S-House“ geplant.

### Qualitätssicherung

Mit der Entwicklung des mobilen Prüflabors wurde eine Basis für den Aufbau eines effektiven Qualitätsmanagements über die gesamte Prozesskette geschaffen. Die in Praxistests erprobten Messverfahren bringen schnelle und aussagekräftige Ergebnisse über die wichtigsten Qualitätsparameter – Ballenabmessungen, Feuchtegehalt, Dichte, Gewicht, Verunreinigungen und mikrobieller Abbau. Die Überprüfung funktioniert problemlos, sowohl bei nicht eingebauten, als auch bei eingebauten Strohballen.

Im nachfolgenden Kapitel sind weiterführende Forschungsfragestellungen zusammengefasst, die für marktgerechte Technologieentwicklung, Akzeptanz und Verbreitung der Strohbautechnologie erforderlich sind.

## Weitere wichtige Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Welcher Kooperationsstrukturen bedarf es, um

- die Verfügbarkeit in der erwünschten Menge und Qualität zu garantieren,
- das regionale Arbeitskräftepotenzial des Strohballenbaus voll zu nutzen und
- Einkommenssteigerung bei den Akteuren zu erzielen (im besonderen Landwirte)?

Optimierungspotenziale des Baustoffs und Überprüfung seines Langzeitverhaltens, dazu folgende Punkte:

- Prüfung möglicher umweltverträglicher Brandimprägnierungsverfahren und Brandschutzmittel
- Durchführung von Langzeitmessungen (Wärmeflussmessungen, Trittschallmessungen, ...) an bereits bestehenden Gebäuden bzw. künftigen Demonstrationsobjekten.
- Feuchteverhalten der Strohballen während der Lagerung und in eingebautem Zustand
- Adaptionmöglichkeiten bei Landmaschinen zur Optimierung des Strohballen als Baustoff (Herstellung eines „Strohziegels“)

Weiterentwicklung der Komponenten und Wandsysteme für den Niedrigenergiehaus- und Passivhaussektor, um:

- neben dem Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen auch verstärkt den effizienten Einsatz von erneuerbaren Energien zu fördern, und
- speziell im Passivhausbereich die derzeit (noch) höheren Dämmkosten und v.a. der Haustechnik (kontrollierte Lüftung, 3Scheiben-Verglasung) durch Einsparungen bei der Strohballendämmung kompensieren zu können.

Eine wichtige zukünftige Aufgabe wird die der Informationsverbreitung sein. Konsequente Aufklärungsarbeit, Bewusstseinsbildung und Entkräften von gängigen Vorurteilen bei den potenziellen Anwendern, sind unumgängliche Maßnahmen, um das Potenzial des Strohbbaus voll nutzen zu können. Die Umsetzung solcher Vorhaben könnte im Rahmen der Erstellung und Nutzung von Demonstrationsgebäuden und Infozentren erfolgen, wie etwa das „S-House“ - Konzept (Ein Projekt der GrAT in der Ausschreibungskategorie „Innovative Baukonzepte“ im Rahmen des Forschungsprogrammes „Haus der Zukunft“) vorsieht.

Zudem müssen vor allem auch für Planer, Architekten sowie planende Wohnbaugenossenschaften geeignete marktgerechte Werkzeuge erstellt werden, die die Einbindung von Strohballen-Konstruktionen und Details in den computerunterstützten Planungsprozess erleichtern.

Die bereits erzielten Ergebnisse aus den Brand- und Wärmeleitfähigkeitstests sind eine vielversprechende Grundlage, um die Qualitäten des Baustoffs Stroh auch in Österreich für eine breitere Öffentlichkeit interessant zu machen und um das Bauprodukt - Strohballen im Rahmen Nachhaltigen Wirtschaftens einen Schritt in Richtung Marktreife zu bringen.



## Literaturverzeichnis

- BMBT (Bundesministerium für Bauten und Technik): Katalog für empfohlene Wärmeschutzrechenwerte von Baustoffen und Baukonstruktionen – Maßgebliche Rechenwerte (Richtlinien) für den staatlichen Hochbau. Heft 1. Wien 1997
- Bundesgesetzblatt Teil I, Z 5702 A, 1994, Ausgegeben zu Bonn am 24. August 1994 Nr.55, Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV\*) Vom 16. August 1994
- Canadian Society of Agricultural Engineering: Thermal and Mechanical Properties of Straw Bales As They Relate to a Straw House, 1995, Ottawa, Ontario, Kanada
- Cepheus-Projekt: Cost efficient Passivhouses as European Standards, EU-Projekt (Internet-Ressource:)
- Danish Organisation for Sustainable Building: L.Ø.B. ende Nyheder (Magazin), Århus, Dänemark
- Day, Christopher: Bauen für die Seele, 1998 Staufen, oekobuch Verlag
- Dissemond, Hermann: Stroh – ein nachwachsender Rohstoff für die Energienutzung; Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung; Wien, 1994
- Eisenberg, David: Building Standards; Tucson, Arizona, Development Center for Appropriate Technology
- Everbach, E. Carr: Testbau am Swarthmore College (Studie), 1995, Swarthmore, Pennsylvania
- Eweleit, Sven: Studie in Arbeit, Hannover, Deutschland
- Feist, W.: Kostengünstige Passivhäuser in Mitteleuropa, Passivhaus Institut Darmstadt
- Fernandez, Manuel A.: Two-Hour Fire testing on Straw Bales; Constr. Industries Comm. of New Mexico, 1993, Santa Fe, New Mexico
- Gagné, Louis: Strawbale Demonstration Project; Hg.: Canada Mortgage & Housing Comp., 1986, Ottawa, Ontario, Kanada
- Götte, Klaus: Feuchtmeßtechnik, Berlin, 1966
- Grassnick, A.; Holzapfel, W. (Hrsg.): Der schadensfreie Hochbau, Köln: Rudolf Müller 1986
- Gruber, Herbert & Astrid: Bauen mit Stroh (Buch), 2000, oekobuch-Verlag Stauffen, D
- Gruber, Herbert: Bauen mit Stroh (Studie), Hg.: Bundesministerium für Landwirtschaft, 1998, Wien, Österreich
- Hansen, Kurt Kielsgaard: Sorption isotherms catalogue; Technical report 162/86, Technical University of Denmark, 1986
- Huber, A.-L.; Kleespies, T.; Schmidt, P.: Neues Bauen mit Lehm, Konstruktionen und gebaute Objekte. Staufen bei Freiburg: Ökobuch
- Huber, Kleespies, Schmidt: Neues Bauen mit Lehm, 1997 Staufen, oekobuch Verlag
- Huff'n Puff Construction: Pre-Compressed Straw Bale Walls (Bericht); Kangaroo Valley, NSW, Australien
- Jolly, Rob: Strawbale Moisture Monitoring Report, Canada Mortgage and Housing, Feb. 2000
- Kahn, Lloyd (Hg); Easten, Bob: Shelter; 1973, Bolinas, California, Shelter Publ., Inc.

