

MATERIAL NATURLEHM

Roman von Dall'Armi

Diplomarbeit

Material Naturlehm - Aufbereitung und bautechnische Verwendung
von Naturlehm am praktischen Objekt einer Fachwerkremise in Bayern

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von
Priv.Doz. Dipl.-Ing. Dr.tech. Dr. nat.techn. Hubert Feiglstorfer
(E251 - Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege)

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Roman von Dall'Armi

Abstrakt

Abstrakt (Deutsch)

Das Bauen mit Lehm ist eine traditionelle Bauweise, die in der heutigen Zeit wieder an Popularität gewinnt. Naturlehm und dabei meist lokaler Lehm waren einst immer das Ausgangsprodukt im Lehmhandwerk. Heute kann auf industriell produzierte Lehmprodukte und -baustoffe zurückgegriffen werden. Wir beobachten eine positive Verbreitung und Entwicklung der Einsatzmöglichkeiten. Grundlage bleibt dabei immer das Ausgangsmaterial, der Naturlehm. Mit Blick auf Ressourcenschonung, graue Energie, Lebenszyklus und steigende Baukosten bleibt aber auch die lokale Verwendung von Naturlehm ein wichtiges Thema. Lehm ist ein natürlich vorkommendes Baumaterial, das durch Wasser zu einer formbaren Masse verarbeitet werden kann und auf verschiedene Weise Anwendungen findet. Entscheiden sich Bauherr:innen für das Bauen mit Lehm, kann auf Naturlehm und auf Baulehm zurückgegriffen werden. Bei Verwendung lokaler Lehmvorkommen ist es wichtig, die Eigenschaften des Materials zu prüfen, um geeignete Baustoffe daraus herstellen zu können. Darüber hinaus können Materialien wie Stroh, Holz, Hanf, Schilf, Kalk oder andere mineralische sowie organische Baustoffe hinzugefügt werden, um die Eigenschaften des Materials weiter zu verbessern.

Im Masterstudium der Technischen Universität Wien habe ich das Sondermodul Lehmbau belegt. Der theoretische Schwerpunkt des Moduls war begleitet von Entwurfsaufgaben und einem praktischen zweiwöchigem Workshop in den erste Erfahrungen im Umgang mit Naturlehm gewonnen wurden. Die Möglichkeit der Vertiefung über ein konkretes Gebäude am Obergrashof und der Begleitung als Masterarbeit habe ich dankend angenommen und konnte mir in einem Prozess über gut zwei Jahre viel Wissen über Lehm, Geologie, Anwendung, Lehmbau im Holzfachwerk pädagogische Anleitung zum Selbstbau aneignen und über die eigene handwerkliche Mitarbeit und Bauleitung weiter vertiefen und vor allem am praktischen Beispiel erproben.

In vielerlei Hinsicht erleben wir in diesen Tagen eine Renaissance des Bauens mit Lehm, und so sehe ich die Möglichkeit, mit dieser Arbeit diese Entwicklung zu fördern und zu qualifizieren. Mit der Masterarbeit möchte ich den Diskurs erweitern, konkrete und praktische Anwendungsbeispiele nennen und aufzeigen, warum es auch heute sinnvoll sein kann, auf Naturlehm zurückzugreifen. Insgesamt bietet das Bauen mit Naturlehm und lokalem Lehm eine nachhaltige, umweltfreundliche und wirtschaftliche Alternative zu herkömmlichen Baumaterialien und kann dazu beitragen, energieeffiziente und gesunde Gebäude zu schaffen.

Abstrakt (Englisch)

Building with clay is a traditional construction method that is gaining popularity again today. Natural clay and local clay were once the building blocks of clay production. Today, industrially produced clay products and building materials are being used.

We are currently observing a positive spread in the development of possible uses. The basis always remains the starting material, natural clay. Due to resource conservation, gray energy and rising construction costs, the local use of natural clay also remains an important issue.

Clay is a naturally occurring building material that can be processed into a malleable mass using water and can be used in a variety of ways. If builders decide to build with clay, they can use natural clay and building clay. When using local clay deposits, it is important to check the properties of the material in order to be able to produce suitable building materials from it. In addition, materials such as straw, wood, hemp, reeds, lime or other mineral and organic building materials can be added to further improve the properties of the material.

In my master's degree at the Vienna University of Technology, I took the special module on clay construction. The theoretical focus of the module was accompanied by design tasks and a practical two-week workshop in which I gained my first experiences in working with natural clay. I gratefully accepted the opportunity to study this in more detail as a master's thesis. In a period lasting a good two years, I was able to acquire a lot of knowledge about clay, geology, application, clay construction in timber frame construction, pedagogical instructions for self-construction and to deepen this knowledge further through my own manual work and construction management and, above all, to test it out using practical examples.

In artistic terms, we are currently experiencing a renaissance in building with clay, and so I see the opportunity to influence this development with this work. The masterpiece of work is intended to find arguments, demonstrate them in practice and work out the advantages of why it can still make sense to use natural clay today. Overall, building with natural clay and local clay offers a sustainable, environmentally friendly and economical alternative to conventional building materials and can help to create energy-efficient and healthy buildings.vv

Pressemitteilung des Dachverband Lehm e.V. [14]

„Bauen mit lokalem Lehm soll einfacher möglich sein. Antrag in Thüringen einstimmig angenommen!

Erfurt (dpa/th) - Der Einsatz von lokal verfügbarem Lehm beim Bauen soll in Thüringen einfacher werden. Dazu soll nach dem Willen des Thüringer Landtags die Bauordnung geändert werden. Einen entsprechenden Antrag der parlamentarischen Gruppe der FDP nahmen die Abgeordneten im Parlament einstimmig an. Der FDP-Abgeordnete Dirk Bergner sagte, es gehe darum, klimafreundliches Bauen voranzutreiben, Energie zu sparen und Transporte zu sparen. Die Idee: Wer beim Ausheben des Kellergeschosses für das eigene Heim Lehm findet, soll diesen ohne große bürokratische Hürden für den Hausbau nutzen können.

Bau-Staatssekretär Torsten Weil sagte, dass Lehm als Alternative für herkömmliche Baustoffe stärker ins Bewusstsein geholt werden könne. Zugleich machte er klar, dass für größere Bauvorhaben, bei denen Lehm auch tragend eingesetzt werden soll, nicht auf eine Baustoffprüfung verzichtet werden kann. Weil sagte, dass die Thüringer Bauordnung derzeit überarbeitet wird. Man wolle prüfen, ob Anpassungen nötig sind, „um eine stärkere Verwendung von Lehmbau zu ermöglichen“.

© dpa-infocom, dpa:240202-99-850077/2“

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	8
Aufgabenstellung und Arbeitsmethode	9 - 10
01. Fachwerkarchitektur und Lehm	11 - 13
Geologie Lehm	11
Baulehm und Nachhaltigkeit	12
Lehmbauweisen und Fachwerkgebäude	12 - 13
02. Die Remise am Obergrashof	14 - 27
Das Dachauer Moos	14
Der Obergrashof - Hintergründe und Geschichte	15
Zukunft Obergrashof	16 - 19
Lageplan	16
Perspektive Obergrashof und Schaubild Innenraum	18 - 19
Revitalisierung im ländlichen Raum	22
Umgang mit landwirtschaftlicher Bausubstanz	22
Umgang mit dem Bestandsgebäude und die Ausgangssituation	23 - 27
03. Werk- und Detailplanung	28 - 49
Ausführungsbereich Raumeinheit Erdgeschoss	28
Entwurfsgrundlagen und Ausführungsbeschreibung	28
Thermische Hülle und die Innenräume 01/02	28
Visualisierung - Ansichten	29
Konzepte für Bauphysik und Wärmeschutz	30 - 31
Innendämmung und das Gebäudeenergiegesetz	30
U-Wert Anforderungen und Feuchteschutz	30
Werkplan Grundriss, Ansichten, Schnitte	32 - 39

Fenster - Planung und Einbau	40 - 43
Details	44 - 49

04. Bauen mit Naturlehm **50 - 79**

Materialkonzept und Anwendung	50 - 61
Feldprüfung von Baulehm	50 - 53
Materialkonzept und Anwendung	54 - 55
Materialanalyse im Labor	56 - 61
Datenauswertung Mineralanalyse	56 - 57
Radon und Thoron	58 - 61
Einführung, Auswirkungen und gesetzliche Lage	58
Bericht Materialproben	59 - 61
Dokumentation Ausführung	62 - 77
Stroh-Leichtlehmsteine	64 - 65
Mörtel und Ausfachung	66 - 67
Lehm-Flechtwerk	68 - 69
Innenwand	70 - 71
Ausbau der bestehenden Holzbalkendecke	72 - 75
Innendämmung	76 - 77
Eigenleistung und Workshops	78 - 79

Persönliches Fazit **78 - 79**

Danksagung **80**

Literaturverzeichnis **81 - 82**

Abbildungsverzeichnis **83**

Anhang **83**

Vorwort

Im Spätsommer 2020, heute vor vier Jahren, bekam ich die Gelegenheit, um die es in dieser Diplomarbeit geht. Zu diesem Zeitpunkt war ich als Student mit der Technischen Universität Wien in Niedersulz auf einem einwöchigen Lehmbau-Workshop. Noch nicht ahnend, was später daraus werden wird, wurde mir eine Baustelle auf dem Obergrashof bei München angeboten. Auf dem Obergrashof wird Landwirtschaft, Gemüseanbau und Viehzucht betrieben. Trotzdem haben der Hof und die Gemeinschaft mit den Herausforderungen strukturellen Wandels zu tun, wie ihn ein Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe derzeit erlebt. Folge ist zunehmender Leerstand von ehemals landwirtschaftlich genutzter Bausubstanz. So war es auch mit der Remise am Obergrashof, die auf der Suche nach einer neuen Nutzung zum Gegenstand dieser Arbeit geworden ist. Nachdem ich mich mit den Grundlagen und dem Umfang des Vorhabens vertraut gemacht habe, habe ich beschlossen den Prozess zu dokumentieren und als Diplomarbeit zu bearbeiten. Das Projekt begann mit der Idee, einen betont praktischen Ansatz zu verfolgen, der eng mit der Hofgemeinschaft verbunden ist. Durch eine direkte Zusammenarbeit mit den Mitgliedern der Gemeinschaft sollte das Thema über einen praktischen Ansatz erforscht, bearbeitet und umgesetzt werden. Diese

Herangehensweise ermöglichte eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema und lieferte wertvolle Einblicke in die Planung und den Umgang mit Lehmbaustoffen. Aufgrund der Nähe zur Hofgemeinschaft und über das große Engagement der Menschen vor Ort, ebenso wie die allgemeine Begeisterung für den Lehmbau, konnte ich viele helfende Hände in den Bauablauf integrieren. Um diesen prozessorientierten und praxisnahen Ansatz angemessen zu dokumentieren, wurden zahlreiche Fotos gemacht, die den Forschungs- und Umsetzungsprozess anschaulich festhalten. Die Dokumentation stellt somit eine Verbindung zwischen forschendem Handeln und praktischer Umsetzung her und gibt Einblicke in den dynamischen Prozess der Erkenntnisgewinnung und Umsetzung.



FOTO 02: VORBEREITENDE ARBEITEN
Die zweite Lehmlieferung ist eingetroffen.



FOTO 03: EINSUMPFFEN
Die Wanne zum Einsumpfen des klumpigen Naturlehms wird von freiwilligen Helfern befüllt.

Aufgabenstellung

Aufbereitung und bautechnische Verwendung von Naturlehm

Um eine breite Palette von Fragen rund um das Bauen mit Lehm im Fachwerkhaus beantworten zu können, wird eine detaillierte Werk- und Detailplanung entwickelt und anschließend in einem Raumraster der bestehenden Fachwerk-Remise praktisch umgesetzt und bautechnisch erprobt. Dieser Prozess beginnt mit der Beschaffung geeigneter Lehmvorkommen und deren Aufbereitung zu Baulehm. Dabei werden sämtliche wesentliche Bauteile wie Außenwand, Innenwand, Decke und Boden in die Ausführung einbezogen.

Um sicherzustellen, dass die Planung den Anforderungen des Bauens mit Lehm im Fachwerkhaus gerecht wird, werden verschiedene Aspekte wie ökologische Nachhaltigkeit, bautechnische Machbarkeit und ästhetische Gesichtspunkte berücksichtigt. Dabei ist es wichtig, dass die Materialbeschaffung umweltverträglich erfolgt und lokale Ressourcen genutzt werden. Die Umsetzung des Projekts erfordert ein gründliches Verständnis der traditionellen Bautechniken sowie eine sorgfältige Abstimmung mit modernen Aspekten des

Lehmbaus. Während des bautechnischen Erprobungsprozesses werden mögliche Herausforderungen identifiziert und entsprechende Lösungen erarbeitet. Dieser Raumeinheit kann als Prototyp gesehen werden, um sich für den Ausbau der gesamten Remise vorzubereiten.

Die handwerkliche Mitarbeit soll den Umgang mit Lehm auf der Baustelle und die Verwendungsmöglichkeiten des Naturlehm schulen. Über eine Dokumentation können wesentliche Merkmale, Erkenntnisse, Besonderheiten, Empfehlungen und Schwierigkeiten festgehalten werden und für Interessierte eine Anleitung bieten. Das Durchführen von Workshops mit Kindern und Erwachsenen hilft mir zu lernen, mein Wissen über Lehmbau ansprechend an Andere weiterzugeben und Befangenheiten aus dem Weg zu räumen.



FOTO 04: AUSFÜHRUNGSBEREICH EINHEIT ERDGESCHOSS
Die Ausgangssituation, wie sie im Herbst 2020 aufgefunden wurde.



FOTO 05: FACHWERK AUF PUNKTFUNDAMENTEN
Das Tragwerk gründet in Stampfbeton-Punktfundamenten

Arbeits- und Forschungsmethode

1. Enge Zusammenarbeit mit den Bauherr:innen und der Hofgemeinschaft
2. Erstellen einer Werk- und Detailplanung
3. Handwerkliche Mitarbeit auf der Baustelle
4. Durchführen von Workshops mit Kindern und Erwachsenen
5. Begleitung und Dokumentation der Bauausführung

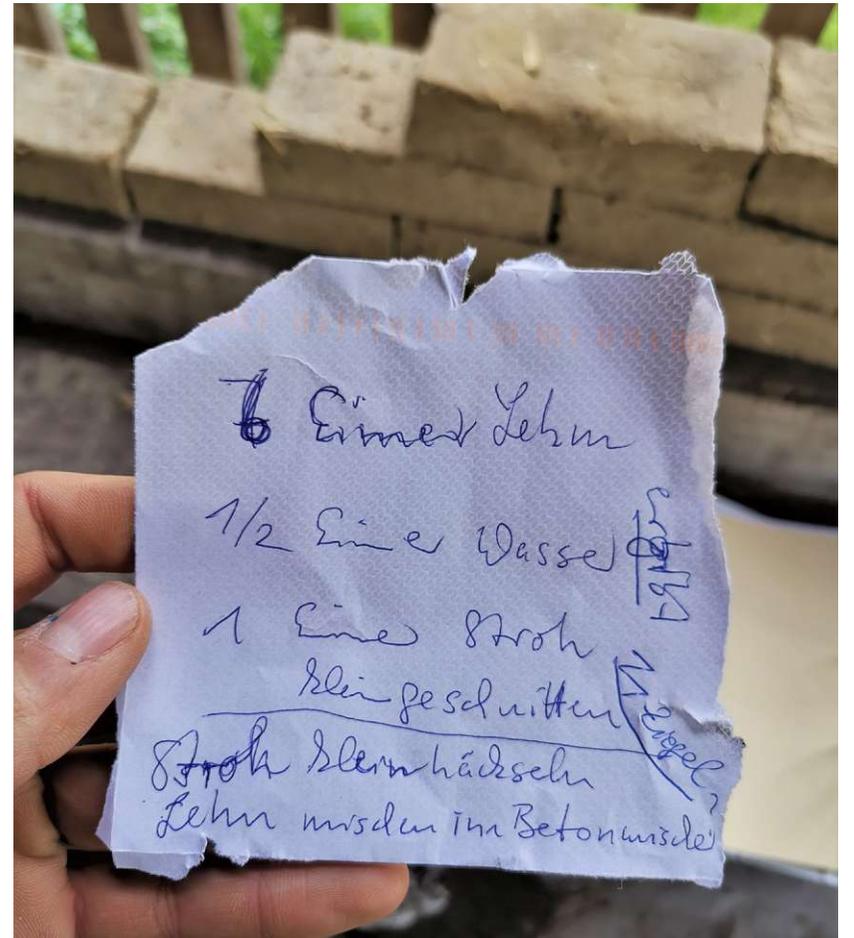


FOTO 06: REZEPTUREN

Eine universal passende Mischung für Strohleichtlehm gibt es nicht. Mehr zu den Rezepturen finden Sie in dem Kapitel „Dokumentation der Ausführung“.

Fachwerkgebäude und Lehm

Geologie Lehm

Lehm ist ein Sedimentgestein, das hauptsächlich aus Mineralien wie Tonmineralen, Quarz, Schluff und Sand besteht. Er bildet sich durch den Prozess der Verwitterung und Erosion von Gesteinen über Millionen von Jahren. Lehm kann in verschiedenen Farben auftreten und je nach seiner Zusammensetzung unterschiedliche Eigenschaften aufweisen [2]. Es ist ein vielseitiges Material und wird in vielen Bereichen verwendet, von der Bauindustrie über die Keramikherstellung bis hin zur Landwirtschaft.

Bestandteile von Lehm

1. Ton (Korn $< 0,002\text{mm}$, nicht fühlbar)
2. Schluff (Korn $0,002\text{-}0,063\text{mm}$, nicht fühlbar)
3. Sand (feinsandig Korn $0,063\text{-}0,2\text{mm}$, gerade fühlbar
– grobsandig Korn $> 0,2\text{mm}$)

Die Einteilung ist nach Korngröße sortiert. Das hat einen besonderen Grund. Die feinen Tonminerale sind entscheidend für den Lehm, der als Baustoff Verwendung finden soll. Ton ist das Bindemittel des Lehmbaustoffes, wie Zement das Bindemittel von Beton ist. Als Faustformel kann gesagt werden, je höher der Tonanteil, desto besser die Eignung für Leichtlehme, da diese Voraussetzung eine Beimengung von großen Mengen porösem Gut zulässt ohne die Bindekraft zu verlieren.

Tongehalt von Lehm

1. Sehr mager (geringer Tongehalt)
2. Mager
3. Fett
4. Sehr fett (sehr hoher Tongehalt)
5. Reiner Ton



FOTO 07: WINTERN UND SOMMERN

Eine Methode, um das Material für die weitere Verwendung vorzubereiten, ist, das Ausgangsmaterial über einen langen Zeitraum der Witterung aussetzen. Ein ständiger Wechsel von feucht und trocken, sowie Temperaturunterschiede haben eine Homogenisierung des Materials zur Folge.

Baulehm und Nachhaltigkeit

Lehm gehört neben Holz und Naturstein zu den ältesten Baumaterialien und wurde in der gesamten Menschheitsgeschichte fast ausschließlich in Form von selbst aufbereitetem Lehm für bautechnische Zwecke genutzt. Die industrielle Herstellung von Baulehm ist vergleichsweise jung, jedoch genießt sie ein äußerst positives Image und passt in den meisten Fällen besser in das moderne Baugeschehen als der Einsatz von Naturlehm.

Die wesentlichen Vorteile von Lehm liegen in seiner Verfügbarkeit, der einfachen Verarbeitung, seiner speicherwirksamen Masse und dem geringen Primärenergiegehalt. Die Verwendung von Lehm ist auch aufgrund der Substitution gängiger Materialien wie Zement und Gips sowie der damit einhergehenden Verbesserung des Raumklimas als Baumaterial hervorragend geeignet. Heutzutage erkennen und schätzen wir zunehmend die positiven Auswirkungen von Lehm auf die thermische Behaglichkeit und die bauphysikalischen Eigenschaften. Lehm, insbesondere der Einsatz von Naturlehm, ist äußerst ressourcenschonend und trägt zur CO²-Einsparung bei. Angesichts der notwendigen Energie- und Rohstoffeinsparung ist der Einsatz von Lehmstoffen angestiegen.

Es ist aus umweltverantwortlicher Perspektive sinnvoll, den gesamten Lebenszyklus eines Baustoffs zu betrachten. Der Prozess beginnt mit dem Abbau und Transport zur Baustelle. Die Gewinnung und Weiterverarbeitung verursachen oft erhebliche Umweltbelastungen in Form von Emissionen, Ressourcenverbrauch und Eingriffen in natürliche Ökosysteme und Naturhaushalte. Dadurch das Lehm fast überall vorkommt, zwar in verschiedenen Formen und Zusammensetzungen, können die Transportwege erheblich reduziert werden. Oft befindet sich die nächste Lehmgrube sogar auf dem eigenen Grundstück. Nach Errichtung und Nutzung des Gebäudes kann der Lehmstoff schadstofffrei wieder der Natur zurückgeführt werden, ohne die Umwelt zu belasten. Diese Eigenschaft der Reversibilität von Tonmineralen ermöglicht eine Nutzung im gesamten Lebenszyklus, ohne dabei auf Energie angewiesen sein zu müssen.

Ein Grund, warum Lehmstoffe aus ökologischer Sicht herausragend sind, ist ihr CO²-Äquivalent. Erdfeucht gelieferter Lehmputz hat nur 5% des CO²-Äquivalents von herkömmlichem zementgebundenem Putz [13]. Ein lasttragender Lehmstein hat einen CO²-Äquivalent-Wert von 55. Im Vergleich dazu hat ein 12er Hochlochziegel einen Wert von 200 [18].

Lehmbauweisen und Lehm-Fachwerk

Neben dem Lehm-Fachwerkbau gibt es verschiedene andere Lehmbauweisen, wichtig sind dabei die lasttragenden Lehmbauweisen wie der Stampflehm- oder Pisebau, der Lehm-Wellerbau und der lasttragende Lehmsteinbau.

Alle genannten Bauweisen zeichnen sich dadurch aus, dass Lehm als Baumaterial in der Regel am häufigsten verwendet wird. Im globalen Süden, wie im Jemen, in Nordafrika oder im Iran, wird die speicherwirksame Masse von Lehm für den sommerlichen Wärmeschutz geschätzt und die lokale Verfügbarkeit begünstigt die Verwendung. Im Norden hingegen steht der raumklimatische Aspekt im Vordergrund.

Lehm wurde seit Jahrhunderten für die Gefache im Holz-Fachwerkbau und für den Innenausbau eingesetzt. Am Obergrashof beschäftigen wir uns mit diesem speziellen Kapitel im Lehm- und Fachwerkbau. Fachwerkgebäude sind statische Skelettkonstruktionen und werden ungefähr seit dem 13. Jahrhundert eingesetzt. Wenn die Gefache, also die Zwischenräume der Holzbalken, mit Lehmstoffen ausgefüllt werden, kann die Fachwerk-Architektur dem Lehm- und Fachwerkbau zugeordnet werden. Die Ausführung kann auf verschiedene Arten erfolgen, wobei eine traditionelle Methode das Einbringen eines Flechtwerks aus Staken und geflochtenen Zweigen, Weidenruten oder Ähnlichem ist, das dann mit Strohlehm bedeckt wird. Eine andere Technik ist die Ausfachung mit Leichtlehmsteinen und einem Verputz oder Anstrich aus Kalk.



FOTO 08: REMISE WINTER 2023

Die Mauerarbeiten sind abgeschlossen.

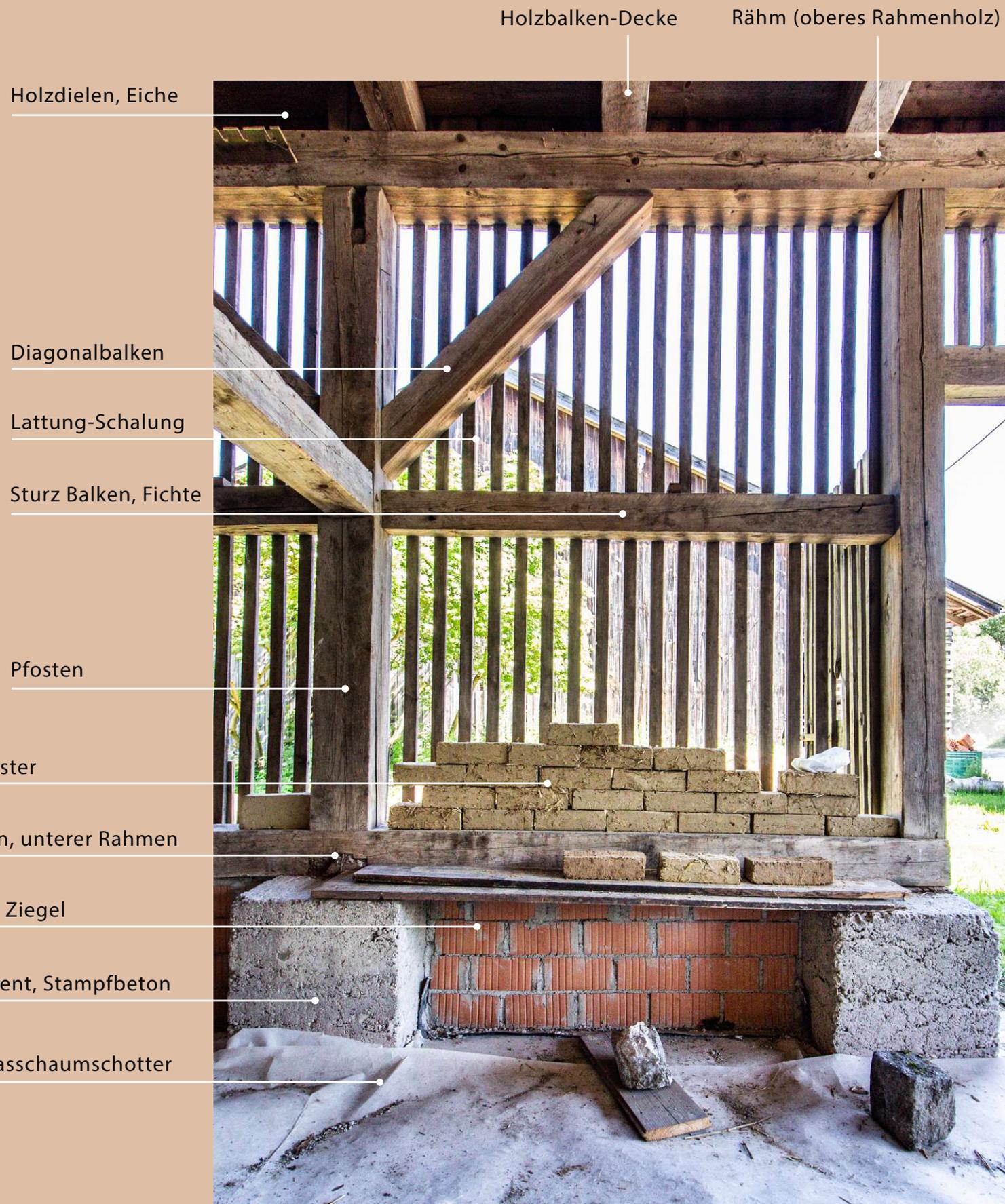


FOTO 09: INNENANSICHT
FACHWERK
Einer der ersten Arbeitsschritte war es, das bestehende Fachwerk nach Mängeln und Fehlstellungen zu untersuchen und diese zu beseitigen.

Die Remise am Obergrashof

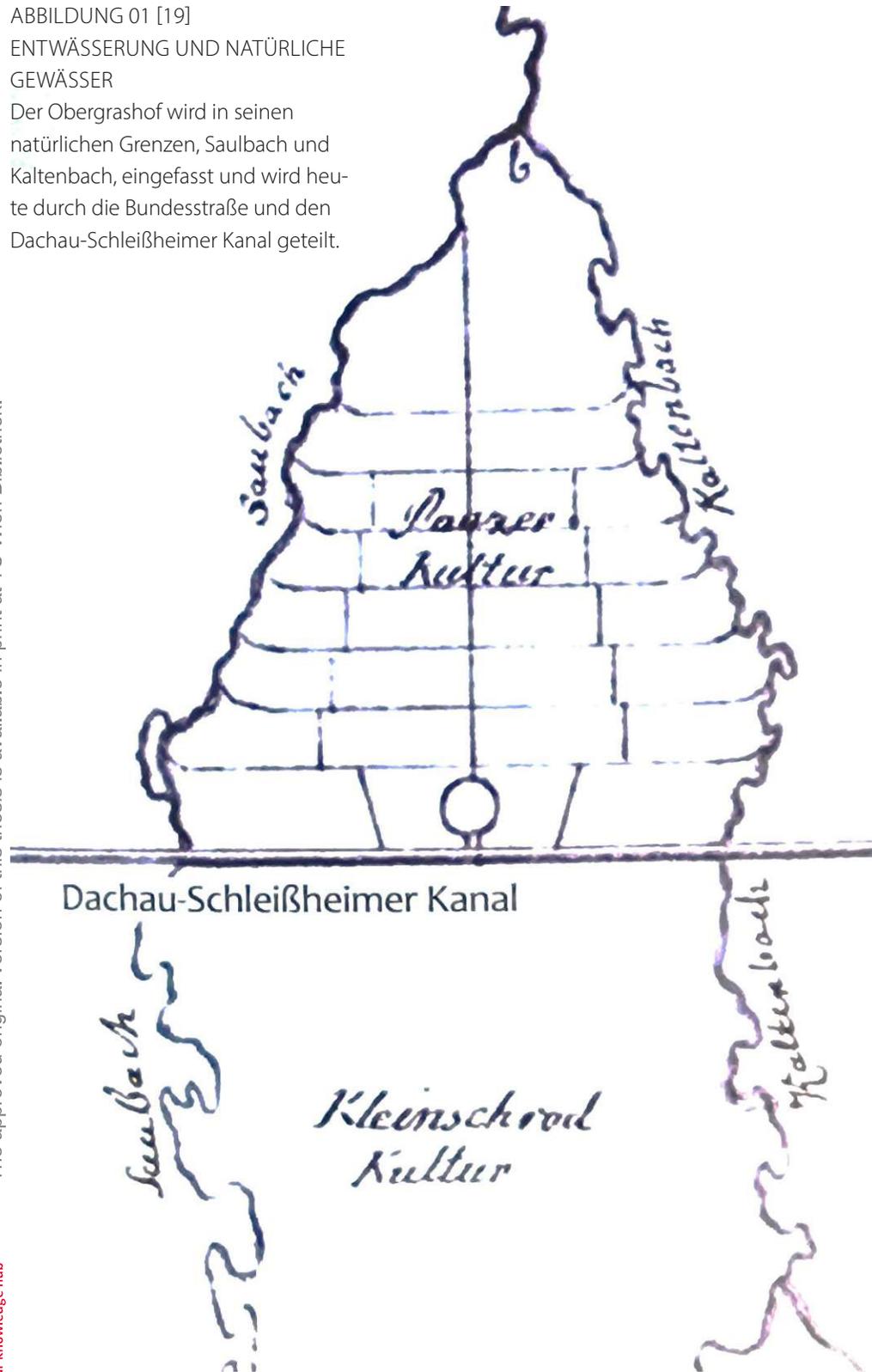
Der Dachauer Moos

Die ursprüngliche Ausdehnung des Dachauer Moores ist aufgrund intensiver Entwässerungsmaßnahmen im 19. Jahrhundert und der nachfolgenden Landwirtschaft deutlich geschrumpft. Heutzutage beschränkt es sich neben den Kerngebieten (Ried- und Hackermoores) lediglich auf einige wenige Moorinseln. Der Grundwasserstand in weiten Teilen des Dachauer Moores liegt heute ein bis zwei Meter unter dem früheren Niveau. Jedoch begann der Wandel des Moores bereits früher. Am 31. März 1759 förderte Max III. Joseph den Torfabbau im Dachauer Moos. Durch den Abbau von Torf und die Trockenlegung wurde der Weg für eine folgende Besiedelung geebnet. Die Gewinnung von Torf als Brennmaterial war eine Reaktion auf akuten Holzbedarf und die Bedürfnisse einer wachsenden Bevölkerung. Zudem war es ein Ziel des Kurfürsten, die ständig drohenden Hungersnöte zu bekämpfen. „In einer Zeit, da jede Missernte unweigerlich eine Hungersnot hervorrief, war gleichwohl nur ein Fünftel des Bodens in Bayern kultiviert“ [19].

