Hochschule Augsburg
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
Prof. Sahner Prof. Dr. Bauer Prof. Dr. Hellwig Prof. Dr. Nowak Prof. Schmidt

Technik Wirtschaft Gestaltung
Studiengang E2D

Modul 9.3
Masterarbeit

Strohballen - Wohnhaus „Tay Manka“

Regina Maria Köppe

Studiengang: Energie Effizienz Design E2D

Betreuer: Prof. Dr. -Ing. Joachim Müller
Prof. Dr. -Ing. Runa Hellwig
Hochschule Augsburg

Ausgabetermin: 02.09.2013
Abgabetermin: 29.11.2013

Kurzfassung

In dieser Masterarbeit wird der Strohballenbau als traditionelle Bauweise aufgegriffen und die Verbindung zu den heutigen Anforderungen des Energieeffizienten Bauens hergestellt.
Zu Beginn steht die Grundlagenermittlung von Stroh als Baustoff, dessen bauphysikalische Eigenschaften und die aktuelle Genehmigungsfähigkeit im Rahmen der Bauordnung. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Recherche und dem Vergleich baukonstruktiver Varianten für den Strohballenbau und den daraus entstehenden eigenen Detaillösungen für den nachfolgenden Entwurf. Dieser soll am Beispiel eines Einfamilienhauses die Nachhaltigkeit in ökologischen, ökonomischen und sozialen Bereichen unserer gebauten Umwelt aufgreifen und umsetzen. Ergänzend hierzu werden mögliche Eigenleistungen im Rahmen des Strohballeneinbaus erläutert, welche ich aus eigener praktischer Erfahrung wiedergeben kann. Abschließend zeigt eine kurze Analyse die mögliche Baukosten für den Strohballenbau.

Abstract (engl.)

The basis of this master thesis is the traditional strawbale construction method in connection with the requirements of modern energy efficient building concepts. The first subjects are the material properties of straw and its physical characteristics due to the construction permission and including legal aspects. The main focus is the research and comparison of different constructional options of the strawbale building conept and the diversity of resulting solutions. This should be shown on an example of a single-family house according to ecological, economical and social aspects, in a already existing building zone. Therefore all possible owner based acitivties during a construction process will be defined and combined with practical experiences. It all ends with a quick cost break down of the straw-bale-constructions method.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 7

2. Aufgabenstellung.....10

2.1. Grundlagen.....10

2.2. Zielsetzung.....11

2.3. Aufbau.....12

3. Bauen mit Strohballen - Grundlagen.....13

3.1. Strohballen als Baustoff.....13

3.1.1. Rohstoff.....13
3.1.2. Herstellung 13
3.1.3. Qualitätssicherung von Baustrohballen.....14
3.1.4. Allergie.....15
3.1.5. Schimmel.....15
3.1.6. Schädlinge.....15
3.1.7. Brandgefahr.....16
3.1.8. Nachteile des Bauens mit Stroh.....16

3.2. Bauphysikalische Eigenschaften von Stroh als Dämmstoff.....17

3.2.1. Wärme.....17
3.2.2. Feuchte.....21
3.2.3. Wind.....32
3.2.4. Schall.....32

3.3. Bauordnung und Zulassung.....34

3.3.1. Baurechtliche Einordnung.....34
3.3.2. Genehmigungsfähigkeit.....34
3.3.3. Dampfbremse vs. Direktverputzung.....34
3.3.4. Brandschutz.....35

3.4. Bauweisen.....37

3.4.1. Lasttragender Strohballenbau.....37
3.4.2. Nicht lasttragender Strohballenbau.....38
3.4.3. Hybridbauweise.....39
3.4.4. Modularbauweise.....39

3.5. Baukonstruktive Eigenschaften „Nicht lasttragender Strohballenbau“.....41

3.5.1. Lage der Strohballen.....41
3.5.2. Lage der Stützen.....41
3.5.3. Aussteifung gegen Horizontalkräfte.....44

3.5.4. Verbindung der Ballen mit der Stützkonstruktion.....45

4. Recherche, Vergleich und Entwicklung baukonstruktiver Details.....46

4.1. Wandaufbau.....46

4.1.1. Recherche.....46
4.1.2. Vergleich.....52
4.1.3. Gewählte Lösung.....55

4.2. Anschluss Fenster / Tür.....57

4.2.1. Recherche.....57
4.2.2. Vergleich.....61
4.2.3. Gewählte Lösung.....61

4.3. Bodenaufbau / Fundament.....63

4.3.1. Recherche.....63
4.3.2. Vergleich.....67
4.3.3. Gewählte Lösung.....68

4.4. Dach.....72

4.4.1. Recherche.....72
4.4.2. Vergleich.....75
4.4.3. Gewählte Lösung.....76

4.5. Innenwände.....78

4.5.1. Recherche.....78
4.5.2. Vergleich.....81
4.5.3. Gewählte Lösung.....82

4.6. Bäder.....83

4.6.1. Recherche.....83
4.6.2. Vergleich.....85
4.6.3. Gewählte Lösung.....85

4.7. Leitungsführung.....85

4.7.1. Recherche.....85
4.7.2. Gewählte Lösung.....87

5. Entwurf.....88

5.1. Grundriss, Ansichten, Schnitte, Details.....90

5.2. Tragwerk.....90

5.3. Materialien.....91

6. Bilanzierung.....92

6.1. Berechnung Wärmedurchgangskoeffizient U.....92

6.2. Energetische Bilanzierung 96
6.2.1. Gebäudeergebnisse.....96
6.2.2. Strom aus erneuerbaren Energien nach §5 EnEV 2009.....97
6.2.3. Wärme- und Energiebilanzen.....98
6.2.4. Anlagentechnik.....101
6.3. Sommerlicher Wärmeschutz.....102
6.4. Wärmebrücken.....107
7. Bauablauf der Eigenleistung für den Stroheinbau.....115
7.1. Vorbereitung der Strohballen.....115
7.2. Einbau der Strohballen.....119
7.3. Nachbearbeitung der Strohballenwand.....122
8. Baukosten für Strohballenbauten.....129
9. Fazit.....133
10. Quellen 134
10.1. Normen und Zulassungen.....134
10.2. Literatur.....135
10.3. Internet.....136
10.4. Sonstiges.....140
11. Abbildungsverzeichnis.....141

1. Einleitung

„Das Ziel der Nachhaltigkeit beim Bauen ist dann erfüllt, wenn Gebäude über ihre gesamte Lebensdauer für möglichst viele Menschen von Nutzen sind, ihren sozialen Zusammenhalt fördern, sie kulturell bereichern und die sich daraus ergebenden Belastungen für die Umwelt die Lebensgrundlage künftiger Generationen nicht schmälern“
[Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2013]

Warum Stroh?

Stroh ist ein zeitgemäßer Rohstoff, der alle Anforderungen eines nachhaltigen Baustoffes erfüllt. Naturbelassene Getreidestrohballen aus landwirtschaftlicher Produktion eigenen sich hervorragend als Wärmedämmung für alle Außenbauteile eines Gebäudes. Wände, Boden und Dächer deren Gefache damit gefüllt werden, erreichen höchsten Dämmstandard und haben einen sehr niedrigen Primärenergiebedarf bei gleichzeitiger, erheblicher Einlagerung des für die Klimaerwärmung verantwortlichen CO_2, wie in Abbildung 1-01 deutlich zu sehen ist.

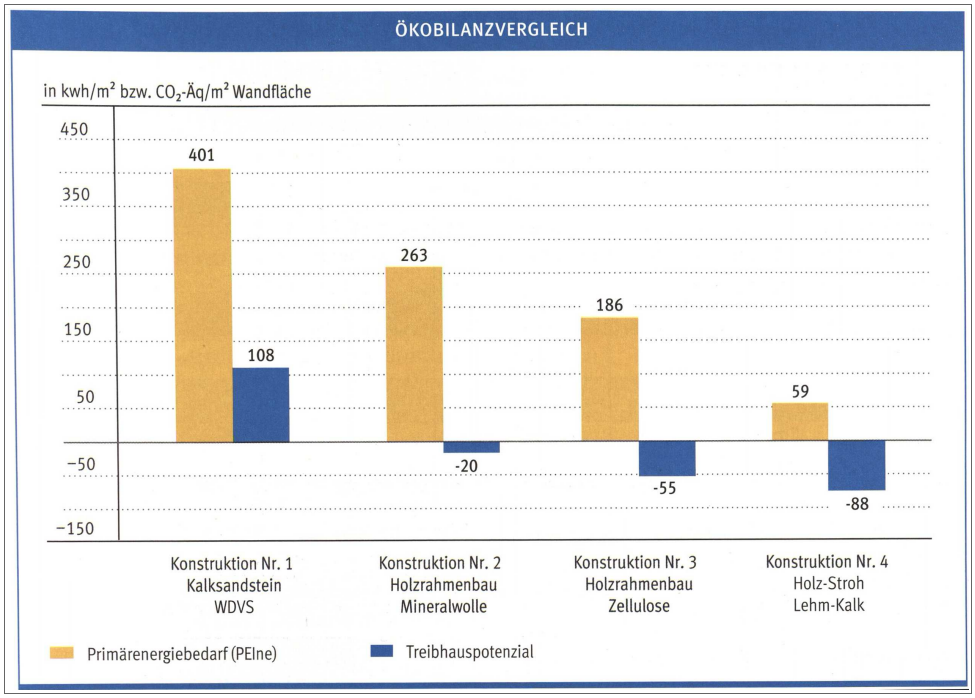


Abbildung 1-01: Vergleich von vier Außenbauwänden mit einem U-Wert von U=0,10 W/(m²K) [Schamer, 2013, S. 9]

Baustrohballen als Dämmstoff bringen eine Reihe von Vorteilen hinsichtlich der Nachhaltigkeit des gesamten Bau- und Herstellungsprozesses mit sich.
Diese Nachhaltigkeit findet sich in ökologischen, sozialen und ökonomischen

Bereichen.
Stroh ist eine jährlich nachwachsende Ressource. In der Landwirtschaft werden jedes Jahr ca. 20% des anfallenden Strohs nicht benötigt, mit dieser Menge könnten jährlich 350.000 Einfamilienhäuser gedämmt werden. Stroh wird allein durch Trocknung und Pressung zum Baumaterial. Durch diesen einfachen Herstellungsprozess, der praktisch „nebenbei“ in der Landwirtschaft läuft ist lediglich eine Qualitätssicherung und Kontrolle erforderlich. Es gibt keine Flächenkonkurrenz zum Anbau von Nahrungsmittelpflanzen. Durch die Verwendung von Stroh als Baustoff erzielt man einen dreifachen Klimaschutz, CO_2 - Speicherung beim Wachstum, CO_2 - Minimierung bei der Herstellung der Ballen und CO_2 - Vermeidung beim Gebäudebetrieb. Strohballengedämmte Gebäude erfüllen nicht nur höchste Dämmstandards, sondern haben durch die hohe Wärmespeicherung auch noch einen guten sommerlichen Wärmeschutz. Durch den bundesweit vorhandenen Getreideanbau können die Transportwege stark reduziert werden und es entsteht in der Kombination mit den beiden zusätzlich verwendeten Baustoffen Holz und Lehm ein hohes regionales Wertschöpfungspotential.
Die Verarbeitung ist wenig aufwendig und dadurch auch für Laien ausführbar. Bedingt durch den einfachen Herstellungsprozess und die Eigenleistungsmöglichkeit am Bau können Kosten und Aufwand minimiert werden und somit die Verfügbarkeit von nachhaltigem Wohneigentum auch für weniger wohlhabende Bevölkerungsschichten verbessert werden.
Am Ende der Nutzungsphase des Gebäudes ist der Rückbau mit einem sehr geringen Energieaufwand möglich. Das Stroh lässt sich zusammen mit dem verwendeten Holz und dem Lehm relativ einfach entsorgen. Es kann zum Mulchen in der Landwirtschaft verwendet werden, einer Kompostierung oder thermischen Verwertung zugeführt werden.
Eine lange Lebensdauer von Strohballenhäusern ist durch viele Beispiele aus den USA belegt. So ist das älteste noch bewohnte Gebäude, die Fawn Lake Ranch in Nebraska, etwa 100 Jahre alt. Sie wurde zwischen 1900 und 1914 errichtet. Auch hierzulande zeugen mehrere hundert Jahre alte Fachwerkhäuser aus Holz, Lehm und Stroh von der Beständigkeit dieser Baustoffe. Während massiv gebaute Gebäude aus den 1950er bis 1980er-Jahren oft schon nach einigen Jahrzehnten mit einer intensiven Totalsanierung oder einem aufwendigen Abriss bedacht werden müssen. [Minke et al., 2009], [Scharmer, 2013]
Der Strohballenbau hat somit ein sehr hohes, leider ignoriertes Zukunftspotential und sollte deutlich stärker gefördert werden. Durch Forschung zur Verbesserung der Konstruktion und weitere wissenschaftlichen Untersuchungen der Stroh-Lehmverbindungen, könnte der Strohballenbau in Zeiten von schwindenden Ressourcen und Klimaerwärmung weiter entwickelt werden und als Vorbild zum Umdenken in vielen Bereichen dienen.

Tay Manka

Wie der nachfolgende Entwurf des Strohballen - Wohnhauses zu seinem Namen kam. „Die Legende von Tay Manka“ ist eine Novelle von Hans Kruppa aus dem Jahre 1993. Symbolisch wird ein einfaches Volk auf einer wunderschönen, kleinen Insel in den weiten des Ozeans beschrieben, welches keinen Kontakt zur Außenwelt hat. Die Bewohner haben Anschauungen und Überlieferungen ihrer Ahnen blind übernommen und niemals hinterfragt. Um eine bessere Zukunft frei gestalten zu können müssen alte Traditionen und Vorschriften neu durchdacht

werden.
Es zeigt die Schwierigkeit der Menschen gegen bestehende Strukturen an zu kommen. Durch seine Bezüge zur heutigen Wirklichkeit ist diese Erzählung ein spannendes Märchen für alle, die mit offenen Augen und wachem Verstand neues Entdecken möchten.
Für mich war es eine Inspiration zum richtigen Zeitpunkt, Gegebenheiten genauer anzuschauen und Sachverhalte neu zu hinterfragen. Eine Inspiration für die genauere Betrachtung der tatsächlichen Energie- und Ressourceneffizienz und der damit verbundenen Nachhaltigkeit eines nach heutigen Standard modernen Wohngebäudes. Welche tatsächliche Nachhaltigkeit verbirgt sich hinter all der Innovation? Oder sind es doch wieder nur wirtschaftliche Interessen als vermeintlicher Motor für unsere Konsumgesellschaft? Fragen die ich mir durch die Recherche zu meinem Masterseminar „Lebenszyklusbetrachtung ökologischer Bauweisen“ teilweise beantworten konnte. Ideen und Wege die mich zu dem Thema meiner Masterarbeit geführt haben, das Strohballen - Wohnhaus „Tay Manka“.

2. Aufgabenstellung

2.1. Grundlagen

Grundlage Masterseminar

Im vorangegangenen Masterseminar hat sich aus der Lebenszyklusanalyse unterschiedlicher, ökologischer Bauweisen der Strohballenbau als besonders energieeffizient und ressourcenschonend hervor gehoben.
Trotz einer Kombination aus überwiegend rein natürlichen Baustoffen wie Stroh, Holz und Lehm erfüllt er, ebenso wie moderne konventionelle Wohnungsbauten, hohe Standards einer Energieeffizienten Bauweise . Zu gleich weist der Strohballenbau in allen Lebenszyklusphasen eines Wohngebäudes wesentlich nachhaltigere Eigenschaften auf, als die verglichenen Ziegel- und Holzrahmenbauweisen.
Ökologisch und ökonomisch ist der Strohballenbau eine Bauweise mit hohem Zukunftspotential, welches deutlicher wahrgenommen und genutzt werden sollte.
Abgeleitet aus den Ergebnissen des Masterseminars „Lebenszyklusanalyse ökologischer Bauweisen“, hat sich für den Entwurf der anschließenden Masterarbeit eine Kombination aus einer Holzrahmenbauweise mit Stroh als Dämmstoff ergeben.

Grundlage Projekt Contact e.V.

Der Contact e.V. ist ein sozialer Verein in Augsburg, der es sich zu Aufgabe gemacht hat, in vielen Bereichen des täglichen Bedarfes den Menschen Hilfe zur Selbsthilfe anzubieten. Daraus gestalten sich schon heute zahlreichen Projekte die im Raum Augsburg und darüber hinaus Anwendung finden. Dies sind meistens Möglichkeiten, sich mit der eigenen Leistung in eine aktive Gemeinschaft einzubringen, wieder in Lohn und Brot zu kommen und miteinander eine besser Zukunft selbst zu erarbeiten und zu gestalten.
In Augsburg gibt es zur Zeit zu wenig sozialen Wohnraum und die wenigen verbleibenden innerstädtischen Flächen sind ausnahmslos an Investoren im gehobenen Bereich des Wohnungsbaus vergeben. [Agenda 21, 2013]
Daraus ergibt sich das neues Projekt des Contact e.V., sozialen Wohnraum in ländlicher Region mit einem sehr hohen Eigenleistungsanteil zu schaffen.
Es soll ein Wohnraumkonzept für die heutigen Bedürfnisse der Menschen und ihrer Umwelt entstehen.

2.2. Zielsetzung

Aus den beiden, oben aufgeführten Grundlagen ergeben sich die folgenden Anforderungen und Kriterien für einen ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltigen Wohnraum, der als Entwurf im Rahmen dieser Masterarbeit entstehen soll. Im Detail bedeutet dies:

ökologisch:

- natürliche Baumaterialien
- nachwachsende Baumaterialien
- regional verfügbare Baumaterialien
- leichte Rückbaubarkeit der Konstruktion
- gute Wieder- oder Weiterverwendbarkeit der Baumaterialien
- Recycling, gute rückstandsfreie Verwertung oder Entsorgung der Baumaterialien

ökonomisch:

- niedrige Baukosten durch niedrige Materialkosten und einen großen Anteil an Eigenleistung am Bau
- weniger Wohnfläche pro Kopf
- einfache technische Lösungen, einfach technische Gebäudeausrüstung

sozial:

- in allen Bereichen hohe Eigenleistung
- einfache Umnutzung des Wohngebäudes möglich:
  Bsp. Familie, Wohngemeinschaft etc.
- Förderung der Identifikation mit Haus und Umgebung durch viel Eigenleistung am Bau
- Förderung des gemeinschaftlichen Zusammenhaltes durch gemeinsame Arbeiten am Bau

2.3. Aufbau

Grundlagenermittlung

Als Grundlage dient eine Recherche der baukonstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften von Stroh als Dämmmaterial.

Baukonstruktion

Die Recherche und der Vergleich verschiedener baukonstruktiver Detaillösungen für den Strohballenbau dient als Grundlage für die Entwicklung eines baukonstruktiven Gesamtkonzeptes, welches die ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekte aus den gewünschten Entwurfskriterien aufgreift und umsetzt. Der Schwerpunkt liegt hier auf dem nicht lasttragenden Strohballenbau, da dieser in Deutschland zugelassen ist.
Die gewählten Baumaterialien sollten nach Möglichkeit natürlich, nachwachsend und regional zu beziehen sein und darüber hinaus bei der Verarbeitung gesundheitlich unbedenklich sein.
Die entwickelte Baukonstruktion soll gute Rückbaueigenschaften aufweisen und die verwendeten Baumaterialien und Bauprodukte annähernd vollständig wiederverwendbar, weiterverwendbar oder recycelbar sein.

Entwurf

Entwurf eines Wohngebäudes unter Verwendung der erstellten baukonstruktiven Details für den Strohballenbau. Aufgreifen der oben aufgelisteten ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien und diese nach Möglichkeit realisierbar umsetzt.

- Grundriss, Schnitte, Ansichten
- Konstruktionsdetails
- Material, Modell

Bilanzierung

- energetische Bilanzierung nach dem Monatsbilanzverfahren der DIN 4108 - 6 mit ZUB Helena
- sommerlicher Wärmeschutz nach DIN 4108 – 2 (Mindestwärmeschutz)
- U-Werte-Berechnung
- Wärmebrücken mit ZUB Argos

Eigenleistung und Kosten

- Erläuterung der Tätigkeiten die in Eigenleistung erbracht werden können.
- Aufschlüsselung der Kosten beim Strohballenbau

3. Bauen mit Strohballen - Grundlagen

3.1. Strohballen als Baustoff

3.1.1. Rohstoff

Stroh lässt sich aus fast allen grasartig wachsenden Pflanzen herstellen.
Als Stroh werden die getrockneten Halme der Pflanze ohne Ähre (Blütenstand) und ohne Wurzel bezeichnet.
Stroh ist ein nachwachsender Rohstoff der durch Photosynthese aus Sonnenenergie, Wasser und Mineralien der Erde entsteht. Es besteht aus Zellulose, Lignin und Kieselerde und besitzt eine wachsartige, wasserabweisende Oberfläche. Wegen seines hohen Silikatgehaltes verrottet Stroh nur langsam. Deswegen wird es in der ökologischen Landwirtschaft auch zur Bodenauflockerung untergemischt. Als Brennstoff oder für die Herstellung von Strohplatten wird es nur sehr selten eingesetzt.
Für die Herstellung von Baustrohballen als Dämmstoff eignet sich Weizen, Dinkel oder Roggenstroh besonders gut. Gerste und Hafer sind weniger stabil und somit nicht so gut geeignet. [Gruber et al., 2012], [Minke et al., 2009]

3.1.2. Herstellung

Beschaffenheit und Qualität des Strohs haben eine große Bedeutung für die Eigenschaften des späteren Baustrohballens. Die verwendeten Strohhalme sollten möglichst lang und in ihrer Struktur so wenig wie möglich beschädigt sein. Zur Herstellung der rechteckigen Baustrohballen wird das Stroh maschinell am Feldboden abgeschnitten und danach von der Ballenpresse aufgenommen. Von der Ballenpresse wird das Stroh in etwa 10 cm dicke Lagen, sogenannten „Flakes“ verpresst, die mehrfach aneinander gereiht einen Strohballen ergeben. Der Strohballen wird dann mit zwei bis drei meist blauen Schnüren aus Polypropylen zusammen gebunden. Die Qualität der Strohballen leitet sich aus der Stärke der Pressung und der geraden Oberfläche des Ballens ab. Strohballen die zu leicht gepresst wurden und/oder eine unebene Oberfläche haben müssen nachverdichtet und/oder manuell begradigt werden. Andernfalls sind sie als Baustrohballen nicht geeignet. Die Abmessungen von Strohballen sind abhängig von der verwendeten Ballenpresse. Durch den Presskanal sind Höhe und Breite vorgegeben, wogegen bei der Länge in einem bestimmten Maße variiert werden kann, wie in Abbildung 3-01 und 3-02 zu sehen ist. [Gruber et al., 2012], [Minke et al., 2009]

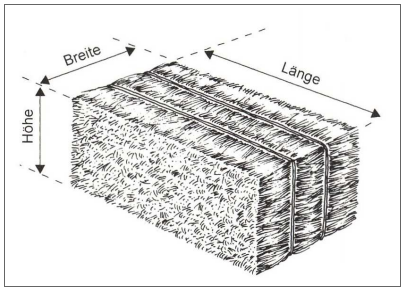


Abbildung 3-01: Strohballenabmessungen [Lacinski et al., 2000, S. 8]

Presse	Ballenabmessungen [cm]		
	Höhe	Breite	Länge
Kleinballen-presse	31 (30)	41 (40)	30-120
	36	49 (48)	50-120
Quader-Ballenpresse	50	80	70-240
	70	80	120-250
	70	120	90-300
	90	120	100-270
	100	120	100-300
	130	120	100-270

Abbildung 3-02: Übliche Strohballenabmessungen [Minke et al., 2009, S. 15]

3.1.3. Qualitätssicherung von Baustrohballen

Strohballen die sich zum Bau eignen sollten folgende Eigenschaften aufweisen:
- Die Bindung sollte aus Kunststoff oder Draht sein, da Naturfaserbindungen wegen der geringen Belastbarkeit ungeeignet sind.
- Möglichst geringe Rundung der Ballenkanten. Die Strohballen sollten alleine aufrecht stehen können ohne umzufallen.
- Die Halmstruktur muss möglichst intakt sein, dies ist an der Länge der eingebrachten Halme festzustellen.
- Die goldgelbe Farbe des Strohs ist ein wichtiger Indikator. Das Stroh darf nicht grau oder schwarz sein.
- Der Ballen darf keinen modrigen Geruch haben oder sich gar von außen feucht anfühlen.
- Eine feste Struktur, gute und feste Bindung und die daraus resultierende hohe Spannung sind wichtige Merkmale.
- Die relative Luftfeuchte im Strohballen muss kleiner als 75% r.F. sein, dies enspricht einem massenbezogenen Feuchtegehalt von unter 15%.
- Die gemessene Dichte muss bei nicht lasttragender Bauweise mindestens 90 kg/m³ und bei lasttragender Bauweise mindestens 110 kg/m³ betragen.
- Es muss darauf geachtet werden, ob der Ballen viele Beikräuter aufweist, da diese in der Regel feuchter sind und weniger fest. Diese können ein Ausgangspunkt für Schimmelbildung sein. [Minke et al., 2009]

Strohballen die auf dem Bau zur Dämmung verwendet werden müssen grundlegend nicht zertifiziert sein. Herkömmliche Strohballen mit den üblichen

Abmessungen von 35 x 50 x 57 – 90 sind prinzipiell gut geeignet. Eine Zertifizierung von Baustrohballen und die damit verbundenen Professionalisierung von Stroh als Baustoff dient der weiteren Verbreitung des Strohballenbaus. Hier geht es im Besonderen um Haftungsfragen bzw. verlangen neue EU-Richtlinien für eine EU-weite Vereinheitlichung der Bauordnungen den Einsatz von ausschließlich zertifiziertem Baumaterial für vorgefertigte Bauteile. Weitere Argumente für eine aufwendige und kostenintensive Zertifizierung sind die Beseitigung der baubehördlichen Hürden, Aufnahme in Wohnbauförder-programme, Einarbeitung in Kalkulationsprogramme, Standardisierung der Qualität und eine bessere Verfügbarkeit. [Gruber et al., 2012]

3.1.4. Allergie

Helles und sauberes Stroh enthält kaum Schimmelpilze oder Sporen und hat somit ein geringes allergenes Potenzial. Beim Einbau der Strohballen entsteht Strohstaub, der in geschlossenen Räumen und vor allem bei Menschen mit einer Stauballergie unangenehme Reaktionen auslösen kann. Für die Phase des Einbau werden Allergikern Atemschutzmasken oder Staubmasken empfohlen. Die fertigen und mit Lehm oder Kalk verputzen Wände stellen für die späteren Bewohner keinerlei Gefahr da. [Gruber et al., 2012], [Minke et al., 2009]

3.1.5. Schimmel

Bedenken, dass auf den eingebauten Strohballen später Schimmelpilze wachsen könnten, sind bei guter Qualität der Ballen und richtiger baukonstruktiver Ausführung völlig unbegründet. Die verwendeten Strohballen sollten einen Feuchtegehalt von 13 - 15 % nicht überschreiten. Auf solch trockenen Strohballen ist keine Schimmelpilzentwicklung möglich. Eine Dampfbremse an der Rauminnenoberfläche kann verhindern, dass Raumluftfeuchte in die Strohballen eindringen kann. Ebenso muss die Außenoberfläche wasserdampfdurchlässig sein, damit das im Ballen entstehende Tauwasser schnell genug nach außen weg diffundieren und der Ballen somit wieder vollständig austrocknen kann.
Beim Verputzen der Wände ist darauf zu achten, dass die jeweils aufgebrachte Putzschicht diffusionsoffen ist und ebenso wie das darunter liegende Stroh schnell trocknen kann und vollständig getrocknet ist, bevor die nächste Putzschicht aufgebracht wird. Wenn dem Lehmputz zu viel organisches Material wie Sägespäne oder Strohhäcksel untergemischt werden, trocknet dieser erheblich langsamer aus. So kann es an der Oberfläche leichter zu Schimmelbildung kommen. [Minke et al., 2009]

3.1.6. Schädlinge

Oftmals werden bedenken laut, das Stroh könnte von Nagetieren oder Insekten befallen oder aufgefressen werden. Da die Ähre, welche das Korn enthalten würde, beim Stroh entfernt wurde, ist der verbleibende Rest für Nagetiere und

Bakterien uninteressant, da der trockene Halm an sich unverdaulich ist. Daher gibt es bei Stroh ebenso wie bei konventionellen Dämmstoffen lediglich das Problem, das die Bauteile vor dem Eindringen von Nagetieren geschützt werden müssen, da diese Dämmstoffe gelegentlich als Nistplatz auswählen. Hier können Putze, Gitter oder Lochbleche die an den entsprechenden Stellen angebracht werden Schutz bieten. Termiten sind an Stroh nicht wirklich interessiert. Es gibt zwar seltene Arten die Stroh verdauen können, diese ziehen aber Holz als Nahrungsmittel dem Stroh deutlich vor. Nach Berichten wurden bei historischen Gebäuden zwar Türen und Fenster von Termiten befallen, doch das untersuchte Stroh blieb unberührt. [Minke et al., 2009]

3.1.7. Brandgefahr

Loses Stroh brennt leicht. Mit Lehm oder Kalk verputze Strohwände haben eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten. [Minke et al., 2009]
Brandschutzklassen und weiteres im Kapitel Brandschutz.

3.1.8. Nachteile des Bauens mit Stroh

Einer der augenscheinlichsten Nachteile sind die starren Dimensionen der Strohballen, die es aufgrund der Abhängigkeit der Ballenpressen nicht in jeder beliebigen Größe gibt. Jedoch können hier recht einfach die Prinzipien einer Rasterbauweise angewandt werden. Zusätzlich ist es aber immer möglich kleinere oder größere Gefache mit manuell auf die passende Größe gebrachten Strohballen zu füllen. Lediglich im städtischen, eher teureren Wohnraum stellen die recht dicken Wände ein Problem dar.
Der wohl größte Nachteil ist die Feuchteempfindlichkeit von Stroh. Die Schwierigkeiten mit Feuchte hat man jedoch bei allen nachwachsenden Rohstoffen. Im Ganzen gibt es aber keine Probleme, wenn diffusionsoffen gebaut wird, so das die Feuchte schnell genug wieder austrocknen kann. Dauerhafte Feuchte lässt das Stroh wieder in seinen natürlichen Kreislauf gehen und es fängt dann recht schnell an zu kompostieren. Stroh sollte also nur dort eingebaut werden wo auch Holz ohne Probleme bestehen kann. [Gruber et al., 2012]

3.2. Bauphysikalische Eigenschaften von Stroh als Dämmstoff

3.2.1. Wärme

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Stroh bzw. von Strohballen ist von der Orientierung der Strohhalme innerhalb des Ballens und dessen Lage innerhalb des Wandaufbaus abhängig. In Abbildung 3-03 ist zu sehen, wie sich die Wärmeleitfähigkeit, zusammengesetzt aus Konvektion, Transmission und Strahlung, bei verschieden ausgerichteten Strohhalmen unterscheidet. Verläuft der Wärmestrom waagrecht zu den Strohhalmen, so ist die Wärmeleitfähigkeit höher und somit die Wärmedämmwirkung schlechter. Sobald der Wärmestrom senkrecht zur Orientierung des Strohhalms verläuft nimmt die Wärmeleitfähigkeit des Strohballens ab und die Wärmedämmwirkung wird höher.
Für die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Baustrohballen werden folgende Rechenwerte für die Wärmeleitfähigkeit genannt:
- bei Wärmestrom in Halmrichtung $\lambda = 0{,}080$ W/(m·K)
- bei Wärmestrom senkrecht zur Halmrichtung $\lambda = 0{,}052$ W/(m·K)

[Krick, 2008], [Liersch et al., 2006], [Minke et al., 2009]

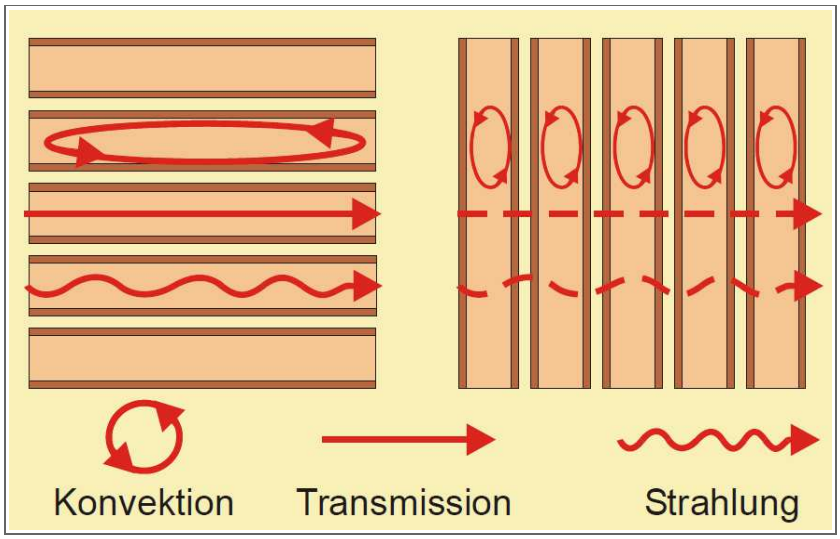


Abbildung 3-03: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Halmorientierung [Krick, 2008, S. 51]

In der wirtschaftlich-ökologischen Studie von Haage ist dazu folgendes zu finden: *„Mit einem Sicherheitszuschlag von 20%, der die Feuchtigkeitseinflüsse nach DIN 4108-4 berücksichtigt, ergibt sich ein Rechenwert der Wärmeleitzahl λ von: λ = 0,045 W/(m·K)“* [Haage, 2008, S. 8]
Dieser Rechenwert von λ = 0,045 W/(m·K) ist in der Literatur öfter zu finden, vor allem in offiziellen Testverfahren der ÖNORM, der österreichischen Variante unserer DIN.

Die oben aufgeführten Werte von Krick und Minke, λ = 0,080 W/(m·K) bzw. λ = 0,052 W/(m·K) entstammen nach meinen Recherchen der für Kricks Dissertation durchgeführten Messreihe (siehe Abbildung 3-04 und 3-05) und sind spezifischer, da sie die Halmrichtung und die Herkunft der verwendet Strohballen miteinbeziehen. Diese Werte beziehen sich auf zertifiziertes Baustroh, welches den oben besprochenen, nötigen Ansprüchen entspricht. Somit werde ich mich bei meinen Berechnungen auf die Werte von Krick und Minke beziehen.
Krick konnte des weiteren die Beobachtungen machen, dass zunächst die Wärmeleitfähigkeit λ mit steigender Ballendichte ab nimmt, dann etwas stagniert und anschließend wieder ansteigt. Die Wärmeleitfähigkeit seiner Proben erhöhte sich mit zunehmender Temperatur. Die Temperaturabhängigkeit sinkt mit zunehmender Ballendichte und ist beim Wärmedurchgang senkrecht zur Faser wesentlich geringer, als beim Wärmedurchgang parallel zur Faser. Außerdem konnte er messen, dass die Wärmeleitfähigkeit von Wänden höher ist, als die der einzelnen, untersuchten Proben. Allerdings konnte er keine Aussage zum Einfluss der Getreide Sorte auf den Wärmeleitwert treffen. [Krick, 2008]

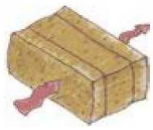
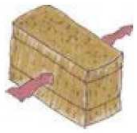
Proben und Ballen	Orientierung	Strohart	Dichte ρ (kg/m³)	Temperatur [1, 2, 3]	W-leitfähigkeit (W/(mK)) [4]
McCabe 1		Reis+Weizen	133	9,7[2]	0,061
Acton 1994		Weizen	76-87	k.A.	0,059-0,05
Ashour 1		Weizen	82	10,3[3]	0,039
Ashour 2		Weizen	82	34,2[3]	0,118
Ashour 3		Weizen	138	10,3[3]	0,031
Ashour 4		Weizen	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

Abbildung 3-04: Testergebnisse Proben und Ballen, Wärmestrom parallel zur Faser [Krick, 2008, S. 50]

Proben und Ballen	Orientierung	Strohart	Dichte ρ (kg/m³)	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

Abbildung 3-05: Testergebnisse Proben und Ballen, Wärmestrom senkrecht zur Faser [Krick, 2008, S. 51]

Wärmedurchgangskoeffizient / U-Wert

Der Wärmedurchgangskoeffizient gibt an wie viel Wärmeenergie durch einen Quadratmeter Wandfläche, bei einem Temperaturunterschied von einem Grad

Kelvin transportiert wird. [Liersch et al., 2006]
Minke hat für seine Messreihe zur Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizient von mit Strohballen gedämmten Wänden, von innen nach außen folgenden Wandaufbau genommen: Lehmputz 4 cm, Strohballen (die Stärke des Strohballens orientiert sich an den verfügbaren Ballenmaßen), Lehmputz 2 cm, hinterlüftete Schalung. In Abbildung 3-06 sind die Ergebnisse dieser Messreihe von Strohballenwände im Vergleich zu herkömmlichen Dämmstoffen wie Polystyrol, Mineralfaser und Holz in vergleichbarer Schichtdicke gegenübergestellt. Hieraus lässt sich ablesen, das die Strohballen mit der senkrecht eingebauten Halmorientierung im Vergleich zu aufwendig hergestellten und energieintensiven Dämmstoffen relativ gut abschneidet. [Minke et al., 2009]

Dicke d der Strohschicht [m]	U-Wert der Wand [W/(m²·K)]
Wärmestrom senkrecht	
0,31	0,16
0,36	0,14
0,50	0,10
0,70	0,07
0,90	0,06
1,00	0,05
1,30	0,04
Wärmestrom parallel	
0,41	0,19
0,49	0,16
0,80	0,10
1,20	0,07

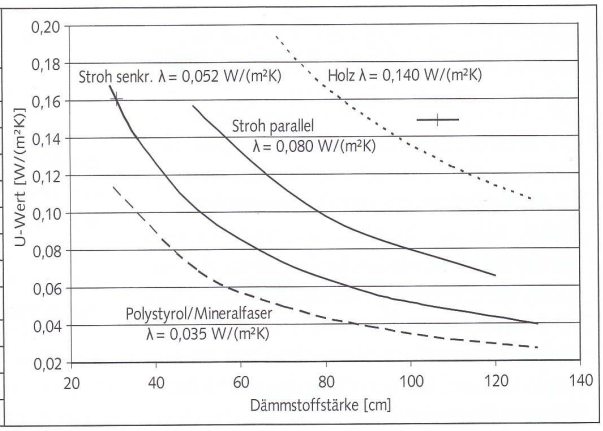


Abbildung 3-06: U-Wert von Strohballenwänden in Abhängigkeit von der Dicke der Strohschicht und der Halmorientierung [Minke et al., 2009, S. 18]

Wärmespeicherung

Die Wärmespeicherfähigkeit C eines Körpers gemessen in J/K ist abhängig von seinem Volumen in m³, seiner Rohdichte ρ in kg/m³ und der der spezifischen Wärmekapazität c in J/(kgK) des für den Körper verwendeten Stoffes.
Die spezifische Wärmekapazität ist die Wärmemenge die benötigt wird 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen. [Liersch et al., 2006]

$$C = c \cdot \rho \cdot V \text{ [J/k]}$$

Um die in einem Körper gespeicherte und nutzbare Wärmemenge Q zu berechnen muss man die Wärmespeicherkapazität C eines Körpers mit der Differenz aus den Temperaturen des Körpers und seiner unmittelbaren Umgebung multiplizieren. [Liersch et al., 2006]

$$Q = C \cdot \Delta T \text{ [kJ]}$$

Die in Abbildung 3-07 zu sehende Tabelle zeigt die Wärmespeicherfähigkeit C verschiedener Baustoffe. Hier ist deutlich erkennbar, dass das Wärmespeichervermögen von Stroh im Vergleich zu den anderen aufgeführten Wärmedämmstoffen sehr groß ist. Verglichen mit den gezeigten Massivbaustoffen ist sie

jedoch recht gering.
Wenn man nach Minke beispielsweise eine Holzständerwand mit einem U-Wert von 0,15 W/(m²K) mit Strohballen aus dämmt, hat diese durch das verwendete Stroh als Dämmstoff ein 10 mal höheres Wärmespeichervermögen als bei Verwendung von Mineralfaser als Dämmstoff. Die mit Strohballen gedämmte Leichtkonstruktion erweist sich jedoch im Vergleich zu einer Massivbauwand als schlechtes Speichermedium.
Um bei einem Gebäude in Strohballenbauweise die Wärmespeicherfähigkeit C zu erhöhen, kann zum Beispiel der im Innenraum befindliche Lehmputz einen höheren Anteil von Sand und Feinkies erhalten. Lehmputz der im Innenbereich eine Dicke von 3 bis 6cm aufweist und eine spezifische Dichte von 1900 – 2100 kg/m³ hat, kann somit erheblich zur Pufferung von Temperaturspitzen und zur Speicherung der Tageswärme in die Abendstunden hinein beitragen. Als weitere Maßnahme empfiehlt Minke Innenwände mit einer Stärke von 11,5 cm aus Lehm, Ziegel- oder Kalksandstein-Steinen um die Speicherfähigkeit des Gebäudes zu erhöhen und um ebenso das Raumklima zu verbessern. Denn Lehmsteine und bedingt auch Lehmputz haben zudem eine vorteilhafte Wirkung auf die Raumluftfeuchte. [Minke et al., 2009]

Spezifische Wärmekapazität c [kJ/(kg·K)]	
Metallisch z.B. Alu	0,90
Stahl	0,45
Mineralisch	ca. 1,00
Organisch	ca. 2,00
Wasser	4,20
Speicherfähigkeit C [Wh/(m³·K)]	
Stahl	988
Alu	675
Stahlbeton	694
Porenbeton	125
Holz	278
Stroh (110 kg/m³)	56
Zellulosef. (55 kg/m³)	29
EPS (18 kg/m³)	10
Mineralfaser (27 kg/m³)	6
Wasser	1167
C [Wh/(m²·K)] bei U= 0,15 W/(m²·K)	
Stroh (110 kg/m³)	19,3
Zellulosef. (55 kg/m³)	7,7
Polystyrol (18 kg/m³)	2,3
Mineralfaser (27 kg/m³)	1,6

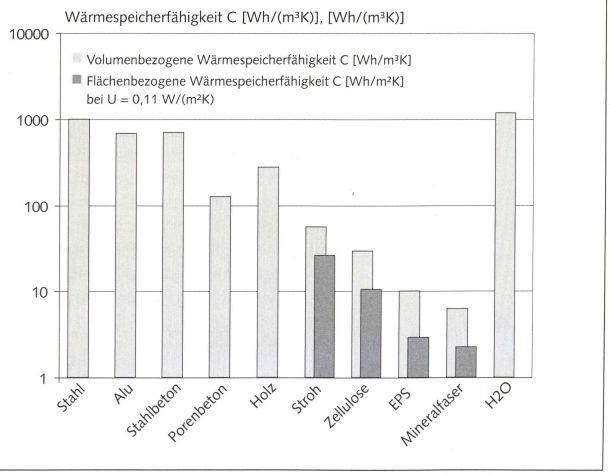


Abbildung 3-07: Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Baustoffe [Minke et al., 2009, S. 19]

Sommerlicher Wärmeschutz

Viele pflanzliche Dämmstoffe sowie auch Stroh weisen im Vergleich zu Dämmstoffen wie Polystyrol und Mineralfaser einen relativ hohen Wert der spezifischen Wärmekapazität c auf. Eine Strohdämmung hat zudem im eingebautem Zustand eine hohe Rohdichte (ρ) von bis zu 115 kg/m³. So ergibt sich, wie in Abbildung 3-08 zu sehen ist, gegenüber anderen Dämmstoffen eine höhere Wärmespeicherung (S). Dies zeigt sich beispielsweise bei einem strohgedämmten Dachausbau im Sommer, durch ein günstiges Temperatur-verhalten. Strohwände als Außenwände sind dadurch im Leichtbaubereich, mit Ausnahme von mit Holzfaser gedämmten Außenwänden, anderen Bauweisen deutlich überlegen [Schamer, 2013]

Stoff	ρ kg/m³	c kJ/kg · K	S kJ/m³ · K
Polystyrolschaum (XPS)	45	1,45	65
Glaswolle	100	0,84	84
Zellulose	55	1,90	105
Baustrohballen	**100**	**2,00**	**200**
Holzfaserdämmplatten	170	2,10	357

Abbildung 3-08: Wärmespeicherzahl (S) von verschiedenen Dämmstoffen [Schamer, 2013, S. 19]

Wärmebrücken

Wärmebrücken sind thermische Schwachstellen an der Gebäudehülle, etwa an den Außenwände oder an der Dachkonstruktion. An diesen Stellen ist die Wärmedämmwirkung, meist aus konstruktiven Gründen nicht so gut wie am überwiegenden Teil der Gebäudehülle. Bei niedrigen Außentemperaturen ist an der Stelle einer Wärmebrücke auf Grund der schlechteren Dämmwirkung im Innenbereich eine geringere Oberflächentemperatur als an den übrigen Bereichen. Dadurch kann es an dieser Stelle zur Tauwasserbildung kommen. Dies bedingt eine mögliche Schimmelbildung und auf längere Zeit kann das eingebrachte Stroh anfangen zu verrotten. Durch die so entstehende Bauteil-feuchte verschlimmert sich die Situation weiter, da mit der eingelagerten Feuchtigkeit die Temperatur an der betreffenden Stelle oder dem betreffenden Bauteil weiter sinkt. [Liersch et al., 2006] Mehr zur Tauwasserbildung ist im gleichnamigen Abschnitt im unteren Kapitel Feuchte zu finden.
In Strohballenwänden entstehen Wärmebrücken, wenn die Fugen zwischen den einzelnen Strohballen oder den Strohballen und der Konstruktion Lücken aufweisen. Auch angrenzende Fenster- und Türrahmen sind hier besonders zu beachten. Die tragende Holzkonstruktion im innern der Strohballenwand kann selbst zum Problem werden. Die Wärmeleitfähigkeit von Holz ist gegenüber Stroh 2 - 3 mal so hoch und so können die Holzbauteile selbst zur Wärmebrücke werden. Minke rät an dieser Stelle das Holzbauteile, welche die Strohballenwand vollständig durchdringen, reduziert oder gar ganz vermieden werden sollen. [Haage, 2008], [Minke et al., 2009]

3.2.2. Feuchte

Feuchteschutz

Grundlegend müssen alle Bauteile vor übermäßiger Feuchtigkeit geschützt werden. Feuchtigkeit kann aus dem Boden über das Fundament in die Bauteile gelangen, durch Schlagregen über die Außenseite in die Bauteile eindringen oder durch die in der Raumluft enthaltenen Feuchtigkeit und dem daraus entstehenden Kondensat vom Innenraum her in die Bauteile einziehen. Durch die

Feuchtigkeit im Inneren des Bauteils können Schimmelpilze entstehen, die nicht nur das Baumaterial an sich, sondern auch die Konstruktion schädigen können und die Eigenschaften von Dämm- und oder Tragwirkung beeinträchtigen. [Liersch et al., 2006]
Beim Strohballenbau müssen ebenso wie bei allen herkömmlichen Bauweisen folgende Maßnahmen zum Feuchteschutz zur Anwendung kommen:
- Horizontalabdichtung und Vertikalsperre gegen aufsteigende Feuchte, die über einen Feuchtetransport durch den Wandbaustoff aus dem Erdreich aufgenommen wird
- Spritzwasserschutz vom Boden bis zu einer Höhe von mindestens 30 cm
- Witterungsschutz gegen Regen, Schlagregen, Hagel, Schnee und Wind durch einen Wetterfesten Außenputz oder eine hinterlüftete Verschalung

[Haage, 2008]

Vermeidung von Feuchteschäden

Haage zählt einige Schwachstellen des Strohballenbaus bezüglich der Feuchtigkeit und die entsprechenden Maßnahmen zur Vermeidung oder Verminderung von Schäden auf. Dazu zählen der Eintrag von Niederschlagswasser während der Bauphase. Dieser kann durch den Wetterschutz beim Errichten der Außenwände oder die Vorfertigung der einzelnen Wandelemente in einer Werkshalle vermieden werden. Eintrag hoher Feuchtigkeit durch bereits feucht oder nass eingebaute Bauteile, kann durch das prüfen der Strohballen direkt vor ihrem Einbau auf ihren Feuchtigkeitsgehalt verhindert werden. Eindringendes Wasser durch Schlagregen stellt nach Fertigstellung der wasserabweisenden und diffusionsoffenen Holz-Außenschalung kein Problem mehr dar. Das Vermeiden von Tauwasseranfall durch Wasserdampfdiffusion ist durch den bauphysikalisch richtigen Aufbau der einzelnen Schichten sicherzustellen. Hier empfiehlt Haage einen diffusions-offenen Aufbau, Winddichtigkeit der Außenschicht und Verlegung einer innenseitigen Luftdichtigkeitsschicht. Auf eine sorgfältige Verklebung aller Stöße einer Dampfbremse, zum Schutz des Wandaufbaus vor Beschädigungen während des Gebäudebetriebs, ist nach Haage besonders zu beachten. [Haage, 2008]
Der von Haage beschriebenen Notwendigkeit einer innenseitigen Dampfbremse aus PE-Folie oder ähnlichem, wie Sie auch bei konventioneller Passivhaus-bauweise üblich ist, möchte ich an dieser Stelle widersprechen. Hierfür gibt es ökologischere Lösungen. Ausführliches dazu finden sie im unteren Abschnitt „Schimmelpilzrisiko“ und im späteren Kapitel 3.3.3. „Dampfbremse vs. Direktverputzung“ .
Nach Haage ist durch eine möglichst diffusionsoffene Bauweise gewährleistet, dass beispielsweise nach einem Rohrbruch ausgetretenes Wasser schnell genug wieder austrocknen kann, bevor es Schäden anrichtet. [Haage, 2008]
Krick und Minke gehen weiter und trennen Wasserführende Rohrleitungssysteme strickt von der Dämmebene der Strohballenwände, wie es auch im modernen Holzrahmenbau üblich ist. [Minke et al., 2009] Mehr hierzu ist im Kapitel 4.7 Leitungsführung zufinden.

Hygroskopisches Verhalten von Stroh

Das hygroskopische Verhalten beschreibt die Eigenschaft eines Stoffes, Wasser aus der Luft aufzunehmen und wieder abzugeben. Wenn ein Stoff aus der Luft Wasser aufnimmt, so wird dies als Adsorption und die Abgabe von Wasser an die Luft wird als Desorption bezeichnet. Dies beiden Vorgänge werden durch den Begriff der Sorption zusammengefasst. [Liersch et al., 2006]
Loses Stroh alleine hat eine relativ hohe Sorptionsfähigkeit wie in Abbildung 3-09 zu sehen ist. Die beim Bau eingebrachten und verpressten Strohballen, welche im Innenraum mit einem Lehmputz versehen sind, haben dagegen ein relativ träges Sorptionsverhalten. Dies ist durch den Lehm bedingt, welcher relativ schnell auf eine Veränderung der Raumluftfeuchte reagiert, siehe dazu Abbildung 3-10. So ist eine relativ dicke Lehmputzschicht auf der mit Strohballen befüllten Holzkonstruktion eine gute Gewährleistung für eine Pufferung und daraus folgender Moderation der sich verändernden Raumluftfeuchte. [Haage, 2008], [Minke et al., 2009]

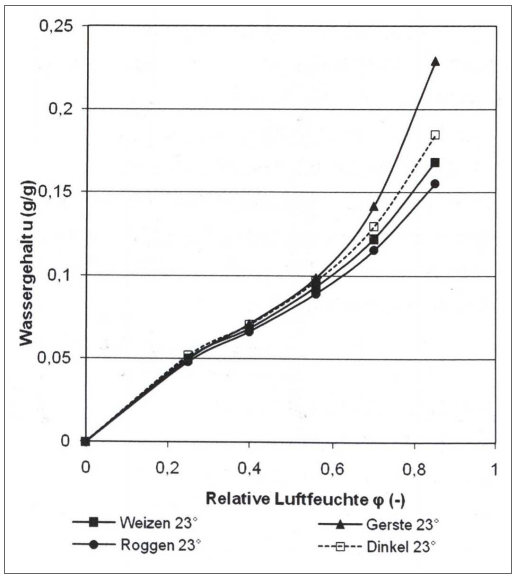


Abbildung 3-09: Sorptionsisothermen für Weizen, Gerste, Roggen und Dinkel bei 23 °C [Minke et al., 2009, S. 22]

Eine zusätzliche Steigerung dieser positiven, regulierenden Wirkung, kann durch die Innenwände des Gebäudes erzielt werden. Wenn hier massiv gemauerte Wände mit ungebrannten Lehmsteinen, sogenannte Grünlinge zum Einsatz kommen. Diese weisen durch einen hohen Tongehalt ein nochmals wesentlich höheres Sorptionsvermögen auf, welches in Abbildung 3-11 an Hand der Kurve 2 zu sehen ist. [Haage, 2008], [Minke et al., 2009]

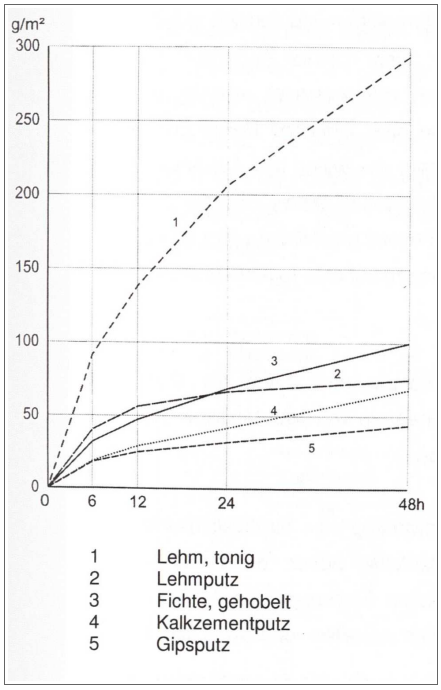


Abbildung 3-10: Sorptionskurve von 15 mm dicken Baustoffproben bei 21°C und einer Zunahme der Raumluftfeuchte von 50% auf 80% [Minke, 2001, S. 24]

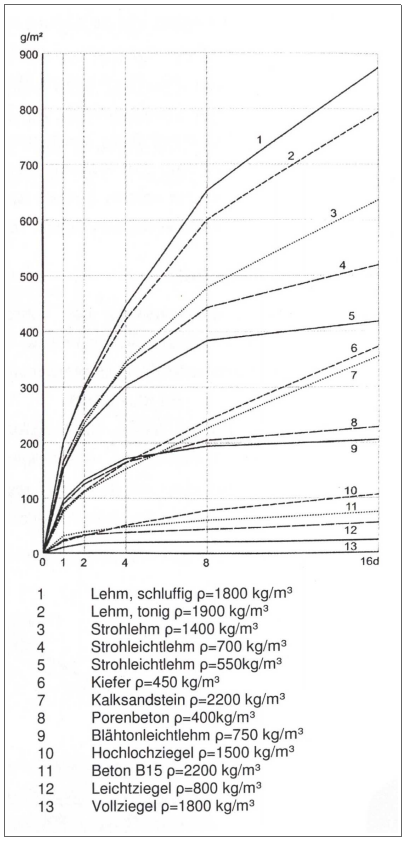


Abbildung 3-11: Sorptionskurve von 11,5 cm dicken Innenwänden bei 21°C und einer beidseitigen Zunahme der Raumluftfeuchte von 50% auf 80% [Minke, 2001, S. 25]

Tauwasserbildung

Dampfdiffusion entsteht im mittel- und nordeuropäischen Klimaraum vom beheizten Innenraum zum kälteren Außenbereich, da der Wasserdampf den Gesetzen des Druckausgleichs folgt. So entsteht ein Wasserdampfdruckgefälle von innen nach außen. Der Dampfdiffusionswiderstand in einem Bauteil ist durch den Widerstand, welches ein Material dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf entgegenbringt definiert. Der Dampfdiffusionswiderstand der einzelnen Wandschichten sollte von innen nach außen abnehmend sein, so das sich kein Diffusionsstau im Bauteil bilden kann. Dieser Diffusionsstau würde dann an einer diffusionsdichteren und kälteren Schicht im Bauteil zu Tauwasserausfall führen. [Liersch et al., 2006]
Beim feuchte empfindlichen Strohballenbau ist es deswegen besonders wichtig darauf zu achten, das die äußere Schicht des Wandaufbaus diffusionsoffen ist. Wenn also Beispielsweise die Innenseite mit Lehm verputzt ist, so sollte auf der Außenseite der Strohballen ein diffusionsoffenerer Putz als der innere Lehmputz angebracht werden. Alternativ kann der innere Lehmputz nach Minke mit einem dampfbremsenden Anstrich versehen werden.
Der Dampfdiffusionswiderstand von Stroh liegt bei μ = 2 [-] was im Vergleich zu den verwendeten Putzen sehr gering ist, wie die Tabelle der Abbildung 3-12 aus dem Lehmbau-Handbuch von Minke zeigt. [Minke, 2001]

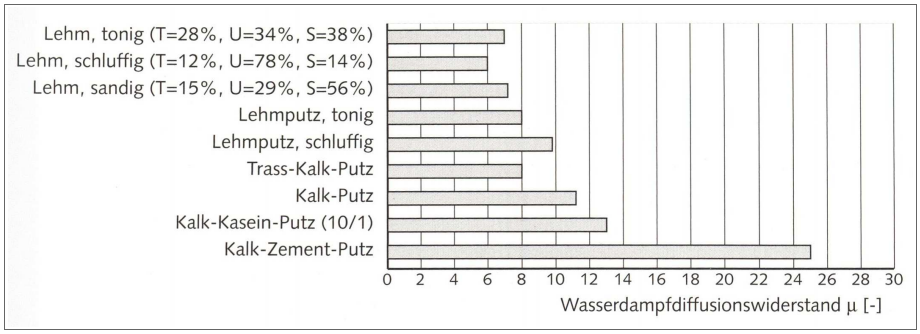


Abbildung 3-12: Dampfdiffusionswiderstände, μ – Werte von Lehmputzen [Minke, 2001, S. 51]

Die absolute Feuchte in einem Strohballen sollte daher 15% nicht überschreiten. Eine kurzfristige Erhöhung würde aber noch nicht gleich zu Verrottungs-erscheinungen führen. In Räumen wie Bädern in denen die Luftfeuchtigkeit auch mal über 70% steigen kann, ist es nach Fromme auch möglich den Dampfdiffusionswiderstand des Lehminnenputzes durch Zugaben zu erhöhen. Hier wäre die Zugabe von Leinölfirnis in den Lehmputz oder ein späterer Anstich des Lehmputzes mit Leinölfirnis oder aber auch mit Latexfarbe zielführend.
Auch hier spricht sich Minke auf Grund seiner langjährigen Erfahrung im Umgang mit Lehm dafür aus, dass eine Dampfbremse in Form einer Folie bei einer dampfdurchlässigen Wand, wie sie bei der hier beschriebenen Strohballen-bauweise durch Lehmputz innen und Kalkputz oder einer hinterlüfteten Schalung außen erreicht werden kann, nicht notwendig ist. [Fromme, 2012], [Minke et al., 2009], [Minke, 2001]

Ermittlung des Feuchtegehaltes

Bei Baustrohballen ist es auf Grund ihrer Inhomogenität schwierig den exakten Feuchtegehalt des verwendeten Strohs zu ermitteln. Eine der Möglichkeiten ist das Gewicht des Ballens vor und nach der Trocknung zu vergleichen. [Minke et al., 2009]
Darüber hinaus können anhand der Sorptionsisotherme eines Baustoffes Rückschlüsse auf dessen Feuchtegehalt und dessen Schimmelbildungspotential getroffen werden. Da in der Forschungsliteratur nur wenige Sorptionsisothermen von Stroharten zu finden sind, hat es sich Krick zur Aufgabe gemacht, dies in seiner Dissertation zu ermitteln.
So sind in Abbildung 3-13 die Sorptionsisothermen von Weizen, Gerste, Roggen und Dinkel zu finden. Mit Hilfe dieser Sorptionsisothermen, einem Hygrometer zur Bestimmung der Luftfeuchte und einem Thermometer zur Messung der Temperatur im Innern des Strohballens kann man den Feuchtegehalt des gesamten Strohballens ermitteln. Dazu wird der Fühler des Hygrometers etwa im Mittelpunkt des Balleninneren positioniert. Das so erhaltene Ergebnis kann bei entsprechender Temperatur auf der X-Achse der Abbildung 3-13 angetragen werden und in Verbindung mit der Sorptionsisotherme der ausgewählten Strohart erhält man so den Feuchtegehalt des Ballens. [Krick 2008]

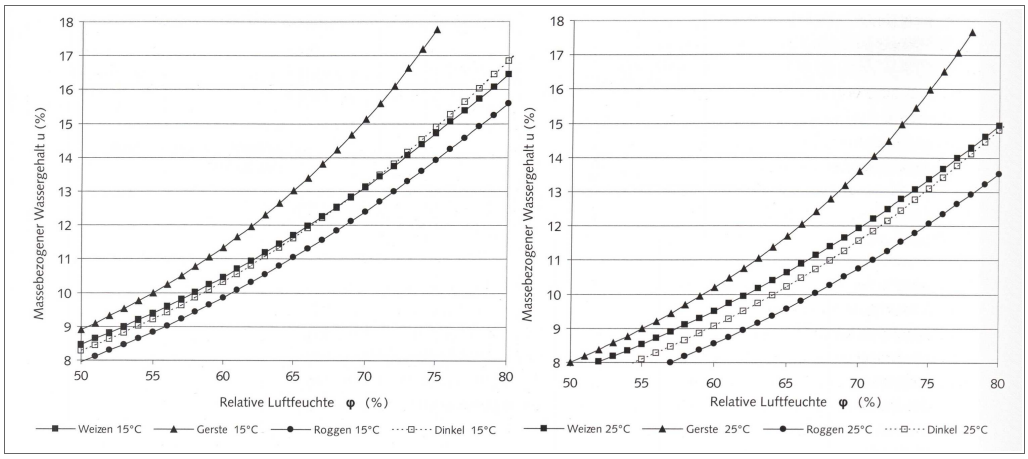


Abbildung 3-13: Sorptionsisotherme von Weizen, Gerste, Roggen und Dinkel bei einer Temperatur von 15°C (links) und einer Temperatur von 25°C (rechts) [nach Krick aus [Minke et al., 2009, S. 24]]

Schimmelpilzrisiko

„Der natürliche Lebensraum von Schimmelpilzen sind abgestorbene Pflanzen auf dem Erdboden.“ [Sedlbauer, 2001, S. 18]
Schimmelpilzsporen sind an jedem Ort und zu jeder Jahreszeit nachweisbar. Schimmelpilze selbst können zu Bauschäden führen und Allergien auslösen, wobei sie nicht alle gleich gefährlich sind. Am besten gedeihen Schimmelpilze in einem Temperaturbereich von 0°C bis 50°C. Ihr optimalstes Wachstum, mit dem größten Aufbau von Biomasse, haben sie jedoch zwischen 20°C und 30°C.
In der Praxis wird davon ausgegangen, das unter 70% relativer Luftfeuchte kein Schimmelpilz wächst. [Sedlbauer, 2001]

Klatecki untersuchte und verglich das Schimmelpilzrisiko bei ausgewählten Wandaufbauten mit Strohballen als Dämmstoff. Auch Scharmer griff die Ergebnisse dieser Untersuchungen in seiner Broschüre für die FNR, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. auf. Dort veröffentlicht und vergleicht er vier dieser Wandaufbauten. Eine einfache, direkt verputzte Strohwand ohne Hydrophobierung, eine einfache direkt verputzte Strohwand mit Hydrophobierung, eine einfache direkt verputze Strohwand mit Wetterschale und eine Strohwand mit Holzfaserdämmplatte und Wetterschale.(Abbildung 3-14a - d) In der ersten Abbildung 3-14a ist ein Wandaufbau zu sehen, der so weltweit vielfach zu Anwendung kam und sich nach Scharmer auch in der Regel praktisch bewährt. Die Strohballen beidseitig ohne Hydrophobierung direkt zu verputzen ist die wohl ursprünglichste Variante und auch der Wunsch vieler ökologisch eingestellter Menschen die sich ein Strohballenhaus bauen. An der Außenseite wird statt Kalkputz auch gerne Lehmputz genommen, welcher jedoch auf Grund seiner Wasserlöslichkeit von einem einzigen starken Schlagregenereignis beschädigt werden kann. Scharmer geht deswegen davon aus, das in unseren Breitengraden mit den kalten Wintern und feuchtwarmen Sommern diese Variante ohne Hydrophobierung, trotz der vielen positiven Erfahrungen, mindestens als kritisch eingestuft werden sollte. Die Untersuchungen ergaben hier ein abstrahiertes Schimmelpilzwachstum von über 500 mm, weswegen dieser Wandaufbau bei der in Deutschland vorherrschenden Schlagregen-belastung als untauglich einzustuft wird. [Klatecki et al., 2008], [Scharmer, 2013]

