

sinnvolle architektur ?

strohballembau



Inhaltsverzeichnis

1_Einleitung.....	3
2_Geschichtlicher Hintergrund.....	4
3_Versuchshaus in Disentis (GR).....	5
4_ Das Grundmaterial Stroh.....	6
4_1 Verfügbarkeit des Rohstoffs	
4_2 Pressen des Strohs	
4_3 Qualitätskriterien	
5_Konstruktionsarten / Bauweisen.....	8
5_1 Lasttragende Bauweise	
5_2 Ausfachende oder vorgesetzte Bauweise	
6_Mechanische Eigenschaften von Strohballen.....	9
6_1 Belastbarkeit	
6_2 Setzungen	
7_Bauphysik / Bautechnik.....	10
7_1 Wärmeschutz	
7_2 Brandschutz	
7_3 Feuchteschutz – Diffusion	
7_4 Schädlings- und Pilzbefall	
7_5 Schall	
8_Baukosten.....	16
8_1 Materialpreise	
8_2 Erstellungskosten	
8_3 Betriebskosten	
8_4 Rückbau	
9_Fazit.....	17
10_Quellennachweis.....	18
11_Anhang / Pläne.....	19

1_ Einleitung

Für die diesjährige Seminararbeit in Kunstgeschichte zum Thema „sinnvolle Architektur“ habe ich mich für den Strohballenbau entschieden. Es handelt sich bei der Bearbeitung dieses Themas nicht primär um eine Auseinandersetzung mit ästhetischem Ausdruck und den Raumqualitäten, vielmehr geht es mir um die Frage, wie sinnvoll eine Strohballenbauweise in Bezug auf Energie, Wohnqualität und Wirtschaftlichkeit sein kann.

Energie ist auch in der Schweizer Bauwirtschaft schon längst zu einem Thema geworden. Begriffe wie Minergie, Niedrigenergie oder Passivhaus treffen wir tagtäglich an. Obwohl diese Standards nicht rechtskräftige Mindestanforderungen sind, lässt sich auf der Basis des Gesetzgebers eine klare Haltung in Richtung Energiebewusstsein - Energiesparen abzeichnen. Die SIA-Norm 380/1 wird immer wieder verschärft, und umfangreiche Energieberechnungen und Nachweise sind nötig um eine Baubewilligung zu erhalten. Dank solchen Mindestanforderungen konnte in den letzten Jahren einiges unternommen und erreicht werden, um Energie zu sparen. Doch auch heute fließen noch 40% der Gesamtenergie in den Bau! Dieser Wert umfasst sowohl die Erstellung, die Benutzung wie auch den Rückbau. Um die oben aufgeführten Normen und Standards zu erfüllen, müssen Gebäude mit grösseren Wärmedämmstärken ausgeführt werden. Dies führt einerseits zu höheren Baukosten, andererseits werden dadurch weitere wertvolle Ressourcen verbraucht.

Die angesprochenen Verschärfungen der Normen zielen praktisch nur auf eine Reduktion des Energieverbrauches während der Benutzungsphase ab. Der Energieverbrauch bei der Herstellung der Baumaterialien, der Transport zur Baustelle, die Erstellung wie auch der Rückbau und die Entsorgung haben nur eine untergeordnete Bedeutung. Aber auch hier sollte der Architekt ohne eine entsprechende Vorschrift ein Bewusstsein für Material und Konstruktion entwickeln, und sich der Energieproblematik bewusst sein. Die ethische Verantwortung des Architekten endet nicht mit der Schlussrechnung!

Beim Strohballenbau wird ein Baustoff aufgegriffen, der in seiner Herstellung nur wenig Energie und Ressourcen verbraucht. Ein nachwachsendes Naturprodukt das während des Wachstums CO₂ aus der Atmosphäre bindet, jährlich geerntet werden kann, und nach seinem Ableben in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt wird. Nebst den ökologischen Aspekten ist sicherlich auch das baubiologische Verhalten anzusprechen. Mit diffusionsoffenen Konstruktionen kann ein, über die gesamte Nutzungsdauer andauerndes, gesundes Raumklima geschaffen werden.

In der Schweiz fehlen für den Einsatz von Stroh als Baumaterial einerseits die gesetzlichen Grundlagen, andererseits ist auch die Erfahrung nicht vorhanden. Im weiteren gibt es in der Bevölkerung eine grosse Skepsis gegenüber dem Baustoff Stroh, die jedoch meist auf Vorurteilen beruht. Mit meiner Arbeit möchte ich einerseits versuchen einen Überblick über den heutigen Erkenntnisstand zu geben, andererseits sicherlich auch ein kritisches Auge auf diesen Baustoff zu werfen. Erfahrungen auf diesem Gebiet sind in der Schweiz sehr rar. Im letzten Jahr wurde das erste Strohballenhaus in Disentis (GR) erstellt. Eine grössere Verbreitung hat dieser Baustoff im Ausland. Anzusprechen ist dabei die USA und Österreich. Um diese Forschungsergebnisse auf schweizerische Verhältnisse anzupassen habe ich mit verschiedenen Experten zusammengearbeitet. Ich möchte an dieser Stelle für die gute Zusammenarbeit danken.

Architekt:	Werner Schmidt – Mag. Architekt aus Trun (GR)
Bauingenieur-Bautechnik:	Peter Braun – Kulturingenieur traditioneller und fast vergessener Baustoffe aus Freiburg
Bauphysik:	Heinz Leuthe – Bauphysikdozent der HTA - Biel (BE)
Landwirtschaft:	Andreas Kaiser – Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft in Zollikofen (BE)
Brandschutz:	Herr Ritter – Gebäudeversicherung des Kantons Bern in Ittigen (BE)



Abb. 1 Strohballenhaus in Disentis (GR)

2_ Geschichtlicher Hintergrund

Stroh als Baumaterial hat in der Schweiz eine lange Tradition. Stroh wurde bereits im Mittelalter eingesetzt um sich in den Steinhäusern vor der Winterkälte zu schützen. Später nutzte man Stroh um Bauernhäuser einzudecken. Die bekannten Strohdächer entstanden, von denen es heute nur noch wenige gibt, die von der Denkmalpflege aufrecht erhalten werden. In Verbindung mit Lehm brauchte man Stroh zum Ausfachen von Holzfachwerken die häufig mit Lehm verputzt werden um den nötigen Witterungsschutz zu gewährleisten. Der Strohballebau als solches ist in der Schweiz Neuland. Das Konzept stammt aus den USA und hat eine über hundert jährige Tradition.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gab es in Amerika so viel Stroh, dass es nicht mehr in den Scheunen gelagert werden konnte. Aus dieser Notlage heraus hatten einige Farmer die Idee das Stroh zu pressen, und damit das Volumen zu verkleinern. Um 1880 war die gepresste Strohballen erfunden! Die Strohballe waren kompakt, handlich und stapelbar. Die Erfüllung dieser Voraussetzungen war nötig um mit diesen überdimensionalen Mauersteinen Häuser zu bauen. Sie waren sehr einfach und leicht zu bauen, und kosteten praktisch nichts. Das älteste noch vorhandene Gebäude datiert aus dem Jahre 1895 und steht heute noch praktisch schadenfrei da.