Die in dieser Arbeit behandelte Remise wird als Torf-Remise bezeichnet und wurde im 19. Jahrhundert zur Torfgewinnung genutzt, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Bis zum Jahr 1870 wurde auf dem Obergrashof Torf von der Löwen-Brauerei für die Sudkessel abgebaut. Des Weiteren wurde Gras für die Brauerei-Pferde angebaut, was dem Hof seinen Namen gab. Brauereien und Eisenbahnunternehmen waren die Hauptabnehmer von Torf. Nach dem Ende des Torfabbaus haben alle Brauereien ihre Ländereien und Höfe verkauft, außer der Löwen-Brauerei, die den Obergrashof behielt und eine moderne Landwirtschaft bis in die 1920er Jahre betrieb [19]. Heute ist die Landeshauptstadt München Eigentümerin und hat Teile des Obergrashofs verpachtet.

ABBILDUNG 01 [19]
ENTWÄSSERUNG UND NATÜRLICHE
GEWÄSSER

Der Obergrashof wird in seinen natürlichen Grenzen, Saulbach und Kaltenbach, eingefasst und wird heute durch die Bundesstraße und den Dachau-Schleißheimer Kanal geteilt.



Der Obergrashof

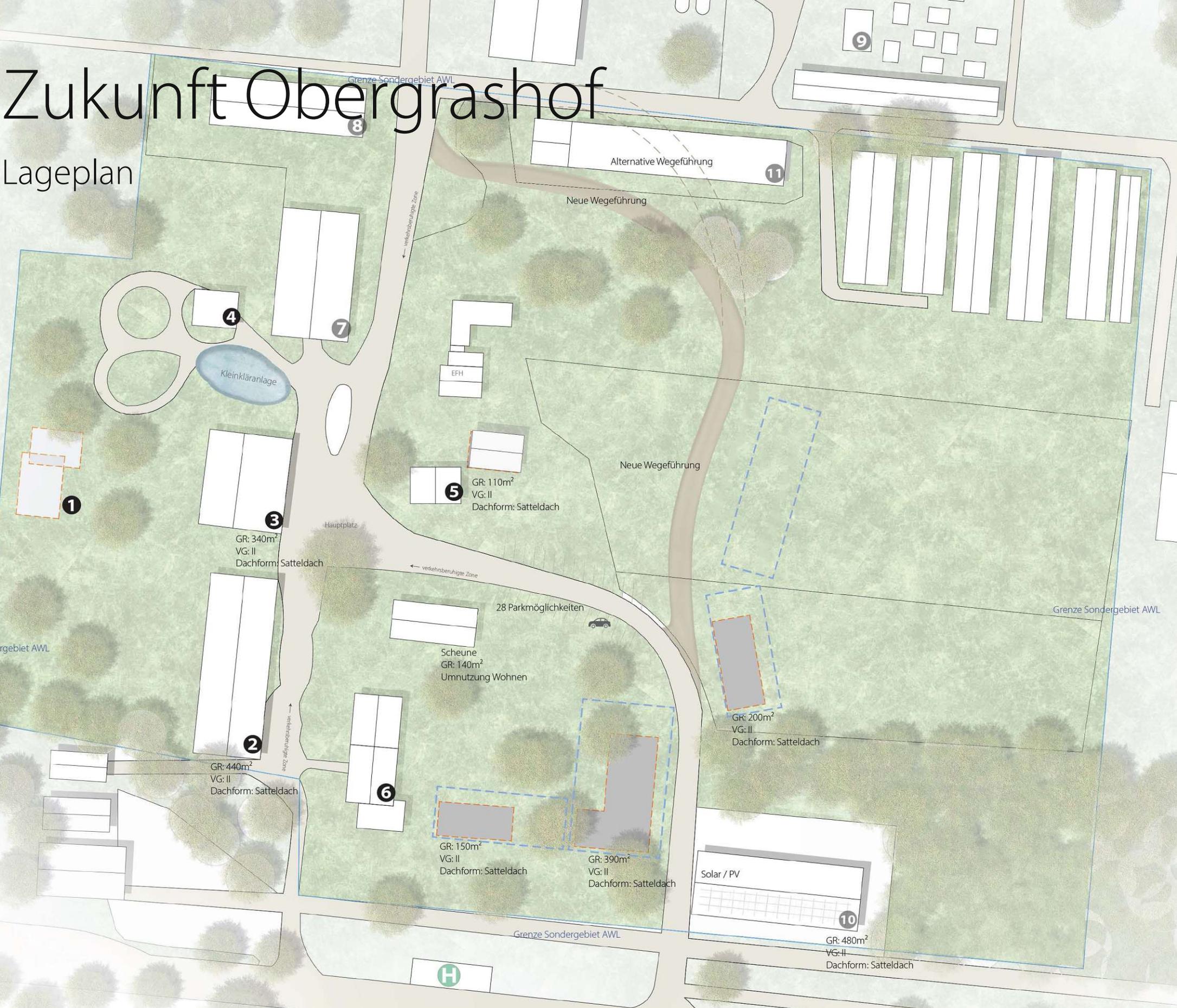
Der Obergrashof liegt im Süden von Bayern, nordwestlich von der Stadt München und ist vom Dachauer Moos landschaftlich geprägt. Seit 1990 werden am Obergrashof eine biologisch-dynamisch bewirtschaftete Landwirtschaft und Gemüsegärtnerei betrieben. Die Gemeinschaft am Obergrashof hat diesen Ort im Laufe der Jahre zu einem Lebensort für Menschen gemacht und weitere Aktivitäten wurden zunehmend verfolgt. Mit der Vision "Arbeiten, Wohnen & Lernen" soll das Projekt Obergrashof in den nächsten Jahren weiterentwickelt und für die Zukunft ausgerichtet werden. Dabei geht es um die tatsächlichen Ideen, um "den Obergrashof gemeinsam mit seiner ursprünglichen Aufgabe, der landwirtschaftlich-gärtnerischen Produktion, zu einem sozialen und gesellschaftlichen Leuchtturm zu gestalten", aber auch um die strukturelle Situation und die Rechtsgrundlagen, bei denen eine Änderung notwendig ist, die es einhergehend zu klären gilt [Anlage01]. Ein wichtiger Aspekt ist die anstehende Neuauflage des Flächennutzungs- und Landschaftsplans für die Gemarkung Dachau, die die materiellen und baulichen Grundlagen für die Zukunft des Obergrashofes bilden wird. Die landwirtschaftliche Privilegierung als Grundlage für Bauvorhaben sorgt für eine situative Nutzung, was in vielerlei Hinsicht mit Leerstand gleichzusetzen ist und zu dem Verfall der Gebäudestrukturen führt.

Der Obergrashof betreibt neben der angesprochenen Landwirtschaft einen Hofladen, einen waldorforientierten Kindergarten, eine Kulturpflanzenentwicklung, eine Kunsttherapie, eine Töpferwerkstatt und in Zusammenarbeit mit dem Verein Dachauer Moos und der Gemeinde Dachau wird Umweltpädagogik betrieben. Neben dem Bestehenden gibt es eine Vision für die nächste Generation, die getragen werden soll von der Idee eines vielgestaltigen Ortes mit unterschiedlichen Initiativen, die zukunftsfähige und lebendige Antworten entwickeln, die sich vor dem Hintergrund globaler und regionaler Herausforderungen stellen. Zur Umsetzung gibt es den Wunsch eines Mehrgenerationen-Wohnortes, der Erweiterung des Hofladens zu einem Hofcafé, die Beschäftigung von Menschen mit Behinderung und Menschen mit Fluchthintergrund und die Schaffung weiteren Ausbildungs- und Arbeitsplätzen.

Zukunft Obergrashof

Lageplan

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



TU
WIEN
Your knowledge hub

- Neubau
- Bestand
- Vorschlag „Grenze Sondergebiet AWL“
- Baufenster

- Projekt „Arbeiten Wohnen Lernen“ am OGH**
- 1** Neubau Kindergarten (bereits genehmigt)
 - 2** Umnutzung Remise
EG: Cafe, Hofladen, Werkstatt / OG: Sozialräume
 - 3** Umnutzung Getreidetrocknung
Tagungshaus
 - 4** Bestand Umweltschule
 - 5** Bestand Verwaltung
 - 6** Bestand Mehrfamilienhaus
 - 7** Bestand Lagerhaus Gärtnerei
 - 8** Bestand Kühlhaus Gärtnerei
 - 9** Neubau Wohnungen Saisonarbeiter
 - 10** Umnutzung „Laude“
 - 11** Umnutzung Sozialraum Gärtnerei
- Gärtnerei [Ausserhalb Sondergebiet]**

11 FOTO: AUFNAHME WOHNGEBÄUDE
Der südliche (links) Gebäudeteil ist der
Ältere aus dem 19. Jahrhundert. Später
wurde das Wohngebäude erweitert.



Perspektive Obergrashof

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



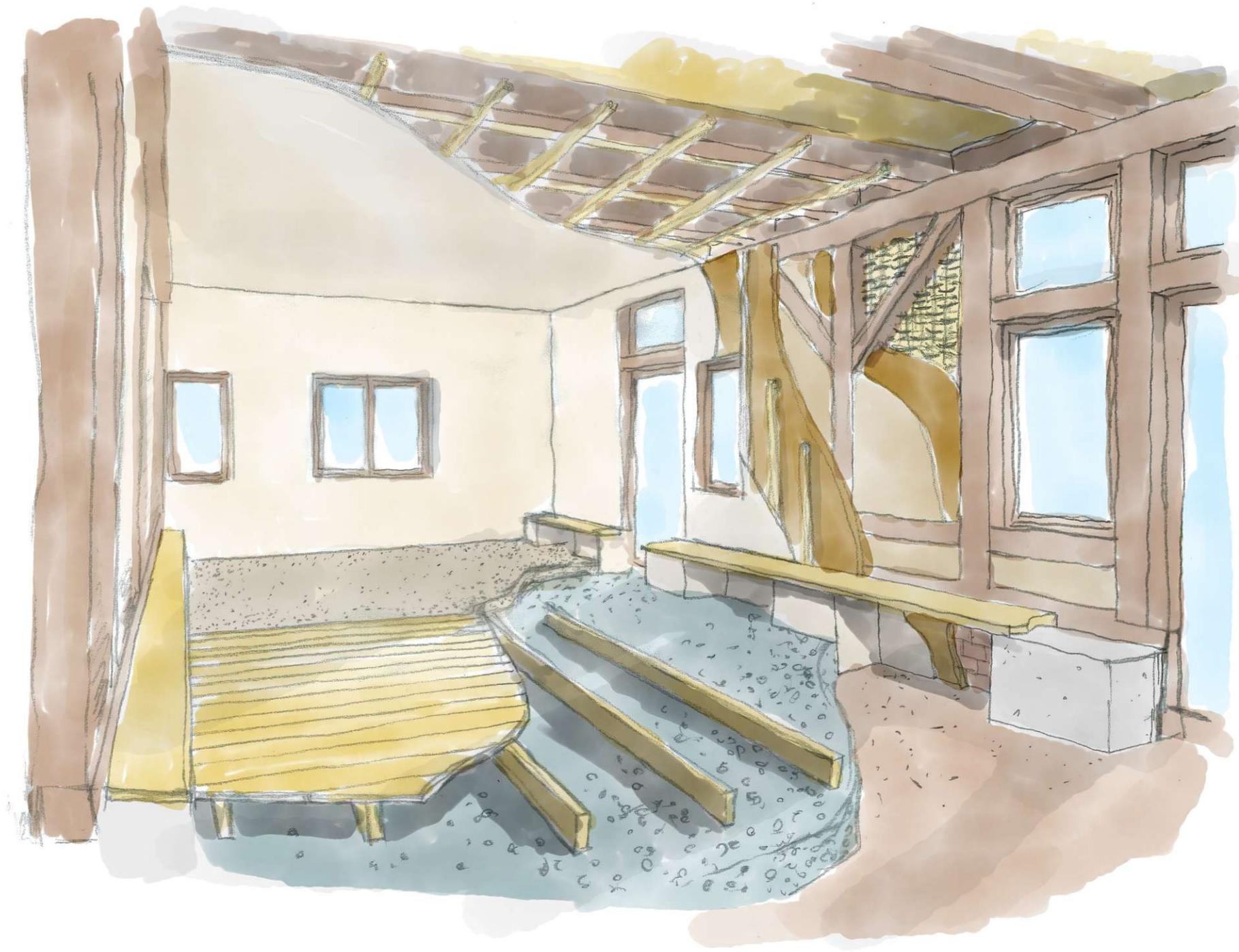
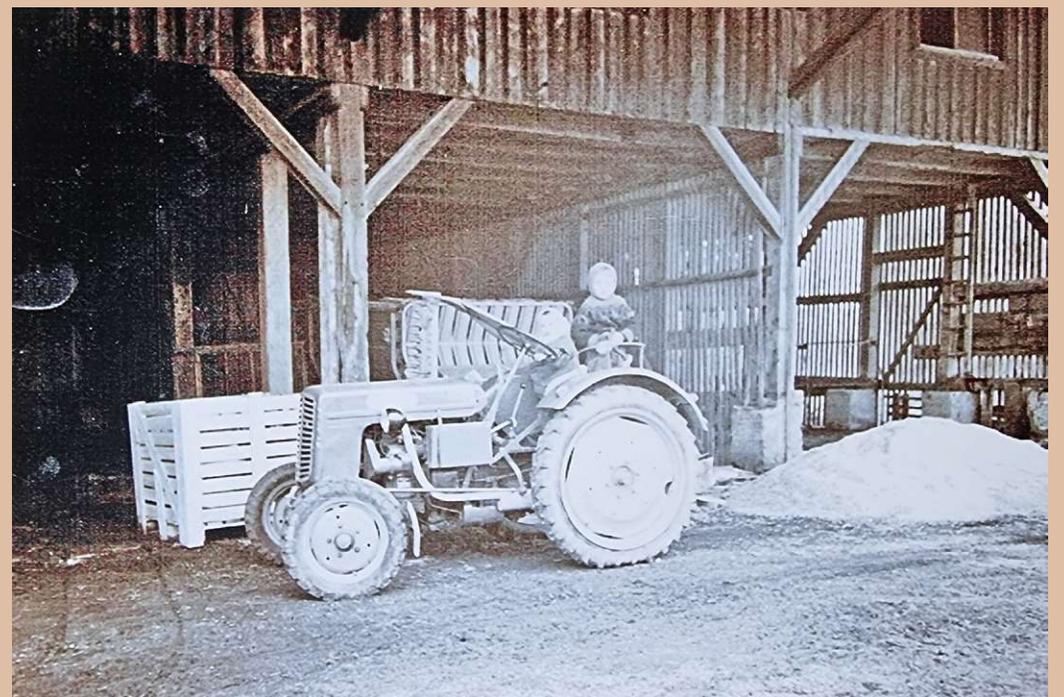


Schaubild Innenraum Raumeinheit

Der Obergrashof um 1990 und der neue Eigentümer, die Stadt München



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

FOTO 12-17: DER OBERGRASHOF UM 1990

Erste Aufnahmen nach der Wiederaufnahme der Bewirtschaftung des Obergrashofs, nach dem Weggang der Löwen-Brauerei.

Neuer Eigentümer war und ist die Stadt München. Die Stadt hat den Hof auf Erbpacht vergeben.



Die Remise am Obergrashof

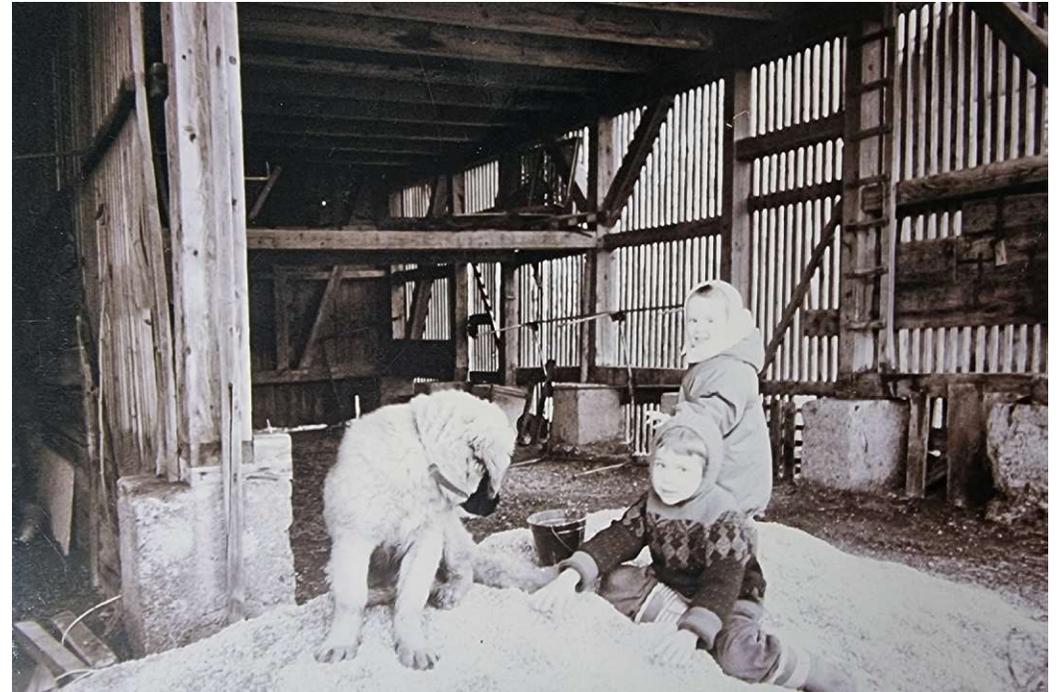
Revitalisierung im ländlichen Raum

Umgang mit landwirtschaftlicher Bausubstanz

Landwirtschaftliche Betriebe orientieren sich heute oft in neue Richtungen, um das Einkommen für einen langfristigen Erhalt der Existenz zu sichern. Spricht man davon erwerbsmäßigen Tätigkeiten in mehreren Bereichen nachzugehen, nennt sich das "Diversifizierung in der Landwirtschaft" [17]. Diesen Prozess kann man auch am Obergrashof beobachten. Im Umgang mit landwirtschaftlichen Gebäuden stellt sich der Status "landwirtschaftlich privilegierte Bausubstanz" nach § 35 Abs. 1 BauGB [19] oft als Problem heraus. Generell ist das Thema Leerstand im ländlichen Raum im Hinblick auf die demographische Entwicklung und die Abwanderung der jungen Bevölkerung in die Städte ein aktuelles Thema. Der Strukturwandel in ländlichen Regionen sorgt für viele funktionslos gewordene Gebäude, über dessen Zukunft und neue Nutzung die Eigentümer oder Nutzer entscheiden müssen. Umgesetzte Beispiele zeigen, dass Stall- und Scheunenumbauten für das Führen von Hofläden, Cafés, Restaurants, die Nutzung als Eventlocation oder für touristische Zwecke funktionieren [17]. Positive Nebeneffekte sind die Stärkung der Wirtschaft im Betrieb, sowie in der Gemeinde, die Schaffung von Arbeitsplätzen und zur Aufrechterhaltung von bestehender Infrastruktur und wertvoller Gebäudesubstanz. Aus persönlicher Sicht würde ich sagen, oft wird die authentische Wirkung instand gehaltener und weiter genutzter landwirtschaftlicher Gebäude unterschätzt.

Landwirtschaftliche Privilegierung

Der Obergrashof liegt im Außenbereich und ist landwirtschaftlich privilegiert. Diese Sonderstellung bekommen Immobilien, die in ihrer Funktion nicht im urbanen Raum umsetzbar sind. Der Außenbereich ist für Natur, Erholung und landwirtschaftliche Zwecke vorgesehen. Eine Umnutzung ist daher nicht einfach möglich, benötigt eine Ausnahmegenehmigung und ist nur unter bestimmten Voraussetzungen, die im "Baugesetzbuch §35 Bauen im Außenbereich" geregelt sind, durchzusetzen [19].



18-19 FOTO: AUSGANGSSITUATION INNENRAUM

Zu sehen ist die Primärkonstruktion der Remise: Punktfundamente aus Stampfbeton, Sockelbereich, Fachwerkebene und Holzbalkendecken. Die Westseite ist mit einer einfachen Boden-Deckel-Schalung verkleidet.

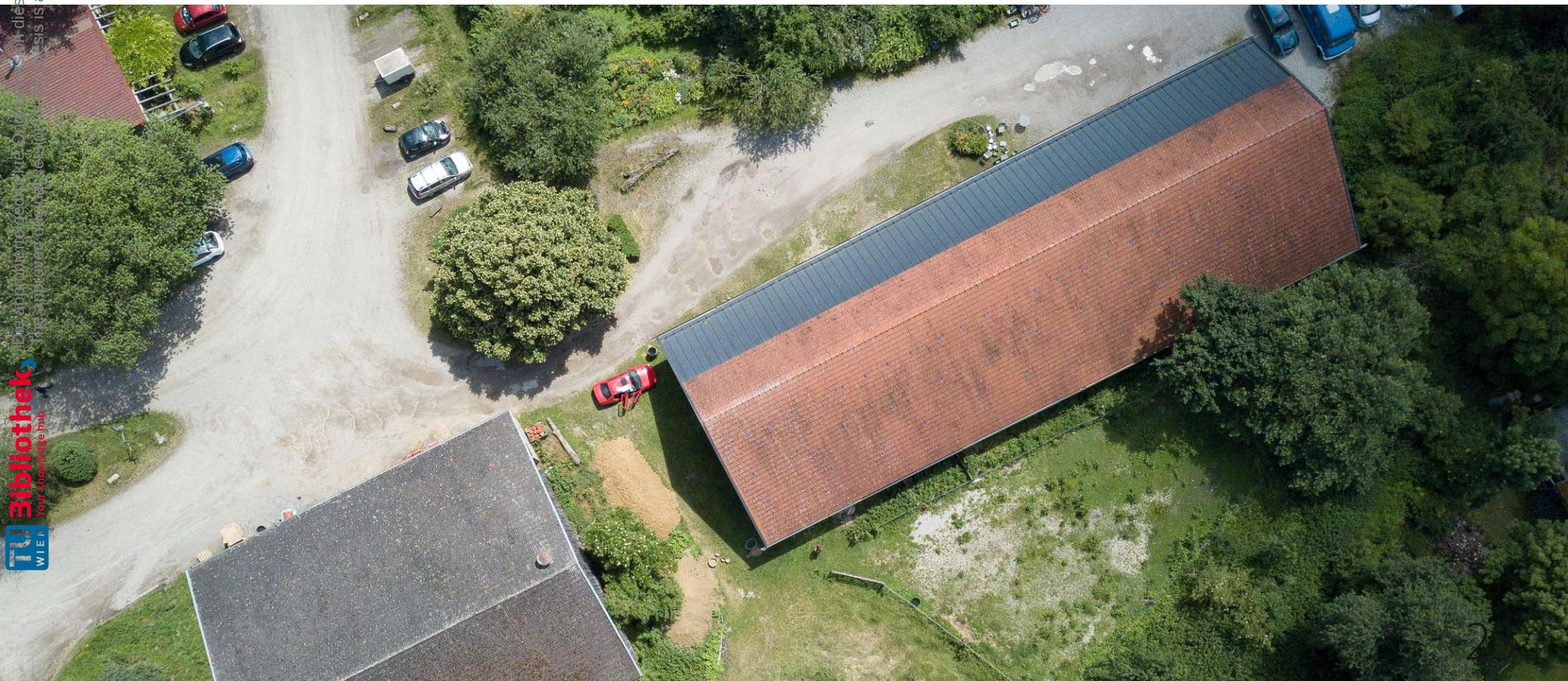
Umgang mit dem Bestandsgebäude und die Ausgangssituation

Der funktionale Bautyp nennt sich Remise. Das Objekt wurde ursprünglich als Torf-Remise für die Gewinnung, Trocknung und Lagerung von Torf genutzt. Eine Remise ist ein Langhaustyp mit meist asymmetrischem Satteldach, das sich zu einer Längsseite orientiert und sich durch einen weiten Dachüberstand auszeichnet. Landwirtschaftliche Maschinen konnten so vor dem Tor zur Verladung von Gütern oder zur Reinigung im Trockenen stehen. Die Remise am Obergrashof ist eine Fachwerkkonstruktion aus Fichtenholz und von einem Kehlbalken-Satteldach getragen. Das Dach ist mit Biberschwanzziegel gedeckt, der weit auskragende Dachüberstand wurde mit leichtem Blech belegt.

Die Remise orientiert sich mit einer Längsseite Richtung Osten zum Innenhof zu dem gegenüberliegenden Wohnhaus. Die Westseite ist mit einer einfachen Boden-Deckel-Schalung ohne Öffnungen ausgestattet und schützt das Gebäude vor Schlagregen und Wind. Mit drei Längsachsen und elf Querachsen und einer Fläche von ungefähr 15m auf 40m, ist das Gebäude sehr prägend für den Hof in seiner städtebaulichen Situation. Das Gebäude ist auf 41 Punktfundamenten aus unbewehrtem Stampfbeton gegründet. Es existiert keine Bodenplatte und das Richtung Norden leicht ansteigende Gelände ist im Gebäude spürbar. Bei der fünften Achse wird das Gelände mit einem Höhensprung von einer Balkenlage

leicht ausgeglichen, die zwischen den Achsen spannende Holzbalkendecke hat an dieser Stelle eine Stufe. Das Dach läuft in einer Fläche durch und wird im Schnitt von einem dreifach stehenden Kehlbalken-Sattel-Dach getragen. Der Dachstuhl zeigt eine Asymmetrie zu den Gründungsachsen und bezogen auf das Dach und dessen Firstpfette selbst. Die Firstpfette des Pfettendachs liegt dezentral zu den längsseitigen Außenwänden und ein Wechsel im Fachwerk verlängert das Gebäude in westliche Richtung, wobei sich das Ungleichgewicht des östlichen Dachüberstands auszugleichen scheint. Räumlich besteht das Gebäude im Erdgeschoss aus zehn Ost-West ausgerichteten Abteilen mit einem geschützten Vorplatz nach Osten. Im Obergeschoss erstreckt sich ein offener Dachstuhl mit durchgehendem, stützenfreiem Raum unter der Firstpfette. Die Ostfassade hat ein vertikales Fassadenfenster, in den Dachflächen waren keine Öffnungen zur Belichtung vorgesehen.

20 FOTO: VOGELPERSPEKTIVE
Drohnenaufnahme der Holz-Fachwerk-
Remisen vom Obergrashof.



Das Bestandsgebäude

21 FOTO: NORD-WEST-ANSICHT
Westseite mit geschlossener Holzschalung und Dachfläche. Rückseitig werden die Rasenflächen für die Tierhaltung verwendet.

22 FOTO: OSTSEITE
Ostseite der Remise mit geöffnetem Erdgeschoss und schützendem Dachüberstand. Die Remise wird unterschiedlich genutzt.



23 FOTO: DACHSTUHL DER REMISE
Der dreifach stehende Dachstuhl ist als Pfettendach konstruiert. Die Firstpfette wird über Kehlbalken getragen und öffnet einen stützenfreien Raum.





24 FOTO: ERSTES TREFFEN

Erstes Treffen an der Remise am Obergrashof im Herbst 2021. Das Foto zeigt die letzte nördliche Einheit der Remise von Osten.

Ausgangssituation im Herbst 2021



25 FOTO: NORD-OST-ANSICHT
Das Gebäude unterliegt der landwirtschaftlichen Nutzung.
Derzeit befinden sich dort ein Stall, Abstellräume und am südlichen Ende gibt es einen Hofladen.
Das Gebäude ist nicht unterkellert und wird nicht beheizt.

Werk- und Detailplanung

Ausführungsbereich Raumeinheit Erdgeschoss

Entwurfsgrundlagen und Ausführungsbeschreibung

Der Ausbau der Raumeinheit mit ungefähr 45m² am nördlichen Ende der Remise im Erdgeschoss wird mit dem Blick auf die vollständige Sanierung des Gebäudes umgesetzt. Es ist das Ziel, einen Weg zu finden, der nicht nur auf die spezifische Raumeinheit anwendbar ist, sondern auch auf die Sanierung des gesamten Gebäudes übertragbar ist.

