

STROHGEDÄMMTE GEBÄUDE



NATURBAUSTOFFE

Gefördert durch:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.nachwachsende-rohstoffe.de
www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Text

Dipl.-Ing. Architekt Dirk Scharmer
Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei dem Autor.

Redaktion

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
Abteilung Öffentlichkeitsarbeit

Bilder

Titel: Fotolia, FNR, Dirk Scharmer/
Sofern nicht am Bild vermerkt: Dirk Scharmer
(Skizzen und 3D-Modelle: Dirk Scharmer)

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Druck

www.druckerei-weidner.de, Rostock

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 526
FNR 2013

STROHGEDÄMMTE GEBÄUDE



VORWORT

Stroh, eines der wichtigsten landwirtschaftlichen Nebenprodukte, wird in der Regel als Einstreu in der Tierhaltung genutzt oder zum Ausgleich der Humusbilanz wieder in den Boden eingearbeitet. Darüber hinaus bestehen jedoch erhebliche Potenziale für eine höherwertige Nutzung, wie z. B. in modernen Strohfeuerungsanlagen oder als Baustoff. So findet Stroh u. a. in Form von Strohbauplatten oder als Leichtzuschlag in Lehmprodukten Verwendung.

Eine in Deutschland noch relativ junge Entwicklung ist die Nutzung ganzer Strohballen zum Bau von Gebäuden. Beispiele in anderen Ländern verweisen dagegen auf eine deutlich längere Tradition und auch auf den nachhaltigen Wert von Strohbauweisen. Energieeffizienz und Ressourcenschonung bereits beim Bau von Gebäuden lassen Strohbauweisen als besonders nachhaltige Alternative zu konventionellen Bauweisen erscheinen. Vorteilhaft sind auch Aspekte der regionalen Wertschöpfung im ländlichen Raum und die Möglichkeit, Strohbaustoffe mit vielen weiteren Naturbaustoffen im gesamtheitlichen Baustoffkonzept eines Gebäudes zu verbinden.

Mitteleuropäische Klimabedingungen und eine moderne Bautechnologie erfordern jedoch eine besondere Anforderungen an die Baukonstruktion und Bauphysik. Die vorliegende Broschüre dokumentiert den technischen Entwicklungsstand von Strohbauweisen in Deutschland und zeigt Möglichkeiten des Einsatzes im Einfamilienhaus bis hin zum Gewerbebau auf.

Ich bin überzeugt, dass sich die Strohbauweisen in Deutschland technisch noch deutlich weiterentwickeln werden und ihre Akzeptanz damit weiter steigt. Allen Planern, Bauausführenden und Bauherren wünsche ich viel Freude und Erfolg bei der Planung und Realisierung ihres nächsten Bauvorhabens und hoffe, dass die vorliegende Broschüre die eine oder andere hilfreiche Anregung dazu gibt.



Dr.-Ing. Andreas Schütte,
Geschäftsführer Fachagentur
Nachwachsende Rohstoffe e. V.



INHALT

1	Einführung	4
2	Die Strohbauweise ist besonders nachhaltig Nachhaltigkeitsvorteile der Strohbauweise Die Ökobilanz der Strohbauweise im Vergleich	8
3	Strohballenbauten in Europa und Deutschland Beispiele in Europa Beispiele in Deutschland	11
4	Stand des Wissens und der Forschung Überblick Brandschutz Wärmeschutz Feuchteschutz Lasttragendes Bauen mit Stroh Verbleibender Forschungs- und Entwicklungsbedarf (FuE)	18
5	Bauaufsichtliche Anerkennung und Genehmigungsfähigkeit Baurechtliche Einordnung Genehmigung entsprechend den allgemeinen Zulassungsbestimmungen Genehmigungsfähigkeit bei Abweichungen	30
6	Strohedämmte Bauteile Strohoptimierte Bohlenständerkonstruktionen Die Ausführung Schritt für Schritt Kosten	32
7	Baustrohballen Baustrohballenverfügbarkeit Ablauf der Herstellung	41
8	Schlussbetrachtung	42
9	Anhang Quellenverzeichnis Weiterführende Informationen	43

1 EINFÜHRUNG

Naturbelassene Getreidestrohballe aus landwirtschaftlicher Herkunft eignen sich hervorragend als Wärmedämmstoff für Außenbauteile von Gebäuden. Wände und Dächer, die hiermit ausgefacht werden, erreichen nicht nur höchste Dämmstandards, sondern sparen bereits Energie bei ihrer Herstellung. In der Praxis haben sich Strohbauten unterschiedlichster Ausführungsart bewährt. Die Baustoffeigenschaften und das bautechnische Verhalten von Strohbällen werden von Fachleuten seit Jahren untersucht und erprobt.



Erstmals wurden strohgedämmte Wände von nordamerikanischen Siedlern im holzarmen Nebraska um die vorletzte Jahrhundertwende errichtet. Stroh wurde in der Vergangenheit in Form von ganzen Bällen oder als pure Ausfachtung verwendet und diente als Material für die Dachdeckung sowie als Zuschlagstoff für Lehmbaustoffe. Auch Platten aus gepresstem Stroh waren stets erhältlich bzw. befinden sich in der Neuentwicklung. Für eine Verwendung als zerkleinerter, aufgefasertes Einblasdämmstoff, wie andere Dämmstoffe aus Pflanzenfasern, scheint sich Stroh hingegen nicht zu eignen.

STROH: EIN ZEITGEMÄSSER ROHSTOFF

Mit Blick auf die sich in der Perspektive zuspitzende globale ökologische Situation, eine Verknappung der natürlichen Ressourcen und eine emissionsbedingte Destabilisierung des weltweiten Klimas sowie anthropogene Störungen und Verschmutzungen der natürlichen Kreisläufe und Systeme eröffnet Stroh als nachwachsender Rohstoff neue Möglichkeiten.

Stroh ist kein Abfallprodukt, sondern ein wertvoller Rohstoff aus der Landwirtschaft. Das Bild von ungenutzt verrottenden Strohbällen am Feldrand oder gar abbrennenden

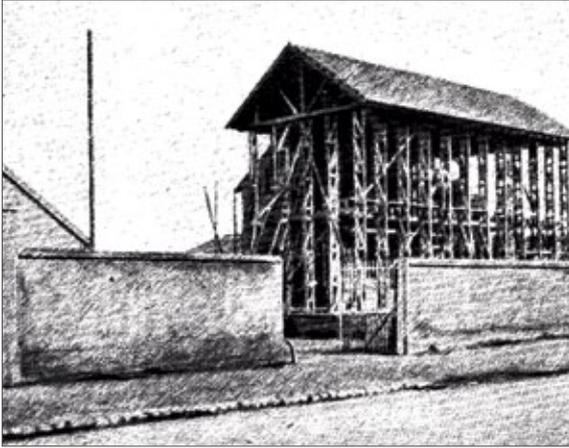
Stoppelfeldern, welches sich mancherorts in den letzten Jahrzehnten bot, gehört bereits heute der Vergangenheit an. In einer zukunftsfähigen Landwirtschaft wird Stroh in höherem Maße als bislang zum Einstreuen, als Raufutter und als Humusbildner auf Ackerflächen benötigt. Daneben wird die Bedeutung von Stroh als nachwachsendem Rohstoff deutlich zunehmen. Dem sehr stark steigenden Interesse an einer energetischen Nutzung von Stroh steht dabei die stoffliche Nutzung gegenüber. Beide Nutzformen lassen sich miteinander vereinbaren, wenn z. B. zunächst die stoffliche Nutzung erfolgt und nach dem Ende der Lebensdauer einer Strohdämmung diese dann energetisch verwertet wird (Kaskadennutzung). Die Entnahme von Stroh aus dem ökologischen Kreislauf und die Stoffbilanz der Böden ist in der Landwirtschaft genauso zu berücksichtigen und zu ersetzen wie die Entnahme aller anderen Anbauprodukte.

Für die Nutzung als Dämmstoff sind Strohbälle ein einzigartiges Produkt, weil sie seit Jahrzehnten in der Landwirtschaft anfallen und fast ohne weiteres Zutun direkt verbaut werden können.

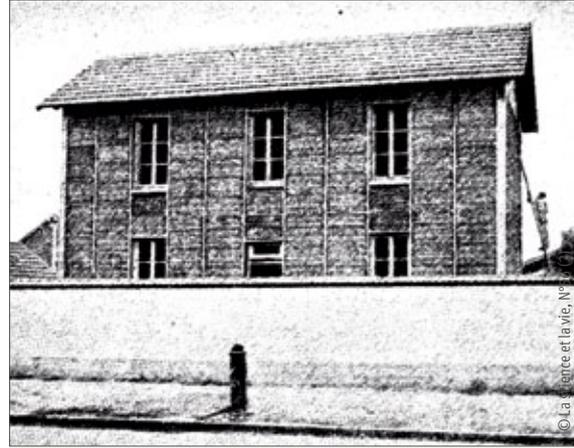
BAUWEISE MIT TRADITION

Die erstmalige Anwendung von Strohbällen lässt sich bis zum Ende des vorletzten Jahrhunderts zurückverfolgen, als Siedler in den „Sandhills“ von Nebraska, USA, diese als überdimensionale lasttragende Mauerziegel verwendeten. Bis weit in die 1940er-Jahre wurden in Nordamerika Strohbälle von Nebraska, USA, diese als überdimensionale lasttragende Mauerziegel eingesetzt und direkt mit Lehm oder Zement verputzt. Neben diesen amerikanischen Beispielen sind heute zwei historische Beispiele aus Europa bekannt.





Das Maison Feuillet in Montargis, Frankreich von 1921



In den folgenden Jahrzehnten ließ vermutlich die zunehmende Industrialisierung sowie die Verbesserung der Transportmöglichkeiten die Verwendung von Strohballen als Baustoff unattraktiv werden.

WIEDERENTDECKUNG UND WEITERENTWICKLUNG

Nach allgemeiner Auffassung geht die Wiederentdeckung der Strohballenbauweise vor allem auf den Artikel „Baled Hay“ des Autors und Nebraska-Folkloristen Roger Welsch in dem Buch „Shelter“ aus dem Jahr 1973 zurück (Welsch, 1973). Es darf aber angenommen werden, dass einzelne Anwendungen, wie die zwei zuvor genannten historischen Beispiele aus Europa, auch unabhängig von allgemein bekannten Strömungen erfolgten. Immer wieder gibt es Erzählungen von einzelnen Akteuren, wie z.B. Landwirten, die einfache, zum Teil lasttragende landwirtschaftliche Gebäude erstellten oder von individuellen ökologischen Pionieren, wie dem deutschen Architekten Rudolf Doernach, der 1979 einen strohgedämmten Rundholzbau errichtete. Weitere Veröffentlichungen gaben der nordamerikanischen als der wichtigsten Entwicklungslinie des heutigen Strohballenbaus starken Vortrieb (Doolittle/1973, McElderry & Co/1979, Strang/1983, Hammond/1984). In den folgenden zwei Jahrzehnten vervielfachten sich die Strohballenbauaktivitäten in Nordamerika und Kanada. Zu den bekanntesten Akteuren dieser Phase zählen heute Judy Knox, Matts Myhrmann, Bill und Athena Steen sowie David Bainbridge, die 1994 gemeinsam mit David Eisenberg das lange Zeit bedeutendste Strohballenbaubuch „The Straw Bale House“ verfassten (Steen, Athena, Bainbridge, & Eisenberg, 1994). In der Folge verbreitete sich die Strohballenbauweise weltweit.

Seit Beginn des 21. Jahrhunderts ist schließlich auch in Europa eine starke Zunahme dieser Bauweise zu verzeichnen. Verglichen mit herkömmlichen Bauweisen befindet

sich die Strohballenbauweise in Deutschland noch in den Kinderschuhen. Erst seit wenigen Jahren werden Strohballen als Dämmstoff in ein tragendes Holzständerwerk eingebaut und mit Lehm- und Kalkputz bzw. vorgehängten Holzfassaden verkleidet. Betrachtet man die Anzahl der errichteten Strohballenbauten in einzelnen europäischen Ländern befindet sich Deutschland derzeit im Mittelfeld. Eine stärkere Dynamik ist im Alpenraum sowie in Frankreich zu verzeichnen. Daneben sind auch starke Impulse von einigen Einzelakteuren zu verzeichnen, wie z.B. den britischen Strohballenbauerinnen Bee Rowan und Barbara Jones.

DIE STROHBALLENBAUWEISE IN DEUTSCHLAND

In Deutschland existieren ca. 200 Strohballenbauten (Stand 2012). Im Jahr 2002 gründete sich der Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA) als Zusammenschluss aller relevanten Akteure mit dem Ziel, die Anerkennung der Strohballenbauweise zu fördern und ihr zum Durchbruch zu verhelfen. Auf Basis von ersten Forschungs- und Entwicklungsergebnissen konnte 2006 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für das Bauprodukt Baustrohballen als Wärmedämmstoff erwirkt werden (Z-23.11-1595, 2009). Mithilfe von neuen Erkenntnissen, Erfahrungen und Untersuchungen soll die Verwendung von Strohballen als Dämmstoff technisch und rechtlich immer weiter abgesichert und ein möglichst hoher Qualitätsstandard etabliert werden. Derzeit beinhaltet die Zulassung noch nicht alle wünschenswerten Ausführungsarten. Der Direktverputz beispielsweise, der sich in der Praxis bereits weltweit bewährt hat, ist in Deutschland wegen des schwierigen feuchtetechnischen Nachweises bislang nicht abgedeckt.

Trotz der andauernden Weiterentwicklung der bautechnischen Nachweise sind in den vergangenen 10 Jahren zahlreiche herausragende und beispielhafte Strohballenbauten erfolgreich errichtet worden.

EINE BAUWEISE – ZWEI KONSTRUKTIONSPORTEN

Lasttragend: Obgleich die historischen Wurzeln der Bauweise eher im Einsatz von Strohballen als mechanisch belastetem, überdimensionalem und tragendem Mauerstein liegen und diese Bauweise weltweit von der Anzahl her nach wie vor überwiegen dürfte, stehen bislang ein belastbarer wissenschaftlicher Erklärungsansatz für die Tragwirkung und eine praxistaugliche Bemessung noch aus. In Deutschland existiert etwa eine Handvoll solcher Gebäude. Ihre Gebrauchstauglichkeit konnte mit Einzelnachweisen erbracht werden.



Nicht lasttragende Strohballenbauweise

Ausfachend: Einfacher, dennoch bauphysikalisch anspruchsvoller ist die wissenschaftlich und bauaufsichtlich anerkannte Verwendbarkeit von Stroh als ausfachender Dämmstoff. Dieses wird direkt oder in Form von Strohballen i. d. R. zwischen eine Holzkonstruktion eingebaut, deren Unterstützungsabstand für eine Genehmigungsfähigkeit in Deutschland nicht über 1,0 m liegen darf (DIBt, 2007-1).

Bei der ausfachenden Konstruktionsart unterscheidet man zwei Ausführungsarten: direkt verputzt oder plattenverkleidet.



Ausfachende Konstruktion – direkt verputzt und plattenverkleidet

AUSBLICK

Werden erprobte Verfahrensweisen eingehalten, kann die baupraktische Bewährungsprobe von Strohballen als Dämmstoff überwiegend als „bestanden“ angesehen werden, wenngleich die Absicherung der Tauglichkeit jedoch noch nicht das Niveau der allgemein anerkannten Regeln der Technik erreicht hat. Hierfür sind weitere wissenschaftliche Untersuchungen, erfolgreiche Praxiserfahrungen sowie bautechnische Prüfungen und Nachweise erforderlich. Unabhängig hiervon sieht sich das Bauwesen mit stetig steigenden Ansprüchen an Sicherheit und Verantwortbarkeit konfrontiert. Einhergehend mit einer zunehmenden Durchdringung von wissenschaftlichen Erkenntnissen bis hin zur Baustelle und einem vertieften bauphysikalischen Verständnis des Feuchteverhaltens von Außenbauteilen führt dies bei vielen Strohbaustoffen- und -arten zu neuem Nachweisbedarf, eröffnet aber auch neue Möglichkeiten.

Die wichtigste noch zu schaffende Grundlage für den Durchbruch der Strohballenbauweise ist ein allgemein gültiger feuchtetechnischer Nachweis des Direktverputzes von strohballengedämmten Außenwänden. Des Weiteren bedarf es weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen, um den pflanzlichen, naturbelassenen Dämmstoff Stroh auf Dauer sicher vor substanzzerstörendem mikrobiellem Befall beim Einsatz in direktverputzten und direkt bewitterten Außenbauteilen zu schützen. Hinsichtlich der Ausführungsarten ist zu prüfen, welche die praktischen, technischen und wirtschaftlichen Ansprüche an Außenbauteile optimal erfüllen.

Zuletzt existieren auch im Bereich der landwirtschaftlichen Herstellung noch offene Fragen: Wie können die Eigenschaften von Strohballen für die Verwendung als Dämmstoff weiter verbessert werden und wie muss eine zeitgemäße Herstellungskette in der Landwirtschaft aussehen?

Die vorliegende Broschüre kann in diesem Sinne nur den aktuellen Wissensstand dokumentieren, jedoch noch keine in sich abgeschlossene Anleitung und Darstellung im Sinne einer Strohballenbaurichtlinie bieten.

Soweit es die heutigen Erfahrungen und Kenntnisse verantwortbar zulassen, sollen möglichst konkrete Aussagen zu empfehlenswerten Ausführungsarten und Verfahrensweisen getroffen werden. Die vorgenommene ökologische Einordnung will Bauinteressenten und Planern darüber hinaus handfeste Argumente für eine Entscheidung zur Wahl von Strohballen als Dämmstoff liefern. Die Emissionen und der Energiebedarf bei der Gebäudeherstellung, welche sich im Gegensatz zum Energiebedarf der Gebäudenutzung, bislang noch nicht monetär oder in anderer Form auf die Entscheidung von Bauwilligen auswirken, werden in Form einer vergleichenden Ökobilanz von Treibhauspotenzial und Primärenergieinhalt sichtbar gemacht.

