



DIPLOMARBEIT

Stampflehm in der Stadt

Analyse der Einsetzbarkeit von Stampflehm in der Stadt anhand eines Entwurfs
im Wohnungsbau in Wien

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades einer Diplom-Ingenieurin
unter der Leitung von

Senior Scientist Dipl.-Ing. Dr. techn. Ulrich Pont und
Senior Lecturer Dipl.-Ing. Sigrun Swoboda

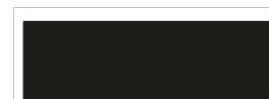
E 259-03 Forschungsbereich für Bauphysik und Bauökologie
Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der
Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Bianca Laura Sitz, BSc
11810293

Wien, am 20.05.2024



KURZFASSUNG

Stahlbetonbau und Ziegelbau dominieren momentan den Wohnungsbau in der Stadt Wien. Auch neu geplante Projekte werden größtenteils in diesen Bauweisen entworfen. Da aber über ein Drittel der globalen CO₂-Emissionen durch den Bausektor verursacht werden, steigt das Interesse an nachhaltigen Baustoffen. Umweltfreundliche Materialien sowie innovative Planungskonzepte werden benötigt.

Eine vielversprechende Option ist die schon uralte Tradition des Lehmbaus wieder aufzugreifen und in die europäischen Städte zu integrieren. Das Material Lehm als Urform des Bauens strahlt Wärme und Geborgenheit aus, ist dauerhaft, kann aber ebenfalls ohne Probleme recycelt werden. Weiters bietet es gute bauphysikalische Eigenschaften und ist krisensicher, da es überall in großen Mengen vorhanden ist. Da mit dem Lehmbau in urbanem Gebiet noch eher wenig geforscht und experimentiert wurde, wird er unter anderem für den städtischen Wohnungsbau in Wien momentan noch nicht verwendet.

Diese Arbeit soll mithilfe der Entwicklung eines umfassenden Planungskonzepts eines Wohnbaus in Wien ein Beispiel aufzeigen, wie es möglich wäre, Lehmbau in das Stadtbild zu integrieren. Ein Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf dem Gebiet des Stampflehmbaus. Es wird erprobt, in welcher Weise der Stampflehm am besten in solch einem Projekt eingesetzt werden kann bzw. mit welchen Materialien er kombiniert werden kann, um einen mehrgeschoßigen Wohnbau in der Stadt zu realisieren.

ABSTRACT

Currently, reinforced concrete and brick construction dominate the residential building sector in the city of Vienna, with most newly planned projects following these methods. With the construction industry responsible for over a third of global CO₂ emissions, there is a growing interest in sustainable building materials and innovative planning concepts.

Reviving the ancient tradition of earthen construction and integrating it into European cities presents a promising solution. Clay as a fundamental building material exudes warmth and comfort, is durable and can be easily recycled. Moreover, it boasts favorable structural properties and is resilient, being readily available in abundance. Yet, despite these advantages, earthen construction remains underexplored in urban areas such as Vienna's residential sector.

This thesis endeavors to exemplify the integration of earthen construction into the urban landscape of Vienna through the development of a comprehensive planning concept for residential buildings. Emphasis is placed on rammed earth construction, exploring its optimal application and potential material combinations to facilitate the realization of multi-story residential buildings within the city.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich, Bianca Laura Sitz, erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig angefertigt und die mit ihr unmittelbar verbundenen Tätigkeiten selbst erbracht habe. Ich erkläre weiters, dass ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle aus gedruckten sowie ungedruckten Quellen oder dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte sind gemäß den Regeln für wissenschaftliche Arbeiten zitiert und durch genaue Quellenangaben gekennzeichnet.

Diese Arbeit wurde in gedruckter und elektronischer Form abgegeben. Ich bestätige, dass der Inhalt der digitalen Version vollständig mit dem der gedruckten Version übereinstimmt.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Wien, im Mai 2024

[Redacted signature]

GENDERKLAUSEL

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit entweder die männliche oder die weibliche Sprachform verwendet. Es wird an dieser Stelle aber darauf hingewiesen, dass sämtliche personenbezogene Bezeichnungen in gleicher Weise für jedes Geschlecht gelten und gedanklich mitumfasst sind.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	11
1.1	Motivation	11
1.1.1	Allgemein	11
1.1.2	Inspiration	11
1.2	Hintergrund	20
1.2.1	Die Geschichte des Lehmbaus	20
1.2.2	Lehm in der Stadt – früher und heute	21
1.2.3	Lehmbau in Österreich	22
1.2.4	Lehmbau in die Stadt zurückbringen – warum?	23
1.3	Stampflehm	24
1.3.1	Herstellung	24
1.3.2	Eigenschaften	25
1.3.3	Lehmbau in Kombination mit anderen Baustoffen	29
1.4	Materialien für ökologische Städte	31
1.4.1	Green Urbanism	31
1.4.2	Klimafreundliches Bauen	32
1.4.3	Lebenszyklus und Recycling des Baustoffs Lehm	32
1.5	Analyse von Stampflehm in der Praxis	34
1.5.1	Druckerei Gugler, Pielach, 1998-1999	34
1.5.2	Alnatura Campus, Darmstadt, 2015-2019	36
1.5.3	Haus Rauch, Schlins, 2005-2008	38
1.6	Zielsetzung	40
2	Methode	42
2.1	Allgemeines	42
2.2	Auswahl Bauplatz	42
2.3	Entwurfgrundlagen	43
2.3.1	Woher kommt der Lehm?	43
2.4	Bebauungsbestimmungen Bauplatz	44
2.4.1	Bebauungsplan	44
2.5	Bauplatzanalysen Umgebung	46
2.5.1	Urban Heat Vulnerability	46

