

STROHGEDÄMMTE GEBÄUDE



NATURBAUSTOFFE

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

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.fnr.de

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

Text

Dipl.-Ing. Architekt Dirk Scharmer (1. Auflage, 2013),
Dipl.-Kulturwirt und Zimmermeister Benedikt Kaesberg (Überarbeitung 2017)
Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren.

Redaktion

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

Bilder

Titel: Backyard Productions LLC/Fotolia, FNR, Dirk Scharmer
Sofern nicht am Bild vermerkt: Dirk Scharmer
Skizzen und 3D-Modelle, sofern nicht am Bild vermerkt: Dirk Scharmer

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Druck

www.mkl-druck.de, Ostbevern

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 526
3., unveränderte Auflage 2018
FNR 2018

STROHGEDÄMMTE GEBÄUDE





VORWORT

Von den in Deutschland jedes Jahr anfallenden über 40 Millionen Tonnen Getreidestroh können rund 10 Millionen Tonnen unter Berücksichtigung des Humuserhalts der Böden und der sonstigen Nachfrage nach Stroh, etwa als Stalleinstreu, energetisch oder stofflich genutzt werden. Die Verwendung von Stroh als Dämmstoff gilt dabei als besonders ressourcen- und energieeffizient. Stroh benötigt im Herstellungs- und Verarbeitungsprozess im Gegensatz zu vielen anderen Dämmmaterialien kaum Primärenergie, erlaubt eine ausgezeichnete, über Jahrzehnte nutzbare Wärmedämmung von Gebäuden und gestattet letztlich mit der energetischen Nutzung am Lebensende zusätzlich noch die Gewinnung erneuerbarer Energie. Insofern bietet der Einsatz von Stroh beim Bau Nutzungskaskaden im eigentlichen Sinn und Verständnis der Kreislaufwirtschaft.

Mit der 2., aktualisierten Auflage der Broschüre „Strohgedämmte Gebäude“ wollen wir fachlich fundiert und mit vielen anschaulichen Beispielen über diese besonders nachhaltige Bauweise informieren. Das komplett überarbeitete Kapitel zur bauaufsichtlichen Anerkennung, ergänzt durch die Vorstellung neuer Bauprojekte, zeigt zudem, dass sich Stroh zu einem durchaus zeitgemäßen Baustoff mausert. Seit der 1. Auflage aus dem Jahr 2013 hat sich vieles erfreulich weiterentwickelt: Bis zu dreigeschossige, direktverputzte Strohgebäude sind mit der erweiterten bauaufsichtlichen Zulassung aus dem Jahr 2014 inzwischen auf einfachem Weg genehmigungsfähig. Stroh ist nun auch außen vor Mauerwerk einsetzbar und damit für Sanierungen interessant. Außerdem besitzen mit dem neuen allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis von 2015 weitere Wandaufbauten mit Strohdämmung einen anerkannten Feuerwiderstand. Durch die europäischen Umweltdeklarationen für Baupro-

dukte liegen zudem Zahlen vor, mit denen sich die großen Umweltvorteile von Baustroh ökobilanziell transparent und nachvollziehbar darstellen lassen. Hierzu hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen des über die FNR geförderten Projekts „Strohbau 2012–2013: Erweiterte Zulassung, Qualitätssicherung und Strohbaurichtlinie“ substantiell beigetragen.

Dem Bauen mit pflanzlichen, Kohlenstoff speichernden Materialien kommt in den nächsten Jahrzehnten eine wichtige Rolle beim Klimaschutz zu. Neben Holz und anderen Naturbaustoffen kann Stroh hier als einheimischer, in relevanten Mengen vorhandener Rohstoff punkten. Die vorliegende Broschüre möchte Ihr Interesse wecken und einen Beitrag zur weiteren Verbreitung und Akzeptanz der Strohbauweise leisten.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Andreas Schütte'.

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



© EXQUISITE/stock.adobe.com

INHALT

1	Einführung	4
	Stroh – ein zeitgemäßer Rohstoff Bauweise mit Tradition Wiederentdeckung und Weiterentwicklung Eine Bauweise – zwei Konstruktionsarten Ausblick Vorurteile gegen das Bauen mit Stroh Fazit	
2	Bauen mit Stroh ist besonders nachhaltig: Ökologischer Vergleich verschiedener Bauweisen	8
	Methodik Bauteilvariationen Umweltwirkungen und Ressourceneinsatz	
3	Strohballenbauten in Deutschland und Europa	12
	Beispiele aus Deutschland Beispiele aus Europa	
4	Stand der Entwicklung im Bauen mit Stroh	24
	Bauphysikalische Grundlagen Bauaufsichtliche Anerkennung Ökobilanzierung strohgedämmter Bauteile Strohbaurichtlinie SBR-2014 Lasttragendes Bauen Strohbauakteure Ausblick	
5	Bauaufsichtliche Anerkennung und Genehmigungsfähigkeit	32
	Genehmigung entsprechend der bauaufsichtlichen Anerkennung Genehmigungsfähigkeit bei Abweichungen	
6	Strohgedämmter Neubau	33
	Strohoptimierte Bohlenständerkonstruktionen Ein Ausführungsbeispiel Schritt für Schritt Kosten	
7	Sanierungskonzepte mit Stroh	43
	Vorgesetzte Gefache Flächige Außendämmungen mit Strohballen Sanierung der Bestandsgebäude auf dem Gelände der Alten Brauerei in Schwerin Sonstige Konzepte	
8	Baustrohballen	44
	Zum Bauen geeignete Ballen Bauprodukt Strohballen Verfügbarkeit von Baustrohballen	
9	Schlussbetrachtung	45
	Der Strohballenbau ist bereit	
10	Anhang	46
	Literatur- und Quellenverzeichnis Weiterführende Informationen	

1 EINFÜHRUNG

Naturbelassenes Getreidestroh eignet sich hervorragend als Wärmedämmstoff für Außenbauteile von Gebäuden. Wände aus Strohballen wurden erstmals von nordamerikanischen Siedlern im holzarmen Nebraska um 1900 errichtet. Strohgedämmte Gebäude herzustellen und zu betreiben spart sehr viel Energie. Infolge zahlreicher Untersuchungen und Nachweise stehen hierzulande mittlerweile ausgereifte und sichere Verfahren zur Herstellung von strohgedämmten Bauteilen zur Verfügung.



© D. Großmann

Stroh – ein zeitgemäßer Rohstoff

Stroh ist kein Abfallprodukt, sondern ein wertvoller Rohstoff aus der Landwirtschaft. Das Bild von ungenutzt verrottenden Strohballen am Feldrand oder gar abbrennenden Stoppelfeldern gehört der Vergangenheit an. In einer zukunftsfähigen Landwirtschaft findet Stroh zunehmend Verwendung, z. B. als Einstreu, Raufutter und Humusbildner auf Ackerflächen. Daneben nimmt die Bedeutung von Stroh als nachwachsendem Rohstoff deutlich zu. Dem stark steigenden Interesse an einer energetischen Nutzung von Stroh steht dabei die stoffliche Nutzung gegenüber. Beide Nutzformen lassen sich miteinander vereinbaren, wenn zunächst die stoffliche Nutzung erfolgt und nach der Lebensdauer – z. B. als Strohdämmung – eine energetische Verwertung folgt (Kaskadennutzung). In der Landwirtschaft ist wie bei der Entnahme aller anderen Anbauprodukte die Stoffbilanz der Böden zu berücksichtigen und die Entnahme von Stroh aus dem ökologischen Kreislauf zu ersetzen.

Für die Nutzung als Dämmstoff ist Stroh ein einzigartiges Produkt, weil es seit Jahrzehnten in der Landwirtschaft in Ballenform anfällt und mit geringem Weiterverarbeitungsaufwand direkt verbaut werden kann.



Bauweise mit Tradition

Die erstmalige Anwendung von Strohballen 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 Strohballen auf diese Weise eingesetzt und direkt mit Lehm oder Zement verputzt. Neben diesen amerikanischen Beispielen sind heute zwei historische Beispiele aus Europa bekannt.



Text über der Tür:
„Pilgrim Holiness Church built of baled straw 1921“

In Europa ist nur ein Gebäude aus dieser Zeit bekannt. Im französischen Montargis errichtete der Apotheker Émile Feuillet 1920 sein Wohnhaus mit Strohballen in den Außenwänden. Es ist noch heute in gutem Zustand und inzwischen in Besitz des französischen Strohbaunetzwerkes.



Maison Feuillet in Montargis (Frankreich) – heute nationales Strohbauzentrum des französischen Strohbaunetzwerkes „Réseau Français de la Construction Paille“

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) Nach weiteren Veröffentlichungen (Doolittle, 1973; McElderry, 1979; Strang, 1983; Hammond, 1984) vervielfachten sich in den folgenden zwei Jahrzehnten 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. Letztere verfassten gemeinsam mit David Eisenberg das Standardwerk „The Straw Bale House“. (Steen et al., 1994)

Mit Beginn des 21. Jahrhunderts verbreitete sich die Strohballenbauweise weltweit und fand schließlich auch ihren Weg nach Europa. Nach einigen wenigen Pionierbauten vor der Jahrtausendwende beginnt die Strohballenbauweise in Deutschland mit der Gründung des Fachverbandes Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA) im Jahr 2002 Fuß zu fassen.



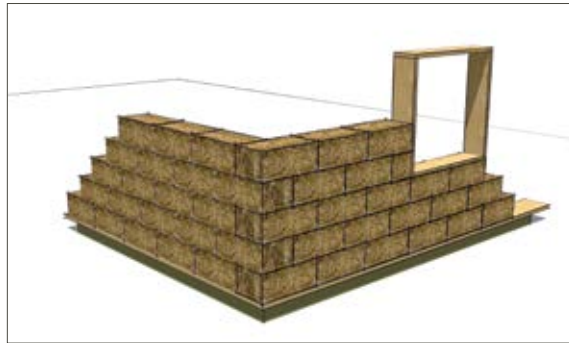
Villa Strohbunt (Sieben Linden): Handbaustelle – errichtet ohne Strom 2001–2003

Der FASBA versteht sich als gemeinnütziger Zusammenschluss relevanter Akteure mit dem Ziel, die Anerkennung und die Verbreitung des Bauens mit Stroh zu fördern. Seitdem ist der FASBA Träger der Entwicklung des Strohballenbaus in Deutschland, konnte u. a. eine bauaufsichtliche Anerkennung für strohgedämmte Bauteile erreichen und hat mit der Strohbaurichtlinie SBR-2014 einen ersten Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh vorgelegt. (Z-23.11-1595, 2014; FASBA e.V., 2014, Strohbaurichtlinie SBR-2014) Die Zahl der strohgedämmten Gebäude in Deutschland wird Anfang 2017 auf ca. 300 geschätzt. (FASBA e.V., 2017)

Weitere Informationen unter: www.fasba.de

Eine Bauweise – zwei Konstruktionsarten

Die Strohballenbauweise kennt zwei Konstruktionsarten, den lasttragenden Strohballenbau und die Verwendung von Stroh als nicht druckbelastetem und meist ausfachendem Wärmedämmstoff. Für die lasttragende Konstruktionsart entsprechend den historischen Vorbildern in Nebraska fehlt hierzulande ein allgemeingültiger Tauglichkeitsnachweis. Einige so konstruierte Gebäude wurden jedoch mithilfe von Zustimmungen im Einzelfall genehmigt.



Lasttragende Strohballenbauweise



Ausfachende Konstruktionsart

Demgegenüber ist die Tauglichkeit von Stroh als ausfachendem Dämmstoff mittlerweile nachgewiesen. Für den Einsatz in Gefachen mit lichten Abmessungen bis 1 m existiert seit 2006 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für den Wärmedämmstoff Baustroh, und mit deren Überarbeitung 2014 darf diese Konstruktionsart direkt mit Lehm oder Kalk verputzt und auch mit Plattenwerkstoffen o. Ä. verkleidet als ausgereift und allgemein anerkannt gelten. (Z-23.11-1595, 2014)

Ausblick

Mit den vorhandenen Nachweisen und Zulassungen kann Stroh bis zur Gebäudeklasse 3, d.h. in der Praxis in bis zu dreigeschossigen Gebäuden, ohne Weiteres eingesetzt werden. Mit der Strohbaurichtlinie SBR-2014 liegt ein erster Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh vor. Gleichwohl hat all dies bislang nicht den Rang anerkannter Regeln der Technik oder gar einer Norm. Hierfür wären unter anderem weitere wissenschaftliche Untersuchungen, weitere Praxisbeispiele sowie bautechnische Prüfungen und Nachweise erforderlich.

Der FASBA hat sich bislang auf die Bautauglichkeit von Stroh, „so wie es ist“, konzentriert; jedem Landwirt und jedem Handwerksbetrieb sollte eine Teilhabe und ein Einstieg in die Bauweise ermöglicht werden. Daneben wird in der heutigen Bauwirtschaft eine zukünftig größere Verbreitung der Bauweise von weiteren technischen Entwicklungen in den Bereichen Baustoffgewinnung und Bauteilfertigung abhängig sein. In den kommenden Jahren wird sich zeigen, welche Herstellungsketten vom Strohalm auf dem Acker bis zum fertigen strohgedämmten Gebäude sich als zeitgemäß bewähren.

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. Diese können leicht entkräftet werden. Die bisherigen Erfahrungen zeigen: Wird Stroh fachgerecht verbaut, ist es gegen Brand und Feuchte sowie gegen Schädlingsbefall geschützt. Es verrottet nicht, stellt keine größere Brandgefahr dar und wird nicht von Nagetieren und Ungeziefer befallen. Einer generationenlangen Lebensdauer strohgedämmter Gebäude steht von daher nichts entgegen. Lose und/oder offen ist Stroh zu leicht mikrobiell zersetzbar, entzündbar und verwertbar für Nagetiere und Ungeziefer. Es wird fest gepresst, lückenlos verbaut und dicht verkleidet und ist dann als Baumaterial dauerhaft und sicher. Aufgrund der deutlich schlechteren Entzündbarkeit von fest gepresstem Stroh erreichen Baustrohballen nach DIN 4102-B2 die Baustoffklasse „normal entflammbar“. Nagetiere und Ungeziefer können sich in den fest gepressten, lückenlos verbauten und dicht verkleideten Ballen nicht bewegen oder einnisten. Wie bei allen anderen Dämmstoffen auch verursachen stets Leckagen in den dichten Verkleidungen innen und außen und/oder Lücken beim Strohballeinbau eine Gefährdung, da dann innerhalb eines gedämmten Bauteils, insbesondere an der Gebäudeaußenseite Tauwasser infolge von Konvektion bzw. unterbrochenem kapillarem Feuchte-transport ausfallen kann.

Auf Bauteilebene kann, je nach baurechtlichen Anforderungen, die Einhaltung einer Feuerwiderstandsklasse gefordert sein. Während für Ein- und Zweifamilienhäuser häufig keine



Strohwand mit Schilfrohr als Putzträger und blau durchscheinender Luftdichtungsbahn im Deckenanschlussbereich

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 Strohballeinwände 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.



Im Lehmbett in die Strohdämmung eingelassene Elektroinstallationen

In der Natur dienen Brand und Verrottung der Rückführung in den natürlichen Kreislauf. Aus Sicht der Nachhaltigkeit können Brennbarkeit und mikrobielle Zersetzbarkeit von Stroh am Ende der Nutzungsphase eines Gebäudes als Vorteil für eine umweltfreundliche Entsorgung, ein einfacheres Recycling oder eine Kaskadennutzung angesehen werden.

Fazit

Fachgerecht hergestellte strohgedämmte Bauteile sind langlebig und sicher. Sie sind beständig gegen Schimmelpilze, Ungeziefer und Nagetiere. Strohgedämmte Holzkonstruktionen haben im Vergleich mit herkömmlichen Holzbauten mindestens gleichwertige Brandschutzeigenschaften.