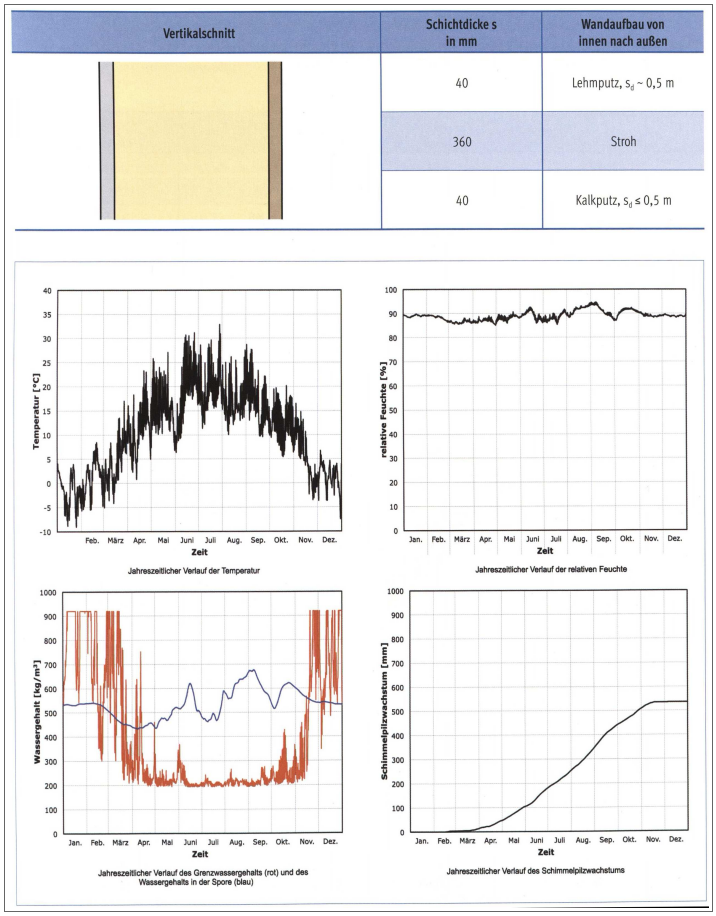


Abbildung 3-14a: Einfache direkt verputzte Strohwand ohne Hydrophobierung [von Klatecki aus Scharmer, 2013, S. 21]

Der zweite Wandaufbau in Abbildung 3-14b hingegen entspricht mit einer Holzfaserdämmplatte als innere Dampfschicht und einer äußeren Wetterschale vollständig den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für das Bauen mit Baustrohballen nach Z-23.11-1595. Hier ergaben die Untersuchungen von Klatecki eindeutig kein Schimmelrisiko, weswegen auch nach Scharmer von einer absoluten Tauglichkeit auszugehen ist. [Z-23.11-1595, 2009], [Klatecki et al., 2008], [Scharmer, 2013]

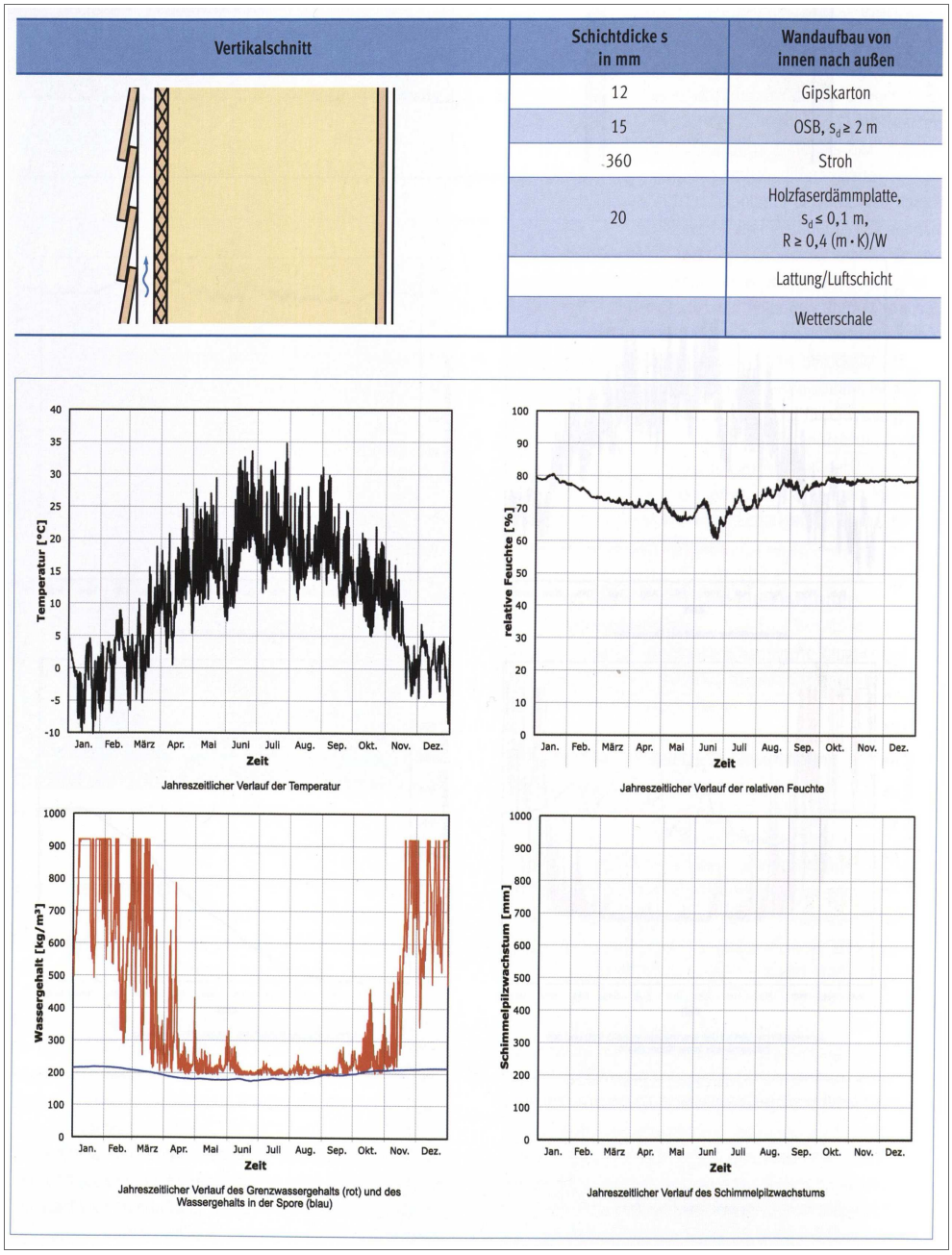


Abbildung 3-14b: Strohwand mit Holzfaserdämmplatte und Wetterschale [von Klatecki aus Scharmer, 2013, S. 22]

Der dritte Wandaufbau 3-14c stellt eine Kombination aus den beiden ersten Varianten da. Innen sind die Strohballen direkt mit Lehm verputzt und außen ist eine hinterlüftete Wetterschale angebracht. Die theoretischen Berechnungen ergaben hier ebenso kein Schimmelrisiko, was nach Scharmer darauf hinweist, dass das rechnerische Feuchte- und damit Schimmelproblem offenbar im wesentlichen aus der Schlagregenbelastung resultiert und nicht aus einer vielleicht zu diffusionsoffenen Bauweise herrührt.
[Klatecki et al., 2008], [Scharmer, 2013]

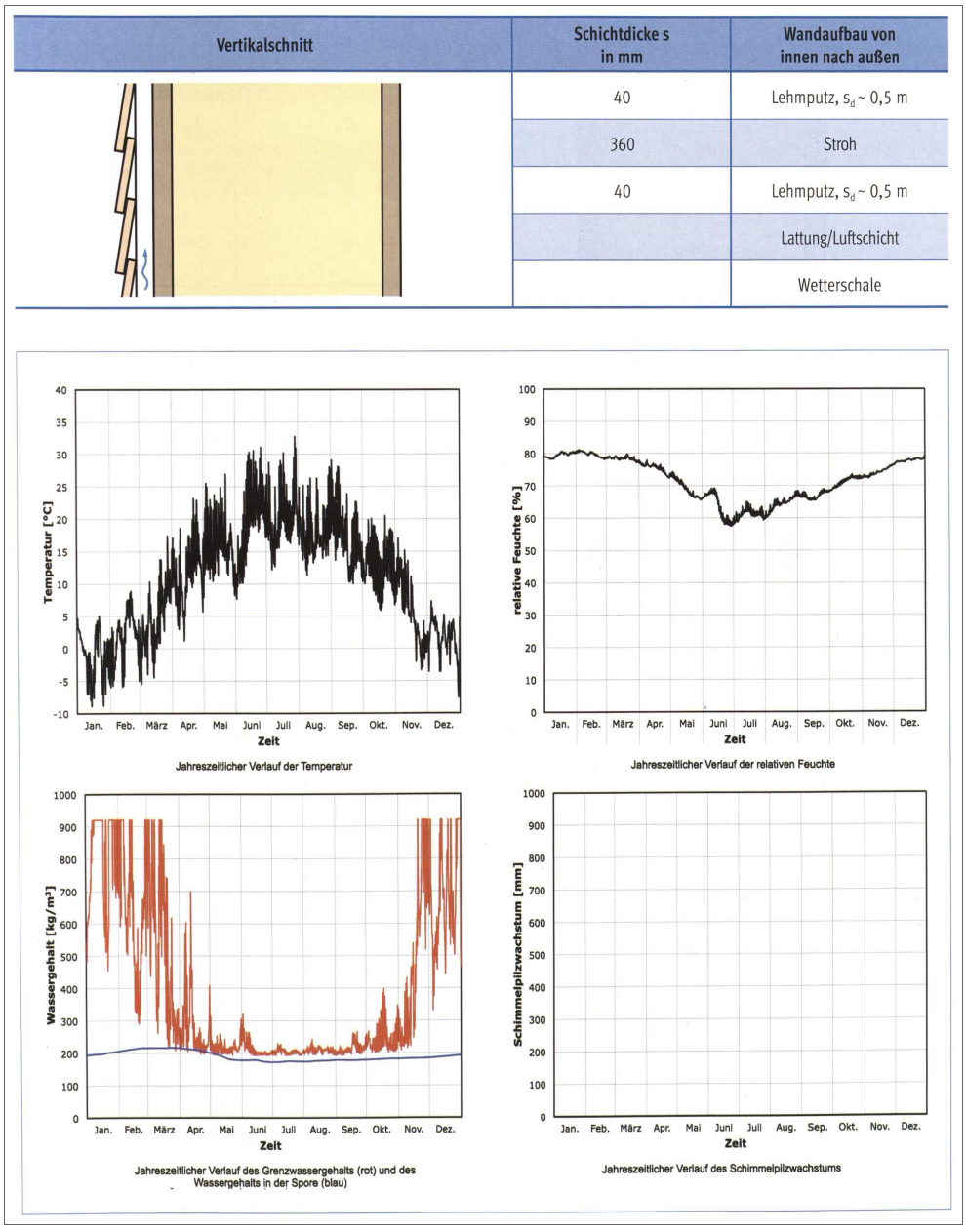


Abbildung 3-14c: Einfache direkt verputzte Strohwand mit Wetterschale
[von Klatecki aus Scharmer, 2013, S. 23]

Die vierte Variante des Wandaufbaus zeigt in Abbildung 3-14d eine einfache, direkt verputzte Strohwand mit Hydrophobierung. Hier wurden nun in Klateckis Berechnungen statt einer vor gehängten Wetterschale ein hydrophobierender Anstrich dem Kalkputz hinzugefügt. Dies ergab ein abstrahiertes Schimmelpilzwachstum von 120 mm. Scharmer geht hier davon aus, das dieser Wert, nach Einschätzung von Fachleuten, noch im Unschärfebereich der Vorhersagemethode liegen könnte. Wodurch bei günstigen klimatischen Bedingungen durch aus von einer Tauglichkeit des Aufbaus auszugehen ist. [Klatecki et al., 2008], [Scharmer, 2013]

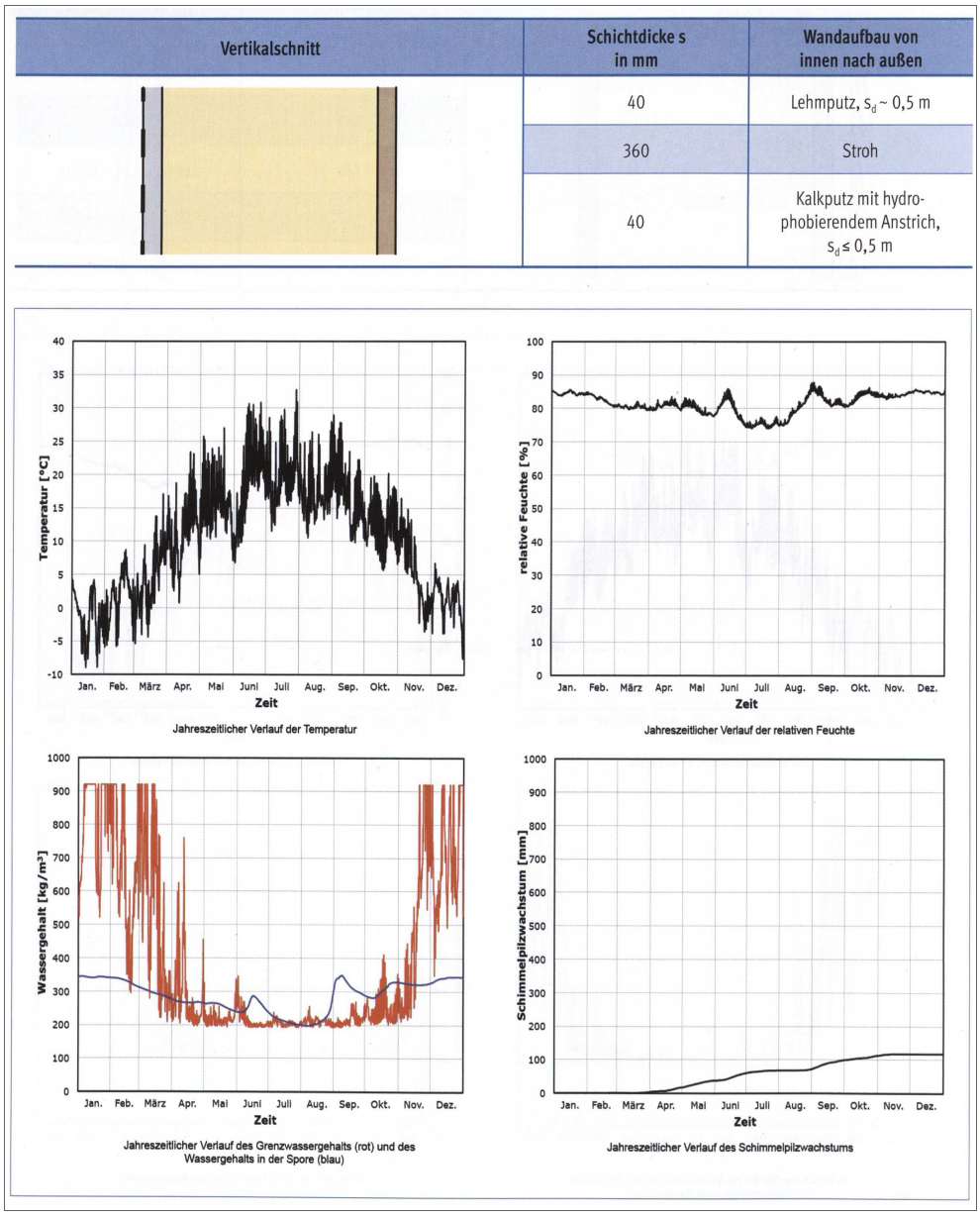


Abbildung 3-14d: Einfache direkt verputzte Strohwand mit Hydrophobierung [von Klatecki aus Scharmer, 2013, S. 24]

Klatecki hat zusätzlich die Auswirkung der Strohballendicke untersucht, und ist zu dem Ergebnis gekommen, das 85 cm dicke Ballen im Gegensatz zu 36 cm dicken Ballen ein größeres Wachstum von Schimmelpilzen, aufgrund von niedrigeren Temperaturen im Inneren der Dämmung, aufweisen. Dieses Wachstum ist jedoch nicht so stark ausgeprägt, als dass sich diese Großballen als untauglich erweisen würden. Klatecki ergänzt des weiteren, das jedoch bei Dachkonstruktionen die mit Strohballen gedämmt werden zusätzlich auf der Rauminnenseite eine Dampfbremse aufgebracht werden sollte, um Schimmelpilzwachstum vollends auszuschließen.
[Klatecki et al., 2008], [Scharmer, 2013]

3.2.3. Wind

Winddichtigkeit

Bei hochgedämmten Gebäuden ist eine Winddichte Außenhülle besonders wichtig, da ansonsten die Wirkung der Wärmedämmung erheblich reduziert wird. Bei einer mit Strohballen gedämmten Wandkonstruktion erreicht man die nötige Winddichtigkeit durch einen rissfreien Außenputz oder das Anbringen einer dampfdurchlässigen Windbremse. Zwischen der Holzkonstruktion und den dämmenden Strohballen dürfen keine Fugen oder gar Lücken entstehen. Daher ist es wichtig die eingebrachten Strohballen nachträglich zu verpressen und darauf zu achten, das entstandene Fugen zusätzlich mit Stroh ausgestopft werden. Direkte Kontaktstellen zwischen Putz und Holz sind durch das anbringen von Putzträgern, wie z.B. Schilfrohrmatten zu vermeiden. So kann eine fugenfreie Ausbildung erfolgen. Diese wäre nach Haage absolut notwendig, da durch Beschädigungen an der Innenoberfläche Wasserdampf in die Strohdämmung gelangen kann. [Haage, 2008]

3.2.4. Schall

Schallschutz

Die Mindestanforderungen für den Schallschutz sind in der DIN 4109 zu finden. Hier wird das bewertete Schalldämm-Maß R_w oder R'_w für die Luftschalldämmung von Bauteilen angegeben. So ist bei Haustrennwänden von Reihen- oder Doppelhäusern ein Wert von R'_w = 57 dB vorgeschrieben. Für frei stehende Einfamilienhäuser gibt es keine Mindestanforderungen, sondern nur Empfehlungen, die zwischen lauten und leisen Räumen auf eine Schalldämmung von 40 dB verweisen. [DIN 4109, 1989]
Laut Minke ist die Schalldämmwirkung von beidseitig verputzen Strohballen höher als bei gleich schweren einschaligen Bauteilen, da der Strohballen selbst eine gewisse Federwirkung aufweist und zusätzlich Schall absorbiert.
Dies bestätigen Messungen der Technischem Universität Eindhoven in den Niederlanden. Dort wurde das Schalldämmmaß einer 45 cm dicken Strohballenwand, welche mit 2,5 und 3,5 cm dicken Lehmputz verkleidet wurde, ermittelt. Die Auswertungen und der Vergleich mit herkömmlichen Wandbaustoffen sind in der Abbildung 3-15 zu finden. [Minke et al., 2009]

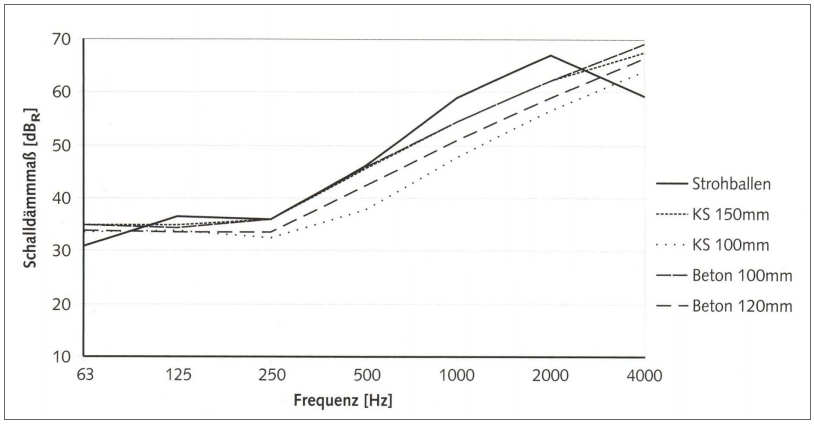


Abbildung 3-15: Schalldämmmaß verschiedener Wandbaustoffe [Minke et al., 2009, S. 27]

3.3. Bauordnung und Zulassung

Weltweit ist in vielen Ländern nicht nur der Strohballenbau mit einer Holztragkonstruktion, sondern auch der rein lasttragende Strohballenbau zugelassen. Vorwiegend in den Vereinigten Staaten, aber auch in Dänemark, Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden, Irland und in der Schweiz. In Kanada und der Schweiz wurden zu dem schon zweistöckige lasttragende Strohballenbauten mit einer amtlichen Genehmigung errichtet und in Südtirol sogar schon ein dreistöckiges lasttragendes Strohballengebäude. In Deutschland wurden dagegen nur zwei lasttragende Gebäude mit „Zustimmung im Einzelfall“ realisiert. [Minke et al., 2009]

3.3.1. Baurechtliche Einordnung

Die bauaufsichtliche Anerkennung von pflanzlichen Dämmstoffen wie Stroh, befindet sich laut Scharmer in Deutschland noch im Aufbau. So gibt es neben einer bauaufsichtlichen Zulassung für Baustrohballen auch weitere Zulassungen für Hanf, Wiesengras, Seegras, Hobelspäne und ähnlichem. [Scharmer, 2013]

3.3.2. Genehmigungsfähigkeit

Werden Strohballen als bauaufsichtlich zugelassener Dämmstoff in Form von „Baustrohballen“ eingesetzt und die für diesen Anwendungsbereich allgemeinen bauaufsichtlichen Zulässigkeiten eingehalten, kann ein Strohballengebäude auf dem üblichen Wege beantragt und genehmigt werden. Werden dagegen keine offiziell zugelassenen Strohballen beim Bau verwendet, muss eine Eignung der Strohballen als Dämmstoff gemäß der jeweiligen Landesbauordnung im Rahmen einer „Zustimmung im Einzelfallverfahren“ geprüft und genehmigt werden. [Scharmer, 2013]

3.3.3. Dampfbremse vs. Direktverputzung

Seit hunderten von Jahren werden mit Stroh gedämmte Gebäude direkt mit Lehm oder Kalk verputzt. Dieses traditionelle, viel bewährte Verfahren kommt auch heute noch weltweit zur Anwendung. So dient der Strohballen als Dämmstoff und zusammen mit dem Lehmputz auch noch zusätzlich als Raumabschluss.
Das direkte Verputzen von Strohballen als Dämmstoff stellt das einfachste Verfahren zur Verkleidung von Strohballenwänden da. Der Putz ist somit der Raumabschluss, der als Lücken füllende Verkleidung direkt auf die Dämmung gebracht wird. Durch seine kapillare Weiterleitung ist der Putz besonders zuverlässig bei der Verhinderung von Tauwasserbildung. Zusätzlich setzt er die Brennbarkeit erheblich herab und erhöht den Feuerwiderstand auf mindestens

30 Minuten. [Scharmer, 2013]
In Deutschland jedoch liegt eine solche Bauweise, trotz rechnerischer Nachweise, außerhalb einer allgemeinen baurechtlichen Zulassung nach Z-23.11-1595, so das eine direkt verputzte Strohwand nicht ohne weiteres zulässig ist. Hier ist für die Innenseite ein Wasserdampfdiffusionswiderstand von s_d > 2,0 m festgelegt, welcher nach Scharmer mit einem Strohballen tauglichen Putz aus Lehm oder Kalk nur schwer herstellbar ist. Für die Außenseite wurde ein
Wasserdampfdiffusionswiderstand von s_d < 1,0 m definiert. Für alle abweichenden Wandaufbauten mit direkt verputzten Strohballen muss eine Tauglichkeit also extra nachgewiesen werden und per Zustimmung im Einzelfall genehmigt werden. Diese nötige, nachweisbare Tauglichkeit für eine innen und außen direkt verputzte Strohwand ist laut einem Gutachten des Ingenieurbüros für Bauphysik von Dr. Otto und Klatcki GmbH möglich. Auf Basis dieser Erkenntnisse sollte es nach Scharmer zu einer Erweiterung der aktuell bestehenden, allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Wandaufbauten mit direkt verputzten Baustrohballen kommen, so das diese ohne ein zusätzliches Genehmigungsverfahren gebaut werden könnten. [Z-23.11-1595, 2009], [Scharmer, 2013]
Meine persönlichen Recherchen, Kontakte zu den Bauherren von Strohballenhäusern in der Region Augsburg und die Erfahrungen aus meinem Praktikum auf einer Strohballenhaus-Baustelle in Sieben Linden, sowie eine Fachführung zu 7 weiteren in Sieben Linden gebauten Strohballenhäusern, haben mich zu der Überzeugung kommen lassen, dass eine mit Lehm direktverputzte Strohballenwand, wenn sie für unsere süddeutsche regenreiche Region mit einer zusätzlichen äußeren Wetterschale aus Holz versehen wird und sofern man mit regionalen und nachwachsenden Baustoffen agieren möchte, eine der bestmöglichen Konstruktionen ist.

3.3.4. Brandschutz

Die Zulässigkeit beim Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen ist in der DIN 4102 zu finden. Baustoffen und Baumaterialien werden hier in Bezug auf ihre Brennbarkeit in vier Baustoffklassen eingeteilt. A für nicht brennbare Baustoffe, B1 für schwer entflammbare Baustoffe, B2 für normal entflammbare Baustoffe und B3 für leicht entflammbare Baustoffe. So müssen nach den Vorschriften alle Wandbaustoffe mindestens der Baustoffklasse B2 entsprechen. [DIN 4102-1, 1998]
In der europäischen Norm DIN EN 13501 können neben Baustoffen auch ganze Bauprodukte eine Klassifizierung zum Brandverhalten erhalten. Dabei werden Bauteile in Bezug auf ihren Brandwiderstand in Klassen eingeteilt. F30, F60, F90 oder F120 beschreibt die Mindestfeuerwiderstandsdauer in Minuten. Das getestete Bauteil muss dabei während der angegebenen Mindestfeuerwiderstandsdauer alle seine Funktionen weiterhin erfüllen. Beispielsweise müssen alle statischen Eigenschaften während der Feuerwiderstandsdauer erhalten bleiben. [DIN EN 13501-1, 2009], [Minke et al., 2009]
Loses Stroh lässt sich genauso leicht entflammen wie ein loses Blattpapier. Der gepresst Strohballen wäre nach Minke mit den dicht aufeinanden liegenden Blättern eines Telefonbuches vergleichbar, welche durch den geringen

Sauerstoffanteil zwischen den Seiten durch die dichte Packung wesentlich schwerer entflammbar sind. [Minke et al., 2009]
So ist auch zu erklären, dass das Brandverhalten von Stroh in die Baustoffklasse B2, normal entflammbar, fällt und eine beidseitig mit 8 mm starkem Putz versehene Strohballenwand in die Baustoffklasse B1, schwer entflammbar, eingeordnet wird. [DIN 4102-1, 1998], [Minke et al., 2009], [Scharmer, 2013]
Eine vom FASBA, Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., initiierte Prüfung des Feuerwiderstandes (nach EN 1365-1 1999-10) an der MPA Braunschweig, Materialprüfanstalt für das Bauwesen, ergab für eine beidseitig mit 3 cm Lehmputz verkleidete Strohballenwand einen Feuerwiderstand von 90 min. Dieses würde der nach DIN 4102-2 eingeteilten Feuerwiderstandsklasse F90 entsprechen. [FASBA, 2013]

3.4. Bauweisen

Bei der Konstruktion von Strohballenwänden gibt es grundlegend unterschiedliche Systeme. Den lasttragenden und den nicht lasttragenden Strohballenbau, Hybridbauweise und Modulbauweise. Diese werde ich nachfolgend näher erläutern.

3.4.1. Lasttragender Strohballenbau

Der lasttragende Strohballenbau definiert sich dadurch, dass die aus Strohballen aufgeschichteten Wände die Last des Daches oder der Decke tragen. Hier kommen keine zusätzlichen Stützen zum Einsatz wie Abbildung 3-16 zeigt. Es ist eine scheinbar einfache Konstruktion, welche deutlich geringere Materialkosten im Vergleich zur nicht lasttragenden Bauweise aufweist. Zeit- und Kostenersparnisse sind für bestimmte Anwendungen nachweisbar. Die Realisierung ist allerdings etwas schwieriger, da es eine starke Witterungsabhängigkeit für die Bauphase gibt und die Größe des Gebäudes unmittelbar von der Tragfähigkeit der verwendeten Strohballen abhängt. [Minke et al., 2009]
Lasttragende Strohballenbauten werden in Deutschland im Grunde nicht genehmigt. Es gibt vereinzelt einige Beispiele: So stehen auch in Sieben Linden zwei kleine Gebäude (Abbildung 3-17) die aus nicht mehr als einem Raum bestehen. In der Bauphase musste hier auf die unterschiedliche Setzung der Wände geachtet werden. Gerade wenn Öffnungen an einem Gebäude ungleich verteilt sind kommt an den Seiten der größeren Öffnungen zu höherer Flächenpressung und damit zu unterschiedlichen Setzungsmaßen. Bei dem größeren der beiden Gebäude, welches ca. 30m² umfasst wurde das Dach nachträglich mit einem Kran aufgesetzt. Die Aufwendungen für einen Kran, das schwer zu beherrschende Setzungsverhalten und das grundsätzlich nicht mögliche Baugenehmigungsverfahren machen diese Arbeitsweise uninteressant.

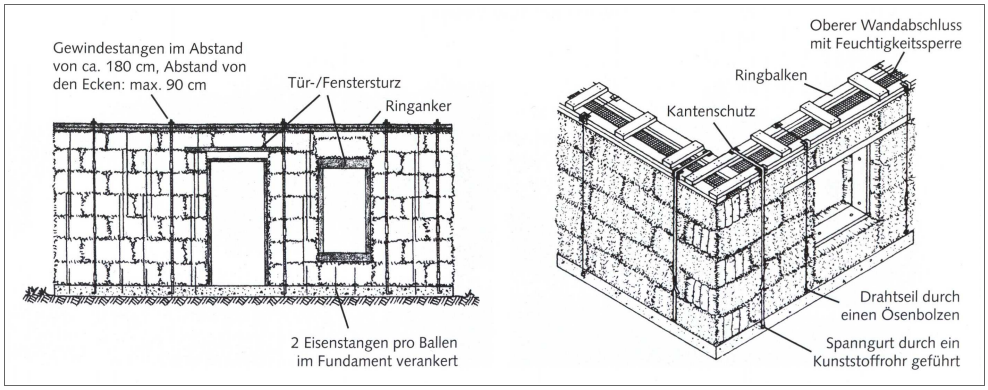


Abbildung 3-16: Vorspannung lasttragender Strohballenwände [Steen et al., 1994, S. 11]

Abbildung 3-17: Lasttragendes Strohballengebäude, Gemeinschaftsküche des Jugendplatzes, Sieben Linden 2013 [eigenes Photo]

3.4.2. Nicht lasttragender Strohballenbau

Beim nicht lasttragenden Strohballenbau übernehmen die eingebauten Strohballen keine Last und haben also keine statische Funktion. Diese Funktion übernimmt eine zusätzliche Tragkonstruktion, welche aus Holz in Form von Holzrahmen oder Holzskeletten bestehen kann. Diese befinden sich dann wie in Abbildung 3-18 innerhalb des Wandaufbaus. Ebenso so ist ein Strohballenbau in Verbindung mit einem Holztafelbau, einer Brettstapel- oder Blockbohlenbauweise möglich. Bei diesen Systemen werden, ebenso wie bei der Altbausanierung, die Strohballen vor eine voll tragende Wand gebaut. Die Strohballen dienen bei all diesen Konstruktionen nur noch als Wärmedämmung und häufig auch noch als Wandabschluss. Das Prinzip und die möglichen Lagen der Stützen beim nicht lasttragenden Strohballenbau sind in Abbildung 3-19 zu sehen. In allen aufgezeigten Varianten müssen die Strohballen mit der ausgewählten Tragkonstruktion fest verbunden sein. Dies verhindert das die Strohballen aus den Gefachen fallen können und oder sich eventuell Wand oder Wandbeläge ablösen können. Bei Rahmensystemen, die mit mit Platten oder Diagonalschalungen verkleidet sind, können diese Elemente die horizontalen Kräfte wie z.B. durch Winddruck aufnehmen. Bei Skelettsystemen kann diese Funktion der horizontalen Aussteifung durch Druckstreben, Kopf- oder Windrispenbänder aufgenommen werden. Bei verputzten Strohballenwänden hat die Putzscheibe sicherlich eine aussteifende Wirkung, welche jedoch in Deutschland rechnerisch nicht eingeplant werden darf. [Minke et al., 2009]

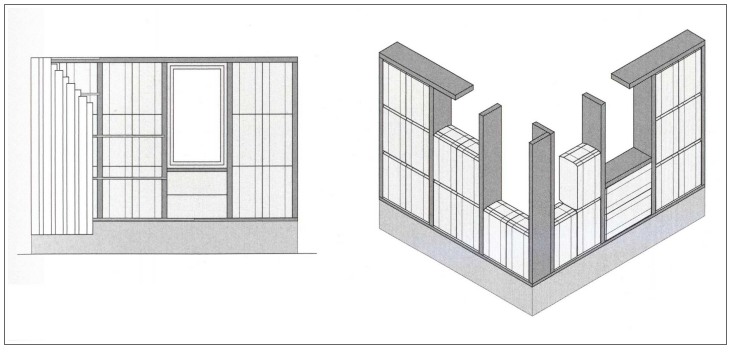


Abbildung 3-18: Strohgedämmte Bohlenständerwand, Ballen hochkant stehend [Minke et al., 2009, S. 39]

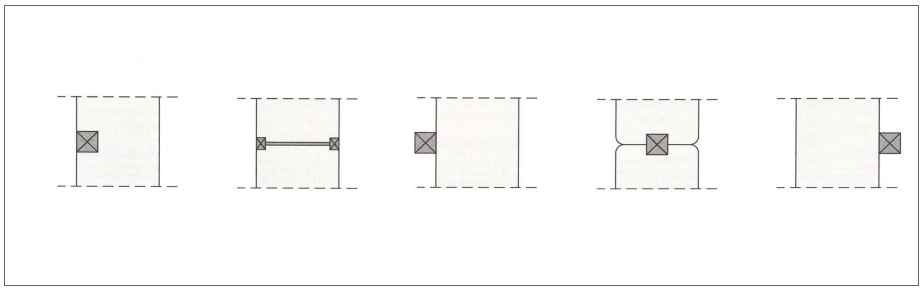


Abbildung 3-19: Prinzip und Stützenlagen, nicht lasttragender Strohballenwände [Minke et al., 2009, S. 40]

3.4.3. Hybridbauweise

Die Hybridbauweise wird auch als teillasttragende Strohballenbauweise bezeichnet. Es ist eine Kombination aus den beiden oben aufgeführten Bauweisen. Die Strohballen übernehmen hier einen Teil der Traglast und haben somit auch eine statische Funktion. Den anderen Teil der Last übernehmen tragende Elemente. [vgl. [Gruber et al., 2008], [Minke et al., 2009]]
Viele in der Literatur aufgezeigten lasttragenden Strohballenbauten sind streng genommen Hybridbauweisen, da bei den beschriebenen Bauten Dach- oder Deckenlasten teilweise durch andere Bauteile wie ein zentraler Kamin oder eine großflächig verglaste Fassade mit Pfosten-Riegel-Konstruktion abgetragen werde. [Minke et al., 2009]

3.4.4. Modularbauweise

Die Modulbauweise besteht aus vorgefertigten Wandelementen. Diese werden in Fertigungshallen von Zimmereien zusammen gebaut und mit einer Kran-Montage auf der Baustelle montiert. Die Vorteile sind hier, dass es sich meist um zertifizierte ökologische Baustoffe handelt, es einen Festpreis für die einzelnen Module gibt und man die Probleme der Baufeuchte weitestgehend vermeidet. Hier gibt es zusätzliche Einschränkungen, wie das durch ein fixes Rastermaß weniger gestallterische Spielräume bleiben oder die Möglichkeiten des Eigenbaus nur noch sehr gering sind. [Gruber et al., 2012]

3.5. Baukonstruktive Eigenschaften „Nicht lasttragender Strohballenbau“

Die gewählte Bauweise für den Entwurf zu dieser Masterarbeit ist der nicht lasttragende Strohballenbau. Daher wird diese Bauweise im nachfolgenden Kapitel in ihren baukonstruktiven Eigenschaften ausführlicher beschrieben. Für die Ausführung des Entwurfes eines nicht lasttragenden Strohballenbaus wurde hier ein Holzrahmenbau als Grundlage ausgewählt. Die Gründe sind zum einen die Genehmigungsfähigkeit in Deutschland und zum anderen die Umsetzung mit gewünschtem, hohem Anteilen an Eigenleistung der Bauherren.
Der lasttragende Strohballenbau, sowie auch die Hybridbauweise, sind in Deutschland nur unter speziellen Bedienungen und mit „Zulassung im Einzelfall“ genehmigungsfähig sind. Die modulare Bauweise wird hier ausgeklammert, da eine Vorfertigung in einem Zimmereibetrieb in der Regel keine Eigenleistung der Bauherren ermögicht.

3.5.1. Lage der Strohballen

Zuallererst ist es wichtig die Größe der später verwendeten Strohballen zu wissen. Als Planer oder Bauherren sollte man damit beginnen sich um die lieferbaren Strohballengrößen in seiner Region zu informieren. Sind diese klar ist wird als nächstes festgelegt, in welcher Lage die Strohballen eingebaut werden sollen. Liegend, stehend oder hochkant, wie in Abbildung 3-20 gezeigt. Hiermit wird festgelegt welche Seite des Strohballens das Auflager bildet und welche Seite des Ballens nach Innen und Außen zeigt bzw. in welcher Richtung die im Ballen verschnürten Halme zur Ausrichtung der Wand zeigen. Die gewählte Lage des Ballens ist nicht nur für die spätere Wandstärke Ausschlag gebend, sondern bestimmt durch die Lage der Strohhalme auch die Wärmedämmwirkung des natürlichen Rohstoffes.

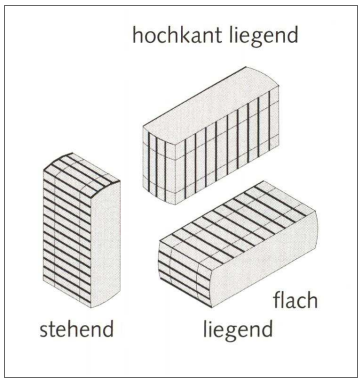


Abbildung 3-20: Lage der Strohballen in der Wand [Minke et al., 2009, S. 53]

3.5.2. Lage der Stützen

Die genaue Lage der Stützen ist für alle späteren Baudetails des Strohballenbaus von großer Bedeutung. Diese richtet sich nach der Größe und Lagerung der ausgewählten Strohballen und den sich daraus ergebenden

Gefachgrößen. Um die Länge der Wände und die Lage und Größe der späteren Öffnungen für Türen und Fenster festzulegen, ist es sicherlich hilfreich sich für die Planung ein Raster zu erstellen. Für alle konstruktiven Details der Strohballenwand, aber auch für den späteren Ablauf der Arbeitsschritte auf der Baustelle ist es wichtig nicht nur den Abstand der Stützen durch die Größe und Lage der Ballen zu bestimmen, sondern auch die Position der Stützen innerhalb der Wand. Also ob die gewählten Stützen in, vor oder hinter der Strohballendämmung ihre Tragfunktion aufnehmen. In den Abbildungen 3-21 - 3-23 von Minke sind mögliche Profile der Stützen gezeigt, Stegprofile, mehrteilige Vollholzprofile oder Leiterprofile.

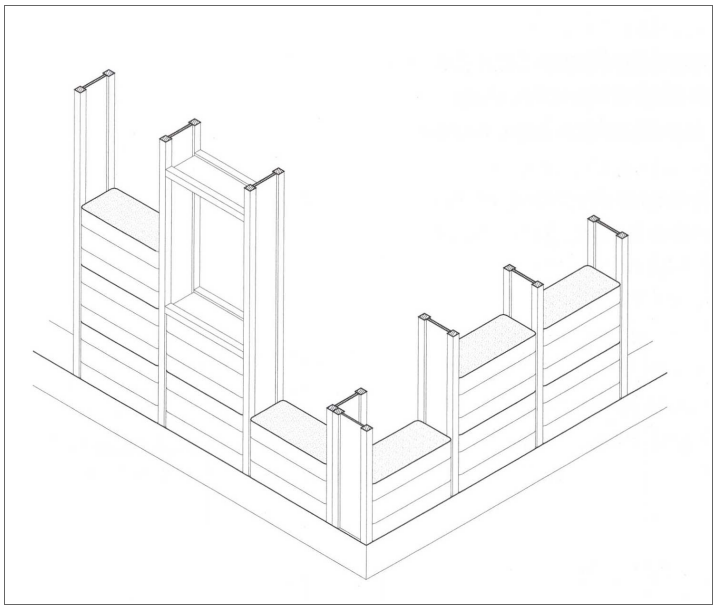


Abbildung 3-21: Stütze aus Stegprofilen [Minke et al., 2009, S. 52]

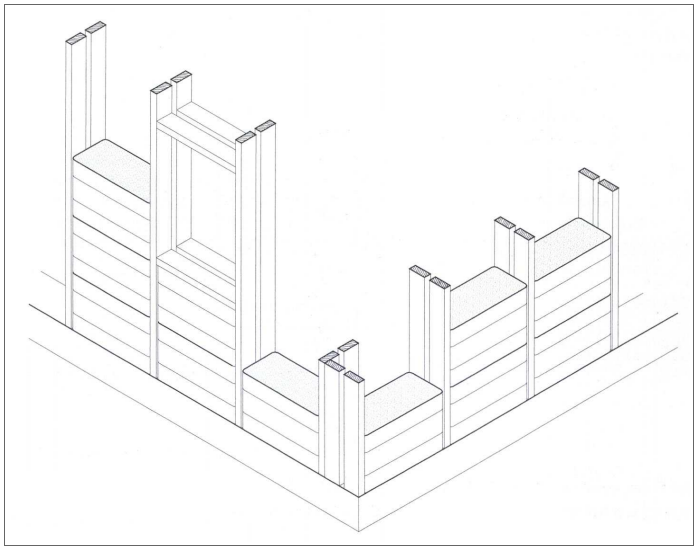


Abbildung 3-22: Stütze aus geteilten Vollholzprofilen [Minke et al., 2009, S. 52]

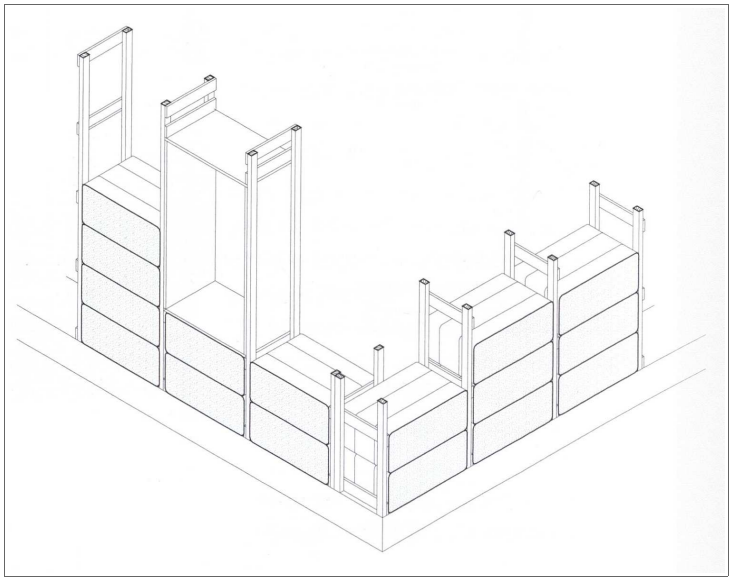


Abbildung 3-23: Stütze aus Leiterprofilen [Minke, 2009 et al., S. 52]

Das am häufigsten zur Anwendung kommende durchgängige Vollholzprofi ist in der Abbildung 3-24 gezeigt. Dort ist das Holzrahmenskelett des Meditationshauses in Sieben Linden zu sehen.
Ob die Profile einzeln, durchgängig oder miteinander verbunden sind hat Auswirkungen auf die spätere Wärmeleitung der ausgebildeten Wand. Auch die Oberflächengestaltung ist abhängig von den Stützen und ihrer Lage.
Wenn die Stützen nach der Fertigstellung der Strohballendämmung sichtbar sind und nicht sichtbar bleiben sollen, so müssen diese mit einem Putzträger, beispielsweise Schilfrohrmatten wie in Abbildung 3-25 verkleidet werden. Wird jedoch geplant eine Beplankung anzubringen so sollte darauf geachtet werden, das die gewählten Stützen und ihre Lage gleichzeitig zur Befestigung der ausgewählten Platten dienen kann.

Abbildung 3-24: Holzrahmenrahmenskelett des Meditationshauses, Sieben Linden [eignes Photo]

Abbildung 3-25: Putzträger zur Wandverkleidung des Meditationshauses, Sieben Linden [eigenes Photo]

3.5.3. Aussteifung gegen Horizontalkräfte

Die Stützen in Verbindung mit den in die Gefache eingebrachten Strohballen können statisch keine horizontalen Kräfte wie etwa Windkräfte aufnehmen und brauchen deswegen wie auch andere Holzrahmenkonstruktionen eine zusätzliche Aussteifung. Diese kann wie in Abbildung 3-26 beim Wohnhaus „Nachtigal“ in Sieben Linden durch eine Querverstrebung erreicht werden. Diese Verstrebung sollte wegen des späteren Verputzens innerhalb des Gefaches liegen und um den späteren Einbau der Strohballen nicht zu behindern, sich genau am inneren Rand des Gefaches befinden. Flächige Diagonalschalungen, sowie Platten, einzelne Windrispenbänder oder Kreuzverstrebungen sind ebenso möglich.

Abbildung 3-26: Querverstrebung der Gefache, Wohnhaus „Nachtigal“, Sieben Linden [eigenes Photo]

3.5.4. Verbindung der Ballen mit der Stützkonstruktion

Bei einer nicht lasttragenden Strohballenwandkonstruktion, die aus den einzelnen Elementen der Strohballen und der Trägerkonstruktion besteht, sollten die eingebauten Strohballen an der Trägerkonstruktion befestigt werden, bevor die Wand weiter verarbeitet werden kann. So verhindert man ein ausbeulen der Wand an einigen Stellen oder gar bei starker mechanischer Einwirkung ein herausfallen der Ballen. Im Grunde genommen sind die eingebauten Strohballen jedoch so dicht verpresst worden, das es maximal zu einzelnen Ausbeulungen kommen kann. Angebrachte Dreiecksleisten wie in Abbildung 3-27 dienen nicht nur zur Stabilisierung der Strohballen, sondern auch als Anhaltspunkt beim rasieren des überstehenden Strohs und als weitere Unterlage für die anschließend aufgebrachten Putzträger. Wird der Strohballen später vollflächig mit Platten verkleidet so sind diese Dreicksleisten nicht nötig, da die Lage der Ballen durch die Platten fixiert wird.

Abbildung 3-27: Dreiecksleiste, seitlich an die Stütze genagelt und auf der Kante des Ballens aufliegend [eigenes Photo]

4. Recherche, Vergleich und Entwicklung baukonstruktiver Details

Dieses Kapitel dient der Recherche und dem Vergleich baukonstruktiver Details für den Strohballenbau aus wissenschaftlichen Studien oder von bereits bestehenden Strohballengebäuden.
Daraus hat sich ein baukonstruktives Gesamtkonzept entwickelt, welches mit möglichst vielen der Anforderungen aus der Aufgabenstellung und der Zielsetzung übereinstimmt.

4.1. Wandaufbau

4.1.1. Recherche

Konstruktion D-O5 – Henry Haage

Henry Haage hat mit seiner Dissertation „Wandkonstruktionen mit Strohballen“ aus dem Jahre 2008, eine wirtschaftlich-ökologische Studie zum Einsatz von Strohballen in Passivhauswandsystemen verfasst. Er entwirft, analysiert und vergleicht zahlreiche Wandaufbauten konventioneller Massivbauweisen mit möglichen Stroh gedämmten Alternativen und geht dann im Hauptteil dazu über verschiedene Strohballenwandaufbauten untereinander zu vergleichen und zu optimieren. Gegliedert hat er seine Konstruktionen wie in Abbildung 4-01 gezeigt, in Lasttragtende und Nicht-lasttragende Bauweisen und danach in die Dämmebene in der Tragebene oder die Dämmebene außerhalb der Tragebene. So konnte er die grundsätzlichsten Unterschiede von einander getrennt betrachten und bewerten. [Haage, 2008]

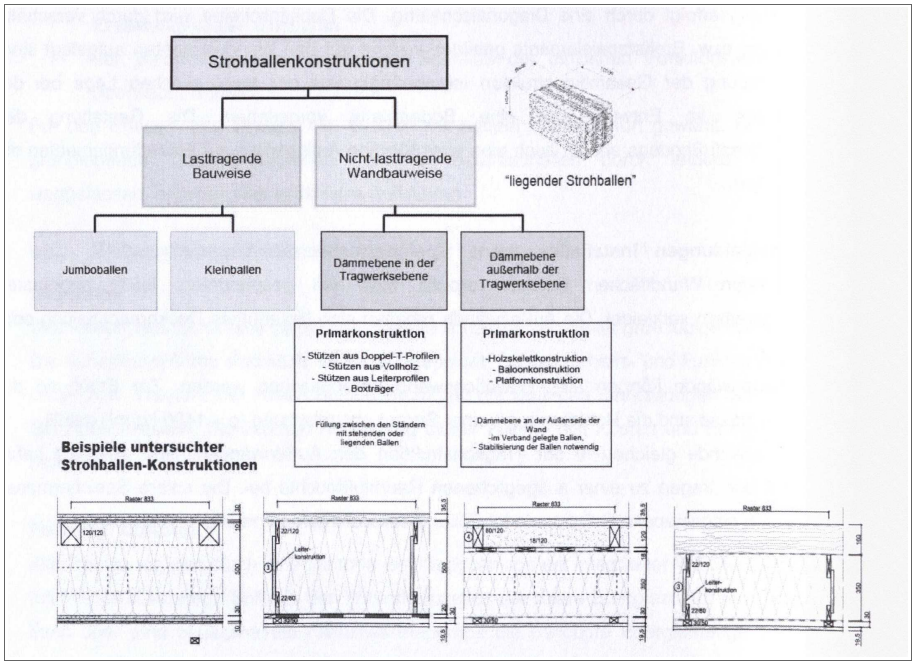


Abbildung 4-01: Einteilung der Strohballenkonstruktionen [Haage, 2008, S. 114]

Haage vergleicht und bewertet alle Konstruktionen nach ihrem Wärmedurchgangskoeffizient, der Bauteildicke, der Temperaturamplitudendämpfung, der Phasenverschiebung, der Speichermasse, der Gesamterstellungskosten und dem Zeitaufwand. Daraus ergibt sich je nach Wichtefaktor ein Bewertungsspiegel, welcher die einzelnen Baukonstruktionen nach einem Punktebewertungssystem einteilt. Die maximal zu erreichende Punktzahl wäre 250 Punkte. In der Endauswertung gibt es zwei Konstruktionen, die mit jeweils 204,4 Punkten vorne liegen.
Haage beschäftigt sich in einem seiner letzten Kapitel ausführlich mit möglichen Optimierungen der nach seinen Auswahlkriterien besten vier Strohballenwandsystemen. Bei allen diesen Wandaufbauten ist die Tragkonstruktion von der Dämmebene entkoppelt. Eines dieser optimierten Systeme arbeitet er in einem Entwurf weiter aus. Er erläutert warum er sich für diese eine seiner optimierten Strohballensysteme entschieden hat. Als Vorteile sind hier die bereit bekannten Punkte wie Kompostierbarkeit, Recyclingfähigkeit, Hölzer ohne chemischen Holzschutz, geringe Herstellungsenergie, gute bauphysikalische und baubiologische Eigenschaften und die Möglichkeit Eigenleistung beim Bau einzubringen.
Mit dem in Abbildung 4-02 gezeigten und in Abbildung 4-03 erläuterten Wandaufbau hat Haage seinen anschließenden Entwurf eines Einfamilienhauses geplant. Von innen nach außen beginnt der Aufbau mit einer Holzverschalung hinter der sich die Tragkonstruktion befindet, welche aus einem Vollholzständerwerk besteht, dessen Zwischenräume für eine bessere Speichermasse mit einer Stroh-Lehm Schüttung gefüllt wurden. Als Abschluss kommt eine vollflächige Diagonalsparschalung mit einer dahinter liegende PE-Folie als Dampfbremse. Darauf folgt die Dämmebene mit stehend eingebrachten Strohballen und als äußeren Abschluss eine vollflächige Windbremse. Als Wetterschale kommt außen eine Unterkonstruktion aus Latten für die hinterlüftete Ebene der darauf gesetzten Stülpschalung. Der so gezeigte Wandaufbau hat mit einer Gesamtdicke von 57,3 cm einen U-Wert von 0,166 W/(m²K) und eine speicherwirksame Masse von 193,29 kg/m². Die aufgeführten Gesamtkosten belaufen sich auf 151,11 E/m² bei einem Zeitaufwand von 2,6 Stunden.
[Haage, 2008]

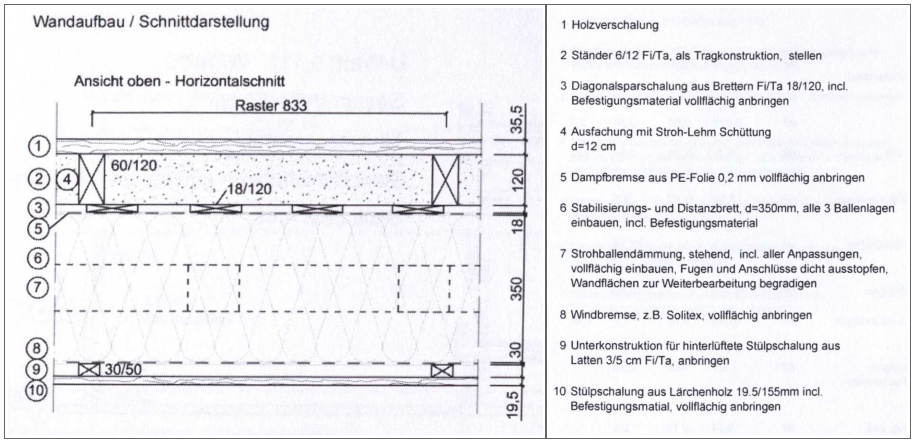


Abbildung 4-02 und 4-03: Wandaufbau [Haage, 2008, S. 114]

Holzständersystem „infill“ - StrohTec

Die „infill-Holzständer-Konstruktion“ wurde 1999 von StrohTec unter der Mitarbeit von Herbert Gruber entwickelt und später von IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH), GrAT (Gruppe Angepasste Technologie) und ASBN (Austrian Straw Bale Network) durchgerechnet, geprüft und getestet. Das System wurde im Bericht „Haus der Zukunft - Wandsysteme aus Nachwachsenden Rohstoffen“ veröffentlicht. Das ASBN hat die Wandaufbau-Kombinationen der Abbildung 4-4 über die Jahre modifiziert und weiter an Passivhausbauweisen angepasst. Diese Konstruktionen zählen heute bei kleineren Gebäuden in Österreich zu den meist gebauten, wenn es um Strohballenbau geht. [baubiologie.at-a, 2013], [Gruber et al., 2008], [Wimmer et al., 2001]

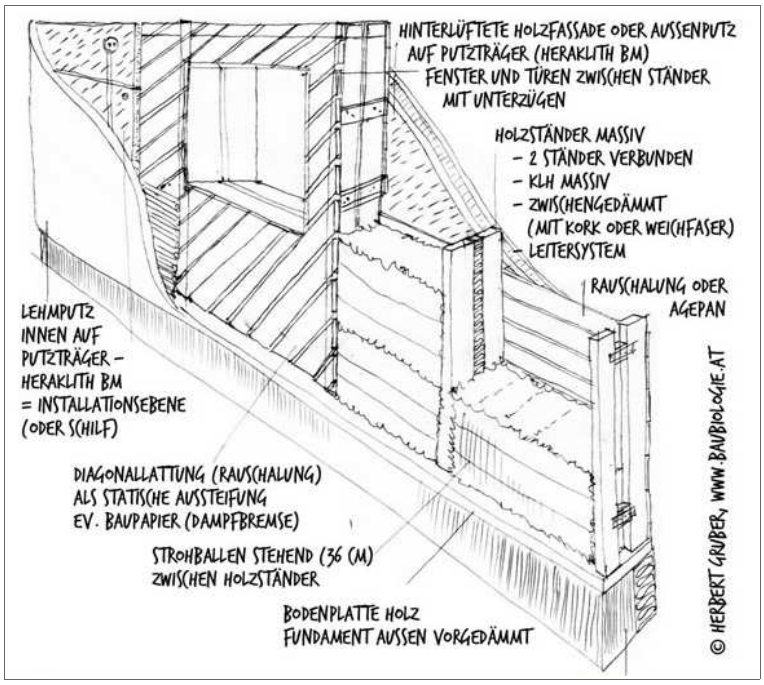
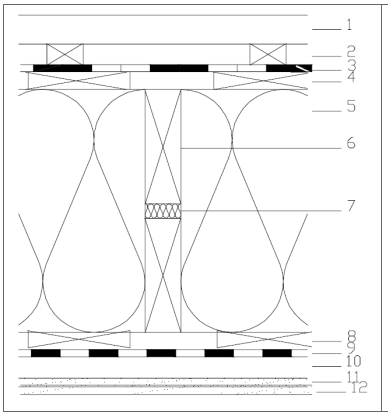


Abbildung 4-04: Wandkonstruktion des Holzständersystems „infill“ [baubiologie.at-a, 2013]

„infill“ ist also eine Holz-Rahmenbauweise, welche Stroh als Dämmung zwischen Holzständern verwendet. Die Strohballen werden in die Zwischenräume geschichtet und verdichtet um Setzungen zu vermeiden.
In Abbildung 4-04 sind drei verschiedene Varianten der geteilten massiven Holzständer zu sehen. Die erste ist eine Leiterkonstruktion, die zweite besitzt einen mit Kork oder Weichfaser zwischen gedämmten Hohlraum und bei der dritten werden die beiden Konstruktionshölzer durch Metallklammern verbunden. Bei der Modifizierung und Weiterentwicklung des Wandsystems, welches in Abbildung 4-05 zu sehen und in Abbildung 4-06 erläutert ist, hat man auf die zweite Holzständer-Konstruktion gesetzt. Dazwischen sind die Strohballen liegend mit der Halmrichtung parallel zur Wand eingebaut. Von Innen nach Außen gestaltet sich der Raumabschluss wie folgt: Zunächst sind Innen zwei

Lagen Gipsfaserplatten aufgebracht, danach folgt eine Lattung unter der sich eine Dampfsperre befindet. Im Anschluss folgt die Diagonal-Sparschalung und das bereits beschriebene Innenleben der Wand mit Stehern und Strohballen. Nach außen folgt dann ebenso eine Diagonal-Sparschalung mit anschließender Windbremse. Zum Abschluss ist eine Lattung mit Stülpschalung für den Wetterschutz aufgebracht. Der Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,12 W/m²K eine speicherwirksame Masse von 31,8 kg/m². [baubiologie.at-a, 2013], [Gruber et al., 2008], [Wimmer et al. 2001]



Aufbau

1	Stülpschalung	2 cm
2	Lattung 4/4	4 cm
3	Windsperre	0,02 cm
4	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
5-7	Strohballen zwischen Holzsteher	34 cm
8	Diagonal-Sparschalung	2,4 cm
9	Dampfsperre	0,02 cm
10	Lattung	3 cm
11-12	2 Lagen Gipsfaserplatten	3 cm

Abbildung 4-05 und 4-06: Wandkonstruktion des Holzständersystems „infill“ [Wimmer et al., 2001, S. 44]

Optisch auffällig ist auf der Baustelle die durchgängige Diagonal-Sparschalung wie in Abbildung 4-07 bis 4-09 zu sehen ist. So ist oft schon von Außen zu erkennen, um welchen Strohballenwandtyp es sich handelt.

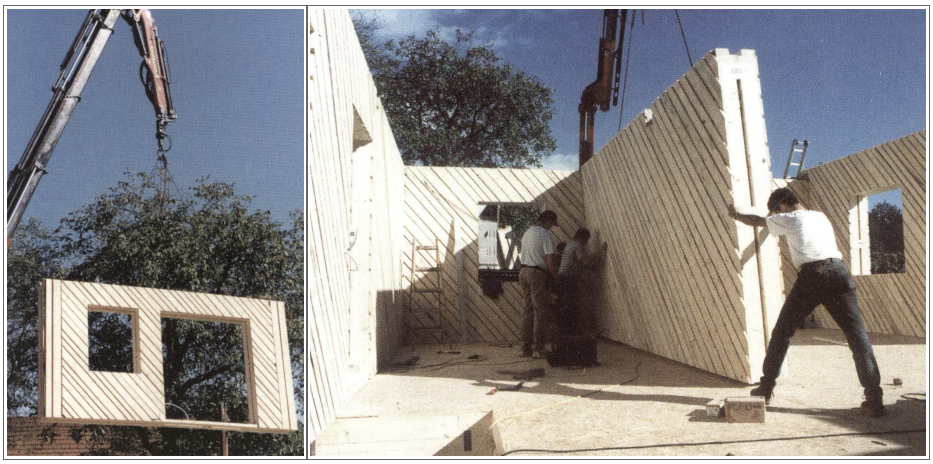


Abbildung 4-07 und 4-08: Holzständersystem „infill“ Wandelement und Montage, in Hitzendorf bei Graz, Österreich [Minke et al., 2009, S. 97]

Abbildung 4-09: Holzständersystem „infill“ Einfamilienhaus, in Hitzendorf bei Graz, Österreich [Minke et al., 2009, S. 97]

„Strohpolis“ in Sieben Linden – Dirk Scharmer

„Strohpolis“ ist ein dreigeschossiges Mehrfamilienwohnhaus in Strohballenbauweise und mit seinen 530 m² das derzeit größte in Deutschland. Es wurde 2005 in Sieben Linden erbaut. Bauherr war die Wohnungsbaugenossenschaft Sieben Linden e.G. und der ausführende Architekt war Dirk Scharmer. (siehe Abbildung 4-10 und 4-11)
[Scharmer, 2013], [Minke et al., 2009]

Abbildung 4-10: „Strohpolis“, Süd-Fassade, 3-geschossiges Mehrparteienstrohwohnhaus in Sieben Linden [eigenes Photo]

Abbildung 4-11: „Strohpolis“, West-Fassade, 3-geschossiges Mehrparteienstrohwohnhaus in Sieben Linden [eigenes Photo]

Das Gebäude hat eine Tragwerkskonstruktion aus Holzständern wie in Abbildung 4-12 detailliert dargestellt ist. Der Abstand der Ständer beträgt zwischen 1,5 und 3 m, was relativ weite Abstände sind, und nach Z-23.11-1595 einer Zustimmung im Einzelfall bedarf. Die Ausfachung erfolgte mit flach liegenden Ballen. Zur Stabilisierung der Ballen wurden nach jeder 3. Lage horizontal Bretter eingelegt. [Z-23.11-1595, 2009], [Scharmer, 2013], [Minke et al., 2009]

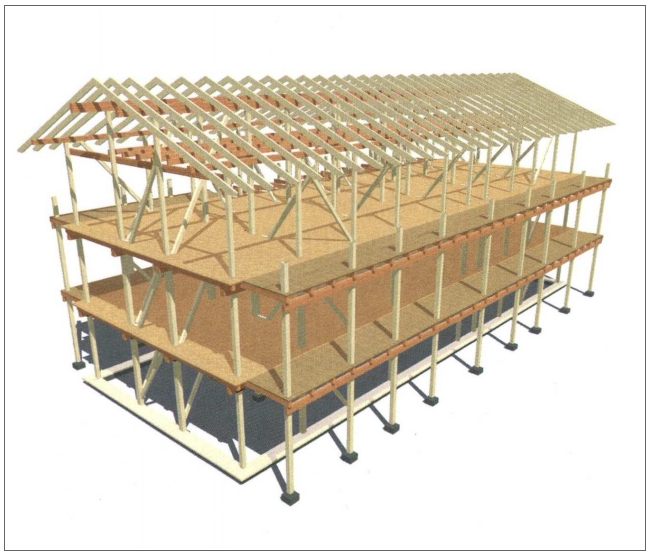


Abbildung 4-12: Tragwerk Wohnhaus „Strohpolis“ in Sieben Minden [Scharmer, 2013, S. 15]

Die Wände wurden, wie in Abbildung 4-13 zu sehen ist, beidseitig direktverputzt: Innen mit Lehm und Außen mit Lehm- und Kalkputz. Die Armierung des Putzes ist durch einen hohen Faseranteil gegeben. Die Wand hat einen U-Wert von 0,16 W/m²K. Leider wird aber keine Wandstärke angegeben. [Minke et al., 2009]

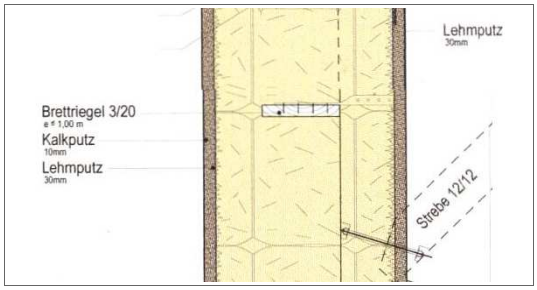


Abbildung 4-13: Wandkonstruktion „Strohpolis“ in Sieben Minden [Minke et al., 2008, S. 95]

Strohpolis war das erste seiner Art und durch die allgemein baurechtliche Zulassung durch eine Zustimmung im Einzelfall wurden erstmals in Deutschland Materialien und Bauteiltests an verschiedenen Institutionen durchgeführt. Dazu zählen ein Nachweis der Normalentflammbarkeit von Baustroh, eine feuerhemmende Außenwand mit F30 nach DIN 4102 mit Strohdämmung und Lehmputz, sowie die Wärmeleitfähigkeit von Baustroh. [Scharmer, 2013]

4.1.2. Vergleich

Die Tragkonstruktion unterscheidet sich in den drei oben beschriebenen Strohballenbauweisen grundlegend. Während Haage die Tragkonstruktion von der Dämmebene strikt trennt, baut das österreichische Team einzelne in sich ausgesteifte transportable Wandmodule und Scharmer konstruiert ein konventionelles Holzständerskelett mit jedoch recht großen Spannweiten für eine Strohballenkonstruktion. Das Trennen der beiden Ebenen nach Funktion wie bei Haage bedingt einen deutlich stärkeren Wandaufbau mit in diesem Fall 57,3 cm. Aber auch die Österreicher haben mit 50,84 cm eine relativ starke Wand. Die Stärke des Wandaufbaus bei Scharmer ist nicht angegeben. Die Ballen wurden hier flach liegend eingebaut, wodurch man mit einer gängigen Ballenbreite von 50 cm und zusätzlichen Putzschichten etwa im Mittelfeld der beiden anderen Wandkonstruktionen liegen wird. Nach Scharmer hat mit der flach liegende Ballen eine niedrigere Dämmwirkung mit einen U-Wert von 0,16 W/m²K, allerdings aber auch eine höhere Stabilität, welche er wegen den größeren Abständen der Holzständer benötigt. Die „Infill“ Konstruktion beschreibt im Text die Ballen als stehend eingebaut, sie sind aber in der graphischen Darstellung der Abbildung 4-4 hochkant liegend eingezeichnet. In der späteren modifizierten Wandkonstruktion sind keinerlei Angaben zur Ballenlage mehr gemacht worden, außer das diese 34 cm stark ist. Dies deutet auf einen Einbau mit der schmalen Kante als Wandstärke hin. Ob diese nun mit liegenden oder stehenden Ballen ausgeführt ist, macht von der Wärmedämmwirkung keinen Unterschied. Lediglich für die Stabilität, bei einer lasttragenden oder teillasttragenden Bauweise, würde

dies eine Rolle spielen. Dies kann bei der modularen Bauweise außer acht gelassen werden, da die einzelnen Module in sich ausgesteift sind und eine zusätzliche Tragfähigkeit für alle weiteren Lasten aufweisen. Haage hat sich bei seinem ausgearbeiteten Entwurf für einen Wandkonstruktion mit stehenden Strohballen entschieden, deren schmälere Seite die Wandstärke günstig beeinflussen und eine bessere Wärmedämmung aufweisen, jedoch keine stabile Konstruktion ergeben. Daher hat er dann die Tragkonstruktion ausgelagert und die Ballen zusätzlich in jeder Lage mit horizontalen Brettern leicht stabilisiert, was insgesamt einen recht aufwendigen Aufbau darstellt.
Die U-Werte in den hier aufgeführten Konstruktionen entsprechen meiner Einschätzung nach der Aufwendigkeit der Konstruktion. Haage hat mit der wohl aufwendigsten Bauweise den besten U-Wert von 0,116 W/m²K erreicht. Dicht gefolgt vom fast ebenso arbeitsintensiven „infill“-System mit 0,12 W/m²K. Scharmer erreicht mit seiner recht einfachen Konstruktion immerhin einen U-Wert von 0,16 W/m²K, was für die Schlichtheit und geringere Aufwendung ein gutes Ergebnis ist. Die Außen- und Innenverkleidung, der Strohballendämmung könnte auch hier nicht unterschiedlicher sein. Scharmer hat lediglich die Strohballen direkt mit Lehm verputzt und außen einen zusätzlichen Schlagregenschutz, durch große Dachüberstände und durchgehende Balkone in jedem Stockwerk, erreicht und dafür eine Zustimmung im Einzelfall benötigt. Hierzu muss man auch erläutern, das „Strohpolis“ von hohen Bäumen umgeben ist, die eine Wettereinwirkung zusätzlich abmildern. Bei der Konstruktion um Gruber werden alle weiteren Lagen, wie Folien, Lattung und Verschalungen erst bauseitig, d.h. vor Ort angebracht. Weswegen sich der Begriff der modularen Bauweise rein auf die extra eingepackten, einzeln ausgesteiften Strohdämmpakete bezieht. Haage hat Innen wie Außen eine geschlossene Holzverschalung gewählt und Zwischenräume der Tragkonstruktion mit einer Strohlehmschüttung ausgefüllt.

