

C.F. MÜLLER



Enz/Hastings

Innovative Wandkonstruktionen

Für Minergie-P und Passivhäuser



Strohballen

Beim Strohballenbau wird ein natürlicher Rohstoff genutzt, der in ausreichender Menge verfügbar ist, jährlich nachwächst und bei einem Rückbau in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden kann. Bereits vor mehreren hundert Jahren fand Stroh in Europa als Baumaterial Verwendung, z. B. als Strohdächer oder Ausfachungen in Verbindung mit Lehm. Als Konstruktionsmaterial für Wände wurden Strohballen zum ersten Mal in den 1880er-Jahren in Amerika eingesetzt, als die Strohballenpresse erfunden wurde. Während der Ölkrise in den 1970er-Jahren gelangte diese Strohballenbautechnik nach Europa. Weltweit existieren heute mehr als zehntausend Strohballenhäuser.



Systembeschreibung

Bei der Strohballenbauweise stehen zwei Konstruktionsprinzipien zur Auswahl. Die lasttragende Bauweise (Nebraska-Stil) besteht aus gestapelten Strohballen, die sowohl statische als auch wärmedämmende Funktion übernehmen. Die zweite Variante ist die Ständerbaukonstruktion, bei der das statisch tragende Holzständergerüst mit nicht tragenden Strohballen als Dämmung ausgefacht wird. Beide Wandaufbauten erreichen sehr gute Dämmwerte.

Anwendungsbereich

Der Strohballenbau eignet sich insbesondere für den Einsatz in ländlichen Regionen, wo Stroh in grossen Mengen vorhanden ist und die Transportwege kurz sind. Oft steht in solchen Gebieten mehr Land zur Verfügung als in dichter besiedelten Wohngegenden. Das heisst, trotz dicken Wandstärken, wie sie speziell bei der lasttragenden Bauweise entstehen, bleiben genügend Wohnfläche und Umschwung erhalten.

Bei der lasttragenden Bauweise wurde bis jetzt maximal zweigeschossig gebaut. Die Ausführung in Holzständerkonstruktion erlaubt je nach gesetzlichen Vorschriften bis zu fünf Stockwerke. Neben Wohnbauten sind auch landwirtschaftliche Nutzgebäude, öffentliche Einrichtungen, Lager-, Industrie- und Fertigungshallen, Tonstudios, Museen und sogar Sakralbauten mit Strohballen errichtet worden. Nicht zu vergessen ist die Eignung des Strohballenbaus für temporäre Bauten in Katastrophengebieten.



Vorteile

Strohballenhäuser zeichnen sich durch ihre Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit aus. Im Vergleich zu herkömmlichen Wandkonstruktionen brauchen solche Wände nur noch einen Zehntel der Primärenergie: Erzeugung, Transport und Einbau des regional verfügbaren und jährlich nachwachsenden Rohstoffs erfordern einen minimalen Energieaufwand. Das Baumaterial Stroh ist sehr kostengünstig. Bei der Errichtung eines Strohballenhauses ist die Mithilfe der Bauherrschaft möglich, wodurch weitere Kosten gespart werden können.

Strohballen haben sehr gute Wärmedämmeigenschaften und wirken bei einer diffusionsoffenen Bauweise als natürliche Feuchte-regulierung. Bei einem Rückbau lassen sich die Materialien einfach entsorgen bzw. biologisch abbauen.

Nachteile

Für den Einsatz von Stroh als Baukonstruktion fehlen in den meisten Ländern die gesetzlichen Grundlagen sowie die Erfahrung. Es besteht vielerorts eine gewisse Skepsis gegenüber dieser unkonventionellen Bauweise. (Dies gilt weniger für Österreich, Deutschland* und die USA, wo Stroh als Baustoff mehr verbreitet ist). Die grösste Gefahr für Bauschäden bei einem Strohballenhaus ist lang anhaltende Feuchtigkeit innerhalb der Konstruktion. Bei einer fachkundigen Ausführung lassen sich Feuchtigkeitsprobleme jedoch durch konstruktive Massnahmen zuverlässig verhindern. Bei der lasttragenden Ausführung erreichen Strohballenwände beachtliche Dimensionen, was die nutzbare Wohnfläche verkleinert. Daher ist diese Bauweise in dicht bebauten, städtischen Regionen weniger geeignet.

