

Mag. Andreas Breuss

Universität für künstlerische Gestaltung – Kunstuniversität Linz

Institut für Raum und Design – die architektur

überholz – Masterlehrgang für Holzbauarchitektur

Holz trägt. Lehm schützt.

HolzLehmbau. Neues Verbundsystem für den verdichteten Flachbau.

Mag. Andreas Breuss

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades MSc - Master of Science Culture Timber Architecture

Lehrgangsleitung: DI Helmut Dietrich

Studiengangsleitung: Univ. Prof. Roland Gnaiger

Linz, 2013.

Erklärung zur Abgabe einer Diplom- bzw. Masterarbeit:

Name: BREUSS

Vorname: ANDREAS

Matrikelnummer: 800 1454

Titel der Diplom- bzw. Masterarbeit:
HOLZ TRÄGT. LEMM SCHÜTZT

Studienrichtung und Studienkennzahl:
ÜBERHOLT 185

BetreuerIn: DI. HELMUT DIETRICH

1. Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

2. Ich bestätige hiermit, dass die Diplom- bzw. Masterarbeit von den Begutachtern und Begutachterinnen approbiert ist. Die abgelieferten analogen Exemplare und das digitale Exemplar stimmen in Form und Inhalt vollständig mit der benoteten und approbierten Fassung überein.

3. Ich räume hiermit der Kunstuniversität Linz das zeitlich unbefristete Recht ein, die abgegebene digitale Publikation sowie alle damit verbundenen Begleitmaterialien einem unbestimmten Personenkreis [Zutreffendes bitte ankreuzen]

- im weltweiten Internet
- im gesamten Netz der Institution (Mehrfachzugriffe)
- nur an einem Arbeitsplatz der Institution (Einzelzugriff)

— VORBEREITENDE SPERRE!
unentgeltlich zur Verfügung zu stellen.

Die Kunstuniversität Linz ist weiters berechtigt, aber nicht verpflichtet, die digitalen Daten der Publikation zum Zweck der dauerhaften Archivierung und Zurverfügungstellung in andere Formate oder auf andere Speichersysteme zu migrieren. Es ist mir bewusst, dass bei einer Datenmigration eine Änderung von Form, Umfang oder Darstellung der Publikation aus technischen Gründen nicht ausgeschlossen werden kann.

Universitätsbibliothek
Hauptplatz 8
A 4010 Linz
Tel.: +43 (0) 732 7898 255
bibliothek.service@ufg.ac.at
www.ufg.ac.at

Ich bin als (Zutreffendes bitte ankreuzen)

- alleinige/r InhaberIn der Nutzungsrechte an der Publikation
 Bevollmächtigte/r der InhaberInnen der Nutzungsrechte

zur Einräumung dieser Nutzungsbewilligung befugt.
Soweit das für die Realisierung der von mir oben gewählten Zugriffsoption und zur damit einhergehenden Realisierung der Verfügbarmachung meiner Diplom- bzw. Masterarbeit erforderlich ist, räume ich der Kunstuniversität Linz das unentgeltliche, nicht ausschließliche, zeitlich und örtlich unbegrenzte Recht ein, meine Diplom- bzw. Masterarbeit ganz oder teilweise beliebig oft zu nutzen, insbesondere zu vervielfältigen, zu veröffentlichen, zu verbreiten, zu senden, zu archivieren, der Öffentlichkeit drahtgebunden oder drahtlos zur Verfügung zu stellen, zu bearbeiten, etwa an der digitalen Version der Diplom- bzw. Masterarbeit Veränderungen vorzunehmen, die aus technischen Gründen oder mit Rücksicht auf die Erfordernisse der Langzeitarchivierung geboten sind. Ebenso räume ich diejenigen Rechte ein, die durch künftige technische Entwicklung oder durch Änderung der Gesetzgebung entstehen.
Ich verpflichte mich, die Kunstuniversität Linz schad- und klaglos zu halten, wenn Dritte in Bezug auf die von mir eingereichte Diplom- bzw. Masterarbeit, insbesondere in Bezug auf die hier erfolgende Rechteinräumung und internet-basierten Verfügbarmachung Ansprüche wegen Rechtsverletzung gegen die Kunstuniversität Linz geltend machen.

4. Ich wurde davon in Kenntnis gesetzt und erkläre mich damit einverstanden, dass die Kunstuniversität Linz keine Haftung für aus technischen Gründen auftretende Fehler irgendwelcher Art übernimmt. Des Weiteren wird von der Kunstuniversität Linz keinerlei Haftung dafür übernommen, dass die Diplom- bzw. Masterarbeit oder Teile davon von dritter Seite unrechtmäßig heruntergeladen und verbreitet, verändert oder an anderer Stelle ohne Einwilligung aufgelegt werden.

5. Ich habe das Merkblatt zur Abgabe von Diplom- und Masterarbeiten der Universitätsbibliothek gelesen und zur Kenntnis genommen.

Linz, 30.7. 2013

.....
Datum Unterschrift

Universitätsbibliothek
Hauptplatz 8
A 4010 Linz
Tel.: +43 (0) 732 7898 255
bibliothek.service@ufg.ac.at
www.ufg.ac.at

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Aufgabenstellung und Zielsetzung	9
	2.1. Aufgabenstellung	9
	2.2. Zielsetzung	11
	2.3. Thesen	11
3.	Geschichtliche Betrachtung von Holz- und Lehmkonstruktionen	13
	3.1. Pfostenhäuser	13
	3.2. Mittelalterliche Blockhäuser	14
	3.3. Fachwerkbau	15
	3.4. Lehmmassivbauweise	16
4.	Vor- und Nachteile des Holzrahmenbaus	19
5.	Aktuelle Situation von Holz- und Lehmkonstruktionen	29
	5.1. Lehmfertigprodukte	29
	5.2. Stampflehmbauten	29
	5.3. Leichtlehmbau	30
	5.4. Leichtlehmbau und Vorfertigung	33
	5.5. Forschung und Entwicklung beim Leichtlehmbau	36
6.	Vergleich bauphysikalischer Eigenschaften von Holz und Lehm	43
	6.1. Feuchteschutz	43
	6.2. Wärmeschutz	45
	6.3. Brandschutz	47
	6.4. Schallschutz	50
	6.5. Dichtigkeit	50
	6.6. Abschirmung gegen Strahlung	52
7.	Architektonische Möglichkeiten von Holz und Lehm im Vergleich	55

8. Entwicklung eines HolzLehmbausystems	
als Holzrahmenbau mit vorgefertigten Lehmelementen	59
8.1. Statisch wirksame Beplankung und Luftdichtigkeit	59
8.2. Holzkonstruktion	62
8.3. Materialien im Schichtenaufbau	63
8.4. Zusammensetzung des HolzLehmelementes	64
8.4.1. Wärmeschutz	67
8.4.2. Luftdichtigkeit	69
8.4.3. Winddichtigkeit	70
8.4.4. Raumklima	71
8.4.5. Brandschutz	71
8.5. Dimensionen und Aufbau des HolzLehmelementes	72
8.6. Das HolzLehmbausystem	74
8.6.1. Montageablauf von HolzLehmelementen	74
8.6.2. HolzLehmGrundelement	77
8.6.3. HolzLehmelement Eckanschluss	80
8.6.4. Fensteranschluss	82
8.6.5. Sockelanschluss	83
8.6.6. Anschluss Geschossdecke	84
8.6.7. Flachdachanschluss	86
8.6.8. Satteldachanschluss	89
8.6.9. Haustechnikinstallation beim HolzLehmssystem	91
9. Gartenhofhaus	95
9.1. Architektonische Beschreibung des Gartenhofhauses	101
9.2. Statik des Gartenhofhauses	106
9.2.1. Gründung	106
9.2.2. Aussteifung Decke und Dach	107
9.2.3. Aussteifung Wände	107

9.2.4. Lehmelement zur horizontalen Aussteifung	108
9.3. Holzständerkonstruktion	109
9.4. Montage	109
9.5. Zusammenfassung Gartenhofhaus	114
Literaturverzeichnis	115
Abbildungsverzeichnis	119
Tabellenverzeichnis	121
Abstract	123
Anhang	
Planunterlagen M 1:100, 1:50	
Detailpläne M 1:10	
Bauphysikalische Berechnung zum Wärmeschutz	
Bauphysikalische Berechnung zur speicherwirksamen Masse	
Statisches Gutachten	

HOLZ TRÄGT, LEHM SCHÜTZT.

1. EINLEITUNG

Das Bauen mit Holz ist heute kompliziert und detailanfällig geworden. Bei näherer Betrachtung erfordert zum Beispiel der Holzleichtbau einen Aufbau mit vielen Schichten, die mit künstlichen Baustoffen, wie zB. Dampfbremsen und Klebebändern unter einander geschützt werden müssen. Eine schlampige Ausführung kann langfristig Schäden an der Holzkonstruktion hervorrufen. Durch den hohen Anteil an holz-fremden Baustoffen steigt der Energieverbrauch für die Herstellung von Klebstoffen, Dampfbremsen, Folien, Klebebänder, Dämmstoffe, Windpapiere usw. und verursacht dadurch einen hohen Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie.

Ähnlich, wenn auch weniger vielschichtig ist es beim massiven Holzbau, bei dem die positiven Trageigenschaften von Brettsperr- und Brettschichtholz abhängig von Klebstoffen sind. Dadurch, dass diese Bauelemente „einfach“ zu bauen sind, werden sie auch in Bereichen eingesetzt, in denen andere Holzkonstruktionen, wie etwa der Holzleichtbau, eventuell angemessener wären. Man denke da etwa an den Flachbau in Form von niedergeschoßigen Reihenhaussiedlungen oder Einfamilienhäusern.

Anders liegt der Fall beim mehrgeschossigen Bauen bei dem immer mehr Holzbetonverbundstoffe eingesetzt werden, um zum Beispiel den geforderten Brand- und Schallschutz gewährleisten zu können. Der Einsatz von Stahlbeton verschlechtert aber wieder die Ökobilanz von Holz. Die Zementindustrie ist neben der Chemie- und Stahlindustrie einer der größten Energieverbraucher bei der Herstellung von Baustoffen. Allein die Zementproduktion ist für ca. 8 % des Gesamtausstoßes von CO₂ verantwortlich, und die Tendenz ist steigend. Laut Müller und Harnisch [MÜLLER, 2008, S. 1] wird 2030 der Verbrauch von Beton fünf mal so hoch sein als 1990. Es braucht jetzt dringend Alternativen, um den Einsatz von Baustoffen mit hohem Energieverbrauch zu minimieren und verstärkt durch natürliche Materialien zu ersetzen, die neben einer besseren Ökobilanz auch körperverträglicher sind und das Wohlbefinden des Nutzers verbessern können.

Gesucht ist also eine Bauweise, bei der mit einem ressourcenschonenden, möglichst einstofflichen Aufbau die bauphysikalischen Anforderungen wie Wärme-, Brand- und Schallschutz ebenso gewährleistet werden können, wie die Schaffung eines sehr gesunden und wohltuenden Raumklimas.

Hier könnte Holz in Verbindung mit Lehm einen entscheidenden Beitrag leisten.

Hinweise, wie sich das gestalten könnte, findet man in alten, traditionellen Bauformen die mit Holz und Lehm ausgeführt sind. Das Lernen von alten Bautraditionen und – techniken stellt bei der Verwendung von natürlichen Baustoffen eine unerschöpfliche Quelle dar, um neue Bautechniken für heutige Ansprüche generieren zu können. Man denke zum Beispiel nur an ein altes Grundprinzip tragende Primärkonstruktionen aus Holz mit Lehm auszufachen.

Die These bzw. die Vermutung dieser Untersuchung ist, dass die Nutzung einer einfachen primären Holzstruktur in Verbindung mit geschosshohen, vorgefertigten Lehmbauteilen eine ressourcenschonende, gesunde und günstige Bauweise darstellt. Der Lehm soll dabei alle jene Funktionen übernehmen, die üblicherweise unterschiedliche stoffliche Schichten im Holzleichtbau haben. Der Grundgedanke ist ein schlankes und auf das Notwendigste reduzierte Holzständerwerk von beiden Seiten mit vorgefertigten Leichtlehmwänden zu umschließen, die alle notwendigen bauphysikalischen Funktionen übernehmen, und zudem eine deutliche Verbesserung des Raumklimas bewirken.

Die Partnerschaft von Holz und Lehm, so die weitere Vermutung, würde den Ressourcenverbrauch, der im Holzleichtbau schon deutlich geringer als etwa im klassischen Massivbau ist, noch weiter senken können. Die Reduktion auf ein Minimum an Holzkonstruktion sendet nicht die Botschaft: „je mehr Holz desto besser“, sondern: „je mehr Bewusstsein im Verbrauch von Holz desto besser“.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein neues und vorgefertigtes Bausystem entwickelt und auf die Tauglichkeit für seine Umsetzung untersucht, sowie Entwurf und Bauablauf anhand einer Gartenhofsiedlung im Weinviertel exemplarisch nachgewiesen und architektonisch durchgearbeitet. Dies stellt den ersten theoretischen Schritt dar, das neue System durch Standardisierung und Vorfertigung konkurrenzfähig anbieten zu können. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch der Nachweis, dass dieses System architektonisch keine oder nur minimale Einschränkungen nach sich zieht.

Ziel ist einfaches Bauen mit einer maximalen Lebensqualität für die Benutzerinnen und Benutzer. Der Fokus liegt dabei nicht nur auf Architektur und Ästhetik sowie körperverträglichen Materialien, sondern auch auf einer einfachen Benutzung des Gebäudes ohne kompliziertes Handbuch.

2. Aufgabenstellung und Zielsetzung

2.1. Aufgabenstellung

Holz und Lehm sind Baustoffe, die historisch betrachtet eine lange Liaison bilden. Doch kann sich der Baustoff Lehm, dem nach wie vor eine Aura der „Sandalenökologie“ anhaftet, im modernen Bauprozess auch durch das Dickicht von Normen und Vorschriften behaupten?

Im Innenausbau wird der Beweis, dass Lehm Ersatz für herkömmliche Trockenbauprodukte sein kann, schon seit vielen Jahren geführt. Lehmbauplatten sind im Trockenbau weitestgehend standardisiert und fertig gemischte Lehmputze können auch von nicht lehmspezialisierten Baufirmen ausgeführt werden. Leider fehlt in manchen Bereichen ein ähnlicher Zertifizierungsgrad, wie ihn zum Beispiel Gipskartonplatten haben. In Katalogen von Trockenbauunternehmen lassen sich standardisierte und geprüfte Aufbauten für beinahe jeden Einsatzbereich finden. Wie kann man aber einen Dachboden zum Beispiel mit Lehmbauplatten REI 60 ausführen? Vergeblich sucht man bei einschlägigen Firmen klar beschriebene und geprüfte Aufbauten. Sind diese Verfahren zu aufwändig und der Markt zu klein? Oder hat Lehm tatsächlich bauphysikalische Grenzen, etwa beim Brandschutz? Lehm gilt landläufig als nicht brennbarer Baustoff. In Wirklichkeit ist die Brandqualifikation des Lehms aber von dessen Zusammensetzung und Zuschlagstoffen abhängig, wie beispielsweise Strohfasern oder Holzhäcksel. Deshalb sind manche am Markt befindlichen Lehmbauplatten nach DIN 4102 nur mit B1 (schwer entflammbar) qualifiziert [vgl. CLAYTEC. 2013], während andere Produkte sehr wohl in der Baustoffklasse A1 (nicht brennbar) angegeben werden. Der Unterschied liegt in der Rohdichte. Je dichter und schwerer der Lehm ist, d.h. je weniger Zuschlagstoffe er beinhaltet, desto schwerer entflammbar ist er.

Lehm hat - je nach Dichte - das Potential, für den Holzbau ein effektiver Partner im Brandschutz zu sein. Das gleiche gilt für den Schallschutz. Lehm ist schwer, und daher ähnlich wie Beton sehr gut geeignet, den Schallschutz bei Holzkonstruktionen zu verbessern. Auch können Lehmoberflächen durch ihre großporige Struktur eine wichtige Rolle in der Raumakustik spielen.

Ein weiterer bauphysikalischer Vorteil von Lehm ist sein hohes Wärmespeichervermögen. Diese Eigenschaft ist, neben der lokalen Verfügbarkeit, mit ein Grund, warum sich speziell in sehr heißen Gegenden massive Lehmbauten verbreitet haben. Sie können die kühle Nachtluft über den Tag hinweg speichern,

und schützen so die Räume vor sommerlicher Überhitzung. Das ist einer der gravierenden Nachteile aller Leichtbauten, also auch des Holzleichtbaus, dass sie eine sehr schlechte Wärmespeicherkapazität haben. Massive Holzbauten sind zwar besser als Holzrahmenbauten, erreichen in dieser Hinsicht aber auch nicht das Niveau von Ziegel- oder Betonbauten. Lehmbaustoffe mit ihrer hohen Dichte könnten dem Holz in der Verbesserung der Speichermasse behilflich sein.

Ein weitere bauphysikalische Eigenschaft, die das körperliche Wohlbefinden im Innenraum beeinflusst, ist die Hygroskopizität von Baustoffen. Hygroskopie bezeichnet die Fähigkeit, Feuchtigkeit aus der Umgebung aufzunehmen. Hygroskopische Baustoffe wie Lehm und Holz nehmen die Feuchtigkeit, die sich in einem Raum sammelt nicht nur auf, sondern geben diese auch wieder an den Raum ab. Verleimtes und oberflächenbehandeltes Holz zum Beispiel verliert diese Eigenschaft ebenso wie Lehmoberflächen, die hydrophobiert werden, zum Beispiel durch einen dicken Kalkanstrich.

Neben den beschriebenen bauphysikalischen und baubiologischen Kriterien sind neue Bauweisen auch auf dem Prüfstand der ökologischen Zukunftsfähigkeit.

Wie ist die Ökobilanz von konventionellen Holzrahmenbauten zu bewerten, die sehr viele erdölgebundene Produkte im Schichtaufbau verwenden? Und da die Chemieindustrie einen großen Anteil am globalen Ressourcenverbrauch und vor allem in der CO₂ Bilanz hat, wäre eine Reduktion solcher Stoffe eine ökologische Notwendigkeit. Neben der Verschwendung von nicht erneuerbaren Ressourcen, ist auch die Abhängigkeit der Bautechnik von solchen Stoffen zu hinterfragen. Bei Folien und Klebebändern beispielsweise wird eine Lebensdauer von maximal 50 Jahren garantiert. Was aber passiert nach der Gewährleistungsfrist? Und was, wenn die Kleber das nicht halten, was sie versprechen, und sich schon vorher lösen? Da diese in der Konstruktion unsichtbar verbaut sind, fehlt jede Qualitätskontrolle. Folgeschäden lassen sich oft schwer oder zu spät erkennen, und so können Gebäude als nicht wieder verwertbarer Sondermüll enden, anstatt in einen Kreislauf von Wiederverwertung integriert zu werden.

2.2. Zielsetzung

Ziel ist es, ein Bausystem zu entwickeln, das vorgefertigt werden, und die gleichen bauphysikalischen Funktionen wie der vielschichtige Holzleichtbau übernehmen kann, dessen Kernschicht, die Holzständerkonstruktion, dabei unverändert bleibt. Lediglich die Schichten, die um diesen tragenden Kern aufgebaut werden müssen, sollen verändert und neu aufgebaut werden. Neu ist das System einer mit Lehm ausgefachten Holzständerkonstruktion nicht. Es gibt, historisch betrachtet und auch in der Jetztzeit, viele gebaute Beispiele, die aber alle einen sehr geringen Grad an Vorfertigung aufweisen. Die meisten sind im Selbstbau oder vor Ort hergestellt. Ein kurzer geschichtlicher Abriss wird im nächsten Kapitel gegeben.

In einem weiteren Kapitel werden existierende Systeme mit vorgefertigten Holzlehmelementen beschrieben, analysiert und bewertet.

Nach einem ausführlichen bauphysikalischen Vergleich der beiden Baustoffe Holz und Lehm, wird das neue Holzlehmsystem dargestellt, und die nachfolgenden Thesen verifiziert oder verworfen.

Es wird als ganzheitliches Bausystem verstanden, d.h. das Bauelement soll nicht nur als Einzellement betrachtet und untersucht, sondern im gesamten Bauprozess erklärt und nachgewiesen werden.

Die zentrale Erwartung ist, dass Lehm nicht nur die Funktionen der verschiedenen Schichten einstofflich übernehmen kann, sondern auch, dass dieses System raumklimatisch und ökologisch herkömmlichen Holzleichtbauweisen überlegen ist.

2.3. Thesen

Folgende Thesen sollen im Einzelnen überprüft, bewertet und theoretisch nachgewiesen werden:

Brandschutz: Mit Lehmstoffen lassen sich alle Brandschutzanforderungen erfüllen, ohne dass künstliche Zuschlagstoffe oder Oberflächenbehandlungen nötig sind. Einzig die Zusammensetzung des Lehmes kann die Brandqualifikation steuern.

Schallschutz: Mit Lehm ausgefachte Holzelemente – Wand, Decke, Boden – verbessern den Schallschutz, da die Rohdichte des gesamten Elementes höher ist, als bei herkömmlichen Holzrahmenbauten.

Raumakustik: Oberflächen aus Lehm verbessern die Raumakustik.

Feuchteschutz: Lehm verbessert den konstruktiven Holzschutz, da Lehm dem Holz Feuchte entziehen kann. Die Konstruktion bleibt im Trockenen und läuft nie Gefahr durch Feuchteschäden ihre Tragfähigkeit zu verlieren.

Dichtigkeit: Die Lehmelemente sind sowohl luft- als auch winddicht. Das hohe Sorptionsvermögen von Lehm entschärft die Problematik der raumseitigen, luftdichten Ebene, da der Lehm fähig ist, Feuchte aufzunehmen und kapillar weiterzuleiten.

Architektur und Ökobilanz: Neben den zahlreichen bauphysikalischen Analysen, ist auch die architektonische Qualität eine entscheidende Größe. Es darf mit diesem System keine Einschränkungen gegenüber dem herkömmlichen Rahmenbau geben. Lehm wird hier aber nicht als ästhetisches Gestaltungsmaterial behandelt - wie dies etwa bei sichtbar gelassenen Stampflehmbauten wichtig ist - sondern als dienender Baustoff, der die Nutzungsqualität erhöht, den Schichtenaufbau vereinfacht und mit überwiegend natürlichen Baumaterialien einen großen Beitrag zu einer dringend notwendigen ökologischeren Bauweise liefert.

Statik: Lehm hat gute Druck- aber schlechte Zugfestigkeitswerte. Die Erwartung ist, dass Lehm trotzdem einen statisch relevanten Beitrag zur horizontalen Aussteifung eines Elementes bzw. des ganzen Baukörpers liefern kann.

Mehrgeschossiger Wohnbau: Das HolzLehmsystem kann mit leichten Adaptionen, die in der Tragfähigkeit der Holzkonstruktion, sowie im Schall- und Brandschutz liegen, auch für einen mehrgeschossigen Wohnbau angewendet werden, und ist nicht beschränkt auf den verdichteten Flachbau.

3. Geschichtliche Betrachtung von Holz- und Lehmkonstruktionen

Im folgenden Kapitel sollen einige markante historische Bauweisen dargestellt werden, die als geschichtlicher Überblick über die Entwicklung von Holz- und Lehmkonstruktionen exemplarisch Auskunft geben. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit oder eine exakte Chronologie erhoben, sondern es soll veranschaulichen, wie alt das Bauen mit Holz schon ist, und wie weit die Wurzeln zurückreichen, aus denen auch heute noch Erfahrungen geschöpft werden können, die sich darauf beziehen, dass als Baumaterial nur das vorhanden war, was die Natur hergab.

3.1. Pfostenhäuser

„In Mitteleuropa finden sich bereits im Neolithikum Wände aus Flechtwerk, die mit Lehm beworfen wurden (Skelettbauweise).“ [KUGLER 2009] Es handelt sich dabei im Wesentlichen um einfache Konstruktionen aus Stämmen, Ästen und Zweigen, die zu einem Flechtwerk gebunden, und mit Lehm verputzt wurden. Die Dächer bestanden meist aus Schilf oder Strohdeckungen. Die tragende Pfostenkonstruktion wurde mit Zweigen und Ästen ausgeflochten und dann innen und außen mit Lehm beworfen (vgl. Abb. 2).



Abb.1. Pfostenhaus Jungsteinzeit

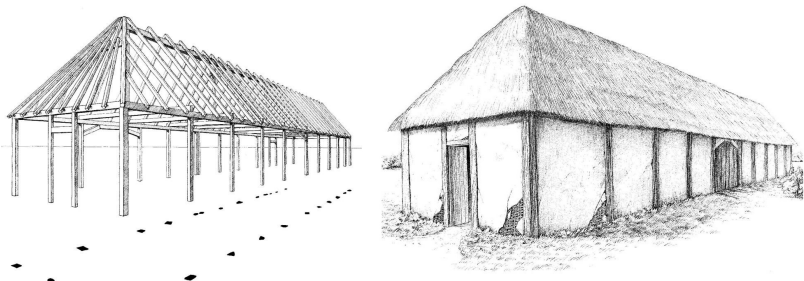


Abb.2 Wohnstallhaus aus dem 5. Jh. n. Chr.

3.2. Mittelalterliche Blockhäuser

Eine andere, in Österreich noch zum Teil erhaltene Bauweise sind Blockbauten aus roh behauenen Eichen- oder Fichtenblöcken, die innen- und außenseitig mit Lehm verputzt wurden. In Mitterretzbach im Weinviertel ist bei einer Renovierung eine aus dem 13. Jahrhundert erhaltene Wand entdeckt worden. Die Bohlen bestehen aus ca. 10 cm starken und 40 – 50 cm hohen behauenen Eichenstämmen, die mit Schilf als Putzträger beidseitig verputzt wurden.

Nach dem Entfernen des alten Putzes zeigten sich unbeschädigte und noch immer tragfähige Massivholzelemente, als Innen- und auch Außenwände. Der Lehm hat als eigene Schicht über 700 Jahre das Holz konserviert und „frisch“ gehalten. Das bedeutet, dass über 700 Jahre die tragende Konstruktion niemals in Gefahr kam, ihre Tragfähigkeit einzubüßen oder zu verlieren, eine Garantie, die mit einem künstlich hergestellten Schichtaufbau nur schwer zu leisten wäre.



Abb. 3: Holzblockhaus mit Lehmputz aus dem Jahre 1290 mit intakten und unversehrten Blockbohlen.

3.3. Fachwerkbau

Eine andere, besonders in Deutschland verbreitete Kombination von Holz- und Lehmkonstruktion ist das Fachwerkhaus. Der Aufbau besteht aus einem tragenden Holzskelett, das mit Diagonalen ausgesteift wird und in der Ebene der Holzkonstruktion mit Lehm ausgefacht. Lehm passt sich bei Erstellung des Gebäudes fugenlos an das Holz an, dennoch ist die Gefahr groß, dass im Laufe der Zeit - durch das unterschiedliche Quell- und Schwindverhalten von Holz und von Lehm - Fugen zwischen den beiden Bauteilen entstehen können, die wind-, wärme- und feuchtigkeitsdurchlässig sind. Eine Konsequenz ist ein erhöhter Aufwand an Erhaltungsarbeiten, und bei nicht fachgerechter Ausführung ein instabiles Raumklima, sowie Schäden an der Konstruktion.



Abb. 4. Sanierung eines alten Fachwerkhäuses mit Lehmausfachung

Die Entkoppelung von Lehm als Tragwerk hat im Laufe der Jahrhunderte viele verschiedenen Ausführungen gefunden. Die Lastabtragung wird von der Holzkonstruktion übernommen, der Lehm wiederum dient nur der Ausfachung.

VOLHARD gibt in seinem Standardwerk über Bauen mit Leichtlehm einen guten Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Ausfachung, die mit Zweigengeflechten, Holzstaken in Form von Latten oder Rundhölzern hergestellt wurde. [vgl. VOLHARD, 2013, S. 37]

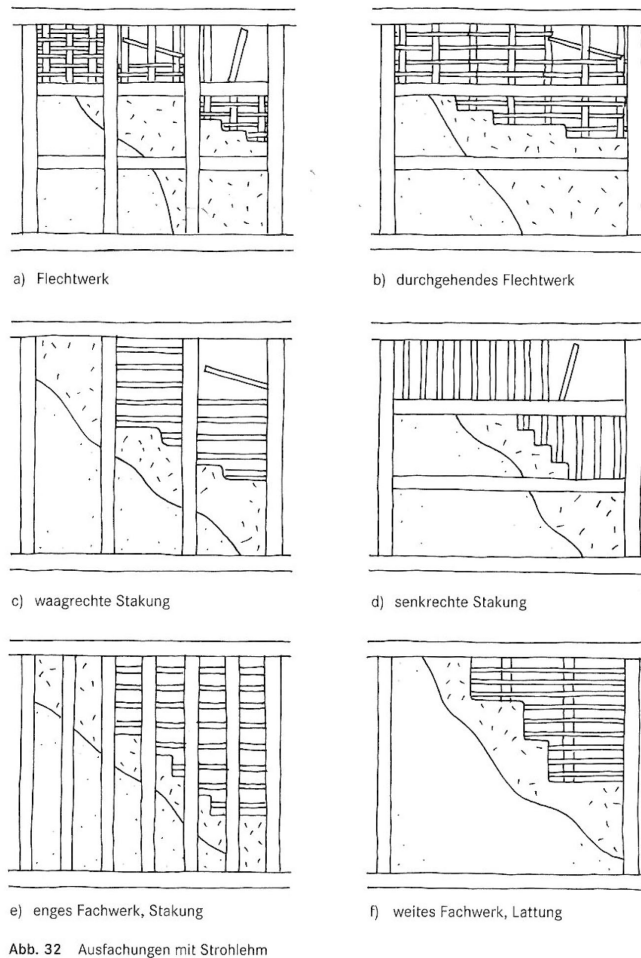


Abb. 5. Unterschiedliche Möglichkeiten der Ausfachung einer Fachwerkkonstruktion.

3.4. Lehmmassivbauweise

Im Gegensatz dazu übernimmt bei der massiven Bauweise der Lehm die Tragfunktion. Das Stampflehmwerk zum Beispiel ist schon seit der Römerzeit bekannt und besonders in Frankreich bis weit ins 18. Jahrhundert verbreitet. Jünger ist das „gesetzte Mauerwerk“, das sich besonders in Österreich durchgesetzt hat, und hier meist mit einer wandernden Schalung aufgebaut wurde, bzw. ohne Schalung einfach abgestochen wurde. Dazu wurde eine Reihe Mauerwerk mit einer Höhe von ca. 40 – 50 cm hochgezogen. Jeder Satz musste eine bestimmte Trockenzeit einhalten, bevor man den nächsten aufsetzen konnte. Diese Bauweise hat, weil sie nur über eine beschränkte Druckfestigkeit verfügt, nur im eingeschossigen Flachbau ihre Anwendung gefunden, während der Stampflehm durch seine

höhere Dichte auch mehrgeschossig einsetzbar ist. Der Nachteil ist, dass je höher das Gebäude geplant wird, desto stärker müssen die unteren Mauern werden.

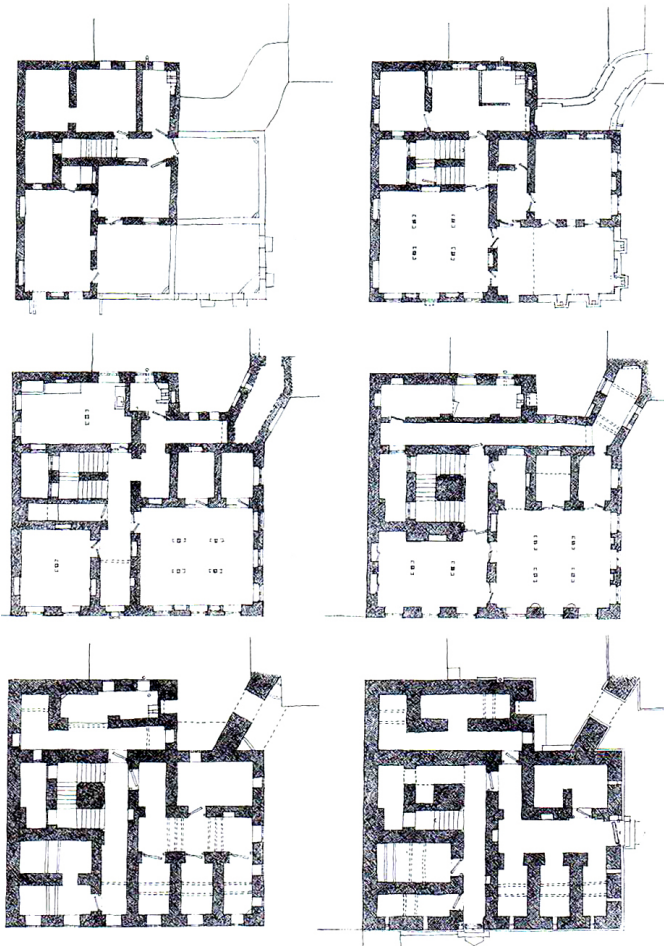


Abb. 6 Grundriss eines Lehmturnhauses in Shibam mit immer dünner werdenden Lehmmauer bis in die obersten Geschosse. Nachteil ist ein höherer Flächenbedarf in den unteren Geschossen.

Der Holzverbrauch bei der massiven Lehmbauweise ist sehr gering, da ausschließlich für die Decken Holz benötigt wird. In Gegenden, wo es einerseits sehr heiß ist, und andererseits wenig Wald vorkommt, hat diese Bauweise ihre Berechtigung.

Der Vollständigkeit halber sei noch der Lehmstein genannt. Aus Lehm werden Ziegel oder Quaderstücke hergestellt, indem Lehm in vorgefertigte Formrahmen geschlagen und dann an der Luft getrocknet wird. Lehmziegel haben in Österreich ein Format von 29x14x6,5 cm, während Quaderstücke größere Abmessungen von ca. 30x15x15 cm aufweisen. Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, findet man oft Mischwände aus Ziegeln, Quaderstücken und gestampftem Lehm vor.



Abb. 7. Vom Putz freigelegte Aussenmauer bei der Renovierung eines alten Lehmhauses im Weinviertel.

4. Vor- und Nachteile des Holzrahmenbaus

Der Holzrahmenbau ist das am häufigsten angewandte Bausystem unter den heute vorkommenden Holzbaukonstruktionen. Im Vergleich zu Block-, Skelett-, Fachwerk- und Massivbau bietet es einen hohen Grad an Vorfertigung.

Beim Holzrahmenbau können Wandelemente so im Werk hergestellt werden, dass Innenhülle, dazwischen liegende Dämmschicht und Außenhülle mit integrierten Installationen - optional auch mit Fenstern und Türen - bereits fertig auf die Baustelle geliefert werden. Die Vorfertigung kann sogar so weit gehen, dass Fassadenelemente aus Holz zusätzlich bereits befestigt sind.

Die Rahmenelemente bestehen aus einer tragfähigen Ständerkonstruktion mit unverleimtem Konstruktionsvollholz, über die vertikale Lasten der Geschossdecken und des Daches abgeleitet werden. „Das Ausknicken der tragenden Holzständer wird in der Wandebene durch die Beplankung verhindert.....Wandstützen mit einem Querschnitt von 60x120 mm sind bei einer Knicklänge von 2750 mm und einem maximalen Stützabstand von 650 mm in der Lage, die gleichmäßig verteilten Lasten bei ein- bis zweigeschossigen Wohnbautenaufzunehmen. Die größtmögliche Belastung der tragenden Holzwände wird in der Regel durch die zulässige Querdruckspannung in Schwelle und Pfette bestimmt.“
[KOLB, 2010, S. 79]

Das bedeutet, dass je höher das Gebäude wird, desto mehr vertikale Lasten auf Stützen und Schwellen übertragen werden, und diese stärker ausgebildet werden müssen. Der Vorteil ist, dass sich - je nach statischer Anforderung - nur die Dimensionen der Holzkonstruktion ändern und bei gleichbleibendem Schichtenaufbau eine maximale Flexibilität in der Anwendung erzielt werden kann. Dabei übernimmt die Beplankung der Ständerkonstruktion statisch die Gebäudeaussteifung gegenüber horizontalen Lasten, die zB bei großen Windkräften auftreten. Das System der Holzrahmenbauweise ist ausgereift, tausendfach in der Praxis erprobt und auch in Bezug auf Wirtschaftlichkeit bereits optimiert. Ein zusätzlicher Vorteil gegenüber dem Massivholzbau beispielsweise ist der relativ geringe Ressourcenverbrauch von Holz, und dass weitgehend leimfreie Holzprodukte verwendet werden können.

Der große Nachteil des Rahmenbaus hingegen ist, dass man viele unterschiedliche Schichten benötigt, damit das Leichtbausystem bauphysikalisch funktioniert. Das sind neben der Wärmedämmung vor al-

lem jene Stoffe, die die Wind- und Luftdichtigkeit gewährleisten. Die innere luftdichte Ebene ist zusätzlich eine Dampfbremse, die das Eindringen von Wasserdampf aus dem Innenraum verhindert.

Kolb [vgl. KOLB, 2010, S. 68 – 75] gibt einen sehr guten Überblick über Lage und Art der Dampf- und Luftdichtigkeit. Diese kann entweder mit Plattenwerkstoffen oder Folien hergestellt werden. Dabei ist besonders auf eine Abnahme des Dampfdiffusionswiderstandes von innen nach außen zu achten. Diese künstlich hergestellten Werkstoffe sollen die bauphysikalisch erforderlichen Funktionen für die Wandflächen übernehmen. An den Stößen muss man mit Klebebändern dicht abkleben. Wenn die Ausführung nicht exakt und gewissenhaft gemacht wird, kann es an den Anschlussstellen zu Schäden kommen. Das bedeutet, dass die Fehleranfälligkeit sehr hoch ist, da der Bauteil vorher staubfrei gemacht werden muss, damit das Band wirklich dicht kleben kann, und auch nicht die kleinste Fuge übersehen werden darf.

Die nachfolgende Abbildung (Abb. 8) illustriert sehr prägnant, wie aufwändig es ist, mit abgeklebten Stößen und ausgeschäumten Ecken eine innere luftdichte Ebene zu erzeugen, bzw. wie sehr die Qualität von der richtigen Ausführung durch den Handwerker abhängig ist.

Luftdichtheit



09.01.2006

Dr. Martin Teibinger

Abb. 8: OSB Platte, Klebebänder und Schäume sind notwendig um eine innere luftdichte Ebene zu erzeugen, die speziell an den Stößen und Übergängen ein großes Risiko für falsche Ausführung birgt.

„Bei einer Dämmfläche von 1 qm und einer Dämmschicht von 14 cm, bewirkt eine Fuge von 1 mm Breite in der raumseitigen Luftdichtung (bei Normklima und einer geringen Luftdruckdifferenz) einen 4,8 mal höheren Wärmeverlust. Der k-Wert beträgt dann statt 0,30 W/m² K nur noch 1,44 W/m² K.....Durch eine 1 mm breite und 1 m lange Fuge in der Luftdichtheitsschicht dringen pro Tag 800 g Feuchtigkeit in die Wärmedämmung ein. Im Vergleich dazu können durch eine Dampfbremse wie z.B. die Baupappe 'ProClima DB+' nur bis zu 5 g/m² Feuchtigkeit in die Konstruktion diffundieren.“ [Quelle: DBZ 12/89, Seite 1639ff]

Da die im konventionellen Holzleichtbau verwendeten Materialien für den Schichtenaufbau - Holzwerkstoffplatten oder Folien - keine hygroskopischen Eigenschaften haben, können allfällige Feuchteinträge nicht aufgenommen und wieder abgegeben werden.

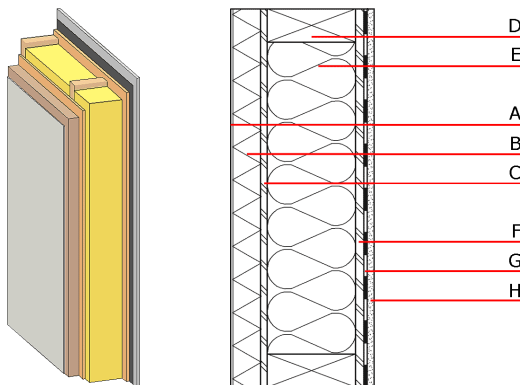
Weiters wird empfohlen eine Installationsebene vor die luftdichte Ebene zu setzen, um ein Durchdringen der Schicht und das nachträgliche Abdichten von Installationselementen zu vermeiden, da es in der Praxis schwer möglich ist eine fugenlose Dichtheit zu erzielen. Eine zusätzliche Gefahr liegt in der Befestigung der vorgesetzten Installationsebene, die die luftdichte Schicht dabei natürlich nicht verletzen darf. Aufgrund der vielen Risikofaktoren, denen eine luftdichte Ebene mit künstlich hergestellten Folien oder Papieren ausgesetzt ist, sind Feuchtigkeitsschäden in der wärmedämmenden Ebene die häufigste Schadensursache im Holzrahmenbau.

Weiters ist der Ressourcenverbrauch zur Herstellung dieser Baustoffe sehr hoch und unmittelbar an nicht erneuerbare Rohstoffe wie Erdöl und Kohle gebunden.

Anhand von Beispielen, die dem dataholz Bauteilkatalog entnommen sind, sollen im folgenden unterschiedliche Aufbauten hinsichtlich ihrer Schichten kurz analysiert und beschrieben werden.

Der gebräuchlichste und am meisten verbreitete Typ von Holzrahmenbau ist jener mit OSB Platten als innere und/oder äußere Beplankung. Die Ständerkonstruktion selbst ist in den meisten Fällen mit Konstruktionsvollholz in Fichte ausgeführt, das auf die nötige Feuchte von max. 15 % getrocknet wird, und im Regelfall innen und außen mit OSB Platten vernagelt wird. Die Dämmung liegt in der Ebene der Holzständerkonstruktion, und besteht im Regelfall aus Glas- oder Steinwollgedämmung.

Aussenwand - Holzrahmenbau, nicht hinterlüftet, ohne Installationsebene, geputzt



Bauphysikalische und ökologische Bewertung

Brandschutz	REI	60
max. Wandhöhe = 3 m, max. Last $E_{d,fi}$ = 32,0 kN/m		
Klassifizierung durch MA39		

Wärmeschutz	U [W/m ² K]	0,23
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,B,A}$ [kg/m ²]	27,0

Berechnung durch HFA

Schallschutz	R_w (C,C _{tr})	51 (-3; -8)
	$L_{n,w}$ (C _i)	-

Beurteilung durch MA39

Ökologie*	OI3 _{kon}	6,5
------------------	--------------------	-----

Berechnung durch IBO

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau
 (von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenskl. EN
			λ	μ min - max	ρ	c	
A	4,0	Putz	1,000	10 - 35	2000	1,130	A1
B	50,0	Holzwoleleichtbauplatte	0,090	2 - 5	370	2,000	B
C	12,0	OSB	0,130	200	650	1,700	D
D	160,0	Konstruktionsholz (60/...; e=625)	0,130	50	500	1,600	D
E	160,0	Glaswolle [0,040; R=16]	0,040	1	16	1,030	A1
F	15,0	OSB	0,130	200	650	1,700	D
G		Dampfbremse $sd \geq 10m$			1000		
H	12,5	GKF oder	0,250	10	800	1,050	A2
H	12,5	Gipsfaserplatte	0,320	21	1000	1,100	A2

***Ökologische Bewertung im Detail**

GWP	AP	PEI ne	PEI e	EP	POCP
[kg CO ₂ Äqv.]	[kg SO ₂ Äqv.]	[MJ]	[MJ]	[kg PO ₄ Äqv.]	[kg C ₂ H ₄ Äqv.]
-21,7	0,214	537,7	684,1	0,035	0,008

***Flächenbezogene Masse**

m	Berechnet mit
[kg/m ²]	
61,40	GKF

dataholz.com – Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter und/oder zugelassener Holz und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilanschlüsse für den Holzbau, freigegeben von akkreditierten Prüfanstalten.
 Die Kennwerte können als Grundlage für die Nachweisführung gegenüber österreichischen Baubehörden herangezogen werden.

Abb. 9 [DATAHOLZ Bauteilkatalog, 2013]

Bei der Herstellung von OSB Platten werden große Späne (Strands) mit Formaldehyd- oder Polyurethanglebern zu Platten gepresst, wobei der Anteil der Klebstoffe bei ca. 10 % liegt und bewirkt, dass OSB eine dampfdichte Platte ist. Folglich sind OSB Platten sowohl für die wind- als auch für die luftdichte Ebene geeignet. Allerdings ist der μ -Wert (Dampfdiffusionswiderstand) sehr hoch und innen und außen gleich, wobei aber eine Abnahme des Widerstandes von innen nach außen erfolgen muß. Konstruktionen mit OSB Platten sind nicht diffusionsoffen, da diese in der Fläche als Dampfsperre wirken, die Ecken und Stößen aber mit Klebebändern abgedichtet werden müssen.

Da OSB Platten auch im Innenraum zum Einsatz kommen, müssen diese auch baubiologisch bewertet werden, denn alle polyurethanegebundenen Materialien setzen Isocyanate frei, die zum Teil von Experten als noch schädlicher und krebserregender als Formaldehyd klassifiziert werden.

„... Die toxische Problematik bei Isocyanaten liegt darin, dass diese mit den heutigen Messmethoden zwar oft nicht in der Raumluft, aber als isocyanat-spezifische Antikörper im menschlichen Organismus nachweisbar sind.“ [IBN, 2013]

„Aus punktuellen Messungen in der Prüfkammer muss man davon ausgehen, dass bei Polyurethanen das Risiko längerfristiger Schadstoffabgabe nicht ausgeschlossen werden kann“. [SCHWANER, 2009, S. 1015]

Auch ist nicht gesichert, dass eine Beplankung mit Gipskartonplatten diese Emission verhindern kann. Auf der anderen Seite gibt es eine Untersuchung von Nature Plus [NATURE PLUS, 2009, S. 57 ff], die keinerlei gesundheitliche Auswirkungen durch Isocyanate auf den Menschen entdeckt haben. Allerdings wird eingeräumt, dass eventuell andere chemische Stoffe aus Holzwerkstoffplatten mit polyurethanegebundenen Klebern ausströmen könnten.

Tatsache ist, dass es derzeit keine OSB Platten auf dem Markt gibt, die unbedenklich sind.

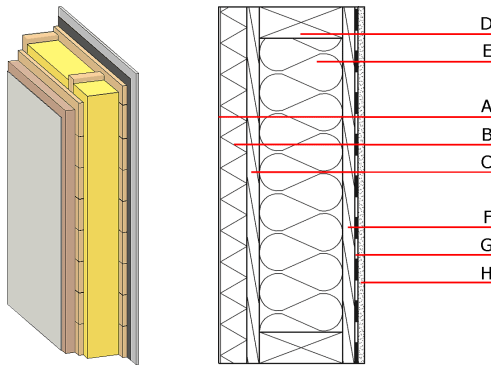
Insgesamt wäre es empfehlenswert, nicht klebegebundene Werkstoffe zu verwenden, da diese auch weniger nicht erneuerbare Primärenergie binden. Das sind zum Beispiel massive Holzschalungen, Gipskartonplatten oder PUR freie Holzwolleplatten (s. Abb. 10).

Vor- und Nachteile des Holzrahmenbaus

dataholz.com

Bezeichnung: awropo16a-00
 Stand: 03.07.2013
 Quelle: Holzforschung Austria
 Bearbeiter: HFA, SP

Aussenwand - Holzrahmenbau, nicht hinterlüftet, ohne Installationsebene, geputzt



Bauphysikalische und ökologische Bewertung		
Brandschutz	REI	60
max. Wandhöhe = 3 m; max. Last $E_{d,fi}$ = 32,0 kN/m Klassifizierung durch MA39		
Wärmeschutz	U [W/m ² K]	0,22
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,e,B}$ [kg/m ²]	28,7
Berechnung durch HFA		
Schallschutz	R_w (C ₁ C ₂)	51 (-3; -8)
	$L_{n,w}$ (C ₁)	-
Beurteilung durch MA39		
Ökologie*	OIB _{Kon}	-9,7
Berechnung durch IBO		

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

(von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhältnisskl. EN
			λ	μ min - max	ρ	c	
A	4,0	Putz	1,000	10 - 35	2000	1,130	A1
B	50,0	Holzwoolleleichtbauplatte	0,090	2 - 5	370	2,000	B
C	24,0	Holz Fichte Vollschalung	0,130	50	500	1,600	D
D	160,0	Konstruktionsholz (60%; e=625)	0,130	50	500	1,600	D
E	160,0	Glaswolle [0,040; R=16]	0,040	1	16	1,030	A1
F	24,0	Holz Fichte Vollschalung	0,130	50	500	1,600	D
G		Dampfbremse $s_d \approx 7m$			1000		
H	12,5	GKF oder	0,250	10	800	1,050	A2
H	12,5	Gipsfaserplatte	0,320	21	1000	1,100	A2

*Ökologische Bewertung im Detail

GWP	AP	PEI ne	PEI e	EP	POCP
[kg CO ₂ Äqv.]	[kg SO ₂ Äqv.]	[MJ]	[MJ]	[kg PO ₄ Äqv.]	[kg C ₂ H ₄ Äqv.]
-37,8	0,141	423,8	725,4	0,021	0,008

*Flächenbezogene Masse

m	Berechnet mit
[kg/m ²]	
67,90	GKF

dataholz.com – Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter und/oder zugelassener Holz und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilansätze für den Holzbau, freigegeben von akkreditierten Prüfanstalten.
 Die Kennwerte können als Grundlage für die Nachweisführung gegenüber österreichischen Baubehörden herangezogen werden.