VORURTEILE GEGEN DAS BAUEN MIT STROH

„Stroh brennt doch, da gehen die Mäuse rein, Stroh schimmelt“, das sind die drei häufigsten Vorurteile gegen die Bauweise. Bezüglich der Langlebigkeit und Werthaltigkeit wird die Strohbauweise von vielen Menschen noch mit einer massiv gemauerten Bauweise gleichgesetzt. Dabei wird übersehen, dass viele, mehrere hundert Jahre alte Fachwerkhäuser aus Holz, Lehm und Stroh heute noch stehen, während massiv gemauerte Gebäude aus den 1950 bis 1980er-Jahren oft schon nach wenigen Jahrzehnten ihrem baldigen Abriss oder einer Totalsanierung entgegen sahen bzw. sehen. Es kommt also nicht auf die Bauweise an, sondern darauf, was man daraus macht.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen: Fachgerecht verbautes Stroh verrottet nicht, stellt keine größere Brandgefahr dar und wird nicht von Nagetieren und Ungeziefer befallen. Damit pflanzliche Rohstoffe als Bau- und Dämmstoffe eingesetzt werden können, wird im Zuge einer Tauglichkeitsbetrachtung ein besonderes Augenmerk daraufgelegt, dass sie nicht vorzeitig durch mikrobiellen oder tierischen Befall oder durch thermische Zersetzung beschädigt werden. Alle drei Zerfallsformen dienen in der freien Natur der Rückführung in den natürlichen Kreislauf. Zum richtigen Zeitpunkt, am Ende der Nutzungsphase stattfindend, kann eine diesbezüglich höhere Empfindlichkeit aus Sicht der Nachhaltigkeit aber auch als Vorteil für eine umweltfreundliche Entsorgung, einfacheres Recycling oder eine spätere Kaskadennutzung angesehen werden. Die Herausforderung besteht also darin, in den Bauteilen Bedingungen zu schaffen, die mit Sicherheit für den Nutzungszeitraum eine Zerstörung und eine daraus möglicherweise drohende gesundheitliche Gefährdung ausschließen. Im Fall von Stroh soll das Pflanzenmaterial unbehandelt und naturbelassen aus der landwirtschaftsüblichen Herstellung zum Einsatz kommen. Lose und vollkommen ungeschützt würde es eine zu leichte mikrobielle Zersetzbarkeit, Entzündbarkeit und Verwertbarkeit für Nagetiere und Ungeziefer aufweisen. Um als dauerhaftes und sicheres Baumaterial zu dienen, wird das Stroh daher fest gepresst, lückenlos verbaut und dicht verkleidet. Fest gepresstes Stroh lässt sich wesentlich schlechter entzünden als loses. Daher erreichen Baustrohballen nach DIN 4102-B2 die Baustoffklasse „normal entflammbar“. Nach den bisherigen Erfahrungen haben typische Nagetiere und Ungeziefer geringe Chancen, sich in den fest gepressten und lückenlos verbauten Ballen zu bewegen oder festzusetzen, letztlich bieten hier aber auch herkömmliche Dämmstoffe keine wirkliche Sicherheit. Auch aus bauphysikalischen Gründen ist die Lückenlosigkeit von Bedeutung, denn Lücken innerhalb eines gedämmten Bauteils können insbesondere an einer Gebäudeaußenseite zu schädlichem Tauwasserausfall infolge von Konvektion bzw. unterbrochenem kapillarem Feuchttransport führen. Auf Bauteilebene kann, je nach baurechtlichen Anforderungen, die Einhaltung einer Feuerwiderstandsklasse gefordert sein.

Während für Ein- und Zweifamilienhäuser häufig keine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Außenwänden bestehen, müssen Außenwände von größeren Gebäuden meist mindestens feuerhemmend ausgebildet werden (F30 gemäß DIN 4102), also im Brandfall mindestens dreißig Minuten den Anforderungen standhalten (Raumabschluss, Standsicherheit). In Tests haben Strohballewände mit einer geringen Bekleidung von ca. 1 cm Lehm bereits einen Feuerwiderstand von mehr als 30 Minuten erreicht. Gleichzeitig kann derartigen Wänden nach europäischen Prüfstandards auch eine Schwerentflammbarkeit bescheinigt werden. Neben Bekleidungen aus Lehm und Kalk, sind zumindest innenseitig, auch bauübliche Plattenbekleidungen aus Gipsfaser- oder Gipskartonplatten denkbar.

Fazit: Fachgerecht hergestellte Strohballebauteile sind langlebig und sicher. Gegenüber Schimmelpilzen, Ungeziefer und Nagetieren weisen sie eine mindestens ausreichende Beständigkeit auf. Verputzte, strohballedämmte Holzkonstruktionen haben gegenüber herkömmlichen Holzbauten gleichwertige oder wegen ihrer nichtbrennbaren Putzbekleidung bessere Brandschutzeigenschaften.

EIGENSCHAFTEN UND VORTEILE DER STROHBAUWEISE IM ÜBERBLICK

- 1. Wärmeleitfähigkeit quer zur Haupthaltrichtung: $0,052 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$** , Beispiel für ca. 36 cm Dämmstärke und 6 cm Holzständer: U-Wert = $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Ca. 20 % des in der Landwirtschaft anfallenden Strohs werden nicht benötigt. Mit dieser Menge können jährlich bis zu **350.000 Einfamilienhäuser** gedämmt werden.
- Einfache Herstellung**, nur Qualitätssicherung und -kontrolle zusätzlich erforderlich
- Baustrohballen besonders nachhaltig (**jährlich nachwachsend**) und regional vorkommend
- Keine Flächenkonkurrenz** zum Anbau von Nahrungsmittelpflanzen
- Auf Wunsch in **Bioqualität**
- Dreifacher Klimaschutz:**
 - CO₂-Speicherung beim Wachstum
 - CO₂-Minimierung bei der Herstellung von Strohbällen
 - CO₂-Vermeidung beim Gebäudebetrieb
- Sehr gute Brandschutzeigenschaften:** Eine 36 cm dicke Baustrohballenwand mit >0,8 cm Putzschicht erreicht F30 nach DIN 4102 und kann als schwer entflammbar (B nach DIN EN 13501) betrachtet werden.
- Hohe Wärmespeicherung, dadurch guter **sommerlicher Wärmeschutz**
- Energieeffizienz bei Herstellung und Betrieb:** Stroh wand herstellen und über 40 Jahre „beheizen“ bis allein der Herstellungsaufwand einer Konventionellen erreicht ist
- Die **Verarbeitung ist wenig aufwendig** und auch für Laien möglich.
- Einfache Entsorgung:** Holz und Lehm kompostierbar

2 DIE STROHBAUWEISE IST BESONDERS NACHHALTIG

2.1 Nachhaltigkeitsvorteile der Strohbauweise

Die Verwendung von Baustrohballen als Dämmstoff bringt eine Reihe von Vorteilen hinsichtlich der Nachhaltigkeit des gesamten Bau- und Herstellungsprozesses mit sich, die sich über alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit erstrecken: der ökologischen, der sozialen und der ökonomischen.

- Beim Wachstum des Strohs werden der Atmosphäre beachtliche Mengen klimaschädliches Kohlendioxid entzogen und für die Lebensdauer gespeichert.
- Die Bereitstellung des fertigen Dämmstoffs „Baustrohballen“ verursacht im Vergleich zu anderen Dämmstoffen vielfach geringere Emissionen und bedarf einer deutlich geringeren Herstellungsenergie. Sie erfolgt quasi „nebenbei“ im sowieso ablaufenden landwirtschaftlichen Ernteprozess. Aufgrund des bundesweit überall vorhandenen Getreideanbaus können Transportwege besonders stark minimiert werden.
- Strohhallengedämmte Gebäude erfüllen höchste Dämmstandards. Hierdurch werden sehr geringe Mengen Heizenergie benötigt bzw. weniger klimaschädliche Gase emittiert.
- Die Entsorgung von Bauteilen aus Holz, Stroh und Lehm ist einfach und umweltfreundlich möglich. Neben der Kompostierung ist zukünftig auch die thermische Verwertung der Holzteile und des Stroh vorstellbar (in einer Kaskadennutzung widerspricht die thermische Verwertung von Stroh nicht einer vorherigen stofflichen Nutzung als Dämmstoff).
- Bedingt durch den einfachen Herstellungsprozess der Ballen und vorhandene Eigenleistungsmöglichkeiten beim Bau können Kosten und Aufwand für die Herstellung reduziert sein, und hierdurch die Verfügbarkeit von nachhaltigem Wohneigentum auch für weniger wohlhabende Bevölkerungsschichten verbessert werden.
- Die prinzipielle ortsnahe Verfügbarkeit der drei Hauptrohstoffe Holz, Stroh und Lehm bringt ein hohes regionales Wertschöpfungspotenzial, was die dezentralen Wirtschaftskreisläufe stärkt.

2.2 Die Ökobilanz der Strohbauweise im Vergleich

Die Energieeffizienz der Gebäudehülle und der wärmetechnischen Anlagen eines Gebäudes findet bei Bauentscheidungen bereits heute starke Berücksichtigung. Sie ist von direkter monetärer Bedeutung, weil Energiesparen auch Geldsparen bedeutet und sie ist zudem gesetzlich über die Energieeinsparverordnung (EnEV) geregelt, die in Auslegung der EU-Gebäuderichtlinie in den kommenden Jahren für den Neubau und für Sanierungen weitere Anhebungen des Mindeststandards fordern wird. Anreize zur Minimierung des Energieverbrauchs und von Emissionen während des Herstellungsprozesses der Baustoffe existieren bislang nicht. Regeln und Verfahren für eine entsprechende Berechnung und Berücksichtigung befinden sich derzeit noch in den Anfängen. Intensivierte Bestrebungen in Deutschland, die Nachhaltigkeit von Gebäuden abzubilden und zu zertifizieren erfolgen derzeit für Büro- und Verwaltungsbauten im privaten Sektor hauptsächlich über die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) sowie im öffentlichen Sektor über das Bewertungssystem für Bundesgebäude (BNB). Beide Systeme sind aufwendig und kostenintensiv und daher für kleinere Gebäude sowohl im privaten als auch im gewerblichen Sektor nur schwer anwendbar. Darüber hinaus bieten sie weder direkte Entscheidungshilfen für die Baustoff- und Haustechnikauswahl während der Planung noch für andere entwurfsbezogene und systemische Fragestellungen.

Für den Vergleich der Ökobilanzen verschiedener Außenwandaufbauten wird von einer gleichen Dämmqualität eines guten Passivhausstandards mit einem U-Wert von $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ausgegangen.

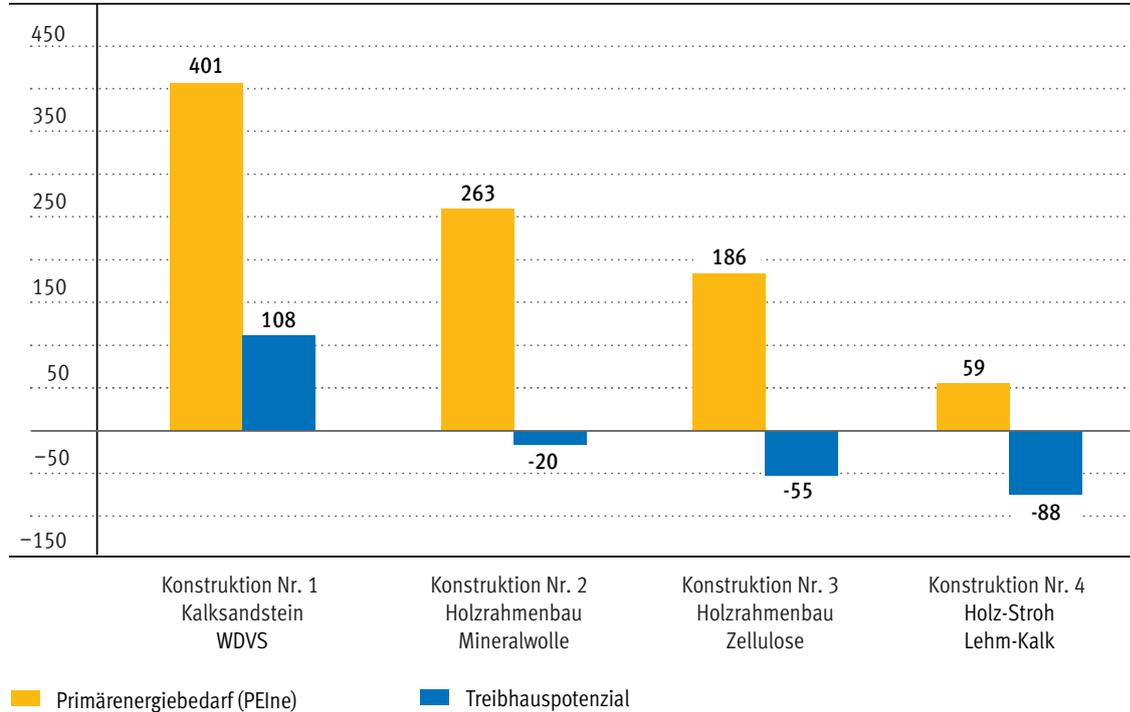
Es werden vier verschiedene Ausführungsarten verglichen:

- Direktverputzte strohgedämmte Holzbauweise
- Holzrahmenbauweise (Zellulose/Mineralfaser)
- Zweischaliges Mauerwerk mit Mineralfaser-Kerndämmung
- Massivmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem

Die Berechnung erfolgte mit einem Online-Berechnungstool auf der österreichischen Webseite www.baubook.at. Dort steht ein komfortables, frei zugängliches Berechnungswerkzeug für die drei wichtigsten Ökofaktoren zur Verfügung, dessen Datenbestand intensiv gepflegt wird. In Österreich findet das Verfahren bei der Gewährung von öffentlichen Fördermitteln für ökologisches Bauen Anwendung, was in Deutschland bislang nicht der Fall ist.

ÖKOBILANZVERGLEICH

in kWh/m² bzw. CO₂-Äq/m² Wandfläche



Vergleich von vier Außenwänden mit einem U-Wert von $U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Der Vergleich konzentriert sich auf die Gegenüberstellung der zwei wichtigsten ökologischen Kriterien der Baustoffherstellung: den Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar (PEIne) und das Treibhauspotenzial, Global Warming Potential, das für 100 der wichtigsten Treibhausgase das jeweilige in CO₂-Äquivalent angibt (GWP100).



Erläuterung der Diagrammwerte

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (PEIne)

Während eine mit Lehm- und Kalkputz verkleidete strohgedämmte Wand für ihre Herstellung lediglich einen Primärenergiebedarf von etwa 59 kWh/m² aufweist, benötigt eine herkömmliche Kalksandsteinwand das 6-Fache: 401 kWh/m², eine mineralfasergedämmte Holzrahmenwand mehr als das 4-Fache: 263 kWh/m² und eine übliche zellulosegedämmte Holzrahmenwand etwa das 3-Fache: 186 kWh/m².

Erläuterung der Diagrammwerte zum Treibhauspotenzial (GWP100)

Während die Herstellung eines Quadratmeters einer mit Lehm- und Kalkputz verkleideten strohgedämmten Wand der Atmosphäre ca. 88 kg klimaschädliches CO₂-Äquivalent je m² Wand entzieht, verschmutzt eine herkömmliche Kalksandsteinwand mit einem polystyrolbasierten Wärmedämmverbundsystem diese mit 108 kg CO₂-Äquivalent/m². Eine mineralfasersedämmte Holzrahmenwand entzieht der Atmosphäre 20 kg CO₂-Äquivalent/m² und eine übliche zellulosegedämmte Holzrahmenwand sogar 55 kg CO₂-Äquivalent/m².

PRIMÄRENERGIEINHALT (NICHT ERNEUERBAR) UND TREIBHAUSPOTENZIAL AUSGEWÄHLTER MATERIALIEN

Materialbezeichnung	λ W/(m · K)	ρ kg/m ³	PEI _{ne} Primärenergieinhalt nicht erneuerbar MJ/kg	GWP100 Treibhauspotenzial kg CO ₂ -Äquivalent	Konstruktion Nr. (Grafik Seite 9)	Datenquelle
Gipskarton	0,210	850	4,340	0,203	2, 3	baubook.at
Glaswolle	0,039	25	49,800	2,260	2	baubook.at
Schnittholz, gehobelt, techn. getrocknet	0,120	500	4,289	-1,596	2, 3, 4	baubook.at
OSB	0,130	610	9,310	-1,168	2, 3	baubook.at
Holzfaserdämmplatte	0,048	160	19,500	-0,577	2, 3	baubook.at
Silikatputz armiert	0,800	1.800	6,258	0,321	2, 3	baubook.at
Zellulosefaserflocken	0,041	55	7,030	-0,907	3	baubook.at
Kalkputz	0,900	1.400	1,990	0,205	4	baubook.at
Strohdämmung	0,051	120	0,846	-1,250	4	baubook.at
Kalkzementputz	0,800	1.350	1,510	0,198	1	ökobaudat
EPS WL 32	0,035	30	88,733	2,897	1	ökobaudat
Kalksandstein	0,990	1.800	0,981	0,119	1	ökobaudat

VERGLEICH PRIMÄRENERGIEBEDARF HERSTELLUNG MIT WÄRMEVERLUST AM BAUTEIL

Außenbauteile haben neben anderen Funktionen die wesentliche Aufgabe der Wärmedämmung. Aus Nachhaltigkeitssicht sollten sie dies tun ohne gleichzeitig übermäßig viel Energie für ihre Herstellung zu verbrauchen. Für eine umfassende Gesamtenergiebetrachtung liegt es also nahe, Bauteile anhand der Summen aus Herstellungsenergiebedarf und Energieverlust während des Einsatzes zu vergleichen. Letzterer wird durch den Transmissionswärmeverlust (Q_T) ausgedrückt, der sich auf einen bestimmten Klimastandort und einer angenommenen Gesamtlebensdauer von 50 Jahren bezieht (Q_{T50}).

Bei einem angenommenen mitteldeutschen Standort mit einem Gradtagszahlfaktor von 79 beträgt der jährliche Transmissionswärmeverlust bei einem U-Wert von $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$: $Q_T = 7,87 \text{ kWh}/\text{m}^2$ Wandfläche. Bei einer Differenz des Primärenergiebedarfs von $401 - 59 = 342 \text{ kWh}/\text{m}^2$ kann die Strohwand $342/7,87 = 43$ Jahre Wärme verlieren, bis sie auf diese Weise so viel Energie verbraucht hat wie die polystyrolgedämmte Kalksandsteinwand bereits am ersten Tag. Wird eine primärenergetisch günstige Wärmequelle eingesetzt, z.B. ein Holzkessel mit Pufferspeicher und heizungsunterstützender Solaranlage ($e_p = 0,6$) sind dies sogar

$43/0,6 = 72$ Jahre. Dies entspricht in etwa der immobilienwirtschaftlich veranschlagten Lebensdauer (80 Jahre) eines Massivgebäudes. Eine herkömmliche Außenwand kann also schon am ersten Tag allein für ihre Herstellung so viel Energie verbrauchen wie eine zukunftsfähige Wand in über 70 Jahren. Derzeit fehlen noch Anreize für Auftraggeber, solche klimafreundlichen Lösungen zu wählen.

Die Berechnungen zeigen, dass bei Außenbauteilen mit niedrigen U-Werten von ca. $U = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ der Herstellungsenergiebedarf überwiegt. Je besser die Wärmedämmung und je größer der regenerative Anteil der Heizenergie ist, desto weniger fällt der alljährliche Energiebedarf bei der Gesamtökobilanz eines Gebäudes bzw. seiner Bestandteile ins Gewicht. Zudem fällt ein hoher Herstellungsenergiebedarf zu Beginn der Gebäudelebensdauer konzentriert an und belastet somit die nationale Klimaschutzbilanz un-mittelbar.

3 STROHBALLENBAUTEN IN EUROPA UND DEUTSCHLAND

Erläuterung der Steckbriefkenndaten:

- Größe nach DIN 277
- Nettogrundfläche (NGF): Summe der Nutzflächen, Konstruktionsflächen und Verkehrsflächen aller Geschosse
- Bruttorauminhalt (BRI): Außenvolumen des Gebäudes, hier i. d. R. jedoch ohne Volumen von Vordächern und Balkonen
- Geschossanzahl: Baurechtlich relevante Geschossigkeit, die Definition ist abhängig von der jeweiligen Landesbauordnung. Bei einem typischen kleinen Einfamilienhaus mit Dachgeschoss handelt es sich baurechtlich häufig um ein 1-geschossiges Gebäude (in diesem Fall hier zur Differenzierung als 1,5-geschossig bezeichnet).
- Jahresheizwärmebedarf Q_H (kWh/m²a): Kilowattstunden (hier nicht primärenergetisch bewertet) pro Quadratmeter pro Jahr, gemäß EnEV bezogen auf die virtuelle Gebäudenutzfläche A_N ($A_N = 0,32 \cdot V$).

