

STROHGEDÄMMTE GEBÄUDE



NATURBAUSTOFFE

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

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 und 2020)
Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren.

Redaktion

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

Bilder

Titel: Anandoart/Fotolia
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
5., aktualisierte Auflage 2020
FNR 2020

STROHGEDÄMMTE GEBÄUDE





VORWORT

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. 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 5., aktualisierten Auflage der Broschüre „Strohgedämmte Gebäude“ wollen wir fachlich fundiert und mit vielen anschaulichen Beispielen über diese besonders nachhaltige Bauweise informieren. Das nun in weiten Teilen aktualisierte und durch neue Bauprojekte mit Stroh ergänzte Heft zeigt zudem, dass sich Stroh zu einem durchaus zeitgemäßen Baustoff entwickelt hat. Mit der Europäischen Technischen Bewertung bzw. European Technical Assessment (ETA) für Baustrohballen und der Strohbaurichtlinie liegt eine weitgehende bauaufsichtliche Anerkennung für das Bauen mit Stroh vor. Darin sind die wesentlichen Eigenschaften von

Stroh als Baustoff sowie sein umfangreicher Anwendungsbe- reich beschrieben. So können z.B. bis zu dreigeschossige, direktverputzte Strohhäuser inzwischen auf dem üblichen Wege beantragt und genehmigt werden. Stroh ist nun auch damit für Sanierungen interessant. Außerdem erreichen Baustrohballen nach dem Prüfzeugnis der Europäischen Zulassung seit 2017 die Baustoffklasse E (normalentflammbar) und sind somit regulär als Baustoff verwendbar.

Durch die europäischen Umweltdeklarationen für Bauprodukte liegen zudem belastbare Zahlen vor, die die großen Umweltvorteile von Baustroh ökobilanziell transparent und nachvollziehbar belegen.

Lassen Sie sich davon, aber auch von den vielen gelungenen Projekten beim Neubau und der Sanierung mit Stroh inspirieren!

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 Entwicklungsstand 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 Strohballenbau	24
	Bauphysikalische Grundlagen Bauaufsichtliche Anerkennung Ökobilanzierung strohgedämmter Bauteile Strohbaurichtlinie 2019 Lasttragendes Bauen Strohbaupraktiker Ausblick	
5	Bauaufsichtliche Anerkennung und Genehmigungsfähigkeit	32
	Genehmigung entsprechend der bauaufsichtlichen Anerkennung Genehmigungsfähigkeit bei Abweichungen Lasttragendes Bauen	
6	Strohballenbau im Neubau	33
	Bohlenständerkonstruktionen im Strohballenraster Ein Ausführungsbeispiel Schritt für Schritt Kosten	
7	Sanierungskonzepte mit Strohballen	42
	Vorgesetzte Gefache Flächige Außendämmungen mit Strohballen Sanierung der Bestandsgebäude auf dem Gelände der Alten Brauerei in Schwerin	
8	Baustrohballen	43
	Zum Bauen geeignete Ballen Bauprodukt Baustroh Verfügbarkeit von Baustrohballen	
9	Schlussbetrachtung	44
	Der Strohballenbau ist bereit	
10	Anhang	45
	Literatur- und Quellenverzeichnis Film Internetpräsenzen	

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. Kaum eine andere Bauweise kann so überzeugend als nachhaltig gelten wie Strohballenbau. 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 ein Nebenprodukt des Getreideanbaus. Neben einer Verwendung in der Landwirtschaft, z. B. als Einstreu, Raufutter und Humusbildner auf Ackerflächen, nimmt die Bedeutung von Stroh als nachwachsendem Rohstoff deutlich zu. 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 Baustoff 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 Mauersteine verwendeten. Bis weit in die 1940er-Jahre wurden in Nordamerika Strohballen auf diese Weise eingesetzt und direkt mit Lehm oder Zement verputzt.



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

Als ältester Strohballenbau in Europa gilt die Maison Feuillette. Im französischen Montargis errichtete Émile Feuillette 1920 sein Wohnhaus mit Strohballen in den Außenwänden. Es ist in gutem Zustand und ist heute Eigentum und Sitz des Centre National de la construction en paille (CNCP) (Französisches Nationales Strohballbauzentrum).



1920



2013

© RECIP (2x)

Maison Feuillette in Montargis (Frankreich) – heute nationales Strohballbauzentrum

Wiederentdeckung und Weiterentwicklung

Mitte des 20. Jahrhunderts war der Strohballenbau weitgehend in Vergessenheit geraten. Die Wiederentdeckung der Strohballenbauweise soll vor allem auf den Artikel „Baled Hay“ des Autors und Nebraska-Folkloristen Roger Welsch in dem Buch „Shelter“ aus dem Jahr 1973 zurückgehen (Welsch, 1973). In den folgenden zwei Jahrzehnten vervielfachten sich die Strohballenbauaktivitäten in Nordamerika und Kanada und dann auch in anderen Erdteilen.

Nach einigen wenigen Pionierbauten vor der Jahrtausendwende beginnt die Strohbauweise 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

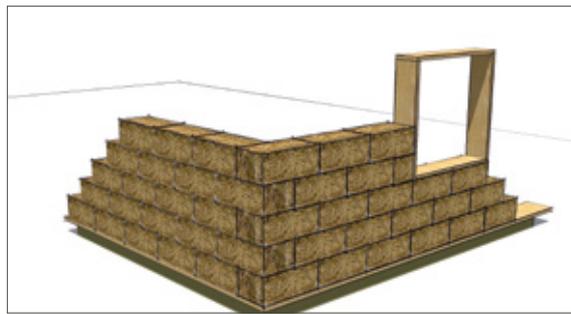
Der FASBA ist ein gemeinnütziger Verein mit dem Ziel, die Anerkennung und die Verbreitung des Strohballenbaus zu fördern. Der FASBA ist Träger der Entwicklung des Strohballenbaus in Deutschland, konnte u. a. eine bauaufsichtliche Anerkennung für Strohballen als Baustoff erreichen und hat mit der Strohbaurichtlinie 2014 einen Standard für fachgerechten Strohballenbau vorgelegt, der 2019 erstmals überarbeitet wurde (ETA 017/0247, 2017; Strohbaurichtlinie SBR-2014/2019). Die Zahl der strohgedämmten Gebäude in Deutschland wird im Frühjahr 2020 auf der Website des FASBA mit ca. 900–1.500 geschätzt.

Weitere Informationen unter: www.fasba.de

Eine Bauweise – zwei Konstruktionsarten

Die Strohbauweise kennt zwei Konstruktionsarten: den lasttragenden Strohballenbau und die Verwendung von Strohballen als nicht druckbelastete Ausfachung. 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.

Demgegenüber ist die Tauglichkeit von Strohballen als ausfachendem Dämmstoff nachgewiesen. Für den Einsatz in Gefachen mit lichten Abmessungen bis 1 m wurde 2006 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) für den Wärmedämmstoff Baustroh erreicht, 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, 2006, 2014). Seit 2017 ist die abZ auf eine Europäische Technische Bewertung umgestellt (ETA 017/0247, 2017).



Lasttragende Strohbauweise



Ausfachende Konstruktionsart

Entwicklungsstand

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 liegt seit 2014 ein Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh vor.

Der FASBA hat sich zunächst auf die Bautauglichkeit von Strohballen, „so wie sie sind“, konzentriert; jedem Landwirt und jedem Handwerksbetrieb sollte eine Teilhabe und ein Einstieg in die Bauweise ermöglicht werden. Inzwischen zeigt sich, dass eine zukünftig größere Verbreitung der Bauweise von Effizienzsteigerungen in den Bereichen Baustoffgewinnung und Bauteilfertigung abhängig sein wird. Dabei werden sich verschiedene Herstellungsketten vom Strohalm auf dem Acker bis zum fertigen strohgedämmten Gebäude als zeitgemäß bewähren.

Vorurteile gegen das Bauen mit Stroh

Feuer, Feuchte, Viecher sind die drei häufigsten Einwände gegen die Bauweise: „Stroh brennt doch, Stroh schimmelt, und da gehen die Mäuse rein.“ Diese können leicht entkräftet werden. Die bisherigen Erfahrungen zeigen: Wird Stroh fachgerecht verbaut, ist es gegen Brand, Feuchte und gegen Schädlingsbefall geschützt. Es stellt keine größere Brandgefahr dar, verrottet nicht 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 entzündbar, mikrobiell zersetzbar 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 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



Strohwand mit Schilfrohr als Putzträger und blau durchscheinender Luftdichtungsbahn im Deckenanschlussbereich

Minuten den Anforderungen standhalten (Raumabschluss, Standsicherheit). In Tests haben Strohballewände mit einer geringen Bekleidung von ca. 1 cm Lehm bereits einen Feuerwiderstand von mehr als 30 Minuten erreicht. Gleichzeitig kann derartigen Wänden nach europäischen Prüfstandards auch eine Schwerentflammbarkeit bescheinigt werden. Neben Bekleidungen aus Lehm- und Kalkputz sind, zumindest innenseitig, auch Bekleidungen aus Platten möglich (Lehm- oder Gipsfaser- oder Gipskartonplatten oder andere Platten).