Abb10 [DATAHOLZ Bauteilkatalog, 2013]

Auch ein Nachteil der Holzrahmenbauweise ist ihre generell sehr geringe Speicherfähigkeit. Die oben gezeigten Aufbauten in den Bauteilkatalogen von Dataholz haben inklusive Gipskartonplatten ein $m_{w,B,A}$ [kg/m²] von 27 bzw. knapp 29 kg. Eine Ziegelmauer hat im Vergleich dazu ein deutlich besseres Wärmespeichervermögen ($m_{w,B,A}$ [kg/m²] = 50 - 60 kg, das eine weniger rasche Auskühlung und Erwärmung eines Raumes bewirkt.

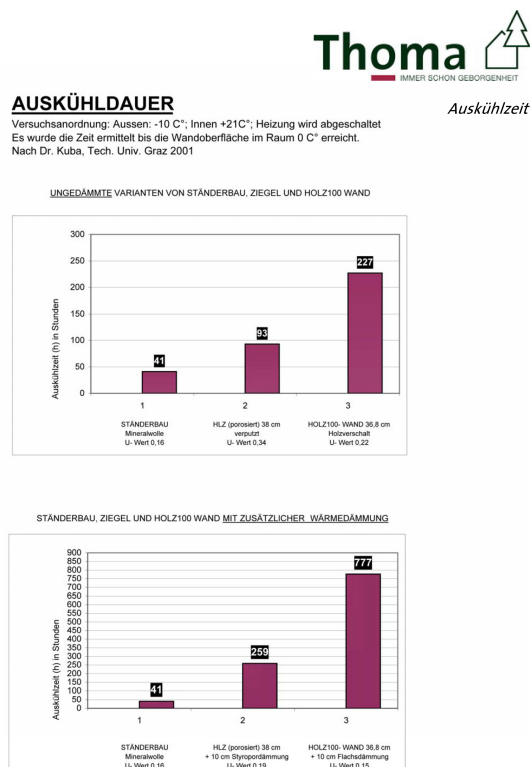
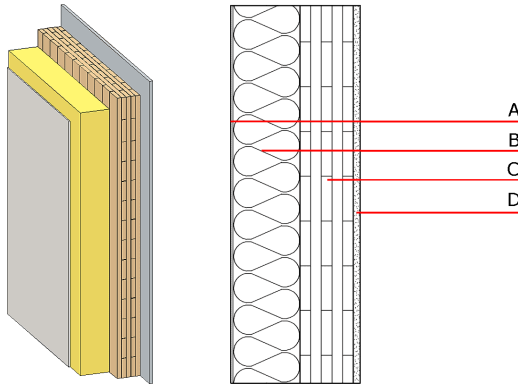


Abb. 11: Abkühlzeit Ständerbau, Ziegel (HLZ) und Holz100 im Vergleich.

Bei einer Untersuchung der TU Graz unter der Leitung von Dr. Kuba (2001) wurde die Auskühlzeit einer Holzständerkonstruktion, einer Ziegelmauer und des Holz100 Systems untersucht und verglichen. Obwohl die Auskühlzeit heute kein gängiges Bewertungskriterium der Bauphysik ist, gibt die Tabelle doch plastisch wieder, wie stark der Unterschied des Wärmespeichervermögens zwischen einer Leicht- zu einer Massivbauweise ist.

Ein massiver Holzbau mit Brettsperrholz erreicht im Vergleich mit dem vorher genannten Holzständerbau eine speicherwirksame Masse $m_{w,B,A}$ [kg/m²] von ca. 40 kg statt 27 kg. (vgl. Abb. 9 und Abb. 12).

Aussenwand - Holzmassivbau, nicht hinterlüftet, ohne Installationsebene, geputzt



Bauphysikalische und ökologische Bewertung		
Brandschutz	REI	60
max. Wandhöhe = 3 m; max. einwirkende Last $E_{d,fi} = 35 \text{ kN/lfm}$		
Klassifizierung durch MA39		
Wärmeschutz	U[W/m ² K]	0,23
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,B,A}$ [kg/m ²]	44,8
Berechnung durch HFA		
Schallschutz	R_w (C,C _{tr})	39 (-1; -4)
	$L_{n,w}$ (C ₁)	-
Beurteilung durch TU-GRAZ		
Ökologie*	OI3 _{kon}	29,5
Berechnung durch IBO		

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

(von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenskl. EN
			λ	μ min - max	ρ	c	
A	4,0	Putz	1,000	10 - 35	2000	1,130	A1
B	140,0	Steinwolle MW-PT	0,041	1	155	1,030	A1
C	78,0	Massivholz verleimt (z.B. Brettsperrholz 3-lagig)	0,130	50	500	1,600	D
D	13,0	Gipsfaserplatte bzw. 12,5 mm GKF; bei Variante -04 ohne Gipsplattenbeplankung	0,320	21	1000	1,100	A2

***Ökologische Bewertung im Detail**

GWP	AP	PEI ne	PEI e	EP	POCP
[kg CO ₂ Äqv.]	[kg SO ₂ Äqv.]	[MJ]	[MJ]	[kg PO ₄ Äqv.]	[kg C ₂ H ₄ Äqv.]
-27,6	0,311	868,1	1.075,1	0,046	0,083

***Flächenbezogene Masse**

m	Berechnet mit
[kg/m ²]	
86,50	-

dataholz.com – Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter und/oder zugelassener Holz und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilanschlüsse für den Holzbau, freigegeben von akkreditierten Prüfanstalten.
 Die Kennwerte können als Grundlage für die Nachweisführung gegenüber österreichischen Baubehörden herangezogen werden.

Abb. 12 [DATAHOLZ Bauteilkatalog, 2013]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der größte Vorteil des Holzständerbaus seine Flexibilität und Ausgereiftheit in der Anwendung ist. Positiv ist auch der eher geringe Holzverbrauch, der bei der schlanken Ständerkonstruktion nötig ist.

Ein großer Nachteil gegenüber massiven Bauweisen ist die geringe speicherwirksame Masse.

Sowohl der Holzständerbau als auch der Holzmassivbau benötigen einen vielschichtigen Aufbau, der mit künstlich hergestellten Baustoffen ausgeführt werden muss, und in der Anwendung sehr fehleranfällig ist.

5. Aktuelle Situation von Holz- und Lehmkonstruktionen

Heute ist Lehm ein Baustoff, dem aufgrund seiner baubiologischen und ökologischen Qualitäten ein immer größerer Stellenwert zukommt. Während es im Innenausbau bereits eine breite Palette an Lehmfertigprodukten gibt, die von Innenputz über Lehmbauplatten bis zu vorgefertigten Stampflehmwänden reicht, steckt der konstruktive Lehmbau noch in den Kinderschuhen.

5.1. Lehmfertigprodukte

Die Firma Claytec war einer der ersten Betriebe, die Fertigprodukte in Lehm hergestellt haben. Schon in den 70er Jahren wurden speziell im Denkmalsbereich Lehmbauprojekte verwirklicht, wobei der Lehm aber vor Ort angemischt und verarbeitet wurde. Ein standardisiertes Bauen ist auf diese Weise nicht möglich, da „... Lehm und Zuschläge großen qualitativen Schwankungen unterliegen. Konstante Baustoffeigenschaften können bei stets wechselnden Grundstoffen und unter Baustellenbedingungen nicht gewährleistet werden. Gleiches gilt für eine moderne verbindliche Qualitätssicherung. So reifte die Entscheidung, Lehm zum Fertigprodukt zu machen...“ [CLAYTEC, Stand 2013-07-04]. Die Fertigproduktpalette reicht von fertigen Lehmputzmischungen, die je nach Anwendungsfall mit Wasser angemischt werden, über Lehmbauplatten zu Lehmziegeln. Für den Holzbau ist ein „Stapelement“ entwickelt worden, das an eine Holzkonstruktion im Innenraum angebaut wird, und das Raumklima verbessern soll.

5.2. Stampflehmbauten

Wenn mit Lehm konstruktiv gebaut wird, so meistens händisch und direkt vor Ort. Vorgefertigte Elemente gibt es nur in Ansätzen - und nicht als vervielfältigbare, standardisierte Produkte - die aber trotzdem eine nähere Betrachtung verdienen.

Lehm als konstruktives System ist momentan eingeschränkt auf den niedergeschoßigen Flachbau. Einerseits ist die von der Norm verlangte Druckfestigkeit nicht gegeben bzw. nicht ausreichend überprüft, um einen mehrgeschossigen Bau zu erstellen, und andererseits würden die Wandstärken bei mehrgeschossigen Gebäuden Dimensionen annehmen, die das Erstellen des Gebäudes unwirtschaftlich machen würden, da große Wandstärken viel Grundfläche einnehmen.

Zudem muss bei massiven Stampflehmbauten noch zusätzlich gedämmt werden, da diese massiven Konstruktionen alleine nicht annähernd die geforderten U-Werte erreichen können. Dies erhöht aber wiederum zuungunsten der Grundfläche die Wandstärke. Ein weiterer Nachteil ist, dass Vorfertigung aufgrund des Gewichtes ökologisch und wirtschaftlich nur bedingt möglich ist. Ein Element mit einer Größe von 1 x 1 x 0,5 m zB bringt schon knapp 1000 kg auf die Waage. Das bedeutet, dass viele kleine Elemente transportiert werden müssen, welche die Energie für Transportwege, auch wenn sie aufgrund der lokalen Herstellung kurz sind, vervielfachen. Zudem ist für die Vorfertigung ein großer Maschinen- aufwand nötig, der diese eher auf ein paar zentrale Produktionsstätten konzentriert, womit der Vorteil der lokalen Verfügbarkeit und der dadurch erzielbaren kurzen Transportwege wieder entfällt.

Ein aktuelles Beispiel für den Bau mit vorgefertigten Stampflehmelementen ist der Stammsitz der Firma Rucola in der Schweiz von Herzog & de Meuron. Nicht konstruktiv tragende Stampflehmelemente mit einer Größe von 3,4 m x 1,3 m brachten über 4,5 Tonnen auf die Waage. 150 solcher Elemente wurden vorgefertigt, und auf die Baustelle transportiert. Die tragende Konstruktion selber ist aber ein Stahlbe- tonskelettbau mit einer Höhe von 8 m. Die Stampflehmelemente dienen lediglich der Ausfachung und dem optischen Erscheinungsbild an der Fassade.

5.3. Leichtlehm- bau

Eine bessere Alternative ist der Leichtlehm- bau, der im Prinzip auf dem Holzleichtbau aufbaut. Auf ein Ständer- oder Skelettragwerk aus Holz werden beidseitig Lehmschichten aufgetragen, die auch bau- physikalische Eigenschaften übernehmen können. Bis dato werden die Lehmschichten aber vorwie- gend händisch und vor Ort aufgebracht. Für den Selbstbauer und in Entwicklungsländern stellt diese Bauweise eine gute und kostengünstige Alternative zum herkömmlichen Bauen dar.



Abb. 13. Klassische Holzständerwände, die händisch mit Lehm ausgefacht werden.

Wie in Abbildung 13 veranschaulicht, wird beim Leichtlehm-bau zuerst eine Ständerkonstruktion aufgebaut, an der dann mittels Schalung beidseitig der Lehm aufgezogen und die Schalung nach Trocknung händisch weiterversetzt wird. Der große Vorteil gegenüber dem massiven Lehm-bau ist, dass zuerst eine wettergeschützte Konstruktion errichtet wird, unter der die wasserempfindlichen Lehmwände errichtet werden können. Die Ausfachung der Holzkonstruktion wird heute in der Regel mit stroh- oder holzgebundenem Leichtlehm ausgeführt, der in Kombination mit Dämmschichten zusätzlich auch wärmedämmende Funktion übernehmen kann. Leichtlehm hat im Schnitt ein Raumgewicht zwischen 300 kg und 1200 kg, abhängig vom Anteil der Zuschläge aus Stroh-, Holz- oder Hanffasern.

Eine andere Form der Ausfachung besteht darin, Wände auf einer Unterkonstruktion frei aufzutragen. Langfasriger Strohlehm wird auf ein Geflecht von Zweigen, oder auf Latten bzw. Staken händisch aufgebracht. Dadurch wird ein Abrutschen des Lehmes verhindert und der Lehm behält seine Lage bis zur vollständigen Austrocknung.

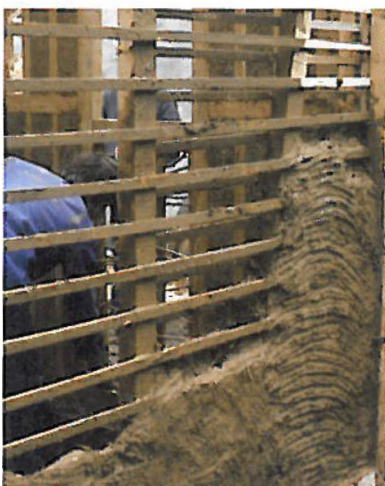


Abb. 14. Händisches Einbringen von Leichtlehm auf Latten einer vorgefertigten Holzständerkonstruktion

5.4. Leichtlehm- und Vorfertigung

Das händische Bauen ist für den Selbstbau gut geeignet, wirtschaftlich gegenüber dem herkömmlichen Bauen aber nicht konkurrenzfähig. Deshalb wurden nach und nach auch vorgefertig- und industriell herstellbare Bauelemente untersucht und entwickelt. In Schweden sind 1992 zum Beispiel spezielle Strohleichtlehmblöcke erzeugt worden, die auf einen fixen Abstand der Holzständer abgestimmt wurden (s. Abb. 15). Trotz des erhöhten Vorfertigungsgrades konnte man aber letztendlich das witterungsabhängige und fehleranfällige Bauen vor Ort damit nicht vermeiden, denn es mussten zu viele Anschlüsse auf der Baustelle entschieden und ausgeführt werden.

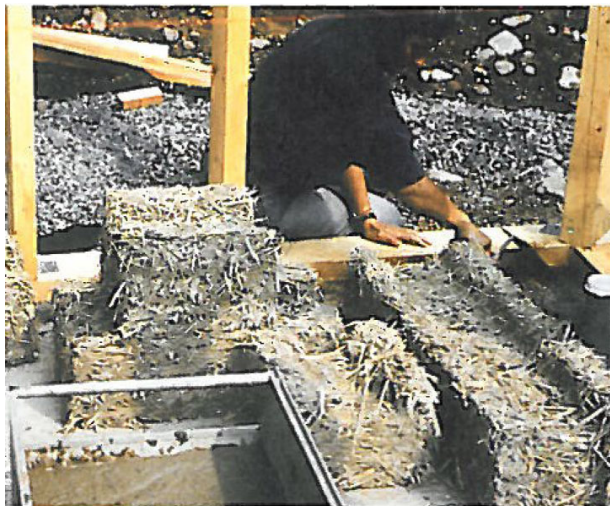
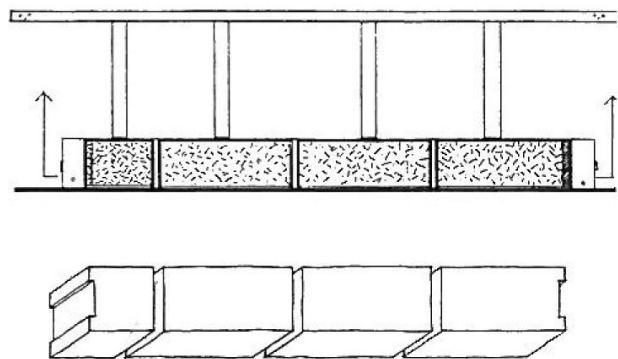


Abb15. Vorgefertigte Strohleichtlehmblöcke



Ein weiterer interessanter Versuch aus dem Jahre 1995 in Deutschland füllt vorgefertigt aufgebaute Holzrahmenelemente innen mit aufgestapelten Lehmsteinen, die ein Raumgewicht von ca. 700 kg/m^3 aufwiesen. Die Holzständerkonstruktion wurde mit Sperrholzplatten beplankt, während die außen aufgebraute Schilfrohrdämmung vor Ort aufgebracht und mit Faserkalk verputzt wurde. Der U-Wert dieser Konstruktion erreichte bei einer Gesamtwandstärke von 30 cm nicht mehr als $0,39 \text{ W/m}^2$. Der Vorteil dieses Systems liegt in der großen Speicherfähigkeit der innen liegenden Lehmsteine, die für ein angenehmes Raumklima sorgen. Die Wind- und Luftdichtigkeit übernimmt jeweils die Putzebene.

1999 erhielt dieses Projekt den Holzbaupreis in Hessen (s. Abb. 16).



Abb. 16 [Architektur: Schauer + Volhard, Darmstadt]

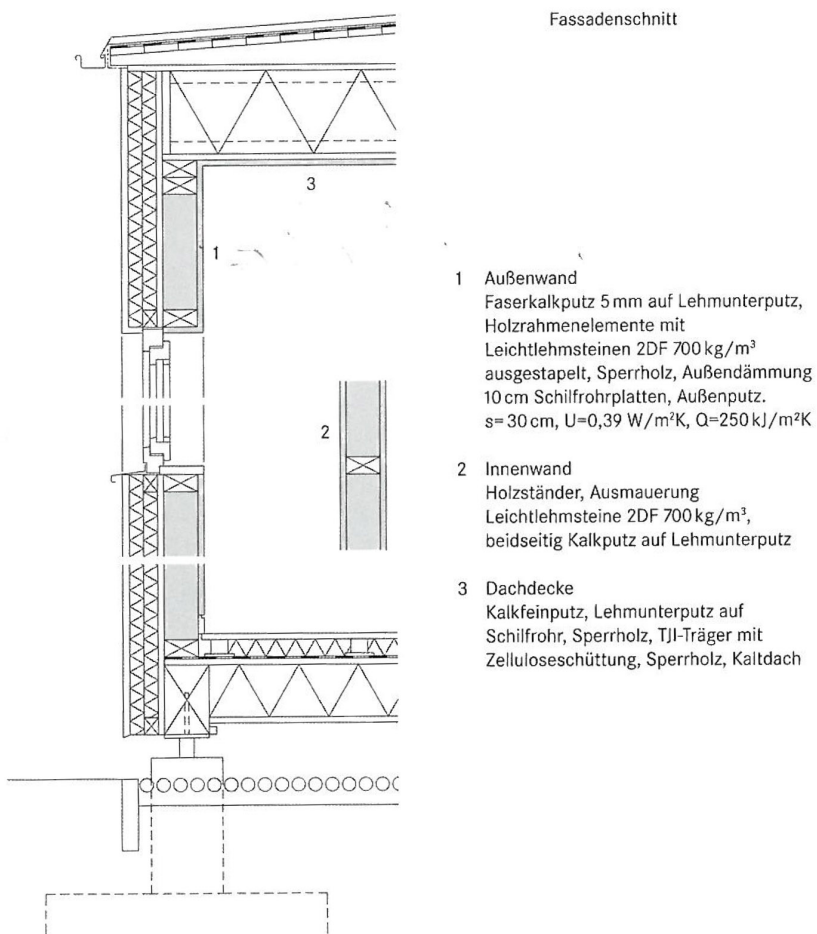


Abb. 17 Fassadenschnitt. Wandaufbau. [Arch: Schauer + Volhard, Darmstadt]

Ein letztes Beispiel zeigt, wie bei einem Einfamilienhaus in Finnland (Abb. 18) Strohleichtlehmblöcke hergestellt wurden, die mit einem Raumgewicht von 450 kg/m^3 zusätzlich wärmedämmende Funktion übernehmen können. Sie wurden so geformt, dass sie zwischen 4 Holzstützen eingeschoben werden konnten. Auch diese Bauweise erlaubt nur eine bedingte Vorfertigung, da letztlich auf der Baustelle alle Elemente einzeln versetzt werden müssen, und beim Anschluss von der Stütze zum Lehmelement eine besondere Sorgfalt auf das Herstellen einer wind- und luftdichten Ebene angewendet werden muss. Solche Details auf der Baustelle zu lösen bedingt aber ein größeres Fehlerrisiko.

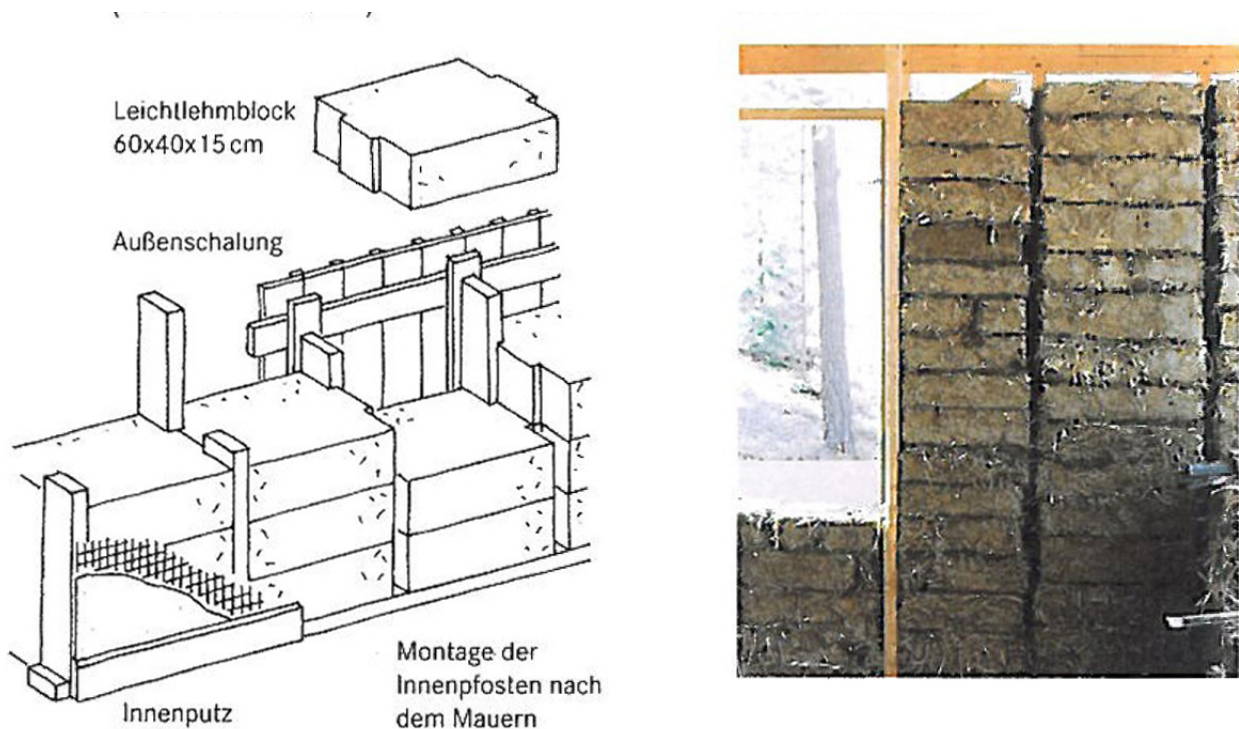


Abb. 18. Vorgefertigte Strohleichtlehmblöcke. [Arch: Teuvo Ranki, Turku(FIN)]

Abbildung 18 im rechten Bild zeigt Fugen am Anschluss zur Stütze, zwischen den Elementen selbst und an den Anschlüssen zu den Riegeln und Schwellen, wo zudem noch händisch ausgestopft werden muss. Ein weiteres Manko ist, dass der Leichtlehmblock zwar wärmedämmende, aber kaum wärmespeichernde Funktionen übernimmt. Die luftdichte Ebene wird durch den Innenputz gebildet, während an der Außenseite hinter der hinterlüfteten Holzfassade eine zusätzliche Schicht für die Winddichtigkeit angebracht werden muss, da ein Lehmelement mit 450 kg/m^3 diese nicht übernehmen kann.

5.5. Forschung und Entwicklung beim Leichtlehm-bau

Bei der Durchsicht von Patenten zeigen sich einige innovative Systeme, die Fertigteil-elemente mit Lehmausfachungen beschreiben. Ihnen allen ist allerdings gemein, dass sie nicht als Bausystem klassifiziert und untersucht sind. Sie bilden zwar als singuläres Bauteil betrachtet einen interessanten Ansatz, aber es fehlt der Nachweis, dass sie im Gesamtzusammenhang den Anforderungen und Normen des zeitgemäßen Bauens entsprechen könnten.

Zwei Patente werden aber im folgenden näher betrachtet, da sie einerseits dem System, das in dieser Forschungsarbeit untersucht wird, verwandt sind, und andererseits in abgewandelter Form auf dem Markt sind, oder demnächst angeboten werden sollen.

5.5.1. Wandinnenelement

Beschrieben wird ein Fertigteilwandelement [vgl. PARTOLL 2007 Patentschrift], das von einer klassischen Holzriegelkonstruktion ausgeht, an die im Innenraum ein Fertigteillehm-element angehängt

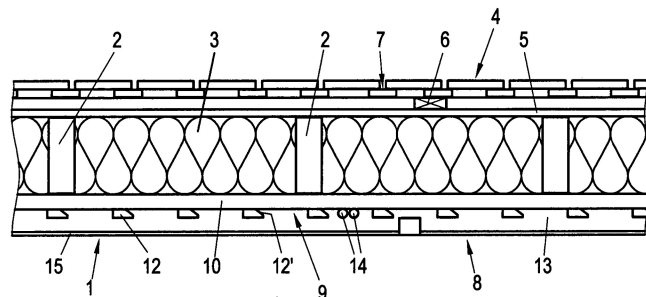


Fig. 1

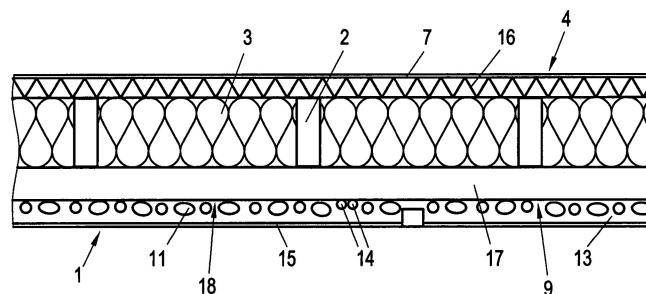


Fig. 2

Abb 19 Horizontalschnitt Wandelement. [PARTOLL 2007 Patentschrift]

wird. Das Fertigteil wird auf einer nicht näher bezeichneten Trägerplatte aufgebaut. Vertikal angebrachte hinterschnittene Leisten sollen den werkseitig aufgebrachtten Lehm gegen Verrutschen sichern, was eine uralte Technik des Lehmbaus darstellt, denn das Sichern der Ausfachung durch Schilfrohr, Latten, Leisten, Staken oder Zweigen ist so alt wie der Holzlehmbau selber.

Zwischen den vertikal verlaufenden Latten können Installationsleitungen (14) verlegt werden. Die Annahme drängt sich auf, dass die Lattung (12) aus diesem Grund vertikal angeordnet wird. Auf dieses vorgefertigte Holzinnenwandelement (10) wird dann ein nicht näher spezifizierter Lehmauftrag (13) geschüttet. Nach der Trocknung im Werk wird das Element entweder vor Ort oder in der Werkshalle auf einer klassischen Holzriegelkonstruktion raumseitig befestigt.

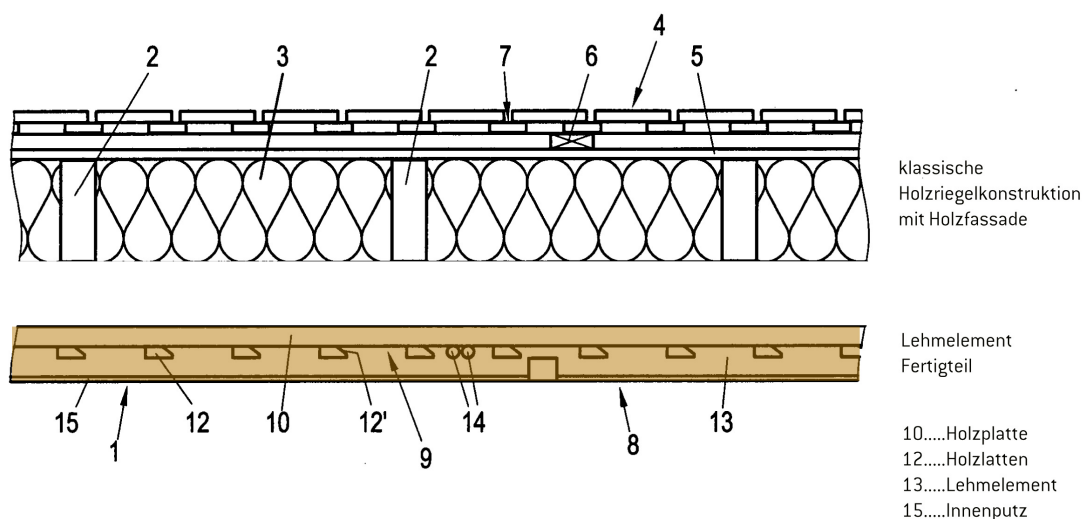


Abb. 20: bearb. Lehmelement und klassische Holzriegelkonstruktion. [PARTOLL 2007 Patentschrift]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Innenwandelement eine stärkere Lehmausbauplatte darstellt, die aber möglicherweise durch die höhere Masse der Verbesserung des Innenraumklimas zugute kommt. Bauphysikalische Funktionen, wie Luft- und Winddichtheit, Wärmeschutz, Schall- oder Brandschutz kann dieses Element nicht leisten, diese werden ausschließlich von der Holzriegelkonstruktion mit dem bekannten Schichtenaufbau übernommen.

Dieses Innenraumelement wird voraussichtlich im Herbst 2013 von einer österreichischen Firma unter dem Namen „Öko-Massivelement“ vertrieben.

ÖKOMASSIV element

Das ÖKOMASSIV-Element besteht aus einer massiven Lehmfüllung, welche von einer Unterkonstruktion (Rohling) aus Holz getragen wird. In der Füllung eingelegte Rohre vereinfachen die Elektro-Installation. Das ÖKOMASSIV-Element kann bei allen Bauteilen, Außenwänden, Zwischenwänden, Decken sowie Dächern eingesetzt werden. Durch den Holzrohling übernimmt das Element eine statische Funktion.

1. horizontale Lattung
2. Abschluss-Lattung (Stöße)
3. vertikale Lattung
4. Leerverrohrung (od. Wandheizung)
5. Lehmfüllung
6. Armierung
7. Lehmfeinputz

Das ÖKOMASSIV-Element wird in zwei verschiedenen Größen produziert:

ÖKOMASSIV-Element (2-Mann-Platte):

Höhe: 279,00cm
Breite: 62,30cm
Dicke: 6,50cm

Gewicht: ca. 70kg/Element (ohne Lehmfeinputz)

ÖKOMASSIV-Element (1-Mann-Platte):

Höhe: 125,00cm
Breite: 62,30cm
Dicke: 6,50cm

Gewicht: ca. 30kg/Element (ohne Lehmfeinputz)

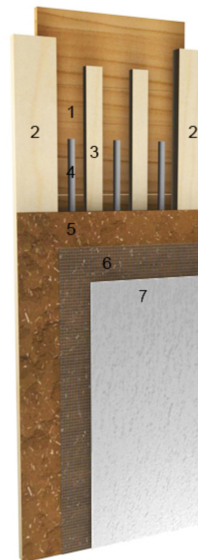


Abb 21. Quelle Öko Massiv Firma Holzbau Wegscheider

Bei einer genaueren Betrachtung des Elementes mit einer Gesamtdicke von 6,5 cm erkennt man, dass die horizontale Trägerplatte 2 cm und die vertikale Lattung ebenfalls 2 cm in Anspruch nehmen. Das bedeutet, dass für den Lehmanteil noch 2,5 cm durchgehende Schichtstärke übrig bleiben. Letztendlich unterscheidet sich dieses Element also kaum von herkömmlichen Lehmbauplatten. Bei einem Vergleich mit einer schon lange am Markt befindlichen Lehmbauplatte der Fa Claytec zeigt sich aber, dass die Rohdichte des Lehmes höher geplant ist. Die Lehm- oder Lehmplatte der Fa. Claytec hat ein spezifisches Raumgewicht von 700 kg/m^3 , während die Ökomassivplatte knapp 1400 kg/m^3 Raumgewicht aufweist. Die spezifische Wärmekapazität wird also deutlich besser sein.

Dem Anspruch aus der Patentschrift ein vorgefertigtes Wandelement für den Innen- und Außenwandeneinsatz anzubieten, wird dieses System also keineswegs gerecht. Die im Firmenkatalog erwähnte Erhöhung der Brandwiderstandsdauer ist mit keinem Test oder Zertifikat nachgewiesen.

5.5.2. Wandelement in Skelettbauweise

Beschrieben wird ein Wandelement in Skelettbauweise [vgl. PYTLIK, 2008 Patentschrift], das mit Lehm verfüllt wird. Die Konstruktion wird in eine innere und äußere Schale geteilt, die getrennt zur Baustelle geliefert und einzeln versetzt werden. Begründet wird dies mit einer einfacheren Montage und besseren Transportierbarkeit.

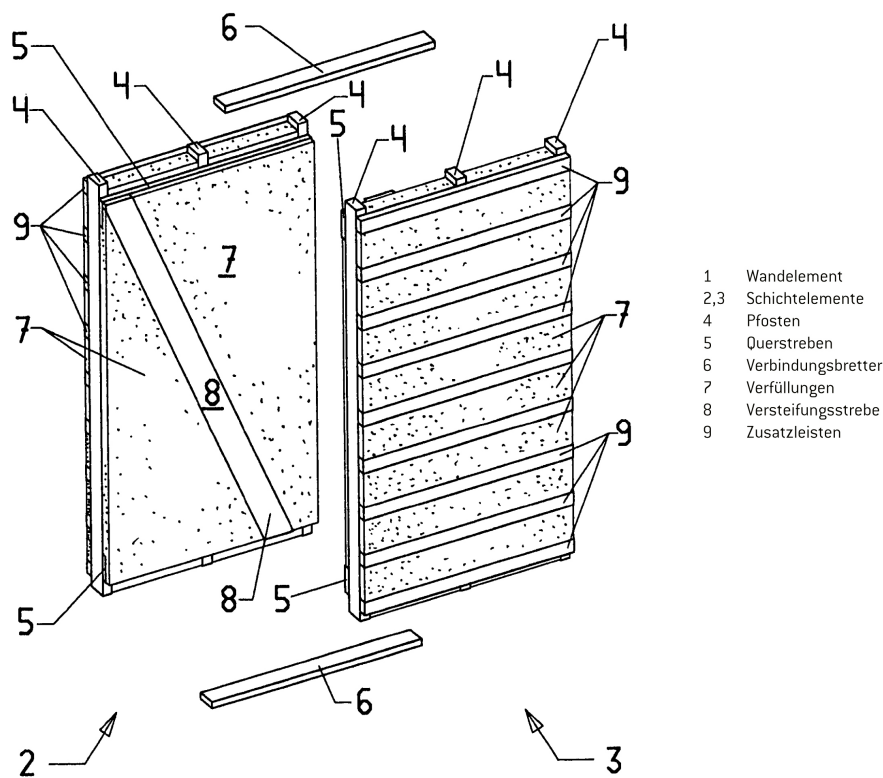


Abb. 22 Explosionszeichnung des geteilten Wandelementes [PYTLIK, 2008 Patentschrift].

Die Skizze zeigt eine einfache Holzkonstruktion mit jeweils einer Diagonalen pro Element als Querversteifung. Auf die Rahmen werden Latten genagelt, zwischen die Lehm verfüllt wird. Das gesamte Element soll bauphysikalische Eigenschaften übernehmen.

Die Vorteile des geteilten Systems werden wie folgt beschrieben:

„Die in der Länge versetzte Anordnung der Schichtelementeerleichtert die Montage und erhöht durch die versetzten Fugen die Homogenität und Dichtheit der Wandkonstruktion“.

„Durch die geringere Dichte der einzelnen Schichtelemente können die Verfüllungen schneller austrocknen.“

„.....der Transport wird vereinfacht.“ [PYTLIK, 2008 Patentschrift, S. 3]

Leider ist nicht weiter beschrieben bzw. ausgeführt wie die Anschlussstellen und Übergänge bauphysikalisch gelöst sind. Auch über die Lehmzusammensetzung werden keine Angaben gemacht. Das Element ist in seiner Einzelbetrachtung ein sehr interessanter und entwicklungsfähiger Ansatz, ist jedoch als Bausystem nicht ausgereift. Insbesondere die Verbindungen und Anschlüsse der geteilten Elemente verursachen einen erhöhten Montageaufwand auf der Baustelle, und bergen das Risiko einer erhöhten Fehleranfälligkeit. Die Elementstöße sind freiliegende Holzsteher, die innen und außen mit Dichtbändern abgeklebt werden müssen.



Abb. 23 Prototyp des oben beschriebenen Fertigteil.

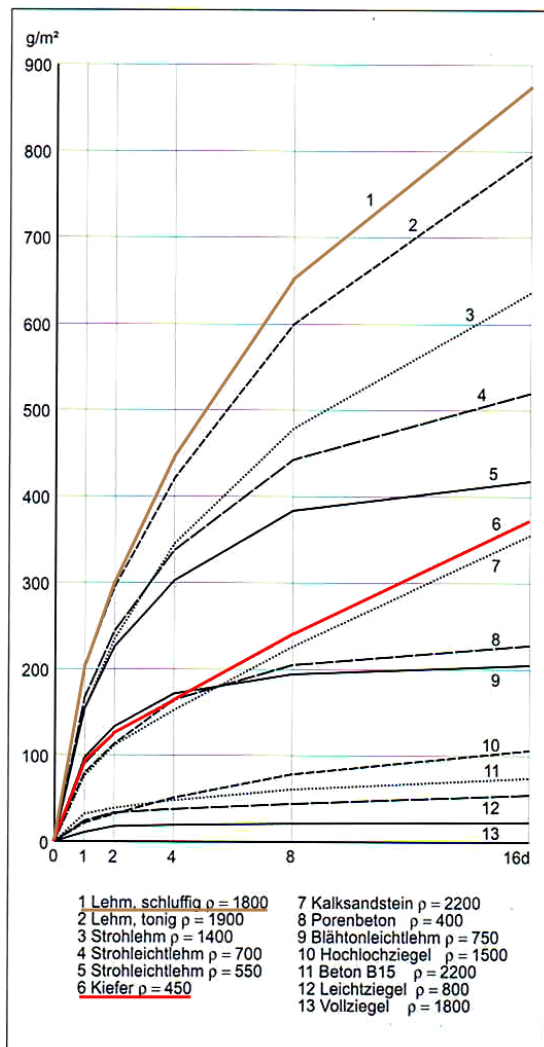
Ein Nachteil könnten auch die außen liegenden Latten sein, die den Lehm am Element halten und gegen Abrutschen sichern. Durch Schwindvorgänge sowohl im Holz, als auch im Lehm ist die Gefahr groß, dass sich durchgehende Fugen bilden. Das Element wird ziemlich sicher zusätzliche Schichten benötigen, um die nötige Dichtheit zu erzielen.

Zusammenfassend zeigt der Überblick über den Leichtlehm- und Leichtleimbau, dass es eine lange historisch gewachsene Tradition für das Ausfachen einer Holzkonstruktion mit Lehmbaustoffen gibt, die auf der Baustelle ausgeführt wird. Die alten Techniken können und sollen Grundlage bei der Entwicklung neuer Bauweisen sein. Der Start zur Vorfertigung von Lehmkonstruktionen ist mit innovativen Einzelementen zwar gemacht, aber es bedarf dringend einer ganzheitlicheren Betrachtung des Bauprozesses und sicher auch weitere Forschungstätigkeiten, dass sich ein standardisierbares und in den Baunormen verankerbares Bausystem entwickeln kann.

6. Vergleich bauphysikalischer Eigenschaften von Holz und Lehm

6.1. Feuchteschutz

Sowohl Lehm als auch Holz besitzen hygroskopische Eigenschaften, denn sie können Feuchtigkeit aufnehmen und auch wieder abgeben. Unterschiedlich ist hingegen die *Gleichgewichtsfeuchte*, die gemessen in einem Raum mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 %, bei Lehm ca 3 Masse-% und bei Holz ca 10 Masse-% beträgt. Die Gleichgewichtsfeuchte bezeichnet den durchschnittlichen Feuchtegehalt eines Baustoffes, der im Gebrauchszustand bei konstanter Luftfeuchte in der Regel nicht mehr über- oder



unterschritten wird. Bei einer Veränderung der Luftfeuchtigkeit ändert sich das Sorptionsverhalten, das die Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit bezeichnet, d.h. wenn die Luftfeuchtigkeit hoch ist, steigt auch die Gleichgewichtsfeuchte und dadurch die Fähigkeit, Feuchtigkeit aus der umgebenden Luft aufzunehmen. Lehm hat im Vergleich mit anderen Baustoffen das beste Sorptionsverhalten. So kann ein ca 12 cm starkes Lehmelement [vgl. MINKE, 2004, S. 23 f.] innerhalb von 48 Stunden ca 300 g/m² Wandfläche, und in 16 Tagen bis zu 900 g/m² aufnehmen. Neben der großen Feuchtigkeitsmenge ist vor allem die Geschwindigkeit dieser Aufnahme der große Vorteil gegenüber anderen Baustoffen. MINKE hat sehr umfangreiche Untersuchungen gemacht, die in Abb. 24 verdeutlicht werden. Um beim Vergleich Holz zu Lehm zu bleiben, zeigt sich, dass Holz weniger und langsamer Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben kann.

Abb. 24. Sorptionaufnahmevermögen von Baustoffen bei einer Zunahme der Luftfeuchtigkeit von 50 % auf 80 % und einer Raumtemperatur von 21 ° Grad C

Das bedeutet, dass Lehm dem Holz mehr und schneller Feuchtigkeit entziehen kann, denn „unter der Voraussetzung der Trockenhaltung des Lehmes im Bauteil sowie eines permanenten diffusionswirksamen Verbundes beider Baustoffe stellt sich ein Diffusionsgefälle der Gleichgewichtsfeuchte des Holzes zum Lehm ein: der Lehm hält das Holz in der Konstruktion trocken und wirkt dadurch konservierend. Pilze und Holzschädlinge finden auf Dauer kein ausreichend feuchtes Lebensmilieu. Das Holz kann in der Konstruktion im Verbund mit dem Lehm über Jahrhunderte seine Funktion erfüllen.“ [SCHROEDER, 2010, S. 273] Lehm und Holzverbundkonstruktionen benötigen also den Einsatz von diffusionsoffenen Baustoffen, denn durch die kapillare Leitfähigkeit von Lehm wird, wenn nötig, Feuchtigkeit aus dem Inneren der Bauschichten entzogen und weitergeleitet. Das kann je nach Temperaturunterschied in beide Richtungen geschehen. „.....Im Winter stellt sich eine Wasserdampfdiffusion in der Regel von der warmen (innen) zur kalten (aussen) Seite ein. Bei ausreichend hoher adsorptiver Feuchte auf der Aussenseite (> 50 % relative Luftfeuchte) bildet sich ein kapillarer Wassertransport unabhängig von der Temperatur von feucht (außen) nach trocken (innen) aus, ist also entgegengesetzt gerichtet. In den Wandaufbau integrierte, dampfdichte Wärmedämmstoffe oder Dampfbremsfolien, aber auch Imprägnierungen be- oder verhindern die beschriebenen Transportprozesse.“ [SCHROEDER, 2010, S.270]

Beim *Wasserdampfdiffusionswiderstand* zeigen Holz ($\mu=50$) und Lehm ($\mu = 2$ bis 10) unterschiedliche Eigenschaften. Für Lehm gilt die Regel, daß er umso dampfdichter wird je höher die Rohdichte, bzw. je höher der Tonanteil im Lehm ist. Abb.26 zeigt, daß die Bandbreite des Diffusionswiderstandes von $\mu = 2$ bei Leichtlehm bis zu einem $\mu = 10$ bei Schwerlehm variieren kann.

Auch Holz hat einen feuchtevariablen Diffusionswiderstand, wenn der Werkstoff unbehandelt ist. Durch Zugabe von Bindemitteln, Leimen oder anderen Klebstoffen wird der Holzwerkstoff dichter. In einer umfassenden Untersuchung [POPPER, NIEMZ, EBERLE, 2005, S. 100ff.] wurden die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen von Holzwerkstoffen untersucht und nach EN ISO 12572 bestimmt, und die Kennwerte der gängigsten Holzplattenwerkstoffe aufgelistet (Abb.25). Grob zusammengefaßt sieht man einen Anstieg des Diffusionswiderstandes mit einer höheren Rohdichte und einer größeren Plattenstärke. Weitere individuelle Unterschiede sind im Aufbau der Werkstoffe (zb bedingt durch Klebstoffe) festzumachen.

Material	Dampfdruck- gefälle RH %	Normal- Rohdichte ρ_N g/cm ³	Platten- dicke s mm	Wasser- gehalt MC (%)	Diffusions- widerstand μ
Massivholzplatten	100-65	0,45	60	20,1	11
	0-35	0,44	60	8,5	18
	0-65	0,44	60	11,2	24
	100-65	0,47	30	20,2	20
	0-35	0,42	30	7,4	39
	0-65	0,45	30	11,1	43
MDF	100-65	0,77	19	15,9	32
	0-35	0,77	19	6,7	42
MDF, Dachplatte	100-65	0,37	16	11,9	6
	0-35	0,37	16	7,2	6
Faserdämmplatte, Nassverfahren	0-65	0,21	20	6,6	8
	0-35	0,19	20	7,5	5
OSB	100-65	0,67	18	19,0	46
	0-35	0,64	18	6,3	64
	0-65	0,69	18	8,5	91
	0-65	0,65	25	8,6	72
Spanplatten	100-65	0,61	30	17,6	19
	0-35	0,59	30	6,2	23
	0-65	0,60	30	9,0	27
	100-65	0,67	19	17,1	29
	0-35	0,67	19	6,2	38
	0-65	0,67	19	7,9	62
	100-65	0,65	18	14,8	38
	0-35	0,64	18	5,8	43
	0-65	0,65	18	7,8	18
Sperrholz Douglasie, 5-schichtig	100-65	0,53	15	16,7	45
	0-35	0,55	15	5,5	88
	0-65	0,57	15	7,9	91
Buche, 9-schichtig	100-65	0,73	19	17,0	34
	0-35	0,71	19	6,0	51
	0-65	0,72	19	7,9	68
Waldföhre, 9-schichtig	100-65	0,50	21	23,2	21
	0-35	0,49	21	6,8	46
	0-65	0,50	21	9,0	65
Lärche, 9-schichtig	100-65	0,63	22	16,7	33
	0-35	0,63	22	6,4	51
	0-65	0,62	22	8,4	80
Buche, 11-schichtig	0-35	0,75	24	6,1	44
	0-65	0,74	24	8,7	49

Abb 25. Diffusionswiderstand ausgewählter Holzwerkstoffe als Funktion von Dampfdruckgefälle, Rohdichte, Plattendicke und Wassergehalt.

6.2. Wärmeschutz

Die Rohdichte ist bei beiden Baustoffen von der Art und der Zusammensetzung abhängig. So haben Laubhölzer und Massivlehm ein hohes, bzw. Nadelhölzer und Leichtlehm ein geringes Raumgewicht.