2.5.2	Öffentliche Verkehrsmittel	47
2.5.3	Grünflächen	48
2.5.4	Öffentliche Einrichtungen	51
2.5.5	Gastronomie	52
2.6	Bauplatzanalysen Grundstück	53
2.6.1	Fotodokumentation Grundstück	53
2.6.2	Bodenbeschaffenheit	54
2.6.3	Sonnenstudien	55
2.7	Conclusio der Analysen	58
3	Ergebnisse	60
3.1	Entwurfsentscheidungen	60
3.1.1	Welche Fläche wird bebaut?	60
3.1.2	Materialwahl	61
3.2	Konzept	62
3.2.1	Raumprogramm	62
3.2.2	Verortung der Nutzungen	63
3.2.3	Konzept Öffentliche Räume - Private Räume	64
3.2.4	Wegführung Erdgeschoßzone	65
3.3	Entwurf	66
3.3.1	Bauteile und Materialien	66
3.3.2	Regenwasserkonzept	72
3.3.3	Brandschutzkonzept	73
3.4	Tragwerkskonzept	76
3.4.1	Tragwerk	76
3.4.2	Aussteifung	79
3.4.3	Stampflehm im Statischen System	80
3.4.4	Ausbildung der Stampflehmwände	81
3.5	Entwurfsdarstellungen	82
3.5.1	Wohnungen	82
3.5.2	Grundrisse	90
3.5.3	Details	102
4	Conclusio	118
5	Danksagung	121
6	Literatur	123

6.1	Literaturverzeichnis	123
6.2	Abbildungsverzeichnis	128
7	Anhang	135

1 EINLEITUNG

1.1 Motivation

1.1.1 Allgemein

Eines der wichtigsten Augenmerke in der aktuellen Architekturwelt ist der Ausblick in die Zukunft. Das Bauen mit den herkömmlichen Baumaterialien kann, um den CO₂-Fußabdruck zu senken, nicht mehr so weiter geführt werden. Daher gilt es, ökologische Alternativen zu finden und auszuformulieren. Eine Möglichkeit, den ökologischen Fußabdruck im Bauwesen zu senken, ist die Rückkehr zum „einfachen“ Bauen, wie beispielsweise mit dem Baustoff Lehm. Die nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit sowie die Möglichkeit zur Rückführung in den ursprünglichen Zustand machen Lehm zu einem nachhaltigen Baumaterial. Um also die Zukunft ökologisch zu gestalten, lohnt sich definitiv ein Blick zurück in die Vergangenheit.

1.1.2 Inspiration

Der Besuch einer Druckerei in Pielach diente als Ausgangspunkt und Inspirationsquelle für die Themenwahl meiner Diplomarbeit. Die dort gesammelten Eindrücke, insbesondere die Verwendung von Lehm als Baustoff in Kombination mit Holz, regten mich dazu an, mich eingehender mit diesen Materialien auseinanderzusetzen. Diese Erfahrung führte letztendlich zur Festlegung meines Diplomarbeitsthemas, das sich auf die Untersuchung und Anwendung von Lehm und Holz in der Architektur konzentriert. Die folgende Fotoserie (siehe Abb. 1-12) wird die Erkenntnisse und visuellen Eindrücke dieser Untersuchung dokumentieren und präsentieren.

EINLEITUNG

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.



Abb.1: Zugang Büros OG



Abb.2: Besprechungszimmer

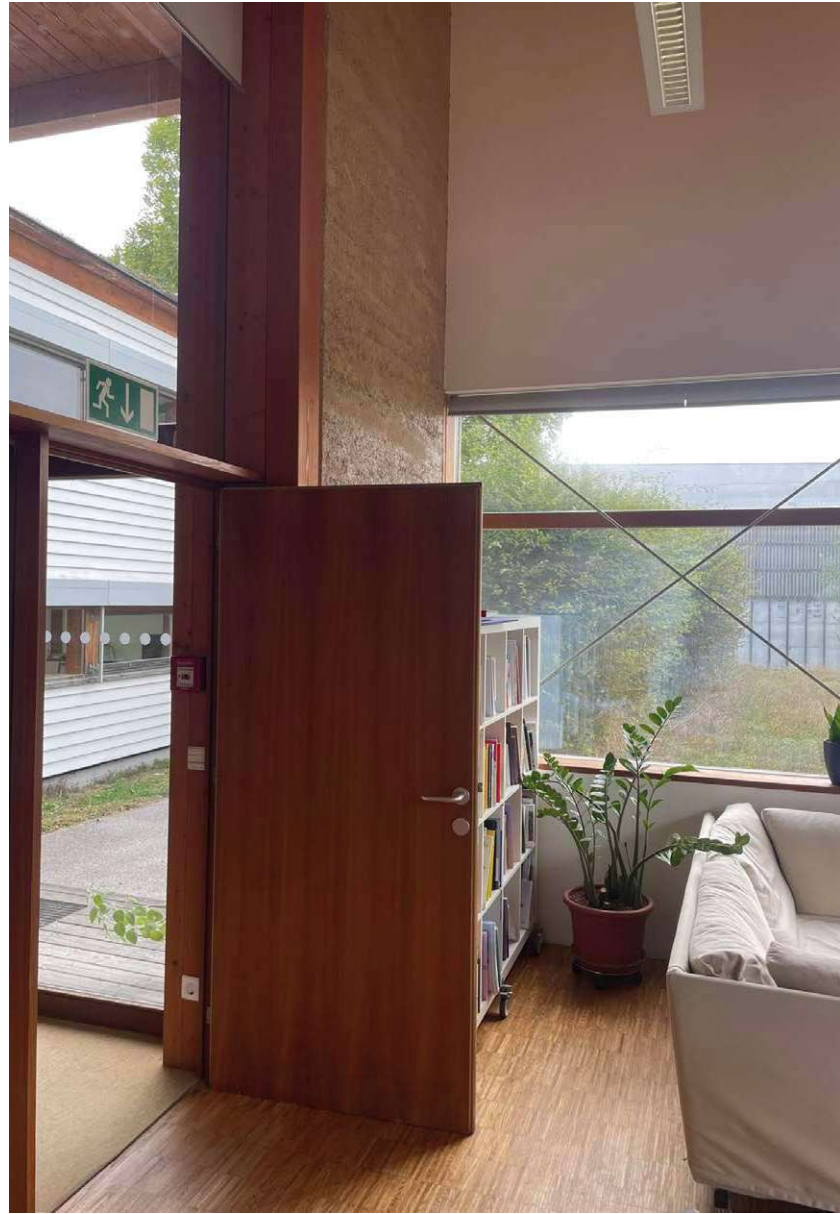


Abb.3: Besprechungszimmer Zugang

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

EINLEITUNG

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.