Im Lehm- und Strohbett 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. Strohballenbauten zeichnet 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 regional verfügbar, ein jährlich nachwachsendes Nebenprodukt des Getreideanbaus mit minimalem Aufwand bei der Ballenherstellung.
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 Jahren Betrieb erreicht (siehe folgendes Kapitel).
9. Praktisch jeder Wärmedämmstandard kann erreicht werden, z. B. ein U-Wert von ca. 0,15 W/(m²·K) bei einer strohgedämmten Außenwand mit 36 cm Dämmstärke und 6 cm breiten Holzständern, der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit quer zur Haupthalmrichtung ist 0,049 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. Auch im Gebäudeenergiegesetz (GEG) soll in absehbarer Zukunft eine ökobilanzielle Betrachtung verankert werden.

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 abwei-

chend 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 die Herstellungsphase mit den Modulen A1-3 (Rohstoffbereitstellung, Transport, Herstellung) und die Nutzungsphase mit den Modulen B2 und B3 (Instandhaltung und Instandsetzung). 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 NRF • 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	Holz-Stroh ¹	Holz-Zellulose ²	Holz-Miwo ³	MW-Miwo-KS ⁴
Gründung	Stahlbeton-Streifenfundamente mit 60 mm Perimeterdämmung			
Sohle (U = 0,21 W/(m ² K))	Beton auf Schotter, zellulosegedämmter Holzboden	Stahlbetonsohle, zellulosegedämmter Holzboden	Stahlbetonsohle, EPS-Dämmung, Estrich, Fliesen	Stahlbetonsohle, EPS-Dämmung, Estrich, Fliesen
Außenwände (U = 0,15 W/(m ² K))	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-Beplankung, Schotter, Holzfasertritt-schallplatte, Holzboden	offene Holzbalkendecke, 3-Schicht-Platte, Schotter, Holzfasertritt-schallplatte, Holzboden	offene Holzbalkendecke, OSB-Platte, Schotter, Mineralfasertritt-schallplatte, Holzboden	Stahlbetonsohle/-decke, Mineralfasertritt-schallplatte, Estrich, Fliese
Dach (U = 0,15 W/(m ² K))	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 W/(m ² K))	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 Holz-Stroh: Strohedämmtes, verputztes Gebäude in Holzkonstruktion.

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

³ Holz-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)

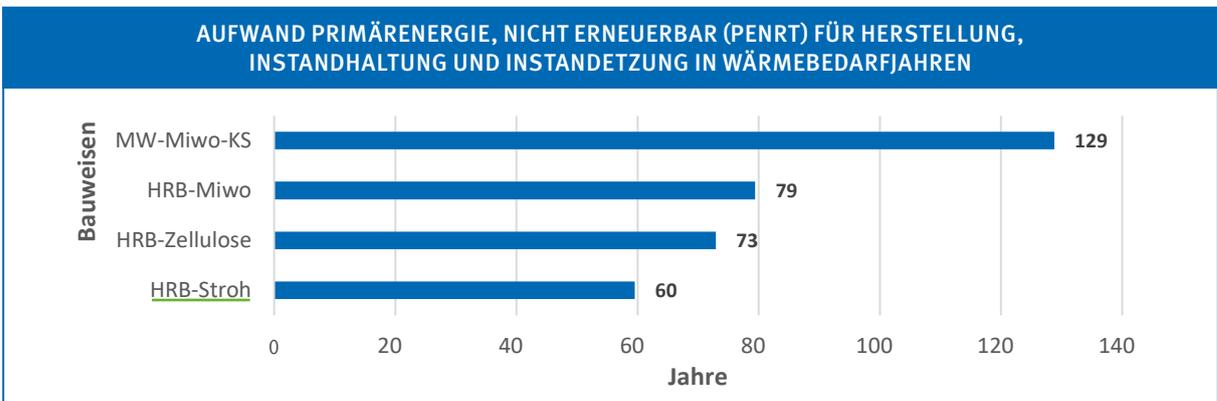
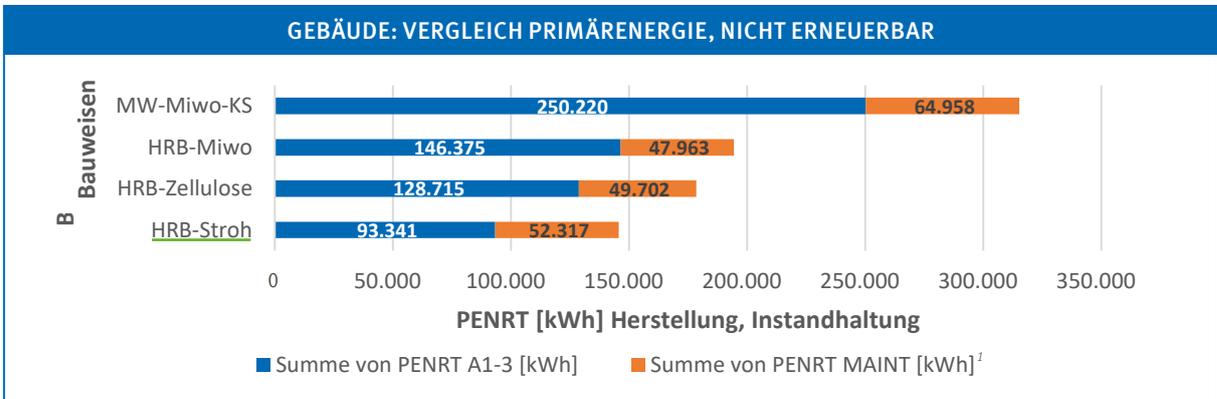
Nicht erneuerbare Primärenergie

Primary energy, non renewable, total (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 bilanzierten 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.



¹ Betrachtete Lebenszyklusphasen: Herstellungsphase Module A1-3 und Nutzungsphase Module B2 und B3 (Instandhaltung und Instandsetzung), abgekürzt MAINT für Engl. maintenance

Treibhauspotenzial

Global warming potential (GWP [kg CO₂-Äquivalent])