Die Rohdichte ist ein wesentlicher Parameter für Wärmeigenschaften eines Baustoffes, denn je leichter ein Baustoff ist, desto besser ist die Dämmeigenschaft, und je schwerer dieser ist, desto besser ist sein

Wärmespeichervermögen. In den letzten Jahren hat sich das Verhältnis - zumindestens in unseren Breitengraden - immer stärker vom Speichern zum Dämmen hin verändert hat. Das Passivhaus sei hier als markantestes Beispiel genannt. Die Behaglichkeit in einem Raum wird aber nicht durch eine gute Dämmung geschaffen, sondern durch speicherfähige Materialien, die Wärme auch wieder abgeben können.

	Rohdichte kg/m ³	Wärmeleitzahl λ W/mK	Spezifische Wärme ² c kJ/kgK		Wärmespeicherzahl ² S kJ/m ³ K		Wärmeeindringzahl b kJ/m ² h ^{0,5} K	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl ³ μ -
			SLL	HLL	SLL	HLL		
Leichtlehm	300 ¹	0,1	1,3	-	400	-	12	2/5
	400 ¹	0,12	1,2	-	500	-	14	
	600	0,17	1,1	1,5	700	900	20	
	800	0,25	1,1	1,4	900	1100	28	3/5
	1000	0,35	1,1	1,3	1100	1300	37	
	1200	0,47	1,0	1,2	1200	1500	45	
Strohlehm	1400	0,59	1,0	1,1	1400		54	5/10
	1600	0,73	1,0		1600		65	
Massivlehm	1800	0,91	1,0		1800		77	
	2000	1,13	1,0		2000		90	
zum Vergleich: ⁴								
Schwerbeton	2400	2,1	1,0		2400		135	70/150
Vollziegel	1800	0,81	1,0		1800		72	5/10
Leichtziegel	800	0,33	1,0		800		31	5/10
Porenbeton	600	0,19	1,0		600		24	5/10
Nadelholz	600	0,13	2,1		1260		24	40
HWL-Platte	400	0,09	2,1		840		17	2/5
Mineralwolle	80	0,04	1,0		80		3	1

1 Leichtlehm einer Rohdichte < 600 kg/m³ ist nur mit fettem Lehm herstellbar

2 SLL = Strohleichtlehm, HLL = Holzeichtlehm. Die spezifische Wärme von mineralischem Leichtlehm ist c = 1,0 kJ/kgK, die Wärmespeicherzahl S entspricht damit der Rohdichte

3 Bei Berechnungen ist der ungünstigste Wert zu verwenden

4 Rechenwerte nach DIN 4108

Abb. 26: Wärmeschutzwerte von Lehm und Holz im Vergleich

Die Rohdichte des Lehmes kann effektiv dem Holz angepasst werden, je nachdem ob die Lehmschicht besser dämmen oder speichern soll. Die notwendigen Zusatzstoffe, um den Lehm leichter zu machen und um ihm die notwendigen Dämmeigenschaften zu geben, können wiederum aus Holz sein. Man

braucht den angestrebten Kreislauf von Lehm und Holz nicht zu verlassen. Im Gegenteil kann der Leichtstoff Holz durch seine höhere spezifische Wärme die Wärmespeicherfähigkeit von Leichtlehm gegenüber dem gebräuchlichen Strohzuschlag sogar noch um das 1,1 bis 1,6 fache des Raumgewichtes erhöhen [vgl. VOLHARD, 2013, S. 203 und 205], was bei Lehm mit einem Raumgewicht von 600 kg einer Wärmespeicherzahl von 900 KJ/m³/K statt 700 KJ/m³/K entsprechen würde. Diese Kennziffer gibt an, wieviel Wärme einwirken muss, damit ein Bauteil mit einem m³ um ein Grad Celsius wärmer wird.

So steigt die Wärmespeicherfähigkeit von Lehm mit 1200 kg/m³ Raumgewicht von S = 1200 KJ/m³K bei Zuschlägen mit Holzhäckseln zum Beispiel auf S=1500 KJ/m³K, also um das 1,25 fache der ursprünglichen Rohdichte.

6.3. Brandschutz

Die Brandverhalten von Nadelholz wird mit der Brandqualifikation D nach EN 13501-1 bewertet, was einem hinnehmbaren Beitrag zum Brand entspricht. Das ändert sich auch bei schichtverleimten Hölzern oder anderen Holzwerkstoffen nicht (s. Abb. 27)

Tabelle 1: Brandverhalten von Bauholz ¹⁾ nach [6]

	Produktdetails	Mindestdichte ³⁾ [kg/m³]	Minimale Gesamtdicke (mm)	Klasse ²⁾ (außer Bodenbeläge)
Bauholz	Visuell und maschinell sortiertes Bauholz mit rechteckigem Querschnitt (gesägt, gehobelt oder anders bearbeitet) oder mit rundem Querschnitt	350	22	D-s2, d0

¹⁾ Gilt für alle Sorten, die unter die Produktnormen fallen.

²⁾ Klassen gemäß Tabelle 1 des Anhangs zur Entscheidung 2000/147/EG

³⁾ Gemäß EN 13238.“

Tabelle 2: Brandverhalten von Brettschichtholz nach [7]

Material	Produktdetails	durchschnittliche Mindestdichte [kg/m³]	Mindestgesamtdicke (mm)	Klasse (o. Fußböden)
Brettschichtholz	Brettschichtholzprodukte gemäß EN 14080	380	40	D-s2, d0

Abb. 27. Brandqualifikation von Bau- und Brettschichtholz.

Das Brandverhalten von Lehm ist nicht so eindeutig definiert wie bei Holz, da in der EN 13501-1 Lehm nicht als geprüfter Baustoff aufscheint. Es gibt bei Durchsicht der Literatur zudem schwankende Be-

wertungen, denn durch unterschiedliche Zuschläge sind Lehmbaumstoffe, auch wenn sie die gleiche Rohdichte aufweisen, schwer vergleichbar.

Lehm ab einer Rohdichte von 1700 kg kann durch Erfahrungswerte und verschiedene Versuchsanordnungen als A1, d.h. als nicht brennbar nach der alten DIN 4102 bewertet werden. Das bedeutet, dass ein Bauteil, der mit Lehm (Rohdichte = 1700 kg/m³) vollflächig verputzt ist, als nicht brennbar gelten kann. Da herrscht, von den Lehmregeln bis zu den wichtigsten Verfassern in der Lehmliteratur Konsens. Es werden aber auch zum Teil Lehmbaumstoffe mit geringerer Rohdichte genannt, obwohl diese mit „brennbaren“ Zuschlägen wie Holz oder Stroh versehen sind. Den verwirrenden Überblick über den Stand der Diskussion gibt die nachfolgende Tabelle:

TAB 1. BRANDVERHALTEN von Lehmbaumstoffen: BAUSTOFFKLASSEN + FEUERWIDERSTANDSKLASSEN

BRANDVERHALTEN von Lehmbaumstoffen	LEHMBAU REGELN 2009	MINKE 2009	RÖHLEN/ZIEGERT 2010	SCHNEIDER/SCHWIMANN/BRUCKNER 1996	SCHROEDER 2010	VOLHARD 2013
	DIN 4102-4: 1970-02 DIN 4102-4: 1994-03 DIN 4102-4 4.11: 1994-03 DIN 18951 Bl.1:1951-01 DIN V 18954: 1956 Diplomarbeiten MFPA Leipzig nach DIN 4102-1	DIN 4102-4: 1981 DIN 18951: 1951 DIN 18954 Brandtest TU Braunschweig Brandversuchs anstalt MA 39, Wien SIA-Regeln zum Bauen mit Lehm. Schweiz	DIN 4102-4 1994-03 DIN 4102-4 mit CLAYTEC Lehm- bauplatten DIN 18550 WTA Merkblatt 8- 12-04/D Brandschutz bei Fachwerkgebäud en LEHMBAU REGELN 2009	DIN 18951 DIN 18951: 1944 DIN 4102 DIN 4102-4: 1981 DIN 4102: 1977 VOLHARD Brandversuch e nach DIN 4102	DIN 4102-2 DIN 4102-4 1970 DIN 4102-4 1994 DIN V 18954 EN V 13501 EN 1634-1 ab 2010 LEHMBAU REGELN 2009 ZIEGERT Diplomarbeit 1996	VOLHARD Brandversuche nach DIN 4102, bestätigt von MFPA Leipzig DIN 4102-1: 1998 DIN 18951: 1951
BAUSTOFFKLASSE A1 - nicht brennbar	mineralischer Zuschlag [DIN 4102-4: 1994-03] $\rho \geq 1700$ „lehm- baugerechte Beimischungen“ pflanzl. Faserstoffe [DIN 18951 Bl.1:1951-01]	$\rho \geq 1700$ bei Zusatz von pflanzl. Faserstoffen [DIN 18951] Lehmwand massiv \geq d=25cm [DIN 4102, DIN 18951, Blatt 1/Blatt2, §1, Absatz 3]	mineralischer Zuschlag [DIN 4102] $\rho \leq 1700$ „lehm- bauge- rechte Beimischungen“ pflanzl. Faserstoffe [DIN 18951] Strohlehm $\rho \geq 1200$	Lehm $\rho \geq 1800$ [DIN 18951 zurückgezoge n, DIN 4102] Lehm $\rho \geq 1700$ [DIN 18952] verdichteter, trockener Lehm $\rho \geq 1600$ mit	Lehm und mineralischer Zuschlag [DIN 4102-4] organischer Zuschlag: Stroh- häcksel $\rho > 1200$ Sägemehl $\rho >$ 2000 Sägespäne $\rho > 1600$ Holzhackschn	Lehm nicht brennbar [DIN 4102-1: 1998] mineralische Zuschlag- stoffe $\rho \geq 1700$ Verwendung pflanzl. Faserstoffe zur Magerung [DIN 18951:

	Stroh $\rho > 1200$ Holzhackschnitzel $\rho > 1400$ Sägespäne $\rho > 1600$ Sägemehl $\rho > 2000$ [Diplomarbeiten MFPA Leipzig nach DIN 4102-1]	Lehmwand massiv \geq $d=24\text{cm}$ [DIN 18954]	[Normgerechte Versuche lt. S.36, LEHMBAU REGELN 2009] Stampflehm gilt als A1 und muss nach LEHMBAU REGELN [DVL. 2008/1]	$d \geq 24\text{cm}$ [DIN 4102: 1977] Lehmbau- stoffe mit Gewichtsanteil brennbarer Stoffe $\leq 15\%$ [Seite 220]	itzel $\rho > 1400$	1951] Stroh $\rho > 1200$ Holzhack- schnittel $\rho > 1400$ Sägespäne $\rho > 1600$ Sägemehl $\rho > 2000$
--	---	---	---	--	---------------------	---

Angeblich sind bei Versuchen an der MFPA Leipzig nach DIN 4102-1 Leichtlehme ab 1200 kg mit unterschiedlichen Zuschlägen als nicht brennbar nachgewiesen worden. Leider sind diese Ergebnisse aufgrund fehlender Unterlagen nicht verifizieren, sodass hier auf einen Vergleich von VOLHARD zurückgegriffen werden muss, der die Untersuchung zumindestens tabellarisch zusammengefasst hat. [VOLHARD, 2013, S. 226].

Zuschlag	Erforderliche Rohdichte des Lehm- baustoffes (kg/m^3)	Klassifizierung
Mineralische Zuschlagstoffe ¹	Keine Anforderung	Nichtbrennbar
»lehm- baugerechte Beimischungen« pflanzlicher Faserstoffe ²	≥ 1700	Nichtbrennbar
Stroh ³	> 1200	Nichtbrennbar
Stroh ³	> 600	Schwerentflammbar
Holz- hackschnitzel ³	> 1400	Nichtbrennbar
Holz- hackschnitzel ³	> 800	Schwerentflammbar
Sägespäne ³	> 1600	Nichtbrennbar
Sägemehl ³	> 2000	Nichtbrennbar
Hanf, Flachsschäben ³	> 600	Schwerentflammbar

1 vgl. DIN 4102-4: 1994-03
2 vgl. DIN 18951 Bl.1: 1951-01
3 Nach im Rahmen von Diplomarbeiten an der MFPA Leipzig nach DIN 4102-1 durchgeführten Untersuchungen zur Abschätzung des Brandverhaltens von Lehm-
baustoffen [Ziegert 1996] [Börjesson 1997].

Abb. 28. Brandqualifikation Leichtlehm-
baustoffen nach DIN 4102-1.

Zum Brandwiderstand von Lehm gibt es leider keine nachgewiesenen und geprüften Brandversuche. Aus den Experimenten von Volhard lässt sich ableiten, dass eine verputzte Holzriegelwand je nach Putz-

stärke REI30 oder REI60 leisten kann. Ab einem Raumgewicht von 1200 kg kann auch ein Wandelement einen zusätzlichen Beitrag zur Brandwiderstandsdauer liefern. Entsprechende Brandversuche wären dringend nötig.

6.4. Schallschutz

Für den Holzleichtbau mit seinen dünnen und biegeweichen Gipskartonplatten gibt es verbindliche Prüfergebnisse und eine Vielzahl von Aufbautenkatalogen für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche. Bis heute fehlen solche verbindlichen und geprüften Angaben zum Schallschutz von Lehmteilen die aufgrund ihrer Masse derzeit nach dem Flächengewicht berechnet werden. Da hätte eine 12 cm starke Holzwand ein R_w von ca 34 dB, während eine 12 cm starke Leichtlehmwand mit 1200 kg/m^3 ein R_w von ca. 44 dB aufweisen kann.

Der Umstand, dass Leichtlehm aber auch elastisch ist und Schwingungen dämpfen kann, wird in dieser Flächengewichtsberechnung allerdings nicht berücksichtigt. Ein Holzleichtbau mit ausgefachten Lehmwänden kann daher nur annähernd bewertet werden, und würde eine versuchstechnische Überprüfung benötigen.

6.5. Dichtigkeit

Der Werkstoff Holz ist luft- und winddicht, das heißt, Undichtigkeiten entstehen nur an den Fugen und Anschlussstellen der einzelnen Holzelemente. Wenn Fugen und Anschlüsse verleimt wären, wie das zum Beispiel bei stabverleimten Platten der Fall ist, würde das ganze Element als luft- und winddicht gelten. Praxistauglich ist so eine Bauweise freilich nicht. Deswegen übernehmen beim Holzleicht- und beim Holzmassivbau künstlich verklebte Holzwerkstoffe in der Fläche, sowie Klebebänder in den Fugen und Anschlüssen die Funktion der Wind- und Luftdichtigkeit.

Eine Ausnahme bildet das Holz100 System von Thoma [THOMA, 2006, Kap.8] [FERK, REITERER, 2002], das gänzlich ohne verleimte Bauteile auskommt. Diese Elemente werden kreuzweise und diagonal gelegt und mit trockenen Holzdübeln verbunden. Erstaunlicherweise ist das 5-schichtige, unverleimte Element in einer Untersuchung nach ÖNORM B 5300 mit der Beanspruchungsklasse 4 nachgewiesen worden [FERK, 2002,].

Soweit der theoretische Ansatz, denn in der Praxis wird eine zusätzliche winddichte Ebene mit Holzweichfaserplatte ausgeführt, da in die Fugen eintretende kühle Luft den U – Wert des gesamten Holz100 Bauteiles verschlechtern würde (s. Abb. 29).

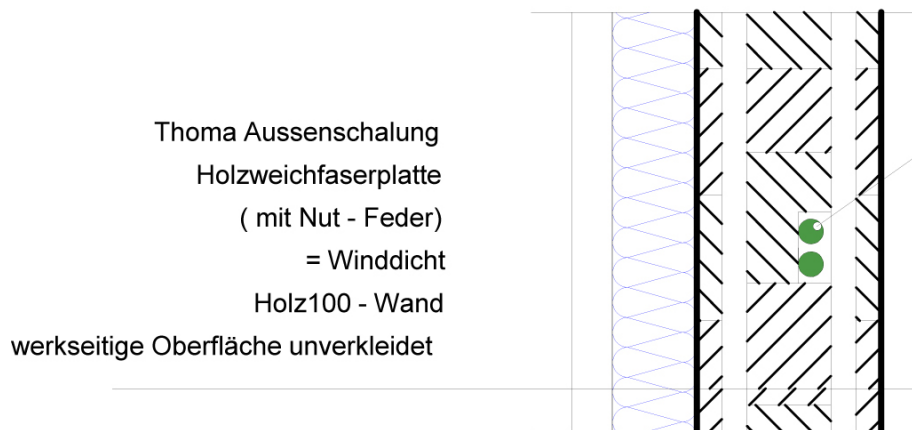


Abb. 29. Holz100. 5schichtiges Wandelement mit 10 cm Holzweichfaserplatte: $U=0,25W/m^2K$.

Das Verhalten von Lehm in Bezug auf Luft- und Winddichtigkeit ist abhängig von seinem Raumgewicht und seiner Dichte. In der einschlägigen Lehmfachliteratur gibt es weitgehend Konsens darüber, dass ein Lehm mit einer Rohdichte von mind. 900 kg/m^3 als wind- und luftdicht gelten kann (s. Tab. 3)

WIND- DICHTIGKEIT LUFT- DICHTIGKEIT	LEHMBAU REGELN 2009	SCHNEIDER, SCHWIMMEN, BRUCKNER 1996	RÖHLEN ZIEGERT 2010	SCHROEDER 2010	VOLHARD 2013
	$\rho \geq 900 \text{ kg/m}^3$ bzw. einseitiger Putz	$\rho \geq 900 \text{ kg/m}^3$	$\rho \geq 900 \text{ kg/m}^3$ Lehmputze $\rho \geq 1400 \text{ kg/m}^3$	$\rho \geq 900 \text{ kg/m}^3$ bzw. einseitiger Putz Innenschale aus Leichtlehm d= 5-10cm	$\rho \geq 900 \text{ kg/m}^3$ bzw. einseitiger Putz

Tab 2: WINDDICHTIGKEIT von Lehmbaustoffen in Abhängigkeit der Rohdichte ρ [kg/m³]

6.6. Abschirmung gegen Strahlung

Die Abschirmung hochfrequenter Strahlung wurde im Jahre 2000 am Institut für HF-, Mikrowellen und Radartechnik der Universität der Bundeswehr in München von Pauli und Moldan [PAULI, MOLDAN, 2000] im Vergleich verschiedener Aufbauten, insbesondere im Zusammenhang mit Lehm, untersucht und beschrieben. Eine 24 cm dicke Lehmwand mit einer Rohdichte von 1200 kg/m^3 kann je nach Frequenz der Strahlung eine Dämpfung von 20 – 50 db bewirken, und je schwerer und dichter der Lehm, desto besser ist das Abschirmungsverhalten [s. Abb. [vgl. SCHROEDER, 2010, S. 286].

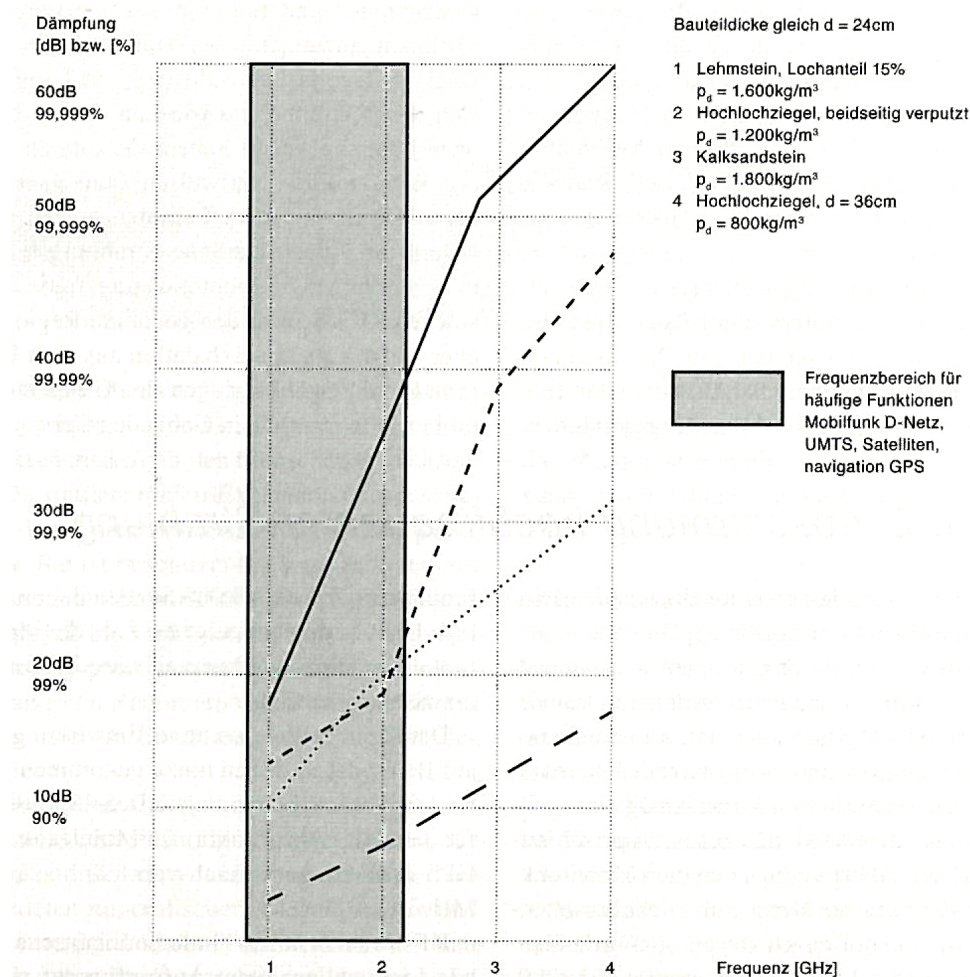
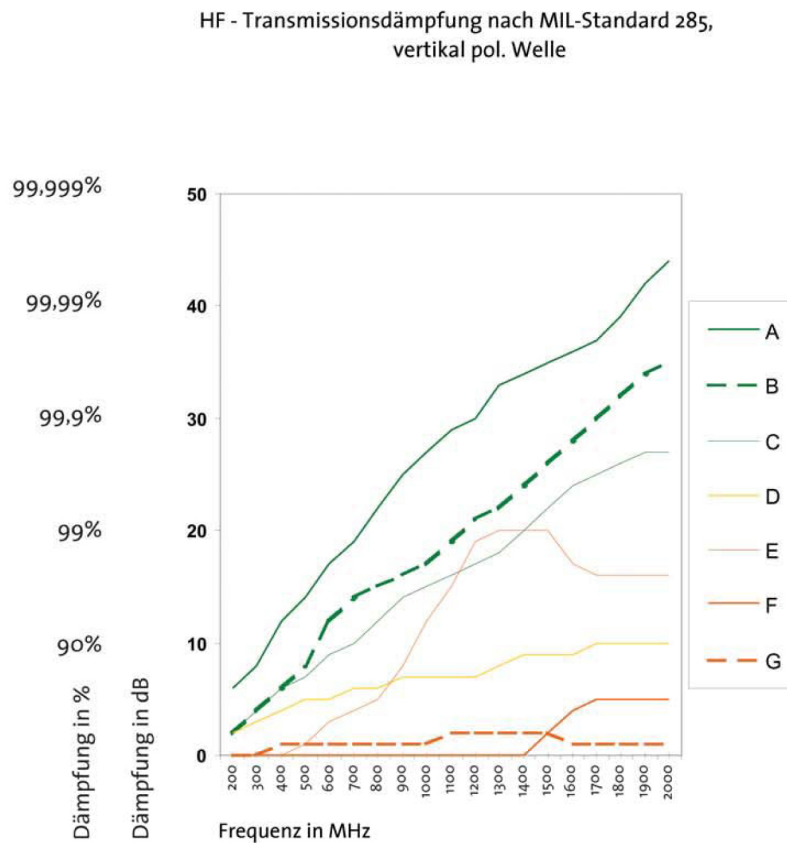


Abb. 30. Dämpfung von hochfrequenten Strahlen in Abhängigkeit des Baustoffes und der Frequenz nach [SCHROEDER, 2010]

Einen Überblick über die Eigenschaft von massivem Holz, im Vergleich zu anderen Baustoffen hochfrequente Strahlung abzuschirmen, geben PAULI und MOLDAN in einer Untersuchung für das Holz100 Ele-

ment der Fa. Thoma [vgl. PAULI MOLDAN, 2003, 2. Überarbeitung]. Holz in Verbindung mit Lehmbaustoffen ergeben in dieser Untersuchung die besten Werte (s. Abb. 31)



LEGENDE

- A** 36,8 cm Thoma Holz100, 4 cm Lärchenschalung, 11,5 cm Lehmstein
- B** 36,8 cm Thoma Holz100 Lã, 17 cm Thoma Holz Fi/Ta, (400 kg/m²)
- C** 17,6 cm Thoma Holz100 Lã, 2,4 cm Lärchenschalung, 14,5 cm Holzweichfaserpl.,
4 cm Lã Brandschutzschalung
- D** 16 cm Blockwand Fi/Ta (400 kg/m²)
- E** 36 cm Klimaton (800 kg/m²)
- F** 11,5 cm Klimaton (1200 kg/m²)
- G** 23 cm typische Fertighauswand (Holzständerbau)

Abb. 31. Massives Holz in Verbindung mit massivem Lehm ist die beste Abschirmung gegen hochfrequente Strahlungen

7. Architektonische Möglichkeiten von Holz und Lehm im Vergleich

Holzarchitektur hat heute bereits einen fixen und bedeutenden Platz in der Architektur. Holzbaupreise werden im mitteleuropäischen Raum schon seit Jahrzehnten verliehen und greifen seit einiger Zeit auch auf Länder über, wo Holz nicht so selbstverständlich verfügbar ist (als Beispiel sei Frankreich genannt, wo 2012 der erste Holzbaupreis ausgeschrieben wurde).

Währenddessen hat *Lehmarchitektur* im Architekturdiskurs eine vergleichsweise geringe Bedeutung. International rezensierte Architekturprojekte wie das Haus von Martin Rauch in Vorarlberg und das Museum von Peter Zumthor in Köln geben dem Lehmbau aber nach und nach eine größere Aufmerksamkeit und Bedeutung in der Architekturdiskussion. Auch lokale Projekte des Autors, wie die Transformation alter Lehmhäuser im Weinviertel zu Gebäuden, in denen modernes und zeitgemäßes Wohnen ermöglicht wird, haben mediale Aufmerksamkeit erreicht, und verändern langsam die Einstellung von Politik und Gesellschaft zur Wertigkeit von Bestandsgebäuden einerseits, und zum Baustoff Lehm andererseits.

Ein anderer starker Einfluß in Bezug auf Lehmarchitektur kommt aus Frankreich, wo 2013 der erste nationale Lehmbaupreis verliehen wurde, der „Prix national des architectures en terre crue“ [AS-TERRE, CRATERRE, ECOLOGIK, 2013].



Abb. 32. Auswahl von Lehmbauprojekten der Preisträger des ersten Lehmbaupreises in Frankreich 2013.

Ein Überblick über die Preisträger zeigt, dass Lehmbauarchitektur langsam den Schritt von der „Ökoarchitektur“ hin zu architektonisch zeitgemäßer und anspruchsvoller Architektur vollzieht. Dabei wird Lehm als ästhetisches Gestaltungskriterium besonders bei Stampflehmbauten eingesetzt, und hier ist ein besonderer architektonischer Ausdruck von Lehm sichtbar, nämlich die Massivität.

Während Lehmbauten im wahrsten Sinne des Wortes an die Erde gebunden sind, können Holzbauten leicht und filigran sein. Solcherart elegante und lichtdurchlässige Gebäude sind mit Lehm nicht möglich.



Abb. 33. Eine subjektive Auswahl leichter und durchlässiger Holzarchitektur.

Von links nach rechts: Arch. Atelier_Deshaus, Tea House; Arch. AWP & Atelier Oslo, The Lantern Pavilion; Studio Mumbai Architects, Palmyra House; Kengo Kuma, Great Bamboo Wall House;

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Holz- und Lehmarchitektur liegt in der Tragfähigkeit der Baustoffe. Holz ist im Prinzip für alle Bauaufgaben geeignet, von nieder- und mehrgeschossigen bis zu weit tra-

genden Bauwerken. Tragende massive Lehmbauten dagegen sind im Wesentlichen auf den ein- bis zweigeschossigen Flachbau beschränkt, wie etwa Einfamilien- und Reihenhäuser, Kindergärten bzw. Schulen, und haben den Nachteil, dass die tragenden Lehmbauteile von zum Beispiel Stampflehmwänden mehr Grundfläche beanspruchen. Man erhält also große Mauerstärken bei vergleichsweise kleinen und unflexiblen Raumeinheiten, flexible Grundriss lassen sich nur schwer lösen.

Ein anderer Nachteil von Lehm ist, dass der Vorfertigungsgrad im massiven Lehmbau sehr gering ist. Theoretisch ist es möglich, tragende Stampflehmelemente vorzufertigen. Es stellt sich aber die Frage der ökologischen Sinnhaftigkeit, tonnenschwere Kleinelemente mit großen Transportwegen auf die Baustellen zu führen. Zudem bedürfen, zumindestens in unseren Breitegraden, diese Gebäude alle noch einer zusätzlichen Dämmung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Lehm mehr in dienender als in gestaltender Funktion eine große und bedeutende Rolle in der Architektur spielen kann, und beispielsweise das steigende Bedürfnis von Nutzerinnen und Nutzern nach einem gut verträglichen und gesunden Raumklima sehr gut erfüllen kann.

Holzkonstruktionen auf der anderen Seite sind vielseitig einsetz- und anwendbar bzw. flexibel, leicht und durchlässig gestaltbar.

8. Entwicklung eines HolzLehmbausystems als Holzrahmenbau mit vorgefertigten Lehmelementen

Der Parlauf von Holz und Lehm durch die verschiedenen Bereiche hat gezeigt, dass beide Baustoffe - vor allem im bauphysikalischen und ökologischen Bereich – ähnliche und kompatible Eigenschaften haben. Die Erwartung ist also, daß sich Verbindungen der beiden Baustoffe finden lassen, die die Fähigkeiten des jeweils anderen noch verbessern, bzw. Schwächen kompensieren können, wie dies etwa bei der Tragfähigkeit von Lehm im Vergleich zu flexiblen und vielfältig einsetzbaren Holzkonstruktionen der Fall ist. Der erste Ansatz ist deshalb, dass Lehm keine Tragefunktionen übernehmen soll. Das kann Holz besser leisten.

Ausgehend vom klassischen Rahmenbau bleibt die innere Tragschicht einer Holzständerkonstruktion aus Konstruktionsvollhölzern unverändert und hat den Vorteil, (s. Kap. 4) keine leimgebundenen Bauteile verwenden zu müssen, und durch das Anordnen von eng liegenden Stützen und Schwellen eine leichte, holzsparende Konstruktion entwickelt zu können. Diese benötigt allerdings, um seitlichen Einwirkungen wie etwa Windkräften standhalten zu können, die Ausbildung von Scheiben.

8.1. Statisch wirksame Beplankung und Luftdichtigkeit

Üblicherweise werden im Rahmenbau dafür OSB Platten oder Diagonalschalungen verwendet die entweder innen oder außen angebracht werden. Aus bauphysikalischen Gründen werden sie jedoch heute meistens innen angebracht, da die Beplankung neben der statisch wirksamen Aussteifung auch bauphysikalische Funktionen der Luftdichtheit und Dampfbremse übernehmen kann. Der Nachteil ist allerdings, dass auf diese innere Schicht eine zweite Installationsebene aufgebracht werden muss, da die luftdichte Ebene nicht mit Installationseinheiten durchstoßen werden soll. Da der Dampfdiffusionswiderstand nach außen hin abnehmen soll, ist die Anbringung der Dampfbremse raumseitig von Vorteil. Es können daher Werkstoffe verwendet werden, die statisch wirksam sind, aber in der Regel einen höheren Dampfdiffusionswiderstand haben (zb OSB Platten). Der Nachteil der innen liegenden Aussteifung mit einer Holzwerkstoffplatte ist allerdings, dass nur die Fläche in den Wänden luftdicht ist, und alle Übergänge von Wand zu Decke extra luftdicht angeschlossen werden müssen. [vgl. KOLB, 2010, S. 68 ff.]

Das Risiko für Fehleranfälligkeit ist groß, wofür folgende Ursachen verantwortlich sein können:

1. Verwendung von nicht sachgerechten Klebebändern.
2. Klebeflächen werden nicht ausreichend gesäubert. Auf Baustellen ist das mitunter schwierig zu leisten, weil die Staubbelastung kontinuierlich und groß ist.
3. Unsachgemäßes und schlampiges Verlegen der Bänder.
4. Komplizierte Anschlussstellen, die geometrisch in Wirklichkeit nicht abzukleben sind, ein Risiko, das mit einer guten Planung minimiert werden kann.
5. Vorortentscheidungen auf der Baustelle, gegenüber der Planung Veränderungen vorzunehmen.

In einer vergleichenden Analyse bewertet KOLB unterschiedliche Varianten innen liegender statisch wirksamer Beplankungen.

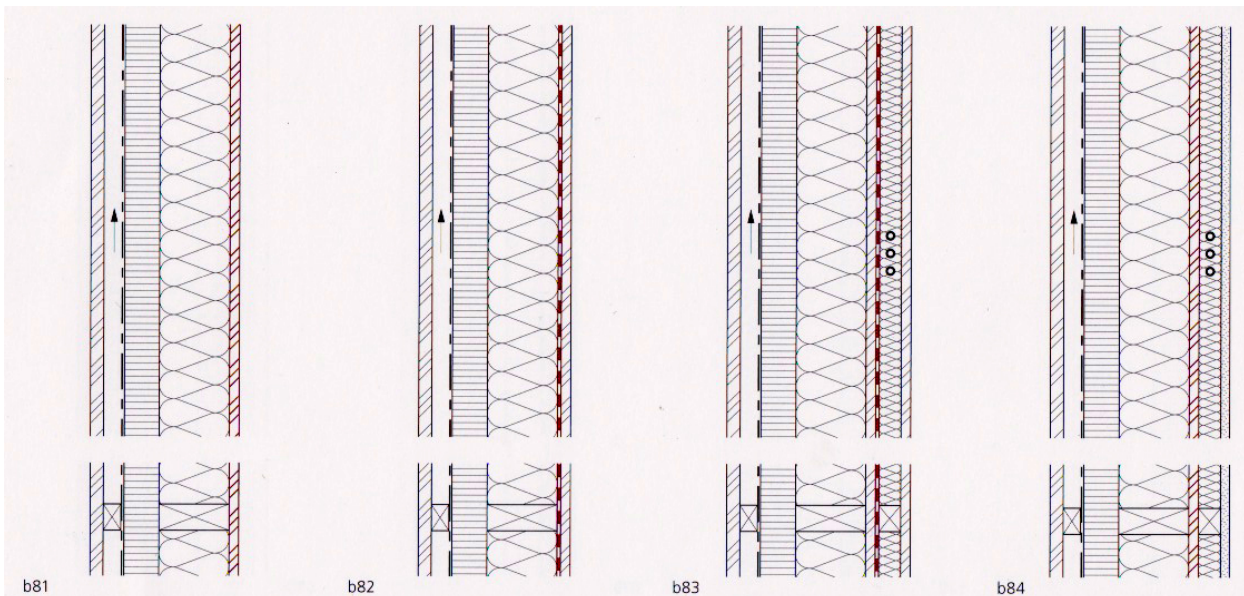


Abb.34 / b81 bis b84.

In Abb.34/b81 ist die innere, einschichtige Beplankung gleichzeitig statisch und bauphysikalisch wirksam. Das können im Wesentlichen nur Holzwerkstoffe wie etwa OSB- oder Dreischichtplatten erfüllen. In Abb.34/b82 übernimmt eine Folie innen die Luftdichtigkeit und Dampfbremse, während eine zusätzliche Beplankung darüber statisch wirksam ist. Abb.34/b83 zeigt einen zweischichtigen Aufbau, wobei die innere Beplankung nur für die konstruktiv erforderliche Aussteifung zuständig ist und in diesem Fall auch mit einer Bretterschalung ausgeführt werden kann, während die bauphysikalischen Funktionen separat von einer innen liegenden Folie übernommen werden. Um Durchdringungen zu vermeiden, wird

eine zusätzliche Installationsebene angebracht. **Die Trennung der Funktionen – Statik, Bauphysik, Installationen – ist laut KOLB [vgl. KOLB, 2010; S. 70 ff] die optimale Variante.**

Wenn man die Anschlüsse Wand und Decke zusätzlich betrachtet, wäre die bauphysikalisch beste Variante, dass die luftdichte Ebene innen durchgeht, und die Decke auf der inneren, tragend ausgebildeten Beplankung liegt. Da gäbe es keine Durchdringungen und keine komplizierten Anschlüsse, die verklebt werden müssen (s. Abb.35/b88), wofür aber eine Holzwerkstoffplatte verwendet werden muss.

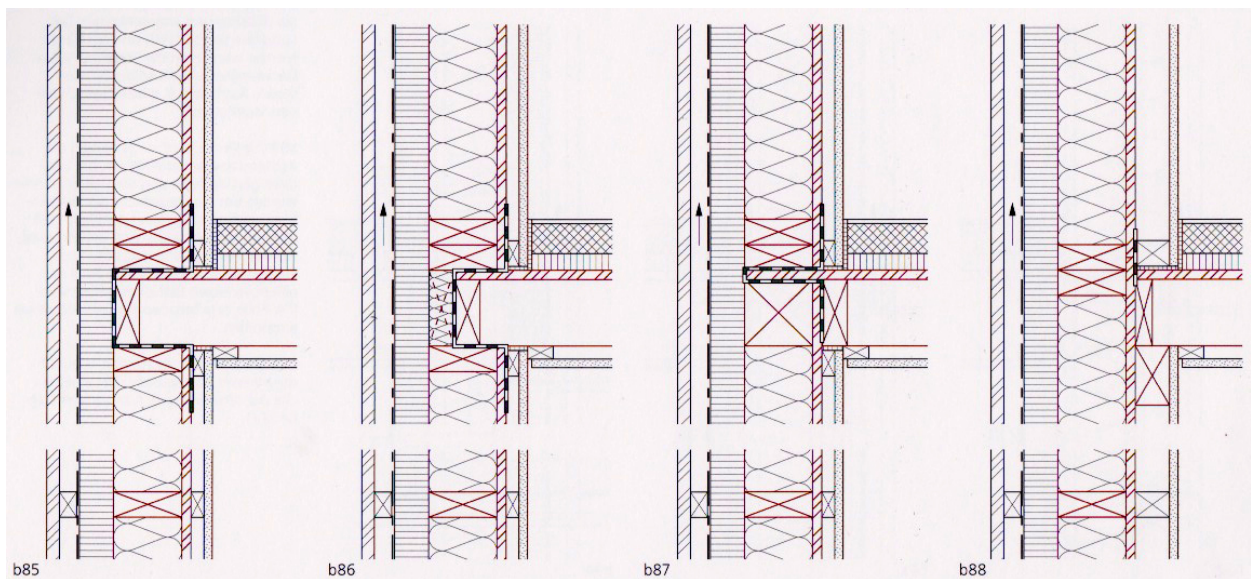


Abb.35 / b85 bis b88.

Wenn jedoch die Decke auf der Ständerkonstruktion direkt aufliegt, ist Abb35/b86 der optimale Fall, da zusätzlich die Stirnseite der Decke überdämmt ist. „...Die Luftdichtigkeitsschicht und die Dampfbremse umfassen den Deckenanschluss fugenlos. Weil eine Außendämmung vorliegt, kann die Luftdichtungsschicht und Dampfbremse um das Tragwerk geführt werden. Für den Anschluss wird eine Folie mit variablen Diffusionswiderstand empfohlen.“ [KOLB, 2010, S. 72].

Zusammenfassend könnte die „beste“ Variante nach KOLB wie folgt beschrieben werden: Statisch wirksame Beplankung sowie Luftdichtigkeit und Dampfbremse sollen getrennt in unterschiedlichen Schichten aufgebaut werden. Die aussteifende Schale soll innen angebracht sein, und kann bei Trennung der Funktionen auch mit einer Diagonalschalung ausgeführt werden. Der Einsatz von Holzwerkstoffplatten

kann dadurch entfallen. Die luftdichte Schicht soll fugenlos über den Deckenrand in die Ebene der darüberliegenden Wandkonstruktion übergehen. Eine zusätzliche Überdämmung außen ist dazu erforderlich, weil sonst die Luftdichtheitsebene mit dem Kaltbereich in Berührung kommen würde.

8.2. Holzkonstruktion

Die Dimension der Holzständerkonstruktion ist abhängig von der Geschosshöhe, der Nutzlast und den Spannweiten der Deckenelemente. Sie ist im Holzrahmenbau individuell an die jeweiligen Anforderungen anpassbar und daher im Zusammenhang mit dem HolzLehmssystem das passende Konstruktionsystem, um den Anspruch der Flexibilität und Anpassung an individuelle Bedürfnisse zu erfüllen.

Der Regelaufbau einer Holzständerkonstruktion sind Steher mit den jeweils erforderlichen Dimensionen (zB. 6x12 oder 6x14 bzw. 6x18 etc.), die mit Schwellen und allenfalls nötigen Riegeln zu Elementen vorgefertigt werden. Verwendetes Material ist leimfreies Konstruktionsvollholz in Fichte.

An der Innenseite wird eine Diagonalschalung angebracht, die auf die Ständerkonstruktion aufgenagelt wird. Durch die nötige Überlappung für der Vernagelung müssen die Ständer jeweils am Stoß mind. 4 cm stärker ausgebildet sein. (s. Abb. 36)

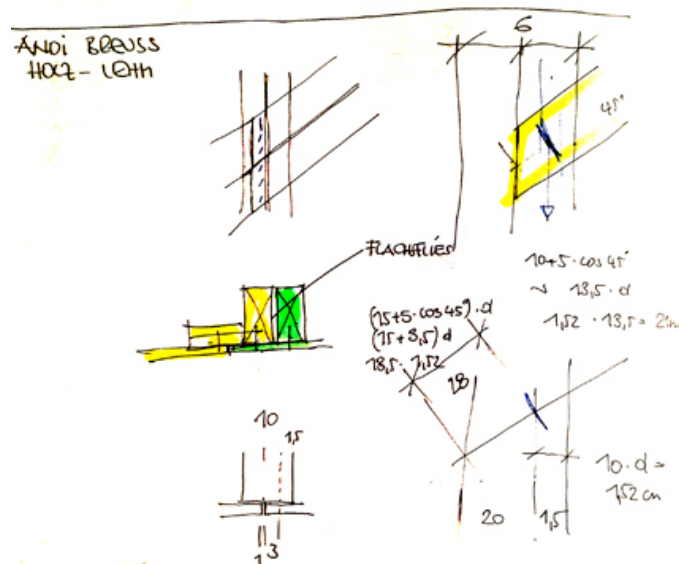


Abb. 36. Die Überlappung muss mind. 3,5 cm betragen um eine kraftschlüssige Vernagelung zu gewährleisten [POCK].

Zusätzlich soll theoretisch untersucht werden, ob das neue Lehmelement eine statisch wirksame Beplankung gegen horizontale Lasten sein kann (s. Kap. 9.2.4. S. 103)

8.3. Materialien im Schichtenaufbau

Von innen nach außen betrachtet ergibt ein in der Regel ausgeführter Holzrahmenbau eine Abfolge von notwendigen Schichten, wobei die innere, dem Raum zugewandte, meist aus Gipskartonplatten ist. Diese stellen neben der Raumbofläche auch die Beplankung einer Installationsebene dar und sind an Holzstaffeln oder Metallständerprofilen befestigt.

Wenn man der Empfehlung von KOLB folgt, dass die innere Verschalung hinter der Installationsebene die Aussteifung übernimmt und es besser ist, die Luftdichtigkeit sowie Dampfbremse von dieser unabhängig anzubringen, kommt im konventionellen Holzrahmenbau innen auf die Schalung zusätzlich eine Folie oder ein Papier, das oben genannte Funktionen übernehmen kann.

In der Ebene der Holzständerkonstruktion wird die Wärmedämmung aufgebracht, die standardmäßig aus Mineralwolle besteht. Außerhalb der Holzkonstruktion muss eine weitere Dämmebene befestigt werden, die die Rahmenkonstruktion und die Deckenanschlüsse überdämmt. Die Dämmplatten können bereits die Funktion der Winddichtigkeit übernehmen, wenn zB. bituminierte Holzwoolleleichtbauplatten bei einer hinterlüfteten Holzfassade verwendet werden, und die Winddichtigkeit wird durch das Anbringen von winddichten Folien erzielt.

Im diesem einfachen Regelfall sind, die Holzfassade nicht mitgezählt mindestens, 7 Schichten unterschiedlicher stofflicher Zusammensetzung notwendig, die zudem an den Anschlussstellen noch verklebt werden müssen, wofür wieder eine eigene stoffliche Ebene gerechnet werden muss.

Wenn man die eingesetzten Werkstoffe selbst genauer betrachtet, bestehen diese wiederum aus mehreren zusammengesetzten stofflichen Schichten. Betrachtet man zB eine Ökodampfbremse aus Papier, erkennt man folgenden Aufbau: Polyethylenfilm, Zellulosevlies, eingelegtes Gewebe aus Polypropylen und Polyethylen, Zellulosevlies, Polyethylenfilm.

Eine Auflistung der Inhaltsstoffe von Produkten, die im herkömmlichen Holzrahmenbau verwendet werden, ergibt, wenn man nur das auflistet, was die Hersteller bekanntgeben – bei Anfragen nach der Produktzusammensetzung zeigen sich die Herstellerfirmen nicht sehr auskunftswillig – eine lange Liste von künstlich hergestellten Ingredienzen: Polyurethan (PU), Polypropylen (PP), Additive zur Erhöhung der Porenstruktur, PVC, PUR – Bindemittel, polymeres Diphenylmethandiisocyanat (PMDI Leime), Poly-

harnstoffverbindungen, Paraffinwachsemulsion, Holzspäne, Wasser, Zellulose, Glasseidengelege, Polypropylengelege, Polyethylengelege, Polyolefine, Polyethylen Copolymere, Polymerbitumen, Acrylate, PET, Polyester (PES), Aluminium, Glas, Sodaasche, Bakelit, Mineralöl, Magnesium, Kunstharz und vieles mehr.

Die Zielsetzung des neuen HolzLehmsystems ist, diese Vielfalt an Inhaltsstoffen auf zwei bis drei Stoffe zu reduzieren, was einen weitgehenden Verzicht von Holzwerkstoffen nach sich ziehen muss.

Die stoffliche Zusammensetzung des HolzLehmbausystems besteht aus: Holz, Lehm, Flachs.

Dabei übernimmt der Lehm, durch unterschiedliche Zusammensetzung der Rohdichte, die Funktion der einzelnen bauphysikalisch nötigen Schichten.

Wird der Lehm schwerer, übernimmt er Schallschutz und Wärmespeicherung, wird er leichter, übernimmt er Dämmfunktionen. Wind- und Luftdichtigkeit lassen sich einstofflich mit Lehm herstellen. Klebänder, die Anschlüsse und Fugen abdichten, werden durch Lehmschlämme und ein Vlies aus Flachs ersetzt. Zuschlagstoffe im Lehm sind ausschließlich Holzprodukte, wie Sägespäne oder Hackschnitzel.

8.4. Zusammensetzung des HolzLehmelementes

Wie kann sich ein Element zusammensetzen, damit es dem heute geforderten Wärmeschutz entsprechen kann? Für Außenwände wird laut OIB mindestens ein U Wert von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ verlangt.

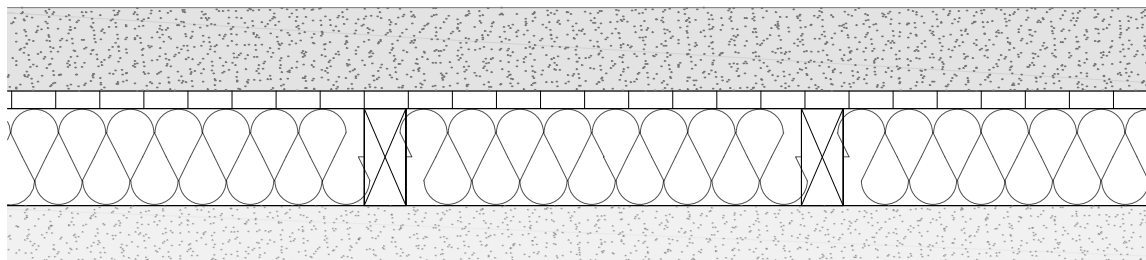


Abb.37. Grundaufbau des Holzlehmelementes. Leichtlehm, Holzkonstruktion mit Holzfaserdämmung, Vollholzschalung, Schwerlehm

Die Dämmebene im Kern wird mit 14 cm angenommen und mit einem Leichtlehmelement überdämmt. Leichtlehm, der mit Stroh-, Holz- oder mineralische Stoffen zugeschlagen wird, hat abhängig vom Raumgewicht unterschiedlich gute λ – Werte. Um das Ziel der Gleichstofflichkeit zu erreichen, wird Holz als

Zuschlag zum Lehm verwendet, um die Rohdichte des Lehms zu ändern. Was liegt näher, als Säge- und Hackreste, die im Holzbaubetrieb anfallen zu verwenden? Diese Zusätze verbessern zudem die Zugfestigkeit des Lehmes und verändern je nach Zusammensetzung die Rohdichte, den Wärmeleitwert, das Sorptions- und das Wärmespeichervermögen. Leichtlehm mit einem Raumgewicht von 300 kg/m³ ergibt nach DIN 4108 ein $\lambda=0,1$, während eine Erhöhung der Rohdichte auf 600 kg/m³ ein $\lambda = 0,17$ ergibt.

