



DIPLOMARBEIT
(Masters's Thesis)

DER ARCHITEKTONISCHE ENTWURF IM ZUSAMMENHANG MIT DEN MATERIALEIGENSCHAFTEN VON STROHBALLEN

Untersuchung der Möglichkeiten der lasttragenden Bauweise aus
Strohballen in Niederösterreich hinsichtlich architektonischer, konstruktiver,
festigkeits- und standsicherheitstechnischer, brandschutztechnischer,
hygienischer und gesundheitlicher, bauphysikalischer sowie
ökologischer Aspekte.

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von**

AO.Univ.Prof.i.R. Baurat.h.c. DI. DDr. -techn. ELEMÉR BÖLCSKEY
und

Ass.Prof.Dipl.-Ing.Dr.-techn. HEINRICH BRUCKNER
E206

Institut für Hochbau und Technologie
Baustofflehre, Werkstofftechnologie und Brandsicherheit

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Johannes Schitkowitz

Matrikelnummer: 9625834

ABSTRACT (DEUTSCH)

Im 19. Jahrhundert begann mit dem Aufkommen der Ballenpresse für Heu und Stroh auch die Entwicklung des Strohballenbaus. Als das älteste, noch erhaltene Haus einer lasttragenden Ballenkonstruktion gilt das Burke-Haus in Nebraska aus dem Jahre 1903. In den 1970er-Jahren wurde der Strohballenbau wieder entdeckt und seitdem erfährt diese Bauweise weltweit steigendes Interesse.

Der moderne Getreidebau und die fortschrittlichen Erntetechniken in der Landwirtschaft bieten speziell mit den großen Quaderballen neue Chancen in der Anwendung als Baustoff. Im Besonderen bei jener Bauweise, bei der der Strohballen statisch wirksam ist. Dabei sind die architektonischen Möglichkeiten von der geringen Belastbarkeit und zudem vom stark elastomechanischen Verhalten, sowie von der hohen Nässe- und Feuchteempfindlichkeit der Strohballenkonstruktionen geprägt. Dennoch zeigen bereits realisierte Gebäude die großartigen Anwendungsmöglichkeiten dieser Bauweise. In Bezug auf die heute gültigen, grundlegenden Anforderungen an Bauwerke und deren Baustoffe ist festzuhalten, dass zu den Themen Brand-, Schall- und Wärmeschutz bereits fundierte Ergebnisse und anerkannte Bewertungen vorliegen. Zum Nachweis der Festigkeit und Standsicherheit von lasttragenden Strohballenkonstruktionen fehlen jedoch noch geeignete Prüf- und Klassifizierungsverfahren sowie Berechnungsalgorithmen. Deshalb kann gegenwärtig nur auf experimentell durchgeführte Untersuchungen einzelner Strohballen und Strohballenwände Bezug genommen werden. Hinsichtlich der Gefährdung der Hygiene und der Gesundheit durch Schimmelpilze sind gegenwärtig nur Außenwände mit vorgesetzten Fassaden als geeignet zu betrachten. Bei der ökologischen Bewertung gilt der Strohballen bei regionaler Verfügbarkeit und als Nebenprodukt der Getreideernte als sehr guter Baustoff.

Die allgemeinen Erkenntnisse über die architektonischen Möglichkeiten und die wesentlichen Anforderungen an den Strohballenbau sind anhand eines Mustergebäudes in Niederösterreich konkretisiert. Aufgrund fehlender anerkannter Prüf- und Klassifizierungsverfahren sowie Berechnungsalgorithmen bedarf eine Baugenehmigung jedoch einer gesonderten Nachweisführung, deren Umfang von der Baubehörde festgelegt wird. Bisher wurden in Niederösterreich zwei Gebäude in lasttragender Strohballenbauweise errichtet.

ABSTRACT (ENGLISH)

In the nineteenth century, the development of straw-bale construction started with the rise of the mechanical baling press for hay and straw. The Burke House in Nebraska, dating from 1903, is currently the oldest surviving house exhibiting load-bearing bale construction. In the 1970s, straw-bale construction was rediscovered and has attracted constantly rising worldwide interest since then.

Currently, modern grain cultivation and advanced harvesting techniques offer new opportunities to use this building material, mostly in the shape of huge square bales, especially for static effective construction methods. The architectural possibilities of straw bales depend on comparably low load capacity and high elasto-mechanic properties, as well as a high degree of sensitivity to moisture and humidity. Nevertheless, already existing buildings of this kind show that there are outstanding new ways of applying this method of construction in architecture. With regard to the basic requirements buildings and building materials have to meet nowadays, important findings and confirmed research are available for topics like acoustic and thermal protection, as well as fire safety regulations. What is still missing, though, are appropriate testing and classification methods, as well as algorithms, proving the solidity and stability of load-bearing straw-bale construction. At present, this paper can therefore refer only to experimentally conducted research and to the analysis of single straw bales and straw-bale walls. Due to potential hygiene and health hazard triggered by mildew, straw bales are currently only considered applicable to exterior walls with rainscreen cladding. In ecological terms, straw bales are very good, since they are regionally available by-products of the wheat harvest.

General knowledge concerning architectural options and respective requirements of straw-bale construction have been applied and put into practice in a model building in Lower Austria. Due to a lack of officially accepted testing and classification methods, as well as algorithms for calculation, however, official technical approval and a construction permit require an additional procedure of furnished proof that still needs to be defined by the Supreme Building Authority. Up to the present, two buildings with load-bearing straw-bale construction have been erected in Lower Austria.

DANKSAGUNG UND WIDMUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Entstehen meiner Diplomarbeit beigetragen haben, insbesondere ...

... bei Herrn ao.Univ.Prof.i.R. Baurat.h.c. DI. DDr. -techn. *Elemer Bölcskey* und

... bei meinem Betreuer Herrn Ass.Prof.Dipl.-Ing.Dr.-techn. *Heinrich Bruckner*,

die mir die Bearbeitung des sehr interessanten Themas über den lasttragenden Strohballenbau in dieser Form ermöglicht haben.

Meine Diplomarbeit widme ich ...

... meinen Eltern, die mir Sicherheit beim späten Einstieg ins Studium gegeben haben und mir während des gesamten Studiums stets hilfreich zur Seite gestanden sind und

... meiner Freundin für ihre Unterstützung und ihr Verständnis, speziell während der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

Abstract (deutsch)	2
Abstract (english)	3
Danksagung und Widmung	4
1 EINLEITUNG	10
2 GRUNDLAGEN DES STROHBALLENBAUS	12
2.1 Allgemeine Grundbegriffe	12
2.1.1 Getreide	12
2.1.2 Stroh	12
2.1.3 Heu oder Grummet	13
2.2 Geschichtliche Entwicklung des Strohballenbaus	15
2.2.1 Die Anfänge des Ballenbaus	15
2.2.2 Die „Renaissance“ des Strohballenbaus	25
2.3 Die Getreidepflanzen	27
2.3.1 Organe	27
2.3.2 Entwicklung	28
2.3.3 Anatomie des Getreidehalms	29
2.4 Der Getreidebau	30
2.4.1 Getreidebau Österreich	30
2.4.1.1 Ernteergebnis	30
2.4.1.2 Ackerlandflächen	31
2.4.1.3 Landbausysteme	32
2.4.1.4 Pflanzenschutz	33
2.4.2 Getreidebau EWR	34
2.5 Getreideernte	35
2.5.1 Händische Erntemethoden für Getreide	35
2.5.2 Die ersten Geräte bzw. Maschinen zur Getreideernte	38
2.5.3 Vollerntemaschinen	40
2.5.3.1 Mähdrescher aus 1960	40
2.5.3.2 Mähdrescher jüngster Generation	40
2.5.3.3 Dreschwerk-Systeme von Mähdreschern	41
2.6 Verfügbarkeit von Stroh	42
2.6.1 Anwendungsgebiet	42
2.6.2 Keine aktuellen Statistiken	43
2.6.3 Studien für freies Strohpotential	43
2.6.4 Strohabbrennen am Feld	45
2.6.5 Berechnungsmethode - Korn-Stroh-Verhältnis	45

2.6.6	Ausblick und Schlussfolgerung.....	46
2.7	Herstellung von Strohballen	47
2.7.1	Entwicklung	47
2.7.2	Typologien von Ballenpressen	48
2.7.2.1	Kleinballenpressen	48
2.7.2.2	Großballenpresse	49
2.8	Pressengarn	52
2.9	Übliche Transportmittel.....	53
3	BAUSTROH UND BAUSTROHBALLEN	55
3.1	Begriffsbestimmungen.....	55
3.1.1	Definition der Strohballenausrichtung (Ballenorientierung)	55
3.1.2	Ballenbezeichnungen	55
3.2	Typologien von Strohballen-Bausystemen	56
3.2.1	Allgemeines	56
3.2.2	Skelettsysteme	58
3.2.3	Rahmensysteme.....	59
3.2.4	Scheibentragwerke.....	59
3.2.5	Mortared-Bale Matrix System (System Gagné).....	60
3.2.6	Lasttragende Systeme.....	60
3.3	Allgemeine Anforderungen an den Baustrohballen	62
3.3.1	Anforderung an das „Baustroh“	62
3.3.2	Anforderungen an den „Baustrohballen“	63
3.4	Grundanforderungen an Bauwerke und Bauprodukte gemäß NÖ Baurecht.....	65
3.4.1	Niederösterreichische Bauordnung 1996	65
3.4.2	NÖ Bauprodukte- und Marktüberwachungsgesetz 2013.....	66
3.4.3	Anmerkungen	67
3.5	Untersuchungen hinsichtlich mechanischer Festigkeit und Standsicherheit	68
3.5.1	Baurechtliche Vorgaben	68
3.5.2	Grundlagen zum elastomechanischen Verhalten von Strohballen.....	69
3.5.2.1	Lastenwirkungen im Allgemeinen.....	69
3.5.2.2	Werkstoffeigenschaften unter Druck im Allgemeinen	69
3.5.2.3	Elastomechanisches Verhalten von Einzelballen	70
3.5.3	Elastomechanisches Verhalten von Wänden aus Strohballen im Allgemeinen	71
3.5.4	Diverse elastomechanische Untersuchungen mit Kurzbeschreibungen	74
3.5.5	Lastversuche an Großballen an der Hochschule Magdeburg–Stendal	77
3.5.5.1	Versuchsprogramm	78
3.5.5.2	Materialgrößen der verwendeten Großballen.....	79

3.5.5.3	Rohdichtebestimmung.....	80
3.5.5.4	Druckbelastungen an Einzelballen	80
3.5.5.5	Relaxationsverhalten von Einzelballen.....	81
3.5.5.6	Versuchsaufbau unverputzter Wände	83
3.5.5.7	Vorspannung unverputzter Wandelemente	84
3.5.5.8	Relaxationsversuche an unverputzten Wänden	85
3.5.5.9	Kurzzeit-Druckversuche an unverputzten, vorgespannten Wänden	87
3.5.5.10	Schubversuch an unverputzten, vorgespannten Wänden.....	89
3.5.5.11	Versuchsaufbau verputzter Wände	91
3.5.5.12	Kurzzeit-Druckversuche an verputzten, vorgespannten Wänden	91
3.5.5.13	Schubversuche an verputzten, vorgespannten Wänden.....	92
3.5.6	Resümee	92
3.6	Untersuchungen hinsichtlich Brandschutz.....	95
3.6.1	Allgemeines	95
3.6.2	Baurechtliche Vorgaben	95
3.6.3	Brandverhalten von Bauprodukten	96
3.6.4	Feuerwiderstandsklassen.....	97
3.6.5	Untersuchungen an Strohballenwänden	98
3.6.5.1	Wandkonstruktion ~ 376 mm mit Strohballendämmung.....	98
3.6.6	Resümee	99
3.7	Untersuchung hinsichtlich Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz.....	99
3.7.1	Allgemeines	99
3.7.2	Baurechtliche Vorgaben	100
3.7.3	Untersuchungen	100
3.7.3.1	Feuchtetechnische Untersuchungen von <i>M. Krus</i> und <i>A. Saur</i>	100
3.7.3.2	Untersuchung des Schimmelpilzwachstums auf Stroh und Strohwänden:	101
3.7.3.3	Untersuchung im Auftrag des Fachverband Strohballenbau Deutschlands	104
3.7.4	Resümee	113
3.8	Untersuchung hinsichtlich Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung....	113
3.8.1	Baurechtliche Vorgaben	113
3.8.2	Resümee	114
3.9	Untersuchung hinsichtlich Schallschutz	114
3.9.1	Baurechtliche Vorgaben	114
3.9.2	Untersuchungen	114
3.9.3	Resümee	115

3.10	Untersuchung hinsichtlich Energieeinsparung und Wärmeschutz	115
3.10.1	Allgemeines	115
3.10.2	Baurechtliche Vorgaben	116
3.10.3	Wärmedämmende Eigenschaften von Stroh	116
3.10.3.1	Einführung	116
3.10.3.2	Untersuchungsergebnisse	117
3.10.4	Wärmespeicherfähigkeit von Stroh	119
3.10.5	Resümee	119
3.11	Untersuchung hinsichtlich nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen	120
3.11.1	Baurechtliche Vorgaben	120
3.11.2	Untersuchungsergebnisse	120
3.11.3	Resümee	122
4	ARCHITEKTONISCHER ENTWURF	123
4.1	Allgemeines	123
4.2	Allgemeine Grundlagen	123
4.2.1	Dachkonstruktionen	123
4.2.2	Lasttragendes Strohballengewölbe	124
4.2.3	Lasttragende Strohballenkuppel	125
4.2.4	Grundrisse	127
4.2.5	Wandkopf mit Ringbalkenkonstruktionen	128
4.2.6	Deckenkonstruktionen	129
4.2.7	Fundierung und Wandfuß mit Fußbodenaufbau	129
4.3	Projektbeispiele	131
4.3.1	“Pay-As-You-Go ‘Structural’ Hybrid” von Matts Myhrman und MacDonald	131
4.3.2	“Spiral House”	131
4.3.3	Strohhaus Fliri	133
4.3.4	Erstes lasttragendes Strohhaus in Österreich als Nebengebäude	137
4.3.5	Haus Keimel-Lessing	138
4.3.6	Musterhaus Höller	140
4.3.7	Strohballenhaus in Andrá Wördern	143
4.3.8	Temporäre Strohballenbauten	147
4.3.8.1	Strohballenturm in Lenzburg (Schweiz)	147
4.3.8.2	“United Bales of Straw” in Lungern (Schweiz)	147
4.3.8.3	Strohkirche von Glane (Deutschland)	149
5	MUSTERGEBÄUDE EINES LASTTRAGENDEN KLEINWOHNHAUSES IN NIEDERÖSTERREICH	151
5.1	Perspektivische Skizze	151

5.2	Baubeschreibung.....	151
5.3	Pläne	152
5.3.1	Erdgeschoß	153
5.3.2	Schnitt A-A.....	154
5.3.3	Schnitt B-B.....	155
5.3.4	Ansicht - West	156
5.3.5	Ansicht - Nord.....	156
5.3.6	Ansicht - Ost	157
5.3.7	Ansicht - Süd	157
5.3.8	Kenngößen der Quaderballen aus Stroh.....	158
5.3.9	Herstellung der Quaderballen.....	158
5.4	Untersuchung der wesentlichen Anforderungen an die Bauwerke.....	159
5.4.1	Mechanische Festigkeit und Standsicherheit	159
5.4.1.1	Lastaufstellung	159
5.4.1.2	Vorbemessung des Wandabschnitts seitlich der Terrassentüre	164
5.4.1.3	Horizontale Belastung durch den Wind	168
5.4.1.4	Beurteilung der Festigkeit und der Prinzipien der Standsicherheit.....	169
5.4.1.5	Resümee	172
5.4.2	Brandschutz.....	172
5.4.3	Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz.....	172
5.4.4	Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung.....	173
5.4.5	Schallschutz	173
5.4.6	Energieeinsparung und Wärmeschutz	174
5.4.7	Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen	175
5.5	Schlussfolgerung hinsichtlich einer baubehördlichen Bewilligung.....	176
6	HORIZONTALS TRAGWERK – MACHBARKEITSSTUDIE	177
6.1	Allgemeines	177
6.2	Versuchsaufbau.....	177
6.3	Bestimmung der Ballendichte.....	178
6.4	Versuchsdurchführung	179
6.4.1	Aufbringung der Vorspannung.....	179
6.4.2	Auflagerung des Strohballenträgers	181
6.5	Resümee	181
7	ZUSAMMENFASSUNG	182
8	Literaturverzeichnis	185
8.1	Primärliteratur	185
8.2	Sekundärliteratur	186

1 EINLEITUNG

Die heutigen Anforderungen an Bauwerke, respektive Wohnbauten sind sehr vielseitig. Die aktuell gültige Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09. 03. 2011 definiert mittlerweile folgende sieben Grundanforderungen von Bauwerken:

- 1) Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- 2) Brandschutz
- 3) Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- 4) Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung
- 5) Schallschutz
- 6) Energieeinsparung und Wärmeschutz
- 7) Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

Neu eingeführt wurde das Thema „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“. Im Wesentlichen werden hierbei die Verwendung von umweltverträglichen Rohstoffen und Sekundärbaustoffen, die Dauerhaftigkeit, sowie nach Abriss des Bauwerks die Wiederverwendbarkeit oder die Wiederaufbereitung von Baustoffen oder Bauteilen verlangt.

Diese genannten Grundanforderungen an Bauwerke wurden am 11. 04. 2014 auch in die Niederösterreichische Bauordnung übernommen.¹ Über die baurechtlichen Anforderungen hinaus bestehen oft weitere Erfordernisse an Bauwerke bzw. deren Baustoffe. Beispielsweise werden zur Schonung der Umwelt, aber auch für das persönliche Wohlbefinden, zunehmend nachwachsende Rohstoffe verwendet. Ebenso gilt einer steigenden Aufmerksamkeit jenen Baustoffen mit geringem Energieeinsatz im Herstellungsprozess und mit minimalem Transportaufwand. Diese und weitere Kriterien bei der Auswahl der Baustoffe dienen oftmals dem allgemeinen Interesse und werden daher im Zuge von Wohnbauförderungen oder dergleichen unterstützt.

Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, wird es speziell beim Bau von Einfamilien- und Wohnhäusern im kleineren Umfang zukünftig unumgänglich sein, auch die Strohballenbauweise ins Auge zu fassen, welche im 19. Jahrhundert mit der Erfindung der Ballenpresse im Mittleren Westen der USA ihren Anfang hatte und in den 1970er-Jahren wieder entdeckt wurde und seitdem weltweit steigendes Interesse erfährt.

In dieser vorliegenden Arbeit sollen architektonische Möglichkeiten des lasttragenden Strohballenbaus aufgezeigt werden. Im Weiteren sollen unter Berücksichtigung der baurechtlichen Situation in Niederösterreich die Grundanforderungen an Bauwerke hinsichtlich Konstruktion, Festigkeit und Standsicherheit, Brandschutz, Hygiene und

¹ Niederösterreichische Bauordnung 1996: § 43, Abs. 1

Gesundheit, Schall- und Wärmeschutz, sowie Ökologie und Nachhaltigkeit in Bezug auf lasttragende Strohballenkonstruktionen analysiert und anhand eines Beispiels konkretisiert werden.

Der erste Teil der vorliegenden Arbeit wird einen Überblick über die Entwicklung des lasttragenden Strohballenbaus schaffen und im Weiteren die Grundlagen zum Getreidebau und zur Getreideernte und daraus folgend auch zur Strohballenherstellung vermitteln, sowie die Verfügbarkeit von Stroh thematisieren. Im zweiten Teil werden die Voraussetzungen für das Baustroh bzw. die Anforderungen an die Baustrohballen im Hinblick auf die genannten Grundanforderungen an Bauwerke angeführt. Grundlagen dazu werden bereits durchgeführte wissenschaftliche Untersuchungen sein. In einem weiteren Abschnitt der Arbeit sollen die wesentlichen Entwurfskriterien für den lasttragenden Strohballenbau thematisiert und anhand ausgeführter Projekte belegt werden. Mit einem Entwurf eines Mustergebäudes wird die aktuelle Möglichkeit der lasttragenden Strohballenbauweise in Niederösterreich konkretisiert werden. Zum Abschluss soll mit einem einfachen, experimentellen Versuch die Machbarkeit eines horizontalen Tragwerks aus Strohballen mit Spannstäben aufgezeigt werden.

2 GRUNDLAGEN DES STROHBALLENBAUS

2.1 ALLGEMEINE GRUNDBEGRIFFE

2.1.1 Getreide

Als Getreide [althochdeutsch gitregidi »Ertrag«, »Besitz«, eigentlich »das, was getragen wird«] werden laut Brockhaus Enzyklopädie Online landwirtschaftlich kultivierte, einjährige Pflanzenarten aus der Familie der Gräser mit einsamigen Früchten (Körner) bezeichnet. Diese Samen Körner sind Hauptnahrungsquelle für Mensch (Nahrungsgetreide) und Tier (Futtergetreide). Es gibt sieben Getreidearten, von denen Weizen, Gerste, Roggen und Hafer v. a. in den gemäßigten, Mais, Reis und Hirse in den klimatisch warmen Zonen vorkommen.²

Eine Übersicht der bedeutendsten Getreidearten ist in Abb. 2-1 dargestellt. Die vollständige Beschreibung des Begriffs „Getreide“ aus der Brockhaus Enzyklopädie Online ist im Anhang enthalten.

2.1.2 Stroh

Als Stroh [althochdeutsch strō, eigentlich »Ausgestreutes«] werden die getrockneten Halme und Blätter des Getreides, aber auch der Hülsenfrüchte und Ölsaaten bezeichnet.³ Entgegen der viel verbreiteten Meinung, dass Stroh ohne Restkornanteil als Futtermittel ungeeignet wäre, darf angemerkt werden, dass nicht nur einige Termitenarten Stroh verdauen können⁴, sondern auch als Futtermittel im geringen Umfang für Wiederkäuer³ und z. B. auch für Pferden⁵ geeignet ist.

² vgl. Die Brockhaus Enzyklopädie Online: „Getreide“; publiziert am 01. 09. 2013; (F. A. Brockhaus / wissenmedia in der inmediaONE] GmbH, Gütersloh/München;
<https://webvpn.tuwien.ac.at/+CSCO+1h75676763663A2F2F67686A7672612E6F65627078756E68662D6A766666726166667265697670722E70627A++/brockhaus/getreide>, abgerufen am 07. 08. 2014.

³ vgl. Die Brockhaus Enzyklopädie Online: „Stroh“; publiziert am 28.04.2014; (F. A. Brockhaus / wissenmedia in der inmediaONE] GmbH, Gütersloh/München;
<https://webvpn.tuwien.ac.at/+CSCO+1h75676763663A2F2F67686A7672612E6F65627078756E68662D6A766666726166667265697670722E70627A++/brockhaus/heu>, abgerufen am 07. 08. 2014.

⁴ vgl. *Athena Swentzell Steen et al* (1994): Seite 46

⁵ vgl. *Dr. Wolfgang Sommer*. „Mit Stroh Futterkosten sparen?“;
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/pferdehaltung/fuetterung/stroh-futterkosten.htm>, abgerufen am 04. 09. 2014.

Die vollständige Beschreibung des Begriffs „Stroh“ aus der Brockhaus Enzyklopädie Online ist im Anhang enthalten.

2.1.3 Heu oder Grummet

Als Heu [althochdeutsch houwi, zu hauen]⁶ werden getrocknete Futterpflanzen von Wiesen und Mähweiden bezeichnet. Gemäß Brockhaus Enzyklopädie Online handelt es sich hierbei um den ersten Schnitt einer Wiese, der zweite Schnitt wird Grummet oder Grumt genannt, und ist meist nährstoffreicher als das Heu des ersten Schnittes.⁷ Das Heu und das Grummet werden speziell als Winterfutter für Pflanzenfresser verwendet.

Die vollständige Beschreibung des Begriffs „Heu“ und des Begriffs „Grummet“ aus der Brockhaus Enzyklopädie Online ist im Anhang enthalten.

⁶ Die Brockhaus Enzyklopädie Online: „Heu“; publiziert am 01. 01. 2012; (F. A. Brockhaus / wissenmedia in der inmediaONE] GmbH, Gütersloh/München:

<https://webvpn.tuwien.ac.at/+CSCO+1h75676763663A2F2F67686A7672612E6F65627078756E68662D6A766666726166667265697670722E70627A++/brockhaus/heu>, abgerufen am 07. 08. 2014)

⁷ Die Brockhaus Enzyklopädie Online: „Grummet“; publiziert am 01. 01. 2012; (F. A. Brockhaus / wissenmedia in der inmediaONE] GmbH, Gütersloh/München:

<https://webvpn.tuwien.ac.at/+CSCO+1h75676763663A2F2F67686A7672612E6F65627078756E68662D6A766666726166667265697670722E70627A++/brockhaus/grummet>

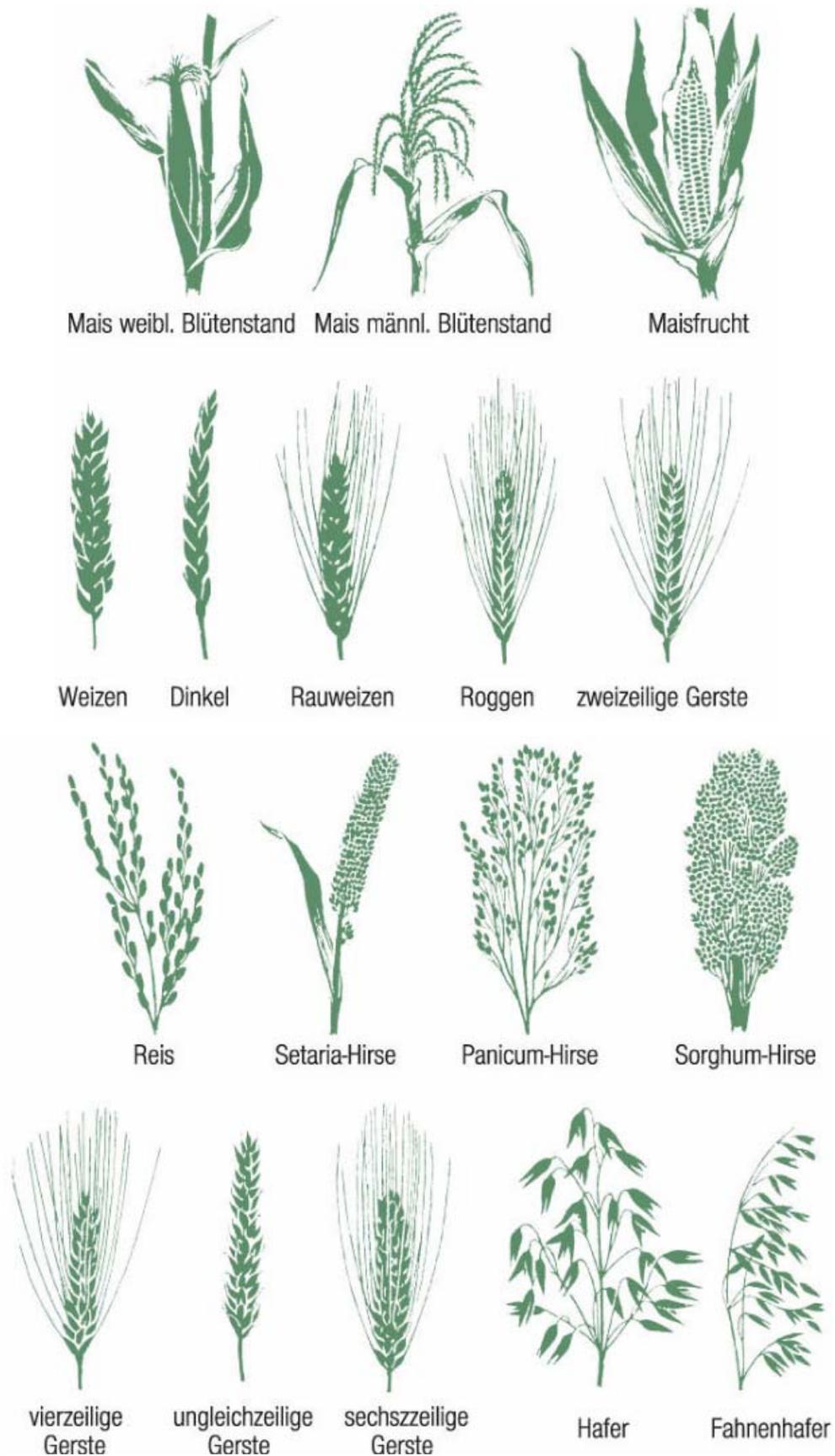


Abb. 2-1: „Übersicht der bedeutendsten Getreidearten der Erde“
 (Die Brockhaus Enzyklopädie Online: „Getreide: Arten (Grafik)“; publiziert: 01. 09. 2013;
<https://webvpn.tuwien.ac.at/+CSCO+1h75676763663A2F2F67686A7672612E6F65627078756E686662D6A766666726166667265697670722E70627A++/brockhaus/getreide>, abgerufen am 07. 08. 2014)

2.2 GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DES STROHBALLENBAUS

2.2.1 Die Anfänge des Ballenbaus

Einleitend zu diesem Kapitel sei speziell darauf hingewiesen, dass Stroh, wie wir es heute in den Ländern mit moderner Landwirtschaft vorfinden, nämlich in der Regel nahezu sortenrein, fast ohne Unkraut und Restkornanteil, etc., nicht dem entspricht, was damit in den letzten Jahrzehnten und im Besonderen vor mehr als hundert Jahren bezeichnet wurde und was heute noch unter dem Begriff Stroh in unterentwickelten Ländern verstanden wird. Vielleicht ist auch das der Grund, weshalb für ein und dasselbe historische Gebäude das Grundmaterial des Ballens in einem Fall dem Heu im anderen dem Stroh zugeordnet wird. Z. B. zum Haus der *Simonton Family*, in Purdum, im US-Bundesstaat Nebraska (siehe Abb. 2-8) schreibt *Nathaniel Corum* in der Abbildungsbeschreibung zum *Simonton Family Home*: „... constructed with prairie hay cut after a frost.“⁸, Dieses Haus der *Simonton Family* wird aber auch sehr häufig als eines der ersten fotodokumentierten Beispiele für ein Strohhaus oder für eine Strohballenkonstruktion gezeigt.^{9,10} Im Weiteren muss an dieser Stelle aber auch darauf aufmerksam gemacht werden, dass für die ersten Gebäude aus gepressten Ballen auch tatsächlich Heu verwendet wurde!

Wann die ersten Ballen aus Heu, Stroh oder ähnlichen Naturprodukten zu Ballen zusammen gepresst wurden und in der Folge die ersten Behausungen entstanden sind, scheint nicht eindeutig zu sein. So geht *Bruce King* in seinem Buch „Design of Straw Bale Buildings“ davon aus, dass die ersten Ballenkonstruktionen in den sandigen Hügeln von Nebraska in der Zeit ab 1800 von den europäischen Siedlern aufgrund des geringen Stein- und Holzvorkommens errichtet wurden, wobei man das umgebende Gras verwendet hat.¹¹ Im Unterschied dazu schreibt *Benjamin Krick* in seiner Dissertation im Kapitel über die historische Entwicklung des Strohballenbaus:

„Laut den Recherchen von Minke/Mahlke (2004:10ff) und Gruber (2003:10ff) wurden die ersten Ballenbauten (zunächst nicht aus Stroh sondern aus Heu) bald nach der Entwicklung der Ballenpressen im zweiten Drittel des 19. Jahrhunderts in den holzarmen Gebieten Nebraskas errichtet. Vermutlich zunächst als Provisorium gedacht, dienten sie Landarbeitern als Unterkunft und stellten sich

⁸ *Nathaniel Corum*; 2005: auf den ersten Seiten des Buches (ohne Seitenangabe)

⁹ vgl. Atelier *Werner Schmidt*: „Stroh in Zeiten von High-tec“; (Abbildungsbeschreibung aus der Homepage: <http://www.atelierwernerschmidt.ch/de/stroh/stroh-bauen>; abgerufen am 29. 07. 2014)

¹⁰ vgl. *Martin Hammer* und *David Eisenberg*; 2014: Seite 1

¹¹ vgl. *Bruce King* 2006: Seite XXI

als dauerhaft und behaglich heraus. Aus diesen ersten Bauten entwickelte sich um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert der Nebraska Style.“¹²

Offenbar wurden sehr rasch die Vorzüge einer Ballenbehauung aus Heu, Stroh o. dgl. besonders in Bezug auf die einfache Handhabung, häufig reichliche Verfügbarkeit, die gute Wärmedämmung und die relativ gut wirksame Speichermasse, welche eine Überwärmung der Räume hintanhält, erkannt.

Bei der ersten Strohballenbauweise wurden lediglich die Strohballen wie überdimensionale Ziegel - analog zu einem Ziegelverband - zu Wänden gestapelt. Stoß- und Setzfugen aus Mörtel o. dgl., wie wir sie aus dem Ziegelbau kennen, kamen hierbei nicht zur Anwendung. Am oberen Abschluss der Wand, dem Wandkopf, wurde eine Art Mauerbankkonstruktion aus Holz zur Auflagerung des Daches hergestellt. Die Dachkonstruktion belastet somit direkt die Strohballen der Wand. Heute bezeichnen wir diese Bauweise als „lasttragend“. Dabei ist auf eine gleichmäßige Belastung der Wände zu achten. Hierzu sind Walmdächer, im Speziellen Pyramidendächer relativ gut geeignet und so sind diese Dachformen häufig bei Strohballenbauten zu finden.

Im Gegensatz zur lasttragenden Bauweise übernehmen bei den etwas später entwickelten nicht-lasttragenden Bauweisen eigenständige Stabwerkskonstruktionen o. dgl. (zumeist aus Holz) die statische Funktion, so dass die Strohballen bzw. Strohballenwände zwar selbsttragend aber nicht belastet sind.

Als „Kuriosum“ werden in so mancher Fachliteratur das Patent von *Josiah M. Leeds* (siehe Abb. 2-2 und Abb. 2-3) aus dem Bundesstaat Indiana im Jahre 1880¹³ und jenes von *George W. Pickin* (siehe Abb. 2-4, Abb. 2-5 und Abb. 2-6) aus dem Bundesstaat Wisconsin im Jahre 1903¹⁴ beschrieben. Aus Sicht des Verfassers dieser Diplomarbeit sind sie jedoch von besonderer Bedeutung und daher in der vorliegenden Arbeit auch zur Gänze abgebildet. So zeigen diese Patente, dass man sich nicht nur in Nebraska schon sehr früh Gedanken über den Strohballenbau gemacht hat, sondern auch, dass schon früher sehr detaillierte und tiefgreifende Überlegungen angestellt und daraus geniale bauliche Maßnahmen entwickelt wurden, welche zum Teil auch heute noch angewendet und teilweise erst in unserer Zeit wissenschaftlich untersucht werden.

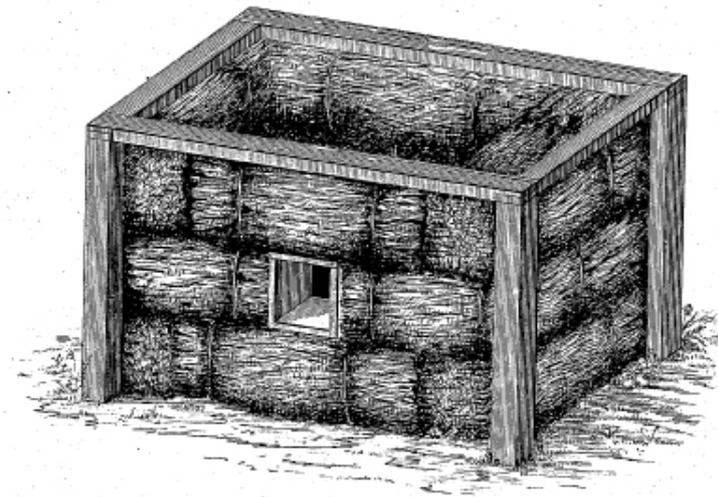
¹² *Benjamin Krick* (2008): Seite 111

¹³ vgl. *Josiah M. Leeds* (1880): Seite 1-2

¹⁴ vgl. *George W. Pickin* (1903): Seite 1-3

So erkennen wir beim Patent von *Josiah M. Leeds*, welches bereits 1878 beantragt wurde, dass z. B. die Ausrichtung (Halmrichtung) des Strohballens quer zur Wärmeflussrichtung vorgenommen wurde, wodurch ein besserer Wärmeschutz erzielt wird, oder auch die optionale Belastung der Eckpfosten, was möglicherweise schon auf Überlegungen zum eingespannten System hin deutet. Aber vielleicht hat damit *Josiah M. Leeds* auch bereits die nicht-lasttragende Bauweise angedacht.¹⁵

J. M. LEEDS.
Building Houses, Barns, Fences, &c.
No. 225,065. Patented Mar. 2, 1880.



Witnesses:

Alfred Stout
Henry Davis

Inventor:

Josiah M. Leeds

S. H. W. PHOTO-LITHOGRAPH, WASHINGTON, D. C.

Abb. 2-2: „Skizze (Seite 1) aus dem US-Paten von Josiah M. Leeds“
(*Josiah M. Leeds* (1880): "Building Houses, Barns, Fences, & C."; Patent Nr. 225,065, vom 02. 03. 1880; <http://www.google.com/patents/US225065>, abgerufen am 29.07.2014)

¹⁵ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 111

UNITED STATES PATENT OFFICE.

JOSIAH M. LEEDS, OF KOKOMO, INDIANA.

BUILDING HOUSES, BARNs, FENCES, &c.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 225,065, dated March 2, 1880.

Application filed November 5, 1878.

To all whom it may concern:

Be it known that I, JOSIAH M. LEEDS, of Kokomo, in the county of Howard and State of Indiana, have invented a new and useful Improvement in Buildings, of which the following is a specification.

The object of this invention is to furnish a cheap and useful method of building barns, stables, houses, and fences, of material easily obtained and at a nominal cost. Said buildings can be rapidly constructed, and they are convenient and durable.

The improvement consists in the manner of using the material now considered of little value, and generally thrown away or allowed to go to waste, and is this:

I cut hay, or take straw or corn-stalks, sorgo-stalks, hemp-straw, flax-straw, willow-brush, cedar-brush, or any kind of material that can be pressed into bales, of any convenient size as regards length, breadth, or thickness, banding them with wire or hoop-iron, or any other bandages, then laying them up into buildings, breaking the joints, the same as in laying up brick. I use a mortar or not, as I deem it best.

In constructing my buildings, I set up corner posts made of two-inch planks or studding,

fasten the feet firmly, and at the top put rods through to hold them firmly together. I then lay the bales of hay, straw, stalks, or brush up one upon another until I have attained the desired height. I then lay a plate or joist on the top of my walls. On this I place the foot of the rafters or lay my joist. I roof with shingles or thatch with straw.

When the building has settled thoroughly the corner posts may be taken off or allowed to remain, as one may deem it best.

I make door-frames of wood, and readily attach them to the walls by means of billets of wood in the bales.

I claim—

1. The structure described, consisting of bales of hay, straw, or equivalent material, bound and laid in the manner described.

2. The combination of the bales with the corner posts and joists, substantially as described.

JOSIAH M. LEEDS.

Witnesses:

SILAS T. STOUT,
HENRY DAVIS,
WM. A. STUART,
WILLIAM STYER.

Abb. 2-3: „Text (Seite 2) aus dem US-Paten von J. M. Leeds.“

(Josiah M. Leeds (1880): "Building Houses, Barns, Fences, & C., Patent Nr. 225,065," vom 02. 03. 1880; <http://www.google.com/patents/US225065>, abgerufen am 29.07.2014)

George W. Pickin definiert in seiner akribischen Patentbeschreibung bereits bauliche Maßnahmen zur Vorspannung der Strohballenwände mittels Eisenstäben bzw. Schraubgewinden, welche im Fundament verankert sind und reagiert damit auf die relativ ausgeprägten elastomechanischen Eigenschaften von Strohballenkonstruktionen. Im Weiteren denkt er bereits an die Möglichkeit der Einzementierung der Ballen zueinander und zum Fundament hin, mit dem sich Jahrzehnte später (1982) der Kanadier Luis Gagné beschäftigte. Diese Bauweise wird schließlich in der Literatur als „System Gagné“ bezeichnet¹⁶. Wie beim Patent von Josiah M. Leeds finden wir auch hier Aussteifungen an den Wandenden bzw. Eckaussteifungen. George W. Pickin beschreibt aber auch schon eine flüssige Lösung oder Substanz für die Beständigkeit gegen Feuer, Wasser, Feuchte, Frost und auch gegen Zersetzung, mit der die Ballen getränkt bzw. behandelt werden. Diese

¹⁶ vgl. Benjamin Krick (2008): Seite 119

Substanz ist eine Mischung aus einem, mit heißem Wasser gelöschten Kalk und aus Salzwasser und enthält zusätzlich Beimengungen von Reis, Kreide und Leim¹⁷. Im Weiteren regt *George W. Pickin* zum Färben der Substanz an und beschreibt seine Erfindung als gesund und nicht teuer.¹⁸

No. 729,408.

PATENTED MAY 26, 1903.

G. W. PICKIN.
FIREPROOF WALL OR BUILDING.
APPLICATION FILED MAR. 18, 1903.

NO MODEL.

Fig. 1.

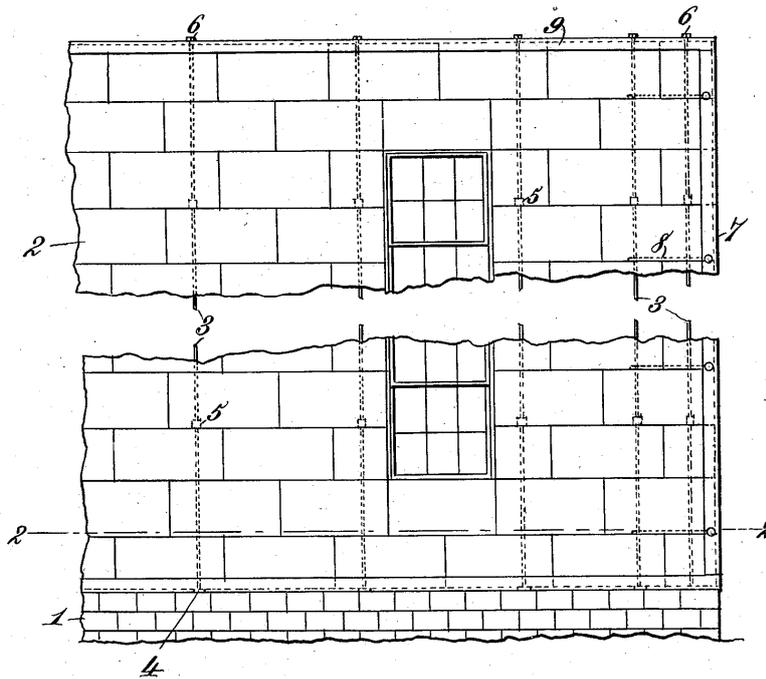


Fig. 2.



Witnesses.
Robert Emmett,
James L. Norris, Jr.

Inventor.
George W. Pickin.
By James L. Norris,
Atty.

THE NORRIS PETERS CO., PHOTO-LITHO., WASHINGTON, D. C.

Abb. 2-4: „Skizze (Seite 1) aus dem US-Paten von George W. Pickin“
(George W. Pickin (1903): „George W. Pickin of Eau Claire, Wisconsin “Fireproof Wall or Building, Patent Nr. 729,408“ vom 26. 05. 1903;
<http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US729408.pdf>, abgerufen am 29. 07. 2014)

¹⁷ Die Beimengung von Reis wird vielleicht weniger überraschen, wenn wir bedenken, dass die Region „Mittlerer Westen“ der USA für Wildreis bzw. Indianerreis bekannt ist.

¹⁸ vgl. *Josiah M. Leeds* (1880): Seite 1-2

No. 729,408,

Patented May 26, 1903.

UNITED STATES PATENT OFFICE.

GEORGE W. PICKIN, OF EAU CLAIRE, WISCONSIN.

FIREPROOF WALL OR BUILDING.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 729,408, dated May 26, 1903.

Application filed March 18, 1903. Serial No. 148,393. (No model.)

To all whom it may concern:

Be it known that I, GEORGE W. PICKIN, a citizen of the United States, residing at Eau Claire, in the county of Eau Claire and State of Wisconsin, have invented new and useful Improvements in Fireproof Walls and Buildings, of which the following is a specification.

This invention relates to walls and buildings constructed from blocks or bales of fire and water proof material, and has for its object to provide improved means for holding the blocks or bales firmly in position.

The invention also has for its object to provide improved means for protecting and strengthening the corners of walls or buildings constructed from waterproof material.

In constructing a wall or building according to my invention I prefer to use blocks or bales made by compressing straw, hay, cornstalks, or any other suitable dried vegetable growth or fiber. The blocks or bales are saturated or treated with fire and water proof solutions or substances before using in order to render the walls or buildings constructed therefrom impervious to water and capable of resisting fire. The blocks or bales may also be treated with a suitable solution for preventing decay of the material from which they are made.

In describing my invention reference is had to the accompanying drawings, forming a part of this specification, wherein—

Figure 1 is a view, partly in elevation, of a wall constructed according to my invention. Fig. 2 is a sectional view on the line 2 2 of Fig. 1.

The numeral 1 indicates a layer of stone or brick, which forms the foundation of the building. Upon the foundation 1 are laid the blocks 2 of fire and water proof material from which the wall or building is constructed. The blocks 2 may be cemented to one another and to the foundation 1 in the manner well known in building construction. Extending vertically through the blocks 2, of which the wall or building is composed, are rods 3, which are firmly anchored to the foundation 1 in any desired manner, as shown at 4. Each of the rods 3 is made in a plurality of sections, which are screw-threaded at their ends and connected to each other by

nuts or couplings 5, as will be readily understood. At the upper end of the wall each of the rods 3 is provided with a nut and washer 6, by adjustment of which the blocks 2 may be firmly clamped to one another and to the foundation 1.

At each corner of the wall or building constructed according to my invention is provided an angle-iron 7, which effectually covers and protects said corner. The angle-irons 7 are held upon the corners of the walls or buildings by rods 8, which pass through bolt-holes in the said angle-irons and cross each other, as shown. Each of the rods 8 is firmly attached at its inner end to one of the rods 3. In order to facilitate the attachment of the rods 8 to the rods 3, each of the rods 8 may be provided at its inner end with an eye which encircles the rod 3 and in this way firmly holds the angle-iron 7 against the corner of the wall or building. The outer end of each rod 8 is headed or enlarged, as shown, to prevent said rod being drawn entirely through the bolt-hole in the angle-iron.

It will be understood that the angle-irons 7 are extended along the upper corners 9 of the walls or buildings constructed according to my invention. The angle-irons at the upper corners of walls or buildings are firmly retained in place by the vertical rods 3 and the nuts and washers 6, said vertical rods extending through the angle-iron at the upper corners of the walls or buildings, as shown.

In making the blocks or bales from which walls and buildings are constructed as above described I prefer to use straw, hay, cornstalks, or other vegetable growth or fiber in a dry condition. This dry vegetable growth or fiber is pressed into rectangular blocks or bales of any desired size. Each block or bale is saturated or treated with a fire and water proof solution or substance and also with a substance which serves to prevent decay of the material from which it is made.

A suitable fire and water proof solution, which also acts as a preventive of decay, is produced in the following manner: Half a bushel of unslaked lime is properly slaked with boiling water. The liquor obtained from the slaking operation is strained and a peck of salt previously dissolved in warm water is added thereto. Three pounds of ground rice,

Abb. 2-5: „Text (Seite 2) aus dem US-Paten von George W. Pickin“
(George W. Pickin (1903): „George W. Pickin of Eau Claire, Wisconsin “Fireproof Wall or Building, Patent Nr. 729,408“ vom 26. 05. 1903;
<http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US729408.pdf>, abgerufen am 29. 07. 2014)

729,408

one-half pound of Spanish whiting, and one pound of glue previously dissolved in water are added to the solution of lime liquor and salt-water. Five gallons of hot water are added to the mixture, which is then allowed to stand for a few days. The block or bale of building material is first dipped into a strong solution of alum-water and is then saturated with the above-described fire and water proof mixture in a heated condition.

In making the fire and water proof solution which is described I may, if desired, use a quantity of coloring-matter, so that the finished building blocks or bales will exhibit any desired color—such as, for instance, red to imitate bricks and the like or white or intermediate shades to imitate stone.

In constructing buildings from blocks or bales according to my invention the inner and outer walls of each block are trimmed or cut so as to present a smooth surface. The inner wall of the building is covered with plaster or paper, as is usual and well known in building construction, and the outer wall may, if desired, be sprayed with cement or any other suitable finishing material.

A wall or building constructed in accordance with my invention is proof against fire, water, dampness, frost, and the like. It is also healthful, inexpensive in construction, and practically indestructible.

If in constructing a wall according to my invention the bolted rods are found insufficient to hold the bales or blocks in position, long iron spikes may be driven at various an-

gles through the bales or blocks to hold them firmly upon one another.

Having thus described my invention, what I claim as new, and desire to secure by Letters Patent, is—

1. A wall or building comprising a foundation, a plurality of blocks or bales mounted upon said foundation, a plurality of rods connected at their lower ends to said foundation, extending through said blocks or bales, angle-irons upon the corners of the wall or building, and rods connected with said angle-irons and with said first-mentioned rods for retaining said angle-irons in position.

2. A wall or building comprising a foundation, a plurality of blocks or bales mounted on said foundation, a plurality of rods connected at their lower ends to said foundation, extending through said blocks or bales, angle-irons upon the upper corners of said wall or building, said angle-irons having apertures through which said rods extend, a nut upon the upper end of each rod, angle-irons upon the vertical corners of said wall or building, and a plurality of headed rods extending through said angle-irons, connected at their inner ends to said first-mentioned rods.

In testimony whereof I have hereunto set my hand in presence of two subscribing witnesses.

GEORGE W. PICKIN.

Witnesses:

J. F. ELLIS,
H. J. BARNES.

Abb. 2-6: „Text (Seite 3) aus dem US-Paten von George W. Pickin“
(George W. Pickin (1903): „George W. Pickin of Eau Claire, Wisconsin “Fireproof Wall or Building, Patent Nr. 729,408“ vom 26. 05. 1903;
<http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US729408.pdf>, abgerufen am 29. 07. 2014)

Mit dem Artikel „Sandhill Baled-Hay Construction“, verfasst von dem Autor, Humorist und Volkskundler (Folklorist) *Roger L. Welsch*, scheint nach längeren Recherchen die Urquelle des historischen Wissens über den Strohballenbau oder genauer genommen über den Ballenbau (aus Heu) gefunden zu sein.¹⁹ Damit ist es nun auch teilweise möglich, einige Widersprüchlichkeiten, welche beim Vergleich verschiedener, jüngerer Bücher feststellbar sind, beseitigen zu können.

Roger L. Welsch schreibt in seinem Artikel, dass das früheste Heu-Gebäude, das er gefunden hat, ein Schulgebäude aus dem Jahre 1886 war und das letzte ein Tanzlokal, erbaut kurz nach dem Zweiten Weltkrieg, etwa um 1946, und, dass die Blütezeit des Ballenbaus in die Jahre um 1900 bis 1935 fällt.²⁰

¹⁹ vgl. *Roger L. Welsch* (1970): Seite 16-34

²⁰ vgl. *Roger L. Welsch* (1970): Seite 26

Nun muss unbedingt angemerkt werden, dass die von *Roger L. Welsch* angegebene Blütezeit des Strohballenbaus zw. 1900 und 1935 nämlich nur bei der Betrachtung zum Zeitpunkt der Ausgabe seines Artikels gilt.

Athena Swentzell Steen et al. schreiben in ihrem Buch „The Straw Bale House“ im ersten Kapitel, dass 1974 Shelter Publications ein Buch von Aufsätzen veröffentlichte, welches einen Artikel von *Roger L. Welsch* mit der Bezeichnung „Baled Hay“ beinhaltet²¹ und weiters, dass wahrscheinlich gerade dieser Artikel zur Wiederentdeckung des Ballenbaus anregte und dass daraus ein Wiederanstieg von Ballenbauten in den späten 1970er und frühen 1980er-Jahren entstand.²² Aus heutiger Sicht dürfen wir feststellen, dass die „Renaissance des Ballenbaus“ in den 1970er-Jahren einen Stroh-Ballen-Bauboom einleitete, der sich bis dato weltweit ausbreitete und auch gegenwärtig erstaunlich großes Interesse erfährt.

Als das älteste, noch erhaltene Haus einer lasttragenden Ballenkonstruktion gilt das Burke-Haus (siehe Abb. 2-7) in Alliance Nebraska aus dem Jahre 1903. *Athena Swentzell Steen* et al. schreiben darüber in ihrem Buch „The Straw Bale House“, dass das Gebäude bis 1956 bewohnt war. Teilweise blieben die Außenwände über die ersten 10 Jahre unverputzt und das Gebäude wurde auch nicht gewartet und hielt trotzdem 90 Jahre den Temperaturschwankungen und den Schneestürmen stand. Gegenwärtig ist es noch immer in einem relativ guten, aber immer schlechter werdenden Zustand.²³



Abb. 2-7: „Burke Haus“
(Aus der Homepage von MudCrafters; <http://www.mudcrafters.com/ext/strawbale.html>, abgerufen am 04. 08. 2014)

²¹ Hierbei handelt es sich offenbar um einen weiteren Artikel von *Roger L. Welsch*, den der Verfasser bedauerlicherweise nicht ausfindig machen konnte.

²² vgl. *Athena Swentzell Steen* et al (1994): Seite 8

²³ vgl. *Athena Swentzell Steen* et al (1994): Seite 4-5

Ein weiteres frühes und fotografisch dokumentiertes, aber offenbar nicht mehr erhaltenes Beispiel für eine Ballenkonstruktion ist das Haus der *Simonton Family* (siehe Abb. 2-8), in Purdum, im US-Bundesstaat Nebraska. Dieses ist gemäß *Nathaniel Corum* aus Ballen von Prärieheu lasttragend errichtet worden.⁸



Abb. 2-8: „The *Simonton Family Home*, Purdum, Nebraska, built c. 1908“²⁴
(Aus der Homepage von „Strohballenpassivhaus Planungsbüro Rossow“;
http://www.strohballenpassivhaus.de/Stroh/Einfuehrung_Strohballenbau.htm, abgerufen am
04. 08. 2014)

Die „Pilgrim Holiness Church“ (siehe Abb. 2-9) in Arthur in Nebraska wurde 1928 errichtet. *John Carter* schreibt, dass hierbei Roggenstroh verwendet wurde.²⁵ Die Ausmaße der Kirche sind in der Breite rund 8,4 m (28 feet) und in der Länge 15 m (50 feet). Das Gebäude hat 35 Jahre als Kirche gedient, bevor es zu einem Museum umfunktioniert wurde.²⁶ In der Fachliteratur ist das Gebäude sehr oft schon mit einem Dachreiter abgebildet. Dieser wurde jedoch erst später aufgesetzt (siehe Abb. 2-10).

²⁴ *Nathaniel Corum*; 2005: auf den ersten Seiten des Buches (ohne Seitenangabe)

²⁵ vgl. *John Carter* (2006): Seite 52

²⁶ vgl. *Athena Swentzell Steen et al* (1994): Seite 5-6



Abb. 2-9: "Pilgrim Holiness Church in Arthur in Nebraska. Das Foto stammt aus dem Jahre 1929."²⁵ (Aus der Homepage von Paja Construction Inc.; <http://pajaconstruction.com/straw-bale-construction-load-bearing-vs-post-and-beam/>, abgerufen am 04.08.2014)



Abb. 2-10: „Pilgrim Holiness Church mit Dachreiter“
(Wikipedia - The Free Encyclopedia; [http://en.wikipedia.org/wiki/Pilgrim_Holiness_Church_\(Arthur,_Nebraska\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pilgrim_Holiness_Church_(Arthur,_Nebraska))), abgerufen am 04. 08. 2014)

Die Schätzungen, wie viele Ballenkonstruktionen in Nebraska zwischen den späten 1890er-Jahren und den späten 1930er-Jahren errichtet wurden, sind sehr unterschiedlich. So schätzt *Roger Welsch* 1973 die Anzahl der Ballenbauten im Gebiet von Sand Hills auf etwa 60 Gebäude, dagegen schätzen *Matts Myhrman* und *Judy Knox* die Anzahl auf 28.²⁷

Dieses Kapitel soll lediglich einen Einblick in die Anfänge des Ballenbaus bieten und daher wird in Bezug auf weitere, historischen Ballenbauten der ersten Epoche auf die Fachliteratur, wie z. B. aus dem Quellenverzeichnis, im Speziellen auf den Aufsatz von *Roger L. Welsch* (1970) "Sandhill Baled-Hay Construction" und auf das Buch von *Athena Swentzell Steen et al.* (1994) "The Straw Bale House - A real goods independent living book" verwiesen.