3.1 Beispiele in Europa

Einige herausragende Strohballenbauten in Europa stellen Meilensteine dieser Bauweise dar. Die vorliegende Zusammenstellung beschränkt sich auf eine kleine Auswahl von Objekten. Im Internet und verschiedenen gedruckten Veröffentlichungen finden sich viele weitere Beispiele mit detaillierteren Informationen, insbesondere (Krick & Minke, 2009).

S-HOUSE IN ÖSTERREICH



Baujahr: 2005
Bauherr: GrAT-Gruppe angepasste Technologie
Ort: Böheimkirchen/Österreich
Planung: Architekten Schleicher ZT
Größe: 332 m² NGF, 1.200 m³ BRI, 2-geschossig

www.s-house.at

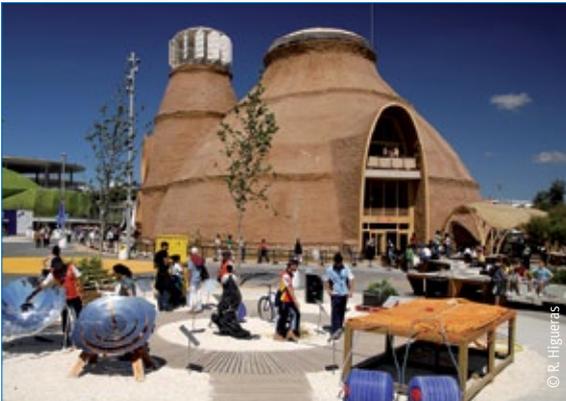
BIO-LOGISTIKZENTRUM ÖSTERREICH



Baujahr: 2005
Bauherr: Biohof Achleitner GmbH
Ort: Nähe Eferding/Österreich
Planung: Architekt Paul Seeber
Größe: 3.200 m² NGF, 2–3-geschossig

www.biohof.at
www.architekturplus.it

EXPO ZARAGOZA 2008 SPANIEN



Baujahr: 2008
Bauherr: Expo Association
Ort: Zaragoza/Spanien
Planung: Architekt Ricardo Higuera
Größe: 480 m² NGF, 14.000 m³ BRI, 25 m hoch

BESUCHERZENTRUM IN FRANKREICH



Baujahr: 2010
Bauherr: Communauté d'Agglomération
du Pays de Montbéliard (CAPM)
Ort: Vandoncourt/Frankreich
Planung: Architekt Haha architectures
Größe: 1.100 m² NGF, 2-geschossig

www.damassine.wordpress.com
www.haha.fr

5-GESCHOSSIGES REIHENMITTELHAUS IN AMSTERDAM



Baujahr: 2007
Bauherr: Privat
Ort: Amsterdam/Niederlande
Planung: Rene Dalmeijer
Größe: 280 m² NGF, 900 m³ BRI, 5-geschossig

www.strobouw.nl/Projecten/Binnenland/Amsterdam_-_Ijburg_2/

3.2 Beispiele in Deutschland

Inzwischen gibt es in Deutschland etwa 200 strohgedämmte Häuser. Noch gehört man als Bauherr also zu den Pionieren, wenn man auf diesen Dämmstoff setzt. Das ist kein Wunder, existiert die bauaufsichtliche Zulassung doch erst seit 6 Jahren. Zudem ist die Möglichkeit des Strohdämmens noch relativ unbekannt. Die vielen Vorteile des Baustoffs sprechen jedoch dafür, dass sich dies bald ändert und Stroh ein weit verbreiteter Dämmstoff wird.

3.2.1 Einfamilienhäuser

REIHENHAUS IN FREIBURG



Baujahr: 2006
Bauherr: Privat
Ort: Nähe Freiburg/Baden-Württemberg
Planung: Archpro
Größe: 180 m² NGF, 700 m³ BRI, 3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{h} auf A_N (kWh/m² a): ca. 30

EINFAMILIENHAUS NÄHE ESSSLINGEN



Baujahr: 2008
Bauherr: Privat
Ort: Nähe Esslingen/Baden-Württemberg
Planung: Architekten Erz und Gugel
Größe: 161 m² NGF, 591 m³ BRI, 2-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{h} auf A_N (kWh/m² a): 24,6

EINFAMILIENHAUS NÄHE HANNOVER/NIEDERSACHSEN



Baujahr: 2008
Bauherr: Privat
Ort: Nähe Hannover/Niedersachsen
Planung: Architekt Olaf Böhm
Größe: 165 m² NGF, 751 m³ BRI, 1,5-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{H} auf A_N (kWh/m² a): 39,6

EINFAMILIENHAUS NÄHE SALZGITTER



Baujahr: 2008
Bauherr: Privat
Ort: Nähe Braunschweig/Niedersachsen
Planung: Stefan Kracht
Größe: 140 m² NGF, 760 m³ BRI, 2-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{H} auf A_N (kWh/m² a): 45

EINFAMILIENHAUS IM ÖKODORF SIEBEN LINDEN



Baujahr: 2007/2008
Bauherr: Privat
Ort: Ökodorf Sieben Linden/Sachsen-Anhalt
Planung: M. Stengel und B. Meenen
Größe: 204 m² NGF, 890 m³ BRI, 2,5-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{H} auf A_N (kWh/m² a): 65

3.2.2 Mehrfamilienhäuser

3-GESCHOSSIGES MEHRPARTEIENWOHNHAUS „STROHPOLIS“ IN POPPAU



Baujahr: 2005
Bauherr: Wohnungsgenossenschaft Sieben Linden e. G.
Ort: Ökodorf Sieben Linden/Sachsen-Anhalt
Planung: Architekt Dirk Scharmer
Größe: 540 m² NGF, 2.805 m³ BRI, 3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N (kWh/m²a): 42

Beschreibung

In diesem direkt lehmverputzten strohballedämmten Holzständergebäude wurden die Ballen flach liegend zwischen 1,5–3 m weit auseinander stehende Ständer platziert. Zur Stabilisierung der Ballenwand wurden in jede 3. Lagerfuge Bretter eingelegt. Die Wärmeversorgung erfolgt über ein Nahwärmenetz durch eine Holzvergaserheizzentrale und dezentrale Solarthermieflächen (40 m² auf eigenem Dach). Elektrische Energie wird siedlungsweit überwiegend mittels netzeinspeisender Fotovoltaikflächen (ca. 60 m² auf dem eigenen Dach, 60–80 % Deckung in der Jahresbilanz) gewonnen.

Besonderheiten

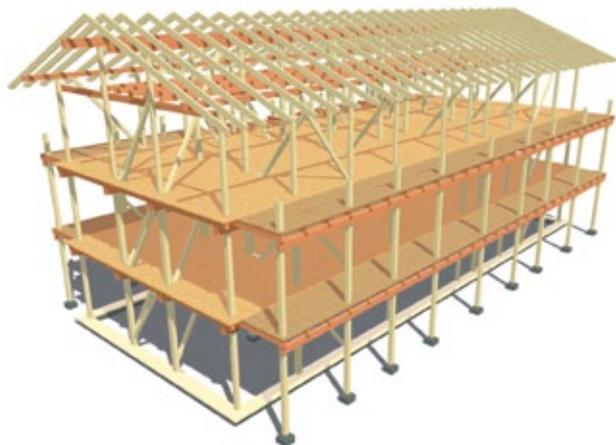
Für die Zustimmung im Einzelfall wurden erstmals in Deutschland Material und Bauteiltests an verschiedenen Instituten durchgeführt:

- Nachweis der Normalentflammbarkeit von Baustroh
- Feuerhemmende Außenwand (F30 DIN 4102) mit Strohdämmung und Lehmputz
- Wärmeleitfähigkeit von Baustroh

Schlagregenschutz

Das Gebäude ist an drei Seiten von mittleren bis hohen Bäumen umgeben. Die Bekleidung der Strohballe erfolgte fast ausschließlich mit Lehmputz. Hierfür wurden auf der Nord- und Südseite ein weiter Dachüberstand und durchgehende Balkone angeordnet auf der Wetterseite zusätzlich eine vorgehängte, hinterlüftete Holzschalung angebracht. Dem verbleibenden Schlagregenrisiko wurde versucht, mit einer Stabilisierung des Lehmputzes durch stärkebasierten Kleber in Form von gekochtem Weizenmehl zu begegnen.

Strohpolis ist ein erfolgreiches Gebäude. Aufgrund der mittlerweile vorliegenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sowie der wesentlich vorteilhafteren Ausfachung eng stehender Ständerwerke mit aufrecht stehenden Ballen wird die im Fassadenschnitt gezeigte Ausführung nicht zur Nachahmung empfohlen.



3D-Darstellung Tragwerk Wohnhaus Strohpolis



Baujahr: 2010

Bauherr: Wohnungsgenossenschaft Sieben Linden e. G.

Ort: Ökodorf Sieben Linden/Sachsen-Anhalt

Planung: Architekt Dirk Scharmer

Größe: 354 m² NGF, 1.600 m³ BRI, 3-geschossig

Jahresheizwärmebedarf Q_H auf A_N (kWh/m² a): 21

Beschreibung

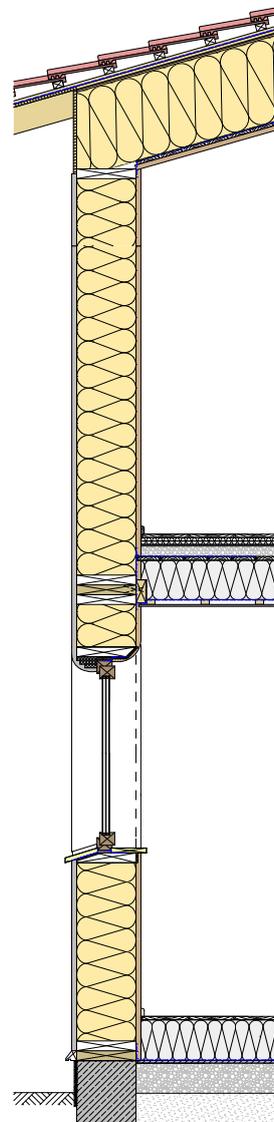
In diesem direkt verputzten strohballengedämmten Holzständergebäude stehen die Ballen aufrecht zwischen eng stehenden Bohlenständern ($e < 1$ m).

Besonderheiten

Das Gebäude weist Passivhauskomponenten wie 3-fach verglaste Fenster, aus unbehandelter europäischer Eiche bestehende Rahmenteile sowie eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung nach Niedrigstenergiestandard auf. Die Bereitstellung der benötigten elektrischen Energie erfolgt siedlungsweit überwiegend durch netzeinspeisende Fotovoltaikflächen (60–80 % Deckung in der Jahresbilanz). Durch eine Komplettverglasung der Südfassade, eine besonders große, winteroptimierte Solarthermiefläche (66 m²) in Verbindung mit einem 13 m³ großen Pufferspeicher und einem Holzvergaserkaminofen (Standort im Erdgeschoss/Gemeinschaftsraum) wird zusätzlich weitgehend auf regenerative Energie zurückgegriffen. Für die 10 Bewohner wird von einem verbleibenden tatsächlichen Wärmeenergiebedarf von ca. 4 m³ Holz pro Jahr für Heizung und Warmwasser ausgegangen. Die Überprüfung der Luftdichtheit ergab einen 0,3-fachen Luftwechsel pro Stunde durch ungewollte Undichtigkeiten bei 50 Pascal Unterdruck $n_{50} = 0,3$ (vgl. Anforderung Passivhaus $n_{50} < 0,6$).

Schlagregenschutz

Das Gebäude steht allseitig ungeschützt auf einer Wiese. Zur konstruktiven Milderung der Schlagregenbelastung und als Verschattung im Sinne eines sommerlichen Wärmeschutzes verfügt das Gebäude auf drei Seiten über einen umlaufenden schmalen Balkon. Auf der Außenseite wurde ein sehr diffusionsoffener Luftkalkputz mit einer hydrophobierenden Kalksilikatfarbe eingesetzt, die innenseitige Verkleidung erfolgte mit einem Lehmputz



Fassadenschnitt Wohnhaus Libelle

3.2.3 Bürogebäude

STROHGEDÄMMTES ARCHITEKTURBÜRO IN VERDEN/ALLER



Baujahr: 2010
Bauherr: Ökologisches Zentrum e.V.
Ort: Verden/Niedersachsen
Planung: Architekturbüro Ö.CONTUR
Größe: 75 m² NGF, 337 m³ BRI, 1-geschossig

STROHGEDÄMMTES BÜROGEBÄUDE EINER KFZ-WERKSTATT IN DARMSTADT



Baujahr: 2005
Bauherr: Privat
Ort: Darmstadt/Hessen
Planung: Shakti Haus
Größe: 74 m² NGF, 374 m³ BRI, 1-geschossig

3.2.4 Gewerbebauten

GEWERBEHALLE IN DUNNINGEN



Baujahr: 2009
Bauherr: Permatecs
Ort: Dunningen/Hessen
Planung: Architekten Erz und Gugel
Größe: 500 m² NGF, 2.072 m³ BRI, 2-geschossig

GEWERBEHALLE INVENTER IN LÖBERSCHÜTZ



Baujahr: 2006
Bauherr: InVENTer GmbH
Ort: Löberschütz/Hessen
Planung: Selbst/Planungsbüro Weiß
Größe: 486 m² NGF, 2.430 m³ BRI, 1-geschossig

4 STAND DES WISSENS UND DER FORSCHUNG

4.1 Überblick

NACHWEISE UND UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Bereich	Tests/Prüfungen	Bemessung/Anwendung
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung		Baustrohballen verwendbar als Dämmstoff gemäß Z-23.11-1595
Wärmeschutz	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,lr}$ (W/(m · K)) DIN EN 12667 (trocken gemessen)	Bemessungswert gemäß Zulassung Z-23.11-1595 für die Wärmeschutzberechnung Quer zur Haupthalmrichtung $\lambda = 0,052$ W/(m · K)
Brandschutz	Kleimbrennertest nach DIN 4102-1 oder DIN EN 11925-2	Baustoffklasse normal entflammbar für Baustrohballen DIN 4102-B2 bzw. E gemäß DIN EN 11925-2
	„Single burning Item“ Test gemäß DIN EN 13823	Baustrohballen mit > 8mm Lehmputz oder Anwendung: Europäisch Schwerentflammbar B-s1, d0 gemäß DIN EN 13501-1
	Feuerwiderstand DIN EN 1365-1	Feuerhemmend F30 gemäß DIN 4102-4 Allg. Bauaufsichtliches Prüfzeugnis P-3048/817/08-MPA-BS
Feuchteschutz	DIN EN 60068-2-10	Ohne Prüfung
	ÖNORM B 6010 in Verbindung mit DIN EN ISO 846	Resistenz gegen mikrobielle Einwirkungen: Wachstumsintensität 2–3
	DIN EN 12086: für Wasserdampfdurchlässigkeit	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl $\mu = 2$
Schimmelresistenz	WUFI-Simulation In Verbindung mit Risikoabschätzung mit WUFI-Bio® (Substratklasse gemäß Sedlbauer)	Bestimmungen für die Ausführung gemäß Z-23.11-1595: Bekleidung innen $s_d > 2,0$ m Bekleidung außen $s_d \leq 0,1$ m, $R \geq 0,4$ (m · K)/W, plus Vorhangfassade
Schalldämmung	R'w (dB) (bewertetes Schalldämm-Maß), DIN EN ISO 140-3, DIN 4109	R'w = 43–44 dB bei 36 cm Stroh und 1+2 cm Lehmputz in Bohlenständerwerk

4.2 Brandschutz

4.2.1 Baustoff-Klassifizierung

Gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-23.11-1595 erreichen Baustrohballen die Baustoffklasse normal entflammbar nach DIN 4102-B2 bzw. E gemäß DIN EN 11925 und sind somit regulär als Baustoff verwendbar (Z-23.11-1595, 2009). Die Entzündbarkeit ihrer Oberfläche kann durch geeignete Einbauweisen und Bekleidungen weiter herabgesetzt werden. Mithilfe einer mindestens 8 mm dünnen Lehmputzlage wird die Oberfläche gemäß DIN EN 13501-1 z.B. schwer entflammbar (B) (MPA BS K-3305/558/07-2, 2008). Aufgrund eines in Deutschland

gemäß DIN 41 02 zusätzlich erforderlichen Verwendbarkeitsnachweises für diese europäisch geregelte Art der Prüfung (EN 1 3501-1: 2007) gelten Baustrohballen jedoch auch mit dieser Bekleidung nur als normal entflammbar (Vgl. DIN 4102-1, 1998).

4.2.2 Feuerwiderstand

Bei einer Prüfung des Feuerwiderstands nach DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 widerstand 2007 eine Strohballenwand, die ebenfalls mit mindestens 8 mm Lehmputz verkleidet war, über 50 Minuten der Beflammung. Mithilfe des hierauf ausgestellten allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses (MPA BS P-3048/81 7/08, 2008)

können solche Wände als feuerhemmend klassifiziert werden (Feuerwiderstandsklasse F30 gemäß DIN 4102). Da Strohballenwände üblicherweise wesentlich dicker verputzt werden, weisen diese in der Realität ein wesentlich größeres Sicherheitspotenzial auf. Bereits im Jahr 2003 bestand eine ca. 3 cm dick lehmverputzte Strohballenwand die Feuerwiderstandsprüfung nach DIN EN 1365-1, indem sie eindrucksvoll über neunzig Minuten der Beflammung standhielt (MPA BS 3248/3833-CM, 2003).

4.3 Wärmeschutz

Seit 2003 wurden im Rahmen von Forschungsvorhaben, bei Zulassungsprüfungen und im Rahmen der Herstellerfremdüberwachung mittlerweile zahllose Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Baustoffproben aus Stroh gemäß DIN EN 12667 durchgeführt. Bei Strohballen der bislang zum Einsatz gekommenen Kleinballen- bzw. HD-Ballenpressen von Welger, John Deere und Claas zeichnet sich herstellbedingt eine Haupthalmrichtung ab, die in Richtung der zweitgrößten Abmessung der Breite (in der Regel 46–49 cm), quer zu der kleinsten Abmessung, der Höhe und der längsten Abmessung, der Länge verläuft. Physikalisch bedingt ist die Wärmeleitfähigkeit in Richtung der Halme höher, woraus sich dementsprechend bei einem Wärmestrom in dieser Richtung ein schlechterer Wärmedämmwert ergibt. Für einen Einsatz als Dämmstoff sind aus dieser Sicht also die anderen beiden Orientierungen zu bevorzugen. Jedoch bedingt durch die Art der Bindung und der Abmessungen der Ballen ist eine Orientierung von Strohballen mit ihrer Länge als Dämmdicke praktisch kaum durchführbar. Die Ballenpresse müsste sehr kurze 30–50 cm lange Ballen machen, in dieser Richtung weisen die Pressen aber häufig Produktionstoleranzen von ca. ±10 cm auf. Durch, die beim Einbau von Ballen übliche Komprimierung, würde eine Querdehnung in Richtung der Wanddicke resultieren, die im Fall des Versagens von Ballenschnüren unter Umständen zu Wandausbeulungen führen könnte. Eine solche Einbaurichtung wäre daher, wenn überhaupt nur mit biegesteifen (Platten)-bekleidungen durchführbar, die diese Dehnungen aufnehmen könnten.