* Bauaufsichtl. Zulassung für Stroh als Dämmstoff seit Feb. 2006

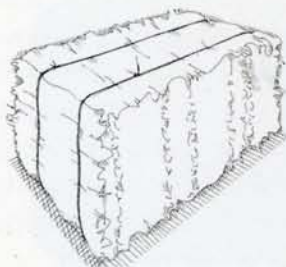


Grundelement

Stroh ist ein landwirtschaftliches Nebenprodukt, das beinahe überall in Mitteleuropa erhältlich ist. Für den Strohballenbau kommen vor allem Roggen, Weizen, Hafer und Gerste in Frage. Es sollte unbehandeltes Stroh mit guter Qualität verwendet werden. Bei der Auswahl sind unter anderem folgende Kriterien zu beachten:

- Farbe (goldgelb)
- Geruch (strohig, nicht modrig)
- Feuchte (< 14 %, raschelt)
- Unkrautanteil (gering, kein grünes Unkraut)
- Kornanteil (Restkörner < 1 %),

Strohballe sind in verschiedenen Abmessungen erhältlich. Die kleinen Balle eignen sich für den Einsatz in Ständerbaukonstruktionen, die mittleren und grossen Balle werden als lasttragende Konstruktion ausgeführt. Je nach Presse können die Strohballe in ihren Dimensionen variieren. Die Länge der Balle ist nach Wunsch einstellbar.



**Gängige Standardmasse
(Länge x Breite x Höhe)**

Klein: 100 x 50 x 35 cm
Mittel: 200 x 80 x 50 cm
Gross: 240 x 120 x 70 cm

Wandaufbau

Es wird grundsätzlich zwischen der lasttragenden Konstruktion und der Ständerbaukonstruktion unterschieden. In der Ausführung sind jeweils verschiedene Varianten möglich.

Lasttragenden Konstruktion

Diese in den USA bis heute übliche Bauweise wird nach ihrem Entstehungsort auch „Nebraska-Stil“ genannt. Die Strohballe übernehmen sowohl die statische als auch die wärmedämmende Funktion. Im Fundament vertikal fixierte Stangen aus Bambus, Holz oder Stahl dienen als Verankerung der Konstruktion. Sie werden entweder an der Aussen- und Innenseite der Wand montiert oder befinden sich in der Mitte und die Strohballe werden darauf aufgespiesst. Ein Ringanker in Form einer stabilen Holzbox oder einer starken Holzlattung bildet den oberen Abschluss, um die Dachlast gleichmässig auf die darunter liegenden Strohände zu verteilen. Nach dem Setzen der Strohballe werden die Wände innen und aussen verputzt.



**Wandaufbau lasttragende Konstruktion
(von innen nach aussen, v.r.n.l.)**

Lehmputz mit Jute armiert	20 mm
Bitumenpappe	3 mm
Strohballe / Fixierungsstäbe	500 mm
Drahtgitter (optional)	2 mm
Lehmputz	20 mm

Total 545 mm
U-Wert: 0.09 W/(m²·K)