²⁷ vgl. *Athena Swentzell Steen et al.* (1994): Seite 6

2.2.2 Die „Renaissance“ des Strohballenbaus

Herbert & Astrid Gruber und *Helmuth Santler* schreiben in ihrem Buch „Neues Bauen mit Stroh in Europa“, dass in den 80er-Jahren die Alternativ- und Umweltszene der USA und Kanadas den Ballenbau wieder entdeckten.²⁸

Im Buch „The Straw Bale House“ von *Athena Swentzell Steen* et al. ist zu lesen, dass *Dan Huntington* 1978 einen Strohballenbau mit einer betonierten Pfosten-Riegel-Rahmenkonstruktion in der Nähe von Rockport, Washington, USA errichtete. Das Besondere bei diesem Gebäude sind die „grundlegenden Erlaubnisse“ zur Errichtung des Gebäudes. *Dan Huntington* wohnte zwei Jahre bis zur Fertigstellung seines definitiven Hauses darin.²⁹

Wie bereits erwähnt hat der Artikel „Baled Hay“ von *Roger L. Welsch* aus dem Jahre 1974, herausgegeben von Shelter Publications, bei etlichen Personen das Interesse am Ballenbau geweckt, wie z.B. beim Architekten *John Hammond*, der 1981 eine Strohballen-Pfosten-Riegel-Hütte baute, welche im Artikel „Fine Homebuilding“ im Dezember 1984 erschien.³⁰ Dieser Artikel wird wiederum von *Herbert & Astid Gruber* und *Helmuth Santler* als Anlass für die Renaissance der Strohballenbauweise angesehen.³¹

Wie dem auch sei, es entstanden jedenfalls in den 1980er-Jahren einige Publikationen und im Weiteren entstanden teilweise weltweit agierende Netzwerke um das Thema „Strohballenbau“. Die vielen Workshops, die folgend ins Leben gerufen wurden, haben ihren Beitrag zur Verbreitung der Bauweise speziell unter den enthusiastischen Nicht-Baufachleuten geleistet.

Ein Beispiel der „Renaissance“ des Strohballenbaus, wieder in nicht-lasttragender Bauweise, wurde in Santa Fe, New Mexiko, in den Jahren 1992 errichtet (siehe Abb. 2-11). Das Spezielle bei diesem Projekt ist die erstmals behördlich erteilte Bauerlaubnis für ein bankfinanziertes und von einer Baufirma errichtetes Strohballenhaus in Holzständer-Bauweise.³¹

²⁸ vgl. *Herbert & Astid Gruber, Helmuth Santler* (2012): Seite 11

²⁹ vgl. *Athena Swentzell Steen* et al. (1994): Seite 8

³⁰ vgl. *Athena Swentzell Steen* et al. (1994): Seite 8-9

³¹ vgl. *Herbert & Astid Gruber, Helmuth Santler* (2012): Seite 11



Abb. 2-11: „Erstes Strohballengebäude mit behördlicher Zulassung, Tesuque, New Mexico.“
(Aus der Homepage von Virginia Carabelli, der Eigentümerin des Strohballenhauses entnommen; http://www.virginiacarabelli.com/virginiacarabelli.com/Straw_Bale_Construction.html, abgerufen am 04. 08. 2014)

Bei genauer Betrachtung der Beispiele aus der Fachliteratur ist zu erkennen, dass die zweite Epoche des Strohballenbaus mit nicht-lasttragenden Konstruktionen eingeleitet wurde. Ist das fehlende (in Vergessenheit geratene) Wissen und damit verbunden das geringe Vertrauen zu lasttragenden Konstruktion die Ursache dafür oder ist es der veränderte Lebensstandard, wie z. B. die großen, sonnendurchflutete Wohnflächen (größere und komplexere Raumgeometrien mit großen Tür- und Fensterflächen, die statisch schwieriger zu realisieren sind) oder aber sind es vielmehr die strengen Bauvorschriften, die sich seit dem Ende der ersten Epoche etabliert haben oder aber ein Mix von allem? In Österreich wurde erst 20 Jahre später das erste baugenehmigte, lasttragende Strohballenhaus errichtet. Dies ist ein Einfamilienhaus in der Steiermark in der Nähe Eichkogel von *Virko Kade* (Gründer der Fa. Stroh & Lehm)³² für *Bernhard* und *Antje Keimel-Lessing*, welches 2012 fertig gestellt (siehe Detailbeschreibung im Punkt 4.3.5).³³

Es zeigt sich, dass in der zweiten Epoche des Ballenbaus fast ausschließlich nur Stroh (getrocknete Halme und Blätter der Getreidepflanze) verwendet wird. Ursachen hierfür sind sicherlich in der Agrarpolitik und im modernen landwirtschaftlichen Ackerbau, respektive im Getreideanbau zu finden, denn z. B. die Steigerung der Getreideproduktion bringt eine Steigerung der Strohmenge mit sich.

³² vgl. Homepage von Stroh & Lehm (<http://strohundlehm.at/?q=ueber-uns>, download 04. 08. 2014)

³³ vgl. Homepage von baubiologie.at (<http://www.baubiologie.at/wp/projekt/?pr=370>, download 04. 08. 2014)

Eine große Anzahl an weiteren Strohballenbauten findet sich im Buch „Neues Bauen mit Stroh in Europa“ von *Herbert & Astrid Gruber* und *Helmut Santler* (2012).

2.3 DIE GETREIDEPFLANZEN

Getreide ist ein Sammelbegriff für landwirtschaftlich kultivierte, einjährige, einkeimblättrige Pflanzenarten aus der Familie der „Echten Gräser“ von denen in Österreich vorwiegend Körnermais und Weizen, gefolgt von Gerste, Triticum (Kreuzung zwischen Weizen und Roggen) und Roggen geerntet werden.

2.3.1 Organe

Die Organe der Getreidepflanzen sind (Abb. 2-12)³⁴

1) Wurzel:

Die Getreidepflanzen haben Büschelwurzeln, welche im Entwicklungsstadium „Schossen und Blühen“ die größte Ausdehnung erreichen.³⁴

2) Halm:

Der Halm ist in der Regel hohl und durch mehrere Knotenstücke unterteilt. Diese Halmglieder werden zur Ähre hin immer länger. Halmlängen und Wurzelausbreitung stehen zueinander in einem Verhältnis. Mit Wachstumsregulatoren z. B. durch eine Halmverkürzung wird die Standfestigkeit erhöht. Ebenso werden Maßnahmen gegen Fußkrankheiten³⁵ gesetzt, damit die Standfestigkeit beibehalten wird.³⁴

3) Getreideblatt:

Das Getreideblatt besteht aus Blattscheide, Blattspreite sowie Blattröhrchen und Blatthäutchen. Anhand dieser Bestandteile bzw. deren Wuchs können speziell Getreidejungpflanzen unterschieden werden.³⁴

4) Blütenstand:

Bei Weizen, Roggen, Triticale und Gerste bilden Ähren den Blütenstand, bei Hafer ist es eine Rispe.³⁴

5) Getreidekorn:

Getreidekörner sind Grasfrüchte (Karyopsen). Diese sind mit Frucht- und Samenschalen verwachsen, wobei diese Schalen den Mehlkörper, in dem der Keimling enthalten ist, umgeben.³⁴

³⁴ vgl. *Leopold Berger et al.* (2007): Seite 15 ff.

³⁵ Krankheiten, welche die Getreidepflanzen im Bereich des Ackerbodens befallen.

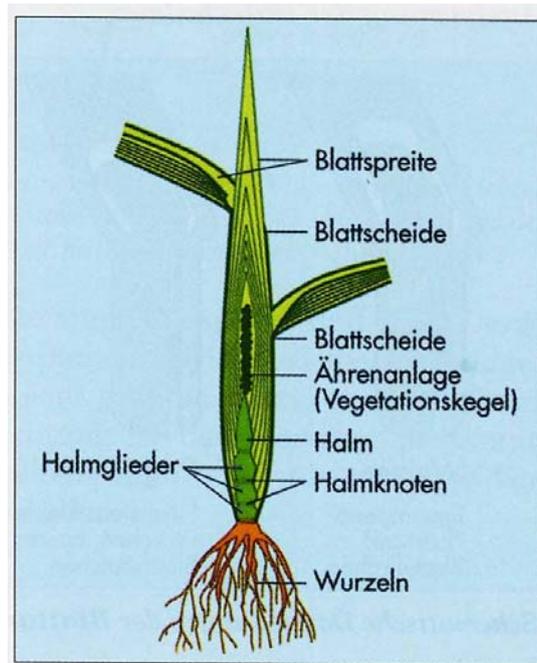


Abb. 2-12: „Junge Roggenpflanze, der Länge nach aufgeschnitten“
(Leopold Berger et al. (2007): Seite 15)

2.3.2 Entwicklung

Die Entwicklungsabschnitte der Getreidepflanzen sind (Abb. 2-13)³⁶

- 1) Keimung
- 2) Bestockung
- 3) Schossen und Ährenschieben
- 4) Blühen und Kornausbildung
- 5) Reifestadium.

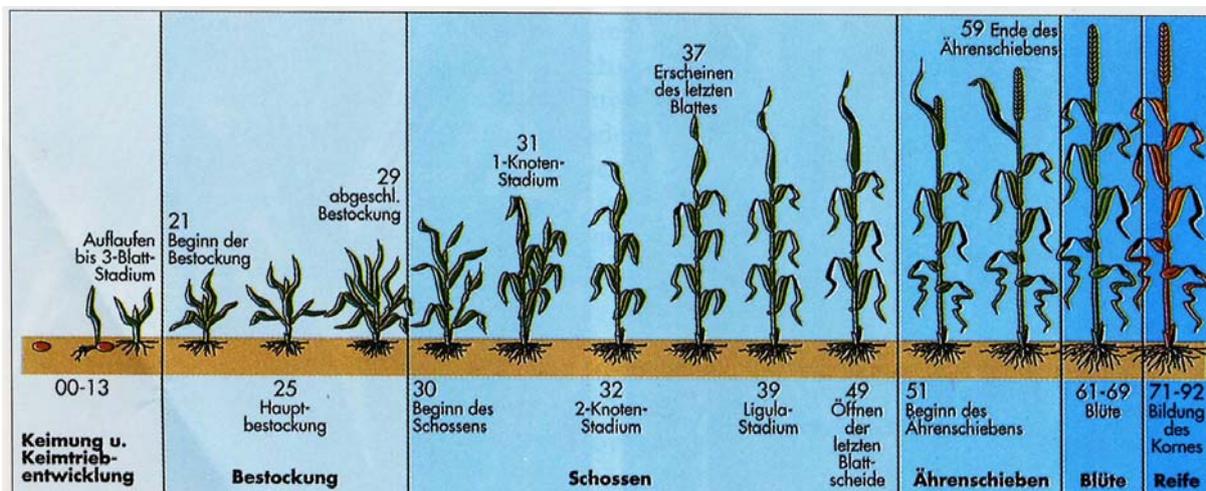


Abb. 2-13: „Entwicklungsstadien des Getreides“
(Leopold Berger et al. (2007):Seite 18)

³⁶ vgl. Leopold Berger et al. (2007): Seite 18

2.3.3 Anatomie des Getreidehalms

Betrachten wir einen Strohalm, wie z. B. den Roggenstrohalm im Detail (Abb. 2-14 und Abb. 2-15):

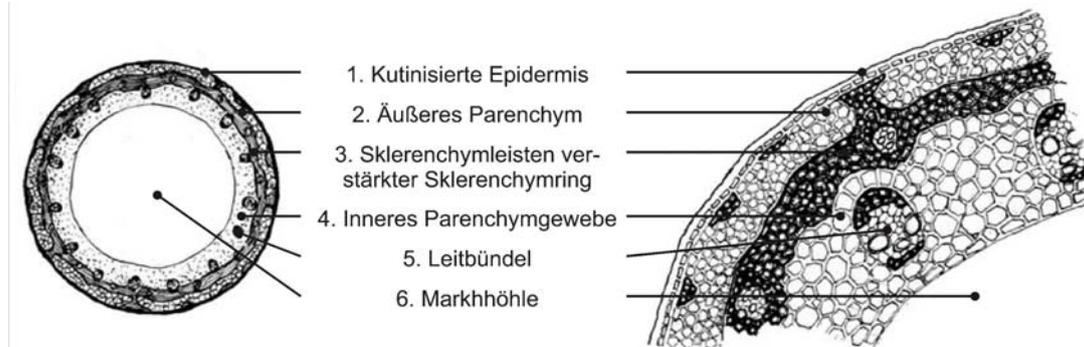


Abb. 2-14: „Querschnitt durch einen Roggenhalm (verändert nach Aufhammer/Fischbeck 1973: 23)“ (zitiert in: *Benjamin Krick* (2008): Seite 19)

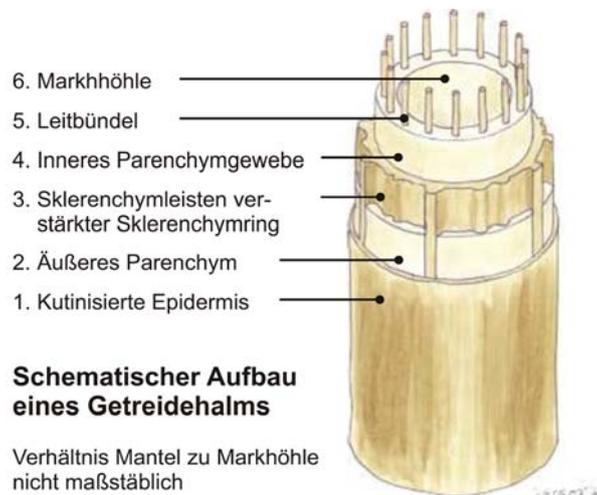


Abb. 2-15: „Schematischer Aufbau eines Getreidehalms“ (*Benjamin Krick* (2008): Seite 24)

- zu 1) Die kutinisierte Epidermis bildet die äußere Haut des Halms, wirkt schützend und hydrophob.
- zu 2) Die äußere Parenchymschicht ist ein relativ weiches Gewebe der Pflanze und enthält Nährstoffe und Wasser.
- zu 3) Das Gewebe des Sklerenchymrings mit Sklerenchymleisten besteht aus teilweise verholzten, abgestorbenen Zellen mit dicken, ligninverstärkten sekundären Zellwänden und ist für die Festigkeit verantwortlich.
- zu 4) Inneres Parenchymgewebe: Analog zu 2.
- zu 5) Die eingebetteten Leitbündel transportieren Nährstoffe und Wasser.
- zu 6) Die Markhöhle ist ein gewebefreier Raum.

2.4 DER GETREIDEBAU

2.4.1 Getreidebau Österreich

2.4.1.1 Ernteergebnis

Dem 5. Bericht (Schnellbericht 1.12) über die Feldfruchternte 2013 (Endgültige Ergebnisse), Herausgeber und Hersteller: Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, ist zu entnehmen, dass im Jahr 2013 im gesamten Bundesgebiet auf einer Anbaufläche von 773.270 ha. 4,54 Mio. Tonnen Getreide, (inkl. Körnermais³⁷) geerntet wurden. Der Körnermais, dessen Stängel gegenüber Weizen, Gerste, Roggen oder Hafer mit Mark gefüllt ist³⁸ und einen hohen Wassergehalt von ca. 30-50 % aufweist, ist zur Lagerung nicht geeignet, da es aufgrund von Pilzbildung zum Abbau organischer Substanzen kommt.³⁹ Somit ist der Körnermais auch als Baustroh nicht geeignet. Vermindert man nun das Ernteergebnis um die Mengen für Körnermais, dann ergibt sich auf den Anbauflächen des gesamten Bundesgebiets von 571.353 ha eine Getreideernte (exkl. Körnermais) von 2.905.777 Tonnen. In Niederösterreich entfallen davon auf einer Anbaufläche von 341.643 ha ca. 1.750.154 Tonnen Getreide (exkl. Körnermais). Anmerkung: Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die Anbaufläche von 2013 gegenüber dem Jahre 2012 aus verschiedenen Gründen um 4% reduziert war.⁴⁰ Detaillierte Statistiken über die Getreideernte von 2013 sind in den Abb. 2-16 und Abb. 2-17 dargestellt.

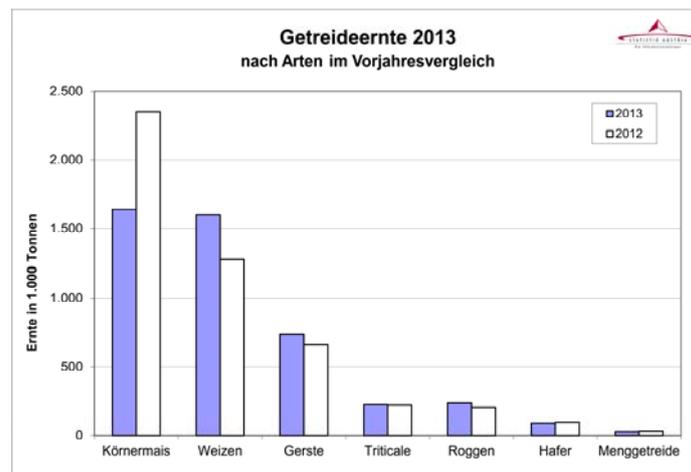


Abb. 2-16: „Getreideernte 2013 nach Arten im Vorjahresvergleich“ (Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich; 5. Bericht (Schnellbericht 1.12) über die Feldfruchternte 2013 (Endgültige Ergebnisse): Seite 9)

³⁷ Wird in Österreich auch „Kukuruz“ genannt.

³⁸ vgl. *Leopold Berger et al.* (2006): Seite 70

³⁹ vgl. AGRAR PLUS GmbH (2003): Seite 145

⁴⁰ vgl. Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich; 5. Bericht (Schnellbericht 1.12) über die Feldfruchternte 2013 (Endgültige Ergebnisse)

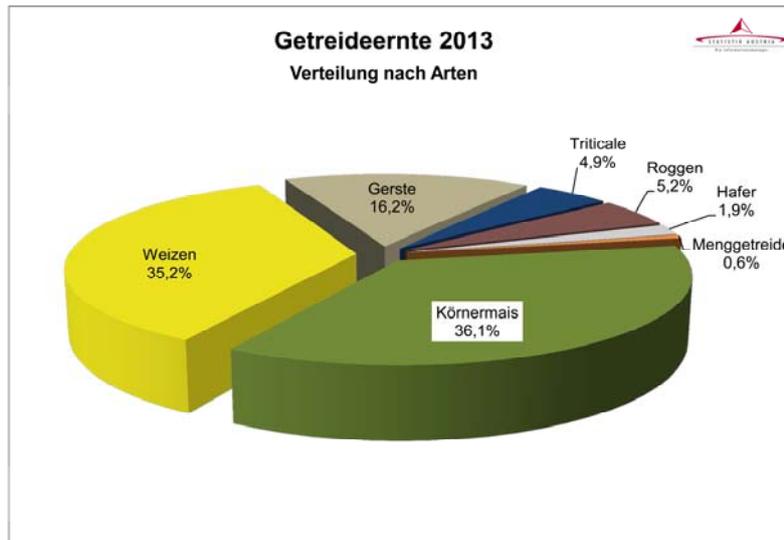


Abb. 2-17: „Getreideernte 2013, Verteilung nach Arten“ (Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich; 5. Bericht (Schnellbericht 1.12) über die Feldfruchternte 2013 (Endgültige Ergebnisse): Seite 9)

2.4.1.2 Ackerlandflächen

In der Abb. 2-18 ist die Aufteilung des Ackerlandes auf das gesamte Bundesgebiet dargestellt. Daraus sind die fruchtbaren und einfach zu bearbeitenden Ackerlandflächen in den Beckengebieten bzw. im Flachland gut ersichtlich. Damit sind aber auch jene Flächen oder Gebiete mit sehr wenig oder kaum Ackerland definiert.

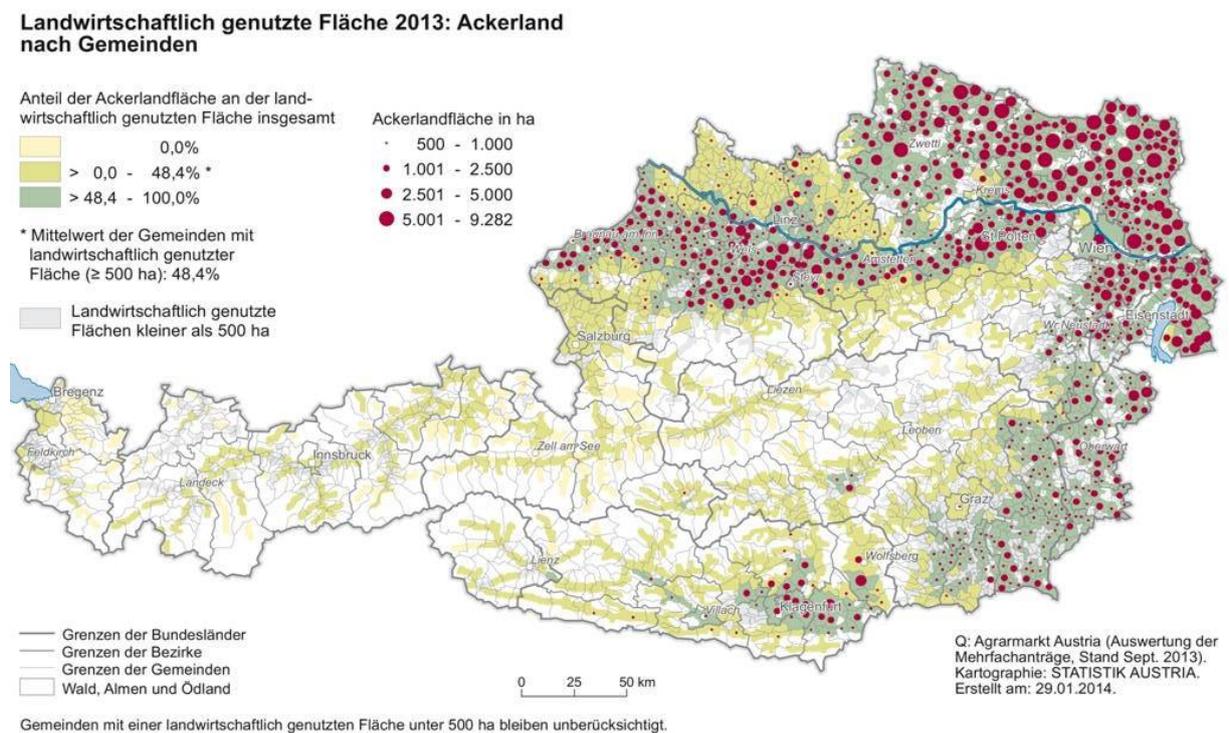


Abb. 2-18: „Landwirtschaftlich genutzte Flächen 2013: Ackerland nach Gemeinden“ (Statistik Austria, http://www.statistik.at/web_de/static/landwirtschaftlich_genutzte_flaeche_2013_ackerland_nach_gemeinden_025479.pdf, abgerufen am 07. 08. 2014)

2.4.1.3 Landbausysteme

In der nachfolgenden Tab. 2-1 sind die in Österreich gebräuchlichen Landbausysteme und ihre wichtigsten Merkmale zu entnehmen.

Tab. 2-1: „Die in Österreich gebräuchlichen Landbausysteme und ihre wichtigsten Merkmale“ (Leopold Berger et al. (2006): Seite 12)

Die in Österreich gebräuchlichen Landbausysteme und ihre wichtigsten Merkmale				
Landbau-system Merkmale	Herkömmlicher (konventioneller Landbau)	Integrierter Landbau	Organisch-biologischer Landbau	Biologisch-dynamischer Landbau
Bodenbearbeitung	Wendende Grundbodenbearbeitung (Pflugarbeit) vorherrschend	Teilweiser Ersatz des Pflügens durch Grubbern	Seichte (flache) Bodenbearbeitung vorherrschend	Erhaltung des natürlichen Bodenaufbaues steht im Vordergrund
Fruchtfolge	Vorwiegend nach ökonomischen Gesichtspunkten	Ökologische Zielsetzungen werden einbezogen	Vielfältige Fruchtfolgen nach biologischen Grundsätzen – Maximal möglicher Leguminosenanteil	
Düngung	Optimierung des Düngereinsatzes einschließlich der Mineraldüngung	Maßvolle Anwendung von Wirtschafts- und Mineraldüngern unter Anwendung wirkungssteigernder Maßnahmen	Keine leicht löslichen Mineraldünger Steinmehle Starke Betonung der Wirtschaftsdünger und deren Aufbereitung (organische Düngung)	Keine Mineraldünger! Steinmehle
Pflanzenschutz	Wirkungsvolle, arbeitssparende Pflanzenschutzmaßnahmen stehen im Vordergrund	Einschränkung der chemischen Maßnahmen durch Berücksichtigung aller nichtchemischen Möglichkeiten. Chemische Bekämpfung nur nach Schadensschwellen	Keine synthetischen Pflanzenschutzmittel, Beizung verboten, Förderung der Nützlinge Einsatz von Präparaten (Extrakten)	
Einsatz von Kapital und Arbeit	Weitestgehender Ersatz der Arbeit durch das Kapital	Ausnützung kapital- und arbeitssparender Verfahren	Ausgewogener Einsatz von Kapital und Arbeit	
Gedanklicher Hintergrund	Ökonomisches Primat	Das Gleichgewicht von ökonomischen und ökologischen Zielen wird angestrebt	Ökologisches Primat Anthroposophie – Berücksichtigung der Gestirnskonstellationen	
Begründer			Müller – Rusch	Rudolf Steiner

Speziell für den biologischen Landbau gilt, dass im Jahre 2012 in Österreich 21.352 Biobetriebe 19,6% der landwirtschaftlich genutzten Fläche bewirtschaften haben.⁴¹ Welcher Anteil davon dem Ackerbau zuzuordnen ist und im speziellen dem Getreideanbau (ohne Körnermais), konnte nicht eruiert werden.

2.4.1.4 Pflanzenschutz

„Unter Pflanzenschutz versteht man im Allgemeinen alle direkten und indirekten Maßnahmen zum Schutz der Kulturpflanzen und im weiteren Sinn den Schutz der geernteten Produkte (Vorratsschutz)“.⁴² Neben extremer Witterung und schlechten Böden machen den Pflanzen Krankheitserreger, tierische Schädlinge, Unkraut und Umweltbelastungen, wie Abgase, etc. zu schaffen. Dazu kommen noch die von Menschenhand beeinflussten Fehler beim Anbau und bei der Pflanzenpflege.

Die Pflanzenschutzmethoden werden eingeteilt in⁴³:

- 1) kulturtechnische Methoden
- 2) mechanische und physikalische Methoden
- 3) biologische und biotechnische Maßnahmen
- 4) chemische Maßnahmen

Im Jahre 2012 waren in Österreich 770 Pflanzenschutzmittel zugelassen - ein Absatz von 11.000 Tonnen – ein Plus von ca. 3,8 % gegenüber dem Vorjahr. Auf die chemischen Pflanzenschutzmittel entfallen 3.564 Tonnen, ein Plus von ca. 3,1 %. Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 2-19) ist ersichtlich, dass bei den verwendeten Wirkmitteln der Pflanzenschutzmittel die Gruppe der Herbizide am häufigsten eingesetzt wird, gefolgt von der Gruppe der Fungizide und weiteren Wirkmittelgruppen.

⁴¹ vgl. Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Gründen Bericht 2013, Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft: Seite 9

⁴² *Leopold Berger et al.* (2007): Seite 209

⁴³ *Leopold Berger et al.* (2007): Seite 219

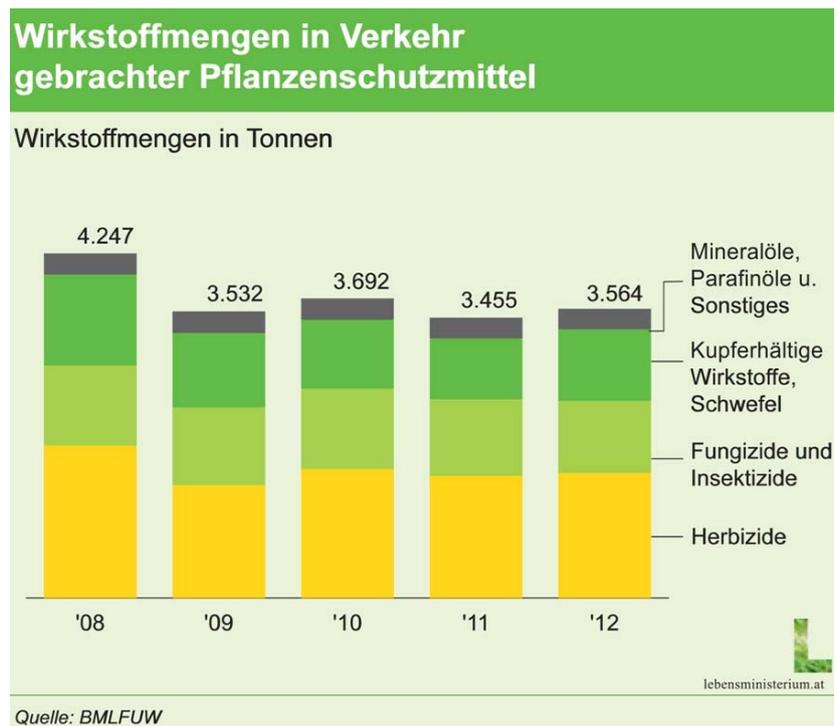


Abb. 2-19: „Wirkstoffmengen in Verkehr gebrachter, chemischer Pflanzenschutzmittel in Österreich“ (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; „Gründer Bericht 2013, Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft“: Seite 20)

2.4.2 Getreidebau EWR

Für die Situation des Getreidebaus im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) ist im Anhang auf Seite 7 eine geographische Karte, in NUTS 2 – Regionen⁴⁴ unterteilt, enthalten. Darin ist der Getreideertrag (inkl. Reis) aus dem Jahre 2011 kategorisch in Tonnen pro Quadratkilometer dargestellt.⁴⁵ Aktuelle, statistische Erhebungen über den Ertrag und die Verwendung von Stroh konnten auch für den europäischen Bereich nicht aufgefunden werden. Um dennoch eine Abschätzung der Strohmenge zu erhalten, können die Berechnungsansätze im Punkt „Berechnungsmethode - Korn-Stroh-Verhältnis“ herangezogen werden.

⁴⁴ Räumliche Bezugseinheit der amtlichen Statistik; NUTS 2 entspricht mittleren Regionen – in Österreich den Bundesländern

⁴⁵ Statistical Atlas – Eurostat regional yearbook 2013, <http://ec.europa.eu/eurostat/statistical-atlas/gis/viewer/?year=2013&chapter=09>, abgerufen am 09. 08. 2014

2.5 GETREIDEERNTE

2.5.1 Händische Erntemethoden für Getreide

Die Grundsätze der Getreideernte werden anhand jener manuellen Arbeitsschritte beschrieben, welche in der Gemeinde Natschbach-Loipersbach vor der Zuhilfenahme von Erntemaschinen typischerweise praktiziert wurden.^{46,47}

In der Abb. 2-20 ist das Mähen des Roggens (mundartlich: „Droat“) mit einer Sense a. Die Mahd,⁴⁸ das sind die in einer Linie liegenden abgemähten Getreidepflanzen, ist dem stehenden Getreide fern. Diese Mähweise nennt sich „Schleudern“. Im Gegensatz zum „Anmähen“, bei dem der Mäher⁴⁹ den Sensenschwung in das Feld führt und so die geschnittenen Getreidepflanzen am ungeschnittenen Getreide gleichsam anlehnt bzw. anstellt. Im Weiteren ist auf diesem Foto bereits das aufgelegte „Strohband“ (vor der rechten Person) zu erkennen und die mittlere Person nimmt aus der Mahd mithilfe einer Sichel ein Strohbuschel in der Größe, die vom Strohband umwickelt und verknotet werden kann. Damit entsteht ein geschnürtes Strohband – eine „Garbe“. Anmerkung: Strohbander konnten nur aus langhalmigen Getreidesorten, wie z. B. dem Roggen hergestellt werden, bei z. B. Weizen oder Gerste wurde zumeist ein „Garbenband“, bestehend aus einer Schnur und einem Holzstück zum Zusammenbinden verwendet.



Abb. 2-20: „Getreideernte: Getreideschnitt – Strohband – Getreidebuschel“
(Foto des Verfassers vom 13. 07. 2014, aufgenommen bei der Getreideernte nach historischen Erntemethoden)

⁴⁶ Am 13. 07. 2014 wurde ein öffentliches Getreidemähen nach historischen Erntemethoden in Lindgrub (Ortsteil der Gemeinde Natschbach-Loipersbach) vorgenommen, von der ein Großteil der Informationen und Fotos stammen.

⁴⁷ Ein Kurzbericht wurde in „Bezirksblätter Niederösterreich“ online gestellt (<http://www.meinbezirk.at/neunkirchen/leute/vorbereitungen-fuer-erntedank-d1017776.html>, abgerufen 06. 08. 2014)

⁴⁸ Die Mahd wird vielerorts auch Schwad genannt.

⁴⁹ Derjenige, der mit der Sense mäht, wird auch Mahder oder Schnitter genannt.

Die Garben wurden anschließend zum Nachreifen und Trocknen noch am Feld belassen und zu speziellen Gebilden zusammengestellt bzw. geschichtet. Hierfür gab es zwei Varianten:

- 1) Zuerst wurden die Garben kreuzweise, mit den Ähren im Kreuzungsmittelpunkt übereinander gestapelt. Im Weiteren hat man in den Ecken des Kreuzes jeweils eine Garbe stehend (mit der Schnittfläche (mundartsprachlich: dem „Schätz“) am Erdboden) dazugestellt und zum Abschluss wurde darüber ein Hut aus drei liegenden Garben aufgesetzt. Dieses Gebilde wird mundartsprachlich als „Kreuzboggal“ oder „Kreuzböckl“ bezeichnet (siehe Abb. 2-21).
- 2) Bei der zweiten Variante wurde eine Garbe mit der Schnittfläche am Erdboden aufgestellt und im Weiteren wurden um diese Garbe herum kreisförmig etwa weitere acht Garben angelehnt. Darauf hat man einen Hut aus drei liegenden Garben aufgesetzt. Diese Form konnte auch nach Bedarf symmetrisch in der Querrichtung (im rechten Winkel zu den Halmen) zum späteren Hut erweitert werden (siehe Abb. 2-22).



Abb. 2-21: „Kreuzboggal“ oder „Kreuzböckl“ (mundartsprachlich) - am Feld zum Nachreifen und Trocknen zu speziellen Gebilden zusammen gestellte Garben“
(Foto des Verfassers vom 13. 07. 2014, aufgenommen bei der Getreideernte nach historischen Erntemethoden)



Abb. 2-22: „Manderl“ oder „Boggal“ (mundartsprachlich) - am Feld zum Nachreifen und Trocknen zu speziellen Gebilden zusammen gestellte Garben“
(Foto des Verfassers vom 13. 07. 2014, aufgenommen bei der Getreideernte nach historischen Erntemethoden)

Die genannten und auch viele andere Formen der Zusammenstellung der Garben bieten neben der Nachreifung und Trocknung des Getreides auch einen gewissen Witterungsschutz am Feld.

Zur Nachreifung ist zu erwähnen, dass zumindest in der Gemeinde Natschbach-Loipersbach das Getreide dazumal zu einer früheren Kornreife geschnitten wurde als dies heutzutage üblich ist und dass deshalb eine gewisse Nachreife erforderlich war; im Idealfall (witterungsabhängig) wurde das geschnittene Getreide etwa noch 8 bis 10 Tage am Feld belassen.

Das „Kreuzböckl“ ist zwar aufgrund der liegenden Garben etwas einfacher herzustellen, hat jedoch den Nachteil, dass bei entsprechender Feuchtigkeit und längerer Lagerung am Feld die Körner in Ackerbodennähe anzuwachsen beginnen.

Die Garben wurden schließlich per Hand verladen und zum Dreschen in den Bauernhof transportiert. Im Gemeindegebiet von Natschbach-Loipersbach wurde nach dem Abladen des Wagens das Getreide unmittelbar ausgedroschen. Dagegen ist in gebirgigen Regionen eine Zwischenlagerung und im Anschluss der Winterdrusch (etwa im Zeitraum zwischen dem „Tag des Hl. Nikolaus“ und Weihnachten) üblich. Das Korn wurde vor Verwendung von Dreschmaschinen in der Regel durch sehr zeitaufwändige und mühevollen Arbeit mit den Dreschflegeln (mundartlich „Trischl“) ausgeschlagen (siehe Abb. 2-23).



Abb. 2-23: „Dreschen mit Dreschflegeln in einer Scheune in Hachborn, um 1920?“
(Historische Bilddokumente (<http://www.lagis-hessen.de/de/subjects/idrec/sn/bd/id/4-256>,
Stand: 8.3.2011, abgerufen am 06. 08. 2014))

Der Vollständigkeit halber seien weitere Dreschmethoden erwähnt:

Eine Urform des Dreschens ist bekanntlich jene, bei der Huftiere über die geschnittenen Getreidepflanzen gejagt werden. Neben der Dreschmethode mit dem Dreschflegel per Hand gibt es noch einige weitere, wie z. B. die Methode mit der Dreschwalze (siehe Abb. 2-24) oder jene mit dem Dreschschlitten (siehe Abb. 2-25) - in der Regel von Tieren gezogen.

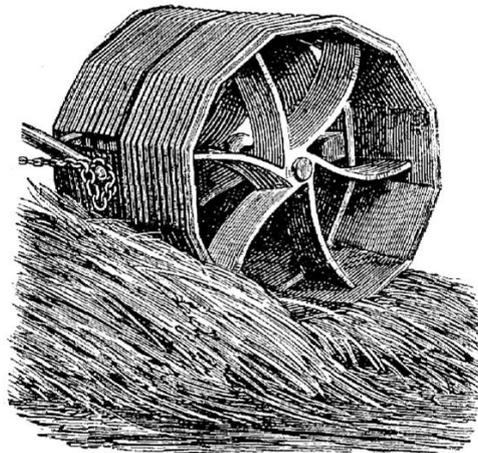


Abb. 2-24: „Dreschwalze“
(Academic, 2000-2013; <http://de.academic.ru/pictures/technik/large/TL030222.jpg>,
abgerufen am 10. 08. 2014)



Abb. 2-25: „Ostanatolien, Dreschschlitten der Kurden, Anatolien um 1938“
(Hans Bobek, Diasammlung des Instituts für Geographie und Regionalforschung;
http://www.univie.ac.at/geodias/Bobek_Iran_1934/content/_0377587854_large.html,
abgerufen 10. 08. 2014)

2.5.2 Die ersten Geräte bzw. Maschinen zur Getreideernte

In der Abb. 2-26 ist eine Ablegemaschine ersichtlich. Die fotografierte Maschine wird über die Räder angetrieben und ist daher von der Art der Zugmaschine unabhängig – kann also auch mit Pferden gezogen und somit auch betrieben werden. Diese Maschine verfügt im Wesentlichen über einen Mähbalken und einen Ableger (ähnelt einem Windrad), letzterer

schiebt das geschnittene Getreide als Büschel immer wieder seitlich vom Plateau ab auf den Ackerboden.



Abb. 2-26: „Ablegemaschine“
(Foto des Verfassers vom 13. 07. 2014, aufgenommen bei der Getreideernte nach historischen Erntemethoden)

Eine Weiterentwicklung nennt sich „Mähbinder“ oder auch „Bindemäher“, welcher das geschnittene Getreide schon zu einem Büschel zusammenbindet und am Ackerboden ablegt. Die fotografierte Maschine in der Abb. 2-27 wird bereits über die Zapfwelle des Motors der Zugmaschine angetrieben.



Abb. 2-27: „Mähbinder“
(Foto des Verfassers vom 13. 07. 2014, aufgenommen bei der Getreideernte nach historischen Erntemethoden)

2.5.3 Vollerntemaschinen

2.5.3.1 Mähdrescher aus 1960

Das nächste große Entwicklungsstadium in der Erntetechnik stellt die Vollerntemaschine (siehe Abb. 2-28) dar, die nicht nur den Getreideschnitt vornimmt, sondern auch das Korn aus den Ähren ausdrischt.

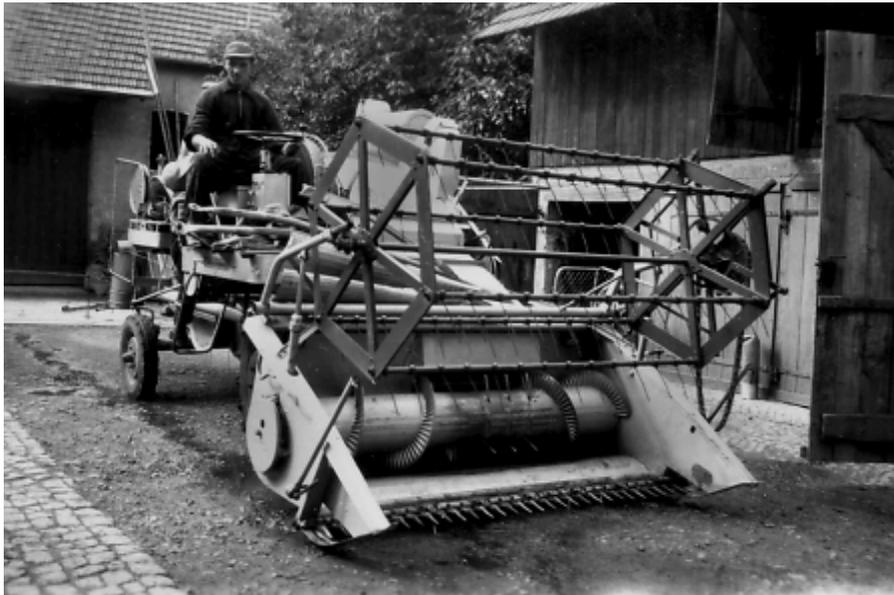


Abb. 2-28: „Landwirt auf dem ersten Mähdrescher in Queckborn, 1960“
(Historische Bilddokumente <http://www.lagis-hessen.de/de/subjects/idrec/sn/bd/id/106-099> (Stand: 8.3.2011))

2.5.3.2 Mähdrescher jüngster Generation

Heute zählt „LEXION 780“ von Claas (siehe Abb. 2-29) zu einem der leistungsstärksten Mähdrescher der Welt. Schon längst hat bei den modernen Vollerntemaschinen die Elektronik Einzug gehalten und neuerdings kommen auch zeitgemäße Kommunikationsmethoden wie das GPS zum Einsatz. Die Kriterien für einen guten Mähdrescher aus landwirtschaftlichen Gesichtspunkten sind gegenwärtig hauptsächlich die Fahrgeschwindigkeit, die Breite des Schneidewerks, der geringe Restkornanteil, ein großer Korntank, geringe Treibstoffbedarf, etc. sowie eine komfortable Führerhauskabine.

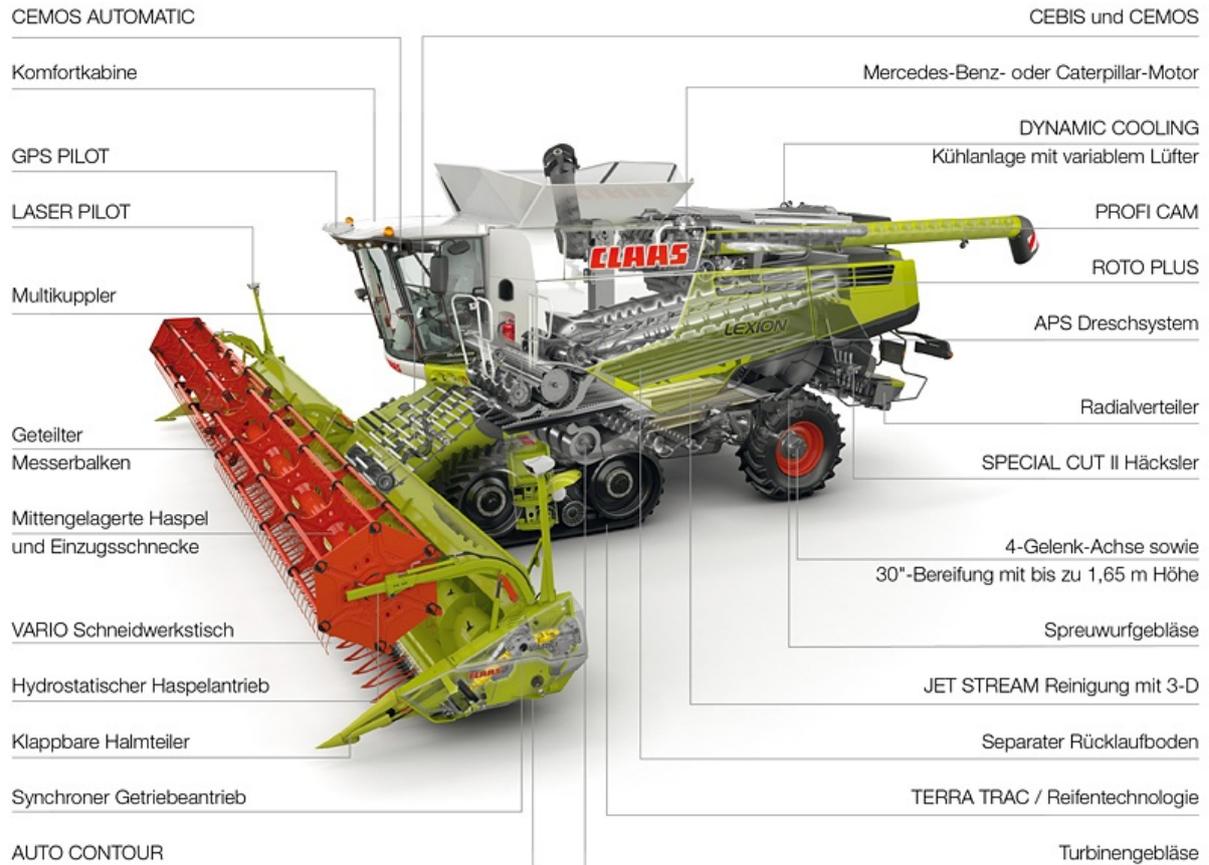


Abb. 2-29: „Mähdrescher LEXION 780-740 von CLAAS“
(Homepage von CLAAS KGaA mbH; <http://www.claas.at/produkte/maehdrescher/lexion780-740>, abgerufen am 10. 08. 2014)

2.5.3.3 Dreschwerk-Systeme von Mähdreschern

Man unterscheidet verschiedene Dreschwerk-Systeme:

In der nachfolgenden Abb. 2-30 ist die Dreschtrommel eines tangentialen Dreschwerks querliegend zur Förderrichtung ersichtlich, weiter rechts die Trommel des Restkornabscheiders. Das Korn wird zwischen Dreschtrommel und Dreschkorb ausgedroschen.



Abb. 2-30: „Darstellung einer tangentialen Dreschwerks mit Restkornabscheider (Walze rechts)“ (Homepage vom landtechnischen Lohnunternehmen P. & P. Coenen; <http://www.ppcoenen.de/bilder/restkornabscheidung.jpg>, abgerufen am 12. 08. 2014)

Beim nachfolgend dargestellten axialen Dreschwerk (siehe Abb. 2-31) umrundet das geschnittene Getreide im Dreschkorb die Dreschtrommel und durch die Schlagleisten wird dabei das Korn ausgedroschen. Dieser Vorgang ist zwar für das Korn relativ schonend, zerstört dagegen die Struktur des Getreidehalmes erheblich.



Abb. 2-31: „Darstellung eines axialen Dreschwerks“
(http://www.claas.com/cc/servlet/contentblob/common/bilder/claas-com/product-world/products/md/tucano~20hybrid/103846_x564y250,bpSite=71924,property=data.jpg,
abgerufen am 12. 08. 2014)

Auf Basis dieser beiden Dreschwerk-Grundprinzipien wurden verschiedene Abwandlungen entwickelt. In den Mähdreschern jüngster Generation wurden diese Prinzipien auch kombiniert, wie dies auch beim Mähdrescher in Abb. 2-29 „LEXION 780-740“ von CLAAS der Fall ist.

2.6 VERFÜGBARKEIT VON STROH

2.6.1 Anwendungsgebiet

Für folgende Anwendungsgebiete wird Stroh verwendet:

- Natürlicher Dünger
- Einstreu (Viehwirtschaft)
- Energetische Nutzung in Fernwärmeanlagen
- Energetische Nutzung in kleinen Öfen (Strohpellets, Strohbricketts)
- Biogasanlagen
- Futter für Pferde
- Dacheindeckung (für zumeist historische Gebäude)
- Strohplatten (hochverpresste, kaschierte Wandplatten)
- Strohmatte, Strohhüte,
- usw.

2.6.2 Keine aktuellen Statistiken

Als Ergebnis einer E-Mail-Anfragen bei der Landwirtschaftskammer Niederösterreich⁵⁰ und beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft⁵¹ muss bedauerlicherweise festgehalten werden, dass zu den in Österreich jährlich anfallenden Strohmengen und deren Verwendung keine aktuellen statistischen Erhebungen zur Verfügung stehen.

2.6.3 Studien für freies Strohpotential

Gegenwärtig sind es zumeist Voruntersuchungen für mögliche Biogasanlagen und dgl. in denen die Verfügbarkeit von Stroh bzw. der Strohüberschuss analysiert wird, wobei diese Analysen in der Regel privat finanziert sind und das Ergebnis nicht veröffentlicht wird, andernfalls die statistischen Quellen nicht genannt werden oder diese oft älteren Jahrgangs sind.

Eine gute und detaillierte Studie über die Verwendungsmöglichkeit von Stroh ist jene aus dem Jahr 1994 von *Hermann Dissemond* und *Adolf Zaussinger*, in welcher die Strohernten von 1980 bis 1993 analysierten wurden.⁵²

Aus der nachfolgenden

Tab. 2-2: kann errechnet werden, dass im Jahre 1992 rund 41,71 % der Strohernte zur Düngung, rund 46,67 % zum Einstreuen in der Viehzucht und rund 3,94 % auf andere Nutzungen entfallen, so dass rund 7,68 % Überschuss verbleiben.

Tab. 2-2: „Strohbilanzierung in den Bundesländern für das Jahr 1992“ (vgl. *Hermann Dissemond* und *Adolf Zaussinger* (1994): „Stroh – ein nachwachsender Rohstoff für die energetische Nutzung“; Tabelle 6)

Strohbilanzierung in den Bundesländern für das Jahr 1992					
Bundesland	Strohernte (t)	Einarbeitung (t)	Einstreu (t)	Andere Nutzung (t)	Bilanzierung (t)
Burgenland	244.394	137.715	27.079	9.735	69.865
Kärnten	63.516	3.398	74.065	1.718	-15.665

⁵⁰ Landwirtschaftskammer Niederösterreich in 3100 St. Pölten, Wiener Straße 64

⁵¹ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in 1010 Wien, Stubenring 1, der Bundesanstalt Statistik Österreich, Direktion Raumwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft in 1110 Wien, Guglgasse 13

⁵² vgl. *Hermann Dissemond* und *Adolf Zaussinger* (1994): Seite 1

Niederösterreich	1.192.543	554.707	319.995	55.962	261.879
Oberösterreich	522.686	157.268	315.954	15.073	34.391
Salzburg	8.241	2.161	42.583	130	-36.633
Steiermark	113.563	39.031	169.178	1.901	-96.547
Tirol	4.227	0	42.138	0	-37.911
Vorarlberg	836	254	17.266	15	-16.699
Wien	10.663	6.718	182	554	3.209
Österreich	2.160.669	901.252	1.008.440	85.088	165.889

Aus den Zahlen der Tab. 2- ist auch zu erkennen, dass die Bundesländer mit viel Alpenfläche und vorwiegender Viehwirtschaft einen Strohangel zu verzeichnen haben, dagegen jene Bundesländer mit großen Beckengebieten und Flachland mit vorwiegend Ackerbau einen Strohüberschuss erwirtschaften. Betrachtet man die Bilanz österreichweit, so kann der genannte Strohangel bei Weitem ausgeglichen werden und es verbleibt ein beachtlicher Überschuss. Entsprechende überregionale Transportwege sind jedoch dazu notwendig (siehe auch Punkt 2.9 „Übliche Transportmittel“).

Eine sehr interessante Zusammenfassung stammt von *Horst Steinmüller* vom Energieinstitut der Johannes Kepler Universität Linz mit dem Titel „Nachhaltige Bodennutzung in Österreich“ und dem Untertitel: „IST-Stand und Perspektiven“ (siehe Abb. 2-32).

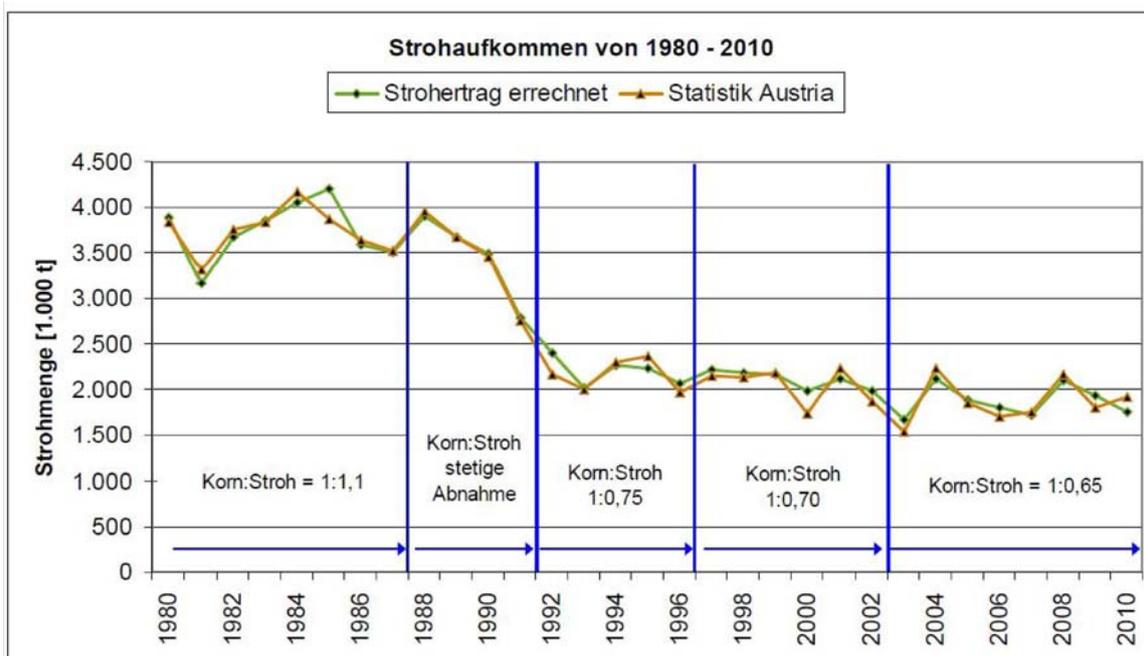


Abb. 2-32: „Strohaufkommen von 1980-2010“

(Horst Steinmüller vom Energieinstitut der Johannes Kepler Universität Linz: „Nachhaltige Bodennutzung in Österreich - IST-Stand und Perspektiven“; Seite 26; Ursprüngliche Quelle: *Wimmer, R. et al, 2011.*)

Horst Steinmüller quantifiziert den Rückgang der landwirtschaftlichen Flächen zwischen 2001 und 2011 mit 100.000 ha, wobei ein Drittel dieser Fläche verwaldet, die restlichen zwei Drittel werden zu Verkehrs- und Siedlungsflächen.⁵³

Zur Prognose für das Jahr 2020 gibt *Horst Steinmüller* an, dass 10 - 15 % der Getreideanbauflächen für eine energetische Strohnutzung zur Verfügung stehen, auf der etwa 270 Tonnen Stroh erwirtschaftet werden können.⁵⁴

2.6.4 Strohabbrennen am Feld

Mit dem „Bundesgesetz über ein Verbot des Verbrennens biogener Materialien außerhalb von Anlagen“ ist das Strohverbrennen auf den Feldern seit 01. 07. 1993, abgesehen von einigen Ausnahmen, verboten. Zuvor war es gelebte Praxis, dass man sich des Strohüberschusses bereits am Feld durch Verbrennen billig entledigte, was dazu führte, dass schwarze Rauchschwaden über die Felder und Wiesen und auch über Dörfer und Städte zogen und dabei enorme Rauch- und Geruchsbelästigungen hervorgerufen haben. Zudem kamen diese Brände immer wieder außer Kontrolle.