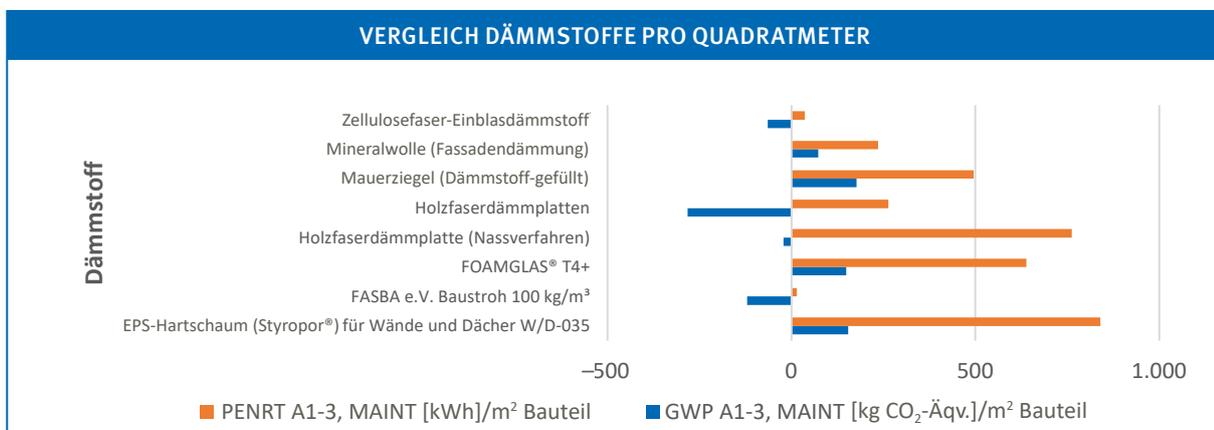
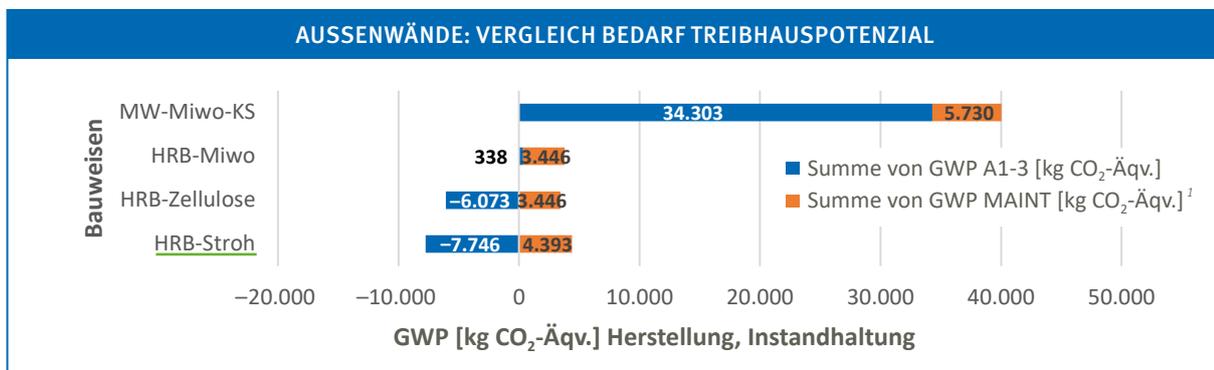
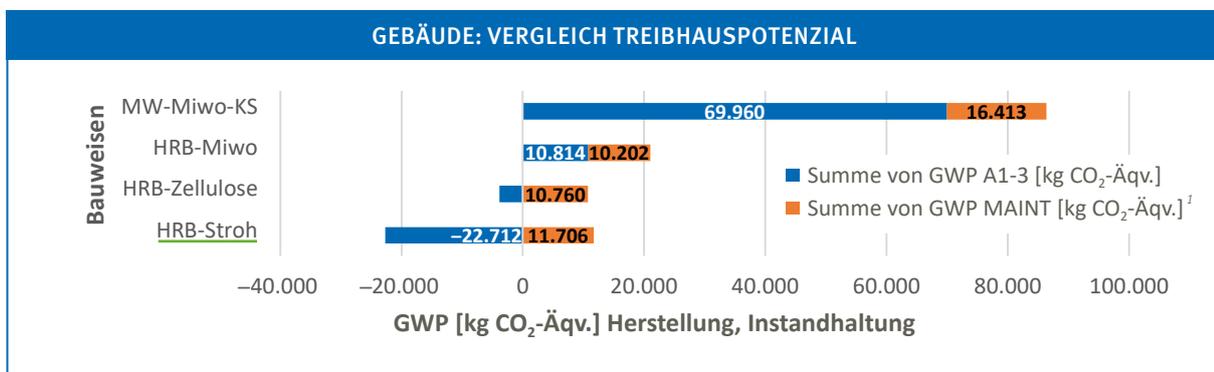
Der Unterschied zwischen dem Massivbau und dem ökologisch optimierten Gebäude in Strohbauweise im Bereich des Treibhauspotenzials beträgt ca. 97 t CO₂-Äquivalent. Ein sparsamer 5-Liter-Mittelklassewagen kann 811.000 km zurücklegen, bis die gleiche Klimabelastung erreicht ist – das entspricht in etwa 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 großen Anteil an Umweltwirkungen und Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie aus.



¹ Betrachtete Lebenszyklusphasen: Herstellungsphase Module A1-3 und Nutzungsphase Module B2 und B3 (Instandhaltung und Instandsetzung), abgekürzt MAINT für Engl. maintenance

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. Zahlreiche weitere Beispiele finden sich in Gebäudedatenbanken online (www.fasba.de; www.baubiologie.at/asbn; <http://www.strawbuilding.eu>; <https://referenzbauten.fnr.de>).

Beispiele aus Deutschland

Erläuterung der Steckbriefkennndaten:

- Größe nach DIN 277
- Nettoraumfläche (NRF): Summe der Nutzflächen, Technikflächen 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. Obwohl ein Einfamilienhaus mit Dachgeschoss baurechtlich häufig als 1-geschossiges Gebäude gilt, wird es hier zur Differenzierung als 1,5-geschossig bezeichnet.
- Jahresheizwärmebedarf Q_n ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$): 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
Bauherrschaft:	Wohnungsgenossenschaft Sieben Linden e. G.
Ort:	Ökodorf Sieben Linden, Gemeinde Beetzendorf/Sachsen-Anhalt
Planung:	Architekt Dirk Scharmer
Größe:	540 m ² NRF, 2.805 m ³ BRI, 3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N:	42 kWh/m ² ·a

Beschreibung

In diesem direkt lehmverputzten, strohballengedämmten Holzständergebäude wurden die Ballen flach liegend zwischen 1,5–3 m weit auseinanderstehende Ständer platziert. Zur Stabilisierung der Ballenwand wurden in jede dritte 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

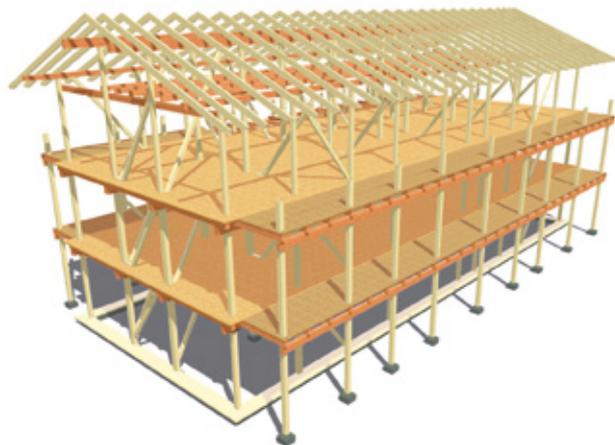
Für die Zustimmung im Einzelfall wurden erstmals in Deutschland Material und Bauteiltests an verschiedenen Instituten durchgeführt:

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

Schlagregenschutz

Die Bekleidung der Strohballe erfolgte fast ausschließlich mit Lehmputz. Hierfür wurden auf der Nord- und Südseite ein weiter Dachüberstand und durchgehende Balkone angeordnet, auf der Wetterseite zusätzlich eine vorgehängte, hinterlüftete Holzschalung angebracht. Dem verbleibenden Schlagregenrisiko versuchte man mit einer Stabilisierung des Lehmputzes durch stärkebasierten Kleber in Form von gekochtem Weizenmehl zu begegnen.

Strohpolis ist ein erfolgreiches Gebäude. Aufgrund der mittlerweile vorliegenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sowie der wesentlich vorteilhafteren Ausföhrung 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
Bauherrschaft: Privat
Ort: bei Freiburg/Baden-Württemberg
Planung: Archpro
Größe: 180 m² NRF, 700 m³ BRI, 3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : ca. 30 kWh/m² · a

EINFAMILIENHAUS BEI SALZGITTER



Baujahr: 2008
Bauherrschaft: Privat
Ort: bei Salzgitter/Niedersachsen
Planung: Stefan Kracht
Größe: 140 m² NRF, 760 m³ BRI, 2-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 45 kWh/m² · a

EINFAMILIENHAUS IN SIEBEN LINDEN



Baujahr: 2007/2008
Bauherrschaft: Privat
Ort: Ökodorf Sieben Linden, Gemeinde Beetzendorf/Sachsen-Anhalt
Planung: M. Stengel und B. Meenen
Größe: 204 m² NRF, 890 m³ BRI, 2,5-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 65 kWh/m² · a

GEMEINSCHAFTSWOHNHAUS „LIBELLE“ IN SIEBEN LINDEN



Baujahr: 2010
Bauherrschaft: Wohnungsgenossenschaft Sieben Linden e. G.
Ort: Ökodorf Sieben Linden, Gemeinde Beetzendorf/Sachsen-Anhalt
Planung: Architekt Dirk Scharmer
Größe: 354 m² NRF, 1.600 m³ BRI,
3-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_{h} auf A_{N} : 21 kWh/m²·a

GEMEINSCHAFTSWOHNHAUS IN WUSTERMARK



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

WOHNHAUS MIT SEMINARRAUM IN DIESEN



Baujahr: 2016
Bauherrschaft: Privat
Ort: Dießen/Bayern
Planung: Architekturbüro Maria Weig
Ausführung: Zimmerei Sonner
Größe: 342 m² NRF, 1.332 m³ BRI,
1,5-geschossig