Ständerbaukonstruktion

Die Ständerbaukonstruktion kommt vor allem in Europa zur Anwendung. Die Ständer- bzw. Pfosten-Riegelkonstruktion übernimmt sämtliche statischen Funktionen, während die Strohballen als Ausfachung und Wärmedämmung dienen. Der Ausfachungsabstand beträgt üblicherweise 75 bis 100 cm. Die Wand wird aussen verputzt oder mit einer hinterlüfteten Fassade ausgeführt. Gegenüber der lasttragenden Konstruktion hat die Ständerbaukonstruktion vor allem den Vorteil, dass Fertigteilkomponenten hergestellt werden können, die einen witterungsunabhängigen Bauprozess ermöglichen. Zudem ist die Gestaltungsfreiheit grösser. Nachfolgende Isometrie zeigt eine Ständerbaukonstruktion mit einem U-Wert von $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, was den Vergleich mit den anderen im Buch vorgestellten Wandaufbauten ermöglicht. Aufgrund der üblich erhältlichen Strohballendimensionen sind jedoch tiefere U-Werte die Regel. Der Fassadenschnitt zeigt eine weitere Variante des Strohballenbaus mit einer Plattenkonstruktion.

Wandaufbau Ständerbaukonstruktion (von innen nach aussen, v.r.n.l.)



Lehmputz zweilagig armiert	20 mm
Schilfputzträger	10 mm
Diagonal-Sparschalung	24 mm
Strohballen / Holzständer	290 mm
Diagonal-Sparschalung	24 mm
Windpapier	
Hinterlüftung / Konterlattung	40 mm
Stülpchalung	20 mm
Total	428 mm
U-Wert: $0.15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	



Wandaufbau Plattenkonstruktion (von innen nach aussen, v.r.n.l.)

KLH-Platte	106 mm
Strohballen	500 mm
Lehmputz	20 mm
Hinterlüftung / Konterlattung	50 mm
Treeplastschraube	
Horizontalschalung	20 mm
Total	696 mm
U-Wert: $0.08 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	

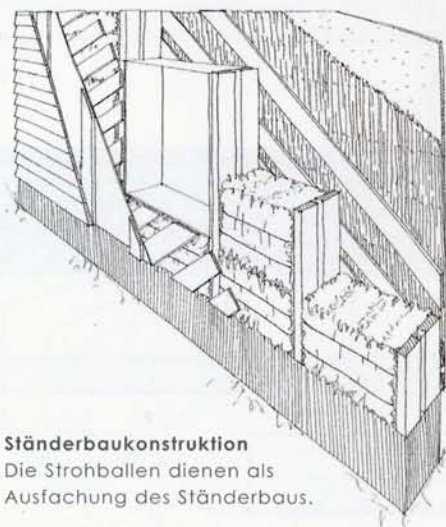


◀ Das Strohballen-Passivhaus-Büro „S-House“ in A-Böheimkirchen der GrAT dient als Informationszentrum für nachwachsende Rohstoffe.

▶ Der Ringanker in Form einer stabilen Holzbox bildet den oberen Abschluss der lasttragenden Strohballenwand. Dieser wird mit dem Fundament verspannt, um den Setzungsprozess der Strohballen zu beschleunigen.



Lasttragende Konstruktion
Die Strohballen werden aufeinander gestapelt und durch Bewehrungsstangen stabilisiert.



Ständerbaukonstruktion
Die Strohballen dienen als Ausfachung des Ständerbaus.

Raster

Ein sinnvoller Entwurf eines Strohballenhauses respektiert die Masse der Strohballen. Die Aussen- bzw. Innenmasse des Gebäudes orientieren sich am einfachsten an der Strohballenlänge. Fenster- und Türbreiten sollten die Hälfte oder ein Mehrfaches einer Strohballenlänge betragen. Hohe, schmale Öffnungen sind breiten Öffnungen vorzuziehen, damit die Dachlasten besser verteilt werden. Bei der Ständerbauweise bezieht sich der Ständerabstand auf eine Strohballenlänge.

Montage

Da Strohballen als unkonventionelles Baumaterial noch keinen geregelten Markt besitzen und die Ernte witterungsabhängig ist, lohnt es sich, das Stroh bereits ein Jahr vor der eigentlichen Bauzeit zu organisieren, damit der Baubeginn flexibel bleibt. Je nach Pressqualität sollten bis zu 25 % mehr Ballen bestellt werden, als für das Wandvolumen berechnet wurde, da sich das Stroh in den Ballen noch setzen kann. Der Strohballenbau setzt eine trockene Montagezeit voraus.