Die Vorgabe der Bauherrin für den Ausbau der Remise am Obergrashof war, das äußere Erscheinungsbild zu bewahren und die charakteristische Bautypologie beizubehalten. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Anpassung des Fachwerks zur Erschließung, Belichtung und Belüftung gelegt. Das Sichtfachwerk, die Schalungen, die Bestandsfenster in den Obergarden der Ostfassade und die punktuelle Gründung bleiben dem äußeren Erscheinungsbild erhalten. Die Holzschalungen (Boden-Deckel-Schalungen) werden partiell ausgebessert, die Bestandsfenster ausgetauscht und das Fachwerk saniert, ergänzt und an die neue Nutzung angepasst. In die großzügige Einfahrt im Osten wird eine Terrassentüre eingebaut. Die Nordfassade mit zwei Eingangstüren erhält drei Fenster, zwei Oberlichter über den Eingängen und zwei dreieckige Verglasungen. Die Westfassade wird großflächig geöffnet und mit zwei Fenstern und einem rautenförmigen Fenster ausgestattet. Alle Fenster und Türen sind Holzfenster.

Thermische Hülle

Die thermische Hülle beinhaltet drei Außenwände (Ost, West, Nord). Die bestehenden Fachwerkbalken gehen bis in 20 cm Tiefe und werden mit Stroh-Leichtlehmsteinen im 3DF Format mit 17,5 cm Tiefe ausgefacht. Strohleichtlehm eignet sich optimal als Ausfachungsbaustoff, da dieser wenig feuchteempfindlich und frostbeständig ist, und zudem mit einer ähnlichen Dichte auch ähnliche Dehnungseigenschaften aufweist. Eine angenäherte Dichte des Leichtlehm zum Fachwerkholz sorgt für ähnliche Wärmeleitwerte, wodurch Wärmebrücken im inhomogenen Schichtaufbau aufgehoben werden.

Zum Schutz vor Herauskippen des Mauerwerks wird das Fachwerkfenster mit Dreiecksleisten ausgestattet und die Lehmsteine innenbündig angelegt. So entsteht außen 2,5 cm Spielraum für den Kalkputz. Innenseitig wurden alle Lücken und Unebenheiten mit Strohlehm nivelliert, damit die Innendämmung fachgerecht montiert werden kann. Die Nord-West Ecke wird als Lehmflechtwerk ausgefacht. Das Geflecht besteht aus Eichenstaken und Haselruten aus der Umgebung. Das Geflecht wird mit langfaserigem Strohlehm verkleidet.

Die Räume 01/02

In der Raumeinheit entstehen zwei Räume mit 15 m² (Raum 01) und 28 m² (Raum 02). Die Zwischenwand ist eine Holzständerwand, die mit schweren Lehmsteinen im NF Format ausgemauert und beidseitig mit Lehm verputzt wurde. Schwere Lehmsteine haben aufgrund der hohen Masse gute Schallschutzeigenschaften und erfüllen dadurch die Schallschutzanforderungen einfach. Die Innentüre ist optional und wird derzeit nicht ausgeführt. Die Wand erhält in den oberen 50 cm ein Lichtband, um jeweils die Morgen- und Abendsonne in den anderen Raum zu lassen.

Die Räume erhalten eine abgehängte Decke mit Holzweichfaserausbauplatten und eine Innendämmung von 2 cm aus Holzweichfaser. Alle Oberflächen werden mit 2-3 cm Grund- und Oberputz verputzt. Die Fensterlaibungen werden gedämmt und ohne Eckschutz rund verputzt.

Der Boden des kleinen Raumes 01 ist ein Stampflehm Boden, der große Raum bekommt einen Holzboden aus massiven Eichendielen auf Holzunterkonstruktion mit Perliten gefüllt. Perlit ist ein mineralisches Material, das sich für den Einsatz im erdberührten Bereich eignet. Beide Räume werden mit Strom und einem Waschtisch ausgestattet. Die Räume sollen langfristig mit einer Wandheizung ausgestattet werden. Zwischenzeitlich bekommen die Räume eine Infrarotheizung. Die Punktfundamente werden innenseitig gedämmt und eine Sitzbank quergelegt, um gemütliche und warme Aufenthaltsbereiche an den Fenstern zu schaffen.



26 - 27 FOTO: FLECHTWERK UND LEHMSTEINE FÜR DIE AUSFACHUNG

Ansichten

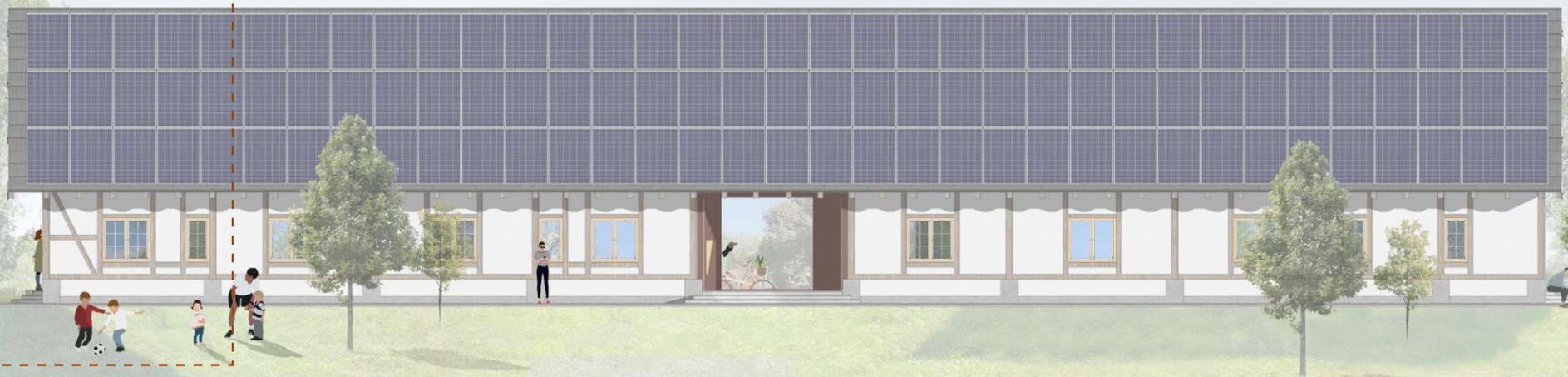
Ausführungsbereich

Die approbierte, gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Ansicht Nord

Ansicht West



Ansicht Ost



Konzepte für Bauphysik und Wärmeschutz

Innendämmung und das Gebäudeenergiegesetz

Das Fachwerk soll von außen sichtbar bleiben und gleichzeitig den Anforderungen an den Wärmeschutz nach deutschem Gebäudeenergiegesetz genügen. Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes sind unter anderem einzuhalten, sobald Änderungen an der Gebäudehülle vorgenommen werden, dabei sind bestimmte Bauwerke, wie Denkmäler oder wenn es aus bestimmten Gründen technisch nicht möglich ist, ausgeschlossen [20]. Seit der letzten Novellierung der ehemaligen Energieeinsparverordnung im Jahr 2013 wurden keine energetischen Anforderungen an innengedämmte Bauteile mehr formuliert. Gemäß dem aktuellen Gebäudeenergiegesetz ist die Wahl der Dämmschichtdicke sowie des Innendämmsystems frei zu planen, solange durch den Einbau keine bauphysikalisch bedingten Schäden entstehen [20]. Eine Innendämmung wird üblicherweise nicht über 4-6 cm ausgeführt, um einen ungünstigen Taupunkt und damit potenzielle Durchfeuchtung des Bauteils zu vermeiden. Eine Innendämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 040 darf höchstens mit einer Dämmstoffdicke von 4 cm aufgebracht werden [20].

U-Wert Anforderungen und Feuchteschutz

U-Wert Anforderungen sind ein komplexes Thema, das an dieser Stelle nicht eindeutig festgestellt werden kann, da die Grundlagen der Genehmigung und Umnutzung der Remise nicht geklärt ist. Nach WTA-Merkblatt 8-1 der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) werden nachweisfreie Konstruktionen für Fachwerkgebäude geregelt. Gegenüber den Angaben in DIN 4108 Teile 2 und 3 werden im WTA-Merkblatt 8-1:09.2014/D für Fachwerk-Außenwände abweichende Anforderungswerte formuliert, die in der speziellen baulichen Konstruktion begründet liegen [20]. Die DIN 4108 ist eine deutsche Norm und die Grundlage für energetische Berechnungen und Sanierungsmaßnahmen in Deutschland.

Die Außenwand der Remise hat nach der Sanierung eine Bauteilstärke von 28cm und dabei einen U-Wert von $\sim 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ im Fachwerkbereich.

Die Gefahr des Eindringens von Schlagregen durch die Fuge zwischen Balken und Ausfachung in das Außenwandbauteil besteht ebenfalls. Um Feuchteschäden zu verhindern und eine trockene Wand zu gewährleisten, werden spezifische Vorkehrungen getroffen. Alle Bauteile (Boden, Wand,

Decke) außer dem Dach sind diffusionsoffen konzipiert. Es werden kaum Folien zur Feuchtigkeitsbremse oder -sperre verwendet. Das Material Lehm kann Feuchtigkeit im Porengefüge aufnehmen, verteilen und langsam wieder an die Luft abgeben. Die Regulierung der Feuchtigkeit über die Baustoffe, freie Lüftung und eine Wärmeverteilung mit hohem Strahlungswärmeanteil wird eine hohe thermische Behaglichkeit in den Räumen der Remise erreicht. Einer sommerlichen Überhitzung sollte aufgrund des hohen Anteils an speicherwirksamer Masse über den Lehm und andere mineralische Baustoffe erfolgreich entgegengewirkt werden.

Material für Fachwerkausfachung und Sockel

Die diffusionsoffenen Eigenschaften des Lehms ermöglichen eine effektive Entfernung von Feuchtigkeit, was das Raumklima verbessert, Schäden am Holz reduziert und die Langlebigkeit enorm steigert. Dabei sind sowohl der Lehmstein als auch das Lehm-Flechtwerk optimale Lösungen, um die Langlebigkeit des

Gebäudes zu steigern und eine gesunde Wohnatmosphäre zu schaffen. Für den Sockelbereich werden gebrannte Ziegel eingesetzt, das Mauerwerk wird mit einem Außenputz aus Kalk und einer Innendämmung aus Holzweichfaserplatten mit einer Stärke von 2cm versehen. Kalk ist ein natürlich vorkommendes, schadstofffreies Material, überzeugt in der Lebenszyklusbetrachtung (Kalkkreislauf), ist diffusionsoffen und somit geeignet für den gewählten Wandaufbau. Die Dämmplatten werden mit Lehm-Klebemörtel befestigt und schließen die Punktfundamente mit ein, damit keine Wärmebrücken entstehen. Lehm-Klebemörtel ist eine Art Lehmputz, der für Bauteilanschlüsse eingesetzt wird. Anfallende Feuchtigkeit (Taupunktproblematik der Innendämmung) kann von Lehm-Klebemörtel aufgenommen werden, verteilt sich im Porengefüge und wird langsam wieder an die darunterliegenden Schichten und die Außenluft abgegeben. Von der Geländeoberkante gemessen hat der Sockel eine Höhe von 70cm. Auf den Punktfundamenten liegt der Schwellbalken der Fachwerkkonstruktion.

Die Temperierung nach Henning Großes Schmidt

Zusätzlich ist eine Wandheizung sinnvoll, da sie die Wärme gleichmäßig und effizient im Raum verteilt und die Außenwand trocken hält. In Frage kommen Wandflächenheizungen oder eine Temperierung nach Henning Großes Schmidt [22]. In Bayern wurde die Temperierung ursprünglich für Museen entwickelt, um in meist alter Bausubstanz gegen Feuchtigkeit und Schimmelbildung effektiv vorzugehen, um Kunstgegenstände zu schützen und die Gebäude langfristig und schonend zu sanieren. Die Temperierung beheizt die Gebäudehülle kontinuierlich durch Warmwasser führende Heizrohre an der Innenseite der Außenwände entlang der gesamten Gebäudehülle. Die Heizrohre werden in horizontalen oder vertikalen Schleifen verlegt, um eine gleichmäßige Wärmeverteilung im Raum zu gewährleisten. Das System funktioniert über einen Primärkreis aus Vor- und Rücklauf im Sockelbereich und dem davon abgehenden Sekundärkreis aus Vor- und Rücklauf im Brüstungsbereich und zusätzlichen Schleifen, die kalte Bereiche und geometrisch und baulich bedingte Wärmebrücken abfährt. Die Leitungsnetzte zeichnen sich durch eine minimale Zahl an Laufmetern aus, müssen aber mit höheren Vorlauftemperaturen von ungefähr 37-57°C gefahren werden. Dadurch entstehen isotherme Oberflächen

im Gebäudeinneren, die eine hohe Behaglichkeit, Gesundheit, Energieeffizienz und Energieeinsparung ermöglichen [22]. Laut Henning Großes Schmidt löst die Temperierung Probleme wie aufsteigende Bodenfeuchte, Kondensation und Salzausblühungen an den Wänden [22].

28 FOTO: TEMPERIERUNG

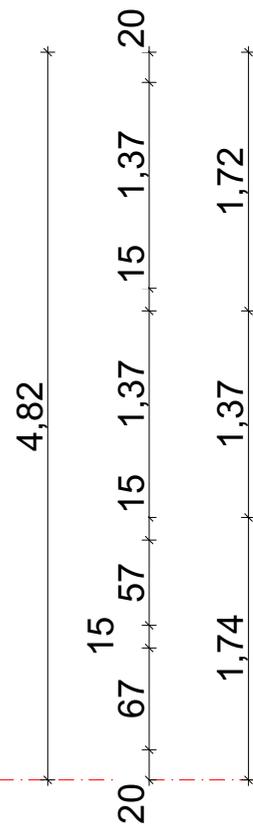
Das eigene Foto stammt von einem Bauvorhaben des Architekturbüro Dall'Armi Ingenieure GmbH. Zu sehen sind die Rohrführungen der Sockel- und Brüstungsschleife.



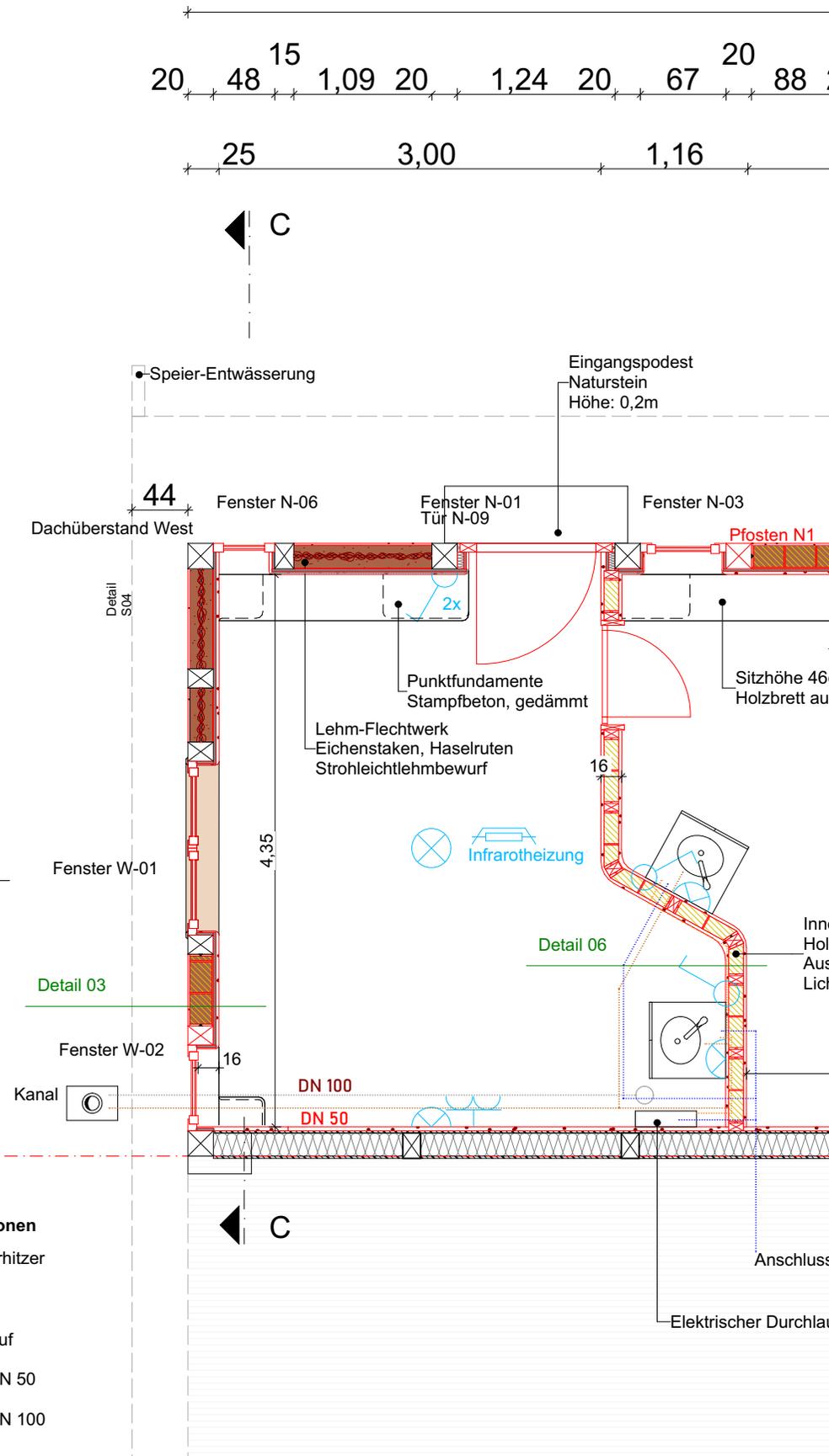
Werkplanung - Grundriss 1:50

Raum 01

Fläche: 15 m²
 Raumhöhe: 3 m
 Bodenbelag: Eichendielen
 Infrarot-Deckenheizung
 Oberflächen: Lehmputz



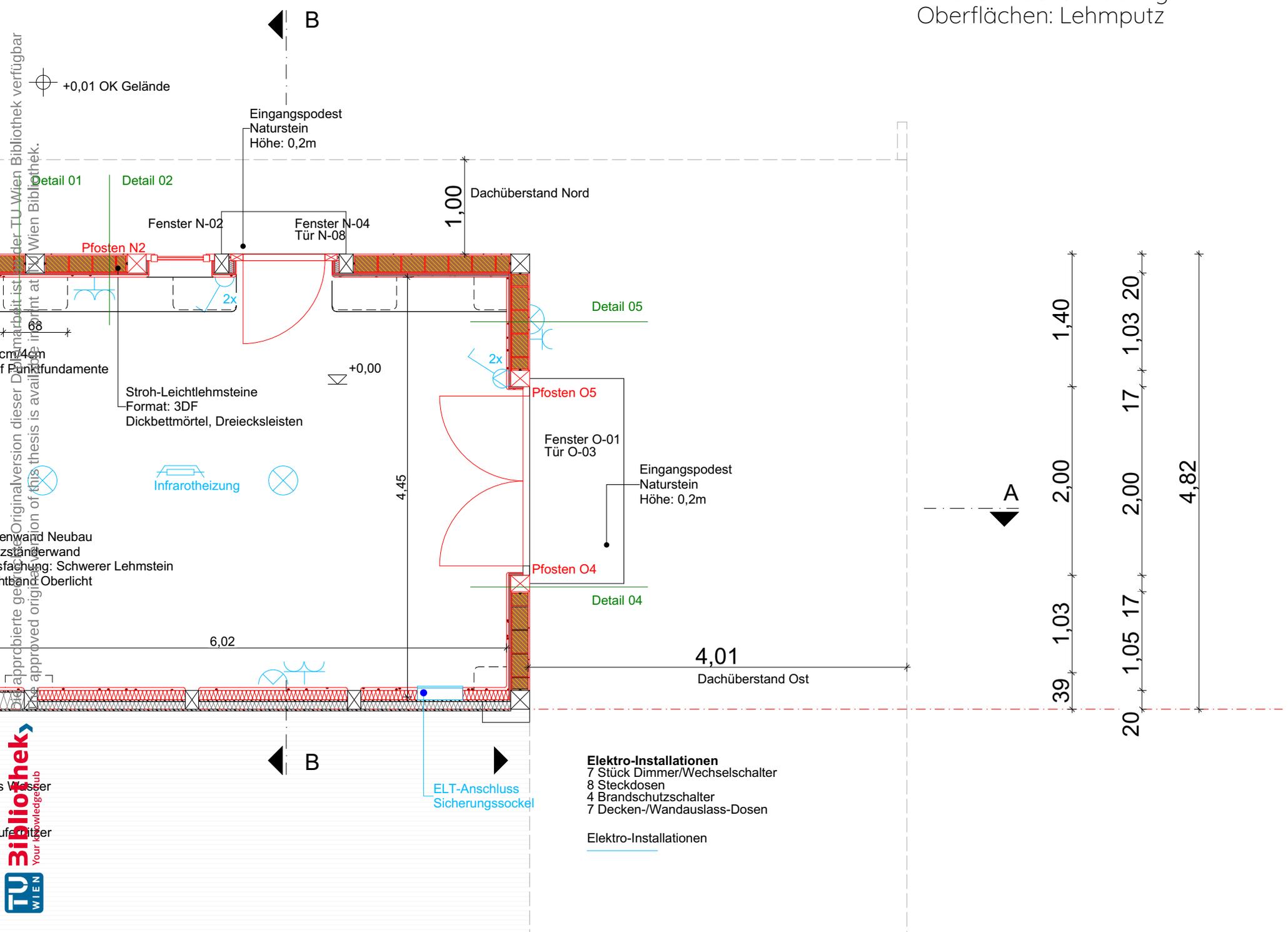
- Sanitär-Installationen**
- 2 Waschtische
- 2 WW-Durchlauferhitzer
- Kaltwasser Zulauf**
- Warmwasser Zulauf**
- Schmutzwasser DN 50
- Schmutzwasser DN 100



10,66
 20 88 20 72 15 1,17 15 1,67 20
 6,01 24

Raum 02

Fläche: 28 m²
 Raumhöhe:
 Bodenbelag: Eichendielen
 Infrarot-Deckenheizung
 Oberflächen: Lehmputz





29 FOTO: NACH ERSTEM LEHMTRANSPORT

Die Nordfassade noch im anfänglichen Erscheinungsbild im Frühjahr 2021



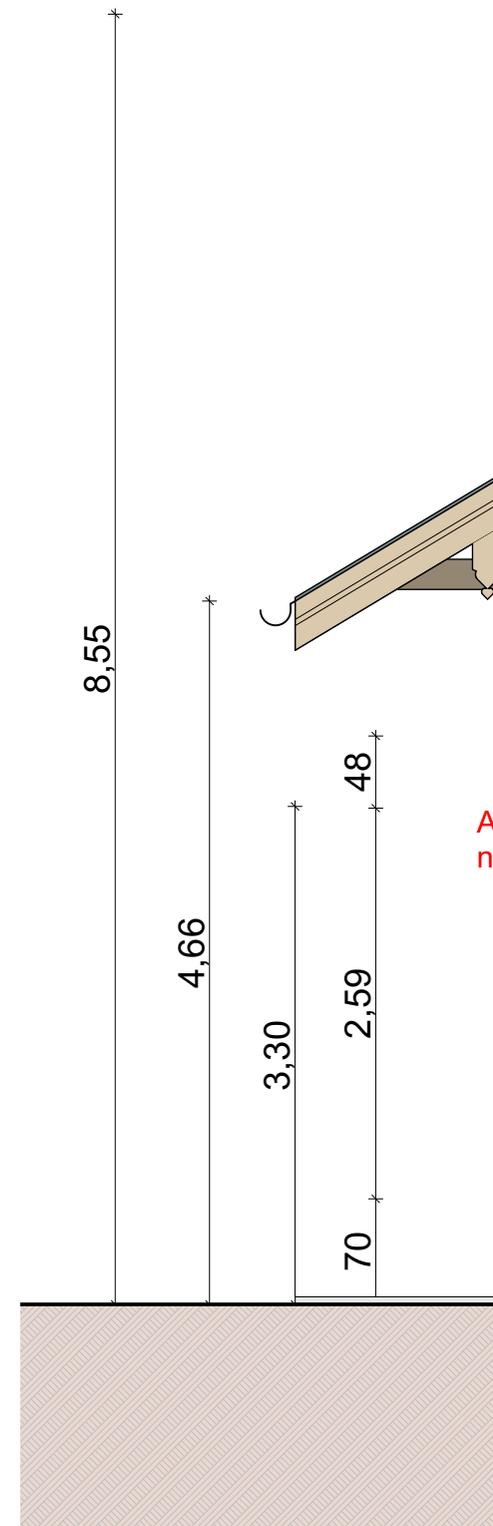
30 FOTO: ZU BEGINN DER ARBEITEN SOMMER 2021

Die Lattung wird abgenommen, das Fachwerk gereinigt und instandgesetzt.



31 FOTO: NACH AUSFACHUNGS-ARBEITEN IM HERBST 2022

Die Ausfachungsarbeiten sind abgeschlossen. Aufgrund der frost- und auch wasserunempfindlichen Leichtlehmsteine ist keine Eile mit dem Außenputz erforderlich.



Werplanung - Ansicht Nord 1:50

Firsthöhe 8,55 m

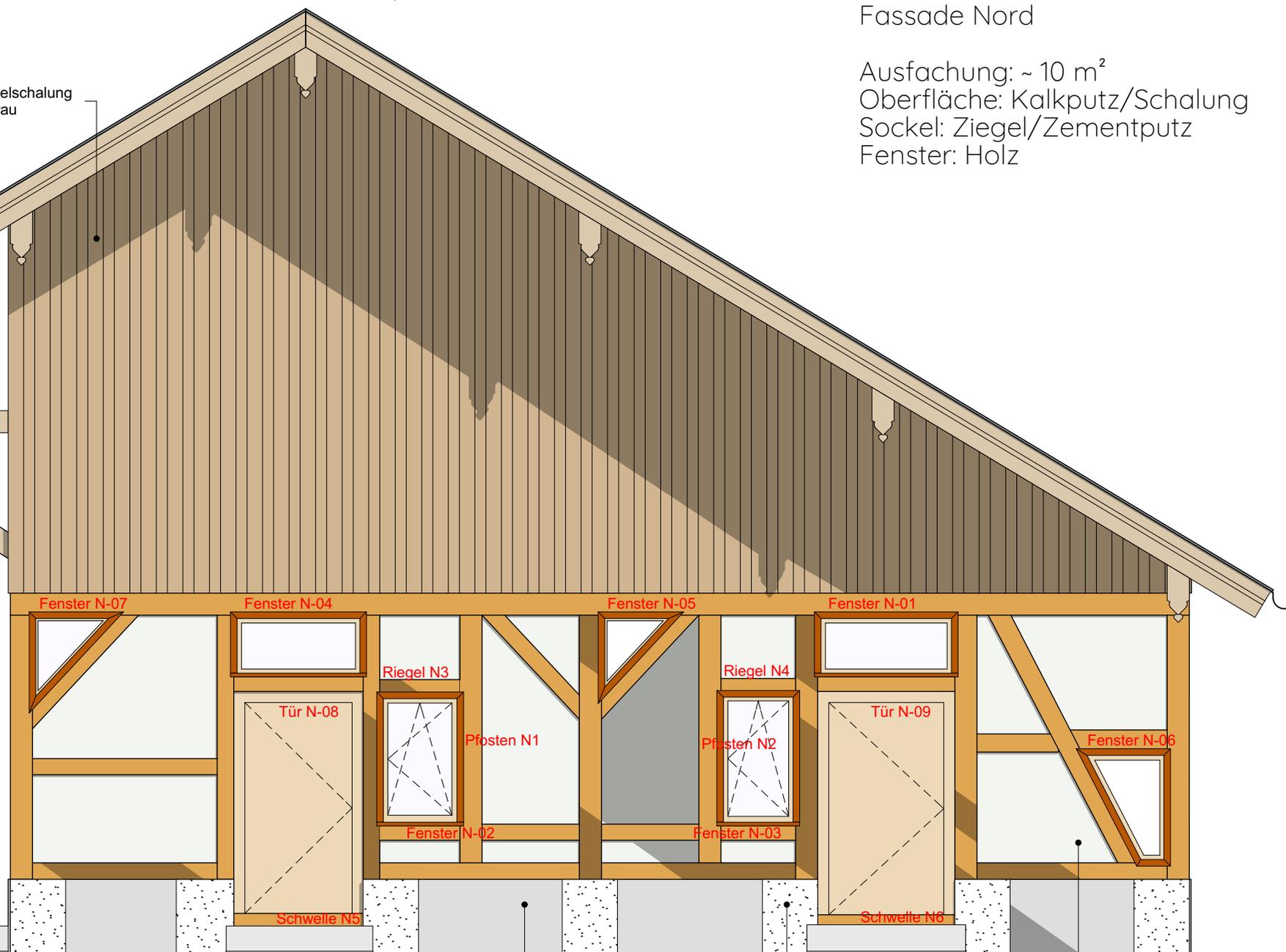
Fassade Nord

Ausfachung: ~ 10 m²
 Oberfläche: Kalkputz/Schalung
 Sockel: Ziegel/Zementputz
 Fenster: Holz

Boden-Deckelschalung
 Fichte sägerau

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Die Holzbohlen sind in der Originalversion dieser Diplomarbeit als N1 - N6 beschriftet.