BESTANDSSANIERUNG SUDHAUS, ALTE BRAUEREI, SCHWERIN



Baujahr: 1976/2017
Bauherrschaft: Schelfbauhütte
Ort: Schwerin/Mecklenburg-Vorpommern
Planung: Architekturbüro Maria Weig
Ausführung: Ulrich Bunnemann – Schelfbauhütte
Größe: 2.150 m² NRF, 3-geschossig

AUSSENDÄMMUNG BESTAND MIT FASSADENDÄMMELEMENTEN, LEICHLINGEN



Baujahr: 1930/2020
Bauherrschaft: Dennis und Svetlana Harms
Ort: Leichlingen (NRW)
Planung: bau|gestalt architekten partgmbb
Größe: 134 m² NRF, 730 m³ BRI
Jahresheizwärmebedarf: Q_h auf AN: 12,16 kWh/ m² · a

BAUGRUPPEN-WOHNHÄUSER BEI FREIBURG



Baujahr: 2020
Bauherrschaft: Privat
Ort: bei Freiburg
Planung: planwerkstatt
Ausführung: Zimmerei Grünspecht eG
Größe: 7 Gebäude, 1.207 m² NRF,
5.002 m³ BRI



Baujahr:	2019
Bauherrschaft:	Baugemeinschaft Speicherbogen GbR
Ort:	Lüneburg (Niedersachsen)
Planung:	Architekturbüro Maria Weig
Ausführung:	Maike Möhring, Stephan Seeger und Dirk Scharmer
Größe:	Nutzfläche: 2.968m ² , BRI: 10.552m ³ , Wohnfläche: 2.225m ²
Geschossigkeit:	2 Vollgeschosse plus Staffelgeschoss (Gebäudeklasse 3)
Energieeffizienz:	Endenergiebedarf: 41,4 kWh/m ² a, Primärenergiebedarf: 6,0 kWh/m ² , Effizienzhausstandard KfW+
Gesamtherstellungskosten:	7,3 Mio. €

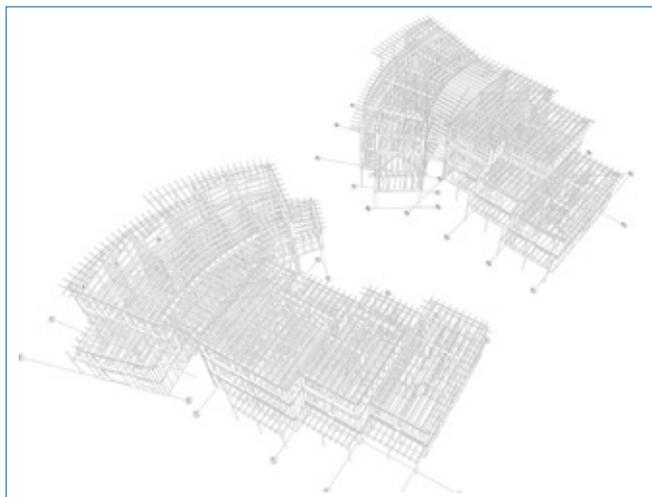
Beschreibung

Zwei komplex geformte, teilunterkellerte Wohngebäude in Holzbauweise formen eine Gemeinschaftswohnanlage mit 20 Wohnungen. Außenwände, Decken, Dächer und Innenwände sind in Holzbauweise ausgeführt. Insgesamt wurden 348 m³ sägeraues Schnittholz, Konstruktionsvollholz und Brettschichtholz eingesetzt. Die strohgedämmten Außenwände sind direkt verputzt, innenseitig mit Lehmputz, außenseitig teils mit Kalkputz mit Kalksilikatanstrich, teils holzverkleidet mit vorvergrauter Schalung aus Douglasie. Die Energieversorgung erfolgt über ein Bio-Erdgas-BHKW im Quartier, eine zusätzliche Nutzung von thermischer Sonnenenergie wurde im Bebauungsplan ausgeschlossen.

Die Montage der vorgefertigten Wände, Decken, Dächer und Innenwände aus stabförmigen Hölzern von Sohle bis Dach wurde von einer regionalen Zimmerei innerhalb von etwa 20 Wochen durchgeführt, darunter die 1.400m² große Außenwandfläche aus technisch getrocknetem, sägerauem norddeutschem Nadelschnittholz. Auf industriell vorgefertigte Holzprodukte wie Leimholz oder Plattenwerkstoffe wurde weitgehend verzichtet. Anschließend wurden innerhalb von ca. 8 Wochen insgesamt ca. 3.000 HD-Ballen aus Roggenstroh (500 m³) aus regionaler Quelle vor Ort vom Gerüst in die Gefache der Bohlenständerwände eingebaut. Die Dächer, Decken und Wohnungstrennwände wurden mit Einblaszellulose als Wärmedämmung bzw. Schalldämmung ausgeführt. Als Fußboden wurden Eichenparkett, Eichen- bzw. Seekieferndielen sowie Fliesen eingesetzt. Der aufgrund der hohen Dämmqualität ohnehin sehr geringe Heizwärmebedarf konnte durch den wohnungsweisen Einsatz von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zusätzlich etwa halbiert werden.

Besonderheiten

Das Projekt „Speicherbogen“ ist bis dato die größte Wohnanlage in strohgedämmter Holzbauweise in Deutschland. Eine weitere Besonderheit ist der partizipative Planungsprozess mit einer Baugruppe als Bauherrschaft, bei dem sich alle Beteiligten mit den Vorzügen der besonderen Bauweise und Fragen der Ökobilanz und der Kosten intensiv beschäftigt haben.



Dreidimensionale Holzkonstruktion (D. Scharmer)

GEWERBEHALLE INVENTER IN LÖBERSCHÜTZ



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

GEWERBEHALLE IN DUNNINGEN



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

BÜROPAVILLON IN VERDEN



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

KOMPETENZZENTRUM FÜR NACHHALTIGES BAUEN, VERDEN



Baujahr: 2014
Bauherrschaft: Norddeutsches Zentrum für
Nachhaltiges Bauen GmbH
Ort: Verden/Niedersachsen
Planung: Architekten Thomas Isselhard und
Dirk Scharmer
Größe: 1.803 m² NRF, 7.643 m³ BRI,
5-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 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 Strohbällen ausgefacht und außenseitig mit einem speziellen Kalkputz vorverputzt. 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 Brettsperrholztäfelern 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 voraus. 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 mussten in dem Gebäude hochfeuerhemmend REI 60 und gekapselt K2 60 sein. Auf den Innenseiten der Bauteile wurden hierfür zwei Lagen Gipsfaserplatten von 18 mm Stärke eingesetzt. Auf den Außenseiten der Außenwände erfolgte dies mit einem mindestens 60 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. Hosser, 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

PRAXIS- UND WOHNGEBÄUDE IN MUCH



© Axel Hartmann Fotografie/Köln

Baujahr: 2015
Bauherrschaft: Privat
Ort: Much/Nordrhein-Westfalen
Planung: Shakti Haus Architekten
Größe: Praxis – 74,5 m² NRF und 262,52 m³
BRI, Wohnhaus – 254 m² NRF und
770 m³ BRI, 2-geschossig
Jahresheizwärmebedarf Q_h auf A_N : 43,2 kWh/m²·a

HORTGEBÄUDE WALDORFSCHULE AM PRENZLAUER BERG, BERLIN



© Gregor Schmidt

Baujahr: 2017
Bauherrschaft: Verein der Freien Waldorfschule
Berlin-Mitte e.V.
Ort: Berlin
Planung: MONO Architekten Greubel & Schilp &
Schmidt PartGmbH
Größe: 560 m² NRF, 1-geschossig

HAUS ST. WUNIBALD: GÄSTEHAUS, KINDERGARTEN, PFARRAMT IN PLANKSTETTEN



© R. Härdt

Baujahr: 2021
Bauherrschaft: Benediktinerabtei Plankstetten
Ort: Plankstetten
Planung: hirner & riehl architekten & stadtplaner
partg mbh
Größe: 2.637 m² NRF, 3-geschossig +
Unterkellerung

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

www.archschwarz.com
www.atelierwernerschmidt.ch

S-HOUSE (ÖSTERREICH)



Baujahr: 2005
Bauherrschaft: 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
Bauherrschaft: Biohof Achleitner GmbH
Ort: Eferding (Österreich)
Planung: Architekt Paul Seeber
Größe: 3.200 m² NRF, 2- bis 3-geschossig

www.biohof.at

REIHENMITTELHAUS IN AMSTERDAM (NIEDERLANDE)