Bei der *lasttragenden Konstruktion* werden die Strohballen wie Bausteine versetzt aufei-



einander gestapelt und durch die im Fundament verankerten Bewehrungsstangen stabilisiert. Für das Versetzen der mittleren bis grossen Strohballen (rund 90 bis 300 kg) wird eine Hebevorrichtung benötigt. Die fertige Strohballenwand wird oben mit einem Ringanker abgeschlossen und mit dem Fundament verspannt. Dadurch wird die Stabilität der Wand erhöht und ein nachträgliches Setzen der Strohwand verhindert. Die Vorspannung kann mittels Gewindestangen und Muttern oder durch Spannseile erfolgen. Fixe Strukturelemente wie Fenster- oder Türrahmen lassen sich nicht komprimieren, daher müssen vor dem Abspannen oberhalb dieser Elemente Zwischenräume gelassen werden, die danach mit losem Stroh aufgefüllt werden. Der Setzungsprozess dauert 4 bis 8 Wochen. Danach werden die Wände verputzt.

Bei der *Ständerbauweise* wird zunächst die Ständerkonstruktion errichtet, die danach mit den Strohballen ausgefacht wird. Die kleinen Strohballen (rund 15 kg) können von Hand versetzt werden. Die Wände werden direkt nach dem Einbau der Strohballen verputzt, um das Stroh vor Nagetieren, Ungeziefer und Schlagregen zu schützen. Die Strohoberflächen müssen vor dem Aufbringen des Putzes ausgerichtet und geglättet werden. Lücken

und Löcher sollten mit losem Stroh gestopft werden. Die Fenster und Türen werden nach dem Verputzen bzw. Verkleiden der Wände eingebaut. Der luftdichte und wärmebrückenfreie Einbau ist eine Voraussetzung, um Bauschäden durch Tauwasser in den Strohballenwänden zu verhindern.

Die Ständerbauweise bietet die Möglichkeit, geschosshohe Wandelemente im Werk vorzufabrikieren. Dies erlaubt eine witterungsunabhängige Herstellung der Wände und einen schnellen Bauablauf vor Ort.

Bauphysik

Wärmeschutz

Strohballen mit einer Rohdichte ρ von ca. 100 kg/m^3 haben eine Wärmeleitfähigkeit λ von rund $0.045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, was den Werten üblicher Dämmmaterialien entspricht. Dieser Wert kann je nach Dichte, Feuchtigkeitsgehalt und Halmrichtung leicht variieren. Die spez. Wärmekapazität c eines Strohballens liegt bei $2.0 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$, was bei einer Strohballendicke von 35 bis 120 cm eine spez. Wärmespeicherefähigkeit von ca. $70 \text{ bis } 240 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$ ergibt. Mit den beachtlichen Wandstärken von Strohballenwänden werden U-Werte von $0.15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ meist deutlich unterschritten.



◀ Bei Strohballenbauten mit Aussenputz sind die abgerundeten Gebäudekanten ein typisches Merkmal.

Tragverhalten

Strohballen sind vergleichsweise weich und elastisch. Bei Belastungen entsteht eine Stauchung des Materials. In lasttragender Bauweise haben Strohballenwände eine Belastbarkeit von ca. 0.03 N/mm^2 . Die Last muss im Zentrum der Wand senkrecht übertragen werden. Wände, deren Höhe das Siebenfache eines Strohballens überragen, haben die Tendenz, instabil zu werden.

Schädlinge

Grundsätzlich sind trockene Strohballen für Schädlinge nicht interessant. Um jedoch einem eventuellen Schädlingsbefall durch Insekten vorzubeugen, ist es sinnvoll, die Strohballenwände zu verputzen bzw. zu verkleiden. Bei Hinterlüftungsebenen sind übliche Insektenschutzgitter anzubringen. Das Einnisten von Mäusen wird durch sehr dichte Strohballen frei von Restkörnern verhindert. Zusätzlich können noch Metallgitter angebracht werden.