1,50 52 1,17 50 1,30 50 1,31 50 1,24 50 1,12 50

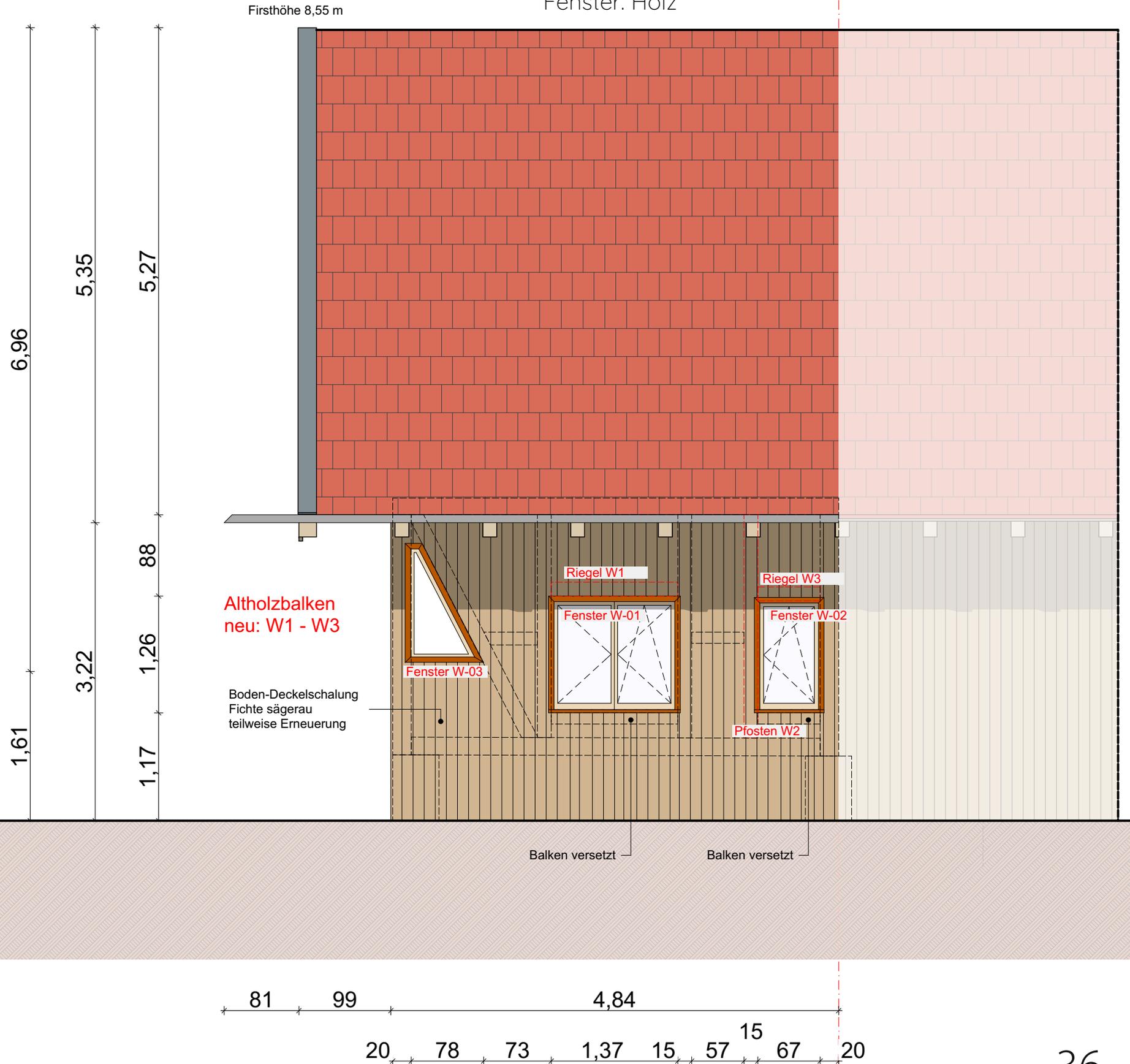
3,79

10,70

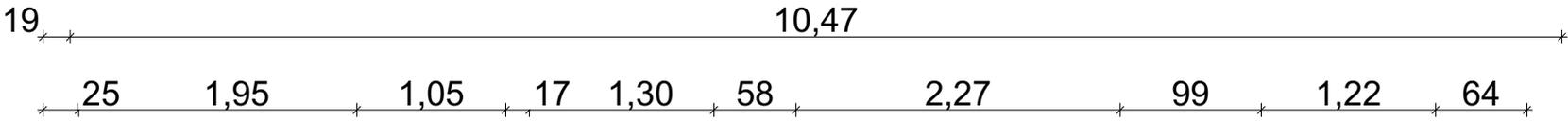
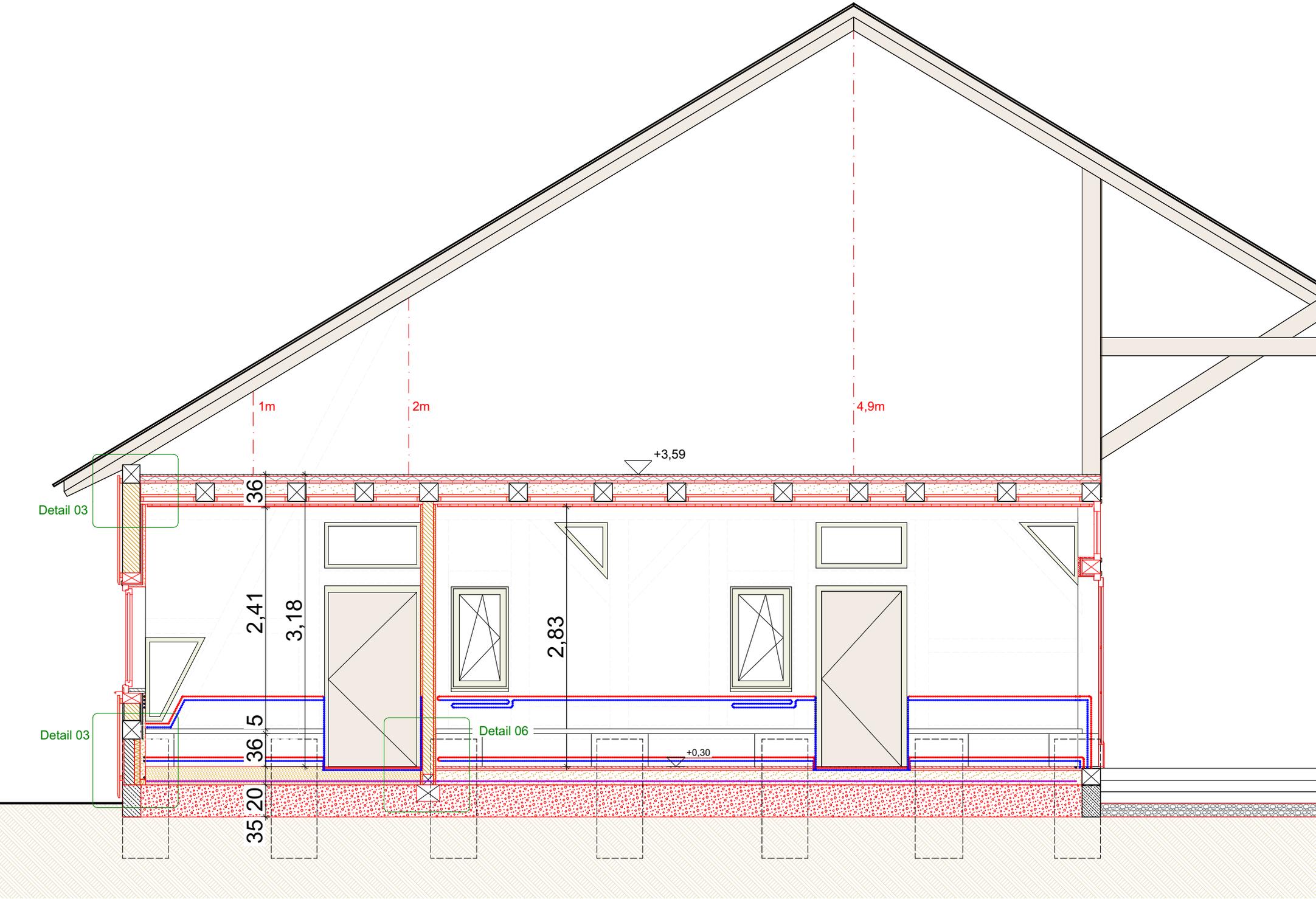
Werkplanung - Ansicht West 1:50

Fassade West

Ausfachung: ~ 5 m²
Oberfläche: Boden-Deckel-
Schalung
Sockel: Ziegel/Zementputz
Fenster: Holz

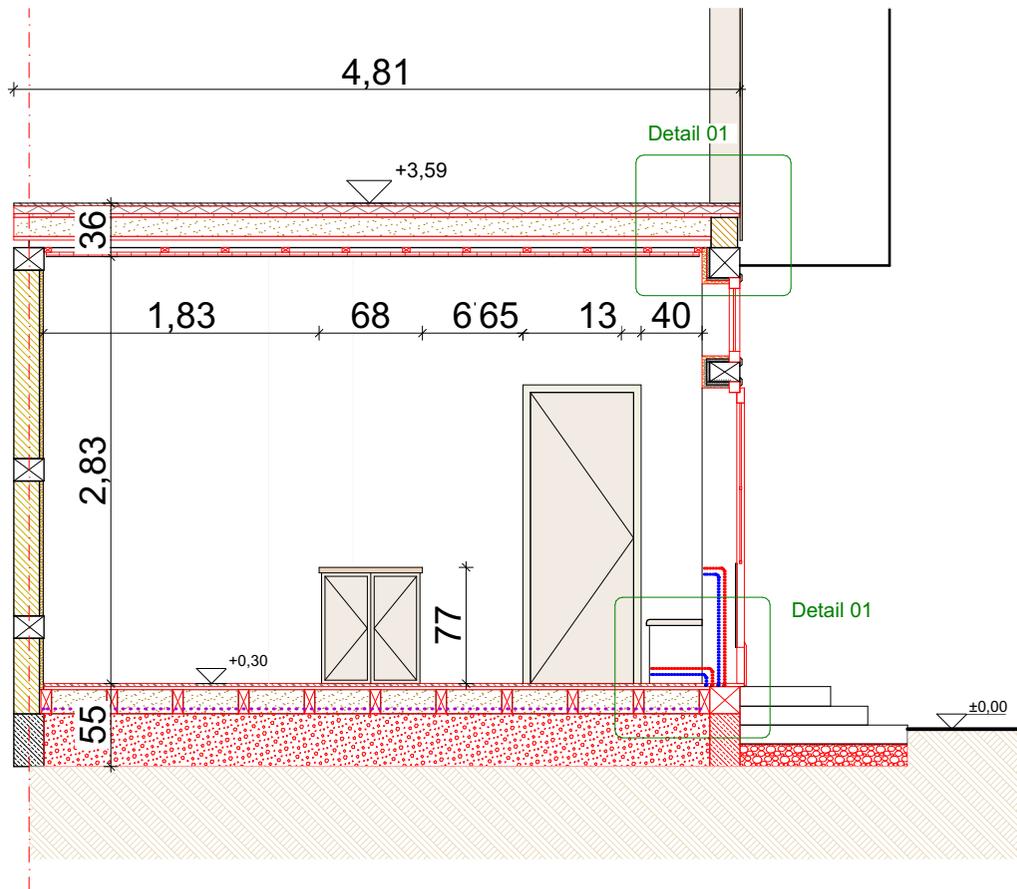
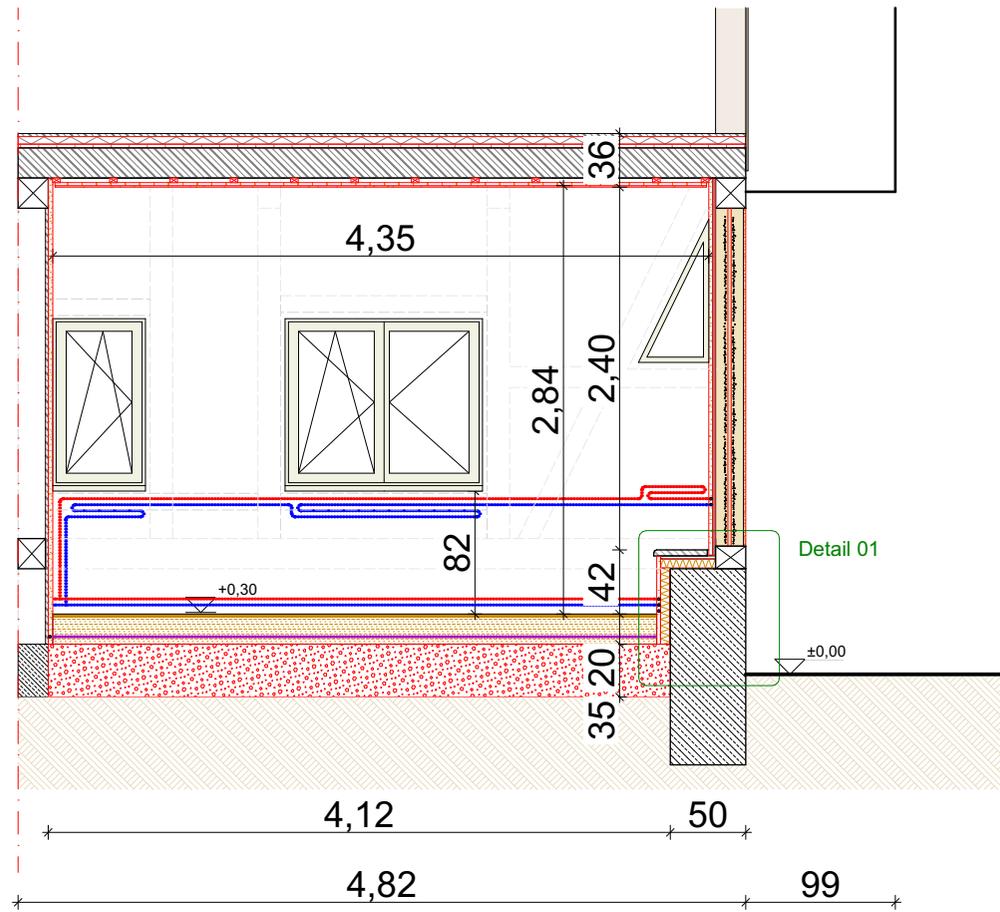


Werkplanung Schnitt A



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Schnitt B/C 1:50



Schnitt A

Fenster

Einbauhinweise

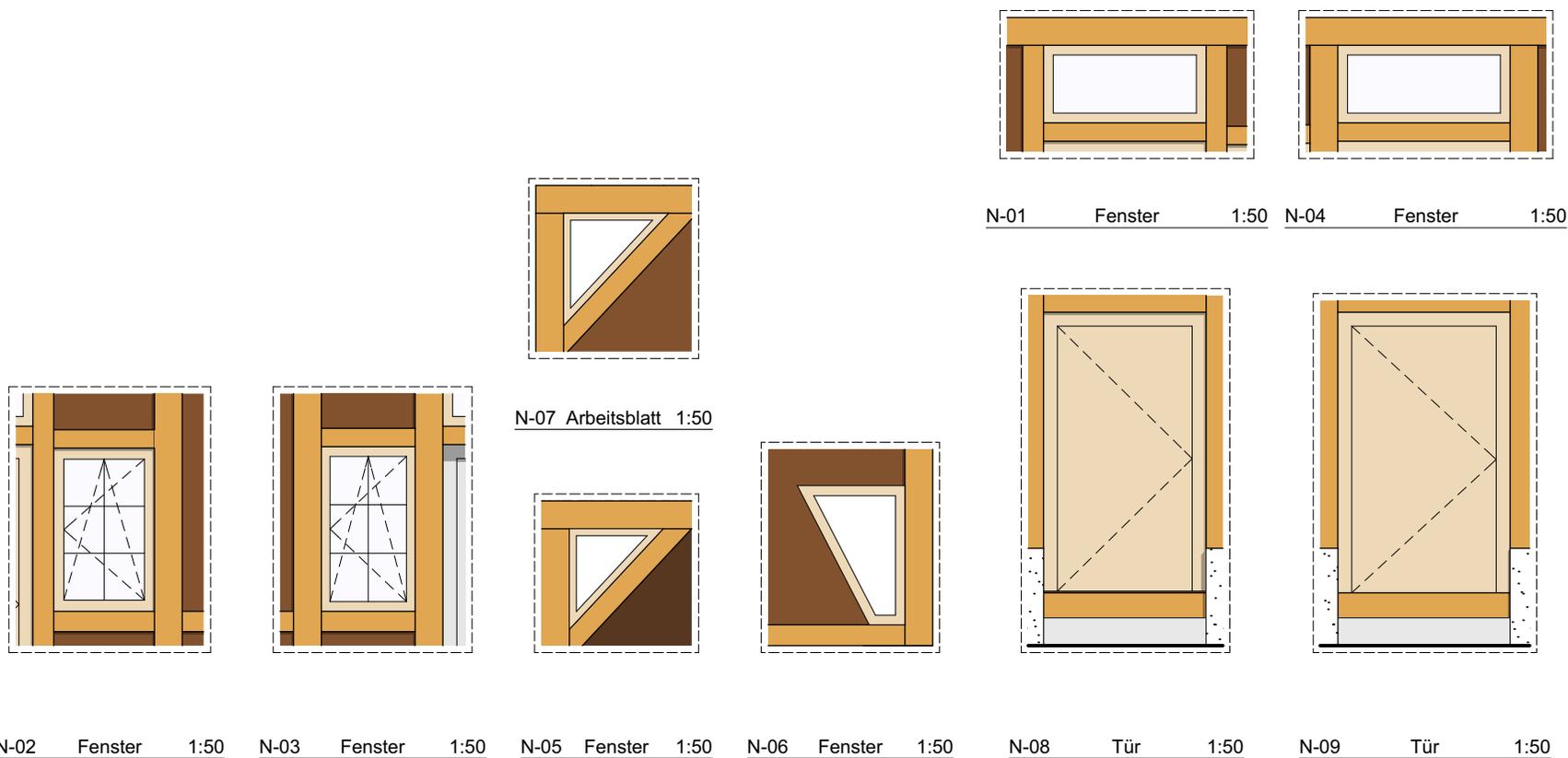
In der Regel werden Fenster innen dichter als außen montiert. Es geht immer darum Tauwasserbildung im Anschlussbereich zu vermeiden. Der bauphysikalische Grundsatz „innen dichter als außen“ in Bezug auf die Wasserdampfdiffusion ist sowohl im Bereich der Bauteile als auch im Bereich von Anschlussfugen zu beachten und umzusetzen.

Die innere Ebene trennt Raum- und Außenklima und sollte möglichst dampfdiffusionsdicht ausgeführt sein. Die mittlere Ebene zwischen Fensterrahmen und Hauswand muss vollständig mit wärmedämmendem Material ausgefüllt werden. Die äußere Ebene dient als Wetterschutzebene und ist dauerhaft schlagregendicht und gleichzeitig dampfdiffusionsoffen auszuführen. Folien und Klebebänder für die innere Ebene sind vielleicht die risikofreie Lösung, es geht aber auch anders.

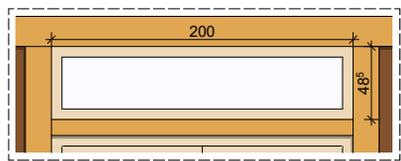
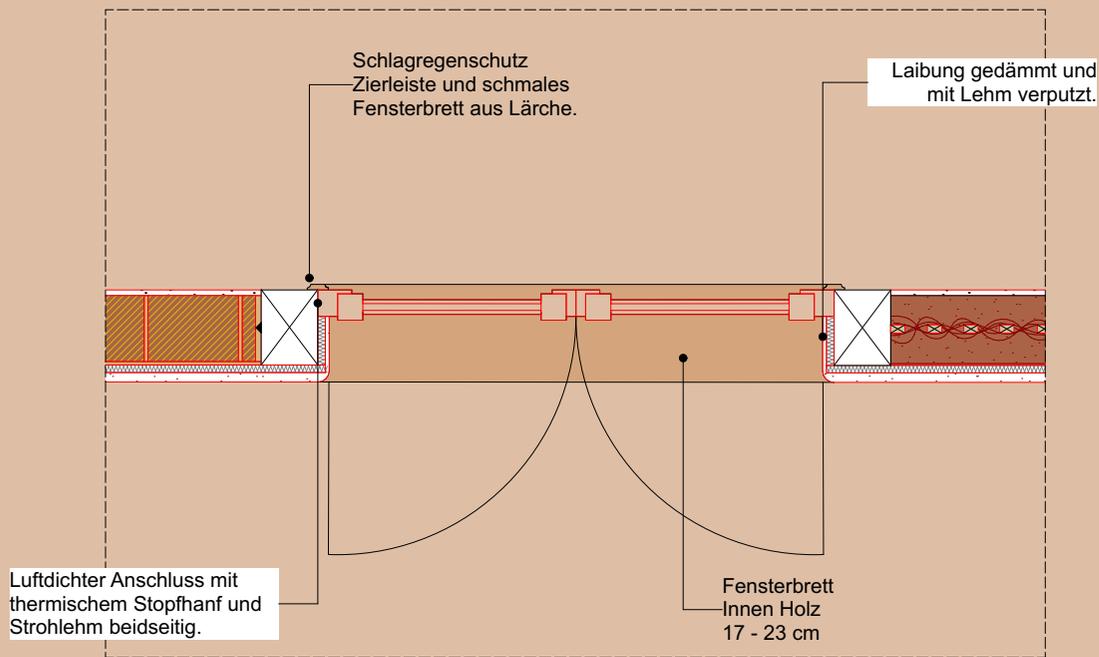
Wichtig ist, dass die Innere Ebene luftdicht (Putzebene Lehm) ausgeführt wird und ein in tonige Lehmschlämme getränktes Vlies verwendet wird. Der Lehmputz funktioniert als zusätzliche Dampfbremse. Für Dämmebene wird Stopfhanf verwendet und locker in die Fuge eingebracht.

Holzfenstersystem

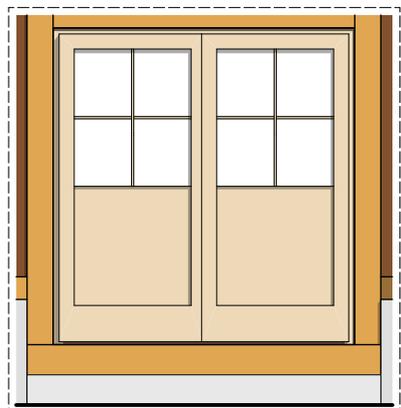
- Anslagsart außenbündig: Schützt den Brüstungsriegel vor Feuchtigkeit und lässt Platz für eine großzügen Fensterbank innen.
- Dimensionierung und Profilausbildung nach DIN 68121
- Güte- und systemgeprüfte Markenbeschläge nach DIN 18 357.
- Doppeldichtungssystem.
- Im Standard werden Verglasungen als 3-fach Wärmeschutzglas $0.7W/m^2K$ eingesetzt.
- Ausstattung als Denkmalschutzfenster mit einem Wetterschenkel am Flügel, OHNE Alu-Wetterschutzschiene.
- Blendrahmen 80mm, Flügel 77mm
- Holzart: Kiefer, natur
- Glas: 3-fach Wärmeschutzglas $U_g=0,7 W/m^2K$



Fenster / Türen Norden



O-02 Fenster 1:50



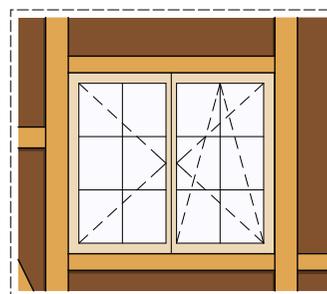
O-01 Terrassentür 1:50

Fenster / Türen Osten

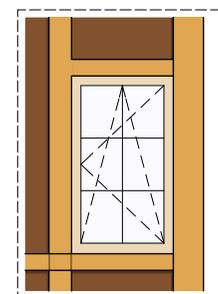
32 FOTO EINBRINGEN DES STOPFHANF

33 FOTO: MONTAGE FENSTERBRETT LÄRCHENHOLZ

34 FOTO: FERTIGMONTAGE WEST-FENSTER MIT SCHLAGREGENLEISTEN



W-01 Fenster 1:50



W-02 Fenster 1:50

Fenster Westen



35 - 40 FOTO: NEUBAU FENSTER
Die Fenster wurden im April 2024 eingebaut und außen mit Laibungsbrettern und Zierleisten aus Lärchenholz für den Schlagregenschutz ausgestattet. Die Laibungsbretter waren aufgrund des leicht schiefen Fachwerks notwendig. Ein Opferbrett, für eine einfache Wartung, bildet das kleine Fensterbrett. Die Oberlichter und die Sonderfenster sind festverglast.

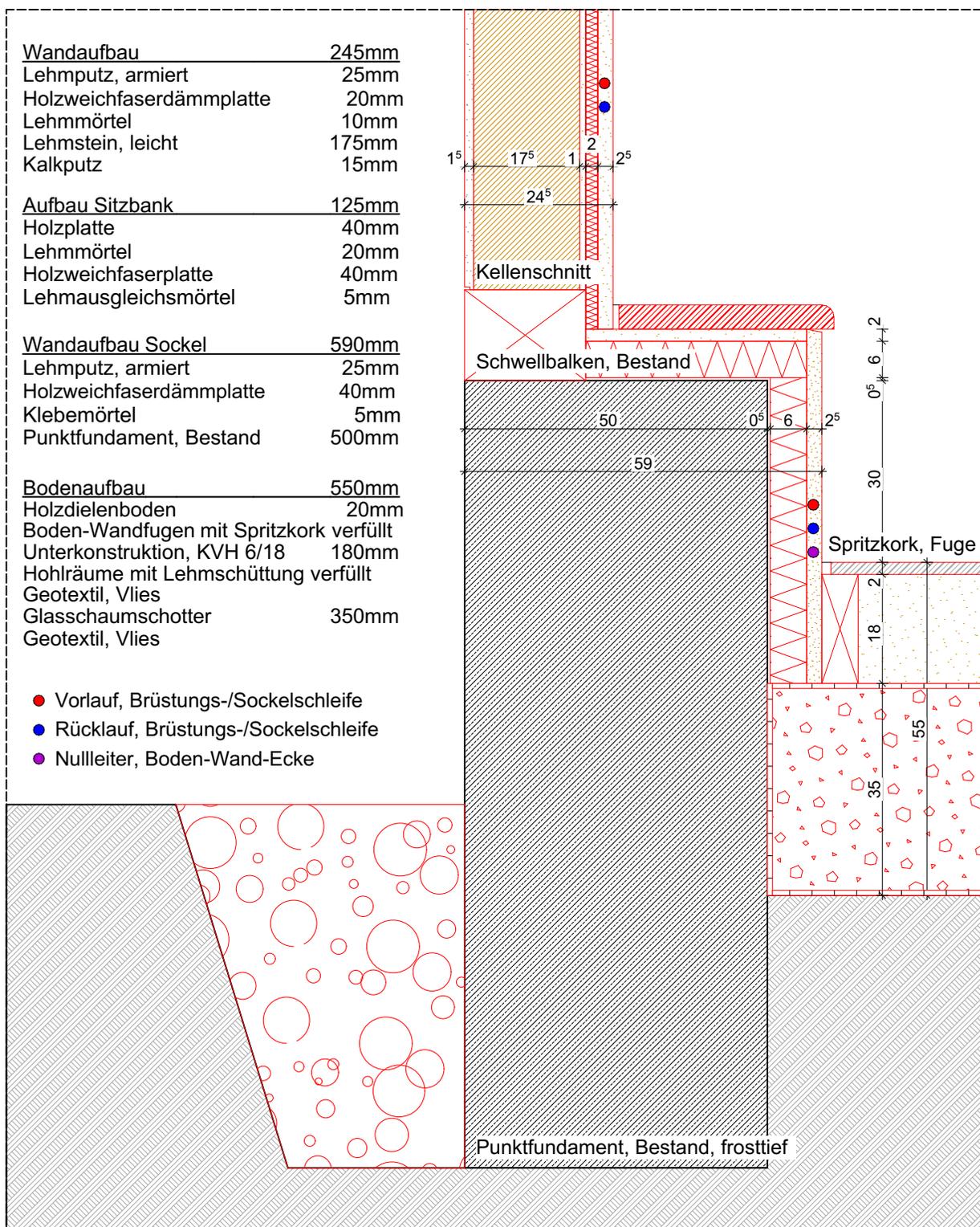


41 FOTO: ZUSTAND NACH EINBAU DER FENSTER
Die Sonderfenster geben dem Erscheinungsbild einen individuellen Charakter und erzeugen ein schönes Lichtspiel im Innenraum. Die Ausfachungen werden im weiteren Verlauf mit Kalk verputzt.