Vorteile und Nachteile

Haage
Das Trennen der Ebenen nach Funktionen wie bei Haage erleichtert dem Laien deutlich den Einbau der Strohballen, da diese nur an wenigen Stellen gekürzt werden müssen. Das direkte Auflegen der Dampfbremse und Windsperre auf das Stroh ist wegen der eigentlich inhomogenen und stacheligen Oberfläche der fertig verarbeiteten Dämmpackung problematisch und wirft einige Fragen zur Handhabung auf der Baustelle auf. Das Einbingen zusätzlicher, speicherwirksamer Massen hebt die Konstruktion in ihrer Funktionsweise deutlich hervor. Zu bedenken sind hier lediglich die höheren Transportkosten für ein recht hohes, zusätzliches Volumen an Lehm, welches je nach örtlicher Bodenbeschaffenheit nicht ausschließlich vom Baugrund kommen kann.

Infill
Die Konstruktion mit Vollholzstehern aus KVH ist für die Verarbeitung am besten geeignet. Die Leiterkonstruktion und die Variante mit den Metallklammern sind teilweise ungünstig. Zum einen wegen der unebenen Einbaufläche bei der Leiterkonstruktion, welche den lückenlosen Stroheinbau erschwert und zum anderen, da sich an Metallklammern eventuell Kondensat bilden könnte, welches dem Stroh schaden kann. Eine modulare Vorfertigung in einer Zimmerei hat zunächst den großen Vorteil zu einem Teil unter witterungsunabhängigen

Bedingungen produzieren zu können.
Die Verkleidung der Module mit Diagonalsparschalung ist nach den Angaben der Produzenten sehr arbeitsintensiv und kann durch die Verwendung von Ausbauplatten erleichtert werden. [baubiologie.at-a, 2013]
Das Stroh ist in diesem Fall direkt mit Holz verkleidet, welches den Eigenschaften der unebenen und stacheligen Oberflächen des Strohs zu Gute kommt. Ein Mitwirken der Baufamilie ist hier nur in der Zimmerei und nicht vor Ort möglich, es sei den man befüllt die Module auf der Baustelle.

Strohpolis
Scharmer hat sich mit der Wahl des Wandaufbaus bei Strohpolis für eine traditionelle und oft bewehrte Methode entschieden die Strohballen direkt zu verputzen. Dies schöpft beide Potentiale der Eigenschaften der verwendeten Baustoffe, Stroh und Lehm, voll und ganz aus. Dies bedarf natürlich in Deutschland einer gesonderten Genehmigung durch eine Zustimmung im Einzelfall. Das direkte Verputzen hat viele Vorteile, wie beispielsweise einen besseren Brandschutz, ein direktes verfüllen der Lücken und eine gleichzeitige Funktion als Raumabschluss. Das Weglassen sämtlicher Folien wird kontrovers diskutiert. Es bringt jedoch bei der diffusionsoffenen Bauweise jede Menge interessanter Aspekte mit sich. Welche unter anderem in dem späteren Kapitel 3.3.3. „Dampfbremse vs. Direktverputzung“ aufgegriffen werden.

4.1.3. Gewählte Lösung

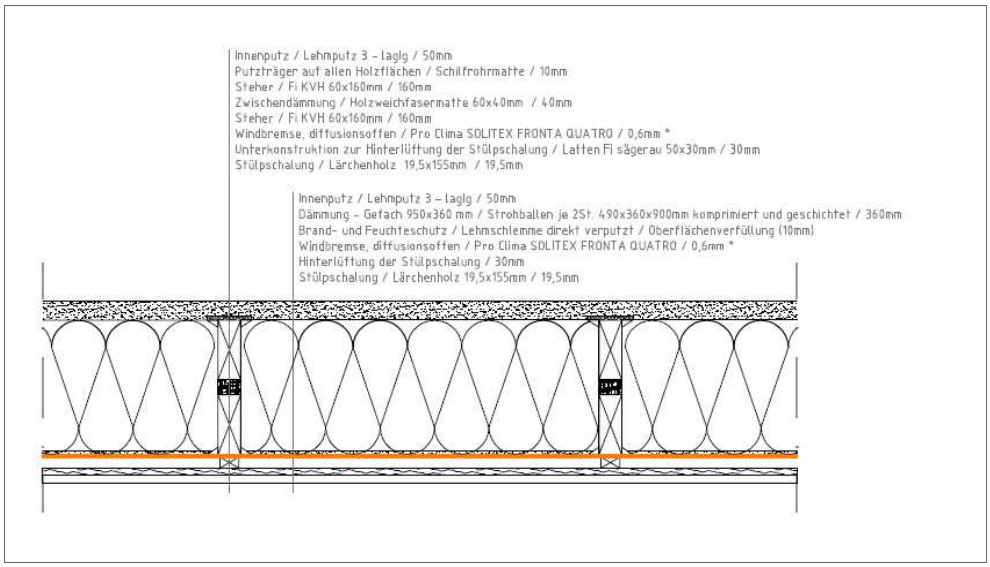


Abbildung 4-14: Wandaufbau - Horizontalschnitt M 1:20 [eigene Zeichnung]
- Dieses Detail ist in einer übersichtlicherer und detaillierteren Ausführung im M 1:10 im Anhang in DIN A3 zu finden

Abbildung 4-14 und 4-15 zeigt die von mir gewählte Lösung für den Wandaufbau. Bei der Grundkonstruktion habe ich mich für eine Holzrahmenbauweise entschieden, welche die Tragkonstruktion und die Dämmfunktion in einer Ebene kombinierbar macht. Die Holzsteher sind zwei geteilt und in der Mitte durch eine

Holzweichfaserlage unterbrochen, um deren Wärmeleitfähigkeit zu verringern. Dieser Aufbau entspricht in etwa der modifizierten Holzständervariante des „infill“-Systems. Die Ballen sind stehend eingebracht, mit der Halmrichtung parallel zum Wandaufbau orientiert. So wird die beste mögliche Dämmwirkung erreicht. Ebenso können die nach außen zeigenden Seiten der Strohballenseite als Putzträger genutzt werden, welches die Gesamtstärke des Wandaufbaus minimiert. Die Strohballen werden mit Dreiecksleisten innen und außen in den Gefachen stabilisiert. Nach innen habe ich mich, ebenso wie bei vielen traditionellen Ausführungen, für einen dreilagigen Lehmputz entschieden, welcher keine zusätzliche Dampfbremse nötig macht.

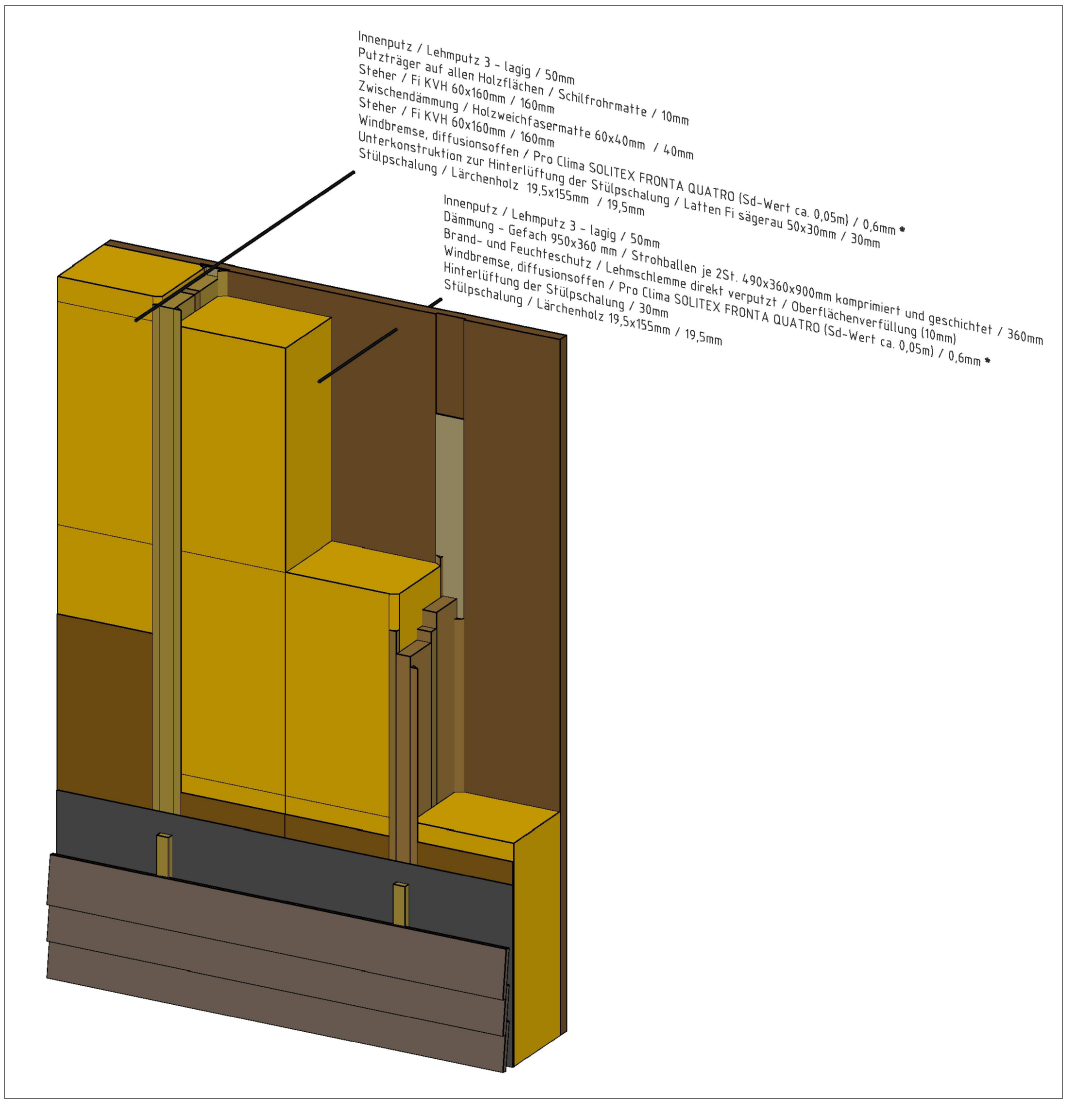


Abbildung 4-15: Wandaufbau - 3D [eigene Zeichnung]

Die vielen Beispiele und Ausführungen, die ich selbst in den Häusern, die ich besuchte gesehen habe und auch die Gespräche mit Bauherren und Bewohnern, haben mich zu der Überzeugung kommen lassen, dass dieser Aufbau am weitesten den gewünschten Kriterien entspricht. Ebenso zeigen die

Untersuchungsergebnisse von Klatecki, aber vor allem auch die vielen gebauten Beispiele von Scharmer in Sieben Linden, das direkt verputzte Strohballenwände ohne Dampfbremse durchaus auch eine Passivhaus taugliche Lösung sein können.
Auf Grund der Klimabedingungen in Mitteleuropa, den vor allem im süddeutschen Raum relativ häufigen Starkregenereignissen und Gesprächen mit Besitzen von außen mit Lehm verputzen Strohballenhäusern, habe ich mich als Außenverkleidung für eine vorgehängte Wetterschale entschieden. Hier berichteten mir einige der Bewohner zudem von zugigen Wintertagen. Bei ihnen wurden außen bei direkt verputzen Strohwänden maximal die Stöße zwischen Strohballen und Holzständer mit einem Baupapierstreifen zusätzlich abgedichtet. So schließe ich darauf, das eine außenseitige, vollflächig angebrachte Windbremse vor allem für die kalten Wintertage von Nöten ist. Scharmer hat bei dem aktuell entstehenden Strohballen-Wohnhaus „Nachtigall“ in Sieben Linden einen eben solchen Wandaufbau gewählt und zusätzlich die Strohballen von außen mit einer Lehmschlemme versehen, um den Brandschutz zu verbessern. Diese ist auch teil meines Wandaufbaues, da zusätzlich die Oberfläche der Strohballen geebnet wird und das Anbringen einer Windbremse dadurch erleichtert wird. Die äußere Stülpschalung trägt als solche nur wenig zum Schallschutz bei. Jedoch weißt der beidseitig mit Lehm verputzte Dämmbereich, also die Strohballenschicht selbst gute Schallschutzeigenschaften auf. Alle durchlüfteten Fassadenbereiche sind zusätzlich durch einen Insektenschutzgitter geschützt.

4.2. Anschluss Fenster / Tür

4.2.1. Recherche

Bei Fenster- und Türanschlüssen ist die Lage des Fensters oder der Tür in der Wandebene ebenso wichtig, wie die genaue Konstruktion der dazugehörigen Einbauelemente, wie zusätzliche Dämmstreifen und weiter geführte Folien.
Die konstruktiven Lösungen, welche aus den bauphysikalischen Anforderungen heraus entstehen, sind bei Fenstern und Türen gleich. Daher werde ich in diesem Kapitel exemplarisch nur auf einige der verschiedenen Fensteranschlüsse eingehen. Durch die konstruktiven Eigenschaften des Strohballenbaus ist es möglich die Fenster- und Türlaibungen, sowie in manchen Fällen auch den dazu gehörigen Sturz abzurunden oder abzuschrägen. Dies ist ein charakteristisches und optisches Merkmal für eine mit Strohballen gedämmte und mit Lehm direkt verputze Wandkonstruktion. Es dient dem besseren Lichteinfall, welcher oftmals durch eine große Wandstärke im Strohballenbau minimiert ist. So ist dieses Kapitel in die gestalterischen Varianten der abgerundeten bzw. abgeschrägten und der geraden Fensterlaibungen unterteilt.

Varianten mit abgerundeter oder abgeschrägter Fensterlaibung

Minke zeigt in Abbildung 4-16 und 4-17 zwei Varianten einer stark geöffneten Laibung. Die erste Variante ist abgerundet. Hier wird die Strohdämmung durch

dünne Latten gehalten, an deren Außenseite Schilfrohrmatten befestigt sind. Diese werden anschließend mit Lehm überputzt. Die zweite Variante zeigt eine abgeschrägte Fensterlaibung. Hier wird die Strohdämmung durch eine schräg verlaufende Kastenzarge gehalten, welche auf dem angrenzenden Innenputz abschließt. [Minke et al., 2009]

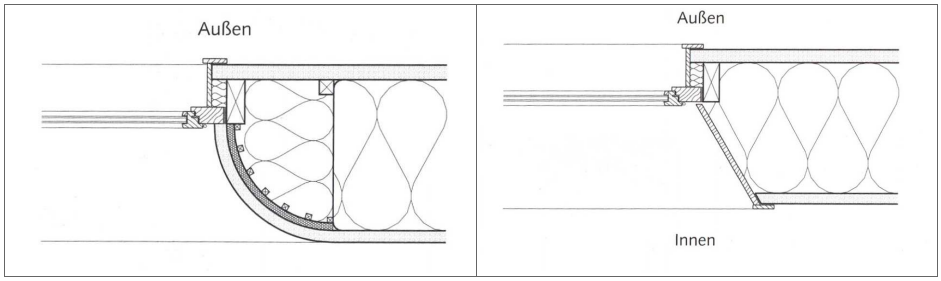


Abbildung 4-16 und 4-17: Minke, abgerundete und abgeschrägte Fensterlaibung, horizontal Schnitt [Minke et al., 2009, S. 56]

Die von Scharmer gewählte Lösung, welche im Detail in Abbildung 4-18 und 4-19 zu sehen ist, nutzt die Abrundbarkeit der Gefachkanten für einen besseren Lichteinfall. Zugleich ist der Fensterrahmen wärmeschutztechnisch durch die Überdämmung optimiert. Die von Scharmer eingesetzten, durchgehenden Vollholz Bohlenständer oder je nach Region auch Steher genannt, erhalten an der seitlichen und oberen Innenkanten des Fenstergefaches einen fast auf Null zulaufenden 45°-Winkel. Die weitere Ausbildung der Rundung erfolgt durch den nachträglich aufgetragenen Lehmputz. Bevor diese Holzflächen verputzt werden, werden sie wie alle anderen Holzflächen mit einem Putzträger verkleidet. Dies kann eine sehr enge Schilfrohrmatte oder eine sehr flache Holzfaserdämmplatte sein, welche max. 10mm stark ist. In der Variante von Scharmer wird der Fensterrahmen auf der Außenseite mit 2 bis 4 Lagen einer 20mm starken und stufig eingebauten Holzfaserdämmplatte überdeckt. Diese Überdämmung wird anschließend mit dem Außenputz, hier Luftkalkputz, gerundet verputzt. [Scharmer, 2013]

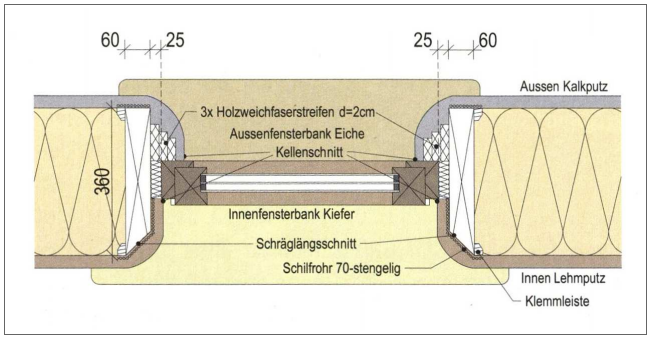


Abbildung4-18: Scharmer, Fensterlaibung, horizontal Schnitt [Scharmer, 2013, S. 33]

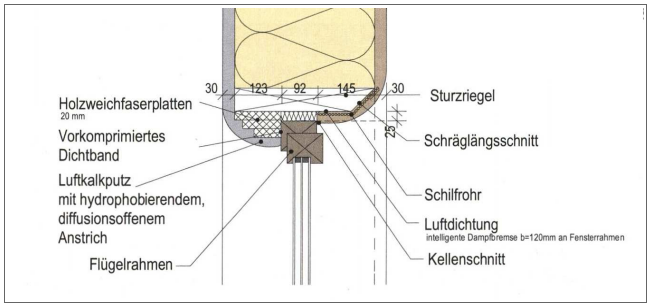


Abbildung 4-19: Scharmer, Fenstersturz, vertikal Schnitt [Scharmer, 2013, S. 33]

Die von Haage gewählte Lösung, welche in Abbildung 4-20 zu sehen ist, zeigt eine stark abgeschrägte Innenkante der Fensterlaibung. Die Strohdämmung wird durch eine Kastenzarge gehalten. Der außen überdämmte Bereich des Fensterrahmens verschwindet hinter der vorgezogenen Stülpschalung der Außenverkleidung. Die Holzverkleidung der Fensterlaibung innen schließt mit der Holzverkleidung der Außenwand ab.

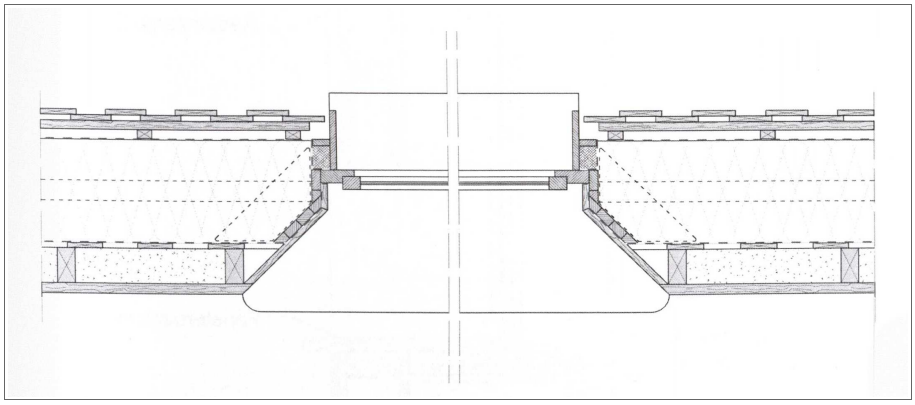


Abbildung 4-20: Haage, abgeschrägte Fensterlaibung, Schnitt horizontal [Haage, 2008, S. 119]

Varianten mit gerader Fensterlaibung

Minke zeigt in Abbildung 4-21 und 4-22 mögliche Varianten einer geraden Fensterlaibung. Die erste Abbildung zeigt den Fensteranschluss an einen Holzsteher mit einem recht kleinen Querschnitt. Der Fensterrahmen ist überdämmt und die Kanten des Lehmputzes außen und innen werden durch eine Putzschiene scharfkantig abgeschlossen, können aber hier auch durch die direkte Verputzung der Dämmung abgerundet ausgebildet werden. Die zweite Abbildung zeigt einen zwei geteilten und zwischen gedämmten Steher. Um das Fenster hier mittig in der Dämmebene anzubringen wird der geteilte Steher mit einer Kastenzarge verkleidet. Der Fensterrahmen hier ist jedoch nicht überdämmt.

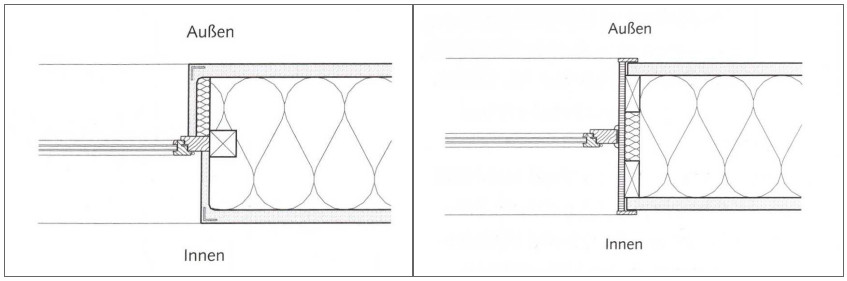


Abbildung 4-21 und 4-22: Gerade Fensterlaibungen im Schnitt horizontal [Minke et al., 2009, S. 56]

Die Variante von Haages gerader Fensterlaibung ist in Abbildung 4-23 zu sehen. Abbildung 4-24 ergänzt diese mit der Darstellung der vertikalen Fensteranschlüsse. Hier gibt es keinen weiteren Unterschiede zur abgeschrägten Variante, außer das die zum Innenraum abschließende Kastenzarge rechtwinklig zum Wandaufbau verläuft.

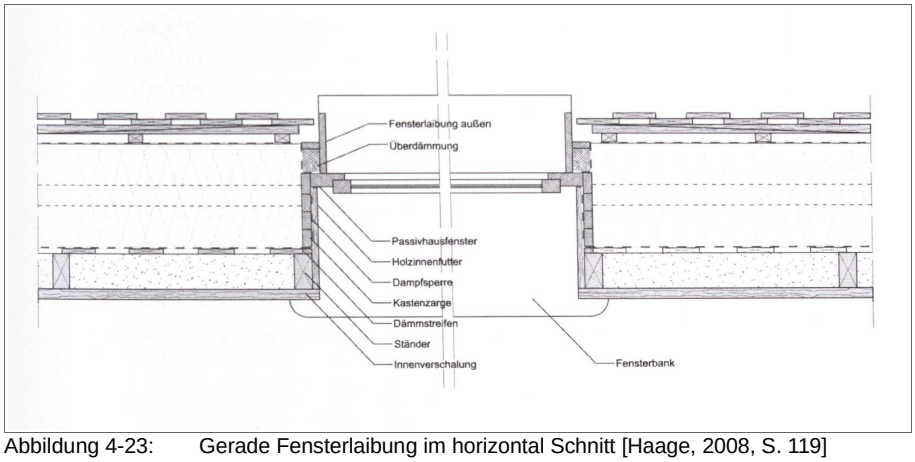


Abbildung 4-23: Gerade Fensterlaibung im horizontal Schnitt [Haage, 2008, S. 119]

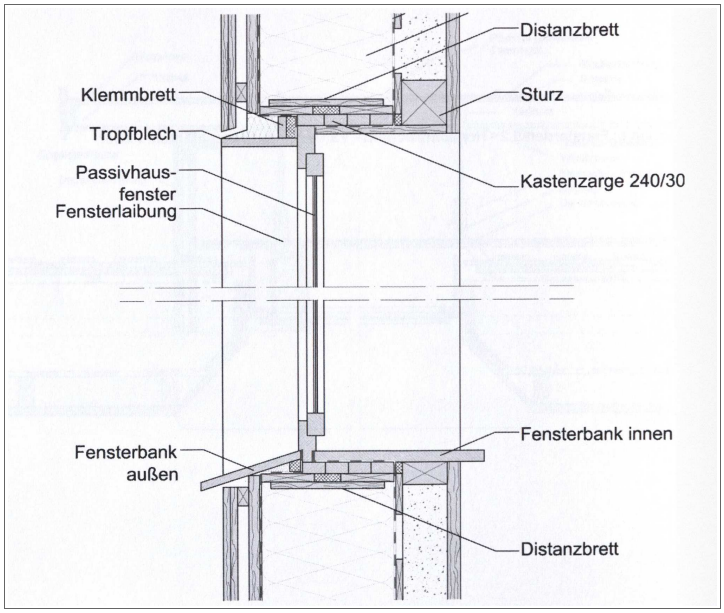


Abbildung 4-24: Fensteranschluss im Schnitt vertikal [Haage, 2008, S. 120]

4.2.2. Vergleich

Bei den abgerundeten und abgeschrägten Varianten des Fensteranschlusses von Minke sitzen die Fenster recht weit außen in der Dämmebene. Hier ist deutlich zu erkennen, dass eine solche Gestaltung der Fensterlaibung zum besseren Lichteinfall bauphysikalische Nachteile birgt. Die starke Abschrägung der inneren Fensterlaibung wie bei Haage in Verbindung mit einem mittig in der Dämmebene sitzenden Fensteranschluss ist dort nur durch den extrem starken Wandaufbau durch die zusätzliche Speicherebene bauphysikalisch möglich.
Die möglichen Varianten der Fensteranschlüsse mit einer geraden Fensterlaibung sind die konstruktiv einfacheren Lösungen an denen die bauphysikalisch wichtigen Anschlusspunkte leichter zu lösen sind.
Scharmer ist es gelungen eine sinnvolle und einfache Kombination der beiden beschriebenen Gestaltungsmöglichkeiten zu entwerfen. Seine leicht abgerundete Variante mit den am Ende abgeschrägten Gefachkanten erfüllt alle nötigen bauphysikalischen Anforderungen und lassen gleichzeitig einen größeren Lichteinfall zu.

4.2.3. Gewählte Lösung

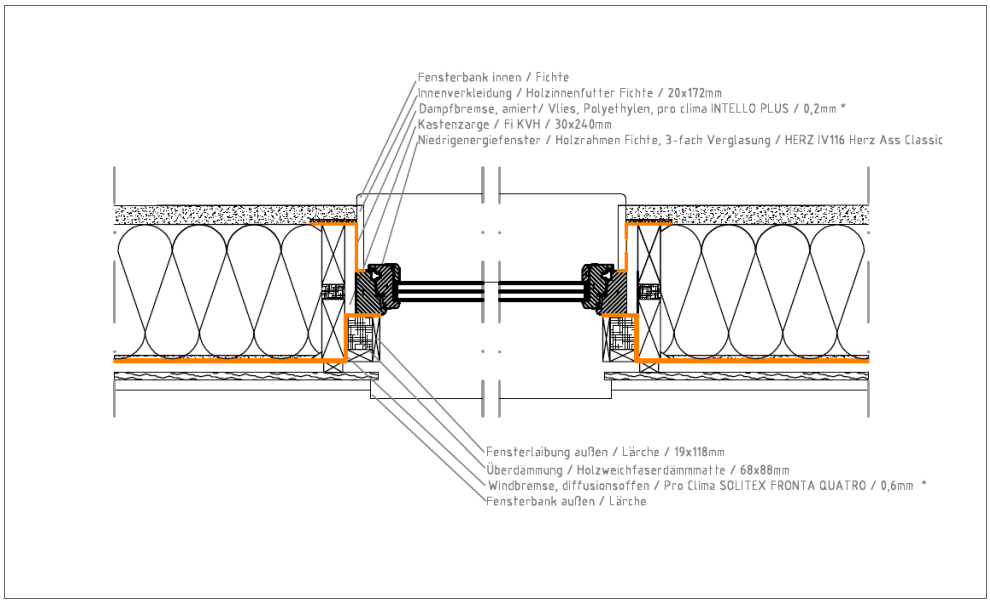


Abbildung 4-25: Fensteranschluss, horizontal Schnitt M 1:20 [eigene Zeichnung]
- Dieses Detail ist in einer übersichtlicherer und detaillierteren Ausführung im M 1:10 im Anhang in DIN A3 zu finden

Bei der gewählten Variante wird der zwei geteilte und zwischen gedämmte Steher etwa zu zwei dritteln von innen nach außen mit einer Kastenzarge abgedeckt. Wie in Abbildung 4-25 und 4-26 zu sehen, ermöglicht dies eine außenseitige Überdämmung des Fensterrahmens.
Eingebaut wird ein Niedrigenergiefenster der Firma HERZ, welches aus Fichtenholz und einer dreifach Verglasung gefertigt wird [HERZ Fenster, 2013].

Ebenso sind die innere Fensterlaibung und die innere Fensterbank aus Fichte. Der Innenputz stößt seitlich an die innere Fensterlaibung und schließt mit dieser bündig ab. Die äußeren Bauteile des Fensteranschlusses wie die Fensterlaibung, die Abschlussleisten und die Fensterbank sind, ebenso wie die Stülpschalung, wegen der besseren Witterungsbeständigkeit aus Lärchenholz gefertigt. Die äußere diffusionsoffene Dampfbremse verläuft hinter der Holzweichfaserdämmmatte der Überdämmung des Fensterrahmens und schließt hinter der Fensterlaibung am Fensterrahmen ab. Innen wird zur Herstellung der luftdichten Ebene eine zusätzlich armierte Dampfbremse als Abschluss und Anschluss des Innenputzes zum Fensterrahmen hinter den Laibungsbrettern eingebracht.

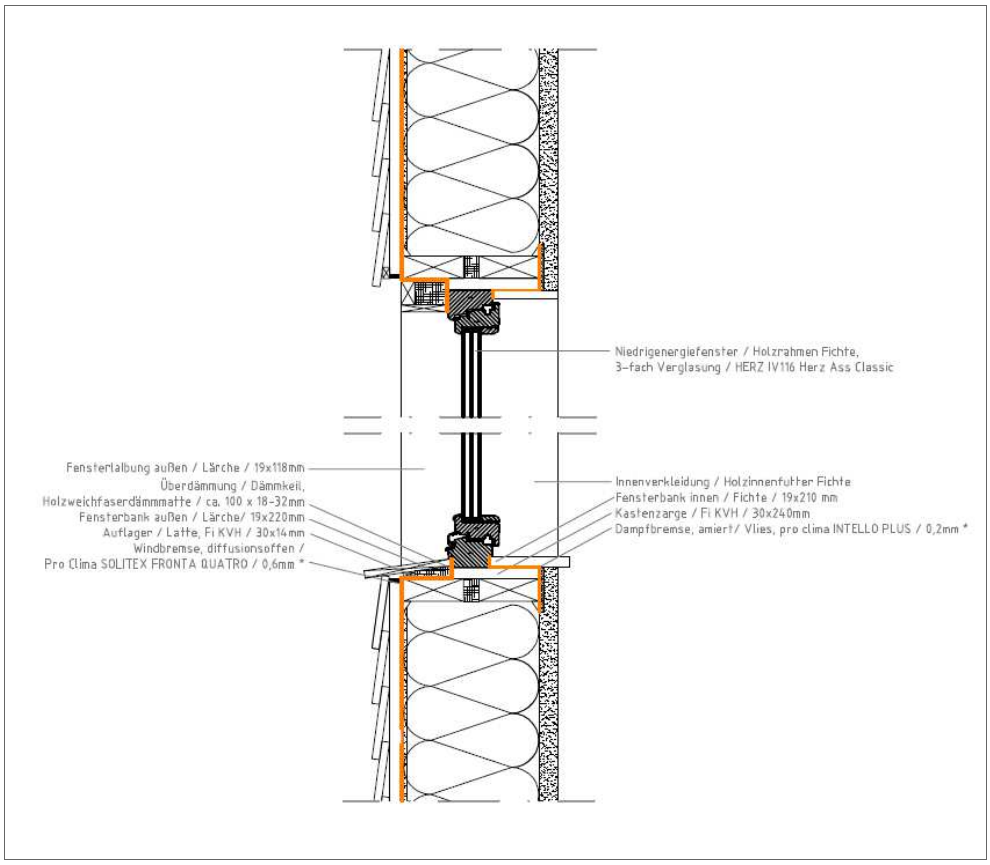


Abbildung 4-26: Fensteranschluss, vertikal Schnitt M 1: 20 [eigene Zeichnung]

- Dieses Detail ist in einer übersichtlicherer und detaillierteren Ausführung im M 1:10 im Anhang in DIN A3 zu finden

4.3. Bodenaufbau / Fundament

Die Gestaltung und Ausbildung eines Fundamentes hängt von der Frosttiefe, der Beschaffenheit und Tragfähigkeit des Bodens ab. Da Strohballenwände in der Regel stärker sind als konventionelle Außenwände wird auch das benötigte Fundament breiter und größer und somit auch teurer. Deswegen greifen viele Strohballenbauer auf ein Punkt- oder Streifenfundament zurück. Über die kurzen

Fundament-Stücke wird dann eine Balkenlage gelegt. Aus ökologischer sich entscheiden sich viele Bauherren für eine Variante aus lokalen Materialien wie gefundenen Natursteinen oder recycelten Materialien oder Gegenständen. Eine ebenso wirtschaftliche Lösung kann eine Wärmedämmschicht aus Schaumglasschotter sein, auf welche der Aufbau des Fußbodens gelegt wird. Schaumglasschotter besteht aus geschäumten Altglas, welches für die Glasherstellung nicht wiederverwendet werden kann.
[Minke et al., 2009]

4.3.1. Recherche

Club 99 - Sieben Linden

Für unkonventionelle Lösungen auch im Baubereich ist das Ökodorf Sieben Linden bekannt. Das wohl interessanteste Bauwerk ist das Gemeinschaftswohnhaus des Club 99. (siehe Abbildung 4-27) Es hat in etwa die Größe eines Einfamilienhauses und wurde komplett von Hand erbaut, d.h. ohne elektrische oder motorisierte Werkzeuge. Die Bauzeit betrug zwei Jahre und beinhaltete tausende von Arbeitsstunden. Alle verwendeten Baumaterialien sind recycelte Gegenstände wie zum Beispiel die Fenster oder die Dachziegel. Baustoffe wie Stroh, Lehm und Holz stammen aus der unmittelbaren Umgebung des Grundstückes. Das Gebäude wurde nicht nur ohne elektrischen Strom erbaut sondern auch lange Jahre ohne elektrischen Strom betrieben und bewohnt.

Abbildung 4-27: „Club 99“, Süd-Fassade, Wohngemeinschaftshaus in Sieben Linden [eigenes Photo]

Das wohl skurrilste an diesem Gebäude ist das Fundament aus alten Grabsteinen. Auf einem benachbarten Friedhof wurde ein Gräberfeld geräumt und so hat man einige der alten und ausgedienten Grabsteine recycelt und als Punktfundamente unter die Balkenlage des Sockels gelegt, was in Abbildung 4-28 zu sehen ist. Die übrig geblieben Grabsteine kann man heute noch, bereits leicht zugewachsen, in unmittelbarer Nachbarschaft des Gebäudes herum liegen

sehen. Diese werden sicherlich noch Verwendung in Sieben Linden finden.

Abbildung 4-28: „Club 99“, Fundament, Wohngemeinschaftshaus in Sieben Linden [eigenes Photo]

Das Gebäude hat 12 Fundamentpunkte, die an jeder Ecke des Gebäudes und an je zwei weiteren Auflagern pro Wandseite liegen. Dort liegen unter der untersten Rundbalkenlage drei Grabsteine sichtbar über der Erdoberfläche, wie viele darunter liegen konnte mir keiner beantworten. Zwischen dem obersten Grabstein und dem ersten runden Tragbalken des Sockels liegt als Zwischenpuffer ein Holzblock, der das Abreiben und Beschädigen der Rundbalkenlage an den kantigen Grabsteinen verhindert. Darüber kommt wie in der Abbildung sichtbar eine weitere Rundbalkenlage und danach beginnt der eigentliche Sockel der Strohballenwand, der hier mit einem der beiden umlaufenden Kanthölzer als Auflager zu sehen ist. Danach kommt eine weitere umlaufende Balkenlage auf der die Strohballen direkt aufgesetzt sind und anschließend verputzt wurden.

Varianten – Minke

Ökologische und ökonomische Aspekte in eine Bauweise einzuarbeiten fördert kreative und unkonventionelle Ideen und Lösungen. Mike Renolds, der Begründer des Earthship-Bewegung hat zahlreiche Lösungen im Bereich des Recyclings von Altreifen für Fundamente entwickelt, welche auch in Europa Anwendung finden. Hewitt und Telfer haben in ihrem Buch „Earthships in Europe“ einige davon in Anwendung gezeigt und beschrieben. [Hewitt et al., 2012]
Leider ist es für solche experimentelle Bauten sehr schwierig auch nur eine Zulassung im Einzelfall zu erlangen. So soll die österreichische Earthship-Gruppe nach Jahren der Arbeit an den baubürokratischen Hürden gescheitert sein. Die deutsche Earthship-Allgäu Gruppe arbeitet der Zeit an der Ausführungsplanung und der damit verbundenen Genehmigungsfähigkeit. [vgl. Earthship-Allgäu]
Auch Minke greift die Altreifen-Variante als Sockel auf. So sind wie in Abbildung 4-29 zu sehen ist, zwei Altreifen übereinander gestapelt und mit Magerbeton gefüllt eine preiswerte Lösung die zugleich noch ein gute Alternative für Abfall darstellt, für den derzeit nur eine Restmülldeponie übrig bleibt.
Minke empfiehlt die Altreifen mit mineralischem Bauschutt oder großen Steinen

zu befüllen um Beton einzusparen. [vgl.[Minke et al. 2009]]
Der Magerbeton hat nach oben einen leichten Überstand und wird von einer Lattung eingefasst, die eine OSB-Platte mit darüber liegender Dampfsperre trägt, auf der die Strohballenwand aufgesetzt ist. Der Fußbodenaufbau besteht von unten nach oben aus einer Ausgleichsschüttung, welche mit einer Feuchtigkeitssperre versehen wird, so dass die darauf liegenden Paletten vor Nässe geschützt sind. Die darüber liegenden Strohballen werden mit einer Dampfsperre abgedeckt und mit einer Ausgleichsschüttung geebnet, so dass die darauf liegenden OSB Platten den Rohfußboden bilden. Ein ganzliches Detail ist in Abbildung 4-30 zu sehen. Hier hat Minke den Sockel und Fußbodenaufbau aus einer durchgängigen Konstruktion gestaltet. Diese besteht aus zwei Lagen von Paletten in deren Hohlräumen sich Dämmschüttung befindet. Diese Dämmschüttung kann nach Minke aus wiederverwendeten Verpackungsmaterialien aus Polystyrolschaum bestehen. Hier muss der Sockel mit einer Noppenfolie vor Spritzwasser und sonstigen Witterungseinflüssen geschützt werden. [Minke et al. 2009]

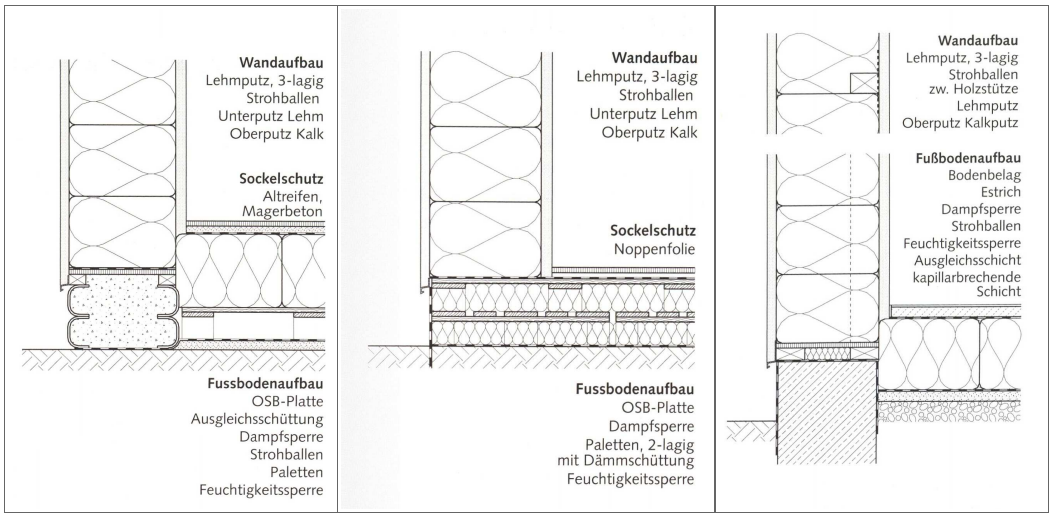


Abbildung 4-29: Fundament und Sockel, Variante – Altreifen / Magerbeton [Minke at al., 2009, S. 51]
Abbildung 4-30: Fundament und Sockel, Variante – Paletten / Noppenfolie [Minke at al., 2009, S. 51]
Abbildung 4-31: Fundament und Sockel, Variante – Streifenfundament - Stahlbeton [Minke at al., 2009, S. 51]

In Abbildung 4-31 ist dagegen eine konventionelle Variante zusehen. Hier wurde ein Streifenfundament aus Stahlbeton gegossen, welches gleichzeitig den Sockel bildet. Als Schutz vor aufsteigender Feuchtigkeit liegt auf einer Feuchtigkeitssperre umlaufend eine Lattenlage auf, welche durch eine Zwischendämmung getrennt ist. Darauf folgt eine OSB-Platte auf der die Strohballenwand steht. Der Bodenaufbau besteht aus einer Lage Strohballen welche nach unten durch eine Feuchtigkeitssperre, eine Ausgleichsschicht und eine kapillarbrechende Schicht geschützt und getragen werden. Nach oben sind die Strohballen durch eine Dampfsperre geschützt und tragen den Estrich und den jeweils gewählten Bodenbelag. [Minke et al. 2009]

Staudenschreiner ist eine regional ansässige Baufirma, welche ökologische Holzhäuser in Holzrahmenbauweise baut. Da ich mich bei meinem Strohballenbau für eine Holzrahmenbauweise entschieden habe, möchte ich in meiner Recherche und in meinem Vergleich Baudetails aus dem Holzrahmenbau aufnehmen, welche der gebauten Wirklichkeit entsprechen und einem ökologischen Grundprinzip folgen.
Bei dem hier gezeigtem Fundamentanschluss ist ein Streifenfundament zu sehen, welches mit ca. 30 cm aus dem Boden ragt und damit eine Hinterlüftung für die aufgesetzte Bodenplatte darstellt. Eine solche Hinterlüftung würde auch einer mit Strohballen gedämmten Bauweise zugute kommen. Die Bodenplatte hat im Bereich der Dämmgefache einen U-Wert von 0,11 W/m²K und für die Bereiche der Stegträger einen U-Wert von 0,16 W/m²K. Seitlich ist sie durch einen druckstabilen Funierschichtholzträger und eine sog. H²O-Platte abgedichtet. [Staudenschreiner-a, 2013]

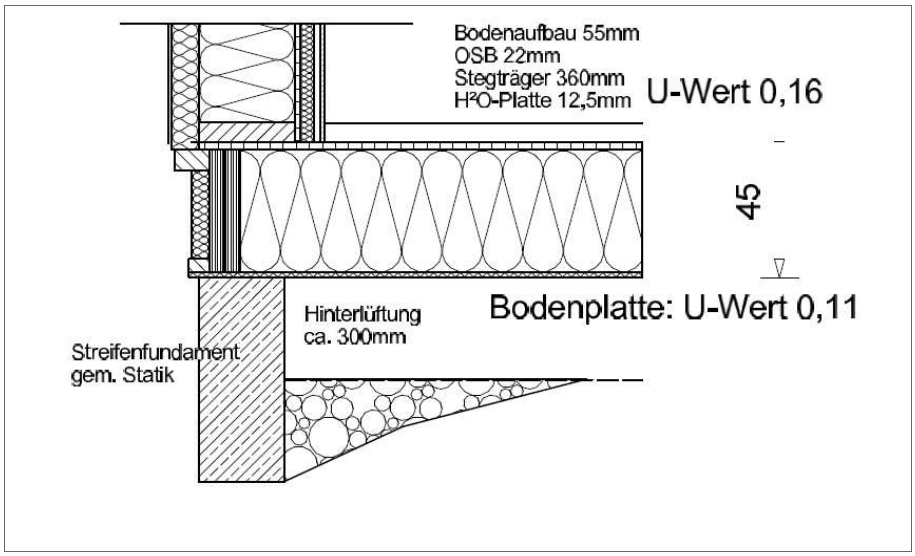


Abbildung 4-33: Streifenfundament, Holzrahmenbau [Staudenschreiner-a, 2013]

Die Bodenplatte selbst besteht, wie in Abbildung 4-33 zu sehen ist, aus 360mm Gefach, welches mit Zelluloseflocken ausgeblasen ist und durch Stegträger geteilt und ausgesteift wird. Den unteren Abschluss bildet eine H²O-Platte und nach oben sind die Flocken durch eine OSB-Platte geschützt und mit dem weiteren Bodenaufbau bedeckt. [Staudenschreiner-a, 2013]

4.3.2. Vergleich

Die Club 99 Variante ist sicherlich die beeindruckendste und unkonventionellste, sogleich aber auch für weitere Nachahmungen eher schwierig. Die Grabsteine sowie auch die Rundbalken sind aus lokalen Gegebenheiten entstanden und

können somit auch nicht an jedem beliebigem Ort gleich viel Nachhaltigkeit entstehen lassen. Die beiden ersten Varianten von Minke dagegen sind auf Grund ihrer aller Orts vorhandenen und als Recycling verwendeten Abfallprodukte durchaus für die Nachahmung geeignet. Hier kommt es jedoch sehr auf die Größe des umbauten Raumes an, da eine solche Sockelausbildung für kleinere Gebäude mit ein bis zwei Räumen durchaus eine sinnvolle Variante darstellt kann, bei größeren Projekten aber wohl an der nicht ausreichenden Tragkraft scheitern wird. Und schließlich und letztlich können solche Möglichkeiten vor allem an der Genehmigungsfähigkeit, die in Deutschland nicht gegeben ist, scheitern. Die Fundament Variante der Baufirma Staudenschreiner ist auf Grund der Hinterlüftung der Bodenplatte ohne jeglichen Kontakt dieser zum Baugrund wohl am geeignetsten für einen Strohballenbau und auch am ehesten realisierbar, wenn es um Zulassungen und Genehmigungen geht.

4.3.3. Gewählte Lösung

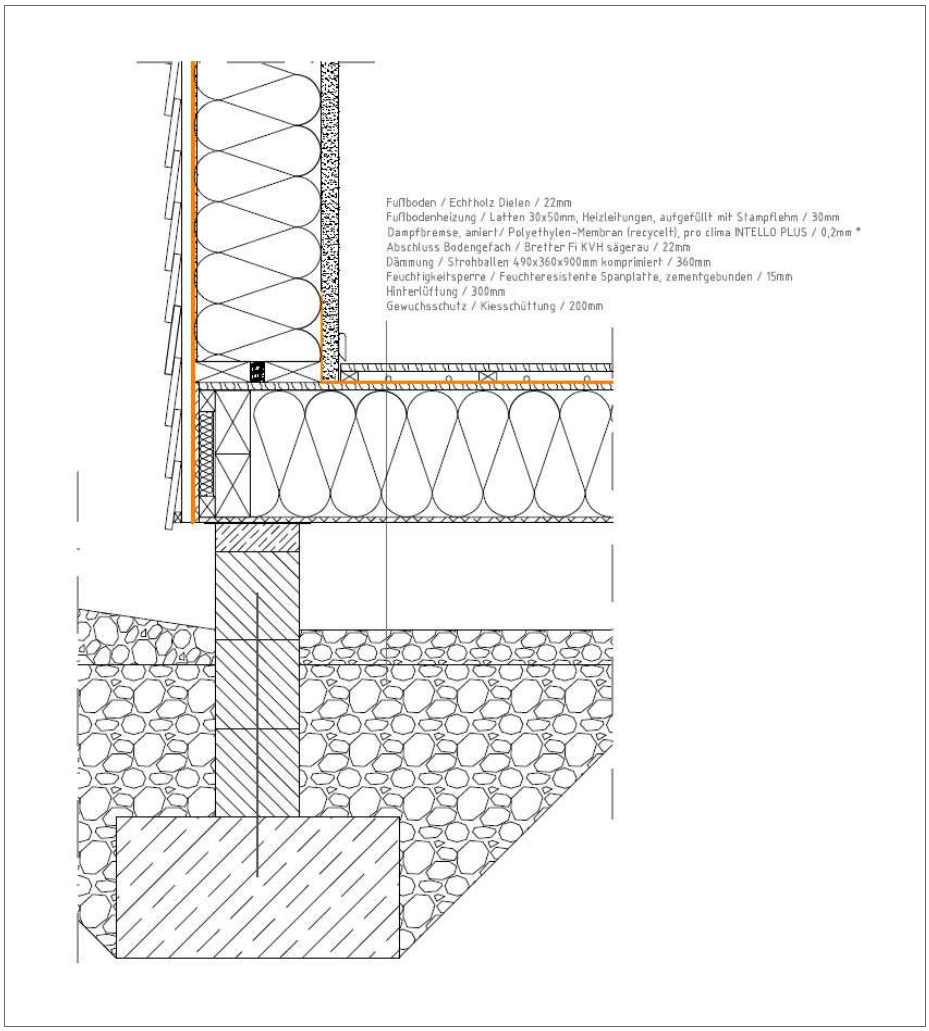


Abbildung 4-34: Fundament, Sockel und Bodenplatte - Vertikalschnitt M 1:20 [eigene Zeichnung]
- Dieses Detail ist in einer übersichtlicherer und detaillierteren Ausführung im M 1:10 im Anhang in DIN A3 zu finden

Viele Wohnhäuser, die mit Stroh als Dämmung gebaut wurden, haben kein Stroh als Dämmung in der Bodenplatte. Dies hat die unterschiedlichsten Gründe, einer der wesentlichsten ist jedoch die Feuchteempfindlichkeit von Stroh. So wird oftmals auch gerne Schaumglasschotter als ökologische Alternative zu Stroh in Verbindung mit strohgedämmten Außenwänden gewählt.
Für diesen Entwurf habe ich mich für eine Kombination eines Holzrahmenbaus mit Stroh als Dämmmaterial entschieden. So möchte ich auch das Potential dieser leichten Bauweise nutzen und eine Material gerechte Lösung für das Fundament und den Bodenaufbau integrieren. (siehe Abbildung 4-34)
Die Holzrahmenbauweise bietet eine Variante, bei der die Bodenplatte als Ganzes hinter- bzw. unterlüftet wird. Dies kommt den Bedürfnissen von Stroh als Dämmmaterial am nächsten. Das Fundament mit Fundamentsockel hat die geringst mögliche Ausbildung um den Boden nicht vollflächig zu versiegeln. Die unter der Bodenplatte befindliche Kiesschüttung verhindert das ansiedeln von Pflanzen unter der Bodenplatte, so ist der Boden zwar für die Vegetation versiegelt, jedoch nicht für eindringendes Regenwasser, welches so dem natürlichen Kreislauf wieder zu geführt werden kann.
Der Fundamentsockel an sich besteht aus einer Kombination von Stahlfaserbeton mit eingesetzten Hohlblocksteinen als einer Schalung. Stahlfaserbeton (siehe Abbildung 4-35) besteht aus Beton dem Stahlfasern zugemischt wurden, welche die Eigenschaften und Aufgaben einer Mattenbewehrung übernehmen. Stahlfaserbeton ist Beton der gemäß DIN 1045 zugelassen ist. Er ist im Gegensatz zu herkömmlichen Stahlbetonkonstruktionen deutlich Kostenreduziert, hat einen vereinfachten Einbau und damit verbunden eine kürzere Einbauzeit. Stahlfaserbeton hat eine Verbesserte Betonqualität bei verminderter Rissbildung und benötigt keine Sauberkeitsschicht. [Schmid, 2013]

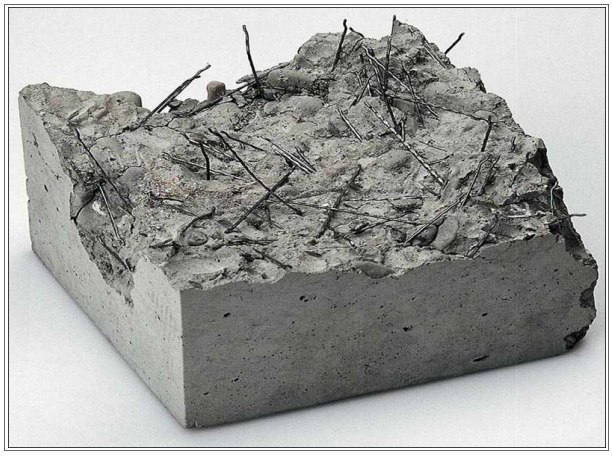


Abbildung 4-35: Stahlfaserbeton [baulinks-a, 2013]

Diese Mischkonstruktion ist vor Ort nur durch den Einsatz eines Betonmischers mit Förderband in relativ kurzer Zeit herzustellen. Es bestünde auch die Möglichkeit das Fundament aus einem Guß mit einer Schalung vor Ort zu fertigen. Dies würde aber einen erheblich höheren Aufwand bedeuten und ist somit etwas Zeit und Kostenintensiver. Bei beiden Vorschlägen für den Fundamentsockel ergibt sich die Möglichkeit nach Ende der Lebensdauer des Gebäudes, den gesamten Fundamentstreifen auszugraben und mit Hilfe von

Schwerlastmaschinen an anderer Stelle erneut als Fundament zu nutzen.
Die Bodenplatte ist von unten mit einer feuchte resistenten Spanplatte verkleidet, deren Stöße durch Abdichtungen versiegelt werden und welche die Strohdämmung von unten her schützen. Die Tragkonstruktion besteht zugunsten einer geringeren Aufwendung an Herstellungsenergie aus Konstruktionsvollholzbalken aus Fichte und nicht aus den aufwendiger herzustellenden Stegträgern. Darüber werden die Dämmgefache mit einer Bretterlage aus sägerauem Konstruktionsvollholz abgeschlossen. Die Lage wird durch eine armierte Dampfbremse nach oben verschlossen.
Als Fußbodenaufbau kommt direkt darüber eine Fußbodenheizung, welche in Stampflehm eingearbeitet ist. In den Abbildungen 4-36, 4-37 und 4-38 sind die einzelnen Arbeitsschritte hierfür zu sehen. Der Stampflehm fungiert gleichermaßen als Trittschalldämmung wie als zusätzliche Speichermasse für die Wärme. Die dazwischen liegende Lattung trägt den Fußboden aus Massivholzdielen.

Abbildung 4-36: Fußbodenheizung, Rohrverlegung, hier auf OSB-Platten [Staudenschreiner-b, 2013]

Abbildung 4-37: Fußbodenheizung, Befüllung mit Stampflehm [Staudenschreiner-b, 2013]

Abbildung 4-38: Fußbodenheizung, fertige Befüllung mit Stampflehm [Staudenschreiner-b, 2013]

4.4. Dach

4.4.1. Recherche

Variante - Scharmer

Scharmer zeigt in seinem Vertikalschnitt in Abbildung 4-39 zum Dachaufbau eines mit Strohballen gedämmten Daches, die wohl einfachste und konventionellste Lösung in diesem Bereich. Die Strohballen liegen dabei in Gefachen, welche vom Abstand der senkrechten Rahmenkonstruktion der Außenwänden entsprechen, und werden von unten durch eine Holzschalung getragen. Scharmer hat hier eine feuchtevariable Dampfbremse zum Innenraum hin unter der Strohballenlage auf der Holzverschalung eingesetzt, um ein Schimmelrisiko möglichst gering zu halten. Anders als bei der Wand ist beim Dach darauf zu achten, dass dort viel extremere Temperaturen anliegen. Im Sommer können sich flache oder leicht geneigte Dächer besonders stark erhitzen und im Winter ebenso stark auskühlen. Hier ist es wichtig die Bedürfnisse und Möglichkeiten des Holzbaus gut mit der gewünschten Gestaltung und einer für Wärmebrücken optimierten Ausführung zu kombinieren. Nach außen werden die Strohballen mit einem direkten Lehmputz von 1cm abgeschlossen, bevor eine diffusionsoffene Unterspannbahn darüber gelegt wird. Zur Hinterlüftung wird darauf eine Konterlattung montiert und darauf die Dachlattung befestigt, welche die Dachziegeln als abschließende Schicht trägt. Im Innenraum wird die Holzverschalung mit Putzträgern aus Schilfrohrmatten bespannt und abschließend mit eine Schicht aus Lehmputz von 2cm verkleidet. [Scharmer, 2013]

Abbildung 4-39: Dachaufbau [Scharmer, 2013, S. 34]

Varianten - Minke

Minke erläutert in seinem Buch verschiedene Möglichkeiten ein mit Strohballen gedämmtes Dach konstruktiv auszuführen. Zwei der Varianten sind in Abbildung 4-40 und 4-41 zu sehen. Sie zeigen unterschiedliche Tragkonstruktionen und unterschiedliche Innenverkleidungen. Die Dachaufbau ist jeweils von außen nach innen ein Ziegeldach mit hinterlüfteter Konterlattung. Die Strohballen werden vor eindringendem Regenwasser durch eine bitumierte Weichfasermatte geschützt. Die Tragkonstruktion besteht in der ersten Variante aus Stegträgern und in der zweiten Variante aus Vollholzsparren. Zum Innenraum hin werden die Stegträger durch eine OSB-Platte abgeschlossen und mit Gipskartonplatten verkleidet um die Schalung feuerfest zu gestalten. Unter den Vollholzsparren verläuft eine Dampfsperre welche auf der nach innen abschließenden Holzschalung aufliegt. Die Dampfsperre könnte hier nach Minke eine PE-Folie sein, welche gleichzeitig als Rieselschutz dient, um kleinere Strohpartikel am herunterfallen durch die Fugen zu hindern. [Minke et al., 2009]

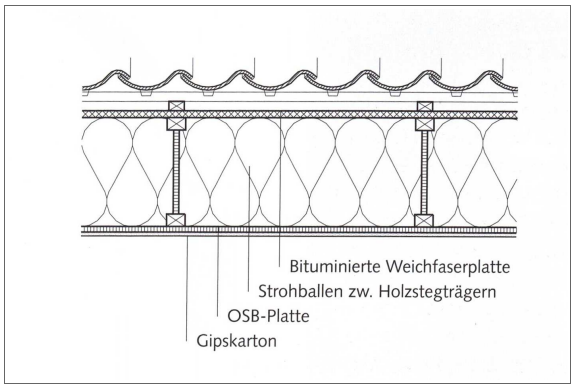


Abbildung 4-40: Dachaufbau - Stegträger [Minke et al., 2009, S. 44]

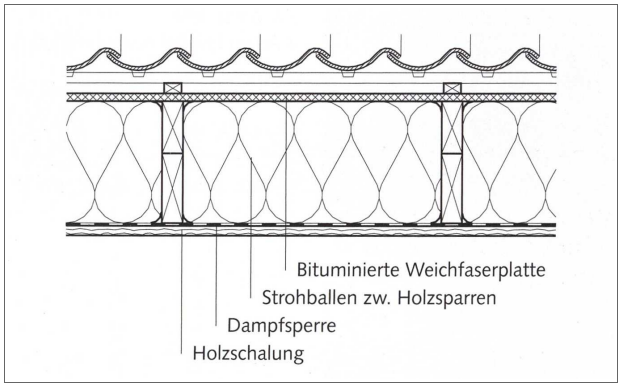


Abbildung 4-41: Dachaufbau - Sparren [Minke et al., 2009, S. 44]

In Abbildung 4-42 zeigt Minke die Variante einer Strohballen gedämmten Dachkonstruktion in Verbindung mit einem Gründach. Hier ist auch angeführt, das eine geringere Sparrenhöhe innerhalb der Holzkonstruktion zu erreichen ist, sobald die Sparren sich mit freiem Achsmaß und freiem Sparrenquerschnitt je nach Statik unterhalb der Dämmebene befinden und nicht in diese integriert sind. Die Strohballen liegen dort auf der aufliegenden Schalung, welche in diesem Fall aus OSB-Platten besteht, die Raum seitig wieder mit Gipskartonplatten verkleidet werden.
Sobald die Strohballen über der Tragkonstruktion liegen, ist die Dachhaut vor Windsogkräften durch eine spezielle Befestigung zu schützen. Hier muss nach Minke eine Hilfskonstruktion zur Montage der Dachhaut aufgebracht werden. Dieser Nachteil kann durch ein Gründach mit ausreichend dicker Substratschicht ausgeglichen werden. Hier kann die wasser- und durchwurzelungsfeste Dachhaut direkt auf die Strohballen gelegt werden. Da die Dachhaut des Gründaches eine Dampfsperre darstellt empfiehlt auch Minke die Anwendung einer adaptiven Dampfbremse auf der Unterseite der Dämmung anzubringen. So kann eventuell eindiffundierte Feuchtigkeit wieder in den Raum hinein austrocknen. [Minke et al., 2009]

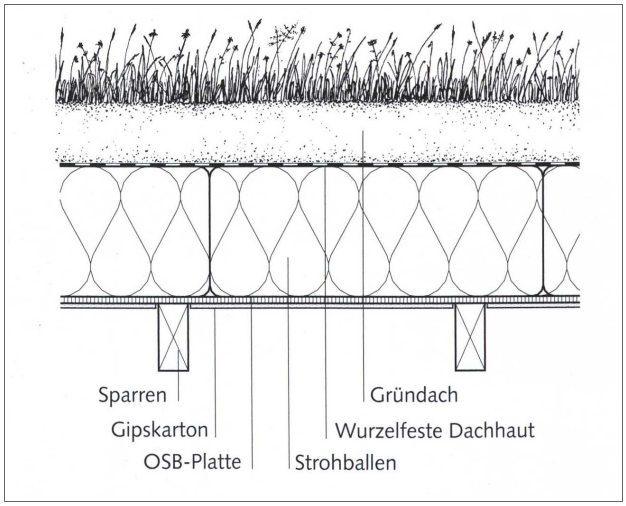


Abbildung 4-42: Dachaufbau – sichtbare Sparren und Gründach [Minke et al., 2009, S. 44]

Um einen Vergleich zu einem konventionellen Holzrahmenbau, wie er unter ökologischen Gesichtspunkten gestaltet wird zu haben, ist hier ein Dachaufbau aufgeführt welcher als herkömmliches Dämmmaterial Zelluloseflocken nutzt. (siehe Abbildung 4-43) Zum Innenraum sind die Gefache mit OSB-Platten verkleidet auf denen durch eine zusätzliche Lattung eine Fichte Dreischichtplatte als Raumabschluss angebracht wird. Die Gefache werden an den Seiten durch Stegträger ausgebildet und nach oben durch Holzfaserdämmplatten angeschlossen. Darauf folgt eine Konterlattung zur Hinterlüftung und die Dachlattung für die Dachziegel. [Staudenschreiner-a, 2013]

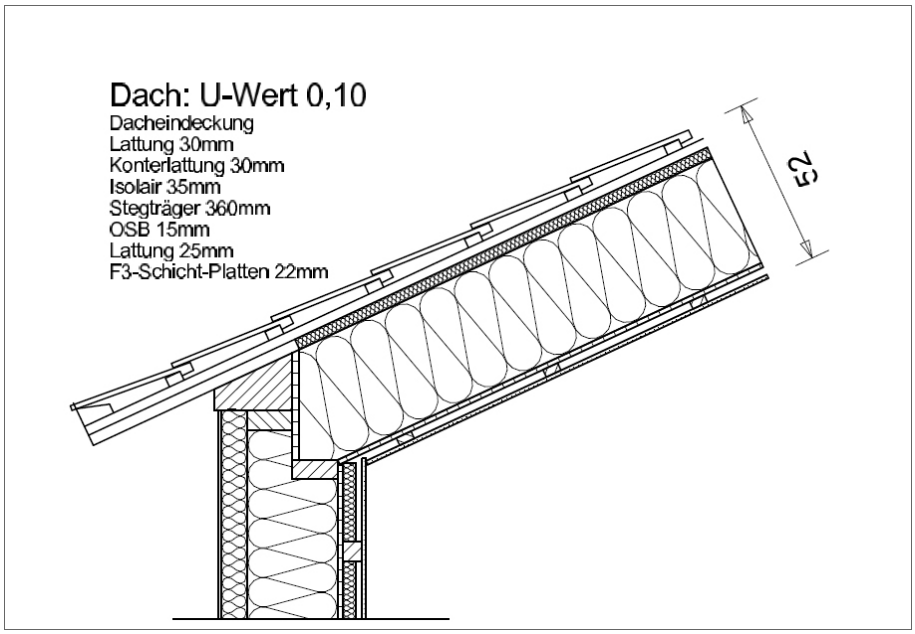


Abbildung 4-43: Dachaufbau, Holzrahmenbau [Staudenschreiner-a, 2013]

4.4.2. Vergleich

Betrachtet man die unterschiedlichen, beschriebenen Varianten eines Dachaufbaus mit einer Strohballendämmung, so werden die wichtigsten konstruktiven Eigenschaften deutlich sichtbar. Noch stärker als bei der Wanddämmung ist die Strohdämmung im Dach auf Grund der großen thermischen Belastungen, welche im Winter wie im Sommer auf das Dach einwirken, gegen eine übermäßige Feuchteeinwirkung zu schützen. Dies geschieht zum Innenraum hin, wie von Scharmer und Minke in einigen Lösungen gezeigt, am besten mit einer feuchtevariablen Dampfbremse.
Diese ist im Winter bei geringer relativer Luftfeuchte stark diffusionshemmend und im Sommer bei einer hohen relativen Luftfeuchte hoch diffusionsoffen, so dass die Strohdämmung gegebenen falls auch zur Rauminnenseite hin austrocknen kann. Ebenso ist die Strohdämmung zur Außenseite hin zu

schützen. Zusätzlich zu einer verwendetet diffusionsoffenen, wasserdichten Unterspannbahn, ist eine Hinterlüftung der Konstruktion ratsam. Hier bietet sich ein konventioneller Dachaufbau mit einer Konterlattung und Dachlattung zur Eindeckungen des Daches mit Ziegeln an. Thermische Vorteile hingegen bietet ein Gründach, welches aber insgesamt einen stärkeren Dachaufbau mit sich bringt. Die Wahl der Tragkonstruktion und deren Lage innerhalb oder außerhalb der Dämmebene hängt von gestalterischen und konstruktiven Möglichkeiten der gesamten Dachkonstruktion ab.