Feuchteverhalten

Lang anhaltende Feuchtigkeit in der Konstruktion führt zu Fäulnis und Pilzbildung, was eine Strohballenwand zerstören kann. Es ist daher sehr wichtig, das gepresste Stroh trocken zu lagern und die Konstruktion während

des ganzen Bauvorgangs vor Feuchtigkeit zu schützen. Der maximale Feuchtegehalt des Strohballens sollte 15 % nicht überschreiten. Bei einer sorgfältigen, dampfdiffusionsoffenen Ausführung der Strohballenwand sind bezüglich Kondensats in der Konstruktion grundsätzlich keine Probleme zu erwarten. Anders als die meisten anderen pflanzlichen Dämmstoffe werden Strohballen vollkommen unbehandelt, ohne Borax, Wasserglas oder Ammonium-Sulfat verwendet.

Schallschutz

Aus der Praxis ist bekannt, dass verputzte Strohballenwände einen guten Schallschutz bieten. Je nach Konstruktion mit Putzen, Platten oder Schalungen sind Schalldämmwerte R_w von über 50 dB zu erreichen.

Brandschutz

Brennbarkeitsprüfungen in Wien (MA 39) und München (FIW) haben für gepresstes Stroh mit einer Rohdichte zwischen $90 - 125 \text{ kg/m}^3$ die Brennstoffklasse E bzw. B2 ergeben, das heisst «normal entflammbar». Je nach Wandaufbau hat eine Strohballenwand einen Feuerwiderstand von 30 bis über 90 Minuten. Durch entsprechende Verputze aus Lehm oder Kalk bzw. Verschalungen mit brandbeständigen Platten kann der Brandschutz bedeutend ver-



bessert werden. Auf der Baustelle ist dennoch erhöhte Vorsicht geboten, da sich loses, herumliegendes Stroh leicht entflammen kann.

Produktion

Mit dem Mähdrescher wird das Korn vom Stroh getrennt. Das auf dem Feld liegen gebliebene Stroh wird von der Strohballenpresse aufgenommen und zu 5 bis 10 cm dicken Lagen zusammengepresst. Diese Lagen werden aneinander geschichtet, bis die gewünschte Ballenlänge erreicht ist. Gebunden werden die Ballen mit 2 bis 6 Polypropylen-Schnüren, Sisalschnüren, Draht oder Metallbändern. Für den Bau entscheidend ist eine hohe Qualität der Strohballen. Die Ballen sollten frei von grünem Unkraut und Restkörnern sein und möglichst gleichmässig und mit konstanter Dichte gepresst werden. Eine Rohdichte von 90 bis 180 kg/m³ ist realisierbar.

Ökologie

Da Stroh als landwirtschaftliches Nebenprodukt anfällt, beschränkt sich die Herstellungsenergie auf die Energie, die zum Pressen der Strohballen benötigt wird. Dank der grossen Verfügbarkeit von Stroh können die Transportwege kurz gehalten werden. Im Vergleich zu

herkömmlichen Wandkonstruktionen benötigen Strohwände lediglich einen Zehntel der Primärenergie.

Holz, Lehm und Stroh als wesentliche Bestandteile von Strohballenhäusern enthalten keine Schadstoffe, wachsen nach und sind in grossen Mengen verfügbar. Bei einem allfälligen Rückbau dieser langlebigen Konstruktion können die Materialien einfach wiederverwertet, entsorgt oder kompostiert werden.