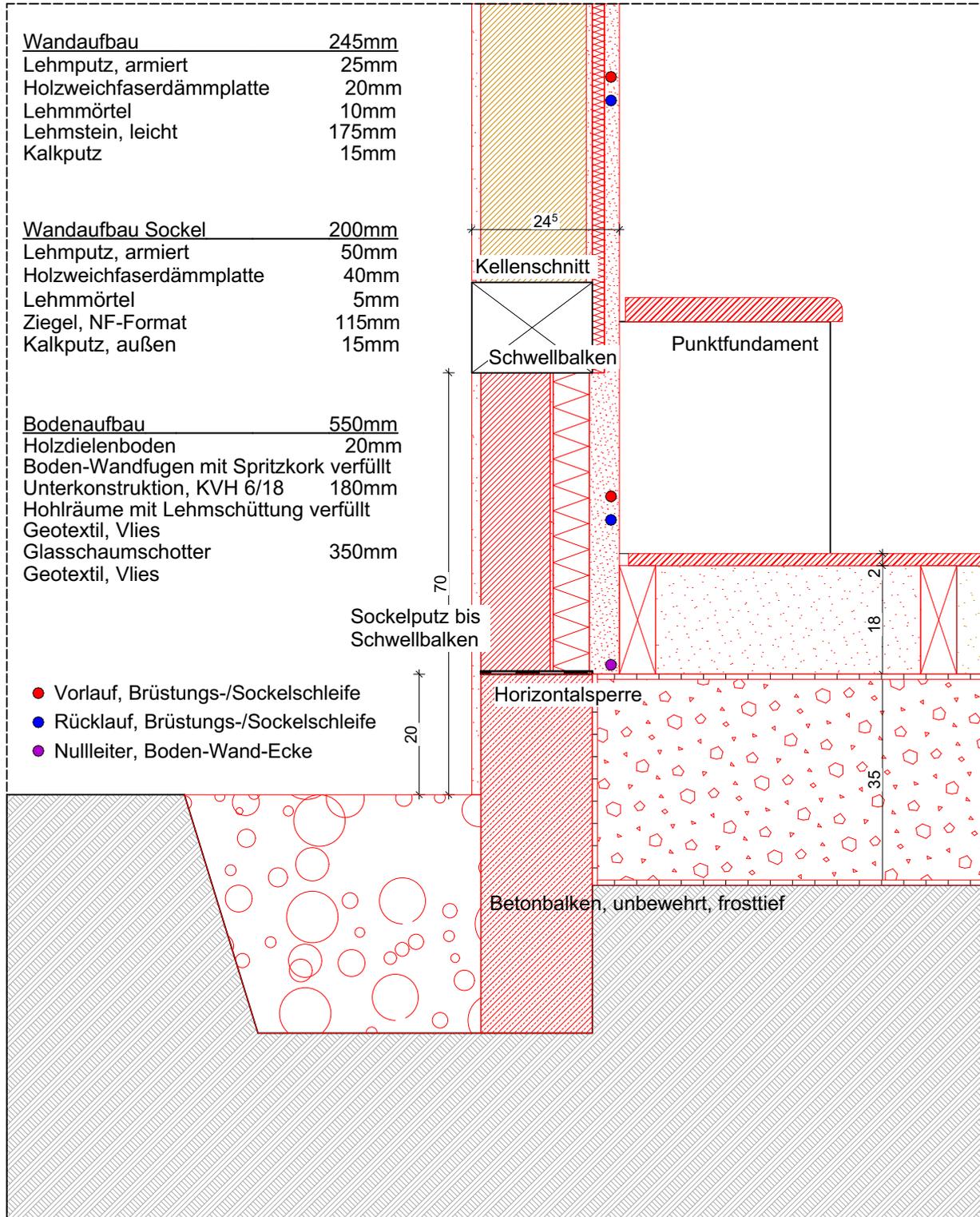


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Detail 01 Punktfundament 1:10

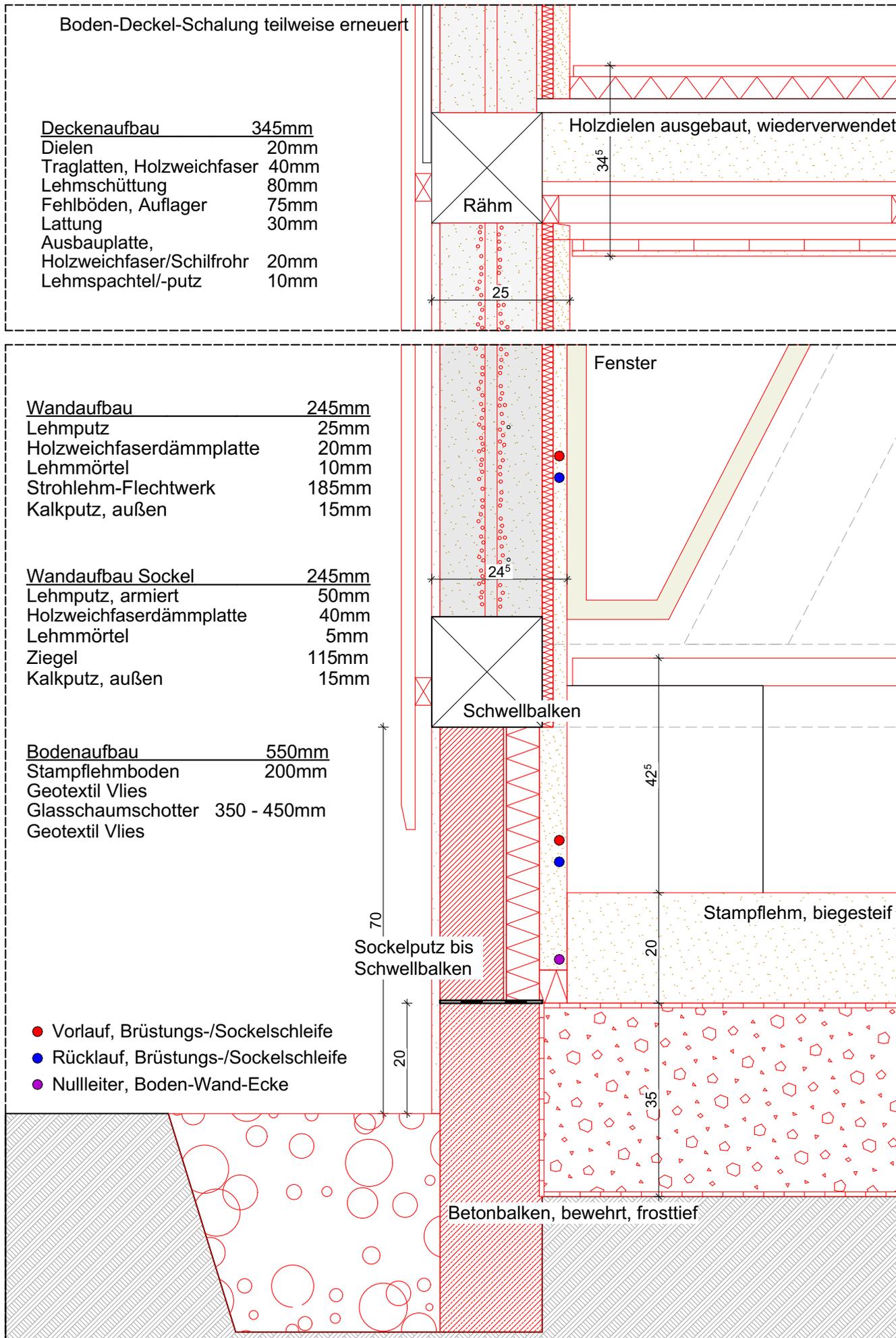


Detail 02 Mauerwerk, Sockel 1:10

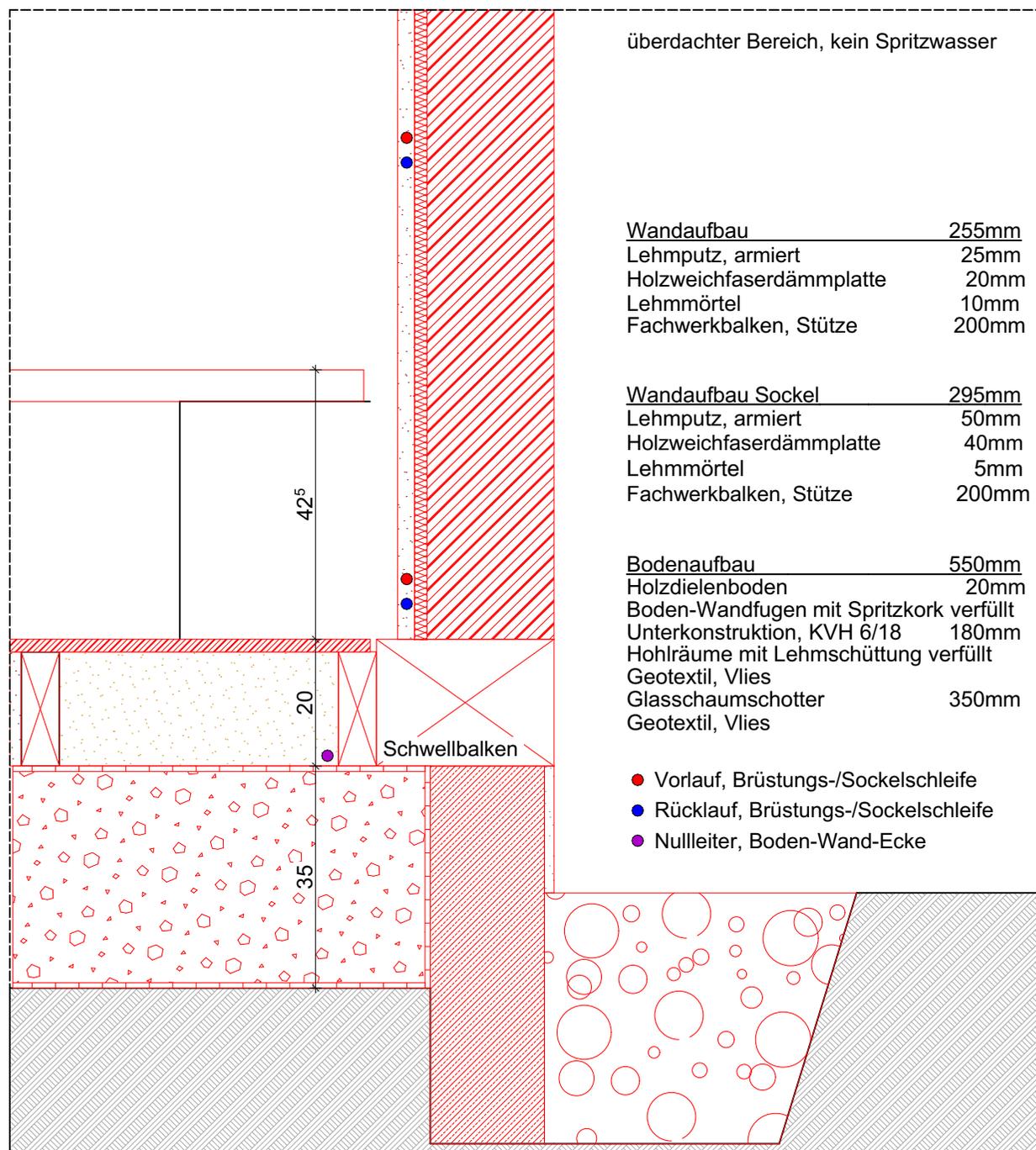


Detail 03 Mauerwerk Sockel West 1:10

D 03

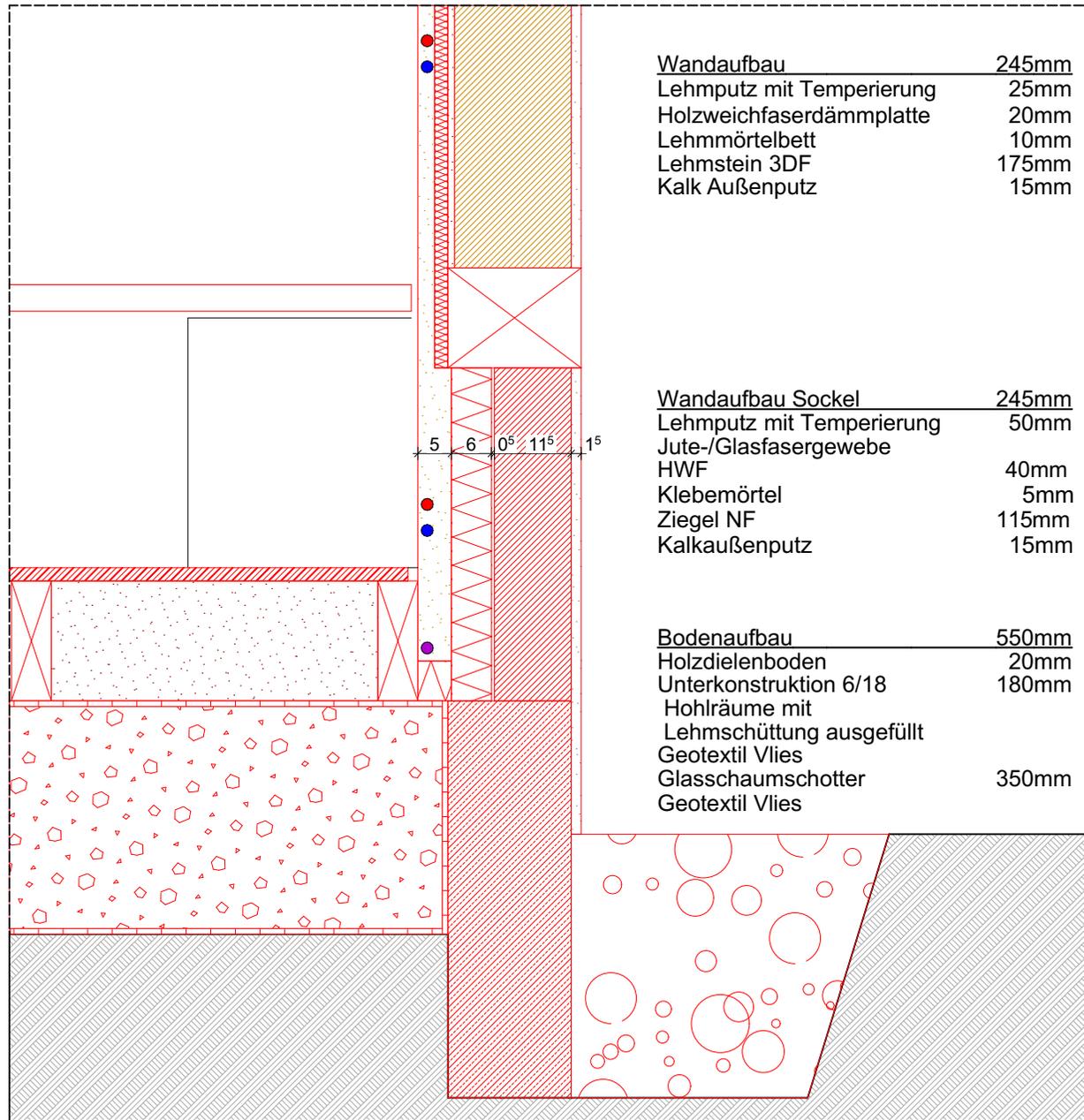


Detail 04 Holzschwelle Ost 1:10

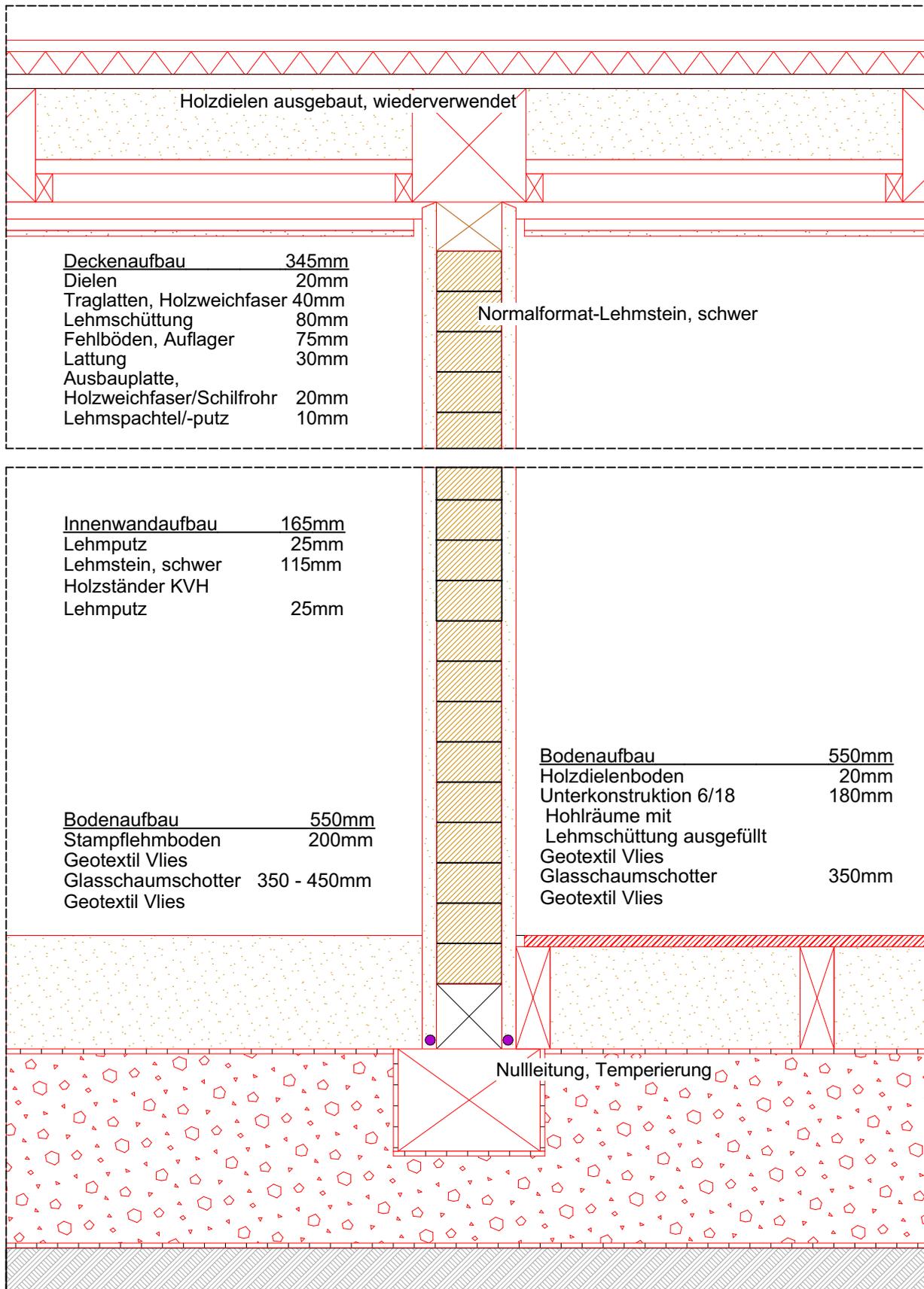


D 05

Detail 05 Sockel Ost 1:10



Detail 06 Holzständerwand 1:10



Bauen mit Naturlehm

Materialkonzept und Anwendung

Feldprüfung von Naturlehm

Die Eignung von Baulehm für die Herstellung von Lehmbaustoffen sollte zu Beginn der Verwendung eingeschätzt werden. Dafür gibt es zwei hilfreiche Methoden, die Feldprüfungen und die Laborprüfungen. Ziel ist es Aufschluss zu bekommen über Bindekraft, Homogenität, Trockenschwindung und unerwünschte Bestandteile [4].

Bei der Akquisition des passenden Lehms für den Ausbau der Remise am Obergrashof habe ich drei potenzielle Lagerstätten untersucht und habe mich schließlich für den Lehm aus Mering entschieden, der später auch im Labor der Universität für Bodenkultur geprüft wurde. Im weiteren wird der Name "Meringer Lehm" für den verwendeten Naturlehm für die Baustelle am Obergrashof verwendet. Im Laborbericht der Universität für Bodenkultur in Wien wird der Name "Starnberg Lehm" verwendet und ist gleichzusetzen.

Die Feldprüfungen geben Einschätzung für die Eignung eines Naturlehms als Baulehm. Für den nicht tragenden Innenbereich und für Bauteile ohne bestimmte Anforderungen kann dies für eine Verwendung schon ausreichend sein. Für den lasttragenden Einsatz und für der Witterung ausgesetzte Bauteile ist eine genauere Prüfung im Labor zu empfehlen oder ist sogar obligatorisch. Das Produkt mit den höchsten Anforderungen am Obergrashof ist der Stroh-Leichtlehmstein für die Außenwände des Fachwerkgebäudes. Im Anwendungsbereich sind die Steine Frost und Feuchtigkeit ausgesetzt und müssen diesen Einflüssen standhalten.

Bei zwei Eigentümern eines Grundstücks in Mering bei Augsburg wurde ich fündig. Ich habe mir eine Kiste Material für Feldversuche (siehe nächstes Kapitel) mitgenommen. Im Ergebnis sind 79 m³ Aushubmaterial von einer Hofeinfahrt in Mering aufgeladen und nach Dachau transportiert worden. Dabei wurden 530 LKW Kilometer zurückgelegt und es sind Kosten von circa 2000 € entstanden.



Sichtprobe der Lagestätte

Bei der Sichtprobe der Lagestätte kann bereits die Menge, die Homogenität und die Freiheit von Durchwurzungen und Humusanteilen des Vorkommens eingeschätzt werden. Bei der Suche nach dem passenden Lehm für Leichtlehme war es entscheidend, dass das Material homogen und frei von organischen Bestandteilen ist und zudem wenig größeren Kornanteil beinhaltet.

Kugelfallprobe

Die Kugelformprobe sollte mit erdfeuchtem Material durchgeführt werden. Eine tennisballgroße Kugel wird in den Händen geformt und aus Hüfthöhe auf eine glatte Oberfläche gefallen lassen. Die Oberflächenstruktur nach Aufprall lässt Rückschlüsse auf die Bindekraft zu. Eine Kugel aus sehr fettem Lehm wird nach dem Aufprall flacher, jedoch verändert sich die Oberfläche nicht und es entstehen keine Risse. Bei der durchgeführten Kugelfallprobe [Foto 43 und 44] ist unschwer zu erkennen, dass keine Risse entstanden sind und die Kugel wenig abgeflacht ist. Ein Hinweis auf ein tonigen beziehungsweise fetten Naturlehm.

Trockenfestigkeitsversuch

Das Bruchmuster einer trockenen Kugelprobe beschreibt die Qualität des Vorkommens. Ein sehr fetter Lehm bricht dabei nicht. Magere Lehmproben mit wenig Bindekraft können mit den Fingern zerdrückt werden oder brechen beim Fallenlassen in viele kleine Bruchstücke. Beim Reiben der trockenen Oberfläche kann man bereits Rückschlüsse auf die Abriebfestigkeit schließen. Die

untersuchten getrockneten Kugeln aus dem Meringer Lehm waren fest und sind nicht gebrochen. Die Oberfläche war sehr klatt und ohne Abrieb.

Essprobe

Bei der Essprobe können unerwünschte Bestandteile geschmeckt werden. Außerdem spürt man über Zähne, Zunge und Gaumen Sandanteile. Der Lehm aus Mering lässt den Rückschluss auf Sandanteil und größere Schluffanteile zu.

Schneideversuch

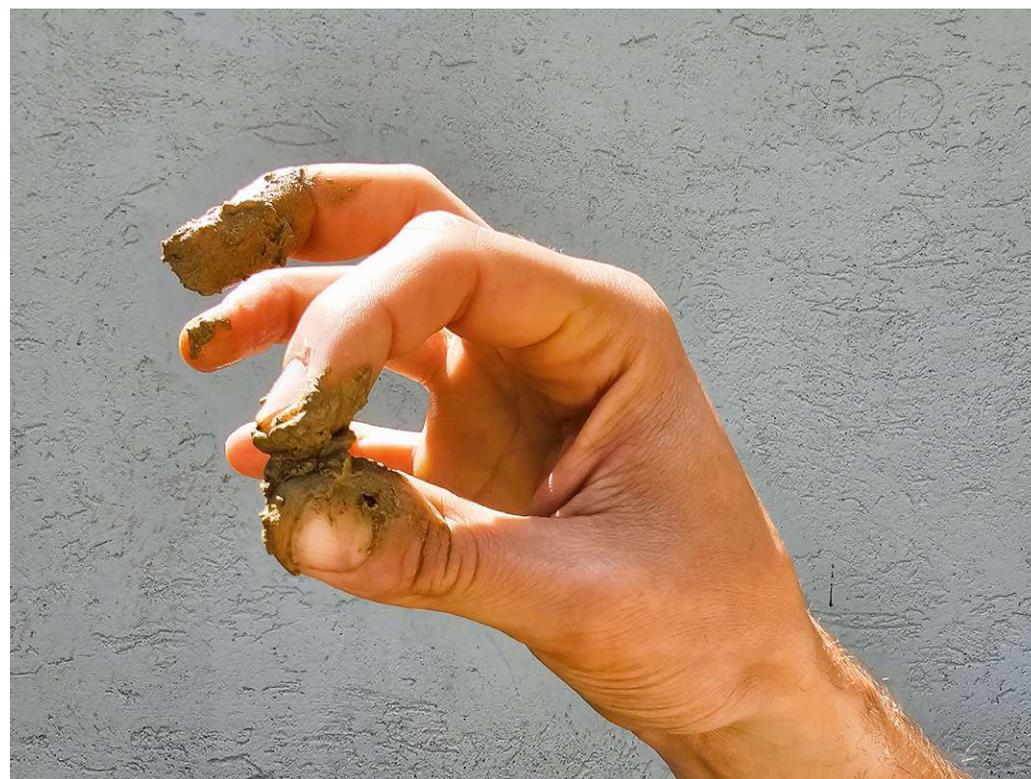
Auch bei dem Schneideversuch einer erdfeuchten Kugelprobe lässt sich die Bindekraft ableiten. Außerdem lassen sich Rückschlüsse auf den Sandgehalt. Eine glänzende Schnittfläche bedeutet meist fetter Lehm, eine stumpfe Schnittfläche magerer Lehm. Der Meringer Lehm zeigt eine glänzend, glatte Oberfläche und es sind Eisen und Kalkanteile zu erkennen.

Reibeversuch und Waschversuch

Eine erdfeuchte Probe wird mit etwas Wasser angereichert und zwischen Daumen und Zeigefinger gerieben. Die zähbreiige Mischung zwischen den Fingern lässt sandige Bestandteile spüren. Tonige und schluffige Bestandteile lassen sich später beim Abwaschen ganz gut einschätzen. Schluffige Proben lassen sich einfaches Abwaschen als tonige Proben.



43 FOTO: SCHNEIDEVERSUCH



44 FOTO: REIBE- UND WASCHVERSUCH

45 FOTO: KUGELFALLPROBE: FORMEN EINER KUGEL



46 FOTO: KUGELFALLPROBE: FALLENLASSEN AUF GLATTE OBERFLÄCHE



47 FOTO: KUGELFALLPROBE: RISSBILD BETRACHTUNG



48 FOTO: KUGELFALLPROBE: RISSBILD BETRACHTUNG UNTERSEITE

49-50 FOTO: NATURLEHM LAGERSTÄTTE

Der Naturlehm stammt aus einer Baugrube in Mering bei Augsburg. Diese Gegend ist bekannt für tonige Böden. Die Distanz zur Baustelle liegt bei etwa 40km. Insgesamt fuhren 3 Sattelzüge nach Dachau und ca. 80m³ homogenes Ausgangsmaterial wurde transportiert.



Bauen mit Naturlehm aus der Region.

Transport Grubenlehm

Start: Mering
Ziel: Obergrashof
Menge: 79m³
Strecke: 530 km



51-52 FOTO: NATURLEHM
Der Naturlehm in Mering und angekommen auf dem Obergrashof.

Materialkonzept und Anwendung

Baustelleneinrichtung

Mit dem ersten Transport am 1. April 2021 haben wir gleich begonnen, die Baustelle einzurichten. Das bedeutet: Wir haben eine große nicht rostende Eisenwanne aufgestellt, um darin Lehm zu sumpfen für die regelmäßige Entnahme. Für die späteren Putze haben wir Tonnen zum Einsumpfen aufgestellt. Daneben benötigt man Wasser, Schaufeln, viele Wannen und Eimer, eine Gasbeton-Säge, Lehmsteinformen und wenige weitere Gegenstände und Hilfsmittel. Zunächst wurde viel mit den Händen gearbeitet. Später haben wir uns mit Rührmaschinen und einem kleinen Zwangsmischer ausgestattet.

Materialkonzept und Anwendung

Zu Beginn der Überlegung war bereits klar, dass Lehm als prägender und mengenmäßig meist verwendeter Baustoff dienen wird. Die gängigsten Lehmtechniken beziehungsweise Lehmprodukte sind Stampflehm, Lehmsteine, Lehmputze, Wellerlehm, Lehmschüttungen, Faserlehm, Lehmmörtel und Lehmplatten. Bis auf den Wellerlehm und Lehmplatten sollen für den Ausbau der Remise alle aufgezählten Lehmstoffe Verwendung finden. Zum Zeitpunkt des Einreichens der Masterarbeit wurden Lehmsteine, Lehmputze, Lehmschüttungen, Faserlehm und Lehmmörtel verbaut. Insgesamt wird versucht auf sämtlichen synthetischen und halogenorganischen Materialien sowie auf Formaldehyd (Klebstoffe) zu verzichten. Die Baustoffpalette richtet sich nach dem Prinzip des einfachen Bauens und ist somit vergleichsweise überschaubar. Neben Lehm werden Holz, Holzweichfaser, Stroh, Schotter und Glas verwendet. Im

erdberührten Bereich und im Sockel kommen zusätzlich Glasschaumschotter, gebrannter Ziegel, Jute und Kork zum Einsatz. Kontinuierlich werden bei der Herstellung von Baustoffen aus dem Ausgangsmaterial Naturlehm, weitere Materialien zum Beimengen und Abmagern benötigt. Ziel war es Materialien aus der Region oder vom Hof selbst zu verwenden. So wurde zum Beispiel Stroh aus der eigenen Ochsenzucht gebracht, Sand, Splitt und Holz aus den hofeigenen Baustellen oder Lagerbeständen organisiert und Hasel- und Weideruten für das Flechtwerk gesammelt. Auch das Türblatt einer alten Türe wurde restauriert, ein passender Rahmen handwerklich erstellt. Zusätzlich eingekauft werden musste Glasschaumschotter, Schilfrohrstukatur und -dämmmatten, Kalkputz, diverse Holzbalken, -bretterware und -latten, Jutegewebe, Holzweichfaserdämmplatten, Kork, Ziegel und Holzfenster.

Aufbereitung

Lehmstoffe haben im Herstellungsprozess so viele verschiedenen Rezepturen, wie die unterschiedlichen natürlichen Zusammensetzungen. Gerade weil die Vorkommen oft inhomogen sind, können die Mischverhältnisse für Baustoffe nie genau festgelegt werden. Geben wir Inhaltstoffe dazu, wird der Tonanteil reduziert und der Naturlehm wird magerer. Diesen Vorgang nennt man auch abmagern. Zum Abmagern kommen oft nachwachsende Rohstoffe, wie Strohhäcksel, Hanfschaben oder Holzspäne, zum Einsatz, ebenso kann mineralisch abgemagert werden [4]. Je nach regionaler Beschaffung oder auch für gewünschte Ergebnisse werden die Zuschlagsstoffe ausgewählt.



53 FOTO: TONNEN ZUM EINSUMPFEN



54 FOTO: WANNEN, EIMER, LEHMSTEINFORMEN, MISCHER, SCHAUFELN



55 FOTO: MÖRTELMISCHER



56 FOTO: WASSER, STROM

Für Leichtlehmsteine eignet sich Stroh besonders gut aufgrund seiner Zugkraft, die dem Stein oder dem Putz zusätzlich Stabilität verleiht und für eine gute Wasser- und Frostbeständigkeit sorgt. Zusammenfassend kann man sagen, dass Baulehm aus Naturlehm unter der Zugabe von Wasser und Zuschlagsstoffen entsteht. Unter Umständen kann Naturlehm gleich Baulehm sein. Ein Beispiel ist ein passender Naturlehm, der als erdfeuchtes Material direkt als Stampflehm eingesetzt werden kann. Der Stampflehm macht also dort Sinn, wo steinige Böden mit hoher Bindekraft zu finden sind, so zum Beispiel die Stampflehmregionen im Großraum von Lyon und St. Etienne. In Österreich waren Quaderstock und der Lehmstein beliebt und in Deutschland und den nördlicheren Regionen hat man Lehm gerne im wettergeschützten Fachwerkhaus eingesetzt [3].

Altersstufen auf der Baustelle teilhaben können. Jeder kann in seinem Tempo einen Beitrag leisten und es kann ein gemeinschaftlicher Bauprozess stattfinden. Auch das ist ein Beitrag zu einer nachhaltigen Baukultur. Natürlich ist das stückweit eine romantische Vorstellung und die den uns bekannten Bauprozess nicht einfach zu integrieren. Hier ist es aber möglich und den Versuch ist es wert.