4.3.1 Ballenorientierung und Bemessungswert

Aus diesen Gründen konzentrieren sich letztlich derzeit alle relevanten Anwendungen von Baustrohballen als ausfachendem Dämmstoff auf eine Orientierung der Ballen, bei der ihre Höhenabmessung (bei üblichen Kleinballen 36–38 cm) als Dämmdicke fungiert. Bei den beiden hierfür möglichen Ausrichtungsvarianten, aufrecht stehend und aufrecht liegend, hat sich die stehende Variante als vorteilhafteste herauskristallisiert. Bei dieser sind für den passgenauen Einbau der Ballen in die Holzkonstruktion die produktionstechnisch nur sehr geringen Abmessungstoleranzen in der Ballenbreite von 5–10 mm zu berücksichti-

gen. Weiterhin ist so zumindest in der liegenden Vorfertigung ein komprimierender Einbau fast ohne Hilfsmittel nur mit Körperkraft möglich, da bei dieser Ballenorientierung die elastischste Abmessungsrichtung, die Länge des Ballens, komprimiert wird.

Bei Einbau der Ballen in aufrecht stehender oder aufrecht liegende Orientierung verläuft der Wärmestrom innerhalb einer Außenwand quer zu der Haupthalmrichtung. Trocken gemessene Laborwerte der Wärmeleitfähigkeit liegen bei dieser Orientierung im Bereich $\lambda_{10,lr} = 0,039\text{--}0,043\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Um den für die aktuelle bauaufsichtliche Zulassung festgesetzten Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,052\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ansetzen zu dürfen muss von diesem innerhalb der Produktion ein 20 %-iger Sicherheitsabstand zum trocken gemessenen Laborwert eingehalten werden

Achtung: Der in der Zulassung (Z-23.11-1595, 2009) aufgeführte Bemessungswert in Halmrichtung von $\lambda = 0,080\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ wird derzeit vom Hersteller mangels Nachfrage nicht mehr angeboten und ist aktuell auch nicht mehr im zugehörigen Übereinstimmungszertifikat enthalten. Eine bauaufsichtlich anerkannte Bezugnahme darauf entfällt bis auf weiteres.

4.3.2 Sommerlicher Wärmeschutz und Wärmespeicherung

Verglichen mit Dämmstoffen wie Polystyrol und Mineralfaser weisen Stroh und andere pflanzliche Dämmstoffe einen relativ hohen Wert der spezifischen Wärmekapazität (c) auf. In Verbindung mit der relativ hohen Rohdichte (ρ) einer Strohdämmung im eingebauten Zustand von bis $115\text{ kg}/\text{m}^3$ ergibt sich gegenüber anderen Dämmstoffen eine höhere Wärmespeicherung (S), die sich bei strohgedämmten Dachausbauten im Sommer durch ein günstigeres Temperaturverhalten bemerkbar macht. Vergleicht man strohgedämmte Außenwände mit gleich gut gedämmten anderer Bauart, sind die Strohwände den Leichtbauweisen, abgesehen von Holzweichfasergedämmten Gebäuden deutlich überlegen.

WÄRMESPEICHERZAHL (S) VON VERSCHIEDENEN DÄMMSTOFFEN

Stoff	ρ kg/m ³	c kJ/kg · K	S kJ/m ³ · K
Polystyrolschaum (XPS)	45	1,45	65
Glaswolle	100	0,84	84
Zellulose	55	1,90	105
Baustrohballen	100	2,00	200
Holzfaserdämmplatten	170	2,10	357



Äußere Fassadengestaltung mit Holz und Lehmputz

4.4 Feuchteschutz

Alle Bauteile, die Bereiche mit unterschiedlichen Klimabedingungen raumabschließend voneinander trennen, müssen gewährleisten, dass sich innerhalb ihrer Konstruktionen keine schädigenden Feuchtemengen ansammeln können. Im Fall von Konstruktionen aus Holz und unbehandeltem pflanzlichen Dämmmaterial wie Stroh geht die Berücksichtigung des Feuchteschutzes weit über die bloße Verhinderung der Tauwasserbildung, die sich nach dem bekannten „Glaserverfahren“ berechnen lässt, hinaus. Feuchteschutz bei strohgedämmten Außenbauteilen heißt, darüber hinaus den Nachweis zu erbringen, dass während der Lebensdauer des Bauteils kein schädlicher mikrobieller Befall stattfinden kann. Eine Schimmelpilzgefahr wird gemeinhin mit dem ungewollten Vorhandensein von zu viel Feuchte gleichgesetzt.

Dabei sind für die Entstehung und das Wachstum von Pilzen weitere Faktoren maßgebend. Neben ausreichender Feuchte, keimfähigen Sporen und einem verwertbaren Substrat ist dies vor allem eine pilzwachstumsfördernde Temperatur. Daher ist die Angabe von einfachen Grenzwerten der relativen Feuchte (%) oder des Feuchtegehalts (Masse-%.) nicht ausreichend. Mithilfe des in dem Softwaretool „WUFI-Bio“[®] des Fraunhofer Instituts für Bauphysik implementierten Algorithmus lässt sich das Risiko einer Schimmelpilzbildung anhand eines jahreszeitlichen Temperatur- und Feuchteverlaufs in Abhängigkeit von der biologischen Verwertbarkeit (Substratklasse) des untersuchten Materials bzw. eventueller Verunreinigungen, wesentlich differenzierter vorhergesagen (Sedlbauer, 2001). Die hierfür verwendeten Klimadaten können beispielsweise dem instationär rechnenden Softwaretool WUFI[®] (Künzel, 1994) oder realen Messungen aus dem Inneren von Bauteilen entstammen. Ein alternativ zu WUFI-Bio[®] anwendbares Beurteilungsverfahren, welches relevante Faktoren wie beispielsweise pH-Wert, atmosphärische Zusammensetzung sowie Licht berücksichtigt und hierdurch ggf. zu genaueren Ergebnissen kommt, ist derzeit noch nicht bekannt. Die Bestimmungen für die Ausführung in der derzeit gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-23.11-1595 wurden im Rahmen der Zulassungsuntersuchungen nach der oben beschriebenen Methodik ermittelt. Aktuell werden Untersuchungen zur Verbesserung dieser Methodik durchgeführt.

4.4.1 Schimmelpilzrisiko ausgewählter Konstruktionen

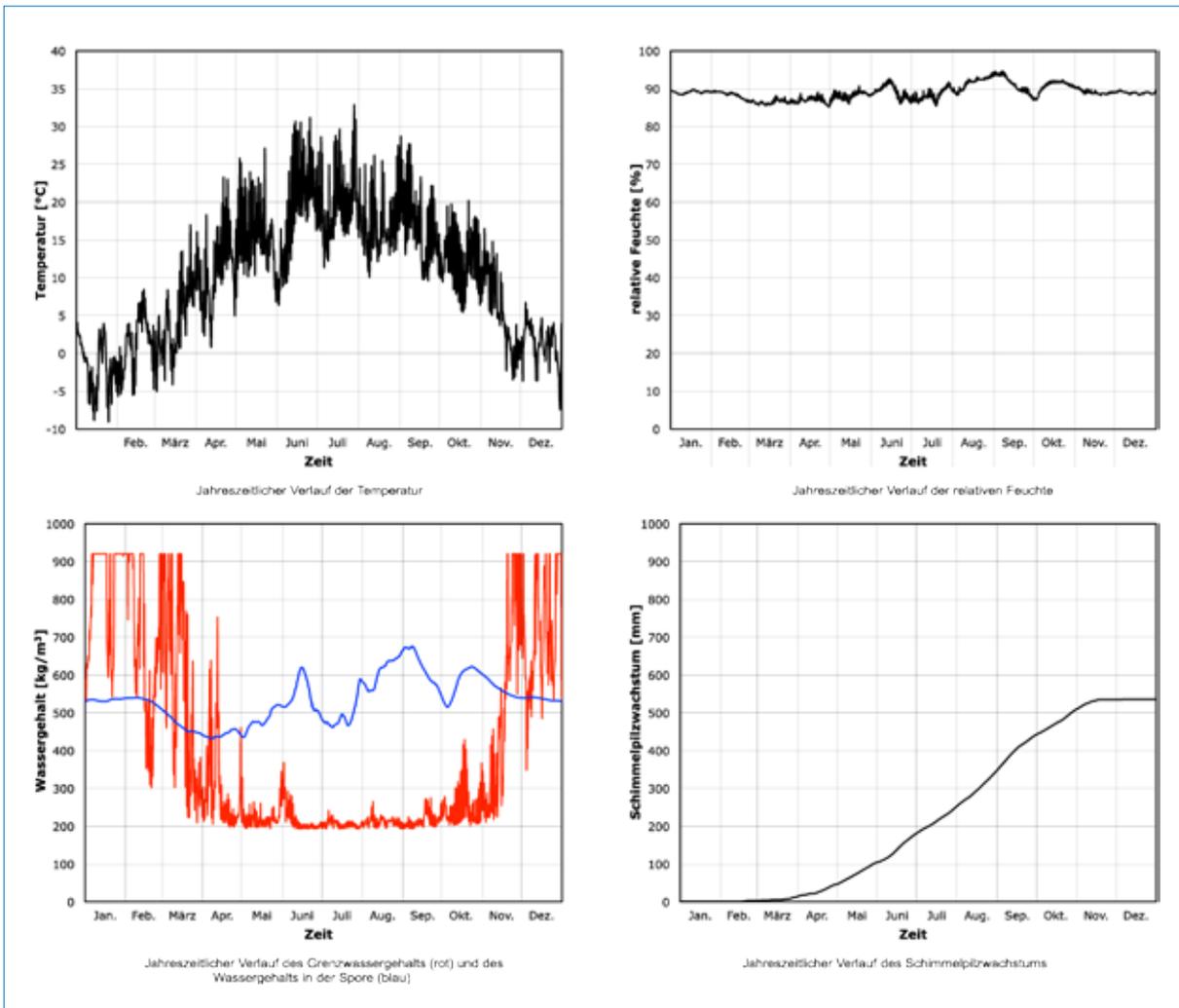
Nachfolgend wird die biohygrothermische Tauglichkeit von vier verschiedenen Außenwandkonstruktionen und einer Dachkonstruktion beschrieben:

Einfache direkt verputzte Strohwand ohne Hydrophobierung (Außenwand 1)

Dieser Außenwandtyp ist weltweit vielfach ausgeführt und hat sich in der Regel praktisch bewährt. Diese ursprüngliche Variante ist der Wunsch vieler Strohballenbauer, wobei an der Außenseite anstelle von Kalkputz auch gern Lehmputz Verwendung findet. Letzterer ist etwas kostengünstiger, kann ohne weitere Zusätze jedoch aufgrund seiner Wasserlöslichkeit unter Umständen von einem einzigen kräftigen Schlagregenereignis zerstört werden. Bei Schlagregenbelastung und kalten Wintern und/oder feuchtwarmen Sommern muss diese Wunschvariante ohne Hydrophobierung daher, trotz der vielerorts positiven Erfahrungen mindestens als kritisch eingestuft werden. Eine Untersuchung des Schimmelpilzrisikos auf Basis des ungünstigen synthetischen Holzkirchener Klimadatensatzes „ibp 1991“ des Fraunhofer Instituts für Bauphysik ergibt ein abstrahiertes Schimmelpilzwachstum von über 500 mm in (Abbildung „Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 1“, (Seite 21 unten.) Daher ist dieser Wandaufbau bei Schlagregenbelastung in Deutschland als untauglich anzusehen.

VERTIKALSCHNITT UND BAUTEILAUFBAU DER AUSSENWAND 1

Vertikalschnitt	Schichtdicke s in mm	Wandaufbau von innen nach außen
	40	Lehmputz, $s_d \sim 0,5$ m
	360	Stroh
	40	Kalkputz, $s_d \leq 0,5$ m



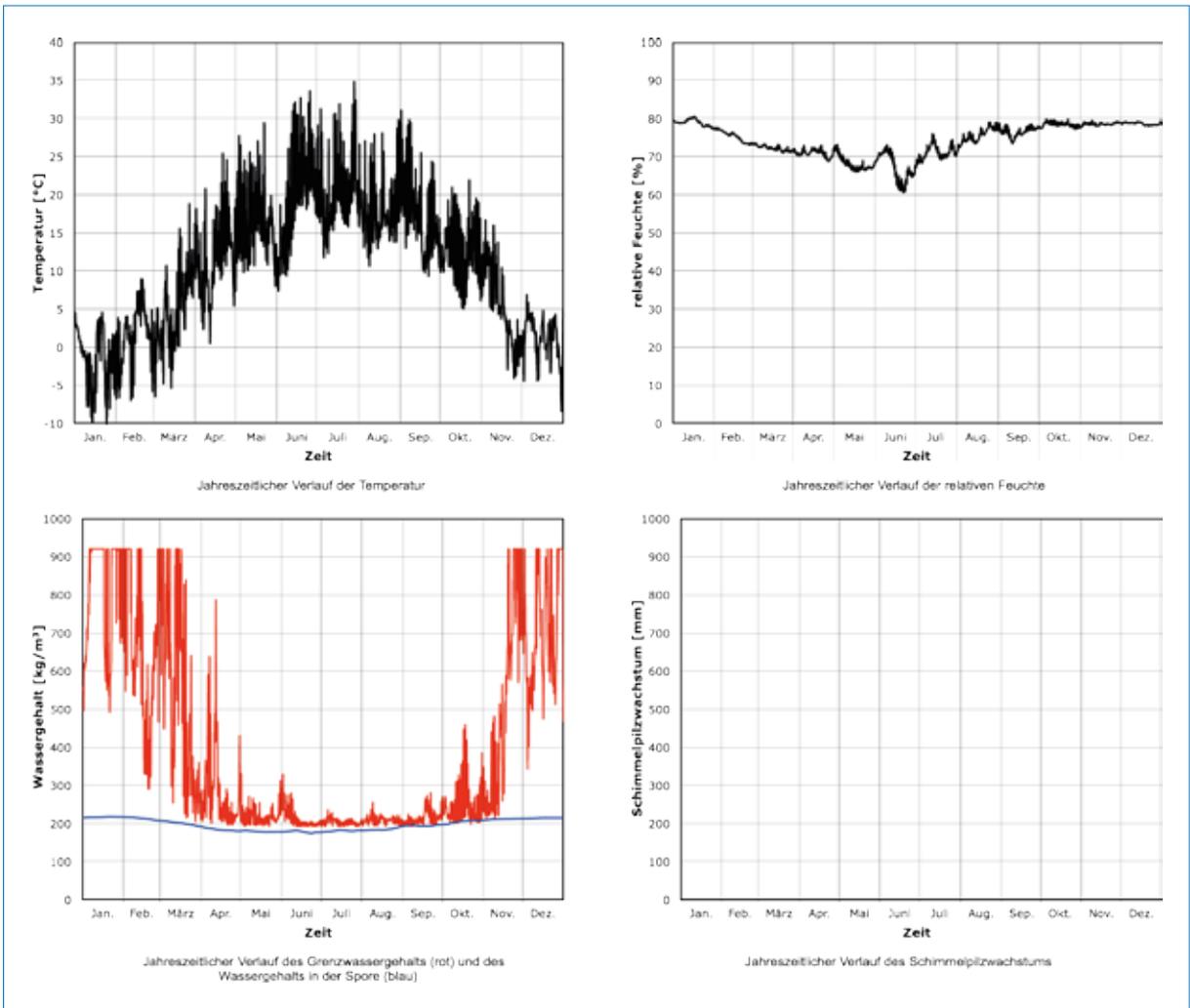
Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 1/Klatecki & Otto, 2011

Strohwand mit Holzfaserdämmplatte und Wetterschale nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-23.11-1595 (Außenwand 2)

Im Unterschied zu Außenwand 1 zeigt dieses Beispiel gemäß Zulassung eindeutig kein Schimmelrisiko. (Abbildung „Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 2“, Seite 22 unten). Es ist also mit Sicherheit von einer Tauglichkeit auszugehen.

VERTIKALSCHNITT UND BAUTEILAUFBAU DER AUSSENWAND 2

Vertikalschnitt	Schichtdicke s in mm	Wandaufbau von innen nach außen
	12	Gipskarton
	15	OSB, $s_d \geq 2 \text{ m}$
	360	Stroh
	20	Holzfaserdämmplatte, $s_d \leq 0,1 \text{ m}$, $R \geq 0,4 \text{ (m} \cdot \text{K)/W}$
		Lattung/Luftschicht
		Wetterschale

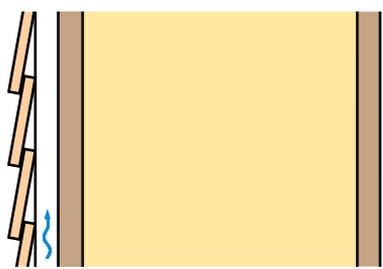


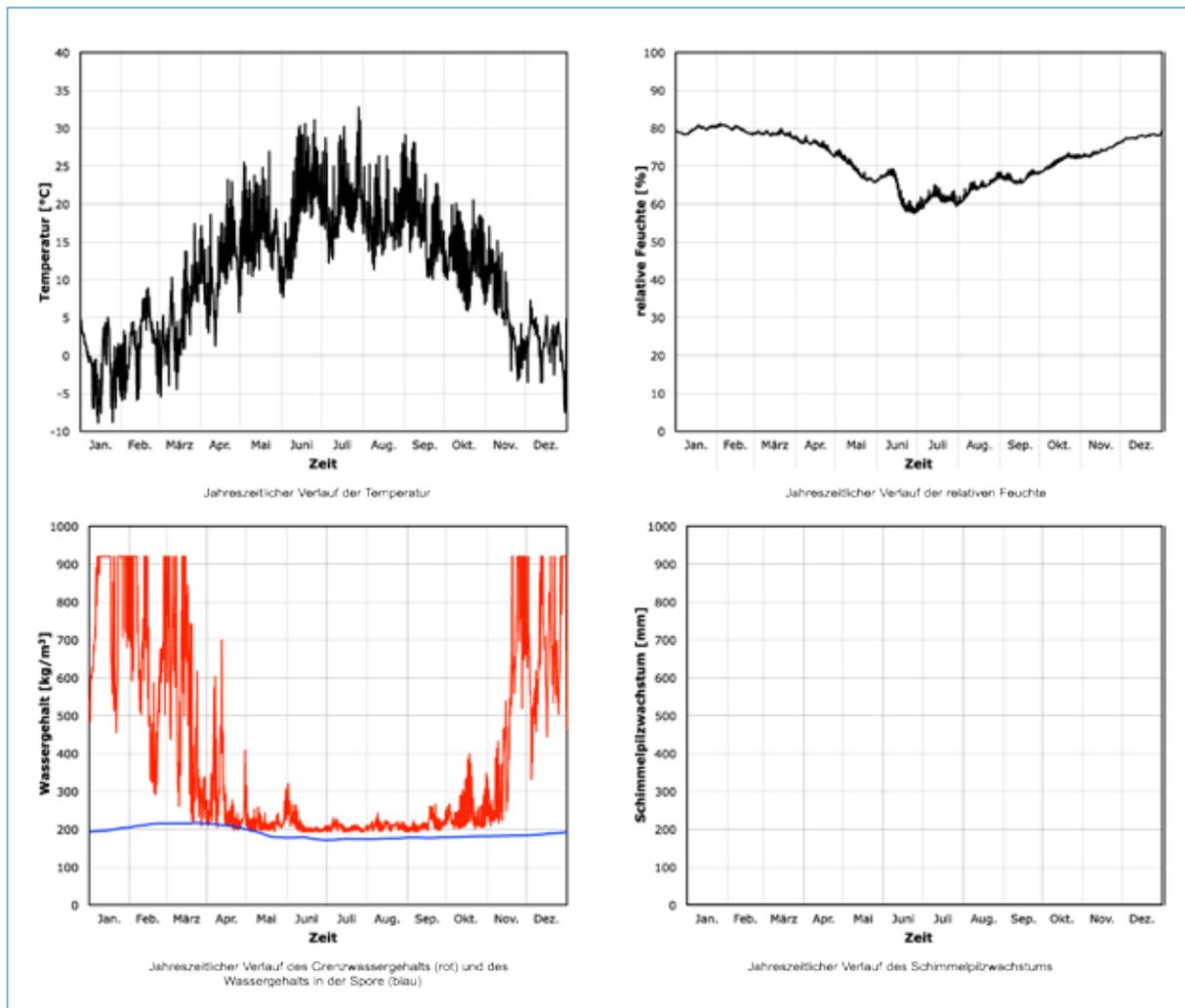
Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 2/Klatecki & Otto, 2011

Einfache direkt verputzte Strohwand mit Wetterschale (Außenwand 3)

Erweitert man Außenwand 1 mit der hinterlüfteten Wetterschale aus Variante 2 zeigt die theoretische Berechnung, für diese Variante kein Schimmelpilzrisiko (Abbildung „Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 3“, Seite 23 unten). Das rechnerische Feuchte- und Schimmelproblem resultiert also offenbar im Wesentlichen aus der Schlagregenbelastung und nicht unbedingt aus einer zu diffusionsoffenen Bauweise.