4.4.3. Gewählte Lösung

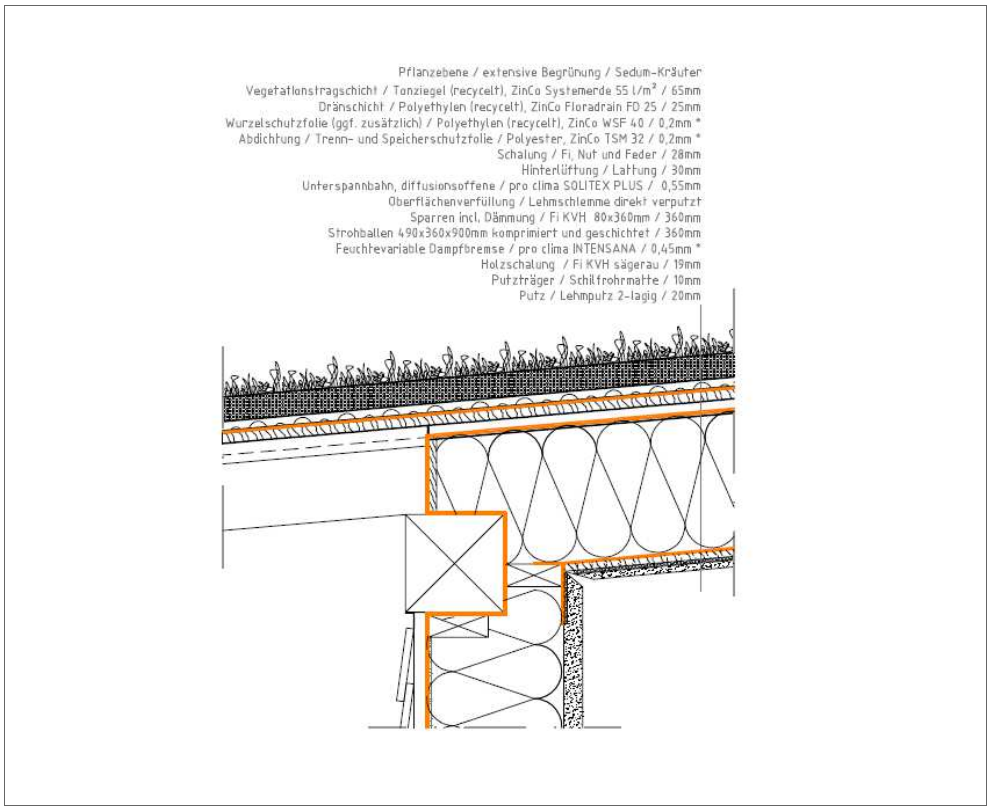


Abbildung 4-44: Dachaufbau M 1:20 [eigene Zeichnung]
- Dieses Detail ist in einer übersichtlicherer und detaillierteren Ausführung im M 1:10 im Anhang in DIN A3 zu finden

Die gewählte Variante für den Dachaufbau dieses Entwurfes ist in Abbildung 4-44 zu sehen. Die Tragkonstruktion des Daches besteht aus 80x360mm starken Sparren, welche für den Dachüberstand auf 80x160mm verjüngt sind. Die Strohballen sind als Dämmung in die gleiche Gefachgröße von 95cm Breite, wie auch bei den Außenwänden, immer paarweise eingebracht. Sie liegen direkt auf einer feuchtevariablen Dampfbremse und werden durch eine Holzschalung aus sägerauen Fichte Brettern getragen.
Als feuchtevariable Dampfbremse wurde für diesen Entwurf INTENSANA von pro clima ausgewählt. Sie ist ein Schutz- und Deckvlies aus Polypropylen mit einer Membran aus Polyethylen-Co-polymer. Eingesetzt wird sie als Hochleistungs-Dampfbremse für Aufdachdämmungen mit einem feuchtevariablen

s_d-Wert von 7,5 m / 0,25 – 10 m, einer Dicke von 0,45mm
und einer Temperaturbeständigkeit von -40°C - +80°C. [pro clima, 2012]
Raum seitig sind Schilfrohrmatten als Putzträger und ein dünner zweilagiger Lehmputz von insgesamt 20mm aufgetragen. Nach oben werden die Strohballen ebenso wie die bei der Außenwandkonstruktion mit einer Lehmschlemme versiegelt, welche Oberflächen verfüllend aufgetragen wird. Darüber folgt eine diffusionsoffene, wasserdichte Unterspannbahn, welche mit einer Konterlattung fixiert wird, die gleichzeitig als Hinterlüftungsebene fungiert.
Als Unterspannbahn wurde SOLITEX PLUS ebenso von pro clima ausgewählt. Sie ist eine armierte, 4-lagige Unterspannbahn mit hoher Nagelausreißfestigkeit und sehr hoher Thermostabilität, also einer Temperaturbeständigkeit von -40°C bis +100°C und einem feuchtevariablen s_d-Wert von 0,02m. [pro clima, 2012]
Es folgt eine Nut und Feder-Schalung aus Fichte, als Auflager für das Gründach. Ausgewählt wurde ein leichtes Gründach mit einer recht niedrigen Aufbauhöhe. Das Leichtgründach von ZinCo ist für eine Dachneigung bis 5° geeignet. Es ist von unten nach oben, also von innen nach außen, mit leichten Abweichungen wie in Abbildung 4-45 zu sehen aufgebaut. Als erste Schicht ist eine Abdichtung durch eine Trenn- und Speicherschutzfolie aus 0,2 mm Polyester ausgelegt. Darauf folgt bei Bedarf eine zusätzlich eingesetzte Wurzelschutzfolie von 0,2 mm, welche aus recyceltem Polyethylen besteht. Die darauf liegende 25 mm starke Hornschicht besteht ebenso aus 100% recyceltem Polyethylen und ist begehbar. Diese trägt die Vegetationstragschicht aus 65 mm recycelten Tonziegeln und versorgt die Pflanzenebene einer extensiven Begrünung mit Sedum-Kräuter. Die Vegetationsschicht wird mit nur 55 l/m² auf getragen, so das das Gewicht trocken nur 39 kg/m² und regengesättigt max. 60 kg/m² erreicht. Das Wasserspeichervolumen umfasst ca. 21 l/m². Die Gesamtaufbauhöhe liegt bei gerade mal 9,5cm und ist somit für ein Gründach wirklich schlank.
[ZinCo-a. 2013] Als Vergleich für das Gewicht: Normale Dachziegel liegen etwa zwischen ca. 60 – 70 kg/m².

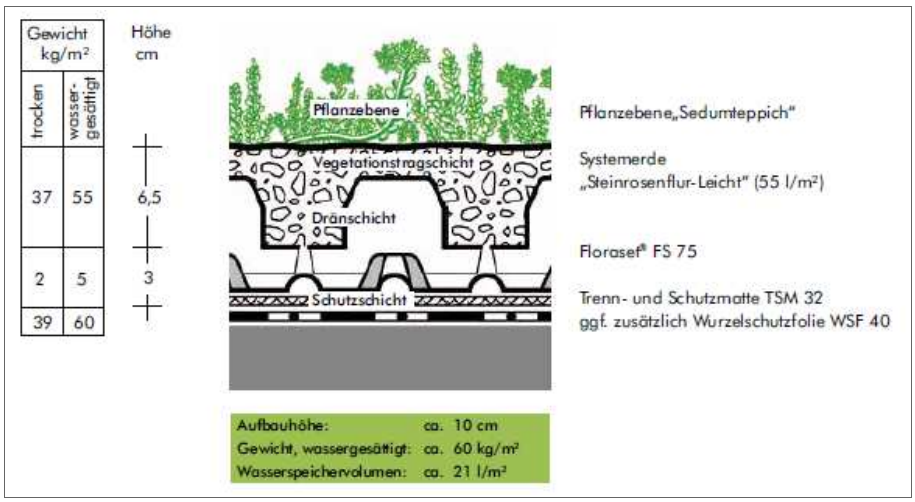


Abbildung 4-45: Systemaufbau „Leichtgründach" [ZinCo-a, 2013, S.11]

4.5. Innenwände

4.5.1. Recherche

Innenwände haben die Aufgabe die einzelnen Räume nicht nur optisch, sondern auch akustisch von einander zu trennen. Zusätzlich können diese aber auch weitere Funktionen haben, wie zum Beispiel einen thermischen oder hydrostatischen Ausgleich für das Raumluftklima. Um solche Funktionen erfüllen zu können, benötigen sie eine gewisse speicherwirksame Masse. So können sie sich als Wärme- und Feuchtepuffer positiv auf die Raumluft auswirken. Als Baustoff der diese Anforderungen optimal erfüllt, wird von Minke Lehm empfohlen. Die Innenwände aus Strohballen zu errichten ist wegen ihrer großen Abmessungen unrentabel. [Minke et al., 2009]

Lehm Grünlinge

Haage zum Beispiel hat eine Reihe von Außenwandaufbauten erstellt und analysiert, bei denen er zum Innenraum hin zusätzlich mit vorgesetzten Lehmwänden arbeitet, um die speicherwirksame Masse zu erhöhen. So empfiehlt er auch Innenwände aus Lehmsteinen, sogenannten Grünlingen. Diese haben einen sehr hohen Tongehalt und somit ein deutlich höheres Sorptionsvermögen gegenüber Kalk- oder Ziegelsteinen. So wird die feuchtigkeitsregulierende Wirkung der Wände für einen guten Ausgleich der Raumluftfeuchte gesteigert. [vgl.[Haage, 2008]]
Grünlinge sind ungebrannte an der Luft getrocknete Lehmsteine, welche, wie in Abbildung 4-46 zu sehen ist, aus fettem und steinfreiem Lehm bestehen. Sie können manuell mit dem „Handstrichverfahren“ oder industriell mit dem „Strangpressverfahren“ hergestellt werden. Die häufigsten Formate in Europa sind dabei, das Dünnformat mit 6,5x11,5x24cm, das Normalformat mit 7,1x11,5x24cm und das Doppelte-Dünnformat mit 11,3x11,5x24mm. Größere Formate von Grünlingen sind wegen ihres hohen Gewichtes ungeeignet. Sie sind nicht frostfest und dürfen in unseren Breitengrade daher nicht für äußere Schichten eingesetzt werden. [conluto, 2013], [Minke, 2001]

Abbildung 4-46: Lehm Grünlinge [Lehmbauer.com, 2013]

Trockenlehm-Schüttung

Eine einfache, konstruktive Lösung für eine Trennwand im Innenbereich wurde von ProLehm auf einer Baustelle eines Einfamilienhauses in Wien-Lobau umgesetzt. Dort wurde auf eine Holzständerkonstruktion mit Stehern von 50x80mm eine Holzrauschalung angebracht. Der 80mm tiefe Hohlraum wurde mit einer Schüttung aus Trockenlehm befüllt. (siehe Abbildung 4-47)
Die Rauschalung wurde mit Schilfrohrmatten beplankt und anschließend direkt mit Lehm verputzt. Vom Bauprozess her wurde die Rauschalung nur auf einer Seite der Wand vollständig montiert und die andere Seite ca. 50cm hoch verschalt. Dann kann der Lehm aus dem Sack direkt oder aus einer Schubkarre nach und nach mit wachsender Verschalung eingefüllt werden. Solche Wände haben eine ausgezeichnete Schalldämmwirkung und gleichzeitig viel speicherwirksame Masse um Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen im Haus auszugleichen. [baubiologie.at-b, 2013], [Gruber et al., 2012]

Abbildung 4-47: Innenwand mit Trockenlehmschüttung, EFH Wien / Lobau [baubiologie.at-b, 2013]

Holzweichfasermatte

Im konventionellen Holzrahmenbau werden Hohlräume der Innenwände zwischen den Holzständern mit Holzweichfasermatten ausgefüllt.
Diese haben laut Herstellern wie zum Beispiel STEICO eine relativ hohe Rohdichte von ca. 50kg/m³ und eine relativ hohe spezifische Wärmespeicherkapazität von 2100 J/kg K. Das vom Hersteller STEICOflex genannte Produkt, in Abbildung 4-48 zu sehen, besteht aus Durchforstungs- und Sägerestholz aus den umliegenden Kieferwäldern der Produktionsstätte. Das Produkt wird als emissionsfrei beschrieben, da der Richtwert von 0,1 ppm für Formaldehyd laut Hersteller bei weitem unterschritten wird. Der skizzierte Innenwandaufbau ist in Abbildung 4-49 zu sehen. Diese Holzweichfaser-Dämmung trägt zur Regulierung der Luftfeuchtigkeit bei und schützt die

konstruktiven Bauteile vor Feuchteschäden. [Steico, 2013]

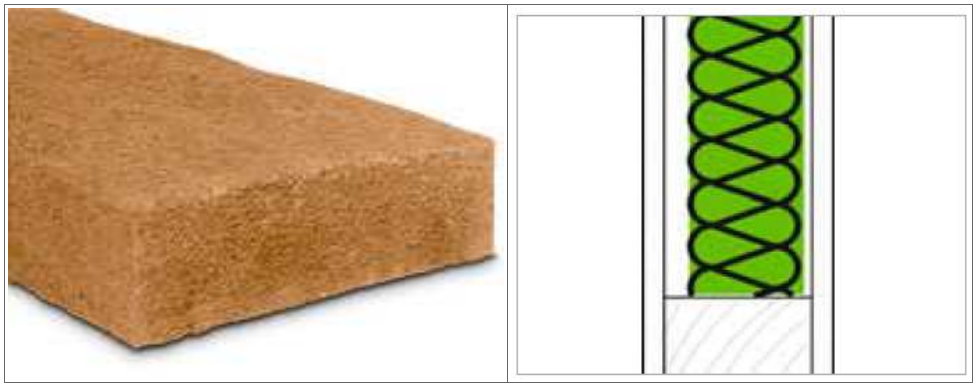


Abbildung 4-48 und 4-49: Holzweichfasermatte und Aufbau einer Innenwand mit einem Holzweichfaser-Dämmstoff [Steico, 2013]

Eine mögliche, konstruktive Variante eines solchen Wandaufbaus ist die direkte Beplankung der Holzständer mit Gipskarton-Platten als Raumabschluss, nach dem die Innenräume mit Holzweichfasermatten ausgekleidet wurden, wie in Abbildung 4-50 zu sehen ist. Dies bildet eine sehr schlanke Innenwand. [Staudenschreiner-c, 2013]

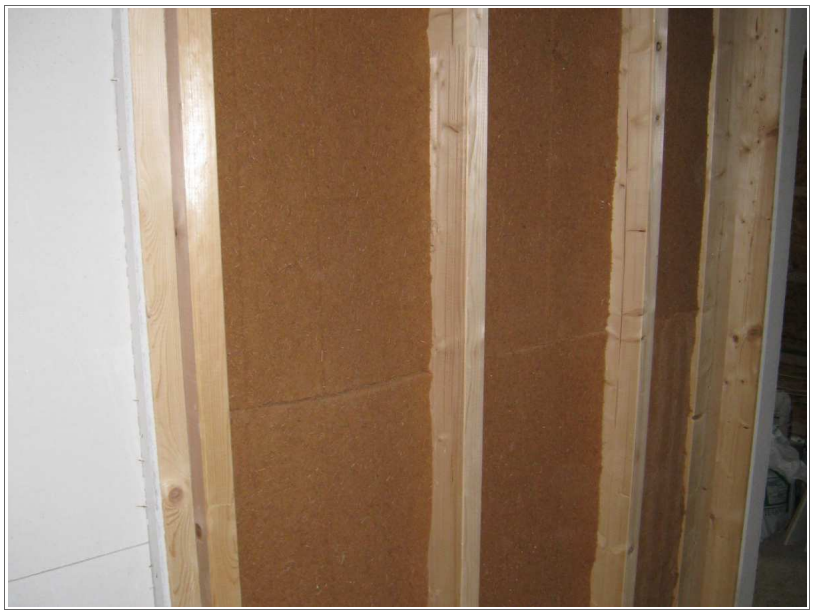


Abbildung 4-50: Aufbau Innenwand mit Holzweichfaserdämmung [Staudenschreiner-c, 2013]

4.5.2. Vergleich

Bei vielen Häusern, deren Außenwände mit Strohballen gedämmt sind, werden die Innenwände aus massiv gemauerten Steinen angefertigt. Hier kommen

Kalksandsteine, gebrannte Lehm oder Ziegelsteine zum Einsatz, um die speicherwirksame Masse im Innenraum zu erhöhen. Diese Häuser haben auf Grund des hohen Gewichtes der gemauerten Innenwände eine ebenso massive Bodenplatten und ein durchgängiges und massives Fundament. Die gemauerten Wände an sich sind bei der Betrachtung des gesamten Lebenszykluses eines Gebäudes arbeitsintensiv beim Abbau und können nicht immer wieder- oder weiterverwendet werden. Oftmals bleibt hier nur eine Baurestmassendeponie. Holzständerwände sind dagegen eine leichtere Bauvariante und ermöglichen durch ihr geringeres Gewicht eine leichte Bodenplatte, bei der ein richtig dimensioniertes Streifenfundament ausreichend ist. Füllmaterialien wie Holzweichfaser-Dämmstoffe kommen den nötigen Anforderungen einer Trennwand wie Schallschutz, Wärmedämmung und einer Feuchte ausgleichenden Wirkung nach, haben jedoch eine geringe speicherwirksame Masse. Die gezeigte Trockenlehmschüttung hat ein wesentlich höheres Gewicht als Holzweichfasermatten, liegt aber beim Gewicht der Gesamtkonstruktion deutlich unter dem gemauerter Wände und stellt mit einer recht hohen speicherwirksamen Masse eine gute zwischen Lösung dar.

4.5.3. Gewählte Lösung

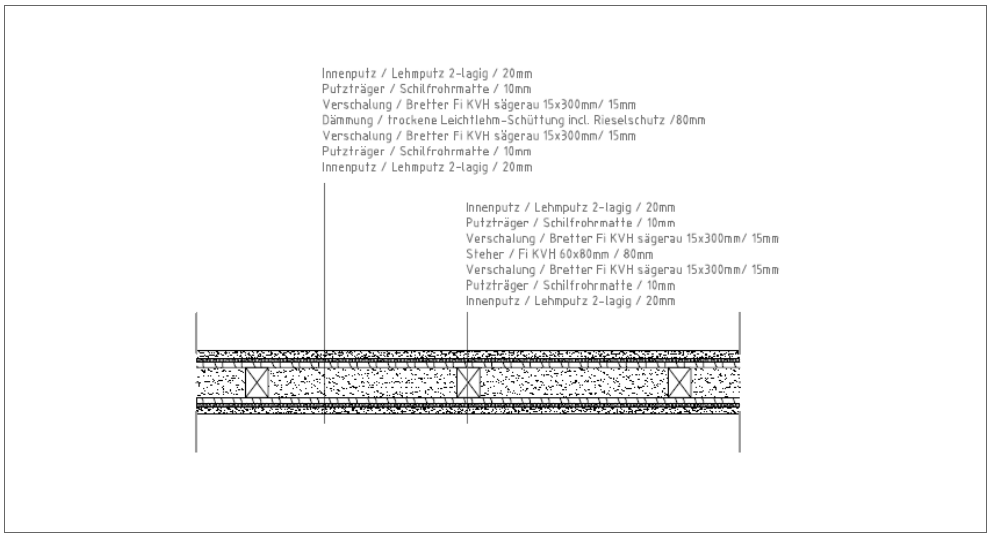


Abbildung 4-51: Aufbau Innenwand mit trockener Leicht-Lehm-Schüttung M 1:20 [eigene Zeichnung]
- Dieses Detail ist in einer übersichtlicherer und detaillierteren Ausführung im M 1:10 im Anhang in DIN A3 zu finden

Die komplette Außenhülle des hier entworfenen Strohballen-Wohnhauses besteht aus mit Strohballen gedämmte Bauelementen. Die Bodenplatte ist mit einer Unterlüftungsebene von 30cm nicht erdberührend und lagert auf drei durchlaufenden Streifenfundamenten. Auf Grund dieser konstruktiven Gegebenheiten sind auch die Innenwände entsprechend gewählt. Dem österreichischen Vorbild entnommen, werden die Innenwände mit einem Holzgerüst aus Stehern mit 60x80 mm Fichte Konstruktionsvollholz gebaut, welche mit 15mm starken sägerauen Fichtebrettern verschalt werden. Der entstandene Hohlraum wird mit einer trockenen Leicht-Lehm-Schüttung

aufgefüllt.
Der Leicht-Lehm ist wie der Name schon sagt, mit 1000 – 1200 kg/m³ wesentlich leichter als eine herkömmliche Trockenlehm-Schüttung mit bis zu 1800 kg/m³. Eine solche leichtere Lehm-Schüttung wird häufig wegen des geringeren Gewichtes als Deckenschüttung verwendet. Das doppelt gesiebte Lehm-Tongranulat mit einer Körnung von 2 – 10 mm kann bei Bedarf auch mit Hilfe der Celluloseeinblasmaschine x-floc em 340 eingepumpt werden, hier sollte der Schlauchdurchmesser 76 mm betragen. Zusätzlich ist im unteren Bereich des Wandgefaches ein Rieselschutz in Form eines Stoffes, Vlieses oder Folie anzubringen. [conluto-a, 20213]
Die Holzsteher haben einen mittlere Abstand von mindestens 50 cm, werden aber individuell gleichmäßig auf die jeweilige Innenwandlänge angepasst und sollten auf Grund des Gewichtes der Schüttung einen Abstand von 80 cm nicht überschreiten. Die Holzbretter der Außenverschalung werden mit Schilfrohrmatten als Putzträger beplankt und zum Abschluss mit einem 2-lagigen 20 mm starken Lehmputz verkleidet, wie in Abbildung 4-51 zu sehen ist.
Um die speicherwirksame Masse vor allem im Wohnbereich zusätzlich zu erhöhen, wurde die Trennwand zwischen Küche und Wohnen aus massivem Lehm-Grünlingen gemauert. Hier zu ist es nötig, auf Grund des hohen Gewichtes unter diesem Bereich ein zusätzliches kurzes Stück Streifenfundament zu setzen. Diese Wand beinhaltet einen Kaminofen mit Wassertasche, welcher beide Räume gleichermaßen beheizt, zusätzlich Wärme in die umgebende Lehmwand speichern kann und Wärme an das Heizsystem des Hauses abgibt. Die Lehmwand besteht aus dünnformatigen Voll-Lehmsteinen mit den Maßen 24,0 x 11,5 x 5,2 cm, einer Rohdichte von ca. 1900 Kg/m3 und einem Gewicht von ca. 2,85 kg je Stein. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand beträgt μ 5/10 bei einer Wärmeleitfähigkeit von 1,10 W/m K und einer spezifische Wärmekapazität 2100 J/(kg K). [abw, 2013], [conluto-b, 2013]

4.6. Bäder

4.6.1. Recherche

In Feuchträumen in Wohnbereichen, wie in Bäder und Duschen, muss darauf geachtet werden, dass im direkten Spritzwasserbereich kein Lehmputz angebracht wird. Hier gilt die erste Priorität, dass kein Wasser in die Konstruktion des Gebäudes eindringen darf. Hier können Fliesen auf mit Kalkzementmörtel verputzen Flächen oder imprägnierte Plattenbaustoffe zum Einsatz kommen. Fromme empfiehlt hier als Alternative zu Fliesen, den marokkanischen Tadelakt, ein hoch hydraulischer Kalkputz. Dieser hat durch seine Zusammensetzung und eine zusätzliche besondere Oberflächenverarbeitung wasserfeste Eigenschaften. Er kann dadurch im Spritzwasserbereich oder gar als Innenauskleidung von Duschen und Waschbecken verwendet werden. Für alle nicht Spritzwasser gefährdeten Flächen in Bädern empfiehlt Fromme Lehm gerade zu als Wandverkleidung, da dieser wie bereits in anderen Kapitel erwähnt, die positive Eigenschaft hat Luftfeuchte gut aufnehmen zu können und diese zeitversetzt wieder an die Raumluft abgibt. [Fromme et al., 2012]
Minke empfiehlt für den Innenputz von Bädern, aber auch für den Außenputz aus

Lehm eine Hydrophobierung der Oberflächen. Dadurch behält der Lehm seine natürliche Farbe und wird gleichzeitig wasserabstoßend. Diese wasserabstoßende Eigenschaft von solch hydrophobierten Oberflächen entsteht dadurch, dass das Hydrophobierungsmittel in die Poren des Materials eindringt ohne diese zu schließen. Somit ist der Benetzungswinkel des Wassertropfens gegenüber diesen imprägnierten Materialoberflächen größer als 90°. Der Unterschied zwischen einem sich auf einer hydrophobierten und einer unbehandelten Oberfläche absetzenden Wassertropfens ist in Abbildung 4-52 deutlich zu sehen. [Minke, 2001], [Minke et al., 2009]

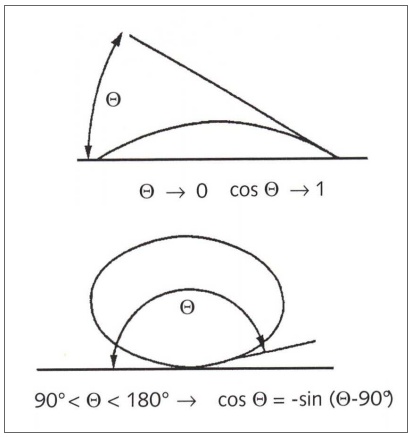


Abbildung 4-52: Wassertropfen auf einer nicht hydrophobierten (oben) und einer hydrophobierten (unten) Oberfläche [Minke, 2001, S. 202]

Die im Lehmbauhandbuch aufgeführten Hydrophobierungsmittel sind Silane bzw. Siloxane, Polysiloxane als Silikonharz, Siliconate, Acrylharze, Kieselsäureester mit hydrophobierenden Zusätzen und Silikate mit hydrophobierenden Zusätzen. Einige dieser Mittel reagieren chemisch mit den mineralischen Baustoffen und können die Wasseraufnahme um mehr als 90% reduzieren, was sie sehr witterungsbeständig macht. Die Wasserdampfdurchlässigkeit wird in dem meisten Fällen um 5 bis 8% reduziert. Bei einigen Mitteln jedoch auch deutlich mehr. Hier kommt es stark auf die Zusammensetzung des Hydrophobierungsmittels an, in Verbindung mit der Zusammensetzung des Lehms. Minke empfiehlt hier nachdrücklich die Wirkung an Probeflächen zu testen. Hydrophobierungsmittel werden in mindestens zwei Arbeitsgängen flüssig mit einer Walze aufgetragen. Die richtige Oberflächentemperatur des Lehms so wie die Anwendungshinweise des Herstellers sind zu beachten. Wenn die hydrophobierende Wirkung nach einigen Jahren nachlassen sollte, können diese Arbeitsgänge einfach wiederholt werden.
Da die hydrophobierten Schichten sehr dünn aufgetragen werden, sind sie anfällig für mechanische Verletzungen wie Kratzer. Solch lokale Zerstörungen sollten nachgebessert werden, um spätere sichtbare Schäden zu vermeiden. [Minke, 2001], [Minke et al., 2009]

4.6.2. Vergleich

Der von Fromme aufgeführte marokkanische Tadelakt wäre von der rein Schadstoff freien Verarbeitung und Nutzung, sowie von der Betrachtung als ökologisches Baumaterial am Besten geeignet. Dieser ist jedoch nicht lokal oder regional verfügbar und sollte nach meinem Verständnis auf Grund seines weiten Transportweges in unseren Breitengraden nicht genutzt werden.
Die von Minke erläuterte Hydrophobierung ist Anwendbar, wenn die Bewohner sorgsam mit den Spritzwasser gefährdeten Oberflächen in den Bädern umgehen und eventuelle Schäden schnell bemerken und beheben.

4.6.3. Gewählte Lösung

Für meinen Entwurf gehe ich von sorgsamen und bewusste Bewohnern aus, die sich für ein Strohballenwohnhaus entscheiden und auch entsprechend mit dem Gebäude umgehen. So wird Beispielsweise der Bodenbelag im Bad ein Holzdielenboden sein um ein angenehmeres und wärmeres Raumklima zu erhalten. Dieser sollte jedoch auch entsprechen behandelt und gepflegt werden. Bei den Wandoberflächen in den beiden Bädern werde ich eine gemischte Lösung anstreben. Die direkten und stark durch Spritzwasser beeinträchtigen Bereiche wie Duschen bzw. Badewannen werden bis zu einer gewissen sicheren Höhe mit Fliesen verkleidet. Alle weiteren Bereiche die nur leichtem Spritzwasser ausgesetzt sind, wie der Bereich um ein Waschbecken herum, werden mit einem Leinölfirnis hydrophobiert und sollten in regelmäßigen größeren Abständen nachgebessert werden.

4.7. Leitungsführung

4.7.1. Recherche

Rohrleitungen aller Art die Wasser führen, sollten nach Möglichkeit nicht in oder durch eine mit Strohballen gedämmte Wand geführt werden. Gerade bei Kaltwasserleitungen kann sich Tauwasser bilden, welches zu einer Durchfeuchtung des Strohs führen kann. Es besteht die Möglichkeit Rohrleitungen mit einer dampfdichten und wärmedämmenden Ummantelung zu verwenden. Nach Minke sind diese jedoch handwerklich aufwendig in der Herstellung und somit zusätzlich kostenintensiv. Die Gefahr der Tauwasserbildung ist bei Warmwasserleitungen und Heizungsrohren nicht gegeben. Wie in Abbildung 4-53 zu sehen ist, sollten Wasser führende Leitungen am Besten in zusätzlichen Installationsebenen, Installationsschächten oder Installationskanälen geführt werden. Somit sind bei der Planung entsprechende Vorwandinstallationen oder Sockelleisten einzufügen. Ähnliche Vorkehrungen gelten für Elektroleitungen. Diese dürfen nur dann durch die Strohdämmung geführt werden, wenn nicht brennbare Kabelkanäle verwendet werden bzw. vorher bereits entsprechende Leerrohre verlegt werden. (siehe Abbildung 4-54) So lassen sich Streckdosen und Schalter am leichtesten an den Stützen oder Holzprofilen befestigen. Falls sich die gewünschten Stellen nicht mit den

vorhandenen Möglichkeiten kombinieren lassen, können auch zusätzlich Holzkeile in die Strohballen geschlagen werden, an denen sich solche Elemente befestigen lassen. [Minke et al., 2009]

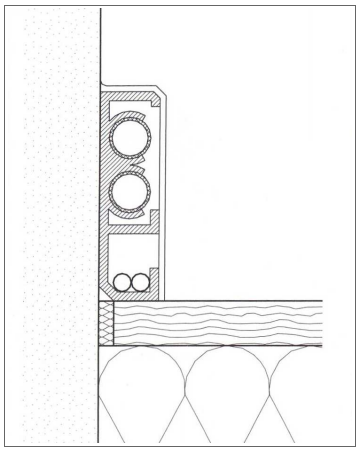


Abbildung 4-53: Sockelleiste mit Heizungsrohren und Kabelführung [Minke et al., 2009, S.58]

Scharmer erläutert in einem Interview mit Sven Holst für ein Online-Magazin, das die Elektroleitungen zwischen den einzelnen Schichten des Lehmputzes geführt werden. Zu dem verlaufen die Heizungsrohre aus Kupfer ebenso in der Putzschicht, so das im Bedarfsfall die Wärme an die Wandflächen abgegeben werden kann und somit ein mehr oder weniger attraktiver Heizkörper entstehen würde. [denklokal.de, 2013]

Abbildung 4-54: Leerrohre und Leitungsführung durch Stroh-Lehm-Wand [Voß, 2013]

4.7.2. Gewählte Lösung

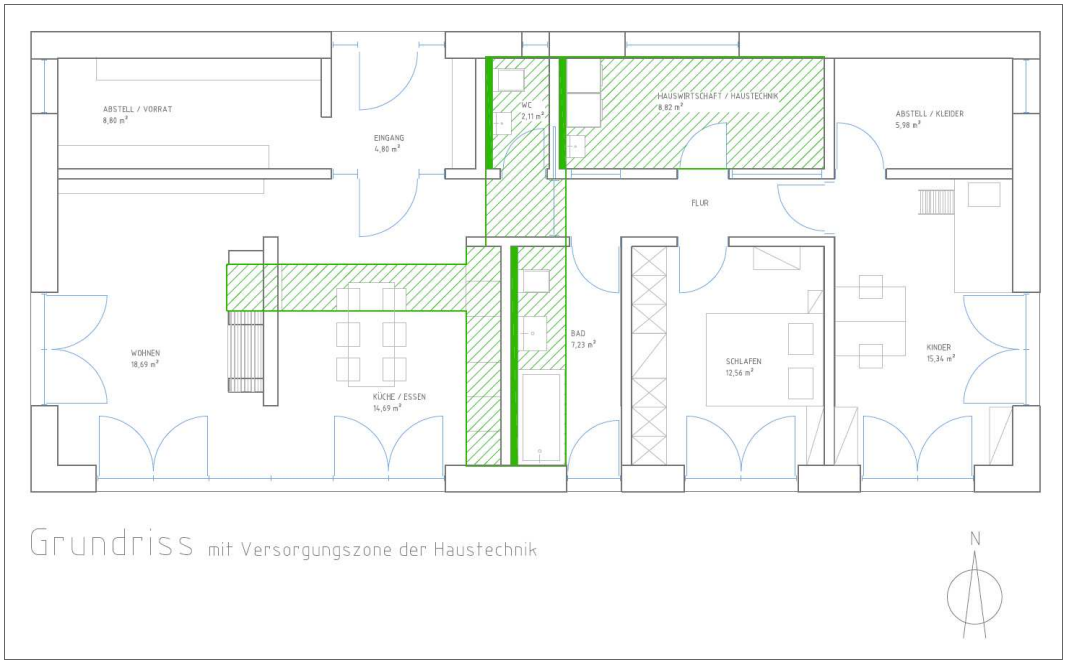


Abbildung 4-55: Versorgungsblock, zusammengefasste HT im Zentrum der Wohnung [eigene Zeichnung]

In meinem Entwurf habe ich mich für Vorwandinstallationen in allen Bäder und im Hauswirtschaftsraum entschieden. Die Anschlüsse für die Küche werden durch die angrenzende Innenwand geführt und münden in die Vorwandinstallation des gegenüberliegenden Bades. Alle Innenwände sind durch die Lehm-Schüttung als Gefachfüllung unempfindlich gegenüber einer möglichen Tauwasserbildung. Die Wasser führenden Rohrleitungen, welche die Strohgefache der Bodenplatte durchdringen müssen zusätzlich isoliert werden und der Bereich um die Rohre herum gegebenen Falls zusätzlich mit Holzweichfaserdämmmatten ausgekleidet werden. Um die Länge und Wegstrecke aller benötigten wasserführenden Rohrleitungen möglichst gering zu halten, sind alle Bezugsquellen in einem Versorgungsblock im Kern des Hauses möglichst nah bei einander zusammen gefasst worden. Welches im schematisch dargestellten Grundriss in Abbildung 4-55 zu sehen ist.

5. Entwurf

Abbildung 5-01: Strohballen-Wohnhaus „Tay Manka“ 3D-Rendering [eigene Zeichnung]

Aus dem entwickelten Wandaufbau entsteht der Entwurf eines Wohngebäudes, welches die oben aufgelistet ökologisch, ökonomisch und sozial Kriterien aufgreifen soll und diese nach Möglichkeit realisierbar umsetzt.

Gebäudegeometrie

- gutes A/Ve -Verhältnis,
- kompakter Baukörper, keine Ausbuchtungen
- Gebäudetiefe an Belichtungsverhältnisse anpassen

Gebäudeausrichtung

- Nord-Südorientierung des Baukörpers
- Südorientierung der Fensterflächen
- solare Gewinne aller Wohnräume optimieren
- keine Verschattung der Fensterflächen, PV- oder Solarkollektoren durch andere Gebäude oder größere Bepflanzung

Flächennutzung

- Insgesamt sparsamer Umgang mit Konstruktions- und Nutzflächen
- Flexibilität des Grundrisses durch Möglichkeiten der Umnutzung und Erweiterung

Zonierung

- alle Wohnräume Richtung Süden ausrichten
- alle Zusatzräume wie Haustechnik, Vorrat etc. nach Norden ausrichten
- Bad zählt auf Grund der benötigten solaren Gewinne zu den Wohnräumen, die Gäste-Toilette dagegen zu den Zusatzräumen mit Nordausrichtung
- alle Versorgungsleitungen und die dazugehörige Haustechnik ist in einem Technik-Block im Zentrum des Wohnbereiches angesiedelt um zu allen erfolgreichen Versorgungseinheiten möglichst kurze Leitungswege zu haben

Solare Ausrichtung des Gebäudes und des Dachüberstandes

Die Ausrichtung des Gebäudes ist wie bereits oben beschrieben in Nord-Süd-Richtung, so das alle Wohnräume mit großen Fensterflächen Richtung Süden gehen. Der Dachüberstand des Pultdaches an der Südfassade ist so ausgelegt, das es bei Einfall der Sommersonne die darunter liegenden Glasflächen verschattet und im Einfall der Wintersonne die solaren Einträge in den tiefsten Winkel des Wohnraum lässt.
Die Berechnung des Sonnenhöhenwinkels für die Sommersonne am längsten Tag im Jahr, dem 21. Juni um 12 Uhr und für die Wintersonne am kürzesten Tag im Jahr, dem 21. Dezember um 12 Uhr ist nach der DIN 5034-2 ausgelegt.
Die geografische Lage von Augsburg ist 48°22'12" nördliche Breite und 10°54'0" östliche Länge wurde hier mit einbezogen.
Die Ergebnisse dieser Berechnung des Sonnenhöhenwinkel nach den Tabellen der DIN 5034-2 sind wie auch in der Abbildung 5-02 zu sehen ist:
Sommersonne am 21. Juni um 12 Uhr: 64°81
Wintersonne am 21. Dezember um 12 Uhr: 18°14
[augsburg.de, 2013], [DIN 5034-2, 1985], [baunetzwissen.de, 2013]]

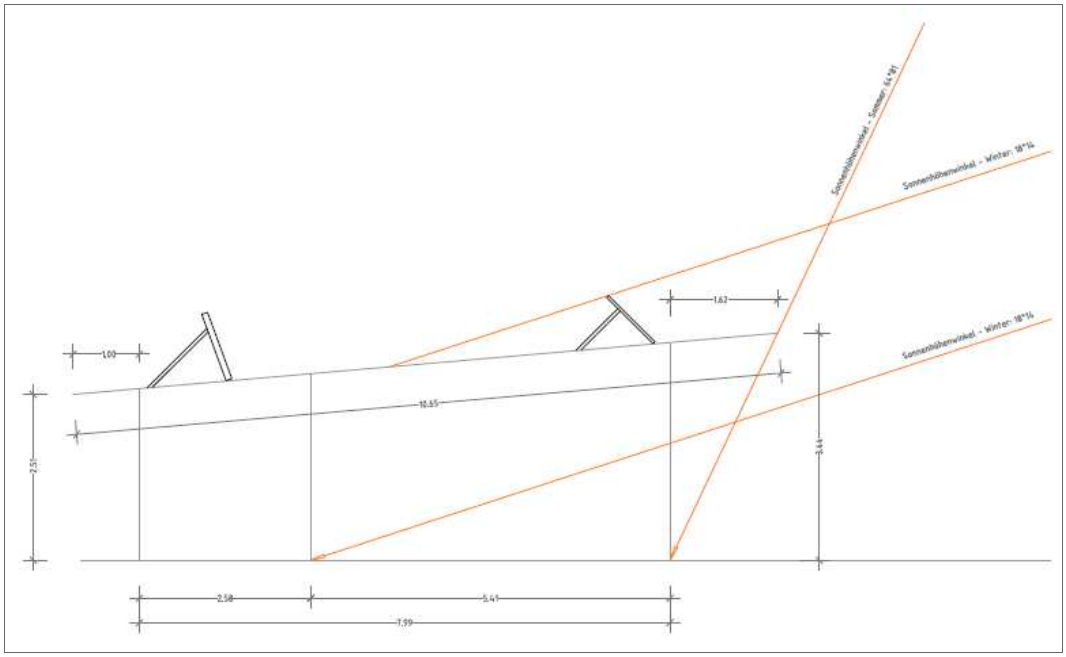


Abbildung 5-03: Sonnenhöhenwinkel der Sommersonne und der Wintersonne [eigene Zeichnung]

5.1. Grundriss, Ansichten, Schnitte, Details

Alle hier aufgeführten Zeichnungen finden sich aus Gründen der besseren Darstellungsmöglichkeit im Anhang dieser Arbeit im Format DIN A3.

- Grundriss ca. M 1:50
- Grundriss – Varianten ca. M 1:100
- Grundriss – Werkplan ca. M 1:75
- Grundriss – Axmass für Strohballen und Balken ca. M 1:75
- Schnitt A-A und B-B ca. M 1:50
- Ansichten Nord und West ca. M 1:50
- Ansichten Süd und Ost ca. M 1:50
- Detail: Außenwand horizontal ca. M 1:10
- Detail: Außenwand vertikal ca. M 1:10
- Detail: Außenwand-Ecke ca. M 1:10
- Detail: Innenwand und Wandanschlüsse ca. M 1:10
- Detail: Fundament - Bodenplatte - Außenwand ca. M 1:10
- Detail: Fundament - Bodenplatte - Fensteranschluss ca. M 1:10
- Detail: Traufe ca. M 1:10
- Detail: Ortgang ca. M 1:10
- Detail: Fensteranschluss horizontal ca. M 1:10
- Detail: Fensteranschluss vertikal ca. M 1:10
- Detail: Fensteranschluss mit Jalousie horizontal ca. M 1:10
- Detail: Fensteranschluss mit Jalousie vertikal ca. M 1:10

Anmerkung:
Alle Maßstabsangaben sind mit „ca.“ versehen, da eine 100% Maßgenauigkeit sowohl beim konvertieren der Pläne in ein „Open-Office-Dokument“, als auch beim Ausdrucken über einen Standartdrucken in A3 nicht gegeben ist.

5.2. Tragwerk

Alle hier aufgeführten Zeichnungen finden sich aus Gründen der besseren Darstellungsmöglichkeit im Anhang dieser Arbeit im Format DIN A3.

- Tragwerk: Fundament ca. M 1:50
- Tragwerk: Bodenplatte ca. M 1:50
- Tragwerk: Erdgeschoss ca. M 1:50
- Tragwerk: Dach ca. M 1:50
- Tragwerk: Schnitt ca. M 1:50
- Tragwerk: Ansicht Nord ca. M 1:50
- Tragwerk: Ansicht Süd ca. M 1:50
- Tragwerk: Ansicht West / Ost ca. M 1: 50
- Tragwerk: 3D Ansicht Süd - West
- Tragwerk: 3D Ansicht Nord - Ost

Anmerkung:
Alle Maßstabsangaben sind mit „ca.“ versehen, da eine 100% Maßgenauigkeit sowohl beim konvertieren der Pläne in ein „Open-Office-Dokument“, als auch beim Ausdrucken über einen Standartdrucken in A3 nicht gegeben ist.

5.3. Materialien

Abbildung 5-03: Baumaterialien Holz – Stroh Lehm [eigenes Photo]

6. Bilanzierung

6.1. Berechnung Wärmedurchgangskoeffizient U

Im nachfolgenden finden sie die Wärmedurchgangskoeffizienten U der Außenwand, der Bodenplatte und des Dachaufbaus.
Die ausführlichen Berechnungen der einzelnen Werte sind im Anhang in DIN A3 zu finden. Alle drei Berechnungen der U-Werte sind unterteilt in je vier Tabellen. Die erste Tabelle enthält alle Informationen zu den verwendeten Baumaterialien, wie Verarbeitung, Funktion, Schichtdicke in Meter, Wärmeleitfähigkeit als Lambda in W/m K, sowie die Quellen der Werte für die spätere Berechnung, aufgeteilt in die beiden Ebenen Gefach und Tragkonstruktion. Die zweite Tabelle ist der erste von drei Berechnungsteilen, hier wird der obere Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_T' berechnet. In der dritten Tabelle befindet sich die Berechnung des unteren Grenzwertes des Wärmedurchgangswiderstandes R_T''. Und in der vierten und letzten Tabelle wird der U-Wert aus dem mittleren Wärmedurchgangswiderstand R_T bestimmt.
Weitere Rechenwerte des Wärmeübergangswiderstands für Innen- und Außenoberflächen sind in der Tabelle der Abbildung 6-01 zu finden.

Rechenwerte zu Erfassung des Wärmeüberganges nach DIN EN ISO 6946 entnommen aus Liersch

	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal	abwärts
Wärmeübergangswiderstand	↑	→	↓
innen R_{si} [m²K/W]	0,1	0,13	0,17
außen R_{se} [m²K/W]	0,04	0,04	0,04

Abbildung 6-01: Rechenwerte zu Erfassung des Wärmeübergangs nach DIN EN ISO 6946 [Liersch et al., 2003, S.45]

Bei einer Konstruktion mit einer hinterlüfteten Fassade wird der $R_{se}=R_{si}$.
In den folgenden Abschnitten des Kapitels ist jeweils eine Konstruktionszeichnung des betrachteten Bauteils mit optischer Angabe aller berechneten Schichten dargestellt, sowie die erste Tabelle der U-Wert Berechnung mit den Material bezogenen Berechnungsdaten.

Übersicht der Ergebnisse:

Wandaufbau: U= 0,148 [W/m²K]

Bodenaufbau: U= 0,144 [W/m²K]

Dachaufbau: U= 0,135 [W/m²K]

Außenwand

Wandaufbau: U= 0,148 [W/m²K]

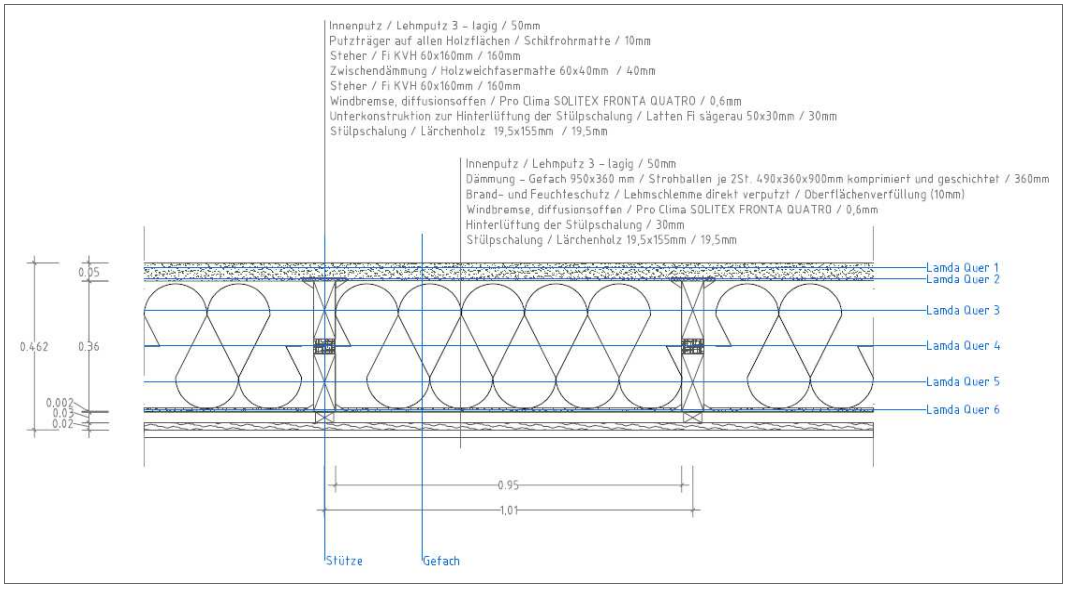


Abbildung 6-02: Detail Wandaufbau für Berechnung des U-Wertes [eigene Zeichnung]

Außenwand	Anteil	Material	Schichtdicke		Lamda		Quelle
Gefach	**94,06%**						
(95cm von 101cm)		Lehmputz	0,05	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Strohballen	0,36	m	0,052	W/mK	[Minke et al. 2009],[Krick, 2008]
		Lehm-Schlämme	0,01	m	0,85	W/mK	[Ziegelhuber-a, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,006	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Luft	0,03	m	-	W/mK	-
		Lärchenholz	0,0195	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
Steher	**5,94%**						
(6cm von 101cm)		Lehmputz	0,04	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Schilfrohr	0,01	m	0,065	W/mK	[u-wert.net, 2013]
		Fichtenholz	0,16	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Holzweichfaser	0,04	m	0,039	W/mK	[Steico, 2013]
		Fichtenholz	0,16	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,006	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Fichtenholz	0,03	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Lärchenholz	0,0195	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]

Abbildung 6-03: Berechnungswerte Wandaufbau [eigene Tabelle]

Bodenplatte

Bodenaufbau: U= 0,144 [W/m²K]

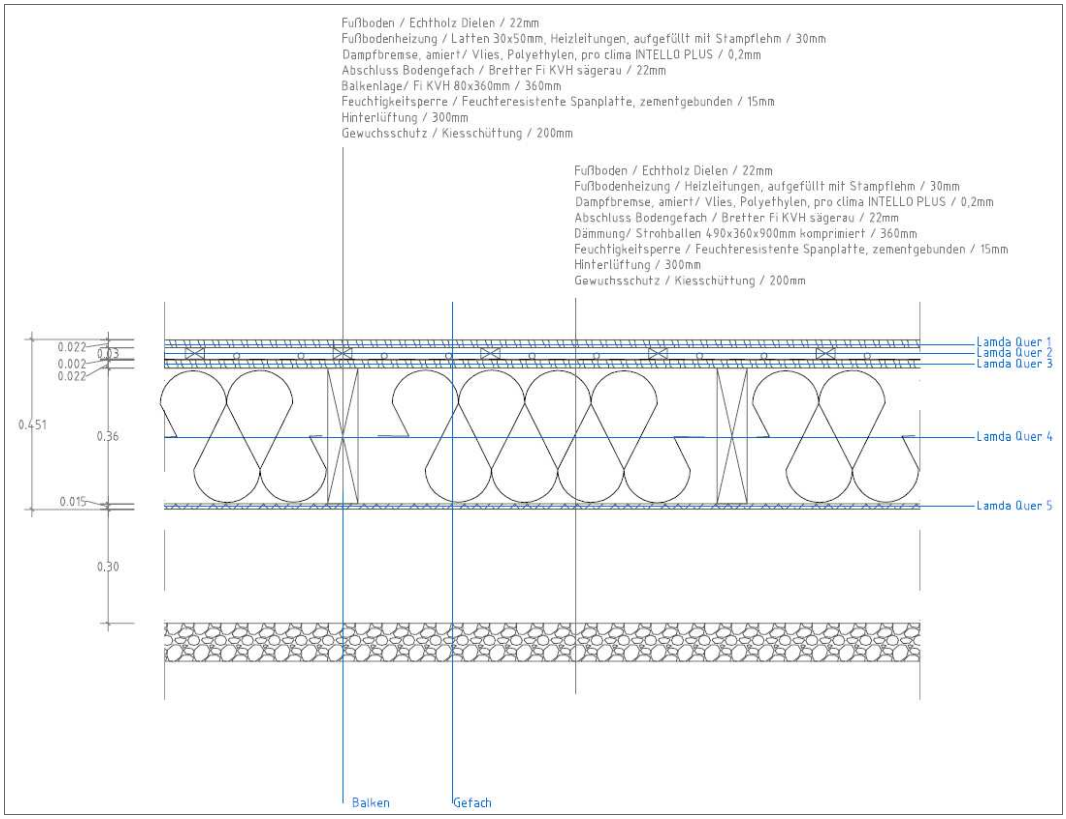


Abbildung 6-04: Detail Bodenaufbau für Berechnung des U-Wertes [eigene Zeichnung]

Bodenaufbau	Anteil	Material	Schichtdicke		Lamda		Quelle
Gefach	**92,07%**						
(93cm von 101cm)		Eschenholz	0,022	m	0,15	W/mK	[w oodlinks, 2013]
		Stampflehm	0,03	m	0,85	W/mK	[Ziegelhuber-b, 2013]
		Polyethylen-Membran (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Fichteholz	0,022	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Stroh	0,36	m	0,052	W/mK	[Minke et al. 2009],[Krick, 2008]
		Spanplatte, zementgebunden	0,015	m	0,23	W/mK	[ecobine, 2013]
Balken	**7,93%**						
(8cm von 101cm)		Eschenholz	0,022	m	0,15	W/mK	[w oodlinks, 2013]
		Fichteholz	0,03	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polyethylen-Membran (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Fichteholz	0,022	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Fichteholz	0,36	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Spanplatte, zementgebunden	0,015	m	0,23	W/mK	[ecobine, 2013]

Abbildung 6-05: Berechnungswerte Bodenaufbau [eigene Tabelle]

Dachaufbau

Dachaufbau: U= 0,135 [W/m²K]

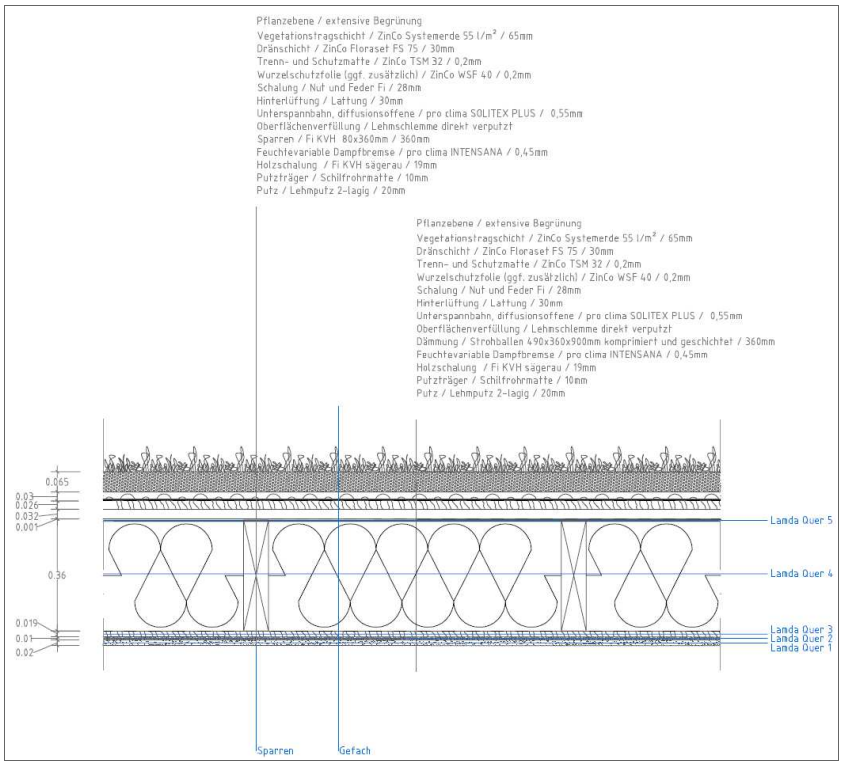


Abbildung 6-06: Detail Dachaufbau für Berechnung des U-Wertes [eigene Zeichnung]

Dachaufbau	Anteil	Material	Schichtdicke		Lamda		Quelle
Gefach	**92,07%**						
(93cm von 101cm)		Lehm	0,02	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Schilfrohr	0,01	m	0,065	W/mK	[u-w ert.net, 2013]
		Fichteholz	0,019	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen-Vlies	0,0045	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Stroh	0,36	m	0,052	W/mK	[Minke et al. 2009],[Krick, 2008]
		Lehm	0,01	m	0,85	W/mK	[Ziegelhuber-a, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,0055	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Luft	0,03	m		W/mK	-
		Polyethylen (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyester	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyethylen (recy.)	0,03	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[baulinks-b, 2013]
		Tonziegel (recy.)	0,065	m	0,4	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[Pexider, 2013]
		Sedum-Kräuter	k.A.	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
Sparren	**7,93%**						
(8cm von 101cm)		Lehm	0,02	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Schilfrohr	0,01	m	0,065	W/mK	[u-w ert.net, 2013]
		Fichteholz	0,019	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen-Vlies	0,0045	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Fichteholz	0,36	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,0055	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Fichtenholz	0,03	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polyethylen (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyester	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyethylen (recy.)	0,025	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[baulinks-b, 2013]
		Tonziegel (recy.)	0,065	m	0,4	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[Pexider, 2013]
		Sedum-Kräuter	k.A.	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]

Abbildung 6-07: Berechnungswerte Dachaufbau [eigene Tabelle]

6.2. Energetische Bilanzierung

Die Energetische Bilanzierung nach dem Monatsbilanzverfahren der DIN 4108 - 6 wurde mit ZUB Helena ® Ultra ausgewertet.
Im folgenden sind die Gebäudeergebnisse der Bilanzierung, teilweise mit Gegenüberstellung des Referenzgebäudes, dargestellt.
Im Berechnungsverfahren wurde das Wohngebäude mit den Randbedingungen des Nachweises nach EnEV, gemäß EnEV 2009, mit den verwendeten Normen DIN 4108-6 und DIN V 4701 berechnet.