- Kennedy, Margit: Das Strohballenhaus (Bericht); Hg.: Universität Hanover, 1999, Hannover, Deutschland
- King, Bruce: Buildings of Earth and Straw, 1996, White River Junction, Vermont, Chelsea Green Publishing Company
- Kupfer, Klaus: Materialfeuchtemessung; Grundlagen, Messverfahren, Applikationen, Normen; Renningen-Malmsheim; expert-Verlag, 1997
- MacDonald, S.O.: A Visual Primer to Straw-Bale Construction in Mongolia, engl. Version, Gila, New Mexiko, 1999 (Appropriate Development Project)
- McCabe, Joseph: Thermal Resistivity of Straw Bales for Construction (Diplomarbeit), Hg.: University of Arizona, 1993, Tucson, Arizona
- Minke, Gernot: Lehmhandbuch, 4. durchges. Aufl., 1999 Staufien, ökobuch Verlag
- Myhrman, Matts; Mac Donalds, Stephen O.: Build it with Bales, 1997, Tucson, Arizona, Out on Bale
- National Research Council of Canada: ASTM Fire Testing on Straw Bales; Ottawa, Ontario, Kanada
- Nordic Organisation for Loam Building: The Clay and Strawbuilder (Magazin), Oslo, Norwegen
- Oehler, Mike: The \$50 & Up Underground House Book, 1978, Bonners Ferry, Idaho, Mole Publ. Comp.
- ÖNORM B 6015 Teil 1: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Wien, 1989
- ÖNORM B 6015 Teil 2: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Wien, 2000
- ÖNORM B 6015 Teil 3: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Wien, 1991
- ÖNORM B 6015 Teil 5: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät; Wien, 1990
- ÖNORM B 8115 Teil 1 und Teil 2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau; Wien, 1998
- ÖNORM B3800 Teil1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil1 – 3; Wien, 1988
- ÖNORM B3800 Teil2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Teil1 – 3; Wien, 1997
- Piepkorn, Mark (Hrsg.): The Last Straw, verschiedene Ausgaben
- Pokorny, Walter: Rechtliche Rahmenbedingungen für den Strohballenbau in Österreich, Sammlung und Kommentierung relevanter Vorschriften aus technischer Sicht, im Auftrag von Global 2000, August 2000
- Proholz (Hrsg): Mehrgeschoßiger Holzbau in Österreich, 1999
- Rechtliche Rahmenbedingungen und aktive Fördermöglichkeiten für den Einsatz von Nachwachsenden Rohstoffen im Bauwesen, Ergebnisse aus dem Expertenworkshop innerhalb des Projektes „Fördernde und hemmende Faktoren für den Einsatz von nachwachsende Rohstoffe im Bauwesen (GrAT, IBO, Global 2000), August 2000
- Reynolds, Michael: Earth Ship Volume 1, 1990, Taos, New Mexico, Solar Survival Press
- Roy, Robert L.: Underground Houses, how to build a low-cost home, 1994, New York, Sterling Publishing Co
- Schillberg, Klaus: Altbausanierung mit Naturbaustoffen, 1996 Aarau, Schweiz, AT Verlag
- Schneider, Gerold: Sorptionseigenschaften ausgewählter organischer und anorganischer

Baustoffe; Wien, 1994

Schulze H.: Holzbau. Wände – Decken – Dächer. Stuttgart: Teubner 1996

SHB Agra Fire Test on Uncoated and Stucco Coated Straw Bale Wall Panels; Hg.: New Mexico Community Foundation, 1993, Albuquerque, New Mexico

Ship Harbour Straw Bale Building; Ship Harbour, Nova Scotia, Kanada

Steen, Athena & Bill, Bainbridge, David: The Straw Bale House, 1994, White River Junction, Vermont, Chelsea Green Publishing Company

Straube, John: Moisture Properties of Plaster and Stucco for Strawbale Buildings, Canada Mortgage and Housing, Juni 2000

Wanek, Catherine, Hg.: The Last Straw: The Grassroots Journal of Straw-Bale and Natural Building; Hillsboro, New Mexico, A Net Works Prod.

Weber, Dieter: Technische Feuchtemessung in Gasen und Festkörpern; Essen, 1995

Wedig, Harald: Stroh im Kopf (Strohballen-Nachrichten D), Deutsches Strohballennetzwerk, Xanten, Deutschland

Wooley, Tom: Green Building Digest, 1999, Northern Ireland, UK, Queens University of Belfast & ECRA Publishing Ltd.