Während der Oelkriese in den 70er Jahren wurde die Strohballebautechnik wieder aufgegriffen und gelang nach Europa. In Zusammenhang mit dem Bau von Niedrigenergiehäusern wurden Strohballe als Baumaterial wieder attraktiv. Weltweit existieren heute mehr als zehntausend Strohballehäuser. Eines davon steht seit dem letzten Jahr auch in der Schweiz.

Auf dem Gebiet der Forschung mit Strohballe findet in Österreich ein grosser Vorstoss statt. Nebst einer umfangreichen Plattform für den Erkenntnisaustausch im Internet arbeiten Forscher an verschiedenen Tests um eine Zulassung (Zertifizierung) von Strohballe als Baumaterial zu erzielen.



Abb. 2 Ortsmuseum Muhen Kt. AG

3_ Versuchshaus in Disentis (GR)



Bauherrschaft: Christiane Dubuis + Urs Braun
Architekt: Atelier Werner Schmidt in Trun
Bauingenieur: Peter Braun aus Freiburg
Baujahr: 2002

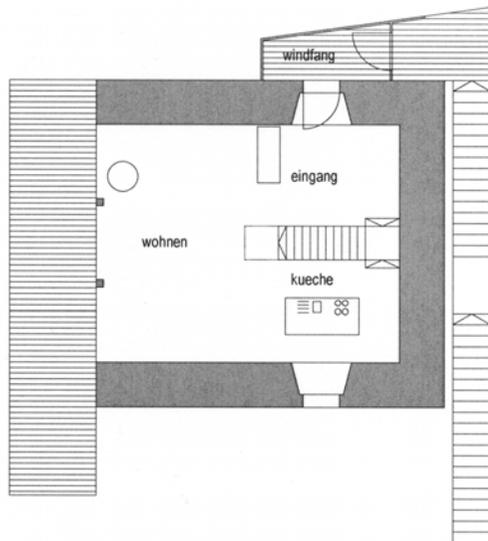
Der schweizerische Prototyp des Strohballenhauses befindet sich auf 1300 m.ü.M. Das Terrain weist ein starkes Gefälle gegen die Strasse auf. Auf einem Tisch aus Beton (Pfahlbau mit Betonplatte) erhebt sich das zweigeschossige Einfamilienhaus.

Von der Strasse her führt eine lange Treppe an der Nordseite vorbei und erschliesst das Haus von der, mit dem Terrain bündigen, Westseite. Im Grundriss gesehen ist das Gebäude in U-Form mit Stroh-Jumboballen umgeben. Die Südseite ist vollständig verglast.

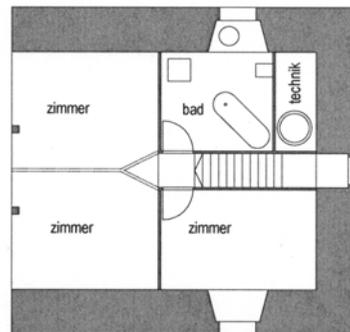
Im Erdgeschoss befinden sich die Gemeinschaftsräume (Küche, Essen, Wohnen, Eingang) und im Süden eine grosszügige Terrasse. Über eine gerade Treppe gelangt man ins Obergeschoss. Auf dieser Ebene finden zwei, optional auch drei Zimmer und das Bad platz.

Das beheizte Volumen wurde in seiner Oberfläche auf ein Minimum reduziert. Die oberste Decke bildet den Abschluss. Das aufgesetzte Satteldach mit einer Fachwerk Unterkonstruktion dient lediglich dem Witterungsschutz. Der Dachraum ist nicht zugänglich.

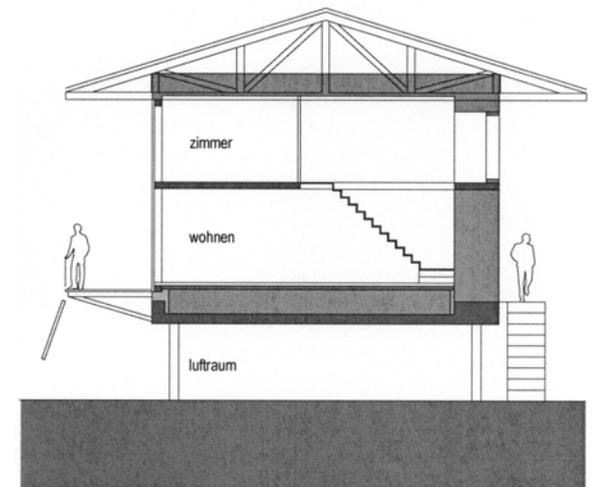
Das Wohnhaus mit 110 m² Nettowohnfläche braucht keine Heizung! Eine ausreichende Innentemperatur ist mit der passiven Sonnenenergienutzung vollständig gewährleistet.



erdgeschoss 1:200



obergeschoss 1:200



querschnitt 1:200

4_ Das Grundmaterial Stroh

4_1 Verfügbarkeit des Rohmaterials

Stroh ist ein Rest- und Abfallprodukt das bei der Getreideernte anfällt. Um Stroh als Baumaterial überhaupt in Betracht ziehen zu können bedarf es natürlich einer Verfügbarkeit. Gemäss der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft werden in der Schweiz jährlich ca. 900'000 Tonnen Stroh produziert. Dieser Ertrag kann jedoch grossen Schwankungen unterliegen und ist im wesentlichen von der Anbaufläche und dem Jahresklima abhängig.