6.2.1. Gebäudeergebnisse

Istgebäude

	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]	0,179	0,400	**44,7 % (zulässig)**
H'_T (Referenzgebäude) [W/(m²K)]		0,406	44,1 %
spez. Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	30,0	-	
Anlagenaufwandszahl [-]	0,79	-	
spez. Primärenergiebedarf [kWh/m²a]	18,88	95,37	**19,8 % (zulässig)**

Referenzgebäude

	Ist-Wert	-	-
spez. Transmissionswärmeverlust [W/(m²K)]	0,406	-	
H'_T (Referenzgebäude) [W/(m²K)]		0,406	100,0 %
spez. Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	68,5	-	
Anlagenaufwandszahl [-]	1,18	-	
spez. Primärenergiebedarf [kWh/m²a]	95,37		

Randbedingungen

Dichtheitsprüfung	mit Dichtheitsprüfung, Zu- und Abluftanlage
Luftwechselrate	0,60 h^{-1}
Bauweise	leicht
Wärmebrückenkorrektur	detaillierte Eingabe
Wärmebrücken-Korrekturwert	-0,017 W/(m²K)

6.2.2. Strom aus erneuerbaren Energien nach §5 EnEV 2009

Monat	Strom reg.	Trinkwarmwasser und Lüftung		Heizung		
	[kWh/Monat]	Endenergie Strom [kWh/Monat]	Korrektur Endenergie [kWh/Monat]	Monatsanteil Heizwärme-bedarf	Endenergie Strom [kWh/Monat]	Korrektur Endenergie [kWh/Monat]
Januar	79,5	67,6	67,6	26,9 %	145,0	11,9
Februar	89,5	61,0	61,0	19,2 %	103,4	28,4
März	140,9	67,6	67,6	11,0 %	59,5	59,5
April	276,8	65,4	65,4	0,8 %	4,2	4,2
Mai	279,0	67,6	67,6	0,1 %	0,6	0,6
Juni	311,9	65,4	65,4	0,0 %	0,0	0,0
Juli	327,8	67,6	67,6	0,0 %	0,0	0,0
August	248,3	67,6	67,6	0,0 %	0,0	0,0
September	212,0	65,4	65,4	0,0 %	0,3	0,3
Oktober	135,3	67,6	67,6	3,4 %	18,5	18,5
November	79,7	65,4	65,4	13,5 %	72,9	14,2
Dezember	47,4	67,6	47,4	25,0 %	134,4	0,0
Gesamt	**2.228,0**	**795,8**	**775,7**		**538,7**	**137,5**

Endenergie (elektrisch)

	Bedarf [kWh/a]	gedeckt durch erneuerbare Energien [kWh/a]	Deckungsanteil
Heizung	538,7	137,5	25,5 %
Warmwasser	795,8	775,7	97,5 %
Gesamt	**1.334,5**	**913,2**	**68,4 %**

Photovoltaik gemäß DIN EN 15316-4-6

Spitzenleistung P_{pk} [kW]	2,5
Art der Gebäudeintegration	Mäßig belüftete Module, < 0,5 m auf Dach aufgesetzt
Systemleistungfaktor f_{perf} [-]	0,75
Ausrichtung	Süd
Winkel	45°

6.2.3. Wärme- und Energiebilanzen

Heizung		kWh/a
Verluste durch Transmission		6626,9
Außenwandflächen	*1683,2*	
Dachflächen und oberste Geschossdecke	*1533,4*	
unterer Gebäudeabschluss	*1468,0*	
Fenster	*2438,5*	
Türen	*146,5*	
Wärmebrücken	*-642,7*	
Verluste durch Lüftung		6608,0
Wärmegewinne		-8316,1
Interne Gewinne	*-4003,1*	
Solare Gewinne	*-4313,0*	
Heizwärmebedarf Q_h		**4918,8**
Wärmeeinträge		-3664,0
durch Warmwasserbereitstellung	*-836,0*	
durch Lüftungsanlage (inkl. Wärmerückgewinnung)	*-2827,9*	
Verluste der Anlagentechnik		3475,0
durch Übergabe	*114,9*	
durch Verteilung	*500,7*	
durch Speicherung	*14,6*	
*durch Erzeugung *)*	*2844,8*	
Endenergie Wärmeenergie		**4729,8**
Hilfsenergie		538,7
Endenergie Heizung gesamt		**5268,5**

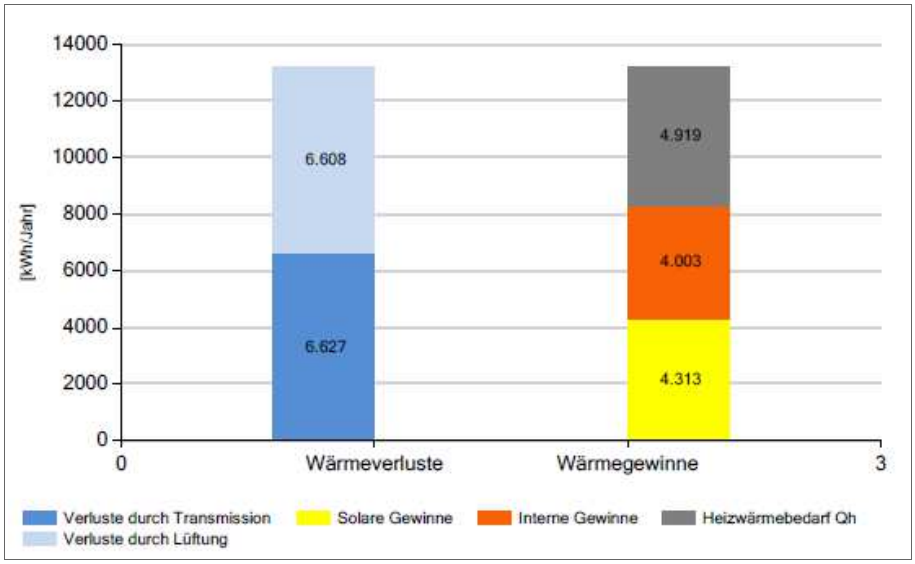
Warmwasser		kWh/a
Wärmebedarf für Trinkwarmwasser		**2051,9**
Verluste der Anlagentechnik		3237,1
durch Verteilung	*1552,8*	
durch Speicherung	*308,0*	
*durch Erzeugung *)*	*1376,3*	
Endenergie Wärmeenergie		**5289,1**
Hilfsenergie		205,3
Endenergie Warmwasser gesamt		**5494,3**

Lüftung		kWh/a
Energiebedarf für Wärmeerzeugung		**0,0**
Hilfsenergie		590,6
für Verteilung und Übergabe	*0,0*	
für Erzeugung	*590,6*	

Lüftung		kWh/a
Endenergie Lüftung gesamt		**590,6**

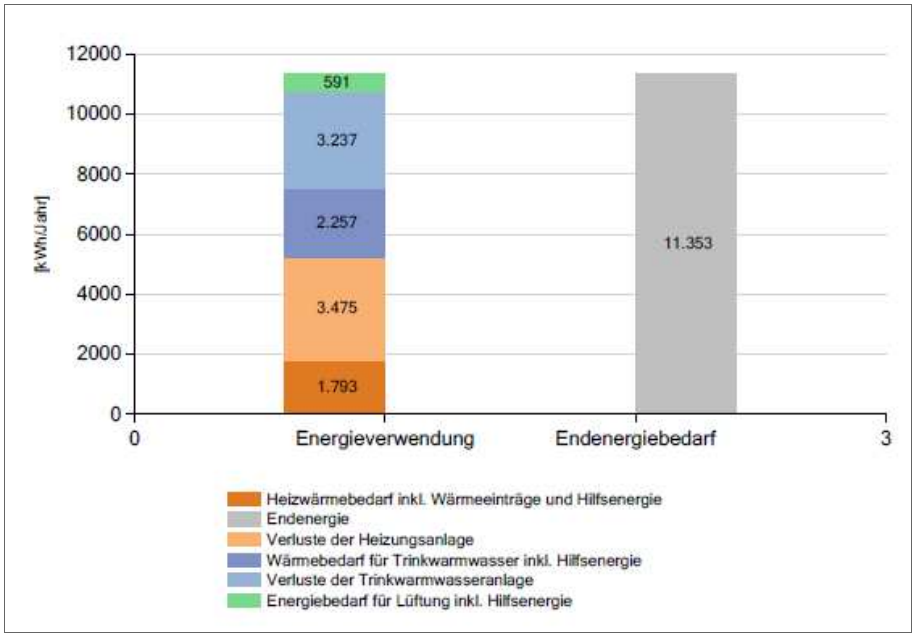
*) u.U. negative Werte bei Erzeugung durch Einsatz von Solaranlagen, Wärmepumpen oder Brennwertgeräten

Wärmebedarf für Heizung



Heizung	[kWh/Jahr]	
Wärmeverluste		13.234,9
Verluste durch Transmission	6.626,9	
Verluste durch Lüftung	6.608,0	
Wärmegewinne		-8.316,1
Interne Gewinne	-4.003,1	
Solare Gewinne	-4.313,0	
Heizwärmebedarf Q_h		**4.918,8**

Endenergiebilanz



Monatliche Gewinne / Verluste

Monat	Gewinne [kWh/Monat]	Verluste [kWh/Monat]	Ausnutzungs-grad [-]	Qh [kWh/Monat]
Januar	1.082	2.380	0,98	1.324
Februar	1.042	1.942	0,96	944
März	1.336	1.726	0,89	543
April	1.875	983	0,50	38
Mai	1.836	607	0,33	5
Juni	1.910	241	0,13	0
Juli	2.024	0	0,00	0
August	1.739	0	0,00	0
September	1.631	467	0,29	2
Oktober	1.338	1.150	0,73	169
November	1.043	1.638	0,93	666
Dezember	891	2.100	0,98	1.227
Summe	17746 kWh/a	13235 kWh/a	--	4919 kWh/a

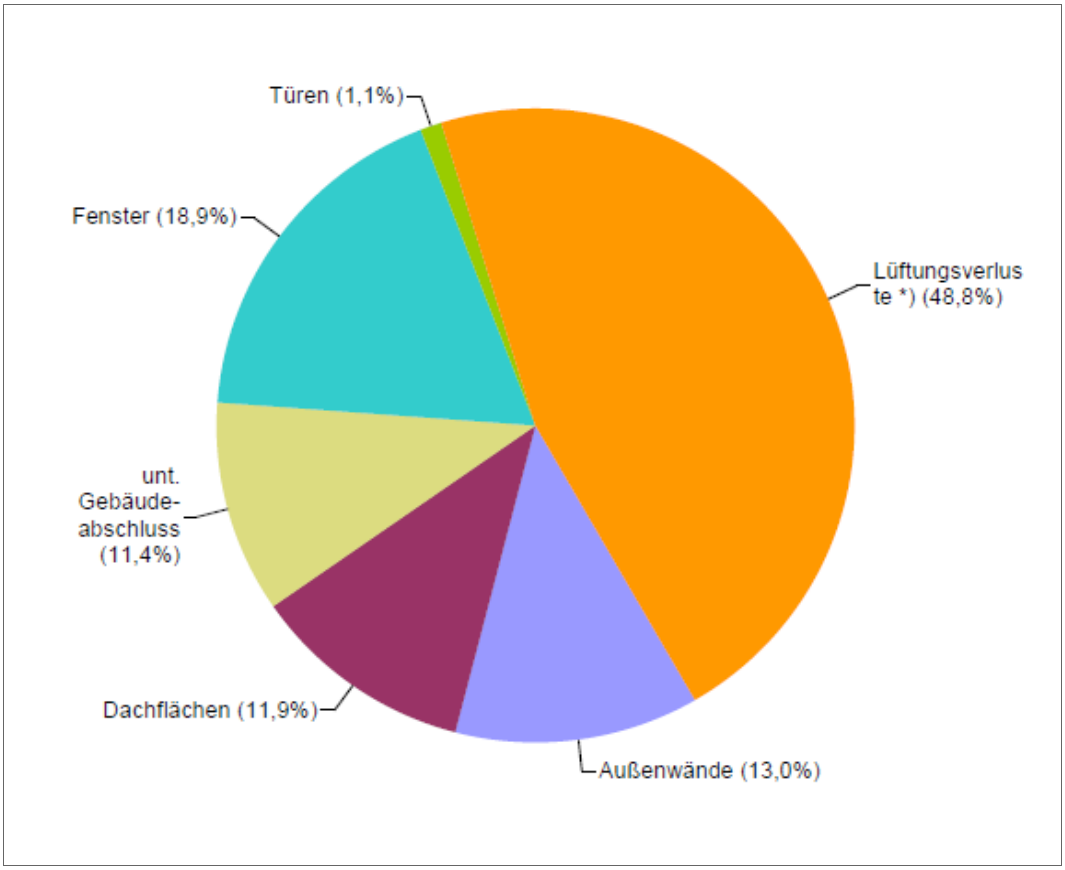
Wärmebilanz

Monat	ηQ_s [kWh/Monat]	ηQ_l [kWh/Monat]	Q_T [kWh/Monat]	Q_V [kWh/Monat]	Q_h [kWh/Monat]
Januar	460	596	1.232	1.148	1.324
Februar	470	529	1.000	942	944
März	642	541	878	848	543
April	647	298	458	525	38
Mai	402	200	259	349	5
Juni	166	74	58	183	0
Juli	0	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0
September	296	168	213	255	2
Oktober	533	448	584	566	169
November	421	550	849	788	666
Dezember	274	599	1.096	1.004	1.227
Summe	4313 kWh/a	4003 kWh/a	6627 kWh/a	6608 kWh/a	4919 kWh/a

Gewinne und Verluste der Bauteile

Nr.	Name	Gewinne [kWh/a]	Verluste [kWh/a]
1	Außenwand Nord	47	759
2	Fenster (HT, HW) in Außenwand Nord	140	63
3	Fenster (G-WC) in Außenwand Nord	34	15
4	Fenster (HT-L) in Außenwand Nord	143	64
5	Tür (Rubner) in Außenwand Nord	3	162
6	Fenster (HT-R) in Außenwand Nord	143	64
7	Außenwand Ost	81	300
8	Fenster (AS-O) in Außenwand Ost	112	30
9	Fenster (WO-K) in Außenwand Ost	1.012	276
10	Außenwand Süd	173	504
11	Fenster (WO-G) in Außenwand Süd	4.332	1.037
12	Fenster (BAD) in Außenwand Süd	687	165
13	Fenster (SZ) in Außenwand Süd	1.415	339
14	Fenster (KZ) in Außenwand Süd	1.415	339
15	Außenwand West	81	300
16	Fenster (KZ-K) in Außenwand West	1.012	276
17	Fenster (AS-W) in Außenwand West	110	30
18	Bodenplatte	0	1.624
19	Dach	162	1.697

Anteilige Wärmeverluste der Bautechnik



6.2.4. Anlagentechnik

Heizung	**Erzeugung:** Stückholz-Feuerung, Stückholz, Baujahr ab 1995, mit solarer Heizungsunterstützung **Speicherung:** Heizkreis-Pufferspeicher, innerhalb der therm. Hülle, Baujahr ab 1995 **Verteilung:** horiz. Verteilung außerhalb, Stränge außenliegend, Pumpe nicht geregelt, Baujahr ab 1995 **Übergabe:** Fußbodenheizung, elektron. Regelung, 35°C/28°C, Baujahr ab 1995
Warmwasser	**Erzeugung:** Stückholz-Feuerung, Stückholz, Baujahr ab 1995, mit Solaranlage **Speicherung:** Solarer Trinkwasserspeicher (bivalent oder separat), innerhalb der therm. Hülle, Baujahr ab 1995 **Verteilung:** zentrale Verteilung, horizontale Verteilleitungen innerhalb der therm. Hülle, mit Zirkulation, ohne gemeinsame Installationswand, Baujahr ab 1995
Lüftung	**Erzeugung:** dezentrale Abluft/Zuluftanlage mit Wärmerückgewinnung, 80% Wärmerückgewinnung **Verteilung:** Verteilleitungen innerhalb **Übergabe:** ohne Einzelraumregelung, Auslässe Innenwand

Gesamtergebnisse

Bezeichnung	absoluter Wert [kWh/a]	bezogener Wert [kWh/(m²a)]
Primärenergiebedarf	3.099	18,9
Endenergiebedarf gesamt	10.440	63,6
Endenergiebedarf Wärmeenergie	10.019	61,0
Endenergiebedarf Hilfsenergie	1.334	8,1

Anlagenaufwandzahl [-]	0,79
Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/(m²a)]	30,0
Wärmebedarf Trinkwarmwasser [kWh/(m²a)]	12,5
Deckung des Wärmebedarfs für Heizung durch:	
Heizung [kWh/(m²a)]	7,6
Trinkwassererwärmung [kWh/(m²a)]	5,1
Lüftung [kWh/(m²a)]	17,2
Norm-Heizlast nach DIN V 4108-6 [kW]	7,0

Ergebnisse nach Energieträgern

Bezeichnung	Endenergie absolut [kWh/a]	Endenergie spez. [kWh/m²a]	Primärenergie absolut [kWh/a]	Primärenergie spez. [kWh/m²a]	f_P [-]
Stückholz (Wärmeenergie)	10.019	61,0	2.004	12,2	0,20
Strom (Hilfsenergie)	1.334	8,1	3.470	21,1	2,60
Strom (Korrektur nach §5)	-913	-5,6	-2.374	-14,5	2,60

6.3. Sommerlicher Wärmeschutz

Der Sommerlicher Wärmeschutz wurde nach DIN 4108 – 2 (Mindestwärmeschutz) für alle nach Süden orientierten Räume des Wohngebäudes berechnet. Dazu gehören das Wohn-Esszimmer, das Bad, das Schlafzimmer und das Kinderzimmer
Die Berechnungen sind in den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels aufgeführt. Die genauen Ergebnisse befinden sich im orangen Ergebnisfeld der jeweiligen Tabelle. Alle Nach Süden orientierten Räume des Wohngebäudes sind nach dem Mindestwärmeschutz des Sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108 - 2 zulässig.

Wohn-Esszimmer

Berechnung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 / Raumweise

Der Nachweis für die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht, wenn der vorhandenen Sonneneintragskennwert den zulässigen Sonneneintragskennwert nicht übersteigt.

S =	Sonneneintragskennwert			**Wohn-Esszimmer**		
S vorh (vorhanden)	≤	S zul (zulässig)		0,038	≤	0,043
$S_{vorh} = \frac{\sum_N A_{W,N} \cdot g_{tot,N}}{A_G}$			=	$\frac{1,440}{37,91}$	=	0,038
A_W =	Fensterflächenanteil	[m²]		$A_{W\,1}$ = 16,43 [m²] (aus Entwurf / ohne bauliche Verschattung)		
				$A_{W\,2}$ = 4,08 [m²] (aus Entwurf / bauliche Verschattung durch Dachüberstand)		
g =	g-Wert des Glases	[W/m²K]		g = 0,5 [W/m²K] (laut Hersteller Herz)		
Fc =	Abminderungsfaktor Sonnenschutzvorrichtung (DIN EN 4108-2 Tabelle 7)			Fc = 0,15 (Jalousie, Lamellen drehbar, 10° Stellung / 3-fach Wärmedämmglas)		
A_G =	Grundfläche	[m²]		A_G = 37,91 [m²] (aus Entwurf)		
f_{WG} =	Fensterflächenanteil der Fassade (bei ≥ 10 muss Nachweis nach DIN 4108-2 geführt werden)	[m²]		f_{WG} = 0,54		
$f_{WG} = \frac{A_w}{A_G}$		[m²] / [m²]	=	$\frac{20,51\ [m²]}{37,91\ [m²]}$	= ≡	0,54 54%
$g_{tot\,1}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases			$g_{tot\,1}$ = 0,075 (ohne bauliche Verschattung)		
$g_{tot\,1} = g \cdot Fc \cdot$			=	0,5 0,15		
$g_{tot\,2}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases			$g_{tot\,2}$ = 0,051 (mit bauliche Verschattung)		
$g_{tot\,2} = g \cdot Fc \cdot Fs$			=	0,5 0,15 0,68		
$\sum_N = A_W\,1 \cdot g_{tot\,1} + A_W\,2 \cdot g_{tot\,2}$			=	1,232 + 0,208	=	1,440
F_S =	Abminderungsfaktor baulicher Verschattung			F_S = 0,68		
(DIN 4108-2 Tabelle 7: bei baulichen Verschattungen gtot= g • Fc • Fs wobei Fs nach DIN 18599-2, A.2 zu bestimmen ist)						
$F_S = F_h \cdot F_o \cdot F_f$			=	0,68 (nur Abminderungsfaktoren ≥0)		
(DIN V 18599-2 Anhang A / Abminderungsfaktoren der baulichen Verschattung)						
F_h =	Andere Gebäude / Topographie			F_h = 0 (nicht vorhanden)		
F_o =	Bauteilüberstände oberhalb der Bauteilfläche (DIN 18599-2 Tabelle A.2)			F_o = 0,68 (Überhangwinkel 45° / senkrechte Fläche / Sommer Periode / Süd)		
F_f =	Bauteilüberstände seitlich von der Bauteilfläche			F_f = 0 (nicht vorhanden)		
$S_{zul} = \sum S_N$					=	0,043
(DIN EN 4108-2 Tabelle 8 – Anteiliger Sonneneintragskennwert zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes)						
S_1 =	Nachtlüftung und Bauart			S_1 = 0,088 (Wohngebäude / Klimaregion B / leichte Bauart / mit Nachtlüftung)		
S_2 =	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}			S_2 = -0,065		
$\Delta S_2 = a - b \cdot f_{WG}$			=	0,06 0,231 0,541		
S_3 =	Sonnenschutzglas			S_3 = 0 (nicht vorhanden)		
S_4 =	Fensterneigung			S_4 = 0 (90° gegenüber der Horizontalen)		
S_5 =	Orientierung			S_5 = 0 (Süd, West)		
S_6 =	Einsatz passiver Kühlung			S_6 = 0,02 (leichte Bauart)		

Bad

Berechnung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 / Raumweise

Der Nachweis für die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht, wenn der vorhandenen Sonneneintragskennwert den zulässigen Sonneneintragskennwert nicht übersteigt.

S =	Sonneneintragskennwert				**Bad**			
S vorh (vorhanden)	≤	S zul (zulässig)			0,041	≤	0,152	
S vorh =	$\frac{\sum N \quad A_{W,N} \cdot \quad g_{tot,N}}{A_G}$			=	$\frac{0,295}{7,23}$		=	0,041
A_W =	Fensterflächenanteil	[m²]			$A_{W\,1}$ = 1,92 [m²] (aus Entwurf / ohne bauliche Verschattung)			
					$A_{W\,2}$ = 0,65 [m²] (aus Entwurf / bauliche Verschattung durch Dachüberstand)			
g =	g-Wert des Glases	[W/m²K]			g = 0,5 [W/m²K] (laut Hersteller Herz)			
Fc =	Abminderungsfaktor Sonnenschutzvorrichtung (DIN EN 4108-2 Tabelle 7)				Fc = 0,25 (Jalousie, Lamellen drehbar, 45° Stellung / 3-fach Wärmedämmglas)			
A_G =	Grundfläche	[m²]			A_G = 7,23 [m²] (aus Entwurf)			
f_{WG} =	Fensterflächenanteil der Fassade (bei ≥ 10 muss Nachweis nach DIN 4108-2 geführt werden)	[m²]			f_{WG} = 0,07 (Nachweis müßte nicht geführt werden)			
f_{WG} =	$\frac{A_w \quad [m^2]}{A_G \quad [m^2]}$			=	$\frac{2,57 \quad [m^2]}{37,91 \quad [m^2]}$		= ≡	0,07 7%
$g_{tot\,1}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases				$g_{tot\,1}$ = 0,125 (ohne bauliche Verschattung)			
$g_{tot\,1}$ =	g •	Fc •		=	0,5	0,25		
$g_{tot\,2}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases				$g_{tot\,2}$ = 0,085 (mit bauliche Verschattung)			
$g_{tot\,2}$=	g •	Fc •	Fs	=	0,5	0,25	0,68	
∑N =	Aw 1 • gtot 1	+	Aw 2 • gtot 2	=	0,240	+ 0,055	=	0,295
Fs =	Abminderungsfaktor baulicher Verschattung				Fs = 0,68			
DIN 4108-2 Tabelle 7: bei baulichen Verschattungen gtot= g • FC • Fs wobei Fs nach DIN 18599-2, A.2 zu bestimmen ist								
Fs =	Fh •	Fo •	Ff	=	0,68			
(DIN V 18599-2 Anhang A / Abminderungsfaktoren der baulichen Verschattung)					(nur Abminderungsfaktoren ≥0)			
Fh =	Andere Gebäude / Topographie				Fh = 0 (nicht vorhanden)			
Fo =	Bauteilüberstände oberhalb der Bauteilfläche (DIN 18599-2 Tabelle A.2)				Fo = 0,68 (Überhangwinkel 45° / senkrechte Fläche / Sommer Periode / Süd)			
Ff =	Bauteilüberstände seitlich von der Bauteilfläche				Ff = 0 (nicht vorhanden)			
S zul =	∑SN						=	0,152
(DIN EN 4108-2 Tabelle 8 – Anteiliger Sonneneintragskennwert zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes)								
S1 =	Nachtlüftung und Bauart				S1 = 0,088 (Wohngebäude / Klimaregion B / leichte Bauart / mit Nachtlüftung)			
S2 =	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil fWG				S2 = 0,044			
ΔS2 =	a –	b •	fWG	=	0,06	0,231	0,068	
S3 =	Sonnenschutzglas				S3 = 0 (nicht vorhanden)			
S4 =	Fensterneigung				S4 = 0 (90° gegenüber der Horizontalen)			
S5 =	Orientierung				S5 = 0 (Süd, West)			
S6 =	Einsatz passiver Kühlung				S6 = 0,02 (leichte Bauart)			

Schlafzimmer

Berechnung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 / Raumweise

Der Nachweis für die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht, wenn der vorhandenen Sonneneintragskennwert den zulässigen Sonneneintragskennwert nicht übersteigt.

S =	Sonneneintragskennwert			**Schlafzimmer**			
S vorh (vorhanden)	≤	S zul (zulässig)		0,048	≤	0,136	
$S_{vorh} = \frac{\sum_N A_{W,N} \cdot g_{tot,N}}{A_G}$			=	$\frac{0,608}{12,56}$		=	0,048
A_W =	Fensterflächenanteil	[m²]		$A_{W\,1}$ = 3,96 [m²] (aus Entwurf / ohne bauliche Verschattung)			
				$A_{W\,2}$ = 1,33 [m²] (aus Entwurf / bauliche Verschattung durch Dachüberstand)			
g =	g-Wert des Glases	[W/m²K]		g = 0,5 [W/m²K] (laut Hersteller Herz)			
Fc =	Abminderungsfaktor Sonnenschutzvorrichtung (DIN EN 4108-2 Tabelle 7)			Fc = 0,25 (Jalousie, Lamellen drehbar, 45° Stellung / 3-fach Wärmedämmglas)			
A_G =	Grundfläche	[m²]		A_G = 12,56 [m²] (aus Entwurf)			
f_{WG} =	Fensterflächenanteil der Fassade (bei ≥ 10 muss Nachweis nach DIN 4108-2 geführt werden)	[m²]		f_{WG} = 0,14			
$f_{WG} = \frac{A_w}{A_G}$		[m²] / [m²]	=	5,29 [m²] / 37,91 [m²]		=	0,14 ≡ 14%
$g_{tot\,1}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases			$g_{tot\,1}$ = 0,125 (ohne bauliche Verschattung)			
$g_{tot\,1} = g \cdot Fc \cdot$			=	0,5	0,25		
$g_{tot\,2}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases			$g_{tot\,2}$ = 0,085 (mit bauliche Verschattung)			
$g_{tot\,2} = g \cdot Fc \cdot Fs$			=	0,5	0,25	0,68	
$\sum_N = A_{W\,1} \cdot g_{tot\,1} + A_{W\,2} \cdot g_{tot\,2}$			=	0,495	+ 0,113	=	0,608
Fs =	Abminderungsfaktor baulicher Verschattung			Fs = 0,68			
(DIN 4108-2 Tabelle 7: bei baulichen Verschattungen gtot= g • Fc • Fs wobei Fs nach DIN 18599-2, A.2 zu bestimmen ist)							
Fs =	Fh • Fo • Ff		=	0,68			
(DIN V 18599-2 Anhang A / Abminderungsfaktoren der baulichen Verschattung)				(nur Abminderungsfaktoren ≥0)			
Fh =	Andere Gebäude / Topographie			Fh = 0 (nicht vorhanden)			
Fo =	Bauteilüberstände oberhalb der Bauteilfläche (DIN 18599-2 Tabelle A.2)			Fo = 0,68 (Überhangwinkel 45° / senkrechte Fläche / Sommer Periode / Süd)			
Ff =	Bauteilüberstände seitlich von der Bauteilfläche			Ff = 0 (nicht vorhanden)			
$S_{zul} = \sum S_N$						=	0,136
(DIN EN 4108-2 Tabelle 8 – Anteiliger Sonneneintragskennwert zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes)							
S_1 =	Nachtlüftung und Bauart			S_1 = 0,088 (Wohngebäude / Klimaregion B / leichte Bauart / mit Nachtlüftung)			
S_2 =	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}			S_2 = 0,028			
$\Delta S_2 = a - b \cdot f_{WG}$			=	0,06	0,231	0,140	
S_3 =	Sonnenschutzglas			S_3 = 0 (nicht vorhanden)			
S_4 =	Fensterneigung			S_4 = 0 (90° gegenüber der Horizontalen)			
S_5 =	Orientierung			S_5 = 0 (Süd, West)			
S_6 =	Einsatz passiver Kühlung			S_6 = 0,02 (leichte Bauart)			

Kinderzimmer

Berechnung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 / Raumweise

Der Nachweis für die Einhaltung der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz ist erbracht, wenn der vorhandenen Sonneneintragskennwert den zulässigen Sonneneintragskennwert nicht übersteigt.

S =	Sonneneintragskennwert			**Kinderzimmer**		
S vorh (vorhanden)	≤	S zul (zulässig)		0,075	≤	0,110
S vorh =	$\frac{\sum N \; A_{W,N} \cdot g_{tot,N}}{A_G}$		=	$\frac{1,147}{15,34}$	=	0,075
A_W =	Fensterflächenanteil	[m²]		$A_{W\,1}$ = 8,27 [m²] (aus Entwurf / ohne bauliche Verschattung)		
				$A_{W\,2}$ = 1,33 [m²] (aus Entwurf / bauliche Verschattung durch Dachüberstand)		
g =	g-Wert des Glases	[W/m²K]		g = 0,5 [W/m²K] (laut Hersteller Herz)		
Fc =	Abminderungsfaktor Sonnenschutzvorrichtung (DIN EN 4108-2 Tabelle 7)			Fc = 0,25 (Jalousie, Lamellen drehbar, 45° Stellung / 3-fach Wärmedämmglas)		
A_G =	Grundfläche	[m²]		A_G = 15,34 [m²] (aus Entwurf)		
f_{WG} =	Fensterflächenanteil der Fassade (bei ≥ 10 muss Nachweis nach DIN 4108-2 geführt werden)	[m²]		f_{WG} = 0,25		
f_{WG} =	$\frac{A_w \; [m^2]}{A_G \; [m^2]}$		=	$\frac{9,6 \; [m^2]}{37,91 \; [m^2]}$	= ≡	0,25 25%
$g_{tot\,1}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases			$g_{tot\,1}$ = 0,125 (ohne bauliche Verschattung)		
$g_{tot\,1}$ =	g • Fc •		=	0,5 • 0,25		
$g_{tot\,2}$ =	Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases			$g_{tot\,2}$ = 0,085 (mit bauliche Verschattung)		
$g_{tot\,2}$=	g • Fc • Fs		=	0,5 • 0,25 • 0,68		
∑N =	$A_{W\,1} \cdot g_{tot\,1}$ + $A_{W\,2} \cdot g_{tot\,2}$		=	1,034 + 0,113	=	1,147
F_S =	Abminderungsfaktor baulicher Verschattung			F_S = 0,68		
DIN 4108-2 Tabelle 7: bei baulichen Verschattungen gtot= g • FC • Fs wobei Fs nach DIN 18599-2, A.2 zu bestimmen ist						
F_S =	$F_h \cdot F_O \cdot F_f$		=	0,68 (nur Abminderungsfaktoren ≥0)		
(DIN V 18599-2 Anhang A / Abminderungsfaktoren der baulichen Verschattung)						
F_h =	Andere Gebäude / Topographie			F_h = 0 nicht vorhanden		
F_O =	Bauteilüberstände oberhalb der Bauteilfläche (DIN 18599-2 Tabelle A.2)			F_O = 0,68 (Überhangwinkel 45° / senkrechte Fläche / Sommer Periode / Süd)		
F_f =	Bauteilüberstände seitlich von der Bauteilfläche			F_f = 0 (nicht vorhanden)		
S_{zul} =	∑SN				=	0,110
(DIN EN 4108-2 Tabelle 8 – Anteiliger Sonneneintragskennwert zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes)						
S_1 =	Nachtlüftung und Bauart			S_1 = 0,088 (Wohngebäude / Klimaregion B / leichte Bauart / mit Nachtlüftung)		
S_2 =	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}			S_2 = 0,002		
ΔS_2 =	a – b • f_{WG}		=	0,06 – 0,231 • 0,253		
S_3 =	Sonnenschutzglas			S_3 = 0 (nicht vorhanden)		
S_4 =	Fensterneigung			S_4 = 0 (90° gegenüber der Horizontalen)		
S_5 =	Orientierung			S_5 = 0 (Süd, West)		
S_6 =	Einsatz passiver Kühlung			S_6 = 0,02 (leichte Bauart)		

6.4. Wärmebrücken

Alle hier aufgeführten Wärmebrücken wurden mit ZUB Agros ® Pro gezeichnet, berechnet und ausgewertet.

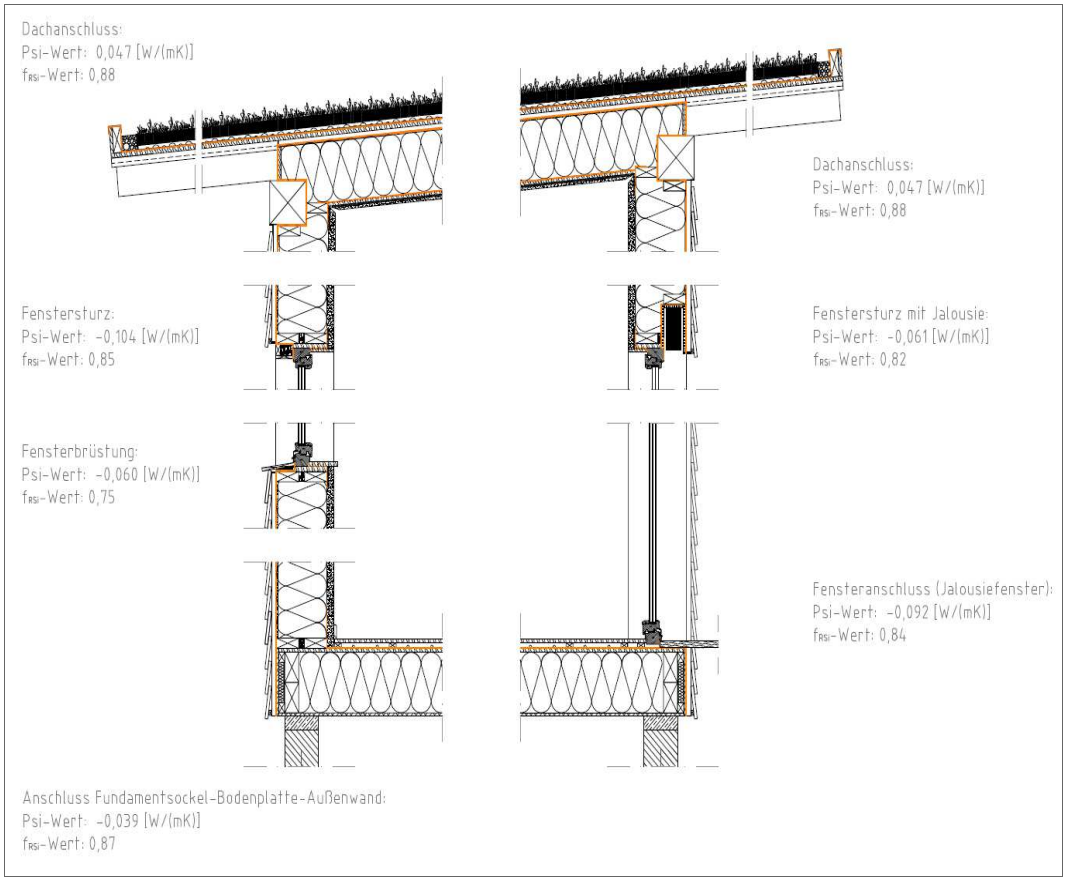


Abbildung 6-08: Regelschnitt mit Übersicht der Wärmebrücken [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Dach - Außenwand

Psi – Wert: 0,047 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,88

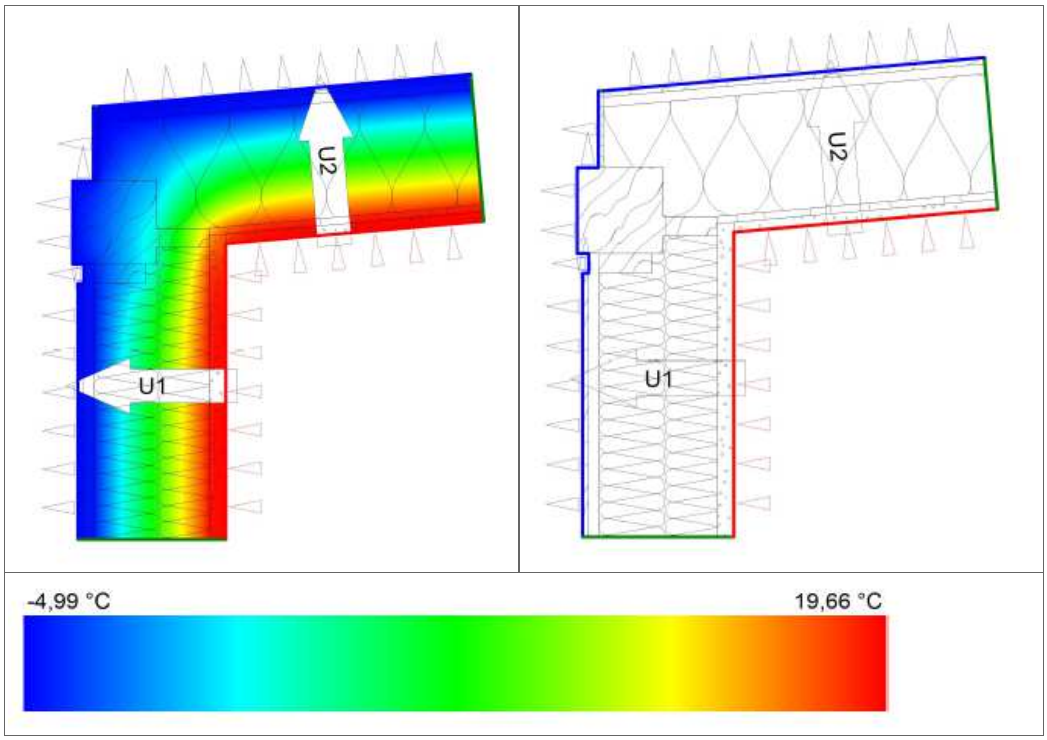


Abbildung 6-09 a-c: Wärmebrücke Anschluss Dach - Außenwand [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Fenstersturz - Außenwand

Psi – Wert: -0,104 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,85

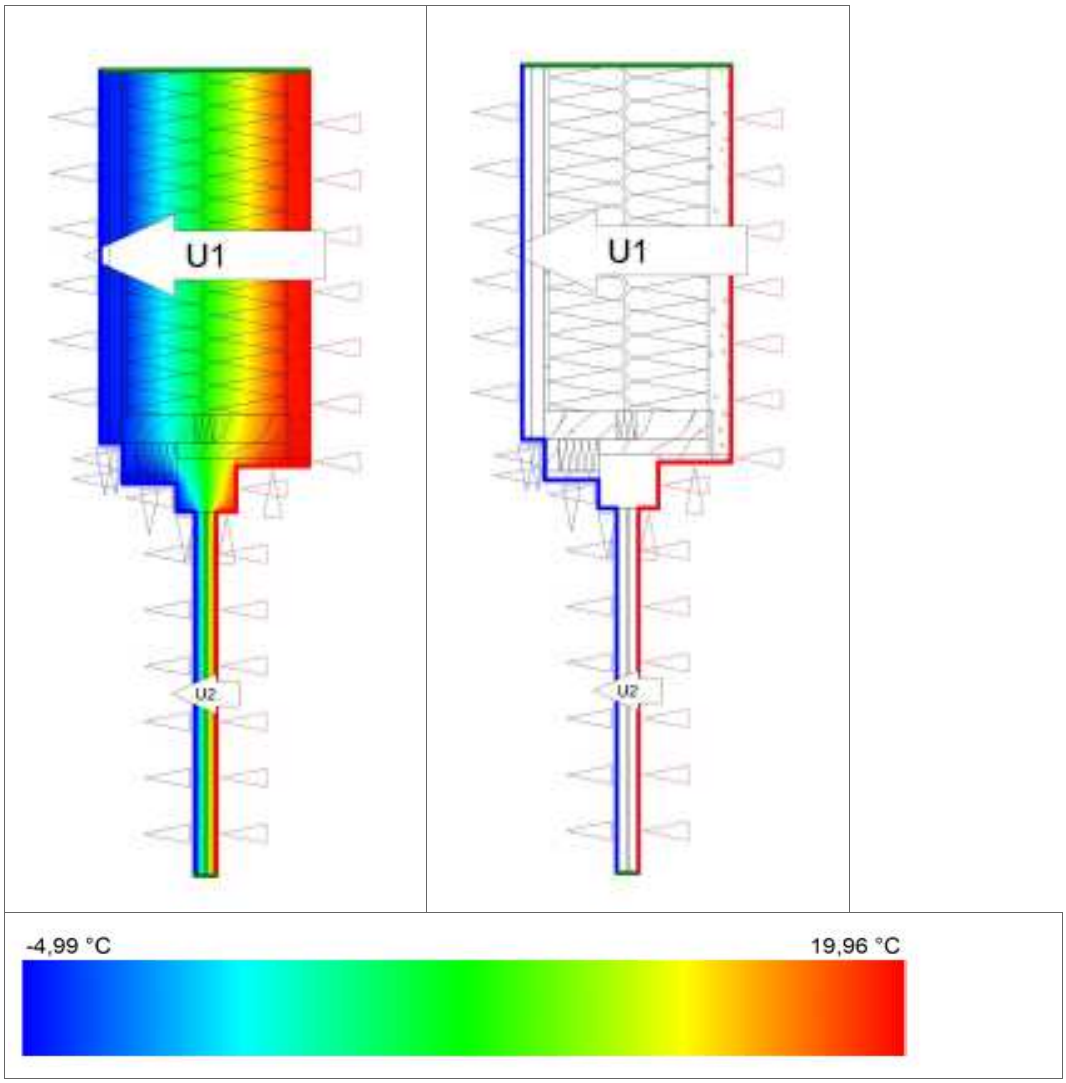


Abbildung 6-10 a-c: Wärmebrücke Anschluss Fenstersturz - Außenwand [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Fenstersturz mit Jalousie - Außenwand

Psi – Wert: -0,061 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,82

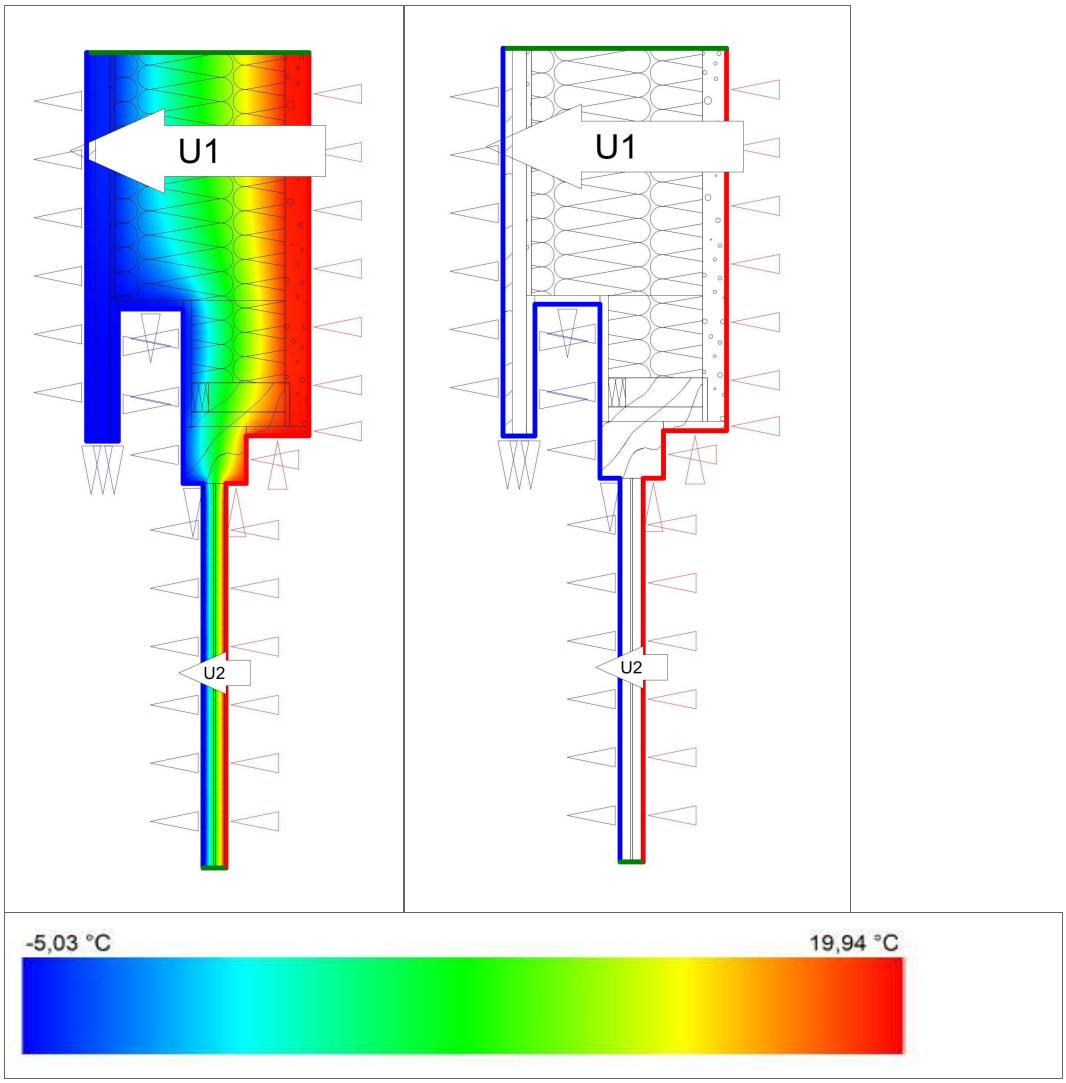


Abbildung 6-11 a-c: Wärmebrücke Anschluss Fenstersturz mit Jalousie - Außenwand [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Fensterlaibung - Außenwand

Psi – Wert: -0,117 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,86

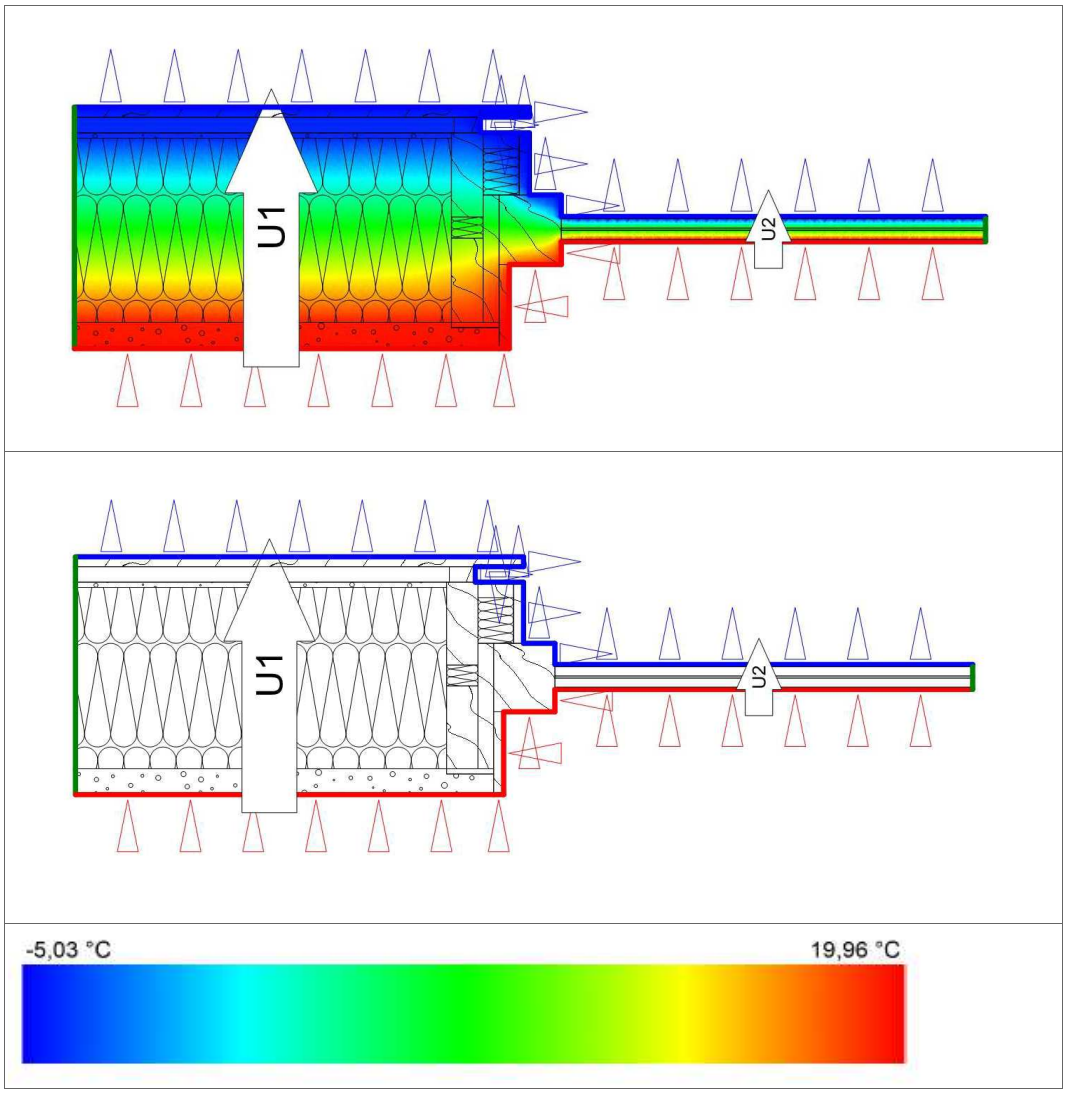


Abbildung 6-12 a-c: Wärmebrücke Anschluss Fensterlaibung - Außenwand [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Fensterbrüstung - Außenwand

Psi – Wert: -0,060 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,75

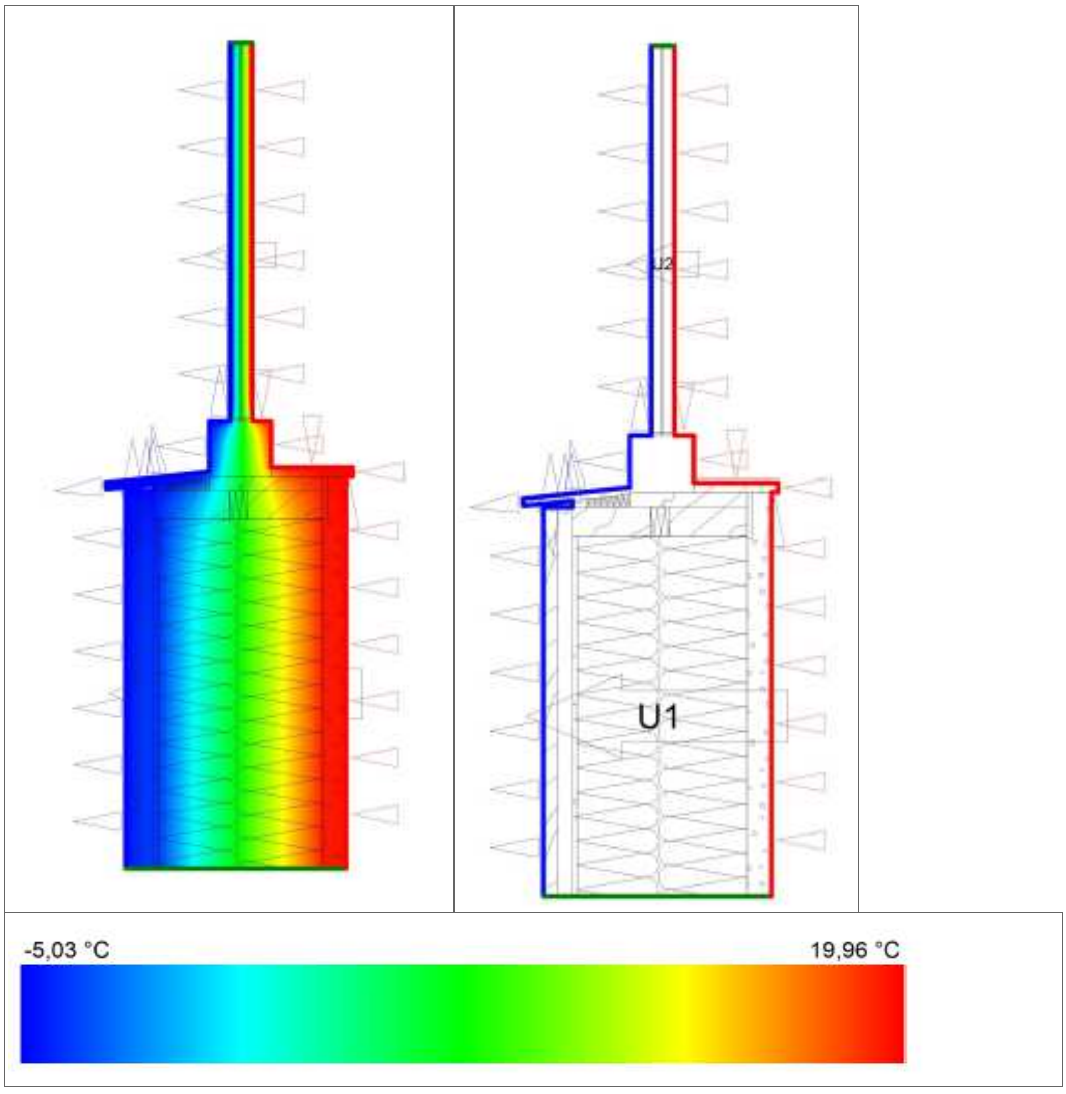


Abbildung 6-13 a-c: Wärmebrücke Anschluss Fensterbrüstung - Außenwand [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Fensterbrüstung (Jalousiefenster) - Außenwand

Psi – Wert: -0,092 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,84

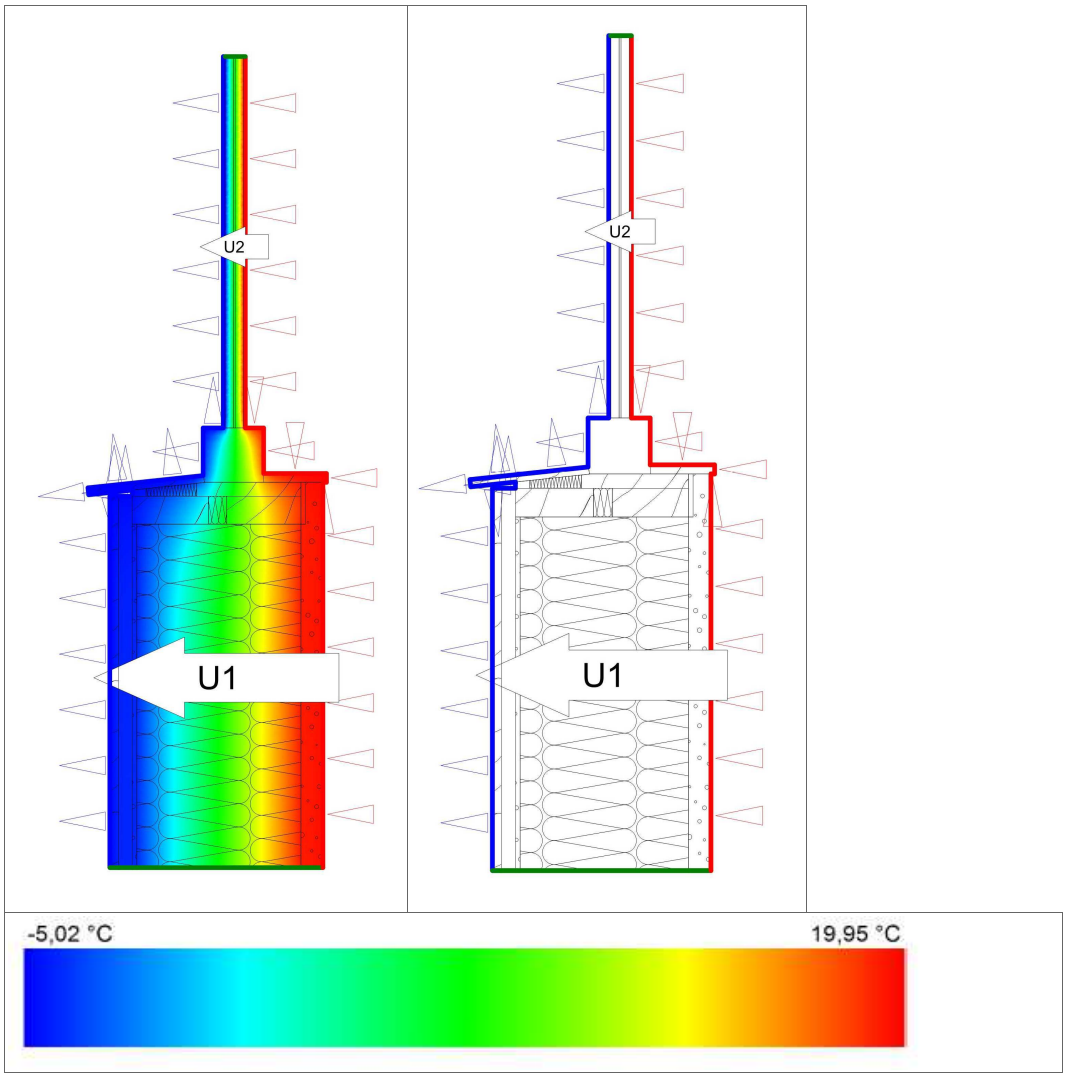


Abbildung 6-14 a-c: Wärmebrücke Anschluss Fensterbrüstung (Jalousiefenster) - Außenwand [eigene Zeichnung]

Wärmebrücke Anschluss Außenwand - Bodenplatte - Fundament

Psi – Wert: -0,039 [W/(mK)]

f_{RSi} – Wert: 0,87

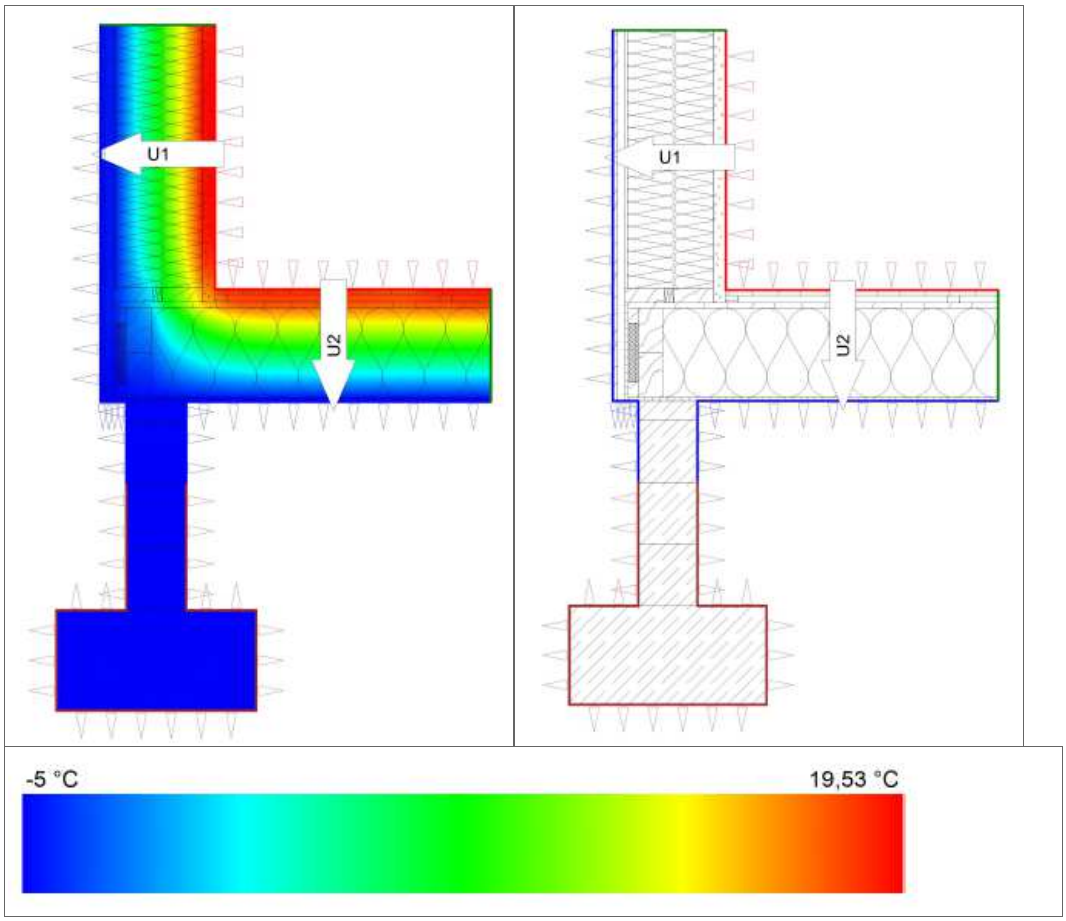


Abbildung 6-15 a-c: Wärmebrücke Anschluss Außenwand – Bodenplatte – Fundament [eigene Zeichnung]

7. Bauablauf der Eigenleistung für den Stroheinbau

Die möglichen Eigenleistungen an einen Strohballengebäude, die von Laien erbracht werden können, beschränken sich auf den Strohballeneinbau.
Dieser ist sehr zeitintensiv und allein dadurch auch kostenintensiv. Die Strohballen selbst sind ein günstiger und ökologischer Dämmstoff.
Alle hier beschriebenen Tätigkeiten und Abläufe stammen aus meinen persönlichen Erfahrungen während meines Praktikums auf der Baustelle des Strohballen-Wohnhauses Nachtigall in Sieben Linden.
Nach einer kurze Einweisung, welche nicht mal eine Stunde gedauert hat, konnte ich bereits vollwertig mitarbeiten. Und durch weitere kurz Erklärungen und Anweisungen während der Arbeit konnte ich mir innerhalb von zwei Wochen ein umfangreiches Wissen zum Strohballeneinbau aneignen.

7.1. Vorbereitung der Strohballen

Erwerb und Transport der Strohballen

Die Ballen werden bei vielen Baustellen im Vorjahr beim Landwirt bestellt und lagern bis zum Beginn der Baustellen in einer trocken Scheune oder ähnlichem. Beim Bau des Strohballen-Wohnhauses Nachtigall wurden die Strohballen direkt vom Feld des Bauern eingesammelt und mit einem Anhänger auf die Baustelle transportiert. Hierbei war wichtig, dass die Strohballen vorher eine ausreichende Zeit auf dem Feld trocknen konnten und auch vor dem Abholen nicht noch einmal durch eventuellen Regen nass wurden. Die Bauarbeiten konnten auf Grund der Wetterverhältnisse 2013 erst recht spät im Jahr begonnen werden und so wurden auch mit den Arbeit an den Strohballen gedämmten Außenwänden erst Anfang August begonnen.

Prüfen der Qualität der Strohballen

Die auf der Baustelle eingetroffenen Strohballen, welche keine zertifizierten Baustrohballen waren, wurden Stichprobenartig auf ihre Qualität überprüft. Der Feuchtegehalt wurde mit einem umbauten Hygrometer gemessen, welches mit dem sich auf einer kurzen Lanze befindlichen Fühlerkopf in das Zentrum des zu prüfenden Strohballen gesteckt wurde. Die Rohdichte der Strohballen wurde über ihre Abmessungen und ihr Gewicht ermittelt. Die optische Erscheinung der Strohballen war in sofern wichtig, als das sie keine größeren Verformungen aufweisen sollten und weitest gehend rechteckig waren, so das sie mit den auf die Holzständerkonstruktion abgestimmten Abmessungen ohne größeres Nacharbeiten eingebaut werden konnten. Die Länge der Strohhalme innerhalb der Ballen wurde durch das Herausnehmen einiger Schichten aus den Strohballen geprüft. Je länger die einzelnen Strohhalme sind, desto stabiler ist der Ballen in sich und eignet sich auch später gut für Ausbesserungen der Fugen oder größeren Lücken.

Lagerung der Strohballen auf der Baustelle

Die Strohballen müssen auf der Baustelle so gelagert werden, dass sie vor jeglichen Feuchteeinwirkungen wie Regen, Bodennässe oder Tau geschützt sind. Auf der Baustelle der Nachtigall war bereits das Dach fertig abgedichtet, bevor mit den Stroharbeiten an den Außenwänden begonnen wurde. So wurden die Strohballen im Erdgeschoss oder im Obergeschoss in der Mitte des Gebäudes gelagert und zusätzlich mit Planen abgedeckt. Die einzelnen in Arbeit befindlichen Strohwände wurden zu den Mittagspausen oder nach Feierabend ebenso provisorisch mit Planen geschützt. Auch die fertig gestellten Strohwände, welche bis zur Fertigstellung aller Außenwände noch unverputzt oder unverkleidet blieben, wurden nach Abschluss aller Stroharbeiten sorgsam mit Folien von außen und in den Bereichen der Fensteröffnungen verschlossen.

Nachverdichten und in Form bringen der Strohballen

Zum Einbau sollten die Strohballen eine möglichst rechteckige Form auf weisen. Durch Unregelmäßigkeiten beim Pressen oder Transport können die Strohballen durchaus ein wenig oder auch mehr aus der Form geraten. Es ist auch zu beachten das gewachsene Rohstoffe, nicht die Gleichmäßigkeit von industriell gefertigten Materialien aufweisen. Auf der Baustelle der Nachtigall mussten wir so jeden einzelnen Strohballen mit der Hand mal mehr oder weniger nach arbeiten. Hier wurden als erstes durch heraus nehmen von überstehenden Strohbüscheln und zurecht schieben der Strohhalme unter den Verschnürungen, die Stirnflächen der Ballen so geebnet, das die Ecken der Ballen deutlich zu erkennen waren, wie in Abbildung 7-1 zu sehen ist.

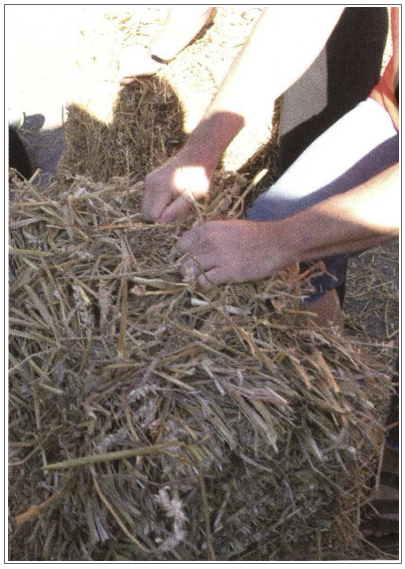


Abbildung 7-1: Ebnen der Stirnflächen [Minke et al., 2009, S. 75]

Wenn der aufrecht stehende Ballen eine leichte Biegung ähnlich einer Banane aufweist, so kann dieser auf eine ebene Bodenfläche gelegt durch den Einsatz des eigenen Körpergewichts zum Beispiel mittels draufsetzen oder ähnlichem wie in Abbildung 7-2 zu sehen ist, wieder gerade gebogen werden. Am Ende sollte der Strohballen alleine auf einer seiner beiden geraden Stirnflächen

aufrecht und gerade stehen können und die klar ausgebildeten Ecken müssen zu erkennen sein.
Falls ein Strohballen von Anfang an nicht genug verdichtet ist, so macht sich dies durch die locker sitzende Verschnürung bemerkbar. Hier kann der Strohballen durch Spanngurte oder wie in Abbildung 7-3 gezeigt wird, durch das eigene Körpergewicht und eine erneute Anbringung der Verschnürung nachverdichtet werden. Praktisch haben wir dies auf der Baustelle der Nachtigall nicht gemacht, da wir die lockeren und damit für den direkten Einbau ungeeigneten Strohballen an den Verschnürungen aufgeschnitten haben und die einzelnen gepressten Packungen, die sogenannten „Flakes“ oder einzelne Strohbüschel zum späteren verstopfen der Fugen und Lücken genommen haben.

Abbildung 7-2: Biegen von Ballen [Minke et al., 2009, S. 75]

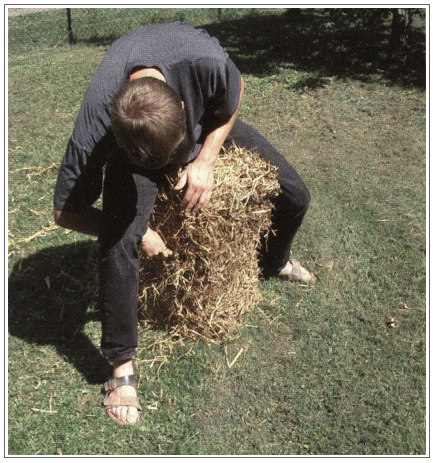


Abbildung 7-3: Nachverdichten von Ballen [Minke et al., 2009, S. 73]

Teilen der Strohballen

Strohballen müssen immer dann geteilt werden, wenn am oberen Ende der zu befüllenden Wand eine Lücke bleibt, die zu groß für einen ganzen Strohballen wäre. Dann wird ein Strohballen so geteilt, das mindestens eine Hälfte die richtige, für den momentanen Einbau benötigte, Größe hat. Hier zu verwendet

man eine Strohnadel welche in Abbildung 7-4 zu sehen sind und ohne Probleme selbst angefertigt werden können. Die in Sieben Linden verwendeten Strohnadeln hatten Holzgriffe, was die häufige Anwendung angenehmer macht und auch leichter selbst herzustellen ist.

Abbildung 7-4: Strohnadeln einfach und doppelt [Minke et al., 2009, S. 74]

Die Strohnadel wird dann, wie in Abbildung 7-5, an der gewünschten und abgemessenen Stelle durch den Strohballen gestochen. Auf der Rückseite des Strohballen werden dann in der Abbildung 7-6 bei Minke neue Schnüre eingefädelt um die geteilten Hälften neu zu verschnüren.