Abb.4: Detail Büro



Abb.5: Detail Treppengeländer

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 the TU Wien Library

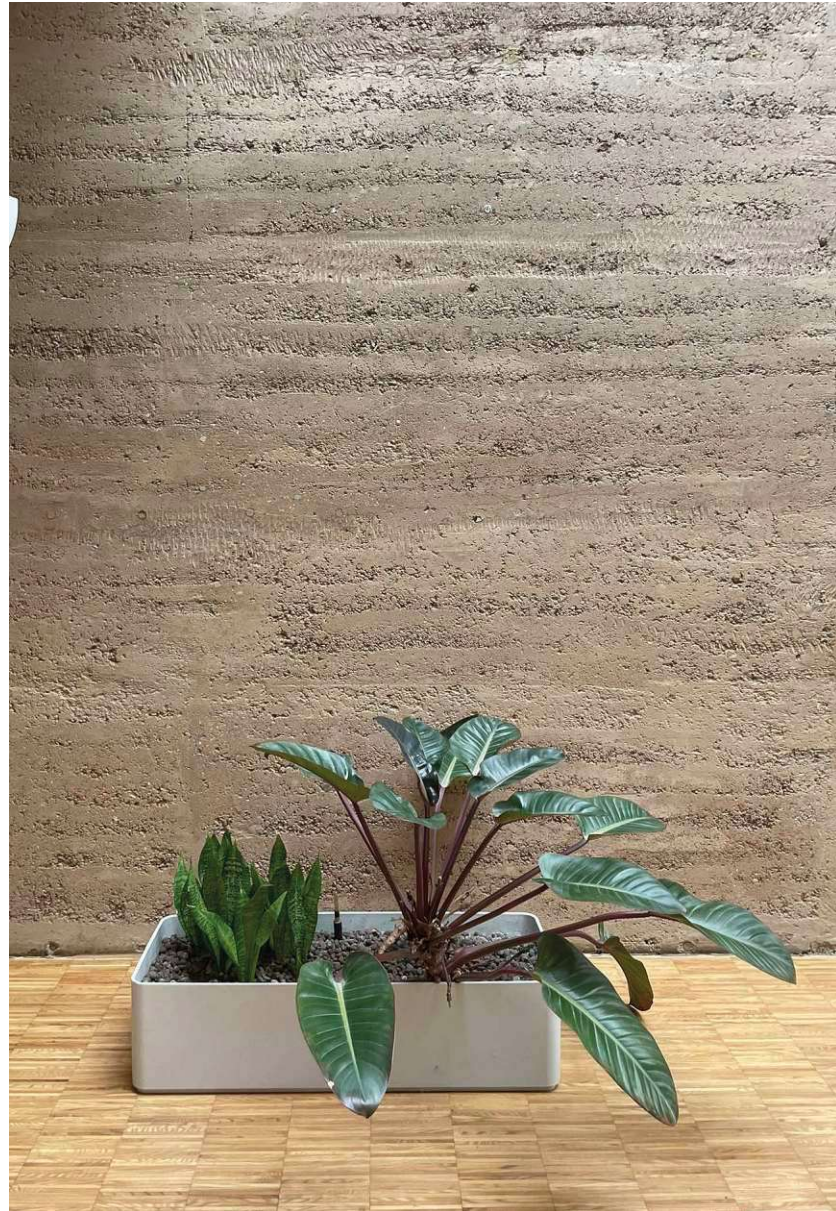


Abb.6: Lehm und Grün

EINLEITUNG

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.