2.6.5 Berechnungsmethode - Korn-Stroh-Verhältnis

Nachdem die statistischen Erhebungen über Stroh kaum bzw. nur sporadisch vorgenommen werden, bedient man sich der rechnerischen Ermittlung mittels Korn-Stroh-Verhältnis. Dabei ist jedoch zu beachten, dass dieses Verhältnis aufgrund verschiedenster Faktoren, wie z. B. der Getreideart, der Saatgutsorte, der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (z. B. Halmverkürzer), und durch verschiedene Wetter- und Bodenverhältnissen sehr unterschiedlich ausfallen kann. Dennoch ermöglicht diese Methode Anhaltspunkte. Nachfolgend ist hierzu die Tab. 2-3 über das Korn-Stroh-Verhältnis bei europaweiter Betrachtung von *Alexander Bauer* und *Andreas Gronauer* vom Institut für Landtechnik der Universität für Bodenkultur Wien abgebildet.⁵⁵

⁵³ vgl. *Horst Steinmüller* (undatiert): Seite 18

⁵⁴ vgl. *Horst Steinmüller* (undatiert): Seite 25

⁵⁵ *Alexander Bauer* und *Andreas Gronauer* (2014): Seite 10

Tab. 2-3: „Korn-Stroh-Verhältnis“ (Alexander Bauer und Andreas Gronauer vom Institut für Landtechnik der Universität für Bodenkultur Wien (2014): „Landwirtschaftliches Reststoff-Potenzial für Biogas, Technische Umsetzungs- und Handlungserfordernisse“)

Korn-Stroh Verhältnis	
Weizen	0,6 bis 1,8
Gerste	0,9 bis 1,8
Hafer	1,0 bis 2,0
Roggen	1,75
Mais	0,7 bis 2,0
Sonnenblume	1,0 bis 3,0
Raps	1.1 bis 1.7
Reis	0.8 bis 2.3

2.6.6 Ausblick und Schlussfolgerung

Wie im Kapitel „Allgemeine Begriffsbestimmungen“ bereits zu lesen war, beschreibt „Die Brockhaus Enzyklopädie Online“ am 28.04.2014 unter dem Begriff „Stroh“ unter anderem: „In den Industrieländern fallen jährlich Mio. Tonnen an Getreidestroh an, die nicht gebraucht werden.“ – Ob diese Aussage über „Stroh als Abfallprodukt“ bei den immer geringer werdenden Stroherträgen einerseits und dem steigenden Strohbedarf durch z. B. vermehrte biologische Landwirtschaften⁵⁶, dem verstärkten Aufkommen von Strohheizungen, sowie Fernwärme- und Biogasanlagen und dgl., steigender Beliebtheit des Pferdesports und schließlich auch für den Strohballenbau auch zukünftig Geltung hat, wird sich zeigen.

Hermann Dissemond und *Adolf Zaussinger* schreiben bereits 1994 über Maßnahmen zur Steigerung des Strohpotentials z. B. durch den Anbau „alter“ bekannte Getreidesorten mit höherem Strohanteil (Korn-Stroh-Verhältnis von 1:1 und darunter).⁵⁷

⁵⁶ In der Regel verwendet die biologische Landwirtschaft Stroh als natürliches Düngemittel

⁵⁷ *Hermann Dissemond* und *Adolf Zaussinger* (1994): Seite 76

2.7 HERSTELLUNG VON STROHBALLEN

2.7.1 Entwicklung

Kurt Ecker schreibt in seiner Diplomarbeit, dass Standpressmaschinen zum Verdichten von Baumwolle erstmals um 1853 in den USA eingesetzt wurden. Im Weiteren schreibt er, dass man 1861 bis 1865 Heuballen für die Versorgung von Militärpferden im Bürgerkrieg verpresst hat.⁵⁸

Dem „Handbuch Strohballenbau“ von *Gernot Minke* und *Benjamin Krick* ist zu entnehmen, dass 1872 die erste mit Pferdekraft angetriebene Ballenpresse (vgl. Abb. 2-33) erwähnt ist und um 1884 bereits dampfbetriebene Pressen zum Einsatz kamen.⁵⁹ In der Abb. 2-34 ist eine bereits motorisierte Ballenpresse abgebildet.

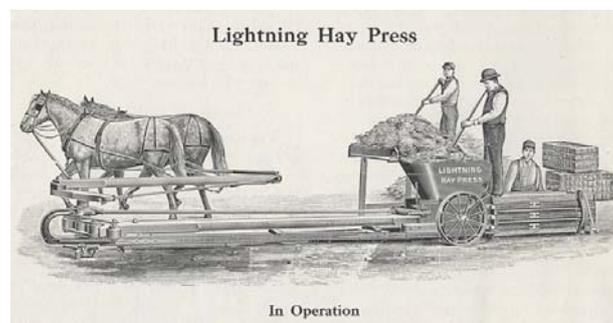


Abb. 2-33: „Lightning Hay Press in operation, 1913“
(Datenbank von Smithsonian Libraries, http://www.sil.si.edu/imagegalaxy/imageGalaxy_enlarge.cfm?id_image=11828, abgerufen am 10. 08. 2014)



Abb. 2-34: “GL-15 powered hay press At Mr C. West's property 'Hillside', Huon via Wodonga. Taken on 11 April 1940”
(Museum Victoria; <http://museumvictoria.com.au/collections/items/1469100/negative-international-harvester-gl-15-hay-press-at-mr-c-west-s-property-hillside-huon-via-wodonga-1940>, abgerufen am 10. 08. 2014)

⁵⁸ *Kurt Ecker* (2013): Seite 43

⁵⁹ *Gernot Minke, Benjamin Krick* (2009): Seite 8

2.7.2 Typologien von Ballenpressen

Im Strohballenbau werden quaderförmige Ballen verwendet, daher werden im Weiteren die weit verbreiteten Rundballenpresse (kolbenlosen Pressen) nicht weiter betrachtet. Für quaderförmige Ballen sind fast ausschließlich Strangpressen im Einsatz. Der Querschnitt der Ballen ist aufgrund der Breite und der Höhe des Strangpress-Kanals fix. In einstellbaren Intervallen oder Abständen werden Garnbindungen durchgeführt und somit wird die Ballenlänge definiert. In der nachfolgenden sind einige Typen und Modelle von Ballenpressen mit den möglichen Ballenabmessungen und deren Strohballen-Dichte aufgelistet.

Die nachfolgende Tab. 2-4 stellt eine Übersicht über HD- und Q-Ballenpressen dar.

Tab. 2-4: „Übersicht über HD- und Q-Ballenpressen“
(Benjamin Krick (2008): Seite 36)

Hersteller	Modell	Ballenabmessungen hxbxl (cm)	Dichte (kg/m ³)
Welger, Deutschland	AP 530	36x48x50-120	110
	AP 630		
	AP 730		
	AP 830		
John Deere, USA	349	36x46x30-130	100
	359		
	459		
Massey Ferguson (AGCO), USA	MF 1835	36x46x31-132	k.A.
	MF 1837		
	MF 1839		
Freeman, USA	300	38x56x46-132	270
	Series	41x56x46-132	(n A lfa lfa)
New Holland, USA	BB900	38x56x31-132	270 (n A lfa lfa)
Hesston (AGCO), USA	4690S	37x58x31-132	164
Welger, Deutschland	D4006	70x80x90-250	150
	D6006	70x120x90-250	
Krone, Deutschland: BiG Pack	890	80x90x100-720	150
	1270 ¹	70x120x100-270	
	1290	90x120x100-270	
	1290HDP	90x120x100-320	
	12130	130x120x100-270	
Claas, Deutschland: Quadrant	1150	50x80x70-240	170
	2100 R	70x80x120-250	190
	2200 R	70x120x90-300	200
	3400	100x120x100-300	k.A.

2.7.2.1 Kleinballenpressen

Die Kleinballenpressen (siehe Abb. 2-35), die auch als Hochdruck-Ballenpressen bezeichnet werden, produzieren je nach Hersteller und Type Strohballen mit einer Größe von etwa 35 * 50 * 60 - 130 cm, einer Dichte bis zu 120 kg/m³ und einer Masse pro Ballen von etwa 10 bis

15 kg. Diese Ballen sind leicht handzuhaben. Eine sehr detaillierte Beschreibung dieser Ballenpressen findet sich in der Dissertation von *Benjamin Krick*.⁶⁰



Abb. 2-35: „Kleinstballenpresse von Welger Maschinenfabrik GmbH“ (Academic, 2000-2013; http://de.academic.ru/pictures/dewiki/87/Welger_Quaderballenpresse.jpg, abgerufen am 11. 08. 2014)

2.7.2.2 Großballenpresse

Die Großballenpressen werden auch als Quaderballen- oder Großpackenpressen bezeichnet und produzieren ihrer Bezeichnung gemäß je nach Hersteller und Type große Strohballen mit Querschnitten von 80 – 120 * 70 – 130 * 80 - 300 cm, einer Dichte bis zu 220 kg/m³. Diese Ballen sind in der Regel nur noch mit Hebeegeräten zu bewegen.

Anhand der „BiG Pack HDP II, High Density Großpackenpresse“ (siehe Abb. 2-36 und Abb. 2-37) vom Hersteller Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH, welche im Vorjahr auf den Markt gekommen ist, sollen die Prinzipien der Großballenpressen erläutert werden.⁶¹



Abb. 2-36: „BiG Pack HDP II - High Density Großpackenpresse“ (Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH (2013); „BiG Pack HDP II - High Density Großpackenpresse“ 10/13, Titelbild)

⁶⁰ *Benjamin Krick* (2008): Seite 36 ff

⁶¹ vgl. Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH (2013); „BiG Pack HDP II - High Density Großpackenpresse“ 10/13

		BiG Pack 1290 HDP II	BiG Pack 1290 HDP II XC
Kanalbreite x Kanalhöhe	mm	1.200x900	1.200x900
Ballenlänge	mm	1.000 - 3.200	1.000 - 3.200
Leistungsbedarf	ab kW/PS	170/231	190/258
Pick-up Arbeitsbreite DIN	mm	2.350	2.350
Länge in Transportstellung	mm	9.050	9.050
Länge in Arbeitsstellung	mm	10.800	10.800
Höhe	mm	3.700	3.800
Breite	mm	Abhängig von der Bereifung	
Gewicht	ca. kg	14.000 - 14.700	15.400 - 15.800
Bereifung Tandemachse 50 km/h (60 km/h)		560/45 R 22.5 (Breite 2.995 mm) 620/50 R 22.5 (Breite 2.995 mm) 620/55 R 26.5 (Breite 2.995 mm) 710/50 R 26.5 (Breite 3.190 mm)	560/45 R 22.5 (Breite 2.995 mm) 620/50 R 22.5 (Breite 2.995 mm) 620/55 R 26.5 (Breite 2.995 mm) 710/50 R 26.5 (Breite 3.190 mm)
Bremsen*		Druckluft	Druckluft
Garnvorrat	Rollen	54	54
Doppelknoten		8	8
Messer max.			26 (0/13/13/26)
min. Schnittlänge	mm	–	44
Hublänge	mm	800	800
Kolbenhöhe	pro Minute	45 (36 bei 800 U/min)	45 (36 bei 800 U/min)
Gelenkwelle		1 3/4" Z=6 / Z=20	1 3/4" Z=6 / Z=20

Alle Abbildungen, Maße und Gewichte entsprechen nicht unbedingt der Serienausrüstung und sind unverbindlich.

* Länderspezifisch auch mit hydraulischer Bremse lieferbar

Abb. 2-37: „Datenblatt über die Ballenpresse „BiG Pack 1290 HDP II““
(Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH (2013); „BiG Pack HDP II - High Density
Großpackenpresse“ 10/13, Seite 27)

Eine Walze mit fünf Zinkenreihen, „Pick-up“ genannt, hebt das Erntegut, welches als Mahd (Schwad) auf den Stoppelfeldern liegt, in die Ballenpresse. Eine weitere Walze mit V-förmig angeordneten Zinken transportiert das Erntegut für den Fall, dass das Stroh geschnitten werden soll durch die Schneidmesser. Für ungeschnittenes Stroh werden in diesem Bereich die Schneidmesser-Module nicht eingesetzt und das Stroh wird mithilfe der Walze einfach weiter transportiert. In der nachfolgenden Abb. 2-38 sind 4 Arbeitsgänge des Presssystems dargestellt.

- zu 1) Die drei Rafferrechen und der eine Zubringerrechen transportieren das Erntegut in die Vorpresskammer.
- zu 2) Es wird das Erntegut so lange in die Vorpresskammer transportiert, bis diese vollständig gefüllt ist (Vorverdichtung). In der Zwischenzeit geht der Presszylinder in seine Ausgangsstellung zurück.

- zu 3) Der Rückhalter der Vorpresskammer schwenkt zurück und der Zubringer transportiert das Erntegut in die Presskammer.
- zu 4) Eigentlicher Pressvorgang des Ballens durch den Presskolben.

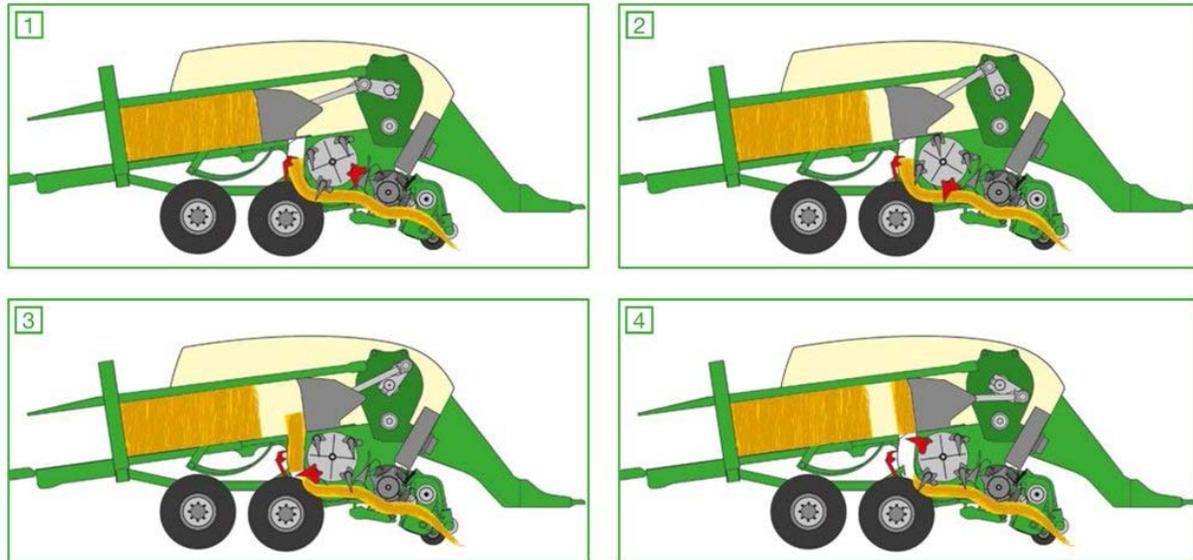


Abb. 2-38: "Variable-Füll-System (VFS)"
 (Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH (2013); „BiG Pack HDP II - High Density
 Großpackenpresse“ 10/13, Seite 11)

Mit dieser „Variable-Füll-System“-Methode ist es möglich auch harte und formstabile Ballen bei geringer Mahdmenge oder niedriger Fahrgeschwindigkeit zu erreichen. Bei der gegenständlichen Ballenpresse sind zusätzlich zwei Geschwindigkeiten möglich: Bei voller Mahd 1.000 Zapfwellenumdrehungen und 45 Kolbenhübe und bei weniger Material stehen für einen kraftstoffsparenden Betrieb 800 Zapfwellenumdrehungen und 36 Kolbenhübe zur Verfügung.

Die Knotereinrichtung des „BiG Pack HDP II“ besteht aus acht Doppelknoter-Elemente für eine hohe Ballendichte (siehe Abb. 2-39). Während des Pressvorgangs wird an der Oberseite und an der Unterseite jeweils ein Bindegarn geführt, der zu Beginn des Ballens miteinander zusammengeknotet ist (Startknoten). Hat der Ballen die gewünschte Länge erreicht, so wird das untere Bindegarn über ein Spannsystem und mittels einer Nadel zum oberen Bindegarn, welches ebenfalls über ein Spannsystem läuft, geführt und verknotet (Endknoten).

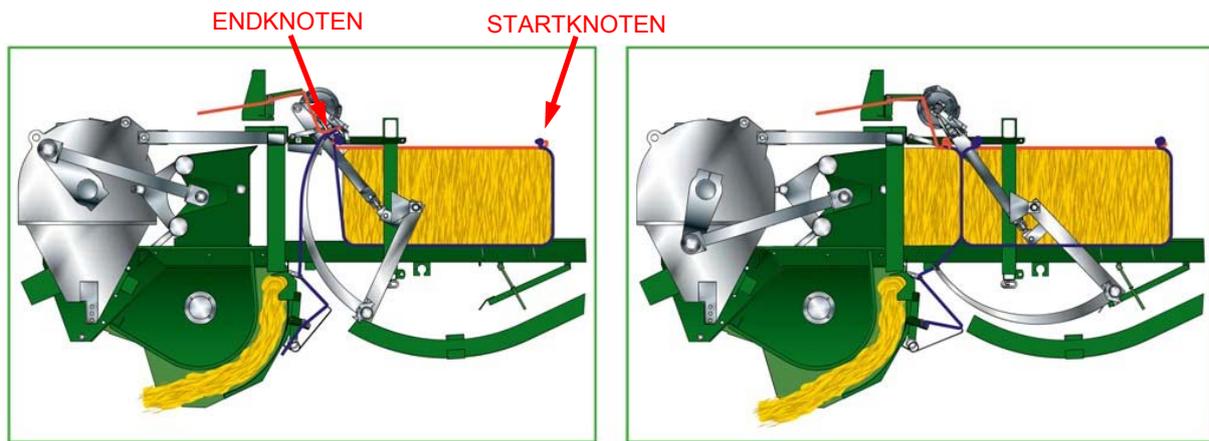


Abb. 2-39: „Der Knoter“
 (Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH (2013); „BiG Pack HDP II - High Density
 Großpackenpresse“ 10/13, Seite 16)

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass neben einer komfortablen Bedieneinheit mittels Terminal in der Traktorkabine der Hersteller auch Zusatzausstattungen anbietet, wie z. B. Feuchtemesseinrichtung im Presskanal oder die Möglichkeit den Ballen in der Presse bereits zu wägen.

Aus dem Testbericht „Leistungs-Verdichter“ von *Hubert Wilmer*, im Sonderdruck aus 12/2013 des Magazins für professionelle Agrartechnik „profi“ veröffentlicht, ist ergänzend zu erwähnen, dass mit der „Big Pack 1290 HDP II XC“ bei Weizenstroh mit ca. 10 % Feuchtegehalt, eine Pressdichte von 190 kg/m^3 erreicht wurde. Der Preis dieser Ballenpresse wird mit rund 280.000 EUR (ohne MwSt.) angegeben.⁶²

2.8 PRESSENGARN

Die Pressgarne, auch Bindegarne oder Erntegarne genannt, müssen naturgemäß den hohen Anforderungen der immer leistungsstärkeren Ballenpressen, im Speziellen den hohen Ballendichten und der schnellen Arbeitsweise entsprechen. So ist eine Vielzahl von verschiedenen Pressgarnen im Handel erhältlich. Im Wesentlichen sind die meisten Kunststoff-Pressgarne aus Polypropylen, es werden aber auch noch Sisalgarne verwendet. Polypropylen ist ein teilkristalliner Thermoplast und gehört zu der Gruppe der Polyolefine. Die Erntegarne aus Polyolefine sind europaweit in der EN ISO 4167 normiert. In der nachfolgenden Tab. 2-5 sind die verschiedenen Typen von Pressgarne der Teufelberger Ges.m.b.H. mit einigen technischen Details aufgelistet.

⁶² vgl. *Hubert Wilmer* (2013): „Leistungs-Verdichter“

Tab. 2-5: „TEWE® Typenübersicht - Pressgarne von der TEUFELBERGER Ges.m.b.H“
 (TEUFELBERGER Ges.m.b.H. Aus der Broschüre „TEWE® Erntebindegarne“; Downloadbereich:
<http://www.teufelberger.com/produkte/umreifungsbaender/tewereg-polypropylen.html>, abgerufen am 13. 08. 2014)

TEWE® TYPENÜBERSICHT								
Type	Gewicht pro Spule / Paket	Max. Reißfestigkeit	Max. Knotenfestigkeit	Dehnung	Farbe	Pakete pro Palette	Paletten pro LKW	
TEWE® 95 GreenBull 	10 kg / 20 kg	5.000 N	3.300 N	ca. 8%	grün	56	22	
TEWE® 110 High Density 	10 kg / 20 kg	4.440 N	2.800 N	ca. 8%	blau	56	22	
TEWE® 130 Hypermax 	9 kg / 18 kg	4.250 N	2.700 N	ca. 10%	rotbraun	56	22	
TEWE® 130 Bigmax	9 kg / 18 kg	3.500 N	2.450 N	ca. 11%	violett	56	22	
TEWE® 140 Ecomax	9 kg / 18 kg	2.970 N	1.930 N	ca. 9%	grün	56	22	
TEWE® 150 Pro	9 kg / 18 kg	3.120 N	2.020 N	ca. 11%	violett	56	22	
TEWE® 250 Stock	5 kg / 10 kg	1.960 N	950 N	ca. 10%	blau	80	26	
TEWE® 310 Nature	6 kg / 12 kg	1.510 N	770 N	ca. 10%	weiß	56	22	
TEWE® 350 Plus	5 kg / 10 kg	1.410 N	720 N	ca. 10%	blau	80	26	
TEWE® 370 Nature	6 kg / 12 kg	1.300 N	660 N	ca. 10%	weiß	56	22	
TEWE® 400 Perfect	5 kg / 10 kg	1.220 N	630 N	ca. 10%	blau	80	26	 
TEWE® 500 Universal	5 kg / 10 kg	1.040 N	550 N	ca. 10%	blau	80	26	 
TEWE® 500 Wine and Fruit	5 kg / 10 kg	1.040 N	–	ca. 8%	grün	80	26	
TEWE® 750 Long	5 kg / 10 kg	740 N	–	ca. 10%	blau	80	26	
TEWE® 1000 Marathon	5 kg / 10 kg	580 N	–	ca. 10%	blau	80	26	
TEWE® 10.000	5,5 kg / 11 kg	500 N	–	ca. 8%	violett	80	22	

Die Angaben in Newton geben die Last an, bei der das Garn reißen würde. Die angegebenen Bruchlasten sind Werte, die sich aus den in unserem Labor durchgeführten Prüfungen ergeben. Änderungen der technischen Werte behalten wir uns vor.

2.9 ÜBLICHE TRANSPORTMITTEL

Die in der Landwirtschaft üblichen Zwei- und Dreiachskipper bzw. Plateauanhänger mit einer Ladefläche von 5,00 m * 2,50 m und einer Nutzlast von etwa 8 bis 14 Tonnen sind in der Regel durchaus in der Lage, Ballen mit höherer Dichte zu transportieren. Aufgrund der geringen zulässigen Höchstgeschwindigkeit von oft nur 25 km/h werden diese naturgemäß im Regionalverkehr verwendet.

Ein Standard-Sattelzugfahrzeug für den Überlandverkehr bietet heutzutage ein Ladevolumen von etwa 13,60 m / 2,45 m / 2,60 m bei einer Nutzlast von etwa 25 Tonnen⁶³, d. h. bei einem theoretischen Ladevolumen von 86 m³ könnte standardmäßig pro Kubikmeter eine Masse von 288 kg befördert werden.

⁶³ vgl. Homepage von „International LKW Walter Transportorganisation AG“ (<http://www.lkw-walter.at/de/transportunternehmer/einsatzmoeglichkeiten>, abgerufen am 07. 08. 2014)

Aufgrund der üblichen (beschriebenen) Transportmöglichkeiten werden in der Landwirtschaft heutzutage fast ausnahmslos Ballenlängen von 2,40 m produziert.

3 BAUSTROH UND BAUSTROHBALLEN

3.1 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

3.1.1 Definition der Strohballenausrichtung (Ballenorientierung)

Von besonderer Bedeutung für die Anwendung ist die Lage des Strohballens, d. h. die Lage des quaderförmigen Körpers, dessen Bindegarnebenen und die Strohalm-Haupttrichtung. Da zur Produktion von quaderförmigen Strohballen fast ausschließlich Strangpressen verwendet werden, sind die Breite und die Höhe durch den Presskanal fixiert. Die Länge des Strohballens ist bei den meisten Pressen je nach Hersteller und Type variabel. Die Pressen produzieren Ballen, bei denen die Strohhalme hauptsächlich der Breite nach zu liegen kommen und die Bindegarnebenen senkrecht dazu angeordnet sind. Diese Haupttrichtung ist auch bei den modernen Pressen mit Vorkammerpressung evident.

Benjamin Krick definiert in seiner Dissertation folgende Bezeichnungen zur Festlegung der Ballenorientierungen, welche auch für die vorliegende Arbeit übernommen wurde (siehe Abb. 3-1: „Ballenorientierung“):

- stehend (S, s)
- hochkant liegend (HL, hl)
- flach liegend (FL, fl)

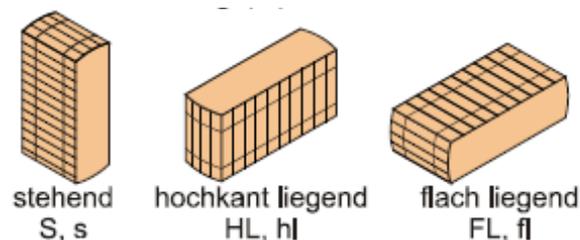


Abb. 3-1: „Ballenorientierung“
(*Benjamin Krick* (2008): Seite 157)

3.1.2 Ballenbezeichnungen

In der Literatur gibt es eine Vielzahl von Bezeichnungen für die gepressten Ballen, wie z. B. Kleinballen, HD-Ballen, Großballen, Quaderballen oder Q-Ballen, Jumboballen etc. In der Regel werden Ballen mit einer Größe von rund 35 cm * 50 cm * 60 - 130 cm mit einer Dichte bis zu 120 kg/m³ und 2-facher Bindung als Kleinballen oder HD-Ballen bezeichnet, Großballen oder Quaderballen (Q-Ballen) haben Größen von etwa 80 – 100 cm * 70 – 130 cm * 80 - 300 cm, Rohdichten von bis zu 220 kg/m³ und mehrere Bindungen.⁶⁴ Nach Meinung des Verfassers liegt ein weiteres Unterscheidungskriterium zwischen Kleinballen

⁶⁴ vgl. *Benjamin Krick* (2008), „Arten von Strohballenpressen“: Seite 35

und Großballen in der Handhabung: Kleinballen können per Hand verladen werden, Großballen bedürfen aufgrund der Größe und des Gewichts Hebegeräte.

3.2 TYPOLOGIEN VON STROHBALLEN-BAUSYSTEMEN

3.2.1 Allgemeines

Im Grunde genommen sind drei Strohballenkonstruktionen zu unterscheiden (vgl. Abb. 3-2):

1) Lasttragende Systeme

Bei diesen Tragwerkssystemen übernehmen die Strohballen neben den raumbildenden und wärmedämmenden Funktionen auch die statischen Aufgaben. Häufig werden diese Wandsysteme um etwa das zwei- bis zweieinhalbfache der geplanten Gebrauchslast vorgespannt, um spätere Setzungen zu vermeiden.

2) Nicht-lasttragende Systeme

Eine gesonderte Tragwerkskonstruktion übernimmt die statische Funktion. Diese Tragwerkssysteme können in der Regel in Skelett-, Rahmen- und Scheibentragwerkssysteme eingeteilt werden. Bei den Skelett-, Rahmen- und Scheibentragwerkssystemen ist es in der Regel möglich, das Dach vor dem Einbau der Strohballen herzustellen, was zu einem gewissen Grad witterungsunabhängig macht.

3) Hybride Systeme

Hierbei übernehmen lasttragende Strohballenkonstruktionen nur einen Teil der Lastabtragung.

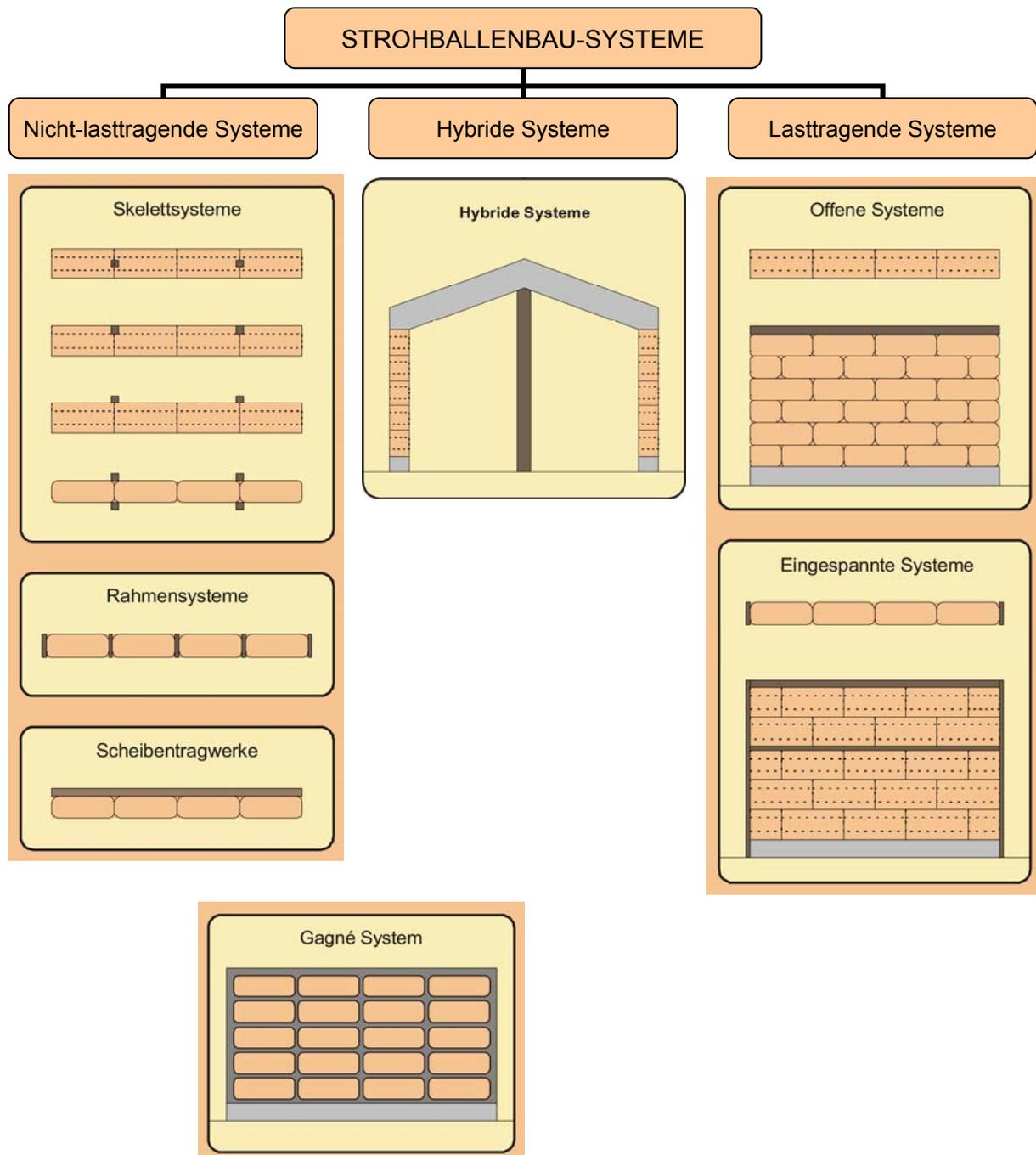


Abb. 3-2: „Systematik zum Strohballenbau“; (Benjamin Krick (2008): Seite 113: abgeändert durch den Verfasser⁶⁵)

⁶⁵ Das System Gagné wurde aus der Kategorie „Nicht lasttragende Systeme“ entnommen, da es nach Meinung des Verfassers je nach Ausführung entweder der Kategorie „Nicht-lasttragende Systeme“ oder der Kategorie „hybride Systeme“ zugeordnet werden kann (vgl. Punkt 3.2.5).

3.2.2 Skelettsysteme

Man unterscheidet folgende Systeme:⁶⁶

- Innenskelett: Die lasttragenden Stützen liegen innerhalb der Ballenebene (siehe Abb. 3-3);
- Ballenbündiges Skelett (Bb Skelett): Die lasttragenden Stützen liegen innen- oder außenseitig, jedenfalls bündig in der Ballenebene (siehe Abb. 3-4);
- Fugenorientiertes ballenbündiges Skelett (Fo bb Skelett): Die Stützen sind ballenbündig bei den Fugen der stehenden Strohballen angeordnet (siehe Abb. 3-5). Die Idee dieses Skelettsystems stammt von *Benjamin Krick*;
- Außenskelett: Die Stützen sind innen- oder außenseitig außerhalb der Ballenebene angeordnet (siehe Abb. 3-6);
- Doppelskelett: Die Stützen sind beidseits der Ballenebene angeordnet (siehe Abb. 3-7);

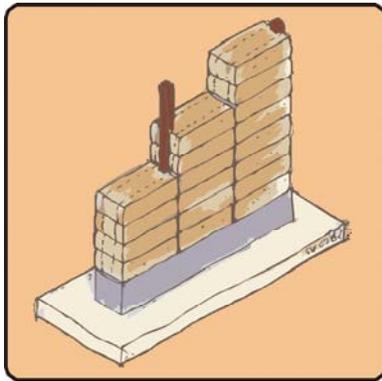


Abb. 3-3: „Prinzipskizze: Innenskelett“

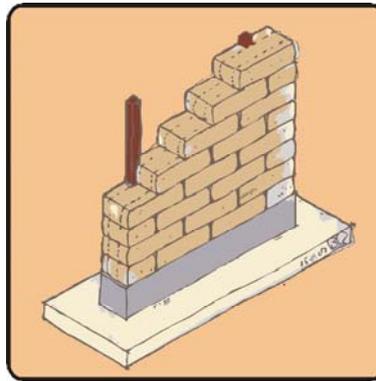


Abb. 3-4: „Prinzipskizze: Ballenbündiges Skelett“

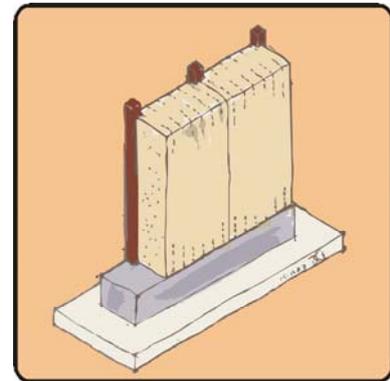


Abb. 3-5: „Prinzipskizze: fugenorientiertes ballenbündiges Skelett“

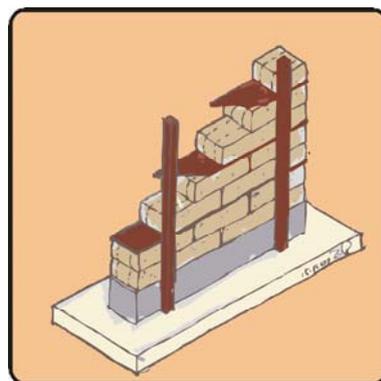


Abb. 3-6: „Prinzipskizze: Außenskelett“

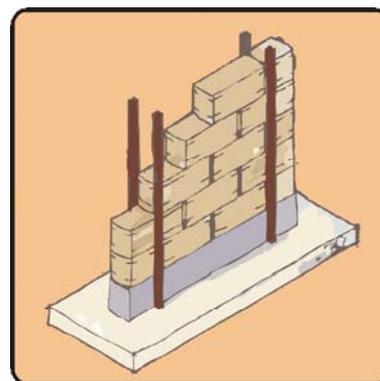


Abb. 3-7: „Prinzipskizze: Doppelskelett“

⁶⁶ *Benjamin Krick* (2008): Seite 115 ff

3.2.3 Rahmensysteme

Allen Rahmensystemen gemein sind die Rahmen in Ballenbreite, in der Regel aus Holz oder Holzwerkstoffen, wie z. B. Bohlen, I-Träger oder auch zusammengesetzte Elemente. Diese Systeme eignen sich besonders gut für fabrikmäßig vorgefertigte Bauteile. *Benjamin Krick* unterscheidet zwei Arten abhängig von der Verfüllung mit Strohballen.⁶⁷

- Hochkant liegend verfüllte Rahmensysteme: Die Strohballen sind hochkant liegend im Rahmen positioniert (siehe Abb. 3-8).
- Stehend verfüllte Rahmensysteme: Die Strohballen sind stehend im Rahmen positioniert (siehe Abb. 3-9).

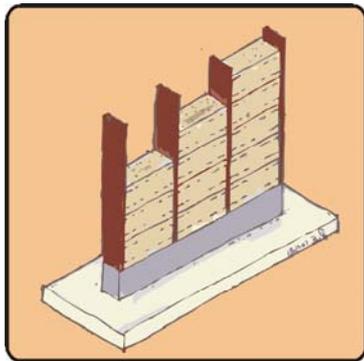


Abb. 3-8: „Prinzipskizze: hochkant liegend verfüllte Rahmensysteme“

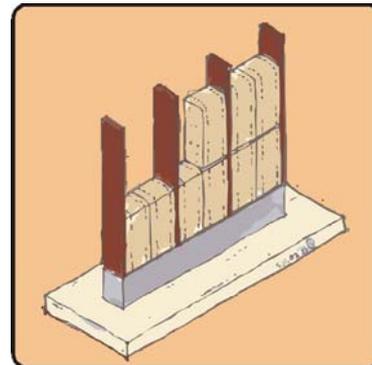


Abb. 3-9: „Prinzipskizze: stehend verfüllte Rahmensysteme“

3.2.4 Scheibentragwerke

Die Scheibentragwerke bestehen in der Praxis aus verschiedensten Baustoffen bzw. Konstruktionen, wie z. B. Mauerwerk, Brettstapel- oder Kreuzlagenkonstruktionen (siehe Abb. 3-10). In der Regel sind die Strohballen außenseitig der Wand vorgesetzt und wirken nicht mehr raumbildend, d. h. der Strohballen übernimmt im Grunde nur noch die Funktion der Wärmedämmung. Von großer Bedeutung ist dieses System speziell bei der Gebäudesanierung.

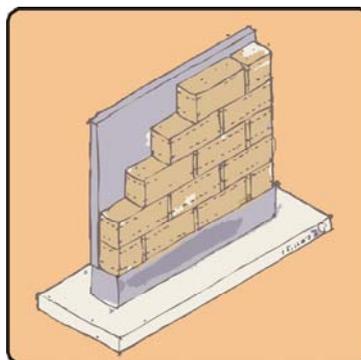


Abb. 3-10: „Prinzipskizze zu Scheibentragwerke“
(*Benjamin Krick* (2008): Seite 119)

⁶⁷ *Benjamin Krick* (2008): Seite 117 f

3.2.5 Mortared-Bale Matrix System (System Gagné)

Das „Mortared-Bale Matrix System“ ist eine besondere Tragwerkskonstruktion im Strohballenbau (siehe Abb. 3-11). Dieses System wird sehr oft dem Kanadier *Luis Gagné* zugeschrieben, der sich in den frühen 1980er-Jahren mit diesem System beschäftigt hat.⁶⁸ Im Buch „The straw bale house“ ist zu lesen, dass dieses System in ähnlicher Ausführung bereits im „Warren Withee House“ in der Nähe von Olsenville, 1921 verwendet wurde⁶⁸. Die Strohballen werden dabei für gewöhnlich flach liegend mit durchgehenden dicken Stoß- und Lagerfugen aus Zementmörtel zu Wänden gestapelt.

*Benjamin Krick*⁶⁹ ordnet dieses System zu den nicht-lasttragenden Systemen, wie dies auch *Gruber*⁷⁰ beschreibt, dahingegen sind *Minke/Mahlke*⁷¹ der Auffassung, dass die Strohballen einen Teil der Last übernehmen und daher wäre diese Bauweise den hybriden Systemen zuzuordnen.⁷²

Nach Meinung des Verfassers könnte die Zuordnung in Abhängigkeit der Ausführung gesehen werden: So sollte bei entsprechend „steifen“ Fugen eine Zuordnung zu den nicht-lasttragenden Systemen vorgenommen werden, dagegen bei „weichen“ Fugen zu den hybriden Systemen.

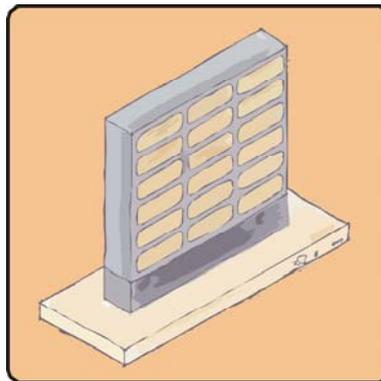


Abb. 3-11: „Prinzipskizze des Systems Gagné“
(*Benjamin Krick* (2008): Seite 119)

3.2.6 Lasttragende Systeme

Bei den lasttragenden Systemen werden folgende Bauarten unterschieden:

- Offene lasttragende Systeme:

Strohballen werden auf einem Fundament, einem Fundament-Mauerwerk oder einer Decke wie überdimensionale Ziegel analog einem Ziegelverband zu Wänden gestapelt.

⁶⁸ vgl. *Athena Swentzell Steen et al* (1994): Seite 95 ff

⁶⁹ *Benjamin Krick* (2008): Seite 113

⁷⁰ *Gruber* (2003: 56) - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 119

⁷¹ *Minke/Mahlke* (2004: 18) - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 119

⁷² vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 119

Auf dem Wandkopf wird eine Holzkonstruktion - ein sogenannter Ringbalken – aufgesetzt, der erstens die Basis für die Auflagerung der weiteren Dach- oder Deckenkonstruktion bildet, zweitens eine annähernd gleichmäßige Lastaufteilung auf die Strohballen übernimmt und drittens durch seine umlaufende („ringförmige“) Anordnung (z. B. auf den Außenwänden des Gebäudes) eine statisch zusammenhängende Ebene bildet. Diese Bauweise wird, wie bereits erwähnt, als „Nebraska Style“ bezeichnet (siehe Abb. 3-12). Vom Prinzip ausgehend zählt das selbsttragende Tonnengewölbe zu den offenen lasttragenden Strohballenkonstruktionen (siehe Abb. 3-13).

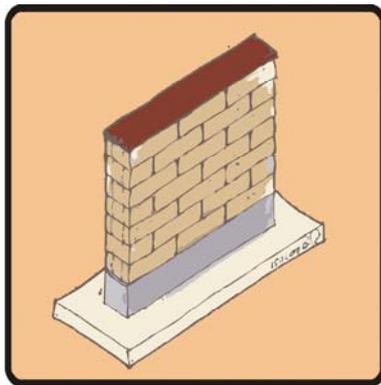


Abb. 3-12: „Prinzipskizze zum offenen System“

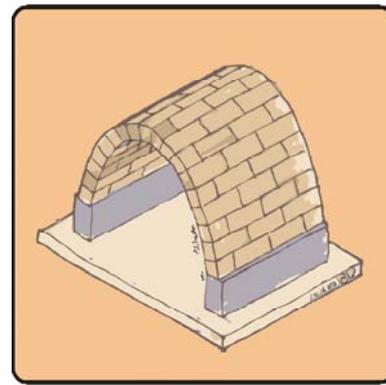


Abb. 3-13: „Prinzipskizze für Tonnengewölbe“

- Eingespannte lasttragende Systeme

Hierbei ist die Strohballenwand mit steifen Elementen umschlossen. Wenngleich auch die vertikalen Elemente nicht unmittelbar der Lastabtragung dienen, so bewirken diese durch den Einspannungseffekt der Strohballen eine Behinderung der Querdehnung und damit eine Erhöhung des Elastizitätsmoduls und eine Verminderung des Relaxanzverhaltens. In der Abb. 3-14 ist die seitliche „Einspannung“ der Strohballenwand vom „System Stroh unlimited“ dargestellt. Beim „System E+“ werden die Wandelemente durch U-Profile aus Holzwerkstoffen umgrenzt und zusätzlich mit einem horizontalen Leiterraum ausgesteift (siehe Abb. 3-15). Die Vorfertigung solcher Elemente ist sehr gut möglich. Dieses System wurde im Zuge der Dissertation von *Benjamin Krick* entwickelt.⁷³

⁷³ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 121

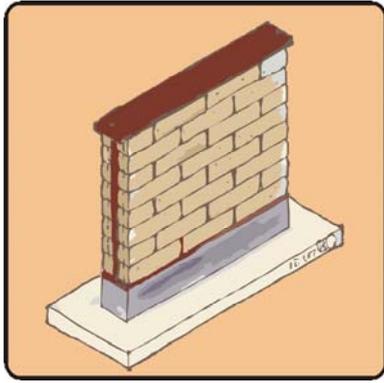


Abb. 3-14: „Prinzipskizze: System Stroh unlimited“

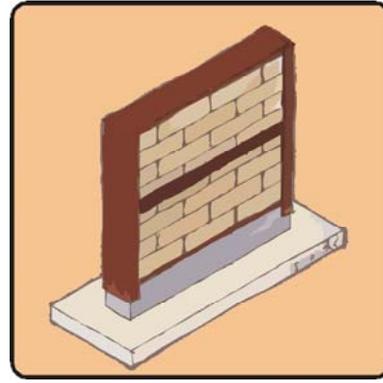


Abb. 3-15: „Prinzipskizze: System E+“

3.3 ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN AN DEN BAUSTROHBALLEN

3.3.1 Anforderung an das „Baustroh“

Langer unbeschadeter Halm

Benjamin Krick zitiert im Kapitel „Einfluss der Halmbeschaffenheit auf die Festigkeit von Strohballen“ *Ashour* (2003), *King* (2006), *Struwe* (2007) und *Hansen/Wahrmuth* (2004), die zum Ergebnis kommen, dass Ballen mit einem hohen Anteil langer intakter Halme eine höhere Festigkeit beigemessen werden darf, als Ballen mit hohem Anteil an Kurzstroh. Im Weiteren wird *Sonnenberg* zitiert, der in seiner Dissertation den Einfluss verschiedener Strohaufbereitungstechniken auf die Tragfähigkeit von Festmistmatratzen untersucht hat und dabei erkannt hat, dass die Tragfähigkeit umso höher ist, je längeres und unbeschadeteres Stroh als Einstreu verwendet wird.⁷⁴

Trockenes Stroh

Das Stroh muss zum Zeitpunkt des Ballenpressens entsprechend trocken sein. Im Idealfall ist das Getreide vor dem Dreschen gestanden, also nicht aufgrund von Wetterbedingungen auf dem Boden gelegen, und konnte nach dem Dreschen noch zwei Tage bei mehrmaligem Wenden nachtrocknen. Zudem ist das Pressen zur heißesten Tageszeit am günstigsten, da hierbei die geringste bzw. keine nennenswerte Taufeuchte gegeben ist.⁷⁵

Frei von Verunreinigungen

Grundsätzlich soll Stroh frei von jeder Verunreinigung sein. Typische Verunreinigungen bilden z. B. Beikräuter, Maulwurfshügel (Scherhaufen), verendete Tiere, aber auch lebende

⁷⁴ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 41

⁷⁵ vgl. *Herbert & Astid Gruber, Helmuth Santler* (2008): Seite 9

Tiere. Speziell bei hoher Mahd (Schwad) und bei großen Ballenpressen kommt es immer wieder vor, dass Kleintiere, wie Feldhasen, in die Ballen eingepresst werden.

3.3.2 Anforderungen an den „Baustrohballen“

Ballenart (HD-Ballen versus Q-Ballen)

Die Untersuchungen von *Benjamin Krick* zeigen, dass hochkant liegende, seitlich eingespannte und unverputzte Q-Weizenballen einen deutlich höheren Elastizitätsmodul (um 52,16 %) gegenüber hochkant liegenden HD-Weizenballen mit gleicher Dichte aufweisen. Es wird vermutet, dass sich die einzelnen Halme in den größeren Ballen besser stabilisieren und dass sich auch eine 6-fache Bindung vorteilhaft auswirkt.⁷⁶

Eignung der Strohsorten

Nach *Ashour* und *Struwe* sind den Getreide- bzw. Strohsorten bei Druckbeanspruchung von Strohballen keine wesentlichen Unterschiede zuzuschreiben.⁷⁷⁺⁷⁸ Dagegen vermuten *Hansen/Wahrmuth* eine Beziehung zwischen der „Ballenfestigkeit“ und der „Holzigkeit“ des Strohs.⁷⁹ Folgende Reihenfolge der Eignung als Baustrohballen entstand:⁸⁰

- 1) Winterweizen
- 2) Dinkel
- 3) Roggen
- 4) Wintergerste
- 5) Sommerweizen
- 6) Hafer
- 7) Sommergerste

Der Begriff „Holzigkeit“ ist unter *Hansen/Wahrmuth* nicht näher definiert!¹⁶

Benjamin Krick hat das elastische Verhalten von seitlich eingespannten HD-Strohballen mit unterschiedlichen Strohsorten in unterschiedlichen Ballenorientierungen analysiert und die Elastizitätsmodule ausgehend vom Weizenstroh (100 %) zusammengestellt (siehe Tab. 3-1 und Tab. 3-2):

⁷⁶ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 85

⁷⁷ vgl. *Ashour* (2003) - zitiert in vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 25

⁷⁸ vgl. *Struwe* (2007) - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 25

⁷⁹ vgl. *Hansen/Wahrmuth* (2004: 7) - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 25

⁸⁰ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 25

Tab. 3-1: „Vergleich der E-Module von flach liegenden HD-Ballen mit seitlicher Einspannung aus unterschiedlichen Stroharten“ (Benjamin Krick (2008): Seite 85)

Strohart	ρ_{tr} (kg/m ³)	E-Modul (kN/m ²)	Trockendichte- bereich (kg/m ³)	Proben Anzahl	E-Modul % auf der Basis von Weizen= 100%	E-Modul % auf der Basis von Weizen= 0%
Ø Gerste	76,8	222	72-89	3	92	-8
Weizen (generiert)	76,8	242	/	/	100	0
Ø Dinkel	82,6	276	81-85	3	109	9
Weizen (generiert)	82,6	253	/	/	100	0
Ø Switchgras	88,0	261	/	1	99	-1
Ø Bohne	88,1	349	87-89	3	132	32
Ø Roggen	88,9	271	84-95	3	102	2
Weizen (generiert)	88,9	265	/	/	100	0

ρ_{tr} : Trockendichte; Ø Mittelwert aus den betreffenden Testergebnissen

Tab. 3-2: „Vergleich der E-Module von hochkant liegenden HD-Ballen mit seitlicher Einspannung aus unterschiedlichen Stroharten“ (Benjamin Krick (2008): Seite 85).

Strohart	ρ_{tr} (kg/m ³)	E-Modul kN/m ²	Trockendichte- bereich (kg/m ³)	Proben Anzahl	E-Modul % auf der Basis von Weizen= 100%	E-Modul % auf der Basis von Weizen= 0%
Ø Dinkel	82,2	381	79-86	3	130	30
Weizen (generiert)	82,2	293	/	/	100	0
Ø Roggen	86,0	354	83-88	3	115	15
Weizen (generiert)	86,0	309	/	/	100	0
Ø Gerste	87,9	395	78-96	3	124	24
Weizen (generiert)	87,9	318	/	/	100	0

ρ_{tr} : Trockendichte; Ø Mittelwert aus den betreffenden Testergebnissen

Beim Vergleichen der Ergebnisse aus den beiden o. a. Tabellen ist ersichtlich, dass es in Abhängigkeit der Halmorientierung zu unterschiedlichen Reihungen der Getreidesorten kommt. Die Ursache hierfür ist unklar. Im Weiteren ist auffallend, dass bei den flachliegenden Ballen geringere Unterschiede als bei den hochkant liegenden Ballen gegeben sind.

Welche Getreidesorte nun als Baustroh am besten geeignet ist, kann aufgrund der bisherigen, sehr unterschiedlichen Forschungsergebnisse nicht festgelegt werden.

Frei von Verunreinigung

Wie das lose Stroh selbst, darf auch der gepresste Ballen bei der Bergung, beim Transport und bei der Lagerung nicht verunreinigt werden. - Vom Verfasser wurde beobachtet, dass oftmals beim Bergen der Strohballen von den Feldern die Ballen viele Meter über den Humusboden geschliffen werden um sie damit ideal für die Aufgabelung bzw. Verladung zu positionieren. Für die Herstellung von Baustrohballen sind dies ungeeignete Methoden.

Formstabil

Bei Herstellung von Baustrohballen ist auf die Kantentreue und einheitliche Oberflächenbeschaffenheit zu achten. Hierzu sind gleichmäßige Mahden (Schwaden) am Feld herzustellen und die Funktionsfähigkeit der Ballenpressen muss einwandfrei gegeben sein.

3.4 GRUNDANFORDERUNGEN AN BAUWERKE UND BAUPRODUKTE GEMÄSS NÖ BAURECHT

Die Grundanforderungen an Bauwerke und wesentliche Merkmale von Bauprodukten sind in der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 grundlegend bereits definiert. Diese wurden nahezu unverändert mit der Novellierung vom 11. 04. 2014 in die Niederösterreichische Bauordnung 1996 übernommen (siehe Punkt 3.4.1).

3.4.1 Niederösterreichische Bauordnung 1996

Für Bauvorhaben in Niederösterreich hat baurechtlich die Niederösterreichische Bauordnung 1996 Geltung, in der, wie erwähnt, die Grundanforderungen für Bauwerke definiert sind. Im Abschnitt II „Bautechnik“ sind die baurechtlich relevanten Anforderungen an die Planung, Bauausführung und Bauprodukte und Marktüberwachung von Bauprodukten beschrieben. Nachfolgend ist der Paragraph 43 aus diesem Gesetz (i. d. F. vom 11. 04. 2014), der die allgemeinen Ausführungen und die Grundanforderungen enthält, auszugsweise abgedruckt.

§ 43 „Allgemeine Ausführung - Grundanforderungen an Bauwerke“

(1) Die Planung und die Ausführung von Bauwerken müssen den Bestimmungen dieses Gesetzes entsprechen. Bauwerke müssen als Ganzes und in ihren Teilen für ihren Verwendungszweck tauglich sein, wobei insbesondere der Gesundheit und der Sicherheit der während des gesamten Lebenszyklus der Bauwerke betroffenen Personen Rechnung zu tragen ist. Bauwerke müssen diese Grundanforderungen an Bauwerke bei normaler Instandhaltung über einen wirtschaftlich angemessenen Zeitraum erfüllen.

Grundanforderungen an Bauwerke sind:

1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit ...
2. Brandschutz ...

3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz ...
4. Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung ...
5. Schallschutz ...
6. Energieeinsparung und Wärmeschutz ...
7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen ...

(2) Diese Grundanforderungen an Bauwerke sind dem Stand der Technik entsprechend zu erfüllen. Dies ist dann erfüllt, wenn die Bestimmungen einer nach Abs. 3 zu erlassenden Verordnung eingehalten werden. Für darin nicht geregelte Bereiche gilt der Stand der Technik jedenfalls dann als erfüllt, wenn harmonisierte Normen, europäische technische Zulassungen oder Europäische Technische Bewertungen eingehalten werden.

(3) Die Landesregierung hat die Anforderungen an Bauwerke und Bauteile nach Abs. 1 sowie die Erforderlichkeit, den Inhalt und die Form des Energieausweises (§ 4 Z. 6) mit Verordnung näher zu bestimmen und dabei einschlägige Richtlinien des Rates der Europäischen Union, insbesondere die im § 76a Abs. 1 angeführten, soweit sie sich auf Bauwerke oder Bauprodukte beziehen, umzusetzen, dafür vorzusorgen, daß den Benützern der Bauwerke eine zeitgemäße Wohn- und/oder Gebrauchsqualität – auch in Krisenzeiten – gewährleistet ist sowie auf Kinder, Kranke, Behinderte und Senioren besonders Bedacht zu nehmen. Je nach Erfordernis hat sie für einzelne Arten von Bauwerken, wie z. B. Ein- oder Mehrfamilienhäuser, Bauwerke für größere Menschenansammlungen, Verkaufsstätten, oder für einzelne Arten von Bauteilen, wie Wände, Decken und Schornsteine, unterschiedliche Festlegungen zu treffen. In einer solchen Verordnung können technische Richtlinien oder Teile davon, die dem Stand der Technik entsprechen und von einer fachlich geeigneten Stelle herausgegeben worden sind, als verbindlich erklärt werden. Die verbindlich erklärten Richtlinien sind zumindest beim Amt der NÖ Landesregierung während der für den Parteienverkehr bestimmten Amtsstunden (§ 13 Abs. 5 AVG) zur öffentlichen Einsicht aufzulegen.

3.4.2 NÖ Bauprodukte- und Marktüberwachungsgesetz 2013

Im Weiteren ist bei der Verwendung von Bauprodukten das Niederösterreichische Bauprodukte- und Marktüberwachungsgesetz 2013 zu beachten, welches Folgendes regelt:⁸¹

- die Bereitstellung von Bauprodukten auf dem Markt;

⁸¹ §1 (1) NÖ Bauprodukte- und Marktüberwachungsgesetz 2013 i. d. F. vom 11. 04. 2014

- *die Verwendung von Bauprodukten, die in Serie oder serienähnlich hergestellt werden und für die harmonisierte technische Spezifikationen nicht vorliegen;*
- *die Verwendung von Bauprodukten, für die harmonisierte technische Spezifikationen vorliegen;*
- *die Bautechnische Zulassung;*
- *die Verwendung sonstiger Bauprodukte;*
- *die Marktüberwachung von Bauprodukten.*

3.4.3 Anmerkungen

Für Baustrohballen zur lasttragenden Verwendung sind gegenwärtig weder

- auf europäischer Ebene harmonisierte Normen (hEN) oder Europäisch Technische Bewertungen (ETB) noch
- auf nationaler Ebene ÖNORMEN oder sonstige technische Regelwerke oder Bautechnische Zulassung (BTZ) (früher Österreich technische Zulassungen (ÖTZ)) vorhanden.