	Rohdichte kg/m ³	Wärmeleitzahl λ W/mK	Spezifische Wärme ² c kJ/kgK		Wärmespeicherzahl ² S kJ/m ³ K		Wärmeeindringzahl b kJ/m ² h ^{0,5} K i. M.	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl ³ μ -
			SLL	HLL	SLL	HLL		
Leichtlehm	300 ¹	0,1	1,3	-	400	-	12	2/5
	400 ¹	0,12	1,2	-	500	-	14	
	600	0,17	1,1	1,5	700	900	20	
	800	0,25	1,1	1,4	900	1100	28	3/5
	1000	0,35	1,1	1,3	1100	1300	37	
	1200	0,47	1,0	1,2	1200	1500	45	
Strohlehm	1400	0,59	1,0	1,1	1400		54	5/10
	1600	0,73	1,0		1600		65	
Massivlehm	1800	0,91	1,0		1800		77	
	2000	1,13	1,0		2000		90	
zum Vergleich: ⁴								
Schwerbeton	2400	2,1	1,0		2400		135	70/150
Vollziegel	1800	0,81	1,0		1800		72	5/10
Leichtziegel	800	0,33	1,0		800		31	5/10
Porenbeton	600	0,19	1,0		600		24	5/10
Nadelholz	600	0,13	2,1		1260		24	40
HWL-Platte	400	0,09	2,1		840		17	2/5
Mineralwolle	80	0,04	1,0		80		3	1

1 Leichtlehm einer Rohdichte < 600 kg/m³ ist nur mit fettem Lehm herstellbar
 2 SLL = Strohleichtlehm, HLL = Holzleichtlehm. Die spezifische Wärme von mineralischem Leichtlehm ist c = 1,0 kJ/kgK, die Wärmespeicherzahl S entspricht damit der Rohdichte
 3 Bei Berechnungen ist der ungünstigste Wert zu verwenden
 4 Rechenwerte nach DIN 4108

Abb. 38 Tabelle mit bauphysikalischen Werten bei unterschiedlichen Lehmzusammensetzungen im Vergleich zu herkömmlichen Baustoffen.

VOLHARD beschäftigt sich schon seit den 80er Jahren mit Holz und Leichtlehm, sein Standardwerk – Bauen mit Leichtlehm – ist bereits in seiner 7. Auflage erschienen. Er hat zahlreiche Untersuchungen und Analysen gemacht, die Grundlage für weitere Forschungen sein können und müssen. Der große Wert

dieses Buches liegt auch in einer übersichtlichen Zusammenstellung von Kennwerten für Lehm. Die Tabelle von VOLHARD (s. Abb.38) gibt einen Überblick, wie sich die bauphysikalischen Kennwerte in Abhängigkeit zur Rohdichte verändern und vergleicht diese mit herkömmlichen Baustoffen.

Diese Werte stellen die Basis für alle nachstehenden bauphysikalischen Berechnungen im Zusammenhang mit dem HolzLehmelement dar.

Für die innere Schale wird eine Rohdichte von 1200 kg/m^3 angenommen, da Lehm mit diesem Raumgewicht in der Literatur für einige bauphysikalische Funktionen den Erwartungen entsprechen kann. Dieser Baustoff wird im Folgenden als Lehm1200 bezeichnet.

1. Die Wärmespeicherzahl (S) bei Lehm1200 und Nadelholz ist gleich, und kann durch Zuschläge von Holz sogar noch verbessert werden.
2. Die Luftdichtheit ist bei Lehm1200 auf alle Fälle gewährleistet. Ab 900 kg/m^3 gilt laut Lehmbauregeln [vgl. DACHVERBAND Lehm] und der gängigen Fachliteratur [vgl. zb. MINKE; VOLHARD; SCHROEDER; RÖHLEN u.a.] ohne Nachweis die Luft- oder Winddichtheit als gesichert. Zudem sind auch Lehmelemente mit einer Rohdichte ab 300 kg/m^3 mit einem einlagigen Putz von mind. 15 mm luft- und winddicht.
3. Bis 1200 kg hat Lehm einen Dampfdiffusionswiderstand von $\mu = 3$ bis 5. Ab 1400 kg steigt dieser Wert auf $\mu = 5$ bis 10.
4. Bei einer Untersuchung der MFPA in Leipzig können Leichtlehme ab 1200 kg/m^3 je nach Zuschlag als nicht brennbar eingestuft werden, aber hier wäre ein empirischer Nachweis dringend erforderlich. Die erwähnte Untersuchung [vgl. VOLHARD, 2013, S 226] war leider nicht erhältlich, und kann daher nur theoretisch als Hypothese angenommen werden.
5. Lehm mit 10 cm Stärke und einem Raumgewicht von 1200 kg/m^3 erreicht als solitäres Bauteil schon ein $R_w = 44 \text{ dB}$ [vgl. VOLHARD, 2013, S. 230]. Für die Fa Claytec wurde von RÖHLEN / ZIEGERT ein Aufbau mit einer Lehmschüttung mit 1200 kg und Lehmbauplatten untersucht und geprüft. Eine Deckenfüllung mit 12 cm Stärke, einem Hohlraum von 8 cm und einer 2,5 cm starken Lehmbauplatte erreicht ein $R_w > 54 \text{ dB}$. Wenn man die Lehmbauplatte weglässt, wird immer noch ein $R_w < 47 \text{ dB}$ erreicht [vgl. RÖHLEN, 2010, S. 256]. Ein positiver Einfluss von Lehm1200 auf den Schallschutz kann also angenommen werden.

Der Aufbau des zu untersuchenden HolzLehmelementes wird wie folgt definiert:

Lehm1200 innen, Stärke noch offen,

Holzständerkonstruktion Fichte Vollholz 6x14 cm dazw.

Holzfaserdämmstoff (zb SteicoFlex) 14 cm,

Lehm300 oder Lehm600 als Wärmedämmung außen, Stärke noch offen.

8.4.1. Wärmeschutz

	Wärmeleitwert	Stärke in cm	Stärke in cm	Stärke in cm	Stärke in cm	Stärke in cm	Stärke in cm	Stärke in cm
Lehm 1200	$\lambda=0,47$	12	10	12	12	12	12	12
Holzfaserdämmung 20 % Holzanteil	$\lambda=0,042$	14	14	16	18	14	16	18
Lehm 600	$\lambda=0,17$	8	8	8	8			
Lehm 300	$\lambda=0,1$					8	8	8
U Wert W/m ² K		0,29	0,30	0,27	0,24	0,25	0,23	0,21

Tab. 3: Verhältnis von U – Werten zu Raumgewicht und Schichtstärke

Während die Zusammensetzung des äußeren Lehmelementes den Wärmeschutz bestimmt, wird das innere Element Lehm1200 durch die Wärmespeicherkapazität bestimmt:

Stärke Lehm1200	5	6	8	10	12	14	16
Speichermasse m_{wbA} (kg/m ²) ohne Putz	79,2	84,9	91,9	93,8	92,8	90,5	< 90
Speichermasse m_{wbA} (kg/m ²) mit Lehmputz Innen (1700 kg/m ³)	106,5	109,8	112,5	111,5	108,9	106,1	< 105

Tab. 4: Speichermassenberechnung des gesamten Bauteiles ohne und mit Putz. (s. Tab. 4 fett)

In einer Berechnungsreihe in ein bis zwei cm Schritten von 5 bis 18 cm zeigt sich bei 10 cm ein Höchstwert, der ab 12 cm interessanterweise wieder abfällt. Grund dürfte sein, dass auch die Holzfaserdämmstoffe eine gute Wärmespeicherkapazität haben, und diese abnimmt, je mehr der Abstand der Holzfaserdämmung von der inneren Lehmoberfläche zunimmt.

Mit einem Lehmputz innen lässt sich die Speicherkapazität nochmals stark verbessern.(s. Tab. 4)

Wenn man nur den inneren Bauteil Lehm1200 ohne die gedämmte Rahmenkonstruktion untersucht, findet man den entsprechenden Beweis (s. Tab. 5) Es ist bei diesem Vergleich auch ersichtlich, wie bedeutend die Holzfaserdämmung für die Wärmespeicherkapazität ist. Die Entscheidung für diesen Dämmstoff ist also nicht nur in Bezug auf Einstofflichkeit, sondern auch bauphysikalisch sinnvoll.

Nur Lehm1200 Stärke in cm ohne Wandaufbau	5	6	8	10	12	14
Speichermasse m_{wbA} (kg/m ²)	28,6	34,3	45,5	56,38	66,5	75,6

Tab. 5: Vergleich der wirksamen Speichermasse bei solitärer Betrachtung des LehmInnenelementes ohne Wandaufbau

Wenn man nur die innere Lehmschicht betrachtet, hat diese bei 12 cm Stärke ein m_{wbA} von 66,5 kg/m², während der ganze Wandaufbau mit 14 cm Holzfaserdämmung und Holzkonstruktion ein m_{wbA} von 92,8 kg/m² erreicht

Die äußere Leichtlehmschale hat dagegen bei gleichbleibendem LehmInnenelement keinen signifikanten Einfluss mehr auf die gesamte Speichermasse des Bauteiles.

Aufbau mit Lehm außen Raumgewicht in kg/m ³	300	600	900*	300	600	900*
Holzfaserdämmung in cm	14	14	14	16	16	16
Speichermasse m_{wbA} (kg/m ²)	92,8	92,9	93,1	92,6	92,7	93,1

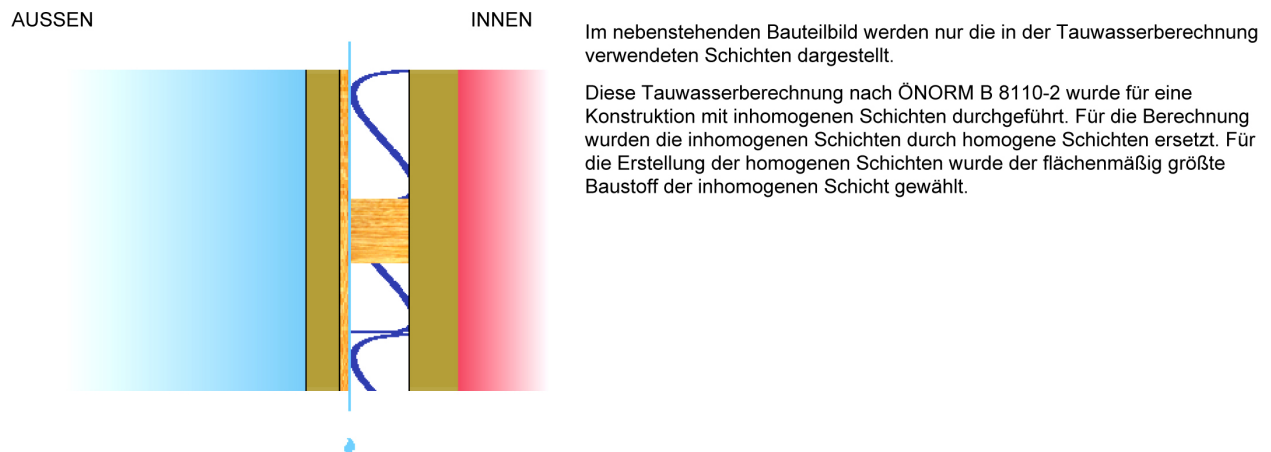
Tab. 6: Vergleich der wirksamen Speichermasse durch Veränderung der äußeren Lehmschicht. * Lehm900 außen bewirkt Kondensat im Bauteil.

Der Aufbau des HolzLehmlementes stellt sich wie folgt dar:

	Stärke in cm	Wärmeleitwert	U - Wert
Lehm 1200	12	$\lambda=0,47$	
Schalung Fichte GH 12	2,5	$\lambda=0,12$	
Holzfaserdämmung	14	$\lambda=0,042$	
20 % Vollholzbalken Fichte GH 12		$\lambda=0,12$	
Lehm 300	8	$\lambda=0,1$	
			0,25 W/m²K

Tab. 7: Wandaufbau des HolzLehmelementes

Eine Außenschale, die auch nach KOLB nicht empfohlen wird, wäre auch aus bauphysikalischer Sicht nicht möglich, da die bauphysikalische Berechnung Gefahr von Tauwasser im Bauteilquerschnitt ergibt.



Bezeichnung	Dicke [m]	lambda [W/(mK)]	mue [-]	sd [m]	R [m²K/W]
<input checked="" type="checkbox"/> 2) Leichtlehm 300	0,080	0,100	5,00	0,40	0,80
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Schalung Fichte GH 12	0,025	0,120	50,00	1,25	0,21
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Ersatz für Inhomogene-Schicht STEICO Flex 042	0,140	0,042	1,00	0,14	-
<input checked="" type="checkbox"/> 2) Lehm 1200	0,120	0,470	5,00	0,60	0,26

wird in der Tauwasserberechnung berücksichtigt

- 1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!
- 2) Für diese Baustoffe wurden die ECOTECH-Baustoffdaten vom Benutzer individuell abgeändert!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,25 m²K/W

Berechnet mit ECOTECH Software, Version 3.3. Ein Produkt der BuildDesk Österreich GmbH; Snr: ECT-20101213XXXH957266

Abb. 39 Tauwasserberechnung nach Önorm B 8110-2 ergibt Tauwasserbefall im Inneren der äußeren Verschalung.

* berechnet vom TB Leiler, Wien

8.4.2. Luftdichtigkeit und Dampfbremse

Lehm1200 erfüllt beide Funktionen. Lehm ist als Baustoff dampfdiffusionsoffen, Lehm1200 hat ein $s_d(m)$ von 0,60, der außen liegende Lehm300 mit $s_d(m)$ von 0,40. Die Abnahme des Dampfdiffusionswiderstandes von innen nach außen ist mit diesem Aufbau also gewährleistet.

Die Luftdichtigkeit von Lehm ist ab einem Raumgewicht von 900 kg/m^3 nach den deutschen Lehmbauregeln als gesichert anzunehmen (s. Kap. 6.5. Tab2, S. 48). Das betrifft nur die Fläche des Bauteiles, die Anschlüsse und Stöße werden später gesondert beschrieben.

8.4.3. Winddichtigkeit

Die Winddichtigkeit würde für ein Bauteil mit einem Raumgewicht von 900 kg ohne weiteren Nachweis als gesichert gelten (s. Kap. 6.5. Tab2, S. 48).

Lehm600 und Lehm300 scheinen in der gängigen Fachliteratur dagegen nicht als winddicht auf. Für diese lockere Dichte sind zusätzliche Ebenen nötig, wie zB. ein einlagiger Lehmputz mit einer Stärke von 15 mm, der ein Armierungsgewebe aus Glasfaser oder auch aus Flachs mit eingelegt hat. Wenn ein Gebäude aus architektonischen Gründen außen vollflächig verputzt werden soll, ist die Frage der Winddichtigkeit damit beantwortet.

Anders liegt der Fall, wenn außen eine hinterlüftete Holzfassade angebracht werden soll. Dann muss die äußere Lehmschicht diese Funktion übernehmen können. Lehm300 und Lehm600 sind dafür nicht dicht genug, deshalb muss eine zusätzliche Schicht angebracht werden. Am einfachsten wäre ein Windpapier als äußerste Schicht unter der Außenverkleidung zu verwenden. VOLHARD gibt aber in seinem Standardwerk „Bauen mit Leichtlehm“ an, dass ein „...einfacher Lehmverstrich den Zweck besser erfüllt als ein Windpapier...“ [vgl. VOLHARD, 2013, S. 164]. Dieser Lehmverstrich wird bereits werkseitig aufgebracht, und macht das Element in der Fläche winddicht. Die Anschlussfugen bedürfen einer speziellen Behandlung und werden im Kap 8.6.2. gesondert beschrieben. Dieser Lehmverstrich, dessen Zusammensetzung bei VOLHARD nicht genauer spezifiziert ist, wurde in einem seiner Projekte im Jahre 1983 [vgl. VOLHARD, 2013, S. 238] bereits ausgeführt. Es gibt also einen Langzeitversuch, der belegt, dass ein einfacher Lehmverstrich bereits winddicht sein kann.



Abb. 40. Links: Lehmverstrich mit einem Pinsel aufgetragen. Rechts: Lehmverstrich maschinell aufgetragen.

Lehm300 und Lehm600 sind ohne weitere Behandlung nicht winddicht. Ein zusätzlicher Lehmverstrich übernimmt diese Funktion und muss eventuell mit einem Flachsvlies armiert sein.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei einer losgelösten Betrachtung nur des HolzLehmelements die Erwartung, dass Lehm einstofflich die im Holzrahmenbau notwendigen Schichten übernehmen kann, erfüllt ist.

8.4.4. Raumklima

Die Verbesserung des Raumklimas wird durch das massive Innenelement bewirkt. Dieses regelt in erster Linie die Luftfeuchtigkeit im Raum, und hält diese konstant bei verträglichen 40 bis 50%, und kann dadurch unter anderem dazu beitragen, die Anfälligkeit der BewohnerInnen für Infektionskrankheiten und Allergien zu verringern.

Weiters wird die Raumluft durch die Verwendung von chemiefreien Produkten von VOCs, Formaldehyd, Isoyanaten und anderen für den Menschen schwer verträglichen Emissionen reingehalten.

Die hohe Wärmespeicherfähigkeit von Lehm1200, aber auch die Abgabe in Form von Strahlungswärme führt zu einer höheren Behaglichkeit für den Nutzer.

Wissenschaftlich erwiesen (s. Kap. 6.6.) ist zudem, dass Lehm elektromagnetische Immissionen verringern kann.

Damit kann auch die Erwartung der raumklimatischen und ökologischen Überlegenheit des HolzLehmelements im Vergleich zur herkömmlichen Holzrahmenkonstruktionen angenommen werden.

8.4.5. Brandschutz

Was den Brandschutz des einzelnen HolzLehmelementes betrifft, lassen sich keine genauen Angaben zur Brandwiderstandsdauer geben, da es einen entsprechenden Brandversuch mit diesem neu entwickelten Bauteil natürlich noch nicht gibt. Allerdings ist in der Literatur und in diversen Brandexperimenten nachgewiesen, daß Lehm mit 1200 kg/m^3 zumindest als sehr schwer entflammbar (B1 nach Din 4102), bis hin zu nicht brennbar (A 1 nach Din 4102), einzustufen ist. Eine Brandqualifikation für das gesamte Bauteil von REI30 bis REI60 ist daher auf alle Fälle zu erwarten. Der Umstand, dass die tragende Holzkonstruktion 12 cm hinter der beflammbaren Oberfläche aus schwerem Lehm liegt, lässt auch eine Vermutung auf REI90 als gerechtfertigt erscheinen.

Jede in der OIB beschriebene Brandschutzwiderstandsdauer kann das HolzLehmelement nicht nachweisen, da die entsprechenden Tests und Prüfungen noch nicht existieren.

Die Tauglichkeit des HolzLehmelementes für den Flachbau mit REI30 und maximal REI60 läßt sich jedoch aufgrund der Brandqualifikation von Lehm 1200 (A1, A2 und mind. B1) sehr wohl vermuten.

Die Brandmauern, die einen Nachweis für nicht brennbare Materialien benötigen, können diesen mit zusätzlichem, nicht brennbarem Lehmputz (ca 1700 kg/m^3) erfüllen. Der Ausblick zeigt eindeutig, dass dringend Brandversuche größeren Stils gemacht werden müssten, damit Lehm auch hier seine derzeit noch verborgenen Stärken ausspielen kann.

Zusammenfassung:

Bis auf die Brandqualifikation, die nicht gesichert definiert werden kann, können alle anderen erforderlichen bauphysikalischen Funktionen von dem neuen HolzLehmelement übernommen werden. Überlegen ist diese Bauweise gegenüber der herkömmlichen in baubiologischer und ökologischer Hinsicht. Auch was die Behaglichkeit für den Nutzer betrifft, kann das HolzLehmelement einen deutlichen Mehrwert gegenüber herkömmlichen Holzrahmenelementem leisten.

8.5. Dimension und Aufbau des HolzLehmelementes

Lehm300 mit einem Raumgewicht von 300 kg/m^3 (wahlweise 600 kg oder 900 kg) – außen 8 cm

Holzständerkonstruktion mit Holzfaserdämmung (Stärke je nach Anforderung variabel) 14 cm

aussteifende Holzdiagonalschalung

2,4 cm

Lehm1200 mit Raumgewicht von 1200 kg/m³ - innen.

12 cm

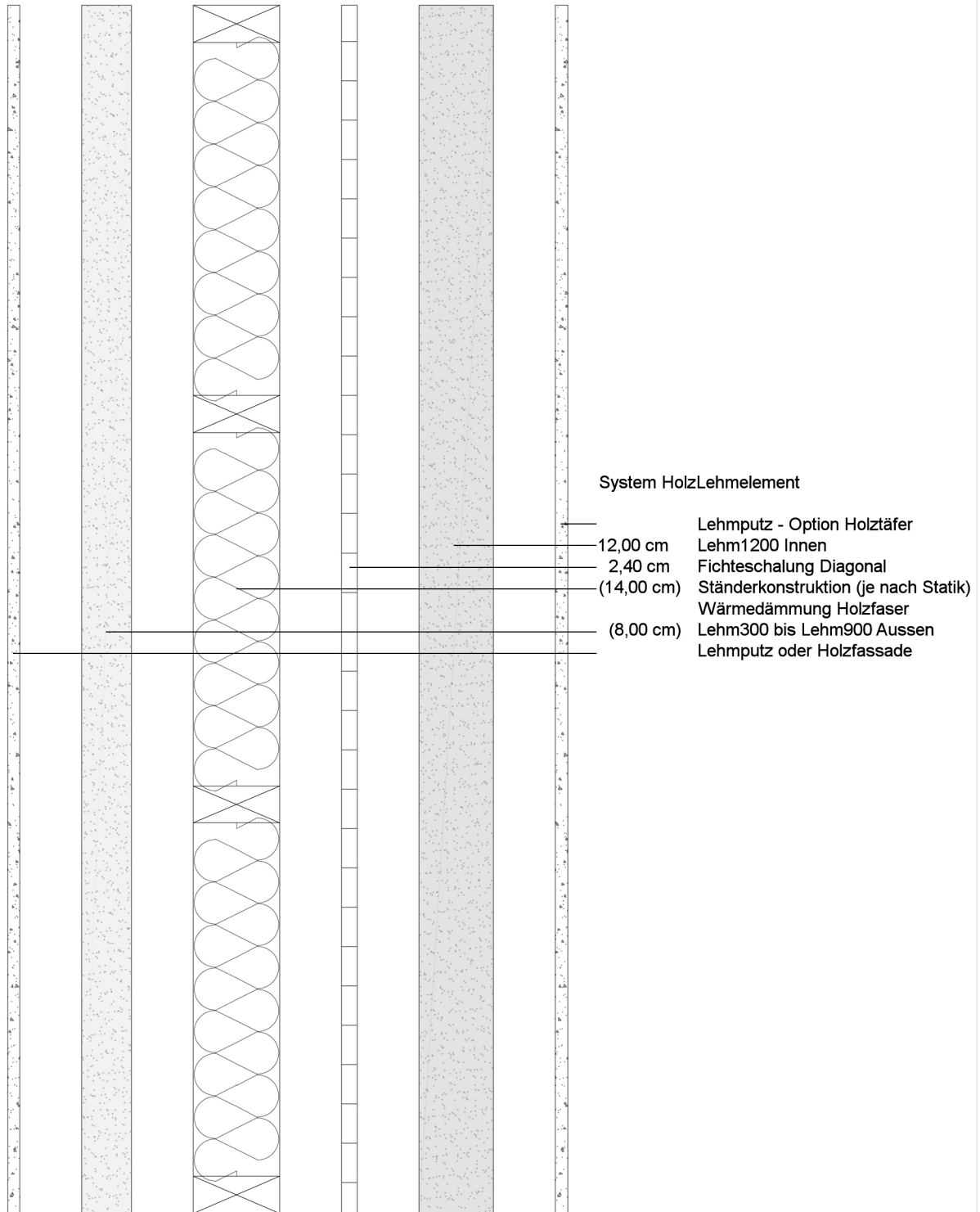


Abb. 41 Schichtenaufbau des HolzLehmelementes

8.6. Das HolzLehmbausystem

Die einzelnen HolzLehmelemente sollen werkseitig vorgefertigt und als Fertigteile auf der Baustelle versetzt werden. Fertigteil heißt in dem Zusammenhang nicht, dass ein starres System erstellt wird, sondern nur dass frei gestaltbare Rahmenelemente im Werk vorgefertigt werden. Breite, Höhe und Form sind frei wählbar. Durch das „Gießen“ von Lehm in eine Schalung könnten auch freie oder runde Formen geschaffen werden. Einzige Einschränkung kann ein Gewichtslimit beim Transport sein.

Die Elementierung berücksichtigt im vorliegenden Fall händel- und transportierbare Einheiten. Elemente mit 2 x 3 m Größe lassen sich mit einem Standard LKW transportieren und mit einem LKW-Kran versetzen.

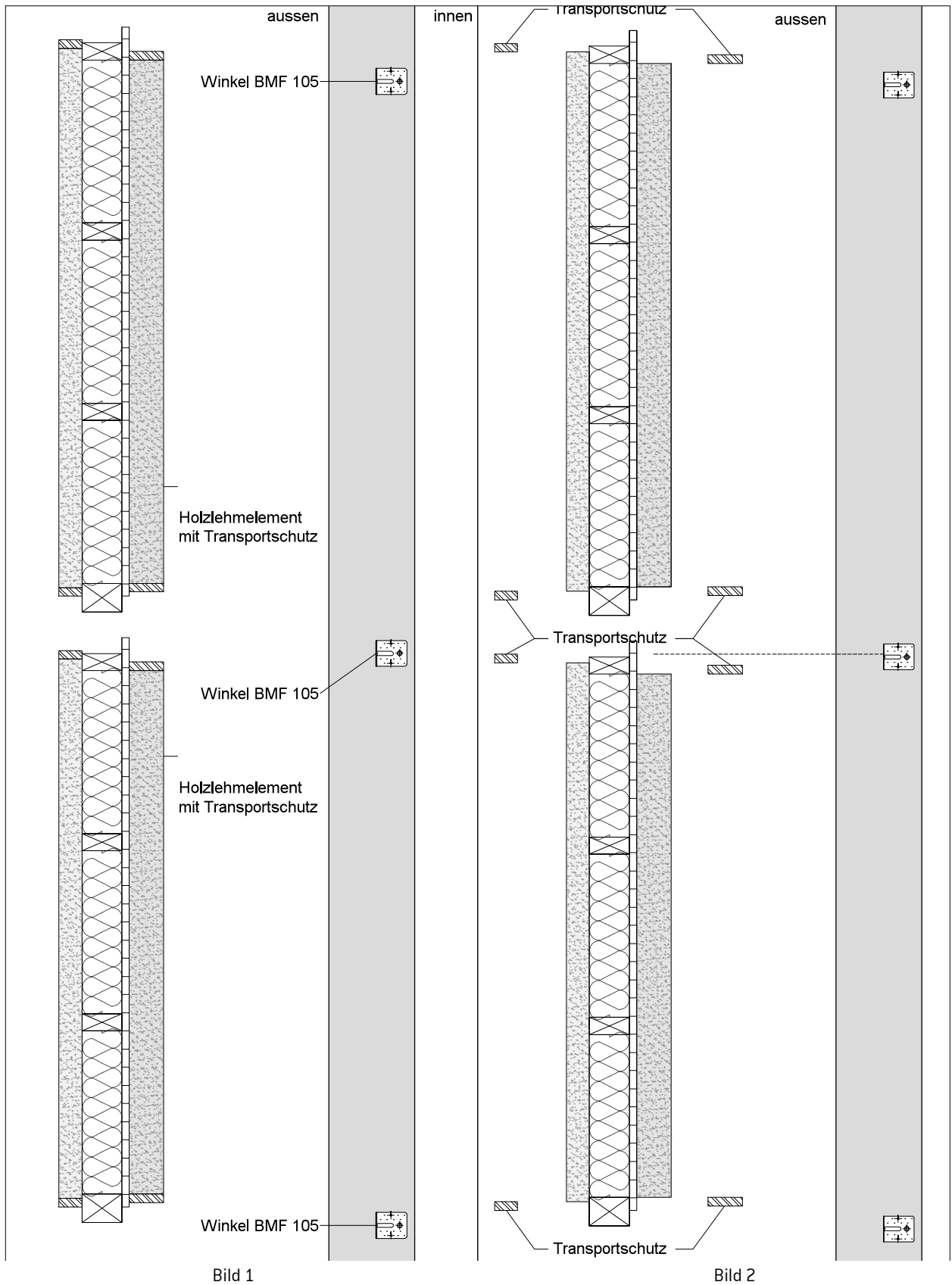
Das HolzLehmelement (s. Tab.3, fett) hat ein Gewicht von 205 kg/m².

Der Zusammenbau erfolgt auf bauseitig errichteten Fundamenten, auf die Stahlwinkel vormontiert werden, die die Position der Wände bestimmen. Um den Einsatz dieser Winkel zu minimieren, gibt es nur jeweils am Elementstoß einen Standardwinkel (BMF 105), an dem die Elemente ausgerichtet und angeschraubt werden. Die Diagonalschalung überlappt derart, dass die Elemente in diesem Stoß der Norm entsprechend genagelt werden können. Aus statischen Gründen ist ein Steher für diese Anforderung stärker ausgebildet und erhält eine Dimension von 10 x 14 cm, statt der sonst eingesetzten 6 x 14 cm (Kap. 8.2. Abb. 36, S. 57). Die einzelnen Elemente müssen, wie im klassischen Holzrahmenbau, gegen Kippen gesichert werden, bis die Decke montiert ist.

Am Elementstoß ist der Lehm entsprechend ausgenommen, um die Elemente verbinden, bzw. um später die wind- und luftdichten Schlusselemente einsetzen zu können.

8.6.1. Montageablauf von HolzLehmbauelementen

In den folgenden Grafiken (s. Bild 1 bis Bild 5) wird der Montageablauf der neuen HolzLehmelemente beschrieben und grafisch dargestellt.



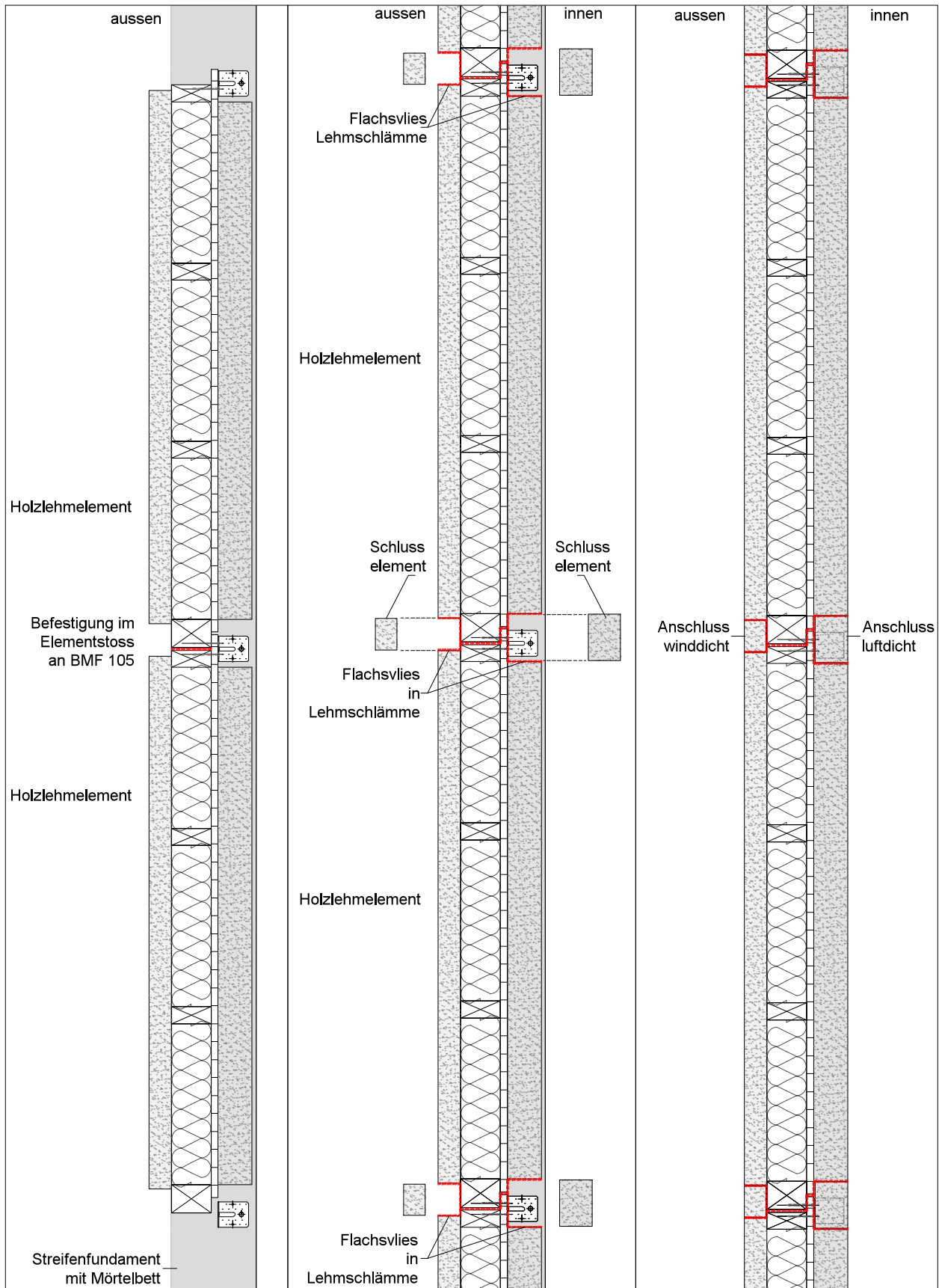


Bild 3

Bild 4

Bild 5

Bild 1: Die Winkel werden am Streifenfundament befestigt und die HolzLehmelemente werden mit Transportschutz an den Ecken auf die Baustelle geliefert.

Bild 2: Auf dem Streifenfundament ist ein glattgestrichenes Mörtelbett vorbereitet. Der Transportschutz wird entfernt und das Element an den Winkeln eingerichtet.

Bild 3: Die HolzLehmelemente werden an den Winkeln befestigt, und am Elementstoß werden die Diagonalschalungen mit den benachbarten Stehern kraftschlüssig vernagelt oder verklammert.

Bild 4: In die Ausnehmung am Elementstoß wird Lehmschlämme eingestrichen und ein Flachsvlies eingedrückt. Darüber wird eine weitere Lage Schlämme gestrichen. Das Armierungsvlies aus Flachs verhindert Rissbildung.

Bild 5: In die geschlammte Fuge werden vorgefertigte Schlusselemente mit der gleichen Rohdichte wie das jeweilige Lehmelement gedrückt. Die Schlusselemente werden mit Lehm eingemörtelt und eingepresst bzw. außen glatt verstrichen. Das Element ist nun innen und außen dicht.

8.6.2. HolzLehm Grundelement

Das Grundelement hat in dem untersuchten Beispiel eine Größe von ca 2 x 3 m (siehe Bild 6). Das Element hat ein Gesamtgewicht von ca 1200 kg. Ein vorgefertigtes Stampflehmelement bei gleicher Wandstärke (35 cm) und Größe (6 m²) hätte zum Vergleich zwischen 4600 kg bis 5000 kg, und wäre in der Herstellung, beim Transport und auch bei der Montage nur mit aufwändigem Gerät zu handhaben. Gleichzeitig könnte dieses Element in Stampflehm aber auch den erforderlichen Wärmeschutz nicht leisten und müsste zusätzlich gedämmt werden, was die Wandstärke weiter aufblähen würde.

Der Vorteil der hier entwickelten Bauweise ist die Kombination des leichten Holzbaus mit einer massiven Bauweise. Sie stellt sozusagen ein Hybrid beider Systeme dar. Einfachheit und Variabilität in der Konstruktion mit einem extrem hohen Vorfertigungsgrad wird gepaart mit wärmespeichernden und daher massiven Elementen, die üblicherweise einen geringeren Vorfertigungsgrad haben.

In dem sehr umfangreichen Bauteilkatalog von DATAHOLZ [vgl. DATAHOLZ, 2013] werden relevante bauphysikalischen Kennwerte von unterschiedlichen Bauteilen angeführt. Ein Vergleich der speicherwirk-

samen Massen von Holzrahmenelementen, Holzmassivelementen, Ziegelmauerwerk und dem neuen HolzLehmelement zeigt die Stärke dieser neuen Mischbauweise.

Bauteil	Speichermasse m_{wbA} (kg/m ²) ohne Innenputz	Speichermasse m_{wbA} (kg/m ²) mit Lehmputz 1700 kg/m ²	U-Wert W/m ² K	Quelle
Holzrahmenelement mit Vollholzschalung, 35 cm	28,7	65,8	0,22	dataholz
Holzmassivelement mit BSP, 34 cm	46,4	74,1	0,21	dataholz
HolzLehmelement, 36,5 cm	92,8	108,9	0,25	TB Leiler*
Lehmputz ,Porothermziegel 25-38, EPS, 39 cm	66,2	77,7	0,24	TB Leiler*
Thoma Holz100 ohne Außendämmung, 36,5 cm	31,4	60,6	0,20	TB Leiler*
Vollziegelmauerwerk 1600, 49 cm	115,7	123,5	1,16	TB Leiler*

Tab. 8: Vergleich der Speichermassen von unterschiedlichen Bausystemen. * Berechnung nach Önorm b 8110-3 siehe Anhang.

Es zeigt sich, dass das HolzLehmelement auch deutlich bessere Werte als Porothermziegel mit ähnlichem U Wert hat, und nur knapp hinter dem Vollziegel ohne Dämmung liegt.

Eine deutliche Verbesserung aller Bauteile lässt sich übrigens mit 2 cm Lehmputz erzielen (s. Tab. 8)

Welche Vorteile bringt eine große Speichermasse?

In erster Linie werden große Luftfeuchtigkeits- und Temperaturschwankungen verhindert.

Sowohl große Unterschiede in der Luft- und der Oberflächentemperatur, als auch Temperaturunterschiede im Raum können durch Bauteile mit großer Speichermasse gut abgefedert werden, und führen so zu einem behaglichen Raumklima.

Das gilt auch für die Luftfeuchtigkeit, die Lehm auf einem für den Menschen gut verträglichen und gesunden Niveau (40 – 50 %) halten kann.

Schwere Bauteile können überschüssige Wärme aus der Raumluft aufnehmen und diese speichern. Sobald es kälter wird, strahlen die warmen Wände und Decken die Wärme wieder ab, oder umgekehrt können Speicherwände die kühle Nachtluft phasenverschoben untertags wieder abgeben, und so die Räume länger kühl halten.

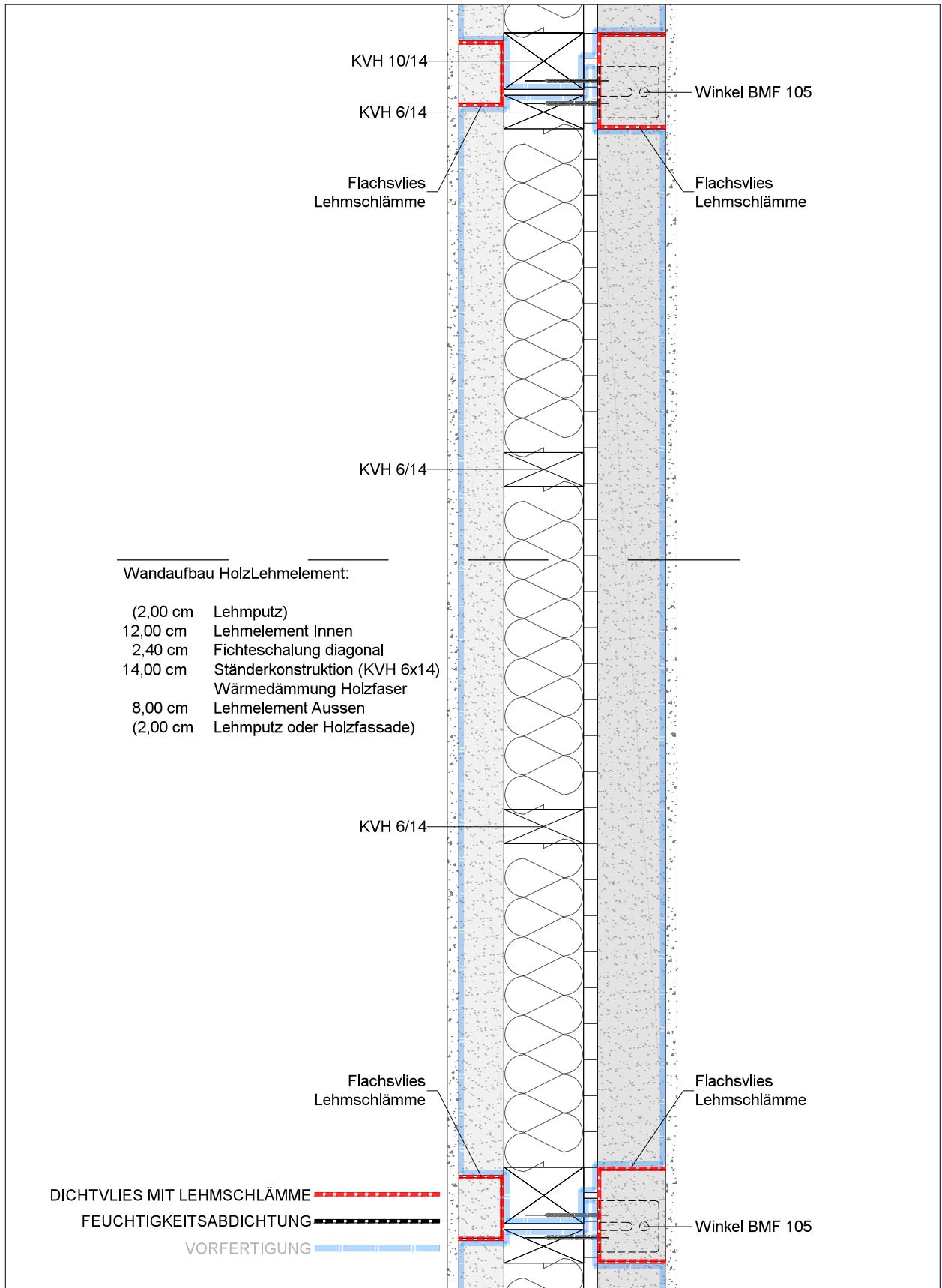


Bild 6. M 1 : 10

8.6.3. HolzLehmelement Eckanschluss

Das folgende Bild 7 zeigt das Regeldetail einer Eckausführung. Das in der Skizze rechts liegende Element wird zuerst am Stahlwinkel (BMF105) ausgerichtet und befestigt. An diesem Element befindet sich der letzte Steher 12x14 cm (anstatt KVH 6 x 14 cm) genau in der Flucht des inneren Lehmelementes und dient der Verschraubung mit dem um 90 Grad verdrehten Eckelement. Dieses erhält als Abschlußsteher ein KVH mit 10x14 cm, um einen entsprechenden Querschnitt für die kraftschlüssige Eckverbindung mit 8mm Holzbauschrauben zu gewährleisten. Anschließend wird außen wie bereits weiter oben beschrieben, eine Lehmschlämme mit Flachsvlies für die Winddichtigkeit angebracht, und die Ecke mit einem vorgefertigten Lehm300 EckSchlusselement im Lehmmörtelbett geschlossen.

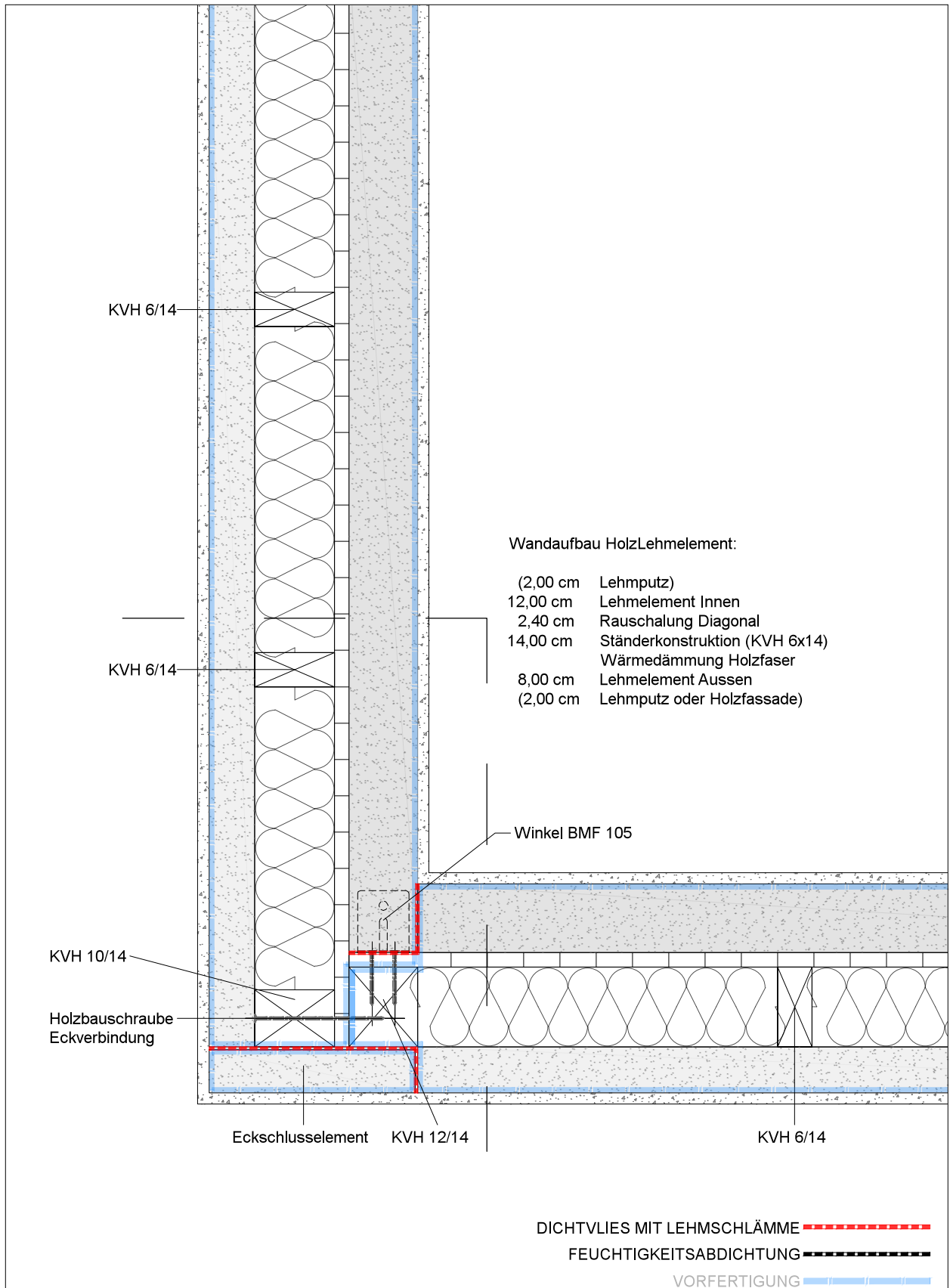


Bild 7. M 1 : 10.

8.6.4. Fensteranschluss

Bild 8 stellt ein Regeldetail eines Fenster- bzw. Terrassentüranschlusses dar. Das Fenster wird mit Einbauluft an der Holzkonstruktion des HolzLehmelementes angeschlossen. Mit Flachsvlies in Lehm-schlämme werden die dichten Anschlüsse an den Holzfensterstock ausgeführt.