Baujahr: 2007
Bauherrschaft: Privat
Ort: Amsterdam (Niederlande)
Planung: Rene Dalmeijer
Größe: 280 m² NRF, 900 m³ BRI, 5-geschossig

EXPO ZARAGOZA (SPANIEN)



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

WOHNGEBÄUDE (SLOWAKEI)



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

<https://www.createrra.sk>

BÜROGEBÄUDE (GROSSBRITANNIEN)



Baujahr: 2012
Bauherrschaft: Newlands Community Association
Ort: Bradford, West Yorkshire (UK)
Planung: Waller & Partners
Größe: 2.787 m² NRF, 2 Gebäude

<https://www.inspirebradford.com/>

BÜROGEBÄUDE (FRANKREICH)



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

WOHNGBÄUDE (FRANKREICH)



Baujahr: 2013
Bauherrschaft: Le Toit Vosgien
(Wohnungsbaugenossenschaft)
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

<https://toit-vosgien.com>

WOHNGBÄUDE AUS GROSSBALLEN (ÖSTERREICH)



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

KRIPPE, KITA, VORSCHULE (FRANKREICH)



Baujahr: 2017
Bauherrschaft: Ville de Rosny-sous-bois
Ort: Rosny-sous-bois (Frankreich)
Planung: Architekt E. Pezrès, Ville de Rosny
Größe: 2.000 m² NRF, 300 Kinder

4 STAND DER ENTWICKLUNG IM STROHBALLENBAU

Der Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. wurde 2002 gegründet und ist seitdem Träger der Entwicklung des Strohballenbaus. Er hat vor allem in Forschungs- und Entwicklungsprojekten Grundlagenarbeit geleistet; Fachleute im Strohballenbau sind allein dort organisiert. Im Folgenden ist das vorhandene Grundlagenwissen zum Strohballenbau zunächst in tabellarischer Übersicht zusammengestellt, so-

dann 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
Europäische technische Bewertung ETA 017/247 Baustroh		
Wärmeschutz	Wärmeleitfähigkeit nach DIN EN 12667	Nennwert quer zur Halmrichtung: $\lambda = 0,048 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ Bemessungswert quer zur Halmrichtung: $\lambda = 0,049 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (gültig in Deutschland)
Brandverhalten	Kleinbrennertest 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	Anhänge A und B von ETA 017/247 Baustroh	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 bis 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-2019		Standard für fachgerechten Strohballenbau

Bauphysikalische Grundlagen

Brandschutz

Normalentflammbarkeit

Baustrohballen erreichen nach ETA 017/247 die Baustoffklasse E gemäß DIN EN 11925 (normalentflammbar) und sind somit regulär als Baustoff verwendbar (ETA 017/0247, 2017). 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, 2014, verlängert bis 2024). 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 in den Anhängen A und B der ETA hinterlegt ist, spiegelt sich hier nicht wider.

Alternativ sind Nachweise des Feuerwiderstandes mit Plattenwerkstoffen (Lehmbauplatten, Gipsfaserplatten, ggf. an-

dere Platten) möglich, wenn die tragende Konstruktion aus Holz bestehen darf und an den verwendeten Dämmstoff nur die Anforderung normalentflammbar gestellt wird.

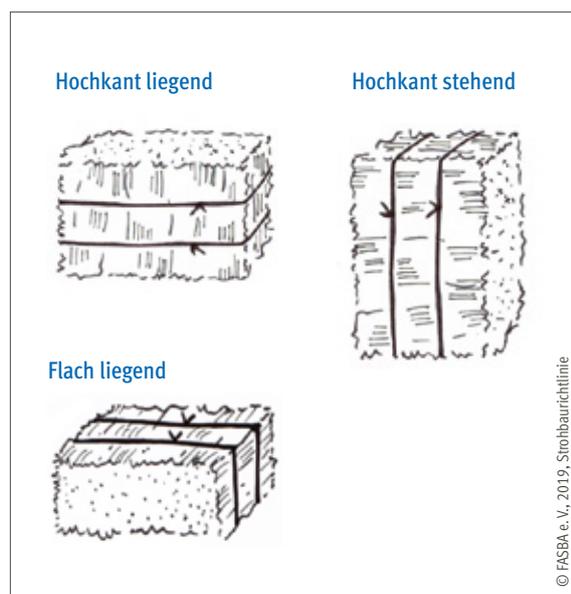
Für Gebäudeklasse 4 konnte beim Kompetenzzentrum des Norddeutschen Zentrums für nachhaltiges Bauen ein Brandschutznachweis geführt werden.

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 u. a. von Welger, John Deere und Claas zeichnet sich herstellbedingt eine Haupthalmrichtung ab. Diese verläuft hauptsächlich senkrecht zur Schnürung (siehe Schaubild unten). 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, wird aber kaum praktiziert wegen der dann erforderlichen gleichmäßig kurzen Ballen zwischen beidseitig festen Bekleidungen aus Plattenwerkstoffen.

Der in Deutschland für Berechnungen zu verwendende Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit gemäß ETA 017/0247 Baustroh beträgt $\lambda = 0,049 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Dieser Wert gilt dann, wenn die Halme innerhalb des Bauteils überwiegend senkrecht zur Wärmestromrichtung ausge-



Orientierung von Strohballen beim Einbau

richtet sind, d. h. hochkant stehend oder hochkant liegend eingebaut werden. Ein anerkannter Bemessungswert für die Orientierung der Halme in Wärmestromrichtung existiert derzeit nicht.

U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient)

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

Strohgedämmte Bauteile erreichen U-Werte von $0,155 W/(m^2 \cdot K)$ und darunter. Übliche Anforderungen werden damit erfüllt oder übertroffen (FASBA e.V., 2019, Strohbaurichtlinie SBR-2019).

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. Hier sind Strohwände bei einem Vergleich von Außenwänden leichter Bauart mit einem U-Wert von $0,15 W/(m^2 \cdot K)$ überlegen.

WÄRMESPEICHERZAHL (S) VON VERSCHIEDENEN DÄMMSTOFFEN

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

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 Strohbaurichtlinie 2019).

Nach diesem Verfahren wurde in der ETA in Anhang B und in der Strohbaurichtlinie 2019 ein Anwendungsbereich für strohgedämmte Bauteile bestimmt. Strohgedämmte Bauteile gelten als feuchtetechnisch geeignet, wenn die Eigenschaften der einzelnen Schichten den Angaben dort entsprechen (ETA 017/0247, 2017; Strohbaurichtlinie 2019).

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

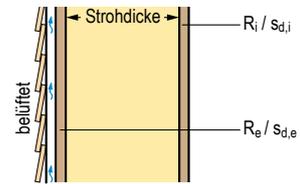
Nachgewiesene Bauteilaufbauten

gemäß Anhang B zu ETA 017/0247 und Strohbaurichtlinie 2019

Beispiele für feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften von Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung

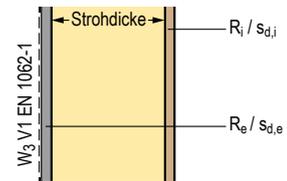
a) Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz

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	$\leq 0,48$	$\geq 0,10$	$\leq 0,35$	$\leq 2,00$	$\geq 1,90$



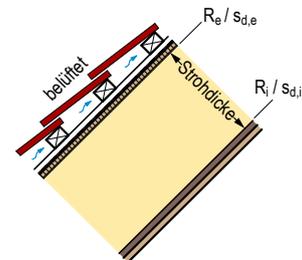
b) Frei bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen; Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W₃ und V₁

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 davon 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.

In Anhang B wird die biohygrothermische Eignung strohgedämmter Bauteile in Abhängigkeit von ihren Baustoffeigenschaften benannt. Die für drei Bauteiltypen aufgestellten Tabellen enthalten die erforderlichen Schichteigenschaften, um schädlichen Schimmelpilzbefall im maßgeblichen äußeren Bereich der Strohdämmung auszuschließen. Hierfür dürfen weder durch Wasserdampfdiffusion¹ von innen in die Strohdämmung noch durch Regen von außen in Verbindung mit den klima- und bauteilbedingten anliegenden Temperaturen Wachstumsvoraussetzungen für die Sporenkeimung entstehen. Konstruktiv kann dies nur durch eine Kombination von geeigneten Wärmedurchlasswiderständen innen und außen und der Dämmung selbst (in der Anlage vereinfacht als Strohdicke angegeben) sowie von geeigneten diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der inneren und der äußeren Bekleidung und der Strohdämmung selbst (indirekt ebenfalls in Strohdicke enthalten) erreicht werden.