Abb.7: Schaukel im Aufenthaltsbereich



Abb.8: Detail Lehmwand

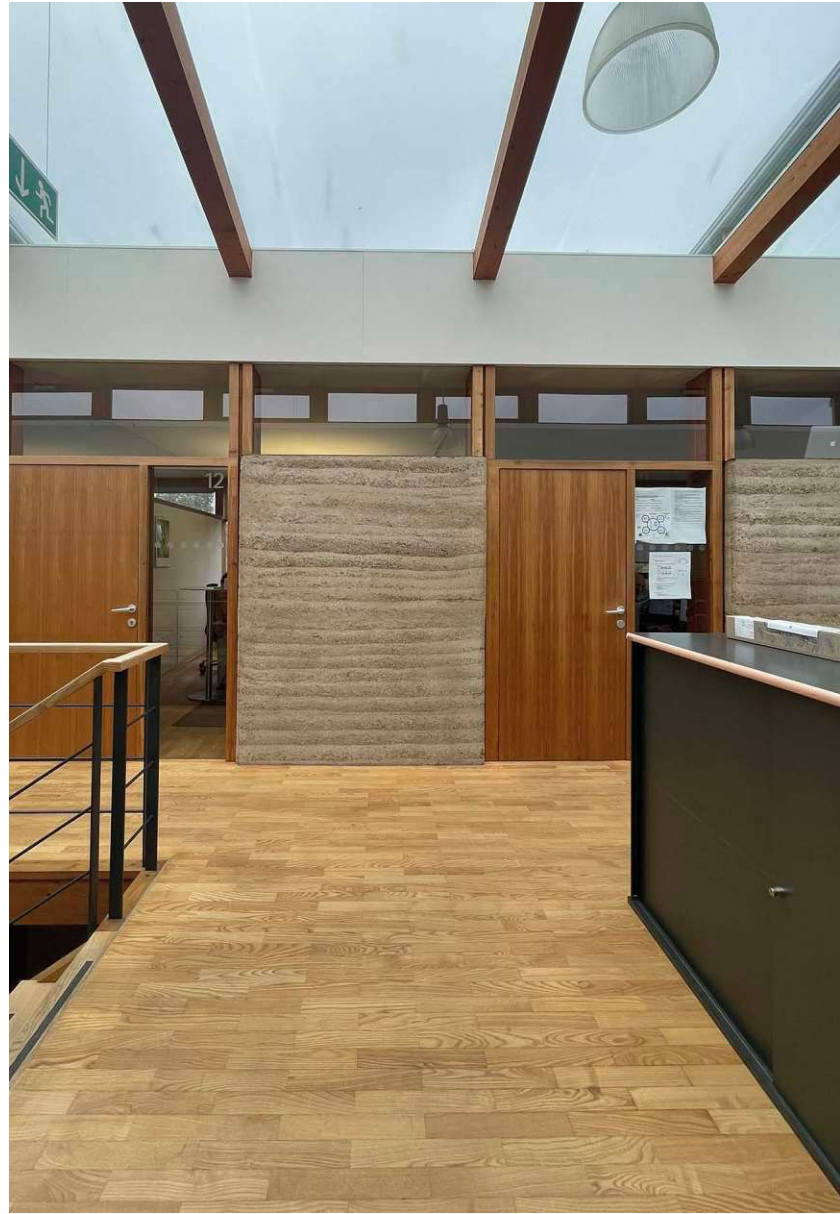


Abb.9: OG Gangbereich

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved printed original version of this diploma thesis is available at the TU Wien library

EINLEITUNG

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.



Abb.10: Detail Lehmwand Türe



Abb.11: Zugang Aufenthaltsraum

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



Abb.12: Detail Lehmwand Träger

1.2 Hintergrund

1.2.1 Die Geschichte des Lehmbaus

Die natürlichste Form des Untergrundes ist die gestampfte Erde daher gab es schon jeher den Gedanken, mit dem Material, das fast überall auf der Welt in unseren Böden vorkommt, zu bauen. Als eines der ältesten Baumaterialien lassen sich Lehmbauten bis zu 10.000 Jahre zurückverfolgen. Die erste heute bekannte Lehmbausiedlung wurde in Anatolien, der heutigen Türkei, gefunden. Die Stadt Çatal Höyük war eine aus Lehmziegelhäusern mit Flachdach bestehende Großsiedlung, die mehreren tausendenden Bewohnern ein Zuhause bot (Badisches Landesmuseum Karlsruhe, 2007). Der Baustoff Lehm wurde aufgrund seiner einfachen Verfügbarkeit sowie seiner günstigen bauphysikalischen Eigenschaften über die ganze Welt hinweg verwendet. In Ägypten beispielsweise, geht das Grabmal von Ramses II (ca. 1300 v. Chr.) auf eine mit Lehmziegeln errichtete Bauweise zurück. Oder auch in Südamerika, wo diese Methode für den Bau der Sonnenpyramide von Moche (siehe Abb. 13) verwendet wurde. Als eines der berühmtesten Beispiele muss außerdem im asiatischen Raum die Chinesische Mauer angeführt werden, welche auch zum Teil aus Stampflehm errichtet wurde (Geschichte des Lehmbaus, Stand: 10.10.2023).



Abb.13: Sonnenpyramide von Moche (2.-5. Jahrhundert. n. Chr.)

1.2.2 Lehm in der Stadt – früher und heute

In Ländern wie dem Jemen leben auch heute noch Menschen in ganzen Städten aus reinem Lehmbau. Ein Beispiel hierfür ist die Stadt Shibam (siehe Abb. 14) inmitten einer Wüste mit Häusern, die bis zu neun Geschoße hoch sind. Die Lebensdauer der ältesten Gebäude beträgt bereits zum jetzigen Zeitpunkt rund 500 Jahre (Shibam, Jemen: 500 Hochhäuser aus Lehm mitten in der Wüste, Stand: 15.10.2023). Als Vergleich in Europa geht man heutzutage von einer Lebensdauer eines Gebäudes von rund 60 Jahren aus (Schmatzberger et al. 2022, S.15). Insgesamt sind heute immer noch rund 60% der Bauten weltweit aus Lehm. (Architektin Karin Stieldorf über nachhaltiges Planen und Bauen zwischen Wien und Bhutan, Stand 15.10.2023). 1982 fand im Centre Pompidou in Paris eine Ausstellung bzw. Konferenz zum Thema „Eine vergessene Baupraxis - Erde als Baumaterial“ statt, um den Baustoff Erde eine Renaissance erleben zu lassen (Berge, 2009, S.123). Dennoch kommt in den europäischen Städten Lehm nahezu nicht mehr vor. Grund dafür sind die durch die Industrialisierung einfacher verarbeitbaren Baustoffe wie Beton oder Stahl, die schneller und mit weniger Handarbeit einsetzbar sind. Tendenzen, um die europäischen Städte wieder nachhaltiger zu gestalten, gehen momentan eher in Richtung Holzbau, als zurück zum Lehm. Der Lehmbau stellt zur Zeit im europäischen Städtebau eher eine Seltenheit dar, mit Ausnahme von einigen Pilotprojekten. Ein weiterer Grund, warum die Verwendung von Lehm im westlichen Raum so massiv zurückgegangen ist kann sein, dass Lehm als „Armer-Leute-Baustoff“ angesehen wurde und zum Teil auch immer noch wird. Ein Umdenken der Bevölkerung ist notwendig, um den altbewährten Baustoff Lehm wieder zum Leben zu erwecken.



Abb.14: Shibam Jemen

EINLEITUNG

1.2.3 Lehmbau in Österreich

Der historische Lehmbau kommt in Österreich hauptsächlich im Burgenland und Niederösterreich vor. Hier wurde um 1900 hauptsächlich mit Lehm in Form von Lehmziegeln, Wuzelmauerwerk oder auch Stampflehm gebaut. Die Kellergassen in Niederösterreich (siehe Abb. 15) sind ein zum Teil heute noch bestehendes Beispiel des Lehmbaus. Die Besonderheit hierbei war es, dass der Raum aus dem stabilen Lehm einfach ausgehöhlt wurde und der Aushub für die vorgestellten Presshäuser verwendet wurde (Geschichte des Lehmbaus, Stand: 25.10.2023).