Abbildung 7-5: Einstechen der Strohnadeln in den Ballen [Minke et al., 2009, S. 74]

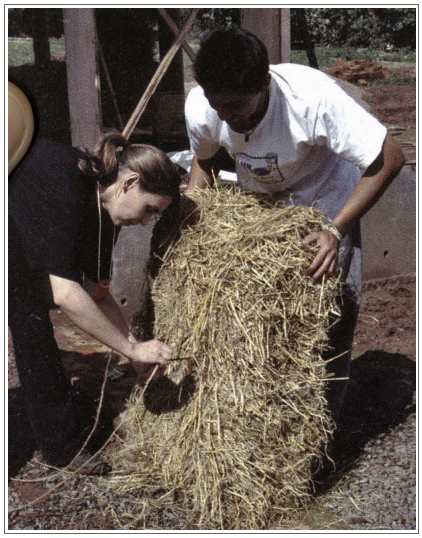


Abbildung 7-6: Durchfädeln von Schnüren [Minke et al., 2009, S. 74]

In Sieben Linden hatten wir Strohnadeln mit größeren Ösen, durch welche wir schmale Spanngurte gefädelt hatten. So konnten mit den Spanngurten die Strohballen vorübergehend zusammen gehalten werden und bei Wunsch nochmals nach gezogen werden. Dies ist wesentlich praktischer und nachhaltiger, da die Schnüre nach dem einbringen der Ballen in die Wand aufgeschnitten und entfernt werden. So kann man sich durch die Spanngurte den unnötigen Verschnitt zusätzlicher Schnur sparen und hat zusätzlich eine bessere Handhabung beim Einbau und beim Nacharbeiten der Ballen.

7.2. Einbau der Strohballen

Bevor die Strohballen in die Wand eingebaut werden müssen zwei Ballen gleicher Höhe ausgewählt werden. Die zu befüllenden Gefache an der Baustelle der Nachtigall in Sieben Linden entsprechen exakt der Breite zweier Strohballen. Um diese also in das Gefach einzupressen werden sie schräg an der Gefachkante angelegt und dann zur Mitte hin miteinander verkeilt in das Gefach geschoben wie in Abbildung 7-7 und 7-8 zusehen ist. Hierfür benötigt man im Grunde zwei Personen, wobei dies nach Größe und Kraft auch von einzelnen alleine bewältigt werden könnte. Hierbei ist es wichtig, das die Ballen gleichmäßig miteinander eingepresst werden, so dass sie später eine genaue parallele Position haben, wie in Abbildung 7-9 von einer Seite zu sehen ist.
So wird wie in Abbildung 7-10 Lage für Lage übereinander eingebracht und eingepresst, bis oben die zu füllende Lücke für den mit der Nadel und den Spanngurten in der Höhe angepassten Ballen übrig ist.

Abbildung 7-7 und 7-8: Ansetzen der Strohballen zum Eindrücken [eigene Photos]

Abbildung 7-9 und 7-10: Eingebrachte erste Lage und Ansetzen der zweiten Lage [eigene Photos]

Vorspannen der Wand

Das gesamte Gefach wird um 10 % komprimiert, so dass die eingepressten Strohballen dicht genug das Fach ausfüllen. Bei einem beispielsweise drei Meter hohen Gefach, werden drei Lagen Ballen mit einer Höhe von 90 cm eingebracht, So kommt man auf eine Höhe von 2.70 m. Das Gesamte Gefach muss um 30 cm gepresst werden. So presst man die 2.70 cm hohe Ballenlage um 30 cm nach unten und bringt dann eine 60 cm hohe Ballenlage, welche aus zwei auf je 60 cm

Höhe geteilten Ballen besteht in die obere Lücke ein.
Um die erste Ballenlage nach unten zu pressen , werden wie in Abbildung 7-11 zu sehen ist erst ein Brett auf die obere Strohfläche gelegt um den Pressdruck gleichmäßig zu verteilen. An diesem Brett sind zwei Gurte, hier in schwarz, befestigt, um das Brett nach dem Pressvorgang wieder heraus ziehen zu können. Danach werden zwei Spanngurte an deren Enden sich Schlaufen befinden, hier grün, beidseitig über die Ballen gelegt, so das dann an beiden Seiten dort ein Kettenzug eingehangen werden kann. Als Gegenlager für die Vorspannung mit dem Kettenzug wird, wie in Abbildung 7-12 zu sehen ist, ein Konterbalken mit einer Gurtschlaufe mit den Holzstehern am unteren Ende des Gefaches verschraubt.

Abbildung 7-11 und 7-12: Auflegen der Gurte mit angeschraubtem Brett zum zur gleichmäßigen Verteilung des Pressdruckes und Konterbalken zur Verspannung des Kettenzuges [eigene Photos]

Anschließend wird an die Gurte beidseitig je eine Kette eingehängt, welche gleichzeitig an beiden Seiten angezogen wird. Dies ist in Abbildung 7-13, 7-14 und 7-15 zu sehen. Nach dem das Fach um die gewünschte Höhe komprimiert ist wird in die obere Lücke eine kürzere Ballenlage mit der entsprechenden Höhe eingefügt. Anschließend werden die Gurte und das daran befestigte Brett, wie in Abbildung 7-16, aus der fertigen mit Stroh befüllten Wand herausgezogen.

Abbildung 7-13 und 7-14: Anbringen des Kettenzuges und beidseitig gleichzeitiges Kurbeln [eigene Photos]

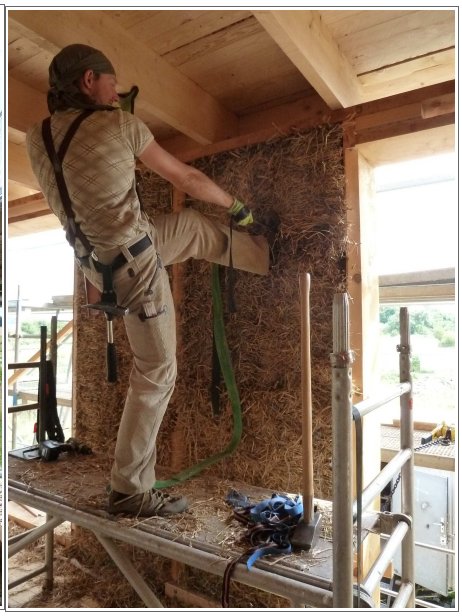


Abbildung 7-15 und 7-16: Beidseitiges gleichzeitiges Kurbeln und Herausnehmen der Gurte [eigene Photos]

7.3. Nachbearbeitung der Strohballenwand

Beseitigung von Beulen

An der fertigen, befüllten Strohwand sind an verschiedenen Stellen durch das Einbringen der Strohballen Unebenheiten, Dellen oder Beulen zu sehen. Diese werden auf beiden Seiten mit den entsprechenden Werkzeugen ausgebessert. Dies Können wie in Abbildung 7-17 ein Hammer aus Holz oder Stahl mit einem großem Kopf sein oder wie in Abbildung 7-18 ein eigens gefertigtes Flacheisen mit Griff, mit welchem die Stellen großflächiger bearbeitet werden können. Hier

zu ist es gut, wenn der, der die Fläche ebnet von einem anderen auf der gegenüber liegenden Seite Rückmeldung bekommt, das sich die andere Seite nicht mehr als gewünscht verformt.

Abbildung 7-17: Ausbeulen der Wand mit Hilfe eine großen Hammers [eigenes Photo]

Abbildung 7-18: Flacheisen mit Stiel zum Ausbeulen der Wände [eigenes Photo]

Einbringen der Querverstrebung

Die Querverstrebungen der Gefache werden nach dem Stroh-Einarbeiten von zwei Hilfsleisten eingefasst. Danach wird die Quervertrebung vorüber gehend entfernt und in ihrer Tiefe und Breite wird an den Hilfsleisten entlang, mit der Kettensäge, ein Kanal geschnitten. (Abbildung 7-19 und 7-20) Anschließen wird die Querverstrebung wieder eingesetzt und die Hilfsleisten wieder entfernt. Zum Abschluss werden von der Außenseite der Wand die Strohballen mit dem Flacheisen auf die gewünschte Position gedrückt oder geschlagen, so das diese die Querverstrebung an allen Seiten um schließen. (Abbildung 7-21)

Abbildung 7-19: Einschneiden der Nut für die Querverstrebung entlang der Hilfsleisten [eigenes Photo]

Abbildung 7-20: Einschneiden der Nut für die Querverstrebung entlang der Hilfsleisten [eigenes Photo]

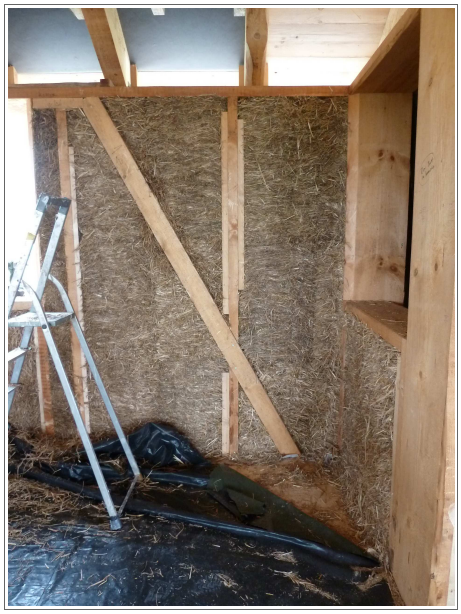


Abbildung 7-21: Wieder eingebrachte Querverstrebung, von Strohballen umschlossen [eigenes Photo]

Verfüllen von Fugen und Dellen

Um eine lückenlose Strohballenwand zu erhalten müssen alle beim einarbeiten und einpressen der Strohballen entstandenen Lücken und Fugen mit Strohbündeln verstopft werden. Hier zu können im Vorfeld, wie in Abbildung 7-22 zu sehen ist, bereits vor befüllen des Gefaches die späteren Fugen und Ecken mit zusätzlichen Strohbündeln ausgelegt werden.

Abbildung 7-22: Auslegen des Gefaches an den Stoßfugen der Ballen [eigenes Photo]

Mit dem, in Abbildung 7-23 zu sehenden, selbstgebauten Stopfholz werden die später entstandenen Fugen und Lücken mit Strohbündeln verstopft bzw. befüllt. Der Vorgang ist in Abbildung 7-24 zu sehen.

Abbildung 7-23: Selbstgebautes Stopfholz [eigenes Photo]

Abbildung 7-23: Verstopfen der Fugen und Lücken mit Stopfholz und Strohbündeln [Minke et al., 2009, S. 78]]

Scheren der Oberfläche

Nachdem das Gefach fertig mit Strohballen befüllt ist, alle Dellen und Beulen ausgebessert wurden und alle Fugen und Lücken verstopft sind, kann mit den Feinarbeiten begonnen werden. Um die Oberfläche der Strohwand für das spätere verputzen weiter zu ebnen und zu glätten wird diese wie in Abbildung 7-25 mit einer gewöhnlichen Kettensäge oder mit einer Heckenschere geschoren.

Abbildung 7-25: Scheren der fertigen Strohwand mit einer Kettensäge [eigenes Photo]

Anbringen von Dreiecksleisten

Zum Abschluss der Wand und um zusätzlich die eingebrachten Strohballen zu sichern, werden an der Stößen zu den Holzstehern der Gefache Dreiecksleisten

angenagelt oder mit dem Tacker angeschossen. Diese müssen nicht vollflächig angebracht sein, sondern es genügt die überwiegende Fläche im mittleren Teil des Gefaches zu stützen. Siehe Abbildung 7-26 bis 7-28.

Abbildung 7-26: Dreiecksleiste an Holzsteher genagelt [eigenes Photo]

Abbildung 7-27: Dreiecksleisten mittig angebracht [eigenes Photo]

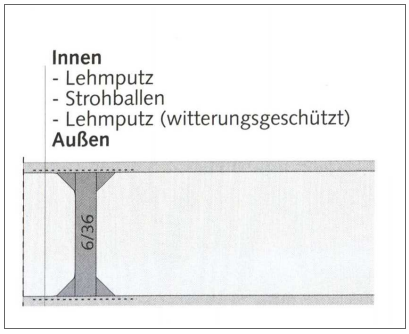


Abbildung 7-28: Lagestabilisierung der Ballen durch Dreiecksleisten [Minke et al., 2009, S. 53]

8. Baukosten für Strohballenbauten

Kosten

Der Strohballen selbst ist im Preis für ein Dämmmaterial sehr günstig.
Hier sind laut Haage bereits 100 kg entsprechend 1 m³ für 6,50 € zu erhalten. [Haage, 2008]
Dies deckt sich in etwa mit den Preisabschätzungen, die ich bei einzelnen Befragungen von Bauherren erfahren habe. Hinzukommt allerdings noch der Transport, welcher meist nur regional ausfällt und die trockene und sichere Lagerung vor Ort.
Scharmer hat zwischen 2003 und 2010 17 strohgedämmte Gebäude in Deutschland errichtet, welche überwiegend Einfamilienhäuser waren. Für die Bau- und Planungskosten incl. Mehrwertsteuer ergibt sich ein durchschnittlicher Wert von 1.539 €/m² für die Nettogeschossfläche nach DIN 277. Wenn Scharmer bei dieser Berechnung vier extreme Ausreißer mit ausgefallener Architektur oder vielen Extravaganzen heraus rechnen würde, so ergäbe sich ein Wert von 1.362 €/m². [Scharmer, 2013]
Laut Statistischem Bundesamt/LBS Research kosteten Einfamilienhäuser in Deutschland zwischen 1995 und 2009 im Durchschnitt 1.278 €/m² wie in Abbildung 8-1 zusehen ist, wobei es Unterschiede zwischen West und Ost gibt. [LBS, 2013]

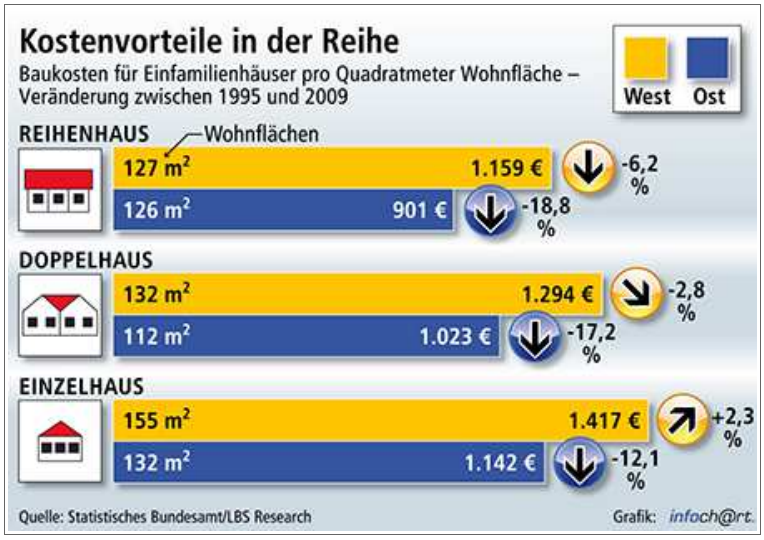


Abbildung 8-1: Kostenvorteile in der Reihe [LBS, 2013]

Bei fast gleichen Kosten bietet der Strohballenbau gegenüber dem durchschnittlichen Wohnhaus einen höheren Dämmstandard, überwiegend regionale Baustoffe, regional ausgeführte Handwerksleistungen, eine Planung vom Architekten und in der Regel eher hochwertige und natürliche Ausbaumaterialien, wie Lehm und Holz. [Scharmer, 2013]
Nach Minke ist der nicht lasttragende Strohballenbau bezüglich der Materialkosten auf jeden Fall günstiger als konventionelle Bauweisen. Minke

beschreibt die Schwierigkeit eines reellen Vergleiches, da die Wandaufbauten der Bauweisen zu unterschiedlich sind und entscheidet sich für den gleichen Wärmedämmwert als Ausgangslage. Bei Strohballenwänden ist insbesondere das Nachverdichten der Strohwände und Nachstopfen der Strohfugen besonders zeitintensiv. Im Vergleich zum Mauerwerksbau ist eine sichtbare Putzoberfläche mit einem dreilagig aufgebrachten Putz auf einer Strohoberfläche ebenso wesentlich zeitaufwändiger und damit auch kostenintensiver. Eine Reduktion der Arbeitszeit und damit verbundenen Kosten kann durch das Verschalen der Strohballen mit Gipsfaser- bzw. Gipskartonplatten erreicht werden. [Minke et al., 2009]

Beim allgemeinen Vergleich von Wandaufbauten mit gleichen Wärmedämmwerten schneidet vor allem der lasttragende Strohballenbau bezüglich der Materialkosten für den Wandaufbau besonders gut ab. Da dieser jedoch in Deutschland keine Zulassung hat, sind alle weiteren Überlegungen hierzu irrelevant. Der nicht lasttragende Strohballenbau kann sehr gut mit einer Holzrahmenbauweise verglichen werden, bei welcher die Gefache üblicherweise mit Zelluloseflocken ausgeblasen, gelegentlich auch mit Holzwolle ausgestopft werden.

Der in Österreich erstelle Kostenvergleich zu Dämmstoffen gleicher Wärmedämmwirkung von Wimmer et al. ergab, dass eine Zelluloseflocken-Dämmung im Vergleich zu Strohballen den 5-fachen Preis hat und eine Steinwolle-Dämmung das 6,5-fache kostet. Beim Gesamtkostenvergleich eines 150m²-Hauses soll damit gegenüber der Zelluloseflocken-Dämmung eine Kosteneinsparung von 2,6% und bei einer Steinwolle-Dämmung eine Kosteneinsparung von 3,6% entstehen. Wobei hier von gleichen Montagekosten von 22 €/m² ausgegangen wird. [GrAT, 2001]

Der aufgeführte Gesamtkostenvergleich von Wimmer et al. ist meinen eigenen Recherchen und Baustellenerfahrungen nach nicht realistisch, da der Ausgangspunkt der gleichen Montagekosten nicht stimmig ist. Im Vergleich ist der Quadratmeter Strohballenwand wesentlich zeitaufwendiger und damit auch kostenintensiver herzustellen. Es ist diesbezüglich nicht von den gleichen Montagekosten pro m² auszugehen. Hier ergaben meine persönlichen Recherchen durch Befragungen der jeweiligen bauausführenden Architekten und Planern, dass der nicht lasttragende Strohballenbau mit einem Wandaufbau im Passivhausniveau geringfügig teurer ist, als der aktuelle Holzrahmenbau im Passivhausniveau.

Ein entscheidender Faktor der die Kosten beim Strohballenbau erheblich senken kann ist ein hoher Anteil an Eigenleistung am Bau.

Gruber gibt hier an, dass bei maximaler Eigenleistung die gesamten Baukosten auf ca. 1000 €/m² zu senken sind. [Gruber et al., 2012]

Um einen genauen Überblick über die Aufteilung der Arbeits- und Materialaufwendungen und den damit verbundenen Kosten für eine typische direkt verputze und strohgedämmte Holzständerwand mit 263 €/m² Gesamtkosten pro m² zu erlangen, hat Scharmer unten stehende Schaubilder und Tabellen erarbeitet. In Abbildung 8-2 ist eine grobe Aufteilung der Kosten einer Strohballenwand und in Abbildung 8-3 eine Feinverteilung der gleichen Kosten zu sehen. [Scharmer, 2013]

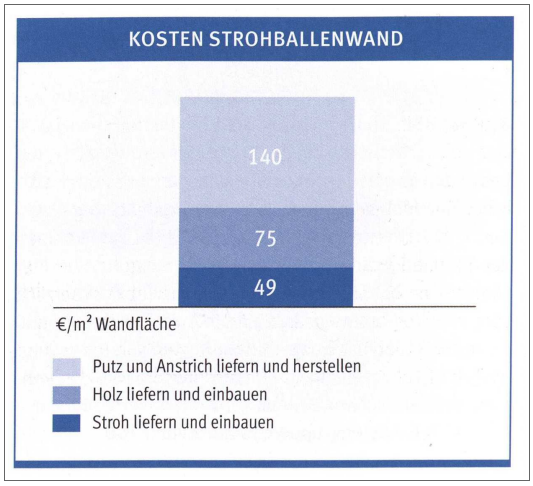


Abbildung 8-2: Kosten einer Strohballenwand in €/m² inklusive Mehrwertsteuer [Scharmer, 2013, S. 40]

Pos.	Titel	Menge	Einheit	EP	GP	€/m²	%- Anteil
1	Baustrohballen liefern	5,73	m³	48,10 €	275,53 €	17,32 €	7 %
2	Holz liefern	0,84	m³	473,98 €	398,05 €	25,02 €	10 %
3	Montageschwelle montieren	3,12	m	27,89 €	87,03 €	5,47 €	2 %
4	Holzrahmen montieren und aufstellen	15,91	m²	34,28 €	545,53 €	34,28 €	13 %
5	Streben herstellen und montieren	7,00	m	14,80 €	103,63 €	6,51 €	2 %
6	Baustrohballen einbauen	15,91	m²	31,33 €	498,47 €	31,33 €	12 %
7	Durchlaufrähm herstellen und montieren	3,12	m	16,93 €	52,83 €	3,32 €	1 %
8	Schilfrohr auf Holz innen und außen	77,76	m	2,61 €	202,65 €	12,74 €	5 %
9	1. Lage Putz innen	15,91	m²	18,06 €	287,44 €	18,06 €	7 %
10	2. und 3. Lage Putz innen	15,91	m²	29,13 €	463,54 €	29,13 €	11 %
11	Putzarmierung innen	15,91	m²	5,80 €	92,21 €	5,80 €	2 %
12	1. Lage Putz außen	15,91	m²	15,67 €	249,38 €	15,67 €	6 %
13	2. und 3. Lage Putz außen	15,91	m²	31,74 €	505,00 €	31,74 €	12 %
14	Putzarmierung außen	15,91	m²	4,44 €	70,63 €	4,44 €	2 %
15	Außenwandanstrich diffusionsoffen, hydrophob	15,91	m²	12,65 €	201,28 €	12,65 €	5 %
16	Innenanstrich Kreide oder Kasein	15,91	m²	9,84 €	156,59 €	9,84 €	4 %
	Summe					263,31 €	100 %

Abbildung 8-3: Feinverteilung der Kosten einer Strohballenwand inklusive Mehrwertsteuer [Scharmer, 2013, S. 40]

Zeitaufwand

Minke führt an einigen Fallbeispielen auf, in wie weit etwa der Zeitaufwand für eine Strohballenwand eingeschätzt werden kann. Die genannten Stunden mit 6,6 pro m² sind sehr hoch und werden aufgeteilt in 18% Arbeitsaufwand für das einbringen des Strohs in die Gefache, 20% Nachverarbeitung der Strohoberfläche, 26% für Herstellung und Transport des Lehmputzes und 20% für das manuelle aufbringen der verschiedenen Lehmschichten, wobei hier erwähnt wird das der letzte Arbeitsgang so zeitintensiv war, da kein geeigneter Zwangsmischer für das Aufbereiten des Lehms vorhanden war und die Arbeit von Laien ausgeführt wurde. [Minke et al., 2009]
Hier finde ich ungünstig, dass der Transport des Lehms aber nicht der Transport anderer Baustoffe beachtet wird. Der nicht geeignete Zwangsmischer verfälscht die genannten 20% und welche weiteren Tätigkeiten, wie etwa Vorbereitung oder Zuarbeiten, auf den verbleibenden %-Anteil entfallen wurde nicht genannt.
Aus eigener Erfahrung kann ich sagen, dass das Nacharbeiten der eingebrachten Strohballen zusammen mit dem verputzen der Wände mit Lehm die beiden zeitaufwendigsten Tätigkeiten sind.

Eigenleistung

In den ersten beiden Augustwochen 2013 war ich selbst als Baugast auf einer Strohballen-Baustelle im ökologischen Dorf, Sieben Linden tätig. Hier wurde das 2,5 - Familienhaus Nachtigall errichtet. In diesen zwei Wochen wurden die Gefache des Holzrahmenbaus mit Stroh befüllt und alle Wände so nachbearbeitet, dass sie direkt verputzt werden können. Alle Handgriffe können nach kurzer Zeit ohne Probleme von Laien ausgeführt werden. So das ich nach wenigen Stunden Einarbeitung voll mitarbeiten konnte. Die verwendeten Werkzeuge sind einfach und wurden zum Teil in Eigenleistung gebaut oder finden sich in jedem Handwerkerhaushalt. Diese zeitaufwendige Arbeit ist somit ohne Probleme nach kurzer Anleitung von jedem ausführbar und birgt noch viele weitere positive Effekte.
Der Vorteil liegt nicht nur im Einsparen von Baukosten, sondern auch in der sozialen Interaktion der am Bauprozess Beteiligten. Dabei können Familienmitglieder, Nachbarn und Freunde beteiligt werden, die normalerweise aus dem Bauprozess ausgeschlossen sind. Für die Bauherren und deren Kinder entsteht eine starke Identifikation mit den eigenen vier Wänden, dem eignen Haus. Für alle Beteiligten kann der Hausbau somit zu einem erlebnisreichen, kontaktschaffenden Prozess werden. [Minke et al., 2009, S. 6 f.]

9. Fazit

Nach dem Leitbild der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen, DGNB bezieht sich die Nachhaltigkeit für unsere gebaute Umwelt auf das ausbalancierte Zusammenspiel von Effizient, Suffizienz und Konsistenz. Die Effizienz bedeutet, die bessere Nutzung der verfügbaren Mittel, die Suffizienz stellt die Grenzen für den Überverbrauch von Ressourcen dar und die Konsistenz bezeichnet den Übergang zu naturverträglichen Technologien, die das Ökosystem nutzen ohne es zu zerstören. [DGNB, 2013]
Der Strohballenbau erfüllt diese drei geforderten Kriterien der Nachhaltigkeit. Er ist effizient, in dem er den größten Teil der benötigen Baustoffe aus den regional vorhandenen Ressourcen schöpft. Diese Ressourcen sind im Sinne der Suffizienz nicht nur nachwachsend, mit einem sehr geringen Primärenergieinhalt und lagern zudem noch Co2 ein, sondern sind wie das Baustroh als Hauptmaterial beispielsweise einen landwirtschaftlichen Nebenprodukt, das in vielen Fällen der konventionellen Landwirtschaft sogar ein Abfallprodukt. Die geforderte Konsistenz kommt in der Kreislauftauglichkeit der verwendeten Baumaterialien zum Ausdruck. Alle verwendeten Materialien sind kompostierbar, wiederverwendbar, können recycelt oder thermisch verwertet werden. So werden die ökologischen Kreisläufe genutzt ohne diese zu belasten oder gar zu zerstören.
Viele der Innovation welche die geforderte Energie- und Reccourceneffizienz für unsere gebaute Umwelt umsetzten sollen werden viel zu einseitig betrachtet. Hinter Energie fressenden Herstellungsprozessen, geplanter Obsoleszenz und unlösbaren Entsorungsproblemen verschwindet die vermeintliche Energie- und Reccourceneffizienz während der Nutzungsphase. Hier geht es nicht im eigentlichen Sinne um eine Entlastung unserer sowieso schon desolaten Umwelt, sonder es steht wie in allen anderen Bereichen unserer Gesellschaft die Gewinnmaximierung im Fokus als Motor für ein konsumorientiertes Wachstum. Wohin uns diese Spirale unseres Energiehungers und der Ressourcen-verschwendung aus rein wirtschaftlichen Gründen führen wird, wenn noch nicht einmal die vermeintlich energieeffizienten Innovationen mit allen ihnen nur möglichen Mitteln dagegen steuern, dürfte jedem klar sein.
So lebt der Mensch heute nicht mehr im Einklang mit der Natur oder gar in einer natürlichen Umgebung. Wir befinden uns abgegrenzt und abgeschottet, innerlich wie äußerlich, von der Natur die uns bedingt, in einer komplett künstlich gebauten Umwelt.
Eine moderne und nachhaltige Architektur sollte es sich zur Aufgabe machen den Mensch und die Natur wieder zusammen zu führen. Den Menschen einen soweit wie möglich naturnahen Lebensraum zu geben, in dem die gebaute Umwelt aus natürlichen und unbelasteten Materialien besteht, die Gesundheit der Menschen im Vordergrund steht und keine unlösbaren Entsorgungsprobleme für die nachfolgenden Generationen geschaffen werden. Um Wohngebäude hinsichtlich dieser Nachhaltigkeit weiter zu optimieren, sollten folglich nicht nur die Energieeffizienz und die Ressourcenverbräuche betrachtet werden, sondern auch die Kreislauftauglichkeit der verwendeten Bauprodukte berücksichtigt werden. So ist die Erschaffung eines gesundes und nachhaltiges Wohn- und Lebensumfeld ein wichtiger Grundstein für ein zukunftsfähiges Zusammenleben von Mensch und Natur.

10. Quellen

Hinweis:
Alle Quellen sind zur besseren Gliederung erst nach ihrer Art, also Normen und Zulassungen, Literatur, Internet oder Sonstiges unterteilt und als zweites nach der alphabetischen Reihenfolge der Nachnamen der Autoren oder Abkürzungen der Institutionen aufgelistet.

10.1. Normen und Zulassungen

[DIN V 18599-2, 2011]: Deutsches Institut für Normung e.V.. Vornorm. „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 2011

[DIN 4102-1, 1998]: Deutsches Institut für Normung e.V.. „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 1: Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1998

[DIN 4108-2, 2013]: Deutsches Institut für Normung e.V.. „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 2013

[DIN 4108-4, 2013]: Deutsches Institut für Normung e.V.. „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 2013

[DIN 4109, 1989]: Deutsches Institut für Normung e.V.. „Schallschutz im Hochbau. Anforderungen und Nachweise“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1989

[DIN EN 13501-1, 2009]: Deutsches Institut für Normung e.V.. „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit dem Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 2009

[DIN 5034-2, 1985]: Deutsches Institut für Normung e.V.„Tageslicht in Innenräumen. Grundlagen“. Beuth Verlag GmbH, Berlin 1985

[Z-23.11-1595, 2009]: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Zulassungsgegenstand: Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen“. Deutsches Institut für Bautechnik. Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten. Bautechnisches Prüfamt. Berlin 2009

10.2. Literatur

[Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2013]: entnommen aus Bankenspiegel. Das Magazin der GLS Bank. Ausgabe 3 /2012, Heft 216, S. 9. Titelthema „Bauen“. GLS Gemeinschaftsbank eG. Bochum 2012

[Fromme, 2012]: Irmela Fromme, Uta Herz. „Lehm- und Kalkputze“. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 2012

[GrAT, 2001]: R. Wimmer, H. Hohensinner, L. Janisch, M. Drack. „Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen – Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie - Endbericht“. Gruppe Angepasste Technologien (GrAT). Technische Universität Wien. Wien 2001

[Gruber et al., 2012]: Astrid Gruber, Herbert Gruber, Helmuth Santler. „Neues Bauen mit Stroh in Europa“. Ökobuch Verlag, 3. Auflage, Staufen bei Freiburg 2008

[Haage, 2008]: Henry Haare. „Wandkonstruktion mit Strohballen, Eine wirtschaftlich- ökologische Studie zum Einsatz von Strohballen in Passivhauswandsystemen“. Dr. Müller Verlag, Saarbrücken 2008

[Hewitt et al., 2012]: Mischa Hewitt, Kevin Telfer. „Earthships in Europe“. IHR BRE Press. Bracknell, England 2012

[Klatecki et al., 2008]: Marc Klatecki, Frank Otto. „Hygrothermische und biohygrothermische Simulation an Bauteilen mit einer Dämmung aus Strohballen“. BauSIM 2008 Tagungsband. Zweite deutsch-österreichische IBPSA Konferenz zum Leitthema „Nachhaltiges Bauen“. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V. Kassel. Universität Kassel. Kassel 2008

[Krick, 2008]: Benjamin Krick. Dissertation. „Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise“. Universität Kassel, Fachbereich Architektur. Kassel 2008

[Lacinski et al., 2000]: Paul Lacinski, Michel Bergeron. „Serious Straw Bale - A Home Construction Guide for all Climates“. Verlag, Chelesa Green Publishing, Vermont/Totnes 2000

[Liersch et al., 2006]: Klaus W. Liersch, Normen Langner. „Bauphysik kompakt. Wärme – Feuchte – Schall“. Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2006

[Minke, 2001]: Gernot Minke. „Lehmbau – Handbuch. Der Baustoff Lehm und seine Anwendung“. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 2001

[Minke et al., 2009]: Gernot Minke, Benjamin Krick. „Handbuch Strohballenbau, Grundlagen – Konstruktion – Beispiele“. Ökobuch Verlag, 2. Auflage, Staufen bei Freiburg 2009

[pro clima, 2012]: Oliver Goldau, Uwe Bartholomäi. „pro clima WISSEN 2012/2013. Sichere Lösungen für die Dichtung der Gebäudehülle“. MOLL bauökologische Produkte GmbH. Schwetzingen 2013

[Sedlbauer, 2001]: Klaus Sedlbauer. Dissertation. „Vorhersage von Schimmelbildung auf und in Bauteilen“. Universität Stuttgart. Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen. Lehrstuhl Bauphysik. Stuttgart 2001

[Scharmer, 2013]: Dirk Scharmer. „Strohgedämmte Gebäude“. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Gülzow-Prüzen 2013

[Steen et al., 1994]: Athena Swentzell Steen, Bill Steen, David Bainbridge, David Eisenberg. „The Sraw Bale House“. Verlag, Chelesa Green Publishing, Vermont/Totnes 1994

[Wimmer et al., 2001]: Robert Wimmer, Hannes Hohensinner, Luise Janisch, Herbert Gruber, Walter Passauer. „Haus der Zukunft. Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen. Wirtschaftsbezogene Grundlagenforschung“. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie in Zusammenarbeit mit asbn und StrohTec. Wien 2001

10.3. Internet

[abw, 2013]: ABW oikoartec GmbH. anders bauen & wohnen. „ProCrea Grünlinge ungebrannte, luftgetrocknete Lehmziegelsteine“. Berlin 2013
http://www.abwshop.de/go/abw2/_dbe,products,ProCrea_Gruenlinge_Lehmziegelsteine.xhtml
(zuletzt besucht am 08-11-2013)

[augsburg.de, 2013]: Stadt Augsburg. Stadtvermessungsamt. „Geografische und meterologische Daten“. Augsburg, 2013
http://www.augsburg.de/index.php?id=2700
(zuletzt besucht am 30-09-2013)

[baubiologie.at-a, 2013]: baubiologie. at. Ökologisch bauen & wohnen. „Ständerbau (Infill)“. ASBN. Austrian Straw Bale Network – Östereichsiches Netzwerk für Strohballenbau. Ravelsbach, Niederöstereich 2013
http://www.baubiologie.at/wp/strohballenbau/strohbau-techniken/staenderkonstruktionen/
(zuletzt besucht am 17-09-2013)

[baubiologie.at-b, 2013]: baubiologie. at. Ökologisch bauen & wohnen. „Einfamilienhaus Lobau/Wien“. ASBN. Austrian Straw Bale Network – Östereichsiches Netzwerk für Strohballenbau. Ravelsbach, Niederöstereich 2013
http://www.baubiologie.at/europe/austria/austria.html?id=134
(zuletzt besucht am 12-10-2013)

[baulinks-a, 2013]: baulinks. Alfons Oebbeke.
„Neue Richtlinien -Stahlfaserbeton- des DafStb erschienen“. ARCHmatic. Neustadt 2013
http://www.baulinks.de/webplugin/2010/1414.php4
(zuletzt besucht am 03-10-2013)

[baulinks-b, 2013]: baulinks. Alfons Oebbeke.
„Dämmstoffe, Lambda-Werte“. ARCHmatic. Neustadt 2013
http://www.baulinks.de/baumaterial/lambda-werte-waermeleitzahl-waermeleitfaehigkeit-waermedaemmung.php
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

[baunetzwissen.de, 2013]: Baunetz Wissen. „Bestimmung von Tageslichtverhältnissen. Berechnung des Sonnenhöhenwinkels“. NauNetz Media GmbH. Berlin, 2013
http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Tageslicht-Bestimmung-von-Tageslichtverhaeltnissen_1000977.html
(zuletzt besucht am 30-09-2013)

[conluto-a, 2013]: conluto. Vielfalt aus Lehm. „Moderne Lehmbaulösungen. Lehm-Deckenschüttung. Daten und Lieferformen“.
http://www.conluto.de/Lehmdeckenschuettung.163.0.html
(zuletzt besucht am 08-11-2013)

[conluto-b, 2013]: conluto. Vielfalt aus Lehm. „Moderne Lehmbaulösungen. Schwere Lehmsteine. Daten und Lieferformen“.
http://www.conluto.de/Schwere-Lehmsteine.123.0.html
(zuletzt besucht am 08-11-2013)

[Danfoss, 2013]: Danfoss Warmwasser Fussbodenheizung. „Fußbodenheizung System SpeedUp Eco“. Offenbach 2013
http://fussbodenheizung.danfoss.com/Content/3293befd-d050-4e27-9af2-948cb226cfa1_MNU17461991_SIT326.html
(zuletzt besucht am 03-10-2013)

[denklokal.de, 2013]: denkLOKAL, ökologisches Online-Magazin aus Ihrer Region. „Ich bau mir ein Haus aus...Stroh – Teil 2“. Autor Sven Holst. DenkLOKAL. Lübeck 2013
http://denklokal.de/bauen-und-wohnen/item/78-ich-bau-mir-ein-haus-aus-stroh-%E2%80%93-teil-ii.html
(zuletzt besucht am 08-11-2013)

[DGNB, 2013]: Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen. „Das Leitbild der DGNB“. DGNB e.V..Stuttgart 2013
http://www.dgnb.de/de/verein/dgnb_leitbild/
(zuletzt besucht am 08-05-2013)

[ecobine, 2013]: ecobine.de. Informationsnetz im Ökologischen Bauen. „zementgebundenen Spanplatte“ Baustoffdatenbank. Weimar 2013 http://www.ecobine.de/data/binaries/baustoffe/03_bauplatten-estriche/zementgebundene%20Spanplatte.pdf (zuletzt besucht am 14-10-2013)

[FASBA, 2013]: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.. Verden. „Brandgefahr“. http://fasba.de/content/view/33/173/ (zuletzt besucht am 09-09-2013)

[HERZ Fenster, 2013]: HERZ Fensterbau GmbH. Bernhard Herz. „Holz-Fenster IV 116 Herz Ass Classic - Niedrigenergiefenster“ Durach 2013 http://www.herz-fenster.de/03_Fenster/Niedrigenergiefenster_116-Herz-Ass.php (zuletzt besucht am 22-10-2013)

[Lehmbauer.com, 2013]: Der Lehmbauer. Lehmbau-Sanierung-Denkmalpflege. „ Claytec Lehmstein Grünling 1300 3DF“. Rico Gehrke. Dorf Mecklenburg 2013 http://www.lehmbauer.com/images/1456_main_gruenling_01.jpg (zuletzt besucht am 12-10-2013)

[LBS, 2013]: Landesbausparkasse. „Fotoservice – Grafiken & Schaubilder“. München 2013. http://www.lbs.de/bayern/presse/presseservice/fotoservice?cat=27&showperpage=5&pagenumber=2 (zuletzt besucht am 09-09-2013)

[Pexider, 2013]: Herbert Pexider GmbH. „Wärmeleitfähigkeit. Ziegelmauerwerk-Ziegeldecken-Ziegelbaustoffe“. Teufnach, Österreich 2013 http://www.pexider.at/ziegelinfo/ziegelinfos/ziegelCdrom/technik/Waerme/waermele.htm (zuletzt besucht am 14-10-2013)

[Reflexa, 2013]: Reflexa-Werke Albrecht GmbH. Miariam Albrecht. „Jalousie / Raffstore mit Elektroantrieb – EL 80“. Rettenbach 2013 http://www.reflexa.de/produkte/aussenjalousie/jalousie-mit-elektroantrieb/ (zuletzt besucht am 22-10-2013)

[Schmid, 2013]: Schmid Kies- und Betonwerk GmbH. „Stahlfaserbeton – Beton und Stahl aus einem Guß“. Dösingen, Allgäu 2013 http://www.schmid-kies-betonwerk.de/transportbetonwerk/stahlfaserbeton/ (zuletzt besucht am 03-10-2013)

[Staudenschreiner-a, 2013]: Günther Wolff. Firma Staudenschreiner. „Ökologische Holzhäuser“. Schwabmünchen 2013 http://www.staudenschreiner.de/staudenschreiner.pdf (zuletzt besucht am 23-09-2013]

[Staudenschreiner-b, 2013]: Günther Wolff. Firma Staudenschreiner. „unsere Häuser-2011-Korban“. Schwabmünchen 2013 http://www.staudenschreiner.de/ (zuletzt besucht am 14-10-2013]

[Staudenschreiner-c, 2013]: Günther Wolff. Firma Staudenschreiner. „unsere Häuser-2012-Franz-Dietl“. Schwabmünchen 2013
http://www.staudenschreiner.de/
(zuletzt besucht am 14-10-2013]

[Steico, 2013]: STEICO, natürlich besser dämmen. STEICO SE. „Holzfaser-Dämmstoffe, STEICOflex“. Feldkirchen 2013
http://www.steico.com/de/produkte/daemmstoff-holz/steicoflex/ueberblick.html
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

[u-wert.net, 2013]: u-wert.net UG. Dr. Ralf Plag. „Schilfrohr, Wärmedämmwirkung“. Forst 2013
http://www.u-wert.net/daemmstoffe/schilfrohr
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

[Voß, 2013]: Ole Voß. „Ausbau Bauernhof – anno 1780“. Eberholzen 2013
http://www.netrogue.de/weblog/diary/20120528/Von-gewaschenen-Balken--Lehmsteinen-und-Schilfrohrmatten.html
(zuletzt besucht am 09-11-2013)

[woodlinks, 2013]: woodlinks.info. WOODLINKS GmbH & Co.KG. Ekkehard Anders. „Wärmeleitfähikeit, Nadelholz-Laubholz“. Hamburg 2013
http://www.woodlink.info/WOODLINK_Warmedammkanteln_2004.08.pdf
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

[Ziegelhuber-a, 2013]: Ziegelwerk Klaus Huner GmbH Co. KG. „Produktinformation, Lehm-Konzentrat LK 25“. Leuben-Schleinitz 2013
http://www.ziegelhuber.de/cms/upload/pdf/6Lehm-Konzentrat-LK25.pdf
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

[Ziegelhuber-b, 2013]: Ziegelwerk Klaus Huner GmbH Co. KG. „Produktinformation, Stampflehm“. Leuben-Schleinitz 2013
http://www.ziegelhuber.de/cms/upload/pdf/stampflehm.pdf
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

[ZinCo-a, 2013]: ZinCo GmbH. Leben auf dem Dach. „Extensive Dachbegrünung – Planungshilfe“. Nürtingen / Stuttgart 2013
http://www.zinco.de/downloads/planungshilfen_pdfs/Extensive_Dachbegruenung.pdf#page=8
(zuletzt besucht am 01-10-2013)

[ZinCo-b, 2013]: ZinCo GmbH. Leben auf dem Dach. „Produktinformationen“. Nürtingen / Stuttgart 2013
http://www.zinco.de/planungsportal/produkte/produktfamilie.php?pf_id=1
(zuletzt besucht am 14-10-2013)

10.4. Sonstiges

[Agenda 21, 2013]: Agenda 21 Fachforum – Nachhaltige Stadtentwicklung. Persönliche Auskunft vom und im Fachforum, sowie Informationen aus den Arbeitskreisen. Augsburg 2013

[Earthship-Allgäu,2013]: Earthship-Allgäu
Persönliche Auskunft der Gruppe. Treffen vom 07. April 2013 in Blaichach-Ettensberg. Stephanie Metaschk, Stefan Miksa, Judith Seeger. Blaichach-Ettensberg 2013

[HERZ Fenster-b, 2013]: HERZ Fensterbau GmbH. Bernhard Herz. Fensterdetails und bauphysikalische Nachweise auf persönliche Anfrage als pdf und dwg per E-Mail. Durach 2013

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-01:	Vergleich von vier Außenbauwänden mit einem U-Wert von U=0,10 W/(m²K)	7
Abbildung 3-01:	Strohballenabmessungen	14
Abbildung 3-02:	Übliche Strohballenabmessungen	14
Abbildung 3-03:	Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Halmorientierung	17
Abbildung 3-04:	Testergebnisse Proben und Ballen, Wärmestrom parallel zur Faser	18
Abbildung 3-05:	Testergebnisse Proben und Ballen, Wärmestrom senkrecht zur Faser	18
Abbildung 3-06:	U-Wert von Strohballenwänden	19
Abbildung 3-07:	Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Baustoffe	20
Abbildung 3-08:	Wärmespeicherzahl (S) von verschiedenen Dämmstoffen	21
Abbildung 3-09:	Sorptionsisothermen für Weizen, Gerste, Roggen und Dinkel bei 23 °C	23
Abbildung 3-10:	Sorptionskurve von 15 mm dicken Baustoffproben bei 21°C	24
Abbildung 3-11:	Sorptionskurve von 11,5 cm dicken Innenwänden bei 21°C	24
Abbildung 3-12:	Dampfdiffusionswiderstände, µ – Werte von Lehmputzen	25
Abbildung 3-13:	Sorptionsisotherme von Weizen, Gerste, Roggen und Dinkel	26
Abbildung 3-14a:	Einfache direkt verputzte Strohwand ohne Hydrophobierung	27
Abbildung 3-14b:	Strohwand mit Holzfaserdämmplatte und Wetterschale	28
Abbildung 3-14c:	Einfache direkt verputzte Strohwand mit Wetterschale	29
Abbildung 3-14d:	Einfache direkt verputzte Strohwand mit Hydrophobierung	30
Abbildung 3-15:	Schalldämmmaß verschiedener Wandbaustoffe	32
Abbildung 3-16:	Vorspannung lasttragender Strohballenwände	36
Abbildung 3-17:	Lasttragendes Strohballengebäude, Gemeinschaftsküche des Jugendplatzes	37
Abbildung 3-18:	Strohgedämmte Bohlenständerwand, Ballen hochkant stehend	38
Abbildung 3-19:	Prinzip und Stützenlagen, nicht lasttragender Strohballenwände	38
Abbildung 3-20:	Lage der Strohballen in der Wand	39
Abbildung 3-21:	Stütze aus Stegprofilen	40
Abbildung 3-22:	Stütze aus geteilten Vollholzprofilen	40
Abbildung 3-23:	Stütze aus Leiterprofilen	41
Abbildung 3-24:	Holzrahmenrahmenskelett des Meditationshauses, Sieben Linden	41
Abbildung 3-25:	Putzträger zur Wandverkleidung des Meditationshauses, Sieben Linden	42
Abbildung 3-26:	Querverstrebung der Gefache, Wohnhaus „Nachtigal“, Sieben Linden	42
Abbildung 3-27:	Dreiecksleiste, seitlich an die Stütze genagelt und auf der Kante des Ballens aufliegend	43
Abbildung 4-01:	Einteilung der Strohballenkonstruktionen	44
Abbildung 4-02:	Wandaufbau	45
Abbildung 4-03:	Wandaufbau	45
Abbildung 4-04:	Wandkonstruktion des Holzständersystems „infill“	46
Abbildung 4-05:	Wandkonstruktion des Holzständersystems „infill“	47
Abbildung 4-06:	Wandkonstruktion des Holzständersystems „infill“	47
Abbildung 4-07:	Holzständersystem „infill“ Wandelement und Montage, in Hitzendorf bei Graz	47
Abbildung 4-08:	Holzständersystem „infill“ Wandelement und Montage, in Hitzendorf bei Graz	47
Abbildung 4-09:	Holzständersystem „infill“ Einfamilienhaus, in Hitzendorf bei Graz, Österreich	48
Abbildung 4-10:	„Strohpolis“, Süd-Fassade, 3-geschossiges Mehrparteienstrohwohnhaus	48
Abbildung 4-11:	„Strohpolis“, West-Fassade, 3-geschossiges Mehrparteienstrohwohnhaus	49
Abbildung 4-12:	Tragwerk Wohnhaus „Strohpolis“ in Sieben Minden	49
Abbildung 4-13:	Wandkonstruktion „Strohpolis“ in Sieben Minden	50
Abbildung 4-14:	Wandaufbau - Horizontalschnitt M 1:20	52
Abbildung 4-15:	Wandaufbau – 3D	53
Abbildung 4-16:	Minke, abgerundete und abgeschrägte Fensterlaibung, horizontal Schnitt	55
Abbildung 4-17:	Minke, abgerundete und abgeschrägte Fensterlaibung, horizontal Schnitt	55
Abbildung4-18:	Scharmer, Fensterlaibung, horizontal Schnitt	55
Abbildung 4-19:	Scharmer, Fenstersturz, vertikal Schnitt	56
Abbildung 4-20:	Haage, abgeschrägte Fensterlaibung, Schnitt horizontal	56
Abbildung 4-21:	Gerade Fensterlaibungen im Schnitt horizontal	57
Abbildung 4-22:	Gerade Fensterlaibungen im Schnitt horizontal	57
Abbildung 4-23:	Gerade Fensterlaibung im horizontal Schnitt	57
Abbildung 4-24:	Fensteranschluss im Schnitt vertikal	57
Abbildung 4-25:	Fensteranschluss, horizontal Schnitt M 1:20	58
Abbildung 4-26:	Fensteranschluss, vertikal Schnitt M 1: 20	59
Abbildung 4-27:	„Club 99“, Süd-Fassade, Wohngemeinschaftshaus in Sieben Linden	60
Abbildung 4-28:	„Club 99“, Fundament, Wohngemeinschaftshaus in Sieben Linden	61
Abbildung 4-29:	Fundament und Sockel, Variante – Altreifen / Magerbeton	62
Abbildung 4-30:	Fundament und Sockel, Variante – Paletten / Noppenfolie	62
Abbildung 4-31:	Fundament und Sockel, Variante – Streifenfundament - Stahlbeton	62
Abbildung 4-33:	Streifenfundament, Holzrahmenbau	63
Abbildung 4-34:	Fundament, Sockel und Bodenplatte - Vertikalschnitt M 1:20	64
Abbildung 4-35:	Stahlfaserbeton	65
Abbildung 4-36:	Fußbodenheizung, Rohrverlegung, hier auf OSB-Platten	66
Abbildung 4-37:	Fußbodenheizung, Befüllung mit Stampflehm	66

Abbildung 4-38:	Fußbodenheizung, fertige Befüllung mit Stampflehm	67
Abbildung 4-39:	Dachaufbau	68
Abbildung 4-40:	Dachaufbau - Stegträger	68
Abbildung 4-41:	Dachaufbau - Sparren	69
Abbildung 4-42:	Dachaufbau - sichtbare Sparren und Gründach	69
Abbildung 4-43:	Dachaufbau, Holzrahmenbau	70
Abbildung 4-44:	Dachaufbau M 1:20	71
Abbildung 4-45:	Systemaufbau „Leichtgründach“	72
Abbildung 4-46:	Lehm Grünlinge	73
Abbildung 4-47:	Innenwand mit Trockenlehmschüttung, EFH Wien / Lobau	74
Abbildung 4-48:	Holzweichfasermatte und Aufbau einer Innenwand mit einem Holzweichfaser	75
Abbildung 4-49:	Holzweichfasermatte und Aufbau einer Innenwand mit einem Holzweichfaser	75
Abbildung 4-50:	Aufbau Innenwand mit Holzweichfaserdämmung	75
Abbildung 4-51:	Aufbau Innenwand mit trockener Leicht-Lehm-Schüttung M 1:20	76
Abbildung 4-52:	Wassertropfen auf einer nicht hydrophobierten und einer hydrophobierten	78
Abbildung 4-53:	Sockelleiste mit Heizungsrohren und Kabelführung	80
Abbildung 4-54:	Leerrohre und Leitungsführung durch Stroh-Lehm-Wand	80
Abbildung 4-55:	Versorgungsblock, zusammengefasste HT im Zentrum der Wohnung	81
Abbildung 5-01:	Strohballen-Wohnhaus „Tay Manka“ 3D-Rendering	82
Abbildung 5-03:	Sonnenhöhenwinkel der Sommersonne und der Wintersonne	83
Abbildung 5-03:	Baumaterialien Holz – Stroh Lehm	85
Abbildung 6-01:	Rechenwerte zu Erfassung des Wärmeübergangs nach DIN EN ISO 6946	86
Abbildung 6-02:	Detail Wandaufbau für Berechnung des U-Wertes	87
Abbildung 6-03:	Berechnungswerte Wandaufbau	87
Abbildung 6-04:	Detail Bodenaufbau für Berechnung des U-Wertes	88
Abbildung 6-05:	Berechnungswerte Bodenaufbau	88
Abbildung 6-06:	Detail Dachaufbau für Berechnung des U-Wertes	89
Abbildung 6-07:	Berechnungswerte Dachaufbau [eigene Tabelle]	89
Abbildung 6-08:	Regelschnitt mit Übersicht der Wärmebrücken	101
Abbildung 6-09 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Dach - Außenwand	102
Abbildung 6-10 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Fenstersturz - Außenwand	103
Abbildung 6-11 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Fenstersturz mit Jalousie - Außenwand	104
Abbildung 6-12 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Fensterlaibung - Außenwand	105
Abbildung 6-13 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Fensterbrüstung - Außenwand	106
Abbildung 6-14 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Fensterbrüstung (Jalousiefenster) - Außenwand	107
Abbildung 6-15 a-c:	Wärmebrücke Anschluss Außenwand - Bodenplatte - Fundament	108
Abbildung 7-1:	Ebnen der Stirnflächen	110
Abbildung 7-2:	Biegen von Ballen	111
Abbildung 7-3:	Nachverdichten von Ballen	111
Abbildung 7-4:	Strohnadeln einfach und doppelt	112
Abbildung 7-5:	Einstechen der Strohnadeln in den Ballen	112
Abbildung 7-6:	Durchfädeln von Schnüren	113
Abbildung 7-7:	Ansetzen der Strohballen zum Eindrücken	114
Abbildung 7-8:	Ansetzen der Strohballen zum Eindrücken	114
Abbildung 7-9:	Eingebrachte erste Lage und Ansetzen der zweiten Lage	114
Abbildung 7-10:	Eingebrachte erste Lage und Ansetzen der zweiten Lage	114
Abbildung 7-11:	Auflegen der Gurte mit angeschraubtem Brett	115
Abbildung 7-12:	Konterbalken zur Verspannung des Kettenzuges	115
Abbildung 7-13:	Anbringen des Kettenzuges und beidseitig gleichzeitiges Kurbeln	116
Abbildung 7-14:	Anbringen des Kettenzuges und beidseitig gleichzeitiges Kurbeln	116
Abbildung 7-15:	Beidseitiges gleichzeitiges Kurbeln und Herausnehmen der Gurte	116
Abbildung 7-16:	Beidseitiges gleichzeitiges Kurbeln und Herausnehmen der Gurte	116
Abbildung 7-17:	Ausbeulen der Wand mit Hilfe eine großen Hammers	117
Abbildung 7-18:	Flacheisen mit Stiel zum Ausbeulen der Wände	117
Abbildung 7-19:	Einschneiden der Nut für die Querverstrebung entlang der Hilfsleisten	118
Abbildung 7-20:	Einschneiden der Nut für die Querverstrebung entlang der Hilfsleisten	118
Abbildung 7-21:	Wieder eingebrachte Querverstrebung, von Strohballen umschlossen	118
Abbildung 7-22:	Auslegen des Gefaches an den Stoßfugen der Ballen	119
Abbildung 7-23:	Selbstgebautes Stopfholz	119
Abbildung 7-23:	Verstopfen der Fugen und Lücken mit Stopfholz und Strohbündeln	120
Abbildung 7-25:	Scheren der fertigen Strohwand mit einer Kettensäge	120
Abbildung 7-26:	Dreiecksleiste an Holzsteher genagelt	121
Abbildung 7-27:	Dreiecksleisten mittig angebracht	121
Abbildung 7-28:	Lagestabilisierung der Ballen durch Dreiecksleisten	121
Abbildung 8-1:	Kostenvorteile in der Reihe	122
Abbildung 8-2:	Kosten einer Strohballenwand in €/m² inklusive Mehrwertsteuer	124
Abbildung 8-3:	Feinverteilung der Kosten einer Strohballenwand inklusive Mehrwertsteuer	124

Hochschule Augsburg
Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
Prof. Sahner Prof. Dr. Bauer Prof. Dr. Hellwig Prof. Dr. Nowak Prof. Schmidt
Technik Wirtschaft Gestaltung
Studiengang E2D

E2D

Modul 9.3
Masterarbeit

Anhang (DIN A3)

Strohballen - Wohnhaus „Tay Manka“

Regina Maria Köppe

Studiengang: Energie Effizienz Design E2D

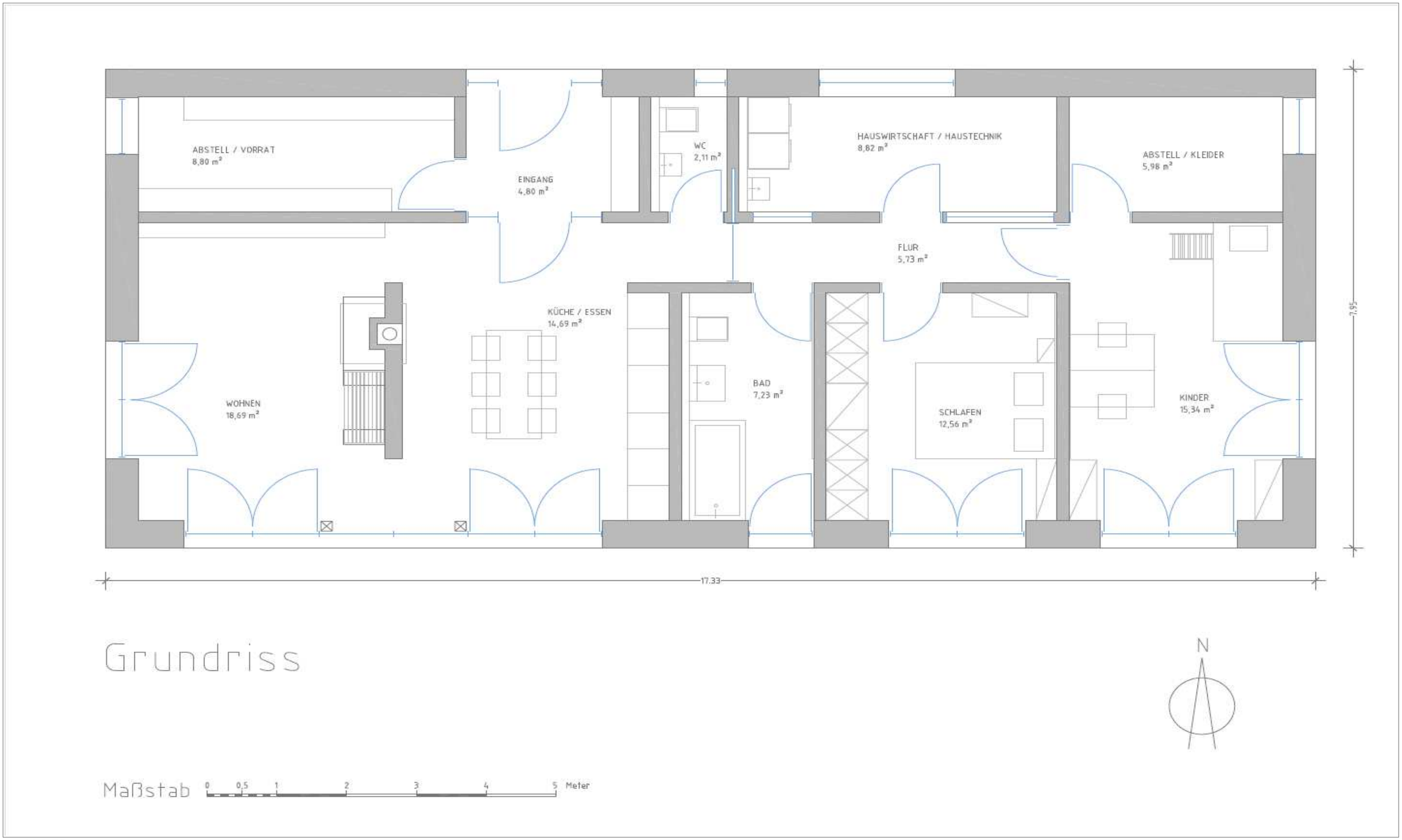
Betreuer: Prof. Dr. -Ing. Joachim Müller
Prof. Dr. -Ing. Runa Hellwig
Hochschule Augsburg

Ausgabetermin: 02.09.2013
Abgabetermin: 29.11.2013

Inhaltsverzeichnis

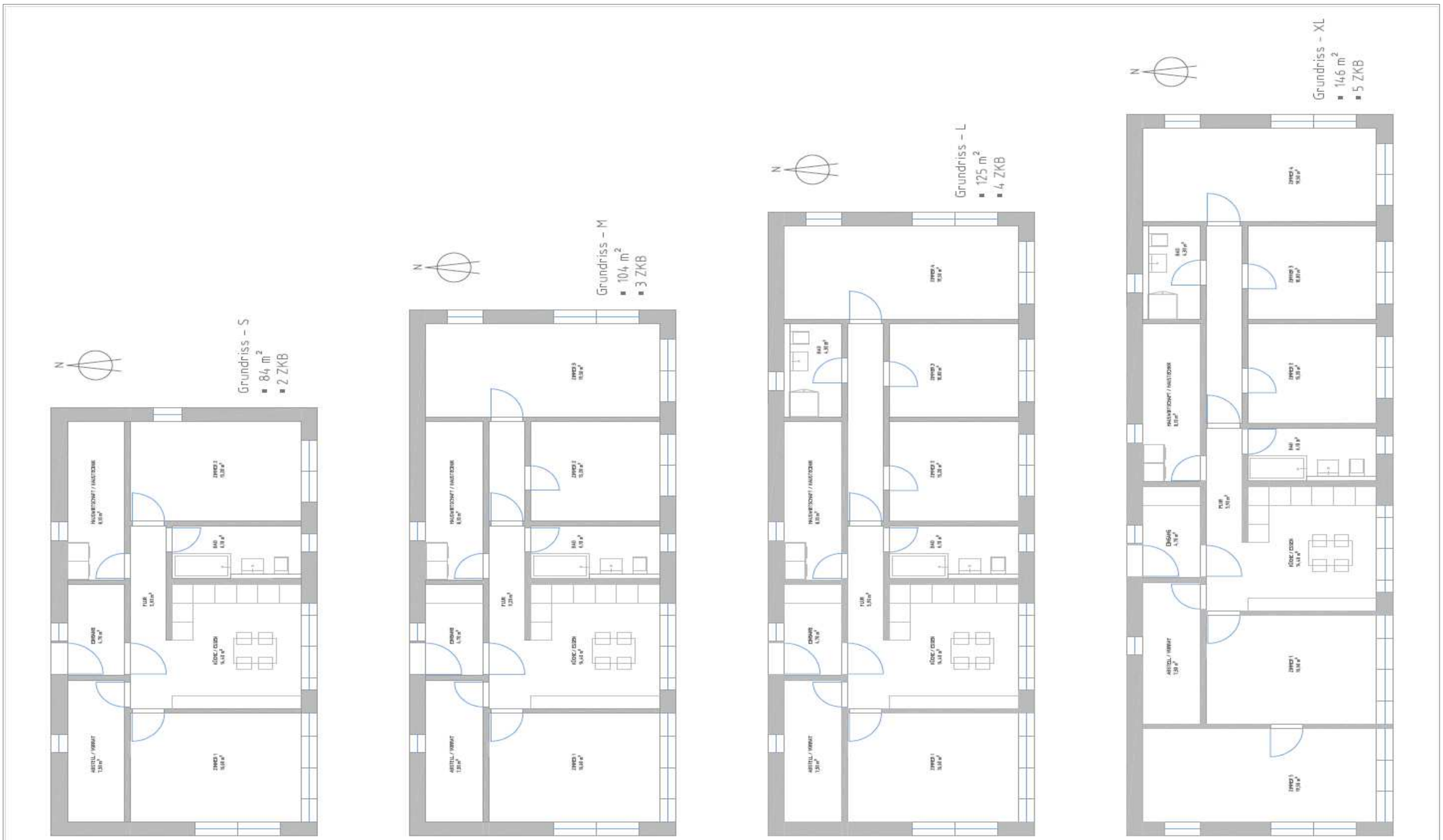
1. Grundriss....3
2. Grundriss - Varianten....4
3. Grundriss - Werkplan....5
4. Grundriss – Axmass für Strohballen und Balken....6
5. Schnitte A-A und B-B....7
6. Ansicht Nord und West....8
7. Ansicht Süd und Ost....9
8. Detail: Außenwand horizontal....10
9. Detail: Außenwand vertikal....11
10. Detail: Außenwand-Ecke....12
11. Detail: Innenwand und Wandanschlüsse....13
12. Detail: Fundament – Bodenplatte - Außenwand....14
13. Detail: Fundament – Bodenplatte - Fensteranschluss....15
14. Detail: Traufe....16
15. Detail: Ortgang....17
16. Detail: Fensteranschluss horizontal....18
17. Detail: Fensteranschluss vertikal....19
18. Detail: Fensteranschluss mit Jalousie horizontal....20
19. Detail: Fensteranschluss mit Jalousie vertikal....21
20. Tragwerk: Fundament....22
21. Tragwerk: Bodenplatte....23
22. Tragwerk: Erdgeschoss....24
23. Tragwerk: Dach....25
24. Tragwerk: Schnitt....26
25. Tragwerk: Ansicht Nord....27
26. Tragwerk: Ansicht Süd....28
27. Tragwerk: Ansicht West / Ost....29
28. Tragwerk: 3D Ansicht Süd-West....30
29. Tragwerk: 3D Ansicht Nord-Ost....31
30. U-Wert Berechnung....32