Wirtschaftlichkeit

Stroh ist mit einem Preis von 7.- bis 40.- € pro m³ ein sehr kostengünstiger Baustoff. Die Kosten für eine fertige Strohballenwand sind stark von der gewählten Konstruktion und der erbrachten Eigenleistung abhängig. Insbesondere die Ständerbauweise, die viel Handarbeit verlangt, kann zeitaufwändig sein. Hier liegen die Kosten im Bereich von 150.- € pro m². Lasttragende Wände können für ca. 100.- bis 130.- € pro m² realisiert werden. Da sich gewisse Arbeiten bei der Errichtung eines Strohballenhauses gut für eine Mitarbeit der Bauherrschaft und weiteren Helfern eignen, können durch entsprechende Eigenleistung wesentliche Baukosten gespart werden. Das Einsparpotenzial liegt je nach Umfang und Kompetenz bei Stroh- und Lehmarbeiten bei ca. 20 – 50 %.

Architektur: Mag. Arch. Werner Schmidt, CH-7166 Trun
Bauherrschaft: Fam. Braun-Dubuis, CH-7180 Disentis

Gebäudebeispiel

In Disentis, auf 1300 m ü. d. M., ist im Jahr 2002 ein aussergewöhnliches Einfamilienhaus entstanden. 120 cm dicke Jumboballen aus Stroh bilden die tragenden Wände dieses Gebäudes. Die riesigen Strohballen können die Lasten der zwei Geschosse sowie die Schneelasten von 650 kg/m² aufnehmen. Der 4 cm starke Verputz mit zwei Netzeinlagen hilft ebenfalls mit, die enormen Lasten zu tragen. Die Strohballen (L: 240 cm, B: 120 cm, H: 70 cm) haben ein Gewicht von 320 kg. Mit einem U-Wert von 0.04 W/(m²·K) ist eine optimale Wärmedämmung gewährleistet.

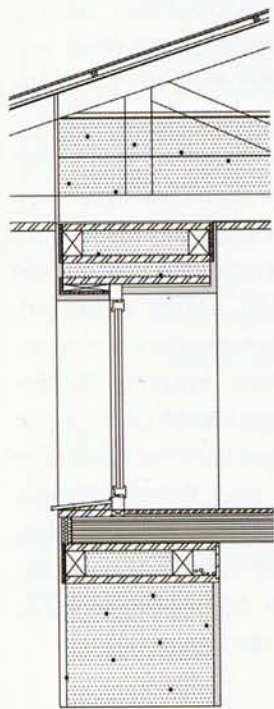
Um teure Stützmauern in der Hanglage zu vermeiden und um zu garantieren, dass von unten keine Feuchtigkeit in die Strohballen gelangt, steht das Haus auf einer Stahlbetonplatte, die talseitig von Stützen mit Punktfundamenten getragen wird. Nach Errichten der

Strohballenwände wurden diese mit Kunststoffbändern zur Bodenplatte hin verspannt. Ein Ringbalken aus Dreischichtplatten bildet den oberen Abschluss der Wände. Nach einem vierwöchigen Prozess des Setzens und Nachspannens hat sich die Gesamtkonstruktion um beachtliche 30 cm gesetzt.

Das nach dem Passivhausprinzip gebaute Gebäude kommt ganz ohne Heizung aus. Ein Schwedenofen ist nur für den Notfall vorhanden. Die Warmwasseraufbereitung geschieht über Sonnenkollektoren, die unten an der Südterrasse angebracht sind. Die Lüftung der Räume erfolgt manuell, was ein entsprechendes Benutzerverhalten voraussetzt. Der jährliche Gesamtenergieverbrauch dieses Einfamilienhauses bewegt sich zwischen 30 und 35 kWh/m²a für Heizung, Warmwasser und Elektrizität.



U-Werte	W/(m ² ·K)
Wände	0.04
Dach	0.07
Boden	0.10
Fenster	0.70



Wandaufbau
(von innen nach aussen, v.r.n.l.)

Kalkfertigputz / Kunststoffgitter	5 mm
Kalkgrundputz / Metallgitter	40 mm
Strohballen	1200 mm
Kalkgrundputz / Metallgitter	40 mm
Kalkfertigputz / Kunststoffgitter	5 mm
Total	1290 mm
U-Wert: 0.04 W/(m ² ·K)	