Abb.15: Kellergassen Niederösterreich

Mit der Entwicklung des gebrannten Ziegels in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde die Lehmbauweise in Österreich mehr und mehr ersetzt. Erst in den 1980er Jahren wurde das Baumaterial Lehm wieder neu entdeckt. Mit dem Hintergedanken, naturnäher, sowie schadstoffärmer zu bauen (Geschichte des Lehmbaus, Stand: 25.10.2023).

Der Österreicher Martin Rauch gilt als einer der Pioniere, die den Stampflehm wieder zum Leben erweckt haben. Seine Architekturen aus Lehm findet man hauptsächlich in seinem Heimatbundesland Vorarlberg. Eines seiner ersten Projekte war sein eigenes Zuhause in Schlins, ein modernes Gebäude mit Flachdach, strengen Kubaturen, sowie großen Fensterflächen (siehe Abb. 16). Das Wohnhaus besteht zu 85% aus dem Aushub des Erdmaterials am Grundstück, also eine direkte Weiterverwertung des Materials. Wände, Decken, Böden, überall kommt der Lehm zum Einsatz. Die Farbigkeit des Lehms variiert bewusst in den unterschiedlichen Räumen von dunklem Anthrazit bis zu hellem Ocker. Der positive Effekt des Lehms auf das Raumklima ist ein weiterer Faktor, der nicht außer Acht gelassen werden darf. Die Stampflehmkonstruktion dient zusätzlich auch als Hezelement und verteilt die Wärme im Haus (Pilz, 2010, S.226-230).



Abb.16: Haus Rauch, Lehmbau in Österreich

1.2.4 Lehmbau in die Stadt zurückbringen – warum?

Wie man an dem Beispiel der Stadt Çatal Höyük erkennen kann, ist ein mehrgeschöbiger Wohnbau in der Stadt aus Lehm durchaus möglich. Die Frage, die sich daher stellt ist die, warum wir heutzutage nicht mehr mit Lehm in der Stadt bauen? Und warum sollte man den Lehm zurück in die Stadt bringen?

Die Kunst des traditionellen Bauens mit Lehm, wie es sie früher gab, kann heute aufgrund von einigen Faktoren nicht mehr betrieben werden. Unter anderem gibt es nur noch wenige Handwerker, welche die traditionellen Bauweisen beherrschen und weiters ist die Bauzeit wesentlich länger als jene von konventionellen Bauweisen in Europa. Außerdem wurde die Arbeitszeit über die Jahre hinweg deutlich kostenintensiver.

Warum also trotzdem den Lehm in die heutigen Städte zurückbringen?

Allem voran liegt der Aspekt, dass Lehm unsere natürlichen Ressourcen schont und zu 100% wiederverwertbar ist. Er ist wärmespeichernd, klimatisiert auf natürliche Weise und bindet unangenehme Gerüche sowie Schadstoffe. Durch seine feuchteregulierenden Eigenschaften wird das Schimmelrisiko reduziert. Das Material Lehm unterstützt außerdem eine gute Raumakustik und ist allergieneutral.

EINLEITUNG

1.3 Stampflehm

1.3.1 Herstellung

MÖGLICHKEITEN DER HERSTELLUNG:

- Direkt auf der Baustelle
- Vorfabrikation

Eine Stampflehmwand wird nach folgendem Prinzip hergestellt (siehe Abb. 17).

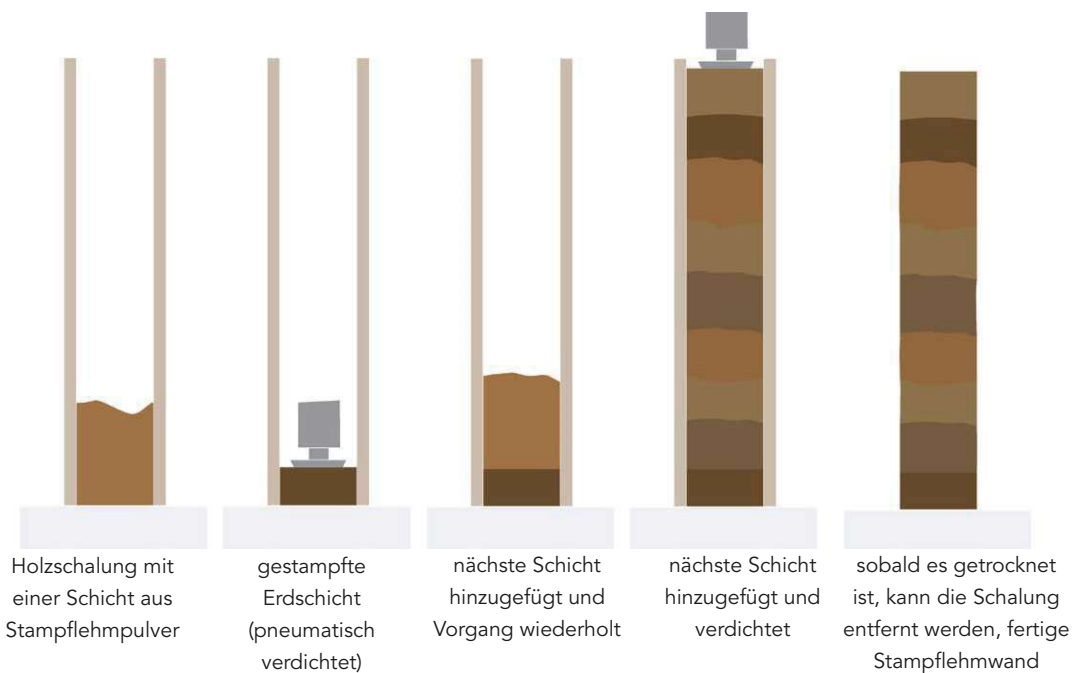


Abb.17: Herstellung Stampflehmbau

Um die Methode des Stampfens der Wände, egal ob in Vorfabrikation oder direkt auf der Baustelle anwenden zu können, und um eine gewisse Grundstabilität zu erreichen, sollte eine Stampflehmwand mindestens eine Dicke von 25 bis 30 cm haben.