1. Grundriss



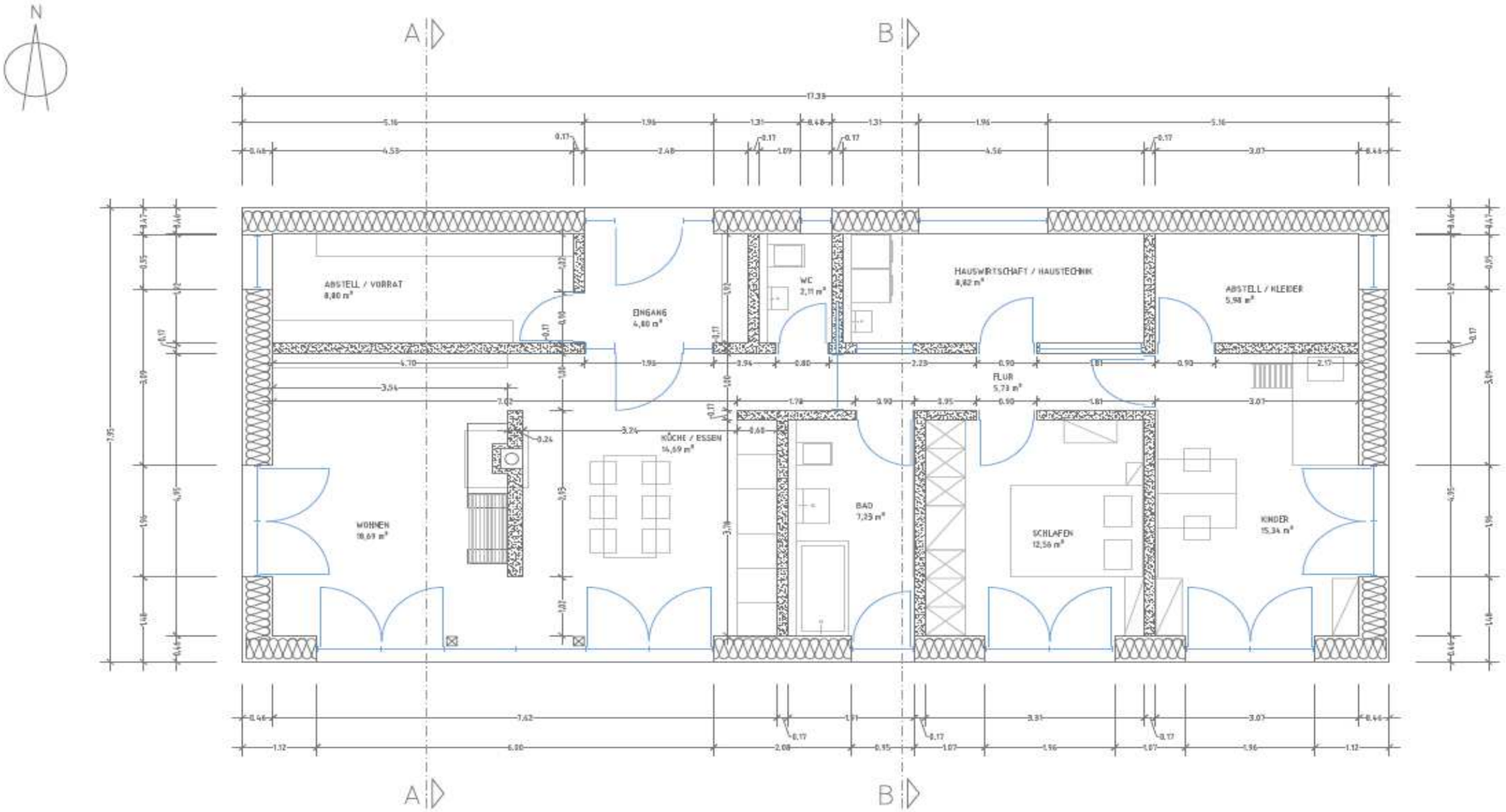
ca. M 1:50

2. Grundriss - Varianten



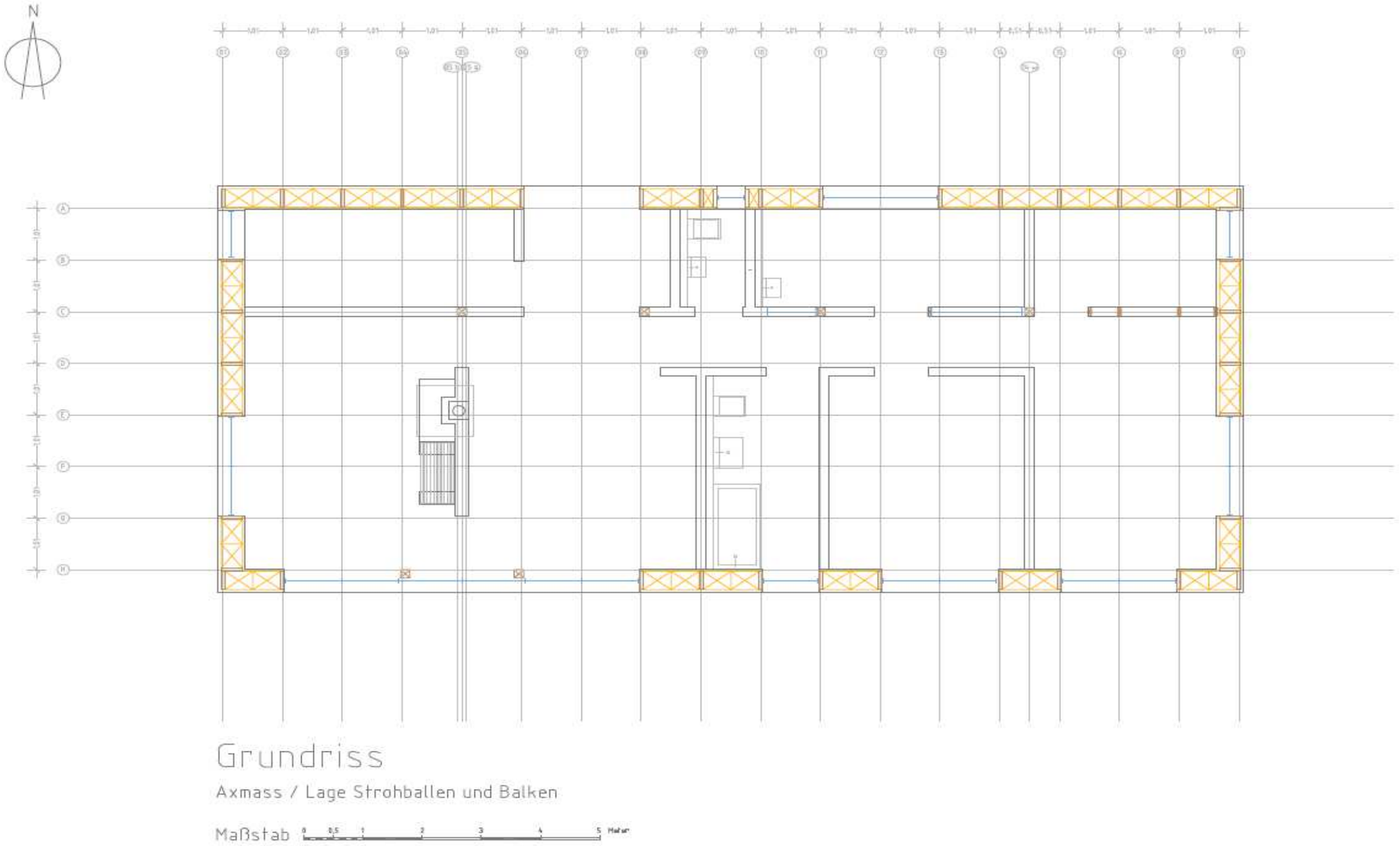
ca. M 1:100

3. Grundriss - Werkplan



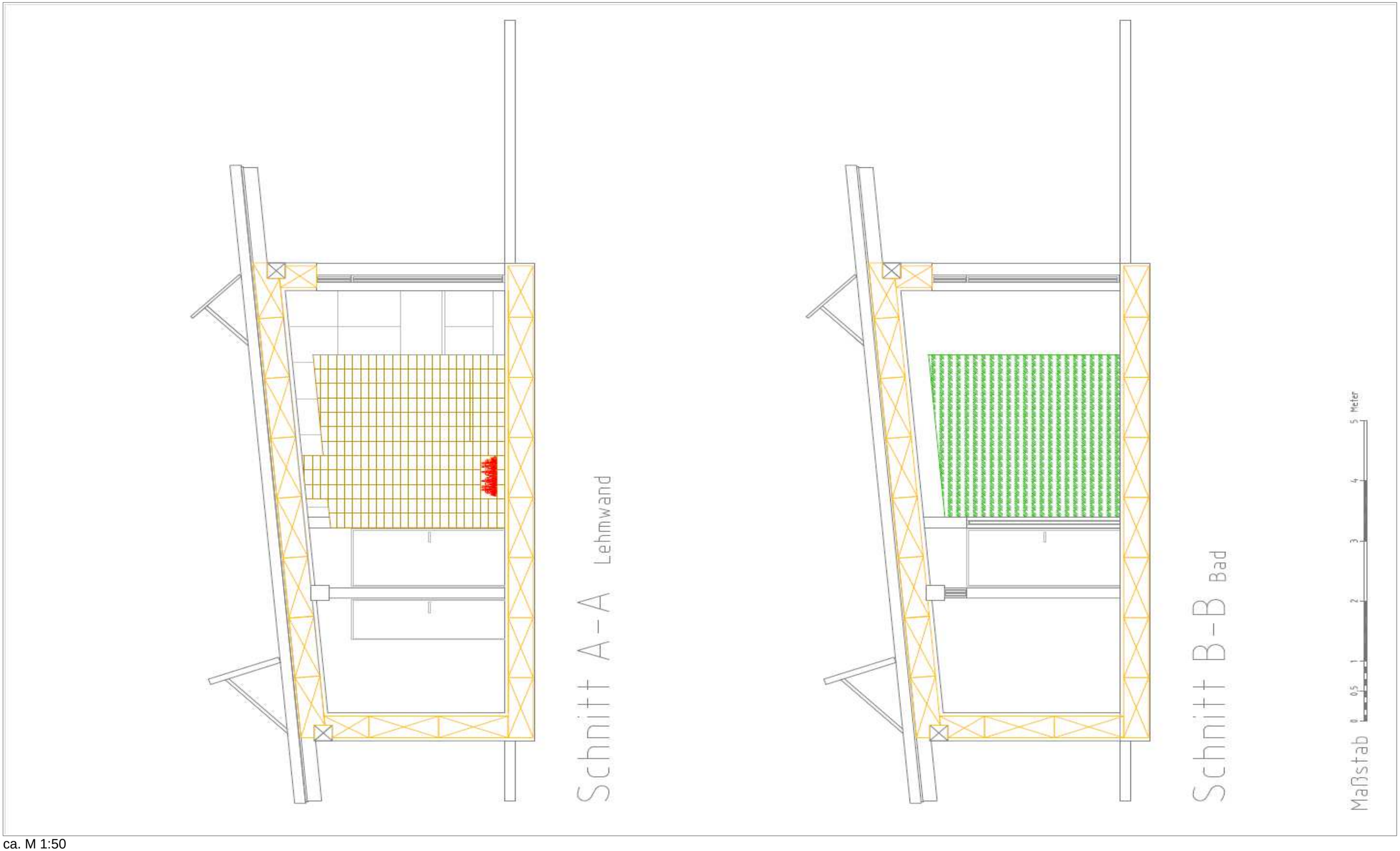
ca. M 1:75

4. Grundriss – Axmass für Strohballen und Balken



ca M 1:75

5. Schnitte A-A und B-B

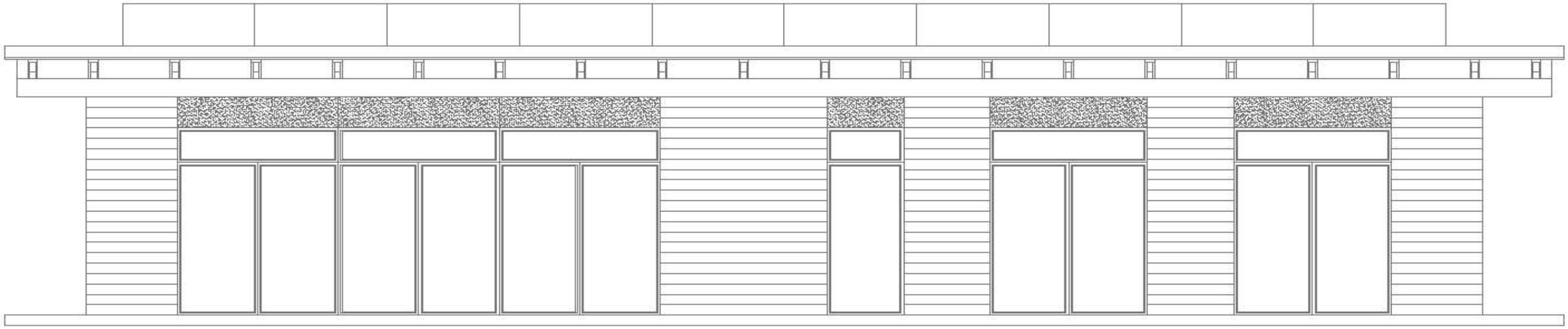


ca. M 1:50

6. Ansicht Nord und West

ca M 1:50

7. Ansicht Süd und Ost



Ansicht Süd

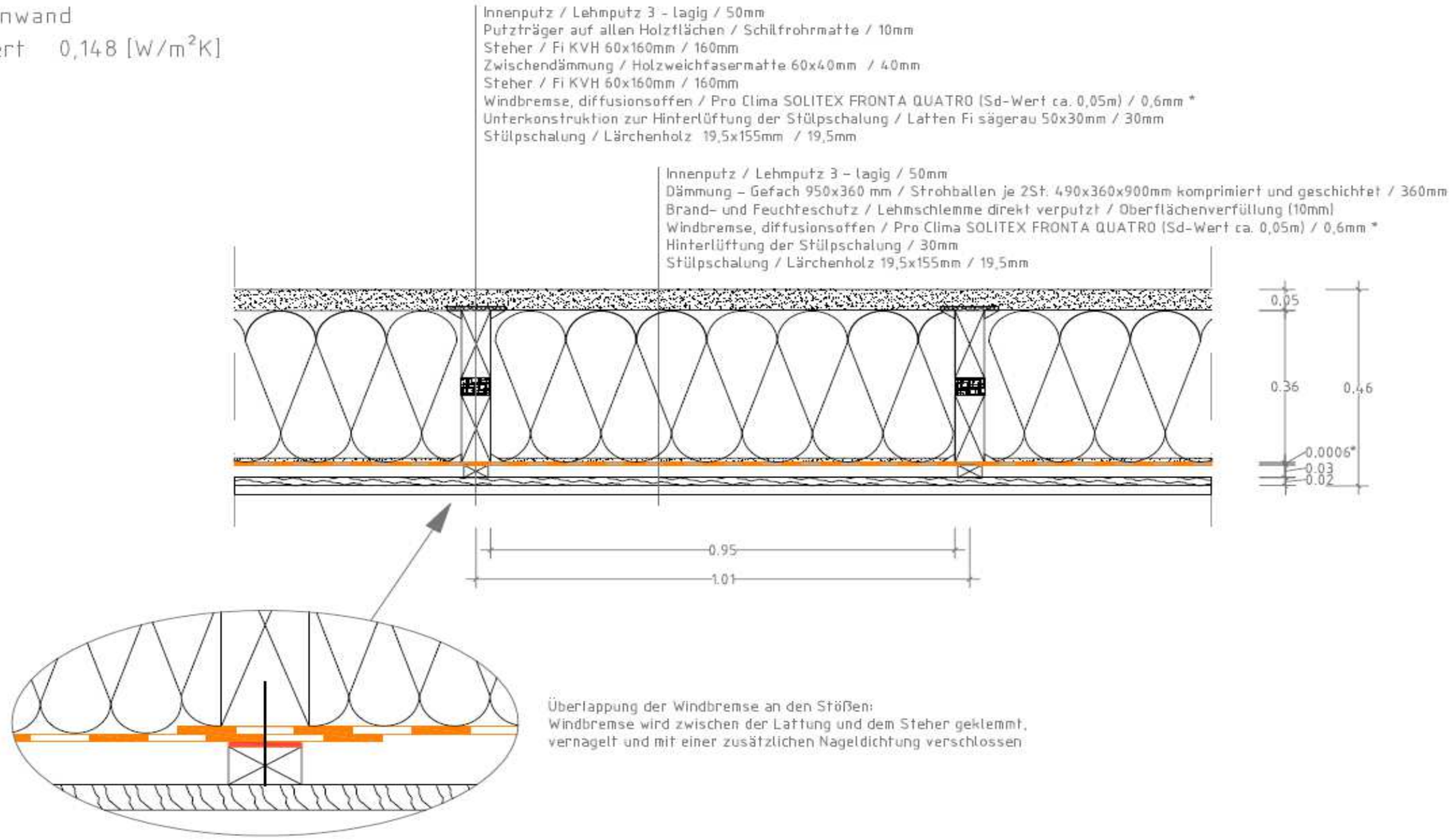
Ansicht Ost

Maßstab 0 0,5 1 2 3 4 5 Meter

ca. M 1:50

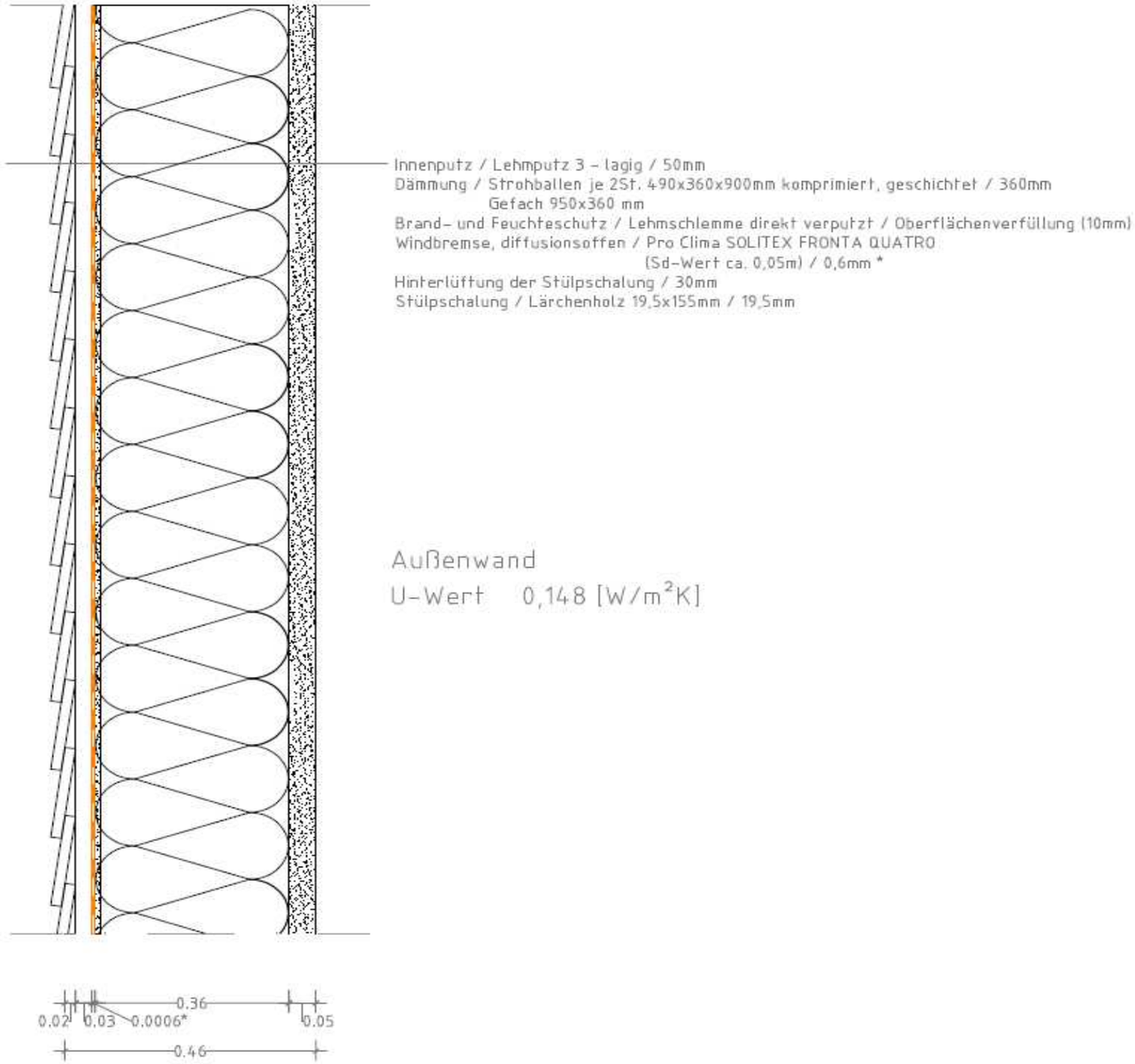
8. Detail: Außenwand horizontal

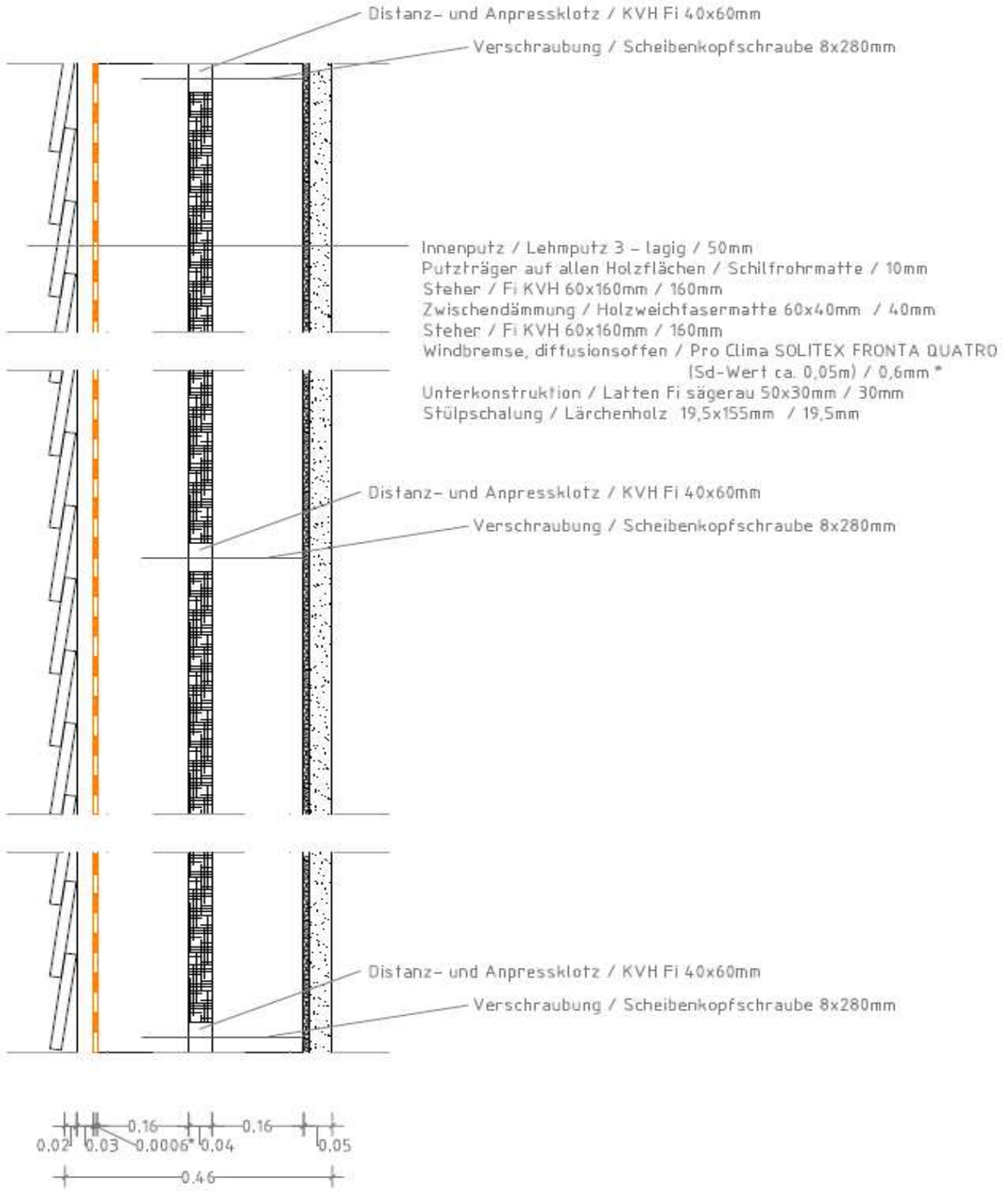
Außenwand
U-Wert 0,148 [W/m²K]



ca M 1:10

9. Detail: Außenwand vertikal



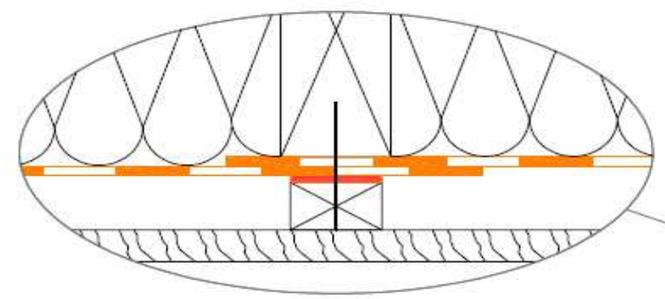


* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

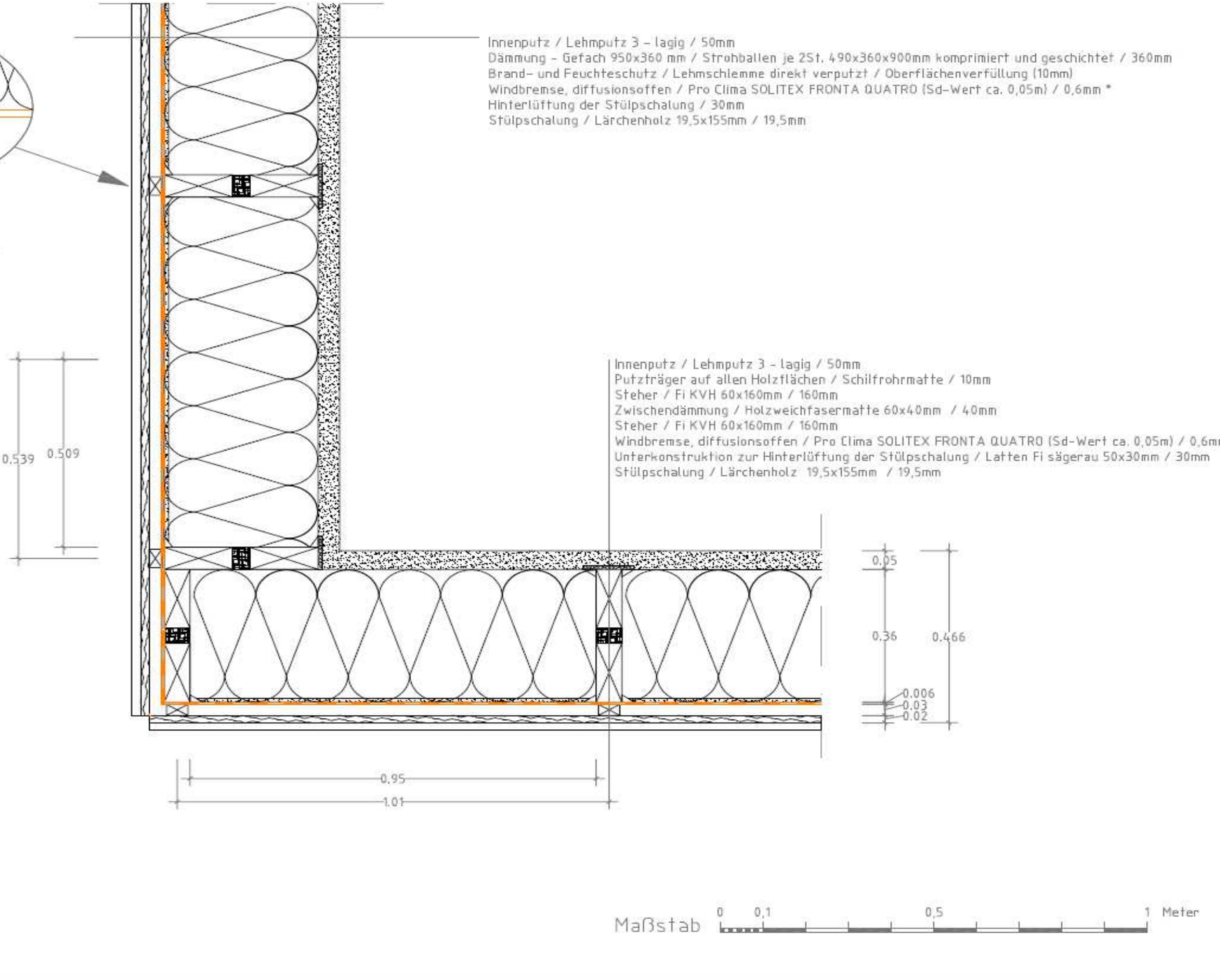
Maßstab 0 0,1 0,5 1 Meter

ca. M 1:10

10. Detail: Außenwand-Ecke

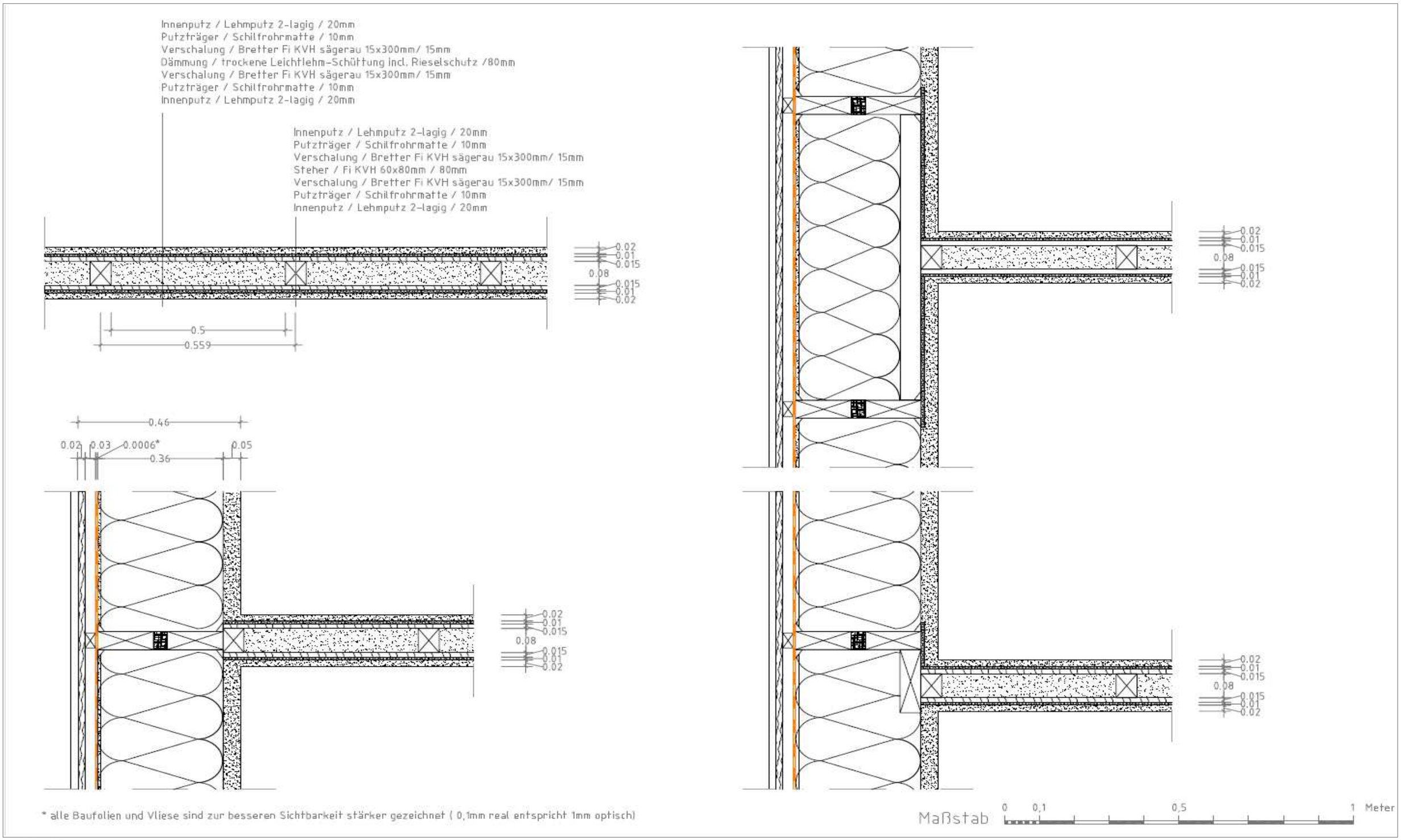


Überlappung der Windbremse an den Stößen:
Windbremse wird zwischen der Lattung und dem Steher geklemmt, vernagelt und mit einer zusätzlichen Nageldichtung verschlossen



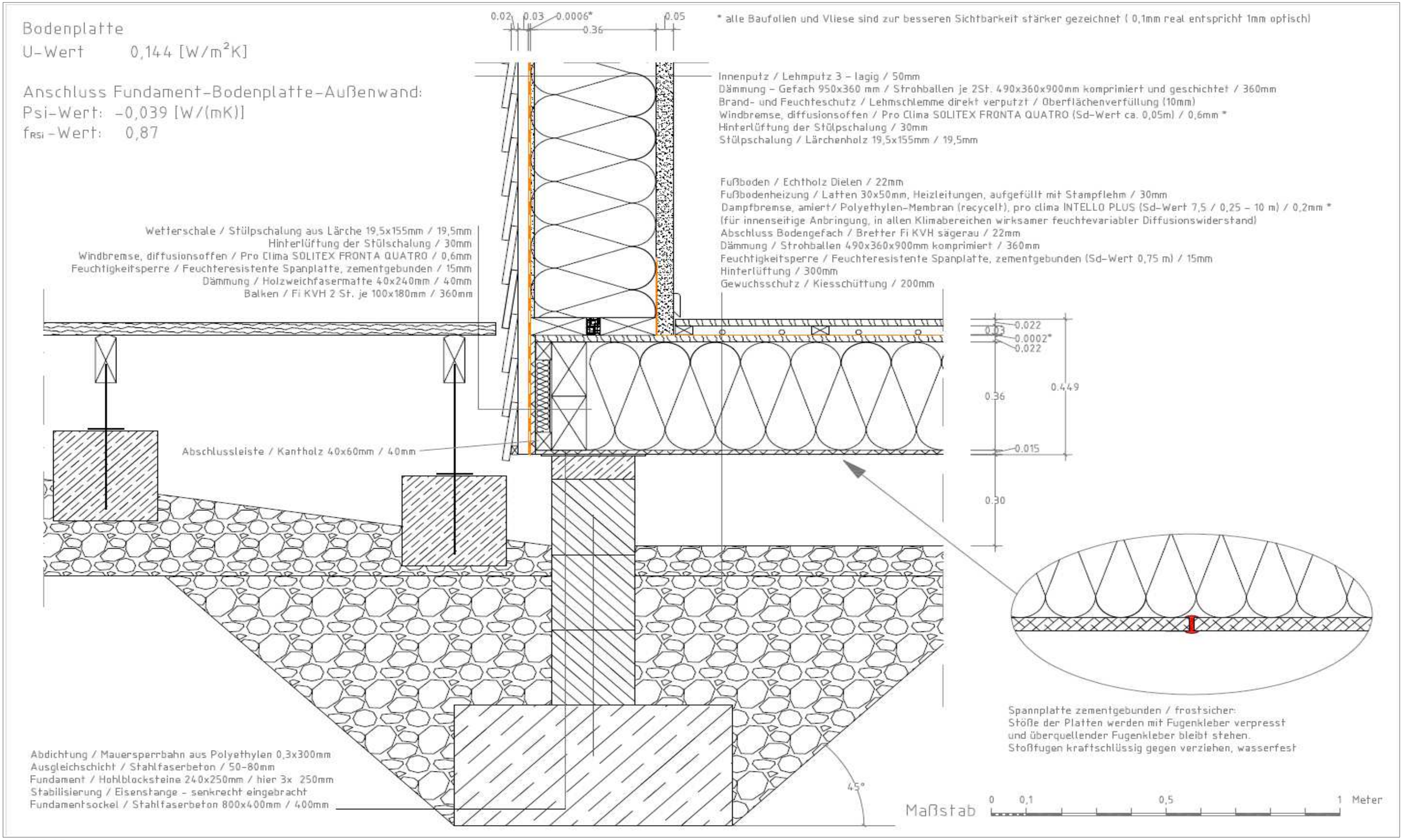
ca. M 1:10

11. Detail: Innenwand und Wandanschlüsse



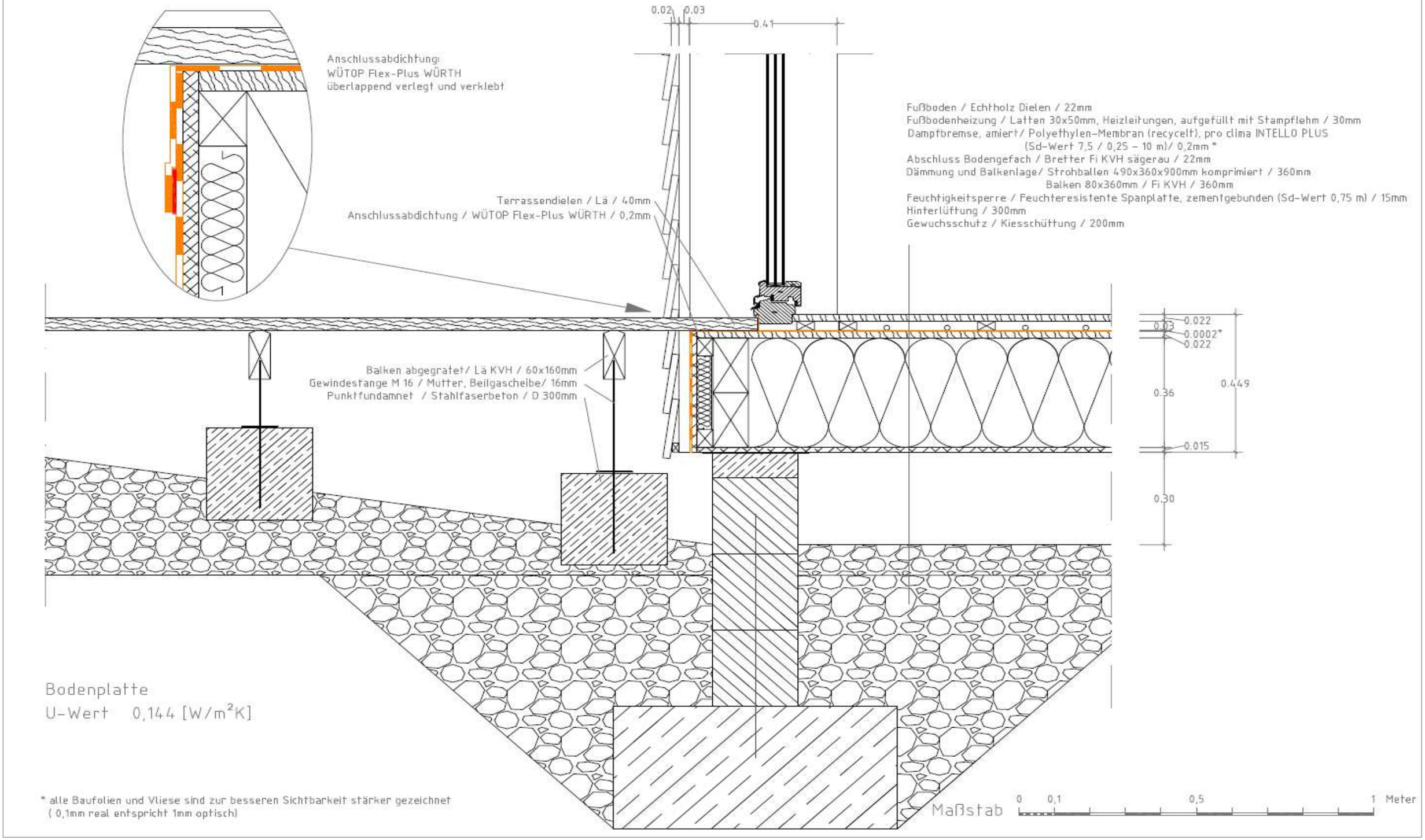
ca. M 1:10

12. Detail: Fundament – Bodenplatte - Außenwand



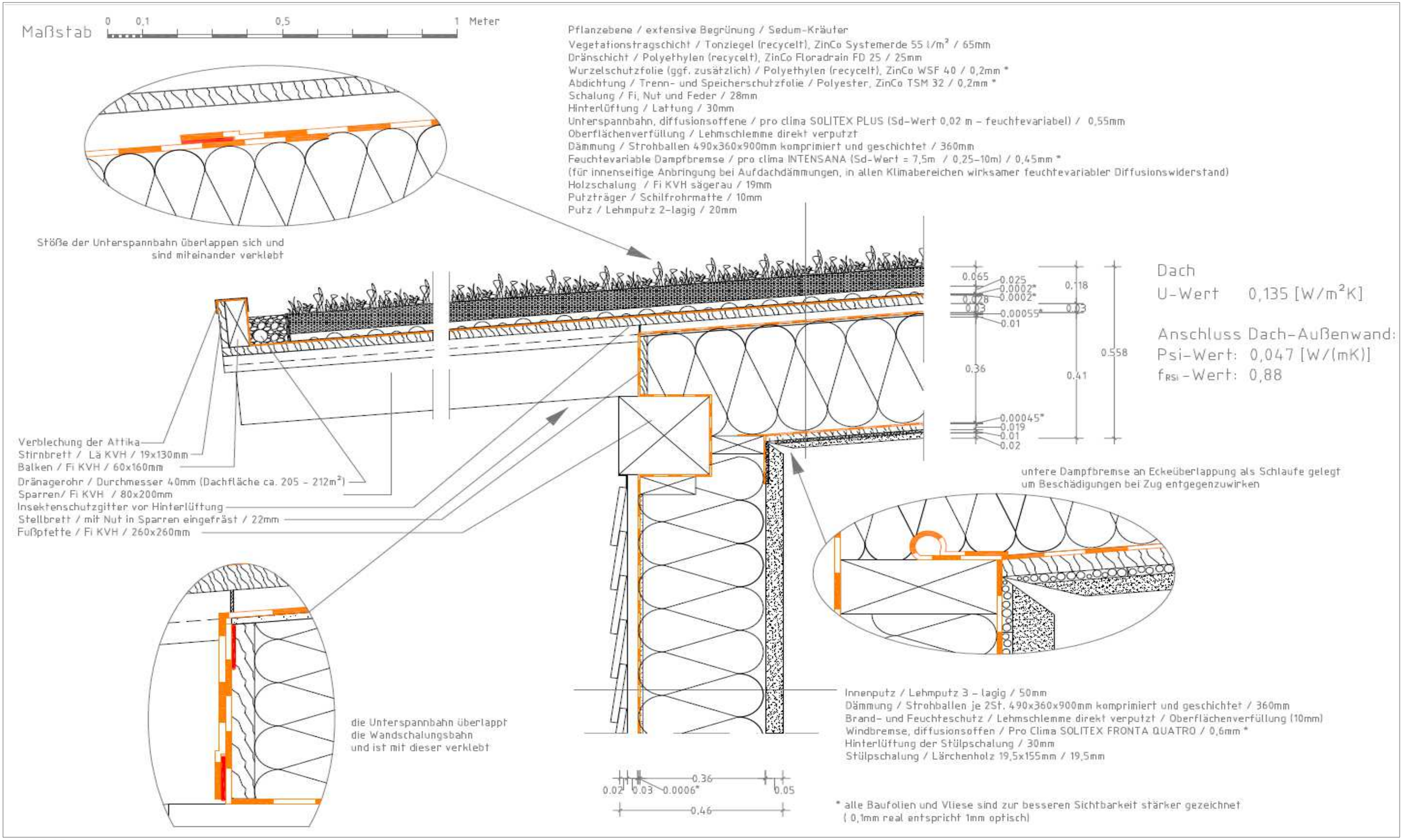
ca. M 1:10

13. Detail: Fundament – Bodenplatte - Fensteranschluss



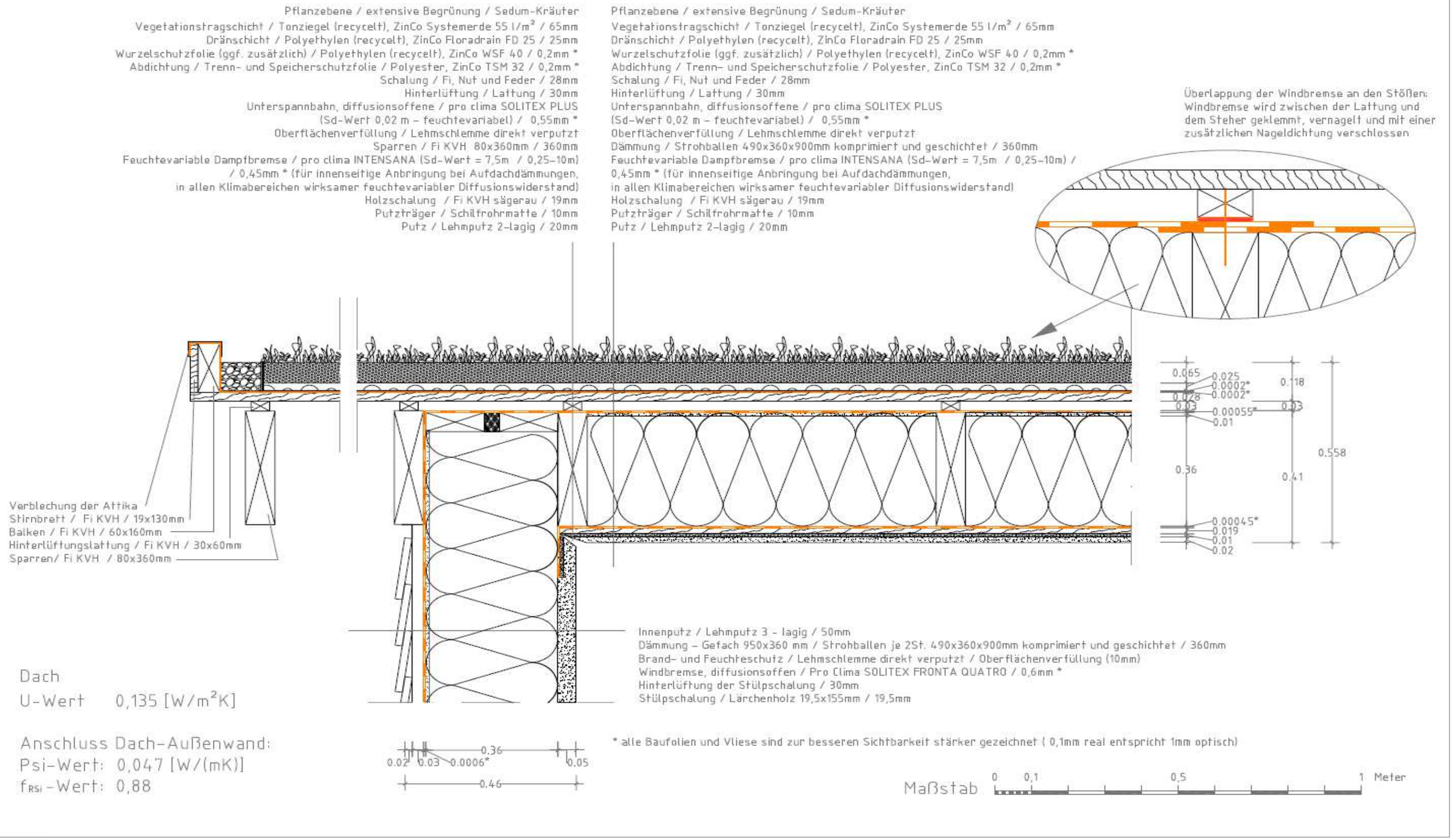
ca. M 1:10

14. Detail: Traufe



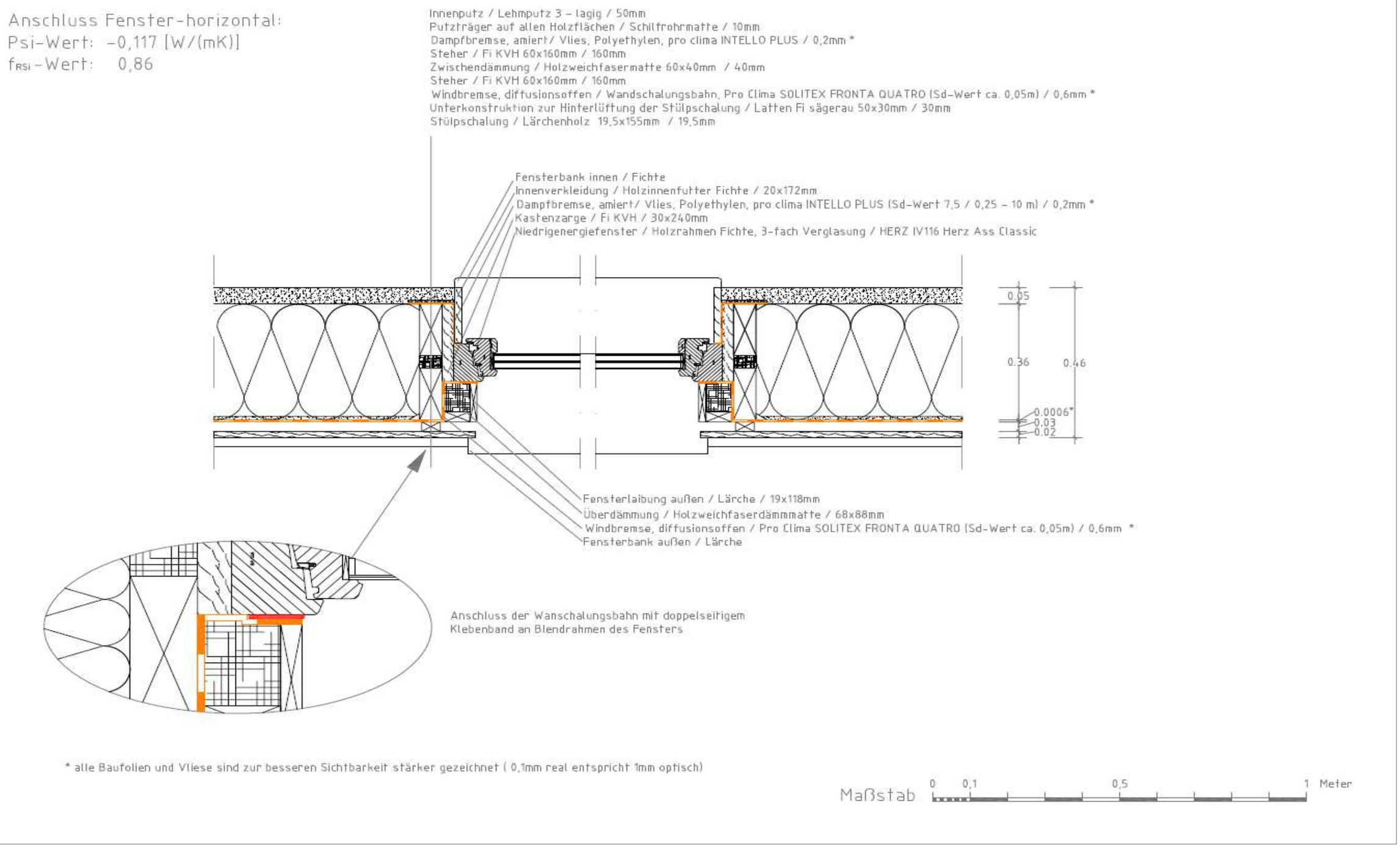
ca. M 1:10

15. Detail: Ortgang



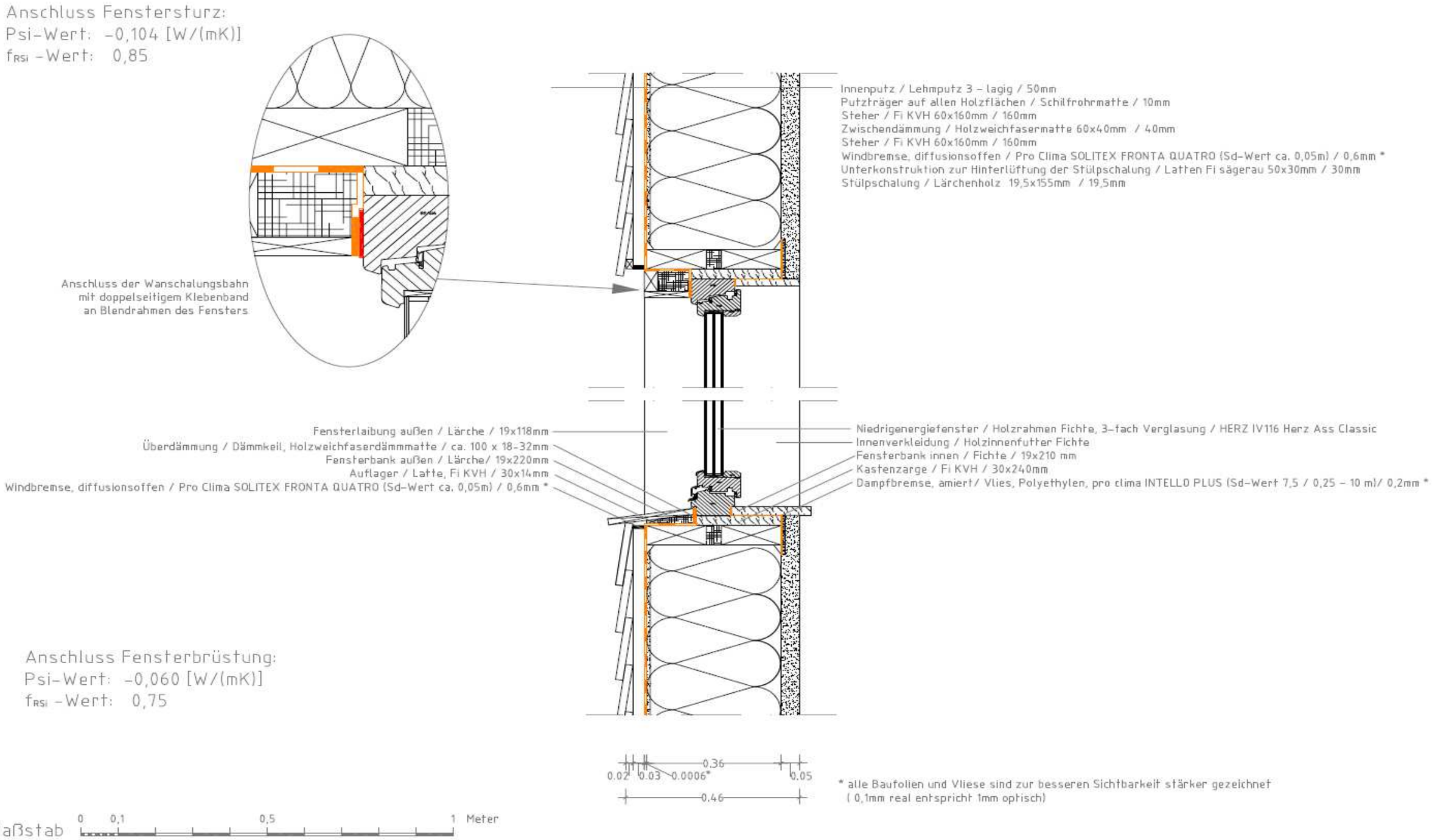
ca. M 1:10

16. Detail: Fensteranschluss horizontal



ca. M 1:10

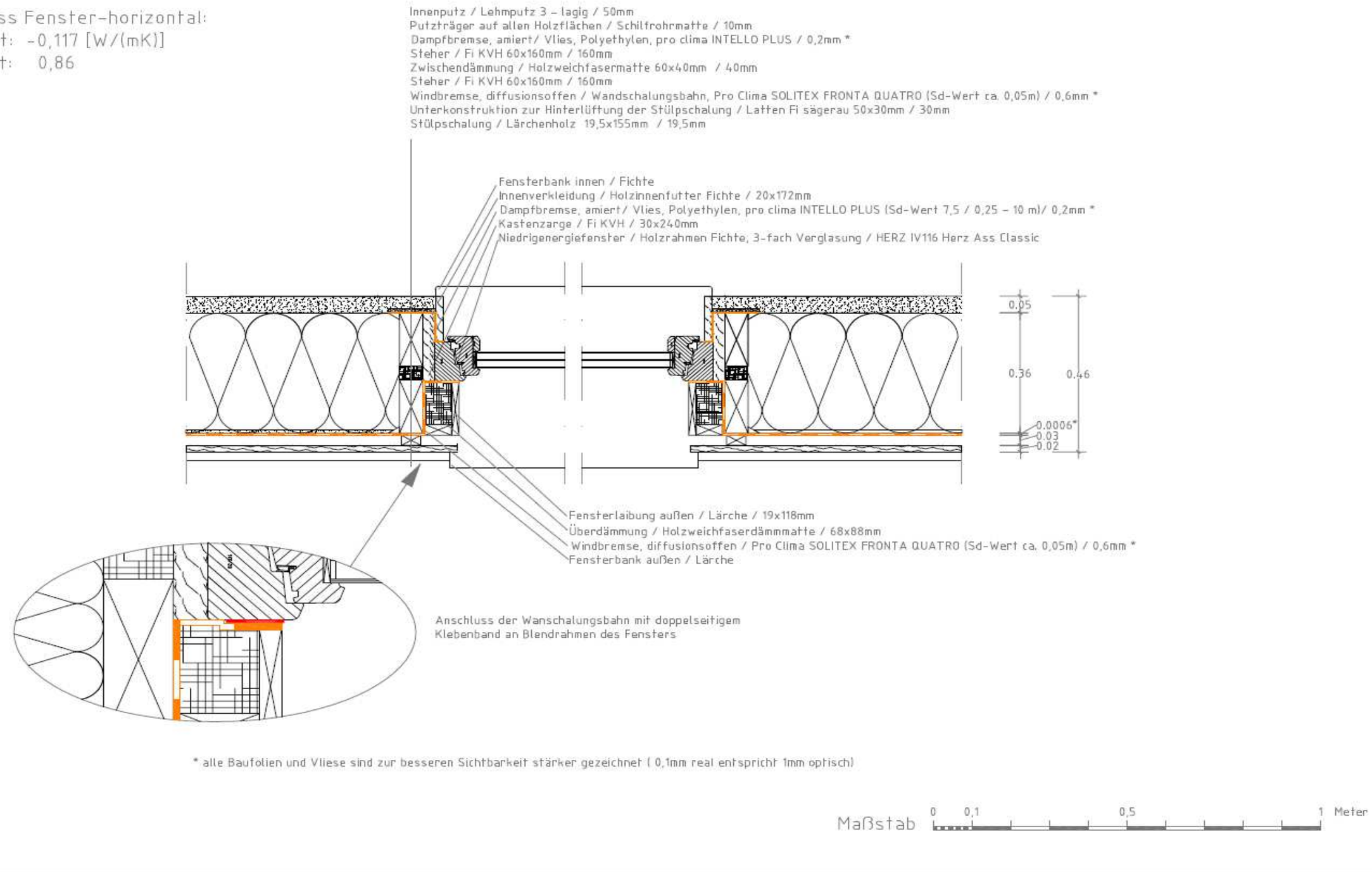
17. Detail: Fensteranschluss vertikal



ca. M 1:10

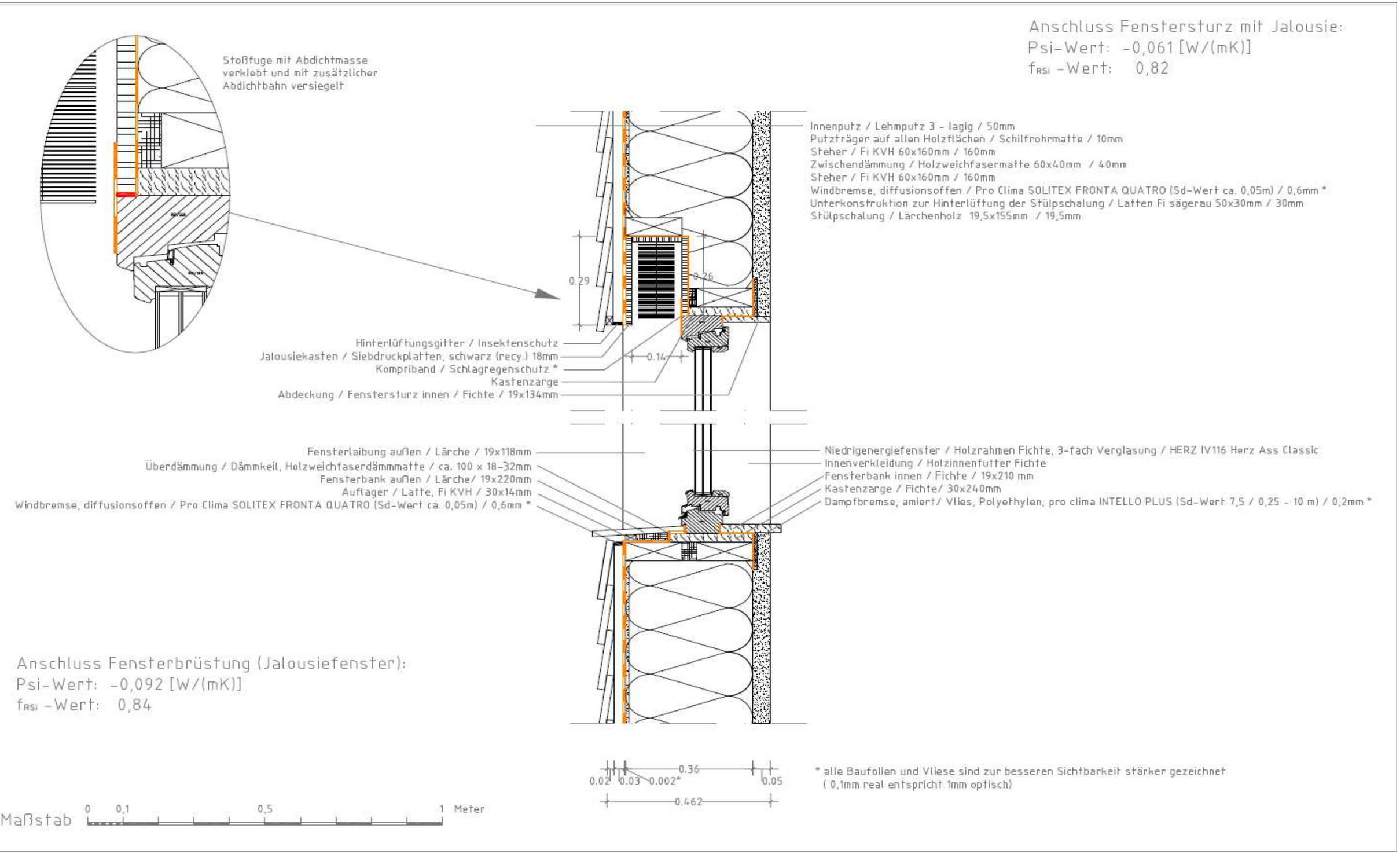
18. Detail: Fensteranschluss mit Jalousie horizontal

Anschluss Fenster-horizontal:
Psi-Wert: -0,117 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,86