Gartenhaus (Ökodorf Sieben Linden) 2010

EIGENSCHAFTEN UND VORTEILE DER STROHBAUWEISE IM ÜBERBLICK

1. Zuerst zeichnet Strohballenhäuser ihre Qualität für Nutzer aus: ausgeglichenes Raumklima bei Lehmverputzung, Verwendung natürlicher Baustoffe (Holz, Stroh, Lehm) sowie auch ein subjektiver Wohlfühlfaktor.
2. Ca. 20 % des in der Landwirtschaft jährlich anfallenden Strohs werden nicht benötigt – genug für die Wärmedämmung von bis zu 350.000 Einfamilienhäusern.
3. Stroh ist besonders nachhaltig (jährlich nachwachsend) und regional verfügbar.
4. Es besteht keine Flächenkonkurrenz zum Anbau von Nahrungsmittelpflanzen.
5. Bioqualität ist möglich.
6. Die Herstellung ist einfach.
7. Bauen mit Stroh schützt das Klima dreifach:
 - durch CO₂-Speicherung beim Wachstum,
 - mit minimalen CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Strohballen,
 - dank Vermeidung von CO₂-Emissionen durch Wärmedämmung im Gebäudebetrieb.
8. Energieeffizienz bei Herstellung und Betrieb: Der Herstellungsaufwand eines konventionellen Massivbaus wird bei einem Strohbau erst nach Herstellung und 69 Jahre Betrieb erreicht (siehe folgendes Kapitel).
9. Praktisch jeder Wärmedämmstandard kann erreicht werden, z. B. ein U-Wert von 0,15 W/(m²·K) bei einer strohgedämmten Außenwand mit 36 cm Dämmstärke und 6 cm breiten Holzständern; Wärmeleitfähigkeit quer zur Haupthalmrichtung: 0,052 W/(m·K).
10. Stroh speichert Wärme und bewirkt so einen guten sommerlichen Wärmeschutz.
11. Sehr gute Brandschutzeigenschaften: Eine 36 cm dicke strohgedämmte Wand mit mindestens 8 mm Putzschicht erreicht F30 nach DIN 4102 und kann als schwer entflammbar (B nach DIN EN 13501) betrachtet werden.
12. Eigenleistung beim Stroheinbau schafft Identifikation und bietet Einsparpotenzial.
13. Nachnutzung: Holz, Stroh und Lehm sind weiterverwertbar.

2 BAUEN MIT STROH IST BESONDERS NACHHALTIG: ÖKOLOGISCHER VERGLEICH VERSCHIEDENER BAUWEISEN

Mit Strohballen lassen sich Gebäude besonders nachhaltig errichten. Die Vorteile betreffen alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit, den ökologischen, den sozialen und den ökonomischen: Strohgedämmte Holzbauteile verursachen besonders geringe schädliche Umweltwirkungen bei der Herstellung. Aus Sicht des Klimaschutzes weisen sie sogar Umweltvorteile auf, weil sie über ihre Lebensdauer klimaschädliches CO₂ in Form von pflanzlich gespeichertem Kohlenstoff der Atmosphäre entziehen. Strohgedämmte Bauteile haben eine ähnliche Lebensdauer wie herkömmliche Bauteile. Weder im Bereich der Herstellungskosten noch der Kosten über den gesamten Lebenszyklus¹ weisen sie relevante Unterschiede auf.

Methodik

In Deutschland wird die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden im Wesentlichen von zwei Akteuren durchgeführt: Für Gebäude im privaten Sektor erfolgt dies hauptsächlich über die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), während im öffentlichen Sektor das Bewertungssystem für Bundesgebäude (BNB) des Bundes Anwendung findet.

Das ökologisch optimierte Gebäude mit strohgedämmten Außenwänden und Dachflächen wird mit drei herkömmlichen Bauweisen verglichen. Die Ökobilanzierung erfolgt in Anlehnung an DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 ähnlich der Methodik des BNB sowie der DGNB mit den Baustoffdaten der ÖKOBAUDAT 2016 (Baustoffdaten, Lebenswegphasen und Module gemäß DIN 15978). Sie ist die erste Datenbank in Deutschland, die auch genaue Herstellerdaten enthält. Für Baustroh sind diese über eine normgerechte und repräsentative Umweltproduktdeklaration (EPD) eingeflossen. (Bau EPD GmbH, 2014) Die Aufstellung wurde mithilfe der Webseite www.bauteileditor.de des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung durchgeführt. Im Rahmen dieser Broschüre erfolgt die Dokumentation ab-

weichend von der Norm in reduziertem Umfang. Die hier dargestellte vergleichende Ökobilanzierung soll beispielhaft an ausgewählten Parametern repräsentativ die grundsätzlichen Unterschiede der Bauweisen illustrieren.

Verglichen werden Herstellungs- und Nutzungsphase mit den Modulen A1-3 sowie B2 und B3. Die Entsorgungsphase sowie das Recyclingpotenzial bleiben in den nachfolgenden Darstellungen außer Betracht, weil vor allem die unmittelbar mit dem Bau in Verbindung stehenden Auswirkungen betrachtet werden sollen.²

Alle Gebäude sind gleich groß und haben identische Gebäudetechnik. Die Bauteile haben gleiche Mengen und weisen jeweils nahezu gleiche U-Werte auf ($\pm 0,005 \text{ W}/[\text{m}^2 \cdot \text{K}]$). In vielen Bereichen wurde auf eine weitere vielfältigere Variantenbildung der Bauteile verzichtet. (Streifenfundamente, Perimeterdämmung, Abdichtung auf der Sohle, Dachdeckung sind detailliert eingegeben, jedoch für alle vier Bauweisen gleich.)

Die Lebenszyklusanalyse betrachtet die ersten 50 Jahre des Gebäudes mit allen notwendigen Instandhaltungen, Instandsetzungen und Energiemengen für den Wärmebedarf.

Bauteilvariationen

Neben den Dach- und Außenwandbauteilen werden im Gebäudevergleich auch weitere Bauteilaufbauten variiert, um möglichst viele typische am Markt gängige Bauweisen abzubilden. Die Unterschiede bei Umweltwirkungen (hier beispielhaft das Treibhauspotenzial) und Ressourceneinsatz (hier beispielhaft der nicht erneuerbare Primärenergieeinsatz) sind demnach auf verschiedene Parameter zurückzuführen.

Neben den Bauteilen mit Baustroh werden auch weitere Bauteile variiert.

¹ Lebenszykluskosten gemäß BNB 2011 weisen Unterschiede zwischen den betrachteten Bauweisen von max. 100 €/m² NGF · a) über die übliche Dauer von 50 Jahren auf.

² In der Entsorgungsphase (Module C1-4) emittieren nachwachsende Rohstoffe bei der üblicherweise stattfindenden thermischen Verwertung das pflanzlich gespeicherte Kohlendioxid. Dort sowie im Recyclingpotenzial (Modul D) erzeugen sie aber auch große Mengen an erneuerbarer Energie, die wiederum fossile Energieträger ersetzen kann.

BAUTEILVARIATIONEN, VEREINFACHTE DARSTELLUNG

Bauteile	HRB-Stroh ¹	HRB-Zellulose ²	HRB-Miwo ³	MW-Miwo-KS ⁴
Gründung	Stahlbeton-Streifenfundamente mit 60 mm Perimeterdämmung			
Sohle (U = 0,21)	Beton auf Schotter, zellulosegedämmter Holzboden	Stahlbetonsohle, zellulosegedämmter Holzboden	Stahlbetonsohle, EPS-Dämmung, Estrich, Fliesen	Stahlbetonsohle, EPS-Dämmung, Estrich, Fliesen
Außenwände (U = 0,15)	Bohlenständerwerk, Strohdämmung, innen Lehmputz mit Dispersionsfarbe, außen Kalkputz, hydrophober Fassadenanstrich	Bohlenständerwerk, Einblaszellulose, OSB, Gipsfaserplatte mit Dispersionsfarbe, Holz-faserdämmplatte mit Dünnputz, hydrophober Fassadenanstrich	Bohlenständerwerk, Mineralfaserdämmung, OSB, Gipsfaserplatte mit Dispersionsfarbe, Holz-faserdämmplatte mit Dünnputz, hydrophober Fassadenanstrich	2-schaliges Mauerwerk, innen Kalksandstein, Mineralfaserdämmung, Vormauerziegel
Innenwände	Holzständer, Zellulose-dämmung, Holzschalung, Lehmputz, Dispersions-farbe	Holzständer, Zellulose-dämmung, Gipsfaser-platten, Dispersionsfarbe	Metallständer, Mineral-faserdämmung, Gipsfaser-platten, Dispersionsfarbe	11,5 cm Kalksandstein, Gipsputz, Dispersionsfarbe
Geschossdecke	offene Holzbalkendecke, Nut-und-Feder-Bepankung, Schotter, Holzfasertrittschallplatte, Holzboden	offene Holzbalkendecke, 3-Schicht-Platte, Schotter, Holzfasertrittschallplatte, Holzboden	offene Holzbalkendecke, OSB-Platte, Schotter, Mineralfasertrittschallplatte, Holzboden	Stahlbetonsohle/-decke, Mineralfasertrittschallplatte, Estrich, Fliese
Dach (U = 0,15)	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Strohdämmung, Holzschalung, Lehmputz, Dispersionsfarbe	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Zellulosedämmung, Dampf-bremse, Konterlattung, Gipsfaser, Dispersions-farbe	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Mineralfaserdämmung, Dampf-bremse, Konter-lattung, Gipsfaser, Disper-sionsfarbe	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Mineralfaserdämmung, Dampf-bremse, Konter-lattung, Gipsfaser, Disper-sionsfarbe
Fenster (U _w = 0,91)	Holzfenster 3-fach verglast	Holzfenster 3-fach verglast	Holzfenster 3-fach verglast	PVC-Fenster 3-fach verglast
Gebäudetechnik	Pelletkessel, thermische Solaranlage, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Standardheizkörper, Heizwasserrohre Kupfer			

¹ HRB-Stroh: Strohedämmtes, verputztes Gebäude in Holzkonstruktion.

² HRB-Zellulose: Zellulosegedämmtes, verputztes Gebäude in Holzkonstruktion.

³ HRB-Miwo: Mineralfasergedämmtes, verputztes Gebäude in Holzkonstruktion.

⁴ MW-Miwo-KS: Mauerwerksbau mit Mineralfaserdämmung, Vormauerziegel und Innenschale aus Kalksandstein.

Umweltwirkungen und Ressourceneinsatz

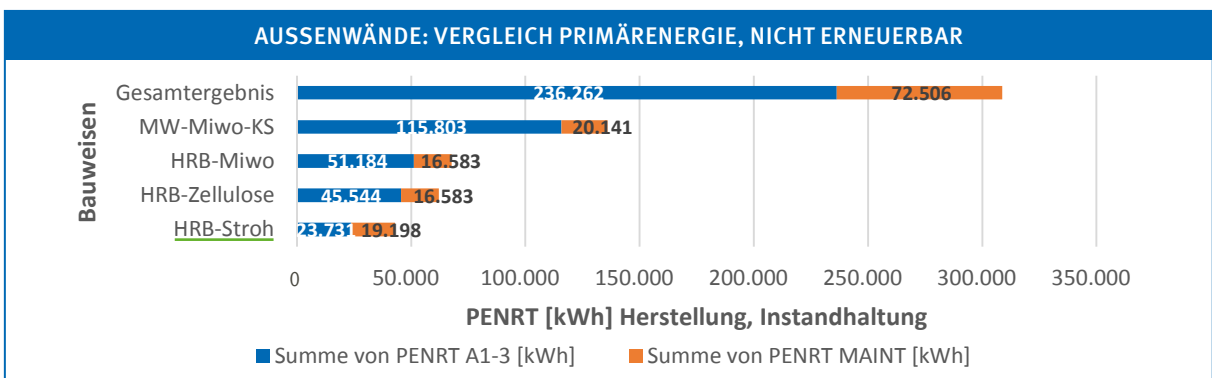
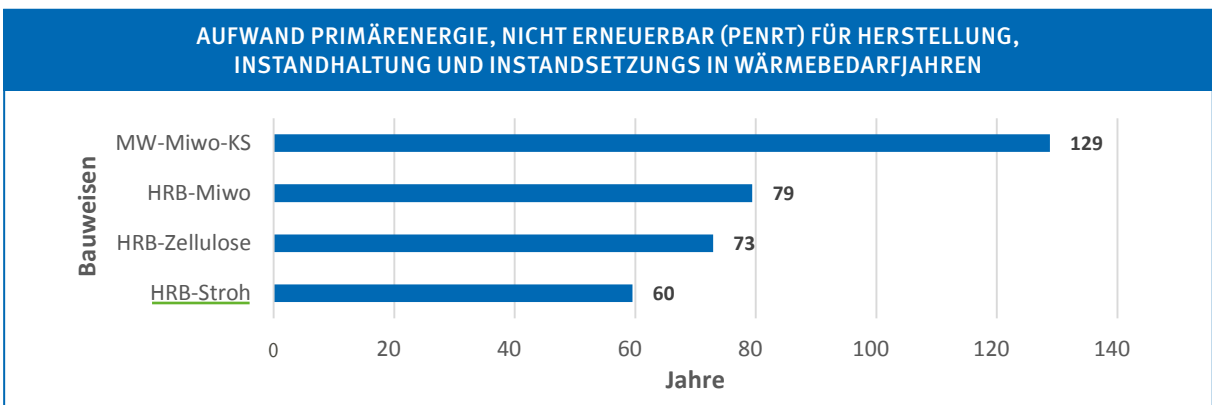
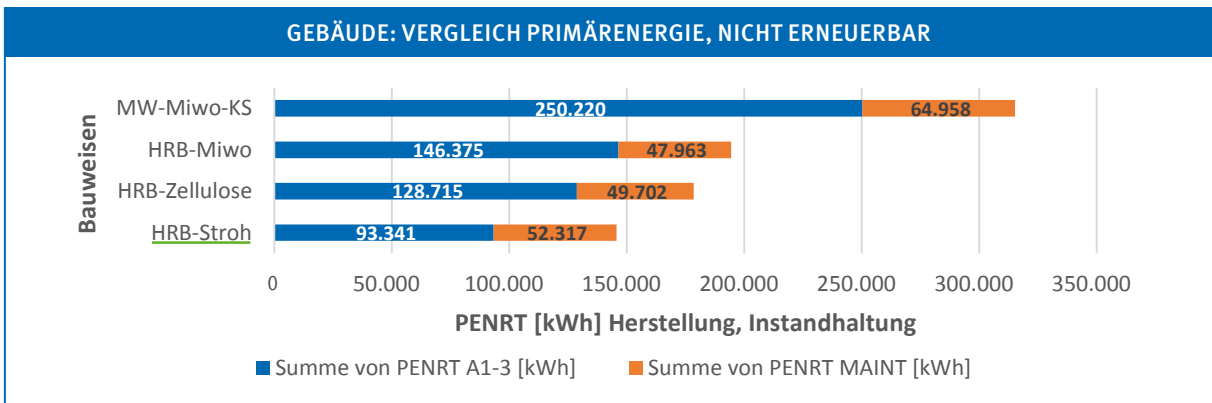
Herstellung (A1-3), Instandhaltung, Instandsetzung (B2-3)

Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)

Das strohgedämmte Gebäude benötigt zu seiner Herstellung nur ca. die Hälfte der nicht erneuerbaren Primärenergie (PENRT [kWh]) im Vergleich zum herkömmlichen Massivbau. Der Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie für die Herstellung, Instandhaltung und Instandsetzung der vier Gebäudetypen (145.658–315.178 kWh) entspricht einer Wärmeversorgung (jährlicher PENRT von 2.447 kWh) von 60 Jahren (Strohbau) bis 129 Jahren (Massivbau). Ein strohgedämmtes Gebäude kann somit allein für den Herstellungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufwand des Massivbaus gebaut und 69 Jahre mit Wärme versorgt

werden (gewählte Gebäudetechnik siehe Tabelle Seite 9). Für die Variationen von Bauweisen ist die Außenwand besonders relevant. Im Vergleich verschiedener Außenwände treten die Vorteile der ökologisch optimierten Bauweise deutlich hervor. Allein die Differenz des Aufwands an nicht erneuerbarer Primärenergie bei den Außenwänden für die Module A1-3 und B2-3 (93.014 kWh) entspricht dem Wärmebedarf des balanzierten Gebäudes von 38 Jahren.