Lehmbau benötigt für vergleichbare Tragfähigkeiten zu Beton oder auch Holz deutlich größere Dimensionen. Dies kann in einem städtischen Umfeld schnell zu einem Ausschlusskriterium werden, da in der dicht bebauten Stadt jeder m² zählt. Außerdem wird für die Herstellung vor Ort ebenfalls zusätzlicher Raum benötigt, der in der Stadt im Gegensatz zum Land oft nicht vorhanden ist. Um dieser Problematik vorzugreifen, gibt es die Möglichkeit der Vorfertigung. Diese ist nicht nur qualitativ sondern auch quantitativ eine Revolution. Die Qualität der Stampflehmwand hängt nicht mehr nur von den Fachkenntnissen des Arbeiters vor Ort ab, sondern die Elemente werden in einem Werk vorgefertigt und dann vor Ort nur noch versetzt. Ebenso verkürzt sich die Bauzeit immens und die Herstellung

der Stampflehmwände ist nicht mehr wetterabhängig, da die Elemente zum Zeitpunkt des Versetzens bereits ausgetrocknet sind (Rauch, 2022, S. 78).

1.3.2 Eigenschaften

1.3.2.1 Nachhaltigkeit

Primär ist zu beachten, dass Lehm als natürliches Material weit verbreitet und nahezu uneingeschränkt verfügbar ist. Einen weiteren großen Vorteil bietet die Möglichkeit, die Grundsubstanz des Baustoffes Lehm vollständig zu recyceln. Der Bericht „2020 Global Status Report for Buildings and Construction“ des UN-Umweltprogramms zeigt auf, dass Gebäude 38 % der weltweiten CO₂-Emissionen ausmachen (United Nations Environment Programme, 2020, S. 4). Das bedeutet hier gibt es Aufholbedarf. Die Ziegelproduktion beispielsweise ist dadurch, dass jeder Ziegel gebrannt werden muss, sehr energieintensiv. Auch der Betonbau der mittlerweile im städtischen Bauen die Überhand ergriffen hat, ist durch die Zementherstellung alleine für 8% der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich was ihn zu einem noch klimaschädlicheren Baustoff als den Ziegel macht. Der Stampflehmbau ist in dieser Hinsicht sehr viel nachhaltiger, wenn Lehm verwendet wird, der keine weiten Transportwege zurücklegen muss, stellt der Lehm die ökologische Alternative im Bausektor dar (Lehmbau, Alte Technik mit großer Zukunft, Stand: 14.02.2023).

1.3.2.2 Tragfähigkeit

Die Rohbaudichte von Stampflehm bewegt sich im verdichteten Zustand ca. zwischen 1700kg/m³- 2400kg/m³. Für tragende Bauteile soll eine Druckfestigkeit von mindestens 2 N/mm² erreicht werden (Röhlen, Ziegert, 2020, S. 212). Ein gängiger Beton z.B. (C25/30) hat im Vergleich eine Druckfestigkeit von 25 N/mm² in Zylinderform oder 30 N/mm² in Würfelform, was deutlich höher ist. Stampflehm kann also durchaus eine tragende Funktion übernehmen, jedoch ist dann mit wesentlich dickeren Wandstärken zu rechnen. Weiters spielen Materialkennwerte wie Tonmineralgehalt, Korngrößenverteilung sowie Schluffgehalt eine große Rolle in der Tragfähigkeit der Stampflehmteile (Dipl. Ing. Janson, 2012, S. 134).

Stampflehm wird grundsätzlich ohne eine Bewehrung aus Stahl ausgeführt, da er aufgrund seiner Masse auch ohne diese tragfähig sein kann. Will man die Tragfähigkeit aber trotzdem noch verbessern, gibt es die Möglichkeit, Pflanzenfasern, wie etwa Stroh, als natürliche Bewehrung beizufügen. (Bauen mit Lehm und Stampflehm: Ökologisch zukunftsträchtig, Stand: 05.02.2024)

EINLEITUNG

1.3.2.3 Brandschutz

Um ein Bauvorhaben mit Lehm vorschriftsgemäß zu bauen, müssen in Österreich je nach Projekt, dem heutigen Standpunkt nach, Einzelgenehmigungen zum Brandschutz der Lehmelemente eingeholt werden, was natürlich sehr viel mehr Aufwand und Kosten bedeutet, im Gegensatz zu anderen in den Normen verankerten Bauweisen.

Grundsätzlich weist das Material Lehm eine sehr gute Brandbeständigkeit auf. In der früheren DIN 18951 wurde Lehm sogar als nicht brennbar eingestuft. (LEHM-BAU, Stand 15.02.2024)

Einzelne Materialprüfungen zeigten auf, dass eine Lehmwand durchaus als Brandschutzwand mit einer Feuerbeständigkeit REI 90 verwendet werden kann. Näher erläutert im Punkt 3.3.1.7 Brandschutzwände.

1.3.2.4 Baukosten

Der Lehmbau gilt als allgemein bekannt für seine Nachhaltigkeit, aber auch für die deutlichen Mehrkosten im Vergleich zu anderen Bauweisen. Hinsichtlich der Baukosten bestätigt sich diese Vermutung aber nur bedingt. Die im Volksmund extrem hohen Kosten des Lehmbaus fallen zum Teil auch auf die traditionellen sehr aufwendigen Handarbeiten zurück, welche auch sehr viel Arbeitszeit in Anspruch nahmen. Aber auch heute, selbst mit vorgefertigten Bauteilen, muss gesagt werden, dass der Stampflehm immer noch deutlich teurer ist, als beispielsweise Betonbau (Hauer, 2020, S.174). Ein Kostenvergleich zwischen Stampflehm und Normalbeton wird in Abb. 18 dargestellt.