Diese 900'000 t Stroh finden in der Schweiz vollständig in der Landwirtschaft Verwendung. Die tiergerechte Haltung erfordert einen grösseren Strohverbrauch. Dazu kommt, dass die Schweiz zu einem grossen Teil aus Bergen besteht, was die Anbauflächen und Möglichkeiten stark einschränkt. Unter dem Strich wird sogar Stroh aus dem Ausland importiert um die Nachfrage decken zu können (ca. 215'000t). Österreich und Deutschland können dagegen auf relativ grosse, frei verfügbare Mengen zurückgreifen. Etwa ein Drittel des gesamten Strohs hat keinen Verwendungszweck.

Baustroh könnte ebenfalls importiert werden, wie das im Versuchsobjekt der Fall war. Die Jumboballen wurden aus Ulm (D) angeliefert. Schnell stellt sich dabei die Frage, wie sinnvoll dieser Auslandtransport ist, wenn wir ein Maximum an grauer Energie einsparen wollen. Der Idealfall wäre sicherlich der Bezug der Qualitätsstrohballe von ortsansässigen Landwirten.

4_2 Pressen des Strohs

Bei den Pressen unterscheidet man grundsätzlich zwischen Kleinballenpressen, Rundballenpressen und Grossballenpressen. Aus arbeitstechnischen Gründen zielt die Produktion klar auf Rund- und Grossballen ab.

Der Pressvorgang ist relativ einfach erklärbar: Nachdem der Mähdrescher das Korn vom Stroh getrennt hat, lässt er das Stroh hinter sich auf dem Feld liegen. Ab hier kommt die Ballenpresse zum Zuge. Die Presse nimmt das Stroh auf und presst es zu 5-10 cm dicken Lagen zusammen. Diese Lagen werden aneinandergeschichtet bis die gewünschte Ballenlänge erreicht ist. Gebunden werden die Ballen mit 2-3 Polypropylen PP-Schnüren, mit Sisalschnüren oder auch mit Draht oder Metallbändern.

Um das gepresste Stroh als Baumaterial einsetzen zu können, muss es gewisse Qualitäten erfüllen. Es wäre eine Illusion zu glauben, dass jede Strohballe für den Liegenschaftsbau einsetzbar ist. Die Ballen müssen mit definierten Qualitäten bestellt werden, und auf den Bauzweck hin gepresst werden. Der Architekt muss dem Landwirt genaue Qualitätskriterien bekannt geben, nach denen er diese Ballen pressen kann.

4_3 Qualitätskriterien

1_ Strohart:

Grundsätzlich kommen vier mögliche Stroh- bzw. Getreidearten in Betracht: Weizen, Gersten, Roggen, Hafer. Unter den Getreidearten können kleinere Unterschiede betreffend Wärmeleitfähigkeit, Haltbarkeit und Stabilität festgestellt werden. Diese sind jedoch weitgehend vernachlässigbar.



Abb. 4

Strohballenpressen

2_Form + Abmessungen:

Die Abmessung der Strohballen werden durch den Kanalquerschnitt bei der Presse bestimmt. Dabei hängt es wesentlich von Typ der Ballenpresse ab welche Formate produziert werden können. Während die Breite und die Höhe der Ballen durch den Kanal der Ballenpresse vorbestimmt sind, ist die Länge der Ballen variabel einstellbar. Die einzelnen Lagen könne auch später abgetrennt werden. Bei Grossballen besteht die Möglichkeit die Ballenlängen in 5cm Schritten einzustellen.

In der Tabelle finden sich die gängigen Standardmasse. Je nach Maschine sind jedoch Abweichungen möglich.

	Höhe (cm)	Breite (cm)	Länge (cm)	Pressdichte (kg/m ³)
Kleinballen	46	36	40-110	90-110
Mittelgrosse Ballen	50	80	70-240	180-200
Grossballen	70	120	100-300	190-200

Die Masshaltigkeit und exakte Kanten und Ecken lassen sich durch ein Verringern der Fahrtgeschwindigkeit beim Pressen erzielen.

3_Dichte

Die Dichte der Ballen ist ein weiteres Qualitätskriterium für den Einsatz als „Baustein“. Bei modernen Ballenpressen lässt sich die Ballendichte über den Bordcomputer einstellen. Eine konstante Dichte ist dabei jedoch sehr schwer zu erzielen, zudem kann die Dichte von Balle zu Balle auf dem gleichen Feld leicht variieren. Die Dichte ist sowohl für die statischen Eigenschaften, den Brandschutz wie auch für die Wärmedämmung von grosser Wichtigkeit. Um eine statische Sicherheit zu garantieren spielt auch die Homogenität eine entscheidende Rolle. Unregelmässige Dichten führen einerseits zu unterschiedlichen Setzungen, andererseits verschlechtern sie die Wärmedämmfähigkeit wesentlich. Grundsätzlich sind Ballen zwischen 90 und 200kg/m³ möglich. Als untere Grenze wird 90kg/m³ gesetzt um den Brandschutz-technischen Anforderungen zu genügen. Für den Einsatz als Baumaterial kann eine mittlere Dichte von 100kg/m³ angenommen werden.

4_Feuchte

Die Feuchte ist ein entscheidendes Kriterium für die Haltbarkeit der Strohballen. Die Einbaufeuchte der Strohballen sollte 5-15 Prozent nicht überschreiten. Um dies zu erreichen können die Ballen an einem trockenen Ort vor dem Einbau weiter ausgetrocknet werden. Bei der Ernte des Getreides ist zudem wichtig, dass die Halme nicht zu nahe am Boden abgeschnitten werden. So kommt der unterste, grüne Teil des Halms nicht in die Ballen. Da Strohballenkonstruktionen dampfdiffusionsoffen sind, kann die Rest austrocknung in der Konstruktion erfolgen.

Weiter hat die Feuchte einen wesentlichen Einfluss auf die wärmetechnischen Eigenschaften, wie auch auf die Bildung von Pilzen in ständig feuchten Bereichen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass betreffend der Feuchte ein Austrocknen des Strohs auf jedenfall gewährleistet werden muss um ein Verfaulen der Konstruktion zu verhindern. Diese Probleme lassen sich durch konstruktiv richtige Detaillösungen in den Griff bekommen.

Versuchsobjekt Disentis:

Die Wandkonstruktion besteht aus Gerstenballen der Grösse - h: 70cm / b 120cm / l 240 cm (Jumboballen)



Abb. 5 Architekt verstärkt die Jumboballen

5_ Konstruktionsarten / Bauweisen

5_1 Lasttragende Bauweise (wie Mauersteine im Versatz)

5_1_1 Lasttragende Strohballenwände mit zusätzlicher Aussteifung

Die Wand wird wie Mauersteine im Versatz (ohne Mörtel) aufgemauert und mit Stangen (Stahl, Holz, Bambus,...) versteift. Nach einem Setzen von 4-6 Wochen kann die Wand verputzt werden.