Bei einem weiteren Vergleich der für die Variationen von Bauweisen besonders relevanten Außenwand zeigt sich eindrücklich: Die hier vorhandene Differenz des Treibhauspotenzials für die Module A1-3 und B2-3 (43.387 kg CO₂-Äquivalent) entspricht 361.500 km Fahrt mit einem sparsamen 5-Liter-Mittelklassewagen.



Treibhauspotenzial (GWP [kg CO₂-Äquivalent])

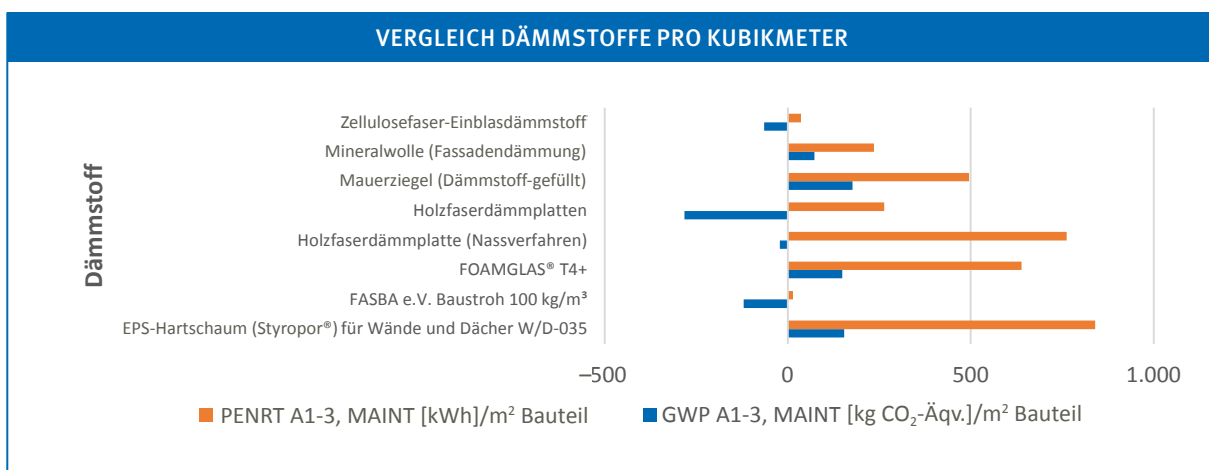
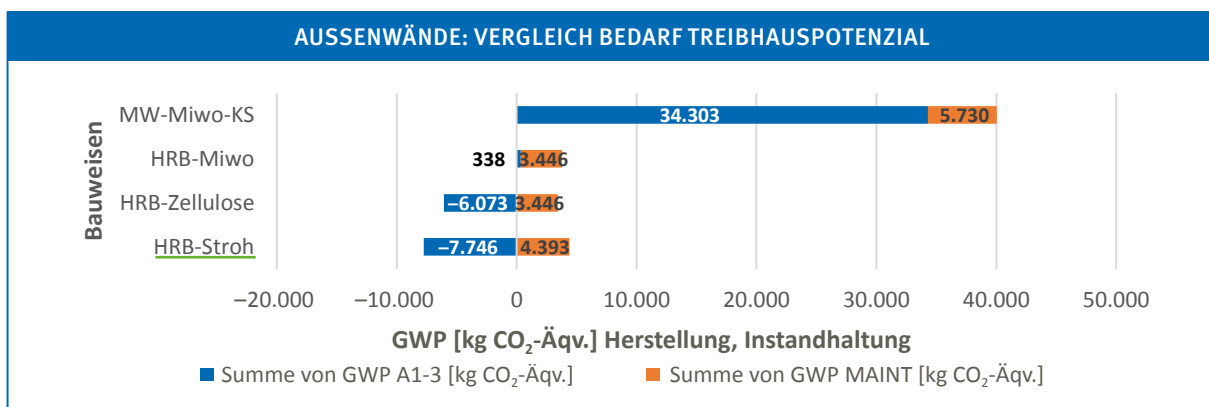
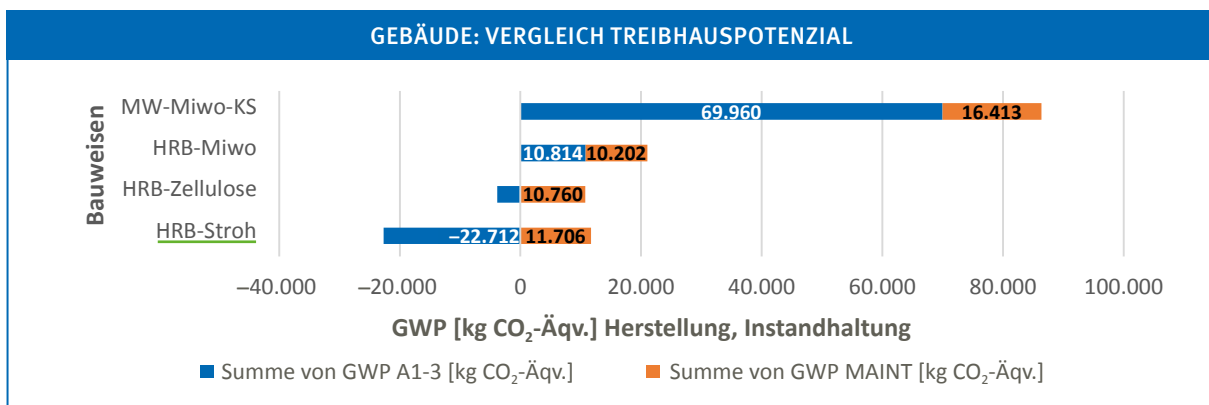
Der Unterschied zwischen dem Massivbau und dem ökologisch optimierten Gebäude in Strohbauweise im Bereich des Treibhauspotenzials beträgt ca. 97 t CO₂-Äquivalent. Ein sparsamer 5L-Mittelklassewagen kann 811.000 km zurücklegen, bis die gleiche Klimabelastung erreicht ist – das entspricht in etwa einer 20-fachen Erdumrundung.

Die Bereitstellung des fertigen Dämmstoffs „Baustroh“ verursacht im Vergleich zu anderen Dämmstoffen um ein Vielfaches geringere Emissionen und bedarf einer deutlich geringeren Energie zur Herstellung. Sie erfolgt quasi „nebenbei“ im sowieso ablaufenden landwirtschaftlichen

Ernteprozess. Aufgrund des bundesweit überall vorhandenen Getreideanbaus können Transportwege besonders stark minimiert werden.

Nutzungsphase

Der Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie für den Wärmebedarf des für alle vier Bauweisen gleichen Gebäudemodells beträgt für die 50 Jahre Bilanzierungszeitraum 122.368 kWh. Durch die relativ kurze Lebensdauer der Gebäudetechnik (25 Jahre) und den hohen damit verbundenen Austausch Aufwand macht diese einen hohen Anteil an Umweltwirkungen und Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie aus.



3 STROHBALLENBAUTEN IN DEUTSCHLAND UND EUROPA

Die hier vorgestellten strohgedämmten Gebäude stehen als Beispiele für die Strohbauweise in Deutschland und Europa, jeweils in chronologischer Ordnung. Die Auswahl soll sowohl die vielfältigen Möglichkeiten im Bauen mit Stroh aufzeigen als auch herausragende Bauten sichtbar machen. Viele weitere Beispiele finden sich im Internet (www.fasba.de; www.baubiologie.at/asbn) und der Fachliteratur mit teils detaillierten Informationen. (Gruber et al., 2012; Krick und Minke, 2014)

Beispiele aus Deutschland

Erläuterung der Steckbriefkennndaten:

- 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_N ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$): Kilowattstunden (hier nicht primärenergetisch bewertet) pro Quadratmeter pro Jahr, gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) bezogen auf die virtuelle Gebäudenutzfläche A_N ($A_N = 0,32 \cdot V$).



MEHRPARTEIENWOHNHAUS „STROHPOLIS“ IN SIEBEN LINDEN



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

Beschreibung

In diesem direkt lehmverputzten strohballenedämmten Holzständergebäude wurden die Ballen flach liegend zwischen 1,5–3 m weit auseinanderstehende 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

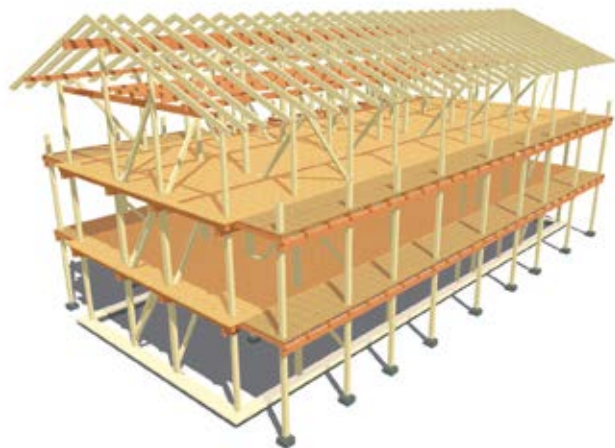
Für die Zustimmung im Einzelfall wurden erstmals in Deutschland Material und Bauteiltests an verschiedenen Instituten durchgeführt:

- 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 Strohballen 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 Schlagregensisiko versuchte man mit einer Stabilisierung des Lehmputzes durch stärkerbasierten 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

REIHENHAUS BEI 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 : ca. 30 kWh/m²·a

EINFAMILIENHAUS BEI ESSLINGEN



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 : 24,6 kWh/m²·a

EINFAMILIENHAUS BEI HANNOVER



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} : 39,6 kWh/m²·a

EINFAMILIENHAUS BEI SALZGITTER



Baujahr: 2008
Bauherr: Privat
Ort: Nähe Salzgitter/Niedersachsen
Planung: Stefan Kracht
Größe: 140 m² NGF, 760 m³ BRI, 2-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{h} auf A_{N} : 45 kWh/m²·a

EINFAMILIENHAUS IN SIEBEN LINDEN



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



Baujahr: 2010
Bauherr: Wohnungsgenossenschaft Sieben Linden e. G.
Ort: Ökodorf Sieben Linden, Gemeinde Beetzendorf/
 Sachsen-Anhalt
Planung: Architekt Dirk Scharmer
Größe: 354 m² NGF, 1.600 m³ BRI, 3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 21 kWh/m² · a

Beschreibung

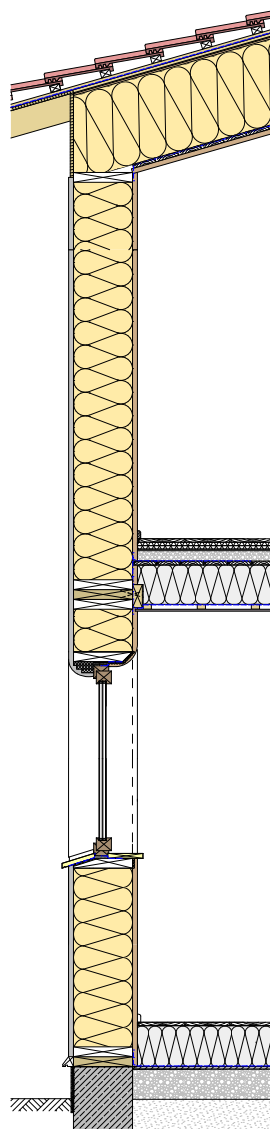
In diesem direkt verputzten strohballengedämmten Holzständergebäude stehen die Ballen aufrecht zwischen eng stehenden Bohlenständern ($e < 1$ m).

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 Kompletterverglasung 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

WOHN- UND PRAXISGEBÄUDE IN MUCH



© Axel Hartmann Fotografie/Köln

Baujahr: 2015
Bauherr: Privat
Ort: Much/Nordrhein-Westfalen
Planung: Shakti-Haus-Architekten
Größe: Praxis – 74,5 m² NGF und 262,52 m³ BRI,
Wohnhaus – 254 m² NGF und 770 m³ BRI,
1-geschossig (Praxis), 2-geschossig (Wohnhaus)
Jahresheizwärmebedarf Q_{H} auf A_{H} : 43,2 kWh/m²·a

GEMEINSCHAFTSWOHNHAUS IN WUSTERMARK



© F. Fuchs

Baujahr: 2016
Bauherr: wurzeln & wirken e.V.
Ort: Wustermark/Berlin
Planung: Architektin Friederike Fuchs
Größe: 626 m² NGF, 2.495 m³ BRI, 3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{H} auf A_{H} : 15,3 kWh/m²·a

WOHNHAUS MIT SEMINARRAUM IN DIESEN



© PEN Fotografie

Baujahr: 2016
Bauherr: Privat
Ort: Dießen/Bayern
Planung: Architekturbüro Maria Weig
Größe: 342 m² NGF, 1.332 m³ BRI, 1,5-geschossig

BÜROGEBÄUDE IN DARMSTADT



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

GEWERBEHALLE IN DUNNINGEN



Baujahr: 2009
Bauherr: Permatecs
Ort: Dunningen/Baden-Württemberg
Planung: Shakti Haus Architekten
Größe: 500 m² NGF, 2.072 m³ BRI, 2-geschossig

BÜROPAVILLON IN VERDEN



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



Baujahr: 2014
Bauherr: Norddeutsches Zentrum für Nachhaltiges Bauen GmbH
Ort: Verden/Niedersachsen
Planung: Architekten Thomas Isselhard und Dirk Scharmer
Größe: 1.803 m² NGF, 7.643 m³ BRI, 5-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{H} auf A_{H} : 8 kWh/m² · a

www.nznb.de

Beschreibung

Das Kompetenzzentrum in Verden/Aller ist das größte direkt verputzte strohgedämmte Bürogebäude in Europa. Durch die Nutzung der nachwachsenden Baustoffe Holz und Stroh sind die Umweltwirkungen der Gebäudeherstellung gegenüber konventionellen Gebäuden stark reduziert. Nach Angaben des Bauherrn sind in allen Stroh- und Holzbauteilen des Gebäudes zusammen über 2.000 t CO₂ gespeichert – ein gutes Beispiel für Klimaschutz beim Bauen.

Nutzung

Die oberen Geschosse sind durch Büros genutzt. In Erd- und Untergeschoss befindet sich eine 500 m² große Ausstellung zum nachhaltigen Bauen. www.nachhaltig-bauen-erleben.de

Baukonstruktion

Das Untergeschoss ist mit 49 cm starken Porenziegeln gemauert. Sohle und Decke des Kellers sind in Stahlbeton ausgeführt. Das Tragwerk der Außenwände der oberirdischen Geschosse besteht aus 36 cm und 48 cm starken vorgefertigten Holzrahmen mit einer innenseitigen Holzwerkstoffplatte. Sie wurden nach Anlieferung durch die Zimmerei in einer Halle vor Ort mit Strohballen ausgefacht und außenseitig mit einem speziellen Kalkputz verputzt. Anschließend wurde das Gebäude geschossweise aufgerichtet. Die relativ kurzen Wandelemente wurden mit Ringbalken aus Furnierschichtholz und Brettstapeldeckenelementen zu einem stabilen, ausgesteiften Geschoss verbunden. In die Wandöffnungen wurden Holz-Aluminium-Verbundfenster bzw. neu entwickelte Glasfassadenelemente eingesetzt. Die ebenfalls vorgefertigten Dachelemente wurden entweder mit Stroh oder Einblaszellulose gedämmt. Die Innenwände sind teils aussteifend und/oder tragend, durchgängig mit Gipsfaserplatten und zum Teil zusätzlich mit Lehmplatten bzw. Lehmputz bekleidet. Der Aufzugschacht wurde aus ca. 13 m hohen Brettsperrholztäfelungen erstellt.

Gebäudetechnik

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über eine Wärmepumpe, die mit einem solar erwärmten Wasserspeicher im Erdreich verbunden ist. Dabei genügen relativ niedrige Temperaturen im Wasserspeicher, um die Wärmepumpe ganzjährig zu versorgen. Durch das niedrige Temperaturniveau können neben dem umgebenden Erdreich vor allem einfache Solar-Luftabsorber als Kollektoren zur Erwärmung genutzt werden. Diese können nicht nur direkte Sonneneinstrahlung verwerten, sondern jegliche Umgebungswärme. Sinkt die Temperatur des Speicherwassers durch die Wärmeentnahme über die Wärmepumpe trotzdem auf 0°C, kann, bis das Wasser wirklich gefroren ist, noch die gleiche Energiemenge entnommen werden, die in 80°C heißem Wasser enthalten ist. Zu Demonstrationszwecken ist zusätzlich ein Mini-Blockheizkraftwerk installiert. Die Lüftung erfolgt über je eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung pro Nutzungseinheit.