Stampflehm, Beton	Kostenschätzung	Quelle
Stampflehm (erdfeucht, Sackware)	250 €/m ³	Volhard 2013, S.191
Normalbeton (Sackware)	70 €/m ³	Volhard 2013, S.191
Normalbeton C20/25 (Sackware)	80-85€/m ³	Richtpreise AOV
Normalbeton C20/25 (Sackware)	105 €/m ³	Preisliste Asamer
Stampflehm (erdfeucht, Sackware)	163 €/Tonne	Preisliste Naturbauhof
Beton C25/30 (Sackware)	220 €/Tonne	Preisliste Profibaustoffe
Beton C16/20 (Sackware)	180 €/Tonne	Preisliste Profibaustoffe

Abb.18: Kostenvergleich Stampflehm und Beton

1.3.2.5 Dauerhaftigkeit

Im Volksmund wird der Lehm oft als zu feucht und daher zu wenig dauerhaft angesehen. Diese Behauptung ist nur bedingt richtig. Zwar benutzt man eine gewisse Feuchtigkeit, um den Lehm verformbar und für das Bauwesen bearbeitbar zu machen, jedoch muss der Lehm bevor das Bauwerk fertiggestellt wird austrocknen, um Standhaft zu werden. Die Feuchtelöslichkeit des Lehms bietet außerdem den

großen Vorteil, dass der Baustoff dadurch immer wieder neuverformt und wiederverwendet werden kann. Die Annahme, dass dadurch das Gebäude nicht standhaft genug sei, ist aber nicht wahr. Heute noch stehende Bauwerke aus längst vergangenen Zeiten beweisen, dass die Lehmbauweise durchaus dauerhaft ist. Selbst in unseren regenreichen Breiten kann Lehm mit gewissen zusätzlichen Vorkehrungen problemlos im Außenbereich angewendet werden (Pilz, 2010, S. 27).

1.3.2.6 Raumklima

Die optimale Luftfeuchte ist laut wohnpsychologischer Sicht rund 50% (Schwankungsbereich von 40-60% je nach Empfinden). Lehm hat eine besondere Sorptionsfähigkeit was bedeutet, dass er die Fähigkeit besitzt, Luftfeuchte aufzunehmen, sowie auch abzugeben. Daher ist Lehm im Stande, das Raumklima positiv zu beeinflussen. Bei beispielsweise zu trockener Heizungsluft ist der Lehm in der Lage, Feuchtigkeit an die Raumluft abzugeben und so das Raumklima zu stabilisieren (Pilz, 2010, S. 29). Auch der umgekehrte Effekt ist im Badezimmer bemerkbar, nach einem Bad oder einer Dusche beschlagen die Spiegel nicht, da der Lehm die Feuchtigkeit in der Luft direkt aufnimmt (Dipl. Ing. Liebrich, 13.3.2024).

1.3.2.7 Heizungselement

Da Lehm wie im vorigen Punkt erwähnt ein sehr guter Raumklimapuffer ist, eignet sich die Stampflehmwand ideal als Heizelement. Es werden Heizschlangen direkt im Herstellungsprozess miteingestampft, die anschließend die Wärme über die Wände sanft in den Raum abgeben. Der Stampflehm selbst dient dabei als Puffer, der die Wärme speichert und nach und nach an den Raum abgibt. Um die Rohre innerhalb der Stampflehmwand zu schützen, werden diese mit einer umliegenden feinen Schicht Lehmmörtel umhüllt. (Stampflehm und Heizung, Stand 05.02.2024)

1.3.2.8 Wärmedämmung

Da die Wärmedämmfähigkeit von Stampflehm nicht optimal ist (siehe Abb. 19) wird der Baustoff häufig mit anderen wärmedämmenden Baustoffen kombiniert. Eine nachhaltige Möglichkeit wäre beispielsweise Schaumglasschotter mit einem guten Lambda-Wert. Um die Lehmwände beidseitig sichtbar ausführen zu können und dennoch den Mindest-U-Werten zu entsprechen, besteht die Möglichkeit, die Dämmebene in der Mitte der Wand zu führen, also eine Kerndämmung. Im Folgenden werden drei Beispielvarianten angeführt, mit welchen erprobt wird, durch welche Bauteilabmessungen sich welche U-Werte ergeben.

EINLEITUNG

Allgemeine Werte:

Wände gegen Außenluft U-Wert $\leq 0,35$ [W/m²K] (OIB-Richtlinie 6, S. 5, Ausgabe Mai 2023)

Schaumglasschotterdämmung : $\lambda = 0,08$ [W/m²K] (Schaumglasschotter, Stand: 22.02.2024)

Lehmstoffe	Rohdichte in kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit λ in W/mK	U-Wert [W/m ² K] bei 20 cm Dicke	U-Wert [W/m ² K] bei 25 cm Dicke	U-Wert [W/m ² K] bei 30 cm Dicke
Massivlehm	2000	1,13	5,65	4,52	3,77
	1800	0,91	4,55	3,64	3,03
	1600	0,73	3,65	2,92	2,43
	1400	0,59	2,95	2,36	1,97
Leichtlehm	1200	0,47	2,35	1,88	1,57
	900	0,3	1,5	1,2	1
	700	0,21	1,05	0,84	0,7
	500	0,14	0,7	0,56	0,47
	300	0,10	0,5	0,4	0,33

Abb.19: Wärmeleitfähigkeit Lehmstoffe in Bezug zu ihrer Rohdichte

Variante 1:

20 cm dicke Stampflehmelemente mit einer Rohdichte von 1400 kg/m³ ($\lambda = 0,59$ [W/m²K])

10 cm Schaumglasschotter als Dämmung dazwischen ($\lambda = 0,08$ [W/m²K])

Gesamtdicke: 50 cm

$$R = 0,2/0,59 + 0,1/0,08 + 0,2/0,59 + 0,13 + 0,04 = 2,09$$

$$U = 1/2,09 = 0,48 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Variante 2:

15 cm dicke Stampflehmelemente mit einer Rohdichte von 1400 kg/m³ ($\lambda = 0,59$ [W/m²K])

20 cm Schaumglasschotter als Dämmung dazwischen ($\lambda = 0,08$ [W/m²K])

Gesamtdicke: 50 cm

$$R = 0,15/0,59 + 0,2/0,08 + 0,15/0,59 + 0,13 + 0,04 = 3,18$$

$$U = 1/3,18 = 0,31 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Variante 3:

15 cm dickes Stampflehmelement innen mit einer Rohdichte von 1400 kg/m^3
($\lambda = 0,59 \text{ [W/m}^2\text{K]}$)