Ein Blick nach Deutschland, ein Land, in dem das Baurecht ähnlich wie in Österreich geregelt ist, zeigt, dass man sich sehr um die bauaufsichtliche Anerkennung der lasttragenden Strohballenbauweise z. B. mit Förderungen von Forschungsarbeiten bemüht. Aus dem bereits vielfach zitierten Abschlussbericht „Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise – Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance“ aus dem Jahre 2008, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, ist zu entnehmen, dass noch Untersuchungsbedarf gegeben ist und die bauaufsichtliche Anerkennung weiter entwickelt werden soll.⁸² Nach Kenntnis des Verfassers wurde eine bauaufsichtliche Anerkennung für den lasttragenden Strohballenbau bis dato bedauerlicherweise nicht oder noch nicht ausgestellt. Demnach sind die bis heute in Deutschland errichteten lasttragenden Strohballenbauten „durch Zustimmung im Einzelfall“ genehmigt worden.

Zulassungen für Baustrohballen als Dämmstoff sind schon über längere Zeit in Österreich und Deutschland gegeben, so z. B.:

- „Europäisch Technische Zulassung“ ETA-10/0032 für „WALDLAND Baustrohballen“ (Dämmstoff auf Strohbasis zur Wärme und/oder Luftschalldämmung) für den Zulassungsinhaber „Waldland Vermarktungs GmbH“ (siehe Anhang, Seite 80).

⁸² Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 3

- „Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis“ mit der Prüfzeugnis-Nummer P-BAY08-H.2-01/08 über „Getreidestrohballen, gepresst und verschnürt, als Ausfachung von Holzkonstruktionen ohne Beschichtung, Bindemittel oder chemische Zusätze. Rohdichte (trocken): ca. 90 kg/m³ bis 130 kg/m³, ausgestellt vom Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München für den Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (Antragsteller).

Einige Unternehmen bieten an, den vor Ort produzierten Strohballen als zugelassenes Bauprodukt auszuweisen, wenn die geforderten Materialeigenschaften gegeben sind („Vor-Ort-Ausweisung“). In Österreich führt die Zertifizierung zum Baustrohballen (S-House Ballen) für Wärme- und Schalldämmzwecke nach einer Österreichischen technischen Zertifizierung (ÖTZ-2013/008/6) die „Gruppe angepasste Technologie“ (GrAT) der TU-Wien durch.

3.5 UNTERSUCHUNGEN HINSICHTLICH MECHANISCHER FESTIGKEIT UND STANDSICHERHEIT

3.5.1 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43 „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 1 „Mechanische Festigkeit und Standsicherheit“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

Das Bauwerk muß derart geplant und ausgeführt sein, daß die während der Errichtung und Nutzung möglichen Einwirkungen keines der nachstehenden Ereignisse zur Folge haben:

- a) Einsturz des gesamten Bauwerks oder eines Teiles,*
- b) größere Verformungen in unzulässigem Umfang,*
- c) Beschädigungen anderer Bauteile oder Einrichtungen und Ausstattungen infolge zu großer Verformungen der tragenden Baukonstruktion,*
- d) Beschädigungen durch ein Ereignis in einem zur ursprünglichen Ursache unverhältnismäßig großen Ausmaß.*

3.5.2 Grundlagen zum elastomechanischen Verhalten von Strohballen

Um Aussagen über die mechanische Festigkeit und die Standsicherheit von Strohballenkonstruktionen treffen zu können, wird nachfolgend auf Basis bekannter Forschungsergebnisse das allgemeine Verhalten von Einzelballen und Wänden aus Strohballen unter Belastung kurz erläutert.

3.5.2.1 Lastenwirkungen im Allgemeinen

Wird ein Bauteil belastet, treten Verformungen auf. Je höher die Kraft, desto größer die Verformung – bis zum Versagen des Bauteils. Die Auswirkung der Verformung ist abhängig von der Kraffteinwirkung, den Werkstoffkennwerten, der Geometrie des Bauteils und der Temperatur.

Folgende Belastungsfälle werden unterschieden:⁸³

- Zug
- Druck
- Biegung
- Schub (Abscherung)
- Torsion

Für den bis dato bekannten Strohballenbau sind nur Druckbeanspruchungen bekannt.

3.5.2.2 Werkstoffeigenschaften unter Druck im Allgemeinen

Man unterscheidet grundsätzlich duktiles und sprödes Verhalten von Werkstoffen.

Duktile Werkstoffe, wie z. B. Baustahl weisen im Spannungs-Stauchungsdiagramm ein elastisches Verhalten in der „Hookeschen Gerade“ (Gerade bis zum Punkt σ_{dP} (Proportionalitätsgrenze)) auf (siehe Abb. 3-16), die weitere Verformung ist plastisch. Ab dem Punkt σ_{dF} beginnt der Werkstoff zu fließen, d. h. ohne wesentlicher Lasterhöhung wird der Werkstoff zunächst gestaucht, wobei in der Regel eine Nachverfestigung im Werkstoff stattfindet, welche im Weiteren wiederum eine Erhöhung der Belastung zulässt. Dabei sind am Werkstoff „Bauchungen“ zu beobachten. Ein Bruch des Werkstoffs ist in der Regel nicht zu erwarten. In der Praxis zeigt sich das Versagen des Werkstoffs für gewöhnlich durch das Ausknicken des Bauteils.

⁸³ vgl. *Läpple* (2006): Seite 2 - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 57

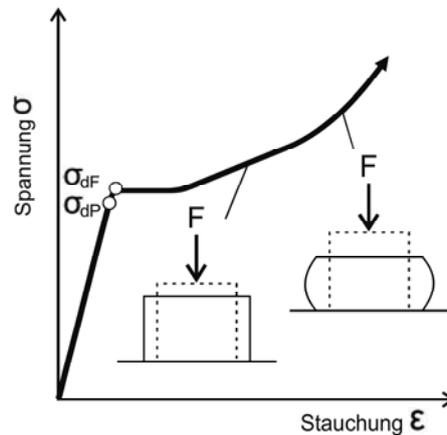


Abb. 3-16: „Spannungs-Stauchungsdiagramm duktiler Werkstoffe mit ausgeprägter Quetschgrenze“ (Benjamin Krick (2008): Seite 58)

Bei spröden Werkstoffen, wie z. B. Keramik, tritt am Ende des linear-elastischen Bereichs durch abrupten Scher- oder Schiebungsbruch das Werkstoffversagen ein (siehe Abb. 3-17).

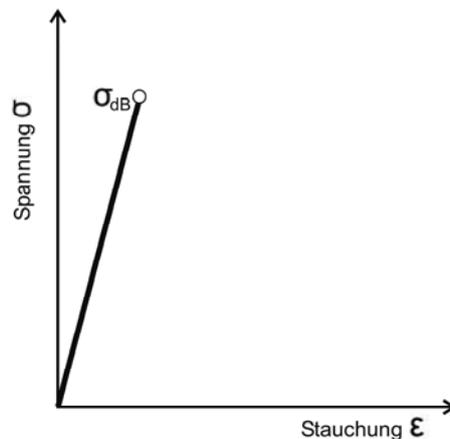


Abb. 3-17: „Spannungs-Stauchungsdiagramm spröder Werkstoffe“ (Benjamin Krick (2008): Seite 58)

Die Strohballen bzw. die Strohballenwände weisen stark duktile Eigenschaften mit besonders ausgeprägtem Verhalten im elastischen Bereich auf.

3.5.2.3 Elastomechanisches Verhalten von Einzelballen

- Unverputzte Strohballen

Die Strohballen werden unter Druckbeanspruchung gestaucht, wobei folgendes gilt:⁸⁴

- Je höher die Belastung, desto größer die Stauchung.
- Je höher die Ballendichte, desto geringer die Stauchung.

Durch die Belastung der Strohballen entsteht eine Dehnung normal zur Belastungsrichtung (Querdehnung), wobei Folgendes zu beobachten ist (siehe auch Abb. 3-18):⁸⁵

- Je höher die Belastung, umso größer die Querdehnung.

⁸⁴ z. B. Bou-Ali (1993) - zitiert in Benjamin Krick (2008): Seite 60

⁸⁵ z. B. Ashour (2003) - zitiert in Benjamin Krick (2008): Seite 60

- Je höher die Ballendichte, umso geringer die Querdehnung.
- Die Querdehnung ist parallel zur Ballenbindung höher als normal zur Ballenbindung.

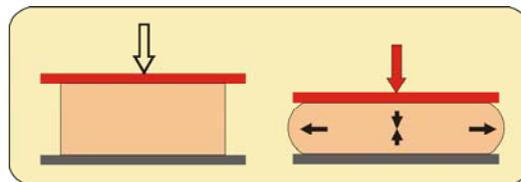


Abb. 3-18: „Verhalten von Einzelballen unter Druckbelastung“
(Benjamin Krick (2008): Seite 60)

- Verputzter Einzelballen

Hierbei ist die Art der Krafteinleitung maßgebend, wobei zwei Versagensbilder bekannt sind (siehe Abb. 3-19):⁸⁶

- Die Krafteinleitung erfolgt über den Strohballen und direkt über den Putz. Hierbei kommt es zum Ausbeulen des Putzes oder zur Zerstörung im Bereich der Kraftaufbringungsstelle.
- Die Krafteinleitung erfolgt über den Strohballen und nicht über den Putz (indirekte Putzbelastung). Hierbei kommt es zu einem Abscheren im Lasteinleitungsbereich, da sich der Ballen stärker verformt als die Putzschicht.

1.

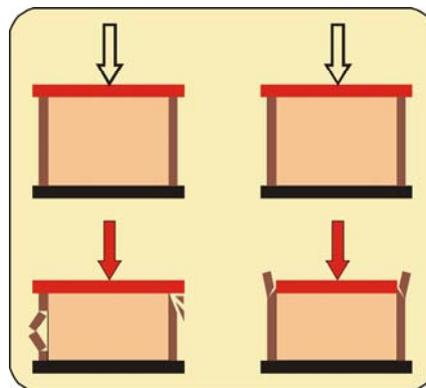


Abb. 3-19: „Typische Versagensbilder verputzter Ballen bei direkt und indirekt belastetem Putz“ (Benjamin Krick (2008): Seite 60)

3.5.3 Elastomechanisches Verhalten von Wänden aus Strohballen im Allgemeinen

Benjamin Krick unterteilt wie folgt drei Belastungsarten (siehe Abb. 3-20)⁸⁷:

- 1) Vertikale Lasten
- 2) Horizontale Lasten senkrecht zur Wand

⁸⁶ vgl. Vardy/McDougall (2006) - zitiert in Benjamin Krick (2008): Seite 60

⁸⁷ vgl. Benjamin Krick (2008): Seite 61

3) Horizontale Lasten in Richtung der Wandebene

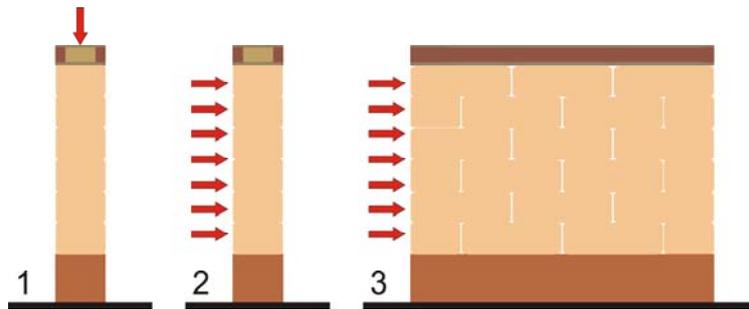


Abb. 3-20: „Belastungsarten: Vertikallast (1), Horizontallast senkrecht zur Wandebene (2), Horizontallast in der Wandebene (3)“
(Benjamin Krick (2008): Seite 61)

- Vertikale Belastung an unverputzten Wänden

Bei unverputzten Wänden zeigen sich bei vertikaler Belastung drei Versagensbilder (Abb. 3.5-1)⁸⁷⁺⁸⁸:

- 1) Schrägstellung der kompletten Wand
- 2) Schrägstellung der obersten Lasteinleitungsplatte
- 3) Ausbeulen der Wand

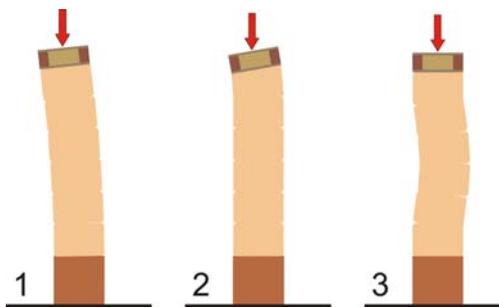


Abb. 3.5-1: „Verhalten unverputzter Wände unter Vertikallast: Schrägstellung der Wand (1), Schrägstellung der oberen Lasteinleitungsplatte (2), Ausbeulen (3)“
(Benjamin Krick (2008): Seite 61)

- Vertikale Belastung an verputzten Wänden

Eine verputzte Wand ist mit einem Sandwich aus außenseitig harter Schale und innenseitig weichem Kern zu vergleichen, wobei die Schichten als kraftschlüssig verbunden zu sehen sind.

Benjamin Krick schreibt in seiner Dissertation, dass *King* bei verputzten Strohballenwänden folgende Versagensbilder identifiziert hat (siehe Abb. 3-21)⁸⁹:

- 1) Globales Ausbeulen der Wand
- 2) Lokales Ausbeulen der Wand

⁸⁸ vgl. *Bou-Ali* (1993) - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 61

⁸⁹ vgl. *King* (2006: 69) - zitiert in *Benjamin Krick* (2008): Seite 61

- 3) Zerstörung des Putzes im Lasteinleitungsbereich
- 4) Abrutschen des Putzes im Lasteinleitungsbereich
- 5) Abscheren des Putzes im Lasteinleitungsbereich (bei indirekt belastetem Putz)

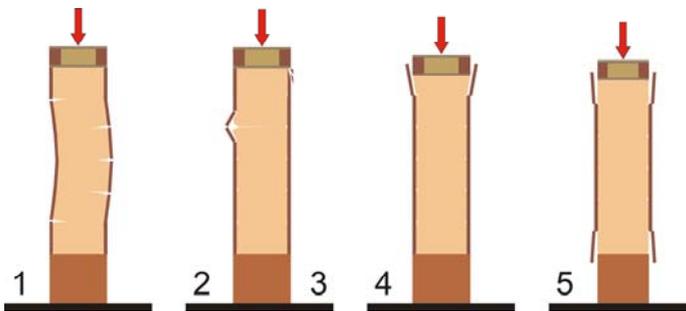


Abb. 3-21: „Versagensbilder verputzter Wände: Globales ausbeulen (1), lokales ausbeulen (2), Zerstörung des Putzes (3), Abrutschen (4), Abscheren (5)“
(Benjamin Krick (2008): Seite 61)

- Horizontale Belastung an unverputzten Wänden normal zur Wandebene

Unverputzte Strohballenwände neigen bei Überbeanspruchung z. B. unter Windlast zum globalen Ausbeulen (siehe Abb. 3-22).⁹⁰

- Horizontale Belastung an verputzten Wänden normal zur Wandebene

Wie bei den unverputzten Strohballenwänden zeigt das Versagensbild bei verputzten Strohballenwänden ein globales Ausbeulen (siehe Abb. 3-22), wobei eine Verformung der Einzelballen von einem Rechteck zum Parallelogramm feststellbar ist. Der Putz reißt bei den Ballenstößen, bei denen er auf Zug beansprucht wird.⁹¹

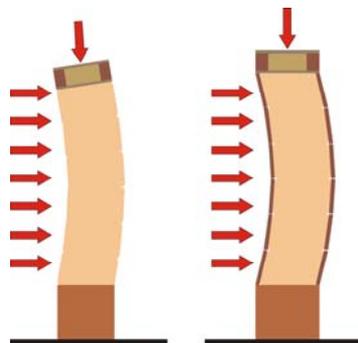


Abb. 3-22: „Verhalten unverputzter (1) und verputzter (2) Strohballenwände unter senkrecht zur Wandebene wirkender Horizontallast“;
(Benjamin Krick (2008): Seite 62)

- Horizontallasten in Richtung der Wandebene

King beschreibt folgende Versagensursachen bei Horizontallasten in Richtung der Wandebene, wie z. B. Wind- oder Erdbebenkräfte:⁹²

⁹⁰ vgl. Bou-Ali (1993) - zitiert in Benjamin Krick (2008): Seite 61

⁹¹ vgl. King (2006) - zitiert in Benjamin Krick (2008): Seite 61

⁹² vgl. King (2006: 106ff) – zitiert in Benjamin Krick (2008): Seite 62

- Reißen des Putzes durch Zugbeanspruchung im Bereich der Lasteinleitung, Risse laufen auf die der Lasteinleitung entgegengesetzte Wanddecke zu (siehe Punkt 1 in Abb. 3-23).
- Putzrisse durch Druckbeanspruchung senkrecht zu den Putzrissen durch Zugbeanspruchung (siehe Punkt 2 in Abb. 3-23).
- Zerstörung des Putzes durch Druckbeanspruchung im Bereich der der Lasteinleitung gegenüberliegenden Wanddecke (siehe Punkt 3 in Abb. 3-23).

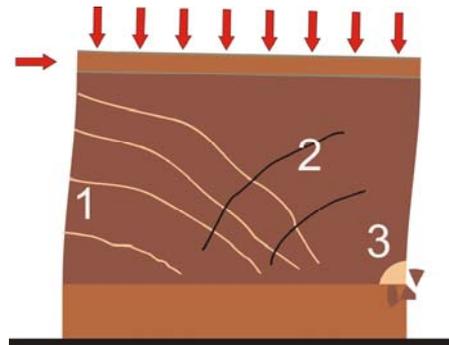


Abb. 3-23: „Versagensbilder bei horizontaler Belastung in Richtung der Wandebene: Risse infolge von Zug- (1), bzw. Druckbeanspruchung (2), Zerstörung des Putzes durch Druckbeanspruchung (3); (Benjamin Krick (2008): Seite 62)

3.5.4 Diverse elastomechanische Untersuchungen mit Kurzbeschreibungen

Im Anhang der Dissertation von *Benjamin Krick* sind folgende Arbeiten mit Kurzbeschreibungen über elastomechanische Untersuchungen von Einzelballen und Strohballenwänden angeführt,⁹³ zu denen *Benjamin Krick* im Weiteren Zusammenfassungen erstellt hat.

- 1) *Bou Ali 1993: „Straw Bales and Straw-Bale Wall Systems“*. In dieser, an der *University of Arizona* entstandenen Masterarbeit, wird das Verhalten von Strohballen und Strohballenwänden unter Belastung untersucht.
- 2) *Thompson/Watts/Wilkie/Corson 1995: “Thermal and Mechanical Properties of Straw Bales As They Related to a Straw House”*: Gegenstand der Untersuchungen war das elastomechanische Verhalten von flach liegenden Weizen-, Hafer- und Gersteballen.
- 3) *Grandsaert 1999: „A Compression Test of Plastered Straw-Bale Walls“* Master Thesis, *University of Colorado at Boulder, USA*. Es wurden jeweils drei Wände mit 3 unterschiedlichen Wandaufbauten getestet.
- 4) *Stephens/Bundinger 2000: Stephens, Don and Budinger & Associates Inc., laboratory Test: Versuche mit Höchstdruckballen*.

⁹³ *Benjamin Krick* (2008): Seite A 28 ff.

- 5) Zhang: 2000: *“Load-Carrying Characteristics of a Single Straw Bale Under Compression”*, 2002: *“A Pilot Study examining and comparing the load bearing capacity and behaviour of an earth rendered straw bale wall to cement rendered straw bale wall”*, 2005: *“Preliminary Discussion of Bale on Edge Wall Test”*
Elastomechanische Untersuchungen an verputzten und unverputzten Einzelballen, flach- und hochkant liegend, sowie an verputzten Wänden.
- 6) Smith 2003: *“Creep in Bale Walls”*: *Untersucht wurde das Kriechverhalten von Wandelementen unter Dauerlast.*
- 7) Ashour 2003: *“The use of renewable agricultural by-products as building materials”*. In dieser Dissertation, die auch an der FAL Braunschweig bearbeitet wurde, beschäftigt sich der Autor mit der Untersuchung von Strohballen hinsichtlich der Verwendung für Bauten in Ägypten. Es wurden Untersuchungen zum hygroskopischen, elastomechanischen und thermischen Verhalten von Weizen- und Gerstenstrohbällen durchgeführt.
- 8) Schmidt 2003: *“Strohballendruckversuche”*: *Untersuchungen an Quader- und Kleinballen.*
- 9) Vardy/MacDougall 2006: *„Compressive Testing and Analysis of Plastered Straw Bales”*: *Untersuchungen an verputzten Ballen unterschiedlicher Ausrichtung und Putzstärken.*
- 10) Danielewicz/Reinschmidt 2007: *„Lastversuche mit großen Quaderballen an der Hochschule Magdeburg-Stendal”*. *Untersucht wurde das Verhalten von flach liegenden Quaderballen und Wänden aus Quaderballen in flach liegender Orientierung.*

Unter Beachtung der Ergebnisse aus o. a. Arbeiten entwickelte Benjamin Krick seine Dissertation mit dem Titel: *„Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise“* (2008). Zeitgleich und in Synergie entstand die Forschungsarbeit *„Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance“* (2008).

In Hinblick auf das in dieser Diplomarbeit angeführte Planungsbeispiel mit Großballen, wird an dieser Stelle speziell auf die nachfolgend angeführten Untersuchungen mit Großballen eingegangen:

- 1) *Stephens/Bundigner* 2000: Analysierte nachkomprimierte Ballen, mit der Bezeichnung „Bluegrass“, mit den Abmessungen von 61 cm * 61 cm * 40,6 cm, welche alle 76 mm mit einem Polypropylengarn gebunden waren. Die Ballendichte betrug 288 kg/m³. – Bei hochkant liegender Positionierung zeigten die Ballen unter Belastung ein lineares Verhalten bis zu einer Spannung von 120 kN/m² bei einer Stauchung von nur 13 mm. Das E-Modul wurde mit 6,84 MN/m² errechnet.⁹⁴
- 2) *Schmidt* 2003: Die Großballen hatten Abmessungen von 73 cm * 125 cm * 250 cm und wurden mit sechs zusätzlichen Bindungen aus Verpackungsbändern versehen und mit einer Längseinspannung über Verpackungsbänder (getestet) flach liegend getestet. Die Auswertung der Ergebnisse aus Prüfprotokollen hat *Benjamin Krick* in seiner Dissertation wie folgt vorgenommen (vgl. hierzu auch Abb. 3-24):⁹⁵
 - *Der Unterschied zwischen flach liegenden eingespannten und nicht eingespannten Quaderballen ist marginal. Der E-Modul der Quaderballen konnte aus den vorliegenden Daten mit $E = 420 \text{ kN/m}^2$ berechnet werden.*
 - *Der Unterschied zwischen den flach liegenden Kleinballen mit und ohne Einspannung ist signifikant.*
 - *Die E-Module liegen bei $E = 350 \text{ kN/m}^2$ für den nicht eingespannten bzw. bei $E = 622 \text{ kN/m}^2$ für den eingespannten flach liegenden Ballen.*
 - *Der Unterschied zwischen den hochkant liegenden Kleinballen mit und ohne Einspannung ist signifikant. Die E-Module liegen bei $E = 309 \text{ kN/m}^2$ für den nicht eingespannten bzw. bei $E = 996 \text{ kN/m}^2$ für den eingespannten hochkant liegenden Ballen.*
 - *Der eingespannte hochkant liegende HD-Ballen ist steifer als der flach liegende eingespannte. Bei nicht eingespannten Ballen sind die Unterschiede marginal.*
 - *Es fällt besonders auf:*
 - *Die sehr hohen E-Module der eingespannten HD-Ballen*
 - *Das schlechte Abschneiden der Quaderballen gegenüber den HD-Ballen*
 - *Die marginalen Unterschiede zwischen dem eingespannten und dem nicht eingespannten Quaderballen, auch im Vergleich mit den diesbezüglichen Unterschieden bei den HD-Ballen*⁹⁶

⁹⁴ vgl. *Stephens, Budinger* (2000) - zitiert in *Bruce King* (2006): Seite 72

⁹⁵ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite A 41

⁹⁶ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite A 41

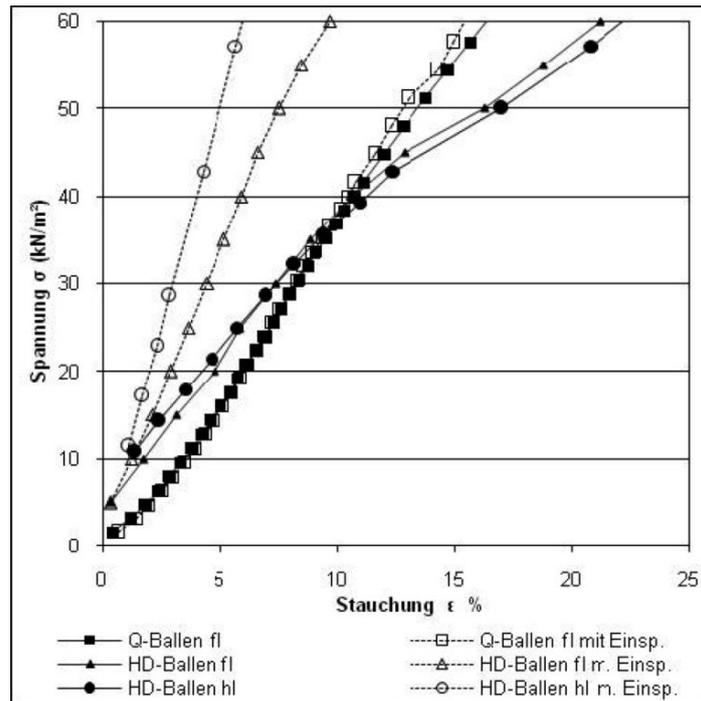


Abb. 3-24: „Spannungs-Stauchungs-Diagramm“
(Daten aus Schmidt 2003: 4ff; zusammengestellt von Benjamin Krick (2008): Seite A 41)

- 3) *Danielewicz/Reinschmidt 2007: Laut Benjamin Krick⁹⁷ handelt es sich hierbei um einen Zwischenbericht Version 2a. Im Abschlussbericht DBU-Projekt Az, 2243098 sind die Lastversuche an Großballen von Ireneusz Danielewicz von der Hochschule Magdeburg–Stendal im Detail beschrieben, aus denen die Zusammenfassung im Punkt 3.5.5 erstellt wurde.*

3.5.5 Lastversuche an Großballen an der Hochschule Magdeburg–Stendal

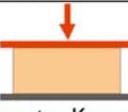
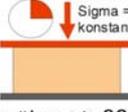
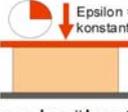
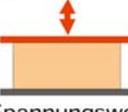
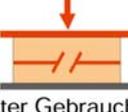
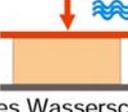
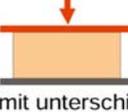
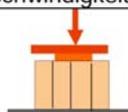
Die Lastversuche für Großballen an der Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Bauwesen (HS-MD-SDL) unter der Leitung von *Ireneusz Danielewicz* sind im Abschlussbericht⁹⁸ im Detail beschrieben. Nachfolgend ist das ausgeführte Untersuchungsprogramm an Einzelballen und an Wandelementen in der Tab. 3- 3 und der Tab. 3- 4 aufgelistet. Im Anschluss sind in Hinblick auf das Mustergebäude in Kapitel 5 und in Hinblick auf den experimentellen Versuch in Kapitel 6 einige ausgewählte Untersuchungen zusammenfassend beschrieben.

⁹⁷ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite A 43

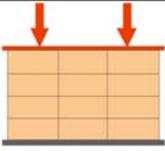
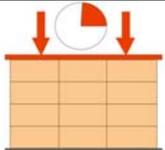
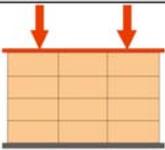
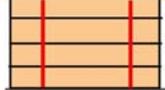
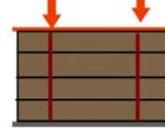
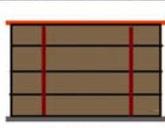
⁹⁸ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 36 ff

3.5.5.1 Versuchsprogramm

Tab. 3- 3: „Versuchsprogramm an Einzelballen“ (Abschlussbericht (2008): Seite 40)

1	Versuche an Einzelballen	Beschreibung	Zweck/Ergebnis
1.1	 Druckversuche unter Kurzzeitbelastung	7 Versuche mit Druckspannung von: 5 x max $\sigma \geq 400 \text{ kN/m}^2$ 2 x max $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$	$\sigma - \varepsilon$ - Kennlinie und E-Modul der Strohballen
1.2	 Kriechversuche über $t \geq 30$ Tage	2 Versuche Dauerbelastung mit Anfangsspannung von: $\sigma_0 \approx 60 \text{ kN/m}^2$	$\varepsilon - t$ - Kennlinie; Setzungsverhalten unter konstanter Spannung; Verhalten unter Dauerlast
1.3	 Relaxationsversuche über $t \geq 30$ Tage	3 Versuche Dauerstauchung von: $\varepsilon_{1\text{-konst.}} = 10\%$ $\varepsilon_{2\text{-konst.}} = 20\%$ $\varepsilon_{3\text{-konst.}} = 30\%$	$\sigma - t$ - Kennlinie; Spannungsabbau unter konstanter Stauchung; Spannungsverlust infolge Relaxation
1.4	Schubversuch unter Gebrauchs- Druckspannung	durch Wandversuche ersetzt	Bestimmung des Schubmoduls ; Eignung der Strohballen zur Gebäudeaussteifung.
1.5	 Wiederholter Spannungswechsel	2 Versuche wiederholte Be- und Entlastung auf dem Gebrauchslastniveau	$\sigma - \varepsilon$ -Hysterese unter Wechselbelastung, E-Modul unter Wiederbelastung ;
1.6	 Garnausfall unter Gebrauchsspannung	2 Versuche Durchtrennen der Garne an Ballen unter Druckspannung	Tragverhalten nach Garnausfall unter Gebrauchslasten; Sicherheit gegen ungewollte Garnbeschädigung unter Gebrauchslasten
1.7	 Simulation eines Wasserschadens	2 Versuche Flutung eines mit Druck belasteten Ballens Wasserhöhe von 5 cm	Einfluß des Schlagregens bzw. eines Rohrbruches auf Setzungsverhalten und Tragfähigkeit
1.8	 Druckversuch mit unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten	2 Druckversuche mit unterschiedlichen Belastungsgeschwindig- keiten	Überprüfung des Einflusses der Belastungsgeschwindigkeit auf die Tragfähigkeit
1.9	 Druckversuche unter Teilflächenbelastung	2 Versuche Einleitung der Belastung über einen schmalen Rähm.	Überprüfung der Tragfähigkeit der Einzelballen bei einer nicht voll-flächigen Lasteinleitung

Tab. 3- 4: „Versuchsprogramm an Wandelementen“ (Abschlussbericht (2008): Seite 41)

2	Versuche an Wandelementen	Beschreibung	Zweck/Ergebnis
	Alle Versuche wurden an zwei vorgespannten Wänden durchgeführt.		
2.1	 <p>Druckversuch unter Kurzzeitbelastung</p>	2 Versuche Herstellung von vorgespannten Wandelementen $P_1 \rightarrow \varepsilon_1 = 23 \%$ $P_2 \rightarrow \varepsilon_2 = 15 \%$	Verifizierung der $\sigma - \varepsilon$ -Kennlinie, E-Modul der Wandelemente
2.2	entfällt	-	-
2.3	 <p>Sigma = konstant Relaxationsversuch über $t \geq 80$ Tage</p>	2 Versuche Messung der Verluste der Vorspannkraft unter konstanter Stauchung, wie unter 2.1 erzeugt Versuchsdauer: Wand 1 $t = 80$ Tage Wand 2 $t = 100$ Tage	Überprüfung der Relaxationsverluste der Einzelballen Festlegung der erforderlichen Vorspannung für $t = 0$
2.4	 <p>Druckversuch nach 30 Tagen Dauerlast</p>	2 Versuche Belastung mit einer äußeren Last mit einem Maximalwert F von : $F_1 < P_1$ und $F_2 < P_2$	Verifizierung der $\sigma - \varepsilon$ -Beziehung der vorgespannten Wand
2.5	 <p>Schubversuch nach 30 Tagen Dauerlast</p>	2 Versuche Horizontalbelastung am Wandkopf bis zur signifikanten Abnahme des Widerstandes	Festlegung des Schubmoduls G der Strohballenwände, Eignung zur Gebäudeaussteifung
2.6	 <p>Druckversuch nach 160 Tagen Dauerlast</p>	1 Versuch Druckbelastung am Wandkopf einer verputzten Wand über die Vorspannkraft	Überprüfung des Putz-Einflusses auf die vertikale Tragfähigkeit der Wand
2.7	 <p>Schubversuch nach 90 Tagen Dauerlast an verputzten Wänden</p>	2 Versuche Horizontalbelastung am Wandkopf einer verputzten Wand bis zur signifikanten Abnahme des Widerstandes	Überprüfung des Putz-Einflusses auf die Schubtragfähigkeit der Wände, Eignung zur Gebäudeaussteifung

3.5.5.2 Materialgrößen der verwendeten Großballen

Details zu den untersuchten Strohballen⁹⁹:

Getreidesorte:	Roggenstroh aus kontrolliertem biologischem Anbau
Abmessungen:	185 cm * 85 cm * 48 cm (Länge * Breite * Höhe)
Rohdichte i. M.:	129 kg/m ³
verwendete Ballenpresse:	New Holland D710

⁹⁹ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008). Seite 42

3.5.5.3 Rohdichtebestimmung

Die Ballen waren sehr ungleichmäßig gepresst, was bei der Streuung der Rohdichtenbestimmung von 36 Ballen deutlich erkennbar wird (siehe Abb. 3-25).

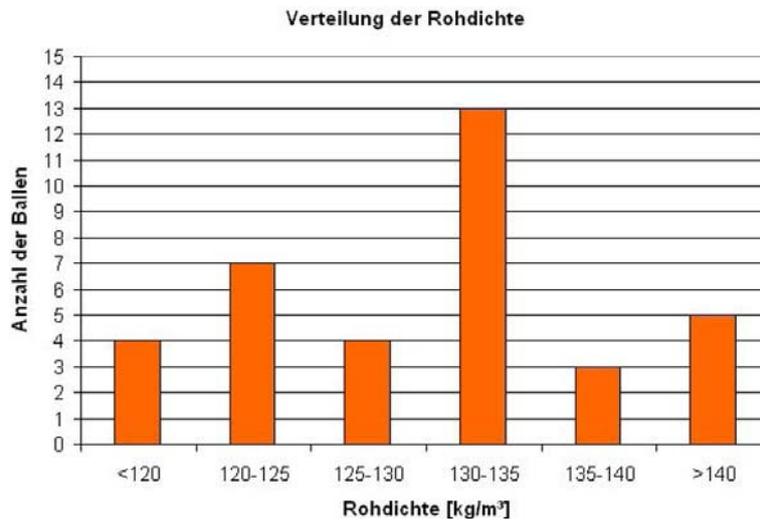


Abb. 3-25: „Rohdichteverteilung der untersuchten Strohballen“
(Abschlussbericht (2008): Seite 43)

3.5.5.4 Druckbelastungen an Einzelballen

In der Abb. 3-26 ist das Spannungs-Stauchungs-Verhältnis der auf Druck geprüften Einzelballen ersichtlich.

Die Spannungs-Stauchungs-Beziehung weisen drei Bereiche auf:¹⁰⁰

- | | |
|---|---|
| 1) Bereich bis $\varepsilon = 15 \%$ | Elastizitätsmodul bei ca. 750 kN/m^2 konstant |
| 2) Bereich bis $\varepsilon = 15 - 30 \%$ | Abflachung der $\sigma - \varepsilon$ -Linie auf $E = 300 \text{ kN/m}^2$ |
| 3) Bereich bis $\varepsilon = 30 - 50 \%$ | überproportionaler Spannungsanstieg |

Anzumerken ist, dass die Grenzbelastung der Proben nicht erreicht werden konnte, die Prüfung wurde bei einer Stauchung von über 50 % abgebrochen.

¹⁰⁰ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 47 ff

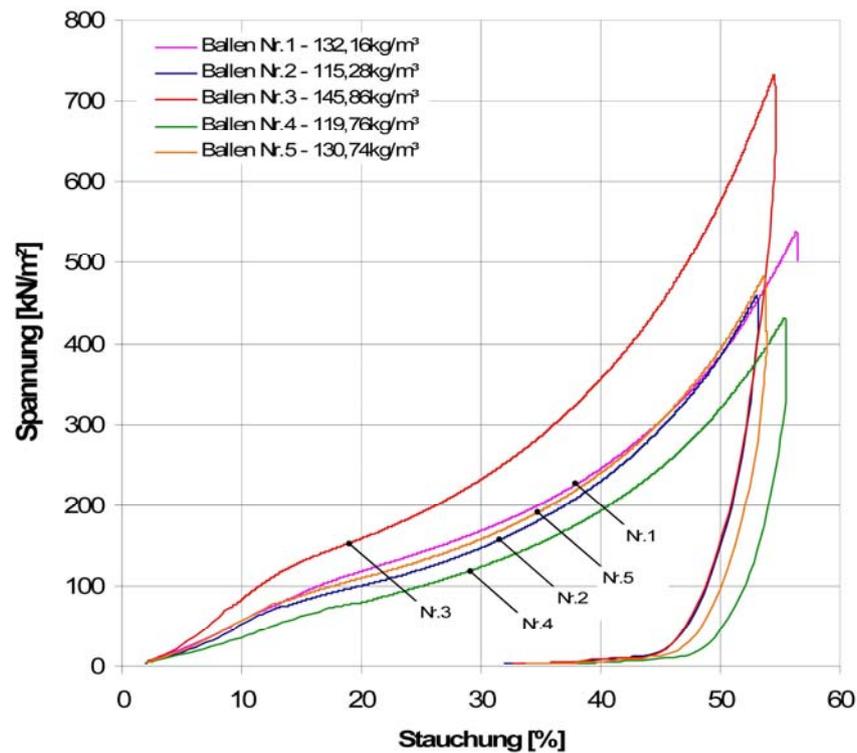


Abb. 3-26: „ $\sigma - \varepsilon$ – Beziehung der Einzelballen unter Druckbelastung“
(Abschlussbericht (2008): Seite 48)

3.5.5.5 Relaxationsverhalten von Einzelballen

Es wurde an fünf Strohballen das Relaxationsverhalten untersucht. Die Ballen hat man dazu auf 10 %, 20 % und 30 % gestaucht, wobei die Stauchung während der Versuchsdauer bis zu 33 Tagen konstant blieb. In der nachfolgenden Abb. 3-27 ist der Spannungsabbau ersichtlich, der am Ende zwischen 46 % und 59 % der Anfangsspannung betrug. Die geringfügigen Schwankungen sind auf die Luftfeuchtigkeit im Labor zurück zu führen.¹⁰¹

¹⁰¹ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): 52 ff

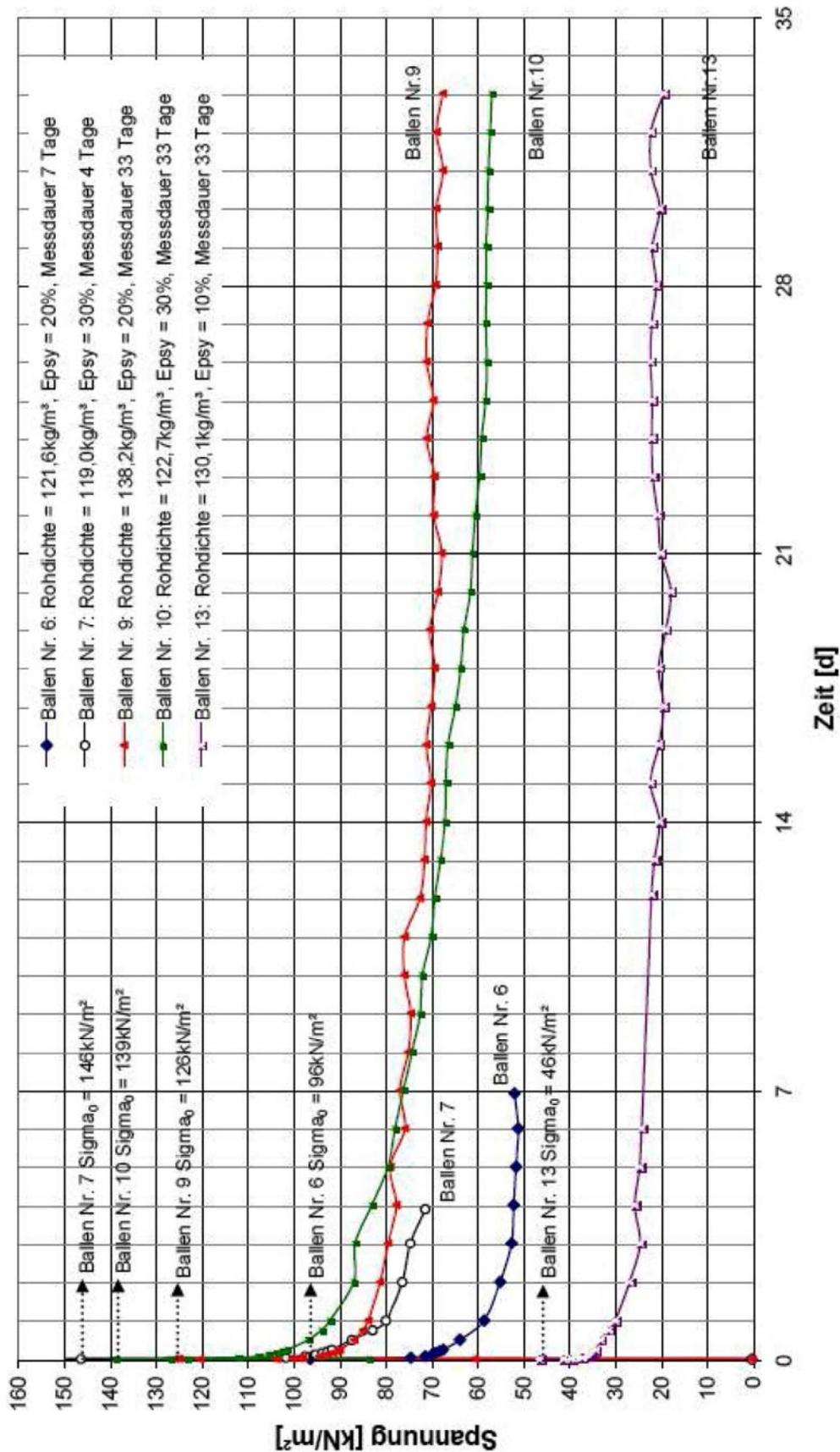


Abb. 3-27: „Relaxationsversuche an Einzelballen – Abbau der Spannung bei konstanter Stauchung“ (Abschlussbericht (2008): Seite 55)

3.5.5.6 Versuchsaufbau unverputzter Wände

In Hinblick auf das Mustergebäude in Kapitel 5 und im Hinblick auf den experimentellen Versuch in Kapitel 6 sind nachfolgend die Versuche von den Wandelementen aus Großballen zusammengefasst.¹⁰²

Die Materialgrößen der verwendeten Strohballen sind aus dem Punkt 3.5.5.2 zu entnehmen.

Es wurden zwei Wandelemente mit etwa 3 m Höhe aus sieben flachliegenden Strohballen untersucht, wobei Unterschiede in der Einleitung der Vorspannung und der Vorspannkraft sowie in der Konstruktion von Schwelle und Rähm bei den Tests gemacht wurden. In der Abb. 3-28 ist die Versuchswand Nr. 1 dargestellt.

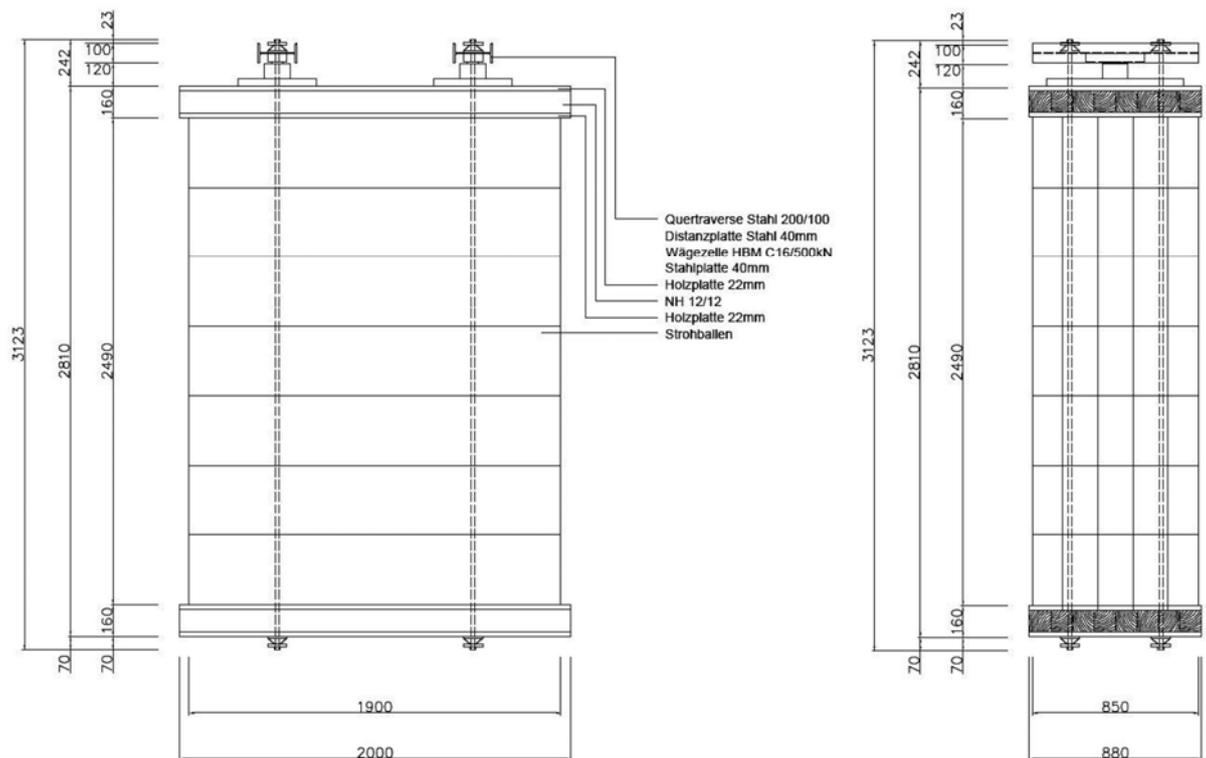


Abb. 3-28: „Plandarstellung von Versuchswand Nr. 1“
(Abschlussbericht (2008): Seite 69)

Vorversuche aus den Jahren 2005 an etwa 3 m hohen Strohballenwänden aus Weizenstroh haben gezeigt, dass beim Einleiten der Druckkräfte ungleichmäßige Stauchungen auftreten und die Wandebene ausknicken kann. Erst nach Herstellung von „Führungsschienen“ aus massiven Kanthölzern konnten die hohen Druckkräfte eingeleitet werden, die zu den gewünschten Spannungen von etwa 80 kN/m² bei ca. 15 % Stauchung führten.¹⁰³

¹⁰² vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008). Seite 67 ff

¹⁰³ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008). Seite 67

Im Weiteren wird im Kapitel über die Vorversuche angemerkt, dass mit Hilfe der Vorspannung relativ einfach Abhilfe gegen ungleichmäßige Setzungen oder ungewolltes Knicken bzw. Beulen der Strohballenwände geschaffen werden kann, indem die Spannglieder im Wandinneren angeordnet werden. Dies bewirkt eine Art Wandaussteifung und zusätzlich ermöglicht die Vorspanneinrichtung bei einer ungewünschten Wandverformung während der Lastaufbringung ein korrigierendes Eingreifen.¹⁰³

Diese Vorversuche führten zur Erkenntnis, dass der lasttragende Strohballeneinsatz nur in Verbindung mit der Vorspannung erfolgversprechend ist und daher wurden die Wandversuche an vorgespannten Strohballenwänden vorgenommen.¹⁰³

3.5.5.7 Vorspannung unverputzter Wandelemente

Siehe Position 2.1 aus dem Untersuchungsprogramm im Punkt 3.5.5.1.

- Versuchswand Nr. 1:

Die Plandarstellung der Wand ist in der Abb. 3-28 ersichtlich. Ziel der Vorspannung war die Einleitung der Vorspannkraft von 165 kN. Hierbei war aufgrund der Ergebnisse der Prüfungen von Einzelballen eine Stauchung von etwa 23 % zu erwarten.

Ab einer Stauchung von rund 16 % wurde eine Horizontalverschiebung des Rähms ersichtlich, die am Ende des Vorspannvorgangs in Wandlängsrichtung 15 cm, in die Wandquerrichtung 10 cm betragen hat (vgl. Abb. 3-29).

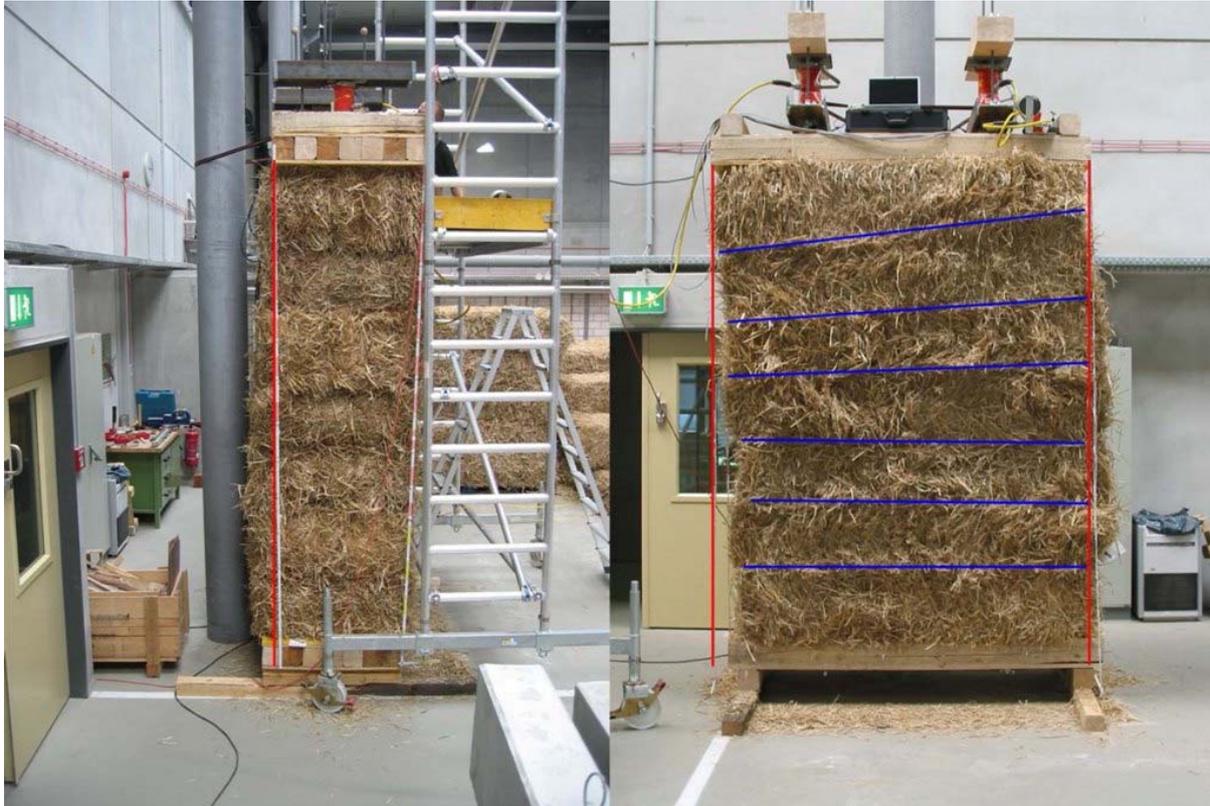


Abb. 3-29: „Versuchswand Nr. 1“
(Abschlussbericht (2008): Seite 43)

- Versuchswand Nr. 2:

Bei der Versuchswand Nr. 2 wurden im Vergleich zur Versuchswand Nr. 1 der Rähm und die Schwelle lediglich mit einer Breite von nur 40 cm ausgeführt. Bei diesem Wandversuch wurde eine bleibende Spannung von 40 kN/m² angezielt. Aus den Versuchen mit Einzelballen war abzuleiten, dass hierfür eine Vorspannung von 80 kN/m² erforderlich ist, die bei voller Flächenbelastung zu einer Stauchung von 15 % führt. Diese 80 kN/m² wurden als Anfangsspannung aufgebracht, wobei aufgrund der kleineren Breite von Schwelle und Rähm eine Stauchung für den obersten und untersten Ballen von etwa 22,5 % zu erwartet war. Bei der Versuchswand Nr. 2 wurden keine unerwarteten Verformungen festgestellt.

3.5.5.8 Relaxationsversuche an unverputzten Wänden

Siehe Position 2.3 aus dem Untersuchungsprogramm im Punkt 3.5.5.1.

- Versuchswand Nr. 1:

Die Versuchswand wurde um 23,5 % gestaucht, wofür zu Beginn eine Druckkraft von 163 kN erforderlich war. Dies bedeutete eine Anfangsspannung von 113 kN/m². Nach 7 Tagen wurde die Belastungsanlage leicht modifiziert und im Anschluss wurde die Wand wieder um 23,5 % gestaucht.

Bei diesem Versuch war die Relaxation auch nach 99 Tagen nicht gänzlich abgeschlossen. Dennoch kann aus dem Ergebnis abgeleitet werden, dass die Annahme mit dem Verlust der Vorspannkraft von 50 % auf der sicheren Seite liegt und dass auch die Ergebnisse von den Versuchen mit Einzelballen annähernd vergleichbar sind (siehe Abb. 3-30).¹⁰⁴

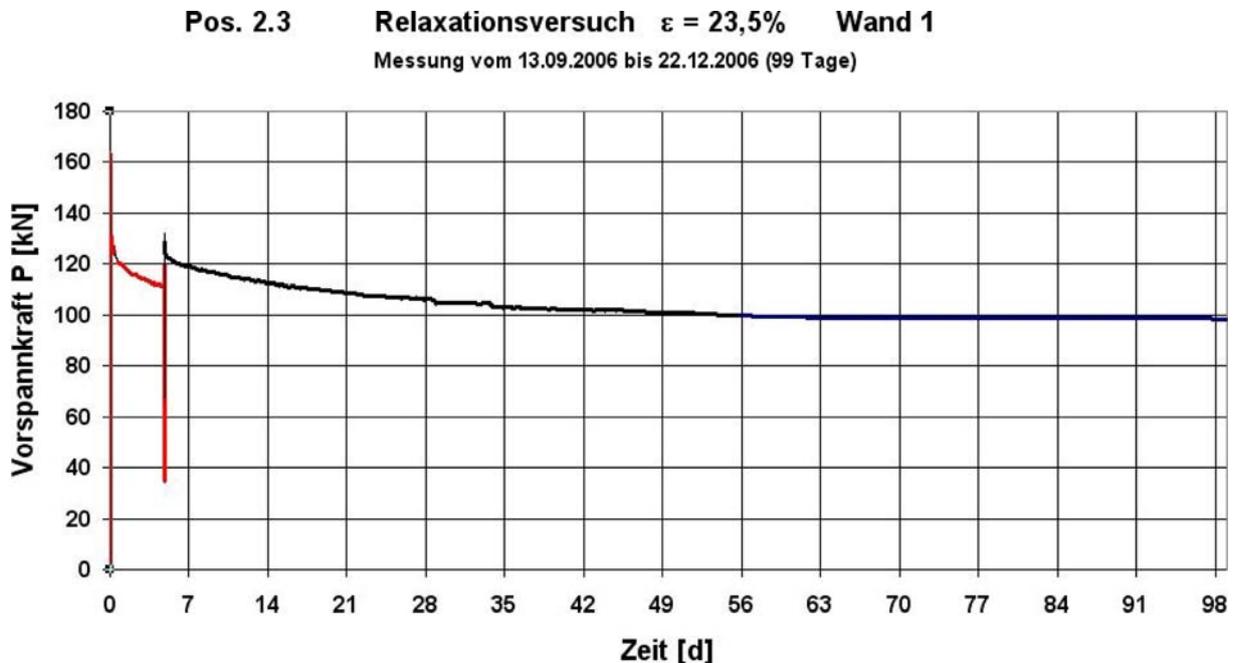


Abb. 3-30: „Versuchswand Nr. 1: Relaxationsversuch; Stauchung $\varepsilon = 23\%$ = konstant
(Abschlussbericht (2008): Seite 72)

- Versuchswand Nr. 2:

Die Versuchswand wurde am Hallenboden liegend vorgespannt und um 16 % gestaucht, wofür zu Beginn eine Druckkraft von 114 kN erforderlich war. Dies bedeutet eine Anfangsspannung von 79 kN/m². Nach einer Woche wurde die Wand aufgerichtet und in den Prüfstand eingebaut, was im Diagramm der Abb. 3-31 ersichtlich ist. Durch das Aufrichten der Wand und unter Beibehaltung der Stauchung von 16 % verringert sich die Vorspannkraft um das Eigengewicht der Wand mit Schwelle und Rähm inkl. der Messeinrichtung.

Am 31. Tag wurde die Wand druck- und schubbelastet, wobei über die 16 % Vorspannung komprimiert wurde. Die weiteren Sprünge kennzeichnen das wiederholte Versetzen der Wand.

Der leichte Anstieg der Spannkraft ist auf die klimatischen Einflüsse in der Laborhalle zurück zu führen.