5_1_2 Lasttragend und vorgespannt

Aufbau wie oben beschrieben, nur wird das natürliche Setzen durch Spannvorrichtungen wie Gurten (ausserhalb der Ballen) oder Gewindestangen (innerhalb der Ballen) künstlich herbeigeführt.

5_1_3 Lasttragend gemauert

Die Strohballen werden ohne Versatz mit Zementmörtel aufgemauert. Das Mörtelfugengitter bildet die tragende Struktur. Eine zusätzliche Aussteifung zur Aufnahme der Horizontalkräfte entfällt. Bei diesem System werden die Wärmebrücken im Bereich der Fugen in Kauf genommen!

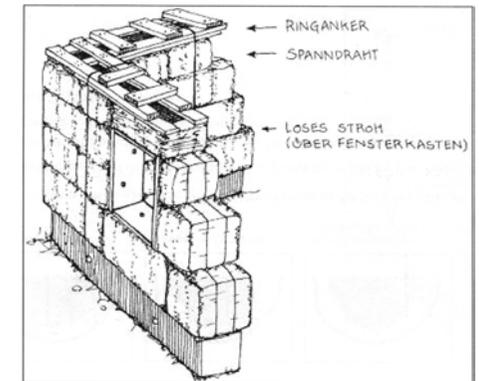


Abb. 6

Schema lasttragend

5_2 Ausfachende oder vorgesetzte Bauweise (Strohballen als Wärmedämmstoff)

5_2_1 Ausfachung der in Tafel- oder Rahmenbauweise erstellten Holzkonstruktion. Die Holzkonstruktion nimmt dabei die Vertikalkräfte wie auch die Aussteifung auf.

5_2_2 Vorgesetzter (nachträglicher) Wärmeschutz. Dies eine Variante um im Bereich von Altbausanierungen Stroh als zusätzliche Wärmedämmschicht einzusetzen.

Die Strohballenkonstruktion ist für den Eigenbau geeignet und verzeiht kleinere Fehler. Dem Architekten muss aber bewusst sein, dass mit einer solchen Konstruktionsmethode Masstoleranzen in Kauf genommen werden müssen. Nebst den nicht exakt ermittelbaren Setzungen ist auch eine erhöhte Masstoleranz der Ballen und der Einbaugenauigkeit zu berücksichtigen!

Das Strohballenhaus in Disentis wurde in einer lasttragenden Konstruktion ausgeführt. Die im Versatz aufgebauten Strohballenwände wurden mit Spanngurten vorgepresst. Während der Bauphase wurden die Gurten nachgespannt, um die durch zusätzliche Belastungen aufgetretenen Setzungen aufzunehmen, und die Wände weiterhin unter Druck zu halten. Nach Beendigung des Setzens wurden die Gurte nochmals kräftig nachgespannt, bevor sie hinter dem Verputz in der Wand verschwanden.

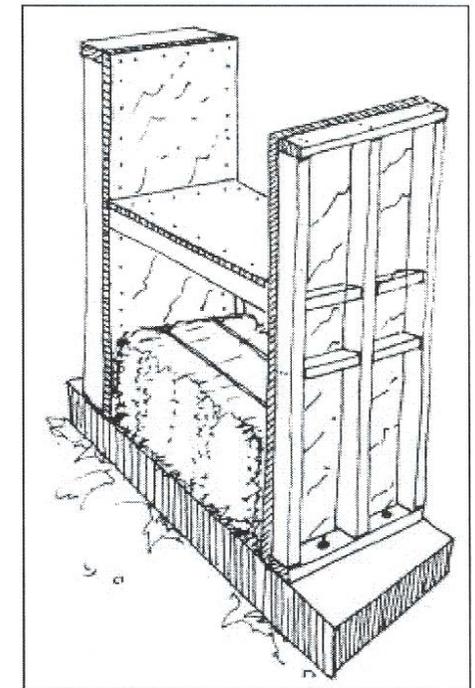


Abb. 7

Schema ausfachend

6_Mechanische Eigenschaften von Strohballen

6_1 Belastbarkeit

Über die statische Verhaltensweise von Strohballen gibt es nur sehr rudimentäre Unterlagen. Es existieren keine exakten Werte die für die Bemessung von Strohballenbauten beigezogen werden könnten.

Beim Versuchshaus in Disentis hat der verantwortliche Ingenieur Peter Braun in Zusammenarbeit mit dem Architekten einige einfache Belastbarkeitstests durchgeführt und so das statische Verhalten ermittelt.

Eine Jumboballe wurde mit Zementsäcken vollflächig und gleichmässig belastet. Zuerst wurde die Balle mit 3 Tonnen belastet, anschliessend mit 6 Tonnen. Der daraus resultierende Druck ist in etwa 0.01 N/mm^2 bzw. 0.02 N/mm^2 .

Die Strohballen hat diese Belastung ohne weiteres überstanden, und so hat der Ingenieur für seine Berechnungen einen maximalen Belastungswert von 0.03 N/mm^2 festgelegt. Um einem Aufplatzen der Ballen, d.h. ein Reißen der Ballenschnürung vorzubeugen, wurden die stark belasteten Ballen doppelt geschnürt.

Die nur sehr geringe Belastbarkeit der Strohballen warf vor allem beim Versuchshaus einige Fragen auf. Gegenüber normalen Verhältnissen musste in dieser Höhenlage mit Schneelasten von 650 kg/m^2 gerechnet werden (normal 150 kg/m^2). Diese Tatsache hatte einen wesentlichen Einfluss auf die Machbarkeit. Auf der Südseite war das Abfangen der Kräfte über die Holzkonstruktion kein Problem. Auf der Nordseite traten grössere Probleme auf. Hier gilt es als erwiesen, dass der Verputz ebenfalls tragend und stabilisierend wirkt. Nach amerikanischen Berechnungen soll der Verputz die zulässige Belastung verdoppeln. In diesem Falle auf ca. 0.06 N/mm^2 . Die Nordseite wurde zudem so projektiert, dass nötigenfalls eine Unterfangung in traditioneller Holzbauweise angebracht werden könnte.