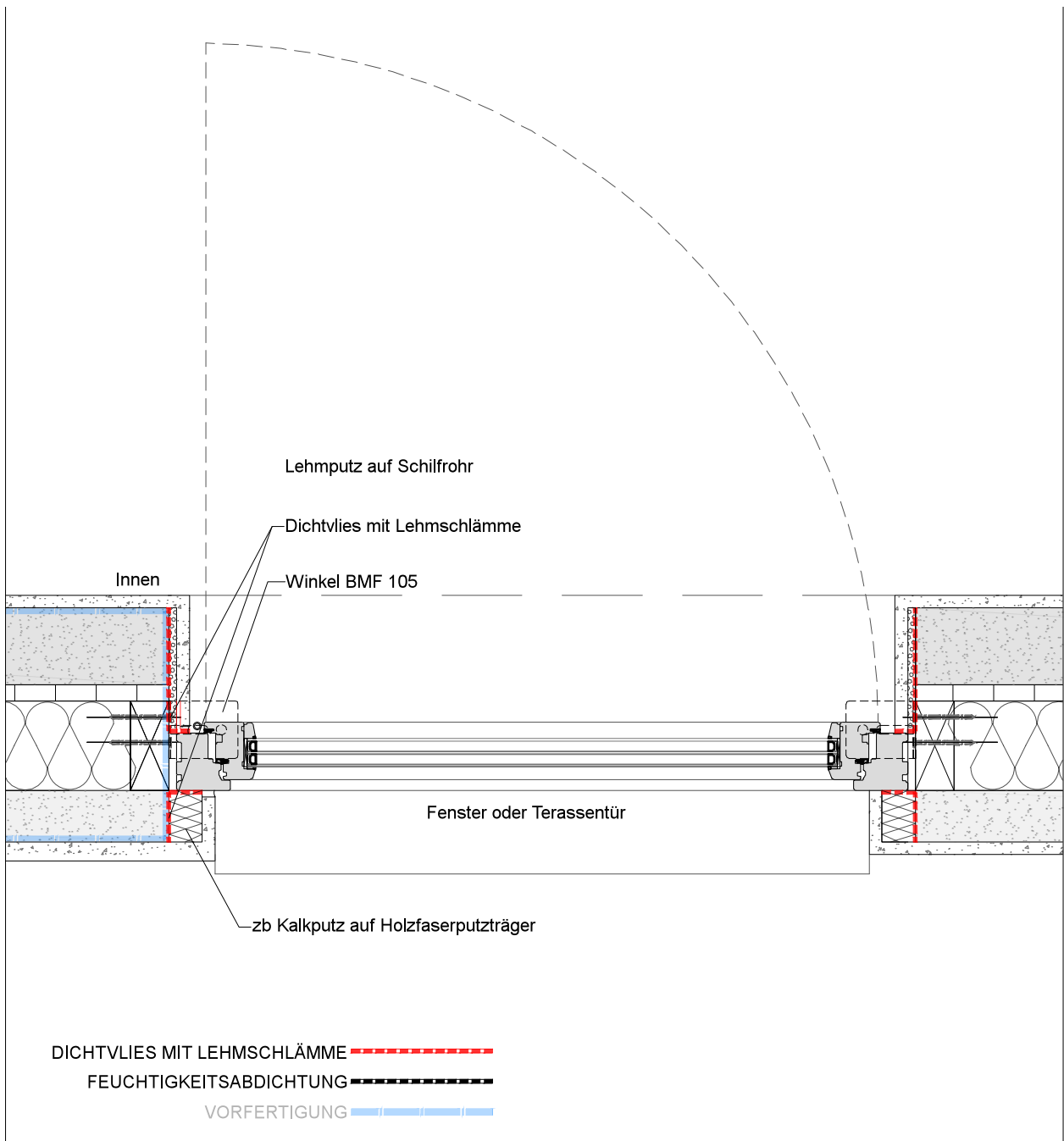


Bild 8. M 1 : 10

Innen wird ein Schilfstukaturrohr als Putzträger für den Lehmputz angebracht, während außen ein schwerer Holzfaserdämmstreifen, der überputzbar ist, die Fuge zwischen Rahmen und Putz überbrückt. Statt mit Außenputz, lässt sich dieses Detail auch mit einer hinterlüfteten Holzfassade lösen. Das Holz-Lehmbausystem ist nicht auf Putz außen beschränkt, soll bewusst alle architektonischen Entscheidungsmöglichkeiten offen lassen.

8.6.5. Sockelanschluss

Wie in Bild 9 zu erkennen ist, werden aus dem klassischen Holzrahmenbau bekannte Sockeldetails verwendet. Es besteht bei der Entwicklung dieses System die Absicht, so viele praxiserprobte Details des herkömmlichen Holzrahmenbaus wie möglich einzugliedern. Im Spritzwasserbereich kann jedes taugliche Plattenmaterial oder entsprechender Putz verwendet werden. An diesen schließt der äußere Kalkputz an. Wenn eine Holzfassade gewünscht ist, sollten standardisierte und geprüfte Sockeldetails verwendet werden. Das äussere Lehmelement muss vor Feuchte- und Nässeintritt gut geschützt sein.

Da die außenliegende Feuchtigkeitsisolierung dampfdicht macht, muss auch innen im Fußbodenbereich bis 10 cm über der äußeren Feuchtigkeitsisolierung eine Dampfsperre angebracht werden.

Der Fußbodenaufbau ist abhängig von der Bodenbeschaffenheit. Im besten Fall, wenn es einen entsprechend festen Untergrund gibt, und kein drückendes Wasser von unten zu erwarten ist, genügt Schaumglasschotter zwischen den Streifenfundamenten. Eine Bodenplatte würde nur dann nötig, wenn eine der vorgenannten Bedingungen nicht zutrifft. Selbstverständlich lässt sich das System auf Keller baugleich anwenden, wie auch herkömmliche Holzrahmensysteme. Die entsprechenden Sockeldetails können von dort übernommen werden.

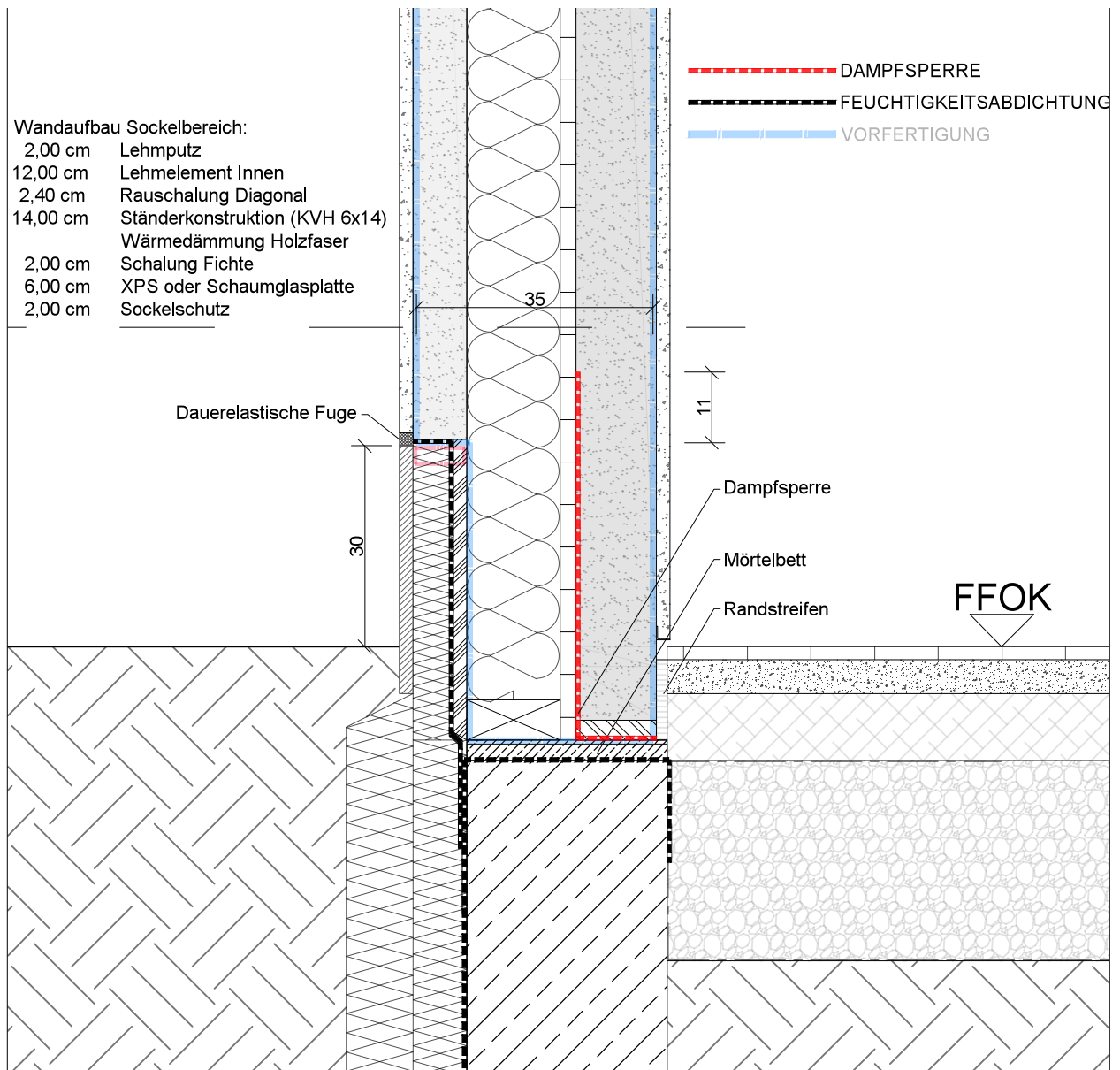


Bild 9. M 1 : 10.

8.6.6. Anschluss Geschossdecke

Der Übergang Wand zu Decke (Bild 10) ist besonders heikel im Hinblick auf die Luftdichtigkeit. Laut KOLB ist darauf zu achten, dass die Luftdichtung fugenlos unter und neben der Decke durchgeht, es sollte auf keinen Fall zu einer Durchdringung kommen. Im vorliegenden Fall wird nach der Montage des

Geschosselementes ein Vlies in Lehmschlämme aufgebracht und umgeschlagen. Nach der Montage des Deckenelementes wird das umgeschlagene Ende wieder in Lehmschlämme gedrückt und das nächste Geschoss-element aufgesetzt. Von außen wird in der Ebene der Decke zusätzlich noch ein Streifen

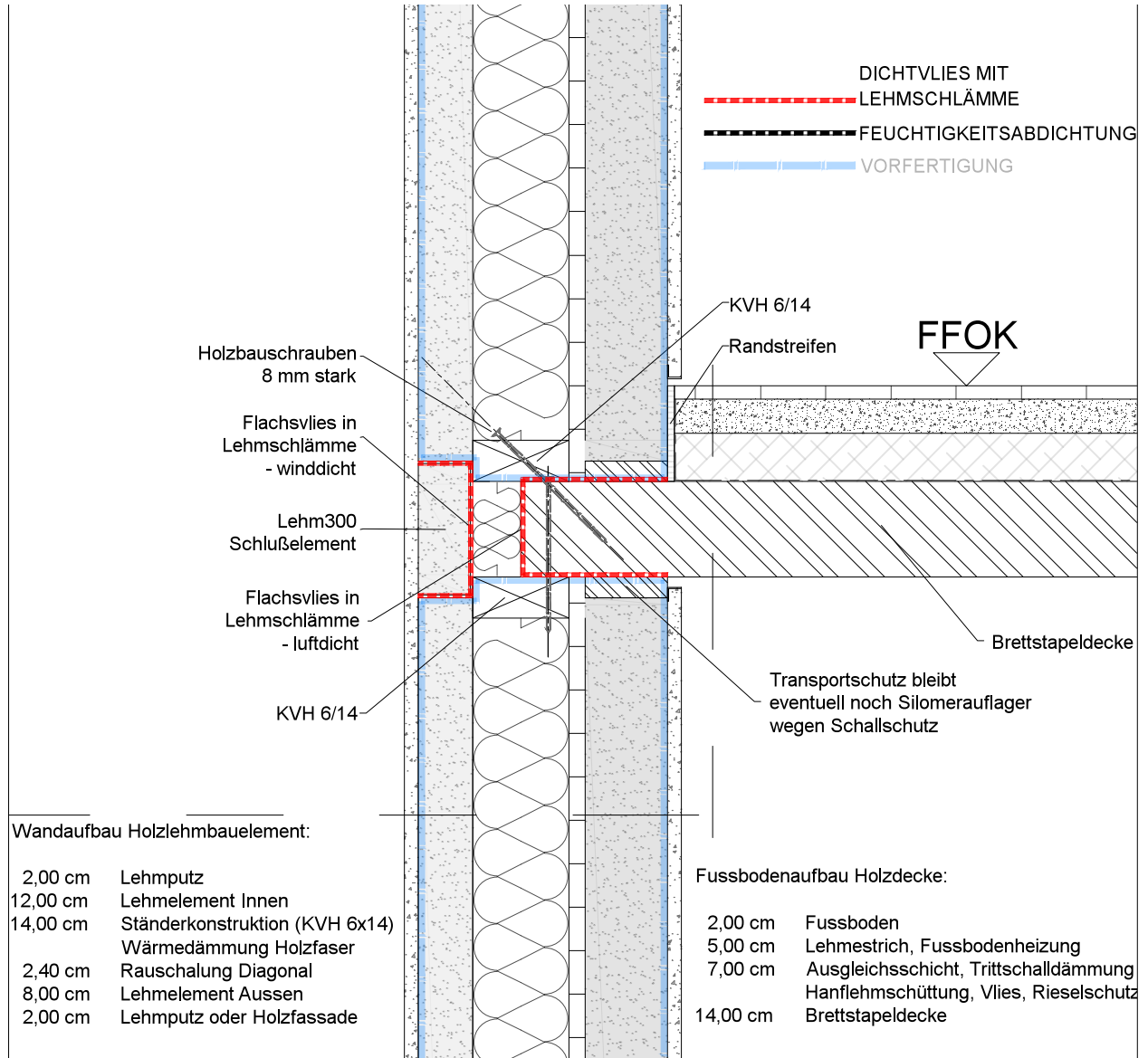


Bild 10. M 1 : 10

dichter Holzfaserdämmstoff in die Schlämme gedrückt, um eine Überdämmung der Deckenstirnseite zu erreichen. Auf diese wird dann die äußere Schlämme gestrichen, das Flachsvlies eingedrückt, und das

vorgefertigte Schlusselement in den Lehmörtel eingedrückt, und außen glatt abgestrichen. Die Elementstöße sind damit luft- und winddicht.

Die Prognose, dass auch die Anschlussstellen in der gleichen einstofflichen Art so gelöst werden können, dass sie luft- und winddicht sind, hat sich erfüllt.

Die dafür benötigten Baustoffe sind ausschließlich Holz, Lehm und Flachs. Es werden keine weiteren Materialien benötigt. Der Kreislauf ausschließlich natürlicher Baustoffe ist gewährleistet, und der Einsatz von chemiegebundenen Produkten ist nicht erforderlich.

8.6.7. Flachdachanschluss

Bild 11 stellt einen Flachdachanschluss mit Attika dar. Die Attikaelemente sind vorgefertigt und werden auf die Holzdecke montiert.

Das äußere Schlusselement hat stets die gleiche Dimension und Abmessung, und kann deshalb ähnlich einem Strangpressprofil beliebig abgelängt und eingesetzt werden.

Jeder beliebige Aufbau eines Flachdaches ist mit diesem System möglich. Hier wird ein Gründachaufbau dargestellt.

Weiters ist in Bild 11 ein Fenstersturz dargestellt, der auch als eigenes Element vorgefertigt ist und mittels Schwalbenschwanzverbindungen in die seitlichen Steher der Wandelemente eingehängt wird.

Wenn eine raumhohe Tür ohne Sturz gewünscht wäre, käme beim Attikaelement anstatt einer Holzriegelkonstruktion eine gedübelte Brettstapelwand zur Ausführung, die oben auf die Decke aufgesetzt und von unten mit dieser verschraubt wird. Auch diese Variante der Attika ist vorgefertigt.

Entwicklung eines HolzLehmbausystems als Holzrahmenbau mit vorgefertigten Lehmelementen

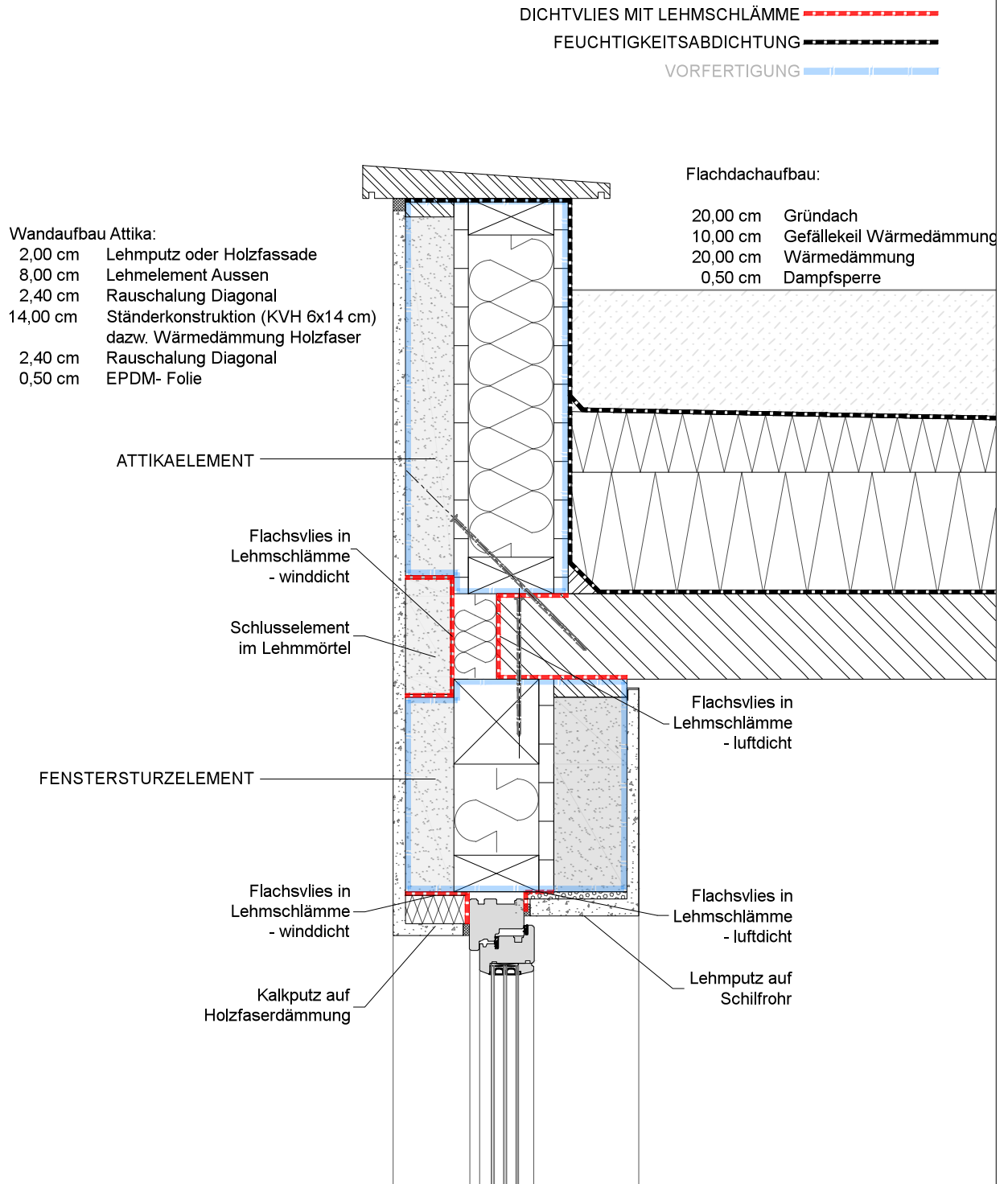


Bild 11. M 1 : 10.

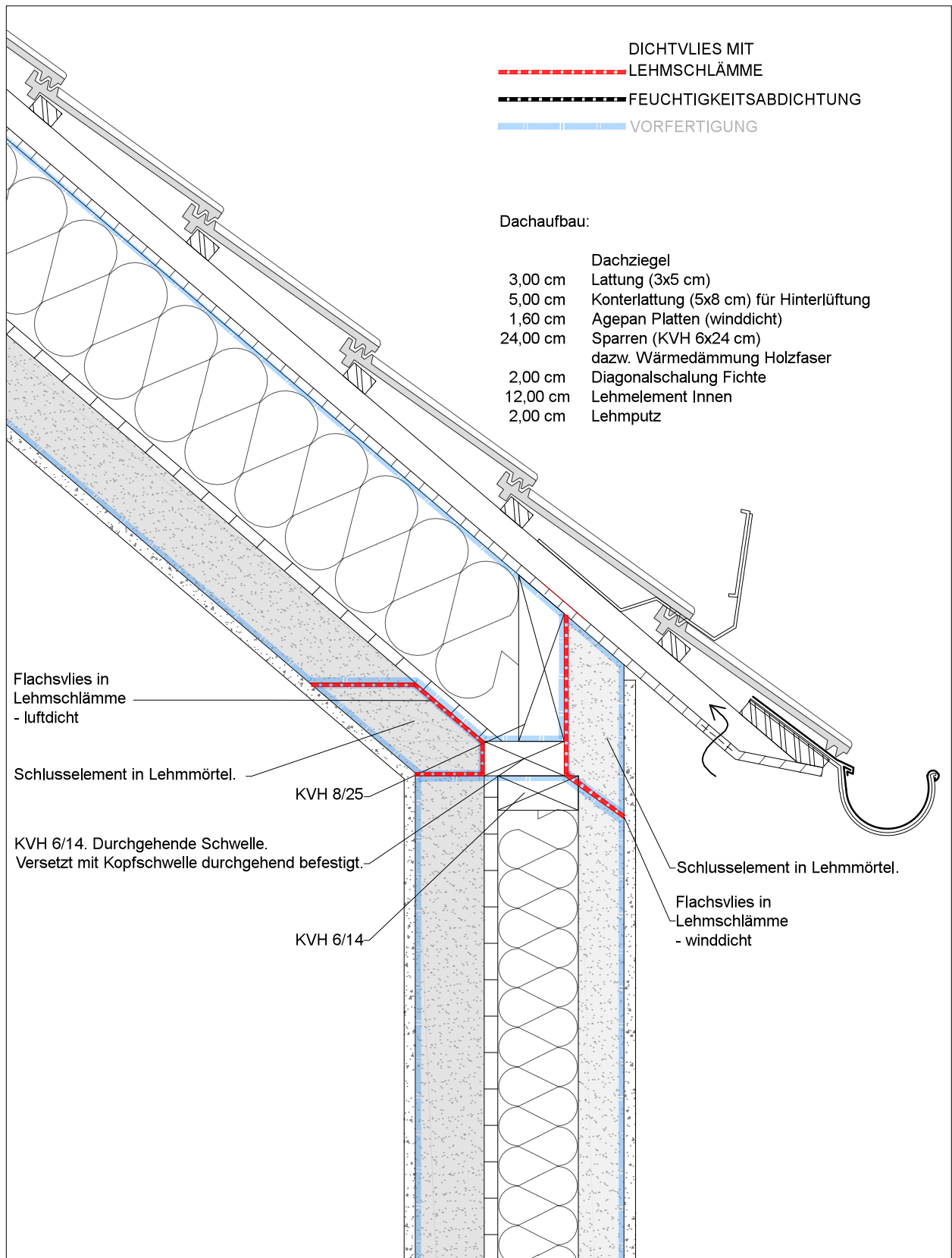


Bild 12. M 1 : 10

8.6.8. Satteldachanschluss

Die Dachelemente sollen ebenfalls im gesamten Aufbau vorgefertigt sein und möglichst in den dreistofflichen Kreislauf - Holz, Lehm, Flachs - eingefügt werden. Bild 12 (S. 84) zeigt ein spezielles Traufendetail, bei dem im Rauminneren der Dachraum sichtbar bleiben soll. Ziel ist es, ohne Zugbänder oder sichtbare Zugbalken auszukommen, deshalb müssen die beiden Dachflächen und die Schwelle auf der obersten Geschossdecke diese Zugkraft aufnehmen.

Dazu wird auf der Kopfschwelle der Ständerkonstruktion eine durchgehende umlaufende Schwelle befestigt, die versetzt zur Kopfschwelle kraftschlüssig verschraubt wird. Diese bildet eine Art Zugband, auf das die Dachelemente versetzt werden, während zusätzlich über die Fläche der äußeren und inneren Verschalungen Kräfte aufgenommen und an die Stützen weitergegeben werden. Diese umlaufende Schwelle ersetzt gemeinsam mit der Scheibenwirkung des Daches das Zugband im Inneren.

Die Dachelemente haben raumseitig durchgehend Lehm 1200 auf einer Diagonalschalung angebracht, auf der mit verzahnten Holzleisten, die in der Schalung befestigt sind, der Lehm gehalten wird. Dies basiert auf einem althergebrachten Lehmbauprinzip, dass zwischen Holzbalken Staken gesteckt werden, die mit schweren Lehmputzen beworfen sind und den Lehm halten.

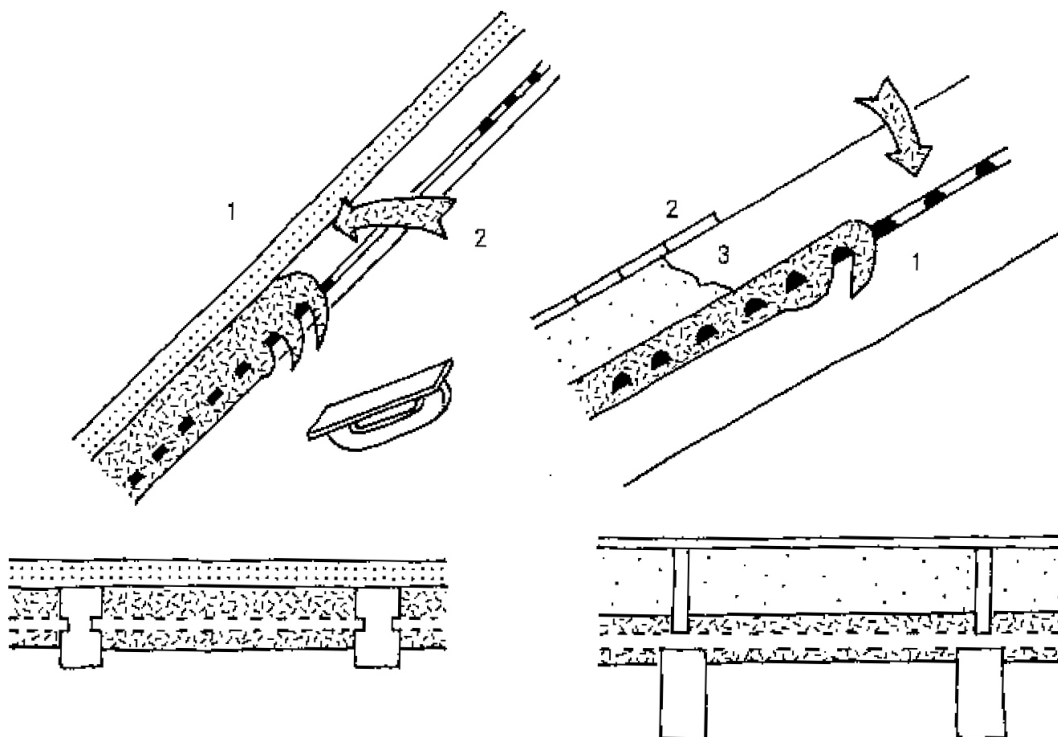


Abb. 42. Spalierdecke, bei der Lehm zwischen Staken eingebracht und von diesen gehalten wird.

Diese historische Technik ist als Spalierdecke überliefert. Bei dieser Methode wird ... „der von oben aufgefüllte zähklebrige Leichtlehm...durch die 3 bis 5 cm breiten Zwischenräume eines Tragrostes gedrückt, bis etwa 5 – 10 cm lange Zungen herunterhängen, die mit einem schmalen Reibebrett von unten wieder an die Decke gedrückt und mit Häcksellehm glatt verrieben werden...“ [VOLHARD, 2013, S. 120]. Diese alte Technik wird abgewandelt, indem Staken in der Schalung befestigt werden, und der Lehm in das bei der Herstellung liegende Element eingespritzt und verdichtet wird. Nach der Trocknung, die in zwei bis mehreren Schritten erfolgen muss, ist der Lehm kraftschlüssig mit den Holzstaken verbunden. Praxistests werden ergeben, ob dem Lehm allenfalls noch Flachsfasern oder ein vollflächiges Flachsvlies als Armierung zugegeben werden müssen.

Die Diagonalschalung übernimmt zusammen mit der außenliegenden Beplankung die oben beschriebene Scheibenwirkung des Daches.

Das Sparrendach selbst wird auch mit Holzfasern gedämmt und außenseitig mit einer wasserführenden Ebene aus Agepanplatten abgeschlossen. „Die „AGEPAN® DWD protect ist eine diffusionsoffene Holzfaserverplatte, die im Dach als Unterdeckplatte und im Wandbereich als feste Beplankung hinter belüfteten Bekleidungen eingesetzt wird. Sie darf außerdem entsprechend der DIBt- Zulassung Z-9.1-382 zur Knick- und Kippaussteifung der Rippen von Holztafelbauelementen, sowie als aussteifende und mit tragende Beplankung von scheibenartig beanspruchten Tafeln gemäß DIN EN 1995-1-1 in Verbindung mit NA verwendet werden. Bei der Herstellung im Trockenverfahren werden die aufgeschlossenen Holzfasern mit PUR-Bindemittel besprüht und zu einer homogenen Platte gepresst. AGEPAN® DWD protect ist mit stumpfer Kante, mit umlaufendem oder 2-seitigem Nut- und Federprofil erhältlich. Dadurch kann die AGEPAN® DWD protect winddicht und regensicher ausgebildet werden.“ [BAUBOOK, 2012, Produktindex: 3534 af, s. Anhang]

Laut Baubook sind 90 % der Platte aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, allerdings sind die Holzspäne mit PMDI Leimen verklebt. Trotzdem sollen alle Kriterien von Baubook in Bezug auf Inhaltsstoffe, Herstellung und Emission von diesem Produkt eingehalten werden [BAUBOOK, 2012], und die Agepanplatte ist zudem auch PEFC-COC3 zertifiziert

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass im Bereich des Daches der dreistoffliche, chemiefreie Kreislauf (Holz - Lehm - Flachs) nicht eingehalten werden kann, da mit Lehm eine wasserabweisende Schicht unter der Dachdeckung nicht erstellt werden kann.

8.6.9. Haustechnikinstallation beim HolzLehmssystem

Installationsleitungen werden bei herkömmlichen Holzrahmenkonstruktionen als eigene vorgesetzte Schale ausgeführt, damit die dampfbremsende und luftdichte Ebene nicht mit Leitungen und Schaltdosen durchdrungen wird. Deshalb ist bei der klassischen Bauweise eine saubere Trennung von Konstruktion und Installation auf jeden Fall mit einer zusätzlichen vorgesetzten Leichtwand erforderlich. Das bedeutet aber, dass die ohnehin schwache Speichermasse des Holzrahmenbaus im Innenraum noch weiter geschwächt wird. Am ehesten könnte man eine fehlende Masse noch mit Lehmbauplatten kompensieren, die aber um ein vielfaches teurer als Gipskartonplatten sind und deshalb nur selten zum Einsatz kommen.

Die Erwartung an das neue Holzlehmbausystem ist, dass keine weitere Schicht dazukommen muss, sondern dass die innere Schicht auch Installationen aufnehmen kann. Das Lehm1200 Element ist dann also luftdichte Ebene, Dampfbremse, Speichermasse, Feuchtetransport und Installationsebene in einem massiven Bauelement. Die Installation soll werkseitig geschehen, was bei einer sorgfältigen Planung möglich ist und die Bauzeit kurz hält.

Die Wirkung der Luftdichtheit ist laut deutschen Lehmbauregeln [DACHVERBAND Lehm, 2009] ab 900kg/m^3 gewährleistet, wobei die Stärke des Bauteiles keinen Einfluss auf die Dichtigkeit hat. Das bedeutet, dass eine Schwächung von Lehm1200 auf ein gewisses Mindestmaß keine Veränderung der bisher beschriebenen Funktionen und Eigenschaften bewirkt. SCHROEDER [SCHROEDER, 2010, S. 283] gibt vage an, dass Leichtlehm mit einer Stärke von 5 cm noch als luftdicht bezeichnet werden kann.

Es kann also angenommen werden, dass eine Schwächung von Lehm1200 (Rohdichte = 1200kg/m^3) bis auf 5 cm Stärke keinen Einfluss auf die Luftdichtigkeit hat. So stehen also maximal 7 cm für das Schlitzen von Ausnehmungen zur Verfügung. Grundsätzlich wird für Strom – und Wasserleitungen eine Nut mit einer Tiefe von 4 cm ausgenommen und werkseitig für das Einlegen von Leitungen vorbereitet. Dosen und Schläuche könnten schon im Werk eingebaut werden, was den Vorteil hätte, dass das Einmörteln nass in nass geschehen kann, während eine Vorortmontage mit einem vorhergehenden Nässen der Bauelemente verbunden wäre, damit der Mörtel Halt findet. Das gleiche gilt äquivalent auch für Wandheizungsregister, wo die werkseitige Montage auf alle Fälle vorzuziehen ist.

Bei der Herstellung der HolzLehmelemente werden Schalungen beim Gießen eingelegt, die noch im

feuchten Zustand herausgenommen werden, und in die dadurch entstandenen Vertiefungen werden Installationseinheiten nass in nass mit Lehmörtel und entsprechenden Befestigungen angebracht. Die Trocknung des gesamten Elementes erfolgt bereits mit den Installationen.

Bild 13 zeigt, dass Lehm1200 nie durchdrungen, oder so geschwächt wird, dass die Luftdichtigkeit in Gefahr ist, obwohl die Leitungen in dieser Ebene geführt werden und auf eine eigene Installationsschicht im gesamten Innenraum verzichtet werden kann. Bei Leitungsführungen, die mehr als 7 cm Platzbedarf haben, wie das etwa bei Ablauf- Lüftungsleitungen der Fall ist, müssten – wie im Holzrahmenbau auch üblich – eigene Verbindungsschächte zwischen den Geschossen geplant werden.

Zusammenfassung:

Obwohl Leitungen in die dampfbremsende und luftdichte Ebene gebaut werden, verliert diese keine ihrer vorteilhaften Eigenschaften und notwendigen Funktionen.

Wenn der Wunsch besteht, Dosen oder Leitungen auf der Baustelle zu ändern oder neue hinzuzufügen, kann dies mit herkömmlichen Geräten, die auch zur Fräsung von Schlitzern im Mauerwerk verwendet werden, verwirklicht werden. Nach dem Versetzen der Dosen und Verlegen der Leitungen werden diese ausschließlich mit Lehmörtel und auf keinen Fall mit Gips oder Schnellzement eingemörtelt.

Das HolzLehmelement ist somit ein - wahrscheinlich einzigartiges - System, bei dem man in die luftdichte Ebene nach Belieben hineinschneiden und über 7 cm eindringen kann, ohne dass eine Beeinträchtigung zu erwarten ist.

Entwicklung eines HolzLehmbausystems als Holzrahmenbau mit vorgefertigten Lehmelementen

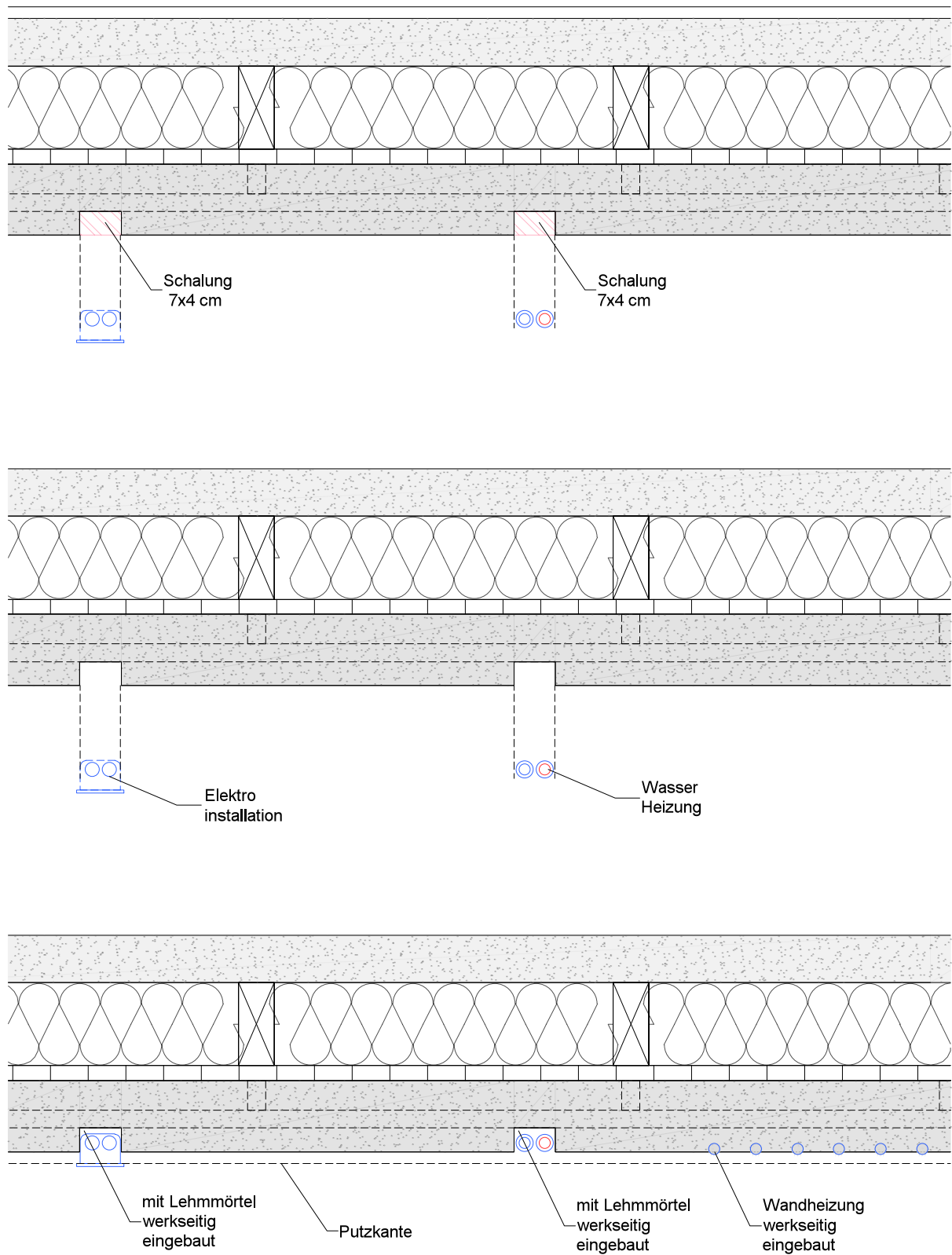


Bild 13. Schema der Vorinstallation von Elektro- und Wasserleitungen

9. Gartenhofhaus

Das in den vorigen Kapiteln entwickelte und beschriebene HolzLehmbausystem ist neu und legt den Fokus auf einfaches Bauen mit lokal vorhandenen Materialien. Der Grundgedanke lautet, wenn ein Konzept einfach zu beschreiben und zu beweisen ist, wird es auch einfach umzusetzen sein. Die theoretische Betrachtung des HolzLehmSystems entspricht bislang dieser Vermutung. Was die Reduktion der komplizierten Schichtenbauweise betrifft, ist es einzigartig und kann wegweisend sein, da diese Art des Holzrahmenbaus die bauphysikalischen Anforderungen nicht nur auf drei einstoffliche Schichten reduzieren kann, sondern diese auch noch zusätzliche baubiologisch wirksame Funktionen übernehmen, die herkömmliche Bauweisen nicht oder nicht in der Qualität leisten können. Der größte Nachteil des Holzleichtbaus, die fehlende Speichermasse, wird hier in einem Ausmaß kompensiert, das dem Massivbau nicht nur ebenbürtig ist, sondern diesen teilweise sogar übertrifft, und gleichzeitig wird der Einsatz an Herstellungs- und Produktionsenergie dabei gleichzeitig drastisch reduziert, und auf den Einsatz von Chemie kann fast zu hundert Prozent verzichtet werden.

Kann dieses System den Beweis antreten, auch den Anforderungen einer konkreten Bauaufgabe architektonisch und bautechnisch gerecht zu werden? Dies soll an Hand eines Gartenhofhauses knapp und exemplarisch untersucht werden. Der Fokus liegt auf der architektonischen und baulichen Umsetzung des HolzLehmSystems, ohne näher auf Heizwärmebedarf und Energiekennzahlen einzugehen, da diese Kennwerte nicht unmittelbar mit dem System zusammenhängen, sondern Teil einer konkreten Gebäudeplanung sind.

Für die Versuchsanordnung wird ein konkretes Grundstück im Weinviertel herangezogen, da in dieser Region der Lehmbau eine lange Tradition hat, und der größte Teil der historischen Bausubstanz in diesen Dörfern Lehmbauten sind. Dabei handelt es sich überwiegend um sogenannte Lehmputzenbauten, die noch bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts in Wandsätzen von ca 40-50 cm Höhe und einer eben solchen Breite aufgezogen wurden. Entweder wurde für die Herstellung eine Art Wanderschalung verwendet, oder die Lehmputzen wurden mit der Gabel aufgeschichtet und dann abgestochen. Als Baumaterial in diesem eher armen Landstrich stand das zur Verfügung, was die Erde hergab und ohne teuren Werkzeugeinsatz verarbeitbar war. Zusätze zum Lehm, die ihn druck- und zugfester gemacht haben,

wurden in der Natur gefunden: Steine, Kiesel, Sand, Stroh, Schilf, Holzzweige, Holzabfälle, tierische Fasern und pflanzliche Fasern.

Außen und innen wurden und werden noch heute die verputzten Häuser mit Löschkalk gestrichen.

Die Bauansprüche von agrikulturellen Gesellschaften waren, mit geringen Mitteln soviel „Raum“ zu schaffen, wie der Landwirtschaftsbetrieb benötigt. Die wirtschaftliche Kapazität war sehr beschränkt, deshalb wurde mit dem gebaut, was lokal vorhanden war und selber abgebaut bzw. hergestellt werden konnte. Da stieß man im Weinviertel unwillkürlich auf Lehm, einen Baustoff, der im einfachsten Fall am eigenen Acker oder Grundstück ausgegraben und direkt zu einem Gebäude aufgeschichtet werden konnte.

Während in Vorarlberg der Holzbau neben den vorhandenen Holzressourcen auch eine lange und lebendig gebliebene Handwerkstradition zur Verfügung hat, ist im Weinviertel Lehm als Ressource zwar noch immer im Überfluß vorhanden, jedoch ist das Handwerk und das Wissen um Lehmbau hier weitgehend verloren gegangen. Erst langsam entsteht ein neues Bewusstsein für die hohe Wertigkeit von Lehm, das durch verschiedene Pilotprojekte - wie zum Beispiel das Lehmhaus in Mitterretzbach - angeregt wird, wo der Beweis angetreten wurde, dass man „wertlose“, halb verfallene Lehmhäuser nicht nur für moderne und zeitgemäße Nutzung umgestalten, sondern auch einen Mehrwert an Raumqualität anbieten kann. Diese alten Bestandsgebäude bergen ein sehr großes Potential für zeitgemäßes, körperverträgliches und ökologisches Wohnen.



Abb. 43 Transformation eines alten Lehmhauses zu einem modernem und zeitgemäßem Wohngebäude, Mitterretzbach.

Traditionell wurden in Strassen- und Angerdörfern auf langgezogenen Grundstücken Streck- oder Hakenhöfe errichtet, deren Grundrisse durch eine Abfolge von straßenseitigen Wohnräumen, einer anschließenden unbelichteten Küche mit Vorraum und durch weitere Kammern im Hoftrakt gekennzeichnet sind. Am Ende eines Innenhofes (siehe Abb. 43) steht üblicherweise quergestellt eine durchfahrbare Scheune, die den Weg in den Hintaus freigibt, der landwirtschaftlich genutzt wurde (s. Abb. 44). Wiewohl diese Strukturen aus agrartechnischen Gründen entstanden sind, bieten sie eine interessante Abfolge von privaten, intimen und halb- bzw. öffentlichen Räumen, während das freistehende Einfamilienhaus, das zentral am Grundstück gebaut wird, keine Zonierung bieten kann und die benachbarten Rasenflächen nahtlos ineinander übergehen, von einem privaten Garten in den meisten Fällen keine Rede sein kann.



Abb. 44: Altbestand eines Weinviertler Dorfes mit langgezogenen Grundstücken und unterschiedlichen Höfen und Gärten.

Die grün unterlegten Flächen sind potentielle Gartenhofflächen, die eine spannende Abfolge von langen und schmalen Hofstreifen, bzw. großzügigen Innenhöfen ergeben. Die Grundstücke sind in der Regel durch 2 – 3 m hohe Mauern getrennt. Dadurch ergeben sich zwischen den Gebäuden private und windgeschützte Gartenhöfe.

Nach „hinten hinaus“ gehende Grünbereiche könnten neue gemeinschaftliche Nutzungsmöglichkeiten schaffen: Spielbereich, gemeinsamer Gemüsegarten, gemeinsamer Schwimmteich, Begegnungsplatz für Jung und Alt und vieles mehr.

Die gewachsene Dorfstruktur zeigt entlang der Strasse oder eines Angers eine geschlossene Bauweise, bei der Häuser mit jeweils einem markanten Einfahrtstor dicht aufgefädelt sind. Bei der Planung einer Dorferweiterung sollte auf die Zersiedelung mit alleinstehenden Einfamilienhäusern am Dorfrand verzichtet und stattdessen Grundstücke entlang der gewachsenen Achsen erschlossen werden.



Abb. 45. Geschlossene Bauweise mit markanten Einfahrtstoren und unterschiedlichen Dachausprägungen im Weinviertel.

Für die Versuchsanordnung einer neuen HolzLehmbauweise für eine Gartenhofsiedlung wird ein Grundstück gewählt, das an einer Ortseinfahrt liegt und in die bestehende Straßenflucht eingegliedert werden

kann. Dort sind Gartenhofhäuser mit einer geschlossenen Bebauung geplant, die entlang der Strasse, wie im Ortsbild üblich, quergestellte und einstöckige Gebäude mit einem Satteldach aufweisen.