¹⁰⁴ Abschlussbericht (2008): Seite 72

Auch bei der Versuchswand Nr. 2 sind Verluste der Vorspannkraft bis zum Schluss erkennbar. Wenngleich aufgrund der mehrmaligen Manipulation der Versuchswand die Bewertung erschwert ist, kann dennoch der Relaxationsverlust mit ungefähr 55% quantifiziert werden.¹⁰⁵

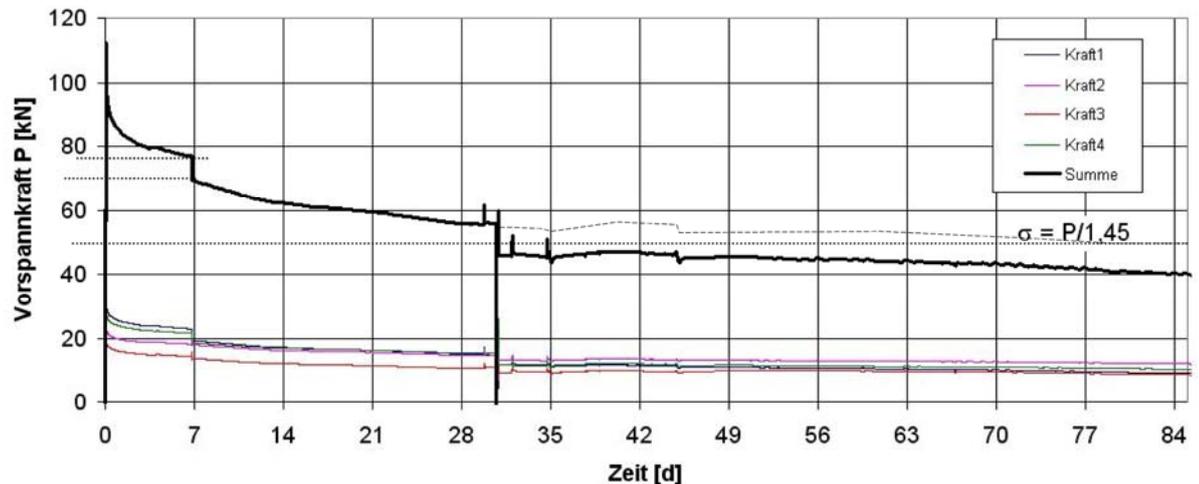


Abb. 3-31: „Versuchswand Nr. 2: Relaxationsversuche; Stauchung e = 16 % = konstant“
(Abschlussbericht (2008): Seite 72)

3.5.5.9 Kurzzeit-Druckversuche an unverputzten, vorgespannten Wänden

Siehe Position 2.4 aus dem Untersuchungsprogramm im Punkt 3.5.5.1.

- Versuchswand Nr. 1:

Der Druckversuch an der Versuchswand Nr. 1 wurde nach dem 99-tägigen Relaxationsversuch bei 23,5 % Stauchung und einer noch verbliebenen Vorspannkraft von etwa 90 kN durchgeführt. Bei dem Kurzzeit-Druckversuch waren zwei Messsysteme installiert:

- Kraftmessdose zwischen dem Zylinder der Presse und der Stahlkonstruktion (äußere Last);
- Kraftmessdosen zwischen Stahlkonstruktion und dem Rähm;

Anmerkung des Verfassers: Im Diagramm der Abb. 3-30 ist nach 99 Tagen eine Vorspannkraft von etwa 98 kN ersichtlich, in der Beschreibung zum gegenständlichen Versuch werden 90 kN angegeben und aus dem Diagramm in der Abb. 3-32 sind wiederum 80 kN zu entnehmen. Vermutlich ist es aufgrund der Änderung des Versuchsaufbaus und Neupositionierung der Messeinrichtungen zu derartigen Differenzen gekommen.

¹⁰⁵ Abschlussbericht (2008): Seite 72 f

Die Kraft-Stauchungs-Beziehung können wir in zwei Bereiche unterteilen:

- Bereich 1 mit geringer Stauchung unterhalb der noch vorhandenen Vorspannung (bis rund 90 kN) mit einem Elastizitätsmodul von etwa $17,6 \text{ MN/m}^2$
- Bereich 2 mit erheblich höherer Stauchung über der noch vorhandenen Vorspannungskraft (ab rund 90 kN) mit einem Elastizitätsmodul von etwa $0,97 \text{ MN/m}^2$. Damit liegt dieser Elastizitätsmodul über ca. 30% von jenem Elastizitätsmodul für nicht vorgespannte Strohballen unter wiederholter Belastung.

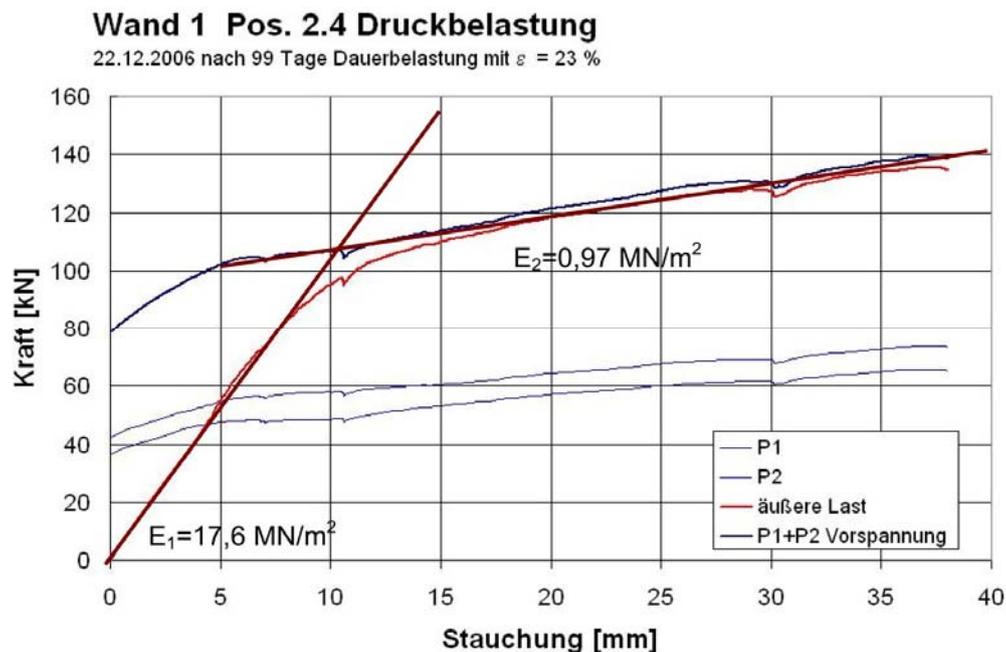


Abb. 3-32: „Kraft-Stauchungs-Beziehung für die vorgespannte Strohballenwand (Nummer 1) nach 99 Tagen Dauerbelastung bei einer konstanten Stauchung von $\varepsilon = 23 \%$ “ (Abschlussbericht (2008): Seite 74)

- Versuchswand Nr. 2:

Dieser Versuch wurde nach 30 Tagen Dauerbelastung bei einer konstanten Stauchung von $\varepsilon = 16 \%$ und einer verbleibenden Vorspannung von 49 kN an der Wand Nr. 2 vorgenommen. In diesem Fall wurde die Druckbelastung durch einen Stempel in der Mitte unmittelbar auf den Rähm eingeleitet. Bei dieser Versuchswand sind die Kraftmessdosen der einzelnen Spannroststäbe unter der Schwelle platziert, so dass mit der steigenden Belastung der Wand die Vorspannkräfte entsprechend vermindert werden.¹⁰⁶

Erwartungsgemäß finden wir auch bei diesem Versuch eine lineare Kraft-Stauchungs-Beziehung unterhalb der Vorspannungskräfte (siehe Abb. 3-33), jedoch vermindert die aufgebrachte Kraft nicht im gleichen Maß die Vorspannkraft, es verbleibt bei einer Druckkraft

¹⁰⁶ vgl. Abschlussbericht (2008): Seite 75 f

von 60 kN eine Restkraft der Vorspannung von 11 kN. – Dies kann mit der Verzahnung bzw. Verklebung zwischen den Spannstäben und dem Stroh bzw. dem Schwellen- und dem Rähmholz begründet werden, denn bei vollständig abgeschraubter Schraubenmutter zeigen die Kraftmessdosen Spannungen an. Erst beim Zurückschlagen der Spannstäbe (einige Millimeter) in die Strohwand wird die Kraft „Null“ gesetzt. Aus diesem Versuch lässt sich ein Elastizitätsmodul von 30,9 MN/m² ableiten.¹⁰⁶

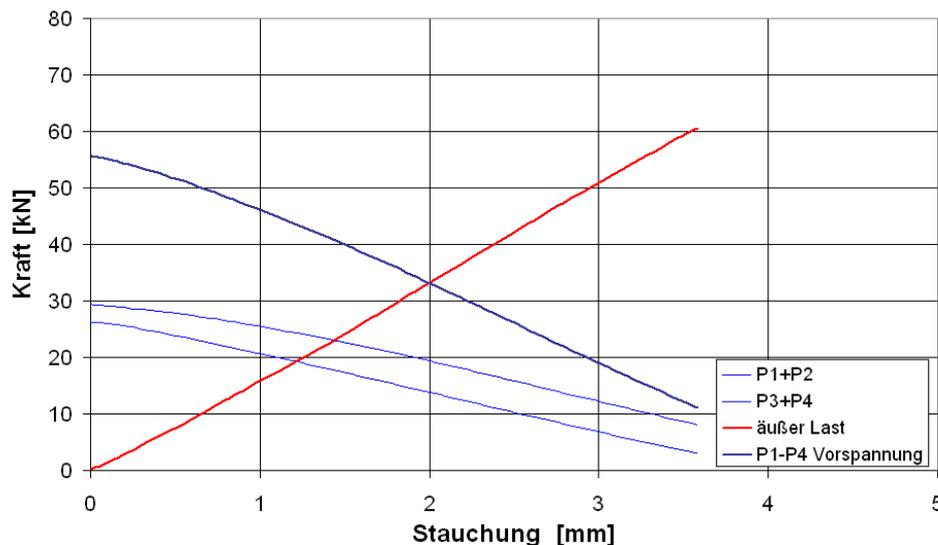


Abb. 3-33: „Kraft-Stauchungs-Beziehung für die vorgespannte Strohballenwand (Nummer 2) nach 30 Tagen Dauerbelastung bei einer konstanten Stauchung von $\varepsilon = 16 \%$ “ (Abschlussbericht (2008): Seite 75)

3.5.5.10 Schubversuch an unverputzten, vorgespannten Wänden

Siehe Position 2.5 aus dem Untersuchungsprogramm im Punkt 3.5.5.1.

Unmittelbar nach den Druckversuchen (Position 2.4) wurden die Schubversuche an beiden Versuchswänden durchgeführt. Die Lasteinleitung erfolgte über den Pressenstempel auf den Rähm.¹⁰⁷

Bei einer Kopfverschiebung von etwa 10 mm (Abflachung der Linie) wurde eine geringe Relativverschiebung zwischen Rähm und Strohballen beobachtet. Anzumerken ist, dass keine Dübel oder ähnliche Verbindungsmittel zur Schubsicherung verwendet wurden. Offensichtlich ist bei der vorhandenen Vorspannung die Reibung zw. dem Rähmholz und dem Stroh an den Kontaktflächen so groß, so dass die Horizontalkräfte bis zu 4,2 kN übernommen werden können. Erhöht man die Horizontalkraft, dann wird die Zugstange

¹⁰⁷ vgl. Abschlussbericht (2008): Seite 77 f

gegen das Stroh gedrückt. Im Weiteren konnte beobachtet werden, dass die Schubverformung über die ganze Wand aufgeteilt und nicht nur in den Ballenfugen erkennbar war. Die Wand 1 reagiert aufgrund der höheren Vorspannung mit einem größeren Schubwiderstand. In der Praxis ist als Bemessungskriterium wohl die Begrenzung der Verformung bei etwa 10mm anzusehen. Aus den Versuchen können folgende Schubmodule abgeleitet werden (siehe Abb. 3-34 und Abb. 3-35):¹⁰⁷

- Versuchswand Nr. 1: 950 kN/m²
- Versuchswand Nr. 2: 742 kN/m²

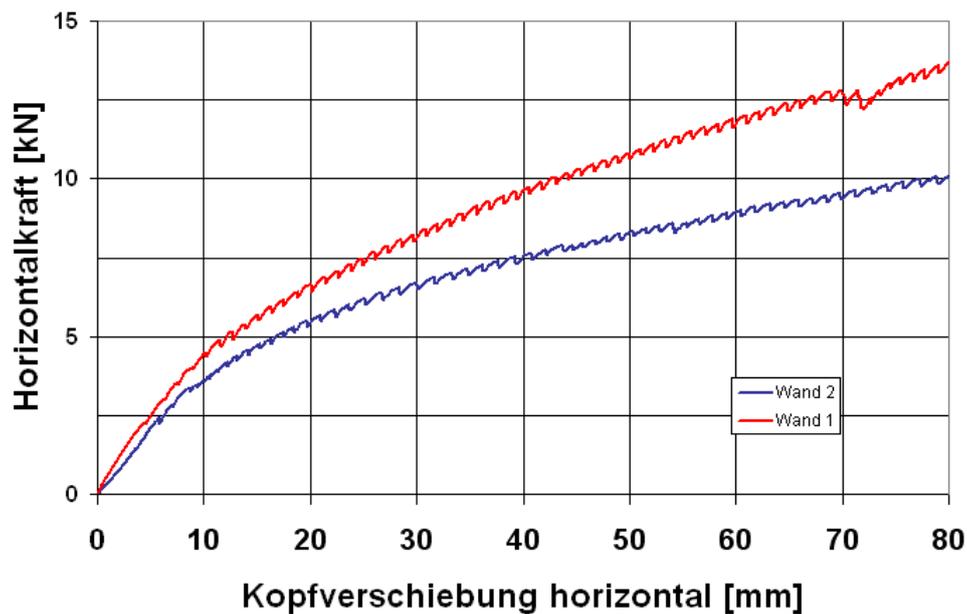


Abb. 3-34: „Schubversuch: Kraft-Verschiebungs-Beziehung für Wand 1 und 2 – gesamter Messbereich“ (Abschlussbericht (2008): Seite 77)

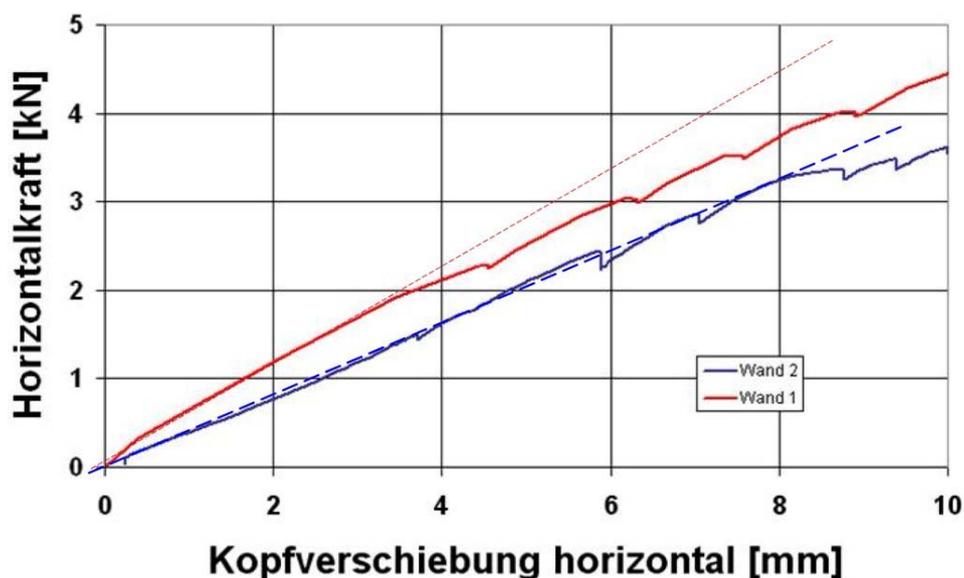


Abb. 3-35: „Schubversuch: Kraft-Verschiebungs-Beziehung für Wand 1 und 2 – Ausschnitt“ (Abschlussbericht (2008): Seite 77)

3.5.5.11 Versuchsaufbau verputzter Wände

Die in Punkt 3.5.5.6 beschriebenen Wände wurden nach den zuvor beschriebenen Versuchen an unverputzten Wandelementen mit Lehmputz des Herstellers Claytec beidseits verputzt.¹⁰⁸ Die Schichtdicke geht aus dem Abschlussbericht nicht hervor.

3.5.5.12 Kurzzeit-Druckversuche an verputzten, vorgespannten Wänden

Siehe Position 2.7 aus dem Untersuchungsprogramm im Punkt 3.5.5.1.

- Versuchswand Nr. 1:

Dieses Wandelement wurde wegen der eingetretenen Verformungen aufgrund der bereits durchgeführten Versuche für unverputzte Wände nicht druckbelastet.

- Versuchswand Nr. 2:

Die Wand wurde drei Mal belastet, wobei die aufgebrachten Druckkräfte mit 60 kN noch über der vorhandenen Vorspannkraft von 30 – 40 kN lagen. Unter der Druckbelastung traten keine Schäden am Putz auf. Für den Anfangsbereich der Kraft-Setzungs-Beziehung (bis zur Überwindung der Vorspannkraft) lässt sich das Elastizitätsmodul mit etwa 19,5 MN/m² angeben.¹⁰⁹

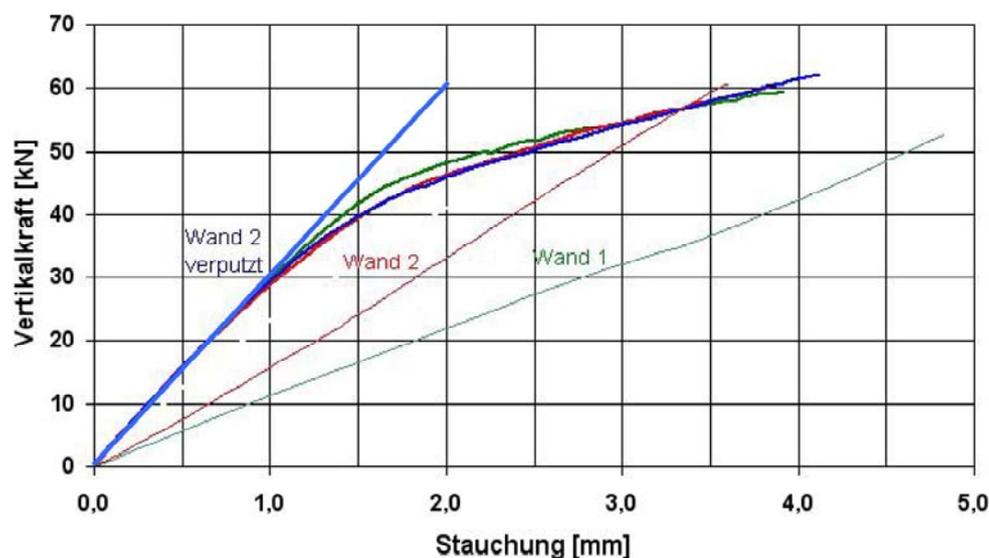


Abb. 3-36: „Kraft-Setzungsbeziehung der Versuchswand Nr. 2“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 80)

¹⁰⁸ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 79

¹⁰⁹ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 80

3.5.5.13 Schubversuche an verputzten, vorgespannten Wänden

Beide Versuchswände wurden horizontal und gegen das Abheben verankert. In den Rähm wurden Horizontalkräfte eingeleitet. Die Steifigkeit der Wand konnte durch den aufgetragenen Verputz etwa verdoppelt werden. In der Abb. 3-37 sind die Kraft-Verschiebungslinien der Rähme beider Versuchswände im verputzten, wie auch im unverputzten Zustand dargestellt.

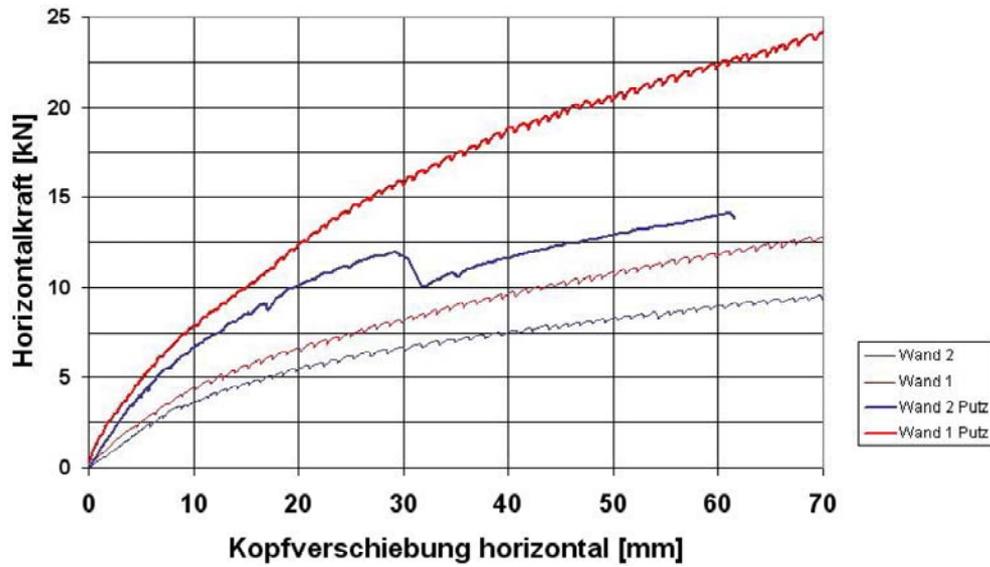


Abb. 3-37 „Schubversuche an verputzten Wänden“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 80)

3.5.6 Resümee

Ireneusz Danielewicz schreibt u.a. im Kapitel „Schlussfolgerung und Ausblick“:

„Es kann konstatiert werden, dass die weitere Entwicklung der Bauweise sich auf den Einsatz der Großballen konzentrieren sollte. Weiterhin sollen Strohballenwände grundsätzlich vorgespannt eingesetzt werden. Hiermit können die Stabilitätsprobleme bei Wänden mit für den Wohnungsbau üblichen Höhen bewältigt werden. Die Vorspannung der Strohballenwände kann grundsätzlich vor Ort durchgeführt werden, entsprechende baustellentaugliche Vorspanntechnologien müssen noch entwickelt werden. Bei der weiteren Entwicklung der Bauweise soll die lasttragende Mitwirkung des Putzes nicht angesetzt werden.“¹¹⁰

¹¹⁰ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 83

Im Weiteren schreibt *Ireneusz Danielewicz*, dass sich das Augenmerk der zukünftigen Arbeiten auf dem Gebiet des lasttragenden Strohballenbaus auf folgende Schwerpunkte beziehen sollte:

- *Entwicklung einer Qualitätskontrolle des Baustoffes Strohballen*
- *Quantifizierung der Unterschiede im Druck- und Dauerstandsverhalten von Ballen aus verschiedenen Strohsorten*
- *Erweiterung der Datenbasis zum rheologischen Verhalten der Strohballen*
- *Detaillierung von Holzbauteilen einer Strohballenwand; Holzschwellen, Rähme*
- *Entwicklung eines wirtschaftlichen und einfachen Vorspannsystems für Strohballenwände*
- *Entwicklung und Erstellung eines Mustergebäudes zur weiteren Erprobung der Bauweise.*

Erst wenn ausreichend statistische Auswertungen von Versuchergebnissen oder Messungen aus umfassenden Untersuchungen vorliegen, können probabilistische Verfahren mit Aussagen zum Sicherheitsindex und zur Zuverlässigkeit bzw. zur Versagenswahrscheinlichkeit von Strohballenkonstruktionen, wie wir diese vom Massiv- und Stahlbau kennen, entwickelt werden.^{111,112}

Gegenwärtig kann die Beurteilung der Tragfähigkeit sowie der Gebrauchstauglichkeit von Strohballenkonstruktionen nur im Vergleich zwischen den untersuchten Strohballenkonstruktionen und deren Beanspruchungen mit den geplanten Konstruktionen und deren voraussichtlichen Beanspruchungen verglichen werden. Der Vergleich erfolgt auf dem Niveau der Gebrauchslast.

Sicherheitsfaktoren sind bei vorgespannten Systemen durch die Vorspannkräfte über die Gebrauchslasten, sowie durch den Putz gegeben.

Die Statikanalysen des Bauingenieurs *Peter Braun* spielten für die Akzeptanz von Strohballenbauten in der Schweiz eine bedeutende Rolle. Er arbeitet regelmäßig mit Architekten zusammen, die Strohballen in ihren Projekten verwenden. Auch das Haus „Fliri“ von *Werner Schmidt* ist in enger Zusammenarbeit mit *Peter Braun* entstanden.¹¹³ Seiner

¹¹¹ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 343

¹¹² vgl. ÖNORM EN 1990 (2013): Anhang C, Punkt C.3

¹¹³ vgl. *Andrea Bocco Guarneri* (2013): Seite 239 ff

Ansicht nach ist zu unterscheiden „zwischen *Tragfähigkeit, die gewährleistet sein muss und Funktionstüchtigkeit, die zu einem gewissen Grad verhandelbar ist*“¹¹⁴.

¹¹⁴ *Andrea Bocco Guarneri* (2013): Seite 240 - zitiert aus „conversation with Peter Braun, Fribourg, 17 May 2012“:
Seite 113

3.6 UNTERSUCHUNGEN HINSICHTLICH BRANDSCHUTZ

3.6.1 Allgemeines

Der Brandschutz kann in vorbeugenden (baulichen, anlagentechnischen und betriebsorganisatorischen) und abwehrenden Brandschutz (durch z.B. Brandschutzbeauftragten, Feuerwehr, etc.) unterteilt werden.¹¹⁵ Im Weiteren wird der bauliche Brandschutz thematisiert.

Nachfolgend einige Erläuterungen über die europäischen Klassifizierungen zum Brandverhalten und zum Feuerwiderstand von Bauprodukten, die seit dem 04. 05. 2010 gültig sind. Die Basis hierzu schafft die „Entscheidung der Kommission“ zur Durchführung der Richtlinie 89/106/EWR des Rates im Jahre 2000. Eine Koexistenz zwischen nationalen und der jetzt gültigen europäischen Normenwerke war somit über 10 Jahre möglich.¹¹⁶

Aufgrund der unterschiedlichen Prüf- und Klassifizierungsmethoden zwischen den nationalen und den europäischen Normenwerken kann ein Vergleich zwischen beiden Spezifikationen nur bedingt erfolgen.

Im Strohballenbau stehen zum Vergleich zur Anwendung anderer Baustoffe, wie z.B. Holz, nur sehr wenige Untersuchungen zur Verfügung. So werden vermutlich auch die alten Untersuchungen auf Basis der bereits zurückgezogenen Normenwerke immer wieder interessant sein! Dabei sind jedoch die eben erwähnten Unterschiede bei den Prüfungen und Klassifizierungen zu berücksichtigen!

3.6.2 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43 „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 2 „Brandschutz“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

- Das Bauwerk muß derart geplant und ausgeführt sein, daß bei einem Brand*
- a) die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraumes erhalten bleibt,*
 - b) die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt wird,*

¹¹⁵ vgl. Christof Riccabona, Thomas Bednar (2010): Seite 174

¹¹⁶ vgl. Christian Pöhn, Kurt Danzinger, Dieter Werner (2009):

- c) *die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird,*
- d) *die Benutzer das Bauwerk unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,*
- e) *die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.*

Gemäß § 139 „Brandschutz“, Abs. 1 und 2 der Niederösterreichischen Bautechnikverordnung (i. d. F. vom 05. 11. 2013) gilt u.a.:

- (1) *Die tragende Konstruktion muß brandbeständig sein.*
- (2) *Eine nichtbrandbeständige Konstruktion ist zulässig, wenn gewährleistet sind:*
 - 1. *der erforderliche Brandschutz und*
 - 2. *die Sicherheit von Personen**durch die Lage und Größe oder durch zusätzliche Maßnahmen (z.B. selbsttätige Löschanlagen, Brandrauchentlüftung, Brandmeldeanlagen).*

3.6.3 Brandverhalten von Bauprodukten

Bei der Einordnung des Brandverhaltens sind die Hauptkriterien:

- Entzündbarkeit
- Flammenausbreitung
- freierwerdende Wärme

Klassifizierung des Brandverhaltens für Bauprodukte ohne Bodenbeläge:¹¹⁷

(Anm.: Der Index „L“ steht für Rohrisolierungen)

- Klassen F, F_L: Bauprodukte, für die das Brandverhalten nicht bestimmt wird oder die nicht in eine der Klassen A1, A2, B, C, D, E, A1_L, A2_L, B_L, C_L, D_L, E_L klassifiziert werden können.*
- Klassen E, E_L: Bauprodukte, die in der Lage sind, für eine kurze Zeit dem Angriff durch eine kleine Flamme ohne wesentliche Flammenausbreitung standzuhalten.*
- Klassen D, D_L: Bauprodukte, die die Kriterien der Klasse E bzw. E_L erfüllen und in der Lage sind, für eine längere Zeit dem Angriff durch eine kleine Flamme ohne wesentliche Flammenausbreitung standzuhalten. Zusätzlich sind sie auch in der Lage, einer Beanspruchung durch einen einzeln brennendem Gegenstand mit ausreichend verzögerter und begrenzter Wärmefreisetzung standzuhalten.*
- Klassen C, C_L: Wie Klasse D bzw. D_L, aber mit strengeren Anforderungen. Zusätzlich zeigen diese Bauprodukte bei der Beanspruchung durch einen einzeln brennenden Gegenstand eine begrenzte seitliche Flammenausbreitung.*
- Klassen B, B_L: Wie Klasse C bzw. C_L, aber mit strengeren Anforderungen.*
- Klassen A2, A2_L: Erfüllen beim SBI-Prüfverfahren nach EN 13823 die gleichen Kriterien wie die Klasse B bzw. B_L. Zusätzlich liefern diese Bauprodukte unter den*

¹¹⁷ ÖNORM EN 13501-1 (2009): Punkt A.4.2

Bedingungen eines voll entwickelten Brandes keinen wesentlichen Beitrag zur Brandlast und zum Brandanstieg.

Klassen A1, A1_L: Bauprodukte der Klasse A1 bzw. A1_L leisten in keiner Phase des Brandes einschließlich des vollentwickelten Brandes einen Beitrag. Aus diesem Grund wird vorausgesetzt, dass sie in der Lage sind, automatisch alle Anforderungen der unteren Klassen zu erfüllen.

Ergänzend zum Brandverhalten werden noch die Rauchentwicklung und das brennende Abfallen/Abtropfen des Baustoffs wie folgt klassifiziert.¹¹⁷

- s3: Es werden keine Beschränkung der Rauchentwicklung gefordert.*
- s2: Die gesamte freigesetzte Rauchmenge sowie das Verhältnis des Anstiegs der Rauchentwicklung sind beschränkt.*
- s1: Strengere Kriterien als für s2 werden erfüllt.*

- d2: Keine Beschränkungen.*
- d1: Kein brennendes Abtropfen/Abfallen, das länger als eine vorgegebene Zeit andauert.*
- d0: Kein brennendes Abtropfen/Abfallen.*

3.6.4 Feuerwiderstandsklassen

Charakteristische Leistungseigenschaften von Bauprodukten, Bauwerken und Teilen davon gem. ÖNORM EN 13501-2 (2010):¹¹⁸

- R — Tragfähigkeit Die Tragfähigkeit R ist die Fähigkeit des Bauteils, unter festgelegten mechanischen Einwirkungen einer Brandbeanspruchung auf einer oder mehreren Seite(n) ohne Verlust der Standsicherheit für eine Dauer zu widerstehen. ...*

- E — Raumabschluss Der Raumabschluss E ist die Fähigkeit eines Bauteils mit raumtrennender Funktion, der Beanspruchung eines nur an einer Seite angreifenden Feuers so zu widerstehen, dass ein Feuersdurchtritt zur unbeflammten Seite als Ergebnis des Durchtritts von Flammen oder heißer Gase verhindert wird. ...*

- I — Wärmedämmung Die Wärmedämmung I ist die Fähigkeit eines Bauteils, einer einseitigen Brandbeanspruchung ohne die Übertragung von Feuer als Ergebnis einer signifikanten Übertragung von Wärme von der dem Feuer zugekehrten Seite zu der vom Feuer abgewandten Seite zu widerstehen.*

¹¹⁸ ÖNORM EN 13501-2 (2010): Punkt 5.2

Die ÖNORM EN 13501-2 definiert weitere, spezielle Leistungskriterien:

- W — Strahlung*
- M — Widerstand gegen mechanische Beanspruchung*
- C — Selbstschließende Eigenschaft*
- S — Rauchdichtheit*
- G — Widerstandsfähigkeit gegen Rußbrand*
- K — Brandschutzfunktion*

Klassifizierung für tragende Bauteilen gem. ÖNORM EN 13501-2 (2010):

- REI tt: tt ist die Klassifizierungszeit, während der alle Kriterien (Tragfähigkeit, Raumabschluss und Wärmedämmung) erfüllt werden;*
- RE tt: tt ist die Klassifizierungszeit, während der die Kriterien Tragfähigkeit und Raumabschluss erfüllt werden;*
- R tt: tt ist die Klassifizierungszeit, während der das Kriterium Tragfähigkeit erfüllt wird. Für nichttragende Bauteile:*
- EI tt: tt ist die Klassifizierungszeit, während der die Kriterien Raumabschluss und Wärmedämmung erfüllt werden;*
- E tt: tt ist die Klassifizierungszeit, während der das Kriterium Raumabschluss erfüllt wird.*

3.6.5 Untersuchungen an Strohballenwänden

3.6.5.1 Wandkonstruktion ~ 376 mm mit Strohballendämmung

Von der TU Braunschweig, Materialprüfanstalt für das Bauwesen, wurde eine Prüfung zur Ermittlung des Feuerwiderstands durchgeführt. Die Dicke der tragenden, raumabschließenden und wärmedämmenden Wandkonstruktion mit einer Strohballendämmung betrug etwa 376 mm.¹¹⁹

Nachfolgend die wichtigsten Prüfergebnisse:¹²⁰

	<i>Kriterien nach Norm</i>	<i>Versagen nach [Minuten]:</i>
<i>R</i>	<i>Tragfähigkeit</i>	≥ 53 ¹⁾
<i>E</i>	<i>Raumabschluss (anhaltende Flammenbildung, Wattebausch, Spaltlehre)</i>	48
<i>I</i>	<i>Wärmedämmung</i>	48

¹⁾ Prüfung wurde in Absprache mit dem Auftraggeber beendet. ...

¹¹⁹ vgl. TU Braunschweig, Materialprüfanstalt für das Bauwesen: Prüfbericht Nr. (3066/490/07) – CM vom 21. 04. 2008

¹²⁰ vgl. Prüfbericht Nr. (3305/558/07-a)-Ht vom 31. 03. 2008

3.6.6 Resümee

Als Ergebnisse aus dem Abschlussbericht des DBU-Projekts hinsichtlich des Brandschutzes darf festgehalten werden, dass durch den im Zuge des Projekts vorgenommenen Feuerwiderstandstest die Ausgabe eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis für eine feuerhemmende Außenwand aus Strohballen möglich war und, dass die weiteren Prüfergebnisse als Basis für zukünftige bauaufsichtliche Anerkennungen dienen können.¹²¹ Im Weiteren konnte nach durchgeführtem Single-Burning-Item-Test bei einer Holzständerkonstruktion mit Strohballen-Ausfachung bei lediglich ≥ 8 mm Lehmputz eine Klassifizierung des Brandverhaltens (gem. DIN EN 13501-1:2007) von B-s1,d0 vorgenommen werden.¹²²⁺¹²³ Somit können auch Strohballenbauteile mit geringer Putzbekleidungsstärke von ca. 1 cm als schwerentflammbare Strohballenbauteile bauaufsichtlich anerkannt werden.¹²⁴

3.7 UNTERSUCHUNG HINSICHTLICH HYGIENE, GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ

3.7.1 Allgemeines

Grundsätzlich handelt es sich beim Strohballen in der Regel um einen sehr natürlichen „Baustoff“. Der Strohballen besteht für gewöhnlich nur aus festgepressten Strohhalmen, die von einer Presse zu Ballen verschnürt werden – ohne weiterer Zugaben. Auch bei Stroh aus konventioneller technischer Landwirtschaft (im Gegensatz zur biologischen Landwirtschaft), welches mitunter auch von Brotgetreide stammt und zudem auch in einigen Fällen an Großvieh (speziell an Pferde) beigefüttert wird, können wir davon ausgehen, dass bei trockenem Stroh grundsätzlich keine Gefährdung der Gesundheit und der Umwelt gegeben ist. In der Regel werden die Strohballen verputzt, so dass auch der Strohstaub gebunden ist und somit keine Belastung für den Nutzer gegeben wird. – Wird dagegen das Stroh feucht, kommt es rasch zur Schimmelbildung und zur Zersetzung, was zu Bauschäden und zur Freisetzung von toxischen Substanzen führen kann. – Diesbezüglich wurden umfangreiche Untersuchungen durch das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e. V. (ZUB) und vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen vorgenommen (siehe Punkt 3.7.3).

¹²¹ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 29

¹²² vgl. Prüfbericht Nr. (3305/558/07-a)-Ht vom 31. 03. 2008

¹²³ vgl. Klassifizierungsbericht Nr. K -3305/558/07-1-MPA BS vom 31. 03. 2008

¹²⁴ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 27

3.7.2 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43 „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

Das Bauwerk muß derart geplant und ausgeführt sein, daß es während seines gesamten Lebenszyklus weder die Hygiene noch die Gesundheit und Sicherheit der Benützer und der Nachbarn gefährdet und sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei Nutzung oder Abbruch insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:

- a) *Freisetzung giftiger Gase,*
- b) *Emission von gefährlichen Stoffen, flüchtigen organischen Verbindungen, Treibhausgasen oder gefährlichen Partikeln in die Innen- oder Außenluft,*
- c) *Emission gefährlicher Strahlen,*
- d) *Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, Oberflächengewässer oder Boden,*
- e) *Freisetzung gefährlicher Stoffe in das Trinkwasser oder von Stoffen, die sich auf andere Weise negativ auf das Trinkwasser auswirken,*
- f) *unsachgemäße Emission von Abgasen oder unsachgemäße Beseitigung von Abwasser und festem oder flüssigem Abfall,*
- g) *Feuchtigkeit in Teilen des Bauwerks und auf Oberflächen im Bauwerk.*

3.7.3 Untersuchungen

3.7.3.1 Feuchtetechnische Untersuchungen von M. Krus und A. Saur.

In den Voruntersuchungen vom Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel werden im Kapitel 3 „Literaturrecherche“ die feuchtetechnische Untersuchung von Strohballenwänden von M. Krus und A. Saur beschrieben.¹²⁵⁺¹²⁶

¹²⁵ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 122 ff zitiert aus: *Dr.-Ing. Krus, M.; Dipl.-Ing. Saur, A.*: Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-13/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen, Oktober 2005.

¹²⁶ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 122 ff zitiert aus: *Dr.-Ing. Krus, M.; Dipl.-Ing. Saur, A.*: Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-09/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen, August 2005.

Diese feuchttechnischen Untersuchungen bestehen aus hygrothermischen Berechnungen an der kritischen Stelle (8 cm von der äußeren Bauteiloberfläche) und einer biohygrothermischen Bewertung mit dem Programm WUFI-Bio 2.0. Dabei wurden die Klimadaten von D-83607 Holzkirchen verwendet.

Aufbau der Wandkonstruktion 1 (von außen nach innen):

- 30,0 mm *Holzfassade*
- 40,0 mm *Luftschicht*
- 30,0 mm *Lehmputz*
- 460,0 mm *Strohballen*
- 30,0 mm *Lehmputz.*

Hohe relative Luftfeuchtigkeiten waren im Winter und Frühjahr im äußeren Bereich des Strohballens feststellbar. Durch die Einstufung von Stroh in die Substratgruppe I (biologisch gut verwertbares Substrat) zeigt sich wiederholt ein deutliches Pilzwachstum.

Aufbau der Wandkonstruktion 2 (von außen nach innen):

- 22,0 mm *Lärchenschalung*
- 40,0 mm *Luftschicht*
- 19,0 mm *Holzweichfaser*
- 350,0 mm *Strohballen*
- 15,0 mm *OSB (Dichte 595 kg/m³)*
- 30,0 mm *Luftschicht*
- 12,5 mm *Gipskarton.*

Aufgrund des höheren Diffusionswiderstands der OSB-Platten innenseitig und aufgrund der Anordnung der Holzfaserverplatte (Überdämmung) außenseitig sind die Temperaturen im Wandaufbau deutlich höher und an der kritischen Stelle kommt es zu keinem Wachstum von Schimmel.

3.7.3.2 Untersuchung des Schimmelpilzwachstums auf Stroh und Strohwänden:¹²⁷

In den Voruntersuchungen vom Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel wird im Kapitel 3 „Literaturrecherche“ die Untersuchung des Schimmelpilzwachstums auf Stroh und

¹²⁷ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 122 ff zitiert aus: *Dipl.-Ing. Ziegler, T.: Dipl.-Ing. Dr. Gann, M.: Österreichisches Ökologieinstitut für angewandte Umweltforschung: Wachstum von Schimmelpilzen auf Stroh und Strohwänden, Wien Februar 2004*

Strohwänden im Auftrag des Österreichischen Ökologieinstituts für angewandte Umweltforschung und *Johannes Kislinger* zitiert (siehe Tab. 3-2).

Bei den Berechnungen werden ebenfalls die Klimadaten von Holzkirchen verwendet, zudem wird eine verschattete Südfassade angenommen und die Simulation für 2 Jahre berücksichtigt.

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass alle hinterlüfteten Konstruktionen einen ausreichenden Schutz gegen Schimmelpilzausbreitung bieten. Dies gilt jedoch nicht für die mit Schlagregen direkt bewitterten Strohwandelemente.

Tab. 3-2: „Wandaufbauten der untersuchten Konstruktionen“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 125)

Bauteil	Schichtdicke [cm]	Aufbau
1	1,25	Gipskartonplatte
	3,0	Installationsebene, Flachsdämmung
	1,25	OSB-Platte ($\mu = 650$, $\lambda = 0,13$)
	36,0	Stroh/Steher Holz massiv
	1,6	DWD (Holzfaserplatte) Hinterlüftung Diffusionsoffene Fassadenschalung
2	1,25	Gipskartonplatte
	3,0	Installationsebene, Flachsdämmung
	1,25	OSB-Platte
	36,0	Stroh/Steher Holz massiv ($\mu = 1$)
	1,6	DWD (Holzfaserplatte) Hinterlüftung Diffusionsoffene Fassadenschalung
3	1,25	Gipskartonplatte
	3,0	Installationsebene, Flachsdämmung
	1,25	OSB-Platte
	36,0	Stroh/Steher Holz massiv
	1,6	DWD (Holzfaserplatte) Hinterlüftung Diffusionsoffene Fassadenschalung
4	1,5	Lehmputz
	1,8	OSB-Platte ($\mu = 650$, $\lambda = 0,13$)
	35,0	Stroh/Steher Holz massiv
	1,6	DWD (Holzfaserplatte) Hinterlüftung Diffusionsoffene Fassadenschalung
5	1,5	Gipsfaserplatte
	1,8	OSB-Platte
	35,0	Stroh/Steher Holz massiv
	1,6	DWD (Holzfaserplatte) Hinterlüftung Diffusionsoffene Fassadenschalung
6	1,5	Lehmputz
	12,0	Kreuzlagenholz
	36,0	Stroh/Steher Holz massiv
	1,6	DWD-Platte (Holzfaserplatte) Lehmputz
7	1,5	Lehmputz
	12,0	Kreuzlagenholz
	36,0	Stroh/Steher Holz massiv
	5,0	Holzwoleleichtbauplatte Oberputz auf Grundputz
8	1,5	Lehmputz
	5,0	Holzwoleleichtbauplatte
	2,5	OSB-Platte
	49,0	Stroh/Steher Holz massiv
	1,6	DWD-Platte
	1,2	Putzträger Verotec Silikatputz
0,5		

3.7.3.3 Untersuchung im Auftrag des Fachverband Strohballenbau Deutschlands¹²⁸

Vom Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel in Abstimmung mit dem Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) wurden Voruntersuchungen vorgenommen. Ziel dieser Voruntersuchungen war es, aufgrund von hygrothermischen Simulationsberechnungen den Feuchteschutz ausgewählter Bauteile zu bewerten, sowie die Schimmelpilzgefährdung abzuklären.

Das doch relativ raue Klima von Holzkirchen wurde zur Berechnung herangezogen. Die minimale Jahrestemperatur im Dezember beträgt in Holzkirchen -21.2 °C und die Schlagregenbelastung ist mit 1200 mm/a an der Westfassade zu quantifizieren.

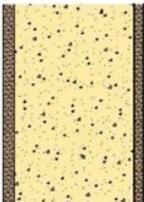
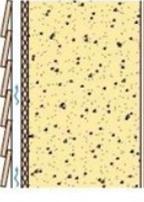
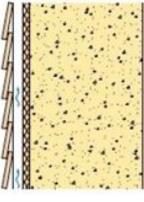
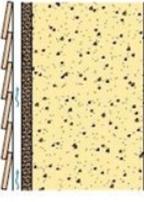
Mit dem Programm WUFI-Bio 2.7 wurde das Risiko des Schimmelpilzwachstums an der Oberfläche und in 5 cm Tiefe (kritische Stelle) der Strohballen (kritische Stellen) simuliert.

Allgemein gültige Bewertungskriterien für den Feuchteschutz von Strohballenbauteile stehen derzeit nicht zur Verfügung. Als Bewertungskriterium wurde das prognostizierte Schimmelpilzwachstum an der Oberfläche und in 5 cm Tiefe (kritischer Bereich) gewählt.

In den nachfolgenden Tab. 3-3 bis Tab. 3-9 sind die untersuchten Bauteile mit ihren Schichtaufbauten angegeben, in der Tab. 3-10 ist die Bewertung hinsichtlich des Feuchteverhaltens zu den einzelnen Aufbauten aufgelistet.

¹²⁸ vgl. Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 122 ff zitiert aus: *Dipl.-Ing. Ziegler, T.: Dipl.-Ing. Dr. Gann, M.: Österreichisches Ökologieinstitut für angewandte Umweltforschung: Wachstum von Schimmelpilzen auf Stroh und Strohwänden, Wien Februar 2004*

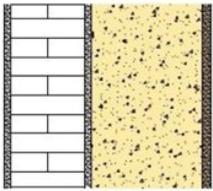
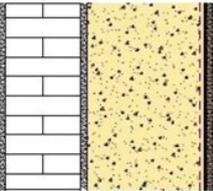
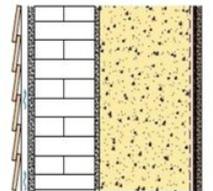
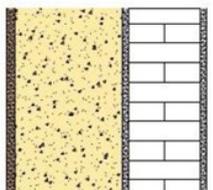
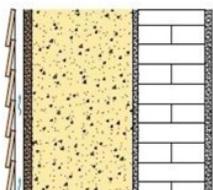
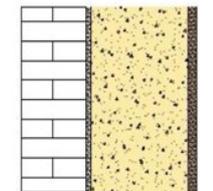
Tab. 3-3: Teil 1: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
 (Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 132)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
1.1		3 36 3	Lehmputz dreilagig Strohballen Lehmputz dreilagig
1.1.2	-	3 36 3	Lehmputz dreilagig Strohballen Lehmputz dreilagig ($\mu = 30$)
1.1.3	-	3 36 1,5	Lehmputz dreilagig Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB)
1.1.4	-	3 2,2 36 3	Lehmputz dreilagig auf Schilfmatte als Putzträger Holzfaserplatte Strohballen Lehmputz dreilagig
1.1.5	-	3 2,2 36 1,5	Stülpeschalung Lattung mit Luftraum Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB)
1.1.5a		3 2,2 36 1,5	Stülpeschalung Lattung mit Luftraum Holzfaserplatte Strohballen Gipskartonbauplatte
1.1.5b		3 2,2 36 1,5 2	Stülpeschalung Lattung mit Luftraum Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB) Lehmbauplatte
1.2		3 3 36 3	Stülpeschalung Lattung mit Luftraum Lehmputz dreilagig Strohballen Lehmputz dreilagig
1.2.2	-	3 3 36 3	Stülpeschalung Lattung mit Luftraum Lehmputz dreilagig Strohballen Lehmputz dreilagig ($\mu = 30$)

Tab. 3-4: Teil 2: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 133)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
1.2.3	-	3 3 2,2 36 1,5	Stülpchalung Lattung mit Luftraum Lehmputz dreilagig Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB)
1.2.4	-	3 3 2,2 36 3	Stülpchalung Lattung mit Luftraum Lehmputz dreilagig Holzfaserplatte Strohballen Lehmputz dreilagig
1.3.1		1,5 2,2 36 1,5 2	Kalkputz einlagig Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB) Lehmbauplatte
1.3.2	-	1,5 2,2 36 1,5	Kalkputz einlagig Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB)
1.3.4		3 2,2 36 1,5 2	Lehmputz dreilagig auf Schilfmatte als Putzträger Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB) Lehmbauplatte
1.4		1,5 2,2 36 10	Kalkputz einlagig Holzfaserplatte Strohballen Holzbauplatte aus Fichte
1.4.1	-	1,5 36 10	Kalkputz einlagig Strohballen Holzbauplatte aus Fichte

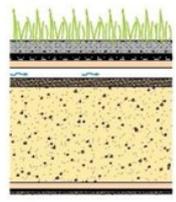
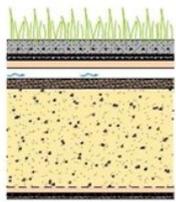
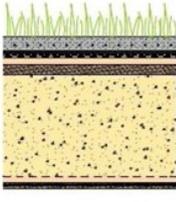
Tab. 3- 5: Teil 3: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 134)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
2.1		2 24 2 36 3	Kalkzementputz Mauerwerk Kalkzementputz Strohballen Lehmputz dreilagig
2.2		2 24 2 36 $s_d = 2m$ 1,3 3	Kalkzementputz Mauerwerk Kalkzementputz Strohballen Dampfbremse Holzschalung Lehmputz dreilagig auf Schilfmatte als Putzträger
2.3		3 2 24 2 36 $s_d = 2m$ 1,3 3	Stülpschalung Lattung mit Luftraum Kalkzementputz Mauerwerk Kalkzementputz Strohballen Dampfbremse Holzschalung Lehmputz dreilagig auf Schilfmatte als Putzträger
2.4		3 36 2 24 2	Lehmputz dreilagig Strohballen Kalkzementputz Mauerwerk Kalkzementputz
2.5		3 3 36 2 24 2 24	Stülpschalung Lattung mit Luftraum Lehmputz dreilagig Strohballen Kalkzementputz Mauerwerk Kalkzementputz Mauerwerk
2.6		24 2 36 3	Mauerwerk Kalkzementputz Strohballen Lehmputz dreilagig

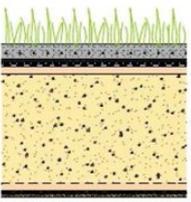
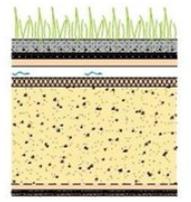
Tab. 3-6: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
 (Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 135)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
3.1		2,2 4 2 36 2	Dachziegel Lattung 4/6 cm Konterlattung 2/4 cm Holzfaserplatte Luftschicht Lehmputz Strohballen Lehmputz
3.2	-	2,2 2 36 2	Dachziegel Lattung 4/6 cm Konterlattung 2/4 cm Holzfaserplatte Lehmputz Strohballen Lehmputz
3.3		2,2 36 2	Dachziegel Lattung 4/6 cm Konterlattung 2/4 cm Holzfaserplatte Strohballen Lehmputz
3.4		2,2 36 2	Dachziegel Lattung 4/6 cm Konterlattung 2/4 cm Holzfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB)
3.5	-	$s_d = 0,2m$ 2 36 2	Dachziegel Lattung 4/6 cm Konterlattung 2/4 cm Unterspannbahn Lehmputz Strohballen Lehmputz

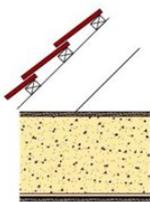
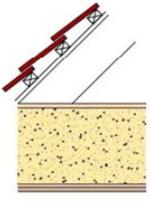
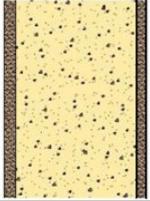
Tab. 3-7: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
 (Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 136)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
4.1		2,8 4 2 36 2,2 2	Vegetation Substratschicht Dränageschicht Wurzelschutzbahn Schutzvlies Dachhaut Schalung Luftschicht Lehmputz Strohballen Schalung Lehmputz auf Schilfrohrmatte
4.2		2,8 4 2 36 $s_d = 2m$ 2,2 2	Vegetation Substratschicht Dränageschicht Wurzelschutzbahn Schutzvlies Dachhaut Schalung Luftschicht Lehmputz Strohballen Dampfbremse Schalung Lehmputz auf Schilfrohrmatte
4.3		2,8 2 36 $s_d = 2m$ 2,2 2	Vegetation Substratschicht Dränageschicht Wurzelschutzbahn Schutzvlies Dachhaut Schalung Lehmputz Strohballen Dampfbremse Schalung Lehmputz auf Schilfrohrmatte

Tab. 3-8: Teil 6: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
 (Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 137)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
4.4		2,8 36 $s_d = 2m$ 2,2 2	Vegetation Substratschicht Dränageschicht Wurzelschutzbahn Schutzvlies Dachhaut Schalung Strohballen Dampfbremse Schalung Lehmputz auf Schilfrohrmatte
4.5		2,8 4 2,2 36 $s_d = 2m$ 2,2 2	Vegetation Substratschicht Dränageschicht Wurzelschutzbahn Schutzvlies Dachhaut Nut und Federplatte Luftschicht Holzfaserplatte Strohballen Dampfbremse Schalung Lehmputz auf Schilfrohrmatte

Tab. 3-9: Teil 7: „Beschreibung der untersuchten Bauteile“
 (Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 138)

Bauteil	Bauteilskizze	Schichtdicke [cm]	Aufbau
5.1		2 36 2,2 2	Lehmputz Strohballen Schalung Lehmputz auf Schilfrohrmatte
5.2	-	2 36 $s_d = 2m$ 2,2 2	Lehmputz Strohballen Dampfbremse Schalung Lehmputz
5.3		2,2 36 $s_d = 2m$ 2,2 2	Weichfaserplatte Strohballen Dampfbremse Schalung Lehmputz
6.1		3 85 3	Lehmputz dreilagig Strohballen Lehmputz dreilagig
6.2	-	3 2,2 85 1,5	Stülpchalung Lattung mit Luftraum Weichfaserplatte Strohballen Holzwerkstoffplatte (OSB)

Tab. 3-10: „Bewertung der Konstruktionen“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 163)

Bauteil	Schimmelpilzwachstum in Monitorposition 2 [mm]	Bewertung
1.1	676,8	nicht geeignet
1.1.2	671,1	nicht geeignet
1.1.3	651,0	nicht geeignet
1.1.4	651,5	nicht geeignet
1.1.5	0	geeignet
1.1.5a	0	geeignet
1.1.5b	0	geeignet
1.2	41,1	ggfs. geeignet
1.2.2	43,2	ggfs. geeignet
1.2.3	0	geeignet
1.2.4	58,1	ggfs. geeignet
1.3.1	185,6	nicht geeignet
1.3.2	195,3	nicht geeignet
1.3.4	1016,8	nicht geeignet
1.4	488,4	nicht geeignet
1.4.1	254,8	nicht geeignet
1.5.1	1024,4	nicht geeignet
1.5.2	1068,3	nicht geeignet
2.1	818,1	nicht geeignet
2.2	689,3	ggfs. geeignet
2.3	15,8	ggfs. geeignet
2.4	792,8	nicht geeignet
2.5	215,7	nicht geeignet
2.6	520,4	ggfs. geeignet
3.1	60,4	ggfs. geeignet
3.2	67,0	ggfs. geeignet
3.3	72,3	ggfs. geeignet
3.4	0	geeignet
3.5	105,1	ggfs. geeignet
4.1	4,7	ggfs. geeignet
4.2	7,22	ggfs. geeignet
4.3	10,7	ggfs. geeignet
4.4	30,8	ggfs. geeignet
4.5	0	geeignet
5.1	0	geeignet
5.2	0	geeignet
5.3	0	geeignet
6.1	676,8	nicht geeignet
6.2	6,4	ggfs. geeignet

Aus der o.a. Tab. 3-10 ist zu erkennen, dass Wandkonstruktionen ohne ausreichenden Regenschutz aufgrund des hohen Wassergehalts ungeeignet sind. Dagegen kommt es bei Konstruktionen mit Wetterschutz zu geringen, lokalen Wassergehalten in der Strohballendämmung und daraus folglich zum geringen Wachstum von Schimmelpilz. Diese Konstruktionen können sich zukünftig in der Praxis bewähren.

Besonders zu beachten ist die Baufeuchte, die zu Beginn rasch Schimmelbildung verursachen kann. Daher muss bei der Errichtung besonders darauf geachtet werden, dass die Anfangsfeuchte in der Baukonstruktion nicht zu hoch ist. So sollten z.B. Putze

mehrschichtig aufgetragen werden, wobei nach jedem Arbeitsgang auf eine entsprechend rasche Trocknung zu achten ist.