6_2 Setzungen

Bei den Belastungstests wurden die Strohballen ebenfalls betreffend Setzungen untersucht. Es wurde festgestellt, dass sich die Senkungen der Strohballen nicht proportional zur Belastung verhält. Das heisst, dass am Anfang der Belastung die Strohballen stärker reagieren, und sich bei zunehmender Belastung relativ unverändert verhält.

Testergebnisse:	Belastungen:	0 kN	Strohballenhöhe:	74.5 cm	=	100 %
		30 kN		69.0 cm	=	92 %
		60 kN		66.5 cm	=	89 %

Nebst einer homogenen Ballendichte muss die Strohballenkonstruktion unbedingt gleichmässig belastet werden. Einzellasten führen zu ungleichen Senkungen; die Strohballen ist nicht in der Lage die Last selbst auf die ganze Fläche gleichmässig zu verteilen. In Disentis wurde dazu ein umlaufender Holzrahmen aufgesetzt der seinerseits die auftreffenden Belastungen gleichmässig auf die Ballenfläche verteilt.

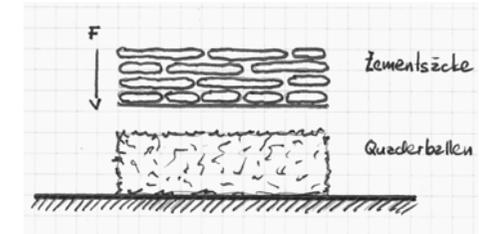


Abb. 8 Testaufbau Belastungsprobe

Belastung (F) max.	0.03N/mm²
Vergleich:	
Holz:	8-12 N/mm ²
Beton:	16 N/mm ²
Stahl:	235 N/mm ²

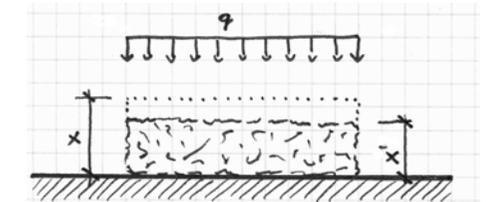


Abb. 9 Messung der Setzungen



Abb. 10 Druckverteiplatten aus Holz

7_ Bautechnik - Bauphysik

7_1 Wärmeschutz

Hinsichtlich des wärmetechnischen Verhaltens von Stroh wurde in Versuchen ein Durchschnittswert von $\lambda = 0.045 \text{ W/mK}$ ermittelt. Dieser Wert unterliegt je nach Dichte, Feuchtigkeitsgehalt und Richtung (stehend, liegend) kleineren Schwankungen.

Vergleich:	Steinwolle	λ	0.040 W/mK
	Polystyrol	λ	0.038 W/mK

U-Wert Berechnung einer **Aussenwand mit Kleinstrohballen** (Stärke 45 cm; Normalfall):

	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Wärmeübergang innen			0.13
Kalk - Innenputz	0.03	0.87	0.03
Strohballen	0.45	0.045	10.00
Lehm - Aussenputz	0.03	0.90	0.03
Wärmeübergang aussen			0.04
			$R_{TOT} = 10.23$
$U = 1/R_{TOT} = 1/10.23 = \underline{\underline{0.10 \text{ W/m}^2\text{K}}}$			

Vergleich zu den gesetzlichen Anforderungen:

SIA 180 Wärme und Feuchteschutz im Hochbau
Absicht: Bautenschutz

U-Wert: 0.40 W/m²K

SIA 380/1 Thermische Energie im Hochbau
Energiesparnorm

U-Wert: 0.30 W/m²K

Minergie Standard
Energiesparstandard ideal

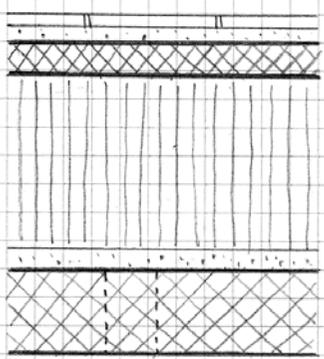
U-Wert: 0.15 W/m²K

Im Vergleich dazu die **Aussenwand** des Versuchshauses in Disentis:

	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Wärmeübergang innen			0.13
Kalk - Innenputz	0.04	0.87	0.04
Strohballen	1.20	0.045	26.67
Kalk-Zementaussenputz	0.03	0.87	0.03
Wärmeübergang aussen			0.04
			$R_{TOT} = 26.91$
$U = 1/R_{TOT} = 1/26.91 = \underline{\underline{0.037 \text{ W/m}^2\text{K}}}$			

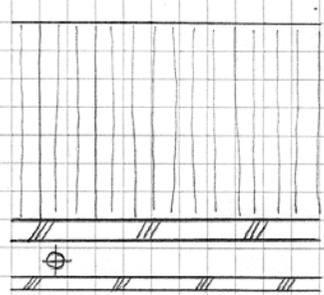
> unterbietet Minergie bei weitem

U-Wert Berechnung Boden Versuchshaus Disentis

	d(m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
			
Wärmeübergang innen			0.13
Zementplatten	0.04	1.10	0.04
Steinsplitt	0.04	0.70	0.06
Beton	0.10	1.80	0.06
Stroh	0.45	0.045	10.00
Steinsplitt	0.05	0.70	0.07
Beton	0.26	1.80	0.14
Wärmeübergang aussen			0.04
$ U = 1/R_{TOT} = 1/10.54 = \underline{\underline{0.095 \text{ W/m}^2\text{K}}}$			$R_{TOT} = 10.54$