VERTIKALSCHNITT UND BAUTEILAUFBAU DER AUSSENWAND 3

Vertikalschnitt	Schichtdicke s in mm	Wandaufbau von innen nach außen
	40	Lehmputz, $s_d \sim 0,5$ m
	360	Stroh
	40	Lehmputz, $s_d \sim 0,5$ m
		Lattung/Luftschicht
		Wetterschale



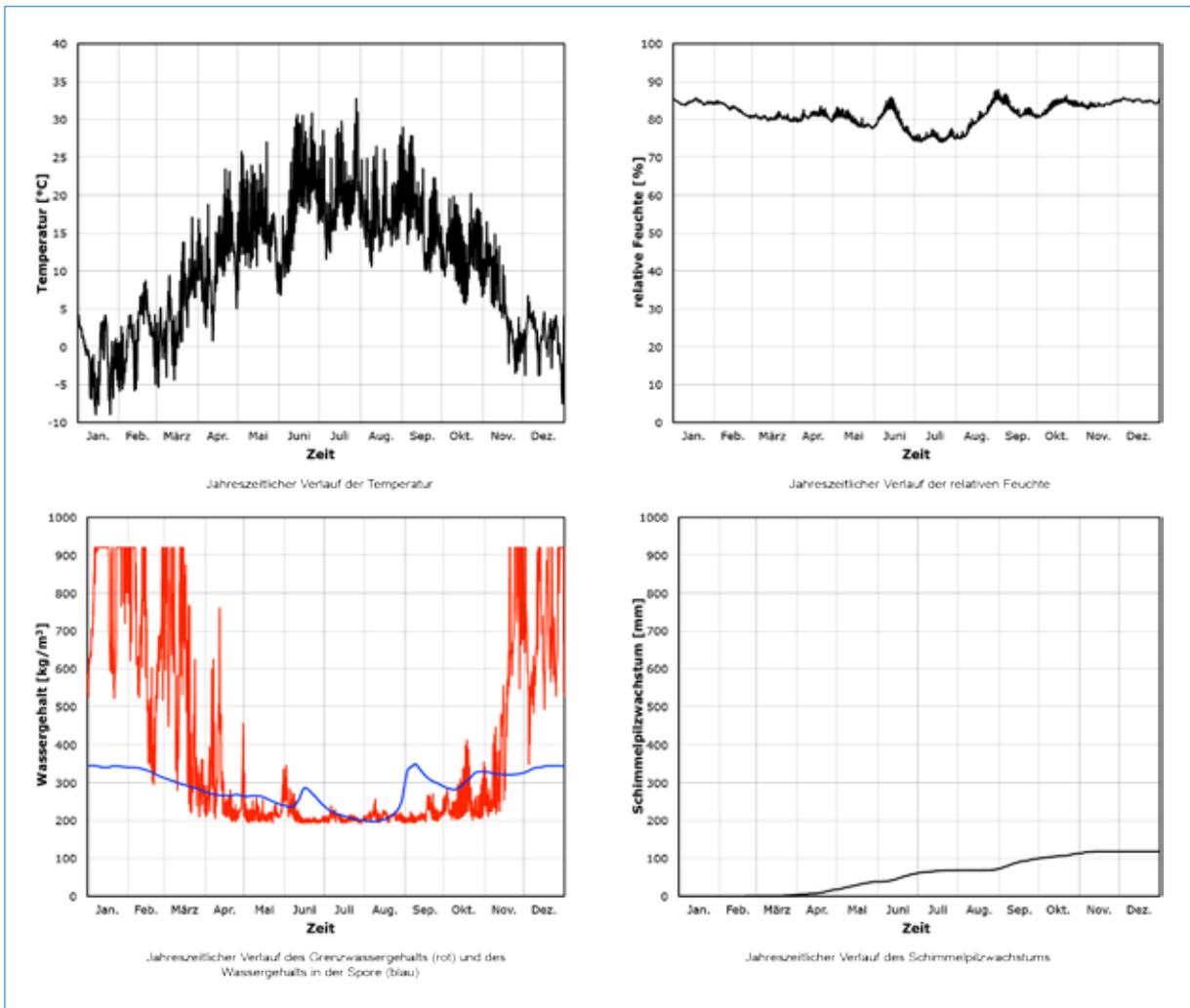
Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 3/Klatecki & Otto, 2011

Einfache direkt verputzte Strohwand mit Hydrophobierung (Außenwand 4)

Verwendet man anstelle einer vorgehängten Wetterschale einen hydrophobierenden Anstrich, ergeben die Berechnungen auf ein Schimmelpilzwachstum 120 mm. Nach Einschätzung von Fachleuten könnte dieser Wert noch im Unschärfbereich der Vorhersagemethode liegen. Unter günstigen Klimabedingungen kann daher von einer Tauglichkeit eines solchen Aufbaus ausgegangen werden. Bei Anhebung des s_d -Wertes innen um 1,0 m verringert sich das berechnete Wachstum um ca. 10 %, bei einer weiteren Anhebung um 1,0 m um weitere 10 %.

VERTIKALSCHNITT UND BAUTEILAUFBAU DER AUSSENWAND 4

Vertikalschnitt	Schichtdicke s in mm	Wandaufbau von innen nach außen
	40	Lehmputz, $s_d \sim 0,5$ m
	360	Stroh
	40	Kalkputz mit hydrophobierendem Anstrich, $s_d \leq 0,5$ m

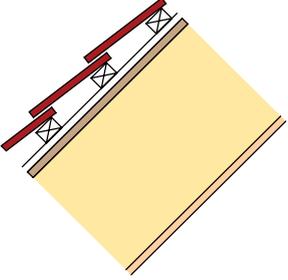


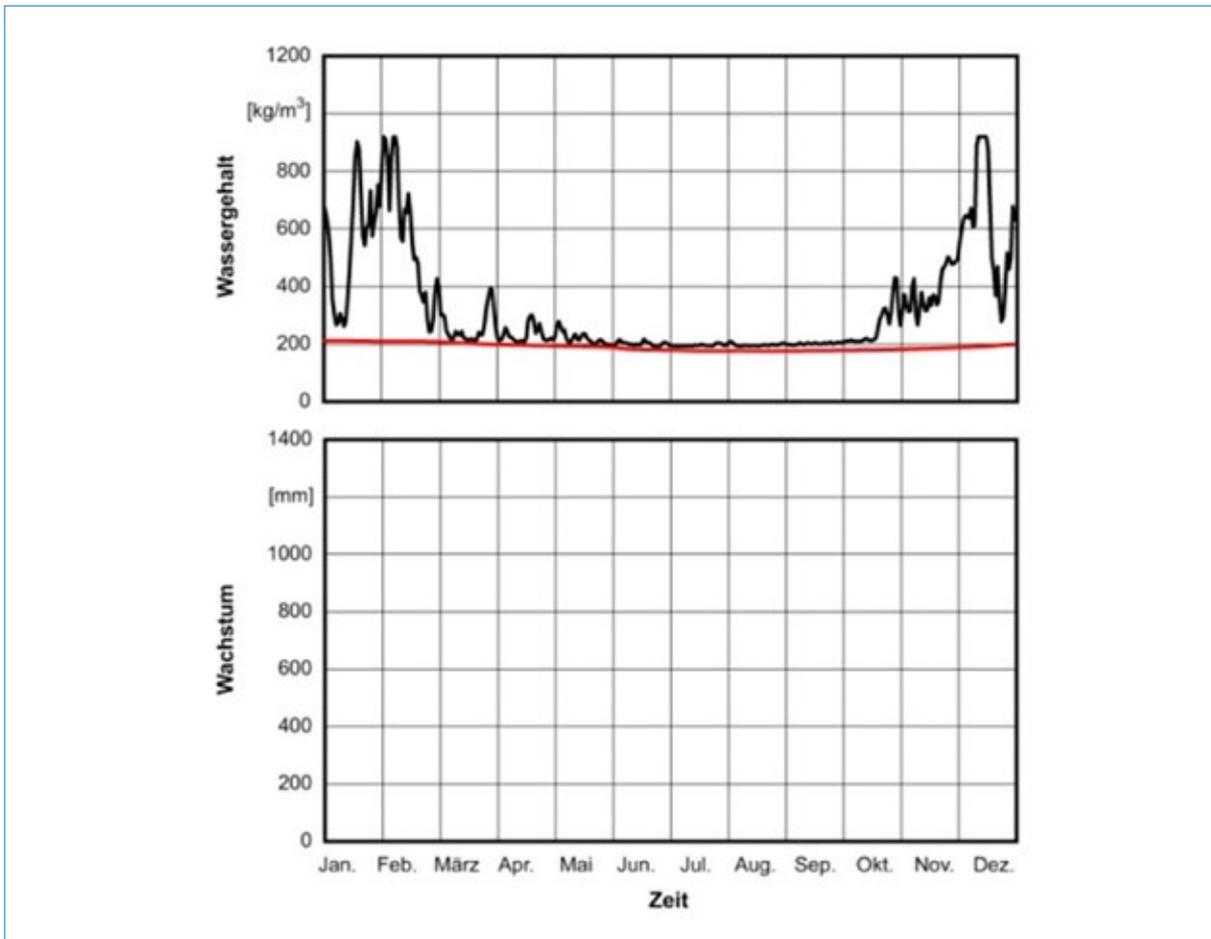
Schimmelpilzrisikovorhersage Außenwand 4/Klatecki & Otto, 2011

Dachkonstruktion 1 gemäß Zulassung

Bei der Verwendung von Strohballen zur Dämmung eines hinterlüfteten Daches gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ist erwartungsgemäß kein Schimmelpilzwachstum zu befürchten (0 mm Schimmelpilzwachstum siehe Abbildung unten).

DACHKONSTRUKTION 1 GEMÄSS ZULASSUNG

Vertikalschnitt	Schichtdicke s in mm	Dachaufbau von innen nach außen
	21	Holzwerkstoffplatte
		Dampfbremse, $s_d \geq 2,0$ m
	360	Stroh
	20	Holzfaserdämmplatte, $s_d < 0,1$ m, $R \geq 0,4$ (m · K)/W
		Luftsicht/Konterlatte
		Dachziegel

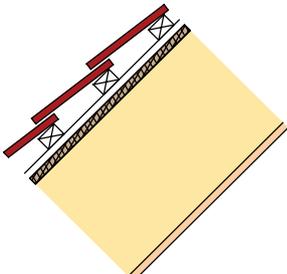


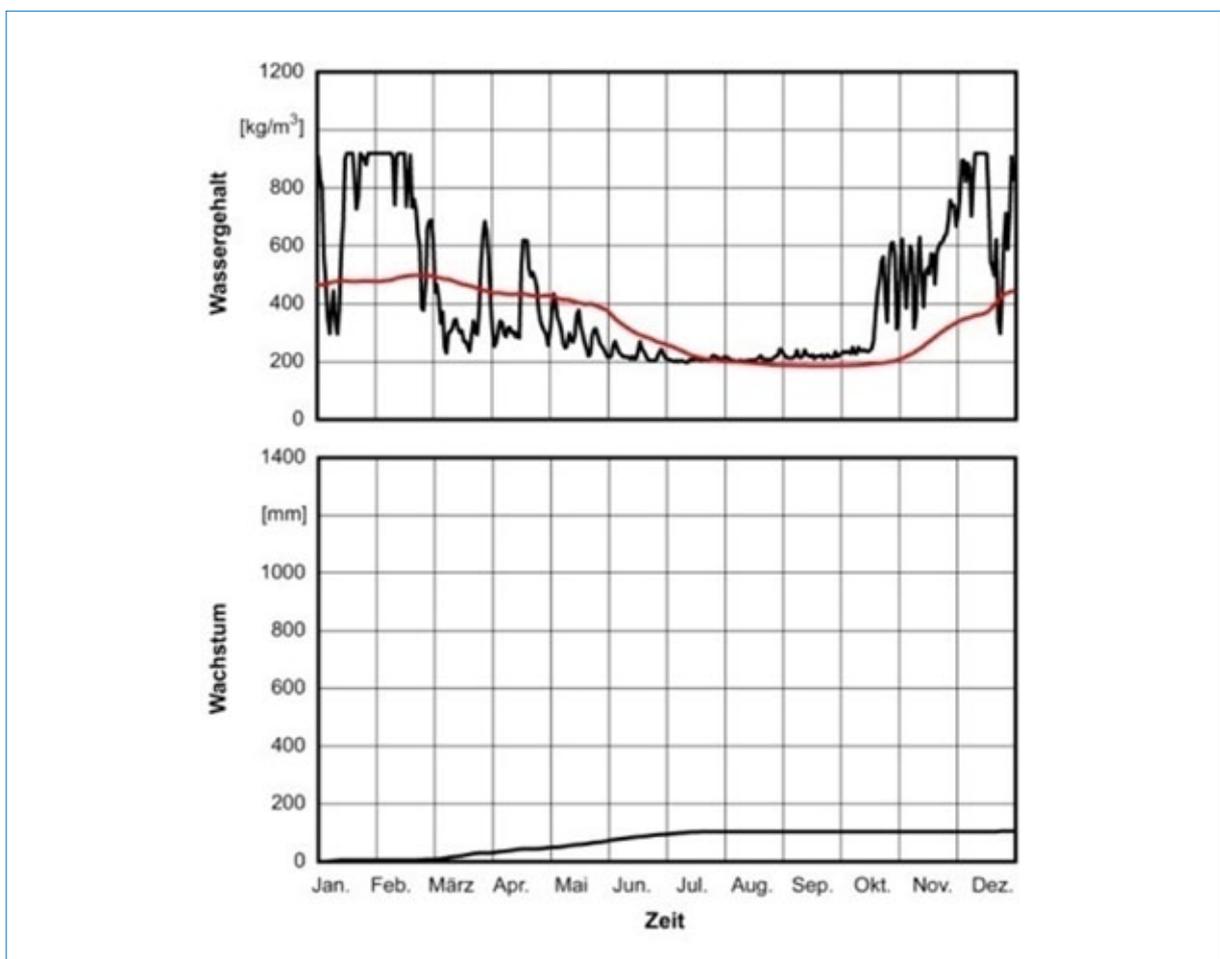
Schimmelpilzvorhersage für Dachkonstruktion 1 gemäß Zulassung/FASBA e. V., 2008

Dachkonstruktion 2 mit beidseitigem Lehmputz

Bei der nachfolgend dargestellten Konstruktion ohne Dampfbremse innen, kommt es zu einem leichten Schimmelrisiko.

DACHKONSTRUKTION 2 MIT BEIDSEITIGEM LEHMPUTZ

Vertikalschnitt	Schichtdicke s in mm	Dachaufbau von innen nach außen
	20	Lehmputz
	360	Strohballen
	20	Lehmputz
		Unterspannbahn
		Konterlattung
		Dachziegel



Schimmelpilzvorhersage Dachkonstruktion 2 beidseitig Lehmputz/FASBA e. V., 2008

FAZIT

Gemäß dem derzeitigen Stand der Forschung kann davon ausgegangen werden, dass neben der bauaufsichtlich bereits zugelassenen Varianten auch andere strohgedämmte Außenwände als feuchteschutztauglich eingestuft werden können. Möglich ist ein direktes Verputzen mit anderen als in der Zulassung aufgeführten Wasserdampfdiffusionswiderständen von innen $s_{d_i} \geq 2$ m und außen $s_{d_e} \leq 0,1$ m. Gleiche Berechnungen, wie in den Zulassungsuntersuchungen zeigen, dass ein Verputzen mit beidseitig etwa gleichen Wasserdampfdiffusionswiderständen von ca. $s_d = 0,3$ m bis 0,6 m zu feuchtetechnisch funktionierenden Außenwänden führen können. Ein Diffusionswiderstandsgefälle von innen nach außen bringt weitere Vorteile mit sich und verbessert die Tauglichkeit, ist aber nicht zwingend erforderlich. Problematisch bleibt der Einfluss von Schlagregen. Durch die Ausbildung eines ausreichenden Regenschutzes, beispielsweise in Form eines (Vordaches, Balkons oder am besten einer hinterlüfteten Wetterschale) können direkt verputzte Strohballen ohne Schimmelrisiko ausgeführt werden. Ist von einer mittleren bis schwachen Schlagregenbelastung auszugehen, könnten Strohballen direkt verputzt werden, wenn sie auf der Außenseite zusätzlich einen hydrophobierenden Anstrich erhalten. Bei starken Schlagregenbelastungen ist von einer direkten Verputzung, ohne Vorhangsfassade oder ähnlich wirksamen konstruktiven Schutz abzuraten.

Eine Dachkonstruktion gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ, Beispiel 1, Seite 25) bleibt eindeutig schimmelfrei. Bei einer Konstruktion ohne Dampfbremse innen, Überdämmung außen sowie einer Unterspannbahn mit einem s_{d_i} -Wert von 0,2 m kommt es zu einem leichten Schimmelrisiko, welches nach heutigen Erkenntnissen jedoch noch im Unschärfbereich der Nachweismethode liegt.