Mit den Tabellen des Anhangs B und dem Hinweis darunter werden Fachleute in die Lage versetzt, feuchtetechnisch zulässige Bauteile zu planen bzw. die feuchtetechnische Zulässigkeit eines Bauteilaufbaus zu überprüfen. Nachfolgend werden die Wenn-dann-Beziehungen der bauphysikalischen Parameter aus den Tabellen am Beispiel der Außenwandkonstruktionen nach Tabelle a) erläutert.

Strohgedämmte Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz sind gemäß der Tabelle a) des Anhangs B wie nachstehend aufgeführt feuchtetechnisch 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 $R_i = 0,35$ m²·K/W aufweisen, dann ist der Bauteilaufbau zulässig.

Zeile 2: Wenn demgegenüber die raumseitigen Schichten einen höheren Wärmedurchlasswiderstand von bis zu $R_i = 3,14$ m²·K/W aufweisen, z. B. weil die Strohdämmung vor einer Mauerwerkswand eingesetzt wird, dann ist 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 abweichend von der Beispielkonstruktion in Zeile 1 eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von bis zu $s_{d,e} = 1,0$ m aufweisen, dann ist der Wärmedurchlasswiderstand der äußeren Schichten auf mindestens $R_e = 1,0$ m²·K/W zu erhöhen. Die Strohdicke darf hier ebenfalls maximal $d = 0,48$ m betragen.

Alle weiteren Zeilen und Tabellen folgen der gleichen Logik.

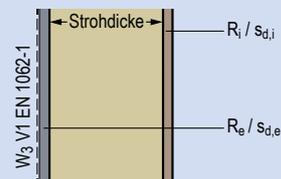
Direkt bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen müssen einen Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W3 und V1 erhalten.

¹ Konvektiver Eintrag ist ohnehin auszuschließen (siehe ETA-17/0247 Baustroh, Anhang A, 4) zur Fugendichtigkeit der inneren Bekleidung).

Überprüfung eines beabsichtigten Bauteilaufbaus

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

- Strohdicke $d = 0,36 \text{ m}$
- 3 cm Lehmputz innen mit einer Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von $\mu = 10$ und einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,70 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- 3 cm Kalkputz gemäß DIN EN 998-1 außen mit einer Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von $\mu = 10$ und einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,80 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- Fassadenanstrich, ausgewiesen entweder direkt mit den Klassifizierungen W_3 und V_1 oder $w_{24} \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{vh})$ und $V > 150 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ mit $s_d < 0,14 \text{ m}$



Als bauphysikalische Kennzahlen ergaben sich gemäß Tabelle b), Zeile 1, Anhang B der ETA-17/0247 Baustroh:

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

Außen: vorhanden $s_{d,e} = 10 \cdot 0,03 \text{ m} + 0,13 \text{ m} = 0,43 \text{ m} \leq s_{d,e} \text{ zulässig} = 0,5 \text{ m}$

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

Wärmedurchlasswiderstände $R = d/\lambda$ ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

Außen: R_e ohne Anforderung

Innen: R_i vorhanden $= 0,03/0,8 \text{ m} = 0,038 \leq R_i \text{ zulässig} = 0,35 \text{ m}$

Ergebnis: Die Konstruktion ist gemäß Tabelle b), Zeile 1, Anhang B der ETA-17/0247 Baustroh zulässig, weil alle Schichteigenschaften in der Kombination eingehalten werden und der Außenputz normgerecht ist und ein geeigneter Fassadenanstrich eingesetzt wird.

Bauaufsichtliche Anerkennung

Bauprodukt Baustrohballen

2006 konnte der FASBA die Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) für Baustrohballen erreichen (Z-11.23-1595, 2006), in der Eigenschaften von Baustrohballen wie Normalentflammbarkeit und Wärmeleitfähigkeit festgelegt wurden. 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 Strotoberflächen innen- wie außenseitig).

Aufgrund des Trends zur europäischen Kennzeichnung von Bauprodukten wurde diese 2017 auf eine Europäische Technische Bewertung umgestellt (auf Englisch: European Technical Assessment, abgekürzt: ETA).

Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis

Ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis ermöglicht strohgedämmte Wandaufbauten F30-B (feuerhemmend) und F90-B (MPA BS P-3048/817/08, 2014, verlängert bis 2024).

Ökobilanzierung strohgedämmter Bauteile

Für Baustrohballen liegt seit 2014 eine Umweltproduktdeklaration (Auf Englisch: Environmental Product Declaration, abgekürzt: EPD) vor. Damit können Strohbauten ökobilanziell bewertet werden. Mehr dazu siehe Kapitel 2 ab Seite 8.

Strohbaurichtlinie 2019

Mit der Strohbaurichtlinie hat der FASBA 2014 einen Standard für fachgerechten Strohbau vorgelegt. Sie fasst die bisherigen Erfahrungen und das Wissen der Strohbauakteure in Deutschland zusammen. Ähnlich strukturiert wie die Lehmbauregeln ist sie weniger eine Anleitung zum Bauen mit Stroh denn ein Grundlagenwerk. Die Strohbaurichtlinie ist ein in Fachkreisen anerkannter Bezugsrahmen für alle am Strohbau Beteiligten.

Lasttragendes Bauen

Die historischen Vorbilder aus dem 19. Jahrhundert wurden als lasttragende Gebäude errichtet. Die Strohbauten wurden als großformatige Mauersteine eingesetzt, die Dach- und Deckenlasten tragen. Weltweit wurden seither viele Gebäude so errichtet, in einigen Bundesstaaten der USA gelten anerkannte Ansätze des Tragverhaltens. Ein mehrjähriges Forschungsvorhaben des Fachverbandes Strohbau Deutschland e.V. konnte zum lasttragenden Strohbau nur eingeschränkt und für Einzelfälle taugliche Erklärungsansätze liefern, so dass ein praxistauglicher Bemessungsansatz hierzulande bislang nicht bereitsteht (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 Strohbauhauses 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 Strohbauhaus bauen. Dagegen gibt es in Deutschland derzeit keinen allgemein anerkannten Ansatz zur Tragfähigkeit von Strohbauten und damit baurechtlich allenfalls die Möglichkeit, per Genehmigung im Einzelfall mit Stroh lasttragend zu bauen (FASBA e.V., 2014).



Fassadendetail

Strohbauakteure

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

Als prägender Entwicklungsstandort im deutschen Strohhallenbau gilt Sieben Linden in Sachsen-Anhalt, wo seit 1997 ein ökologisches Modelldorf entsteht. Die Strohhallenbauweise wurde von den Menschen dort als ihren baulichen Ansprüchen entsprechend erkannt. Mit dem neuen Gästehaus stehen dort 2020 elf größere strohgedämmte Wohnhäuser und mehrere kleinere Strohhallenbauten. Bei diesen Bauprojekten wurden im Laufe der Jahre sowohl Planer als auch Handwerker zu Strohhallenbauakteuren qualifiziert und grundlegende Erfahrungen für das Bauen mit Stroh insgesamt gesammelt. 2002 wurde dort auch der Fachverband Strohhallenbau Deutschland e. V. (FASBA) gegründet.

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 Strohhallenbau möglich sind. Mit der Sanierung der Bestandsgebäude auf dem Gelände der Alten Brauerei in Schwerin gibt es ein erstes und erfolgreiches Beispiel für Strohhallenbau durch einen Bauträger (Schelfbauhütte GmbH). Es gibt Beispiele für mehrgeschossigen Wohnungsbau und Kindergärten als Strohhallenbauten. Der größte Strohhallenbau Süddeutschlands entsteht seit Ende 2019 am Kloster Plankstetten als Mehrzweckgebäude mit Kindergarten, 30 Gästezimmern und Pfarramt. Weitere Projekte sind zu erwarten.

Im FASBA sind ca. 150 Mitglieder organisiert, darunter Bauherren, Planer, Ausführende und andere am Strohhallenbau Interessierte. Darüber hinaus gibt es wenige nicht organisierte Strohhallenbauakteure. Bundesweit finden sich Ansprechpartner, ihre Zahl ist über die letzten Jahre langsam, aber stetig gestiegen. Trotzdem gibt es bislang nicht genügend Strohhallenbauakteure für eine Flächendeckung. Hier bedarf es 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.