3.7.4 Resümee

Ein wesentlicher Aspekt der Hygiene und der Gesundheit ist die Schimmelfreiheit. Hierbei ist es wichtig, die Bedingungen für das Wachstum der Schimmelsporen zu unterbinden, was in der Regel bei trockenen Strohballen (relative Luftfeuchte unter 70 %¹²⁹) gegeben ist. Dennoch bestehen speziell bei den direkt bewitterten Strohballenwänden auf Basis der bisher durchgeführten, wissenschaftlich-theoretischen Betrachtungen und auf Basis von realen Beobachtungen Bedenken. Hierbei gilt es aber auch noch die Untersuchungsmethoden zu verifizieren, da viele in der Praxis funktionierende Außenwandkonstruktionen als ungeeignet gesehen werden.

Für die Praxis gilt, dass gegenwärtig nur für die verputzten Strohballenwände mit vorgehängter Fassade o. dgl. gesicherte Erkenntnisse für die Verwendbarkeit gegeben sind.

Der Nachweis des Feuchtehaushalts mittels Glaserverfahren (DIN 4108-3) ist nicht möglich, da in vielen Fällen die Konstruktionen in den warmen Jahreszeiten Wasser aufnehmen und daher der Ausgleich durch Verdunsten nicht entsprechend in Rechnung gestellt werden kann.

3.8 UNTERSUCHUNG HINSICHTLICH SICHERHEIT UND BARRIEREFREIHEIT BEI DER NUTZUNG

3.8.1 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43 „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 4 „Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

Das Bauwerk muß derart geplant und ausgeführt sein, daß sich bei seiner Nutzung oder seinem Betrieb keine unannehmbaren Unfallgefahren oder Gefahren einer Beschädigung ergeben, wie Gefahren durch Rutsch-, Sturz- und Aufprallunfälle, Verbrennungen, Stromschläge, Explosionsverletzungen und

¹²⁹ vgl. Gernot Minke, Benjamin Krick (2009): Seite 24

Einbrüche. Bei der Planung und der Ausführung des Bauwerks müssen insbesondere die Barrierefreiheit und die Nutzung durch Menschen mit Behinderungen berücksichtigt werden.

3.8.2 Resümee

Nach Meinung des Verfassers stellen die Anforderungen von Bauwerken an Sicherheit und Barrierefreiheit im Sinne des geltenden Baurechts keine speziellen Anforderungen an die Konstruktionen aus Strohballen. Daher wird dieses Thema nicht weiter bearbeitet.

3.9 UNTERSUCHUNG HINSICHTLICH SCHALLSCHUTZ

3.9.1 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43 „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 5 „Schallschutz“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

Das Bauwerk muß derart geplant und ausgeführt sein, daß der von den Benützern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.

Gemäß § 7: „Schallschutz“, Abs. 1: „Für Wohnungen in Ein- oder Zweifamilienhäusern gelten folgende Anforderungen“, Pkt. 1: „Luftschalldämmung von Außenbauteilen“ der Niederösterreichischen Bautechnikverordnung 1997 (i. d. F. vom 05. 11 2013) gilt:

... resultierendes Schalldämm-Maß, mindestens Außenwände einschließlich Fenster und Türen, Dachschrägen mit Fenstern 38 dB ...

3.9.2 Untersuchungen

Im Zuge der Forschungsarbeiten vom Fachverband Strohballenbau Deutschland wurden zwei Untersuchungen der Luftschalldämmung durchgeführt:¹³⁰

- Strohballenständerwand $d = 356\text{mm}$ mit Lehmputz beidseits $d = 10\text{ mm}$, bei einer mittleren Rohdichte von $123,8\text{ kg/m}^3$ mit dem Ergebnis von $R_{W,P} = 45\text{ dB}$ (bewertetes

¹³⁰ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 300 f

Labor-Luftschalldämmmaß), das nach Abzug des Vorhaltemaßes von 2 dB einen Rechenwert $R_{W,R}$ von 45 dB ergibt.

- Strohballenständerwand $d = 356$ mm mit Lehmputz $d = 10$ mm und $d = 20$ mm, bei einer mittleren Rohdichte von $123,8 \text{ kg/m}^3$ mit dem Ergebnis von $R_{W,P} = 46$ dB (bewertetes Labor-Luftschalldämmmaß), das nach Abzug des Vorhaltemaßes von 2 dB einen Rechenwert $R_{W,R}$ von 44 dB ergibt.

Der Messbericht A 59829/3950 der o. a. Untersuchungen ist im Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 461 ff entnommen und im Anhang, Seite 53 dieser Arbeit beigelegt.

3.9.3 Resümee

Mit den im Zuge der Forschungsarbeit vom Fachverband Strohballenbau Deutschland durchgeführten Untersuchungen liegen auch gesicherte Bewertungen im Hinblick auf den Schallschutz vor, welche die Brauchbarkeit der Strohballenkonstruktion hinsichtlich Schallschutz bestätigen. Dennoch wären auch noch viele weitere Prüfungen über den Luftschallschutz bei lasttragenden Wänden alsbald wünschenswert.

3.10 UNTERSUCHUNG HINSICHTLICH ENERGIEEINSPARUNG UND WÄRMESCHUTZ

3.10.1 Allgemeines

Zur Wärme- und/oder Luftschalldämmung von Strohballen für den nicht-lasttragenden Strohballenbau stehen bereits einige Zulassungen zur Verfügung, wie z.B.:

- die Europäische Technische Zulassung ETA-10/0032 über „WALDLAND Baustrohballen“ für Strohballen (Breite / Höhe / Länge) $40 - 125 \text{ cm} / 25 - 90 \text{ cm} / 27 - 125 \text{ cm}$ mit einer Rohdichte zwischen 95 kg/m^3 und 120 kg/m^3 . Der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit wird mit $\lambda_{ID(23,50)} = 0,047 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (Kategorie 1 wird durch Umrechnung des $\lambda_{(10, \text{trocken}, 90/90)}$ -Wertes bestimmt) angegeben (siehe Anhang, Seite 80).¹³¹
- die Allgemein bauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1595 über „Wärmedämmstoff aus Stroh „Baustroh““ vom 03. 06. 2014 für Strohballen (Breite / Höhe / Länge) $30 - 90 \text{ cm} /$

¹³¹ Europäische Technische Zulassung ETA-10/0032 (2010):

20 - 70cm / 50 – 300 cm mit einer Rohdichte zwischen 85 kg/m³ und 115 kg/m³. Die für den Entwurf und die Bemessung bestimmte Wärmeleitfähigkeit wird darin mit $\lambda = 0,052$ W/(m*K) angegeben.¹³²

Für den lasttragenden Strohballenbau sind keine Technischen Spezifikationen im Sinne der Bauproduktenrichtlinie (BPR) auf europäischer oder nationaler Ebene bekannt.

3.10.2 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43: „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 6: „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

Das Bauwerk und seine Anlagen und Einrichtungen für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung müssen derart geplant und ausgeführt sein, daß unter Berücksichtigung der Benutzer und der klimatischen Gegebenheiten des Standortes der Energieverbrauch bei seiner Nutzung gering gehalten wird. Das Bauwerk muß außerdem energieeffizient sein und während seines Auf- und Rückbaus möglichst wenig Energie verbrauchen.

3.10.3 Wärmedämmende Eigenschaften von Stroh

3.10.3.1 Einführung

Die Wärmeleitfähigkeit der Strohballen ist von der Richtung des Wärmestroms und von der Ausrichtung der Strohhalme im Ballen abhängig.

Aufgrund des Verfahrens von Kolbenpressen kommen die Strohhalme im Ballen hauptsächlich in einer Richtung zu liegen. Diese Hauptrichtung ist im Presskanal liegend, senkrecht zur Bindegarnebene und Fahrtrichtung. Stellt man sich den Strohballen vereinfacht als zusammengebundenes Rohrbündel vor, so wird es leicht verständlich, dass bei einem liegenden Ballen die warmen und die kalten Seiten durch die Rohre direkt verbunden sind, dass damit ein direkter Austausch der Wärmestrahlung, sowie eine günstige Wärmeleitung und im Weiteren eine günstige Konvektionsströmung gegeben ist. Somit liegt bei einem Wärmestrom in Halmrichtung der Wärmedurchgang höher als wenn der Wärmestrom senkrecht zur Halmrichtung gegeben ist (siehe Abb. 3-40).¹³³

¹³² Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-23.22-1595 (2014): Seite 6

¹³³ vgl. Benjamin Krick (2009): Seite 51 f

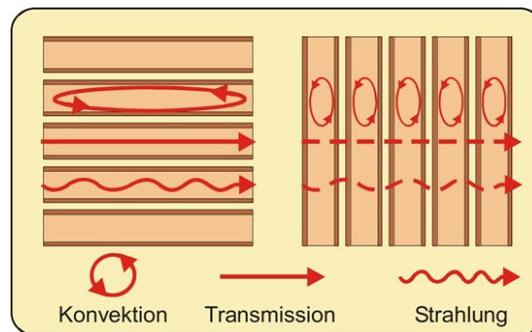


Abb. 3-40: „Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Halmorientierung“
(Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 51)

Im Weiteren konnte beobachtet werden, dass mit steigender Ballendichte die Wärmeleitfähigkeit zunächst abnimmt, stagniert und schließlich wieder steigt. Das kann damit begründet werden, dass bei Strohballen mit geringer Dichte der Strahlungs- und Konvektionsanteil hoch ist, dagegen die Wärmeleitung geringer ausfällt. Bei hoher Ballendichte entsteht ein höherer Wärmeleitungsanteil, der Strahlungs- und Konvektionsanteil dagegen sinkt. Gemäß der Untersuchungen von *Ashour* liegt das Optimum für die Wärmedämmung bei einer Rohdichte zwischen 110 kg/m^3 und 130 kg/m^3 .¹³³

Gernot Minke und *Benjamin Krick* verweisen in ihrem Buch „Handbuch Strohballenbau“ auf die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Baustrohballen, welche folgende Rechenwerte angeben:¹³⁴

- Wärmestrom in Halmrichtung
 $\lambda = 0,080 \text{ W/(m}^*\text{K)}$
- Wärmestrom senkrecht zur Halmrichtung
 $\lambda = 0,052 \text{ W/(m}^*\text{K)}$

3.10.3.2 Untersuchungsergebnisse

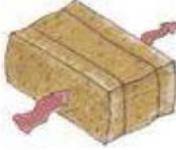
Nachfolgend sind Zusammenstellungen von Untersuchungsergebnissen aus der Dissertation von *Benjamin Krick* angeführt (siehe Tab. 3-11 und Tab. 3-12).¹³⁵

Gesondert zu erläutern sind die Ergebnisse von Wänden in der Tab. 3-13, die einer relativ hohen Wärmeleitfähigkeit ausweisen. *Benjamin Krick* begründet dies mit den unterschiedlichen Prüfverfahren, dem Einfluss des Putzes und mit der Beobachtung der gesamten Wandfläche.¹³⁶

¹³⁴ vgl. *Gernot Minke, Benjamin Krick* (2009): Seite 18

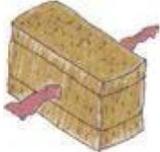
¹³⁵ *Benjamin Krick* (2008): Seite 50 f

Tab. 3-11: „Testergebnisse Proben und Ballen, Wärmestrom parallel zur Faser“
(Benjamin Krick (2008): Seite 50)

Proben und Ballen	Orientierung	Strohart	Dichte ρ (kg/m ³)	Temperatur ^{1, 2, 3}	W-Leitfähigkeit (W/(mK)) ⁴
McCabe 1		Reis+Weizen	133	9,7 ²	0,061
Acton 1994		Weizen	76-87	k.A.	0,059-0,05
Ashour 1		Weizen	82	10,3 ³	0,039
Ashour 2		Weizen	82	34,2 ³	0,118
Ashour 3		Weizen	138	10,3 ³	0,031
Ashour 4		Weizen	138	34,2 ³	0,086
Ashour 5		Gerste	69	9,6 ³	0,045
Ashour 6		Gerste	69	34,2 ³	0,094
Ashour 7		Gerste	98	9,6 ³	0,030
Ashour 8		Gerste	98	34,2 ³	0,073
Baustroh 2		k.A.	90-110	10,0 ¹	0,080

¹: Mittlere Temperatur im Ballen (°C); ²: Temperaturdifferenz (K); ³: Unbekannt (°C); ⁴: gemessene Werte

Tab. 3-12: „Testergebnis Proben und Ballen, Wärmestrom senkrecht zur Faser“
(Benjamin Krick (2008): Seite 51)

Proben und Ballen	Orientierung	Strohart	Dichte ρ (kg/m ³)	Temperatur ^{1, 2, 3}	W-Leitfähigkeit λ (W/(mK)) ⁴
McCabe 2		Reis+Weizen	133	19,2 ²	0,0490
McCabe 3		Reis+Weizen	133	10,9 ²	0,0460
Wimmer et. al 1		Weizen	73	10,6-11,1 ²	0,0369
Wimmer et. al 2		Weizen	83,3	10,6-11,1 ²	0,0337
Wimmer et. al 3		Weizen	100,8	10 ¹	0,0380
Wimmer et. al 4		Weizen	100,8	19,5 ¹	0,0394
Wimmer et. al 5		Weizen	100,8	28,7 ¹	0,0408
FASBA 1		k.A.	90	10,6 ¹	0,0380
FASBA 2		k.A.	90	23,5 ¹	0,0401
FASBA 3		k.A.	90-110	39,8 ¹	0,0419
Baustroh 2		k.A.	90-110	10 ¹	0,0520

¹: Mittlere Temperatur im Ballen (°C); ²: Temperaturdifferenz (K); ³: Unbekannt; ⁴: gemessene Werte

Tab. 3-13: „Testergebnisse Wände“
(Benjamin Krick (2008): Seite 51)

Verputzte Wände	Orientierung	Strohart	Dichte ρ (kg/m ³)	Temperatur ¹	W-Leitfähigkeit λ (W/(mK)) ²
Watts 1995		k.A.	k.A.	k.A.	0,094
Stone 1		k.A.	k.A.	k.A.	0,128
ORNL 1998		Weizen	k.A.	k.A.	0,100
Stone 2		k.A.	k.A.	k.A.	0,070
FASBA 2006		k.A.	98,8	18,2	0,072

¹: Temperaturdifferenz (K); ²: gemessene Werte

¹³⁶ vgl. Benjamin Krick (2008): Seite 52

3.10.4 Wärmespeicherfähigkeit von Stroh

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Körpers ist von seinem Volumen, seiner Rohdichte und seiner spezifischen Wärmekapazität abhängig. Die spezifische Wärmekapazität von mineralischen Baustoffen liegt bei ca. 1000 J/(kgK), jene von organischen bei ca. 1500, von Metall unter 500 und von Wasser bei ca. 4000 J/(kg/K).¹³⁷

Gemäß *Murphy et al. (1999)* liegt die spezifische Wärmekapazität von Strohballen bei 2000 J/(kgK).¹³⁷

In Tab. 3-14 sind für einige Baustoffe die Wärmekapazität, die Rohdichte und die Wärmespeicherfähigkeit ersichtlich.¹³⁷

Tab. 3-14: „Spezifische Wärmespeicherfähigkeit, Rohdichte und Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Baustoffe je Kubikmeter“ (Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 53)

Baustoff	Spez. Wärme- kapazität c (J/(kgK)) ¹	Rohdichte ρ (kg/m ³) ³	Wärmespeicher- fähigkeit C (kJ/K) eines m ³
Stahl	450	7500	3375
Glas	750	2500	1875
Beton	1000	2000	2000
Kalksandstein	1000	2000	2000
Vollziegel	1000	1800	1800
Mineralwollgedämmplatten	1030	149	153
Polystyrolschaum (XPS)	1450	45	65
Zellulosefasern	1900	55	105
Strohballen	2000 ⁴	115	230
Holzfaserdämmplatten	2100 ³	170	357
Wasser	4182 ²	1000	4182

¹ Willems/Schild/Dinter (2006) ² Kuchling (2001) ³ Waltjen et al. (1999) ⁴ Murphy et al. (1999)

3.10.5 Resümee

Strohballen haben sehr gute Wärmedämmeigenschaften. Bei sehr hoch verdichteten Ballen (über 130 kg/m³) ist eine Verschlechterung des Wärmeschutzes zu erwarten. Um dies quantifizieren zu können, sind noch weitere Tests erforderlich.

¹³⁷ Benjamin Krick (2008): Seite 52 f

3.1.1 UNTERSUCHUNG HINSICHTLICH NACHHALTIGE NUTZUNG DER NATÜRLICHEN RESSOURCEN

3.11.1 Baurechtliche Vorgaben

Gemäß § 43 „Allgemeine Ausführung, Grundanforderungen an Bauwerke“, Abs. 1, Pkt. 7 „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014) gilt:

Das Bauwerk muß derart geplant, errichtet und abgebrochen werden, daß die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- a) das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abbruch wiederverwendet oder recycelt werden können,*
- b) das Bauwerk muß dauerhaft sein,*
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.*

3.11.2 Untersuchungsergebnisse

Bei der Betrachtung des Primärenergieinhalts (PEI) von Strohballen, also jener Energie die zu deren Herstellung bis zum auslieferbaren Produkt erforderlich ist, wurde das Pressen der Ballen, sowie der Primärenergieinhalt des Ballengarns, der Lade- und Transportvorgänge als auch die Art der verwendeten Maschinen und deren anteiliger Herstellungsaufwand berücksichtigt. *Benjamin Krick* kommt in seiner Dissertation zu folgendem Ergebnis:¹³⁸

- Primärenergieinhalt von Großballen: 50kWh/Mg (180,0 MJ/Mg)
- Primärenergieinhalt von Kleinballen: 63 kWh/Mg (226,8 MJ/Mg)

Diese Zahlenwerte sind unter dem Gesichtspunkt gültig, dass Stroh als Abfallprodukt (Nebenprodukt) der Getreideernte zu sehen ist. Wird dagegen Getreide mit dem vorrangigen Ziel Stroh zu ernten angebaut, dann müssen die Prozessschritte für die Getreidekultivierung in die Berechnung für den Primärenergieinhalt miteingerechnet werden.¹³⁸

In der nachfolgenden Abb. 3-41 sind prozentuell die anteiligen Prozesselemente für die Herstellung von Quaderballen dargestellt. In diesem Fall wurden günstige

¹³⁸ *Benjamin Krick* (2008):A 17 ff

Bodenverhältnisse, günstig Feldgröße, gutes Erntergebnis, optimale Ernte- u. Transportgeräte und kurze Wegstrecken zur Einlagerungsstätte angenommen.

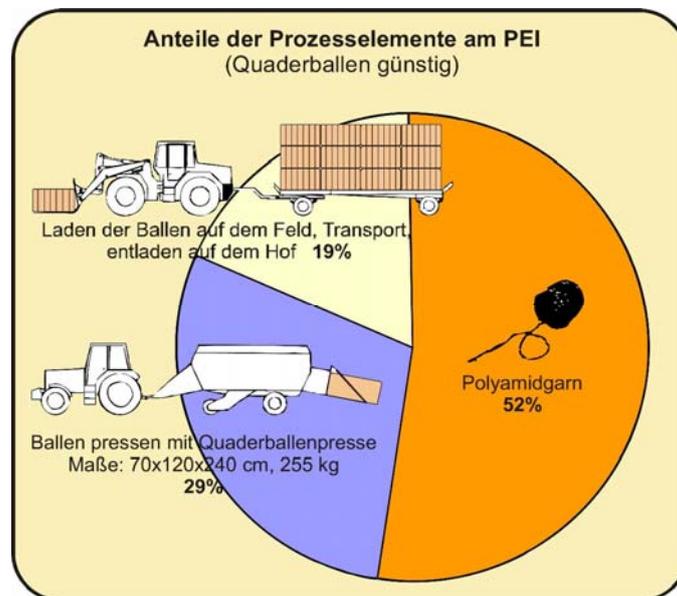


Abb. 3-41: „Anteile der Prozesselemente am PEI bei Quaderball in einem günstigen Fall“
(Benjamin Krick (2008): Seite 47)

Im u.a. Diagramm (Abb. 3-42) sind Primärenergieinhalte verschiedener Baustoffe in einem Diagramm mit logarithmischer Achse dargestellt. Die Angaben über Stroh entstammen der Dissertation von Benjamin Krick, die Angaben über Kalksandstein sind gemäß Zitat von Benjamin Krick von Brinkmann 2004 und Brechner 2006, die Daten zu den weiteren Baustoffen von Waltjen 1999.¹³⁹

¹³⁹ Benjamin Krick (2008): Seite 48

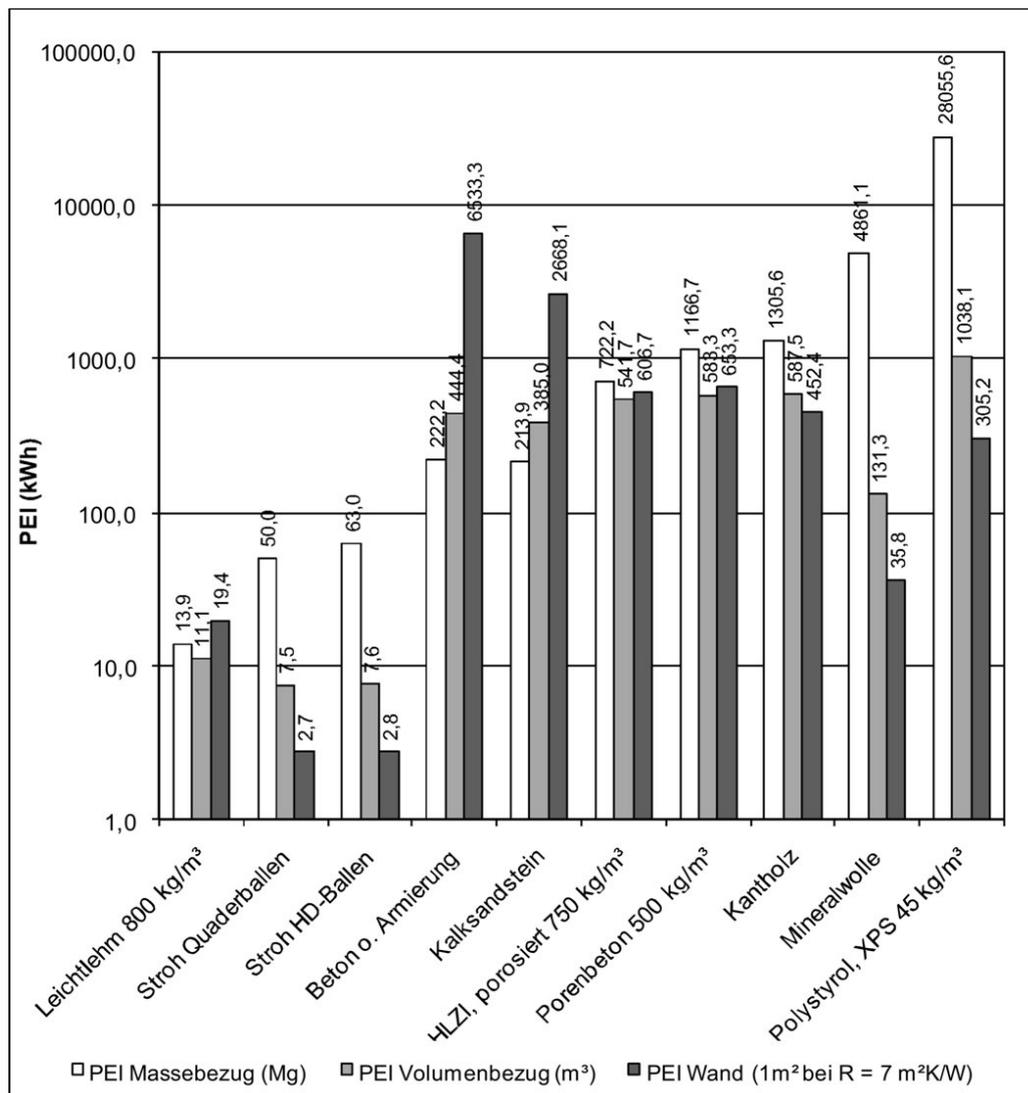


Abb. 3-42: „PEI verschiedener Baustoffe“
(Benjamin Krick (2008): Seite 48)

3.11.3 Resümee

Nach Auskunft der Abteilung Bau- und Anlagentechnik (BD2) vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung sowie nach telefonischer Auskunft von hochrangigen Beamten aus den Gebietsbauämtern der Niederösterreichischen Landesregierung gibt es zu dieser Forderung weder internationale noch nationale materienrechtliche Vorschriften. Daher ist es derzeit praktisch nicht möglich, diese Forderung bei der Errichtung von Bauwerken greifbar umzusetzen.

Aus Sicht des Verfassers ist der Strohballenbau bei korrekter Anwendung hinsichtlich nachhaltiger Nutzung der natürlichen Ressourcen nahezu unschlagbar. Im Weiteren zeigt uns die Geschichte, dass Bauwerke aus Strohballen über Jahrhunderte standhalten können und die Wiederverwertbarkeit als natürliches Düngemittel nach Entfernen der Bindschnüre problemlos möglich ist.

4 ARCHITEKTONISCHER ENTWURF

4.1 ALLGEMEINES

Beim architektonischen Entwurf von Bauwerken aus lasttragenden Strohballen ist im Besonderen auf die relativ geringe Belastbarkeit und zudem auf das ausgeprägte elastomechanische Verhalten sowie auf die hohe Nässe- und Feuchteempfindlichkeit der Strohballenkonstruktionen zu achten. Im Weiteren ist der Entwurf auch wesentlich von der Größe der Strohballen gekennzeichnet, deren Ergebnis relativ dicke Wände sind. Im modernen Strohballenbau finden wir deshalb mehrfach hybride Tragsysteme, bei denen z. B. häufig die Innenwände oder z. B. die südlichen Außenwände mit großen, transparenten Bauteilen aus einem gesonderten Tragsystem, wie z. B. einer Holzriegelkonstruktion, bestehen.

4.2 ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

4.2.1 Dachkonstruktionen

Bei den ersten Strohballenbauten wurden, wie bereits erwähnt, Pyramidendächer bzw. auch Walmdächer ausgeführt. Diese Dachformen ermöglichen eine annähernd gleichmäßige Belastung der Wände.

Ab einem achteckigen Grundriss bietet sich ein Mandala-Dach (reziprokes Dach) zur Ausführung an (vgl. Abb. 4-1). In der Regel gilt dies auch für abgewandelte Konstruktionen, wie z. B. für das doppelte Mandala- oder Reziprok-Dach (vgl. Abb. 4-2).

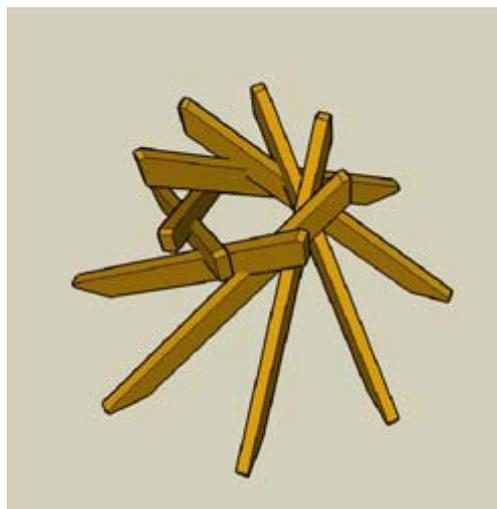


Abb. 4-1: „Prinzipskizze des Mandala-Daches / Reziprok-Daches“
(Aus der Homepage von „Timber Structures“:
<http://www.timberstructures.net/images/mandala-roof.jpg>; abgerufen am 30. 08. 2014)

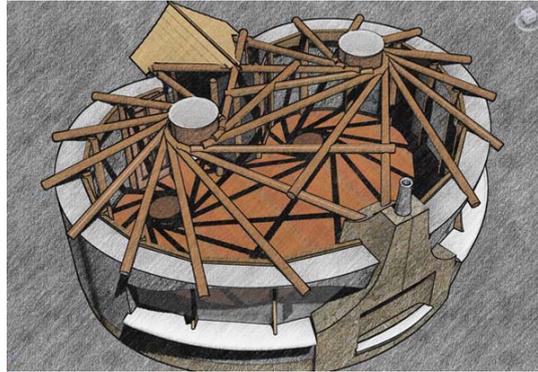


Abb. 4-2 „Strohballenhaus mit einem doppelten Mandala- oder Reziprok-Dach“
 (Aus der Homepage von „Natural Building Blog“: <http://www.naturalbuildingblog.com/wp-content/uploads/Scotland-reciprocal-roof-300x207.jpg>;
 abgerufen am 30. 08. 2014)

4.2.2 Lasttragendes Strohballengewölbe

Sofern das Gewölbe in Form einer Stützlinie ausgeführt ist, bestehen nur Druckspannungen welche naturgemäß auch von Strohballen übernommen werden können (vgl. Abb. 4-3). Die statisch günstigste Form der Stützlinie beschreibt eine umgekehrte Ketten- oder Seillinie.



Abb. 4-3: „Gewölbe aus flach liegenden Strohballen“
 (Aus der Homepage von „Bob Theis Architect“: Register PROTOTYPES und BASIC STRAW BALE VAULT: <http://www.bobtheis.net/images/prototypes/canelovault-photo-BIG.jpg>; abgerufen am 13. 09. 2014)

Nach dem Entwurf von *Gernot Minke* sind in Tamera bei Colos in Portugal im Jahre 2007 die ersten lasttragenden Gewölbe aus konisch geschnittenen (hochkant liegenden) Strohballen entstanden.¹⁴⁰

Weitere fünf aneinander gereihete Gewölbe aus lasttragenden Strohballen wurden 2011/2012 unter der Leitung von *Gernot Minke* in Wangelin (Deutschland) im Zuge eines Strohballenbaukurses hergestellt (vgl. Abb. 4-4).¹⁴¹

¹⁴⁰ *Gernot Minke, Benjamin Krick* (2009): Seite 42 f und Seite 122 ff



Abb. 4-4: „Strohballen-Gewölbebau in Wangelin“
(Aus der Homepage von „Europäische Bildungsstätte für Lehmbau“:
<http://lernpunktlehm.de/wp3/wp-content/uploads/2012/03/DSC01599sabkl.jpg>; abgerufen
am 16. 09. 2014)

4.2.3 Lasttragende Strohballenkuppel

Auch Kuppeln lassen sich aus Strohballen in lasttragender Bauweise realisieren. Im Jahre 2012 wurde der erste Strohballen-Dom auf 5 lasttragenden Strohballen-Gewölben in Hruby Sur, in der Nähe von Bratislava im Zuge eines Workshops realisiert.¹⁴² Über dieses Gebäude sind viele Informationen und Fotos auf der Internetseite „Stow Bale Dome“ <http://minke-strawbaleldome.blogspot.co.at> zu finden. Nachfolgend eine Zeichnung (vgl. Abb. 4-5) und ein Foto von der Errichtung der lasttragenden Strohballenkuppel (vgl. Abb. 4-6).

¹⁴¹ vgl. „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: aus der Homepage: Register STROHBAU-GALERIEN: http://www.baubiologie.at/wp/projekt/?pr=445&na=stroh-tonnengewoelbe_in_wangelin; abgerufen am 16. 09. 2014

¹⁴² vgl. „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: aus der Homepage: Register STROHBAU-GALERIEN: <http://www.baubiologie.at/wp/strohballenbau/strohbaugalerien/>; abgerufen am 15.09. 2014

4.2.4 Grundrisse

Die Grundrisse im „reinen“ lasttragenden Strohballenbau sind aufgrund der relativ geringen Belastbarkeit der Strohballenwände durch kurze Raumtiefen (kurze Deckenspannweiten) geprägt. Die Grundrissformen können sehr unterschiedlich sein. Die nachfolgende Abb. 4-7 zeigt z. B. stark geschwungene Strohballenwände, an deren Oberseite (Wandkopf) Ringbalken in Form einer Leiterkonstruktion ausgeführt wurden. Dieses Demonstrations-Strohballen-Projekt hat man im Zuge eines Workshops im Jahre 2006 in Belf Venedig mit Studenten errichtet.



Abb. 4-7 „Pavillon in Venedig“
(Aus der Homepage von „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: Register STROHBAU-GALERIEN:
http://www.baubiologie.at/_system/bilder/405/projekt_Workshop_La_Boa_in_Belf_Venedig_3768.jpg; abgerufen am 15. 09. 2014)

Ein weiteres Beispiel für geschwungene Strohballenwände vom Architekten *Werner Schmidt* in Zusammenarbeit mit seiner Kollegin *Margareta Schwarz* zeigt die Ferienhausanlage der Familie *Esser* in Lana (Südtirol) aus dem Jahre 2006. Die Wände im Grundriss sind annähernd parabelförmig angeordnet, wobei die geöffnete Seite der „Parabel“ nach Süden orientiert und als Glasfassade ausgeführt ist (vgl. Abb. 4-8).¹⁴³

¹⁴³ Bauhandwerk 3/2008: „Gute Erholung; Ferienhäuser aus lastabtragenden Strohballen in Lana/Südtirol“; <http://www.atelierwernerschmidt.ch/de/bauten/strohhaus-esser-unterholzner>; abgerufen am 15. 09. 2014



Abb. 4-8: „Grundriss für die Ferienhäuser des Esserhofes“
(Bauhandwerk 3/2008: „Gute Erholung“; Ferienhäuser aus lastabtragenden Strohballen in Lana/Südtirol“; <http://www.atelierwernerschmidt.ch/de/bauten/strohhaus-esser-unterholzner>;
abgerufen am 15. 09. 2014)

Bauwerke mit größeren Raumtiefen bestehen in der Regel aus hybriden Tragwerksystemen, wie z. B. das Haus „Fliri“ in Graun (Südtirol) (vgl. Punkt 4.3.3). Meist sind die Außenwände aus relativ dicken lasttragenden Strohballen, die Innenwände werden dagegen häufig in aussteifender Fachwerks- oder Plattenbauweise aus Holz ausgeführt. Dicke Leibungen bei Wandöffnungen sind ein weiteres Charakteristikum bei größeren Strohballenbauten in lasttragender Bauweise.

4.2.5 Wandkopf mit Ringbalkenkonstruktionen

Sofern es sich nicht um einen Gewölbe- oder Kuppelbau handelt, sind Ringbalkenkonstruktionen am Wandkopf ebenso ein Kennzeichen für den lasttragenden Strohballenbau. Die Aufgabe des Ringbalkens ist das gleichmäßige Einleiten der Kräfte in die Strohballenwand. Hierzu gibt es verschiedene Systeme, welche im Strohballenbau zumeist aus Holz ausgeführt werden. In der nachfolgenden Abb. 4-9 ist eine Ringbalkenkonstruktion skizziert, die aus einer Lage Lastverteilungspfosten und zwei Balken besteht. In diesem Beispiel bildet eine Fachwerkskonstruktion das Dach, welche auf die Ringbalken aufgelegt ist. Im Weiteren ist die Variante mit Spann- bzw. Zugstangen beidseits der Strohballenwand für die Aufbringung der Vorspannkräfte eingezeichnet.

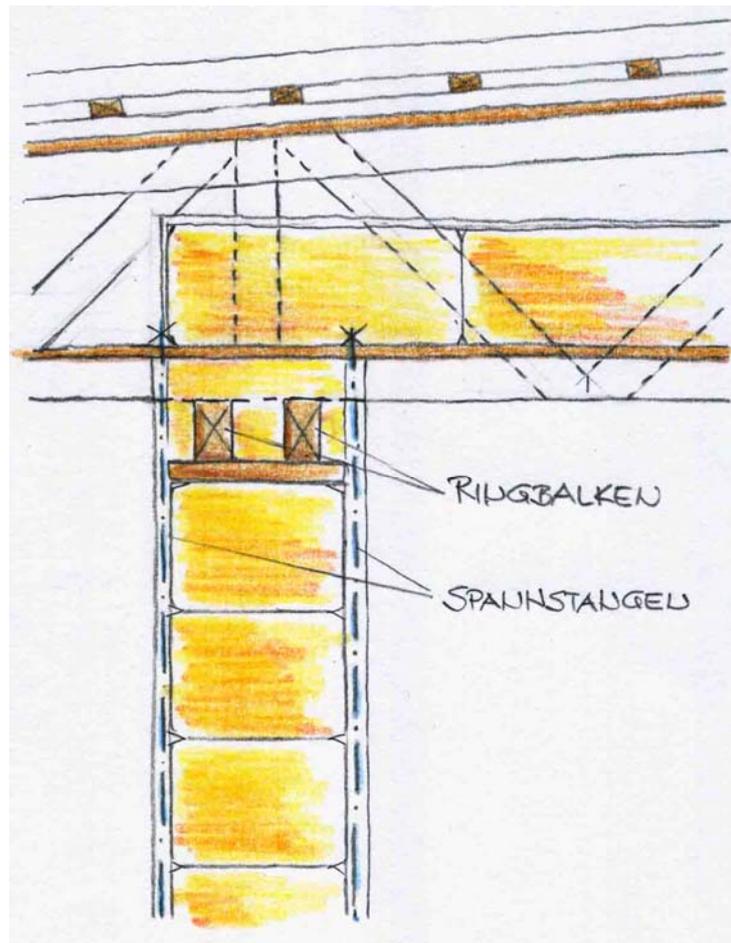


Abb. 4-9: „Mögliche Ausbildung einer Ringbalkenkonstruktion bei einem Dachstuhl aus Fachwerksbindern und einer Vorspanneinrichtung aus Spann- bzw. Zugstangen seitlich der Strohballenwand“ (Skizze des Verfassers)

4.2.6 Deckenkonstruktionen

Ähnlich wie das Dach ist auch eine Decke zur gleichmäßigen Lastableitung auf die Strohballen aufzulegen. Spezielle im Strohballenbau bieten sich heutzutage für die Ausführung von Geschoßdecken die Massivholzdecken, wie z. B. Brettstapeldecken sowie Kreuzlagen- oder Brettsperrholzdecken an. Sollte die Wahl auf eine Tramdecke fallen, ist auch bei der Geschoßdecke eine entsprechende Ringbalkenkonstruktion zur Lastverteilung auszuführen.

4.2.7 Fundierung und Wandfuß mit Fußbodenaufbau

Die Fundierung ist einerseits sehr stark von der Bodenart des Baugrundes abhängig, andererseits von der Breite der Strohballenwand. Die Lasten, welche im Strohballenbau in den Baugrund abgetragen bzw. eingeleitet werden müssen, sind verhältnismäßig gering. Die Breite der verwendeten Strohballen verlangen jedoch auch breite Fundamente, welche aber nicht durchgehend sein müssen, sondern gegebenenfalls auch als Punktfundamente oder

kurze Streifenfundamente mit darüber liegenden Balken- oder Plattenkonstruktionen ausgeführt werden können.

In der nachfolgenden Abb. 4-10 ist eine relativ dünne Strohballenwand ersichtlich. In diesem Fall wurde ein durchgehendes Streifenfundament gewählt. Die Befestigung der untersten Strohballenlage erfolgt mit Steckeisen, wobei diese Steckeisen im Beton- oder Stahlbetonfundament verankert sind. Auf dem Streifenfundament ist der Unterlagsbeton mit der Feuchtigkeitsabdichtung zu sehen. Im Wandbereich darüber sind innen- und außenseitig Kanthölzer verlegt, welche ein Kondensat mit Schimmelbildung im Strohballen vermeiden sollen. Anstelle der Kanthölzer werden auch Ziegel aus Porenbeton, wie z. B. YTONG-Steine verwendet. Die Strohballen sind erst über dem Niveau des Spritzwasserbereiches zu beginnen oder andere, geeignete Maßnahmen zur Nässefreiheit sind auszuführen.

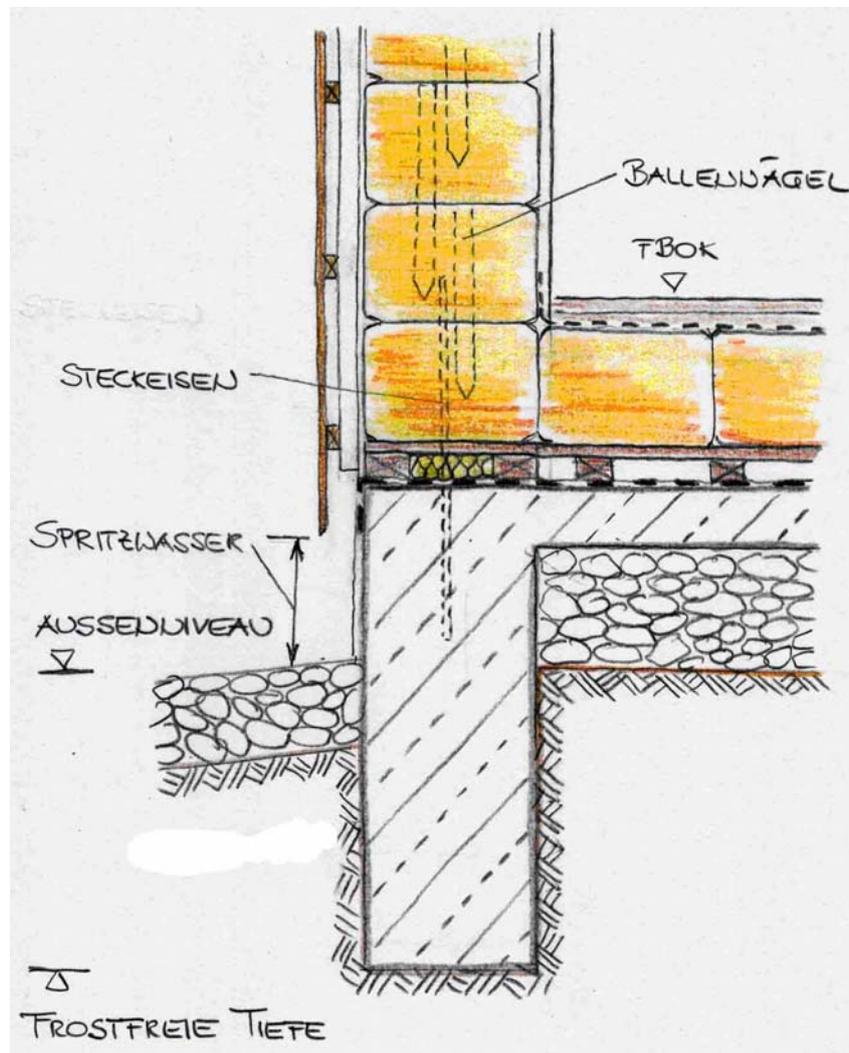


Abb. 4-10: „Beispiel einer Fundierung mit Wandfuß- und Fußbodenausbildung“
(Skizze des Verfassers)

4.3 PROJEKTBEISPIELE

4.3.1 “Pay-As-You-Go ‘Structural’ Hybrid” von Matts Myhrman und MacDonald

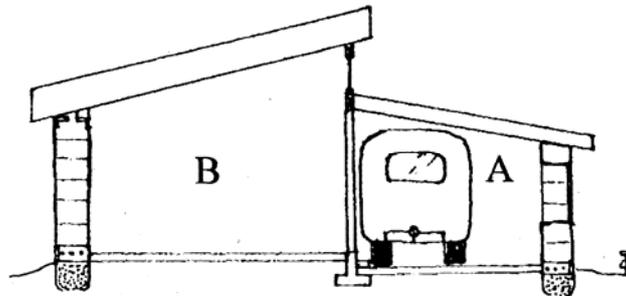


Abb. 4-38: „Schritte zum Strohhaus“
(Herbert & Astid Gruber, Helmuth Santler (2012): Seite 63)

Eine der wohl pragmatischsten Entwurfsansätze stammt von *Matts Myhrman*, welche er mit folgenden Schritten beschreibt (siehe Abb. 4-38):¹⁴⁴

- *Im Wohnmobil leben und Geld sparen, um Dein Strohhaus zu bauen.*
- *Eine Überdachung für das Wohnmobil bauen, eine Wand mit Strohballen verkleiden (A) und eine zweite provisorisch errichten.*
- *Noch mehr Geld sparen*
- *Teil B bauen*
- *Die provisorische Wand abbauen und das Wohnmobil entfernen, eine Zwischenwand einbauen und das Haus verputzen.*
- *Verkaufe Dein Wohnmobil an jemanden, der das beginnen möchte, was Du gerade beendet hast.*

4.3.2 “Spiral House”

Dieses “Spiral-Haus” (siehe Abb. 4-39 bis Abb. 4-41) ist eines der ersten genehmigten lasttragenden Strohballengebäude in Europa, jedenfalls das erste Haus mit zwei Geschoßen. Es steht in Castlebar in Irland und wurde 2002 fertig gestellt. Die Bauherrin und Designerin *Norita Clesham* entwarf den Grundriss in Form einer Nautilus-Muschel. Genau genommen handelt es sich hierbei um ein hybrides Tragsystem, denn der zentrale Kamin in der Mitte des Bauwerks wird durch die Dach- und Deckenkonstruktionen belastet. Die lasttragenden Wände wurden auf einem Fundament aus Kalkstein erreichtet.

¹⁴⁴ vgl. *Matts Myhrman* und *S. O. MacDonald* (1997): „Built it with Bales“: zitiert in *Herbert & Astid Gruber, Helmuth Santler* (2012): Seite 63

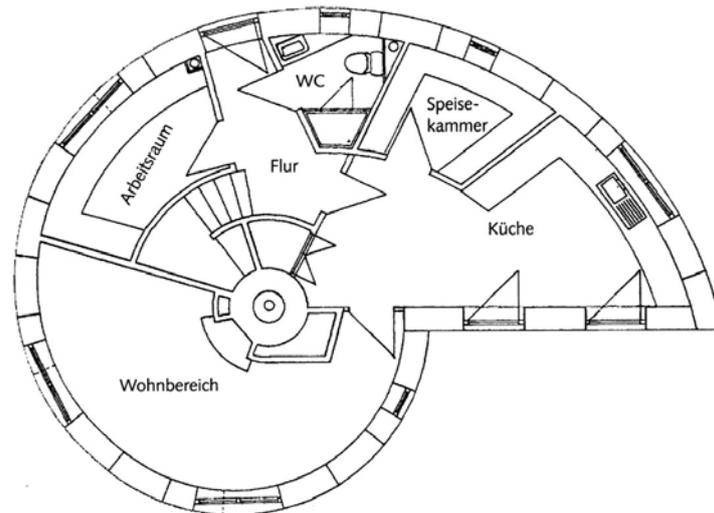


Abb. 4-39: „Grundriss des Spiral-Hauses“
(Gernot Minke, Benjamin Krick (2009): Seite 109)



Abb. 4-40: „Spiral-Haus während des Baus“
(Aus der Homepage von „Straw Bale Futures“: <http://www.strawbalefutures.org.uk/wp-content/uploads/sites/8/2013/02/spiralhouse1.jpg>; abgerufen am 30. 08. 2014)



Abb. 4-41: „Spiral-Haus kurz vor der Fertigstellung“
(http://2.bp.blogspot.com/-pUHN4-nhPWc/UcRVzluV_KI/AAAAAAAAAF0c/26e3dk40Vxk/s1600/big_spiralhouse02-450x315.jpg;
abgerufen am 30. 08. 2014)

4.3.3 Strohhaus Fliri

Das „Strohhaus Fliri“ wurde dreigeschoßig in lasttragender Bauweise errichtet (siehe Abb. 4-42 bis Abb. 4-48). Dieses Haus mit Standort im Gemeindegebiet von Graun in Südtirol beinhaltet Ferienwohnungen und das Atelier des Bau- und Hausherrn und freischaffenden Künstlers *Richard Fliri*. Der Architekt *Werner Schmidt* und der Ingenieur *Peter Braun* haben sich für dieses herausragende Strohballen-Bauwerk auf etwa 1850 m Meereshöhe entsprechend sorgfältig (u.a. mit experimentellen Annäherungen) vorbereitet. Wegen der Schutzzone im Baubereich und nicht wegen der Bauweise hat die Ausstellung der Baugenehmigung einige Jahre gedauert, so dass eine Planungszeit von sechs Jahren zu verzeichnen ist, ehe das Projekt nach acht monatiger Bauzeit im Jahre 2007 fertig gestellt werden konnte.^{145,146} Die Grundrissform (siehe Abb. 4-44 und Abb. 4-45) bildet ein Quadrat, wobei jede Wandfläche in der Mitte durch eine Öffnung für Terrassen, Balkone u. dgl. unterbrochen ist. Um die Last gleichmäßig zu verteilen wurden die L-förmigen Wandecken symmetrisch mit Großballen (Jumboballen) (2,40 m * 1,20 m * 0,70 m) ausgebildet. Das Dach weist eine Neigung von 45° auf, so dass der Schnee abrutscht und damit keine allzugroßen Schneelasten zu erwarten sind. Die Trennwände sind aus mit Lehm verputzten Ziegeln, welche mit dem Fußbodenbelag aus Terracotta die thermische Speichermasse für ein entsprechend behagliches Wohnklima bilden.¹⁴⁵

Die Baukosten werden mit 456.000 € (1.700 €/m²) angegeben.¹⁴⁶

Anzumerken ist, dass bei diesem Gebäude die Zwischenwände aus Ziegeln mit Lehmputz Lasten übernehmen und somit genau genommen auch hier ein hybrides Tragsystem vorliegt (vgl. Abb. 4-48).

Dem Buch von *Andrea Bocco Guarneri*¹⁴⁶ ist zu entnehmen, dass die Strohballenwände seit fünf Jahren Betriebszeiten Streckenlasten von etwa 50 kN/m ohne größere Probleme überstanden haben. Im Weiteren ist darin festgehalten, dass lasttragende Strohballenbauten in Italien nicht mehr standardmäßig genehmigt werden können, da Stroh nicht unter den rechtlich anerkannten Baumaterialien geführt wird, d. h. man würde zum heutigen Zeitpunkt für die Genehmigung des Hauses Fliri ein einmaliges Eignungszertifikat des nationalen Technikrates brauchen. Wir dürfen aus diesem Buch auch erfahren, dass *Peter Braun* nicht die maximale Belastbarkeit als primäre Aufgabenstellung beim lasttragenden Strohballenbau sieht, sondern die gleichmäßige Setzung des Gebäudes bzw. der Gebäudeteile. So wurden

¹⁴⁵ vgl. Homepage Atelier Werner Schmidt: Register: BAUTEN – STROHHAUS-FLIRI; <http://www.atelierwernerschmidt.ch/-de/bauten/strohhaus-fliri>; abgerufen am 30. 08. 2014

¹⁴⁶ vgl. *Andrea Bocco Guarneri* (2013): Seite 239 ff

beim Haus Fliri temporäre Lasten in den Stockwerken aufgebracht, um die Setzungen zu regulieren. *Peter Braun* ist der Meinung, dass eine Vorspannung von Strohballen nicht erforderlich ist.¹⁴⁶



Abb. 4-42: „Haus Fliri“

(Aus der Homepage vom Atelier Werner Schmid: Register: BAUTEN – STROHHAUS FLIRI;
<http://www.atelierwernerschmidt.ch/photos/c0/7bl2db554o0evqsnbq hc4g5mkup17n/fliri02-912-1.33.jpg>; abgerufen am 30. 08. 2014)



Abb. 4-43: „Haus Fliri während des Errichtens“

(Aus der Homepage vom Atelier Werner Schmid: Register: BAUTEN – STROHHAUS FLIRI;
http://www.atelierwernerschmidt.ch/photos/ce/3p1rfib3izzz 4s97mj3po3sbvgir84/fliri-stroh3_72dpi-912-1.33.jpg; abgerufen am 30. 08. 2014)

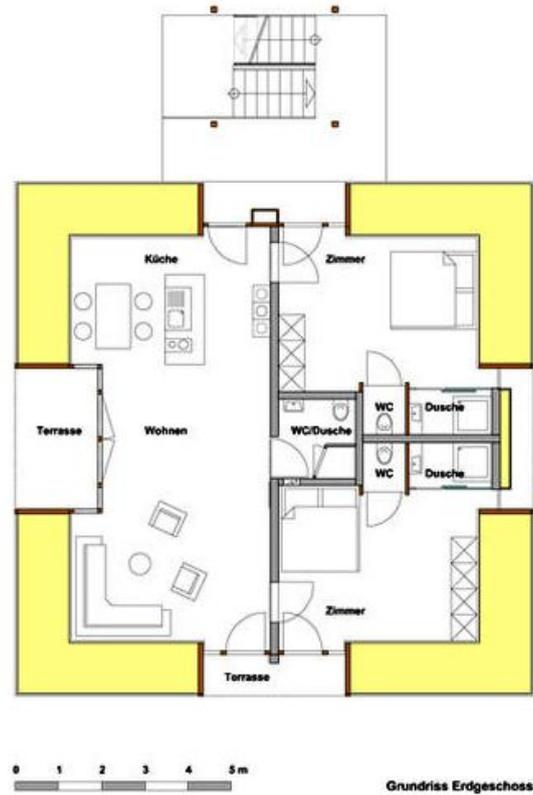


Abb. 4-44: „Haus Fliri: Grundriss – Erdgeschoß“
 (Aus der Homepage vom Atelier Werner Schmidt: Register: BAUTEN – STROHHAUS FLIRI;
<http://www.atelierwernerschmidt.ch/photos/d4/dghtajpxohwdwl1i3iyg4ggsciiu0/erdgeschoss-850-1.33.jpg>, abgerufen am 30. 08. 2014)

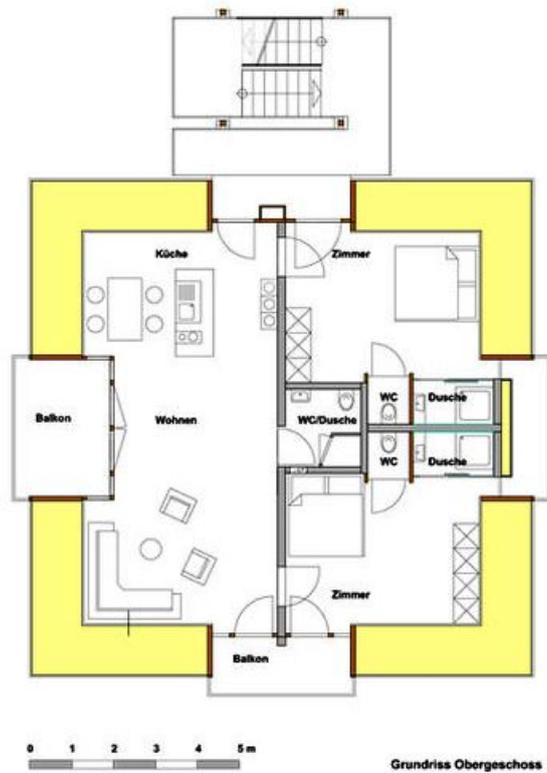


Abb. 4-45: „Haus Fliri: Grundriss – Obergeschoß“
 (Aus der Homepage vom Atelier Werner Schmidt: Register: BAUTEN – STROHHAUS FLIRI;
<http://www.atelierwernerschmidt.ch/photos/70/y36m5zx6fm70cldjwes5l8csp2wmqn/obergeschoss-850-1.33.jpg>, abgerufen am 30. 08. 2014)



Abb. 4-46: „Haus Fliri: Schnitt A-A“
(Aus der Homepage vom Atelier Werner Schmid: Register: BAUTEN – STROHHAUS FLIRI;
<http://www.atelierwernerschmid.ch/photos/59/7ims20175h54ignvf4ux3mwqexru2l/schnittaa-850-1.33.jpg>, abgerufen am 30. 08. 2014)

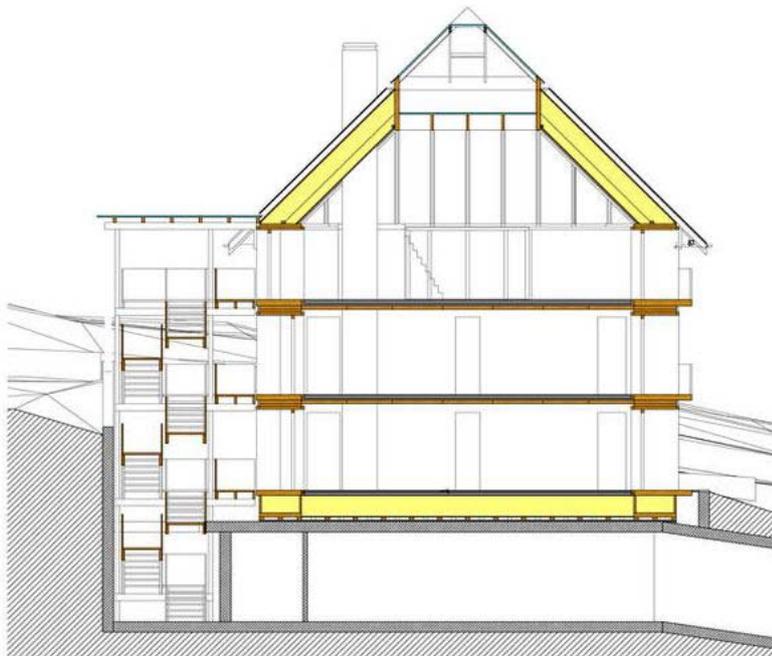


Abb. 4-47: „Haus Fliri: Schnitt B-B“ (Aus der Homepage vom Atelier Werner Schmid:
Register: BAUTEN – STROHHAUS FLIRI; <http://www.atelierwernerschmid.ch/photos/1b/eeijkk6wwc61k61bbdvi7niykazk8/schnittbb-850-1.33.jpg>,
abgerufen am 30. 08. 2014)

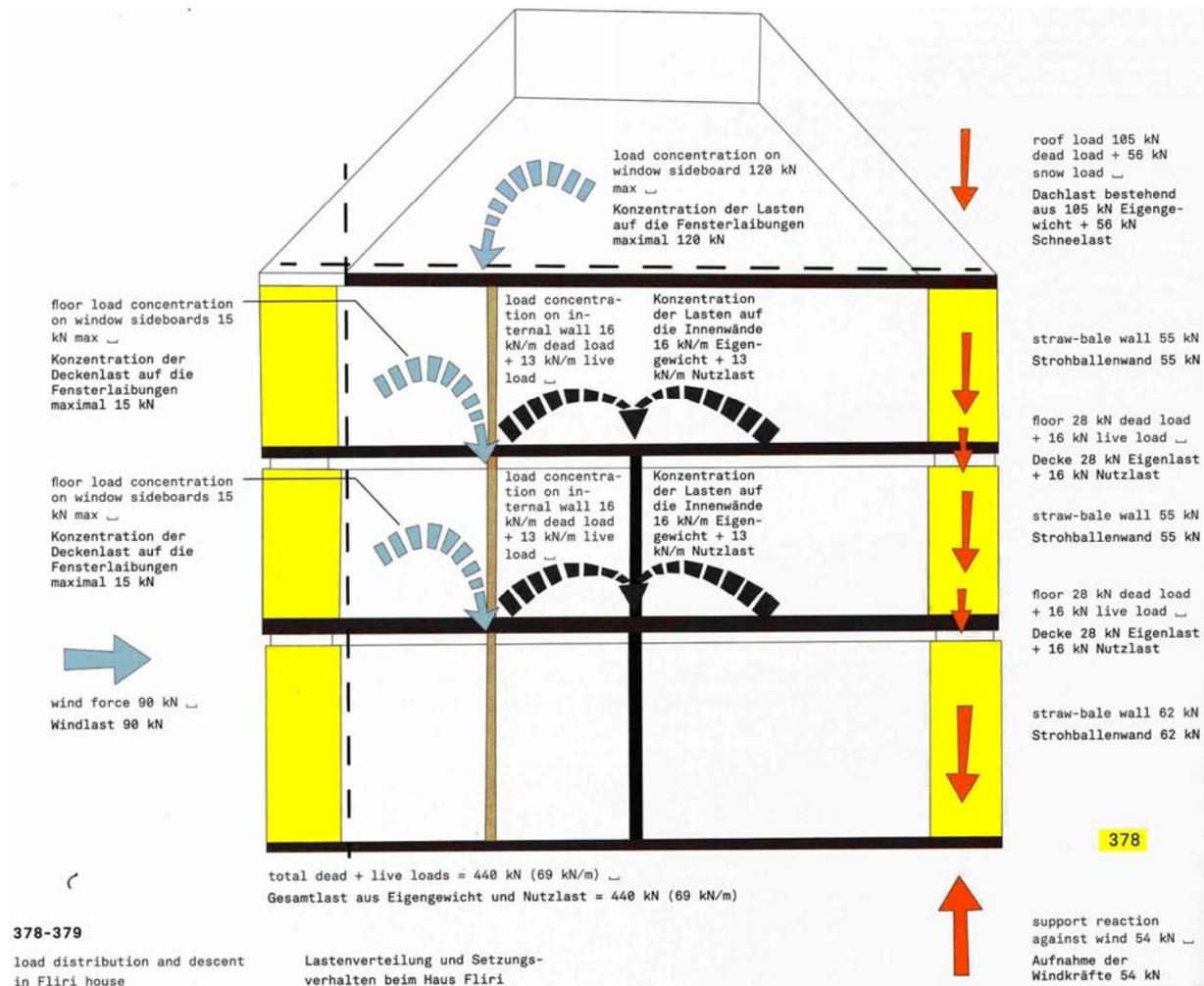


Abb. 4-48: „Lastverteilung und Setzungsverhalten beim Haus Fliri“ (Andrea Bocco Guarneri (2013): Seite 378)

4.3.4 Erstes lasttragendes Strohhhaus in Österreich als Nebengebäude

Das erste lasttragende Strohballenhaus als landwirtschaftliches Nebengebäude wurde in St. Georgen in Kärnten im Zuge eines Workshops mit dem holländisch-französischen Strohballenbauer *Martin Oehlmann* im Jahre 2002 errichtet (siehe Abb. 4- 49).¹⁴⁷

¹⁴⁷ Homepage ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau); <http://www.baubiologie.at/wp/strohballenbau/strohbaugalerien/>



Abb. 4- 49: „Erstes lasttragendes Strohhaus in Österreich als Nebengebäude“ (Aus der Homepage von „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: http://www.baubiologie.at/_system/bilder/166/projekt_Lasttragendes_Strohballenhaus_in_St_Georgen_Kaernten_909.jpg, abgerufen am 30. 08. 2014)

4.3.5 Haus Keimel-Lessing

Das erste baugenehmigte lasttragende Strohballenhaus in Österreich wurde in der Steiermark in der Nähe von Eichkögl für *Bernhard* und *Antje Keimel-Lessing* im Jahre 2012 errichtet (siehe Abb. 4-50 bis Abb. 4-53).¹⁴⁸ Verantwortlich für den Strohballenbau zeichnet *Virko Kade* vom Unternehmen *Stroh & Lehm*. Entwurf und Planung stammen von *Jörg Spöttl* (pluspunkt.cc) sowie von der Baufrau / von dem Bauherrn.