Weitere Schimmelrisikobetrachtungen finden sich in FASBA e.V., 2008.

4.5 Lasttragendes Bauen mit Stroh

Der lasttragende Einsatz von Strohballen könnte weitere Vorteile bezüglich der Ökobilanz eines Gebäudes bringen. Wird der Holzanteil eines Strohballenbauteils minimiert oder auf null gesetzt verringern sich außerdem mögliche Probleme beim Zusammenwirken der sehr weichen Ballen mit dem eher starren Holz. Auch Kostenvorteile sind denkbar.

Weltweit am häufigsten werden Strohballen vermutlich als überdimensionaler, tragender Mauerstein eingesetzt. Ungeachtet dessen, stehen ein fundierter wissenschaftlicher Erklärungsansatz für die Tragwirkung und eine praxistaugliche Bemessung noch aus. Auch ein mehrjähriges Forschungsvorhaben des Fachverbandes Strohballenbau Deutschland e.V.

konnte nur eingeschränkt und für Einzelfälle taugliche Erklärungsansätze liefern (FASBA e.V., 2008 sowie in Krick & Minke, 2009).

Eine Sonderstellung nimmt das lasttragende Bauen mit Großballen ein, welches der auf diesem Gebiet weltweit führende Schweizer Architekt und Pionier Werner Schmidt seit mehreren Jahren in der Praxis erfolgreich umsetzt. Er kann sich dabei auf einige selbst durchgeführte Baustofftests bezüglich des Tragverhaltens unter vertikaler Belastung stützen und mehrere erfolgreich umgesetzte Gebäude vorweisen. Bisheriger Höhepunkt ist der Bau eines 3-geschossigen, lasttragenden Strohballenbaus mit über 1 m dicken Wänden.

Inwieweit sich der wesentlich höhere Materialeinsatz für solche dicken Ballenwände, einschließlich der für dieses Baukonzept benötigten energieaufwendigen Holzwerkstoffe aus Sicht einer Gesamtökobilanz lohnt, bleibt offen. Großballen sind nicht nur voluminöser als Kleinballen sondern haben auch etwa die doppelte Rohdichte. Bisherige Wärmeleitfähigkeitsmessungen an höher verdichteten Strohproben zeigen, dass die Wärmeleitfähigkeit stark ansteigen kann. Für moderne Quaderballen steht eine Prüfung der Wärmeleitfähigkeit bzw. des Wärmedurchlasswiderstands noch aus, es ist aber anzunehmen, dass die Wärmeleitfähigkeit für Großballen ungünstiger als für Kleinballen ist.



4.6 Verbleibender Forschungs- und Entwicklungsbedarf (FuE)

4.6.1 Strohgedämmte Wände in bis zu 5-geschossigen Gebäuden

Nach derzeitigem Wissensstand und gemäß der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist Stroh als Dämmstoff nur für Gebäude geringer Höhe, d.h. für Gebäude bis zur Gebäudeklasse 3, einsetzbar. Um auch höhere Gebäude mit Stroh dämmen zu können ist in Geltungsbereichen von Musterbauordnung angelehnten Landesbauordnungen eine strohballengedämmte Konstruktion denkbar, die als gleichwertig zu den in der Musterholzbaurichtlinie (M-HFHolzR, 2004) festgelegten hochfeuerhemmenden Konstruktionen mit nichtbrennbarer Dämmung angesehen werden kann. Durch die vorgeschriebenen brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen, wird während eines Brandes eine Entzündung der Holzkonstruktion über 60 Minuten verhindert. Hosser & Kampmeier zeigen das solche Wandaufbauten in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 ohne Sicherheitseinbußen auch mit brennbaren Dämmungen ausgeführt werden können (Hosser & Kampmeier, 2007).

In einem seit Anfang 2011 laufenden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben soll der Nachweis erbracht werden, ob auch eine direkt mit Lehm- oder Kalkputz verkleidete strohgedämmte Wand diese Sicherheitsstandards einhält.

4.6.2 Biohygrothermisches Verhalten

Das in Kapitel 4.4.1 dargestellte Schimmelpilzrisiko kann noch nicht für alle gewünschten Aufbauten zufriedenstellen. Forschungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Methodik zur Berechnung dieses Risikos. Des Weiteren besteht Bedarf Bekleidungen zu entwickeln, die alle Ansprüche gut erfüllen. Bei Innenputzen aus Lehm wären Produkte mit höherem Wasserdampfdiffusionswiderstand interessant. Auf der Außenseite ideal ist ein hochdiffusionsoffener Kalkputz mit regenabweisenden Eigenschaften oder sogar ein solcher Lehmputz der darüber hinaus eine ausreichende Wetterfestigkeit aufweist.

Neue mikrobiologische und messtechnische Untersuchungen an gebauten Wänden können deren tatsächliches biohygrothermisches Verhalten genauer charakterisieren.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht im Bereich der pflanzlichen Eigenschaften des Rohstoffes für die Strohballen sowie der Ballenherstellung. Ziel sind dabei maßgenaue, formhaltige und zuverlässig goldgelbe Ballen, die ein möglichst geringes Pilzbefallrisiko aufweisen.

4.6.3 Lasttragendes Bauen

Für den Tauglichkeitsnachweis von lasttragenden Strohballenkonstruktionen aus Klein- oder Großballen können insgesamt folgende Problemfelder benannt werden:

1. Aufstellen eines Funktionsmodells der Trag- und Aussteifungswirkung
2. Durchführbarkeit von Prüfaufbauten
3. Mechanische Belastbarkeit und Sicherheit
4. Langzeitverhalten von Strohballen bezüglich Kriechen und Relaxation
5. Art der Ballenherstellung einschließlich Qualitätssicherung für garantierbare mechanische Eigenschaften
6. Umfang eines möglichen, absicherbaren Anwendungsbereichs (z. B. nur 1-geschossig nachweisbar)
7. Minimierung von Verformungen und Setzungen

Ob weitere Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen zur Lösung dieser Problemfelder und zur Ermöglichung des lasttragenden Einsatzes von Strohballen angezeigt sind, ist davon abhängig, ob die erhofften Vorteile dieser Konstruktionsart relevant erscheinen und sich realistisch umsetzen lassen.

ERHOFFTER VORTEIL: BESSERE ÖKOBILANZ

Steht Bauholz in nachhaltiger Form in ausreichender Menge zur Verfügung, ist seine Verwendung als Baustoff aus ökologischer Sicht begrüßenswert. Nach allgemeiner Einschätzung ist dies in Deutschland im Gegensatz zu vielen anderen Regionen der Welt noch der Fall. Eine Substitution des langsam nachwachsenden Holzes durch schnell nachwachsendes Stroh ist aus ökologischer Sicht sinnvoll, wenn Letzteres erhebliche Verbesserungen der Ökobilanz des Bauteils mit sich bringt. Da auch strohgedämmte Gebäude in Dach, Decken und anschließenden Bauteilen Holz enthalten, lässt sich die Gesamtmenge der konstruktiv erforderlichen Holzbauteile nur bis auf ein bestimmtes Maß gegenüber der mit Stroh ausgefachten Holzbauweise reduzieren. Bei sehr kleinen 1-geschossigen Bauten ist eine Reduktion um etwa 50 %, bei 2-geschossigen Gebäuden lediglich um bis zu 20 % denkbar.

ERHOFFTER VORTEIL: KOSTENREDUZIERUNG

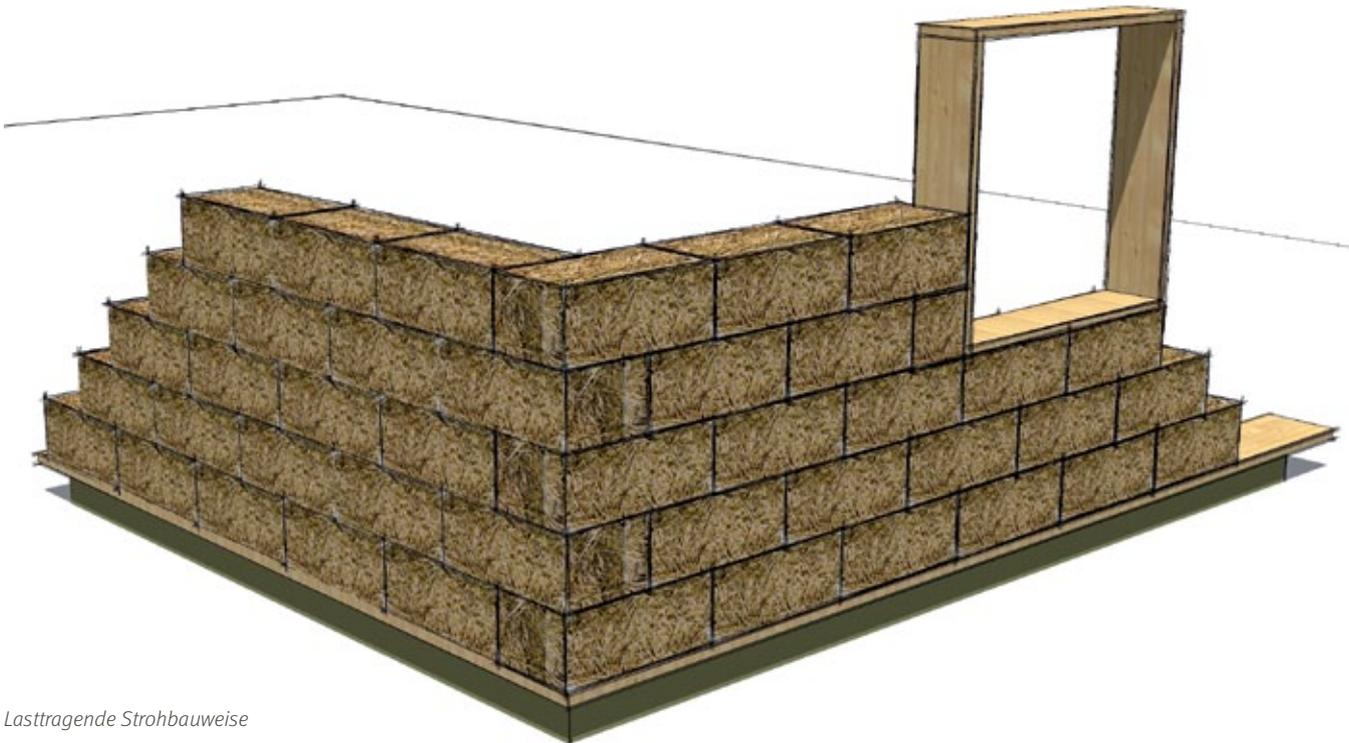
Vergleicht man die Kosten für lasttragende Wände nach dem System von amazonils mit denen für die in Deutschland übliche ausfachende Strohholzbauweise, ergibt sich ein nur geringer Kostenvorteil von durchschnittlich weniger als 10 % (SB Leonardo Group 2009). Da der Anteil der Wandkosten an den Gesamtbaukosten üblicherweise unter 20 % liegt, ergibt sich rechnerisch ein Gesamtkostenvorteil von ca. 2 %.

ERHOFFTER VORTEIL: BAUPRAKTISCHE VEREINFACHUNG

Ein baupraktischer Nachteil der ausfachenden Ausführungsart liegt in dem vielfachen Zusammentreffen des sehr weichen Stroh mit dem starren Holz. Maßlichkeiten müssen planerisch gestaltet sein, Übergänge müssen lückenlos und Anschlüsse von Putzen und Bekleidungen spannungsfrei ausgeführt werden. Dem gegenüber sind lasttragende Bauteile aus Stroh, jedoch bezüglich der Formhaltigkeit, Genauigkeit und Belastbarkeit aufwendiger herzustellen als bloße Ausfachungen in Holzkonstruktionen. In einer Gesamtbilanz für Kosten- und Aufwand dürften sich Vor- und Nachteile weitgehend ausgleichen.

FAZIT

Die lasttragende Konstruktionsart könnte, eine sorgfältige bautechnische Entwicklung und wissenschaftliche Nachweisführung ihrer Tauglichkeit vorausgesetzt, für kleine Gebäude leichte Vorteile gegenüber der ausfachenden Konstruktionsart in den Bereichen Ökobilanz, Kosten und baupraktische Machbarkeit aufweisen. International können gerade aus Regionen mit geringem Holzvorkommen weitere, Verbesserungen der lasttragenden Konstruktionsart erwartet werden.



Lasttragende Strohbaueise

5 BAUAUFSICHTLICHE ANERKENNUNG UND GENEHMIGUNGSFÄHIGKEIT

5.1 Baurechtliche Einordnung

Die bauaufsichtliche Anerkennung von unbehandelten pflanzlichen Dämmstoffen befindet sich in Deutschland noch im Aufbau. Neben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Baustrohballen (Z-23.11-1595, 2009), existieren einige weitere Zulassungen für Dämmstoffe aus Hanf, Wiesengras, Seegrass, Hobelspäne etc. Bei diesen ist der bauphysikalisch als tauglich einzustufende Anwendungsbereich gegenüber mikrobiell resistenten, z. B. mineralischen Dämmstoffen stets eingeschränkt und bedarf einer sorgfältigen Einhaltung. Wie im Kapitel 4 ausgeführt, müssen strohgedämmte Bauteile von innen und außen ausreichend vor Feuchteintrag durch Wasserdampfdiffusion und Konvektion sowie vor Schlagregen geschützt werden. Dies ist einfach zu gewährleisten, da eine Strohdämmung von außen leicht zu überdämmen ist. Sind erhöhte Brandschutzanforderungen einzuhalten, können die Bekleidungen der Strohbauten so ausgeführt werden, dass die Feuerwiderstandsklasse „feuerhemmend“ (F30-DIN 4102) erreicht wird

5.2 Genehmigung entsprechend den allgemeinen Zulassungsbestimmungen

Strohgedämmte Holzbauten können bezüglich ihrer baurechtlichen Anforderungen und Möglichkeiten zunächst als Holzbauten mit brennbarer Dämmung eingestuft werden.

Werden Strohbauten als bauaufsichtlich zugelassener Dämmstoff „Baustrohballen“ eingesetzt und der Anwendungsbereich der zugehörigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-23.11-1595 eingehalten, können solche Gebäude, auf dem üblichen Wege beantragt und genehmigt werden.

In den jeweiligen Landesbauordnungen ist festgelegt, dass nur geregelte bzw. bauaufsichtlich zugelassene Bauprodukte eingesetzt werden dürfen. Der Dämmstoff „Baustrohballen“ ist ein zulässiges Bauprodukt, gemäß § 17 (3) Satz 1 Nr. 1 und § 18 Musterbauordnung (MBO, 2008). Die erforderliche Kennzeichnung erfolgt üblicherweise nicht direkt auf den einzelnen Ballen, sondern auf dem Lieferschein.

Für eine Genehmigung ist im Allgemeinen ein entsprechender Antrag beim zuständigen Bauordnungsamt (Untere Bauaufsichtsbehörde) zu stellen, der den Bestimmungen der jeweiligen Landesbauordnung genügt. In der Regel kann ein vereinfachtes Verfahren gewählt werden, in dem

nicht mehr die Einhaltung aller Anforderungen durch das Bauamt geprüft wird. Für kleine Gebäude besteht seit vielen Jahren die Möglichkeit, die Bauvorlagen nur als Mitteilung an das Bauamt einzureichen. Zu beachten ist allerdings, dass diese vereinfachten Verfahren wie auch Genehmigungsfreistellungen nicht von der Einhaltung aller Anforderungen entbinden, sondern die Verantwortung hierfür lediglich vollständig auf den Entwurfsverfasser übergeht. Durch die fehlende behördliche Prüfung entfallen Kontrolle, Korrektur und Mitverantwortung durch das Amt. Abweichungen jeglicher Art werden getrennt von diesem allgemeinen Genehmigungsverfahren behandelt.

5.3 Genehmigungsfähigkeit bei Abweichungen

Weicht die gewählte Konstruktions- oder Ausführungsart von dem derzeit anerkannten Anwendungsbereich ab oder werden keine „Baustrohballen“ eingesetzt, so kann für die Genehmigung eines solchen Gebäudes bei der obersten Bauaufsicht des jeweiligen Bundeslandes eine Zustimmung im Einzelfall (§ 20 MBO 2008) beantragt werden. Im Folgenden werden bekannte Abweichungen dargestellt.

Zustimmungen im Einzelfall sind unabhängig von dem normalen örtlichen Genehmigungsverfahren direkt an die oberste Bauaufsichtsbehörde zu richten.



Dachstrohbauten mit Lehmputzlage und Unterspannbahn

5.3.1 Direktverputz

Abweichend von dem derzeit in der deutschen Zulassung anerkannten Anwendungsbereich (Stand 2011) hat sich in Fortführung der mehr als hundert Jahre alten traditionellen Strohballenbauweise weltweit das direkte Aufbringen von Kalk- oder Lehmputzen durchgesetzt. Das direkte Verputzen stellt das einfachste Verfahren zur Bekleidung von Strohballenwänden dar. Der Strohballen dient hierbei als Dämmstoff und zusammen mit dem Putz als Raumabschluss. Beim direkten Verputzen entsteht eine Kontur verfolgende, Lückenfüllende Bekleidung, die sporadische, oberflächliche Tauwasserbildungen durch kapillare Weiterleitung besonders zuverlässig verhindert und als mineralisches Material sowohl die Brennbarkeit erheblich herabsetzt als auch einen Feuerwiderstand von 30 Minuten und mehr gewährleisten kann.



Auftragen einer Kalkputzschicht auf die Strohdämmung mittels Putzmaschine

Aus den Bestimmungen für die Ausführung der momentanen Fassungen der Z-23.11-1595 ergibt sich, dass eine direkt verputzte Strohballenaußenwand nicht ohne Weiteres zulässig ist. Der dort für die Innenseite festgelegte Wasserdampfdiffusionswiderstand von $s_d > 2,0$ m ist mit einem strohballentauglichen Putz aus Lehm oder Kalk nur schwer herstellbar. Für die Außenseite wurden ein $s_d < 0,1$ m, eine Überdämmung des Strohs mit $R > 0,4$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/W und eine vorgehängte, hinterlüftete Wetterschale festgelegt. Ein Direktverputz z. B. mit einem Luftkalk kann den geforderten s_d -Wert einhalten, eine Überdämmung und eine Wetterschale sind so jedoch nicht gegeben. Für solche oder vergleichbare Wandaufbauten muss eine Tauglichkeit extra nachgewiesen und per Zustimmung im Einzelfall genehmigt werden. Nach einem Gutachten des Ingenieurbüros für Bauphysik (Dr. Otto und Klatecki GmbH) ist eine Tauglichkeit einer innen und außen direkt verputzten strohgedämmten

Außenwand aufzeigbar (siehe Kapitel 4.4). Auf Basis dieser Erkenntnisse kann in den kommenden Jahren eine Erweiterung der bestehenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung erfolgen, sodass zukünftig auch von einer Genehmigungsfähigkeit solcher Bauteile ohne zusätzliche Verfahren ausgegangen werden kann.