Eigenleistung

Wie bereits erwähnt hat der Baustoff Lehm einen entscheidenden Vorteil in der Verfügbarkeit und Verarbeitbarkeit und ist somit für den Selbstbau hervorragend geeignet. Unter Selbstbau verstehe ich die Erbringung von bestimmten Leistungen durch Laienkräfte. Selbstbau wird vorrangig verwendet, um Kosten einzusparen, tatsächlich kann es aber auch sehr viel Spaß bringen und das Miteinander fördern. Die derzeit hohen Baukosten für Lehmbaustoffe werden oft leichter investiert, weil die Verwendung von Lehm für mehr Qualität von Architektur und Räumen sorgt. Dennoch ist auch heute das Bauen mit Lehm nahezu kostenfrei in Eigenleistung möglich und ein echter Hebel um sinnvoll mit steigenden Baukosten umzugehen. Ein weiterer Vorteil für den Selbstbau mit Lehmbaustoffen ist, dass die Verarbeitung ohne Maschinen und Schutzkleidung möglich ist und somit Menschen aller



57 FOTO: NICHT ROSTENDE WANNE



58 FOTO: MATERIAL, BAUSTOFFE



59 FOTO: ZWANGSMISCHER



60 FOTO: LEHMSTEINFORMEN
IM 3DF FORMAT

Materialanalyse im Labor

Verfahrensarten, Prüfungen

Materialien, Baustoffe und Bauprodukte können in unterschiedlicher Weise untersucht und geprüft werden. Für den Leichtlehmstein wäre zum Beispiel die Prüfung der Anwendungsklasse nach Lehmbauregeln möglich und würde Rückschlüsse auf die Qualität, Feuchte- und Frostbeständigkeit zulassen. Für den Naturlehm aus Mering und die Verwendung am Obergrashof kann die Korngrößenverteilung und die Bindekraftprüfung helfen um die Mischverhältnisse zu bestimmen und die Verwendbarkeit einzuschätzen. Laut Christof Ziegert, können "die Parameter, der natürlicher Kalkgehalt, die Sieblinie und die Bindekraftprüfung die relevanten Eigenschaften des Baulehm erfassen." [persönliche E-Mail]

In Abstimmung mit Franz Ottner wurde im Ergebnis von der Universität für Bodenkultur unter der Leitung von Franz Ottner eine Gesamtmineral- und eine Tonmineralanalyse durchgeführt und an mich übergeben.

Datenauswertung Bericht Mering Lehm

Durchführung: Universität für Bodenkultur Wien, Leitung unter Franz Ottner

Tonprobe: Lehm aus Mering bei Augsburg

Übergabe: März 2023

Labor Nummer: 21177, Bezeichnung "Starnberg Lehm"

Beschreibung: Gelbliches, feinkörniges Lehmpulver

Der „Bericht Mering Lehm 2023“ beschreibt detailliert die Analyse einer Tonprobe aus Mering, die im März 2023 entnommen und untersucht wurde. Die Analyse umfasste Korngrößenbestimmung, Gesamtmineral- und Tonmineralanalyse sowie simultane Thermoanalyse. Im Folgenden werden die Hauptpunkte der verschiedenen Untersuchungen ausgewertet.

Korngrößenanalyse

Die Kornverteilung zeigt, dass der Großteil der Probe im Schluffbereich liegt (58,9%), mit signifikanten Anteilen in der Tonfraktion (23,6%) und geringeren Anteilen in Sand und Kies. Der Median der Kornverteilung liegt bei 19 μm . In dem vorliegenden Bericht wurden die Ergebnisse graphisch als Summenkurve und Kornklassenverteilung dargestellt.

Die Analyse wurde nach der ÖNORM B 4412-1 durchgeführt, mit Methoden wie Nasssiebung und Sedimentationsanalyse. Aus der Kornsummenkurve des Sedigraphs und den Siebdaten wurde die Korngrößenverteilung der Gesamtprobe bestimmt.

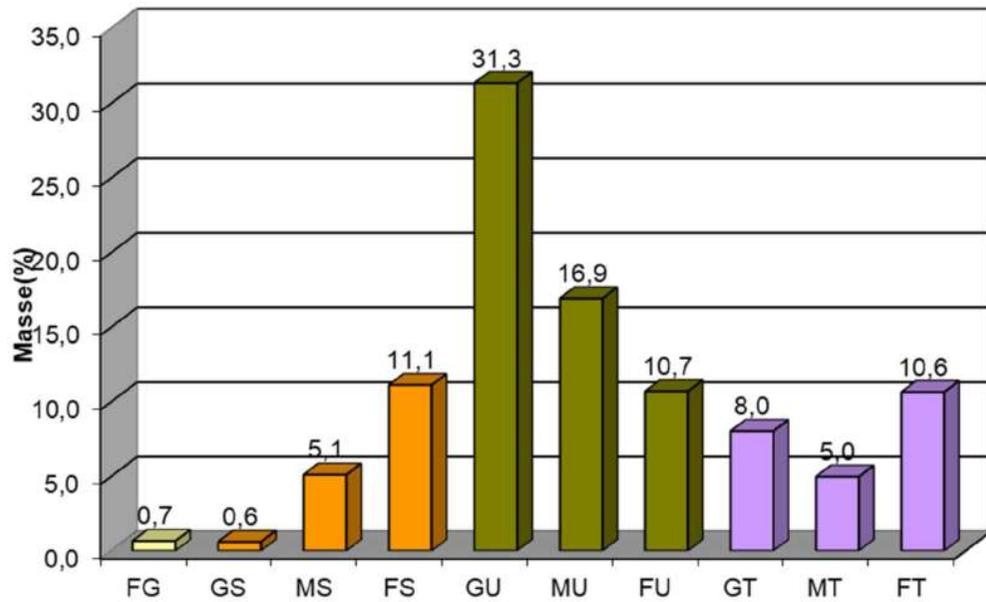


ABBILDUNG 2: AUSZUG ANLAGE 02
Korngrößenklassen von Starnberg Lehm

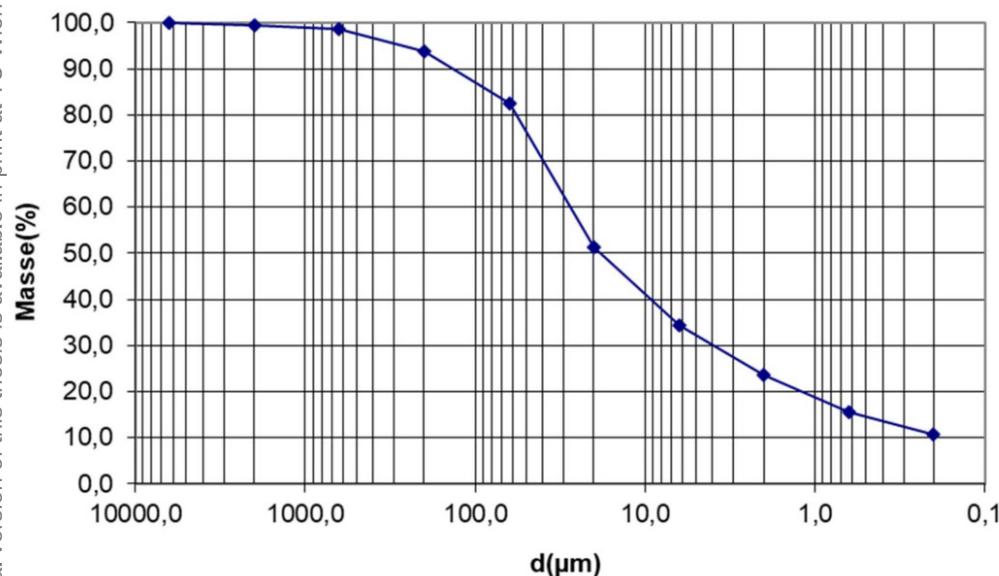


ABBILDUNG 3: AUSZUG ANLAGE 02
Summenkurve von Starnberg Lehm

Lab. Nr.	Bezeichnung	Kies	Sand	Schluff	Ton	Median [μm]
21524	Starnberg Lehm	0,7	16,8	58,9	23,6	19

ABBILDUNG 4: AUSZUG ANLAGE 02
Tabelle 2: Zusammenfassung der Korngrößenverteilung der untersuchten Tonprobe (Angaben in Masse %)

Gesamtmineralanalyse

Quarz (45%), Feldspäte (14%), Schichtsilikate (u.a. Glimmer), Dolomit (13%), und Kalzit (5%) sind die vorherrschenden Mineralien. Hauptbestandteil des Meringer Lehms ist Quarz mit 45%. Zu den Schichtsilikaten zählen neben Glimmer die Tonminerale.

Die Untersuchung erfolgte mittels Röntgendiffraktometer, wobei die Mineralphasen qualitativ und semiquantitativ erfasst wurden. Die Bearbeitung der Proben ist in dem vorliegenden Bericht beschrieben.

Tonmineralanalyse

Bei dieser Analyse wird die mineralogische Zusammensetzung der Tonfraktion ermittelt. Mit Tonfraktion sind die Bestandteile des Lehms gemeint, die eine Korngröße von $<2\ \mu\text{m}$ haben. Die tonmineralogische Zusammensetzung der untersuchten Lehms ist sehr vielfältig: Hauptbestandteile sind Illit (33%), Kaolinit (27%), Chlorit (14%), und Vermikulit (10%). Smektit macht etwa 16% der Tonfraktion aus. Smektit ist ein stark quellfähiges Tonmineral und hat damit einen großen Einfluss auf die Bindigkeit der Gesamtprobe. Je quellfähiger das Tonmineral, desto größer ist also die Bindekraft. Die Bindekraft der Gesamtprobe wird also nicht nur von der Quantität, sondern auch von der Qualität der Tonminerale bestimmt. Mittels bestimmter Verfahren, die in dem vorliegenden Bericht beschrieben wurden, konnten durch Sedimentation die Tonfraktionen gewonnen werden. Zuletzt werden die Tonminerale durch sogenannte Kontraktionstests bei einer Temperatur von 550°C identifiziert werden.

Simultane Thermoanalyse (STA)

Diese Analyse erfasst die Gewichtsveränderung (Masseverlust), endotherme und exotherme Reaktionen, reversible Umwandlungen und den Wärmefluss beim kontinuierlichen Erhitzen der Probe und kann so zusätzliche Informationen über die Tonminerale liefern.

Wesentliche thermische Ereignisse umfassten die Dehydratation (Entwässerungen) von Vermikulit und Smektit sowie die Dehydroxylation (Verlust von OH Ionen) und den „Quarzsprung“ (Umwandlung von Tief- zu Hochquarz).

In der vorliegenden Analyse ist beschrieben, dass nach Abschluss der Messung eine Restmasse von 86,4% verbleibt und somit einem Gesamt-Masse-Verlust von 13,6% entspricht.

Resultate

Zusammenfassend zeigt der Bericht, dass der Starnberg Lehm eine „interessante mineralogische Zusammensetzung“ aufweist, die ihn für den Lehmabbau geeignet macht, insbesondere wegen des hohen Anteils an Smektit, der die Bindigkeit und Festigkeit des Materials verbessert. Die Untersuchung bestätigt seine Eignung als „magerer Lehm“ aufgrund des hohen Anteils an Quarz und Feldspäten, was typisch für Lehme mit Lössablagerungen ist. Auch der Schwerpunkt der Kornverteilung im „Grobschluffbereich (31,3%)“ bestätigt dies.

IAG Lab. Nr	Proben Bez.	Quarz	Feldspäte	Schichtsil.	Dolomit	Kalzit	Goethit
21177	Starnberg Lehm	45	14	23	13	5	Sp.

ABBILDUNG 4B: ANLAGE 02

Tabelle 3: Ergebnisse der semiquantitativen Gesamtmineralanalyse; Werte in Masse%

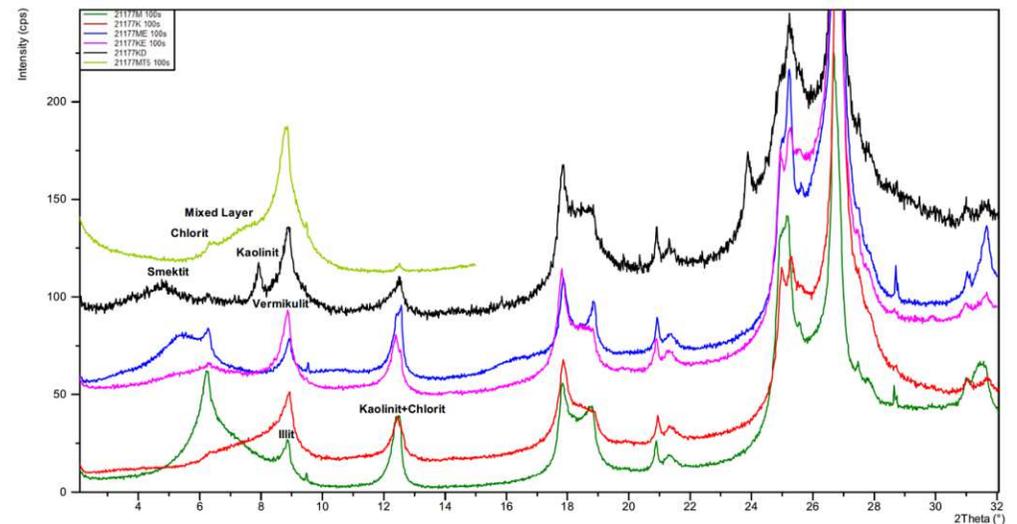


ABBILDUNG 5: AUSZUG ANLAGE 02

Abbildung 3: Diffraktogramme der unterschiedlichen Behandlungen der Tonfraktion $<2\ \mu\text{m}$. Die indikativen Peaks sind beschriftet.

Lab. Nr.	1. Endo	2. Endo	Dehydr	Quarz	Karb.	$\Delta 220$	$\Delta 400$	$\Delta 600$	Δ Karb	Rest-masse	Gesamt Verlust
21177	76°C	152°C	467°C	574°C	$766 + 783^\circ\text{C}$	2,0 %	1,1 %	2,2 %	8,3 %	86,4 %	13,6 %

ABBILDUNG 6: AUSZUG ANLAGE 02

Tabelle 5: Kennwerte der Simultanen Thermoanalyse

IAG Lab. Nr.	Bezeichnung	Smektit	Vermikulit	Illit	Kaolinit	Chlorit	Mixed layer
21177	Starnberg Lehm	16	10	33	27	14	Sp

ABBILDUNG 7: AUSZUG ANLAGE 02

Tabelle 4: Mineralogische Zusammensetzung der Tonfraktion $<2\ \mu\text{m}$, Angaben in Massen %

Radon und Thoron

Einführung Radon und Thoron

Radon ist ein radioaktives Edelgas, aus der Uran-Radium Zerfallsreihe, in der 8. Hauptgruppe des Periodensystems. Uran und Radium kommt in natürlicher Form in allen Gesteinen und Böden vor, dabei in unterschiedlicher Konzentration. Das Edelgas löst sich aus dem Gestein unter Einfluss von Feuchtigkeit und kann so in die Innenräume von Gebäuden gelangen. Das passiert in Kombination von guten Wegsamkeiten im Untergrund und nicht abgedichteten Bodenplatten im älteren Gebäudebestand. Das heißt die Ankopplung des Gebäudes an den Untergrund entscheidet, welche Menge Radon eindringen kann [24].

Für die Strahlenexposition des Menschen ist hauptsächlich das Radon-222 relevant. Es hat eine Halbwertszeit von 3,8 Tagen in der Raumluft. Die Konzentration von Radon-222 in der Raumluft wird in Becquerel gemessen und sollte einen Wert von 300 Becquerel/m³ nicht überschreiten. Der Mittelwert im deutschen Wohnraum liegt bei etwa 50 Becquerel/m³. In der Raumluft und in der Lunge zerfällt es in mehrere metallischen Produkte und strahlt dabei Alphastrahlung ab [23].

Um Radonbelastungen in Gebäuden zu bekämpfen, werden fortschrittliche Messtechniken und Geräte benutzt. Die Bewertung der Messergebnisse ermöglicht eine präzise Risikoabschätzung. Durch die Charakterisierung der Gebäudestruktur identifizieren wir potenzielle Radon-Eintrittspfade. Die Lokalisierung von Radon-Leckstellen ist entscheidend, um gezielte Maßnahmen zu ergreifen. Schließlich können Sanierungsvorschläge für radonsichere Gebäude, um die Gesundheit der Bewohner zu schützen, entwickelt werden.

Auswirkungen auf den Menschen

Thoron galt bis heute wenig Beachtung, was an der kurzen Halbwertszeit lag. Experten zeigen aber heute wieder Interesse, weil vergleichbare Konzentration wie bei Radon in Häusern gemessen wurde und niedrigere Werte als gesundheitsschädlich angesehen werden. Thoron tritt in der Zerfallsreihe des weltweit im Boden vorkommenden Schwermetalls Thorium auf und hat eine Halbwertszeit von nur 56 Sekunden [24].

Bei bestehenden Gebäuden kann die Problematik vor allem den Fachwerkbestand, der mit Lehm ausgefacht wurde, aber auch Neubauten, bei denen Lehmputz verwendet wurde, betreffen. Da die hohen Werte in mitteleuropäischen Lehmvorkommen bekannt sind, ist auch mit hohen Werten in der Raumluft zu rechnen, wenn darauf beim Einbau nicht geachtet wurde. Alle diesen Fragen und möglichen Antworten über Thoron wurden bisher aber noch nicht ausreichend erforscht. Viele Experten sind sich einig, dass in diesem Bereich des Lehmbaus

Nachholbedarf liegt, so die Aussage der Messtechnikerin Pamela Jentner in einem persönlichen Gespräch.

Radonprobleme in Wohngebäuden entstehen vorrangig, wenn Radon aus dem Erdboden in die Räume eines Gebäudes eindringt und dort zu erhöhten Konzentrationen führt, was das Risiko für Lungenkrebs erhöht. Thoron, ebenfalls ein Erdprodukt, zerfällt jedoch sehr schnell (Halbwertszeit von nur 55 Sekunden) und erreicht daher selten die Innenräume in bedenklichen Mengen, es sei denn, es wird direkt aus den verwendeten Baustoffen freigesetzt.

Ungebrannter Lehm, untersucht in traditionellen chinesischen Behausungen, könnte durch seine große, feinkörnige Oberfläche mehr Radon und Thoron abgeben als andere Materialien, wie gebrannte Lehmziegel, bei denen der Brennprozess die Oberfläche verkleinert und die Freisetzung dieser Gase minimiert. Der Gehalt an Radon und Thoron in Lehm variiert stark je nach dem Uran- und Thoriumgehalt des Materials, der regional unterschiedlich sein kann. Obwohl bekannt ist, dass Radon Lungenkrebs verursachen kann, ist das Risiko, das von Thoron ausgeht, weniger gut erforscht. Es gibt nur wenige Studien über das Vorkommen von Thoron in deutschen Wohnungen, und es sind weitere Forschungen erforderlich, um die gesundheitlichen Auswirkungen von Thoron in Baumaterialien genauer zu bestimmen.

Gesetzliche Lage

Erhöhte Radonkonzentrationen führen nachweislich zu erhöhtem Lungenkrebsrisiko. Das internationale Krebsforschungsinstitut der WHO hat nach der sogenannten „Bergarbeiterstudien“ 1988 Radon als nachweislich krebserregend eingestuft. Aus diesem Grund hat der Gesetzgeber den Radonschutz in das Strahlenschutzgesetz aufgenommen, das gemeinsam mit der neuen Strahlenschutzverordnung seit Ende 2018 vollständig in Kraft ist. In bestimmten Gebieten muss am Arbeitsplatz die Radonkonzentration gemessen werden und in sogenannten Vorsorgegebieten müssen Gebäude gegebenenfalls radonsicher nachgerüstet werden [23][Anlage 03].

Bericht Materialproben

Messungen durch: Dipl. Biol. Pamela Jentner

Auftragsnummer: Dall'Armi-Lehm-220715

Tonprobe: Lehm aus Mering bei Augsburg

Beschreibung: Gelbliches, feinkörniges Lehm-pulver

Datum des Berichts: 15.07.2022

Aufgabenstellung hinsichtlich der Untersuchung der Lehmvorkommen aus Mering

Um sicherzustellen, dass die Lehmvorkommen aus Mering hinsichtlich Radon und Thoron unbedenklich verwendet werden können, habe ich gemeinsam mit der Messtechnikerin Pamela Jentner ein Konzept zur Untersuchung erarbeitet und Messungen im Labor durchgeführt. Beschrieben haben wir das Vorhaben wie folgt:

“Baubiologisch-orientierende Überprüfung von Lehm-Materialproben hinsichtlich Radon und Thoron. Die zur Verfügung gestellten Materialproben sollten hinsichtlich Ausgasungen von Radon und Thoron überprüft werden. Verwendet wurden ein Lehmstein und loses Material.” [Anlage 05]

Der ausführliche Bericht von OrangePep GmbH & Co.KG, verfasst von der Geschäftsführerin Dipl. Biol. Pamela Jentner, detailliert eine baubiologisch-orientierte Untersuchung von Lehm-Materialproben bezüglich ihrer Emissionen von Radon und Thoron. Diese Studie ist besonders relevant, da Lehm-Materialien in einem Bauvorhaben verwendet werden sollten und Bedenken hinsichtlich der Raumluftqualität bestehen. Es wurden unterschiedliche experimentelle Messreihen durchgeführt, die in dem Bericht Dall'Armi-Lehm-220715 [Anlage05] von Pamela Jentner beschrieben werden. Die wichtigsten Inhalte und Ergebnisse werden in diesem Kapitel festgehalten.

Schematischer Versuchsaufbau

Das zu überprüfende Material wurde in eine gasdicht verschlossene Messkammer eingebracht. Das Messgerät saugt aktiv Luft aus der Messkammer in das Gerät (0,3 l/min), siehe gelber Pfeil. Die Abluft strömt zurück in die Messkammer, siehe grauer Pfeil. Die Untersuchung umfasste vier experimentelle Serien, in denen Lehmbausteine und loses Lehm-Material in einer speziell konstruierten, gasdichten Messkammer analysiert wurden. Die Kammer war mit modernen Radon- und Thoron-Messgeräten ausgestattet, die kontinuierliche Luftproben aus der Kammer zogen, um die Konzentration dieser Gase zu messen. Die Messungen wurden unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, einschließlich Variationen in der Betriebsdauer der Pumpe und im Modus des Messgeräts.



ABBILDUNG 8: AUSZUG ANLAGE 05
Lehmstein:
Maße: ca. 23 cm x 17,5 cm x 11,5 cm
Gewicht zum Messzeitpunkt: ca. 4,296 kg



ABBILDUNG 9: AUSZUG ANLAGE 05
Loses Lehm-Material:
Gewicht zum Messzeitpunkt: ca. 2,303 kg

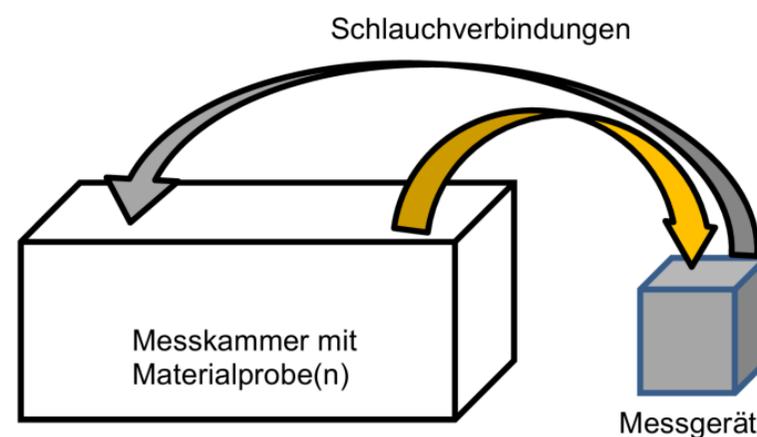


ABBILDUNG 10: AUSZUG ANLAGE 05
Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau.

Messergebnisse

Experiment 1 und 2 (Lehmstein):

- Messkammer mit Lehmstein bestückt
- 8 Stunden Verschluss der Messkammer (07.07.22, 22:00 Uhr bis 08.07.22, 06:00 Uhr)

Messergebnisse Radon (fast mode):

- Mittelwert 35 Becquerel/m³ (+/-21%)
- kurzzeitiges Maximum 113 Becquerel/m³ (+/- 61%)

Messergebnisse Thoron:

- Mittelwert 76 Becquerel/m³ (+/-15%)
- kurzzeitiges Maximum 264 Becquerel/m³ (+/- 43%)

Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl Radon als auch Thoron aus dem Lehmbaustein freigesetzt wurden, wobei die Konzentrationen je nach Messmodus (schnell/langsam) variierten. In beiden Experimenten wurden die Radon- und Thoron-Konzentrationen grafisch dargestellt, um den Verlauf über die Zeit zu veranschaulichen.

Experiment 3 (loses Lehm-Material):

- Messkammer mit losem Material bestückt
- Messzeitraum: 09.07.22, 22:38 bis 10.07.22, 14:38 Uhr

Messergebnisse Radon (slow):

- Mittelwert 27 Becquerel/m³ (+/- 10%)
- kurzzeitiges Maximum 61 Becquerel/m³ (+/- 22%)

Messergebnisse Thoron:

- Mittelwert 36 Becquerel/m³ (+/-15%)
- kurzzeitiges Maximum 104 Becquerel/m³ (+/- 43%)

Auch hier wurden Radon und Thoron gemessen, wobei ähnliche Messmethoden wie in den ersten beiden Experimenten angewendet wurden. Die Ergebnisse zeigten niedrigere Durchschnittskonzentrationen als bei den Lehmbausteinen.



ABBILDUNG 11: AUSZUG ANLAGE 05

Abbildung 6: Grafische Darstellung der Messwerte im Zeitverlauf. Linien: Radon: grün, Lufttemperatur: rot, Luftfeuchte: blau, Luftdruck: pink

Experiment 4 (Lehmstein und loses Lehm-Material):

- Messkammer, 3 Tage Verschluss der Messkammer (07.07.22, 22:00 Uhr bis 13.07.22, 23:50 Uhr), zur Anreicherung von Radon und Thoron.

Messergebnisse Radon (slow):

- Mittelwert 156 Becquerel/m³ (+/- 4%)
- kurzzeitiges Maximum 189 Bq/m³ (+/- 12%)

Messergebnisse Thoron:

- Mittelwert 165 Becquerel/m³ (+/-8%)
- kurzzeitiges Maximum 266 Becquerel/m³ (+/- 18%)

Dieses Experiment führte zu den höchsten gemessenen Konzentrationen von Radon und Thoron.

Resultate und Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, dass erhöhte Radonwerte im Innenraum nach vorliegenden Messergebnissen der Lehm-Materialproben nicht zu befürchten sind. Trotzdem können Aussagen zu Radon- oder Thoron-Konzentrationen im fertig gebauten Raum nicht getroffen und auch nicht abgeleitet werden. Hierbei spielen eine Reihe anderer Faktoren eine wichtige Rolle, die hier jedoch nicht betrachtet werden konnten. Die Konzentration im Innenraum können erst im fertig gebauten Raum bestimmt werden.

Die Diskussion zwischen Pamela Jentner und mir hebt hervor, dass die gemessenen Radon- und Thoron-Konzentrationen spezifisch für die getesteten Proben und Bedingungen sind und nicht verallgemeinert werden können. Es wird auch auf die Notwendigkeit weiterer Forschungen hingewiesen, um die gesundheitlichen Auswirkungen von Thoron besser zu verstehen und rechtliche Rahmenbedingungen für die Verwendung von Lehm als Baumaterial festzulegen. Derzeit sind keine rechtlichen Regelungen bezüglich Thoron-Konzentrationen in Lehm-Materialien für den Hausbau bekannt, die zur Bewertung der vorliegenden Materialproben verwendet werden könnten. Insgesamt liegen zu Thoron in der Literatur bisher nur wenige Angaben vor, die für die spezifische Fragestellung hilfreich wären.

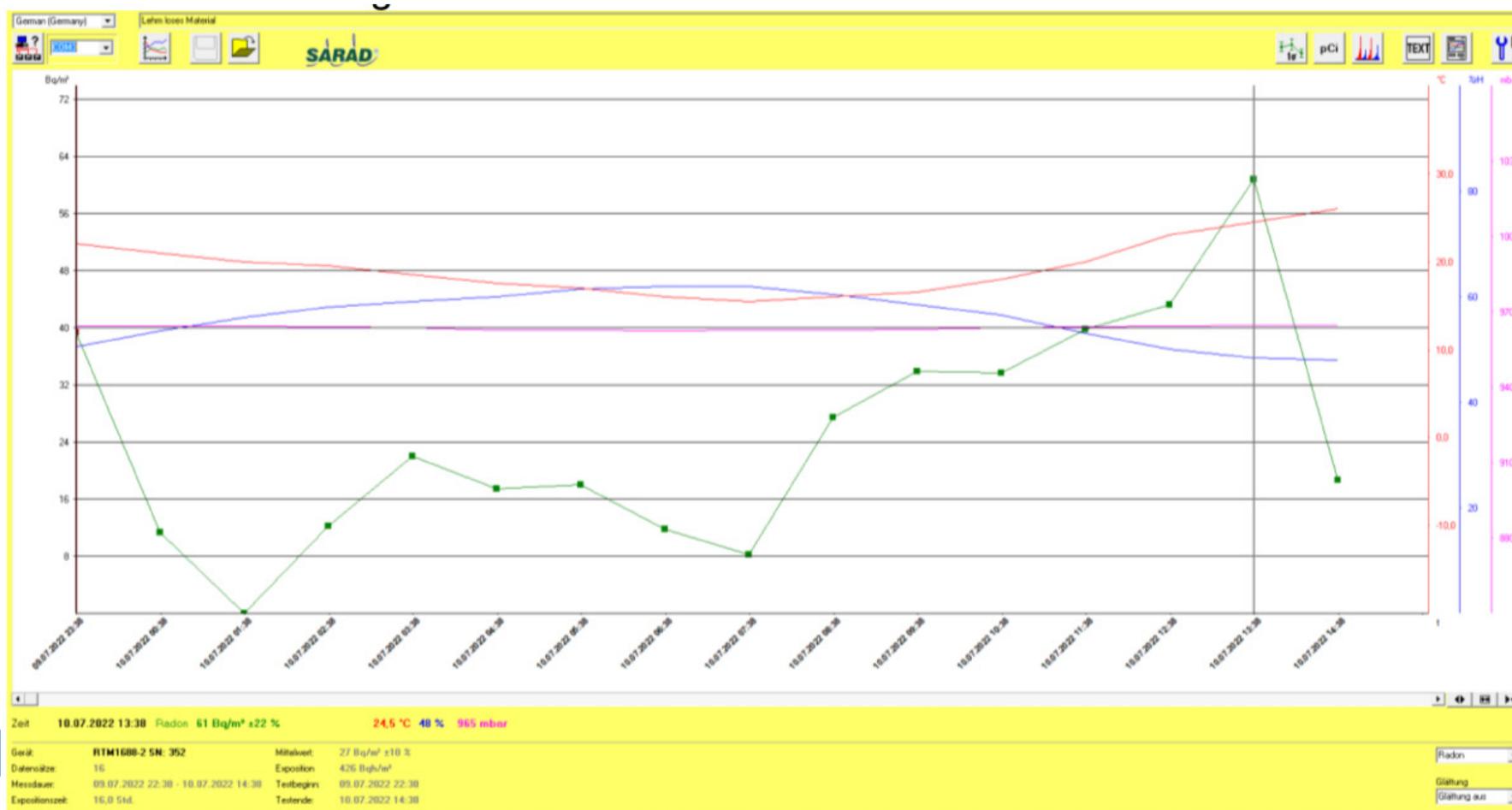


ABBILDUNG 12: AUSZUG ANLAGE 05

Abbildung 10: Grafische Darstellung der Messwerte im Zeitverlauf.