Abb. 4-50: „Haus Keimel Lessing – während der Errichtung“ (Aus der Homepage von „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: http://www.baubiologie.at/_system/bilder/370/projekt_Erstes_baugenehmigtes_lasttragendes_Strohballenhaus_3521.jpg; abgerufen am 30. 08. 2014)

¹⁴⁸ Homepage ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau): http://www.baubiologie.at/wp/projekt/?pr=370&na=erstes_baugenehmigtes_lasttragendes_strohballenhaus



Abb. 4-51: „Haus Keimel Lessing – während der Errichtung“
(Aus der Homepage von „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: http://www.baubiologie.at/_system/bilder/370/projekt_Erstes_baugenehmigtes_lasttragendes_Strohballenhaus_3513.jpg; abgerufen am 30. 08. 2014)



Abb. 4-52: „Haus Keimel Lessing – während der Errichtung“
(Aus der Homepage von „ASBN – Austrian Straw Bale Network (Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau)“: http://www.baubiologie.at/_system/bilder/370/projekt_Erstes_baugenehmigtes_lasttragendes_Strohballenhaus_3516.jpg; abgerufen am 30. 08. 2014)



Abb. 4-53: „Haus Keimel Lessing – Fertiggestellter Erker“
((Aus der Homepage von „Stroh & Lehm“: Register: PROJEKTE/GALERIE:
http://strohundlehm.at/sites/default/files/styles/media_gallery_large/public/node_gallery/thumb_b_Keiml_neu1.jpeg?itok=T1oNjrb1, abgerufen am 31. 08. 2014)

4.3.6 Musterhaus Höller

Gemäß der Gebäudedatenbank von klima:aktiv gilt dieses „Strohballen Musterhaus Ebergassing“ (Projektbezeichnung) als „erstes lasttragendes Strohballen-Musterhaus Österreichs“ und wurde in die Objekttypologie „Ein-/Zweifamilienwohnhäuser“ eingeordnet und 2013 fertig gestellt (siehe Abb. 4- 54 bis Abb. 4-59). Die Baumeister Ing. Jürgen Höller GmbH ist Bauträger, Bauherr und Planer, sowie das ausführende Unternehmen. Das Gebäude ist ein Passivhaus mit einer Nutzfläche von 247,06 m² und enthält Ausstellungs- und Schulungsräume sowie Personalaufenthaltsräume inklusive zugehöriger Nebenräume. Weitere Details sind im zugehörigen Datenblatt von klimaaktiv ersichtlich (siehe Anhang).

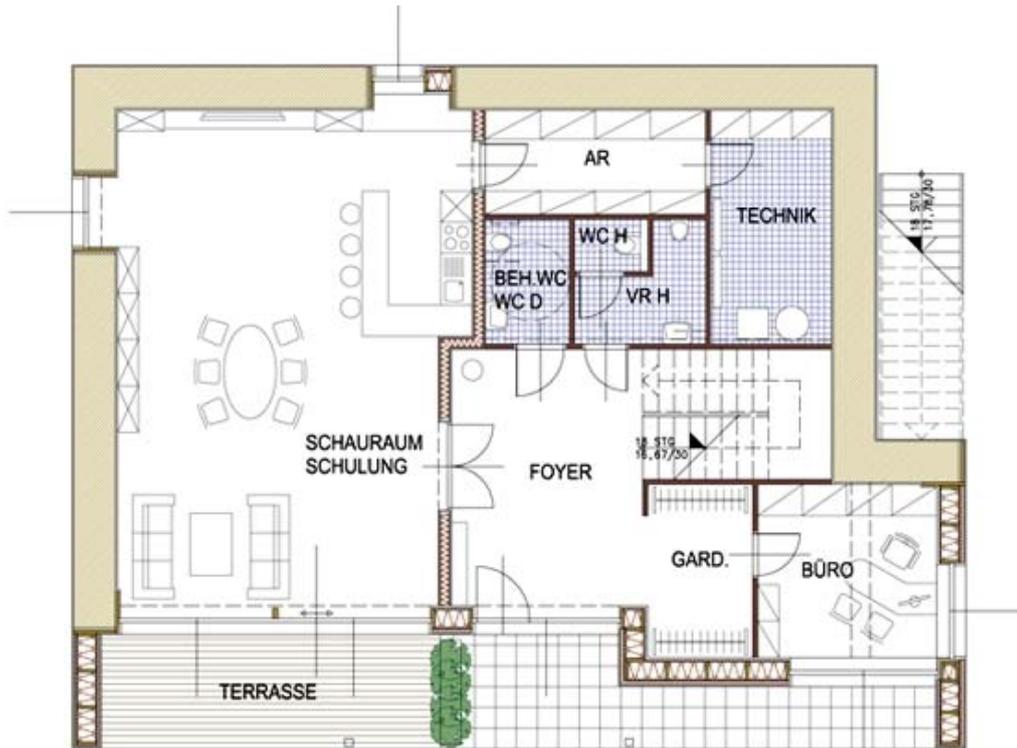


Abb. 4- 54: : „Strohballenbau – Musterhaus: Erdgeschoß“
 (Aus der Homepage von „Strohplus GmbH“: Register MUSTERHAUS+:
http://www.strohplus.at/tl_files/User_Upload/strohplus/bilder/musterhaus/strohplustmusterhaus_EG.jpg; abgerufen am 01. 09. 2014)



STROHPLUS MUSTERHAUS OBERGESCHOß

Abb. 4-55: „Strohballenbau – Musterhaus: Obergeschoß“
 (Aus der Homepage von „Strohplus GmbH“: Register MUSTERHAUS+:
http://www.strohplus.at/tl_files/User_Upload/strohplus/bilder/musterhaus/strohplustmusterhaus_OG.jpg; abgerufen am 01. 09. 2014)

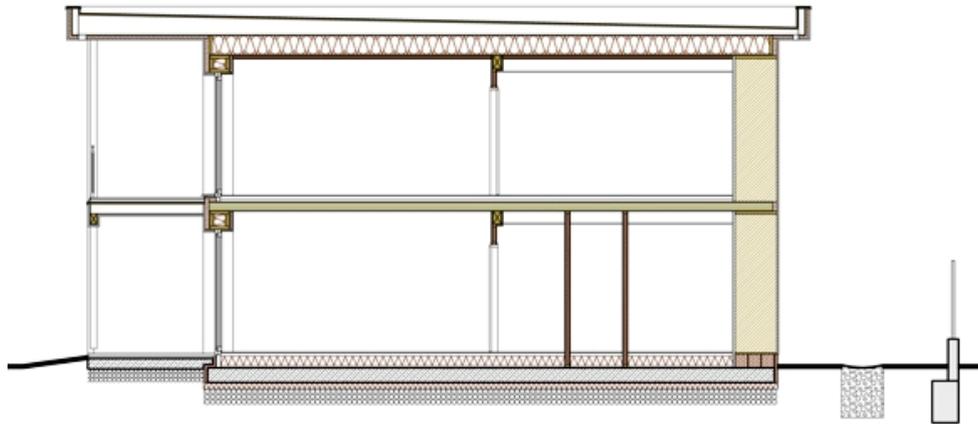


Abb. 4-56: „Strohballenbau – Musterhaus: Schnitt A-A“
 (Aus der Homepage von „Strohplus GmbH“: Register MUSTERHAUS+:
http://www.strohplus.at/tl_files/User_Upload/strohplus/bilder/musterhaus/strohplustmusterhaus_SCHNITT.jpg; abgerufen am 01. 09. 2014)



Abb. 4-57: „Strohballenbau – Musterhaus: Süd-West-Ansicht“
 (Aus der Homepage von „Strohplus GmbH“: Register MUSTERHAUS+:
http://www.strohplus.at/tl_files/User_Upload/strohplus/bilder/musterhaus/strohplustmusterhaus_ASW.jpg; abgerufen am 01. 09. 2014)



Abb. 4-58: „Strohballenbau – Musterhaus: Zwischendeckenmontage“
 (Aus der Homepage von „Strohplus GmbH“: <http://www.strohplus.at/strohplus-newsletter-anzeigen/items/052013.html>; abgerufen am 01. 09. 2014)



Abb. 4-59: „Strohballenbau – Musterhaus: Foto der Südfassade“
 (Aus einem Artikel der Zeitschrift „NÖN-Schwechat“: http://static3.noemnachrichten.at/storage/org/8/8/2/1274288_1_c61b76e4.jpg?version=1388435862;
 abgerufen am 01. 09. 2014)

4.3.7 Strohballenhaus in Andrá Wördern

Mit „1. Österreichisches lasttragendes Plusenergie-Stroh- Haus 9 kWh/m²a an die Bauherren übergeben“ wird der Presstext zum gegenständlichen Strohballenhaus betitelt. Im Weiteren wird darin festgehalten, dass sich das lasttragende Strohballengebäude für die Bauherren *Renate Wäckerle* und *Siegfried Schönbauer* mit einer Energiekennzahl 9 kWh/m²a auszeichnet und über eine 4 kWp PV- Anlage sowie Speicherbatterien 8 x 6V 250 Ah verfügt.¹⁴⁹

Nachfolgend aufgelistet sind die technischen Daten zum Strohballenhaus in Andrá Wördern (siehe Abb. 4-60 bis Abb. 4-66) aus der Homepage von „Unser Strohhaus Bau GmbH“:¹⁵⁰

Technische Info:
 Lasttragendes Strohhhaus - Bungalow 9 kWh/m²a
 Plusenergiehaus PV- Anlage 4 kWp,
 Speicherbatterien 8 x 6V- 250 Ah

Wohnnutzfläche 112,26 m²
 Brutto Grundfläche 154 m²

Heizwärmebedarf 1,631 kW/ha

¹⁴⁹ Homepage von „Unser Strohhaus Bau GmbH“: Register: PRESSE-CORNER: Dokument: „Text fuer die OTS-Aussendung_Plusenergie-Strohhaus_KW44.doc“; <http://www.unserstrohhaus.at/presse-texte-strohhaus-allgemein.html>; abgerufen am 01. 09. 2014

¹⁵⁰ Homepage von „Unser Strohhaus Bau GmbH“: Register: PRESSE-CORNER: Dokument: Technische Beschreibung 1 Plus Energiehaus Schoenbauer.docx; <http://www.unserstrohhaus.at/technische-info-plus-energie-stroh-haus.html>, abgerufen am 30. 08. 2014

Endenergiebedarf 1,757 kW/ha

Thermische Hülle:

Außenwand

U- Wert = 0,10 W/m²K

Außenwand bei den Fenstern

U- Wert = 0,10 W/m²K

Decke zum Dach

U- Wert = 0,06 W/m²K

Boden Erdanliegend

U- Wert = 0,09 W/m²K

Wärmepumpe:

Luft- Wasserwärmepumpe, mit Lüftungsanlage und Kühlfunktion und 235l

Warmwasserspeicher, mit bis zu 90% Wärmerückgewinnung

Wärmeabgabe Fußbodenheizung

Fenster:

3 Scheiben Holz- Alu Passivhausfenster, g- Wert 0,50



Abb. 4-60: „Strohballenhaus Andrá Wördern: Strohwände“
(Aus der Homepage von „contentplanet e.U.“: Fotoalbum; Dateibezeichnung: „BV
Scho!ênbauer 1 (224).jpg“ <http://mediencontent.at/unserstrohhaus/erstes-oesterreichisches-lasttragendes-plusenergie-strohhaus/#>;
abgerufen am 01. 09. 2014)



Abb. 4-61: „Strohballenhaus Andrä Wördern: Außenputz auf Strohwände“
 (Aus der Homepage von „contentplanet e.U.“: Fotoalbum; Dateibezeichnung: „BV
 Schojénbauer 1 (506).jpg“ <http://mediencontent.at/unsersirohhaus/erstes-oesterreichisches-lasttragendes-plusenergie-strohhaus/#>;
 abgerufen am 01. 09. 2014)

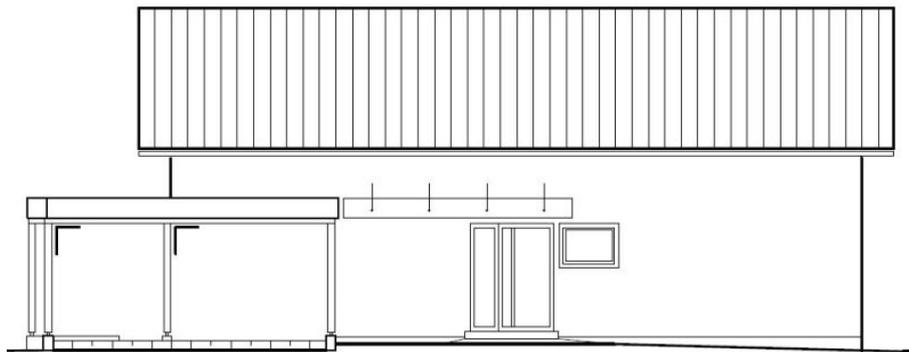


Abb. 4-62: „Strohballenhaus Andrä Wördern: Nordansicht“
 (Aus der Homepage von „contentplanet e.U.“: Fotoalbum; Dateibezeichnung: „NOjê1.N.jpg“
<http://mediencontent.at/unsersirohhaus/erstes-oesterreichisches-lasttragendes-plusenergie-strohhaus/#>;
 abgerufen am 01. 09. 2014)

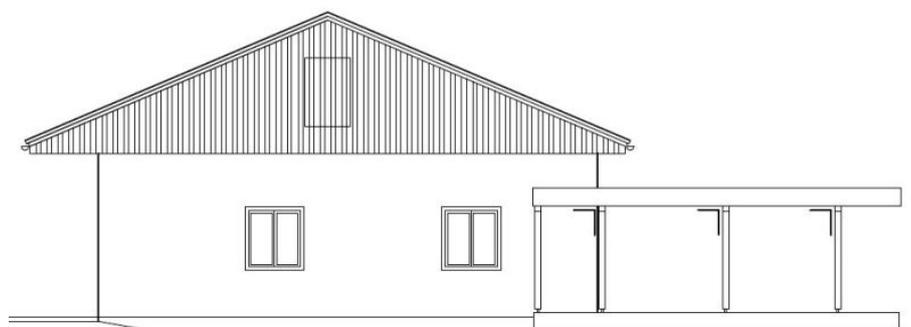


Abb. 4-63: „Strohballenhaus Andrä Wördern: Ostansicht“
 (Aus der Homepage von „contentplanet e.U.“: Fotoalbum; Dateibezeichnung: „NOjê1.O.jpg“
<http://mediencontent.at/unsersirohhaus/erstes-oesterreichisches-lasttragendes-plusenergie-strohhaus/#>;
 abgerufen am 01. 09. 2014)

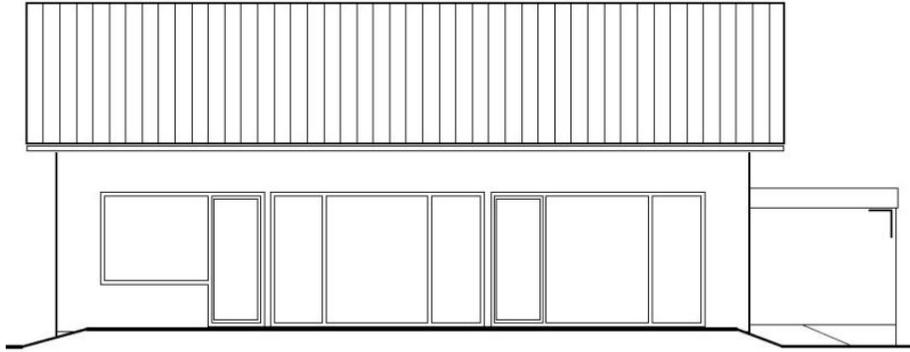


Abb. 4-64: „Strohballenhaus Andra Wördern: Südansicht“
(Aus der Homepage von „contentplanet e.U.“: Fotoalbum; Dateibezeichnung: „NO1.S.jpg“
<http://mediencontent.at/unserstrohhaus/erstes-oesterreichisches-lasttragendes-plusenergie-strohhaus/#>; abgerufen am 01. 09. 2014)

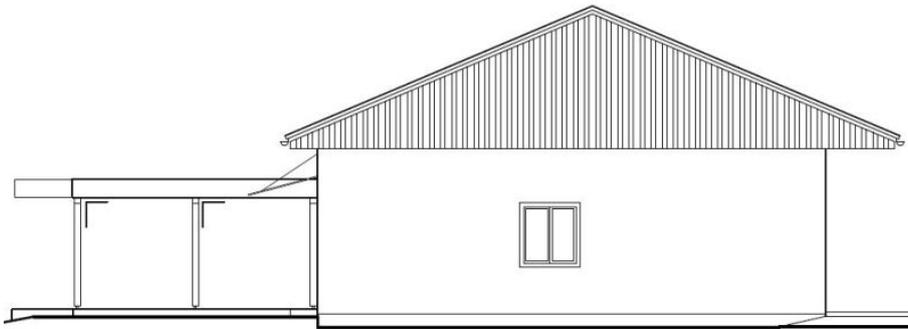


Abb. 4-65: „Strohballenhaus Andra Wördern: Westansicht“
(Aus der Homepage von „contentplanet e.U.“: Fotoalbum; Dateibezeichnung: „NO1.W.jpg“
<http://mediencontent.at/unserstrohhaus/erstes-oesterreichisches-lasttragendes-plusenergie-strohhaus/#>; abgerufen am 01. 09. 2014)



Abb. 4-66: „Strohhaus in Andra Wördern“
(Aus der Homepage von der „Bauherrenhilfe.org – Verein für Qualität am Bau“:
http://bauherrenhilfe.org/wp-content/uploads/2013/11/Bild-67_Strohhaus.jpg; abgerufen am
01. 09. 2014)

4.3.8 Temporäre Strohballenbauten

Nachfolgend sind drei Bauwerke angeführt, um die Vielfalt der Möglichkeiten, die uns der lasttragende Strohballenbau, speziell auch temporär bietet, aufzuzeigen.

4.3.8.1 Strohballenturm in Lenzburg (Schweiz)

Als „Wahrzeichen“ für die 7. Aargauische Landwirtschaftliche Ausstellung in der Schweiz im Jahre 2013 wurde ein 13 m hoher Turm (siehe Abb. 4-67) aus Strohballen errichtet.¹⁵¹



Abb. 4-67: „13 m hoher Strohballenturm“; (<http://www.landwirtschaft.ch/typo3temp/pics/137184edc6.jpg>; abgerufen am 15. 09. 2014)

4.3.8.2 “United Bales of Straw” in Lungern (Schweiz)

Beim AWARD 2012 für Marketing + Architektur (Auszeichnung für hochwertige Corporate Architecture) konnte das Strohhaus von *Beat* und *Erna Ming* (siehe Abb. 4-68 bis Abb. 4-70) in der Kategorie C: Hotels, Restaurants, Bars, Residenzen punkten. Die Idee stammt von

¹⁵¹ Landwirtschaftlicher Informationsdienst: „Erleben. Geniessen“ – Die ALA 2013 ist eröffnet“; <http://www.landwirtschaft.ch/de/aktuell/agronews/detail/article/2013/08/15/erleben-geniessen-die-ala-2013-ist-eroeffnet/>; abgerufen am 15. 09. 2014

Florian Stroh, der im Zuge eines Entwurfsemesters an der ETH Zürich ein Projekt im biologischen Kreislauf entwickelte. Das temporäre Bauwerk entsteht als „Strohballen-zwischenlager“ und bietet dabei Schlafgelegenheiten bis etwa vier Monate später das Stroh als Streu im Stall benötigt wird.¹⁵²



Abb. 4-68: „Temporäres Strohballen-Hotel“
(Aus der Homepage von „Baukoma AG“: Register: AWARD 2012, SIEGEROBJEKTE;
http://www.marketingarchitektur.ch/uploads/bilder/C_49_Bild_1.jpg;
abgerufen am 16. 09. 2014)

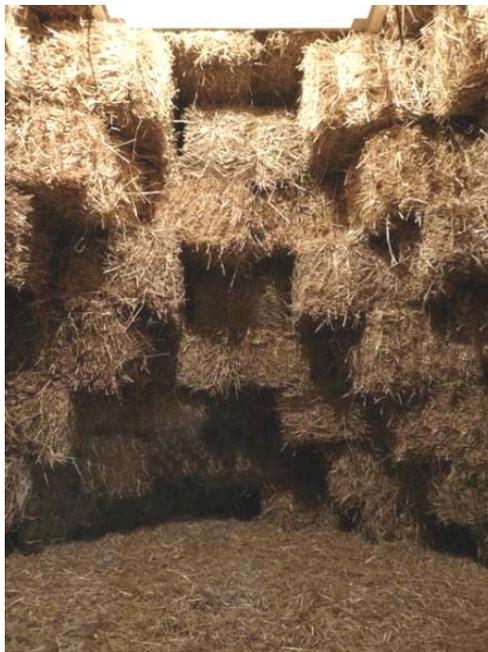


Abb. 4-69: „Temporäres Strohballen-Hotel: Innenraum“
(Aus der Homepage von „Baukoma AG“: Register: AWARD 2012, SIEGEROBJEKTE;
http://www.marketingarchitektur.ch/uploads/bilder/C_49_Bild_2.jpg;
abgerufen am 16. 09. 2014)

¹⁵² vgl. Baukoma AG: aus der Homepage: Register: AWARD 2012, SIEGEROBJEKTE:

http://marketingarchitektur.ch/cont/siegerobjekte_award2012.html; abgerufen am 16. 09. 2014



Abb. 4-70: „Temporäres Strohballen-Hotel mit Wetterschutz“
(Aus der Homepage von „Baukoma AG“: Register: AWARD 2012, SIEGEROBJEKTE;
http://www.marketingarchitektur.ch/uploads/bilder/C_49_Bild_3.jpg; abgerufen am 16. 09. 2014)

4.3.8.3 Strohkirche von Glane (Deutschland)

Im Jahre 2004 baute die katholische Landjugendbewegung aus Glane (Deutschland) im Zuge eines Wettbewerbs eine Kirche aus Strohballen, die in den nachfolgenden Abb. 4-71 und Abb. 4-72 zu sehen ist. Laut der Homepage der katholischen Landjugendbewegung Glane waren es 15 engagierte Mitglieder, die in etwa 1320 Arbeitsstunden dieses Bauwerk errichtet haben. In dieser Zeit musste der Turm aufgrund statischer Probleme auch zwei Mal aufgebaut werden. Nicht bekannt ist, ob dieses Projekt ausschließlich auf Basis der Erfahrung, welche die Landjugendmitglieder mit Strohballen in der Landwirtschaft gesammelt haben, realisierbar war, oder wie weit Baufachleute beteiligt und welche Auflagen von Seite der Behörde zu erfüllen waren. Die Kirche aus Strohballen musste noch im Oktober des gleichen Jahres wegen des Zerfallens aufgrund des fehlenden Wetterschutzes abgebaut werden.¹⁵³

¹⁵³ Katholischen Landjugendbewegung Glane: Homepage: Register: PROJEKTE, ÄHRENSACHE – STROHKIRCHE
<http://www.kljb-glane.de/aehrensache.html>; abgerufen am 15. 09. 2014



Abb. 4-71: „Strohkirche der katholischen Landjugend Glane“
(Aus der Homepage der „Kath. Landjugend Glane“: <http://www.kljb-glane.de/aehrensache.html>; abgerufen am 15. 09. 2014)



Abb. 4-72: „Strohkirche der katholischen Landjugend Glane: Innenraum“
(„Kath. Landjugend Glane“: <http://www.kljb-glane.de/aehrensache.html>; abgerufen am 15. 09. 2014)

5 MUSTERGEBÄUDE EINES LASTTRAGENDEN KLEINWOHNHAUSES IN NIEDERÖSTERREICH

5.1 PERSPEKTIVISCHE SKIZZE

In der nachfolgenden Abb. 5-1 ist eine perspektivische Skizze mit der Süd- und der Ostfassade ersichtlich.

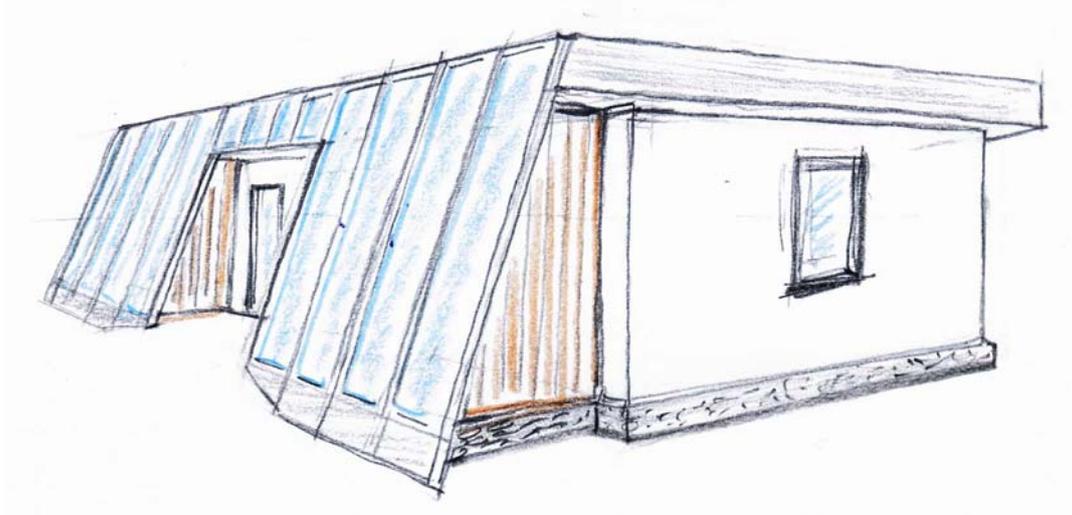


Abb. 5-1: „Projektbeispiel: Perspektive aus dem ersten Entwurf“
(Skizze des Verfassers)

5.2 BAUBESCHREIBUNG

Baubeschreibung über ein kleines, eingeschossiges Wohnhaus in lasttragender Strohballenbauweise mit barrierefreier Ausführung gemäß ÖNORM B 1600 in 2620 Neunkirchen:

Auf der Feuchtigkeitsabdichtung über den bewehrten Streifenfundamenten werden lageweise, mit Rundholz vernagelte Strohballen im Verband analog einem Ziegelverband aufgesetzt. Die Abmessungen der Quaderballen betragen 120 cm * 70 cm * 100 cm bis 288 cm (Breite * Höhe * Länge; Länge gemäß Verlegeplan) und weisen eine Dichte von rund 150 bis 155 kg/m³ auf. Am oberen Ende der Wand ist ein umlaufender Ringbalken aus Holz vorgesehen, worauf wiederum die zimmermannsmäßig ausgeführten Fachwerkträger im Abstand von etwa 1 m verlegt werden. Zwischen den Trägern werden Pfosten genagelt, auf denen eine Schicht Lehm und im Weiteren zwei Lagen Strohballen mit den Abmessungen von rund 48 cm * 36 cm * 100 cm (Breite * Höhe * Länge) und einer Dichte von rund 100 kg/m³ verlegt werden. Darauf werden wiederum eine Schicht Lehm aufgebracht und im Weiteren eine hinterlüftete Holzkonstruktion mit Wellblech hergestellt. Das Flachdach bildet

eine statisch aussteifende Scheibe. Beidseits der Strohballenwand sind zwischen Fundament und Fachwerkträger Zugstangen geplant, mit denen die Wände um das 2 bis 2,5-fache der errechneten Gebrauchslast gleichmäßig vorgespannt werden. Um den geforderten Brandschutz zu erreichen bzw. eine entsprechend ebene Wandoberfläche herstellen zu können, werden auf die Strohballen innenseitig ca. 6 cm, außenseitig ca. 3 cm Lehmputze aufgetragen.

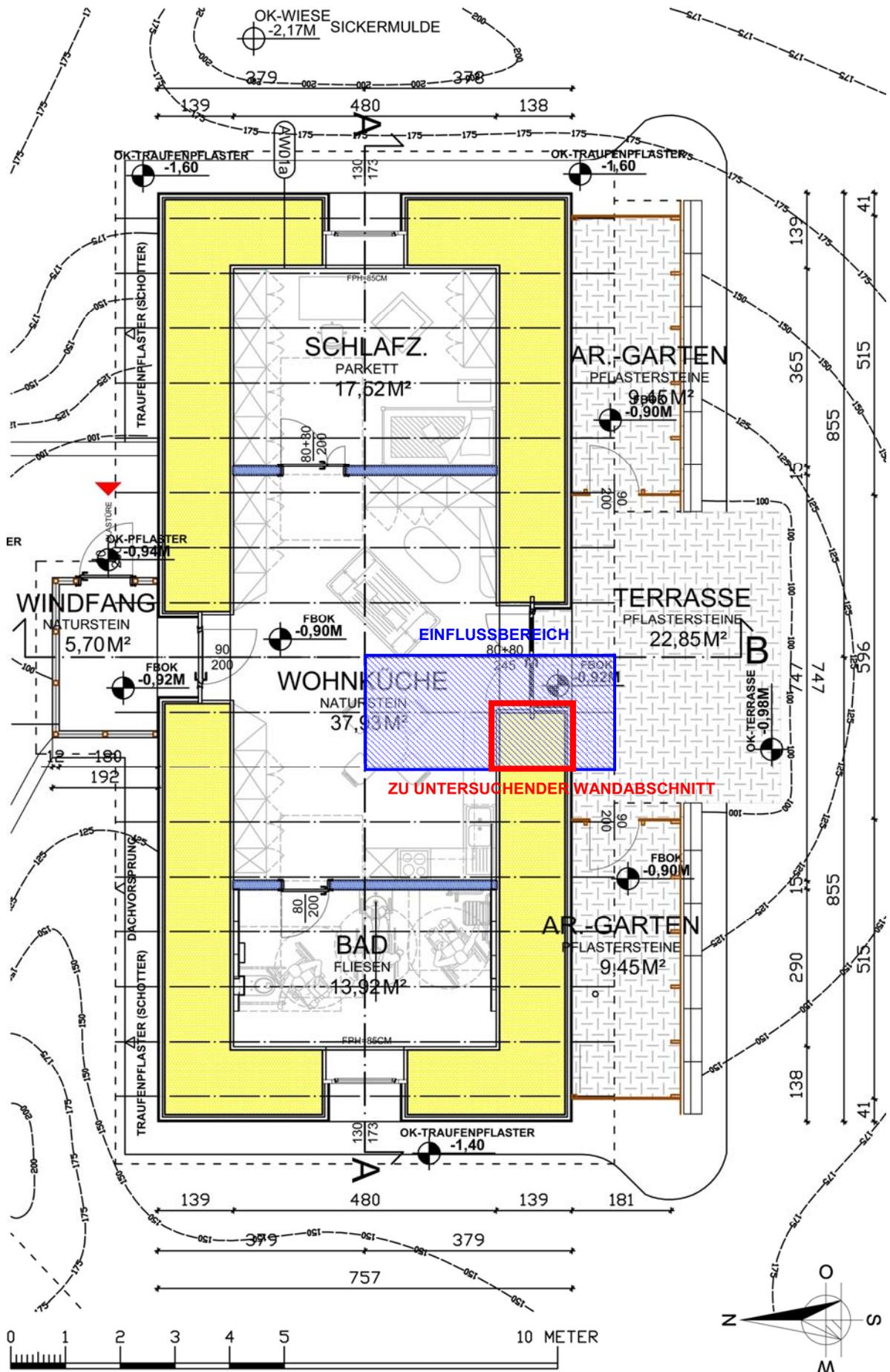
Die Wärmebereitstellung zur Raumheizung und Warmwasserbereitung erfolgt über das bestehende Fernwärmenetz in Neunkirchen.

Eine kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist vorgesehen.

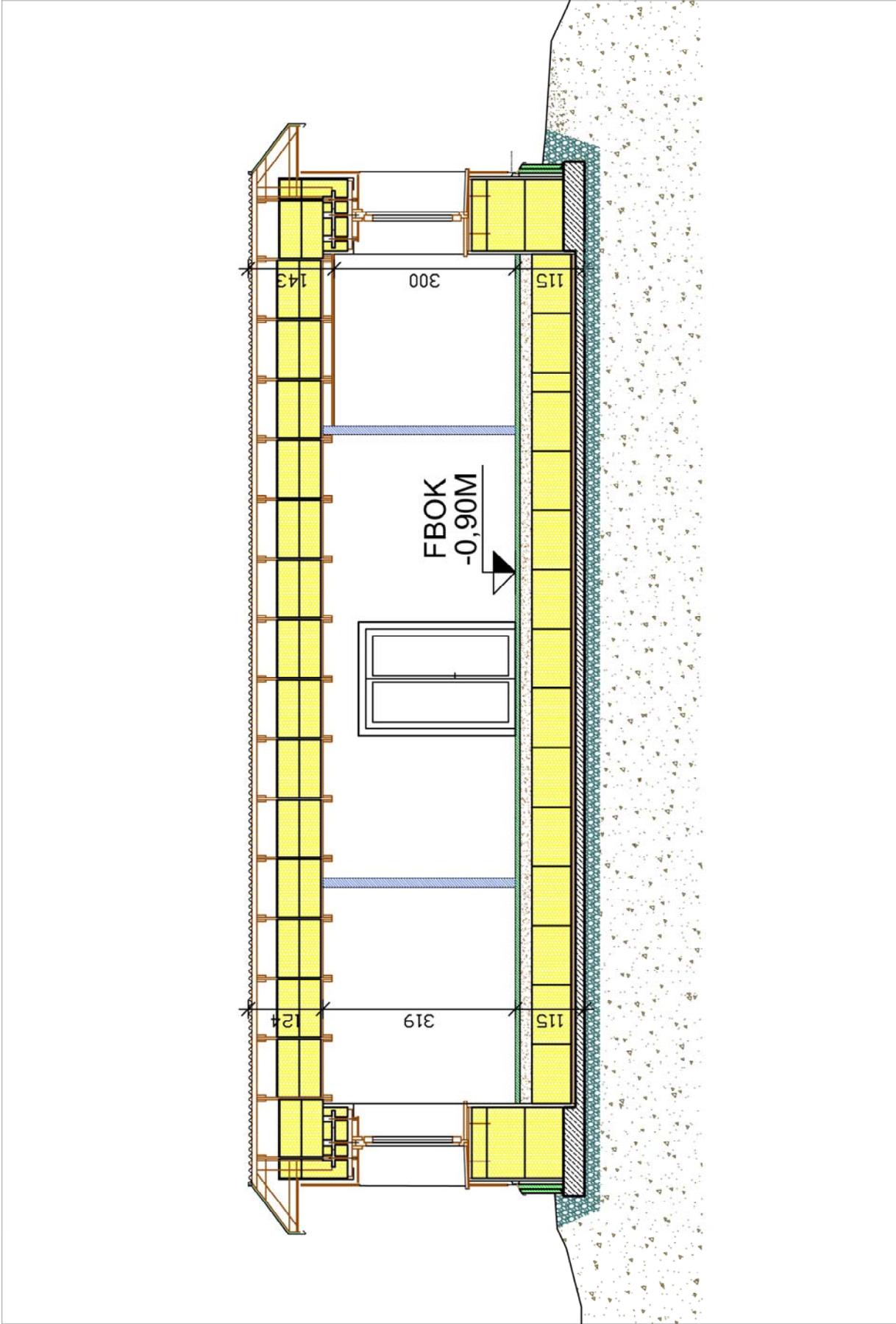
Die Möglichkeit zur Errichtung einer thermische Solaranlage und einer Photovoltaikanlage mit einer Neigung von 70° (speziell zur Ausnutzung der Wintersonne) ist an der Südfassade gegeben.

5.3 PLÄNE

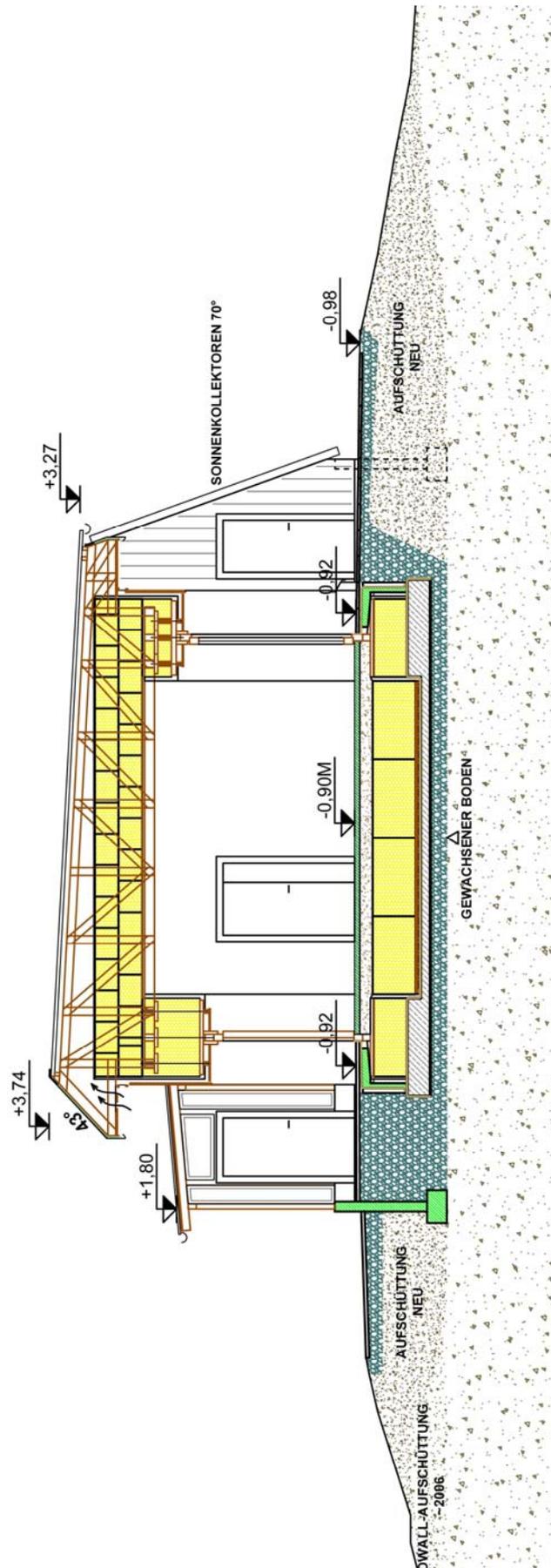
5.3.1 Erdgeschoß



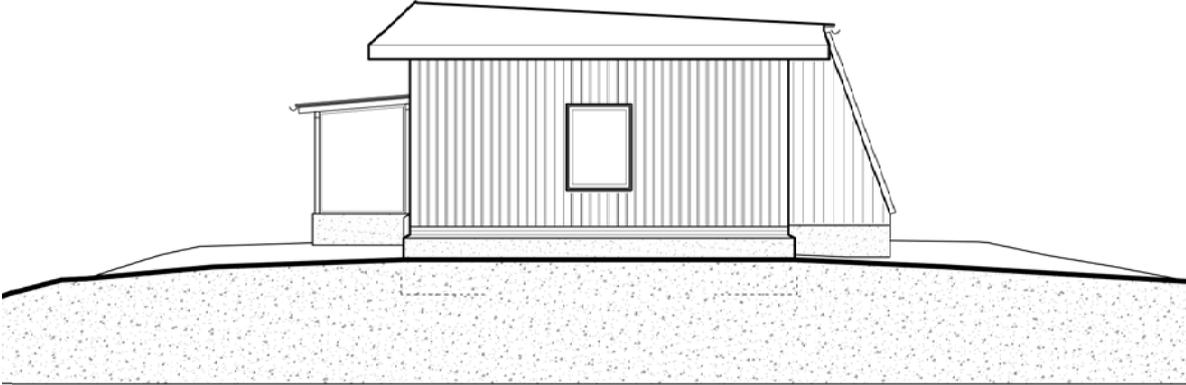
5.3.2 Schnitt A-A



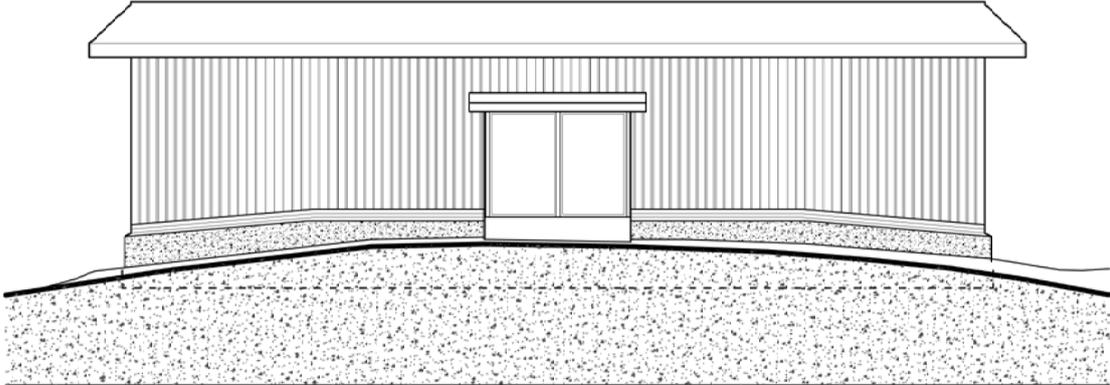
5.3.3 Schnitt B-B



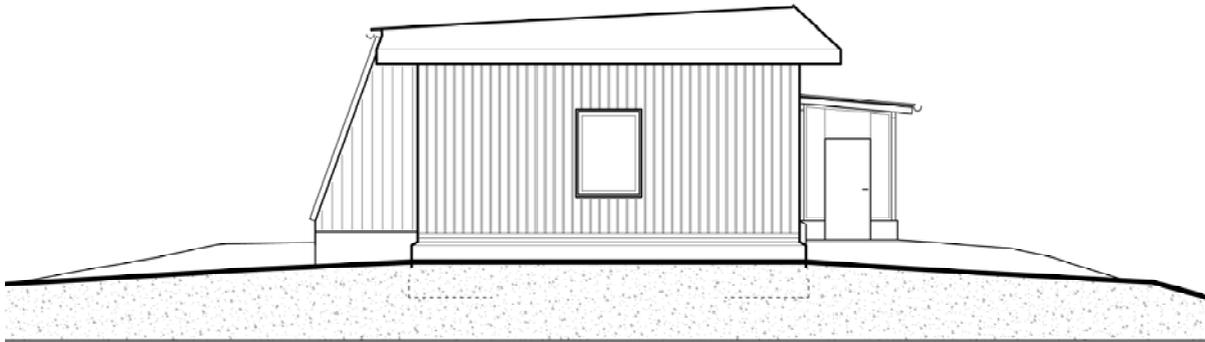
5.3.4 Ansicht - West



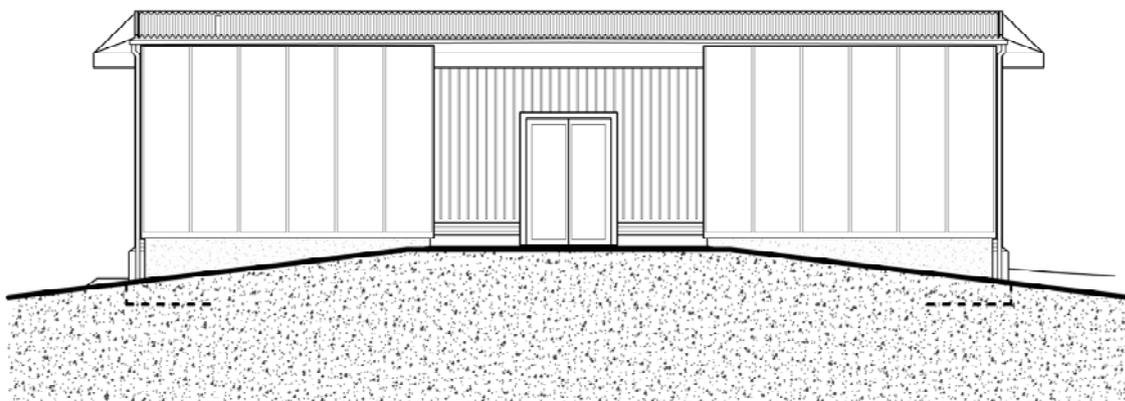
5.3.5 Ansicht - Nord



5.3.6 Ansicht - Ost



5.3.7 Ansicht - Süd



5.3.8 Kenngrößen der Quaderballen aus Stroh

Für den im Kapitel 5 „Horizontales Tragwerk – Machbarkeitsstudie“ dokumentierten Versuch wurden Strohballen gepresst. Im Weiteren soll davon ausgegangen werden, dass diese Strohballen zur Errichtung des gegenständlichen Mustergebäudes verwendet werden.

5.3.9 Herstellung der Quaderballen

Das Weizenstroh aus konventioneller Landwirtschaft stammt von den Feldern um den Ort 2491 Neufeld an der Leitha im Burgenland, wurde im Sommer 2013 mit einem Tangentialmähdrescher gedroschen. Die Quaderballen wurden kurz nach dem Dreschen mit der Ballenpresse „Quadrant 2200 Rotocut“ des Herstellers Claas CLAAS KGaA mbH produziert. Zum Verschnüren der Ballen wurde das Pressgarn TEWE 130 HYPERMAX FERRO EAN 9011800019292 des Herstellers TEUFELBERGER Holding AG verwendet. Die Strohballen wurden während sehr trockener Tage gedroschen, gepresst und in die Lagerhalle gebracht.



Abb. 5.3-1: „Die Ballenpresse beim Herstellen der Quaderballen“;
(Foto des Verfassers)

Fünf Strohballen mit einer Abmessung im Mittel von 120 cm * 70 cm * 240 cm (Breite * Höhe * Länge) wurden auf der geeichten Brückenwaage der Heinrich Polsterer GmbH in 2434 Götzendorf gewogen und es wurde dabei eine Masse von 1570 kg festgestellt. Somit ergibt die Ballendichte: $1570 \text{ kg} / (5 \text{ Stk.} * (1,20 \text{ m} * 0,70 \text{ m} * 2,40 \text{ m})) = 155,75 \text{ kg/m}^3$.

5.4 UNTERSUCHUNG DER WESENTLICHEN ANFORDERUNGEN AN DIE BAUWERKE

5.4.1 Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

Die folgenden Ausführungen behandeln die Tragfähigkeit der Strohballenwände. Die Bemessungen der Fundierung sowie der hölzernen Dachkonstruktion und der tragenden Zwischenwände müssen gesondert erfolgen. Ebenso bleiben bei nachfolgenden Überlegungen die beiden an der Südseite vorgesehenen Abstellräume aus Holz für Gartengeräte u. dgl. unberücksichtigt.

Zurzeit existieren keine Algorithmen zur Bemessung von Strohballenkonstruktionen und in keinem der österreichischen Bundesländer bestehen technische Richtlinien, Vorschriften o. dgl. zur Planung und Ausführung von Strohballenbauten, wie dies z. B. in einigen Staaten der USA der Fall ist. Daher werden zur Einschätzung der Festigkeit und der Standsicherheit die Untersuchungen der Hochschule Magdeburg-Stendal aus den Jahren 2005 bis 2007 heran-gezogen.

5.4.1.1 Lastaufstellung

- EIGENLAST VON BAUTEILEN

Flachdach – Schichtaufbau zwischen Fachwerksträgern

Baustoffschichte	Dicke	Dichte	Fächenmasse
	m	kg/m ³	kg/m ²
Aluminiumblech	0,0010	2.800,00	2,80
Hinterlüftung	0,2000	1,20	0,24
Lehmputz 1700 kg/m ³	0,0200	1.700,00	34,00
Strohballen - Wärmefluss normal zur Halmrichtung	0,7200	100,00	72,00
Lehmputz 1700 kg/m ³	0,0400	1.700,00	68,00
Holz - Schnittholz Nadel, rau, lufttrocken	0,0500	500,00	25,00
Flächenbezogene Masse des Bauteils:			202,04

Flachdach – Schichtaufbau Fachwerksträger

Baustoffschichte	Dicke	Dichte	Fächenmasse
	m	kg/m ³	kg/m ²
Aluminiumblech	0,0010	2.800,00	2,80
Holz - Schnittholz Nadel, rau, lufttrocken	0,4300	1,20	0,52
Strohballen - Wärmefluss normal zur Halmrichtung	0,4000	120,00	48,00
Flächenbezogene Masse des Bauteils:			51,32

Flachdach gesamt:

	Anteil in %	kg/m ²
Schichtaufbau zwischen Fachwerksträger	90	181,84
Schichtaufbau Fachwerksträger	10	5,13
		186,97

„AW01“ - Hinterlüftete Außenwand – Schichtaufbau:

Baustoffschichte	Dicke	Dichte	Fächenmasse
	m	kg/m ³	kg/m ²
Holz - Schnittholz Nadel, gehobelt, techn. getr.	0,0240	500,00	12,00
Hinterlüftung	0,0600	1,20	0,07
Lehmputz 1700 kg/m ³	0,0300	1.700,00	51,00
Strohballen bei 10% Stauchung (Vorspannung)	1,2000	167,75	201,30
Lehmputz 1700 kg/m ³	0,0600	1.700,00	102,00
Flächenbezogene Masse des Bauteils:			366,37

- SCHNEELAST

Auf Basis der ÖNORM EN 1991-1-3 und der ÖNORM B 1991-1-3.

Charakteristische Werte auf dem Boden für Schneelast gemäß ÖNORM B 1991-1-3 (2006),
Tab. A.1:

Standort:	Neunkirchen
Seehöhe:	365 m
Lastzone:	2
Charakteristische Schneelastwert (s_k):	1,60 kN/m ²

Unter Berücksichtigung des Formbeiwertes von $\mu_1 = 0,8$ für Pultdächer mit einem Neigungswinkel zwischen 0° und 30° ergibt sich die Schneelast auf das Dach des Mustergebäudes mit:

$$s_{k, \text{Dach}} = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1 * 1 * 1,60 \text{ kN/m}^2 = 1,28 \text{ kN/m}^2$$

$s_{k, \text{Dach}}$... charakteristische Schneelast am gegenständlichen Flachdach

- μ_1 ... Formbeiwert
 C_e ... Umgebungskoeffizient (in Österreich gilt: $C_e = 1$)
 C_t ... Temperaturkoeffizient (in Österreich gilt: $C_t = 1$)

- WINDLAST

Auf Basis der ÖNORM EN 1991-1-4 und der ÖNORM B 1991-1-4.

Standort-Kennwerte:

- Ort: 2620 Neunkirchen
- Seehöhe: 365 m
- Grundwert von der Basiswindgeschwindigkeit ($v_{b,0}$): 26,5 m/s
- Grundwert von dem Basisgeschwindigkeitsdruck ($q_{b,0}$): 0,44 kN/m² (= kPa)
- Geländekategorie: II

Bezugshöhe (z):

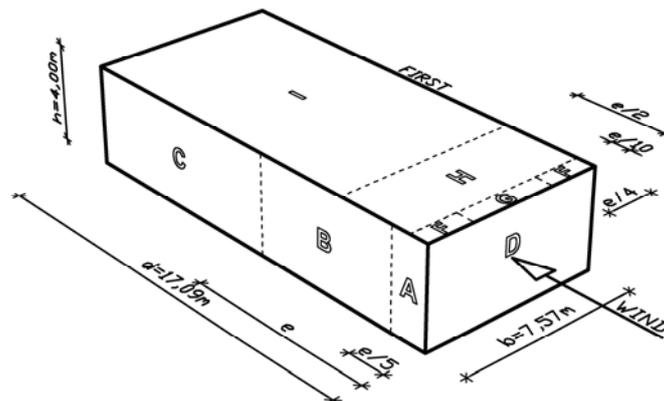
Die Höhe beträgt im Mittel 4,00 m.