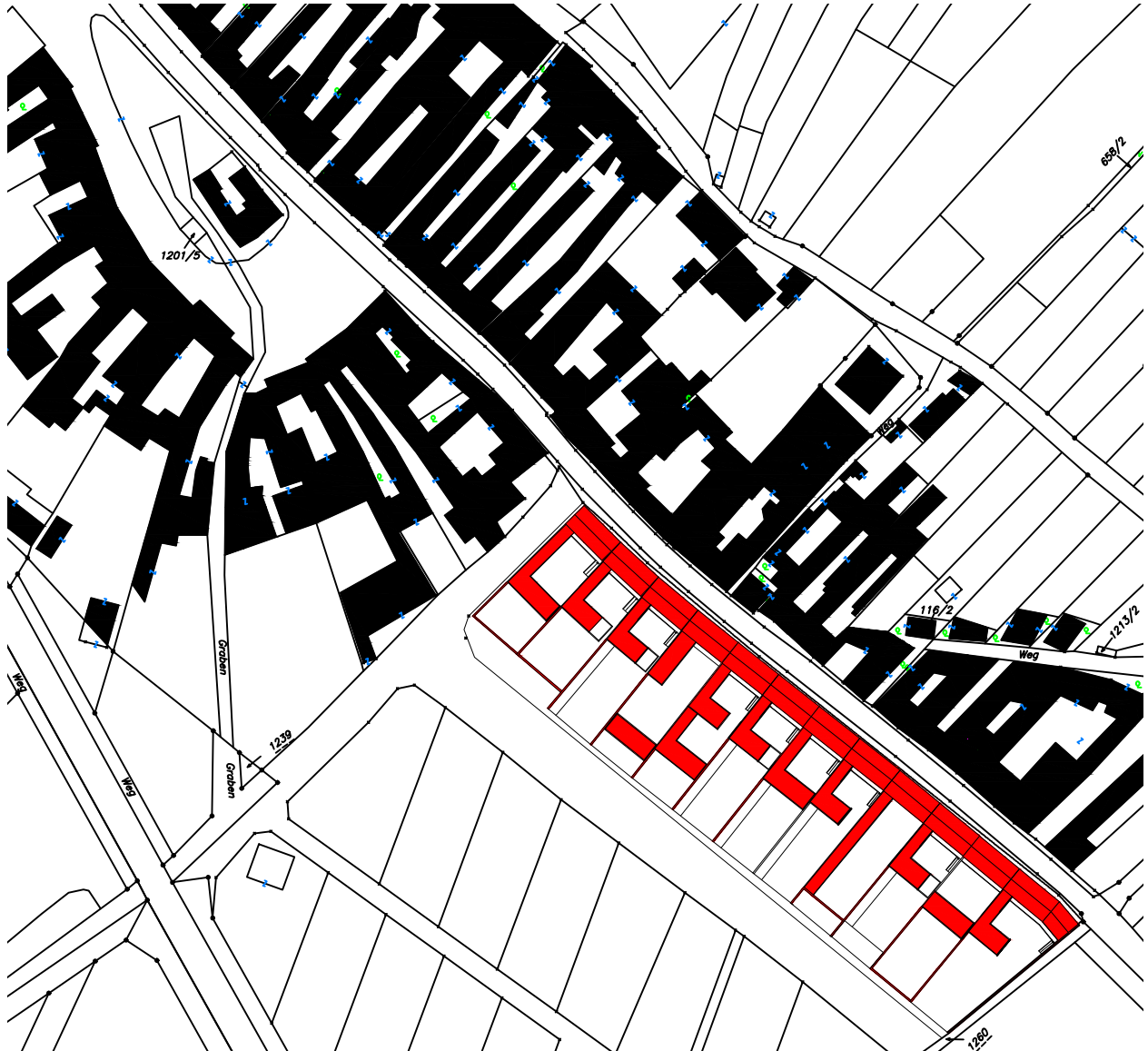


Abb 46. Lageplan M 1 : 2000. Alte Dorfstruktur und neue Gartenhofsiedlung entlang der Hauptstrasse.

Mit der neuen Gartenhofsiedlung (s. Abb. 46, rot gekennzeichnet) wird die Straßenflucht geschlossen und gleichzeitig bekommt die Ortseinfahrt eine markante Aufwertung. Das neue Wohngebiet kann somit einerseits in die bestehende Infrastruktur eingliedert und andererseits in den Ortsverband besser sozial integriert werden.

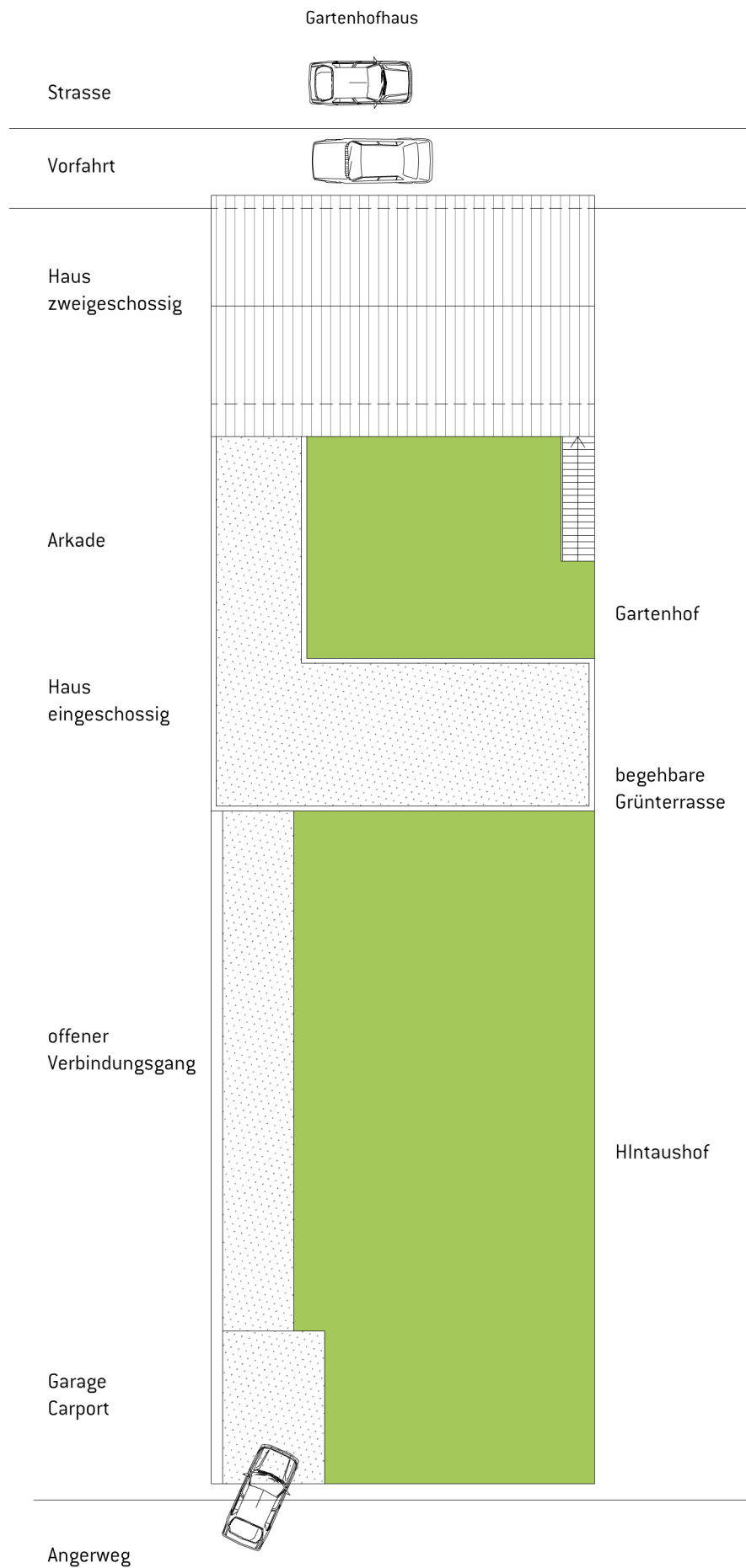


Abb. 47 Schemaplan (M 1:250) des Prototyps eines Gartenhofhauses in geschlossener Bauweise.

9.1. Architektonische Beschreibung des Gartenhofhauses

Abb. 47 illustriert die Transformation der alten Haken- und Streckhöfe. Von der Straße aus wird ein fußläufiger Zugang bzw. eine Vorfahrt gebildet, während die Garage oder der Carport „hinten hinaus“ angesiedelt sind. Von „hinten“ erfolgte auch traditionellerweise die Zufahrt mit landwirtschaftlichen Maschinen. Der Vorteil bei dieser Planung ist, dass die Straße von parkenden Autos frei gehalten und die Zonen vor den Häusern als Begegnungszonen verwendet werden können.

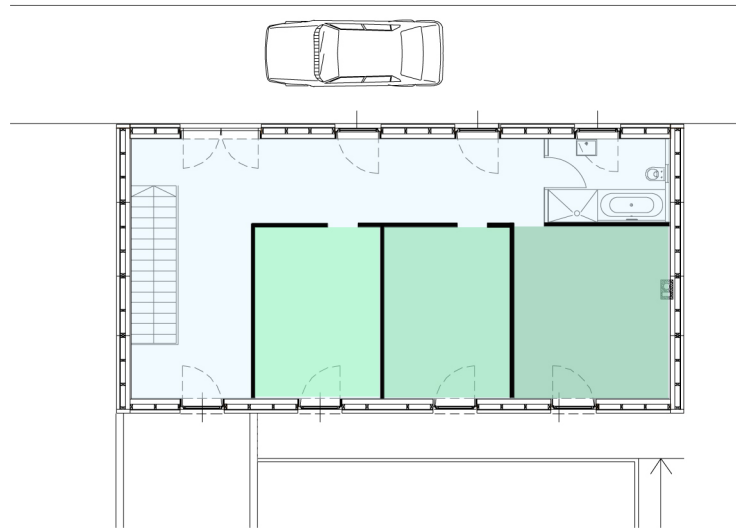
Die Nutzung der Gebäude ist sowohl beim straßenseitigen als auch beim hofseitigen Haus frei gestaltbar. Es gibt keine oder nur wenige Innenwände, die statisch relevant sind. Das Ziel ist eine größtmögliche Freiheit in der Grundrissgestaltung, sodass nicht nur Räume in den Gebäuden frei einteilbar sind, sondern die Gebäude selbst auch variabel nutzbar sind. Es steht dem Nutzer zum Beispiel offen, nur das straßen-seitige Wohnhaus zu nutzen und das Hofhaus zu vermieten, dort Ferienwohnungen anzubieten oder es als Mehrgenerationenhaus zu nutzen.

Umgekehrt kann, wenn der Familienbedarf geringer wird, das größere Gebäude den Kindern mit ihren Familien übergeben, oder an junge Familien vermietet, und stattdessen das kleinere Hofhaus bezogen werden. Da es vom Hofhaus beidseitig Gärten gibt, lassen sich sehr leicht gut verträgliche, bei Wunsch auch trennbare Zonen innerhalb der Hofstruktur bilden.

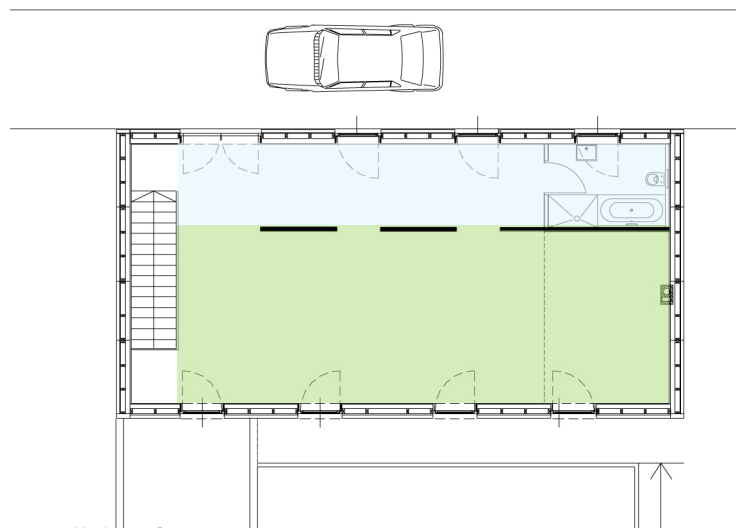
Der Grundriss wiederum ist in jedem Geschoss jeweils frei gestaltbar, indem einerseits eine Reihe von Zimmern angeordnet oder andererseits ein großer Wohnraum geschaffen werden kann. Es steht dem Nutzer also völlig frei, wo und wie viele Schlaf- und Wohngeschosse angeordnet werden, bzw. lässt es sich leicht adaptieren, wenn sich die Lebensumstände ändern sollten.

Abb. 48 verdeutlicht dies exemplarisch am oberen Geschoss des straßenseitigen Hauses. Die Kernzone der Erschließung und des Einganges bleibt gleich und bildet einen Puffer gegen Schallimmissionen von der Straße. Der hofseitige Bereich kann wie in Variante 1 dargestellt in mehrere Zimmer unterteilt werden, wobei hier drei Schlafzimmer mit Balkonzugang exemplarisch dargestellt sind. Flexible Wände bieten hier Nutzungsvielfalt und individuelle Freiheit, wann und wo diese variablen Wände aufgebaut werden. Kleinkinder können zum Beispiel einen großen Raum gemeinsam nutzen während für Pubertierende später Wände aufgestellt werden, da in dieser Lebensphase ein eigener, intimer Bereich wichtig ist. Variante 2 zeigt die Möglichkeit, in diesem Geschoss den großen, offenen Wohnraum anzusiedeln.

Gartenhofhaus



Variante 1:
Eingangsbereich, Schallzone zur Strasse und 3 Einzelzimmer



Variante 2:
Eingangsbereich, Schallzone zur Strasse und großer Wohnraum

Abb 48. Freie und variable Grundrissgestaltung vervielfältigt die Möglichkeiten der Nutzung.

In freier Abwandlung eines Zitates von Bernhard Rudofsky [vgl. RUDOFSKY], tut neben einer neuen Bauweise auch eine neue Denkweise in der Nutzungsvielfalt not. Der ländliche Raum leidet unterschiedlich stark an Schrumpfung. Die klassische Kleinfamilie, die sich ihr Lebensglück in einem freistehenden Einfamilienhaus verwirklicht, gibt es zwar noch, aber die Verwirklichung scheitert einerseits an fehlenden, lokalen Arbeitsplätzen, bzw. andererseits an mangelnden Infrastruktureinrichtungen, die in der Stadt verfügbar sind, und ohne die eine Kleinfamilie, in der beide Elternteile arbeiten gehen wollen, heute nicht mehr auskommt.

Wenn am Land solche Einrichtungen fehlen, können diese nur „privat“ kompensiert werden z.B. durch Großeltern, die nicht nur Kinderbetreuung übernehmen, sondern sich durch das gemeinsame Leben im Hofverband organisatorisch und finanziell beteiligen. Dabei sollten private und individuelle Zonen für alle miteinander lebenden Generationen existieren, die aber auch veränderbar sein müssen.

Das Angebot an eine neue Gartenhofsiedlung in einer Region muss sich aber über die Familie hinaus breiter orientieren.

Zuzug passiert im ländlichen Raum zu einem großen Teil durch Wochenendhausbesitzer aus den umliegenden Städten. In vielen Gemeinden machen diese neuen Hausbesitzer schon über 50 % der Einwohnerzahl aus. Bedürfnisse nach einem schönen und ruhigen Garten, verbunden mit einem natürlichen und gesunden Leben, führen zur Stadtflucht am Wochenende.

Neben ständigen Stadtbewohnern am Land gibt es auch eine Vielzahl von Naturhungrigen die am Wochenende Erholung am Land suchen, ohne die Belastung eines eigenen Hauses haben zu wollen. Das Nutzungskonzept sollte also auch attraktive Ferienwohnungen oder Gästezimmer beinhalten können.

Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, alle Möglichkeiten und Visionen zu beschreiben. Es mag genügen, dass das HolzLehmsystem keine Einschränkungen in der Nutzungsvielfalt ergeben darf. Es bedarf eines offenen und großzügigen Raumangebotes, das nicht durch begrenzte Spannweiten und konstruktive Zwischenwände reduziert wird.

Durch die beidseitige Erschließung des Gartenhofkomplexes, sowie die seitliche Anordnung der Treppe zur Hofebene eröffnen sich mehr Nutzungsmöglichkeiten. So könnte z.B. das obere, straßenseitige Ge-

schoß als eigenständige Wohneinheit für Mietzwecke, Büronutzung, kleine Praxis oder ähnliches unabhängig von den im Hof gelegenen Wohneinheiten genutzt werden.

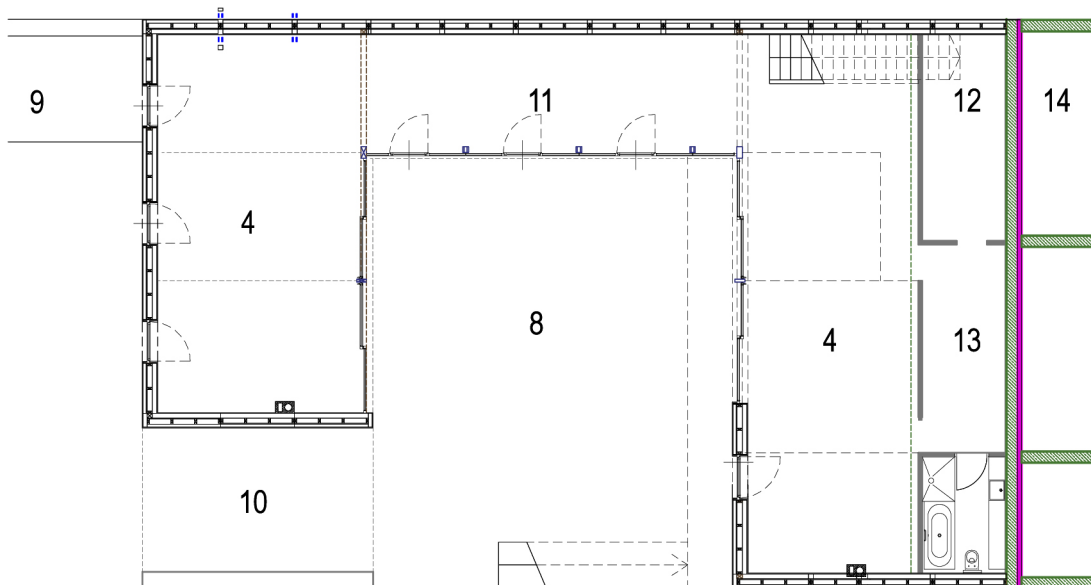
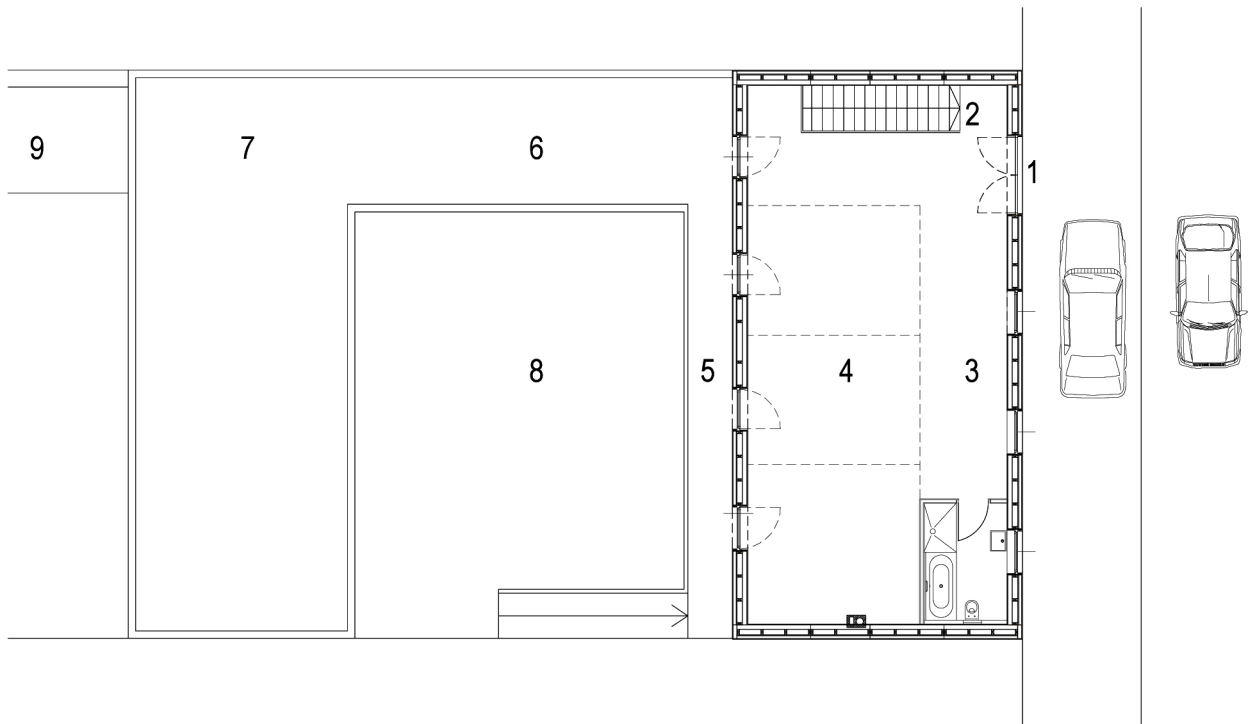
Die beiden quergestellten Gebäude sind auf Hofebene durch eine verglaste Arkade verbunden, die durch ihre Breite von 3 m und mehr ebenfalls für Wohnaktivitäten nutzbar ist: spielen, sitzen, lesen und andere Beschäftigungen sind hier möglich. Kammartig sind alle drei Gebäude in offener und direkter Verbindung mit dem Innenhof verbunden.

Über eine außenliegende Treppe werden die Gründächer und der Balkon zu einer zweiten Hofebene, wo sich Terrassen und ein Dachgarten installieren lassen.

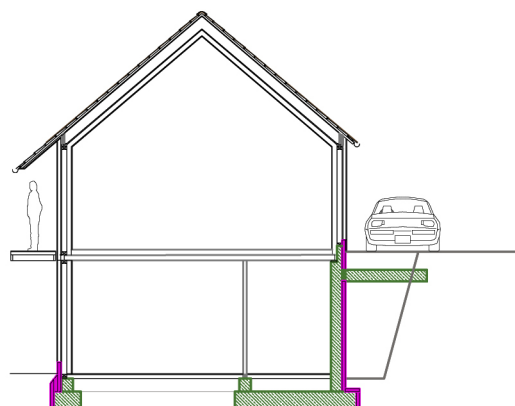
Ein überdachter Platz neben dem Hofgebäude bietet im Sommer Schatten und kann bei Bedarf als Durchfahrt in den Innenhof genutzt werden.

Die Wahl, wo welche Wohnfunktionen untergebracht werden und wann sie wieder verändert werden, ist den Bedürfnissen der Bewohner frei überlassen (siehe nachfolgende Skizze im Maßstab 1 : 200).

Gartenhofhaus



- 1 Eingang
- 2 Erschließung - Treppe
- 3 Schallzone - Flur
- 4 variabler Grundriss: großer Wohnraum oder Zimmer
- 5 Balkon
- 6 begehbare Gründach über Arkade
- 7 begehbare Gründach über Hofhaus
- 8 Innenhof
- 9 überdachter Verbindungsgang ins Hintaus
- 10 überdachte Terrasse - Durchfahrt
- 11 Arkade als Wohnraum nutzbar
- 12 Haustechnik
- 13 Stauraum - Gang
- 14 Fundament und Stützmauer zur Geländekante



Im hinteren Bereich des Hofgeschosses wo der Leichteinfall nicht mehr ausreichend ist sind die dienenden Räume für Haustechnik, Stauraum und Sanitär angesiedelt. Diese Räumlichkeiten grenzen an eine Stützmauer aus Stahlbeton, die einen natürlichen Geländesprung aufnimmt.



Abb. 49. Grundstück mit Geländekante. Die Strassenflucht wird an der Ortseinfahrt geschlossen.

9.2. Statik des Gartenhofhauses [vgl. PECH, 2013, Anhang]

9.2.1. Gründung

Die erdberührte Wand ist als Stützwandkonstruktion in Stahlbetonweise ausgeführt, und nimmt die Verbreiterung der schmalen Strasse auf, um einen neuen Vorfahrts- bzw. Fußgängerbereich zu schaffen. Um Biegemomente durch den Erddruck in den Untergrund ableiten zu können, ist eine biegesteife Verbindung mit einer bereichsweisen Fundamentplatte unter dem Erdgeschoß vorgesehen, die auch die Kräfte der tragenden Zwischenwände im EG aufnehmen kann. Um die Konstruktion zu optimieren, werden außenliegende Querwände unter einer Schleppplatte geplant. Bei den restlichen Gebäudeteilen er-

folgt die Gründung durch ein Streifenfundament in Stahlbeton, da die tragenden Außenwände primär Linienlasten, und keine nennenswerten Biegemomente in die Gründung ableiten.

9.2.2. Aussteifung Decke und Dach

Prinzipiell werden sämtliche Elemente der Holzkonstruktion als Scheibe ausgeführt. Beim Dach werden auftretende Horizontalkräfte in die giebelseitigen Außenwände eingeleitet. Dadurch kann das Obergeschoß ohne tragende Zwischenwände hergestellt werden und bleibt in der inneren architektonischen Gestaltung frei.

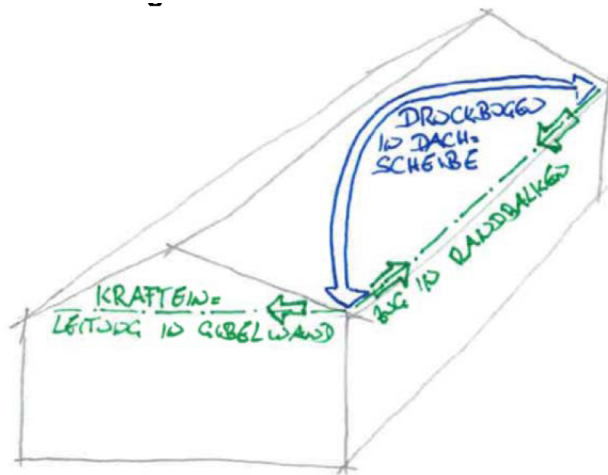


Abb.50. Skizze Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton PECH. Ziviltechnikerbüro.

9.2.3. Aussteifung Wände

Sämtliche aussteifenden Riegelwände sind mit einer Diagonalschalung versehen und können somit auftretende Horizontallasten aufnehmen. In Bereichen, in denen große Öffnungen vorgesehen werden (z.B. hofseitige, längsorientierte Außenwand des Hauptgebäudes) können - sofern notwendig - Diagonalen (Druckstreben) innerhalb der Riegelwandebene zur Lastableitung vorgesehen werden.

9.2.4. Lehmelement zur horizontalen Aussteifung

Eine Erwartung an das HolzLehmsystem ist, dass Lehmelemente auch die horizontale Aussteifung der Außenwände übernehmen können. Das ZT Büro Dr. Pech in Wien hat die Konstruktion von Lehm1200 untersucht und kommt zu folgendem Schluß:

„Wie in den Wandaufbauten ersichtlich, ist bei den Außenwänden innenseitig eine 12cm dicke Lehm-Schale aus Schwerlehm (Lehm1200) vorgesehen. Dieser wird auf einer aufgelösten Traglattung auf die Riegelwände aufgebracht. Aufgrund der hohen Dichte dieses Werkstoffs und der eben genannten Traglattung ergibt sich eine Fachwerksanalogie innerhalb der Fläche des Außenwandelements welche die Eignung besitzt Horizontallasten abzuleiten, somit aussteifende Wirkung besitzt und die statische Funktion der innen liegenden Diagonalschalung übernehmen kann. Die inneren Druckkräfte werden hierbei durch den Schwerlehm, die Zugkräfte durch die Holzlattung übernommen. Auf eine Mindestgröße (bzw. –länge), respektive eine entsprechende Proportion der Wandelemente ist hierbei zu achten, bei großen Wandöffnungen können analog zur vorgenannten Lösung diagonale Druckstreben innerhalb der Riegelwand angeordnet werden“.

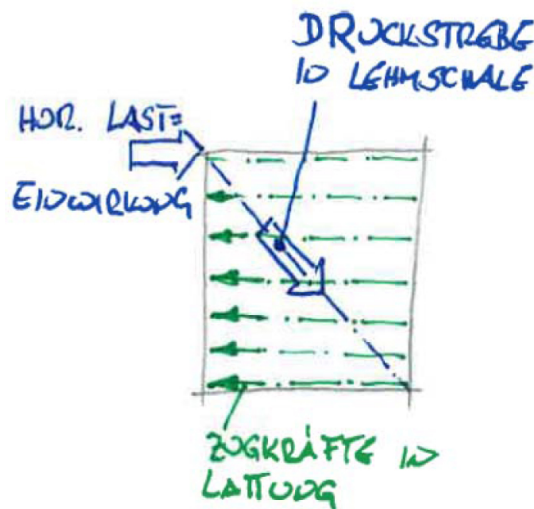


Abb.51. Skizze Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton PECH. Ziviltechnikerbüro.

Die Erwartung wird erfüllt, daß Lehm bei geeigneter Konstruktion und Zusammensetzung, anstelle der Holzschalung oder Holzwerkstoffplatte die aussteifende Wirkung gegenüber Horizontalkräften übernehmen kann.

9.3. Holzständerkonstruktion

Die Holzriegelwand besteht aus Konstruktionsvollhölzern mit einer Dimension 6 x 14 cm, die bei Stützen und Schwellen gleichermaßen zum Einsatz kommen. Einzig am Elementstoss ist aufgrund der Verklammerung der Diagonalschalung ein KVH mit 10 x 14 cm nötig (s. Kap. 8.2., Bild 36, S. 57).

Die folgende Abbildung gibt einen schematischen Überblick, wie die Holzkonstruktion im Inneren der Lehmschale aufgebaut ist.

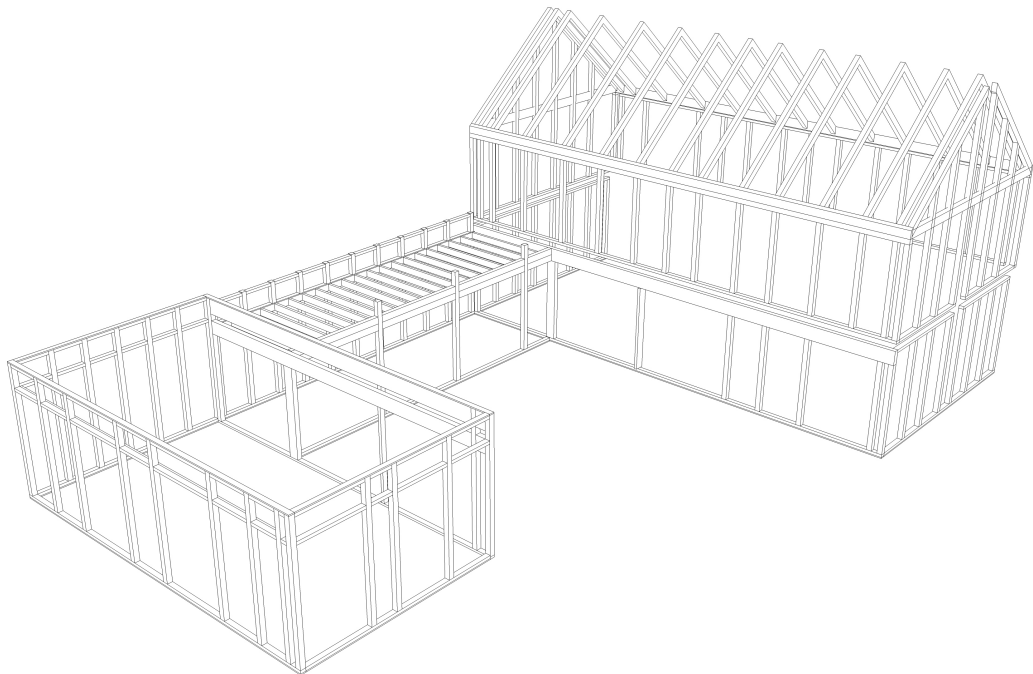


Abb. 52. Schematische Darstellung der Holzständerkonstruktion

9.4. Montage

Die Montage erfolgt in fertigen Elementen, die in dem konkreten Fall ca. 2 x 3 m groß sind, und ein Gewicht von ca. 200 kg pro m² haben, was einem Gesamtgewicht pro HolzLehmelement von 1200 kg entspricht. Es sind für die Montage keine Sondertransporte oder Schwerlastkräne nötig und durch die Ausbildung einer stabilen Scheibe je Element wird ein Verziehen der Rahmen bei der Montage verhindert.

Die Montagezeit ist mit jener der herkömmlichen Holzrahmenbauweise zu vergleichen.

Die Wandelemente werden in der richtigen Montagereihenfolge angeliefert und mit einem Kran auf das glattgestrichene Mörtelbett des Streifenfundamentes versetzt. Ausgerichtet werden sie an einem Stahlwinkel (BMF Winkel) der bereits montiert die Wandflucht vorgibt und immer in den Elementstößen positioniert ist. Bevor das nächste Element hinzugefügt wird, muss das bereits Versetzte gegen Kippen gesichert werden. Das folgende Element wird von außen an die überstehende Diagonalschalung des letzten bzw. an den gleichen Stahlwinkel geschoben, ausgerichtet und verschraubt, während gleichzeitig die Diagonalschalung als aussteifende Ebene kraftschlüssig mit dem benachbarten Element verklammert wird (s. Kap. 8. Bild 6, S. 74).

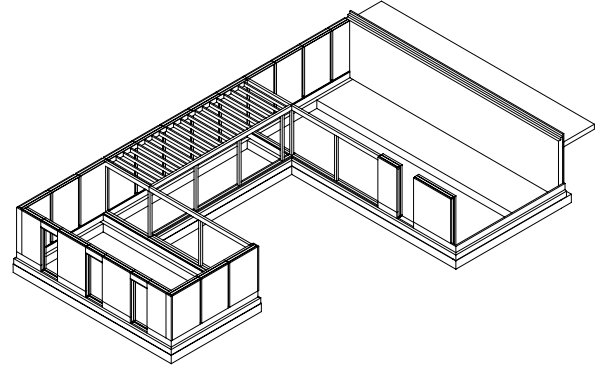
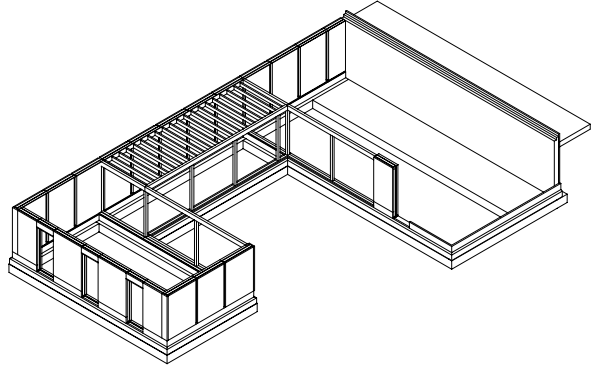
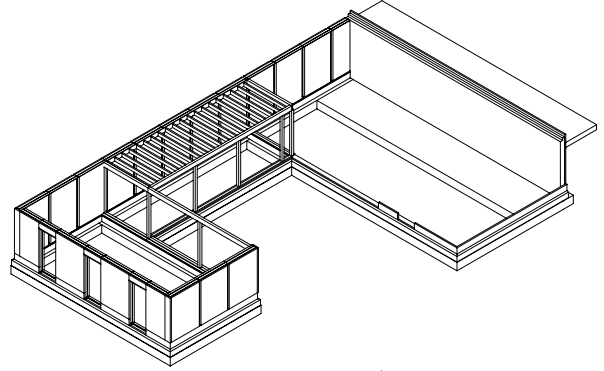
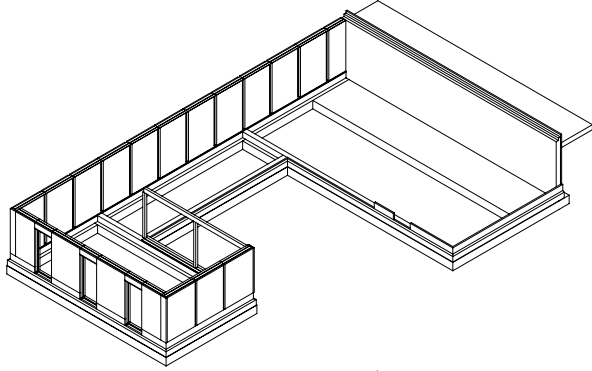
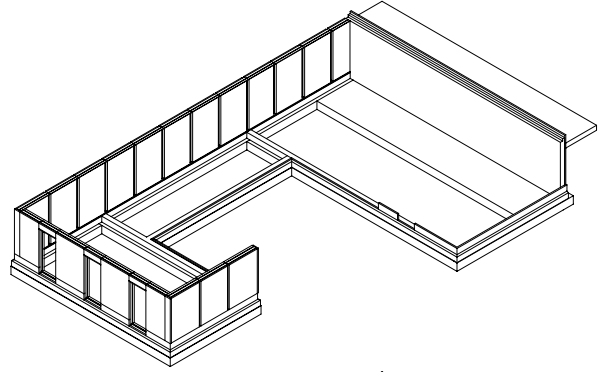
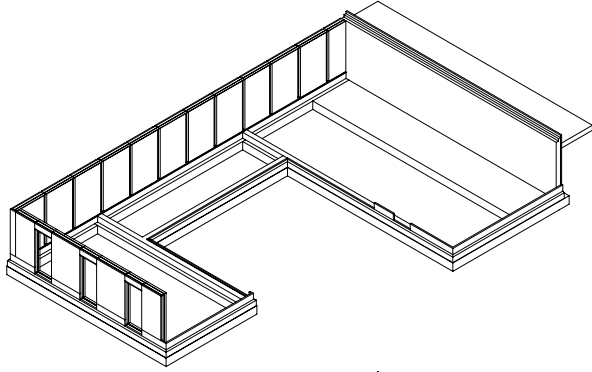
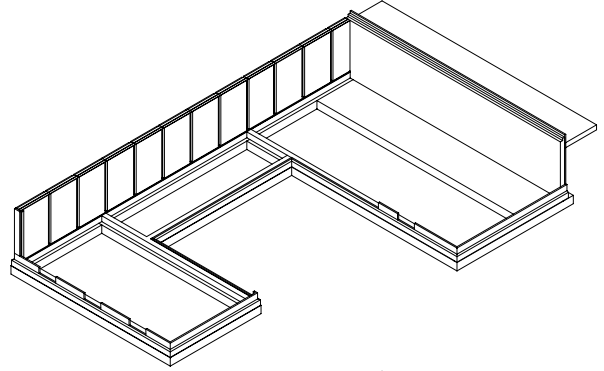
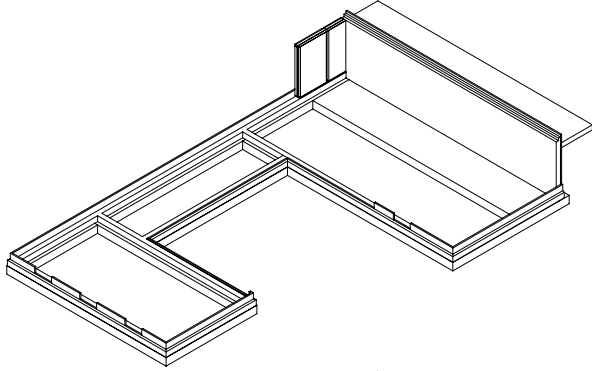
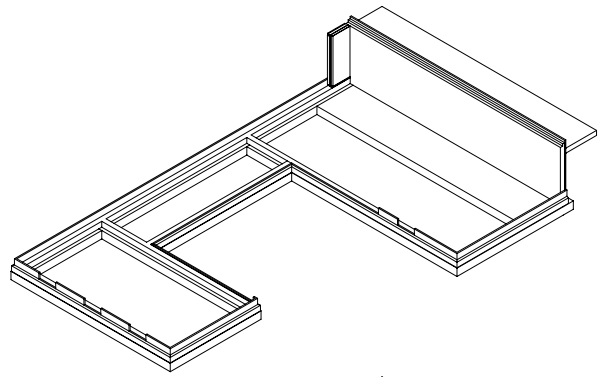
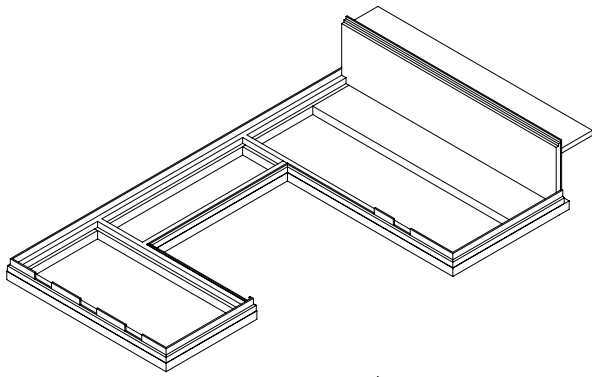
Nach Montage der Wandelemente werden die Brettstapeldecken aufgesetzt, und mit Lehmschlämme abgedichtet.

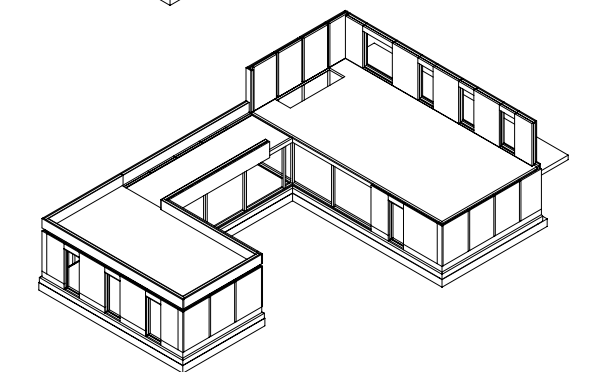
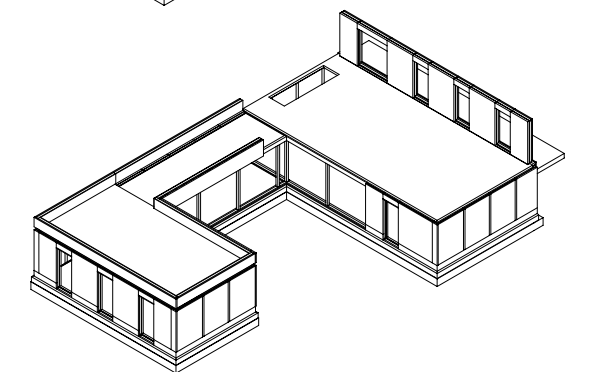
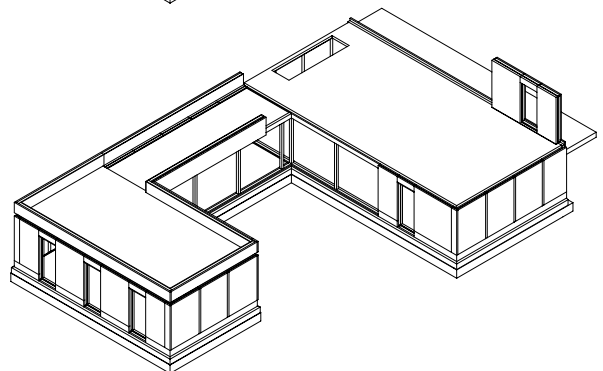
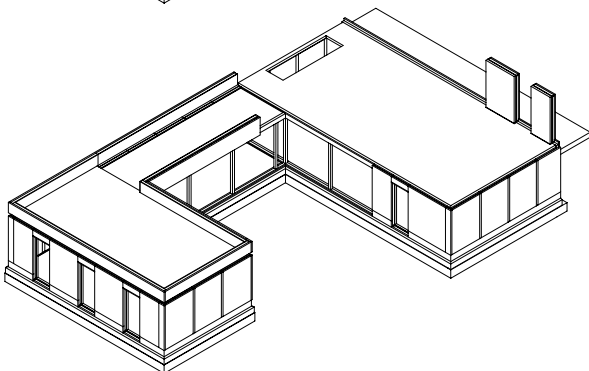
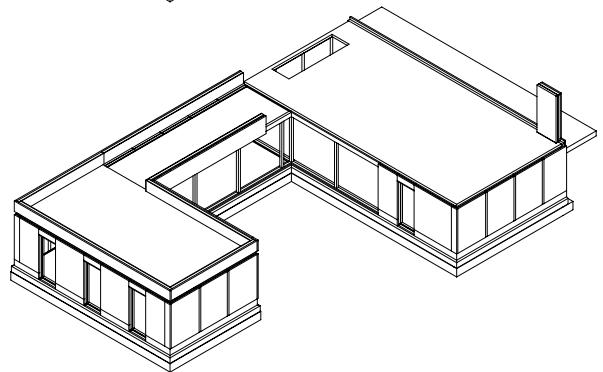
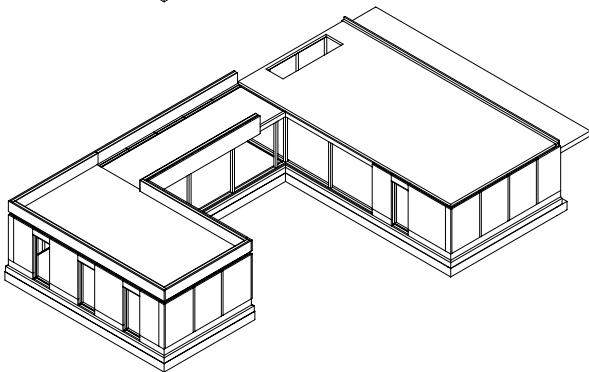
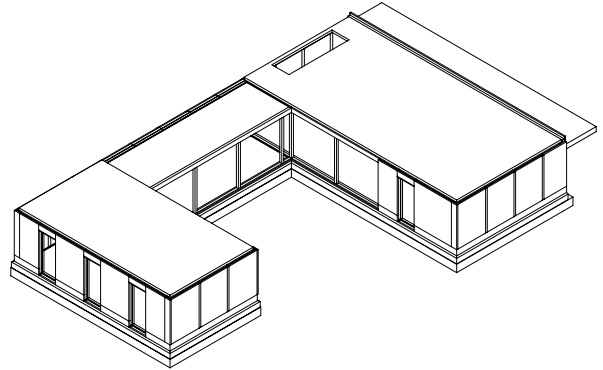
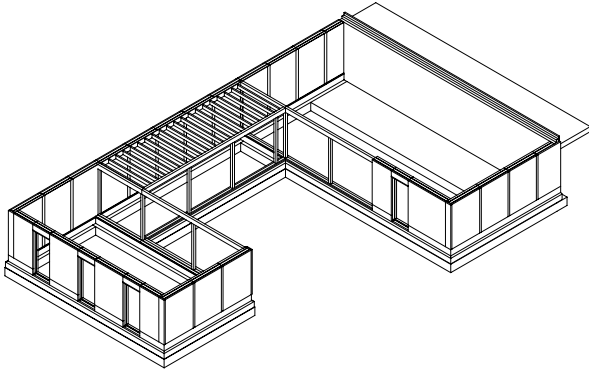
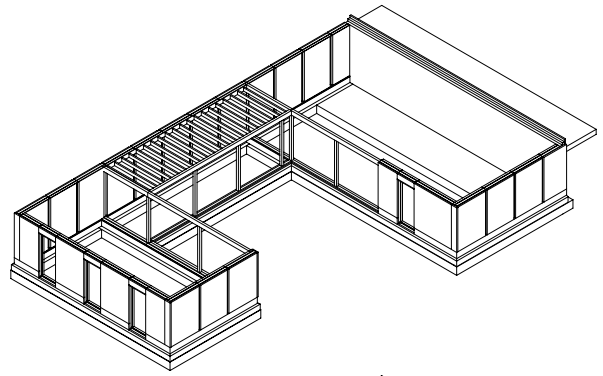
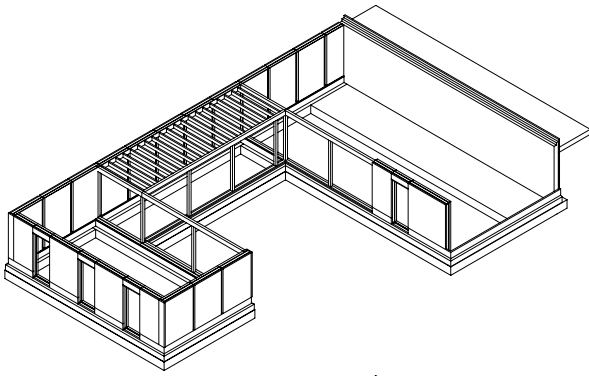
Sind die Deckenelemente versetzt wird in gleicher Weise das nächste Geschoss aufgebaut.

Um das offene Satteldach aufzubauen, wird zuerst auf der Kopfschwelle des obergeschossigen Wandelementes versetzt eine zusätzliche „Zugschwelle“ montiert, die ununterbrochen rundum laufend sein muß. Auf diese werden die fertigen Dachelemente, die unten mit einem massiven Randbalken (8 x 24 cm) versehen sind, verschraubt. Ähnlich der Diagonalschalung bei den Wandelementen werden auch bei den Dachelementen die aussteifenden Schalungen überlappend mit dem Nachbarlement verbunden.

Die äußere Bekleidung der Dachhaut ist individuell gestaltbar, da es seitens des HolzLehmsystems keine Einschränkungen und Vorgaben für die Dachgestaltung gibt.

Die nachfolgende Bilderserie (Abb. 53 – 55) zeigt den kompletten Montageverlauf des Gartenhofhauses.