Planungsprozess

Dem Bau des fünfgeschossigen, strohgedämmten Gebäudes ging eine mehrjährige Vorbereitungszeit voran. Über ein mehrjähriges, vom Bund gefördertes Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurden die bautechnischen Voraussetzungen geschaffen, um das Gebäude überhaupt bauen zu können: Wie müssen strohgedämmte Bauteile aufgebaut sein, damit sie den Brand- und Feuchteschutzanforderungen gerecht werden? Wie müssen bestehende Holzkonstruktionskonzepte angepasst werden, um mehrgeschossige Gebäude mit Stroh dämmen zu können? Die Ergebnisse des Projektes flossen direkt in die Planung des Verdener 5-Geschossers als Prototyp ein. Während der Feuchteschutz mit relativ wenig zusätzlichem Aufwand in Planung und

Bau umgesetzt werden konnte, war die Umsetzung der Anforderungen an den Brandschutz sehr aufwendig. Strohgedämmte Bauteile waren in dem Gebäude so auszuführen, dass sie im Brandfall über mehr als 60 Minuten im Inneren nicht heißer als 200°C werden. So war sicherzustellen, dass keine entzündlichen Gase emittiert werden können, die aktiv ins Brandgeschehen eingreifen würden (hochfeuerhemmend REI 60 und gekapselt K260). Auf den Innenseiten der Bauteile wurden hierfür zwei Lagen Gipsfaserplatten von 18 mm Stärke eingesetzt. Auf den Außenseiten der Außenwände erfolgte dies mit einem bis zu 90 mm starken, speziell entwickelten Kalkputz.

Mitwirkende bei Planung, Forschung und Entwicklung:

- Biber, Kahrs, Ö.CONTUR, Claytec, Endress, iBMB/TU Braunschweig, Uni Kassel
- Entwurf und Genehmigungsplanung: Architekt T. Isselhard, www.oe-contur.de; Architekt D. Scharmer, www.deltagruen.de
- Objektüberwachung: Architekten für Nachhaltiges Bauen, www.architekten-nb.de, T. Isselhard, F. Elbers, T. Diedrich
- Tragwerksplanung und Schallschutz: Pirmin Jung Deutschland, www.pirminjung.de
- Brandschutzkonzept: Prof. Dr.-Ing. em. D. Hossler, Prof. Dr.-Ing. B. Kampmeier
- zahlreiche ausführende Betriebe.

Hinweis

Zum Bau gibt es einen Making-of-Film mit dem Titel „Bau des Kompetenzzentrums für Nachhaltiges Bauen“. Online unter: www.youtube.com/watch?v=CoEYHkBT03w

Beispiele aus Europa

Erläuterung der Steckbriefkenndaten:

- Die Angaben zu Flächen und Volumina für Europa basieren u. U. nicht auf denselben Berechnungsverfahren wie für Deutschland aus DIN 277.

HAUS DALSAINT IN SÜDTIROL (ITALIEN)



Baujahr: 2003
Bauherr: Dalsant/Pernter-Dalsant
Ort: Kurtatsch (Italien/Südtirol)
Planung: Architektin Margareta Schwarz (Südtirol) und Architekt Werner Schmidt (Schweiz)
Größe: 250 m² NGF
Jahresheizwärmebedarf Q_{h} auf A_{N} : 17 kWh/m²·a

www.archschwarz.com
www.atelierwernerschmidt.ch

S-HOUSE (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: Eferding (Österreich)
Planung: Architekt Paul Seeber
Größe: 3.200 m² NGF, 2- bis 3-geschossig

www.biohof.at
www.architekturplus.it

REIHENMITTELHAUS IN AMSTERDAM (NIEDERLANDE)



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/

EXPO ZARAGOZA (SPANIEN)



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

WOHNGEBÄUDE (SLOWAKEI)



Baujahr: 2012
Bauherr: Privat
Ort: Predajna (Slowakei)
Planung: CREATERRA: Bjorn Kierulf, Marián Prejsa
Größe: 121 m² NGF, 622 m³ BRI, 2-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 15 kWh/m² · a



BÜROGEBÄUDE (FRANKREICH)



Baujahr: 2013
Bauherr: Ecocert
Ort: L'Isle-Jourdain (Frankreich)
Planung: Agence Collart
Größe: 2.025m² NGF

SCHULE (FRANKREICH)



Baujahr: 2013
Bauherr: SEMADS
Ort: Issy-les-Moulineaux (Frankreich)
Planung: ADSC; Bernard Dufournet Architecte
Größe: 5.241 m² NGF, 14 Klassenzimmer

WOHNGBÄUDE (FRANKREICH)



Baujahr: 2013
Bauherr: Le Toit Vosgien
Ort: Saint-Dié-des-Vosges (Frankreich)
Planung: ASP Architecture
Größe: Haus 1 – 4.600 m² NGF, 8-geschossig,
Haus 2 – 1.600 m² NGF, 3-geschossig

WOHNGBÄUDE AUS GROSSBALLEN (ÖSTERREICH)



Baujahr: 2014
Bauherr: Privat
Ort: Dornbirn (Österreich)
Planung: Georg Bechter Architektur + Design
Größe: 126,6 m² NGF, 654,2 m³ BRI, 1-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 25,5 kWh/m² · a

4 STAND DER ENTWICKLUNG IM BAUEN MIT STROH

Der Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. wurde 2002 gegründet und ist seitdem Träger der Entwicklung des Bauens mit Stroh. Zum einen hat er, vor allem in Forschungs- und Entwicklungsprojekten, Grundlagenarbeit geleistet, zum anderen sind allein dort Strohbauteure mit ihrer Erfahrung organisiert. Im Folgenden ist das vorhandene Grundlagenwissen zum Strohbau zunächst in tabellarischer Übersicht

zusammengestellt, sodann mit Orientierung an bauphysikalischen Schutzziele dokumentiert, ausgedrückt in der bauaufsichtlichen Anerkennung. Die anschließenden Abschnitte ergänzen dies um verschiedene, vor allem auch baupraktische Aspekte. Am Ende steht ein Ausblick auf die weitere Entwicklung des Strohballenbaus.

TABELLARISCHER ÜBERBLICK

Bereich	Tests/Prüfungen	Bemessung/Anwendung
Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für den Wärmedämmstoff Baustroh Z-23.11-1595		
Wärmeschutz	Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN 12667	Bemessungswert quer zur Halmrichtung: $\lambda = 0,052 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Brandverhalten	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
Feuchteschutz	Anlage 1 von Z-23.11-1595	feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften von Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung
Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis P-3048/817/08-MPA-BS		
Feuerwiderstand	Feuerwiderstand nach DIN EN 1365-1	feuerhemmend F30-B bzw. feuerbeständig F90-B gemäß DIN 4102-4
Weitere Testergebnisse		
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
Brandverhalten	4.2: „Single burning item“ Test gemäß EN 13823	Baustroh mit > 8 mm Lehmputz schwer entflammbar B-s1, d0 gemäß DIN EN 13501-1
Ökobilanzierung	nach ISO 14025 und EN 15804	Umweltproduktdeklaration von Baustroh (engl. Environmental Product Declaration, EPD)
Sonstiges		
Strohbaurichtlinie SBR-2014		erster ausformulierter Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh

Bauphysikalische Grundlagen

Brandschutz

Normalentflammbarkeit

Gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung 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, 2014) Die Entzündbarkeit ihrer Oberfläche kann durch geeignete Einbauweisen und Bekleidungen weiter herabgesetzt werden. So wird z. B. die Oberfläche mit einer mindestens 8 mm dünnen Lehmputzlage gemäß DIN EN 13501-1 schwer entflammbar (B). (MPA BS K-3305/558/07-2, 2008) Aufgrund eines in Deutschland gemäß DIN 4102 zusätzlich erforderlichen Verwendbarkeitsnachweises für diese europäisch geregelte Prüfung gilt Baustroh jedoch auch mit dieser Bekleidung nur als normal entflammbar. (vgl. DIN EN 13501-1:2010-01 und DIN 4102-1:1998-05)

Feuerwiderstand strohgedämmtter Wandaufbauten

Direkt verputzte strohgedämmte Wände weisen einen beachtlichen Feuerwiderstand auf. Dies zeigen internationale Brandtests und auch mittlerweile fünf Feuerwiderstandsprüfungen von strohgedämmten Wänden nach DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-1, die von der MPA Braunschweig im Auftrag des FASBA durchgeführt wurden. Auf der Basis solcher Prüfungen werden in Deutschland allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (abP) ausgestellt. Ein abP regelt die konkrete Anwendung auf der Baustelle und beschreibt hierfür detailliert den geprüften Wandaufbau inklusive der verwendeten Bauprodukte. Das erste abP für einen strohgedämmten Wandaufbau wurde 2003 ausgestellt. Die Anordnung und Dimension der Holzkonstruktion sowie die Art der Bekleidungen bei späteren Feuerwiderstandsprüfungen hat sich in den darauffolgenden Jahren mehrfach verändert, sodass 2008 und 2014 veränderte abP ausgestellt wurden. Das aktuelle Prüfzeugnis umfasst sowohl einen Wandaufbau mit beidseitigem Lehmputz oder innenseitigem Lehmputz und außen-seitigem Kalkputz für eine F30-B-Klassifizierung als auch mit einem beidseitigen Kalkputz für eine F90-B-Klassifizierung. (MPA BS P-3048/817/08, 2014) Eine durchgängige einlagige Putzschicht ist jeweils ausreichend. Bei Außenwänden in bis zu dreigeschossigen Gebäuden bis zur Gebäudeklasse 3 genügt in der Regel F30-B.

Die Bauteilbeschreibung aus dem abP ist vollständig und exakt einzuhalten. Verwendet werden dürfen daher ausschließlich die genannten Bauprodukte. Auch Art und Abstand der Verbindungsmittel sind einzuhalten usw. Die Vielfalt an strohgedämmten Wandaufbauten, z. B. so wie sie im Anwendungsbereich der abZ hinterlegt ist, spiegelt sich hier nicht wider. Die Wandaufbauten mit unterschiedlichen Bekleidungen innen und außen müssten hier jeweils einzeln Feuerwiderstandsprüfungen unterzogen werden.

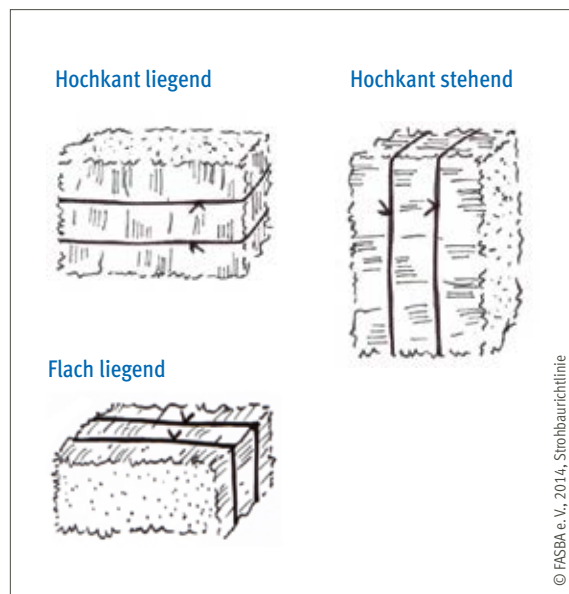
Für Gebäudeklasse 4 konnte beim Kompetenzzentrum des Norddeutschen Zentrums für nachhaltiges Bauen ein Brandschutznachweis geführt werden.

Wärmeschutz

Wärmeleitfähigkeit: Ballenorientierung und Bemessungswert

Seit 2003 werden in Deutschland 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. Diese verläuft hauptsächlich 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. Physikalisch bedingt ist die Wärmeleitfähigkeit in Richtung der Halme höher, woraus sich dementsprechend bei einem Wärmestrom in dieser Richtung ein schlechterer Wärmedämmwert ergibt. Daher werden Strohballen üblicherweise hochkant stehend oder flach stehend verbaut. Theoretisch möglich ist auch ein Einbau der Länge nach, praktisch ist das jedoch nur mit gleichmäßig kurzen Ballen zwischen festen Bekleidungen aus Plattenwerkstoffen möglich.

Der für Berechnungen zu verwendende Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit Baustroh gemäß Zulassung beträgt $\lambda = 0,052 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. (Z-23.11-1595, 2014) Dieser Wert gilt dann, wenn die Halme innerhalb des Bauteils überwiegend senkrecht zur Wärmestromrichtung ausgerichtet sind, d. h. hochkant stehend oder hochkant liegend eingebaut werden. Ein anerkannter Bemessungswert für die Orientierung der Halme in Wärmestromrichtung existiert derzeit nicht.

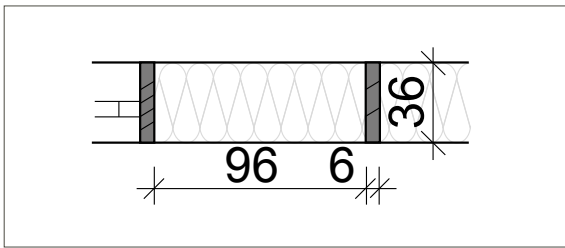


Orientierung von Strohballen beim Einbau

U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient)

Der Wärmedurchgangskoeffizient U ($W/(m^2 \cdot K)$) bezeichnet den Wärmestrom in Watt bei einem Temperaturunterschied von einem Grad Kelvin durch einen Quadratmeter Bauteilfläche.

Der Wärmedurchgangskoeffizient einer beispielhaften, 36 cm starken strohgedämmten Wand mit 6/36 cm Holzständern, $e = 1,02$ m, Ballen aufrecht liegend oder aufrecht stehend, ohne weitere Bekleidungen, beträgt $U = 0,153 W/(m^2 \cdot K)$. (FASBA e.V., 2014, Strohbaurichtlinie SBR-2014)



Symbolbild strohgedämmte Wand $U = 0,153 W/(m^2 \cdot K)$

Sommerlicher Wärmeschutz

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 zu 115 kg/m^3 ergibt sich gegenüber den herkömmlichen Dämmstoffen eine höhere Wärmespeicherung (S), die sich bei strohgedämmten Dachausbauten im Sommer durch ein günstigeres Temperaturverhalten bemerkbar macht. Bei einem Vergleich von Außenwänden leichter Bauart mit einem U -Wert von $0,15 W/(m^2 \cdot K)$ sind Strohwände den anderen Bauteilaufbauten deutlich überlegen. Lediglich die unübliche Ausführung der Dämmung komplett mit Holzfaserdämmplatten würde einen noch höheren sommerlichen Wärmeschutz erreichen.

WÄRMESPEICHERZAHL (S) VON VERSCHIEDENEN DÄMMSTOFFEN

Stoff	ρ kg/m^3	c $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$	S $\text{kJ/m}^3 \cdot \text{K}$
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

Schallschutz

Bewertetes Luftschalldämmmaß einer strohgedämmten Außenwand

Für die Einhaltung konkreter Schallschutzanforderungen an strohgedämmte Außenwände sind objektbezogene Untersuchungen und Nachweise ratsam. Folgende Werte sind als Beispiele anzusehen:

Eine **Wand I** mit Putz 1 cm, 36 cm Stroh, 6/30 cm Ständer mit beidseitig je 2 cm Holzfaserdämmplatte als Putzträger erreicht $R_{w,R} = 43 \text{ dB}$.

Eine **Wand II** mit Putz 1 cm auf der einen Seite, 2 cm auf der anderen Seite, 36 cm Stroh, 6/30 cm Ständer mit beidseitig je 2 cm Holzfaserdämmplatte als Putzträger erreicht $R_{w,R} = 44 \text{ dB}$.

Rechenwerte nach DIN 4109:1989 Tab. 11 laut IAB Messbericht A 59829/3950, 25.09.2009.