5.3.2 Verwendung von Strohballen ohne bauaufsichtliche Zulassung

Wärmedämmstoffe erfüllen wesentliche Aufgaben in Außenbauteilen von Gebäuden. Aufgrund von in der Energieeinsparverordnung formulierten gesetzlichen Regelungen ist ihrer jeweiligen Wärmedämmleistung eine öffentlich-rechtliche Bedeutung beizumessen. Die Nichteinhaltung eines Mindestwertes kann den Verlust der Genehmigungsfähigkeit mit sich bringen. Überall dort, wo ein Bauteil Räume verschiedener Temperaturen trennt, muss dieses auch daraus resultierenden Feuchtebelastungen standhalten können.

Aufgrund der in der Praxis weltweit seit über hundert Jahren gesammelten Erfahrungen mit Stroh als Dämm- und Baustoff kann grundsätzlich zwar von einer weitgehenden Tauglichkeit ausgegangen werden. Beim Bau eines Gebäudes sind aufgrund von öffentlich-rechtlichen Anforderungen und privatrechtlichen Verpflichtungen jedoch von allen Beteiligten erhebliche Verantwortungen wahrzunehmen. Werden z. B. keine offiziell zugelassenen Strohballen verwendet, muss deren Eignung gemäß Landesbauordnung im Rahmen eines Zustimmung-im-Einzelfallverfahrens geprüft und verantwortet werden. Bei Verwendung von zugelassenen Baustrohballen eines offiziellen Herstellers ergibt sich demgegenüber eine geschlossene Verantwortungskette, von der Herstellung des Baustoffs, einer fachgerechten Planung und Verwendung.

Durch ein solches Verfahren können alle Rechtsansprüche und Verpflichtungen vollständig erfüllt werden, sodass es eine vollwertige Alternative zur Verwendung eines offiziell hergestellten Baustoffs darstellt. In der Regel bedarf es jedoch eines erheblichen Zeit- und Kostenaufwands einschließlich der Beteiligung einer sachkundiger Personen.

5.3.3 Lasttragendes Bauen

Grundsätzlich ist eine Verwendung von Strohballen auch mit einer lasttragenden Funktion möglich (siehe Kapitel 4.5). Hierfür sind ein entsprechender Tauglichkeitsnachweis sowie ein anforderungsgerechter Einbau erforderlich. Für die Durchführung eines solchen Bauvorhabens ist ein Antrag auf Zustimmung im Einzelfall zu stellen.

6 STROHGEDÄMMTE BAUTEILE

6.1 Strohoptimierte Bohlenständerkonstruktionen

Beide hier dargestellte Varianten basieren auf einem Bohlenständerwerk in Dicke der Dämmstärke (Ballendicke). Die Konstruktionsart entspricht im Wesentlichen dem Holzrahmen- bzw. Holztafelbau, wobei die Ballen entweder direkt verputzt oder mit Platten bekleidet werden. Bei der plattenbekleideten Konstruktionsart erfolgt die Aussteifung und innere Bekleidung über eine Holzwerkstoffplatte oder eine Diagonalverschalung, bei der direkt verputzten Ausführungsart über eine im Stroh eingefräste zimmermannsgerecht ausgeführte Strebe.

Der Stützenachsabstand beträgt bei der plattenbekleideten Ausführungsart vorzugsweise einen Bruchteil der horizontalen Plattenabmessungen, je nach Zulassung z. B. 62,5 cm oder 83,3 cm. Bei der direkt verputzten Ausführungsart kann der Abstand an die Abmessungen der Ballen angepasst werden und stellt insofern eine Erleichterung für den lückenlosen Einbau der Strohballen dar. Er kann als liches Zwischenmaß von 96 cm (2 Ballenbreiten minus ca. 2 cm infolge Komprimierung) betragen.



Innere Bekleidung/Aussteifungsmöglichkeiten: links Holzwerkstoffplatte (z. B. 3-Schichtplatte), rechts Holzstrebe

6.1.1 Plattenverkleidete strohgedämmte Bohlenständerwand



3D-Bild Hausecke einer verschalten, plattenbekleideten Außenwand

Die weitere Detaillierung und Konstruktion der plattenbekleideten Ausführungsart ist in weiten Teilen identisch mit der allgemein bekannten Holztafelbauweise. Weitere Informationen hierzu können der Fachliteratur sowie der FNR-Broschüre „Holzhauskonzepte“ entnommen werden.

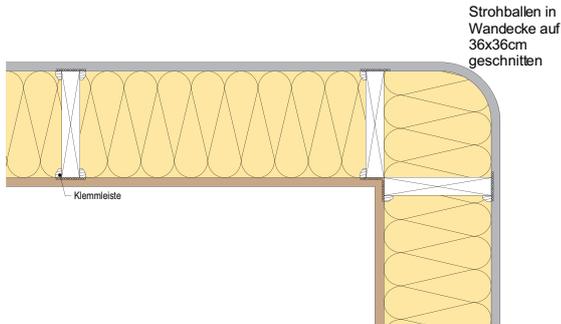
6.1.2 Direkt verputzte strohgedämmte Bohlenständerwand



3D-Bild Putz auf Stroh mit runden Laibungen

Durch das direkte Verputzen der Strohdämmung kann auf weitere Bekleidungsschichten verzichtet werden. Auf der Außenseite ermöglicht der Direktverputz eine lückenlose, Kontur verfolgende Verkleidung, die für ununterbrochenen kapillaren Feuchteabtransport sorgt. Innenseitig sorgt ein auf der Strohdämmung angebrachter Lehmputz für ein angenehmes und gesundes Raumklima.

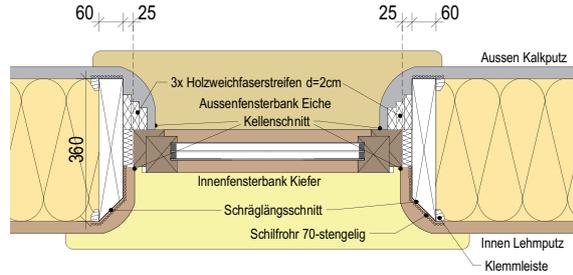
Der Abstand der Bohlenständer beträgt üblicherweise die zweifache Breite eines Ballens, wenn die Ballen aufrecht stehend nebeneinander in ein Gefach eingesetzt werden. Werden die Ballen aufrecht liegend eingebaut, entspricht er der Ballenlänge. Um die Ballen im Gefach zu fixieren, werden an den vier Kanten eines Gefachs angefaste Klemmleisten von ca. 3 x 5 cm oder 4 x 6 cm befestigt.



Horizontalschnitt einer direkt verputzten Wandecke

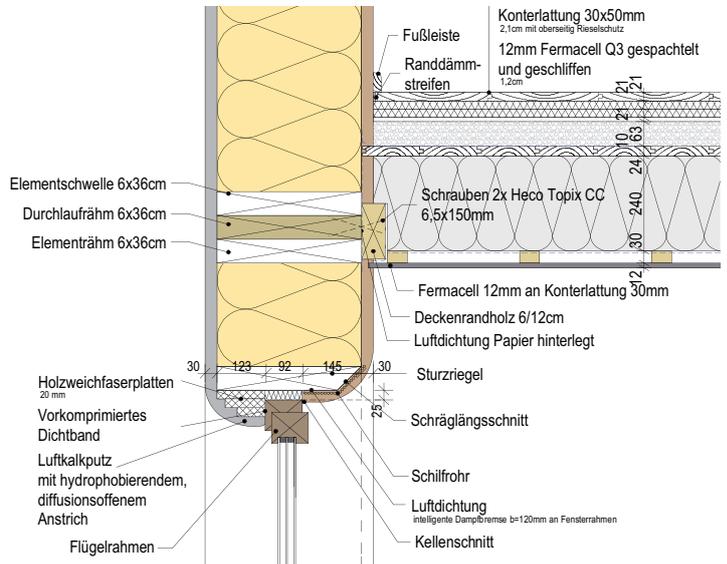
Für die Ausbildung der Gebäudeecke gibt es mehrere Möglichkeiten. Bei der oben gezeigten Variante besteht der Vorteil, dass beide lastaufnehmenden Stützen nicht mit ihrer flachen Seite bündig über der Fundamentkante stehen. Horizontalkräfte in eventuell auf die Ecke zulauenden Diagonalstreben können so besser ins Fundament abgeleitet werden. Eine in dieser Art ausgebildete Ecke lässt sich besonders gut gerundet ausführen, was dem Haus ein weiches, individuelles Aussehen verleiht und speziell für weichen Luftkalkputz eine beschädigungsärmere Eckausbildung ermöglicht. Dem gegenüber steht der Mehraufwand für die Ausfachung des zusätzlichen Eckgefachs, welches mit besonders zu befestigenden, extra zugeschnittenen Ballen auszuführen ist.

Eine Fensterlaibung, wie sie detailliert in der Abbildung rechts oben dargestellt wird, nutzt die Ausrundbarkeit der Gefachkanten für besseren Lichteinfall und eine wärmeschutztechnisch optimale Überdämmung des Fensterrahmens von außen. An den seitlichen und oberen Innenkanten des Fenstergfachs erhalten die Bohlenständer einen beinahe auf null auslaufenden Schrägschnitt im 45°-Winkel, die weitere Rundungsbildung erfolgt mithilfe des Lehmputzes. Vor dem Verputzen des Holzes wird ein Putzträger aufgebracht, ein enges Schilfrohr oder 10 mm dicke Holzfaserdämmplatten. Auf der Außenseite wird der Fensterrahmen mit 2–4 Lagen 20 mm dicken stufig dimensionierten Holzfaserdämmplatten überdeckt und anschließend mithilfe des Außenputzes, hier Luftkalkputz gerundet verputzt.



Horizontalschnitt Fenster

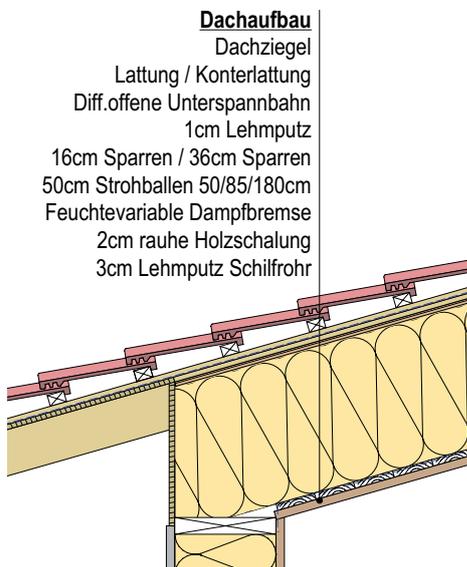
Der unten gezeigte Deckenanschluss zeigt eine Ausführung, bei welcher vorgefertigte Strohwandteile auf der Baustelle zusammenmontiert werden. Um den einzelnen Teilen einen festen Verband zu geben, wird auf die Elementrähme der 2–4 m kurzen Wandelemente ein bis zu 12 m langes Durchlaufrähm aufgebracht. Dieses ist seinerseits Basis für die Elementschwelle des nächsten Geschosses. Das Auflager der halb ausgeklinkten (Mit einer Schraube gegen Aufspalten sichern!) Deckenbalken wird mithilfe von Holzbauschrauben am Rähmpaket befestigt. Im Beispiel ist das Randholz aufgrund der aus Schallschutzgründen verkleideten und gefüllten Decke im fertigen Zustand unsichtbar. Für das Deckenaufleger sind zahlreiche andere Möglichkeiten denkbar. Neben einer guten Tragwerksausbildung ist besonders auf eine durchgehende Luftdichtung zu achten.



Deckenanschluss

6.1.3 Dachdämmung mit Strohballen

Auch Dächer lassen sich hervorragend mit Stroh dämmen. Im Prinzip gelten die gleichen Regeln wie bei Wänden. Lagebedingt kommen jedoch bei Dächern andere Außenbekleidungen zum Einsatz. Im Fall eines geneigten Daches bietet eine schuppige Dachdeckung, den Vorteil, dass sie sich gut hinterlüften lässt. Im Unterschied zu einer hinterlüfteten Außenwand herrschen jedoch an einer Dachaußenseite extremere Temperaturen. Im Sommer erhitzt die Sonne flache oder leicht geneigte Flächen stärker, in klaren Winter Nächten kühlen solche Flächen stärker ab. Daher ist eine außenseitige Überdämmung bei Dächern wichtiger als bei Wänden und kann z. B. in Form einer Holzfaserdämmplatte als Unterdach erfolgen. Um das Schimmelrisiko möglichst gering zu halten, ist eine wie in Kapitel 4.4.1 beschriebene innenseitige Dampfbremse von noch größerer Bedeutung als bei Wänden.



Vertikalschnitt Dach/Wand

Bei der Traufausbildung ist zwischen Holzbau, Gestaltung und wärmebrückenoptimierter Ausführung abzuwägen. Im oben gezeigten Beispiel wurde dem einfachen Holzbau der Vorzug gegeben. Der Sparrenkopf des 36 cm hohen Untergurts geht ohne Überdämmung bis außen durch, der dachüberstandsbildende 16 cm hohe Obergurt steht aus der Konstruktion heraus. Wie üblich ist auch hier auf einen luftdichten Übergang zwischen Wand und Dach zu achten.

6.2 Die Ausführung Schritt für Schritt

6.2.1 Vorfertigung einer direktverputzten strohgedämmten Bohlenständerwand

Die Konstruktion von Holzbauten wird häufig unter Dach vorgefertigt. So lassen sich unter geregelten Bedingungen alle Teile montieren und dann in kürzerer Zeit auf der Baustelle zusammenfügen. Auf diese Weise lassen sich auch Strohballenwände vorfertigen. Zusätzlich von Vorteil ist hierbei, dass diese im liegenden Zustand einfacher hergestellt werden können. Darüber hinaus kann auch mindestens eine erste Bekleidungsstufe, z. B. Grundputz oder Holzweichfaserplatten, aufgebracht werden. Die folgende Bilderserie zeigt die Vorfertigung einschließlich des Einbaus der Ballen.



1. Montagetisch unter einem provisorischen Vorfertigungsdach neben der Baustelle. Die ersten Holzteile einer ca. 2,8 x 4 m großen Wand werden ausgelegt: unteres Rahmenholz, Schwelle und oberes Rahmenholz.



2. An den vertikalen Elementen – den Ständern sind bereits seitlich Klemmleisten angebracht (siehe Seite 33). Die Verbindung der Ständer mit Rähm und Schwelle erfolgt hier mittels Holzbauschrauben, welche diagonal zur Faserrichtung der Ständer eingebracht werden.



3. Ansatz der Anfangsballen mittels Gleitplatten durch ein bis zwei Personen.



6. Vorbereitung des Einbaus einer diagonalen Strebe, die jedes Wandelement entweder nur zur konstruktiven Sicherung oder zur späteren Gebäudeaussteifung erhält.



4. Eindrücken der Ballen mittels Körpergewicht.



7. Einbau des ersten Endballens: Die notwendige Vorkomprimierung wird durch verkipptes Eindrücken überlanger Ballen erreicht.



5. Eindrücken eines Endballens mittels Körpergewicht und Gleitplatten durch zwei bis drei Personen. Die Längskomprimierung beträgt ca. 10 %.



8. Lückenloses Einsetzen des zweiten Endballens neben dem ersten mittels Gleitplatten.



9. Abschluss des Balleneinbaus.



12. Ausschneiden der Strebe.



10. Nachstopfen von verbliebenen Lücken, Entfernen von Ballenschnüren (nur beim gezeigten aufrecht stehenden Einbau der Ballen möglich).



13. Einbau der oberen Klemmleisten.



11. Nachrasieren der Oberfläche mit Heckenschere oder Elektrokettensäge.



14. Fertiges Wandteil. Herstellungsdauer ca. 4 Stunden.

6.2.2 Montage der vorgefertigten Wandelemente



1. Aufstellen der ersten Wand im Erdgeschoss.



3. Aufstellen der ersten Wand im Obergeschoss.



2. Aufstellen der letzten Wand im Erdgeschoss. Befestigungs- und weitere Nebenarbeiten folgen, Regenschutzplanen werden angebracht. Die Decke wird hergestellt, massive Innenwände werden gemauert. Dauer ca. 14 Tage.



4. Aufstellen der letzten Wand im Obergeschoss. Befestigungs- und weitere Nebenarbeiten folgen, sowie Regenschutzplanen werden angebracht.

6.2.3 Aufbau Dachkonstruktion



1. Auflegen von Sparren (ohne Element- Vorfertigung).



2. Einbau der Ballen zwischen die Sparren, die unterseitig eine Schalung und eine Luftdichtung erhalten haben.



3. Abschluss des Balleneinbaus.



5. Dachstrohballe mit Lehmputzlage und Unterspannbahn.



4. Aufbringen einer Lage Lehmputz.



6. Abplanen des Daches. Weitere Arbeiten im Inneren für ca. 14 Tage.

6.2.4 Lehm- und Kalkputzarbeiten auf Strohbällen



Erste Lage Luftkalkputz außen. Holzteile hier mit Putzträger aus Schilfrohr belegt.



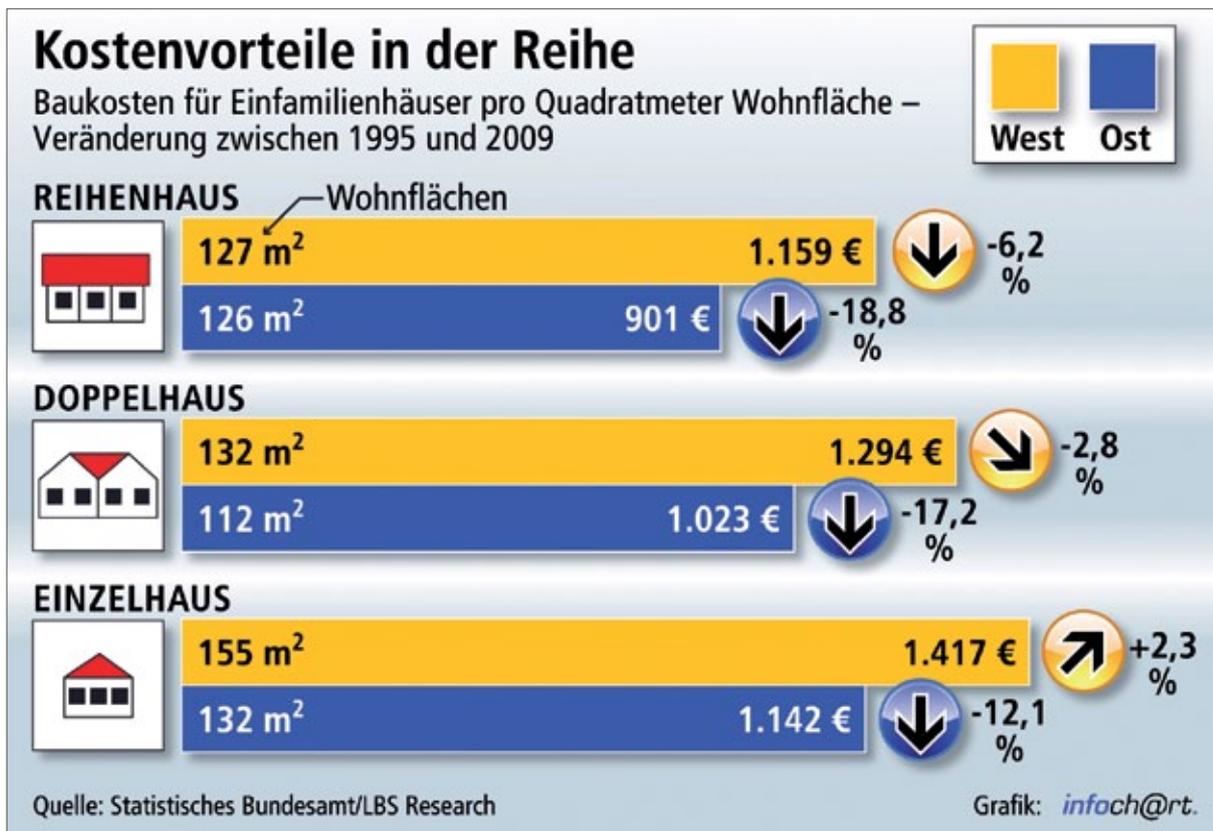
Auftrag der ersten Lage Lehmputz innen. Das Aufbringen mittels Putzmaschine hat sich bewährt, ist jedoch auch von Hand möglich.