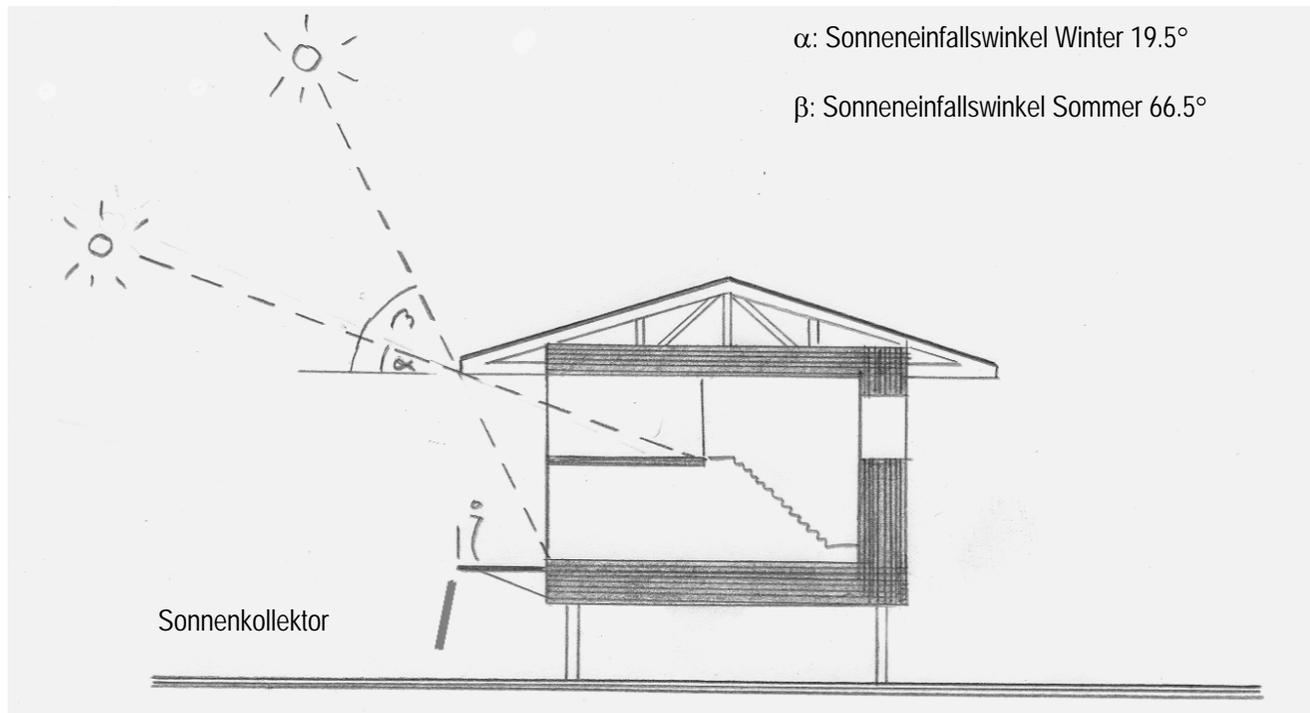
Minergie Anforderung ideal: U-Wert 0.20 W/m²K

U-Wert Berechnung Decke (Dach) Versuchshaus Disentis

	d(m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
			
Wärmeübergang innen			0.13
3-Schichtplatte	0.20	0.44	0.05
Installationshohlraum			0.18
3-Schichtplatte	0.05	0.44	0.07
Strohballen	0.60	0.045	13.33
Wärmeübergang aussen			0.04
$ U = 1/R_{TOT} = 1/13.80 = \underline{\underline{0.072 \text{ W/m}^2\text{K}}}$			$R_{TOT} = 13.80$

Minergie Anforderung ideal: U-Wert 0.12 W/m²K

Passive Sonnenenergienutzung



Über die Südverglasung gelangt die Sonnenwärme im Winter und in der Übergangszeit in das Rauminnere und wärmt dort speicherfähige Böden auf.

Im Sommer, bei steilerem Sonneneinfallswinkel, dient das Vordach als Sonnenschutz um eine Überhitzung der dahinterliegenden Räume zu verhindern. Für die Übergangszeit wurde eine Sonnenstore im Bereich der Traufe vorgesehen.

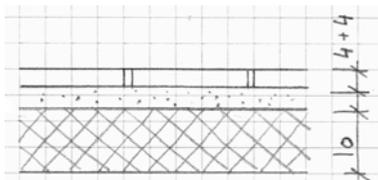
Die Warmwasseraufbereitung geschieht über Sonnenkollektoren die unten an der Südterrasse angebracht sind.

Die Lüftung der Räume erfolgt manuell! Ein entsprechendes Benutzerverhalten ist dabei Voraussetzung.

Wärmespeichermasse

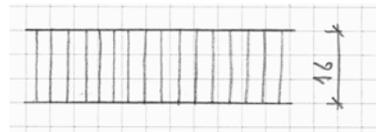
c = spezifische Wärmekapazität (zum Vergleich: Wärmedämmung hat ca. 0.17 Wh/kgK)

Erdgeschossboden:



Zementplatten 4cm	c-Wert:	0.30 Wh/kgK
Steinsplitt 4cm	c-Wert:	0.22 Wh/kgK
Betonboden 10cm	c-Wert:	0.30 Wh/kgK
	ρ-Wert:	ca. 2300 kg/m ³
> pro m ² Bodenfläche:		110 Wh/K

Zwischendecke!



Brettstapeldecke 16cm	c-Wert	0.60 Wh/kgK
	ρ-Wert:	500 kg/m ³
> pro m ² Bodenfläche:		48 Wh/K

Das Gebäude kommt ganz ohne Heizung aus. Ein Schwedenofen ist nur für den Notfall und die Romantik vorhanden.

All diese wärmetechnischen Massnahmen haben zur Folge, dass das Gebäude fast ohne zusätzliche Energie betrieben werden kann.

Der Jahres – Gesamtenergieverbrauch bewegt sich zwischen 3000 – 3500 kWh/Jahr (Energie für Heizung, Warmwasser, Licht, Kochen, Waschen, TV,...)

7_2 Brandschutz

Die wohl grösste Skepsis gegenüber dem Stroh liegt in der Brennbarkeit. Dieses Vorurteil hat für **loses Stroh** bestimmt seine Richtigkeit. Lose ist Stroh ein **leicht entflammbarer** Stoff, dessen Brandrisiko man während der Erstellung von Strohbauten nicht unterschätzen darf.

Bei Strohbällen handelt es sich jedoch um komprimiertes Stroh, das bloss noch einen sehr kleinen Sauerstoffgehalt aufweist. Das Fehlen des Sauerstoffs führt dazu, dass Strohbällen sehr schlecht brennen. Zudem wurde festgestellt, dass durch das leichte, oberflächliche Abbrennen eine Verkohlung einsetzt die ihrerseits eine Feuerbarriere aufbaut. Dieses Verhalten ist mit dem Abbrand von Holzquerschnitten vergleichbar. Deshalb wird bei der Zertifizierung im Ausland angestrebt, dass Strohbällen eigentlich überall dort zugelassen werden sollten, wo Holz eingesetzt werden darf.

Brandtests an **unverputzten Ballen** konnte eine Resistenz von **F30** nachweisen. Von der Brennbarkeit her fällt dieser Stoff unter die Kategorie normalbrennbar, was in der Schweiz dem **Brennbarkeitsgrad 4** entsprechen würde.