Feuchteschutz

Die Tauglichkeit von strohgedämmten Bauteilen ist maßgeblich von deren feuchtetechnischer Eignung abhängig. Innerhalb des Bauteils darf es nicht zu einem schädlichen Schimmelpilzbefall kommen. In Abhängigkeit von der Temperatur müssen hierzu die anfallenden Feuchtemengen durch die Einhaltung von bestimmten Schichteigenschaften ausreichend gering gehalten werden.

Nachweis der feuchtetechnischen Eignung

Ein strohgedämmtes Bauteil kann feuchtetechnisch durch eine biohygrothermische Bewertung des jahreszeitlichen Feuchte- und Temperaturverlaufs in 5 cm Tiefe, gemessen von der außenseitigen Strohkante, nachgewiesen werden. Für die Ermittlung eines sicheren, schimmelfreien Anwendungsbereichs werden nach Sedlbauer als Wachstumsfaktoren Temperatur, Feuchte und Substrat berücksichtigt. Stroh wird in die Substratklasse I eingeordnet. Der Temperatur- und Feuchteverlauf innerhalb der Strohdämmung wird mithilfe einer instationären Berechnung (z. B. mit WUFI®) bestimmt (alternativ messtechnisch an vorhandenen Bauteilen). Die ermittelten Werte werden anschließend einer Schimmelrisikobewertung mit WUFI-Bio unterzogen. (vgl. Künzel, 1994; Sedlbauer, 2001; Krus et al., 2013; angewendet in Klatecki und Otto, 2013; zitiert in FASBA e.V., 2014, Strohbaurichtlinie SBR-2014)

In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Baustroh ist seit 2014 ein Anwendungsbereich für strohgedämmte Bauteile formuliert, der nach diesem Verfahren bestimmt wurde. Strohgedämmte Bauteile gelten als feuchtetechnisch geeignet, wenn die Eigenschaften der einzelnen Schichten den Vorgaben der Anlage 1 dort entsprechen. (Z-23.11-1595, 2014)

Die folgenden Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung haben feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften.

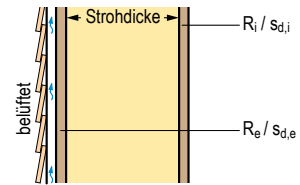
Nachgewiesene Bauteilaufbauten

Anlage 1 zu Z-23.11-1595, Neufassung 3. Juni 2014

Beispiele für feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften von Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung.

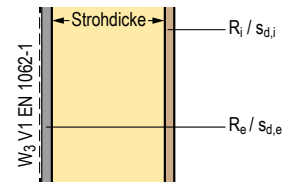
a) Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz

Zeile	Strohdicke (m)	$s_{d,i}$ (m)	R_i ($m^2 \cdot K/W$)	$s_{d,e}$ (m)	R_e ($m^2 \cdot K/W$)
1	$\leq 1,00$	$\geq 0,10$	$\leq 0,35$	$\leq 0,50$	–
2	$\leq 0,48$	$\geq 0,76$	$\leq 3,14$	$\leq 0,50$	–
3	$\leq 0,48$	$\geq 0,10$	$\leq 0,35$	$\leq 1,00$	$\geq 1,00$
4	$\leq 0,48$	$\geq 2,00$	$\leq 0,35$	$\leq 1,50$	$\geq 0,70$
5	$\leq 0,48$	$\geq 0,10$	$\leq 0,35$	$\leq 1,50$	$\geq 1,43$
6	$\leq 0,48$	$\geq 0,10$	$\leq 0,35$	$\leq 2,00$	$\geq 1,90$



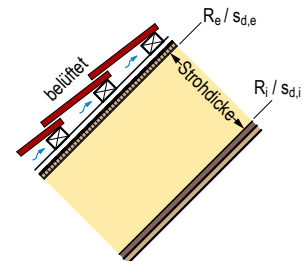
b) Frei bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W₃ und V₁

Zeile	Strohdicke (m)	$s_{d,i}$ (m)	R_i ($m^2 \cdot K/W$)	$s_{d,e}$ (m)	R_e ($m^2 \cdot K/W$)
1	$\leq 0,70$	$\geq 0,10$	$\leq 0,35$	$\leq 0,50$	–
2	$\leq 0,48$	$\geq 0,76$	$\leq 3,14$	$\leq 0,50$	–
3	$\leq 0,48$	$\geq 3,00$	$\leq 0,35$	$\leq 1,50$	$\geq 0,30$



c) Dachkonstruktionen mit belüfteter Dachdeckung

Zeile	Strohdicke (m)	$s_{d,i}$ (m)	R_i ($m^2 \cdot K/W$)	$s_{d,e}$ (m)	R_e ($m^2 \cdot K/W$)
1	$\leq 0,48$	$\geq 2,00$	$\leq 0,35$	$\leq 0,50$	$\geq 0,14$
2	$\leq 0,36$	$\geq s_{d,e}$	$\leq 0,35$	$\leq 3,00$	$\geq 0,14$



Hinweise:

Zeile 1 charakterisiert die jeweils zulässige Grundvariante.

Weitere Zeilen: mögliche Varianten mit geänderten Bauteileigenschaften (blau hinterlegt), die in der Folge dann zu ändernde Schichteigenschaften erfordern (fett gedruckte Werte).

Abkürzungen:

$s_{d,e}$: Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke für die äußeren Schichten/Bekleidungen.

$s_{d,i}$: Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke für die inneren Schichten/Bekleidungen.

R_i : Wärmedurchlasswiderstand für die inneren Schichten/Bekleidungen.

R_e : Wärmedurchlasswiderstand für die äußeren Schichten/Bekleidungen.

W_3 : Die Wasserdurchlässigkeit der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $w_{24} \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{vh})$; Index 24 = Prüfdauer 24 h.

V_1 : Wasserdampf-Diffusionsstromdichte der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $V > 150 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ mit $s_d < 0,14 \text{ m}$.

Nicht nachgewiesene Bauteilaufbauten

Weichen Schichteigenschaften von Anlage 1 der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 ab, sind solche Bauteilaufbauten gesondert nachzuweisen. Beispiele dafür sind Strohdämmungen in nicht belüfteten Dachflächen sowie Bodenplatten und Kellerdecken. Die feuchtetechnische Eignung ist jeweils bauphysikalisch nachzuweisen, z. B. durch eine biohygrothermische Bewertung mithilfe von WUFI und WUFI-Bio.

ERLÄUTERUNG DER ANLAGE 1

Die Anlage 1 regelt die biohygrothermische Eignung strohgedämmter Bauteile in Abhängigkeit von ihren Baustoffeigenschaften. Die für die drei Bauteiltypen aufgestellten Tabellen enthalten die erforderlichen Schichteigenschaften, um schädlichen Schimmelpilzbefall im maßgeblichen äußeren Bereich der Strohdämmung auszuschließen. Hierfür dürfen weder durch Wasserdampfdiffusion (konvektiver Eintrag ist ohnehin auszuschließen, siehe Z-23.11-1595, 2014) von innen in die Strohdämmung noch durch Regen von außen in Verbindung mit den klima- und bauteilbedingten anliegenden Temperaturen Wachstumsvoraussetzungen für die Sporeneimung entstehen. Konstruktiv kann dies nur durch eine Kombination von geeigneten Wärmedurchlasswiderständen innen und außen sowie der Dämmung selbst (in der Anlage vereinfacht als Strohdicke angegeben) erreicht werden. Weiterhin müssen geeignete diffusionsäquivalente Luftschichtdicken der inneren und der äußeren Bekleidung sowie der Strohdämmung selbst (indirekt ebenfalls in Strohdicke enthalten) beachtet werden.

Für das erste Verständnis sind die Hinweise unterhalb der Tabelle der Anlage 1 zurate zu ziehen. Damit werden Fachleute in die Lage versetzt, zulässige Bauteile zu planen bzw. die Zulässigkeit ihrer gewünschten Konstruktion zu überprüfen.

Erläuterung am Beispiel der Außenwandkonstruktionen Tabelle a)

Nachfolgende textliche Erläuterungen sollen die dahinterliegende, den bauphysikalischen Mechanismen folgende Logik und die Funktionsweise der tabellarischen Kombinationsanforderungen als Wenn-dann-Beziehungen am Beispiel der nach Tabelle a) zulässigen Konstruktionen verstehen helfen.

Strohgedämmte Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz sind gemäß der Tabelle a) der Anlage 1 wie aufgeführt zulässig:

Zeile 1: Wenn die Strohdicke nicht größer als $d = 1$ m ist und wenn gleichzeitig die Bauteilschichten zwischen Strohdämmung und Außenklima eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von höchstens $s_{d,e} = 0,5$ m aufweisen und die zwischen der Strohdämmung und dem Innenraum liegenden Bauteilschichten eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von mindestens $s_{d,i} = 0,1$ m und einen Wärmedurchlasswiderstand von höchstens $R_i = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ aufweisen, dann ist der Bauteilaufbau zulässig.

Zeile 2: Wenn demgegenüber die raumseitigen Schichten einen höheren Wärmedurchlasswiderstand von bis zu $R_i = 3,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ aufweisen, z. B. weil die Strohdämmung vor einer Mauerwerkswand eingesetzt wird, dann ist in der Konsequenz die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke innen auf mindestens $s_{d,i} = 0,76$ m zu erhöhen. Die Strohdicke darf hierbei maximal $d = 0,48$ m betragen.

Zeile 3: Wenn die äußeren Schichten außen abweichend von der Beispielkonstruktion in Zeile 1 eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von bis zu $s_{d,e} = 1,0$ m aufweisen, dann ist in der Konsequenz der Wärmedurchlasswiderstand der äußeren Schichten auf mindestens $R_e = 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ zu erhöhen. Die Strohdicke darf hier ebenfalls maximal $d = 0,48$ m betragen.

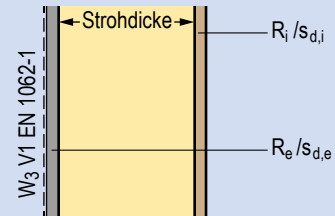
Alle weiteren Zeilen und Tabellen folgen der gleichen Logik.

Direkt bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen müssen einen Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W_3 und V_1 erhalten.

Beispiel für die Vorgehensweise zur Überprüfung eines beabsichtigten Bauteilaufbaus

Es soll eine direkt bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktion erstellt werden und hinsichtlich ihrer Zulässigkeit gemäß Anlage 1 überprüft werden. Die Außenwandkonstruktion soll folgende Eigenschaften aufweisen:

- Strohdicke $d = 0,36$ m
- 3 cm Lehmputz innen mit einer Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von $\mu = 10$ und einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,70$ W/(m·K)
- 3 cm Kalkputz gemäß DIN EN 998-1 außen mit einer Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von $\mu = 15$ und einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,80$ W/(m·K)
- Fassadenanstrich, ausgewiesen entweder direkt mit den Klassifizierungen W_3 und V_1 oder $w_{24} \leq 0,1$ kg/(m²·vh) und $V > 150$ g/(m²·d) mit $s_d < 0,14$ m



Beurteilung gemäß Tabelle b), Anlage 1 von Z-23.11-1595

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicken $s_d = d \cdot \mu$ [m]

Außen: vorhanden $s_{d,e} = 15 \cdot 0,03$ m = 0,45 m \leq zulässig $s_{d,e} = 0,5$ m

Innen: vorhanden $s_{d,i} = 10 \cdot 0,03$ m = 0,30 m \geq zulässig $s_{d,i} = 0,1$ m

Wärmedurchlasswiderstände $R = d/\lambda$ (m²·K/W)

Außen: R_e vorhanden = $0,03/0,8$ m = 0,038 R_i zulässig in Zeile 1 und 2 ohne Anforderung

Innen: R_i vorhanden = $0,03/0,7$ m = 0,043 R_e zulässig = 0,35 m

Ergebnis: Die Konstruktion ist gemäß Tabelle b), Anlage 1 Z-23.11-1595 Zeile 1 oder 2 zulässig, weil alle Schichteigenschaften in der Kombination eingehalten werden und der Außenputz normgerecht ist und ein geeigneter Fassadenanstrich eingesetzt wird.

Bauaufsichtliche Anerkennung

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Im Jahr 2006 konnte der FASBA die Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) für Baustrohballen erreichen. (Z-11.23-1595, 2006) Darin wurden erstmals Eigenschaften von Stroh wie Normalentflammbarkeit und Wärmeleitfähigkeit festgelegt. Für die Anwendung wurde innenseitig eine Dampfbremse und außenseitig eine Überdämmung vorgeschrieben. Mit der überarbeiteten Zulassung von 2014 konnten die Eigenschaften einfacher und vom eingebauten Zustand her bestimmt werden sowie der Anwendungsbereich aufgrund von Messdaten aus Gebäuden und computergestützten Nachweisen neu und umfangreich bestimmt werden (inklusive der direkten Verputzbarkeit von Strohoberflächen innen- wie außenseitig).

ETA

Aufgrund des Trends zur europäischen Kennzeichnung von Bauprodukten und auch weil eine Anerkennung der nur national gültigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Bauprojekte in anderen EU-Staaten gewollt war, wird diese 2017 auf eine Europäische Technische Bewertung umgestellt (European Technical Assessment, ETA).

Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis

Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis ermöglicht strohgedämmte Wandaufbauten F30-B (feuerhemmend) und F90-B. (MPA BS P-3048/817/08, 2014)



Fassadendetail

Ökobilanzierung strohgedämmter Bauteile

Zur allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung liegt seit 2014 eine Umweltproduktdeklaration (Englisch: (Environmental Product Declaration, EPD) vor. Damit können strohgedämmte Bauteile ökobilanziell bewertet werden. Mehr dazu finden Sie in Kapitel 2 ab Seite 8.

Strohbaurichtlinie SBR-2014

Mit der Strohbaurichtlinie SBR-2014 hat der FASBA einen ersten Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh vorgelegt. Sie fasst die bisherigen Erfahrungen und das Wissen der Strohbauteure in Deutschland zusammen. Ähnlich strukturiert wie die Lehmbauregeln ist sie weniger eine Anleitung zum Bauen mit Stroh denn ein Grundlagenwerk. Die Strohbaurichtlinie hat zunächst keinen offiziellen Charakter, dient aber als Bezugsrahmen für alle am Bau mit Stroh Beteiligten, zumindest solange keine anerkannten Regeln der Technik oder gar eine Norm entwickelt sind.

Lasttragendes Bauen

Die historischen Vorbilder aus dem 19. Jahrhundert wurden als lasttragende Gebäude errichtet, d. h., die Strohbälle wurden als großformatige Mauerziegel eingesetzt, die Dach- und Deckenlasten tragen. Weltweit wurden seither viele Gebäude so errichtet, nach empirischer Ermittlung ihres Tragverhaltens und in einigen Bundesstaaten der USA auch auf der Basis von Building Codes. Hierzulande steht ein fundierter wissenschaftlicher Erklärungsansatz für die Tragwirkung und eine praxistaugliche Bemessung noch aus. Auch ein mehrjähriges Forschungsvorhaben des Fachverbandes Strohballebau Deutschland e.V. konnte nur eingeschränkt und für Einzelfälle taugliche Erklärungsansätze liefern. (FASBA e.V., 2008; Krick, 2008; Krick und Minke, 2014)

Eine Sonderstellung nimmt das lasttragende Bauen mit Großballen ein, das 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 einige erfolgreich umgesetzte Gebäude vorweisen. Bisheriger Höhepunkt ist der Bau eines dreigeschossigen lasttragenden Strohballehauses mit mehr als 1 m dicken Wänden.

Zwar zeichnet das lasttragende Bauen mit Stroh eine besondere Attraktivität aus. In der Einstellung potenzieller Bauherren und -damen drückt sie sich etwa so aus: Wenn wir mit Stroh bauen, dann wollen wir auch ein lasttragendes Strohballehaus bauen. Dagegen gibt es in Deutschland derzeit keinen allgemein anerkannten Ansatz zur Tragfähigkeit von

Strohballen und damit baurechtlich nur die Möglichkeit, per Genehmigung im Einzelfall mit Stroh lasttragend zu bauen. (FASBA e.V., 2014)

Strohbauakteure

Bauherren (privat, gewerblich, öffentlich), Planer bzw. Planungsbüros, ausführende Handwerker bzw. Handwerksbetriebe sowie Landwirte bzw. landwirtschaftliche Betriebe, die Baustrohballen pressen, wirken als Akteure beim Bau eines strohgedämmten Gebäudes zusammen.