Die meisten Bauprojekte werden von Landwirten oder Strohhändlern vorhabenbezogen mit Strohhallenballen versorgt. Dadurch wird Regionalität gewährleistet und die nach wie



Eröffnung Dorfladen Flegessen 2015

vor insgesamt geringe Strohhallenbauaktivität rechtfertigt meist keine Lagerhaltung. Das ändert sich, wenn ein Strohhallenhausbauer einen regelmäßigen Bedarf hat. Dann wird das Pressen von Baustrohballen durch einen regionalen Partner aus der Landwirtschaft sinnvoll und erfolgreich.

Ausblick

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

Beim lasttragenden Strohhallenbau 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 Strohhallenhäuser komplett anbieten, sowie einer über den EnEV-Nachweis hinausgehenden ökobilanziellen Bewertung.



5 BAUAUFSICHTLICHE ANERKENNUNG UND GENEHMIGUNGSFÄHIGKEIT

Genehmigung entsprechend der bauaufsichtlichen Anerkennung

Mit der ETA für Baustrohballen und der Strohbaurichtlinie liegt eine weitgehende bauaufsichtliche Anerkennung für das Bauen mit Stroh vor. Darin sind die wesentlichen Eigenschaften von Stroh als Baustoff sowie – seit 2014 – ein umfänglicher Anwendungsbereich benannt (ETA 017/0247, 2017; Strohbaurichtlinie 2019). Bauvorhaben mit Strohdämmung können damit auf dem üblichen Wege beantragt und genehmigt werden. Belegt wird die bauaufsichtliche Anerkennung durch CE-Kennzeichnungen. Sie erfolgt 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 seit 2014 umfänglich bestimmt ist, sind Abweichungen davon seither selten. Sie betreffen z. B. die Verwendung von Stroh als Dämmung in Fußböden oder den lasttragenden Strohballenbau. 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 Strohbällen

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

6 STROHBALLENBAU IM NEUBAU

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

Bohlenständerkonstruktionen im Strohballenraster

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 strohballenoptimierten 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

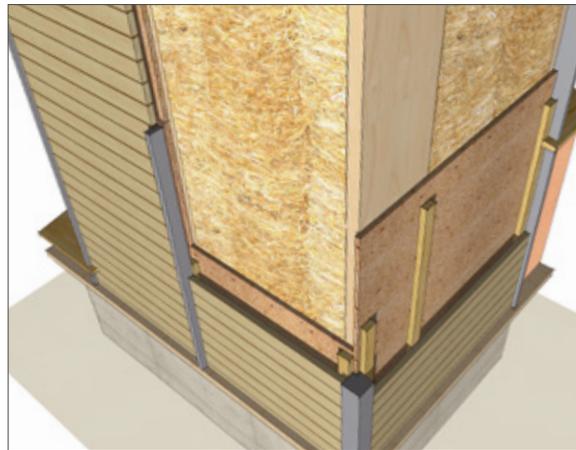
Bei der Bekleidung mit Plattenwerkstoffen ist zu beachten, dass deren Abmessungen und die Abmessungen der Strohballen in der Regel zunächst nicht aufeinander abgestimmt sind. Sofern möglich, sollen die relevanten Größen – Strohballenformat, Dicke der Ständer, Format des Plattenwerkstoffes – planerisch 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 (BauStroh GmbH, 2019, 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 (BauStroh GmbH, 2019, Strohbaurichtlinie 2014).

Plattenverkleidete strohgedämmte Bohlenständerwand



Außenecke mit hinterlüfteter Holzschalung auf Holzwerkstoffplatte

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

³ Innenseitig in die Strohebene 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.

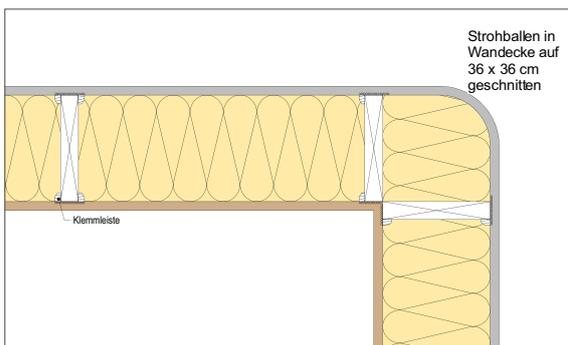
Direkt verputzte strohgedämmte Bohlenständerwand



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.

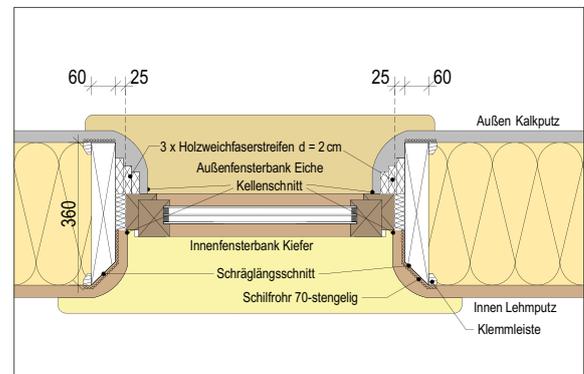
Im Gefach muss Stroh durch geeignete Mittel dauerhaft gegen Ablösen und Herauskippen gesichert sein. Dazu werden z. B. an den vier Kanten eines Gefachs angefaste oder diagonal aufgetrennte Latten von ca. 3 cm x 5 cm oder 4 cm x 6 cm als Klemmleisten befestigt. Alternativ ist auch eine Lagesicherung durch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



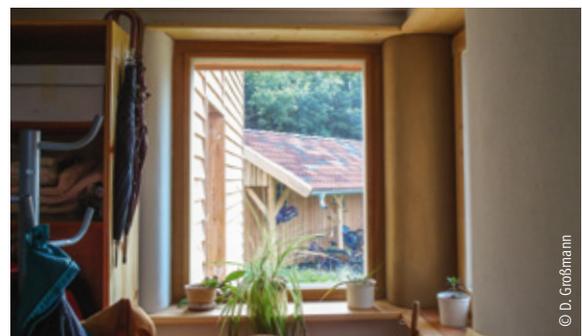
Horizontalschnitt einer direkt verputzten Wandecke

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 Holzfaserdämmplatten überdeckt und anschließend mithilfe des Außenputzes, hier Luftkalkputz, gerundet verputzt.



Horizontalschnitt Fenster



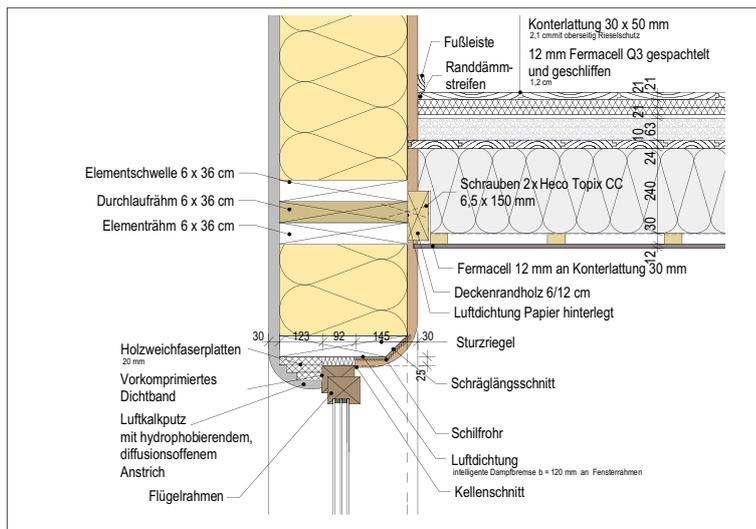
Ausblick

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.

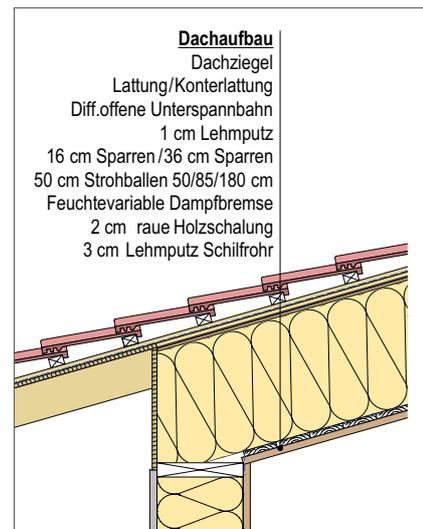


Deckenanschluss

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 ETA 017/247 und Strohbaurichtlinie 2019 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 Winternächten kühlen solche Flächen stärker ab. Diese Rahmenbedingungen drücken sich in den Anforderungen an strohgedämmte Dachkonstruktionen gemäß ETA 017/247 und Strohbaurichtlinie aus.