6.3 Kosten

6.3.1 Vergleich zu herkömmlichen Gebäuden

Aus den Bau- und Planungskosten für 17 zwischen 2003 und 2010 in Deutschland erstellten strohgedämmten Gebäuden (überwiegend Einfamilienhäuser) ergibt sich inklusive Mehrwertsteuer ein Durchschnittswert von 1.539 €/m² Nettogeschossfläche (DIN 277). Schließt man vier extreme Ausreißer bei der Berechnung aus, beträgt dieser Wert 1.362 €/m². Laut statistischem Bundesamt/LBS Research kosteten Einfamilienhäuser 2009 im Durchschnitt 1.330 €/m², wobei sich die Kosten seit 1995 deutlich verringert haben und starke Unterschiede zwischen West und Ost aufweisen. Alle genannten Werte umfassen die DIN-276-Kostengruppen 300, 400 und 700.

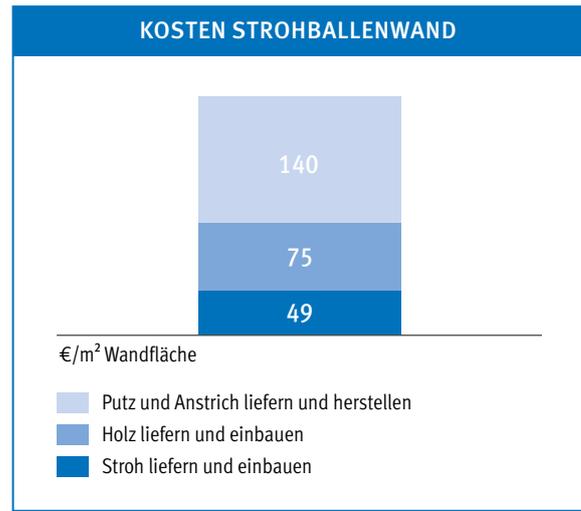
Gegenüber einem durchschnittlichen Wohnhaus bieten die Strohballenbauten zu fast gleichen Kosten einen wesentlich höheren Dämmstandard, überwiegend regionale, handwerkliche Ausführung, eine Planung vom Architekten, überwiegend regenerative Heizsysteme (Holzkessel + Pufferspeicher + Solartechnik) und in der Regel eher hochwertige Ausbaumaterialien (z. B. Lehmputz und Holz für Innenoberflächen).



Baukostenstatistik Statistisches Bundesamt/LBS Research, inklusive Mehrwertsteuer

6.3.2 Detaillierte Kostenaufstellung für eine Außenwand

Anhand der nachfolgenden Aufstellung ist zu erkennen, dass die Komplettkosten für eine typische direkt verputzte strohgedämmte Holzständerwand 263 €/m² Wandfläche betragen. Damit ist eine solche Wand, abgesehen vom hohen Dämmstandard (U-Wert ca. 0,15 W/[m²·K]), eher teurer als typische Holzrahmenwände, jedoch kostengünstiger als beispielsweise zweischalige Massivwände. Unter der Annahme, dass eine solche Wand ca. 20 % mehr als eine einfache Holzrahmenwand gleichen Dämmstandards kostet und der Anteil der Kosten für eine solche Wand an den Gesamtbaukosten bei ca. 13 % liegt, ist beim Einsatz der Strohbauweise gegenüber der Holzrahmenbauweise eine Gesamtkostensteigerung von ca. 2 % zu erwarten.



Kosten einer Strohballenwand (in €/m² Wandfläche) inklusive Mehrwertsteuer

FEINVERTEILUNG DER KOSTEN EINER STROHBALLENWAND, INKLUSIVE MEHRWERTSTEUER

Pos.	Titel	Menge	Einheit	EP	GP	€/m ²	%- Anteil
1	Baustrohballen liefern	5,73	m ³	48,10 €	275,53 €	17,32 €	7 %
2	Holz liefern	0,84	m ³	473,98 €	398,05 €	25,02 €	10 %
3	Montageschwelle montieren	3,12	m	27,89 €	87,03 €	5,47 €	2 %
4	Holzrahmen montieren und aufstellen	15,91	m ²	34,28 €	545,53 €	34,28 €	13 %
5	Streben herstellen und montieren	7,00	m	14,80 €	103,63 €	6,51 €	2 %
6	Baustrohballen einbauen	15,91	m ²	31,33 €	498,47 €	31,33 €	12 %
7	Durchlaufrähm herstellen und montieren	3,12	m	16,93 €	52,83 €	3,32 €	1 %
8	Schilfrohr auf Holz innen und außen	77,76	m	2,61 €	202,65 €	12,74 €	5 %
9	1. Lage Putz innen	15,91	m ²	18,06 €	287,44 €	18,06 €	7 %
10	2. und 3. Lage Putz innen	15,91	m ²	29,13 €	463,54 €	29,13 €	11 %
11	Putzarmierung innen	15,91	m ²	5,80 €	92,21 €	5,80 €	2 %
12	1. Lage Putz außen	15,91	m ²	15,67 €	249,38 €	15,67 €	6 %
13	2. und 3. Lage Putz außen	15,91	m ²	31,74 €	505,00 €	31,74 €	12 %
14	Putzarmierung außen	15,91	m ²	4,44 €	70,63 €	4,44 €	2 %
15	Außenwandanstrich diffusionsoffen, hydrophob	15,91	m ²	12,65 €	201,28 €	12,65 €	5 %
16	Innenanstrich Kreide oder Kasein	15,91	m ²	9,84 €	156,59 €	9,84 €	4 %
Summe						263,31 €	100 %

7 BAUSTROHBALLEN

Baustrohballen bestehen aus Getreidestrohhalm, die in landwirtschaftsüblicher Weise zu quaderförmigen Ballen gepresst sind. Als unbehandeltes, zunächst loses, pflanzliches Material ist es grundsätzlich als mikrobiell gut verwertbares, brennbares Material anzusehen. Im Rahmen der für eine Produktion eines Wärmedämmstoffs mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) gesetzlich vorgeschriebenen werkseigenen Produktionskontrolle und einer Fremdüberwachung durch ein zertifiziertes Institut wird der landwirtschaftliche Herstellungsprozess des Rohmaterials durch eine Qualitätssicherung ergänzt. Diese stellt sicher, dass das resultierende Endprodukt „Baustrohballen“ die festgesetzten Mindestanforderungen einhält und dadurch im eingebauten Zustand lange und sicher seine Funktionen erfüllt.

Bei der Verwendung von Baustrohballen als Dämmstoff ist den oben beschriebenen Eigenarten Rechnung zu tragen. Baustrohballen dürfen nicht zu feucht werden, gemäß Zulassung darf der Feuchtegehalt von 18 Masse-% und beim Einbau 15 Masse-% nicht überschreiten.

7.1 Baustrohballenverfügbarkeit

Dämmstoffe mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) können in Deutschland nur von zugelassenen Herstellern erworben werden, deren Herstellwerk, je nach Art der Zulassung z. B. eine werkseigene Produktionskontrolle durchführt, welche wiederum durch ein akkreditiertes Fremdüberwachungsinstitut regelmäßig überwacht wird. Die einzigen in Deutschland derzeit verfügbaren bauaufsichtlich anerkannten Baustrohballen werden von der Firma Baustroh (www.baustroh.de) angeboten. Diese bietet die Ballen entweder aus Lagerbeständen an oder zertifiziert auf Wunsch auch Ballen von Landwirten aus der Region. Das Pressen dieser Ballen muss nach den Vorgaben und unter Aufsicht eines Sachverständigen des offiziellen Herstellers erfolgen (werkseigene Produktionskontrolle). Damit die Ballen als Dämmstoff eingesetzt werden dürfen, muss ihre Übereinstimmung mit der Zulassung bescheinigt sein (hier „Ü-Zeichen“ auf Lieferschein). Dies darf nur durch eine anerkannte Herstellfirma erfolgen.

7.2 Ablauf der Herstellung

Für die Verwendung in Baustrohballen ist möglichst goldgelbes, langhalmiges Getreidestroh der Getreidesorten Weizen oder Roggen geeignet. Dieses kann aus konventionellem oder aus biologischem Anbau stammen. Bei der Ernte sollten Mähdrescher eingesetzt werden, die die Stroh-

halme möglichst lang lassen und mechanisch wenig belasten (z. B. Schüttler-Mähdrescher). Als Ballenpressen sind Kleinballenpressen sowie Quaderballenpressen geeignet. Baustrohballen sollen möglichst maßhaltig, quaderförmig und scharfkantig sein. Als Bindegarn kommen Kunststoffgarne sowie Sisalgarne infrage (Mindestzugfestigkeit lt. Zulassung 6,5-faches Ballengewicht). Der zulässige Rohdichtebereich bei Normklima (20 °C/50 % relative Feuchte) beträgt 85–115 kg/m³. Die sich hieraus und den jeweiligen Abmessungen ergebenden Stückgewichte werden durch Einstellen der Pressdichte der Ballenpresse erreicht. Bei anderen Klimabedingungen erfolgt eine Umrechnung auf der Basis von Sorptionsisothermen.

Die Prüfungen und Kontrollen des zugelassenen Herstellers bestehen aus den in der Zulassung vorgeschriebenen Maßnahmen der werkseigenen Produktionskontrollen sowie zusätzlichen optischen und olfaktorischen Begutachtungen und Einschätzungen. Alle Kontrollen, einschließlich der im Zuge der werkseigenen Produktionskontrolle durchgeführten Laborprüfungen, sind auch bei einer anderweitigen Herstellung sicherzustellen.

Der Zeitaufwand der stichprobenhaften Prüfungen pro Charge beträgt etwa einen halben Tag zzgl. eventueller Fahrtzeiten. Sie werden von einem Sachverständigen des Herstellers durchgeführt, der seinerseits im Zuge der Fremdüberwachung regelmäßig durch ein akkreditiertes Institut kontrolliert wird.

Sollen Baustrohballen nicht direkt aus dem Lagerbestand des Herstellers der Firma Baustroh bezogen werden, sondern beispielsweise von einem Landwirt, der bislang noch keine Baustrohballen gepresst hat, so kann dieser zunächst entsprechende Anweisungen vom zugelassenen Hersteller erhalten. Im Vorfeld einer Qualifizierung vor Ort sollten ein bis zwei Ballen per Paket eingeschickt werden, um diese auf grundsätzliche Eignung prüfen zu lassen.

8 SCHLUSSBETRACHTUNG

IST DIE STROHBAUWEISE BEREIT FÜR DEN MAINSTREAM-HOLZBAU?

Zahlreiche Anwendungsbeispiele in Deutschland und Europa zeigen, dass der Verwendung von Strohballen als Dämmstoff immer weniger Grenzen gesetzt sind. Ob im 1.800 m² großen Logistikzentrum oder im bis zu 100 m² großen Kfz- und Werkstattbüro, ob im Einfamilienhaus oder im 3-geschossigen Mehrfamilienhaus – Stroh findet bereits heute vielfach Anwendung als Dämmung in Außenwänden und Dächern. Die Bauweise erfüllt die Mindestanforderungen für den Brandschutz für Gebäude geringer Höhe bzw. der Gebäudeklasse 3. Gegenstand der Forschung sind bereits Anwendungen in bis zu 5-geschossigen Gebäuden der Gebäudeklasse 4.

Mit Stroh entsteht innerhalb eines üblichen landwirtschaftlichen Produktionsprozesses ein Dämmstoff der industriell gefertigten Dämmstoffen nur wenig nachsteht.



Pultfirstwand mit ersten Sparren

Eine Besonderheit ist und bleibt das Feuchteverhalten von Stroh. Mithilfe von umfangreichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass trotzdem mehrere ausreichend sichere Anwendungsbereiche existieren. Weitere derzeit bearbeitete Nachweise werden den Spielraum in den kommenden Jahren erweitern und zusätzlich absichern.

Die lasttragende Verwendung von Strohballen in praxisrelevanten Gebäudegrößen ist aktuell noch experimentellen oder Einzelfallanwendungen vorbehalten. Möglicherweise kann hier der Kenntnisstand durch neue Forschungsansätze so weit vorangebracht werden, dass 1,5-geschossige lasttragende Einfamilienhäuser in 5–10 Jahren eine reguläre Genehmigungsfähigkeit aufweisen können.

Schon heute können fachgerecht erstellte strohgedämmte Gebäude ohne größeren Aufwand eine Baugenehmigung erhalten. Selbst das noch nicht in der bauaufsichtlichen Zulassung enthaltene direkte Verputzen ist, richtig ausgeführt, sicher und zulässig und kann im Rahmen von vielerorts wenig aufwendigen Zustimmung im Einzelfall-Verfahren genehmigt werden.

Die bautechnischen Fragen zu dieser in Deutschland vergleichsweise jungen Bauweise befinden sich noch in der fachlichen Diskussion und Bewertung. Erste Standards kristallisieren sich heraus, welche baupraktisch gut umsetzbar, einfach erlernbar und mit, keinen oder nur geringen Mehrkosten verbunden sind. Vieles spricht für eine Konstruktion mit Außenputz, welcher sich allerdings bei Schlagregenbelastungen als problematisch erweist.

Die Herstellung von Baustrohballen ist kaum aufwendiger als die typische Strohballenherstellung. Der Strukturwandel in der Landwirtschaft hat jedoch gerade in den vergangenen 5 Jahren vielerorts dazu geführt, dass gute Baustrohballen schwieriger zu bekommen sind. In den kommenden Jahren sind hier aber neue Ansätze zu erwarten, aus denen eine echte bundesweite Verfügbarkeit hervorgehen kann.

Der Strohballenbau ist also bereit für den Mainstream. Ob Strohballen als nachwachsender Baustoff in der Zukunft auch angenommen werden, ist offen. Die vorliegende Broschüre möchte hierzu mit fundierten Informationen beitragen.

9 ANHANG

9.1 Quellenverzeichnis

- ASBN, Webseite (2011). Internetpräsenz des österreichischen Strohballenbaunetzwerks. (Stand 17. Juli 2011) <http://www.baubiologie.at/asbn>
- DIBt. (2007-1). Bauregelliste C/DIBt Mitteilungen Sonderheft 34. Berlin
- DIN 4102-1 (1998). Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen- Teil 1, Baustoffe und Begriffe; Anforderungen und Prüfungen
- Doolittle, B. (1973). A Round House of Straw Bales. Mother Earth News(19), 52-57
- FASBA e.V. (2008). Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise- Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance. In Endbericht des DBU-geförderten Vorhaben Az. 22430. Verden
- FASBA e.V., Projektedatenbank (2011). Projektedatenbank des Fachverbands Strohballenbau Deutschland e.V. (Stand 17. Juli 2011) <http://database.fasba.de/list.php>
- FASBA e.V., Webseite (2011). Internetpräsenz des Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (Stand 17. Juli 2011) <http://www.fasba.de>
- Gruber, H., u. Santler, H. (2008). Neues Bauen mit Stroh. Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag
- Hammond, J. (1984). Building a Straw- Bale House. Fine Homebuilding Magazine (Dezember 1984)
- Hosser, D., u. Kampmeier, B. (2007). Teilprojekt 3b: Brandtechnische Untersuchungen zur Optimierung der Flamm- schutzmittelzusammensetzung und des Brandverhaltens auf Bauteilebene. Untersuchungen zur Optimierung und Standardisierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen
- Klatecki, M., u. Otto, F. (2011). Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Wandkonstruktionen mit Strohballendämmung. Wolfhagen
- Krick, B., u. Minke, G. (2009). Handbuch Strohballenbau. Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag
- Künzel, H. (1994). Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchte- transports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Stuttgart
- MBO (2008). Musterbauordnung, Fassung November 2002, geändert 2008
- McElderry, W., u. C. (July/August 1979). Happiness is an Hay House. Mother Earth News(58), 40-43
- M-HFHolzR (Juli 2004). Musterholzbaurichtlinie (Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuer- hemmende Bauteile in Holzbauweise)
- MPA BS 3248/3833-cm (14. August 2003). Prüfbericht über 90 Minuten Feuerwiderstand. Materialprüfungsanstalt Braunschweig
- MPA BS K-3305/558/07-2 (31. März 2008). Klassifizierung des Brandverhaltens einer Strohballenwand in Übereinstimmung mit DIN EN 13501-1: 2007: B, s1, d0. Materialprüfungsanstalt Braunschweig
- MPA BS P-3048/817/08 (31. März 2008). Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (Feuerhemmende Außenwand). Braunschweig
- SB Leonardo Group 2009 (kein Datum). European learning partnership for strawbale building. (Stand 10. Dezember 2011)
- Sedlbauer, K. (2001). Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Stuttgart: Universität Stuttgart
- Steen, B., Athena, Bainbridge, D., u. Eisenberg, D. (1994). The Straw Bale House. Vermont/Totnes: Chelsea Green Publishing
- Strang, G. (1983). Straw Bale Studio. Fine Homebuilding Magazine (12), 70–72
- Welsch, R. (1973). Baled Hay. In L. Kahn (Hrsg.), Shelter. Bolinas, California: Shelter Publ., Inc.
- Z-23.11-1595 (13. Februar 2009). Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Wärmedämmstoff Baustrohballen“. Berlin

9.2 Weiterführende Informationen

Empfehlenswerte deutschsprachige Fachveröffentlichungen sind derzeit insbesondere zwei Bücher aus dem ökobuch Verlag (Gruber & Santler, „Neues Bauen mit Stroh“, 2008 und Krick & Minke, „Der Strohballenbau“, 2009).

Fremdsprachige Literatur

„Design of Straw Bale Buildings“ (Green Building Press, 2007),
„Building with Straw“ (Birkhäuser-Verlag, 2005),
„Building with Straw Bales“ (Green Books, 2010),
Robert Welsch: „Shelter“ (1973)

Unabhängige deutschsprachige Internetpräsenzen sind derzeit www.fasba.de (Projekte-Datenbank des Fachverbands Strohballenbau Deutschland e.V.) und www.baubiologie.at/asbn (Internetpräsenz des österreichischen Strohballenbaunetzwerks).

Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e. V. (FNR)
OT Gülzow, Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
Tel.: 03843/6930-0
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.nachwachsende-rohstoffe.de
www.fnr.de

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 526
FNR 2013



Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe e.V.