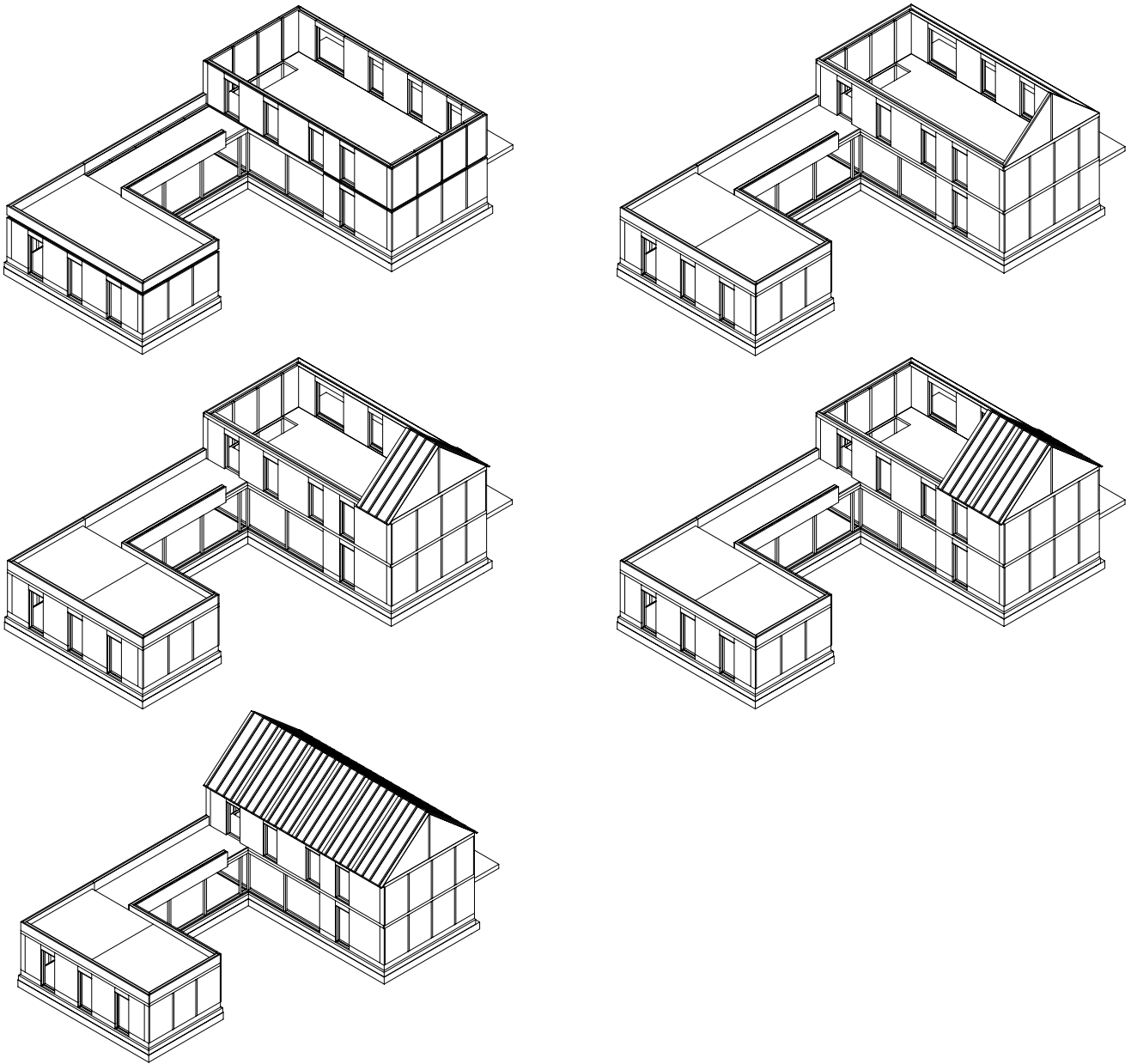


Abb. 53 – 55. Montageablauf des Gartenhofhauses

9.5. Zusammenfassung

Es lässt sich bei der Planung eines Gartenhofkomplexes keinerlei Einschränkung durch das HolzLehm-system erkennen. Die Versuchsanordnung umfasst eine große Zahl an Möglichkeiten, die in diesem Zusammenhang vorkommen können: Anschluß an eine Betonwand, Zweigeschossigkeit, Satteldach mit komplizierter Statik, Flachdach, große und kleine Öffnungen in der Fassade, Brettstapeldecke mit mehr als 5 m Spannweite, Tramdecke (Arkade), außen liegender Balkon, freie Wahl der Oberflächen und Dachgestaltung usw.

Die Details, die in Kap. 8.6. dargestellt wurden, lassen sich auf alle Problemlösungen anwenden.

LITERATURVERZEICHNIS

AMT der NÖ Landesregierung (Hrsg.) (2008): *Lehm und Ziegel. Denkmalpflege in Niederösterreich*. Band 39. St. Pölten: Amt der NÖ Landesregierung.

AS-TERRE, CRATERRE, ECOLOGIK (2013): Broschüre *Festival Architecture de Terres* in Grains d'Isere, Frankreich

CASA LI, Firma: *Fertigteile aus Holz und Lehm*. Verfügbar unter: <http://www.casa-li.de/fertigteile.html> (Stand 2013-06-13)

CLAYTEC, Firma: *Lehmbaumaterialien: Unübertroffen in ihrer Anwendungsbreite*. Verfügbar unter: <http://www.claytec.be/de/bauherren/lehmbaumaterialien/#anwendung1> (Stand 2013-07-04)

CLAYTEC: *Unternehmensgeschichte*. Verfügbar unter: <http://www.claytec.de/unternehmen/unternehmensgeschichte.html> (Stand 2013-07-04)

CLAYTEC, Firma: *Lehmbauplatte*. Verfügbar unter: http://www.claytec.de/fileadmin/user_upload/pdf_techniken/5-2_lehmbauplatte.pdf (Stand 2013-07-22)

DBZ 12/89, Seite 1639 f f. *Auswirkungen einer Fugenundichtigkeit*. Verfügbar unter: http://www.naturbauhof.de/lad_daemm_dicht_luft.php

DACHVERBAND Lehm e.V. (Hrsg.); VOLHARD Franz & RÖHLEN, Ulrich (2009): *Lehmbau Regeln. Begriffe, Baustoffe, Bauteile*. 3. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

DATAHOLZ (2013): *Bauteilkatalog*. Verfügbar unter: <http://www.dataholz.at/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?klasse=Aussenwand&language=de> (Stand 2013-07-04)

DATAHOLZ (2013): *Baustoffe*. Verfügbar unter: <http://www.dataholz.at/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/baustoff?baustoff=OSB&language=de> (Stand 2013-07-04)

FERK, Heinz, REITERER, E. M. (2002). *Luftdurchlässigkeitsprüfung ohne Rillen der Holz100-Wand*. Technische Universität Graz. Prüfbericht Fa Thoma. B02.858.001.100

GAUZIN-MÜLLER, Dominique (2004): *Neue Wohnhäuser aus Holz*. Basel. Birkhäuser Verlag.

GUTTMANN, Eva & SCHOBBER, Klaus Peter (2010): *Fassaden aus Holz*. Wien: pro:Holz Austria.

HOLZBAU WEGSCHEIDER (2013): *Ökomassivplatte und Ökomassivelement*. Verfügbar unter: <http://www.holzbau-wegscheider.at> (Stand 2013-07-02)

IBN. Institut für Baubiologie + Ökologie. *Baubiologie in Frage und Antwort*. Verfügbar unter: <http://www.baubiologie.de/site/fragenundantworten/2910iso.php>

INSITUT für INTERNATIONALE ARCHITEKTUR DOKUMENTATION (Hrsg.) 2003: *Holzbau Atlas*. 4. Auflage. Basel: Birkhäuser Verlag.

KEPPLER, Marliese & LEMCKE, Tomas (1986): *Mit Lehm gebaut*. Ein Lehmhaus im Selbstbau. München: Blok Verlag.

- KOLB, Josef (2010): *Holzbau mit System*. Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. 3. Aufl. Basel: Birkhäuser Verlag.
- KRÄFTNER, Johann & SCHACHEL Roland (1977): *Baugesinnung in Niederösterreich. Ansätze zur Dorferneuerung*. Ein Bilder-Lese-Buch für die Praxis. Wien: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung.
- MILLER, T. ; GRIGUTSCH, E. & SCHULZE, K.W. (1947): *Lehmbaufibel*. Darstellung der reinen Lehmbauweisen mit 55 Abbildungen. Unveränderter Nachdruck der 2. Auflage, Weimar: Verlag der Bauhaus-Universität Weimar.
- MINKE, Gernot & MAHLKE, Friedemann (2004): *der Strohhallenbau*. Ein Konstruktionshandbuch. Staufeu bei Freiburg: ökobuch-Verlag.
- MINKE, Gernot & MAHLKE, Friedemann (2009): *Handbuch Strohhallenbau*. Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele. Staufeu bei Freiburg: ökobuch-Verlag.
- MINKE, Gernot (2004): *das neue Lehmhuu Handbuch*. Baustoffkunde, Konstruktionen, Lehmarchitektur. 6. Auflg.. Staufeu bei Freiburg: ökobuch-Verlag.
- MINKE, Gernot (2009): *Handbuch Lehmhuu*. Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur. 7. Auflg.. Staufeu bei Freiburg: ökobuch-Verlag.
- MÜLLER, Nicolas & HARNISCH, Jochen (2008): *How to Turn Around the Trend of Cement Related Emissions in the Developing World*. A report prepared for the WWF – Lafarge Conservation Partnership. Nürnberg: Ecofys Germany.
- NATURE PLUS. Internationaler Verein für zukunftsfähiger Bauen und Wohnen. *Abschlussbericht*. Neckargmünd. 2009.
- PARTOLL, Martin (2007): *Verfahren zur Herstellung eines Fertigteil Wandelementes*. IN: Europäisches Patentamt. Patentnummer: EP 1 826 330 A 2
- PAULI, Peter; MOLDAN, Dietrich (2003): *Reduzierung hochfrequenter Strahlung im Bauwesen – Baustoffe und Abschirmmaterialien*. München, Universität der Bundeswehr
- PFEIFER, Günter & BRAUNECK, Per (2008): *Hofhäuser*. Eine Wohnbautypologie. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag.
- PILZ, Achim (Hrsg.) (2012): *Lehm im Innenraum*. Gestaltung, Bauphysik, Konstruktion. 2. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- POPPER, Rudolf; NIEMZ, Peter & EBERLE, Gerhild (2005): *Untersuchungen zu Diffusionswiderstand von Holzwerkstoffen*. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. Vol. 156 (2005), S. 100 - 103.
- PYTLIK, Leon (2008): *Wandelement in Skelettbauweise*. IN: Deutsches Patentamt. Patentnr. DE 199 51 231 B4
- RÖHLEN, Ulrich & ZIEGERT, Christof (2010): *Lehmhuu-Praxis*. Planung und Ausführung. Berlin: Bauwerk Verlag.

RUDOLFSKY, Bernhard (1987): *Sparta /Sybaris. Keine neue Bauweise, eine neue Lebensweise tut not.* Salzburg, Residenz Verlag.

SCHNEIDER, Ulrich; SCHWIMANN, Mathias & BRUCKNER, Heinrich (1996): *Lehmbau für Architekten und Ingenieure.* Konstruktion, Baustoffe und Bauverfahren, Prüfungen und Normen, Rechenwerte. Düsseldorf: Werner-Verlag.

SCHÖNBURG, Kurt (2008): *Lehmbauarbeiten.* Aktualität der herkömmlichen Lehmbauarbeiten. Wirtschaftliche und technische Vorteile. Lehm und Lehmabstoffe. Neubau und Sanierung von Lehmbauten. Lehm-Gestaltungsarbeiten. Schäden an Lehmbauten. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag.

SCHROEDER, Horst (2010): *Lehmbau.* Mit Lehm ökologisch planen und bauen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

SCHWANER, Kurt (Hrsg.) (2009): *ZUKUNFT HOLZ Querschnittsbericht und Entwicklungspotenziale.* Biberach. Hochschule Biberach. Institut für Holzbau.

TEIBINGER, Martin (2006): *Feuchteschutz- Grundlagen.* Holzforschung Austria. Wien. Verfügbar unter: <http://www.iti.tuwien.ac.at/dlfiles?param=ZmlsZWFKbWluLOIUSS1Eb3dubG9hZC9XYWhsZmFjaC8yNTQwMzUvRmV1Y2h0ZXNjaHV0ei5wZGY=>.

TEIBINGER, Martin (2012): *Brandschutzvorschriften in Österreich. Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2.* In: att.Zuschnitt Attachment - Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoff und Holzbau. 2. Veränderte Auflage 2012. Wien: pro:Holz Austria.

TEIBINGER, Martin (2011): *Brandverhalten von Holz- und Holzwerkstoffen Anforderungen – Entwicklungen* Holzforschung Austria. Wien. Broschüre.

THOMA, Erwin (2012): CD_Thoma / Architekten_CD / Bauphysik.

THOMA, Erwin (2006): *Architektenmappe.*

TOMM, Arwed (2000): *Ökologisch planen und bauen.* Das Handbuch für Architekten, Ingenieure, Bauherren, Studenten, Baufirmen, Behörden, Stadtplaner, Politiker. 3. Aufl. Braunschweig/ Wiesbaden: Vieweg Verlag.

TROJAN, Martin (2008): *Lehmbausteine für tragende Wände.* Auswirkungen durch Beimischen von Zusatzstoffen auf die Druckfestigkeit von Lehmabstoffen. Saarbrücken: VDM-Verlag Dr. Müller.

VOLHARD, Franz (2013): *Bauen mit Leichtlehm.* Handbuch für das Bauen mit Holz und Lehm. 7. Aufl. Wien: SpringerWienNewYork-Verlag.

WEISGRAM, Wolfgang (2012): *4 Dringliche Anfragen zu Wald, Luft, Holz und Klima.* In: *proHolz Edition 11.* Wien: pro:Holz Austria.

WINTER, Wolfgang; SCHÖBERL, Helmut & BEDNAR Thomas (2005): *Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau.* Konstruktion, Bauphysik, Kosten. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Wenn keine Quelle angegeben ist, stammt die Abbildung aus dem Archiv des Autors.

- Abb. 1 verfügbar unter: <http://geschichtszentrum.de/?p=949> (2013-02-07)
- Abb. 2 verfügbar unter: <http://www.adalar.ch/Wissen/DerHausbau/tabid/137/language/de-CH/Default.aspx> (2013-07-07)
- Abb. 4 verfügbar unter: <http://www.netroque.de/weblog/diary/20100502/Besuch-und-Vorbereitungen.html> (2013-06-07)
- Abb. 5 [VOLHARD, s. Lit., S. 37 Abb 32.]
- Abb. 6 [LEIERMANN, s. Lit., S. 95]
- Abb. 8 [TEIBINGER, s. Lit., 2006]
- Abb. 9 [DATAHOLZ, s. Lit., 2013]
- Abb. 10 [DATAHOLZ, s. Lit., 2013]
- Abb. 11 [THOMA, s. Lit., 2012]
- Abb. 12 [DATAHOLZ, s. Lit., 2013]
- Abb. 13 [VOLHARD, s. Lit., 2013, S. 83, 93, 94]
- Abb. 14 [VOLHARD, s. Lit., 2013, S. 108]
- Abb. 15 [VOLHARD, s. Lit., 2013, S. 255]
- Abb. 16 [VOLHARD, 2013, s. Lit., S. 258. Architektur: Schauer + Volhard, Darmstadt]
- Abb. 17 [VOLHARD, 2013, s. Lit., S. 258. Architektur: Schauer + Volhard, Darmstadt]
- Abb. 18. [VOLHARD, 2013, s. Lit., S. 284. Arch: Teuvo Ranki, Turku(FIN)]
- Abb. 19 [PARTOLL, 2007, s. Lit., Patentschrift]
- Abb. 20 [PARTOLL, 2007, s. Lit., Patentschrift], bearbeitet
- Abb. 21. [Öko Massiv Firma Holzbau Wegscheider, Internet]
- Abb. 22 [PYTLIK, 2008, s. Lit., Patentschrift]
- Abb. 23 [CASA LI, 2013, s. Lit.]
- Abb. 24 [MINKE, 2004, S. 25]
- Abb. 25 [POPPER, 2005, S. 100]
- Abb. 26 [VOLHARD, 2013, S. 203]
- Abb. 27 [TEIBINGER, 2011]
- Abb. 28 [VOLHARD, 2013, S. 226].
- Abb. 29 [THOMA, Architekten CD]
- Abb. 30 [PAULI, MOLDAN, 2000]
- Abb. 31 [THOMA, Architekten CD]
- Abb. 32 [AS-TERRE, 2013, s. Lit.]
- Abb. 33 [Bilder aus dem Internet, exakte Quelle nicht mehr nachvollziehbar]
- Abb. 34 [KOLB, 2010, s. Lit]
- Abb. 35 [KOLB, 2010, s. Lit]
- Abb. 36 [skizziert und berechnet von DI Pock im Zuge eines überholz Seminars, Juni 2013]
- Abb. 38 [VOLHARD, 2013, S. 203]
- Abb. 39 Berechnung TB DI Walter Leiler, Wien
- Abb. 40 [vgl. VOLHARD, 2013, S. 238]
- Abb. 42 [VOLHARD, 2013, S.125]
- Abb. 50 Skizze Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton PECH. Ziviltechnikerbüro
- Abb. 51 Skizze Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton PECH. Ziviltechnikerbüro

TABELLENVERZEICHNIS

Wenn keine andere Quelle angegeben ist, stammt die Tabelle vom Autor.

- Tab. 1 Brandverhalten von Lehmbaustoffen, S. 45/46
- Tab. 2 Winddichtigkeit von Lehmbaustoffen in Abhängigkeit der Rohdichte ρ [kg/m³], S. 48
- Tab. 3 Verhältnis von U – Werten zu Raumgewicht und Schichtstärke, S. 63
- Tab. 4 Speichermassenberechnung des gesamten Bauteiles, S. 63. Berechnet vom TB DI Leiler, Wien.
- Tab. 5 Vergleich der wirksamen Speichermasse bei solitärer Betrachtung des LehmInnenelementes ohne Wandaufbau, S. 64. Berechnet vom TB DI Leiler, Wien.
- Tab. 6 Vergleich der wirksamen Speichermasse durch Veränderung der äußeren Lehmschicht, S. 64
- Tab. 7 Wandaufbau des HolzLehmelementes, S. 64. Berechnet vom TB DI Leiler, Wien.
- Tab. 8 Vergleich der Speichermassen von unterschiedlichen Bausystemen, S. 74.
Berechnet vom TB DI Leiler, Wien. Weitere Quelle DATAHOLZ, siehe Anhang.

HOLZ TRÄGT, LEHM SCHÜTZT.

ABSTRACT

Das Bauen mit Holz ist heute kompliziert und detailanfällig geworden. Bei näherer Betrachtung erfordert zum Beispiel der Holzleichtbau einen Aufbau mit vielen Schichten, die mit künstlichen Baustoffen, wie zB. Dampfbremsen und Klebebändern gegen einander geschützt werden müssen. Eine schlampige Ausführung kann langfristig Schäden an der Holzkonstruktion hervorrufen. Durch den hohen Anteil an holzfremden Baustoffen steigt der Energieverbrauch für die Herstellung von Klebstoffen, Dampfbremsen, Folien, Klebebänder, Dämmstoffe, Windpapiere usw. und verursacht dadurch einen hohen Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie.

Gesucht ist also eine Bauweise, bei der mit einem ressourcenschonenden, möglichst einstofflichen Aufbau die bauphysikalischen Anforderungen wie Wärme-, Brand- und Schallschutz gewährleistet werden können, und zusätzlich eines sehr gesundes und wohltuendes Raumklima geschaffen werden soll.

Hier könnte Holz in Verbindung mit Lehm einen entscheidenden Beitrag leisten.

Ziel ist einfaches Bauen mit einer maximalen Lebensqualität für die Benutzerinnen und Benutzer. Der Fokus liegt dabei nicht nur auf Architektur und Ästhetik sowie körperverträglichen Materialien, sondern auch auf einer einfachen Benutzung des Gebäudes ohne kompliziertes Handbuch.

Die These bzw. die Vermutung dieser Untersuchung ist, dass die Nutzung einer einfachen primären Holzstruktur in Verbindung mit geschosshohen, vorgefertigten Lehmbauteilen eine Ressourcenschonende, gesunde und günstige Bauweise darstellt.

Der Grundgedanke ist ein schlankes und auf das Notwendigste reduzierte Holzständerwerk mit vorgefertigten Leichtlehmwänden zu umschließen, die nicht nur alle notwendigen bauphysikalischen Funktionen übernehmen, sondern zudem eine deutliche Verbesserung des Raumklimas bewirken.

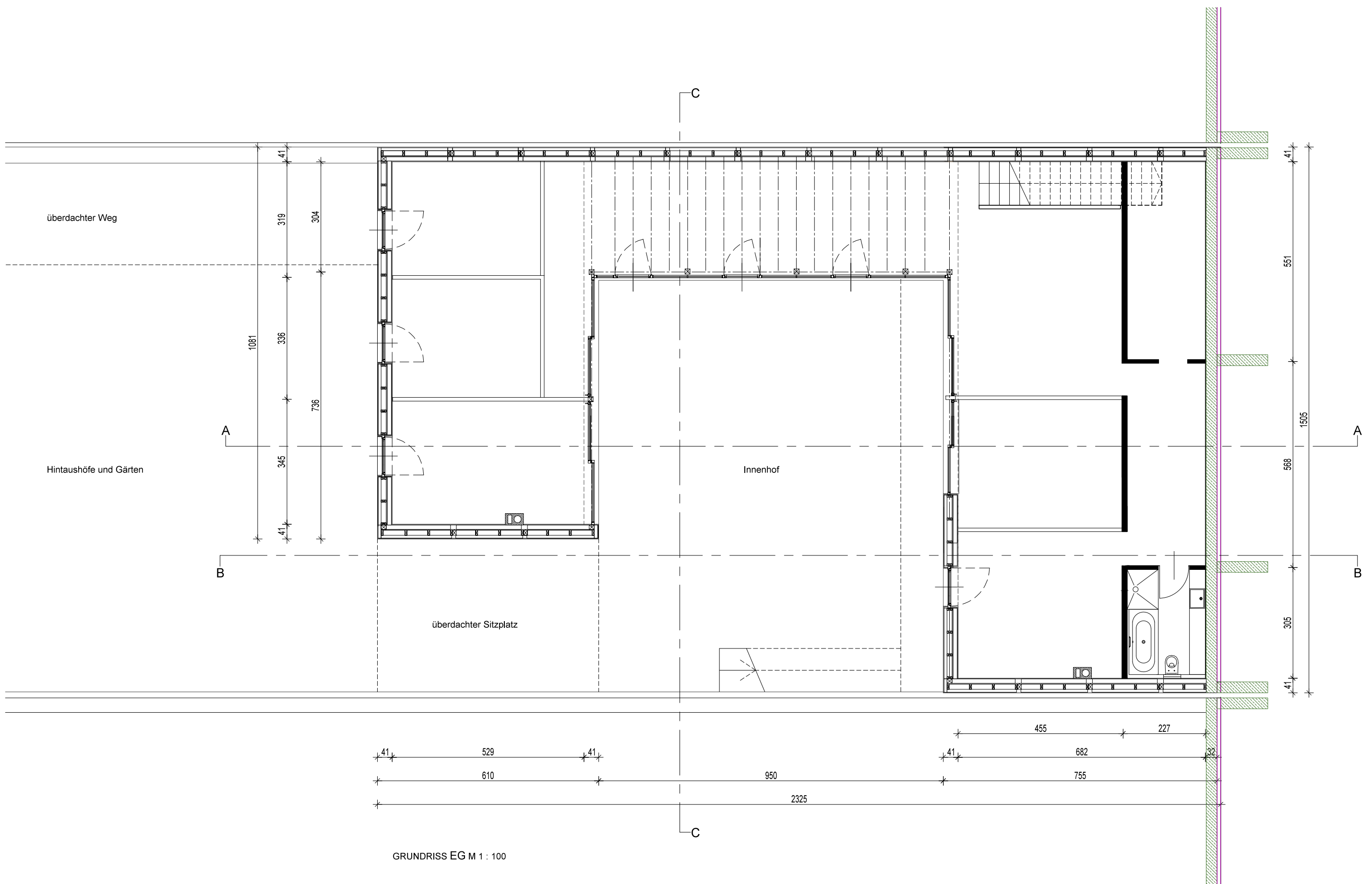
Holz, Lehm und Flachs sind die notwendigen Zutaten für diese neue Bauweise. Auf künstliche oder chemiegebundene Baustoffe kann mit Ausnahme der Perimeterdämmung verzichtet werden.

Der Baustoff Lehm übernimmt in unterschiedlicher Zusammensetzung die Funktionen Brand-, Schall- und Feuchteschutz, Wärmedämmung und vor allem die für den Holzleichtbau wichtige Luft- und Winddichtheit. Ein zusätzlicher Effekt ist, dass mit den Lehmanteilen eine größere speicherwirksame Masse zur Verfügung steht, die ebenso wie die Feuchtigkeitsregulierung des Lehms im Innenraum für eine bessere Behaglichkeit und einen gesünderen Wohnkomfort sorgt.

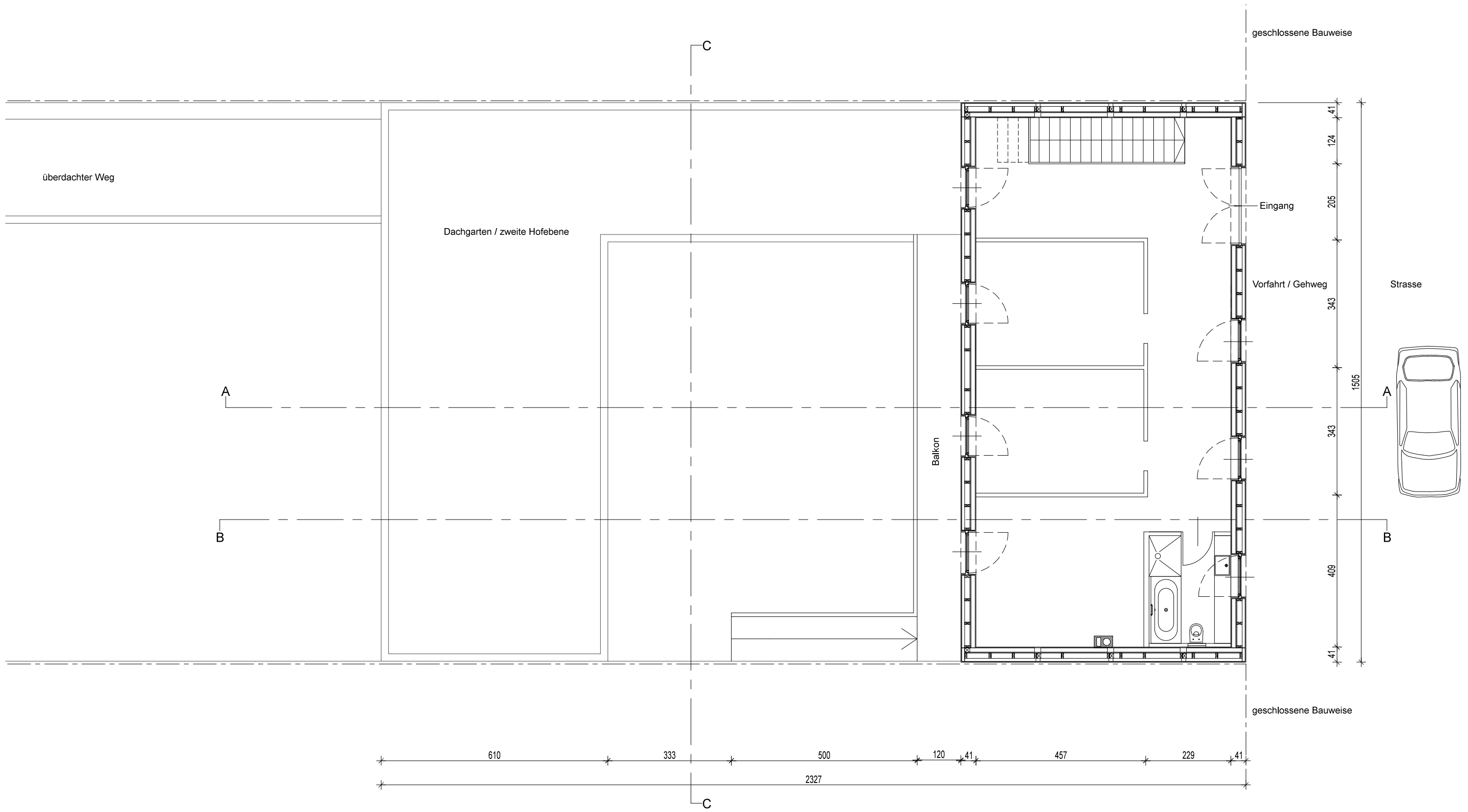
Anhang

ANHANG

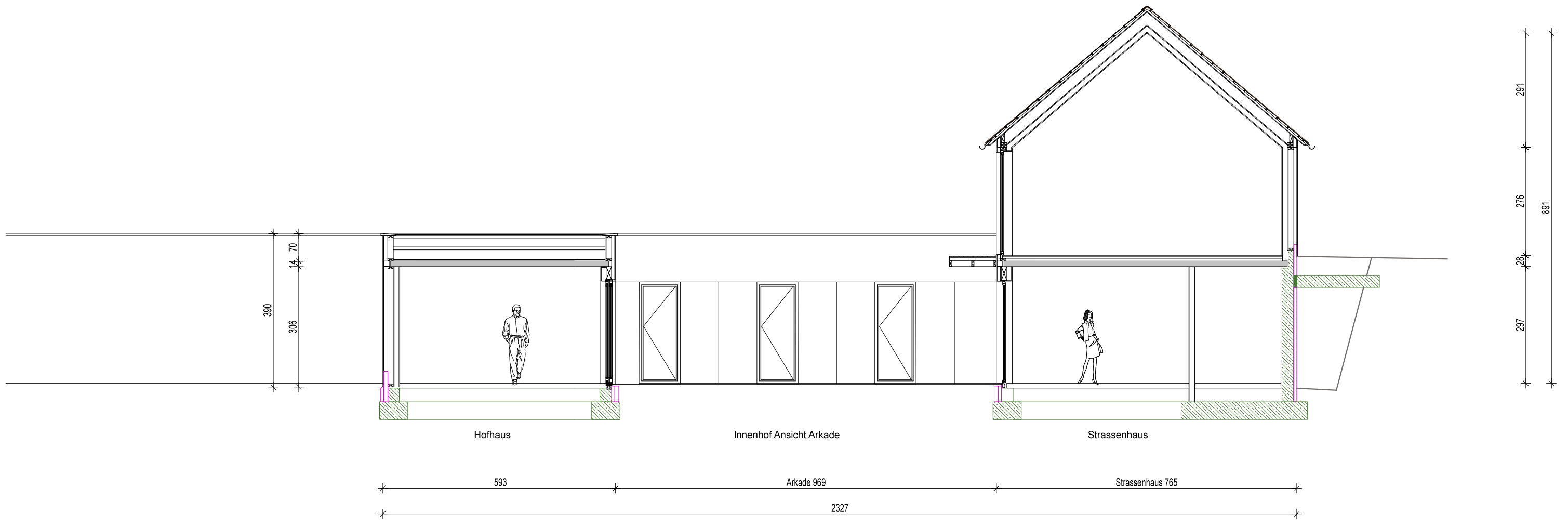
- Anhang 1 Pläne Gartenhofhaus M 1:100, M1:50
- Anhang 2 Bauphysikalische Berechnungen Wärmeschutz
- Anhang 3 Bauphysikalische Berechnungen Speicherwirksame Masse
- Anhang 4 Statisches Gutachten



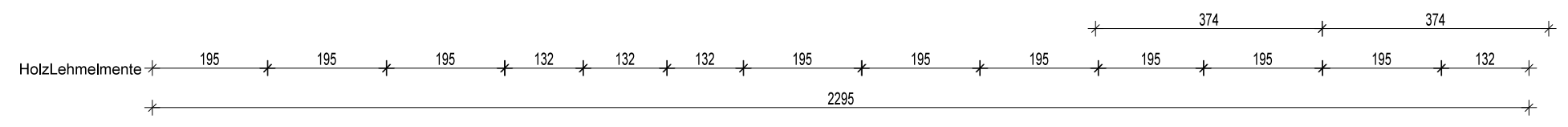
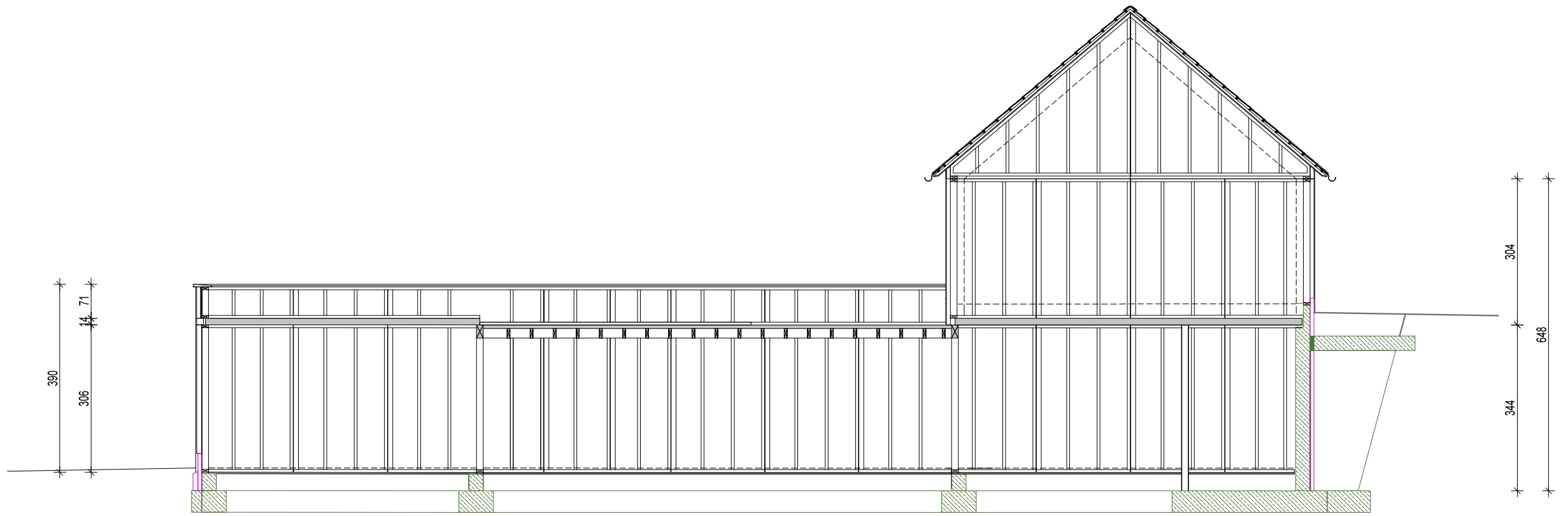
GRUNDRISS EG M 1 : 100



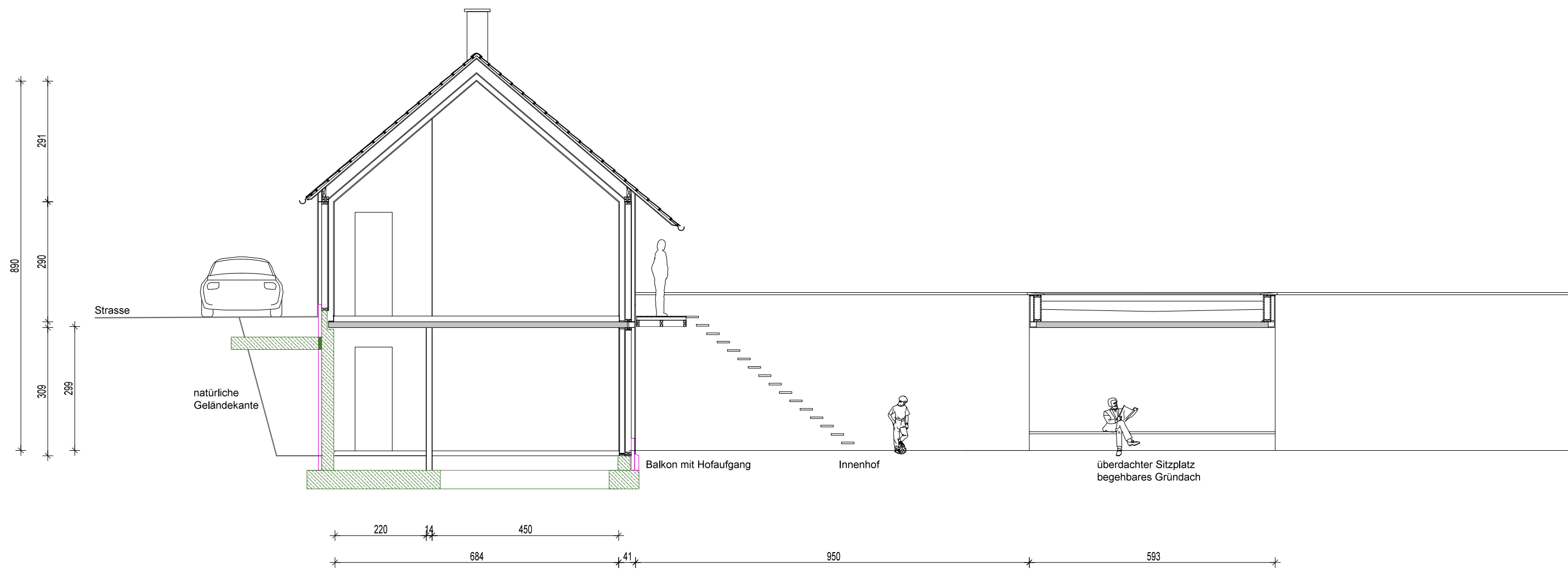
GRUNDRISS OG M 1 : 100



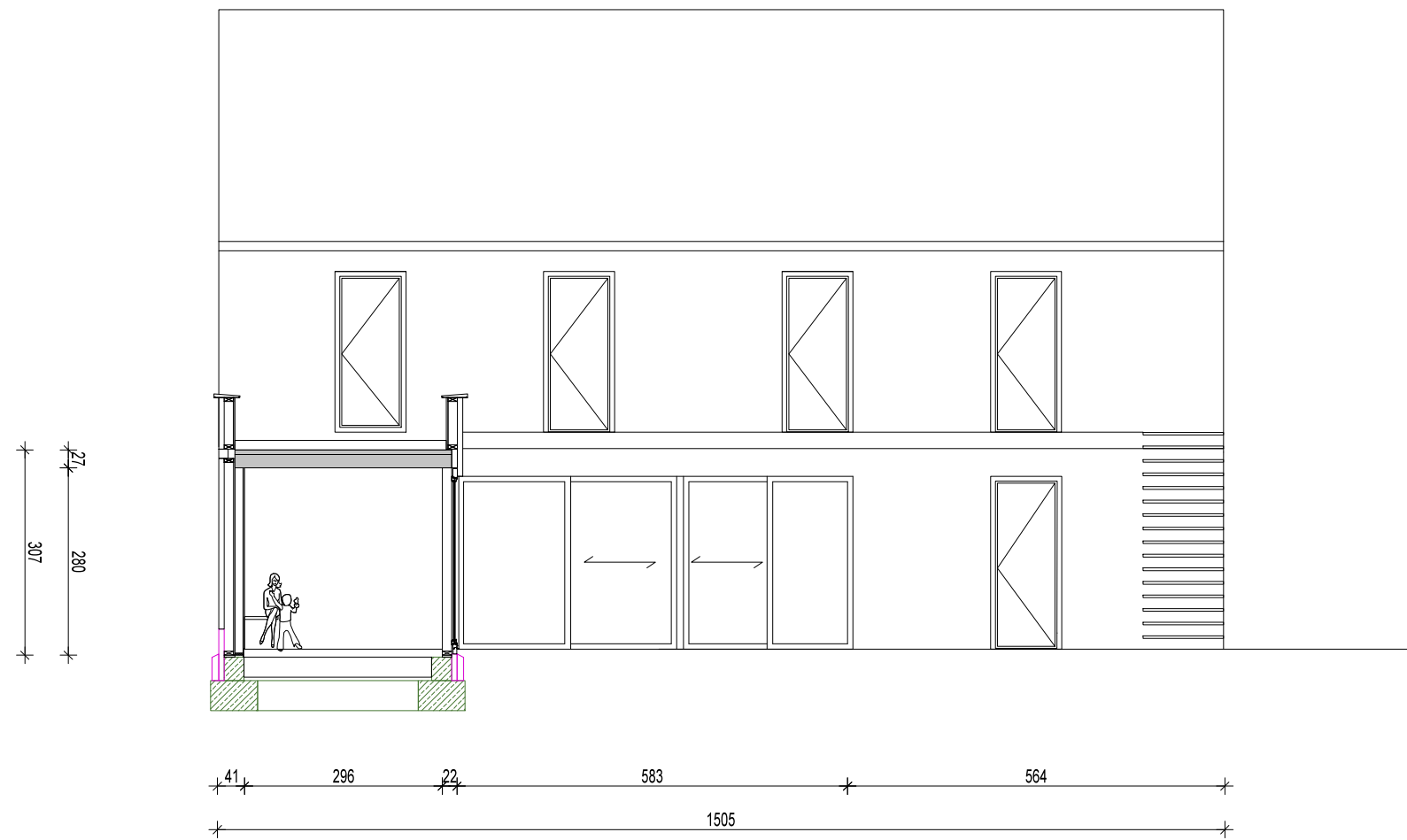
SCHNITT AA M 1 : 100



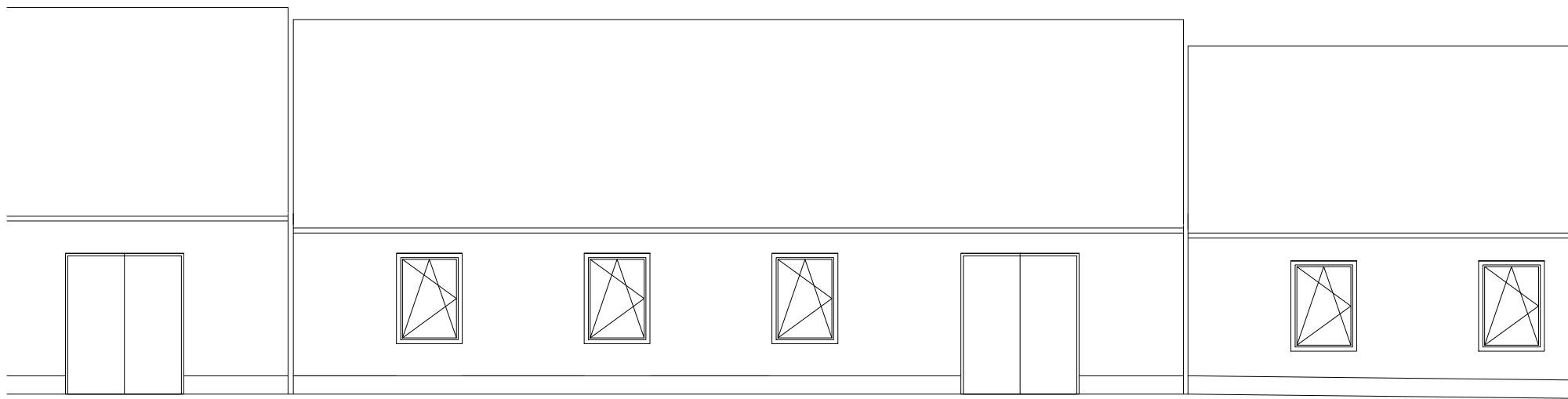
ANSICHT HOLZKONSTRUKTION offen ELEMENTIERUNG M 1 : 100



SNITT BB M 1 : 100



SCHNITT CC M 1 : 100



-----1501-----

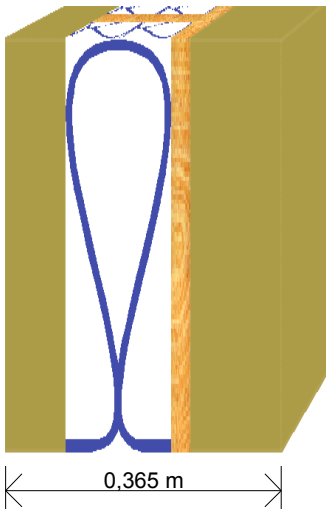
ANSICHT STRASSE M 1 : 100

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V2**

Datum: 26. Juli 2013

HolzLehmelement, 36,5 cm



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert	
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	1. 0,080 Leichtlehm 300	24,0	<u>300</u>	0,100		5,0	0,40	0,800	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	2)	<u>0,140</u> Holzsteher dzw. Holzfaserdämmung	-	-	Ø 0,058		-	-	Ø 2,431	<input type="checkbox"/>
	1)	2a. 40 % STEICO Flex 042	2,5	45	0,042		1,0	0,14	-	
	1)	2b. 40 % STEICO Flex 042	2,5	45	0,042		1,0	0,14	-	
	1)	2c. 20 % Vollholzbalken Fichte GH 12	16,8	600	0,120		50,0	7,00	-	
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	3. 0,025 Schalung Fichte GH 12	15,0	600	0,120		50,0	1,25	0,208	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	4. 0,120 Leichtlehm 1200	144,0	<u>1.200</u>	0,470		5,0	0,60	0,255	<input type="checkbox"/>
0,365			204,8							

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

R_T -Wert : $(R_T' + R_T'') / 2 = 3,975 \text{ m}^2\text{K/W}$

U-Wert : 0,25 W/m²K

Beschreibung des Bauteils
Berechnung nach ÖNORM B 8110-2

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V2 Ba**

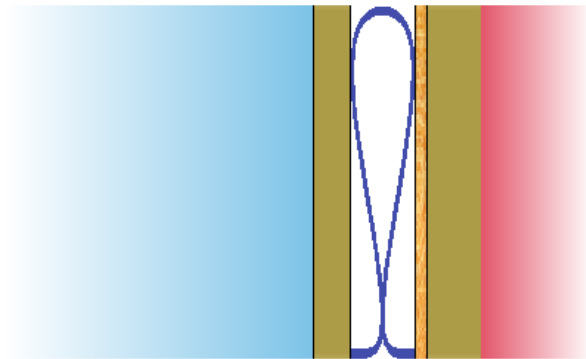
Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand

AUSSEN

INNEN

Im nebenstehenden Bauteilbild werden nur die in der Tauwasserberechnung verwendeten Schichten dargestellt.