Linien: Radon: grün, Lufttemperatur: rot, Luftfeuchte: blau, Luftdruck: pink

Dokumentation Ausführung

Dokumentationsmethode

Im Jahr 2021 begann meine intensive Arbeit an dem Projekt. Alle wesentlichen Schritte – von der ersten Materialbeschaffung bis zur fertigen Umsetzung auf der Baustelle – wurden von mir persönlich angeleitet, begleitet oder direkt ausgeführt. Der Prozess startete mit der Analyse von Lehmproben und der Entwicklung erster Prototypen um einen geeigneten Naturlehm zu finden und ging über die Planung und Ausführung bis zum Abschluss der wichtigsten Bauteile. Nach vorbereitenden Arbeiten, die nicht nur für die Lehmsteinproduktion, sondern auch für die gesamte Planung des Bauprojekts von Bedeutung waren, ging es an die Umsetzung der eigentlichen Bautätigkeit. Mein Fokus lag dabei besonders auf den Arbeitsprozessen, die unmittelbar mit dem Naturlehm in Verbindung standen oder aus planerischer Sicht im Zusammenhang mit diesem nachhaltigen Baustoff relevant waren. Für den Umgang mit Lehmbaustoffen aus Naturlehm waren die Lehmbauregeln Grundlage für die Prüfung, Aufbereitung, Zusammensetzung und Herstellung [5]. Die umfassende Dokumentation der Bauphase beinhaltet detaillierte Angaben zu Zeiteinheiten und Kosten und berücksichtigt die verwendeten Methodiken, Abläufe und Vorgänge. Jeder Schritt wurde dokumentiert, um das Vorgehen bei der Verarbeitung des Lehms und den damit verbundenen Bautätigkeiten nachvollziehbar und transparent zu machen. Das letztendliche Ziel dieser Dokumentation ist es, Menschen nicht nur anzuleiten, sondern auch zu ermuntern, mit Naturlehm zu arbeiten. Durch die Aufzeichnung der verschiedenen Arbeitsphasen und der spezifischen Herausforderungen und Lösungen soll ein praktischer Leitfaden geschaffen werden.

Grundlagenermittlung und Bestand

Die Themen zur Planung wurden in den Kapitel “Werk- und Detailplanung” diskutiert und wird an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt. Die Vorbereitung der Planung erforderte eine umfassende Bestandsaufnahme. Dabei wurden vorhandene Strukturen begutachtet und eine Grundlagenermittlung durchgeführt, um den Zustand des Objekts präzise zu erfassen. Besonders herausfordernd waren die Schadensanalysen, wie die Schiefstellung der Fachwerkwand an der Nordseite und die Verdrehung des Schwellbalkens, sowie die Beurteilung der Feuchtigkeitsschäden an Decke, Fußpfette und Dach im Westbereich und die Witterungsschäden in der Nordwest-Ecke des Dachgeschosses. Zusätzlich zur Schadensbewertung war dokumentierte ich den Bestand, die auch spezielle Termine mit Zimmerern, Installateuren, Elektrikern und Architekten umfasste, um verzogene Fachwerke, modrige Balken und Fenstereinbauten zu begutachten und die Instandsetzung zu diskutieren. Ein wichtiger Aspekt meiner Tätigkeiten war auch die Vermessung und das Aufmaß sowie die Analyse der technischen Anlagen und Elektroinstallationen.

Lehmsteinversuche und Prototypenentwicklung

Der wichtigste Teil war die Herstellung der Lehmsteine für die Außenwand und begann mit dem sorgfältigen Aufbau der notwendigen Formen, gefolgt vom Einrichten einer Schlämmwanne, die für die Aufbereitung des Naturlehms erforderlich war.



In dieser Anfangsphase wurden verschiedene Prototypen von Lehmsteinen entwickelt, darunter sowohl schwere als auch leichte Varianten, jeweils im Normalformat und im 3DF-Format nach DIN 4172. Dieser experimentelle Ansatz war entscheidend, um die Qualität und die spezifischen Eigenschaften der Steine zu testen und zu optimieren. Es werden Steine der Anwendungsklasse 1 nach Lehmbauregeln benötigt, die für verputztes, der Witterung ausgesetztes Außenmauerwerk geeignet sind [5].

Rechtliche Situation in Deutschland

Im Dezember 2018 wurde die zweite Normengeneration im Lehmbau veröffentlicht. Dabei geht es um Lehmsteine, Lehmmauermörtel, Lehmputzmörtel und Lehmbauplatten [4]. Damit sind die wichtigsten Produkte abgedeckt und somit ist eine breite Anwendung aus planerischer und normativer Sicht möglich. Bisher haben die Lehmbauregeln, herausgegeben vom Dachverband Lehm in Deutschland, den Stand der Technik im Umgang mit Lehm definiert. Selbst gemischte nicht gekennzeichnete Lehmstoffe ohne Zulassung können im privaten Bereich eingesetzt werden, wenn sie als nicht-tragende Baustoffe eingesetzt werden und werden nach wie vor über die Lehmbauregeln angewendet.

Umwelt- und Nutzerverträglichkeit

Es sind viele Gründe, warum das Bauen mit Lehm immer attraktiver wird. Aus der Vergangenheit wissen wir, dass sich Lehm als Baustoff seit Jahrtausenden bewährt hat. Auch wenn die Zeit des Lehmbaus von Phasen begleitet wurde, in denen der

Einsatz von Lehmstoffen zurückgegangen so zeigt das doch umso deutlicher, dass dieses Material seinen Platz und Berechtigung hat. Bauaufgaben, wie die Altbausanierung, Fachwerkgebäude, gesunde Innenräume und energieeffizienter Neubau benötigen dringend Baustoffe aus Lehm oder sind dafür zumindest hervorragend geeignet. Auch die aktuelle Debatte über die Umweltsituation trägt dazu bei, dass Lehm in der zukünftigen Bauwirtschaft eine immer wichtigere Rolle spielt und nicht mehr wegzudenken ist.

Die fehlenden Daten für selbst erzeugte Lehmstoffe sind bedeutsam, besonders im Kontext der aktuellen Debatte über Umweltbelange im Bauwesen, Zertifizierungen, Förderungen und Verpflichtungen. Lehmstoffe zeigen in der Regel herausragende Leistungen, da sie keine künstlichen Inhaltsstoffe benötigen und in der Regel keine schädlichen Stoffe während ihrer Herstellung freisetzen. Echte Lehmstoffe zeichnen sich zudem durch ihre bemerkenswerte Langlebigkeit aus. Gemäß der Ökobilanz von Lehmstoffen kann davon ausgegangen werden, dass sie mindestens 100 Jahre halten. Darüber hinaus können sie später leicht und ohne zusätzlichen Energieaufwand entsorgt oder sogar wiederverwendet werden, dank ihrer Eigenschaft, nicht hydraulisch zu binden, sondern nur durch Austrocknung fest zu werden.

In Bezug auf relevante Kriterien für die Umweltverträglichkeit von Baustoffen spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, darunter der Grenzwert für den Kunststoffgehalt mineralischer Produkte, die Natürlichkeit von Lehmprodukten, Umweltzeichen, Umweltproduktdeklarationen, CO²-Bilanzen, die Gewinnung der Rohstoffe sowie die Offenlegung der Produktinhaltsstoffe. Hier sollte bei der Eigenleistung und Aufbereitung von lokalen Lehmvorkommen verantwortlich gehandelt werden.

61 FOTO: LUFTTROCKNUNG LEHMSTEINE





62 - 65 FOTO: AUFBEREITUNG VON LEICHTLEHM

Lehmschlämme und gehäckseltes Stroh müssen vermischt werden.



Material Außenwand (Lehmsteine)

Lehmsteine (3DF): 1300 Stück
 - Naturlehm (Schlämme)
 + Strohhäcksel: (30/70%)

Lehmmörtel ~2 Tonnen
 - Naturlehm
 + Strohhäcksel
 + Quarzsand: (50/40/10%)

Dreiecksleisten



66 - 69 PROTOTYPEN IM 3DF FORMAT (24CM X 17,5CM X 11,3CM)

Um einen möglichst leichten Stein zu bekommen haben wir die Rezeptur so eingestellt, dass soviel Stroh wie möglich verwendet wird und so viel Lehm wie nötig.

Stroh-Leichtlehmsteine

Herstellen von Strohleichtlehmsteinen

Bei der Rezeptur der Leichtlehmsteine war das Ziel einen in sich stabilen, witterungsbeständigen, frostsicheren und möglichst leichten Lehmstein zu erhalten. Die Dichte des Steins sollte sich möglichst mit der des Holzskeletts treffen. So haben wir eine gleichmäßige Wärmeverteilung ohne Wärmebrücken, und außerdem einen ähnlichen E-Modul der beiden Materialien, sodass Rissbildungen vorgebeugt werden kann. Das tonige Ausgangsmaterial war gut geeignet um eine dünne Lehmschlämme mit viel Strohhanteil zu vermischen und Steine mit einer Dichte von circa 800kg/m^3 zu erhalten. So ist am Ende die Menge des Stroh höher, als die des Lehms.

Allgemein hat ein Leicht-Lehmstoff eine Rohdichte von 300 bis 1200kg/m^3 und ist besser geeignet für den Wärmeschutz und ganz wichtig, er ist damit frostbeständig.

Der Vorgang der Herstellung kann in folgende Schritte eingeteilt werden. Der Stein nach dieser Herstellung heißt gepatzter Lehmstein.

Schrittweiser Vorgang

- 1 Erzeugung einer Lehmschlämme.
- 2 Erzeugung von Strohhacksel.
- 3 Übergießen der Strohhacksel mit Lehmschlämme.
- 4 Mischen, sodass alle Halme mit Lehm ummantelt sind, aber nicht mehr.
- 5 Einschlagen der Leichtlehmsteine in die Lehmsteinformen und Form abziehen.
- 6 Vor dem Einbau zwei Wochen mit ausreichender Durchlüftung trocknen lassen.

70 FOTO: MISCHEN DER BESTANDTEILE
MIT HAND UND FUSS

71 FOTO: LUFTTROCKNUNG IM FREIEN

72 FOTO: LUFTTROCKEN UNTER DACH



Leichtlehm-Mörtel und Ausfachung

Der Prozess beginnt mit der Vorbereitung des Lehm Mörtels, der aus Lehm, Stroh, Sand und Wasser besteht. Zunächst werden die Fachwerkbalken vorbereitet, indem sie von Schmutz und altem Mörtel befreit werden. Anschließend wird der Lehm Mörtel in die Fachwerkkonstruktion eingebracht, sorgfältig verdichtet und geglättet. Dabei ist es wichtig, dass der Mörtel gut an den Balken haftet und keine Hohlräume entstehen. Der Lehm Mörtel bietet nicht nur eine stabile Verbindung zwischen den Steinen, sondern auch zwischen Mauerwerk und Fachwerkbalken.

Schrittweiser Vorgang

- 1 Erzeugung von Leichtlehm-Mörtel.
- 2 Dreiecksleisten seitlich mit nicht-rostenden Nägeln montieren.
- 3 Die Mauerwerks-Arbeiten mit einer Mörtellage auf dem Balken beginnen (Mörtellage ca. 1-1,5 cm).
- 4 Die Dreiecksleisten mit einmörteln.
- 5 Oben entstehende Lücke mit Strohlehm ausstopfen, gegebenenfalls nach Setzung wiederholen.

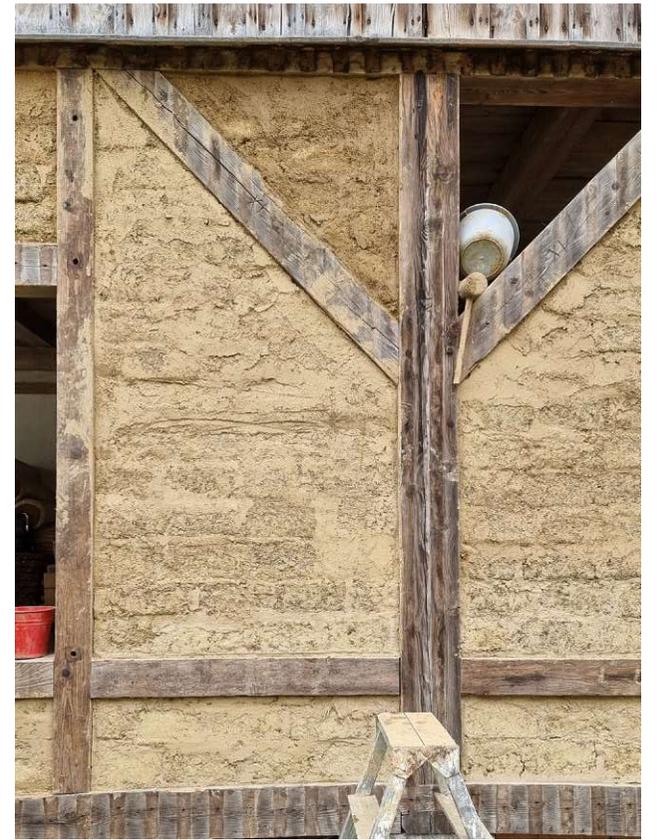


73 FOTO: DREIECKSLEISTEN SEITLICH MONTIEREN. DIESE WERDEN MIT EINGEPUTZT



74 FOTO: LEICHTLEHM-STEINE LASSEN SICH MIT DER GASBETON-SÄGE ZUSCHNEIDEN





75 FOTO: LEICHTLEHM-MÖRTEL

76 FOTO: MAUERARBEITEN MIT LAGER UND STOSSEFUGENVERMÖRTELUNG

77 FOTO: FERTIGGESTELLTS LEHMSTEIN-MAUERWERK

78 FOTO: DETAILAUFNAHME LEHMSTEIN

79 - 82 FOTO: LANGHALM LEICHTLEHM UND LEHM-FLECHTWERK

Ein Flechtwerk für Lehmausfachungen besteht aus Staken und Routen. Für die Staken werden Kerben zur Lagesicherung im Balken vorbereitet. Das Flechtwerk wird anschließend mit einer Leichtlehmmischung von beiden Seiten beworfen.



Lehm-Flechtwerk

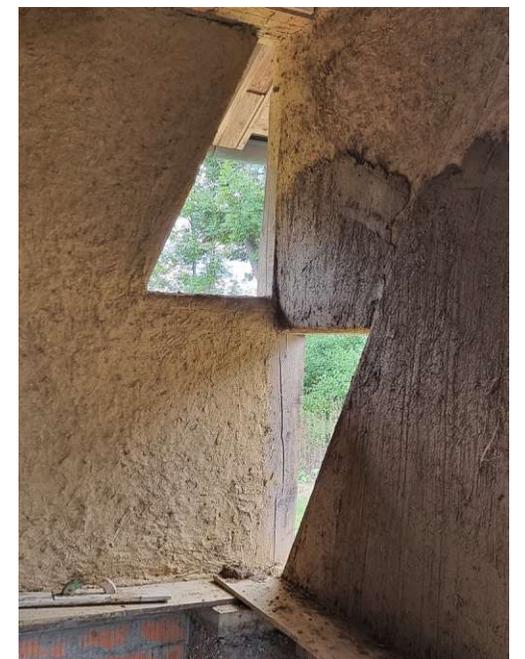
Zunächst werden die Fachwerkbalken vorbereitet, indem sie von Schmutz und altem Mörtel befreit werden. Dann erfolgt die Vorbereitung des Lehms, der zusammen mit Strohhäckseln oder anderen Fasern zu einem stabilen Lehmflechtwerk verarbeitet wird. Es ist generell sinnvoll Leichtlehmischungen frühzeitig vorzubereiten. Oft ist das Material nach wenigen Tagen bevor es zu stinken anfängt am Besten geeignet. Dieser Prozess trägt den Namen "Mauken".

Für den Einbau muss zuerst das Flechtwerk gemacht werden. Holzstaken (z.B. Eiche) werden vertikal in des Fachwerk geklemmt. Damit sie nicht herausrutschen können, wird eine Kerbe im Fachwerk vorbereitet. Wenn die Kanthölzer stabil sitzen, wird ein Flechtwerk aus Hasel- oder Weidenruten erstellt. Anschließend werden Bündel aus Stroh oder anderen Fasern in das Geflecht eingeflochten, um zusätzliche Stabilität zu gewährleisten.

Während des Einbaus wird darauf geachtet, dass alle Zwischenräume und Lücken im Fachwerk ordnungsgemäß ausgefüllt sind, um eine gleichmäßige Struktur und Festigkeit zu erreichen. Nach dem Trocknen des Lehmflechtwerks können eventuell noch vorhandene Unebenheiten oder Risse geglättet und korrigiert werden. Das fertige Lehmflechtwerk trägt nicht nur zur Stabilität des Fachwerks bei, sondern bietet auch eine natürliche Wärmedämmung und reguliert die Luftfeuchtigkeit im Gebäude.

Schrittweiser Vorgang

- 1 Erzeugung von Leichtlehm mit langen Halmen bis 30 cm (Siehe oben).
- 2 Flechtwerk aus zum Beispiel Haselruten einflechten.
- 3 Stroh-Leichtlehm einflechten und verdichten. Dabei die Haselruten nachziehen und weitere einflechten.
- 4 Oberfläche mit Strohleichtlehm (kurze Häcksel) nacharbeiten.



83 - 85 FOTO: FLECHTWERK

Das Flechtwerk wird nach dem ersten Trocknungsvorgang (ein paar Tage je nach Witterung) nachgearbeitet und das erste Ergebnis ist zu sehen.

Innenwand



Die Innenwand teilt den Raum und wird mit einer Innentüre und einem durchgehenden horizontalen Lichtband geplant um beide Räume ausreichend mit Tageslicht zu versorgen. An der Innenwand werden für beide Räume Waschtische montiert, die mit kleinen elektrischen Durchlauferhitzern ausgestattet sind. Das Abwasser wird an den Kanal angeschlossen.

Die Innenwand wurde als Holzständerkonstruktion geplant und ausgeführt. Zunächst wird ein stabiler Untergrund vorbereitet. Dies beginnt mit der Einbettung eines Holzbalkens in Glasschaumschotter. Glasschaumschotter bietet eine gute Druckfestigkeit, verhindert kapillar aufsteigende Feuchtigkeit und ist daher gut geeignet. Das gewählte System sorgt nicht nur für eine robuste und dauerhafte Konstruktion, sondern ist eben auch für den Selbstbau hervorragend geeignet. Heute werden nicht tragende Innenwände oft in Trockenbauweise gebaut. Dafür werden industrielle Plattenwerkstoffe benötigt. Da Lehmbauplatten nicht so einfach in Eigenleistung zu produzieren sind, kam das nicht in Frage. Zudem bieten die schweren Lehmsteine einen hervorragenden Schallschutz und zusätzlich speicherwirksame Masse für das Gebäude.

Die Holzständerwand wird aus Konstruktionsvollholz errichtet. Dies umfasst das Aufstellen von vertikalen Ständern in regelmäßigen Abständen entlang des Holzbalkens. Diese Ständer bilden das Skelett der Wand und müssen exakt ausgerichtet und sicher befestigt werden.

Material Innenwand

Lehmsteine(NF): 574 Stück
- Naturlehm
+ Quarzsand: (50/50%)

Lehmputz: 28m²
- Naturlehm
+ Quarzsand
+ Strohhäcksel: (50/35/15%)

Holzständer, Rahmenholz,
Gründungsschwelle



87 FOTO: HALBIERTE LEHMSTEINE

86 FOTO: ROHBAUZUSTAND INNENWAND

Zu sehen sind Holzständer und die Füllung der Lücken mit Lehmsteinmauerwerk.

Auch bei der Innenwand wurden alle verwendeten Lehm-
baustoffe aus eigenem Naturlehm hergestellt.



Herstellen und Einbau der Lehmsteine

Die schweren Lehmsteine wurden als formgeschlagene Lehmsteine hergestellt. Eine sehr dickflüssig bis breiige, homogene Naturlehmmischung ist das Ausgangsmaterial und wird lediglich im Mischverhältnis 1:1 mit scharfkantigem Quarzsand verrührt. Die Masse wird mit etwas Schwung in eine Holz-Form im Normalformat geworfen, abgezogen und umgestülpt zum Trocknen liegen gelassen. Die Steine können nach 2-3 Wochen bei durchschnittlicher Temperatur und Wetterbedingungen Trocknungszeit eingebaut werden. Zum Zeitpunkt des Einbaus sollten sie nicht zu feucht und formstabil sein.

Zwischen den einzelnen Holzständen werden selbst hergestellte schwere Lehmsteine eingesetzt. Diese werden nach dem Prinzip der Fachwerkbauweise eingebaut. Für das Verbundmauerwerk wird in jeder zweiten Reihe zuerst ein halber Lehmstein eingesetzt. Für die Befestigung der Lehmsteine werden Dreiecksleisten verwendet, die an den Holzständen befestigt werden, um ein Herauskippen des Mauerwerks zu verhindern.

Nachdem die Lehmsteine vollständig eingesetzt und der Mörtel mäßig ausgehärtet ist, wird die gesamte Wandfläche mit einer etwa 2,5 cm dicken Schicht aus Lehm verputzt. Zum Abschluss wird die verputzte Oberfläche gestrichen.

Ausbau der bestehenden Holzbalkendecke

Der Ausbau einer bestehenden Holzbalkendecke zu einer Decke, die den Anforderungen eines beheizten Wohnraums entspricht, umfasst mehrere Schritte. Zunächst ist eine Planung des Aufbaus notwendig und die Berücksichtigung der Fachplanungen Schallschutz, Brandschutz und Statik. Eine statische Berechnung ist in diesem Fall in jedem Fall erforderlich und wurde durchgeführt. Im Bereich Brandschutz ist die Kapselung der Decke ein entscheidendes Merkmal für baulichen Brandschutz nach Bayerischer Bauordnung. Brandschutzdecken im Wohnungsbau müssen je nach baurechtlicher Einordnung, Nutzung und Gebäudeklasse feuerhemmend, hochfeuerhemmend oder feuerbeständig ausgeführt werden. Der wichtigste Aspekt dabei ist die Kapselung der Decke mit schwer entflammbaren oder nicht brennbaren Materialien, um hochfeuerhemmende oder feuerbeständige Bauteile zu erhalten. Auf den Brandschutz wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Statische Berechnung der Holzbalkendecke

Die Tragfähigkeit (Nachweis des Grenzzustand der Tragfähigkeit) und die Durchbiegung (Nachweis des Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit) der bestehenden Holzbalken müssen überprüft werden, um sicherzustellen, dass die Decke das zusätzliche Gewicht der geplanten Lehmschüttung und der weiteren Schichten tragen kann.

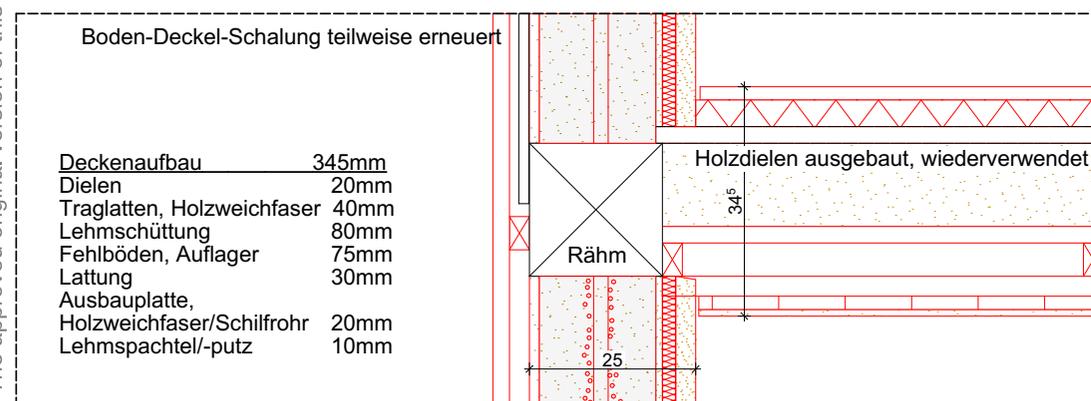
Das statische System der bestehenden Holzbalkendecke ist ein Holz-Einfeldträger mit einer Spannweite von 4,63m und gelenkigen Auflagern. Die Drucklasten

gründen über das Holzfachwerk in die Punktfundamente des Gebäudes. Die Nadelholzbalken haben einen Querschnitt von 15 auf 20cm und einen Achsabstand von 85cm. Das Eigengewicht erhöht sich mit dem Ausbau der Holzbalkendecke. Neben den bestehenden Holzbalken und dem Dielenboden kommen weitere 1,49 kN/m² Flächenlasten hinzu.

Die beauftragte statische Berechnung nach dem geplanten Deckenaufbau mit 8cm schwerer Lehmschüttung zeigt, dass die Tragfähigkeit zu 88% ausgenutzt ist und die Verformung bei 109% steht. "Da die Verformung unter 110% liegt, kann man das statisch so akzeptieren im Bestandsbau.", so Andreas Mandler, der Statiker, der für das Bauvorhaben die Decke statisch berechnet hat. [Anlage06]

Deckenaufbau und Ausführung

In dem kleinen Raum [Raum01] wurden Schilfrohr-Leichtbauplatten für die Abhängung verwendet. Die Verwendung als Ausbauplatte ist nicht die primäre Anwendung dieses Produkts, jedoch für unsere Zwecke geeignet. Die Leichtbauplatte wurde rundherum mit einer Lehmschlemme bestrichen und soll so eine dampfbremende Funktion erfüllen und vor Einnistung von Insekten schützen. Die Sichtseite wurde ebenfalls im noch nicht montierten Zustand mit einer dünnen Putzlage von 5mm verputzt und bereits Jutegewebe für die Fugenanschlüsse aufgebracht. So waren es nach der Montage an der Decke weniger Überkopf-Arbeitsgänge, lediglich verblieb das verspachteln der Fuge und eine letzte dünne Putzlage von 3-5mm.