Als prägender Entwicklungsstandort im deutschen Strohballenbau gilt Sieben Linden in Sachsen-Anhalt, wo seit 1997 ein ökologisches Modelldorf entsteht. Die Strohbauweise wurde von den Menschen dort als ihren baulichen Ansprüchen entsprechend erkannt. Bis 2017 entstanden dort neun größere strohgedämmte Wohnhäuser und mehrere kleinere Strohbauten. Bei diesen Bauprojekten wurden im Laufe der Jahre sowohl Planer als auch Handwerker zu Strohbauakteuren qualifiziert und grundlegende Erfahrungen für das Bauen mit Stroh insgesamt gesammelt. 2002 gründete sich dort auch der Fachverband Strohballenbau (FASBA).

Im Wohnungsbau traten als Bauherren oft Privatleute mit ökologischem Bewusstsein, Bau- und/oder Wohngruppen oder Gemeinschaftsprojekte auf. Mit dem Bau des fünfgeschossigen Kompetenzzentrums des Norddeutschen Zentrums für nachhaltiges Bauen, initiiert durch das Ökozentrum Verden, einen Zusammenschluss verschiedener Betriebe und Einrichtungen im ökologisch-sozialen Umfeld, wurde gezeigt, dass auch Bürogebäude innerstädtisch als Strohbau möglich sind. Mit der Sanierung der Bestandsgebäude auf dem Gelände der Alten Brauerei in Schwerin gibt es ein erstes und erfolgreiches Beispiel für Strohbau durch einen Bauträger (Schelfbauhütte GmbH). Auch der eine oder andere Kindergarten wurde mit Stroh gedämmt. Zukünftig darf erwartet werden, dass die ökobilanziellen Qualitäten des Bauens mit Stroh vermehrt öffentliche und gewerbliche Bauherren interessieren.

Im FASBA sind ca. 150 Mitglieder organisiert, darunter Bauherren, Planer, Ausführende und andere am Strohbau Interessierte. Darüber hinaus gibt es noch den einen oder anderen nicht organisierten Strohbauakteur. Bundesweit finden sich Ansprechpartner, ihre Zahl ist über die letzten Jahre langsam, aber stetig größer geworden. Trotzdem gibt es bislang nicht genügend Strohbauakteure für eine Flächendeckung. Hier bedarf es perspektivisch vor allem der Qualifizierung von mehr Planern und Handwerksbetrieben im Holzbau in Kombination mit Lehm- und Kalkputz. Die wenigen Betriebe, die bereits alle Leistungen für strohgedämmte Gebäude aus einer Hand anbieten, sind damit erfolgreich.



Eröffnung Dorfladen Flegessen 2015

Die meisten Bauprojekte werden von Landwirten oder Strohhändlern vorhabenbezogen mit Strohballen versorgt. Dadurch wird Regionalität gewährleistet und die nach wie vor insgesamt geringe Strohbauaktivität rechtfertigt meist keine Lagerhaltung. Das ändert sich, wenn ein Strohballenhausbauer einen regelmäßigen Bedarf hat. Dann wird das Pressen von Baustrohballen durch einen regionalen Partner aus der Landwirtschaft sinnvoll und erfolgreich. Außerdem gibt es inzwischen auch Ansätze zu einer Baustrohherstellung mit transportabler Umpressanlage, mit der Ansprüche an Qualität, Regionalität und Verfügbarkeit abgedeckt werden könnten.

Ausblick

Die Grundlagenarbeit für das Bauen mit Stroh konnte im Jahr 2014 weitgehend abgeschlossen werden. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht hier noch im Brandschutz. Eine größere Auswahl an Bauteilaufbauten mit Feuerwiderstandsklassifizierung wäre nötig und erfordert einige Brandtests.

Beim lasttragenden Strohballenbau fehlen immer noch anerkannte Grundlagen. Hier gibt es nach wie vor Forschungs- und Entwicklungsbedarf mit allerdings ungewissen Erfolgsaussichten.

Vorrangiges Ziel für die nächsten Jahre ist die Entwicklung eines Marktes für strohgedämmte Gebäude. Dazu bedarf es weiterer Qualifizierung von Akteuren, vor allem von solchen, die Strohballenhäuser komplett anbieten sowie Lobbyarbeit für das Bauen mit Stroh leisten.



5 BAUAUFSICHTLICHE ANERKENNUNG UND GENEHMIGUNGSFÄHIGKEIT

Genehmigung entsprechend der bauaufsichtlichen Anerkennung

Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Baustrohballen liegt eine weitgehende bauaufsichtliche Anerkennung für das Bauen mit Stroh vor. Darin sind die wesentlichen Eigenschaften von Stroh als Baustoff sowie – seit 2014 – ein umfangreicher Anwendungsbereich benannt. (Z-23.11-1595, 2014) Bauvorhaben mit Strohdämmung können damit auf dem üblichen Wege beantragt und genehmigt werden. Belegt wird die bauaufsichtliche Anerkennung mit dem Ü-Zeichen bzw. CE-Zeichen. Die 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 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 übertragen. Durch die fehlende behördliche Prüfung entfallen Kontrolle, Korrektur und Mitverantwortung durch das Amt. Abweichungen jeglicher Art werden getrennt von diesem allgemeinen Genehmigungsverfahren behandelt.

Genehmigungsfähigkeit bei Abweichungen

Auch bei Abweichungen von der bauaufsichtlichen Anerkennung ist das Bauen mit Stroh grundsätzlich genehmigungsfähig, erfordert aber in jedem Fall einen Mehraufwand im Genehmigungsverfahren.

Abweichungen vom Anwendungsbereich

Weil der Anwendungsbereich mit der überarbeiteten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung 2014 umfanglich bestimmt ist, sind Abweichungen davon seither selten. Sie betreffen z. B. die Verwendung von Stroh als Dämmung in Fußböden oder den lasttragenden Strohhallenbau. Sofern die Abweichungen von der zuständigen Baubehörde als geringfügig betrachtet werden, bedürfen sie keines weiteren Nachweises und keiner weiteren Zustimmung. Ansonsten sind Abweichungen vom Anwendungsbereich nachzuweisen und über eine Zustimmung im Einzelfall zu genehmigen.

Verwendung von nicht als Bauprodukt gekennzeichneten Strohhallen

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 das Bauteil 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 von einer weitgehenden Tauglichkeit ausgegangen werden. Beim Bau eines Gebäudes ist aufgrund von öffentlich-rechtlichen Anforderungen und privatrechtlichen Verpflichtungen jedoch von allen Beteiligten eine erhebliche Verantwortung wahrzunehmen. Bei Verwendung von bauaufsichtlich zugelassenen Baustrohballen ist eine geschlossene Verantwortungskette von der Herstellung des Baustoffs hin zur fachgerechten Planung und Verwendung gewährleistet. Sollen keine bauaufsichtlich zugelassenen Baustrohballen verwendet werden, erfordert dies gemäß Landesbauordnung die Beantragung einer Zustimmung im Einzelfall. Mit diesem Verfahren wird das Bauvorhaben geprüft und die Verantwortung der Beteiligten geregelt. Durch eine Zustimmung im Einzelfall können alle Rechtsansprüche und Verpflichtungen vollständig erfüllt werden, sodass dies eine Alternative zur Verwendung eines bauaufsichtlich anerkannten Baustoffs darstellt. In der Regel bedarf dies eines zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwands einschließlich der Beteiligung mindestens einer sachkundigen Person.

Lasttragendes Bauen

Lasttragendes Bauen mit Strohhallen ist nur dann genehmigungsfähig, wenn dafür ein entsprechender Tauglichkeitsnachweis vorliegt sowie ein anforderungsgerechter Einbau erfolgt. Mangels bauaufsichtlicher Anerkennung des lasttragenden Strohhallenbaus kann der Bau eines solchen Gebäudes nur mit einer Zustimmung im Einzelfall genehmigt werden.

6 STROHGEDÄMMTER NEUBAU

Bauteile im strohgedämmten Neubau unterscheiden sich nach Tragwerk und nach Bekleidungen innen und außen; der Einbau des Stroh kann in Vorfertigung unter Dach erfolgen oder bauseits nach dem Richten. Diese Bandbreite wird im folgenden Kapitel dargestellt, auch anhand eines Ausführungsbeispiels.

Strohoptimierte Bohlenständerkonstruktionen

Bewährt haben sich im strohgedämmten Neubau Holztragwerke, bei denen die Strohballen in ein modernes Fachwerk bzw. im Dach zwischen Sparren eingepasst werden. Diese Holztragwerke zeichnen sich durch ein Rastermaß zwischen den Ständern aus, welches – je nach Einbausituation – exakt einem oder zwei nebeneinanderstehenden Strohballen oder auch der Länge eines Strohballens entspricht. Die Tiefe des Ständers entspricht, gegebenenfalls inklusive Aufdopplung mit Putzträger bei Direktverputzung, der Dämmstärke der Strohballen. Andere Konstruktionen sind möglich, aber zumindest in Deutschland weniger üblich.³ Solche strohoptimierten Bohlenständerkonstruktionen werden entweder direkt verputzt oder mit Platten, Brettern oder Bahnen bekleidet. Holzwerkstoffplatten oder eine Diagonalverschalung können die Konstruktion üblicherweise auf der Innenseite aussteifen, bei der direkt verputzten Ausführungsart wirken im Stroh eingefräste, zimmermannsmäßig ausgeführte Streben aussteifend.



Innere Bekleidung/Aussteifungsmöglichkeiten: links Holzwerkstoffplatte (z. B. 3-Schicht-Platte), rechts Holzstrebe; jeweils zwei Strohballen nebeneinander hochkant im Gefach stehend

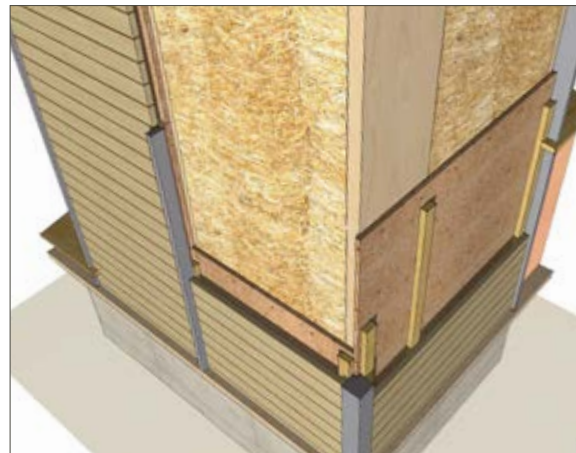
Bei der Bekleidung mit Plattenwerkstoffen ist zu beachten, dass deren Abmessungen und die Abmessungen der Strohballen in der Regel zunächst nicht aufeinander abgestimmt sind. Sofern möglich, sollen die relevanten Größen – Strohballenformat, Dicke der Ständer, Format des Plattenwerkstoffes – planerisch miteinander in Einklang gebracht werden. Bei der Direktverputzung kann der Standardabstand der Holzständer am Format der Strohballen ausgerichtet werden.

Als Faustregel für die Ermittlung der geeigneten Gefachbreite darf angesehen werden (FASBA e.V., 2014, Merkblatt Verarbeitung von Baustroh):

- Einfach: lichte Gefachbreite = Strohballenbreite – 1 cm,
- Dopplung: lichte Gefachbreite = 2 Strohballenbreiten – 2 cm.

Die Ausfachung eines Testgefachs schafft Planungssicherheit. Der lichte Standardabstand der Holzständer muss frühzeitig, genau und zuverlässig festgelegt werden. Hier würden Planungsmängel erheblichen zusätzlichen Arbeitsaufwand bewirken. (FASBA e.V., 2014, Strohbaurichtlinie SBR-2014)

Plattenverkleidete strohgedämmte Bohlenständerwand



Außenecke mit hinterlüfteter Holzschalung auf Holzwerkstoffplatte

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.

³ Innenseitig in die Stroebe eingelassene Holzpfosten erfordern erhöhten Aufwand beim Einbau und ein vorgesetztes Tragwerk erfordert eine Stabilisierung größerer Strohfleichen. Lasttragende oder auch Hybrid-Konstruktionen, z. B. die CUT-Technik, sind in ihrer Tragfähigkeit in Deutschland allenfalls im Einzelfall genehmigungsfähig.

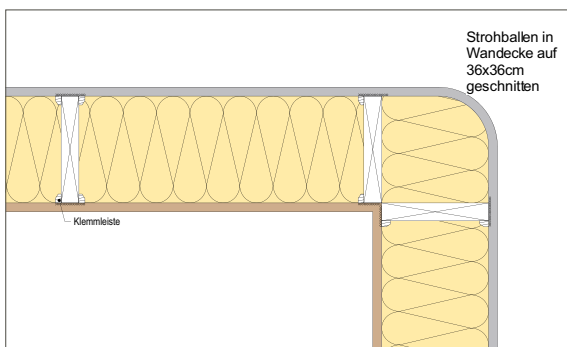
Direkt verputzte strohgedämmte Bohlenständerwand



Putz auf Stroh mit runden Laibungen

Durch das direkte Verputzen der Strohdämmung kann auf weitere Bekleidungsschichten verzichtet werden. Auf der Außenseite ermöglicht der Direktverputz, in der Regel mit einem Kalkputz, eine lückenlose, die Kontur des Strohs verfolgende Verkleidung, die für ununterbrochenen kapillaren Feuchteabtransport sorgt. Ein hydrophobierender Anstrich ist feuchtetechnisch notwendig. Innenseitig sorgt der Direktverputz mit Lehm für ein angenehmes und gesundes Raumklima.

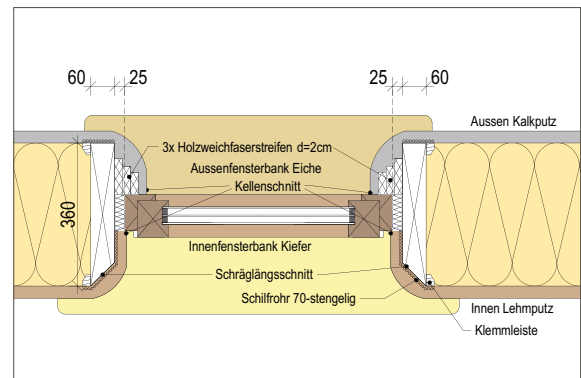
Im Gefach muss Stroh durch geeignete Mittel dauerhaft gegen Ablösen und Herauskippen gesichert sein. Dazu werden z. B. an den vier Kanten eines Gefachs angefaste oder diagonal aufgetrennte Latten von ca. 3 cm x 5 cm oder 4 cm x 6 cm als Klemmleisten befestigt. Alternativ ist auch eine Lagesicherung durch Aufdopplung trapezförmiger Profile aus einer stabilen und ca. 4 cm starken Holzfaserdämmplatte möglich.