Tests bei beidseitig **verputzten Wänden** wiesen einen Feuerwiderstand von **F90 - F120** auf. Dies sind erstaunliche Werte, die im Vergleich mit der CH-Norm sogar tragenden Teilen bei hoher Brandbelastung entsprechen würden (min. F90).

Ein solches Brandverhalten kann bei Ballen ab **90kg/m³** vorhergesagt werden. Was darunter liegt ist zu wenig kompakt und enthält zuviel Sauerstoff der das Feuer verhängnisvoll unterstützen kann!

Die oben aufgeführten Testergebnisse sind keine rechtlich zugelassenen Werte. In der Schweiz ist der Baustoff „Strohballen“ nicht deklariert und müsste zertifiziert werden. Gemäss den gängigen Normen gilt Stroh einfach als ungeeignet, solange nicht das Gegenteil bewiesen wurde. Um eine solche Bauweise bei den Behörden durchzubringen kostet es von der Seite der Architekten und Ingenieure einiges an Überzeugungsarbeit.

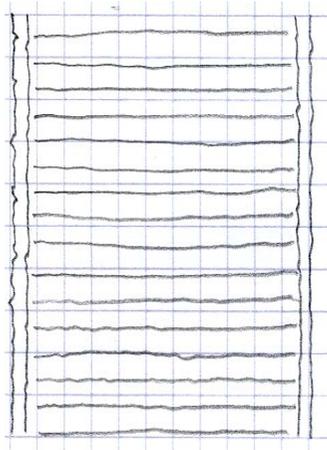
Eine Strohbällenbauweise für freistehende Einfamilienhäuser sollte kein Bewilligungsproblem darstellen. Sobald wir in verdichtetem Gebiet bauen oder eine Mehrnutzung durch verschiedene Parteien in Betracht ziehen, dürfte diese Bauweise heute kaum zugelassen werden. Zudem muss bei Strohbällenhäusern mit einer höheren Gebäudeversicherungsprämie gerechnet werden, da das Brandrisiko höher eingestuft wird.

7_3 Feuchteschutz / Diffusion

Der wohl wichtigste Grundsatz in Verbindung mit dem Strohballenbau ist der Feuchteschutz. Dieser muss konstruktiv unbedingt so gelöst sein, dass keine Feuchtigkeit in die Konstruktion eintritt, oder wenn dies unerreichbar ist, muss die Konstruktion zwingend austrocknen können!

Die Konstruktion der Bauteile muss so konzipiert sein, dass sie dampfdiffusionsoffen ist, und von innen nach aussen niemals dichter wird. Eine verputzte Wand könnte beispielsweise auf der Aussenseite einen Lehmputz aufweisen und auf der Innenseite einen Kalkverputz. Beides diffusionsoffene Baustoffe wobei Lehm weniger dicht ist, und aufgrund seines hydrophoben Verhaltens Wasser speichern kann, und später wieder mühelos austrocknet.

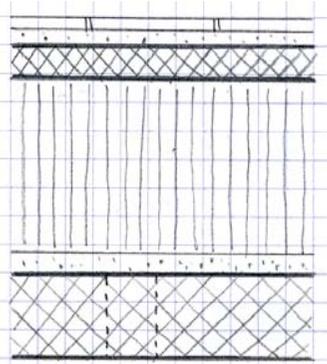
Reine Zementputze sollten nicht eingesetzt werden, da sie zu dicht abschliessen. Betreffend der Luftdichtigkeit kann es empfehlenswert sein, auf der Innenseite eine Luftdichtigkeitsschicht vorzusehen die gleichzeitig als leichte Dampfbremse dient. Auf ein inneres dampfdichtes Abschliessen sollte jedoch verzichtet werden um die positiven baubiologischen Eigenschaften nicht zu unterbinden. Dies gilt ebenfalls für innere Anstrichstoffe!



Wandaufbau im Disentis:

- | | |
|--------------|--|
| Innenputz: | 4 cm Kalkputz mit zwei Armierungsnetzen (statisch belastet!)
Aufgabe: Luftdichtung, Statik, Brandschutz, Oberflächenschutz |
| Strohballen: | Jumboballe 70 / 120 / 240
Aufgabe: Tragstruktur, Wärmedämmung |
| Aussenputz: | Kalk-Zementputz (50%-50% mit Perliten)
Putzträger ist ein Rabitzgitter, mit zusätzlichem Hühnergitter
Aufgabe: Witterungsschutz, Brandschutz |

Der Aussenputz ist in seiner Zusammensetzung (Dämmputz) nicht ideal. Wegen Frostgefahr im Herbst konnte die Aussenwand nicht mit Kalk verputzt werden. Eine Mischung mit Zement lässt ihn eher abbinden. Die Perliten garantieren die Diffusionsdurchlässigkeit.



Bodenaufbau in Disentis:

Die Bodenplatte aus Beton wurde pro Quadratmeter mit einem Loch mit einem Durchmesser von 100mm versehen. Die Strohballen wurden auf eine Splittschicht verlegt. Mit diesen Massnahmen kann gewährleistet werden, dass sich ev. anfallendes Wasser im Splitt über Elektrobohle ableiten lässt. Zudem wird mit der gelochten Betonplatte die Dampfdiffusion gewährleistet, und ev. feucht gewordenes Stroh kann durch die Belüftungsöffnungen austrocknen.

7_4 Schädlings- und Pilzbefall

Eine trockene Konstruktion ist das Hauptkriterium um einem Pilzbefall oder dem Anwachsen von Mikroorganismen vorzubeugen. Gegen das Einnisten von Mäusen und dergleichen wird in den Verputz ein feinmaschiges Drahtnetz eingearbeitet, das einerseits als Putzträger dient, andererseits aber verhindert (in Verbindung mit dem Verputz), dass Nagetiere in die Konstruktion eindringen. Bei der Strohballenqualität ist drauf zu achten, dass keine Ähren oder Restkörner vorhanden sind welche als Nährstoff für verschiedene Insekten dienen.