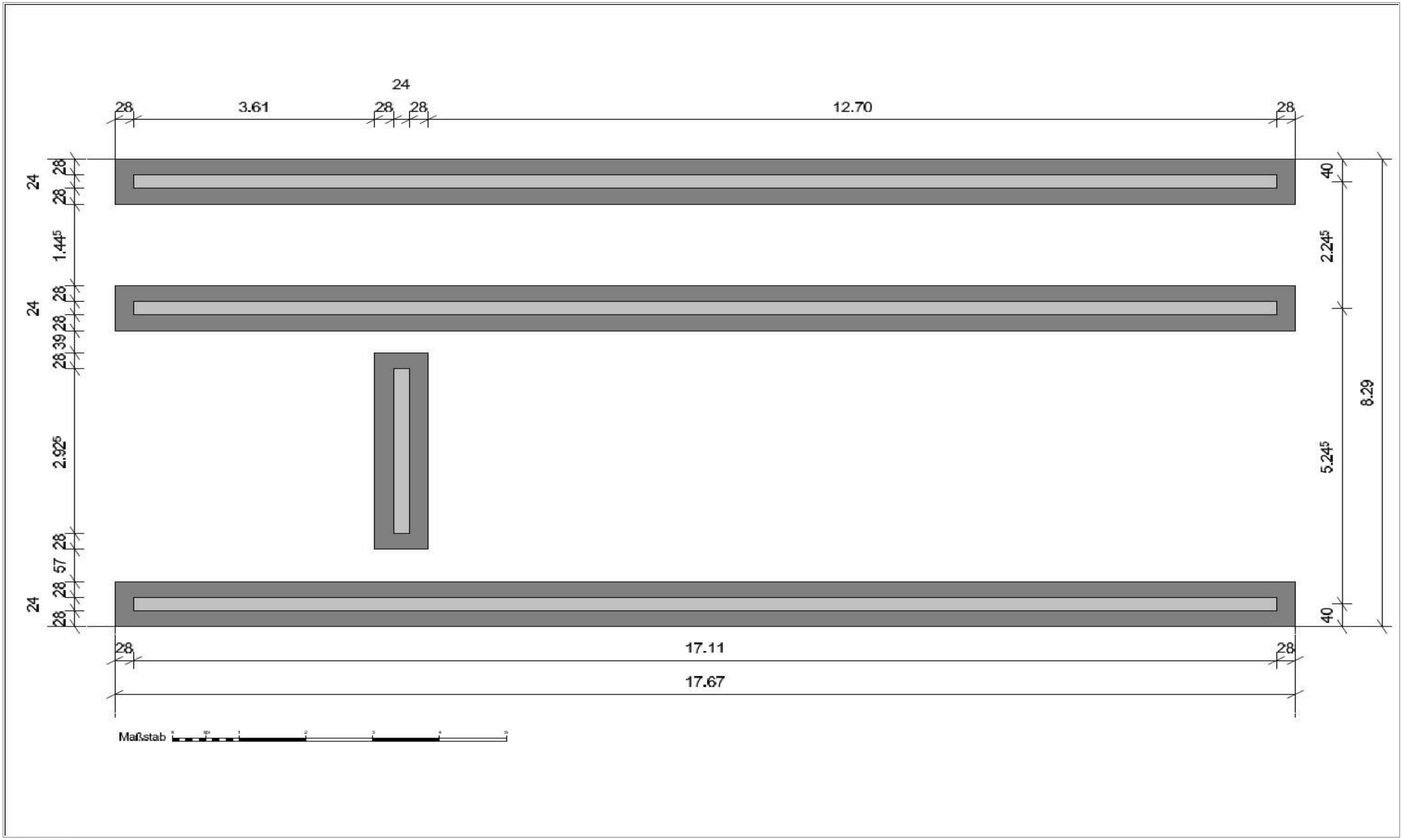
ca. M 1:10

19. Detail: Fensteranschluss mit Jalousie vertikal



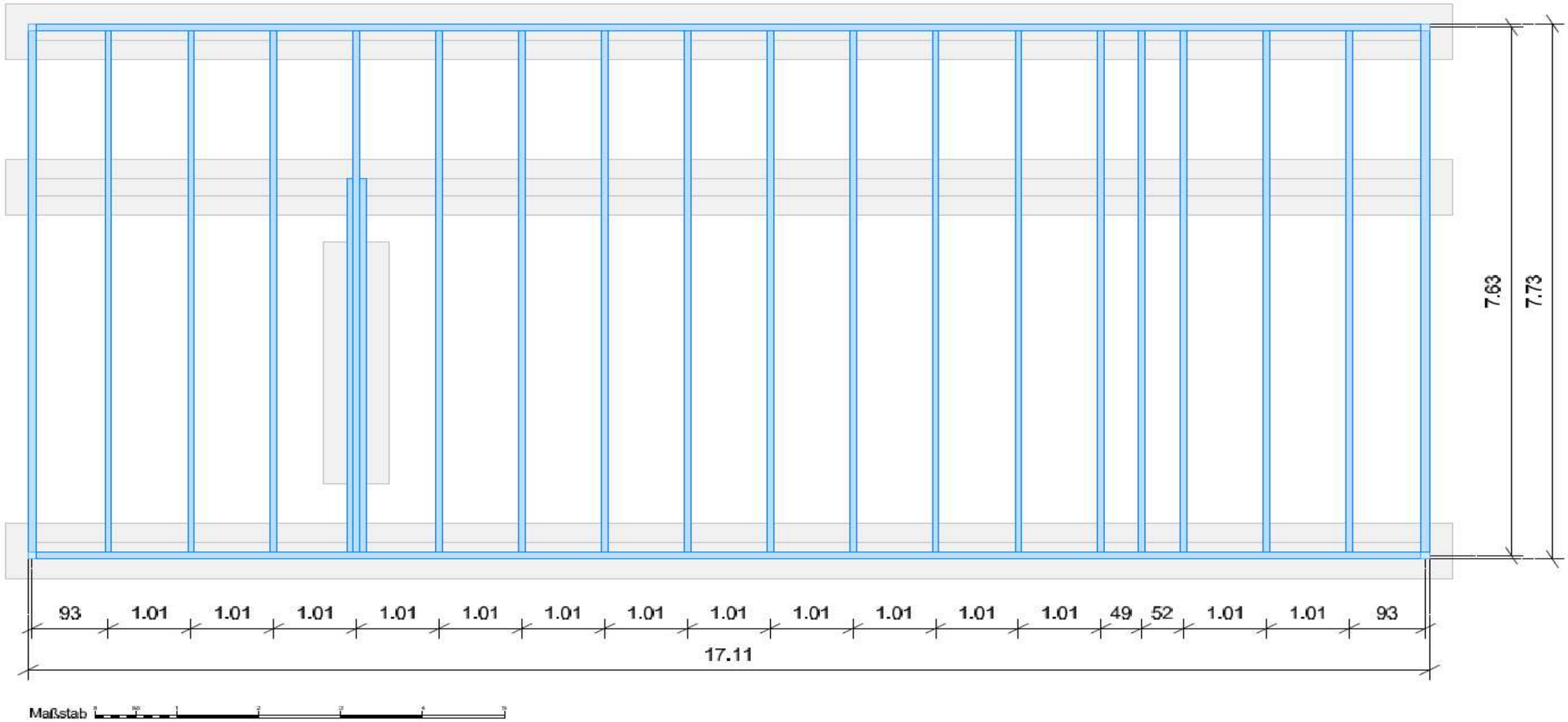
ca. M 1:10

20. Tragwerk: Fundament



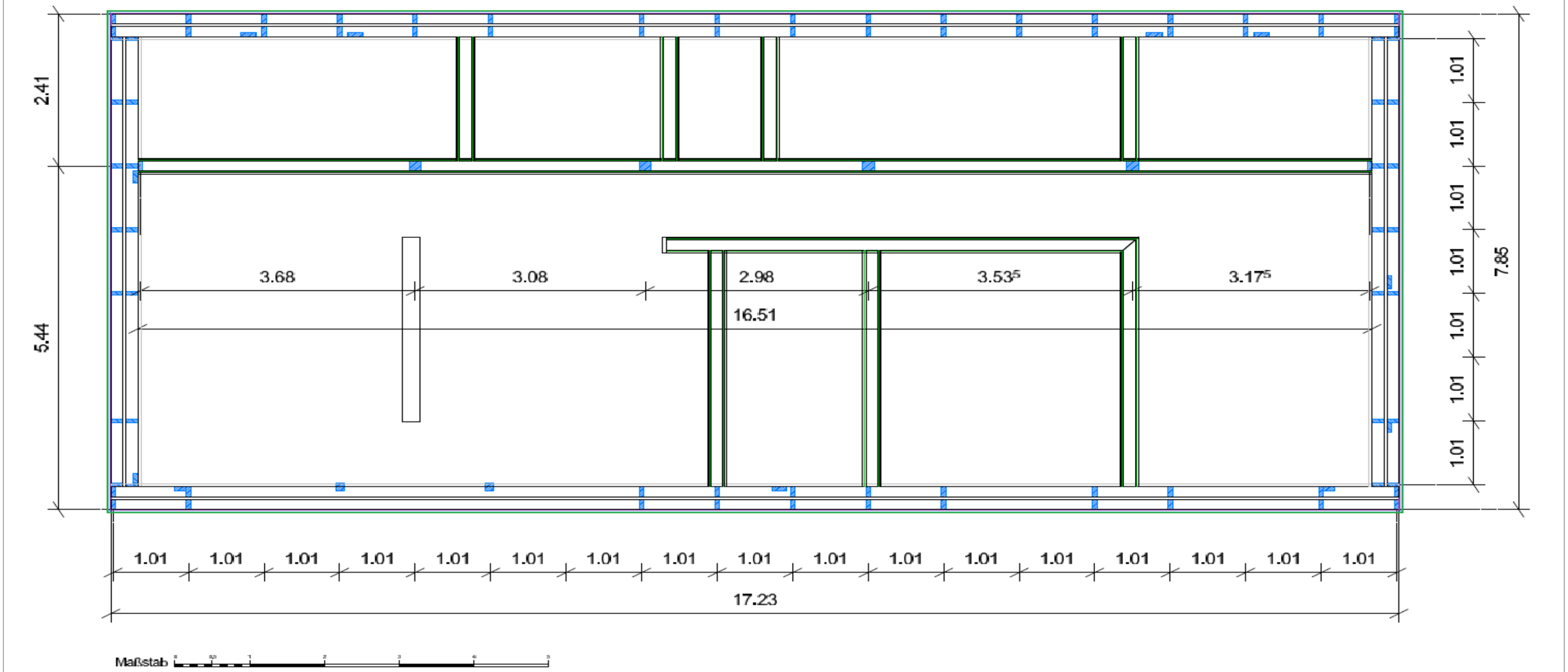
ca. M 1:50

21. Tragwerk: Bodenplatte



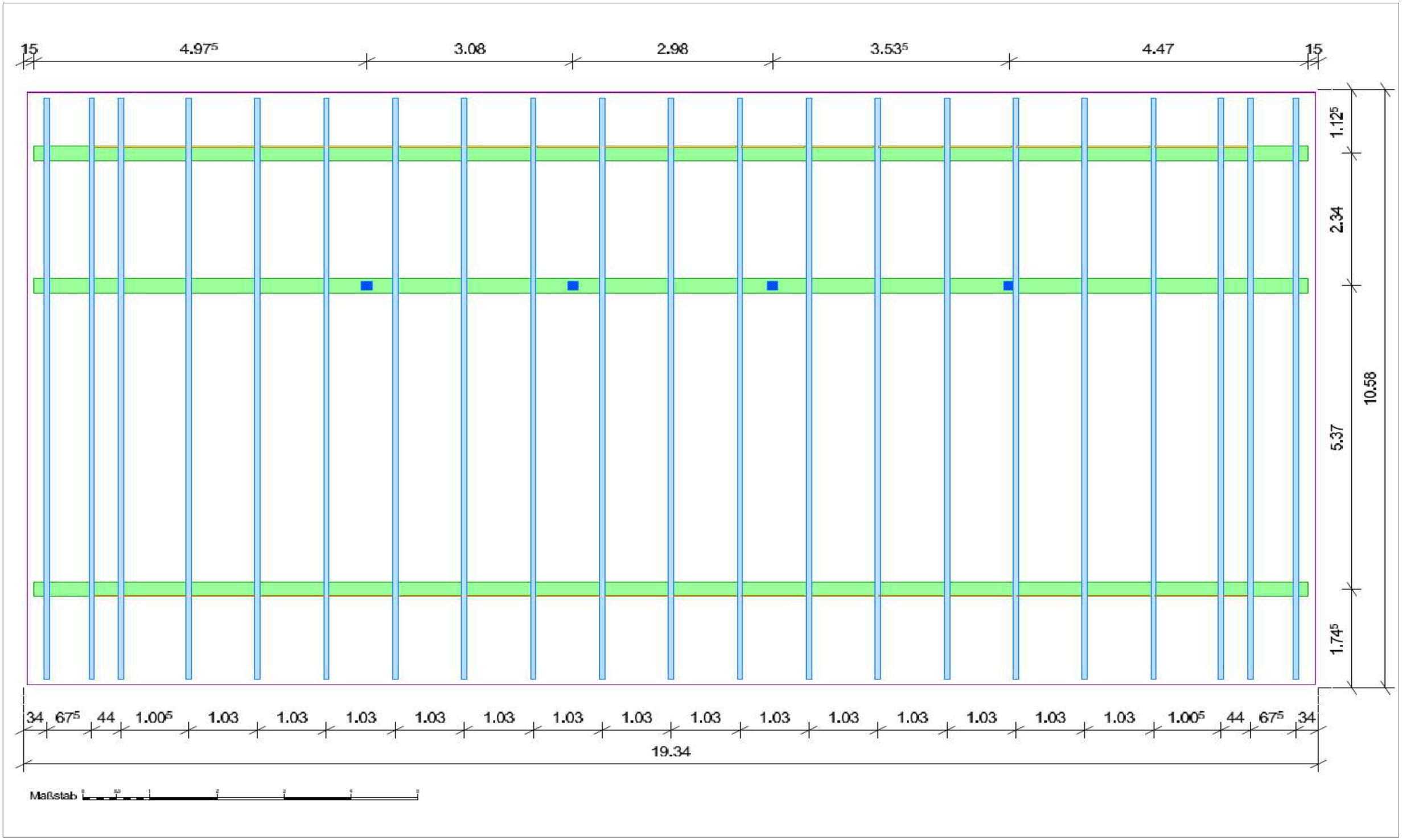
ca. M 1:50

22. Tragwerk: Erdgeschoss



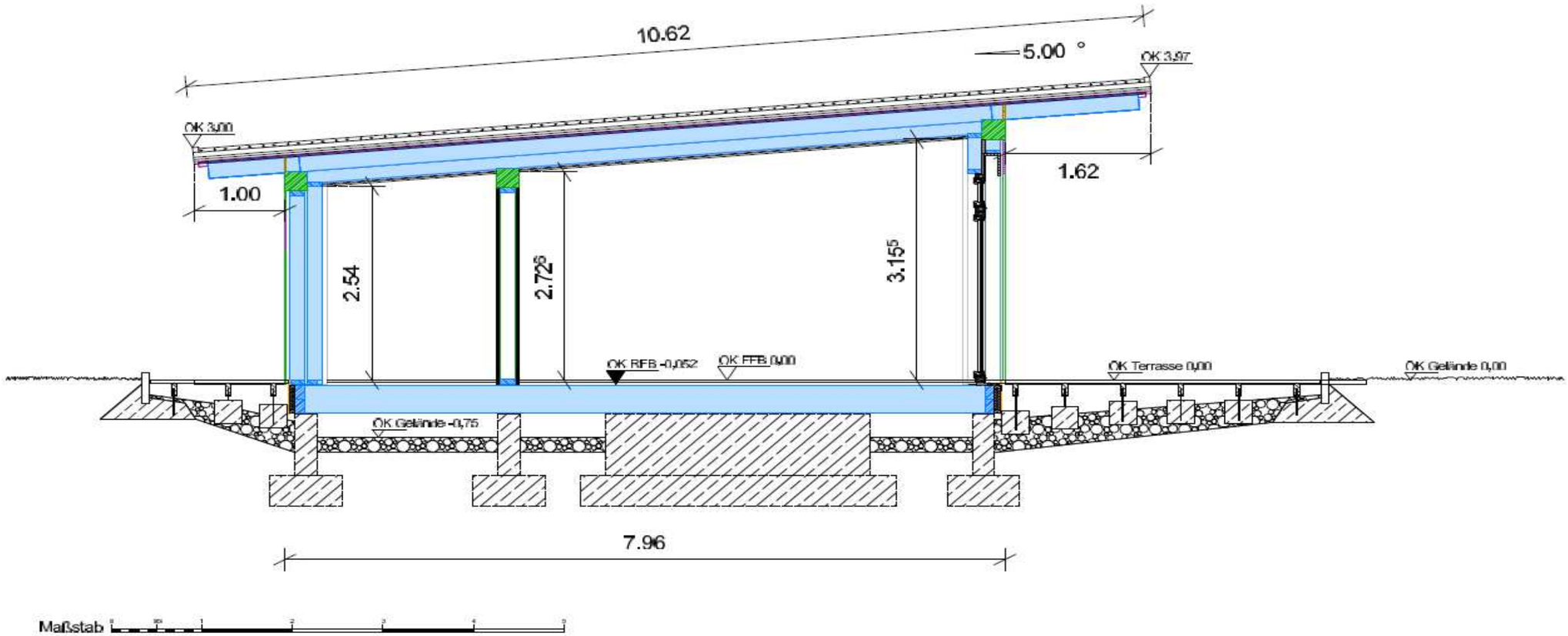
ca. M 1:50

23. Tragwerk: Dach



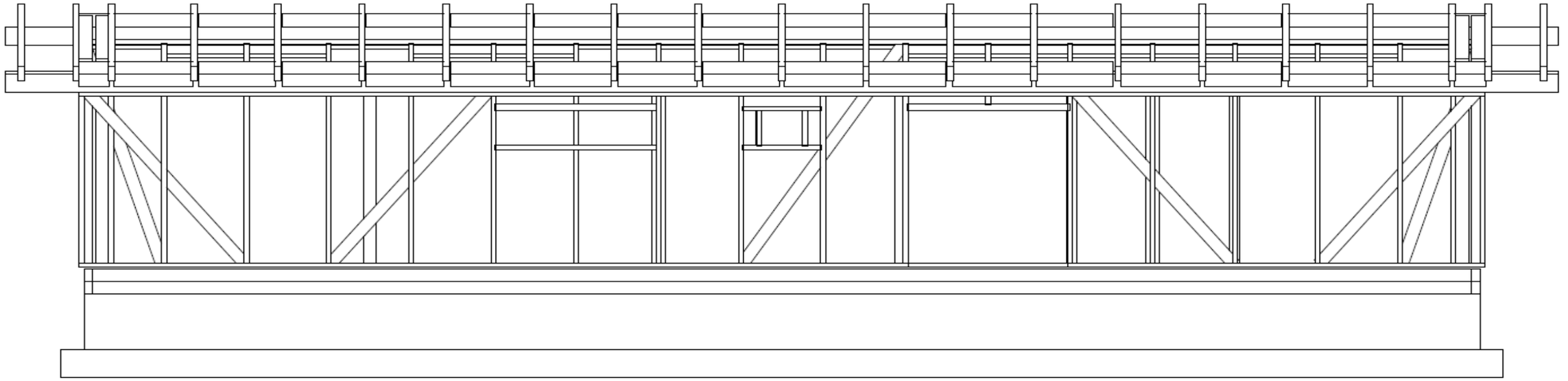
ca. M 1:50

24. Tragwerk: Schnitt



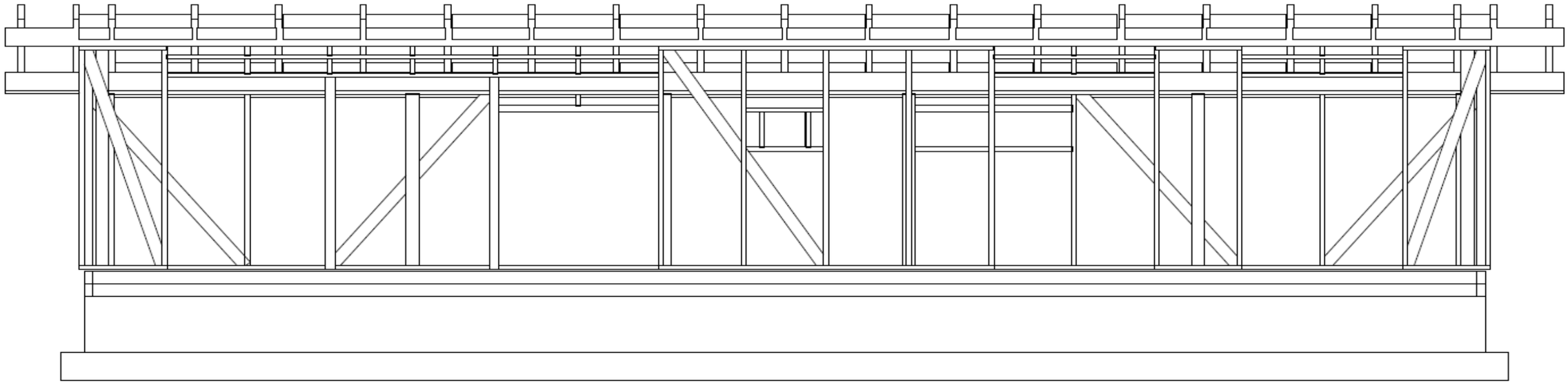
ca. M 1:50

25. Tragwerk: Ansicht Nord



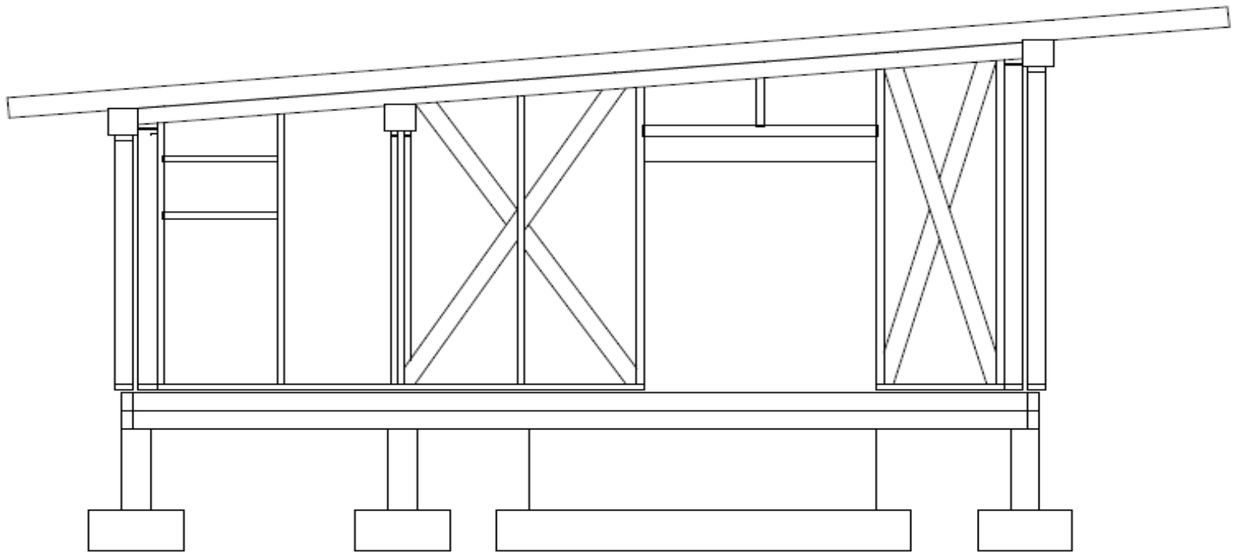
ca. M 1:50

26. Tragwerk: Ansicht Süd



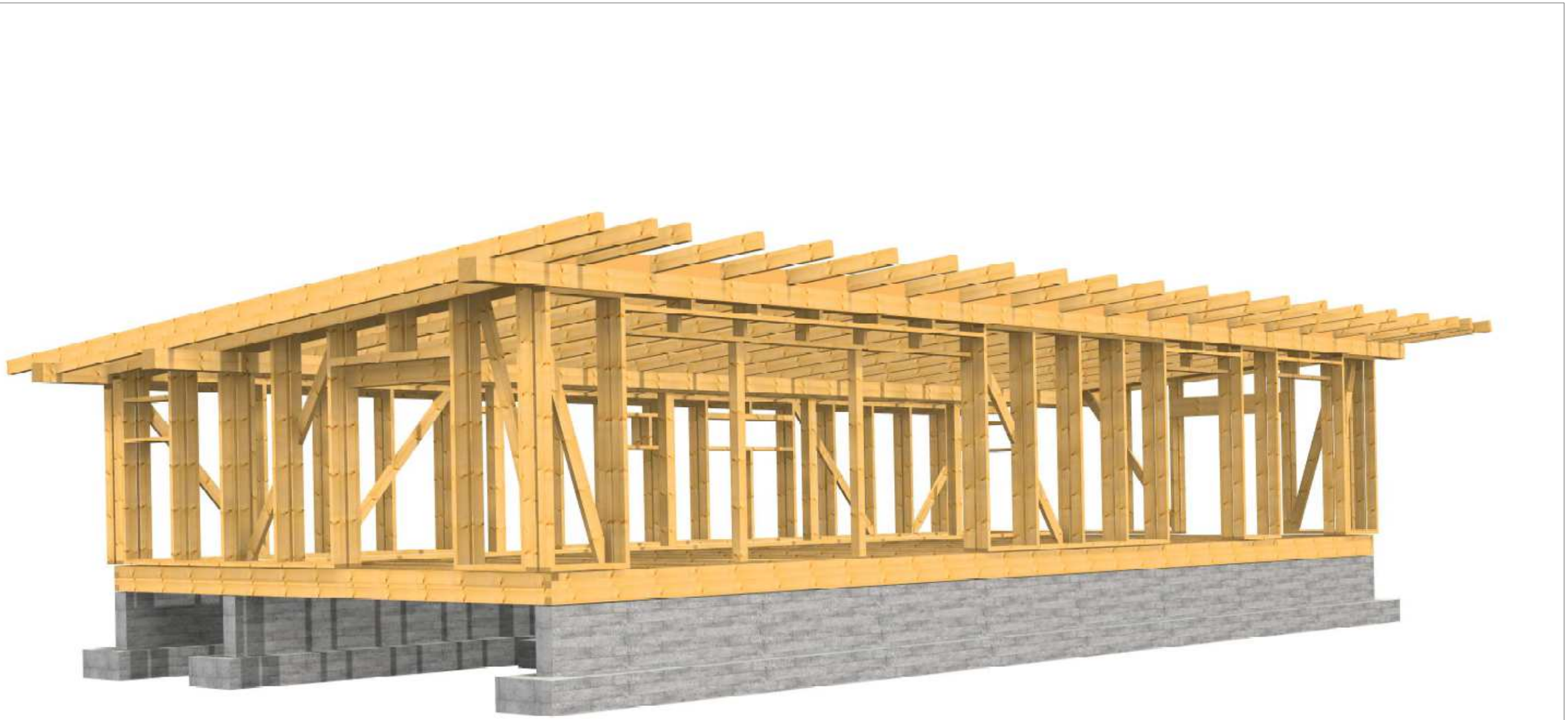
ca. M 1:50

27. Tragwerk: Ansicht West / Ost

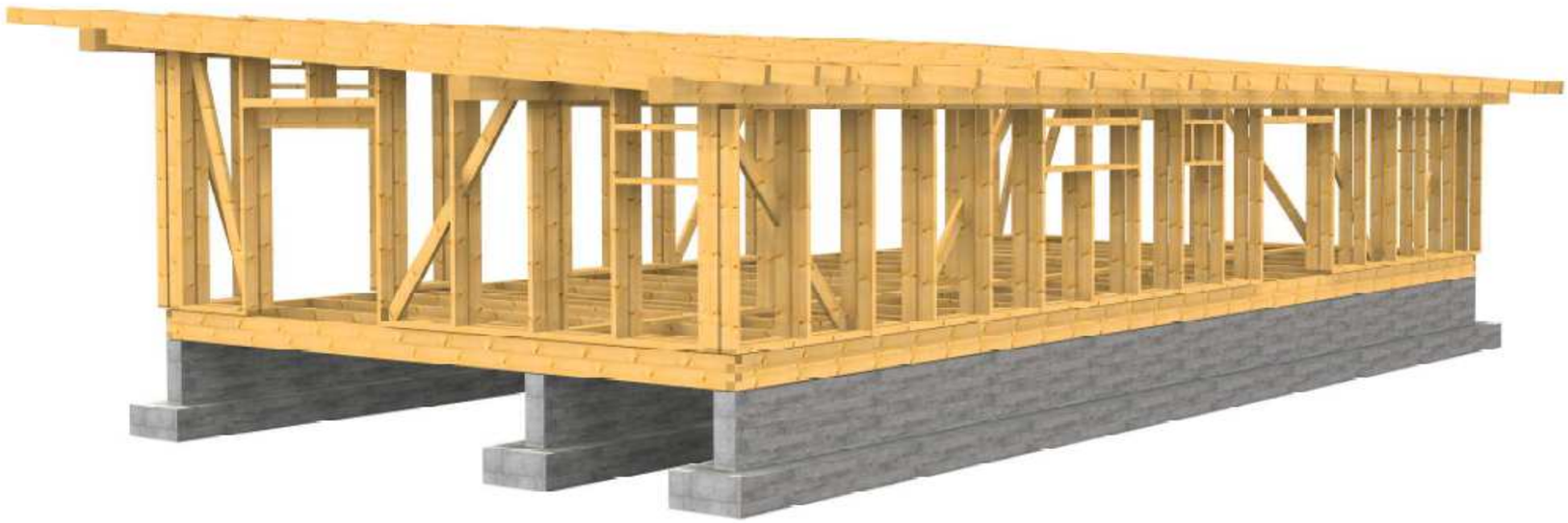


ca. M 1:50

28. Tragwerk: 3D Ansicht Süd-West



29. Tragwerk: 3D Ansicht Nord-Ost



30. U-Wert Berechnungen

Außenwand

Außenwand	Anteil	Material	Schichtdicke		Lamda		Quelle
Gefach	**94,06%**						
(95cm von 101cm)		Lehmputz	0,05	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Strohballen	0,36	m	0,052	W/mK	[Minke et al. 2009],[Krick, 2008]
		Lehm-Schlämme	0,01	m	0,85	W/mK	[Ziegelhuber-a, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,006	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Luft	0,03	m	-	W/mK	-
		Lärchenholz	0,0195	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
Steher	**5,94%**						
(6cm von 101cm)		Lehmputz	0,04	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Schilfrohr	0,01	m	0,065	W/mK	[u-w ert.net, 2013]
		Fichtenholz	0,16	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Holzweichfaser	0,04	m	0,039	W/mK	[Steico, 2013]
		Fichtenholz	0,16	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,006	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Fichtenholz	0,03	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Lärchenholz	0,0195	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]

Wand	Rsi	Rt' Teilbetrag 1	Rse	Summe 1	Anteil	Rt' Teilbetrag 2	Summe 2	1/ Rt =	Rt'
	[m²K/W]	[m / (W/mK)]	[m²K/W]	[m²K/W]	%	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]
Gefach	**0,13**	**7,0181749623**	**0,13**	**7,28**	**0,94**	**0,1292**	**0,14**	**1**	**6,93**
Lehm-P.		0,0833333333							
Strohballen		6,9230769231							
Lehm-S.		0,0117647059							
Vlies / Polypro.									
Hinterlüftung									
Lärchenholz		0,15							
Stütze	**0,13**	**3,7076923077**	**0,13**	**3,97**	**0,06**	**0,0151**			
Lehm-P.		0,0666666667							
Schilfrohr		0,1538461538							
Fichtenholz		1,2307692308							
Holzweichfaser		1,0256410256							
Fichtenholz		1,2307692308							
Vlies / Polypro.									
Hinterlüftung		0,2307692308							
Lärchenholz		0,15							

1. Berechnung – Rt'

2. Berechnung – Rt'' /1

Wand	Rsi	Lambda Quer 1		Lambda Quer 2		Lambda Quer 3		Rse	Rt''
		100% Lehm-P.		88% Lehm-P.		94% Stroh			
		1 0,6	**0,6**	0,88 0,6	**0,528**	0,94 0,052	**0,0489**		
				12% Schilf		6% Holz			
				0,12 0,065	**0,008**	0,06 0,13	**0,0078**		
		S.-Dicke	**0,04**	S.-Dicke	**0,01**	S.-Dicke	**0,16**		
		LQ 1	**0,6**	LQ 2	**0,54**	LQ 3	**0,06**		
0,13		**0,0667**		**0,019**		**2,667**			
[m²K/W]		[W/mK]		[W/mK]		[W/mK]		[m²K/W]	[m²K/W]

2. Berechnung – Rt'' / 2

Wand	Lambda Quer 4		Lambda Quer 5		Lambda Quer 6		Rse	Rt''
	94% Stroh		94% Stroh		94% Holz			
	0,94 0,052	**0,0489**	0,94 0,052	**0,04888**	0,94 0,13	**0,1222**		
	6% HWF		6% Holz		6% Lehm-S.			
	0,06 0,039	**0,0023**	0,06 0,13	**0,0078**	0,06 0,85	**0,051**		
	S.-Dicke	**0,04**	S.-Dicke	**0,16**	S.-Dicke	**0,01**		
	LQ 4	**0,05**	LQ 5	**0,06**	LQ 6	**0,17**		
	0,8		**2,667**		**0,059**		**0,13**	**6,54**
	[W/mK]		[W/mK]		[W/mK]		[m²K/W]	[m²K/W]

3. Berechnung – U-Wert

Wand	Rt'	Rt''	Rt' + Rt''	Rt' + Rt'' / 2 =	Rt	1 / Rt =	U
	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]		[m²K/W]		[W/m²K]
	6,93	6,54	**13,47**	2	**6,73**	1	**0,1485**

Bodenaufbau

Bodenaufbau	Anteil	Material	Schichtdicke		Lamda		Quelle
Gefach	**92,07%**						
(93cm von 101cm)		Eschenholz	0,022	m	0,15	W/mK	[w oodlinks, 2013]
		Stampflehm	0,03	m	0,85	W/mK	[Ziegelhuber-b, 2013]
		Polyethylen-Membran (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Fichteholz	0,022	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Stroh	0,36	m	0,052	W/mK	[Minke et al. 2009],[Krick, 2008]
		Spanplatte, zementgebunden	0,015	m	0,23	W/mK	[ecobine, 2013]
Balken	**7,93%**						
(8cm von 101cm)		Eschenholz	0,022	m	0,15	W/mK	[w oodlinks, 2013]
		Fichteholz	0,03	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polyethylen-Membran (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Fichteholz	0,022	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Fichteholz	0,36	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Spanplatte, zementgebunden	0,015	m	0,23	W/mK	[ecobine, 2013]

Boden	Rsi	Rt' Teilbetrag 1	Rse	Summe 1	Anteil	Rt' Teilbetrag 2	Summe 2	1/ Rt =	Rt'
	[m²K/W]	[m / (W/mK)]	[m²K/W]	[m²K/W]	%	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]
Gefach	**0,17**	**7,3394858679**	**0,17**	**7,68**	**0,92**	**0,1198**	**0,14**	**1**	**7,08**
Eschenholz		0,1466666667							
Stampflehm		0,0352941176							
Vlies / Polyeth.									
Fichteholz		0,1692307692							
Strohballen		6,9230769231							
SP. zementgeb.		0,0652173913							
Balken	**0,17**	**3,3811148272**	**0,17**	**3,72**	**0,08**	**0,0215**			
Eschenholz		0,1466666667							
Fichteholz		0,2307692308							
Vlies / Polyeth.									
Fichteholz		0,1692307692							
Fichteholz		2,7692307692							
SP. zementgeb.		0,0652173913							

1. Berechnung – Rt'

2. Berechnung – Rt'' /1

Boden	Rsi	Lambda Quer 1		Lambda Quer 2		Lambda Quer 3		Rse	Rt''
		100% Holz-F.		86% St.-Lehm		100% Holz			
		1 0,15	**0,15**	0,86 0,85	**0,731**	1 0,13	**0,13**		
				15% Holz					
				0,15 0,13	**0,02**				
		S.-Dicke	**0,022**	S.-Dicke	**0,03**	S.-Dicke	**0,022**		
		LQ 1	**0,15**	LQ 2	**0,751**	LQ 3	**0,13**		
0,17		**0,14667**		**0,04**		**0,169**			
[m²K/W]		[W/mK]		[W/mK]		[W/mK]		[m²K/W]	[m²K/W]

2. Berechnung – Rt'' / 2

Boden	Lambda Quer 4		Lambda Quer 5		Rse	Rt''
	92% Stroh		100% SP z-ge.			
	0,92 0,052	**0,0478**	1 0,23	**0,23**		
	8% Holz					
	0,08 0,13	**0,0104**				
	S.-Dicke	**0,36**	S.-Dicke	**0,015**		
	LQ 4	**0,0582**	LQ 5	**0,23**		
	6,181		**0,065**		**0,04**	**6,81**
	[W/mK]		[W/mK]		[m²K/W]	[m²K/W]

3. Berechnung – U-Wert

Boden	Rt'	Rt''	Rt' + Rt''	Rt' + Rt'' / 2 =	Rt	1 / Rt =	U
	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]		[m²K/W]		[W/m²K]
	7,08	6,81	13,89	2	6,94	1	**0,1440**

Dachaufbau

Dachaufbau	Anteil	Material	Schichtdicke		Lamda		Quelle
Gefach	**92,07%**						
(93cm von 101cm)		Lehm	0,02	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Schilfrohr	0,01	m	0,065	W/mK	[u-w ert.net, 2013]
		Fichteholz	0,019	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen-Vlies	0,0045	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Stroh	0,36	m	0,052	W/mK	[Minke et al. 2009],[Krick, 2008]
		Lehm	0,01	m	0,85	W/mK	[Ziegelhuber-a, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,0055	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Luft	0,03	m	-	W/mK	-
		Polyethylen (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyester	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyethylen (recy.)	0,03	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[baulinks-b, 2013]
		Tonziegel (recy.)	0,065	m	0,4	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[Pexider, 2013]
		Sedum-Kräuter	k.A.	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
Sparren	**7,93%**						
(8cm von 101cm)		Lehm	0,02	m	0,6	W/mK	[Minke , 2001]
		Schilfrohr	0,01	m	0,065	W/mK	[u-w ert.net, 2013]
		Fichteholz	0,019	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen-Vlies	0,0045	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
		Fichteholz	0,36	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polypropylen- Microfaser Vlies	0,0055	m	-	W/mK	[pro clima, 2012]
Lüftungsebene		Fichtenholz	0,03	m	0,13	W/mK	[baulinks-b, 2013]
		Polyethylen (recy.)	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyester	0,002	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]
		Polyethylen (recy.)	0,025	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[baulinks-b, 2013]
		Tonziegel (recy.)	0,065	m	0,4	W/mK	[ZinCo-b, 2013],[Pexider, 2013]
		Sedum-Kräuter	k.A.	m	-	W/mK	[ZinCo-b, 2013]

Dach	Rsi	Rt' Teilbetrag 1	Rse	Summe 1	Anteil	Rt' Teilbetrag 2	Summe 2	1/ Rt =	Rt'
	[m²K/W]	[m / (W/mK)]	[m²K/W]	[m²K/W]	%	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]
Gefach	**0,1**	**7,2681749623**	**0,1**	**7,47**	**0,92**	**0,1232**	**0,15**	**1**	**6,78**
Lehm-P.		0,0333333333							
Schilfrohr		0,1538461538							
Fichteholz		0,1461538462							
Vlies / Polypro.									
Strohballen		6,9230769231							
Lehm-S.		0,0117647059							
Vlies / Polypro.									
Hinterlüftung									
Folie / Polyeth.									
Matte / Polyes.									
Formstück EPS									
Tonziegel		0,1625							
Sedum									
Sparren	**0,1**	**3,1025641026**	**0,1**	**3,30**	**0,08**	**0,0242**			
Lehm-P.		0,0333333333							
Schilfrohr		0,1538461538							
Fichteholz		0,1461538462							
Vlies / Polypro.									
Fichteholz		2,7692307692							
Vlies / Polypro.									
Hinterlüftung		0,2307692308							
Folie / Polyeth.									
Matte / Polyes.									
Formstück EPS									
Tonziegel		0,1625							
Sedum									

1. Berechnung – Rt'

2. Berechnung – Rt'' /1

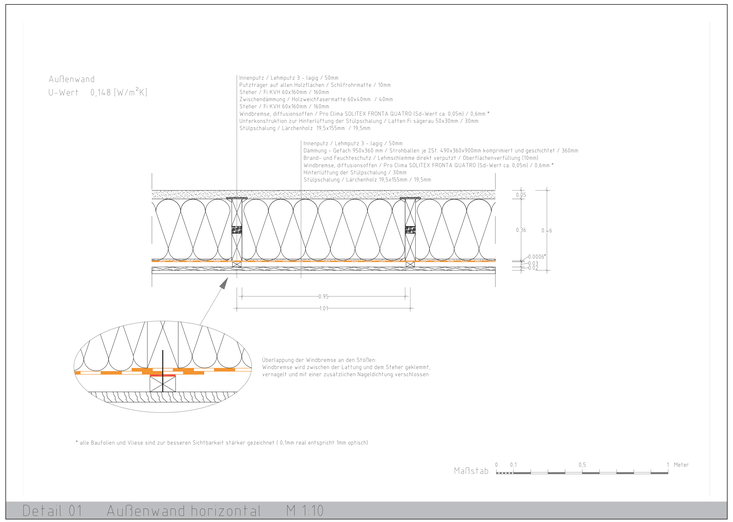
Dach	Rsi	Lambda Quer 1		Lambda Quer 2		Lambda Quer 3		Rse	Rt''
		100% Lehm-P.		100% Schilf		100% Holz			
		1 0,6	**0,6**	1 0,065	**0,065**	1 0,13	**0,13**		
		S.-Dicke	**0,02**	S.-Dicke	**0,01**	S.-Dicke	**0,19**		
		LQ 1	**0,6**	LQ 2	**0,065**	LQ 3	**0,13**		
0,1		**0,03333**		**0,154**		**1,462**			
[m²K/W]		[W/mK]		[W/mK]		[W/mK]		[m²K/W]	[m²K/W]

2. Berechnung – Rt'' / 2

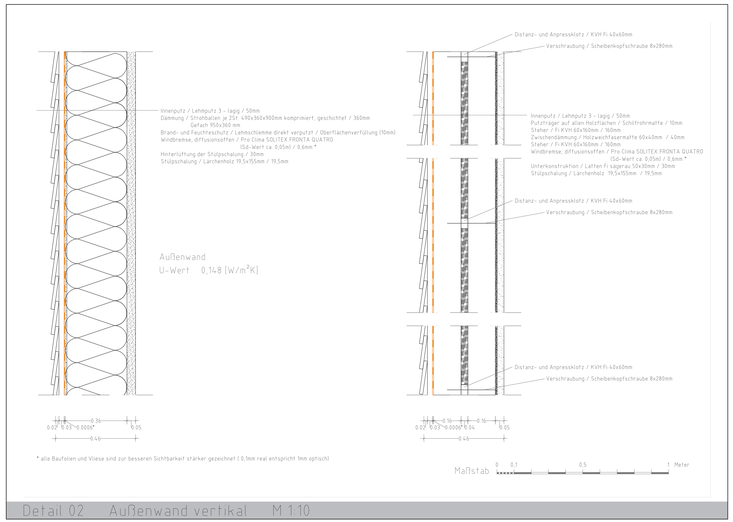
Dach	Lambda Quer 4		Lambda Quer 5		Rse	Rt''
	92% Stroh		92% Holz			
	0,92 0,052	**0,0478**	0,92 0,13	**0,1196**		
	8% Holz		8%ahm-S.			
	0,08 0,13	**0,0104**	0,08 0,85	**0,068**		
	S.-Dicke	**0,36**	S.-Dicke	**0,01**		
	LQ 4	**0,0582**	LQ 5	**0,1876**		
	6,181		**0,053**		**0,1**	**7,98**
	[W/mK]		[W/mK]		[m²K/W]	[m²K/W]

3. Berechnung – U-Wert

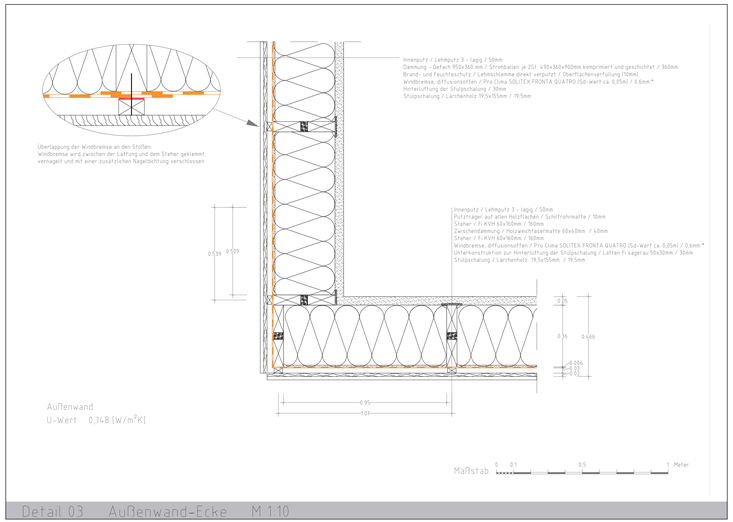
Dach	Rt'	Rt''	Rt' + Rt''	Rt' + Rt'' / 2 =	Rt	1 / Rt =	U
	[m²K/W]	[m²K/W]	[m²K/W]		[m²K/W]		[W/m²K]
	6,78	7,98	14,77	2	7,38	1	**0,1354**



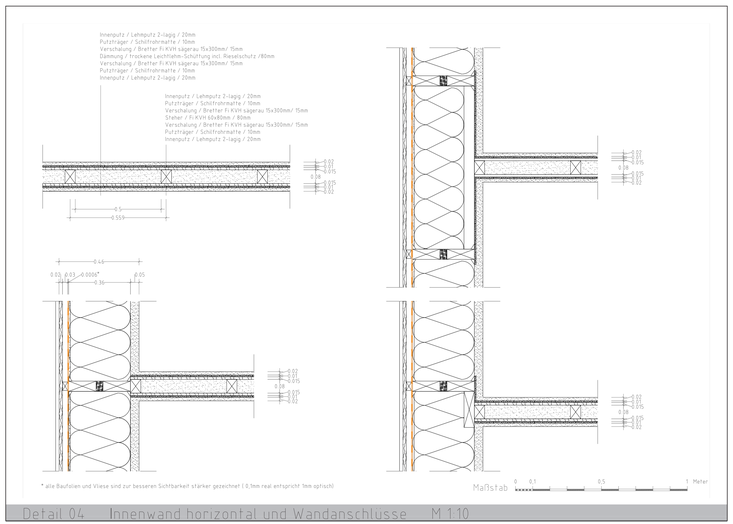
Detail 01 Außenwand horizontal M 1:10



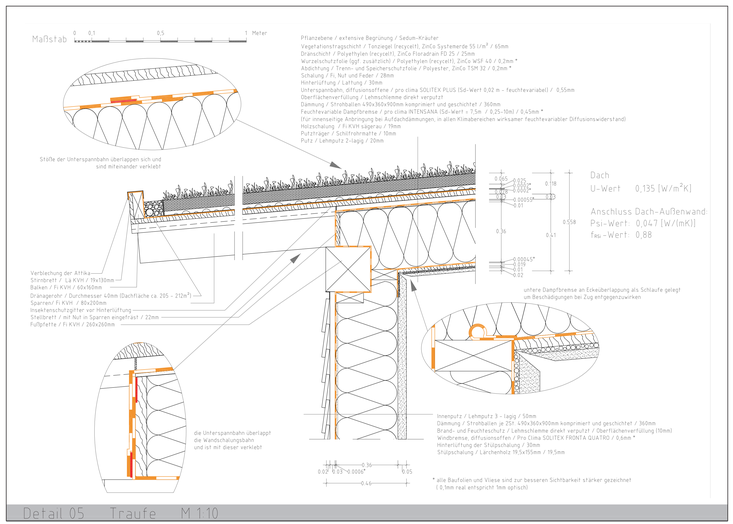
Detail 02 Außenwand vertikal M 1:10



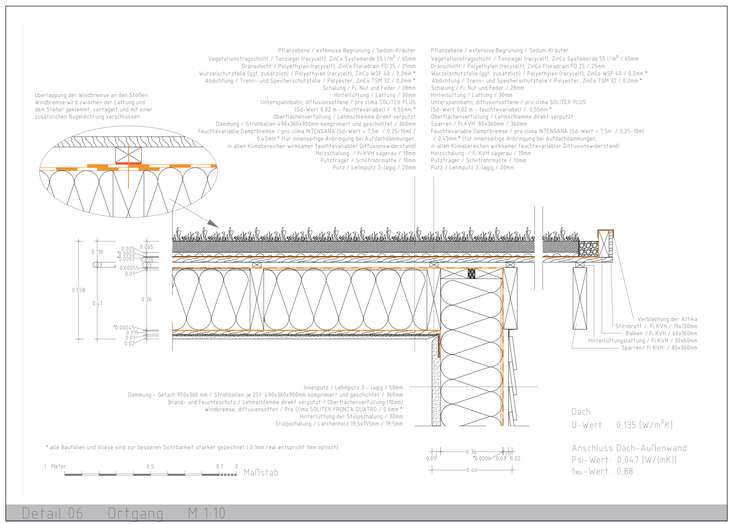
Detail 03 Außenwand-Ecke M 1:10



Detail 04 Innenwand horizontal und Wandanschlusse M 1:10



Detail 05 Traufe M 1:10



Detail 06 Ortgang M 1:10

Hochschule Augsburg

Fakultät
Architektur & Bauwesen

Master-Studiengang
Energie Effizienz Design

Masterarbeit
Strohballen-Wohnhaus
"Tay Manka"

Regina Maria Koppe
Matr.Nr. 928487

Betreuer:
Prof. Dr. Joachim Müller
Prof. Dr. Runa Hellwig

WS 2013/2014

ENTWURF
TRAGWERK
KONSTRUKTION
DETAILS I
DETAILS II

Anschluss Fenster-horizontal:
Psi-Wert: -0,117 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,86

Innenputz / Lehmputz 3 - lagig / 50mm
Putzträger auf allen Holzflächen / Schilfrohrmatte / 10mm
Dampfbremse, ameri® Vlies, Polyethylen, pro clima INTELLO PLUS / 0,2mm *
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Zwischendämmung / Holzweichfasermatte 60x40mm / 40mm
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Windbremse, diffusionsoffen / Wandschalungsbahn, Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Unterkonstruktion zur Hinterlüftung der Stülpschalung / Latten Fi sägerau 50x30mm / 30mm
Stülpschalung / Lärchenholz 19,5x155mm / 19,5mm

Fensterbank innen / Fichte
Innenverkleidung / Holzinnenfutter Fichte / 20x172mm
Dampfbremse, ameri® Vlies, Polyethylen, pro clima INTELLO PLUS (Sd-Wert 7,5 / 0,25 - 10 m) / 0,2mm *
Kastenzarge / Fi KVH / 30x240mm
Niedrigenergiefenster / Holzrahmen Fichte, 3-fach Verglasung / HERZ IV116 Herz Ass Classic

Fensterlaibung außen / Lärche / 19x118mm
Überdämmung / Holzweichfaserdämmmatte / 68x88mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Fensterbank außen / Lärche

Anschluss der Wanschalungsbahn mit doppelseitigem Klebenband an Blendrahmen des Fensters

* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

Maßstab 0 0,1 0,5 1 Meter

Detail 07 Fensteranschluss horizontal M 1:10

Bodenplatte
U-Wert 0,144 [W/m²K]

Anschluss Fundament-Bodenplatte-Außenwand:
Psi-Wert: -0,039 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,87

* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

Innenputz / Lehmputz 3 - lagig / 50mm
Dämmung - Gefach 950x360 mm / Strohballen je 25t 490x360x900mm komprimiert und geschichtet / 360mm
Brand- und Feuchtschutz / Lehmschlemme direkt verputzt / Oberflächenverfüllung (10mm)
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Hinterlüftung der Stülpschalung / 30mm
Stülpschalung / Lärchenholz 19,5x155mm / 19,5mm

Fußboden / Echtholz Dielen / 22mm
Fußbodenheizung / Latten 30x50mm, Heizleitungen, aufgefüllt mit Stampflahm / 30mm
Dampfbremse, ameri® Polyethylen-Membran (recycelt), pro clima INTELLO PLUS (Sd-Wert 7,5 / 0,25 - 10 m) / 0,2mm *
(für innenseitige Anbringung, in allen Klimabereichen wirksamer feuchtevariabler Diffusionswiderstand)
Abschluss Bodengefach / Bretter Fi KVH sägerau / 22mm
Dämmung / Strohballen 490x360x900mm komprimiert / 360mm
Feuchtigkeitsperre / Feuchteresistente Spanplatte, zementgebunden (Sd-Wert 0,75 m) / 15mm
Hinterlüftung / 300mm
Gewuchsschutz / Kiesschüttung / 200mm

Wetterschale / Stülpschalung aus Lärche 19,5x155mm / 19,5mm
Hinterlüftung der Stülpschalung / 30mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO / 0,6mm
Feuchtigkeitsperre / Feuchteresistente Spanplatte, zementgebunden / 15mm
Dämmung / Holzweichfasermatte 40x240mm / 40mm
Balken / Fi KVH 2 St. je 160x180mm / 360mm

Abschlussleiste / Kantholz 40x60mm / 40mm

Abdichtung / Mauersperrbahn aus Polyethylen 0,3x300mm
Ausgleichsschicht / Stahlfaserbeton / 50-80mm
Fundament / Hohlblocksteine 240x250mm / hier 3x 250mm
Stabilisierung / Eisenstange - senkrecht eingebracht
Fundamentsockel / Stahlfaserbeton 800x400mm / 400mm

Spanplatte zementgebunden / frostsicher.
Stöße der Platten werden mit Fugenkleber verpresst
und überquellender Fugenkleber bleibt stehen.
Stoßfugen kraftschlüssig gegen verziehen, wasserfest

Maßstab 0 0,5 0,5 1 Meter

Detail 08 Fundament - Bodenplatte - Außenwand M 1:10

Anschlussabdichtung
WÜTOP Flex-Plus WÜRTH
überlappend verlegt und verklebt

Fußboden / Echtholz Dielen / 22mm
Fußbodenheizung / Latten 30x50mm, Heizleitungen, aufgefüllt mit Stampflahm / 30mm
Dampfbremse, ameri® Polyethylen-Membran (recycelt), pro clima INTELLO PLUS
(Sd-Wert 7,5 / 0,25 - 10 m) / 0,2mm *
Abschluss Bodengefach / Bretter Fi KVH sägerau / 22mm
Dämmung und Balkenlage/ Strohballen 490x360x900mm komprimiert / 360mm
Balken 80x360mm / Fi KVH / 360mm
Feuchtigkeitsperre / Feuchteresistente Spanplatte, zementgebunden (Sd-Wert 0,75 m) / 15mm
Hinterlüftung / 300mm
Gewuchsschutz / Kiesschüttung / 200mm

Terrassendielen / Lä / 40mm
Anschlussabdichtung / WÜTOP Flex-Plus WÜRTH / 0,2mm

Balken abgegratet/ Lä KVH / 60x160mm
Gewindestange M 16 / Mutter, Beilagscheibe/ 16mm
Punktfundament / Stahlfaserbeton / D 300mm

Bodenplatte
U-Wert 0,144 [W/m²K]

* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

1 Meter 0,5 0,1 0 Maßstab

Detail 09 Fundament - Bodenplatte - Fensteranschluss M 1:10

Anschluss Fenster-horizontal:
Psi-Wert: -0,117 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,86

Innenputz / Lehmputz 3 - lagig / 50mm
Putzträger auf allen Holzflächen / Schilfrohrmatte / 10mm
Dampfbremse, ameri® Vlies, Polyethylen, pro clima INTELLO PLUS / 0,2mm *
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Zwischendämmung / Holzweichfasermatte 60x40mm / 40mm
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Windbremse, diffusionsoffen / Wandschalungsbahn, Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Unterkonstruktion zur Hinterlüftung der Stülpschalung / Latten Fi sägerau 50x30mm / 30mm
Stülpschalung / Lärchenholz 19,5x155mm / 19,5mm

Fensterbank innen / Fichte
Innenverkleidung / Holzinnenfutter Fichte / 20x172mm
Dampfbremse, ameri® Vlies, Polyethylen, pro clima INTELLO PLUS (Sd-Wert 7,5 / 0,25 - 10 m) / 0,2mm *
Kastenzarge / Fi KVH / 30x240mm
Niedrigenergiefenster / Holzrahmen Fichte, 3-fach Verglasung / HERZ IV116 Herz Ass Classic

Fensterlaibung außen / Lärche / 19x118mm
Überdämmung / Holzweichfaserdämmmatte / 68x88mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Fensterbank außen / Lärche

Anschluss der Wanschalungsbahn mit doppelseitigem Klebenband an Blendrahmen des Fensters

* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

Maßstab 0 0,1 0,5 1 Meter

Detail 10 Fensteranschluss mit Jalousie horizontal M 1:10

Anschluss Fenstersturz:
Psi-Wert: -0,104 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,85

Anschluss der Wanschalungsbahn mit doppelseitigem Klebenband an Blendrahmen des Fensters

Innenputz / Lehmputz 3 - lagig / 50mm
Putzträger auf allen Holzflächen / Schilfrohrmatte / 10mm
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Zwischendämmung / Holzweichfasermatte 60x40mm / 40mm
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Unterkonstruktion zur Hinterlüftung der Stülpschalung / Latten Fi sägerau 50x30mm / 30mm
Stülpschalung / Lärchenholz 19,5x155mm / 19,5mm

Fensterlaibung außen / Lärche / 19x118mm
Überdämmung / Dämmkeil, Holzweichfaserdämmmatte / ca. 100 x 18-32mm
Fensterbank außen / Lärche/ 19x220mm
Auflager / Latte, Fi KVH / 30x14mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *

Niedrigenergiefenster / Holzrahmen Fichte, 3-fach Verglasung / HERZ IV116 Herz Ass Classic
Innenverkleidung / Holzinnenfutter Fichte
Fensterbank innen / Fichte / 19x210 mm
Kastenzarge / Fi KVH / 80x240mm
Dampfbremse, ameri® Vlies, Polyethylen, pro clima INTELLO PLUS (Sd-Wert 7,5 / 0,25 - 10 m) / 0,2mm *

Anschluss Fensterbrüstung:
Psi-Wert: -0,060 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,75

* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

Maßstab 0 0,1 0,5 1 Meter

Detail 11 Fensteranschluss vertikal M 1:10

Stoßfuge mit Abdichtmasse
verklebt und mit zusätzlicher
Abdichtbahn versiegelt

Anschluss Fenstersturz mit Jalousie:
Psi-Wert: -0,061 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,82

Innenputz / Lehmputz 3 - lagig / 50mm
Putzträger auf allen Holzflächen / Schilfrohrmatte / 10mm
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Zwischendämmung / Holzweichfasermatte 60x40mm / 40mm
Steher / Fi KVH 60x160mm / 160mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *
Unterkonstruktion zur Hinterlüftung der Stülpschalung / Latten Fi sägerau 50x30mm / 30mm
Stülpschalung / Lärchenholz 19,5x155mm / 19,5mm

Hinterlüftungsgitter / Insektenschutz
Jalousiekasten / Siebdruckplatten, schwarz (recy.) 18mm
Kompriband / Schlagregensicherheit *
Kastenzarge
Abdeckung / Fensterstruz innen / Fichte / 19x134mm

Fensterlaibung außen / Lärche / 19x118mm
Überdämmung / Dämmkeil, Holzweichfaserdämmmatte / ca. 100 x 18-32mm
Fensterbank außen / Lärche/ 19x220mm
Auflager / Latte, Fi KVH / 30x14mm
Windbremse, diffusionsoffen / Pro Clima SOLITEX FRONTA QUATRO (Sd-Wert ca. 0,05m) / 0,6mm *

Niedrigenergiefenster / Holzrahmen Fichte, 3-fach Verglasung / HERZ IV116 Herz Ass Classic
Innenverkleidung / Holzinnenfutter Fichte
Fensterbank innen / Fichte / 19x210 mm
Kastenzarge / Fichte/ 30x240mm
Dampfbremse, ameri® Vlies, Polyethylen, pro clima INTELLO PLUS (Sd-Wert 7,5 / 0,25 - 10 m) / 0,2mm *

Anschluss Fensterbrüstung (Jalousiefenster):
Psi-Wert: -0,092 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,84

* alle Baufolien und Vliese sind zur besseren Sichtbarkeit stärker gezeichnet (0,1mm real entspricht 1mm optisch)

Maßstab 0 0,1 0,5 1 Meter

Detail 12 Fensteranschluss mit Jalousie vertikal M 1:10

Hochschule Augsburg

Fakultät
Architektur & Bauwesen

Master-Studiengang
Energie Effizienz Design

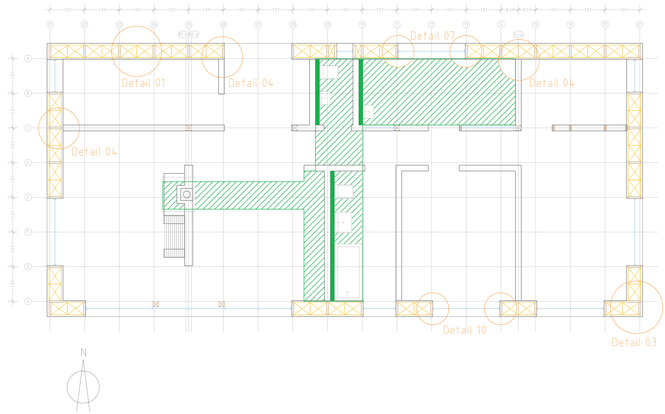
Masterarbeit
Strohballen-Wohnhaus
"Tay Manka"

Regina Maria Koppe
Matr.Nr. 928487

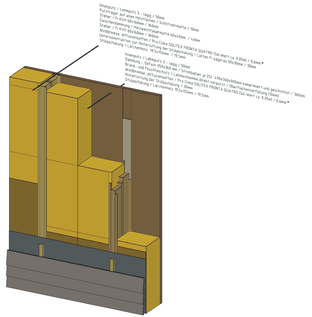
Betreuer:
Prof. Dr. Joachim Müller
Prof. Dr. Runa Hellwig

WS 2013/2014

ENTWURF
TRAGWERK
KONSTRUKTION
DETAILS I
DETAILS II



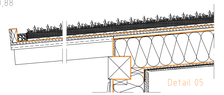
Grundriss - Axmass / Lage der Strohballen und Balken / Details / Versorgungszone M 1:50



3D Außenwand-Aufbau

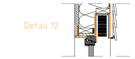
Material-Collage

Dachanschluss:
Psi-Wert: 0,047 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,88



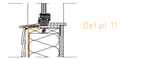
Dachanschluss:
Psi-Wert: 0,047 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,88

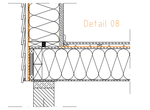
Fenstersturz:
Psi-Wert: -0,104 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,85

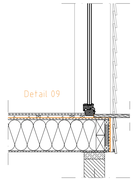


Fenstersturz mit Jalousie:
Psi-Wert: -0,061 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,82

Fensterbrüstung:
Psi-Wert: -0,060 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,75







Fensteranschluss (Jalousiefenster):
Psi-Wert: -0,092 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,84

Anschluss Fundamentsockel-Bodenplatte-Außenwand:
Psi-Wert: -0,039 [W/(mK)]
f_{Rsi}-Wert: 0,87

Regelschnitt M 1:20

Hochschule Augsburg
Architektur & Bauwesen
Energie Effizienz Design

Strohballen-Wohnhaus
"Tay Manka"

Regina Maria Koppe
Matr.Nr. 928487

Prof. Dr. Joachim Müller
Prof. Dr. Runa Hellwig

WS 2013/2014

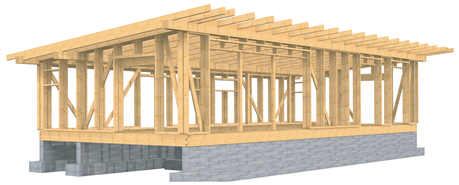
ENTWURF

TRAGWERK

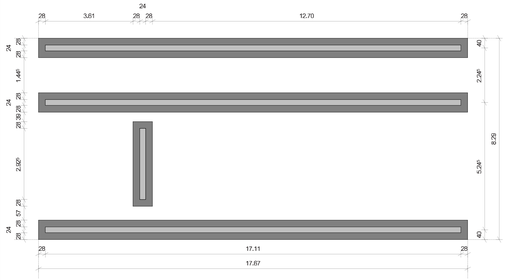
KONSTRUKTION

DETAILS I

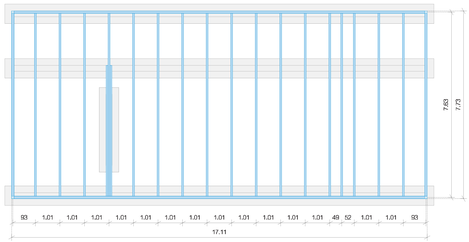
DETAILS II



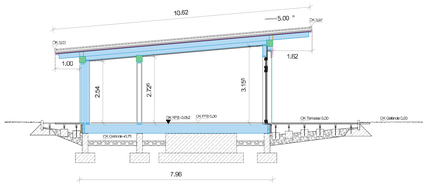
3D Ansicht Sud-West



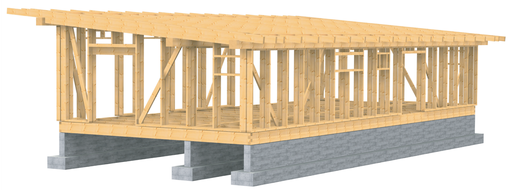
Fundament M 1:75



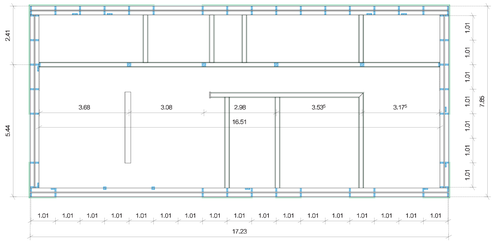
Bodenplatte M 1:75



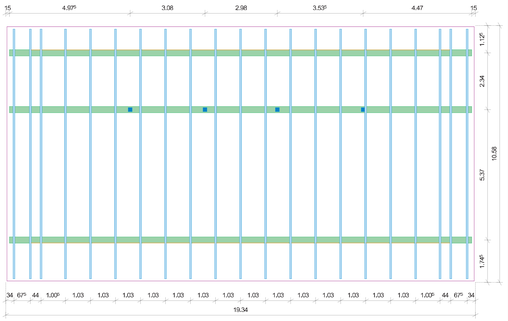
L Schnitt M 1:75



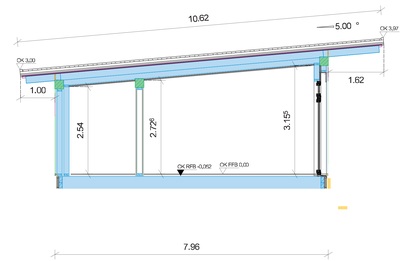
3D Ansicht Nord-Ost



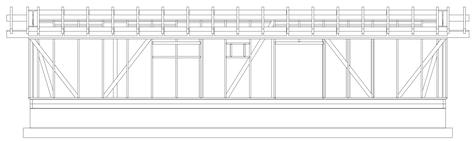
Erdgeschoss M 1:75



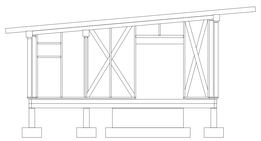
Dach M 1:75



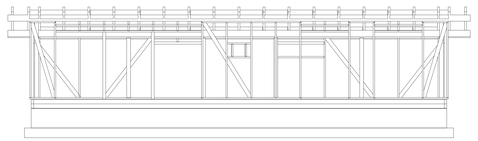
Schnitt M 1:50



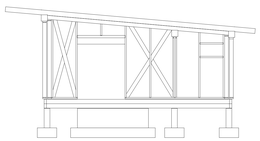
Ansicht Nord M 1:75



Ansicht West M 1:75



Ansicht Sud M 1:75



Ansicht Ost M 1:75

Hochschule Augsburg

Fakultät
Architektur & Bauwesen

Master-Studiengang
Energie Effizienz Design

Masterarbeit
Strohballen-Wohnhaus
"Tay Manka"

Regina Maria Köppe
Matr.Nr. 928487

Betreuer:
Prof. Dr. Joachim Müller
Prof. Dr. Runa Hellwig

WS 2013/2014

ENTWURF

TRAGWERK

KONSTRUKTION

DETAILS I

DETAILS II