Spitzengeschwindigkeitsdruck (q_p) für Geländekategorie II:

$z_{\text{vorh.}} = 4$ m daher $z_{\text{min}} = 5$ m maßgebend

$$q_p = 2,1 * (z/10)^{0,24} * q_{b,0} = 2,1 * (5/10)^{0,24} * 0,44 = +0,78 \text{ kN/m}^2$$

Windwirkung bei Windströmrichtung parallel zum Dachfirst ($\Theta = 0^\circ$):



Wandbereiche:

Einflussbreite: $e_{\text{min}} = b$ oder $2 \cdot h$ (Der kleinerer Wert ist maßgebend.)

$$e_{\text{min}} = b = 7,57 \text{ m}$$

$e_{\text{min}} < d$ (Daher erfolgt die Bereichsaufteilung in die Flächen A, B und C.)

Breite der Flächen A und B: $b_A = e / 5 = 7,57 \text{ m} / 5 = 1,51 \text{ m}$

$$b_B = e - e / 5 = 7,57 \text{ m} - 7,57 \text{ m} / 5 = 6,06 \text{ m}$$

Außendruckbeiwerte $c_{pe, 10}$ für prismatische Baukörper für die Wandflächen A, B und C nach dem vereinfachten Ermittlungsverfahren gemäß ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.2.4:

$$d / b = 17,09 \text{ m} / 7,57 \text{ m} = 2,26$$

$$h / b = 4,00 \text{ m} / 7,57 \text{ m} = 0,53$$

Außendruckbeiwerte $c_{pe, 10}$ aus der ÖNORM B 1991-1-4:2012, Tab. 6:

$$c_{pe, 10 (A)} = -1,20 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{windparallele Seite})$$

$$c_{pe, 10 (B)} = -0,90 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{windparallele Seite})$$

$$c_{pe, 10 (C)} = -0,90 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{windparallele Seite})$$

$$c_{pe, 10 (D)} = +0,80 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{luvseitig})$$

$$c_{pe, 10 (E)} = -0,45 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{leeseitig})$$

Innendruckbeiwerte:

Gemäß ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.10 gilt für Wohngebäude: $+0,20 \text{ kN/m}^2$ und $-0,30 \text{ kN/m}^2$.

Mittlere Windwirkung an den Wandflächen:

$$w = (c_{pe, 10} \pm c_{pi}) * q_p$$

$$w_{(A)} = (-1,20 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -1,09 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{(B)} = (-0,90 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -0,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{(C)} = (-0,90 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -0,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{(D)} = (+0,80 \text{ kN/m}^2 - (-0,30 \text{ kN/m}^2)) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = 0,86 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Winddruck})$$

$$w_{(E)} = (-0,45 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -0,51 \text{ kN/m}^2$$

Flachdachbereiche:

Gegeben ist ein annähernd scharfkantiger Traufenbereich. Gemäß der ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.3.2 müssen die Randzonen, sofern diese kleiner als 20 % der gesamten Dachfläche sind, nicht berücksichtigt werden. Stattdessen darf die jeweilige Mittelzone H bzw. I in Rechnung gestellt werden.

Außendruckbeiwerte $c_{pe, 10}$ für prismatische Baukörper für die Flächen am Flachdach nach dem vereinfachten Ermittlungsverfahren gemäß ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.3.2:

$$c_{pe, 10 (H)} = c_{pe, 10 (I)} = +0,20 \text{ kN/m}^2 \text{ oder } -0,70 \text{ kN/m}^2$$

I

Innendruckbeiwerte:

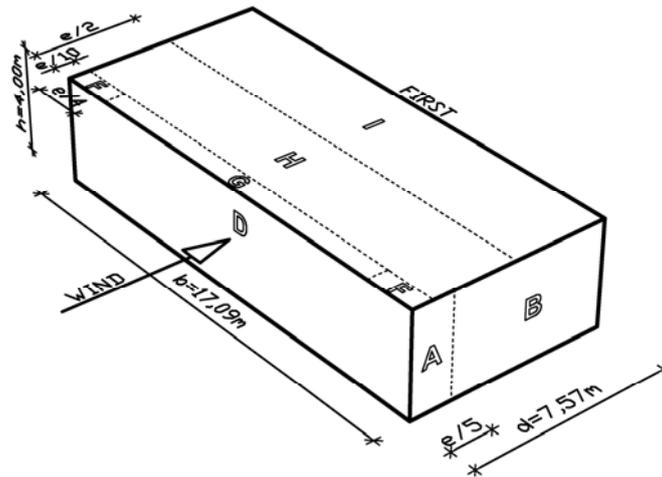
Gemäß ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.10 gilt für Wohngebäude: $+0,20 \text{ kN/m}^2$ und $-0,30 \text{ kN/m}^2$.

Mittlere Windwirkung am Flachdach:

$$w = (c_{pe, 10} \pm c_{pi}) * q_p$$

$$w_{(H) \min.} = w_{(l) \min.} = (-0,70 \text{ kN/m}^2 + (-0,20 \text{ kN/m}^2)) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = \sim -0,70 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{(H) \max.} = w_{(l) \max.} = (+0,20 \text{ kN/m}^2 + (+0,30 \text{ kN/m}^2)) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = \sim +0,40 \text{ kN/m}^2$$

Windwirkung bei Windströmrichtung normal zum Dachfirst ($\theta = 90^\circ$):

Wandbereiche:

Einflussbreite: $e_{\min} = b$ oder $2 * h$ (Der kleinere Wert ist maßgebend.)

$$e_{\min} = 2 * h = 8,00 \text{ m}$$

$e_{\min} > d$ (Daher erfolgt die Bereichsaufteilung in die Flächen A und B)

$$\text{Breite der Flächen A: } b_A = e / 5 = 8,00 \text{ m} / 5 = 1,60 \text{ m}$$

Außendruckbeiwerte $c_{pe, 10}$ für prismatische Baukörper für die Wandflächen A und B nach dem vereinfachten Ermittlungsverfahren gemäß ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.2.4:

$$d / b = 7,57 \text{ m} / 17,09 \text{ m} = 0,44$$

$$h / b = 4,00 \text{ m} / 17,09 \text{ m} = 0,23$$

Außendruckbeiwerte $c_{pe, 10}$ aus der ÖNORM B 1991-1-7:2012, Tab. 6:

$$c_{pe, 10 (A)} = -1,20 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{windparallele Seite})$$

$$c_{pe, 10 (B)} = -0,90 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{windparallele Seite})$$

$$c_{pe, 10 (D)} = +0,80 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{lufseitig})$$

$$c_{pe, 10 (E)} = -0,45 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{leeseitig})$$

Innendruckbeiwerte:

Gemäß ÖNORM B 1991-1-4:2012, Pkt. 9.2.10 gilt für Wohngebäude: $+0,20 \text{ kN/m}^2$ und $-0,30 \text{ kN/m}^2$.

Mittlere Windwirkung an den Wandflächen:

Gemäß ÖNORM EN 1991-1-4:2011, Bild 5.1 gilt: $w = (C_{pe, 10} +/- C_{pi}) * q_p$

$$w_{(A)} = (-1,20 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -1,09 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{(B)} = (-0,90 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -0,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{(D)} = (+0,80 \text{ kN/m}^2 - (-0,30 \text{ kN/m}^2)) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = 0,86 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Winddruck})$$

$$w_{(E)} = (-0,45 \text{ kN/m}^2 - 0,20 \text{ kN/m}^2) * 0,78 \text{ kN/m}^2 = -0,51 \text{ kN/m}^2$$

Flachdachbereiche:

Im gegenständlichen Fall darf die Windlast normal zum Dachfirst mit der Windlast parallel zum Dachfirst gleichgesetzt werden.

5.4.1.2 Vorbemessung des Wandabschnitts seitlich der Terrassentüre

Betrachtet wird der Wandabschnitt von 1,00 m seitlich der Terrassentüre in der Südfassade (siehe rotes Rechteck im Grundriss Punkt 5.3.1 „Erdgeschoß“). Dabei ist zusätzlich der Einfluss der halben Türbreite zu berücksichtigen. (Der Einflussbereich des Daches auf den gegenständig zu untersuchenden Wandabschnitt ist mit einem blauen Rechteck im Grundriss Punkt 5.3.1 „Erdgeschoß“ ebenso ersichtlich.)

- SYSTEMSCHNITT

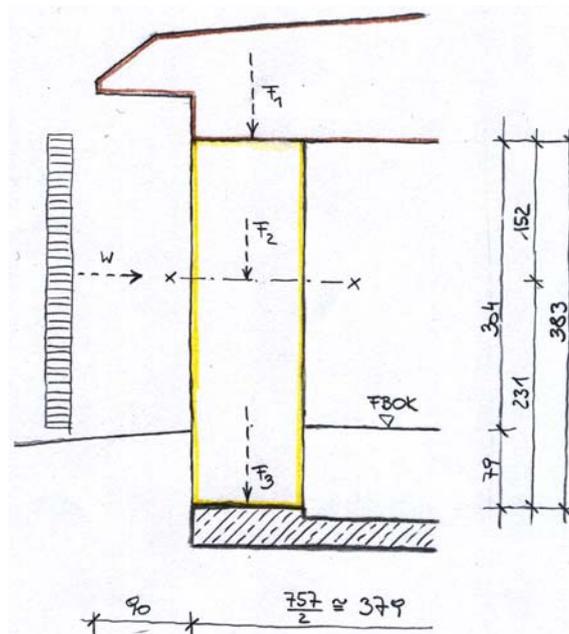


Abb. 5-2: „Statisches System: Wandabschnitt“
(Skizze des Verfassers)

- LASTAUFSTELLUNG – DACH

Belastung der Strohballenwand durch das Flachdach (bis zur halben Gebäudetiefe), den Dachvorsprung und der Ringbalkenkonstruktion (Rähm):

- Ständige Last (Eigenlast)

	Einflussbereich		Flächenlast	Ersatzlast
	Länge	Breite		
	[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN]
Flachdach	3,79	2,000	1,870	14,17
Dachvorsprung	0,90	2,000	0,750	1,35
Ringbalkenkonstruktion (Rähm)	1,20	2,000	0,400	0,96
G _{k, Dach}				16,48

- Veränderliche Last

a) Schneelast

$$Q_{k, \text{Schnee}} = s_{k, \text{Dach}} * A = 1,28 \text{ kN/m}^2 * [(3,79 \text{ m} + 0,90 \text{ m}) * 2,00 \text{ m}] = 12,01 \text{ kN}$$

Q_{k, Schnee} ... Ersatzlast Schnee

s_{k, Dach} ... Schneelast am Flachdach

A ... Einflussbereich am Flachdach

b) Winddruck auf das Dach

$$Q_{k, \text{Wind, Dach}} = w_{k, (H,I), \text{Dach}} * A = 0,40 \text{ kN/m}^2 * [(3,79 \text{ m} + 0,90 \text{ m}) * 2,00 \text{ m}] = 3,75 \text{ kN}$$

Q_{k, Wind, Dach} ... Ersatzlast Wind

w_{k, (H,I), Dach} ... Winddruck am Flachdach im Flächenbereich „H“ und „I“

A ... Einflussbereich am Flachdach

- LASTAUFSTELLUNG – WAND

a) Winddruck auf die Wand:

Es wird angenommen, dass 1/4 der Windlasten der raumhohen Terrassentüre auf die zu untersuchende Wand übergeht, 1/4 über das Fundament und das restliche 1/4 über die Dachkonstruktion abgeleitet wird. Bei dieser Überlegung wurde ein Sicherheitsaufschlag von 32 % vorgenommen.

$$Q_{k, \text{Wind, Wand + \u00d6ffnung}} = w_{k, (D) \text{ Wand}} * A = 0,86 \text{ kN/m}^2 * [3,04 \text{ m} * (1,00 \text{ m} + (1,00 \text{ m} * 1 / 4 * 1,32))] = 3,48 \text{ kN}$$

$Q_{k, \text{Wind, Wand + \u00d6ffnungsanteil}}$... Ersatzlast Wind

$w_{k, (D), \text{ Wand}}$... ma\u00dfgebender Winddruck (hier: Fl\u00e4chenbereich „D“ bei Windrichtung normal zum First)

A ... Einflussbereich (HW + 1/4-Anteil (+ 32 %) der Terrassent\u00fcre)

HW ... Wandh\u00f6he, welche vom Wind beansprucht wird

Umrechnung auf den Wandabschnitt von 1,00 m Breite (Linienlast):

$$q_{k, \text{Wind, Wand + \u00d6ffnungsanteil}} = Q_{k, \text{Wind, Wand+ \u00d6ffnungsanteil}} / HW = 3,48 \text{ kN} / 3,04 \text{ m} = 1,14 \text{ kN/m}$$

$q_{k, \text{Wind, Wand+ \u00d6ffnungsanteil}}$... Linienlast: Wind auf Wandst\u00fcck mit \u00d6ffnungsanteil

$Q_{k, \text{Wind, Wand + \u00d6ffnungsanteil}}$... Ersatzlast Wind

HW ... Wandh\u00f6he, welche vom Wind beansprucht wird

- MAX. EINWIRKUNG (BEANSPRUCHUNG) AM WANDKOPF

- a) Max. vertikale Belastung am Wandkopf (Ersatzlast)

$$F_1 = G_{k, \text{Dach}} + Q_{k, \text{Schnee}} + Q_{k, \text{Wind, Dach}} = 16,48 \text{ kN} + 12,01 \text{ kN} + 3,75 \text{ kN} = 32,24 \text{ kN}$$

F_1 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandkopf

- b) Max. Spannung am Wandkopf aufgrund vertikaler Belastung

$$\sigma_1 = F_1 / A = 32,24 \text{ kN} / (1,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m}) = 26,87 \text{ kN/m}^2$$

σ_1 ... max. Spannung am Wandkopf

F_1 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandkopf

A ... Fl\u00e4che (zu untersuchenden Wandl\u00e4nge * Wandbreite)

- c) Max. Linienlast im zu untersuchenden Wandabschnitt von 1,00 m

$$l_1 = \sigma_1 * \text{Wandbreite} = 26,87 \text{ kN/m}^2 * 1,20 \text{ m} = 32,24 \text{ kN/m}$$

- MAX. EINWIRKUNG (BEANSPRUCHUNG) IN DER MITTLEREN HÖHE DER WINDANGRIFFSFLÄCHE (Ebene „X-X“ gemäß Abb. 5-2)

a) Eigenlast der Wand

$$G_{k, \text{Wand, X-X}} = \text{flächenbezogene Wandmasse „AW01“} * \text{Einflussfläche} = 3,66 \text{ kN/m}^2 * (1,52 \text{ m} * 1,00 \text{ m}) = 5,56 \text{ kN}$$

$G_{k, \text{Wand, X-X}}$... Ersatzkraft für das Eigenlast der Außenwand über der Ebene X-X

b) Max. vertikale Belastung in der Ebene X-X

$$F_2 = F_1 + G_{k, \text{Wand, X-X}} = 32,24 \text{ kN} + 5,56 \text{ kN} = 37,8 \text{ kN}$$

F_2 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandkopf + Wandlast über der Ebene X-X

F_1 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandkopf

$G_{k, \text{Wand, X-X}}$... Ersatzkraft für das Eigenlast der Außenwand über der Ebene X-X

c) Moment aus der Windlast in der Ebene X-X

$$\text{horizontale Auflagerkraft am Wandkopf} = 1,14 \text{ kN/m} * 3,04 \text{ m} / 3,83 \text{ m} * 2,31 \text{ m} = 2,09 \text{ kN}$$

$$M_{k, \text{Wind, X-X}} = q_{k, \text{Wind, Wand + Öffnungsanteil}} * HW / 2 * HW / 4 * - \text{horizontale Auflagerkraft am Wandkopf} * HW / 2 = - 1,14 \text{ kN/m} * 3,04 \text{ m} / 2 * 3,04 \text{ m} / 4 + 2,09 \text{ kN} * 1,52 \text{ m} = +1,86 \text{ kNm}$$

$M_{k, \text{Wind, X-X}}$... Moment aus der Windlast in der Ebene X-X

$q_{k, \text{Wind, Wand+ Öffnungsanteil}}$... Linienlast: Wind auf Wandstück mit Öffnungsanteil

HW ... Wandhöhe, welche vom Wind beansprucht wird

d) Max. Randspannungen in der Ebene X-X unter Berücksichtigung des Moments durch die Windkraft

$$\text{Auf Basis der allgemeinen Formeln: } \sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{M}{W} \quad \text{und} \quad W = \frac{b * h^2}{6}$$

$$\sigma_{1, \text{X-X}} = 37,80 \text{ kN} / (1,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m}) + 1,86 \text{ kNm} / (1,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m}^2 / 6) = 39,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{2, \text{X-X}} = 37,80 \text{ kN} / (1,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m}) - 1,86 \text{ kNm} / (1,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m}^2 / 6) = 23,75 \text{ kN/m}^2$$

- MAX. EINWIRKUNG (BEANSPRUCHUNG) AM WANDFUSS

a) Eigenlast der Wand

$$G_{k, \text{Wand}} = \text{flächenbezogene Wandmasse „AW01“} * \text{Einflussfläche} = 3,66 \text{ kN/m}^2 * (3,04 \text{ m} * 1,00 \text{ m}) = 11,13 \text{ kN}$$

$G_{k, \text{Wand}}$... Ersatzkraft für das Eigenlast der Außenwand

b) Max. vertikale Belastung am Wandfuß (Ersatzlast)

$$F_3 = F_1 + G_{k, \text{Wand}} = 32,24 \text{ kN} + 11,13 \text{ kN} = 43,37 \text{ kN}$$

F_3 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandfuß

F_1 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandkopf

$G_{k, \text{Wand}}$... Ersatzkraft für das Eigenlast der Außenwand

c) Max. Spannung am Wandfuß aufgrund vertikaler Belastung

$$\sigma_3 = F_3 / A = 43,37 \text{ kN} / (1,00 \text{ m} * 1,20 \text{ m}) = 36,14 \text{ kN/m}^2$$

σ_3 ... max. Spannung am Wandfuß

F_3 ... Ersatzlast: max. vertikale Belastung am Wandfuß

A ... Fläche (zu untersuchenden Wandlänge * Wandbreite)

5.4.1.3 Horizontale Belastung durch den Wind

Davon ausgehend, dass die Windlast der West- bzw. Ostwand durch die aussteifende Süd- bzw. Nordwand abgeleitet wird, ergeben sich folgende Überlegungen:

Maßgebend hierbei ist der Windsog im Flächenbereich A und B bei der Windanströmung normal zum First.

Einflussbreite der Wandbereich: $e_{\min} = b$ oder $2 * h \Rightarrow e_{\min} = 2 * h = 8,00 \text{ m}$

Breite der Fläche A: $b_A = e / 5 = 8,00 \text{ m} / 5 = 1,60 \text{ m}$

Breite der Fläche B₁ (bis zur halben Gebäudetiefe):

$$b_{B1} = 7,57 \text{ m} / 2 - 1,60 \text{ m} = 2,19 \text{ m}$$

Wind-Ersatzlast (Windsog) für die Wandbereiche A und B₁:

$$F_4 = b_A * h * w_{(A)} + b_{B1} * h * w_{(B)}$$

$$F_4 = 1,60 \text{ m} * 4,00 \text{ m} * (-1,09 \text{ kN/m}^2) + 2,19 \text{ m} * 4,00 \text{ m} * (-0,86 \text{ kN/m}^2) = -14,50 \text{ kN}$$

Davon ausgehend, dass diese Belastung auf den Wandkopf und den Wandfuß gleichmäßig aufgeteilt werden darf, gilt als Ersatzlast für den Wandkopf:

$$F_5 = F_4 \cdot \frac{1}{2} = -7,25 \text{ kN (Windsog)}$$

F_4 ... Ersatzlast: max. Windlast an der halbierten Ost- bzw. Westwand

F_5 ... Ersatzlast: max. Windlast für den Wandkopf

Querschnittsfläche (Strohballenfläche) der Südwand von der Innenwandecke bis zur Terrassentüre beträgt:

$$A_S = \text{Ballenbreite} \cdot \text{Wandlänge} = 1,20 \text{ m} \cdot 6,20 \text{ m} = 7,44 \text{ m}^2$$

Die Spannung der Horizontalkraft am Wandkopf auf die errechnete Querschnittsfläche ergibt sich mit:

$$\sigma_S = F_5 / A = 8,25 \text{ kN} / 7,44 \text{ m}^2 = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

Die Ableitung der Horizontallasten der Nord- bzw. Südwand erfolgt zusätzlich über die aussteifenden Innenwände in Holz-Riegel-Bauweise. Dies ist gesondert nachzuweisen.

5.4.1.4 Beurteilung der Festigkeit und der Prinzipien der Standsicherheit

Wie bereits erwähnt, erfolgt aufgrund fehlender Prüf-, Klassifizierungs- und Bemessungsmethoden für lasttragende Strohballenkonstruktionen die Beurteilung auf Basis eines Vergleichs mit den experimentellen Untersuchungsergebnissen der Hochschule Magdeburg-Stendal aus den Jahren 2005 bis 2007 (siehe Tab 5-1).¹⁵⁴

Tab. 5- 1: „Kenngrößen der Strohballen im Vergleich“

	Hochschule Magdeburg-Stendal	Für das Mustergebäude vorgesehene Strohballen
Strohsorte	Roggenstroh aus biologischem Anbau	Weizenstroh aus konventioneller Landwirtschaft
Abmessungen Breite:	85 cm	120 cm

¹⁵⁴ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 37 ff

Höhe:	48 cm	70 cm
Länge:	185 cm	100 bis 188 cm
Mittlere Dichte	130,12 kg/m ³	150 bis 155 kg/m ³

Es wurden bisher verschiedene Forschungsarbeiten bezüglich der Eignung von Baustrohballen in Abhängigkeit der Getreidesorten aus unterschiedlichen Landbausystemen durchgeführt, die zu verschiedenen Ergebnissen führten, so dass gegenwärtig eine Beurteilung aufgrund der unterschiedlichen Getreidesorten nicht vorgenommen werden kann bzw. gegenwärtig davon ausgegangen werden darf, dass kaum Unterschiede gegeben sind. Dagegen ist die Rohdichte der Ballen von wesentlicher Bedeutung, da die Steifigkeit mit steigender Dichte zunimmt. Deshalb darf auch aufgrund der vorhandenen höheren Ballendichte eine höhere mechanische Festigkeit beim geplanten Mustergebäude erwartet werden.

Im Vergleich zu Untersuchungsergebnissen an Einzelballen:

Bei den in Magdeburg-Stendal¹⁵⁵ durchgeführten Versuchen an Einzelballen betragen die Druckspannungen bei 50 % Stauchung und ungehinderter Querdehnung im Mittel 450 kN/m². Das ergibt bei Strohballenbreiten von 85 cm eine Druckbelastung von 360 kN je Laufmeter. Demgegenüber steht eine errechnete Belastung beim geplanten Mustergebäude von max. 43,37 kN pro Laufmeter im Wandfuß bei einer Ballenbreite von 120 cm. Demnach beträgt die Sicherheit 8,30 und folglich ist eine ausreichende Sicherheit gegen Druckversagen der Einzelballen bei Berücksichtigung der Stauchung gegeben.

Im Vergleich zu Untersuchungsergebnissen an Wandelementen:

Gemäß der Forschungsarbeit vom Fachverband Strohballenbau Deutschland sind Großballen für Spannungen im Gebrauchszustand von 40 kN/m² für den lasttragenden Strohballenbau geeignet.¹⁵⁶ Dieser Forderung wird beim geplanten Mustergebäude entsprochen.

Die Schlankheit der untersuchten Strohballenwände ist kleiner 2,9 – 3,1, die Schlankheit der geplanten Wand wird als Quotient der Wandhöhe von 3,83 m durch die Wanddicke von 1,20 m mit 3,19 errechnet und überschreitet lediglich um 3 % die Schlankheit der geprüften Wand und ist somit durchaus vergleichbar.

¹⁵⁵ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 37 ff

¹⁵⁶ Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): Seite 26

Aufgrund des ausgeprägten Relaxationsverhaltens von Strohballen wird eine Vorspannung mit der Anfangsspannung des 2-fache bis 2,5-fachen der voraussichtlichen Gebrauchslast empfohlen. Für das Mustergebäude wird die errechnete Randspannung von $39,25 \text{ kN/m}^2$ zur Dimensionierung der Vorspannkraft herangezogen, da diese geringfügig höher ausfällt, als die Druckspannung im Wandfuß von $36,14 \text{ kN/m}^2$. Wegen der um etwa 17 % höheren Dichte der Ballen des geplanten Mustergebäudes und der Ausnahmesituation des untersuchten Wandabschnitts (Stichwort: zusätzliche Belastung durch die Einflussbreite der Wandöffnung) und in Anlehnung des Versuchs der Wand Nr. 2 mit 55 % Relaxationsverlust wird lediglich die 2,2-fache Anfangsspannung der Gebrauchslast gewählt.

$$2,2\text{-fache Anfangsspannung der Gebrauchslast} = 2,2 * 39,25 \text{ kN/m}^2 = 86,35 \text{ kN/m}^2$$

Diese geplante Vorspannung ist gut mit den untersuchten Wänden vergleichbar: Bei der Wand Nr. 1 wurde mit einer Vorspannung von 113 kN/m^2 bei 23,5 % Stauchung begonnen, bei der Wand Nr. 2 betrug die Vorspannung 79 kN/m^2 bei 16 % Stauchung.

Da die maximale Druckbelastung mit der 2- bis 2,5-fachen Gebrauchslast während des Vorspannens realisiert wird, darf von einer ausreichenden Sicherheit gegen Versagen ausgegangen werden. Zudem bei den untersuchten Wandkonstruktionen nach den Relaxationsversuchen weitere Belastungstests problemlos möglich waren und im Weiteren an den später verputzten Wänden die doch beachtliche lasttragende Wirkung des Putzes nachgewiesen werden konnte - was zudem als ausreichende Tragfähigkeitsreserve gesehen werden darf.

Bei den Schubversuchen an unverputzten Strohballenwänden an der Hochschule in Magdeburg-Stendal haben sich an der Versuchswand Nr. 1 bei 4 kN und an der Versuchswand Nr. 2 bei 5 kN Verschiebungen des Rähms um 10 mm ergeben. Das ergibt auf den Querschnitt der Versuchswand von $1,46 \text{ m}^2$ eine Spannung von $2,74 \text{ kN/m}^2$ bzw. $3,42 \text{ kN/m}^2$ und liegt weit über der errechneten Spannung beim Mustergebäude unter Windlast von $0,97 \text{ kN/m}^2$.

Die Tragsicherheit in Bezug auf außergewöhnliche Belastungen, wie z. B. Erdbeben, darf aufgrund des nur eingeschößigen Gebäudes, der kompakten Bauform, der aussteifenden Innenwände und der dicken Außenwände aus Strohballen mit ausgeprägtem elastomechanischen Verhalten angenommen werden. Bei höherer Auslegung, wie z. B. einem Obergeschoß sind gesonderte Nachweise zu führen.

5.4.1.5 Resümee

Auf Basis des Vergleichs mit den experimentellen Untersuchungsergebnissen der Hochschule Magdeburg-Stendal aus den Jahren 2005 bis 2007 und der oben beschriebenen Überlegungen ist der Verfasser der Meinung, dass die mechanische Festigkeit und die Standsicherheit bei dem geplanten Mustergebäude als gegeben angesehen werden dürfen.

5.4.2 Brandschutz

Gemäß § 8, Abs. 1 der Niederösterreichischen Bautechnikverordnung (i. d. F. vom 05. 11. 2013) müssen für Ein- oder Zweifamilienhäuser Außenwände, tragende Innenwände und Wohnungstrennwände mindestens brandhemmend ausgeführt werden. Gemäß § 11 sind für diese Gebäude ebenso die Decken mindestens brandhemmend herzustellen.

Auf Basis der im Kapitel Brandschutz angeführten Untersuchungen, welche auf Grundlage von standardisierten Prüf- und Klassifizierungsverfahren durchgeführt wurden, darf davon ausgegangen werden, dass mit dem geplanten Lehmputz mit Schichtdicken ab 2 cm eine brandhemmende Ausführung der Außenwände aus Strohballen sichergestellt werden kann. Der Brandschutz an der Unterseite der Dachkonstruktion ist durch eine Brandschutzschalung aus Holz gegeben.

5.4.3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Gemäß § 43, Abs. 1, Pkt. 7 der Niederösterreichischen Bauordnung (i. d. F. vom 11. 04 .2014) muss das Bauwerk derart geplant und ausgeführt sein, dass es während seines gesamten Lebenszyklus weder die Hygiene noch die Gesundheit und Sicherheit der Benutzer und der Nachbarn gefährdet und sich über seine gesamte Lebensdauer hinweg weder bei Errichtung noch bei Nutzung oder Abbruch insbesondere durch folgende Einflüsse übermäßig stark auf die Umweltqualität oder das Klima auswirkt:

- a) Freisetzung giftiger Gase,
- b) Emission von gefährlichen Stoffen, flüchtigen organischen Verbindungen, Treibhausgasen oder gefährlichen Partikeln in die Innen- oder Außenluft,
- c) Emission gefährlicher Strahlen,
- d) Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, Oberflächengewässer oder Boden,
- e) Freisetzung gefährlicher Stoffe in das Trinkwasser oder von Stoffen, die sich auf andere Weise negativ auf das Trinkwasser auswirken,

- f) unsachgemäße Emission von Abgasen oder unsachgemäße Beseitigung von Abwasser und festem oder flüssigem Abfall,
- g) Feuchtigkeit in Teilen des Bauwerks und auf Oberflächen im Bauwerk.

In Bezug auf die Feuchtigkeit in Teilen des Bauwerks und auf die Oberflächen im Bauwerk wurde in Hinblick auf die allgemein bekannte Gefahr einer Schimmelpilzentstehung eine durch Vorsatzschale geschützte Außenwandkonstruktion gewählt, bei der ein Schimmelbefall nicht zu erwarten ist. Hierzu wird auf das Kapitel 2 Punkt „Untersuchung hinsichtlich Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“, in dem die hygrothermischen Untersuchungen thematisiert sind, verwiesen.

Ausgehend von mit Lehm verputzten Strohballen sind keine Gefährdungen von Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz bekannt.

5.4.4 Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung

Der gegenständliche Entwurf wurde unter Einhaltung der ÖNORM B 1600 (2005) „Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen“ vorgenommen und ist daher speziell für Menschen mit besonderen Bedürfnissen gedacht.

Gesonderte Anforderungen an den lasttragenden Strohballenbau hinsichtlich Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung sind nicht gegeben.

5.4.5 Schallschutz

Gemäß § 7, Abs. 1, Punkt 1 der Niederösterreichischen Bautechnikverordnung (i. d. F. vom 05. 11. 2013) müssen für Ein- oder Zweifamilienhäuser Außenwände einschließlich Fenster und Türen und Dachschrägen mit Fenstern ein resultierendes Luftschalldämm-Maß von mindestens 38 dB aufweisen.

Vom Institut für Akustik und Bauphysik¹⁵⁷ wurde an einer Wand mit einer Stärke von ca. 35,6 cm inkl. beidseitiger Putzschichten von 1 – 2,1 cm bei einer flächenbezogenen Masse von $m' = 37,2 \text{ kg/m}^2$ eine Luftschallmessung durchgeführt. Der Rechenwert wird mit 43 dB, bei einseitig aufgedoppeltem Lehmputz mit 44 dB angegeben. Beim gegenständlichen

¹⁵⁷ Messbericht mit dem Thema „Untersuchungen der Luftschalldämmung einer Strohballenwand im Prüfstand des IAB“ Nr. A 59829/3950, ausgestellt am 25. 09. 2008 vom Institut für Akustik und Bauphysik, Kiesweg 22 in D-61440 Oberursel.

Musterhaus ist aufgrund der weit höheren Schichtdicken und der höheren Strohballen-Dichte ein noch besserer Luftschallschutz zu erwarten.

5.4.6 Energieeinsparung und Wärmeschutz

Gemäß § 4, Abs. 1 der Niederösterreichischen Gebäudeenergieeffizienzverordnung 2008 (NÖ GEEV 2008; i. d. F. vom 05. 11. 2013) wird den Anforderungen entsprochen, wenn die Richtlinie 6 des Österreichischen Instituts für Bautechnik über "Energieeinsparung und Wärmeschutz" (Ausgabe: Oktober 2011 – OIB-330.6-094/11) unter Beachtung von § 4, Abs. 1 der NÖ GEEV 2008 eingehalten wird.

Mit der Formel von *Ashour*¹⁵⁸ zur Berechnung der Wärmeleitkoeffizienten von Weizen soll die höhere Strohballendichte berücksichtigt werden.

$$\lambda = 0,0399 - 0,00023 * \rho + 0,00269 * t = 0,0399 - 0,00023 * 152,5 \text{ kg/m}^3 + \\ + 0,00269 * 23 = 0,0673 \text{ W/(mK)}$$

λ ... Wärmeleitfähigkeit (W/(mK))

ρ ... Ballendichte (kg/m³)

t ... Temperatur (°C)

In der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung über „Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen““ bei Rohdichten zwischen 85 kg/m³ und 115 kg/m³ ist der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit bei Wärmestrom quer zur Halmrichtung mit 0,052 W/(mK) angegeben:¹⁵⁹

Die errechnete Wärmeleitfähigkeit nach *Ashour* mit dem Ergebnis von 0,067 W/(mK) fällt im Vergleich zu dem angegebenen Bemessungswert von 0,052 W/(mK) um 29,4% höher aus und liegt somit auf der ungünstigeren (sicheren) Seite und wird daher in die bauphysikalische Berechnung übernommen.

Der Heizwärmebedarf wurde mit der Studentenversion des EDV-Programms ArchiPHYSIK, Version 11.0.46, datiert mit 11.08.2014, herausgegeben von A-NULL Bauphysik GmbH, errechnet und beträgt bei Berücksichtigung des Standortklimas 10,27 kWh/(m²a). Dieser

¹⁵⁸ vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite A 25; zitiert aus *Ashour* (2003)

¹⁵⁹ vgl. Deutsches Institut für Bautechnik (03.06.2014): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-23.11.1595 über „Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustroh““.

Wert liegt lediglich 2,7 % über dem Grenzwert von 10,00 kWh/(m²a) der Klassifizierung „A++“. Für die Förderung zur Errichtung von Eigenheimen in Passivbauweise gilt jedoch in Niederösterreich der Heizwärmebedarf unter der Annahme des Referenzstandorts Tattendorf (Referenzklima).¹⁶⁰ Dieser Heizwärmebedarf wurde mit 9,93 kWh/(m²a) errechnet. Somit ist die Voraussetzung für eine Wohnbauförderung zur Errichtung eines Eigenheimes in Passivbauweise gegeben. Der Energieausweis mit den zugehörigen Daten (Standard-Formular-Set gemäß EDV-Programm) ist im Anhang enthalten.

Die Sommertauglichkeit wurde auf Grundlage der ÖNORM B 8110:2012-03 für die Aufenthaltsräume nachgewiesen. Im Schlafzimmer ist bereits ohne zusätzlicher Verschattungsmaßnahmen eine sehr gute Sommertauglichkeit gegeben, im Wohnzimmer wird dieser hohe Qualitätsstandard mit außenliegenden Sonnenschutz erreicht. Die Berechnungsergebnisse sind im Detail im Anhang ersichtlich.

5.4.7 Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen

§ 43, Abs. 1, Pkt. 7 der Niederösterreichischen Bauordnung (i. d. F. vom 11. 04 .2014) muss ein Bauwerk derart geplant, errichtet und abgebrochen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist:

- a) *das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abbruch wiederverwendet oder recycelt werden können,*
- b) *das Bauwerk muss dauerhaft sein,*
- c) *für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.*

Die ausgezeichneten bauökologischen Eigenschaften von Strohballen und deren Konstruktionen wurden bereits im Kapitel 2, Punkt „Untersuchung hinsichtlich nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ ausführlich beschrieben. Aufgrund fehlender Vorschriften bzw. anerkannter Bewertungsverfahren kann zur gegenständlichen baurechtlichen Vorgabe keine Qualifizierung bzw. Klassifizierung vorgenommen werden.

¹⁶⁰ vgl. Amt der NÖ Landesregierung (2014): Broschüre „Wohnbauförderung, Eigenheim“, 12. Auflage, Stand: 01. 01. 2014.

5.5 SCHLUSSFOLGERUNG HINSICHTLICH EINER BAUBEHÖRDLICHEN BEWILLIGUNG

Im vorigen Kapitel wurde das Mustergebäude hinsichtlich der wesentlichen Anforderungen gemäß der aktuellen Bauvorschriften für Niederösterreich in Bezug auf die lasttragende Strohballenbauweise analysiert und im Weiteren Grundlagen erarbeitet, nach denen die Erfüllung dieser wesentlichen Anforderungen angenommen werden darf, wenngleich auch nicht in allen Bereichen standardisierte Prüf- und Klassifizierungsverfahren sowie Berechnungsmethoden zur Verfügung stehen. Welche Nachweise und in welcher Form tatsächlich für eine baubehördliche Bewilligung erforderlich sind, obliegt in Niederösterreich dem Bürgermeister oder dem Magistrat in der Funktion als Baubehörde erster Instanz¹⁶¹.

¹⁶¹ vgl. § 2, Abs. 1 der Niederösterreichischen Bauordnung 1996 (i. d. F. vom 11. 04. 2014)

6 HORIZONTALES TRAGWERK – MACHBARKEITSSTUDIE

6.1 ALLGEMEINES

In diesem Kapitel soll die Idee bzw. die prinzipielle Machbarkeit eines vorgespannten, horizontalen Strohballentragwerks anhand eines experimentellen Versuchs angedacht werden. In Anlehnung an den Stahlbetonbau sollen die Druckspannungen von den Strohballen, die Zugspannungen von gesonderten Baustahlstangen übernommen werden.

6.2 VERSUCHSAUFBAU

Es wurde eine Unterkonstruktion aus Kanthölzer und Holzpaletten errichtet. Um das Vorspannen zu erleichtern und dabei den Reibungswiderstand zu minimieren, wurden darüber noch Rundhölzer gelegt, die sich in Spannrichtung verdrehen können. Auf den Rundhölzern wurden die drei Spannstäbe aus Torstahl TC 55 mit Durchmesser von 12 mm aufgelegt. Im Weiteren dienen zwei Zurrgurte für die ersten Spannvorgänge (siehe Abb. 6-3).



Abb. 6-3: „Unterbau für die Herstellung des horizontalen Strohballentragwerks“
(Foto des Verfassers)

Auf die Unterkonstruktion wurden die Strohballen mit Halmrichtung der Trägerlänge nach aufgelegt und an den beiden Enden mit einer Werkstoffplatte aus Holz und der weiteren Spannvorrichtung versehen. An einem Ende der Baustahlstangen wurden Stahlplatten (10 cm * 10 cm * 1 cm) aufgeschweißt, am anderen Ende Gewindestangen. Mit Hilfe von Schraubenmuttern wurden weitere Stahlplatten auf der Seite der Gewindestangen aufgeschraubt (vgl. Abb. 6-1).



Abb. 6-1: „Vorspannvorrichtung für das horizontale Strohballen-Tragwerk“
(Foto des Verfassers)

6.3 BESTIMMUNG DER BALLENDICHTE

Zur Bestimmung der Ballendichte wurden die Ballen mit Abmessungen im Mittel von 120 cm * 70cm * 100 cm (Breite * Höhe * Länge) abgewogen (siehe Tab. 6-1). Im Durchschnitt beträgt die Dichte 151,90 kg/m³.

Tab. 6-1: „Wägungsergebnis vom 14. 06. 2014 der Strohballen“

	Waage-Ablesung (Ballen + Gehänge + Greifer)	Gehänge mit Greifer	Ballengemasse	Abweichung vom Mittelwert
Nr.	kg	kg	kg	%
1	191,00	63,50	127,50	-0,08
2	187,00	63,50	123,50	-3,21
3	186,50	63,50	123,00	-3,61
4	196,60	63,50	133,10	4,31

5	196,20	63,50	132,70	4,00
6	189,30	63,50	125,80	-1,41
Ballengewicht im Mittel:			127,60	kg
Max. Abweichung vom Mittelwert:			4,31	kg
Rohdichte:			151,90	kg/m ³

6.4 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

6.4.1 Aufbringung der Vorspannung

Mit einem gewöhnlichen Ringschlüssel wurde per Hand die Schraubenmutter am metrischen Gewinde so lange gedreht, bis ein erheblicher Widerstand bemerkbar war. Dieser Vorgang wurde mehrmals wiederholt um der Relaxation der Strohballen entgegen zu wirken. Nach etwa drei Wochen war ein annähernd gleichbleibender Widerstand an den Schraubenmutter feststellbar und damit eine halbwegs konstante Vorspannungskraft gegeben. Die Konstruktion wurde seit Versuchsbeginn zum Schutz gegen Witterungseinflüsse mit einer Silofolie abgedeckt.

Sehr bald nach dem Aufbringen der Vorspannung mussten Verformungen festgestellt werden, die *Benjamin Krick* in seiner Dissertation in folgende drei Arten unterteilt (vgl. Abb. 6- 2):¹⁶²

- Ausknicken
- Aufspreizen
- Winkelverzerrung

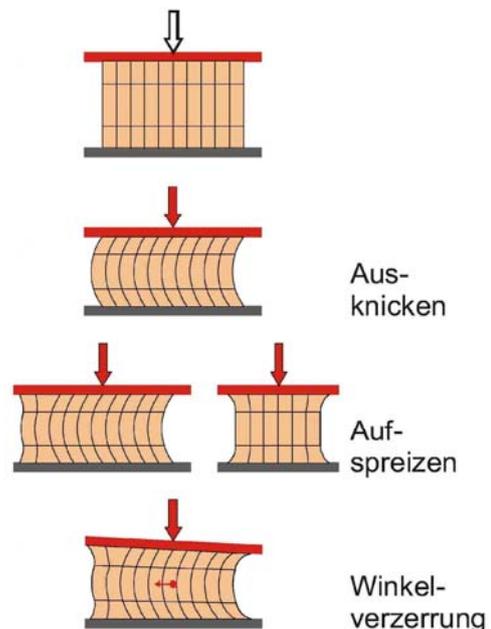


Abb. 6- 2: „Verformungen nicht eingespannter Strohballen bei Belastung in Halmrichtung“ (*Benjamin Krick* (2008): Seite 80)

¹⁶² vgl. *Benjamin Krick* (2008): Seite 80

In den Abb. 6-3 und Abb. 6-4 sind die beschriebenen Verformungen am gegenständlichen Strohballenträger sehr gut erkennbar.



Abb. 6-3: „Winkelverzerrung und Ausknicken des Trägers aus Strohballen“
(Foto des Verfassers)



Abb. 6-4: „Aufschiebungen im Bereich der Ballenstöße“
(Foto des Verfassers)

6.4.2 Auflagerung des Strohballenträgers

Trotz der eingetretenen Verformungen konnte am 07. 07. 2014 der vorgespannte Strohballenträger auf zwei, im Abstand von rund 3,50 m positionierten Palettenstapel aus Holz problemlos aufgelegt werden (vgl. Abb. 6-5). Die Konstruktion macht beim Begehen einen festen Eindruck. Unmittelbar nach der Auflagerung war eine Durchbiegung von etwa 4 cm ersichtlich, am folgenden Tag waren es bereits etwa 8 cm. Im Weiteren wurden die Zugstäbe drei Mal nachgespannt. Das Maß der Durchbiegung hat sich bis Mitte September auf etwa 18 cm vergrößert und bleibt seitdem augenscheinlich gleich.



Abb. 6-5: „Deckenträger auf Holzpaletten im lichten Abstand von 350 cm auf Holzpaletten gelegt“ (Foto des Verfassers)

6.5 RESÜMEE

Der mit sehr einfachen Mitteln ausgeführte Versuch zeigt trotz der eingetretenen Verformungen am vorgespannten Strohballenträger ein über den ursprünglichen Erwartungen hinausgehendes Tragverhalten, zudem am Ende des Beobachtungszeitraums von rund fünf Monaten die Durchbiegung von etwa 18 cm augenscheinlich gleich bleibt. Als Erkenntnis aus diesem Versuch kann festgehalten werden, dass bei konstruktiven Maßnahmen – z. B. in Form einer der Bügel- bzw. Querbewehrung ähnlichen „Umschnürung der Druckzone“ in Anlehnung der Spannbetontechnologie („externe Vorspannung“, eventuell mit polygonaler Spannstaht- bzw. Spanngliedführung) - zur Minimierung der Querdehnungen sowie der genannten Verformungen wesentlich bessere Ergebnisse hinsichtlich Tragverhalten erwartet werden dürfen. Das gegenständliche Experiment zeigt, dass mit den Strohballen, welche heute von der Landwirtschaft hergestellt werden, horizontale Tragwerke prinzipiell machbar sind, jedoch für den baulichen Einsatz noch viele weitere Untersuchungen vorgenommen werden müssen.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Im 19. Jahrhundert wurden im mittleren Westen der USA erstmals quaderförmige Ballen aus Heu bzw. Stroh mit Pferdepressen hergestellt. Mit diesen Ballen wurden bereits die ersten einfachen Bauwerke errichtet. Nachweislich belegbar ist der frühe Ballenbau mit der Patentanmeldung von *Josiah M. Leeds* aus dem US-Bundesstaat Indiana im Jahre 1878. Das „Burke Haus“ in Nebraska aus dem Jahre 1903 ist das älteste, noch erhaltene lasttragende Ballengebäude. Mit dem Aufkommen „moderner Baustoffe“ in den 1930-er Jahren geriet der Ballenbau in Vergessenheit, wurde aber in den späten 1970er-Jahren wieder entdeckt und erfährt seitdem weltweit steigendes Interesse, einhergehend mit fortschrittlicher Weiterentwicklung und Realisierung beeindruckender Bauwerke.

Der architektonische Entwurf von lasttragenden Strohballenbauwerken ist primär von der relativ geringen Belastbarkeit und zudem vom stark elastomechanischen Verhalten, sowie von der hohen Nässe- und Feuchteempfindlichkeit der Strohballenkonstruktionen geprägt. Charakteristisch für den Strohballenbau sind daher kompakte Grundrisse mit kurzen Raumtiefen, dicke Wände, Pyramidendächer, breite Dachvorsprünge, hohe Bauwerksockeln, etc. Dennoch sind die technischen Möglichkeiten Strohballen lasttragend einzusetzen vielseitig – nicht nur in Wänden, sondern z. B. auch im Strohballen-Gewölbe oder im horizontalen Strohballen-Tragwerk. Letzteres wurde im Zuge eines experimentellen Versuchs im Sinne einer Machbarkeitsstudie hergestellt.

Eine der anspruchsvollsten Herausforderungen im lasttragenden Strohballenbau ist die Nachweisführung über die mechanische Festigkeit und Standsicherheit. Wenngleich bereits eine Reihe wissenschaftlicher Untersuchungen an einzelnen Strohballen und an Strohballenwänden vorgenommen wurden, sind für die Ausarbeitung von allgemeingültigen Prüf- und Klassifizierungsverfahren sowie Bemessungsalgorithmen und dergleichen noch viele weitere wissenschaftliche Untersuchungen erforderlich. Zurzeit kann nur auf Basis von experimentellen Prüfungen die mechanische Festigkeit und Standsicherheit im Einzelfall belegt werden. Bei vorgespannten Systemen ist ein Sicherheitsfaktor vor Ort im Zuge der Aufbringung der Vorspannkräfte, welche in der Regel das zwei- bis zweieinhalbfache der späteren Gebrauchslast betragen, nachweisbar. Zudem haben experimentelle Untersuchungen gezeigt, dass verputzte Strohballenwände erheblich höhere Lasten aufnehmen können und somit ein weiterer maßgeblicher Sicherheitsfaktor gegeben ist.

Bezüglich Brandschutz, Schall- und Wärmeschutz wurden bereits für den nicht-lasttragenden Strohballenbau auf Basis anerkannter Methoden Prüfungen und Klassifizierungen

vorgenommen und entsprechende Zertifikate und dergleichen ausgestellt, welche die Eignung als Baustoff mit diversen Eigenschaften bestätigen. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Ergebnisse hinsichtlich Brandschutz, Schall- und Wärmeschutz auch für den lasttragenden Strohballenbau angenommen werden dürfen.

Eine weitere Herausforderung im lasttragenden als auch im nicht-lasttragenden Strohballenbau stellt die Anforderung an den Nässe- und Feuchtschutz. In erster Linie im Hinblick auf mögliche Schimmelbildungen und damit verbunden auf die Gefährdung von Hygiene und Gesundheit. Untersuchungen haben gezeigt, dass sehr viele Einflüsse seitens der Witterung und des Bauteilaufbaus zu berücksichtigen sind, um gesicherte bzw. reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Diesbezüglich ist noch erheblicher Forschungsbedarf gegeben. Derzeit gelten als gut brauchbar jene Außenwände mit vorgesetzten Fassaden, bei denen eine direkte Bewitterung der eigentlichen Strohballenkonstruktion verhindert wird. Für den Nässe- und Feuchteschutz im Sockelbereich bzw. Fundamentbereich und dergleichen gelten die allgemein bekannten Empfehlungen bzw. Vorgaben über Bauwerksabdichtungen.

Spezielle Anforderungen an den Strohballenbau hinsichtlich Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit sind nicht bekannt.

Bezüglich Ökologie allgemein und nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen im Speziellen ist anzumerken, dass der Strohballenbau aufgrund fehlender internationaler wie auch nationaler materienrechtlicher Vorschriften derzeit praktisch nicht greifbar quantifiziert werden kann. Bei regionaler Verfügbarkeit ist der Strohballen als Nebenprodukt des Getreidebaus aus ökologischer Sicht hinsichtlich Herstellung, Nutzung und Wiederverwertung (in der Regel Kompostierung) jedoch kaum zu übertreffen. Dies ist zum Beispiel bei der Bewertung nach OIB3-Indikatoren zu erkennen.

In Ländern mit weniger strengen Bauvorschriften wurden bereits auf Basis der bisherigen Erkenntnisse beeindruckende lasttragende Strohballenbauten sehr erfolgreich realisiert, in den Ländern mit strengen Bauvorschriften, wie dies in Österreich und in Deutschland der Fall ist (und mittlerweile aufgrund der Harmonisierung im Grunde genommen für den gesamten Europäischen Wirtschaftsraum gilt), konnten bis heute kaum Projekte umgesetzt werden.

In dieser Diplomarbeit wurden zum ausgearbeiteten Musterbeispiel jene Informationen zusammengestellt, auf deren Basis die Erfüllung der wesentlichen Anforderungen an Baustrohballen und an die lasttragende Strohballenbauweise im Sinne der geltenden

Bauvorschriften erwartet werden darf. Welche Nachweise und in welcher Form diese tatsächlich für eine baubehördliche Bewilligung erforderlich sind, obliegt in Niederösterreich der Baubehörde. Demnach bedarf es – bis zum Vorliegen entsprechend standardisierter Prüf-, Klassifizierungs- und Berechnungsverfahren - weiterer Vertreter der Baubehörden und deren Bausachverständige, welche mit entsprechendem Verständnis und Weitblick lasttragende Strohballenbauten bewilligen, so dass zu den beiden in Niederösterreich 2013 fertig gestellten lasttragenden Strohballengebäuden bald weitere Projekte hinzu kommen.

8 LITERATURVERZEICHNIS

8.1 PRIMÄRLITERATUR

Benjamin Krick (2008): „Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise“

Abschlussbericht DBU-Projekt Az. 22430 (2008): „Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance“, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU). Projektbeteiligte: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA) (Projektträger), Hochschule Magdeburg-Stendal (Fachbereich Bauwesen (HS-MD_SDL)), Zentrum für umweltbewusstes Bauen (ZUB) in Kassel in Kooperation mit dem Forschungslabor für experimentelles Bauen (FEB) und Fraunhofer Institut für Bauphysik.

Gernot Minke, Benjamin Krick (2009): „Handbuch Strohballenbau; Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele“

Gernot Minke, Friedemann Mahlke (2004): „Der Strohballenbau; Ein Konstruktionshandbuch“

Bruce King (2006): “Desing of Staw Bale Buildings; The State of the Art”

Athena Swentzell Steen et al (1994): The Straw Bale House, A real goods independent living book.

Nathaniel Corum (2005): “Building a Staw Bale House: The Red Feather Construction Handbook”

Josiah M. Leeds (1880): “Building Houses, Barns, Fences, & C”, Patent Nr. 225,065, vom 02. 03. 1880, (<http://www.google.com/patents/US225065>, abgerufen am 29.07.2014).

George W. Pickin (1903): *George W. Pickin* of Eau Claire, Wisconsin “Fireproof Wall or Building”, Patent Nr. 729,408, vom 26. 05.1903, (<http://patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US729408.pdf>, abgerufen am 29. 07. 2014)

Martin Hammer und David Eisenberg (2014): „Strawbale Construction and its Evolution in Building Codes“, Artikel aus der Februarausgabe des Journals *Building Safety Journal Online*

Roger L. Welsch (1970): "Sandhill Baled-Hay Construction," *Keystone Folklore Quarterly* 15 (Spring 1970): Seite 16-34 http://books.google.at/books?id=YJDYAAAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=de&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false, abgerufen am 02. 08. 2014.

John Carter (2006): "Nebraska's Straw Bale Church," *Nebraska History* 87: (<http://www.nebraskahistory.org/publish/publicat/history/full-text/NH2006StrawChurch.pdf>, abgerufen am 04. 08. 2014)

Herbert & Astid Gruber, Helmuth Santler (2012): *Neues Bauen mit Stroh in Europa*

Kurt Ecker (2013): *Ökologisierung des Bauens – Zukunftsfähigkeit innovativer Strohbausysteme*; Diplomarbeit unter der Leitung von Univ. Prof. Arch. DI Dr. techn. Martin Treberspurg am Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen, BOKU Wien.

Niederösterreichische Bauordnung 1996 (NÖ BO 1996) in der Fassung vom 11. 04. 2014

Niederösterreichische Bautechnikverordnung 1997 (NÖ BTV 1997) in der Fassung vom 05. 11. 2013

Niederösterreichische Gebäudeenergieeffizienzverordnung 2008 (NÖ GEEV 2008) in der Fassung vom 05. 11. 2013

8.2 SEKUNDÄRLITERATUR

Die Brockhaus Enzyklopädie Online; F. A. Brockhaus / wissenmedia in der inmediaONE] GmbH, Gütersloh/München;

Leopold Berger, Petrus Gruber, Engelbert Huber, Johann Panzenböck, Franz Rehm, Adolf Schnabel (2006): *ARGE Pflanzenbau 2, Acker – Grünland*; Leopold Stocker Verlag, 4. Auflage (2006)

Leopold Berger et al. (2007): ARGE Pflanzenbau 1, Grundlagen; Leopold Stocker Verlag, 2. Auflage (2007)

Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Gründer Bericht 2013, Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft; Downloadbereich:

http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/land/gruener_bericht/gruenerbericht13.html

Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91

Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates

Hermann Dissemmond und Adolf Zaussinger; Stroh – ein nachwachsender Rohstoff für die energetische Nutzung (1994) (<http://www.boku.ac.at/diebodenkultur/volltexte/band-46/heft-1/dissemond.pdf>, abgerufen am 08. 08. 2014)

Josef Streißelberger (Projektleiter) von AGRAR PLUS GmbH; Potentiale für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung (2003).

Alexander Bauer und Andreas Gronauer (2014) vom Institut für Landtechnik der Universität für Bodenkultur Wien; „Landwirtschaftliches Reststoff-Potenzial für Biogas“ – „Technische Umsetzungs- und Handlungserfordernisse“;

Horst Steinmüller vom Energieinstitut der Johannes Kepler Universität Linz; nicht datiert; „Nachhaltige Bodennutzung in Österreich, IST-Stand und Perspektiven“; http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/landwirtschaft/Veranstaltungen/bioenergie_ws11/Nachhaltige_Bodennutzung_Steinmueller_Energieinstitut_Linz.pdf, abgerufen am 10. 08. 2014

Hubert Wilmer (2013): „Leistungs-Verdichter“; Sonderdruck aus 12/2013 des Magazins für professionelle Agrartechnik „profi“; [http://mediathek.krone.de/index.php?id=1&tx_kronemediathek_pi1\[select_produk\]=26&tx_kr](http://mediathek.krone.de/index.php?id=1&tx_kronemediathek_pi1[select_produk]=26&tx_kr)

onemediathek_pi1[select_modell]=1144&tx_kronemediathek_pi1[select_document_category_group]=12&tx_kronemediathek_pi1[select_document_category_language]=43&tx_kronemediathek_pi1[sstring]=Suchbegriff%20...&tx_kronemediathek_pi1[sproductnum]=Seriennummer%20...&tx_kronemediathek_pi1[search_submitted]=1&tx_kronemediathek_pi1[view]=thumb_list, abgerufen am 07. 08. 2014)

Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH (2013); „BiG Pack HDP II, High Density Großpackenpresse“ 10/13; Downloadbereich: PRODUKTE: <http://landmaschinen.krone.de/deutsch/produkte/grosspackenpressen/big-pack-hdp-ii/der-presskanal/?size=700.0f>, abgerufen am 11. 08. 2014.

Christof Riccabona, Thomas Bednar (2010): „Baukonstruktionslehre 4 – Bauphysik“;

Christian Pöhn, Kurt Danzinger, Dieter Werner (2009): Artikel „ÖNORM B 3088-4 – Ende der Koexistenz“ aus „Der österreichische Brandschutzkatalog 2009“.