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 aus. 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 (BauStroh GmbH, 201, Strohbaurichtlinie 2019). 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 Strohballen



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

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

Methodik

Beim Kostenvergleich von Gebäuden unterschiedlicher Bauweisen besteht die Gefahr, „Äpfel mit Birnen“ zu vergleichen. Unterschiedliche und kaum vollständig benennbare Faktoren und Rahmenbedingungen (Ausbau- und Energiestandard, Eigenleistungsanteil, Baujahr, regionale Preisunterschiede sowie allgemeine Qualitätsmerkmale) fließen in die Preisbildung ein. Auf einen Vergleich der Herstellungskosten von Ein- und Zweifamilienhäusern aus dem in Deutschland zur Kostenschätzung etablierten BKI-System wird hier verzichtet, weil es für realisierte Strohballenbauten hier keine statistisch abgesicherte Aussagen auf der Basis von abgerechneten, dokumentierten Bauvorhaben gibt.

Nachfolgend sind beispielhaft Kosten von Strohballenbauten auf der Basis von 2019 im Norden Deutschlands realisierten Gebäuden nach Einzelpositionen dargestellt. Diese dürfen – wie gesagt – nicht als repräsentativ angesehen werden.

Kosten und Leistungsanteile einer Strohballen-Außenwand

Eine strohgedämmte Außenwand (ohne Fenster und Türen, beidseitig direkt verputzt, einschließlich Anstrich) hat im Norden Deutschlands 2019 netto ca. 313 €/m² Wandfläche gekostet. Ein großer Teil der Kosten geht auf die arbeitsintensive Verputzung zurück.



Mehrfamilienhaus Windrose

KOSTEN EINER STROHBALLENWAND, DIREKT VERPUTZT (LEHM/KALK), STREBEN (VERGABE 2019)

Pos.	Titel	€/m ² zzgl. 19 % MwSt.	%-Anteil
1	Baustrohballen liefern	18,00 €	5,7 %
2	Holz liefern	17,90 €	5,7 %
3	Montageschwelle montieren	4,12 €	1,3 %
4	Holzrahmen montieren und aufstellen	35,00 €	11,2 %
5	Streben herstellen und montieren	6,28 €	2,0 %
6	Baustrohballen einbauen	50,00 €	16,0 %
7	Putzträger auf Holz innen und außen	10,00 €	3,2 %
8	1. Lage Putz innen	16,00 €	5,1 %
9	2. und 3. Lage Putz innen	47,00 €	15,0 %
10	Innenanstrich Ökofarbe	10,00 €	3,2 %
11	1. Lage Putz außen	22,00 €	7,0 %
12	2. und 3. Lage Putz außen	66,00 €	21,1 %
13	Außenwandanstrich Diff.-offen, hydrophob	11,00 €	3,5 %
Summe		313,30 €	100 %

7 SANIERUNGSKONZEPTE MIT STROHBALLEN

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 Wänden 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

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 können verwendet werden. Ein übliches Format solcher (Klein-)Ballen ist ca. 36 cm × 48 cm × 85 cm. Andere Formate ergeben sich je nach Querschnitt des Presskanals und der Längeneinstellung. Zum Bauen geeignete Strohballen sind dem Augenschein nach goldgelb bis blassgelb, die Strohhalme sind möglichst lang und durch den Drusch möglichst wenig beschädigt (Schüttler-Mähdrescher). 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 (BauStroh GmbH, 2019, Strohbaurichtlinie, 2019).

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

Beim Strohballenbau liefern landwirtschaftsübliche Ballenpressen, die nicht zur Herstellung eines Baustoffs entwickelt wurden, ein Material, das für Bauzwecke mehr oder weniger optimiert hergestellt werden kann. Die Formate sind nicht oder nur in geringem Umfang variierbar und daran muss sich die Planung anpassen. Allerdings gibt es Ansätze, die die Pressung der Strohballen für Bauzwecke inklusive variabler Formate ermöglichen.

Bauprodukt BauStroh

Zu einem Bauprodukt werden Strohballen 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 konnte der FASBA 2006 erwirken und 2014 überarbeiten lassen. 2017 erfolgte die Umstellung dieses deutschen Formates auf das EU-Format

Europäische Technische Bewertung (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 BauStrohballen trägt der Baustoffhersteller die Verantwortung. Durch eine Qualitätskontrolle stellt der Baustoffhersteller sicher, dass die Anforderungen aus dem Zulassungsdokument eingehalten werden und die BauStrohballen im eingebauten Zustand lange und sicher ihre Funktionen erfüllen können. Hersteller ist in Deutschland die BauStroh GmbH (www.baustroh.de) sowie in Österreich die Sonnenklee GmbH (www.sonnenklee.at).

Verfügbarkeit von BauStrohballen

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 Strohballenpresse. 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 Strohballenpresse Strohballen als Bauprodukt hergestellt werden. Das Pressen der Ballen erfolgt nach den Vorgaben des Baustoffherstellers, der deren Eigenschaften anschließend prüft. Damit die Ballen als Bauprodukt erkennbar sind, wird ihre Übereinstimmung mit der Zulassung auf dem Lieferschein mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet. Dies darf nur durch eine anerkannte Herstellfirma erfolgen.

Gleichzeitig sind BauStrohballen auch aus Lagerhaltung oder aus Umpressanlagen verfügbar. Bei dieser Variante wird die Regionalität des Strohs gegebenenfalls zugunsten einer Verfügbarkeit auch unabhängig vom Erntezeitpunkt zurückgestellt. BauStrohballen 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 BauStrohballen 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. Strohballenbau 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 Stroh steht jährlich nachwachsend ohne Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion bereit. 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 ETA und in der Strohbaurichtlinie 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, bauaufsichtlich anerkannt. Lediglich darüber hinausgehende Bauteilaufbauten bedürfen einer Genehmigung im Einzelfall.

Mit der Strohbaurichtlinie liegt seit 2014 ein Standard für fachgerechten Strohballenbau vor. Sie wurde 2019 überarbeitet und ist in Fachkreisen anerkannt.

Die lasttragende Verwendung von Strohballen in praxisrelevanten Gebäudegrößen ist aktuell noch experimentellen oder Einzelfallanwendungen vorbehalten. Bei weiterer Forschung könnte hier 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 das Bauen mit Stroh 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 (2019):** EPD – Environmental Product Declaration. Umwelt-Produktdeklaration Baustroh.
<https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/db1/2.23.01/Dämmstoffe/Stroh/Strohballen.html#be reich1>
- BauStroh GmbH (2019):** Merkblatt Verarbeitung von Baustroh, 28.10.2019.
- DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (2012):** 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.
- 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. (2017):** Strohballenbau SBR-2019.
<https://fasba.de/wp-content/uploads/2019/10/FASBA-Strohbaurichtlinie-2019.pdf>.
- Gruber, H.; Gruber, A.; Santler, H. (2012):** Neues Bauen mit Stroh in Europa. 4., völlig überarb. und erg. Ausgabe, Staufen bei Freiburg: ökobuch Verlag.
- Hosser, D. und Kampmeier, B. (2007):** Teilprojekt 3b: Brandtechnische Untersuchungen zur Optimierung der Flammschutzmittelzusammensetzung und des Brandverhaltens auf Bauteilebene. Untersuchungen zur Optimierung und Standardisierung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.
- 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.

MBO (2016): Musterbauordnung, Fassung November 2002, geändert 2016.

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

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

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

MPA BS P-3048/817/14 (8. Dezember 2014): Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (Feuerhemmende Außenwand). Herausgeber: Materialprüfanstalt Braunschweig.

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

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 (2014): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Wärmedämmstoff Baustrohballen“. Berlin.

Englischsprachige Fachliteratur

Californian Straw Building Association (CASBA) (2019): Straw bale building details: an illustrated guide for design and construction. New Society Publishers.

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

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

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

Französischsprachige Fachliteratur

Floissac, L. (2012): La construction en paille : Principes fondamentaux, Techniques de mise en œuvre, 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 Strohballenbau – Stroh im Kopf Teil 2. Anschaulich und informativ, bestellbar unter: <http://oekofilm.de/stroh-im-kopf-teil-2.phtml>

Internetpräsenzen

Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V.: www.fasba.de

Österreichisches Strohballenbaunetzwerk (Austrian Straw Bale Network): www.baubiologie.at/asbn

Baustoffhersteller mit umfangreichem Informationsangebot: www.baustroh.de

European Straw Building Association ESBA: www.strawbuilding.eu

Gebäudedatenbank mit einigen Strohballenbauten: <https://referenzbauten.fnr.de>

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 2020



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.