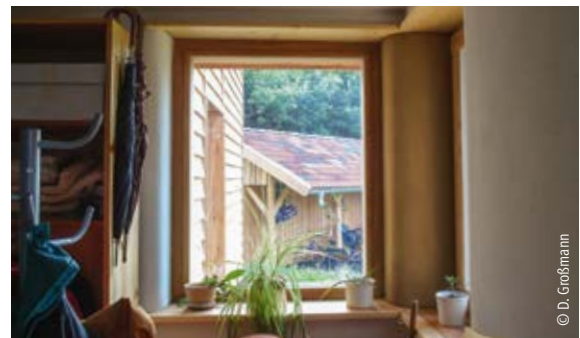
Horizontalschnitt einer direkt verputzten Wandecke

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

Eine Fensterlaibung, so wie sie hier detailliert abgebildet ist, nutzt die Ausrundbarkeit der Gefachkanten für besseren Lichteinfall und eine wärmeschutztechnisch optimale Überdämmung des Fensterrahmens von außen. An den seitlichen und oberen Innenkanten des Fenstergefachs erhalten die Bohlenständer einen beinahe auf null auslaufenden Schrägschnitt im 45°-Winkel. Die weitere Rundungsausbildung erfolgt mithilfe des Lehmputzes. Vor dem Verputzen des Holzes wird ein Putzträger aufgebracht, hier ein enges Schilfrohr oder eine 10 mm dicke Holzfaserdämmplatte. 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



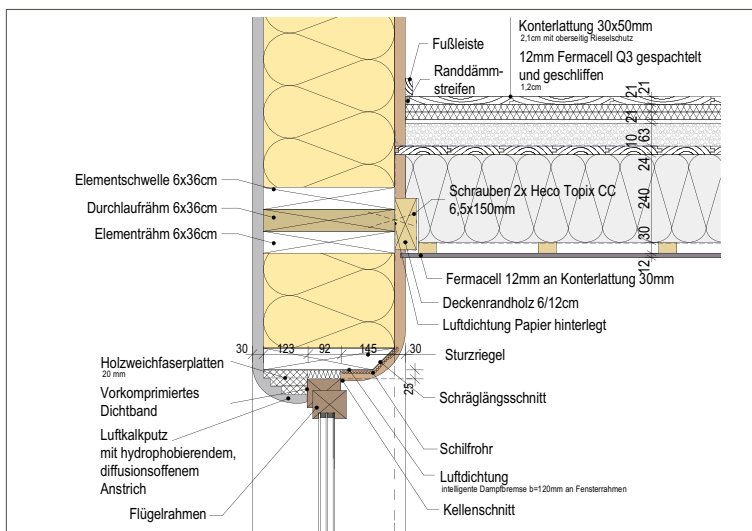
Ausblick

Beim Deckenanschluss sind funktional zu beachten:

- die Lasteintragung aus der Decke in die Wand,
- die Durchführung der luftdichten Ebene hinter dem Auflager,
- eine für den Stroheinbau möglichst unkomplizierte Gefachausbildung.

Der hier gezeigte Deckenanschluss zeigt eine Ausführung, bei der vorgefertigte strohgedämmte Wandelemente auf der Baustelle montiert 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 Vollgewindeschraube gegen Aufspalten gesicherten 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 Deckenauflager sind zahlreiche andere Details möglich. Neben einer guten Tragwerksausbildung ist besonders auf eine durchgehende Luftdichtung zu achten.

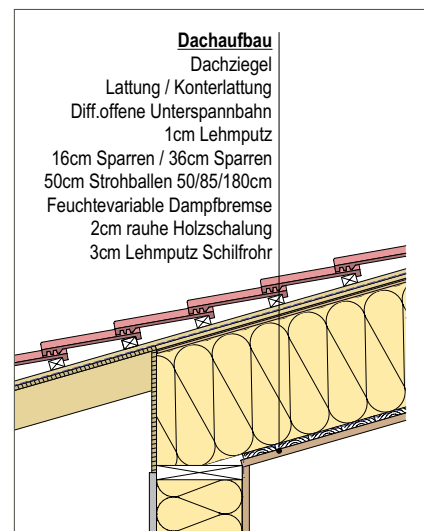


Deckenanschluss

Dachdämmung mit Strohballen

Auch Dächer lassen sich mit Stroh dämmen. Vieles entspricht den Konstruktionen von Wänden und Decken. Ein Unterschied bei Dächern stellt die äußere Bekleidung dar. Geneigte Dächer mit Strohdämmung erfordern gemäß abZ eine Hinterlüftung. 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. Diese Rahmenbedingungen drücken sich in den Anforderungen an strohgedämmte Dachkonstruktionen gemäß abZ aus. (siehe Anlage 1/c der abZ 23.11-1595)

Bei der Traufausbildung ist zwischen Holzbau, Gestaltung und wärmebrückenoptimierter Ausführung abzuwägen. Im Beispiel unten wurde dem einfachen Holzbau der Vorzug gegeben. Der 20 cm hohe Untergurt des zusammengesetzten Sparrens endet ohne Überdämmung an der Außenkante der Wandkonstruktion, der 16 cm hohe Obergurt steht aus der Konstruktion heraus und bildet den Dachüberstand. Wie üblich ist auch hier auf einen luft- und winddichten Übergang zwischen Wand und Dach zu achten.



Vertikalschnitt Dach/Wand

Ein Ausführungsbeispiel Schritt für Schritt

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 vorgefertigen. Zusätzlich von Vorteil ist hierbei, dass diese im liegenden Zustand einfacher mit Strohballen ausgefacht werden können als nach dem Richten bauseits in der senkrechten Wand bzw. in der Dachschräge. Darüber hinaus kann auch mindestens eine erste Bekleidungslage, z. B. Grundputz oder Holzweichfaserplatten, aufgebracht werden. Dem steht die Wettersicherheit beim bauseitigen Einbau gegenüber, der dann unter Dach erfolgt. Die vor-

gefertigten Wandelemente müssen in der Bauzeit gegen Durchfeuchtung durch Niederschlag und Spritzwasser fachgerecht geschützt werden. (FASBA e.V., 2014, Strohbaurichtlinie SBR-2014) Die folgende Bilderserie zeigt die Vorfertigung einschließlich des Einbaus der Ballen.



1. Montageteich unter einem provisorischen Vorfertigungsdach neben der Baustelle. Die ersten Holzteile einer ca. 2,8 m 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. Die Verbindung der Ständer mit Rähm und Schwelle erfolgt hier mittels Holzbauschrauben, die diagonal zur Faserrichtung der Ständer eingebracht werden.



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



4. Eindrücken der Ballen mittels Körpergewicht.



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



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



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



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



9. Abschluss des Balleneinbaus.



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



11. Nachrasieren der Oberfläche mit Heckenschere oder Elektrokettensäge.



12. Ausschneiden der Strebe.



13. Einbau der oberen Klemmleisten.



14. Fertiges Wandteil. Herstellungsdauer ca. 4 Stunden.

Montage der vorgefertigten Wandelemente



1. Aufstellen der ersten Wand im Erdgeschoss.



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.



3. Aufstellen der ersten Wand im Obergeschoss.



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

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.



4. Aufbringen einer Lage Lehmputz.



5. Dachstrohballe mit Lehmputzlage und Unterspannbahn.



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

Lehm- und Kalkputzarbeiten auf Strohbällen



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



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

Kosten

Strohgedämmte Gebäude weisen ähnliche Herstellungskosten (Kostengruppen 200 bis 700 nach DIN 276) wie vergleichbare Gebäude auf.

Methodik

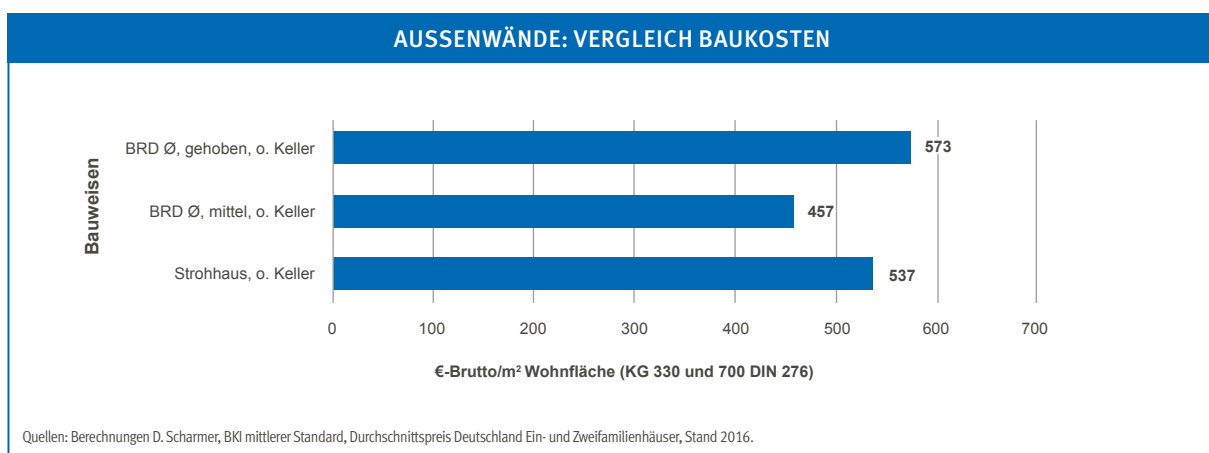
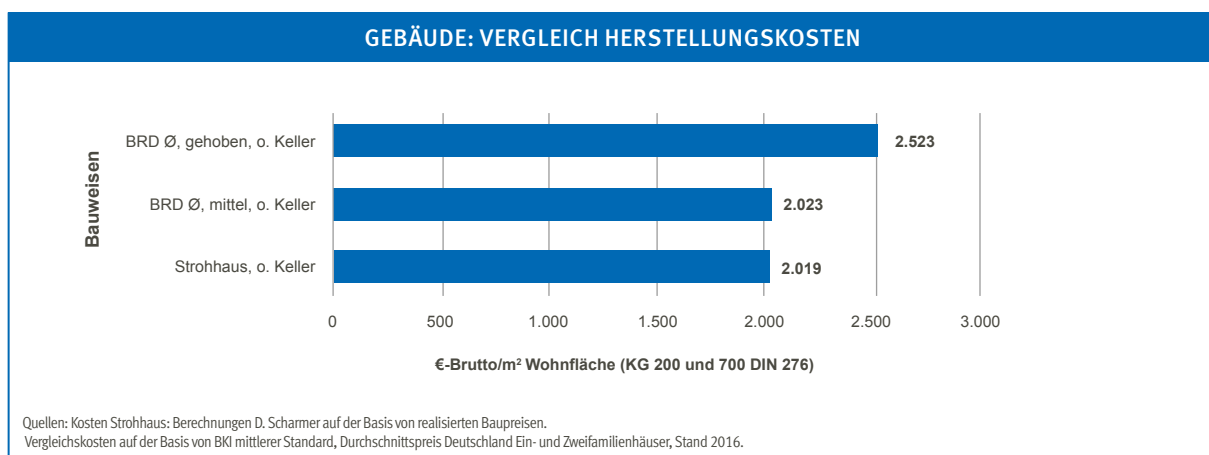
Beim Vergleich von Gebäuden unterschiedlicher Bauweisen besteht oft die Gefahr, dass „Äpfel mit Birnen“ verglichen werden. Durch den Einfluss unterschiedlicher und kaum vollständig benennbarer Faktoren und Rahmenbedingungen (Ausbau- und Energiestandard, Eigenleistungsanteil, Baujahr, regionale Preisunterschiede sowie allgemeine Qualitätsmerkmale) ist dies kaum fassbar. Für den nachfolgenden Kostenvergleich wird daher folgende Methode gewählt: Die Kosten der Strohbauweise sind detailliert auf der Basis von im Jahre 2016 im Norden Deutschlands realisierten Gebäuden berechnet. Zum Vergleich werden Herstellungskosten von Ein- und Zweifamilienhäusern aus dem in Deutschland zur Kostenschätzung etablierten BKI-System (statistisch abgesicherte Aussagen auf der Basis von abgerechneten, dokumentierten Bauvorhaben) herangezogen.

Herstellungskosten von Ein- und Zweifamilienhäusern

Ein strohgedämmtes Gebäude in gewählter Vergleichsbauart kostet etwa gleich viel wie ein Gebäude mittleren Standards durchschnittlich in Deutschland 2016 gekostet hat. In der hier gewählten Vergleichsbauart weist das strohgedämmte Gebäude eher überdurchschnittliche Qualitätsmerkmale auf: Die Wandflächen sind zu einem großen Teil lehmverputzt. Die Fußböden bestehen aus Echtholz und hochwertigen Fliesen. Die Wärmeerzeugung erfolgt vollständig mit Biomasse. Weiterhin wird der Effizienzhausstandard A+ sowie der KfW-40-Standard (EnEV 2016) erreicht. Zusätzlich ist das Gebäude mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet.

Baukosten von strohgedämmten Außenwänden

Am häufigsten wird Strohdämmung in Außenwänden verwendet. Der Anteil der Baukosten an den Herstellungskosten liegt für die Außenwände im Bereich von ca. 23 % (BKI mittlerer und gehobener Standard) bis 27 % (Strohwände). In der gewählten Vergleichsbauart weisen diese eher überdurchschnittliche Qualitäten auf (etwa Lehmputz innen oder hochwertige, dreifach verglaste Holzfenster).



Kosten und Leistungsanteile einer typischen strohgedämmten Außenwand

Eine strohgedämmte Außenwand in der gewählten Vergleichsbauart (ohne Fenster und Türen, beidseitig direkt verputzt, einschließlich Anstrich) hat im Norden Deutschlands 2016 ca. 283 €/m² Wandfläche gekostet. Ein großer Teil der Kosten geht auf die arbeitsintensive Verputzung zurück.

KOSTEN EINER STROHBALLENWAND, DIREKT VERPUTZT (LEHM/ KALK), STREBEN (VERGABE 2016)

Pos.	Titel	€/m ² zzgl. 19 % MwSt.	%-Anteil
1	Baustrohballen liefern	18,00 €	6,4 %
2	Holz liefern	22,38 €	7,9 %
3	Montageschwelle montieren	4,90 €	1,7 %
4	Holzrahmen montieren und aufstellen	35,00 €	12,4 %
5	Streben herstellen und montieren	7,54 €	2,7 %
6	Baustrohballen einbauen	34,00 €	12,0 %
7	Putzträger auf Holz innen und außen	20,72 €	7,3 %
8	1. Lage Putz innen	15,00 €	5,3 %
9	2. und 3. Lage Putz innen	35,00 €	12,4 %
10	Innenanstrich Ökofarbe	10,00 €	3,5 %
11	1. Lage Putz außen	20,00 €	7,1 %
12	2. und 3. Lage Putz außen	45,00 €	15,9 %
13	Außenwandanstrich Diff.-offen, hydrophob	15,00 €	5,3 %
Summe		282,54 €	100 %



Mehrfamilienhaus Windrose

7 SANIERUNGSKONZEPTE MIT STROH

Ursprünglich wurden Strohballen als wandbildendes Baumaterial eingesetzt und sie werden bis heute meist wandbildend bzw. ausfachend verwendet. Zudem ist die Verwendung von Strohballen als Außendämmung von Bestandsgebäuden durchaus möglich. Hierbei ist eine Halterung für die Strohballen an der Außenwand – im Gegensatz zur Befestigung von Dämmplatten mit Kleber, Putz und/oder Dübeln – erforderlich. Der Aufbau dieser Außendämmung ergibt sich aus der Strohballenstärke plus wetterfester Bekleidung (üblicherweise mindestens 40 cm). Außerdem müssen die Strohballen an die bestehenden Wände und deren Öffnungen angepasst werden. Dafür sind handwerkliche Lösungen entwickelt worden. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Vorgesetzte Gefache

Zunächst lässt sich das im Neubau übliche Bohlenständersystem durchaus auch bei bestehenden Wände einsetzen. Funktional wären dies keine Wandelemente mehr wie im Neubau, sondern Fassadendämmelemente. Sie können nach einem genauen Aufmaß vorgefertigt an die Fassade montiert werden. Hierbei ist die kurze Bauzeit und eine Reduzierung des Holzanteils im Vergleich zur Bohlenständerkonstruktion attraktiv. Alternativ ließen sich solche Fassadendämmungen auch bauseits herstellen.

Flächige Außendämmungen mit Strohballen

Strohballen können außen direkt vor tragfähige Wände als flächige Dämmung montiert werden. Dabei müssen diese beispielsweise mit Latten über lange Schrauben oder anderweitig dauerhaft an die Wand gedrückt werden. Alle im Neubau möglichen äußeren Bekleidungen, also sowohl eine direkte Verputzung des Strohs als auch eine Holzverkleidung, sind möglich. Der Lastabtrag muss gewährleistet sein. Das Eigengewicht steht wandhoch oder geschossweise auf einer Sockelkonstruktion.