Abb. 11 unverputzte Aussenwand
Mäuseschutzgitter und Rabitzgitter

7_5 Schall

Der Strohballenbau ist ein Leichtbau. Sein Luftschalldämmwert ist sehr gering. In lärmigen Regionen (Einflugschneisen, entlang von Eisenbahnlinien oder stark befahrenen Strassen,...) sollt besser auf einen Strohballenbau verzichtet werden. Eine mögliche vorgesezte Luftschalldämmung hat die Architektin Sarah Wigglesworth in London erstellt. Der Strohballenkonstruktion wurde eine Wand aus Sandsäcken vorgelagert. Die Säcke sind mit einer Sand-Zement Mischung gefüllt, was dazu führt, dass sich der Inhalt beim ersten starken Regen zu verfestigen beginnt. Eine aufgeschichtete Betonschalldämmwand entsteht.



Abb. 12 Schallschutzwand

8_ Baukosten

8_1 Materialpreise:

Die Materialkosten betragen nur etwa 1/6 derjenigen einer konventionellen Konstruktion!

Ankaufpreise Strohballen in der CH:	Kleinballen	ca. 4.50 pro Balle
	Quaderballen	38.—pro Balle

Sicherlich müsste bei der Bestellung von Qualitätsballen mit einem höheren Ballenpreis gerechnet werden; trotzdem ist der Materialpreis relativ klein, wenn man bedenkt, dass eine Quaderball schon ca. 2 m² Fassadenfläche ergibt!

8_2 Erstellungskosten:

Beispielobjekt in Disentis: 380'000.— ohne Landkosten

Ein konventionelles Passivhaus kostet ca. 20% mehr als ein konventioneller Massivbau. Mit Stroh könnte das gleiche Passivhaus zu den Kosten des normalen Baus realisiert werden. > Sparpotenzial **10-20%**

8_3 Betriebskosten

Das Versuchshaus hat einen jährlichen Energieverbrauch von 3000-3500 kWh. (Gesamtenergieverbrauch für Heizung, Warmwasser, Licht, Kochen, Waschen, TV,...)

> jährliche Betriebskosten: 3250 kWh * 20 Rp./kWh (Strommarktpreis) = **650.—** Energiekosten pro Jahr (EFH!)

8_4 Rückbau

Schätzungen zufolge wird in 20 Jahren der Abbruch von konventionellen Bauten teurer zu stehen kommen, als die Kosten für die Erstellung heute.

Stroh kann nach seinem Ableben kompostiert werden und sich in den natürlichen Kreislauf wieder einfügen. Das verbaute Holz kann ev. eine Wiederverwendung finden oder verbrannt werden. Sicherlich ist darauf zu achten, dass das Holz nicht mit einem chemischen Holzschutz versehen wird, was es zu Sondermüll machen würde.

9_ Fazit

Ich denke, dass der Strohballenbau sicherlich eine interessante Antwort auf die heutige Energieproblematik sein kann. Neben den wärmetechnischen Eigenschaften solcher Gebäude ist der Miteinbezug der grauen Energie ein sehr positiver Aspekt. Eine Optimierung von Produktionsabläufen und Transportwegen ist sicherlich der richtige Weg in Richtung Energiesparen - Energiebewusstsein.

Überzeugend dabei war für mich auch der finanzielle Aspekt. Bis heute bedeutete ein ökologisches und energiebewusstes Bauen immer einen tieferen Griff in die Geldbörse. Diese Bauweise stellt dieses Vorurteil auf den Kopf und lässt mit weniger Geld mehr bauen. Was weiter sicherlich sehr attraktiv sein kann sind die laufenden Betriebskosten für die Energie. Im Bereich solcher Dämmstärken ist eine grosse Kosteneinsparung möglich.

Bei einem Strohballenbau in der Schweiz sehe ich einerseits die Problematik der Verfügbarkeit des Rohstoffs. Ein Importieren widerspricht dabei den oben gesteckten Zielen. Im weiteren ist sicherlich die mangelnde Erfahrung auf diesem Gebiet ein entscheidender Aspekt für eine weitere Verbreitung und Akzeptanz dieser Bauweise. Dazu kommen die fehlenden gesetzlichen Grundlagen die das Bauen mit Stroh nicht gerade unterstützen.

Was die Zukunft des Strohballenbaus anbelangt, glaube ich, dass es sicherlich ein Zweig sein wird, jedoch bestimmt nicht der Weg, der die Energieproblematik im sozialen Kontext lösen wird. Die heutige städtebauliche Hauptaufgabe des Architekten zielt ganz klar in eine Richtung des Verdichtens von urbanem Raum und nicht in eine Zersiedelung bis die Schweiz flächendeckend zugebaut ist. Ein verdichtetes Bauen ist mit Stroh einerseits aus brandschutztechnischen Gründen nicht möglich, andererseits sind solche massiven Konstruktionsquerschnitte grosse Platzfresser was sicherlich im Widerspruch zu den hohen Landpreisen in den Zentren steht. Eine maximale Ausnutzung der Bauparzelle steht aus finanzieller und städtebaulicher Sicht im Vordergrund.

10_ Quellennachweis

Bücher, Broschüren und Artikel:

- Courtenay Smith u. Sean Topham, xtreme houses, München: Prestel Verlag 2002, S. 30-33, ISBN 3-7913-2789-5
- Bundesministerium Österreich für Verkehr Innovation + Technologie, Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen, Haus der Zukunft, Endbericht 01/2001
- Schweizerische Schreiner Zeitung, 13. Februar 2003, Nr. 7, Bauen mit Strohballen - ein optimaler Baustoff, S. 16-18
- NZZ, 5. April 2002, Nr. 78, Haus aus Stroh - Ein architektonisches Experiment in London, S. 85
- Coopzeitung, 16. Oktober 2002, Nr. 7, Froh im Stroh, S. 85

Web-Sites:

- www.baubiologie.at/asbn
- www.vistaverde.de/news/Wissenschaft/0201/31_stroh.htm
- www.easy-solutions.ch/sws/
- www.global200.at

Kontaktpersonen:

- Atelier Werner Schmidt, Hr. W. Schmidt, Mag. Architekt, 7166 Trun (GR)
- Normal Office Sarl, Hr. P. Braun, Kulturingenieur traditioneller + fast vergessener Baustoffe, 1700 Freiburg
- Hochschule für Technik und Architektur Biel, Hr. H. Leuthe, Bauphysikdozent, 2501 Biel-Bienne (BE)
- Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, Hr. A. Kaiser, Dozent für Pflanzenkunde, 3052 Zollikofen (BE)
- Kantonale Gebäudeversicherung des Kantons Bern, Hr. Ritter, Architekt, 3063 Ittigen (BE)

GRUNDRISS OG M 1:100