Bezeichnung	Dicke [m]	lambda [W/(mK)]	mue [-]	sd [m]	R [m²K/W]
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Leichtlehm 300	0,080	0,100	5,00	0,40	0,80
<input checked="" type="checkbox"/> 1) STEICO Flex 042	0,140	0,042	1,00	0,14	3,33
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Schalung Fichte GH 12	0,025	0,120	50,00	1,25	0,21
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Leichtlehm 1200	0,120	0,470	5,00	0,60	0,26

wird in der Tauwasserberechnung berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,25 m²K/W

Beschreibung des Bauteils
Berechnung nach ÖNORM B 8110-2

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V2 Ba**

Datum: 26. Juli 2013

Tauwasserberechnung - Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse
Berechnung nach ÖNORM B 8110-2

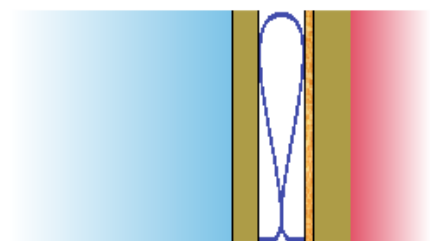
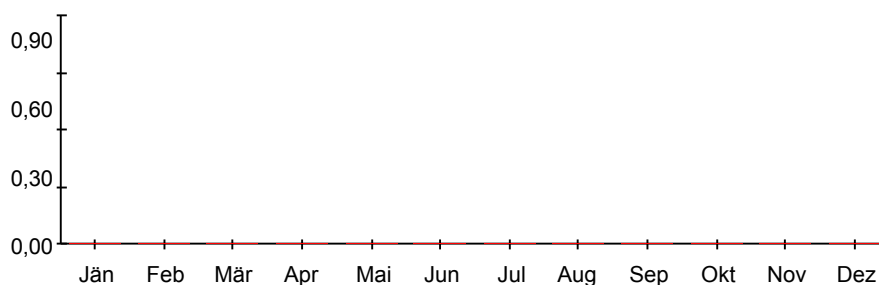


**Oberflächentemperatur zur Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte:
Kein Schimmelpilzbefall erwartet.**



**Kondensation im Bauteilquerschnitt:
Es wird keine Kondensation auf einer Grenzfläche im betrachteten Zeitraum erwartet.**

Tauwasser- und Verdunstungsmenge des Bauteils [g/m²]



Konstruktion, Tauwasserbereich

Bauteil-Dokumentation
Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V2 Ba**

Datum: 26. Juli 2013

Bauteil: Außenwand Lehm 2013.07.26 V2 Ba

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Leichtlehm 1200 ¹⁾	0,120	0,470	1,000	1200	144	0,255
Schalung Fichte GH 12 ¹⁾	0,025	0,120	2,100	600	15	0,208
STEICO Flex 042 ¹⁾	0,140	0,042	2,100	45	6	3,333
Leichtlehm 300 ¹⁾	0,080	0,100	1,300	300	24	0,800

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,365	[m]
Masse(flächenbezogen)	189,300	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	4,597	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	97,172	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	25,090	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	92,837	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	23,970	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	4,734	5,161 i	0,075	0,017 i
außen	0,075	0,017 i	1,038	1,429 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	7,003	3,165 h	0,077	0,835 h
außen	0,077	0,835 h	1,766	3,600 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-74,696	-52,197 i	12,702	-2,823 i
2	2,879	160,912 i	-17,220	-15,220 i

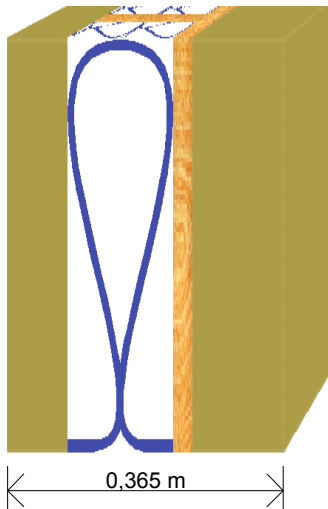
	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	91,126	-9,670 h	13,012	-0,835 h
2	160,938	5,932 h	22,982	-9,235 h

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V3**

Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 1.	0,080	Leichtlehm 600	48,0	<u>600</u>	0,170		5,0	0,40	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 2.	<u>0,140</u>	Holzsteher dzw. Holzfaserdämmung	-	-	Ø 0,058		-	Ø 2,431	<input type="checkbox"/>
1) 2a.	40 %	STEICO Flex 042	2,5	45	0,042	1,0	0,14	-	
1) 2b.	40 %	STEICO Flex 042	2,5	45	0,042	1,0	0,14	-	
1) 2c.	20 %	Vollholzbalken Fichte GH 12	16,8	600	0,120	50,0	7,00	-	
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 3.	0,025	Schalung Fichte GH 12	15,0	600	0,120	50,0	1,25	0,208	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 4.	0,120	Leichtlehm 1200	144,0	<u>1.200</u>	0,470	5,0	0,60	0,255	<input type="checkbox"/>
0,365			228,8						

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : (R_T' + R_T'') / 2 = 3,631 \text{ m}^2\text{K/W}$

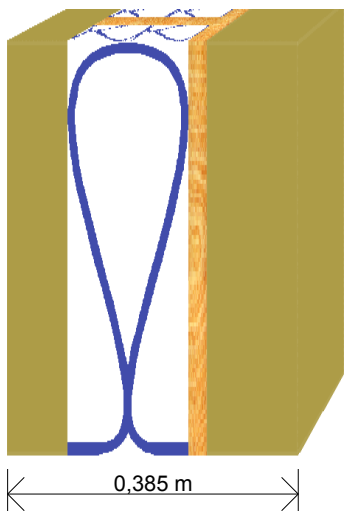
U-Wert : 0,28 W/m²K

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V4**

Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert	
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	1. 0,080 Leichtlehm 300	24,0	<u>300</u>	0,100		5,0	0,40	0,800	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>		2. <u>0,160</u> Holzsteher dzw. Holzfaserdämmung	-	-	Ø 0,058		-	-	Ø 2,778	<input type="checkbox"/>
	1)	2a. 40 % STEICO Flex 042	2,9	45	0,042		1,0	0,16	-	
	1)	2b. 40 % STEICO Flex 042	2,9	45	0,042		1,0	0,16	-	
	1)	2c. 20 % Vollholzbalken Fichte GH 12	19,2	600	0,120		50,0	8,00	-	
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	3. 0,025 Schalung Fichte GH 12	15,0	600	0,120		50,0	1,25	0,208	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	4. 0,120 Leichtlehm 1200	144,0	<u>1.200</u>	0,470		5,0	0,60	0,255	<input type="checkbox"/>
		0,385	208,0							-

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : (R_T' + R_T'') / 2 = 4,329 \text{ m}^2\text{K/W}$

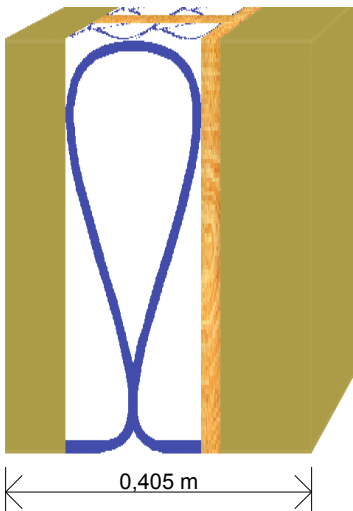
U-Wert : 0,23 W/m²K

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V5**

Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	1. 0,080 Leichtlehm 300	24,0	<u>300</u>	0,100		5,0	0,40	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	2.	<u>0,180</u> Holzsteher dzw. Holzfaserdämmung	-	-	Ø 0,058		-	Ø 3,125	<input type="checkbox"/>
	1)	2a. 40 % STEICO Flex 042	3,2	45	0,042		1,0	0,18	-
	1)	2b. 40 % STEICO Flex 042	3,2	45	0,042		1,0	0,18	-
	1)	2c. 20 % Vollholzbalken Fichte GH 12	21,6	600	0,120		50,0	9,00	-
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	3. 0,025 Schalung Fichte GH 12	15,0	600	0,120		50,0	1,25	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	1)	4. 0,120 Leichtlehm 1200	144,0	<u>1.200</u>	0,470		5,0	0,60	<input type="checkbox"/>
0,405			211,1						

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : (R_T' + R_T'') / 2 = 4,683 \text{ m}^2\text{K/W}$

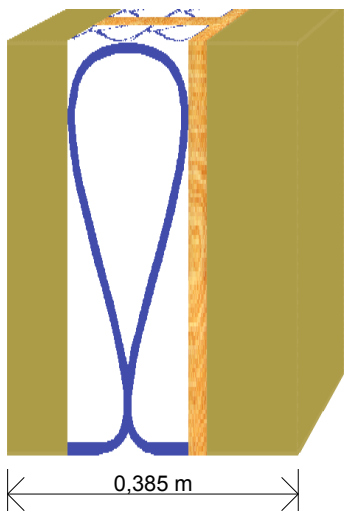
U-Wert : 0,21 W/m²K

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V7**

Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 1.	0,080	Leichtlehm 600	48,0	<u>600</u>	0,170	5,0	0,40	0,471	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 2.	<u>0,160</u>	Holzsteher dzw. Holzfaserdämmung	-	-	Ø 0,058	-	-	Ø 2,778	<input type="checkbox"/>
1) 2a.	40 %	STEICO Flex 042	2,9	45	0,042	1,0	0,16	-	
1) 2b.	40 %	STEICO Flex 042	2,9	45	0,042	1,0	0,16	-	
1) 2c.	20 %	Vollholzbalken Fichte GH 12	19,2	600	0,120	50,0	8,00	-	
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 3.	0,025	Schalung Fichte GH 12	15,0	600	0,120	50,0	1,25	0,208	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 4.	0,120	Leichtlehm 1200	144,0	<u>1.200</u>	0,470	5,0	0,60	0,255	<input type="checkbox"/>
	0,385			232,0					-

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : (R_T' + R_T'') / 2 = 3,983 \text{ m}^2\text{K/W}$

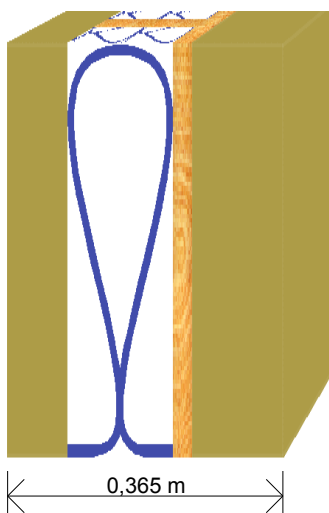
U-Wert : 0,25 W/m²K

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V10**

Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 1.	0,080	Leichtlehm 900	72,0	<u>900</u>	0,300		5,0	0,40	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 2.	<u>0,140</u>	Holzsteher dzw. Holzfaserdämmung	-	-	Ø 0,058		-	Ø 2,431	<input type="checkbox"/>
1) 2a.	40 %	STEICO Flex 042	2,5	45	0,042		1,0	0,14	-
1) 2b.	40 %	STEICO Flex 042	2,5	45	0,042		1,0	0,14	-
1) 2c.	20 %	Vollholzbalken Fichte GH 12	16,8	600	0,120		50,0	7,00	-
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 3.	0,025	Schalung Fichte GH 12	15,0	600	0,120		50,0	1,25	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 1) 4.	0,120	Leichtlehm 1200	144,0	<u>1.200</u>	0,470		5,0	0,60	<input type="checkbox"/>
	0,365			252,8					-

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : (R_T' + R_T'') / 2 = 3,415 \text{ m}^2\text{K/W}$

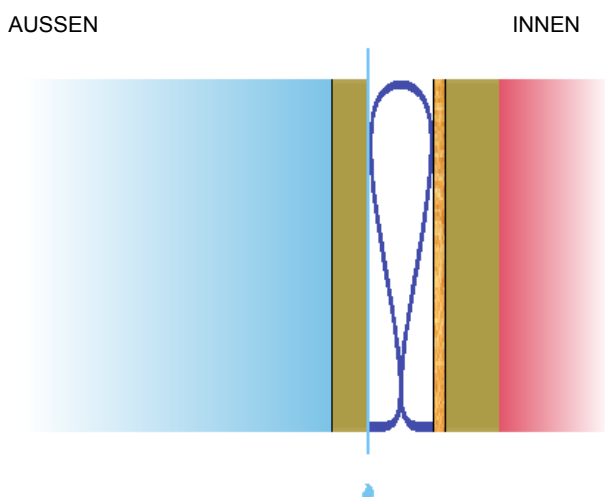
U-Wert : 0,29 W/m²K

Beschreibung des Bauteils
Berechnung nach ÖNORM B 8110-2

Projekt: **688 Studie Lehm**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V10 Ba**

Datum: 26. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Im nebenstehenden Bauteilbild werden nur die in der Tauwasserberechnung verwendeten Schichten dargestellt.

Bezeichnung	Dicke [m]	lambda [W/(mK)]	mue [-]	sd [m]	R [m²K/W]
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Leichtlehm 900	0,080	0,300	5,00	0,40	0,27
<input checked="" type="checkbox"/> 1) STEICO Flex 042	0,140	0,042	1,00	0,14	3,33
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Schalung Fichte GH 12	0,025	0,120	50,00	1,25	0,21
<input checked="" type="checkbox"/> 1) Leichtlehm 1200	0,120	0,470	5,00	0,60	0,26

wird in der Tauwasserberechnung berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,25 m²K/W

Beschreibung des Bauteils
Berechnung nach ÖNORM B 8110-2

Projekt: 688 Studie Lehmbau
Bauteil: Außenwand Lehm 2013.07.26 V10 Ba

Datum: 26. Juli 2013

Tauwasserberechnung - Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse
Berechnung nach ÖNORM B 8110-2

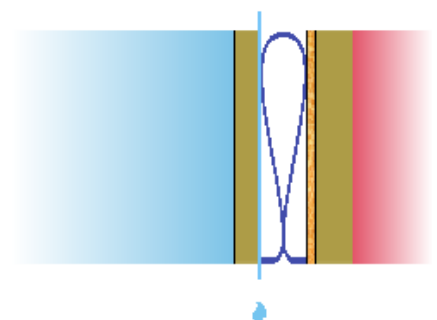
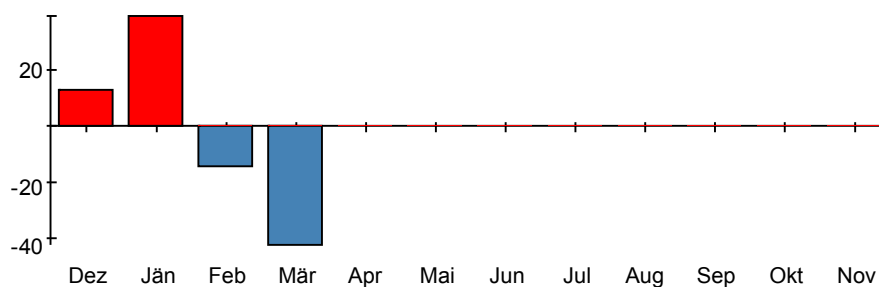


Oberflächentemperatur zur Vermeidung von kritischer Oberflächenfeuchte:
Kein Schimmelpilzbefall erwartet.



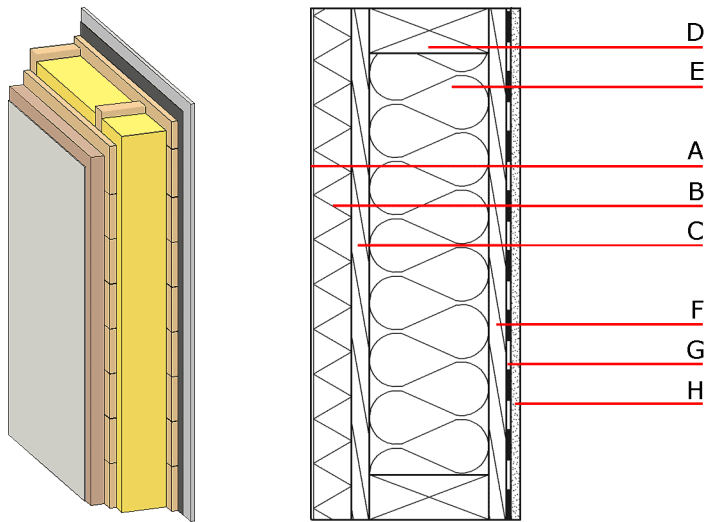
Kondensation im Bauteilquerschnitt :
Es wird Tauwasser im Bauteilquerschnitt erwartet. Die Verdunstungsmenge in den Sommermonaten übersteigt aber die Tauwassermenge.
Das Risiko einer Beeinträchtigung der Konstruktion durch die erwartete hohe Tauwassermenge sollte auch im Hinblick auf die wärmetechnischen Eigenschaften überprüft werden.

Tauwasser- und Verdunstungsmenge des Bauteils [g/m²]



Konstruktion, Tauwasserbereich

Aussenwand - Holzrahmenbau, nicht hinterlüftet, ohne Installationsebene, geputzt



Bauphysikalische und ökologische Bewertung

Brandschutz	REI	60
--------------------	-----	----

max. Wandhöhe = 3 m; max. Last $E_{d,fi}$ = 32,0 kN/m
 Klassifizierung durch MA39

Wärmeschutz	U[W/m ² K]	0,22
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,B,A}$ [kg/m ²]	28,7

Berechnung durch HFA

Schallschutz	R_w (C;C _{tr})	51 (-3; -8)
	$L_{n,w}$ (C _i)	-

Beurteilung durch MA39

Ökologie*	O13 _{kon}	-9,7
------------------	--------------------	------

Berechnung durch IBO

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

(von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenskl. EN
			λ	μ min - max	ρ	c	
A	4,0	Putz	1,000	10 - 35	2000	1,130	A1
B	50,0	Holzwoleleichtbauplatte	0,090	2 - 5	370	2,000	B
C	24,0	Holz Fichte Vollschalung	0,130	50	500	1,600	D
D	160,0	Konstruktionsholz (60/..; e=625)	0,130	50	500	1,600	D
E	160,0	Glaswolle [0,040; R=16]	0,040	1	16	1,030	A1
F	24,0	Holz Fichte Vollschalung	0,130	50	500	1,600	D
G		Dampfbremse sd \geq 7m			1000		
H	12,5	GKF oder	0,250	10	800	1,050	A2
H	12,5	Gipsfaserplatte	0,320	21	1000	1,100	A2

***Ökologische Bewertung im Detail**

GWP [kg CO ₂ Äqv.]	AP [kg SO ₂ Äqv.]	PEI ne [MJ]	PEI e [MJ]	EP [kg PO ₄ Äqv.]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äqv.]
-37,8	0,141	423,8	725,4	0,021	0,008

***Flächenbezogene Masse**

m [kg/m ²]	Berechnet mit
67,90	GKF

Bauteil-Dokumentation Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: 688 Studie Lehmbau
Bauteil: 2013.07.29 V1 Lehm

Datum: 29. Juli 2013

Bauteil: 2013.07.29 V1 Lehm Dataholz Holzständerbau mit Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]	Du-Wi [m ² K/W]
Lehmputz 1700 kg/m ³ ¹⁾	0,020	0,810	1,130	1700	34	0,025
Schalung Fichte GH 12 ¹⁾	0,024	0,120	2,100	600	14	0,200
Dampfbremse sD > 10 m ¹⁾	0,001	0,170	1,000	310	0	0,006
Heralan TW ¹⁾	0,160	0,040	1,030	30	5	4,000
Schalung Fichte GH 12 ¹⁾	0,024	0,120	2,100	600	15	0,203
Heraklith-BM [50mm]	0,050	0,090	2,000	370	19	0,556
Dünnputz ¹⁾	0,007	0,800	1,130	1650	12	0,009

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,286	[m]
Masse(flächenbezogen)	98,140	[kg/m ²]
Durchlaßwiderstand	4,997	[m ² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m ² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m ² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	68,961	[kJ/(m ² K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	43,938	[kJ/(m ² K)]
Speicherwirksame Masse innen	65,884	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	41,978	[kg/m ²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	0,896	4,840 i	0,036	0,087 i
außen	0,036	0,087 i	1,753	2,560 i

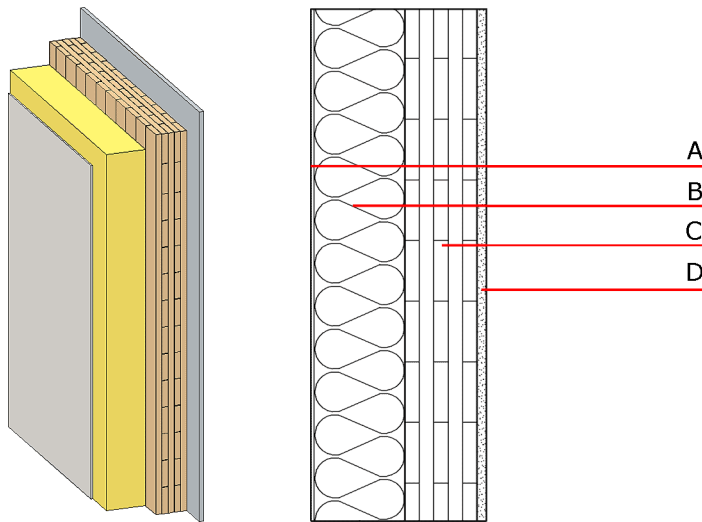
	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	4,923	5,301 h	0,094	4,513 h
außen	0,094	4,513 h	3,103	3,706 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-51,149	-10,704 i	4,030	-9,821 i
2	62,245	149,637 i	-32,210	6,903 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	52,257	-11,212 h	10,616	-4,513 h
2	162,067	4,494 h	32,941	11,194 h

Aussenwand - Holzmassivbau, nicht hinterlüftet, ohne Installationsebene, geputzt



Bauphysikalische und ökologische Bewertung

Brandschutz	REI	60
--------------------	-----	----

max. Wandhöhe = 3 m; max. einwirkende Last $E_{d,fi}$ = 35 kN/lfm

lfm

Klassifizierung durch MA39

Wärmeschutz	U [W/m ² K]	0,23
	Diffusionsverhalten	geeignet
	$m_{w,B,A}$ [kg/m ²]	44,8

Berechnung durch HFA

Schallschutz	R_w (C;C _{tr})	39 (-1; -4)
	$L_{n,w}$ (C _i)	-

Beurteilung durch TU-GRAZ

Ökologie*	O13 _{Kon}	29,5
------------------	--------------------	------

Berechnung durch IBO

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau

(von außen nach innen, Maße in mm)

	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenskl. EN
			λ	μ min – max	ρ	c	
A	4,0	Putz	1,000	10 - 35	2000	1,130	A1
B	140,0	Steinwolle MW-PT	0,041	1	155	1,030	A1
C	78,0	Massivholz verleimt (z.B. Brettsperholz 3-lagig)	0,130	50	500	1,600	D
D	13,0	Gipsfaserplatte bzw. 12,5 mm GKF; bei Variante -04 ohne Gipsplattenbeplankung	0,320	21	1000	1,100	A2

***Ökologische Bewertung im Detail**

GWP [kg CO ₂ Äqv.]	AP [kg SO ₂ Äqv.]	PEI ne [MJ]	PEI e [MJ]	EP [kg PO ₄ Äqv.]	POCP [kg C ₂ H ₄ Äqv.]
-27,6	0,311	868,1	1.075,1	0,046	0,083

***Flächenbezogene Masse**

m [kg/m ²]	Berechnet mit
86,50	-

Bauteil-Dokumentation
Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: **688 Studie Leimbau**
Bauteil: **2013.07.29 V2 Lehm**

Datum: 29. Juli 2013

Bauteil: 2013.07.29 V2 Lehm Holzmassivbau Dataholz mit Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg/m ²]	Du-Wi [m ² K/W]
Lehmputz 1700 kg/m ³ ¹⁾	0,020	0,810	1,130	1700	34	0,025
Schalung Fichte GH 12 ¹⁾	0,078	0,120	2,100	600	47	0,650
Heralan PTP S ¹⁾	0,140	0,040	0,840	130	18	3,500
Dünnputz ¹⁾	0,007	0,800	1,130	1650	12	0,009

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,245	[m]
Masse(flächenbezogen)	110,550	[kg/m ²]
Durchlaßwiderstand	4,183	[m ² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m ² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m ² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	77,608	[kJ/(m ² K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	19,892	[kJ/(m ² K)]
Speicherwirksame Masse innen	74,146	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	19,004	[kg/m ²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	2,686	4,855 i	0,060	0,076 i
außen	0,060	0,076 i	0,384	1,301 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	5,548	4,069 h	0,097	3,431 h
außen	0,097	3,431 h	1,356	4,903 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-56,474	-9,521 i	6,430	-8,075 i
2	9,248	77,043 i	-12,974	-5,262 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	57,271	-11,362 h	10,322	-3,431 h
2	77,596	5,544 h	14,000	-10,528 h

Bauteil-Dokumentation
Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: **688 Studie Leimbau**
Bauteil: **Außenwand Lehm 2013.07.26 V2 Ba**

Datum: 26. Juli 2013

HolzLehmelement, 36,5 cm ohne Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Leichtlehm 1200 ¹⁾	0,120	0,470	1,000	1200	144	0,255
Schalung Fichte GH 12 ¹⁾	0,025	0,120	2,100	600	15	0,208
STEICO Flex 042 ¹⁾	0,140	0,042	2,100	45	6	3,333
Leichtlehm 300 ¹⁾	0,080	0,100	1,300	300	24	0,800

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,365 [m]
Masse(flächenbezogen)	189,300 [kg/m²]
Durchlaßwiderstand	4,597 [m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000 [m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000 [m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	97,172	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	25,090	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	92,837	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	23,970	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	4,734	5,161 i	0,075	0,017 i
außen	0,075	0,017 i	1,038	1,429 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	7,003	3,165 h	0,077	0,835 h
außen	0,077	0,835 h	1,766	3,600 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-74,696	-52,197 i	12,702	-2,823 i
2	2,879	160,912 i	-17,220	-15,220 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	91,126	-9,670 h	13,012	-0,835 h
2	160,938	5,932 h	22,982	-9,235 h

Bauteil-Dokumentation Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: 688 Studie Lehm bau
Bauteil: Außenwand Lehm mP 2013.07.26 V2 Ba

Datum: 27. Juli 2013

HolzLehmelement, 36,5 cm mit Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Lehmputz 1700 kg/m³ ¹⁾	0,020	0,810	1,130	1700	34	0,025
Leichtlehm 1200 ¹⁾	0,120	0,470	1,000	1200	144	0,255
Schalung Fichte GH 12 ¹⁾	0,025	0,120	2,100	600	15	0,208
STEICO Flex 042 ¹⁾	0,140	0,042	2,100	45	6	3,333
Leichtlehm 300 ¹⁾	0,080	0,100	1,300	300	24	0,800

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,385	[m]
Masse(flächenbezogen)	223,300	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	4,622	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	113,996	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	24,902	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	108,910	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	23,791	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	5,014	6,545 i	0,068	0,005 i
außen	0,068	0,005 i	1,038	1,429 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	8,245	3,503 h	0,068	0,280 h
außen	0,068	0,280 h	1,766	3,600 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-80,360	-90,340 i	14,626	-1,074 i
2	-45,749	208,601 i	-16,717	-19,785 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	120,910	-8,777 h	14,665	-0,280 h
2	213,559	6,825 h	25,902	-8,680 h

Bauteil-Dokumentation Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: 688 Studie Lehmbau
Bauteil: Außenwand Ziegel V8

Datum: 27. Juli 2013

Bauteil: Außenwand Ziegel V8 ohne Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Kalk Gips Putz ¹⁾	0,015	0,700	0,900	1700	26	0,021
POROTHERM 25-38 N+F	0,250	0,259	1,000	864	216	0,965
Baumit FassadenDämmplatte EPS-F [120]	0,120	0,040	1,400	18	2	3,000
Dünnputz ¹⁾	0,007	0,800	1,130	1650	12	0,009

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,392	[m]
Masse(flächenbezogen)	255,210	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	3,995	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	69,350	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	15,249	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	66,256	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	14,569	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	2,936	4,066 i	0,036	0,009 i
außen	0,036	0,009 i	0,325	1,040 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	5,015	3,611 h	0,037	0,915 h
außen	0,037	0,915 h	1,089	4,844 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-103,325	-88,044 i	26,294	-6,425 i
2	-58,051	136,027 i	-15,218	-25,259 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	135,749	-9,304 h	27,068	-0,915 h
2	147,896	7,541 h	29,489	-8,071 h

Bauteil-Dokumentation
Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: **688 Studie Leimbau**
Bauteil: **Außenwand Ziegel V9**

Datum: 27. Juli 2013

Bauteil: Außenwand Ziegel V9 mit Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Lehmputz 1700 kg/m³ ¹⁾	0,020	0,810	1,130	1700	34	0,025
POROTHERM 25-38 N+F	0,250	0,259	1,000	864	216	0,965
Baumit FassadenDämmplatte EPS-F [120]	0,120	0,040	1,400	18	2	3,000
Dünnputz ¹⁾	0,007	0,800	1,130	1650	12	0,009

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,397	[m]
Masse(flächenbezogen)	263,710	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	3,999	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	81,374	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	15,236	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	77,743	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	14,557	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	3,043	5,046 i	0,036	0,008 i
außen	0,036	0,008 i	0,325	1,040 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	5,892	3,927 h	0,037	0,825 h
außen	0,037	0,825 h	1,089	4,844 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-110,847	-116,956 i	26,712	-5,858 i
2	-85,677	153,237 i	-14,764	-25,877 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	161,139	-8,898 h	27,347	-0,825 h
2	175,562	7,947 h	29,793	-7,980 h

Bauteil-Dokumentation
Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: **688 Studie Lehmbau**
Bauteil: **Außenwand Thoma 100**

Datum: 26. Juli 2013

Bauteil: Außenwand Thoma 100 ohne Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Holz Thoma ¹⁾	0,360	0,075	2,100	500	180	4,800

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,360	[m]
Masse(flächenbezogen)	180,000	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	4,800	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	32,912	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	32,912	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	31,444	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	31,444	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	1,692	1,692 i	-0,001	0,001 i
außen	-0,001	0,001 i	1,692	1,692 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	2,393	3,000 h	0,001	7,975 h
außen	0,001	7,975 h	2,393	3,000 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-446,762	1624,232 i	-347,918	-611,936 i
2	3504,470	-1992,477 i	-446,762	1624,232 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	1684,555	7,025 h	703,926	-7,975 h
2	4031,287	-1,975 h	1684,555	7,025 h

Bauteil-Dokumentation Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: 688 Studie Leimbau
Bauteil: 2013.07.29 V3 Lehm

Datum: 29. Juli 2013

Bauteil: 2013.07.29 V3 Lehm THOMA Holz100 mit Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Lehmputz 1700 kg/m³ ¹⁾	0,020	0,810	1,130	1700	34	0,025
Holz Thoma ¹⁾	0,360	0,075	2,100	500	180	4,800

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,380	[m]
Masse(flächenbezogen)	214,000	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	4,825	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	63,476	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	32,914	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	60,644	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	31,445	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	1,850	4,228 i	-0,001	0,001 i
außen	-0,001	0,001 i	1,692	1,692 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	4,615	4,425 h	0,001	7,694 h
außen	0,001	7,694 h	2,393	3,000 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-2223,544	2560,879 i	-315,249	-663,791 i
2	8096,044	-570,827 i	-589,791	1656,700 i

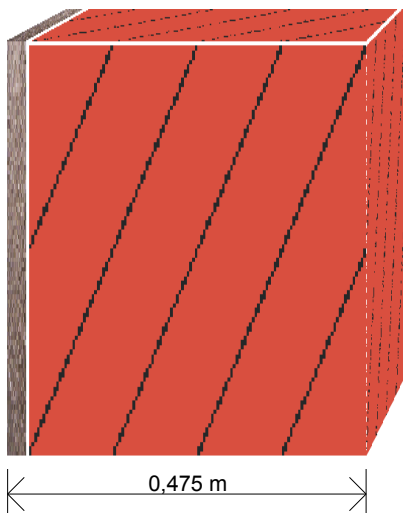
	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	3391,496	8,731 h	734,847	-7,694 h
2	8116,143	-0,269 h	1758,553	7,306 h

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehmbau**
Bauteil: **2013.07.29 V4 oP**

Datum: 29. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert
<input checked="" type="checkbox"/> 1)	1. 0,025	KZM Putz	45,0	1.800	0,800	25,0	0,63	0,031	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 2)	0,450	1.102.04 Vollziegelmauerwerk 1600	720,0	1.600	0,700	-	-	0,643	<input type="checkbox"/>
	0,475			765,0				0,674	

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : 0,040 + 0,674 + 0,130 = \mathbf{0,844 \text{ m}^2\text{K/W}}$

U-Wert : 1,18 W/m²K

Bauteil-Dokumentation
Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: **688 Studie Lehmbau**
Bauteil: **2013.07.29 V4 oP**

Datum: 29. Juli 2013

Bauteil: 2013.07.29 V4 oP Vollziegel ohne Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
1.102.04 Vollziegelmauerwerk 1600	0,450	0,700	0,920	1600	720	0,643
KZM Putz ¹⁾	0,025	0,800	1,130	1800	45	0,031

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,475	[m]
Masse(flächenbezogen)	765,000	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	0,674	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	121,116	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	133,903	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	115,712	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	127,928	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

	innen		außen	
innen	6,123	6,117 i	0,272	-0,060 i
außen	0,272	-0,060 i	6,334	7,214 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	8,655	2,998 h	0,279	-0,832 h
außen	0,279	-0,832 h	9,600	3,248 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-16,696	-26,167 i	3,502	0,775 i
2	-83,289	286,257 i	-16,586	-30,174 i

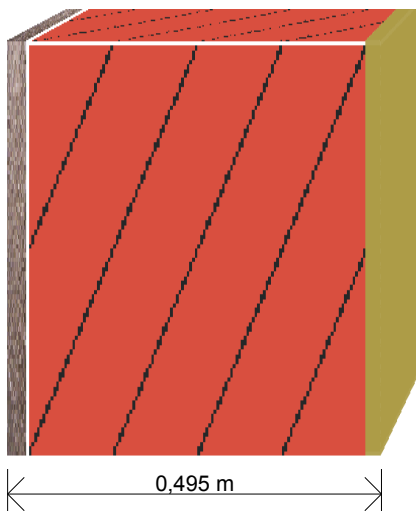
	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	31,040	-8,169 h	3,587	0,832 h
2	298,128	7,082 h	34,432	-7,920 h

Bauteil - Dokumentation
Wärmeübertragung durch Bauteile (U-Wert) nach EN ISO 6946

Projekt: **688 Studie Lehmbau**
Bauteil: **2013.07.29 V4 Lehm**

Datum: 29. Juli 2013

Verwendung : Außenwand



Aufbau des Bauteils

	Dicke [m]	Bezeichnung	Fl.gew. [kg/m²]	Ra.gew. [kg/m³]	Lambda [W/m K]	μ -	sd [m]	R-Wert [m²K/W]	Saniert
<input checked="" type="checkbox"/> 1)	1.	0,025 KZM Putz	45,0	1.800	0,800	25,0	0,63	0,031	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 2)	2.	0,450 1.102.04 Vollziegelmauerwerk 1600	720,0	1.600	0,700	-	-	0,643	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 1)	3.	0,020 Lehmputz 1700 kg/m³	34,0	1.700	0,810	5,0	0,10	0,025	<input type="checkbox"/>
	0,495			799,0				0,699	

wird in der Berechnung des U-Wertes berücksichtigt

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Wärmeübergangswiderstand Außen: 0,04 m²K/W

Wärmeübergangswiderstand Innen: 0,13 m²K/W

$R_T\text{-Wert} : 0,040 + 0,699 + 0,130 = \mathbf{0,869 \text{ m}^2\text{K/W}}$

U-Wert : 1,15 W/m²K

Bauteil-Dokumentation Thermische Kenngrößen Önorm B 8110-3 1999:12

Projekt: 688 Studie Leimbau
Bauteil: 2013.07.29 V4 Lehm

Datum: 29. Juli 2013

Bauteil: 2013.07.29 V4 Lehm Vollziegel mit Lehmputz

Bauteilschichten (umgekehrte Reihenfolge)	Dicke [m]	Lambda [W/m K]	Spez.W. [kJ/kg K]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg/m²]	Du-Wi [m² K/W]
Lehmputz 1700 kg/m³ ¹⁾	0,020	0,810	1,130	1700	34	0,025
1.102.04 Vollziegelmauerwerk 1600	0,450	0,700	0,920	1600	720	0,643
KZM Putz ¹⁾	0,025	0,800	1,130	1800	45	0,031

1) Diese Baustoffe stammen aus dem benutzereigenen Baustoffkatalog!

Stationäre Kenngrößen

Dicke des Bauteils	0,495	[m]
Masse(flächenbezogen)	799,000	[kg/m²]
Durchlaßwiderstand	0,699	[m² K/W]
Übergangswiderstand innen	0,000	[m² K/W]
Übergangswiderstand außen	0,000	[m² K/W]

Dynamische thermische Kenngrößen

Periodenlänge	24	Stunden
Wirksame Wärmespeicherkapazität innen	129,325	[kJ/(m²K)]
Wirksame Wärmespeicherkapazität außen	133,148	[kJ/(m²K)]
Speicherwirksame Masse innen	123,555	[kg/m²]
Speicherwirksame Masse außen	127,207	[kg/m²]

Matrix der harmonischen thermischen Leitwerte

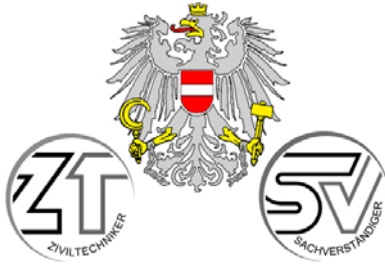
	innen		außen	
innen	6,242	6,919 i	0,222	-0,089 i
außen	0,222	-0,089 i	6,333	7,215 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
innen	9,319	3,196 h	0,239	-1,449 h
außen	0,239	-1,449 h	9,600	3,248 h

Bauteil-Matrix

	1		2	
1	-13,511	-36,496 i	3,879	1,547 i
2	-177,980	328,697 i	-13,404	-37,784 i

	Betrag	Argument	Betrag	Argument
1	38,917	-7,354 h	4,176	1,449 h
2	373,790	7,896 h	40,091	-7,302 h



Dipl.-Ing. Dr. techn. **Anton PECH**
staatlich befugter und beideter **Ingenieurkonsulent für Bauwesen**
allgemein beideter und gerichtlich zertifizierter **Sachverständiger**

Ziviltechnikerbüro und bautechnisches Labor
1040 Wien, Johann Strauß Gasse 32/11
tel +43 1 505 36 80 fax DW 99
office@zt-pech.at http://www.zt-pech.at

An
Mag. Andreas Breuss
Weißgerberlande 60/12
1030 Wien

Konstruktionsbeschreibung

Lehmbaustudie

Reihenhaus in Holzrahmenbauweise mit vorgefertigten Lehmelementen
2070 Mitterretzbach

Allgemeine Beschreibung

Im Rahmen einer Studie werden die Möglichkeiten mehrerer konstruktiver Lehmbauweisen untersucht. Eine Variante bildet ein Holzrahmenbau mit vorgefertigten Lehmelementen, auf dessen Konstruktion nachfolgend näher eingegangen wird.

Dach

Die Dachhaut wird durch einen konstruktiven Holzwerkstoff, welcher gleichzeitig die wasserführende Ebene der Notentwässerung erzeugt (z.B. diffusionsoffene Wand- und Dachplatte – DWD), gebildet welcher auf Sparren auflagert. Die Sparren spannen zwischen Randbalken an Traufe und First und sind mit einer inneren Diagonalschalung versehen, somit ist die Dachebene als Scheibe ausgeführt.

Zwischendecke (Decke über EG)

Sowohl beim straßenseitigen als auch beim hofseitigen Gebäudetrakt sind Brettstapelelemente (ggf. Brettsperrholzelemente) zum Überspannen der Deckenfelder vorgesehen. Um die Spannweite zu verkürzen und das Deckenelement somit ökonomischer zu gestalten, bietet sich die ohnehin vorgesehene, straßenseitige Längswand im Erdgeschoß des Hauptgebäudes zur zusätzlichen Lastableitung an. Da die Treppe längs der Spannrichtung der Decke angeordnet ist, sind keine Wechselkonstruktionen notwendig und die lokalen Lasten können über die Quertragwirkung des Holzbau-Deckenelements abgeleitet werden.

Im Zwischentrakt wird eine Tramdecke vorgesehen.

Wände EG und OG - Leichtbau

Sämtliche Wände in Holzbauweise werden in Holzriegelbauweise (Holzrahmenbauweise) bestehend aus Fuß- und Kopfschwellen mit zwischenliegenden Vertikalstehern in der Regel-Dimension KVH 6/14cm ausgeführt. In Bereichen von Durchbrüchen bzw. bei lokalen Lastkonzentrationen werden die konstruktiven Holzbauteile innerhalb der Riegelwandkonstruktion entsprechend den statischen Anforderungen verstärkt ausgeführt.

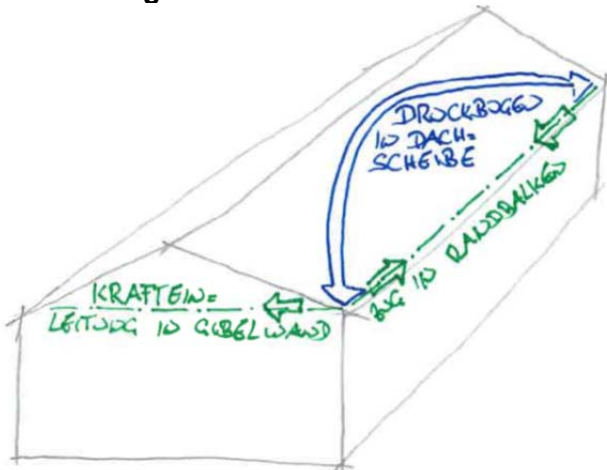
Wand EG – Stahlbetonbauweise

Die erdberührte Wand ist als Stützwandkonstruktion angedacht und daher in Stahlbetonweise ausgeführt. Um Biegemomente zufolge Erddruck in den Untergrund ableiten zu können ist eine biegesteife Verbindung mit der bereichsweisen Fundamentplatte unter dem Erdgeschoß vorgesehen. Um die Konstruktion ökonomisch zu optimieren können die innenliegenden Querwände im Erdgeschoß ebenso als Stahlbetonwand ausgeführt werden.

Gründung

Im Bereich der Stahlbetonwand erfolgt die Gründung durch einen Stahlbeton-Fundamentplattenstreifen, welcher bis zur längsangeordneten Innenwand im Erdgeschoß reicht. Da die Gründungselemente unterhalb der restlichen tragenden Außenwände primär Linienlasten, also keine nennenswerten Biegemomente, in die Gründung einleiten sind darunter Streifenfundamente angeordnet, welche mit frostfrei in gewachsenes Erdreich einbinden und konstruktiv mit Fundamentriegeln untereinander sowie mit der Fundamentplatte im Bereich der Stützwand verbunden sind.

Aussteifung Dach / Decke



Sämtliche Elemente, sowohl in Holz- als auch in Stahlbetonbauweise werden als Scheibe ausgeführt.

Beim Dach werden durch die bereits erwähnte Scheibenwirkung auftretende Horizontalkräfte in die gibelseitigen Außenwände eingeleitet und das Obergeschoß kann ohne tragende Innenwände hergestellt werden bzw. bleibt in der inneren architektonischen Gestaltung frei. Sofern aus konstruktiven Gründen notwendig kann unter der DWD-Platte eine zweite Ebene bzw. auch eine Erhöhung der Dicke der Diagonalschalung(en) vorgesehen werden um die notwendige Steifigkeit in der Dachebene zu erzeugen.

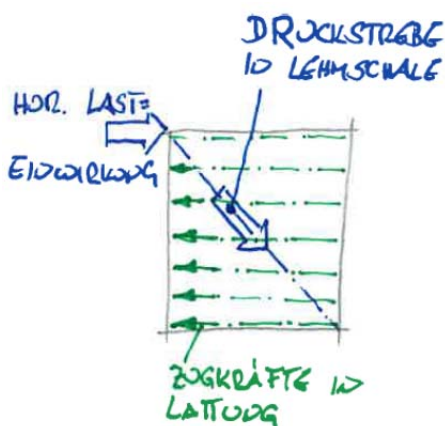
Bei den Zwischendecken haben die Brettstapelelemente selbst Scheibenwirkung.

Da die Tramdecke im Zwischentrakt ebenso wie das Dach konstruktiv mit einem Randbalken (Kopfschwelle der Riegelwand bzw. Unterzug hofseitig) verbunden ist und eine Holzwerkstoffplatte als Dachbildner aufweist wirkt diese ebenso als Scheibe.

Aussteifung Wände

Sämtliche aussteifenden Riegelwände sind mit einer Diagonalschalung versehen und können somit auftretende Horizontallasten aufnehmen. In Bereichen in denen große Öffnungen vorgesehen werden (z.B. hofseitige, längsorientierte Außenwand des Hauptgebäudes) können sofern notwendig Diagonalen (Druckstreben) innerhalb der Riegelwandebene zur Lastableitung vorgesehen werden.

Aussteifung der Außenwände durch Lehm1200 (Alternative zu Diagonalschalung)



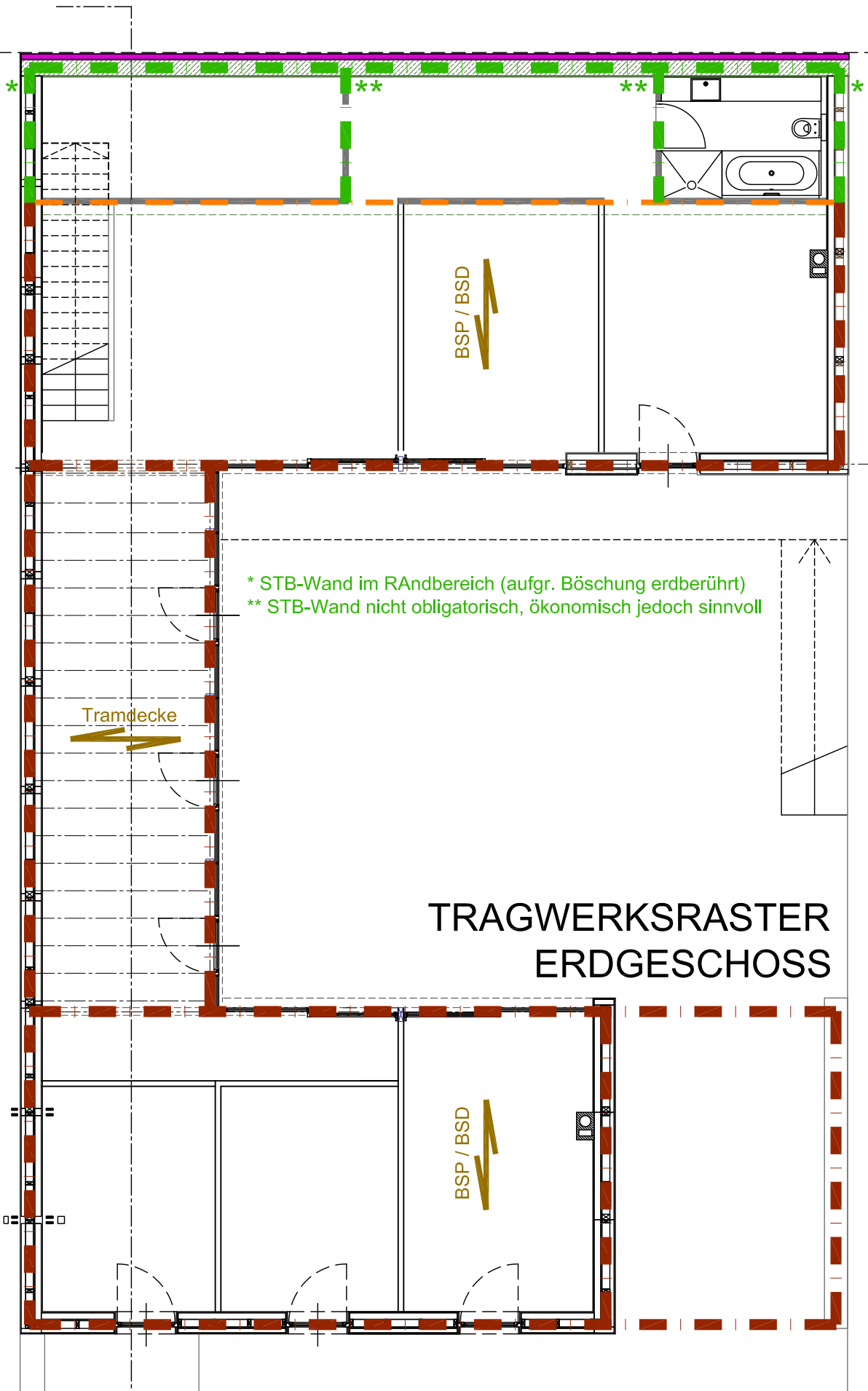
Wie in den Wandaufbauten ersichtlich ist bei den Außenwänden innenseitig eine 12cm dicke Lehm-Schale aus Schwerlehm (Lehm1200) vorgesehen. Dieser wird auf einer aufgelösten Traglattung auf die Riegelwände aufgebracht. Aufgrund der hohen Dichte dieses Werkstoffs und der eben genannten Traglattung ergibt sich eine Fachwerksanalogie innerhalb der Fläche des Außenwandelementes welche die Eignung besitzt Horizontallasten abzuleiten, somit aussteifende Wirkung besitzt und die statische Funktion der innenliegenden Diagonalschalung übernehmen kann. Die inneren Druckkräfte werden hierbei durch den Schwerlehm, die Zugkräfte durch die Holzlattung übernommen. Auf eine Mindestgröße (bzw. – länge), respektive eine entsprechende Proportion der Wandelemente ist hierbei zu achten, bei großen Wandöffnungen können analog zur vorgenannten Lösung diagonale Druckstreben innerhalb der Riegelwand angeordnet werden.

Wien, 19 Juli 2013

Dipl.-Ing. Dr. Anton PECH
i.A. Dipl. Ing. **Matthias DOUBEK, BSc**
GZ.: 2013-124/B1

Beilage: Skizze Tragwerksraster

-  Stahlbetonkonstruktion
-  lastabtragend / aussteifend Holzriegelbauweise / Holzbalkenkonstruktion
-  lastabtragende / aussteifende Innenwand in Holzriegelbauweise
-  Brettsper Holz oder Brettstapeldecke (BSP / BSD)



TRAGWERKSRASTER ERDGESCHOSS

* STB-Wand im RAnDbereich (aufgr. Böschung erdberührt)
 ** STB-Wand nicht obligatorisch, ökonomisch jedoch sinnvoll

Tramdecke

BSP / BSD

BSP / BSD

-  Stahlbetonkonstruktion
-  lastabtragend / aussteifend Holzriegelbauweise / Holzbalkenkonstruktion
-  lastabtragende / aussteifende Innenwand in Holzriegelbauweise
-  Brettsperrholz oder Brettstapeldecke (BSP / BSD)