Außen mit Stroh gedämmtes Bestandsgebäude

Sanierung der Bestandsgebäude auf dem Gelände der Alten Brauerei in Schwerin

Als das umfangreichste Bauprojekt mit Stroh in Deutschland und Europa gilt die Sanierung der Bestandsgebäude auf dem Gelände der Alten Brauerei am Rande der Altstadt von Schwerin. Hier wird die vorhandene Bausubstanz, ca. 20 Gebäude, teils regionaltypische Backsteinhäuser, teils Betonbauten aus der DDR-Zeit, erhalten und energetisch mit Strohballen als Dämmstoff saniert. Projektträger ist die Schelfbauhütte GmbH & Co. KG, ein Betrieb mit langjähriger Erfahrung in der Baudenkmalpflege. Sie hat einen eigenen Ansatz für die Außendämmung mit Stroh entwickelt. Zunächst werden auf die zu dämmende Fläche Kunststoffhalter montiert. In dieses Raster werden dann die Strohballen eingepasst und außenseitig eine Latte aufgeschraubt. Diese ist zugleich Lagesicherung der Strohballen und Unterkonstruktion, hier einer Holzfassade.



Der von der Schelfbauhütte entwickelte Kunststoffhalter



Gebäude 1a, Alte Brauerei in Schwerin

Sonstige Konzepte

Bislang ist Bauen mit Stroh in aller Regel Strohballenbau. Die landwirtschaftsüblichen Ballenpressen, die nicht zur Herstellung eines Baustoffs entwickelt wurden, liefern ein Material, das für Bauzwecke mehr oder weniger optimiert hergestellt werden kann. Die verfügbaren Formate sind allerdings nicht oder nur in sehr geringem Umfang variierbar und daran muss sich die Planung anpassen. Mittelfristig sind Entwicklungen zu erwarten, die sowohl das Bauen mit Stroh in variablen Formaten ermöglichen als auch die Pressung des Strohs für Bauzwecke optimieren – und zwar sowohl im Neubau als auch im Bestand.

8 BAUSTROHBALLEN

Zum Bauen geeignete Ballen

Zum Bauen geeignete Ballen bestehen aus Getreidestroh, das in landwirtschaftsüblicher Weise zu quaderförmigen Ballen gepresst wurde. Als besonders geeignet gilt das Stroh von Roggen und Weizen, aber auch Gerste, Triticale, Dinkel und Einkorn wurde schon erfolgreich eingesetzt. Ein übliches Format solcher (Klein-)Ballen wäre 36 cm × 48 cm × 85 cm. Andere Formate ergeben sich je nach Querschnitt des Presskanals und der Längeneinstellung. Zum Bauen geeignete Strohballe sind dem Augenschein nach goldgelb bis blassgelb, die Strohhalme sind möglichst lang und durch den Drusch möglichst wenig beschädigt (Schüttler-Mährescher). Ihre Oberflächen sind eben und im Verhältnis zueinander rechtwinklig, die Kanten gerade und nicht gerundet. Die Einschnürungen müssen unter Spannung stehen, dürfen die Stirnseiten etwas eindrücken und dürfen sich beim Transport nicht vom Ballen lösen. Sie sind kompakt gepresst und formhaltig. Die flache Hand kann nicht oder nur sehr schwer zwischen die einzelnen Strohschichten des Ballens geschoben werden. (FASBA e.V., 2014, Strohbaurichtlinie SBR-2014)

Eine gesundheitliche Belastung durch Spritzmittelrückstände im eingebauten Stroh ist nicht bekannt und wird auch nicht vermutet. Allerdings wurde dies auch bislang nicht erforscht. Bei Verwendung von Biostroh sind Spritzmittelrückstände im Stroh ausgeschlossen.

Bauprodukt Strohballe

Zu einem Bauprodukt werden Strohballe dann, wenn für sie bestimmte Eigenschaften ausgewiesen werden. (Die wichtigsten sind der Wärmeleitfähigkeitswert und die Normalentflammbarkeit.) Außerdem gilt damit ein nachgewiesener Anwendungsbereich, der bestimmt, bei welchen Bauteilaufbauten diese Ballen praktisch eingesetzt werden können. Eigenschaften und Anwendungsbereich sind in einem Zulassungsdokument hinterlegt. Eine erste, national gültige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) konnte der FASBA 2006 erwirken und 2014 überarbeiten lassen. Im Jahr 2017 erfolgt die Umstellung dieses deutschen Formates auf das EU-Format European Technical Assessment (ETA). Sichtbar wird diese Umstellung daran, dass das bisher ausweisende Ü-Zeichen durch das CE-Zeichen abgelöst wird. Praktisch wird die bauaufsichtliche Anerkennung der Strohbauweise in Deutschland damit EU-weit verfügbar.

Für die Herstellung von Baustrohballe trägt der Baustoffhersteller die Verantwortung. Durch eine Eigenüberwachung – die sogenannte werkseigene Produktionskontrolle – ergänzt

durch eine Fremdüberwachung (durch ein anerkanntes Prüfinstitut) stellt der Baustoffhersteller sicher, dass die Anforderungen aus dem Zulassungsdokument eingehalten werden und die Baustrohballe im eingebauten Zustand lange und sicher ihre Funktionen erfüllen. Hersteller ist in Deutschland die BauStroh GmbH (www.baustroh.de) sowie in Österreich die Sonnenklee GmbH (www.sonnenklee.at).

Verfügbarkeit von Baustrohballe

Neben den Eigenschaften laut Zulassungsdokument zeichnet sich Stroh als Baustoff dadurch aus, dass für die Herstellung des Baustoffs kein Werk im Sinne einer Produktionshalle benötigt wird, sondern lediglich eine geeignete Strohballepresse. Stroh vom Acker nebenan kann als bauaufsichtlich anerkannter Baustoff ausgewiesen werden. Der Rohstoff kommt hier nicht zum Werk, sondern quasi das Werk zum Rohstoff. Diese Möglichkeit der regionalen Herkunft des Bauprodukts Stroh ist beabsichtigt und soll erhalten bleiben. Im Prinzip können so mit jeder geeigneten Strohballepresse Strohballe als Bauprodukt hergestellt werden. Das Pressen der Ballen erfolgt nach den Vorgaben und unter Aufsicht eines Sachverständigen des Baustoffherstellers. So wird die vorgeschriebene werkseigene Produktionskontrolle gewährleistet. Damit die Ballen als Bauprodukt erkennbar sind, wird ihre Übereinstimmung mit der Zulassung auf dem Lieferschein mit dem Ü- bzw. CE-Zeichen gekennzeichnet. Dies darf nur durch eine anerkannte Herstellfirma erfolgen.

Gleichzeitig sind Baustrohballe auch aus Lagerhaltung oder aus Umpressanlagen verfügbar. Bei dieser Variante wird die Regionalität des Strohs gegebenenfalls zugunsten einer Verfügbarkeit auch unabhängig vom Erntezeitpunkt zurückgestellt. Baustrohballe sind so bestellbar wie jeder andere Baustoff.

Eine Verknüpfung der Vorzüge beider „Herstellverfahren“ ergibt sich dann, wenn Betriebe regional als Strohbauakteure auftreten und ihren Bedarf am Material Baustrohballe über eine Kooperation mit einem landwirtschaftlichen Betrieb vor Ort organisieren.

9 SCHLUSSBETRACHTUNG

Der Strohballenbau ist bereit

Der Verwendung von Strohballen als Dämmstoff sind kaum Grenzen gesetzt. Das zeigen Hunderte strohgedämmte Gebäude in Deutschland und Tausende in Europa, darunter einige herausragende Modellprojekte. Strohbau ist machbar und attraktiv – privat, gewerblich und öffentlich. Stroh wird im Einfamilienhausbau wie im mehrgeschossigen Wohnungsbau verwendet. Aber auch für ein großräumiges Logistikzentrum, für ein einräumiges Büro oder für Kindergärten und Schulen. Die meisten Gebäude werden ein- bis dreigeschossig, aber inzwischen auch höher realisiert.

Strohballen entstehen innerhalb eines üblichen landwirtschaftlichen Produktionsprozesses. Getreide wächst nahezu überall in Deutschland und das Stroh wächst jährlich ohne Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion nach. Es ist als Dämmstoff bauaufsichtlich anerkannt und kann sich in seiner Leistungsfähigkeit mit industriell gefertigten Dämmstoffen durchaus messen.

Unter welchen Bedingungen strohgedämmte Bauteile durch Schimmelwachstum gefährdet sind, ist inzwischen detailliert beschrieben. Beispiele für deren feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften sind in der abZ Bau-stroh umfänglich und für die Baupraxis beschrieben. Darüber hinausgehende Bauteilaufbauten können mithilfe von Computersimulationen im Einzelfall bauphysikalisch bewertet werden.

Die Genehmigungsfähigkeit eines strohgedämmten Gebäudes unterscheidet sich damit nicht mehr von der anderer Bauvorhaben. Inzwischen sind Strohdämmungen in Wänden, Decken und Dächern, ob nun direktverputzt, mit Plattenwerkstoffen bekleidet oder als hinterlüftete Konstruktionen, zugelassen. Lediglich außerhalb der bauaufsichtlichen Anerkennung bedarf es einer Genehmigung im Einzelfall.

Mit der Strohbaurichtlinie SBR-2014 liegt ein erster Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh vor. Alle, die am Bau strohgedämmter Gebäude beteiligt sind, können sich fortan darauf beziehen. Die Richtlinie kann sich zu anerkannten Regeln der Technik und langfristig zu einer Norm weiterentwickeln.

Die lasttragende Verwendung von Strohballen in praxisrelevanten Gebäudegrößen ist aktuell noch experimentellen oder Einzelfallanwendungen vorbehalten. Bei weiterer Forschung könnte hier in 5 bis 10 Jahren eine reguläre Genehmigungsfähigkeit für kleinere strohgedämmte Gebäude erreicht werden.

Es ist durchaus möglich, flächendeckend und tausendfach Gebäude mit Stroh zu dämmen. In den nächsten Jahren kann die Strohbauweise aus der Nische auf den Markt kommen. Die vorliegende Broschüre möchte hierzu mit fundierten Informationen beitragen.



Ein sogenanntes „Truth Window“ zeigt die Strohdämmung.

10 ANHANG

Literatur- und Quellenverzeichnis

Bau EPD GmbH (2014): EPD – Environmental Product Declaration. Umwelt-Produktdeklaration Baustroh. www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2014/10/EPD_FASBA_Ecoinvent_20141006.pdf.

DBVZ (2011): Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 2: Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe zur Bioenergiebereitstellung.

DIN EN 13501-1:2010-01: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.

DIN EN 15978:2012-10: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode.

DIN 4102-1:1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; 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. Endbericht des DBU-geförderten Vorhabens Az. 22430, Verden.

FASBA e.V. (2014): IAB Messbericht A 59829/3950, 25.09.2009.

FASBA e.V. (2014): Lasttragendes Bauen – Stand des Wissens 2009.

FASBA e.V. (2014): Merkblatt Verarbeitung von Baustroh, 20.03.2014.

FASBA e.V. (2014): Strohbaurichtlinie SBR-2014, 22.11.2014.

FASBA e.V. (2017): Strohballenbau-Geschichte. URL: www.fasba.de/strohballenbau-geschichte [Abruf: 02.01.2017].

Gruber, H.; Gruber, A.; Santler, H. (2012): Neues Bauen mit Stroh in Europa. 4., völlig überarb. und erg. Ausgabe, Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag.

Hammond, J. (1984): Building a Straw-Bale House. Fine Homebuilding Magazine (Dezember 1984).

Klatecki, M. und Otto, F. (2013): Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Dach- und Wandkonstruktionen mit Strohballendämmung. Wolfhagen.

Krick, B. (2008): Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise. Dissertation Universität Kassel.

Krick, B. und Minke, G. (2014): Handbuch Strohballenbau. Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 3., erw. Auflage, Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag.

Krus, M.; Seidler, C. M.; Sedlbauer, K. (2013): Übertragung des Mould-Indexes auf das biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage. IBP-Mitteilung 513.

Künzel, H. (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart.

McElderry, W. und McElderry, C. (1979): Hay Houses and Straw Buildings: Happiness is a Hay House. Mother Earth News (No. 58), S. 40–43.

MPA BS K-3305/558/07-2 (31. März 2008): Klassifizierung des Brandverhaltens einer Strohballewand in Übereinstimmung mit DIN EN 13501-1:2007. Herausgeber: Materialprüfungsanstalt Braunschweig.

MPA BS P-3048/817/08 (8. Dezember 2014): Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (Feuerhemmende Außenwand). Herausgeber: Materialprüfungsanstalt Braunschweig.

Sedlbauer, K. (2001): Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart.

Steen, B.; Steen, A.; Bainbridge, D.; Eisenberg, D. (1994): The Straw Bale House. Vermont/Totnes: Chelsea Green Publishing.

Strang, G. (1983): Straw Bale Studio. Fine Homebuilding Magazine (12), S. 70–72.

Welsch, R. (1973): Baled Hay. In: L. Kahn (Hrsg.), Shelter. Bolinas, California: Shelter Publ., Inc.

Z-23.11-1595 (2006): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Wärmedämmstoff Baustrohballen“. Berlin.

Z-23.11-1595 (3. Juni 2014): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Wärmedämmstoff Baustrohballen“. Berlin.

Weiterführende Informationen

FACHLITERATUR

Deutsch

DIBt (2007/1): Bauregelliste C/DIBt Mitteilungen, Sonderheft 34. Berlin.

FASBA e. V. (2014): Strohbaurichtlinie SBR-2014. Als Druckexemplar über den FASBA beziehbar. URL: www.fasba.de.

FASBA e. V. (2017): Projektedatenbank des Fachverbands Strohballebau Deutschland e. V. URL: www.fasba.de/projekte.

Gruber, H.; Gruber, A., Santler, H. (2012): Neues Bauen mit Stroh in Europa. 4., völlig überarb. und erg. Ausgabe, Staufeu bei Freiburg: ökobuch Verlag.

Hosser, D. und Kampmeier, B. (2007): Teilprojekt 3b: Brandtechnische Untersuchungen zur Optimierung der Flamm-schutz-mittelzusammensetzung und des Brandverhaltens auf Bauteilebene. Untersuchungen zur Optimierung und Standardisierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Krick, B. (2008): Untersuchung von Strohballe und Strohballekonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise. Dissertation Universität Kassel.

Krick, B. und Minke, G. (2014): Handbuch Strohballebau. Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. 3., erw. Auflage, Staufeu bei Freiburg: ökobuch Verlag.

MBO (2008): Musterbauordnung, Fassung November 2002, geändert 2008.

M-HFHolzR (2004): Musterholzbaurichtlinie (Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise).

MPA BS 3248/3833-CM (14. August 2003): Prüfbericht über 90 Minuten Feuerwiderstand. Herausgeber: Materialprüfungs-anstalt Braunschweig.

Englisch

King, B. (2007): Design of Straw Bale Buildings: The State of the Art. Green Building Press.

Jones, B. (2015): Building with Straw Bales: A Practical Manual for Self-Builders and Architects. 3rd Edition. Green Books.

Steen, B.; Steen, A.; Bainbridge, D.; Eisenberg, D. (1994): The Straw Bale House. Vermont/Totnes: Chelsea Green Publishing.

Französisch

Floissac, L. (2012): La construction en paille : Principes fondamentaux, Techniques de mise en oeuvre, Exemples de réalisations. Terre Vivante Editions.

Réseau français de la construction en paille (2012): Règles professionnelles de construction en paille: Remplissage isolant et support d'enduit – Règles CP 2012 révisées (Regelwerk des französischen StrohbauNetzwerkes).

FILM

Moderner Strohballebau – Stroh im Kopf Teil 2. Bestellbar unter: <http://oekofilm.de/stroh-im-kopf-teil-2.phtml>
Anschaulich und informativ: www.oekofilm.de

INTERNETADRESSEN

Internetpräsenz des Fachverbandes Strohballebau Deutschland e.V.: www.fasba.de

Internetpräsenz des österreichischen StrohballebauNetzwerkes (Austrian Straw Bale Network): www.baubiologie.at/asbn

Internetpräsenz des Baustoffherstellers mit umfangreichem Informationsangebot: www.baustroh.de

Internetpräsenz des Europäischen Strohbauverbandes ESBA (European Straw Building Association): www.strawbuilding.eu

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.fnr.de

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 526
mediathek.fnr.de
FNR 2018



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.