Flächenlasten in z-Richtung

Einw. Gk
Einw. Qk.N

(a)

(b)

Gleichflächenlasten

Feld	Komm.	a [m]	s [m]	q _{li} [kN/m ²]	q _{re} [kN/m ²]
1	Eigengew	0.00	4.63		0.15
(a) 1		0.00	4.63		1.49
(b) 1		0.00	4.63		2.00
(a)		g: Holzdielen 2 cm		0.02*6.3 =	0.13 kN/m ²
		g: Steico Floor 4 cm		0.04*1.6 =	0.06 kN/m ²
		g: Holzschalung 2 cm		0.02*4.5 =	0.09 kN/m ²
		g: Lehmschüttung 8 cm		0.08*12 =	0.96 kN/m ²
		g: Schilfrohdecke 5 cm		0.05*1.45 =	0.07 kN/m ²
		g: Lehmputz 1.5 cm		0.015*12 =	0.18 kN/m ²
				=	1.49 kN/m ²
(b)		q: Verkehr		2 =	2.00 kN/m ²

ABBILDUNG 13: FLÄCHENLASTEN AUFBAU AUS STATISCHER BERECHNUNG [ANLAGE06]

D07

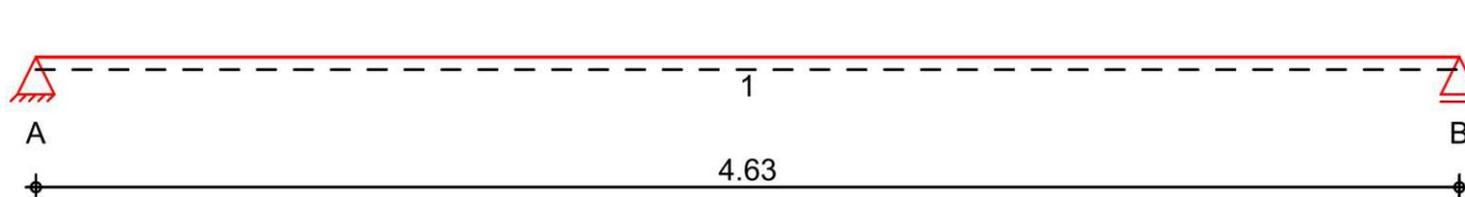
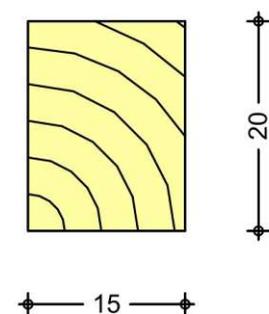


ABBILDUNG 14: STATISCHES SYSTEM AUS STATISCHER BERECHNUNG [ANLAGE06]



91 FOTO: ROHBAUZUSTAND INNENWAND
 Zu sehen sind Holzständer und die Füllung der
 Lücken mit Lehmsteinmauerwerk

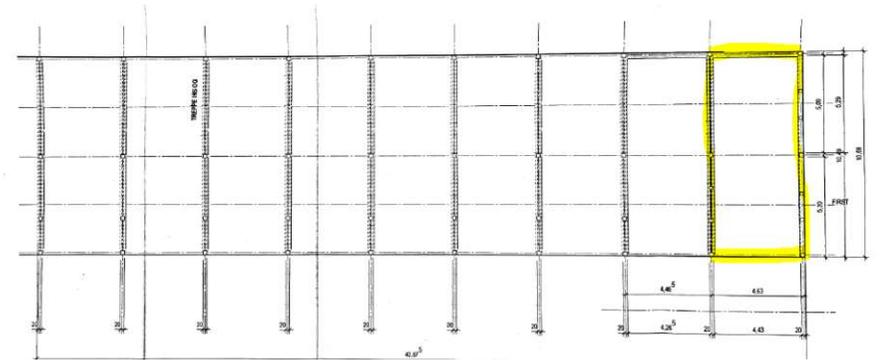


ABBILDUNG 15: BESTANDSPPLAN VON BAUHERR

Material Decke (45m²):

Holzfaserdämmplatten, Verlegeleisten 50m²
 - druckfest, schallenkoppelt

Rauspund Schalungsbretter 50m²
 - Fichte, Nut-Feder, 14,6/2,8cm (b/h)
 - einseitig gehobelt

Lehmschüttung 3m³
 - Splitt, lehmgebunden
 - leicht verdichtet
 - Mischverhältnis 1:1 (50/50%)

Rieselschutzpapier 72m²
 - Rolle 1,5 x 50m (b/l)

Rauspund Schalungsbretter 28m²
 - Fehlboden a/2,8cm (b/h)

Dachlatten 125 Laufmeter
 - Fichte, sägerau 3/5cm (b/h)

Schilfrohr-Leichtbauplatt 5cm Höhe, 15m²

Holzfaserbauplatten 2cm Höhe, 28m²

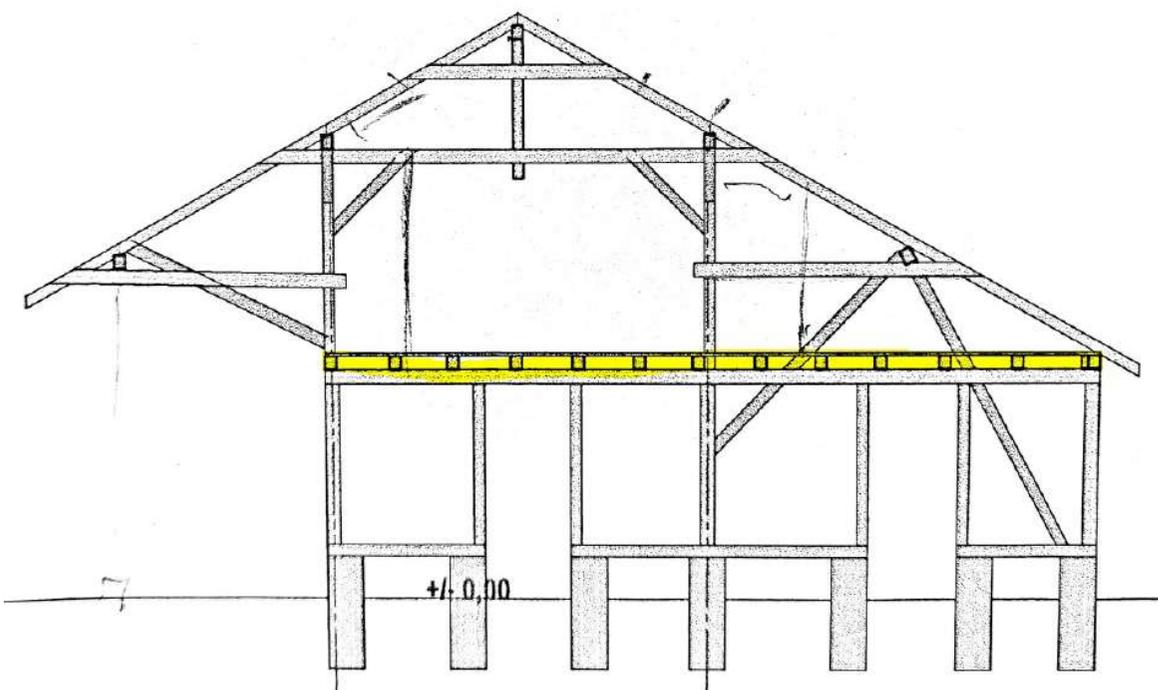
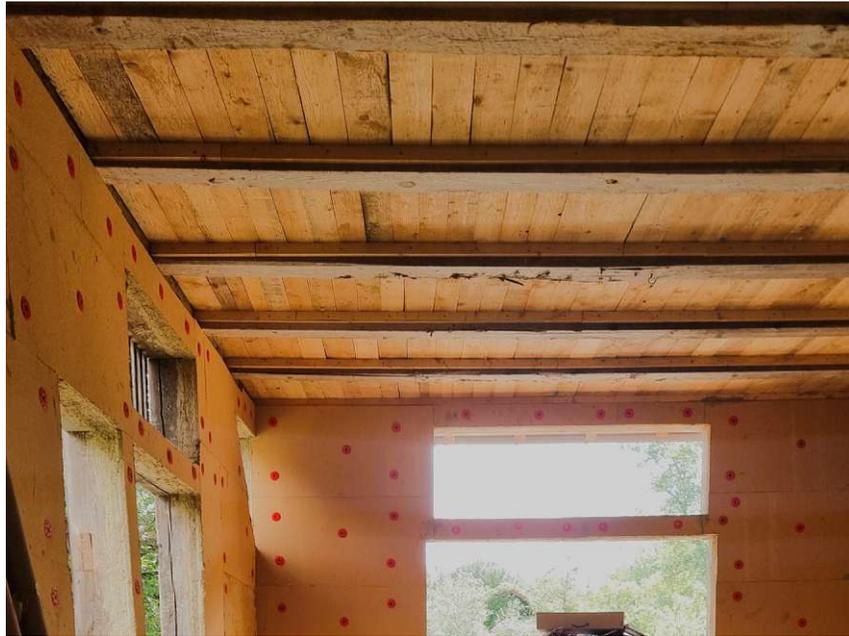


ABBILDUNG 14: BESTANDSPPLAN VON BAUHERR

Abhangdecke mit Schilfrohr-Leichtbauplatten

In dem kleinen Raum [Raum01] wurden Schilfrohr-Leichtbauplatten für die Abhängung verwendet. Die Verwendung als Ausbauplatte ist nicht die primäre Anwendung dieses Produkts, jedoch für unsere Zwecke geeignet. Die Leichtbauplatte wurde rundherum mit einer Lehmschlemme bestrichen und soll so eine dampfbremsende Funktion erfüllen und vor Einnistung von Insekten



92 FOTO: DECKE MIT EINGEBAUTEN FEHLBÖDEN

schützen. Die Sichtseite wurde ebenfalls im noch nicht montierten Zustand mit einer dünnen Putzlage von 5mm verputzt und bereits Jutegewebe für die Fugenanschlüsse aufgebracht. So waren es nach der Montage an der Decke weniger Überkopf-Arbeitsgänge, lediglich verblieb das verspachteln der Fuge und eine letzte dünne Putzlage von 3-5mm.



93 FOTO: VORBEREITUNGEN ABHANGDECKE



94 FOTO: SCHILFROHR-LEICHTBAUPLATTE IN LEHMSCHLÄMME



95 FOTO: DECKE MIT MONTIERTER SCHILFROHR-LEICHTBAUPLATTE, EINGESCHLÄMMT UND VLIES ALS ARMIERUNG DER STOßFUGEN

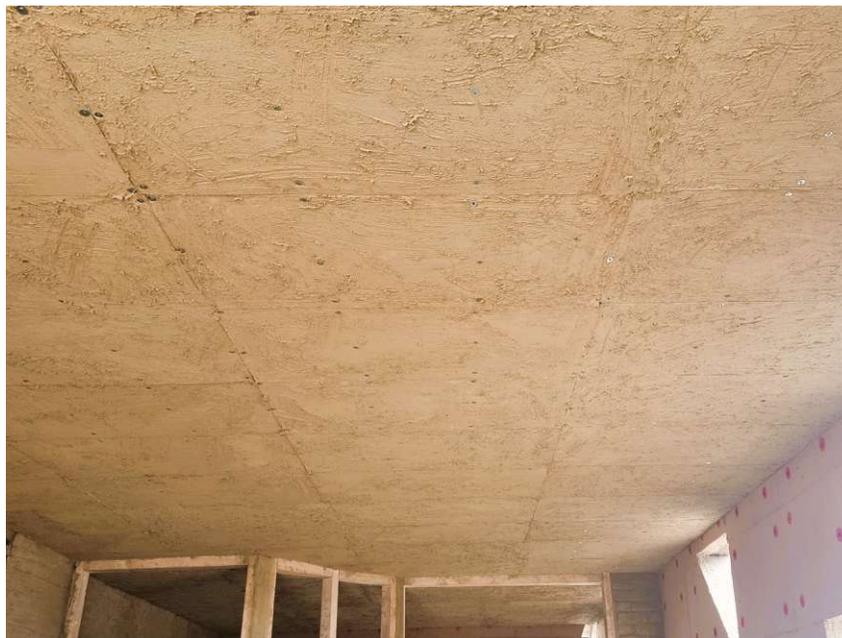
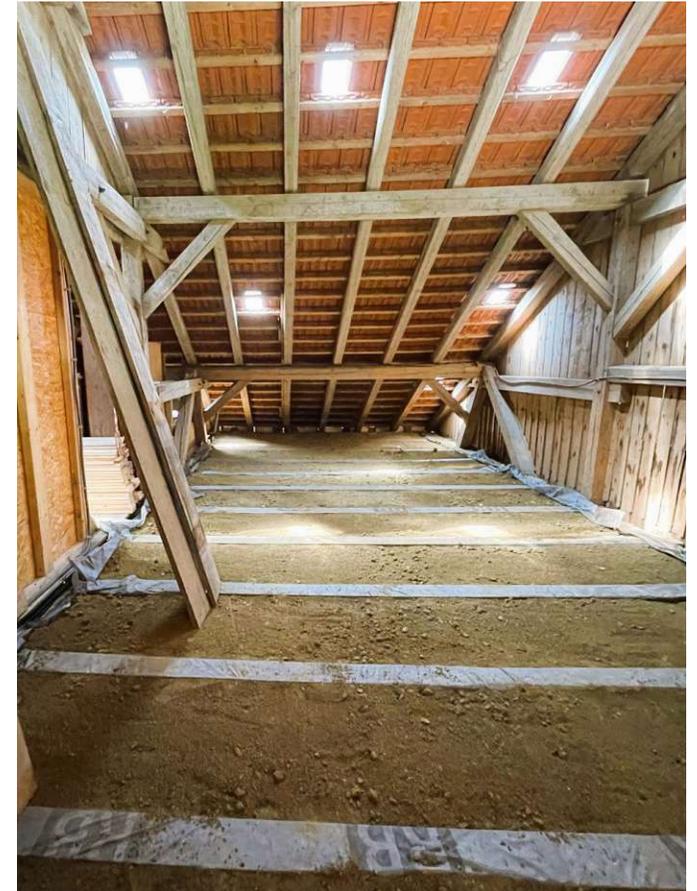
96 FOTO: MISCHEN DER SCHWEREN SCHÜTTUNG
Mischung aus Naturlehm und Splitt im Horizontalmischer.



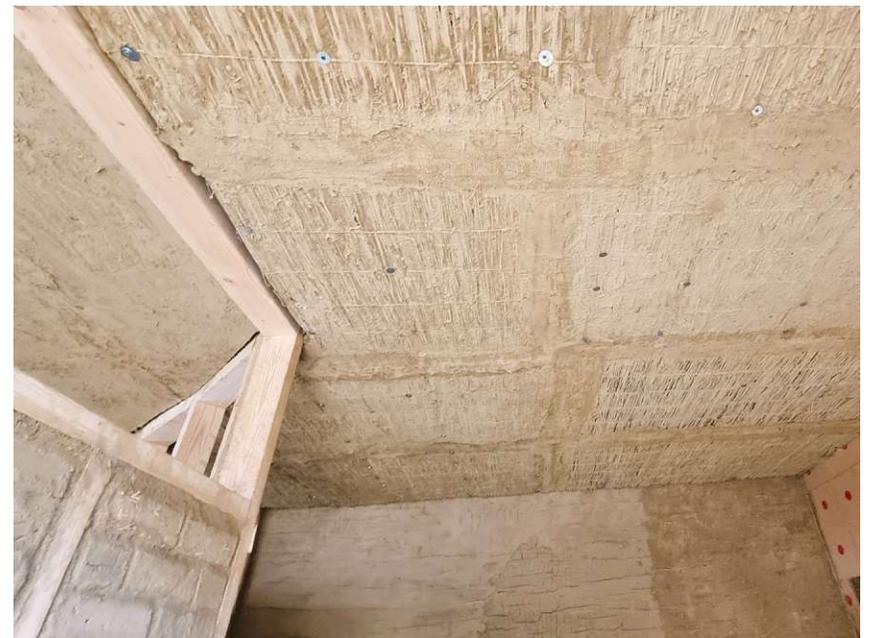
97 FOTO: GEOTEXTIL UND EINBRINGEN DER LEHMSCHÜTTUNG
Die Lehmschüttung wird leicht angedrückt.



98 FOTO: FERTIGER BAUTENSTAND LEHMSCHÜTTUNG
Die Decke ist jetzt vorbereitet für die Rauspund-Schalung und den weiteren Fußbodenaufbau.



99 FOTO: UNTERSICHT ABHANGDECKE
Abhangdecke mit Holzweichfaser-Ausbauplatten mit 2cm Stärke, die bereits vor der Montage eine dünne Schicht Putz bekommen hat.



100 FOTO: UNTERSICHT ABHANGDECKE
Abhangdecke mit Schilfrohr-Leichtbauplatten mit 5cm Stärke, die bereits vor der Montage eingeschlämmt wurden.



Innendämmung

Der Aufbau mit Vorsatzschale scheidet aus, da die Voraussetzungen des Bestandsgebäudes den Aufwand des Erstellens einer Vorsatzschale mit Leichtlehmfüllung nicht rechtfertigen. Die Fachwerkbalken haben eine Tiefe von 20cm in Kombination mit 3DF Leichtlehmsteinen mit einer Tiefe von 17,5cm und einem Putzaufbau von 2,5cm an der Außenseite erhalten wir eine bündige und ebene Fläche auf der die Holzweichfaserplatten problemlos montiert werden können. Unebenheiten werden mit Strohleichtlehm ausgefüllt. Die Holzweichfaserplatte dient als Installationsebene, Putzträgerplatte und dem verbesserten U-Wert der Gebäudehülle.

Für die Innendämmung wurde eine unkritische Dämmstärke von 2cm aus Holzweichfaser-Dämmplatten gewählt und in einem vollflächigen Mörtelbett an der Innenseite der Außenwand verlegt. Zusätzlich wurde die Dämmung mit Dämmstoffhaltern und Kunststoffeller mit einer Länge von 145mm befestigt.



101 - 103 FOTO: INNENDÄMMUNG



Workshops Leichtlehm

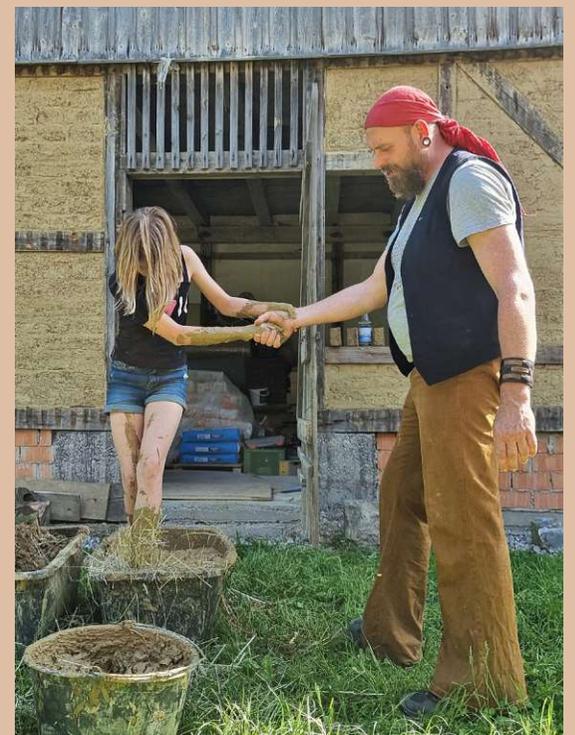
Workshops am Obergrashof

Ein Lehmbau-Workshop bietet eine faszinierende Einführung in die Bautechnik und das Handwerk des Lehmbaus. Auf dem Obergrashof haben Workshops mit einer Montessori Schule, einem Kindergarten und Workshops mit Erwachsenen stattgefunden. In einer inspirierenden Umgebung lernen die Teilnehmer die Geschichte und die vielfältigen Anwendungen von Lehm als Baustoff kennen. Von der Herstellung von Lehmmörtel bis hin zur Errichtung von Lehmflechtwerken werden praktische Fertigkeiten vermittelt, die es den Teilnehmer:innen ermöglichen, das Erlernte in eigenen Bauprojekten umzusetzen. Der Workshop bietet nicht nur eine einzigartige Möglichkeit, die Schönheit und Vielseitigkeit des Lehmbaus zu entdecken, sondern auch einen inspirierenden Raum für den Austausch von Ideen und Erfahrungen.

Bei den Workshops konnte ich mein Wissen vermitteln und gleichzeitig selbst Erfahrungen sammeln, außerdem wurden leichte und schwere Lehmsteine und ein Lehmflechtwerk hergestellt und verbaut. Wir haben Feldversuche durchgeführt und Putzproben gemacht, um den Lehm und die Eignung für verschiedene Lehmbauprodukte zu testen und Mischverhältnisse und weitere Bestandteile zu bestimmen.

Persönliches Fazit

Während der Ausarbeitung meiner Masterarbeit habe ich eine bereichernde Erfahrung gemacht, indem ich Theorie und Praxis miteinander verknüpft habe. Die Möglichkeit, mit einem Baustoff zu arbeiten, der bei allen Menschen, unabhängig von Alter oder Hintergrund, auf positive Resonanz stößt, war äußerst erfüllend. Es war beeindruckend zu erleben, wie die Anwendung theoretischer Konzepte im realen Umfeld zu greifbaren Ergebnissen führte und gleichzeitig ein breites Publikum ansprach. Diese Erfahrung hat nicht nur mein Verständnis für das Thema vertieft, sondern auch meine Leidenschaft für praktische Forschung und den Einsatz nachhaltiger Materialien im Bauwesen gestärkt.



104 -106 FOTO: WORKSHOP MIT KINDERGARTEN
 Die Kinder des eigenen Kindergartens auf dem Obergrashof sind regelmäßige Helfer und bringen viel Freude mit auf die Baustelle. Das Mischverhältnis haben die Kinder ganz schnell im Gespür.



107 - 109 FOTO: WORKSHOP MIT DER MONTESSORI-SCHULE

An diesem Tag waren die Stufen 4 - 6 der Montessori-Schule aus Dachau zu Gast, um eine Einführung in den Lehm- und Strohbaue zu bekommen und das Material praktisch kennen zu lernen. Mit viel Freude, Spaß und Spiel haben die Schüler, Lehrer und Obergrashofler an einem halben Tag an die 100 Stroh-Lehmsteine im 3DF Formathergestellt. Und das Ganze ohne Einsatz von Maschinen!

Danksagung

Mein Dank gilt den Bauherr:innen Holde und Florian, die mir nicht nur eine Plattform für diese Masterarbeit geboten, sondern auch durchgehend Vertrauen in meine Ideen gesetzt haben. Ihr Glaube an meine Arbeit und die stetige Unterstützung der Vorhaben waren für mich von unschätzbarem Wert.

Ein besonderer Dank geht an Thomas von Dall'Armi, meinen Vater und Architekten, der mir stets als Ratgeber zur Seite stand. Seine Bereitschaft, gemeinsam Lösungen zu erarbeiten und die Breite seines Netzwerks, waren für das Gelingen dieses Projekts von großer Bedeutung.

Mein Dank erstreckt sich ebenso an die Firma CLAYTEC Lehmbaumstoffe. Dank Ihrer Expertise und der Bereitstellung hochwertiger Materialien konnte dieses Bauvorhaben an Qualität gewinnen. Ihre inhaltliche Unterstützung und die wertvollen Informationen haben zur Realisierung beigetragen.

Ich möchte auch den beiden Fachkräften im Lehmbau, Bernhard und Christoph danken, deren Fachwissen und Anleitung vor Ort unerlässlich war. Ihre Unterstützung bei der Grundlagenermittlung und Suche nach geeigneten Lehmvorkommen war grundlegend für die Qualität der Arbeit.

Es gebührt mein Dank Simon und Georg, die uns mit ihrem hochwertigen Lehm versorgt haben und hier auch wirtschaftlich unterstützt haben. Ihre anhaltende Neugier und Interesse an der Verwendung ihres Lehms hat mich sehr motiviert.

Nicht zuletzt möchte ich Hubert Feiglstorfer meinen Dank aussprechen für die Betreuung und Unterstützung während meiner Arbeit. Die wertvollen Beiträge, das Fachwissen und der persönliche Austausch waren eine unerlässliche Stütze für die erfolgreiche Bewältigung dieser Aufgabe. Hubert Feiglstorfer hat mir nicht nur geholfen, meine Fähigkeiten weiter zu entwickeln, sondern auch mein Selbstvertrauen in meine beruflichen Kompetenzen gestärkt.

Insgesamt und abschließend bedanke ich mich bei allen Helfer:innen, Teilnehmer:innen, der Hofgemeinschaft Obergrashof, meiner Familie, und Freundin Anne-Marie, die mich stets motivierend begleitet hat.

Literaturverzeichnis

Bereich Holzbau/Fachwerk

- [1] Wolfgang Lenze, Fachwerkhäuser restaurieren - modernisieren – sanieren, Materialien und Verfahren für eine dauerhafte Instandsetzung, 10., erweiterte Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, 2016
- [3] Ekkehart Hähnel, Fachwerkinstandsetzung, Arbeitsschritte, Fallbeispiele, Detailzeichnungen, Dokumente, Leistungsverzeichnis, 4. Überarbeitete Auflage 2018, Beuth Verlag GmbH, Fraunhofer IRB Verlag
- [13] proHolz Austria, Peter Schober et al., Fassaden aus Holz, 3. Überarbeitete Auflage 2018, Eberls Print GmbH

Bereich Lehmabau

- [2] Gernot Minke, Handbuch Lehmabau, Baustoffkunde, Techniken, Lehmarchitektur, 7., überarbeitete und erweiterte Auflage 2009, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg
- [4] Ulrich Röhlen, Christoph Ziegert, Lehmabau-Praxis, Planung und Ausführung, 3. Aktualisierte und erweiterte Auflage 2020, Beuth Verlag GmbH
- [5] Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.), Lehmabau Regeln, Begriffe – Baustoffe – Bauteile, 3. Überarbeitete Auflage 2009, Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009
- [6] Achim Pilz, Lehm im Innenraum, Eigenschaften – Systeme – Gestaltung, Fraunhofer IRB Verlag, 2014
- [9] Hannah Schreckenbach, 25 Jahre Dachverband Lehm, e.V., 1992 – 2017, die Wiedergeburt des Lehmabaus, November 2017
- [10] Dachverband Lehm e.V., TM 05, Technische Merkblätter Lehmabau, Blatt 05, Qualitätsüberwachung von Baulehm, als Ausgangsstoff für industriell hergestellte Lehmabaustoffe – Richtlinie, Juni 2011
- [11] Dachverband Lehm e.V., TM 06, Technische Merkblätter Lehmabau, Blatt 06, Lehmdünnschichtenbeschichtungen, Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren, Deklaration, Juni 2015
- [14] Dominique Gauzin-Müller, Lehmarchitektur heute, 2018, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

[6] Herbert&Astrid Gruber, Helmut Santler, Neues Bauen mit Stroh in Europa, 4., völlig überarbeitete und ergänzte Auflage 2012, ökobuch Verlag

[7] Gernot Minke, Benjamin Krick, Handbuch Strohballenbau, Grundlagen – Konstruktionen – Beispiele, 3., erweiterte und aktualisierte Auflage, 2014, ökobuch Verlag

Ergänzende Literatur

[8] Gottfried Haefele, Wolfgang Oed, Ludwig Sabel, Haus Erneuerung, Instandsetzen, Modernisieren, Energiesparen, Umbauen, Ökologische Baupraxis, Mit Anleitung zur Selbsthilfe, 17. Verbesserte und aktualisierte Auflage, 2019, ökobuch Verlag

[9] Institut für Bauforschung e.V. Hannover, U-Werte alter Bauteile, Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung, 2010, Fraunhofer IRB Verlag

[12] Christof Drexel, Zwei Grad. Eine Tonne, Wie wir das Klimaziel erreichen und damit die Welt verändern, VVA Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH, Dornbirn, 2018

[13] Pressemitteilung des Dachverband Lehm e.V.: Bauen mit lokalem Lehm soll einfacher möglich sein. Antrag in Thüringen einstimmig angenommen! © dpa-infocom, dpa:240202-99-850077/2 (abgefragt am 15.02.2024)

[19] Stefan Gerstorfer, Das Dachauer Moos – Landschaft im Wandel, Herausgeber Verein Dachauer Moos e.V.

Internetquellen

[14] Podcast von Martin Rauch, Lehmabau-Pionier: Lehm und Holz sind die Baustoffe der Zukunft, soundcloud.com (abgefragt am 01.05.2024)

[15] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Erdgeschichte verstehen, https://www.lfu.bayern.de/geologie/geo_karten_schriften/dgk25_uab/index.htm (abgefragt am 01.10.2021)

[16] Umweltatlas Bayern: Kartenmaterial, Geologische Karten <https://www.umweltatlas.bayern.de/> (abgefragt am 01.01.2021)

[17] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Einkommenssicherung und -entwicklung durch Diversifizierung in der Landwirtschaft. Bericht zum Forschungsvorhaben, 2. Auflage: November 2013, Schriftenreihe ISSN 1611-4159 https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/einkommenssicherung_und_-entwicklung_durch_diversifizierung_in_der_landwirtschaft_november_2013.pdf

[18] Dachverband Lehm e.V.: Muster Umweltproduktdeklarationen; Muster UPD LS, LMM, LPM, LP; <https://www.dachverband-lehm.de/wissen/lehm-upd-muster-umweltproduktdeklarationen> (abgefragt 12.03.2024)

[20] 2130.0-B Bauen im Rahmen land- und forstwirtschaftlicher Betriebe
Gemeinsame Bekanntmachung der Bayerischen Staatsministerien für Wohnen, Bau und Verkehr sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, vom 7. Juli 2021, Az. 25-4611.10-6-43 und A2/Z5-7241-1/7 (abgefragt 12.04.2024)

[21] Innendämmung im Baudenkmal, Planungs- und Ausführungshinweise,
Ein Arbeitsheft der Arbeitsgruppe Bautechnik der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland, Bearbeitet von Dipl.-Ing. Ansgar Brockmann, Dr.-Ing. Roswitha Kaiser, Dipl.-Ing. Saskia Schöfer, Dipl.-Ing. (BA) Silke Vollmann M.A., M.BP., Dipl.-Ing. Frank Eßmann, Band 2 der Schriftenreihe der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger in der Bundesrepublik Deutschland. (abgefragt 04.05.2024)

[22] Temperierung, Henning Großschmidt, Restaurator für Museen und Denkmalpflege <https://www.temperierung.net/> (abgefragt 12.02.2023)

[23] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Natürliche Radionuklide in Baumaterialien, Gesetzliche Regelungen: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/radionuklide/radionuklide.html> (abgefragt 10.01.2022)

[24] Bundesamt für Strahlenschutz, Radioaktivität in der Umwelt, Lehm als Baumaterial: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/lehm/lehm.html;jsessionid=594020463FE4A9F7689EC1529859C9A4.1_cid382 (abgefragt 10.01.2022)

[25] CLAYTEC GmbH und Co. KG, Arbeitsblatt Fachwerksanierung: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/05/23_002_04_ClayTec_Arbeitsblatt_Fachwerk_06_2023_DE.pdf (abgefragt am 01.10.2022)

[26] CLAYTEC GmbH und Co. KG, Arbeitsblatt Innendämmung: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/05/24_002_01_ClayTec_Arbeitsblatt_Innendaemmung_01_2024_DE.pdf (abgefragt am 01.10.2022)

[27] CLAYTEC GmbH und Co. KG, Arbeitsblatt Lehmputze: https://claytec.de/wp-content/uploads/2024/05/23_002_03_ClayTec_Arbeitsblatt_Lehmputze_12_2023_DE.pdf (abgefragt am 01.10.2022)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auszug aus Literaturverzeichnis [19], Stefan Gerstorfer

Abbildung 2: Auszug Anlage 02, Korngrößenklassen von Starnberg Lehm

Abbildung 3: Auszug Anlage 02, Summenkurve von Starnberg Lehm

Abbildung 4: Auszug Anlage 02, Tabelle 2: Zusammenfassung der Korngrößenverteilung der untersuchten Tonprobe (Angaben in Masse %)

Abbildung 4B: Auszug Anlage 02, Tabelle 3: Ergebnisse der semiquantitativen Gesamtmineralanalyse; Werte in Masse%

Abbildung 5: Auszug Anlage 02, Diffraktogramme der unterschiedlichen Behandlungen der Tonfraktion $<2\mu\text{m}$. Die indikativen Peaks sind beschriftet.

Abbildung 6: Auszug Anlage 02, Tabelle 5: Kennwerte der Simultanen Thermoanalyse

Abbildung 7: Auszug Anlage 02, Tabelle 4: Mineralogische Zusammensetzung der Tonfraktion $<2\mu\text{m}$, Angaben in Massen %

Abbildung 8: Auszug Anlage 05, Lehmstein

Abbildung 9: Auszug Anlage 05, Loses Lehm-Material

Abbildung 10: Auszug Anlage 05, Schematischer Versuchsaufbau

Abbildung 11: Auszug Anlage 05, Abbildung 6: Grafische Darstellung der Messwerte im Zeitverlauf

Abbildung 12: Auszug Anlage 05, Abbildung 10: Grafische Darstellung der Messwerte im Zeitverlauf

Anlagen

Anlagen

[Anlage01] Obergrashof: Arbeiten, Wohnen, Lernen [AWL Obergrashof final.pdf]

[Anlage02] Materialanalyse, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für Angewandte Geologie, A.o.Univ. Prof.i.R.Mag. Dr. Franz Ottner, Wien 22. März 2023 [Bericht Starnberg Lehm 2023]

[Anlage03] Pamela Jentner, Radon-Infoblatt, radioaktive Belastungen in Gebäuden, Lungenkrebsrisiko, gesetzliche Grundlagen, Maßnahmen und Messtechnik: [Radon Infoblatt Pamela Jentner_210301.pdf]

[Anlage04] Bundesamt für Strahlenschutz, Handbuch Radon, Redaktion Melanie Bartholomäus, 2019 [radon-handbuch.pdf]

[Anlage05] OrangePep, Lehm Materialproben, Baubiologisch-orientierende Überprüfung von Lehm-Materialproben hinsichtlich Radon und Thoron: [Bericht Dall'Armi-Lehm-220715.pdf]

[Anlage06] Andreas Mandler, Beratender Ingenieur BaylKaBau, statische Berechnung Holzbalkendecke $b/h=15/20\text{ cm}$, $e=85\text{ cm}$, C24 Remise am Obergrashof: [HBD_Obergrashof_AndreasMandler.pdf]