17 cm Schaumglasschotter als Dämmung dazwischen ($\lambda = 0,08 \text{ [W/m}^2\text{K]}$)

28 cm dickes Stampflehmelement innen mit einer Rohdichte von 1400 kg/m^3
($\lambda = 0,59 \text{ [W/m}^2\text{K]}$)

Gesamtdicke: 50 cm

$R = 0,15/0,59 + 0,17/0,08 + 0,28/0,59 + 0,13 + 0,04 = 3,02$

$U = 1/3,02 = 0,33 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

1.3.2.9 Schallschutz

Durch seine hohe thermische Masse sowie Speicherfähigkeit ist Lehm selbst bei nur geringen Wanddicken ein guter Schallpuffer. Die Zusammensetzung aus Schluff, Sand und Ton mit einer unregelmäßigen weichen Oberfläche, sowie dem lückenlosen Gefüge sorgt dafür, dass Schallwellen absorbiert und nicht reflektiert werden. Körperschall, Luftschall und die Nachhallzeit können dadurch im Vergleich zu anderen homogenen Baumaterialien deutlich verringert werden (Schallschutz mit Lehm, Stand: 30.01.2024). Die Flexibilität des Lehms gegenüber den Schallwellen und die hohe Kapillarität begünstigt die Dämpfungsfunktion gegenüber Luftschallwellen. Weiters kann durch Zugabe von Pflanzenhalmen oder Fasern in die Stampflehmmischung die Schalldämmfähigkeiten nochmals erhöht werden (Schönburg, 2017, S. 88).

1.3.3 Lehmbau in Kombination mit anderen Baustoffen

Ein großer Vorteil von ökologischen Baustoffen ist es, dass sie sich sehr gut kombinieren lassen und teilweise sogar ihre Eigenschaften ergänzen. Da die tragenden sowie wärmedämmenden Eigenschaften von Lehm nicht herausragend sind, wird er häufig mit Materialien kombiniert, deren Stärken darin liegen. Häufige Materialkombinationen sind beispielsweise Lehm und Holz, oder Lehm und Stroh oder auch Lehm und Kork.

„Die Kombination zwischen Holz und Lehm könnte eine ideale Kombination sein für zukünftiges Bauen in Städten. Holz ist konstruktiv wohnsinnig stark, ist aber sehr leicht und braucht dazu eine entsprechende Speichermasse. Lehm speichert die Wärme und hat einen sehr guten Feuerschutz. Wenn der Wille da ist, könnte man aus dieser Materialkombination neue Konstruktionen entwickeln“ (Martin Rauch, Interview: 7. April 2021).

1.4 Materialien für ökologische Städte

1.4.1 Green Urbanism

Der „Green Urbanism“ beschreibt einen Ansatz zur nachhaltigen Stadtgestaltung, ein Zusammenspiel der unterschiedlichen Disziplinen, welche zum Ziel eine umweltfreundliche Stadt haben (siehe Abb. 20). Dies soll unter anderem durch Reduktion der Emissionen, kürzere Transportwege und nachhaltige Baumaterialien möglich gemacht werden. Der Begriff „Green Urbanism“ wurde hauptsächlich von den Planern Steffen Lehmann, Timothy Beatley und Peter Newman geprägt. Lehmann stellt außerdem eine fünfzehn Punkte lange Liste zusammen, welche die Prinzipien des grünen Urbanismus beschreibt. (Lehmann, 2011, S.248)



Abb.20: Green Urbanism

EINLEITUNG

1.4.2 Klimafreundliches Bauen

Um klimafreundlich bauen zu können, ist ein wichtiger Schritt, von den momentan am häufigsten verwendeten Baumaterialien Abstand zu gewinnen. Die nicht nur durch Ihre Herstellung, sondern auch durch ihren Transport einen Großteil der Emissionen verursachen. Beispielsweise emittiert die Herstellung von Zement bereits 590 kg CO₂ pro Tonne Zement (Betonherstellung und Klimaschutz, Stand 25.03.2024). Auf eine Klimaneutralität in der Herstellung des Zements und somit auch des Betons zu hoffen scheint nahezu unmöglich und ist auch der falsche Ansatz um die Baubranche CO₂-neutral zu bekommen. Bei der Herstellung von Stahl sieht es ähnlich aus. Eine weitaus klimafreundlichere Option stellt der Baustoff Holz dar. Aber auch Holz bringt Probleme mit sich, industrialisierte Waldnutzung und Plantagenwirtschaft machen es schwierig die Zukunft des Baustoffs langfristig und als Massenbaustoff wie z.B. Stahlbeton oder Ziegel vorauszusehen.

Eine erstzunehmende Alternative für die langfristig gesehene Zukunft stellt das Material Lehm dar.

1.4.3 Lebenszyklus und Recycling des Baustoffs Lehm

Einer der großen Vorteile von Lehm ist die nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit, da Lehm immer wieder verwendet werden kann und entweder aus dem Boden oder aus alten nicht mehr verwendeten Gebäuden gewonnen wird. Als Aushubmaterial stellt der Lehm momentan ein Abfallprodukt dar, welches lokal vorhanden ist und somit über kurze Transportwege direkt als Baustoff eingesetzt werden könnte. Ton ist im Vergleich zu den Bindemitteln Zement oder Gips nicht hochenergieintensiv in der Herstellung und kann auch den Prozess des Bindens immer wieder rückführen und neu durchführen.

Allein die Herstellung des Baumaterials macht aber noch nicht ihre vollständigen CO₂-Emissionen aus. Ein wichtiger Punkt ist es auch, den Lebenszyklus eines Gebäudes bzw. der Baumaterialien zu kennen. Nachdem das Bauwerk gebaut wurde stellen sich weitere Fragen: Wie lange kann es genutzt werden? Wie kann es saniert werden? Was passiert mit den Materialien, wenn das Gebäude nicht mehr verwendet werden kann? Idealerweise ergibt sich für einen Baustoff im Laufe seines Lebenszyklus ein Kreis (siehe Abb. 21), was bedeutet, dass das Material vollständig wiederverwertet werden kann (Rieger-Jandl, Breuss, S. 1 f.).

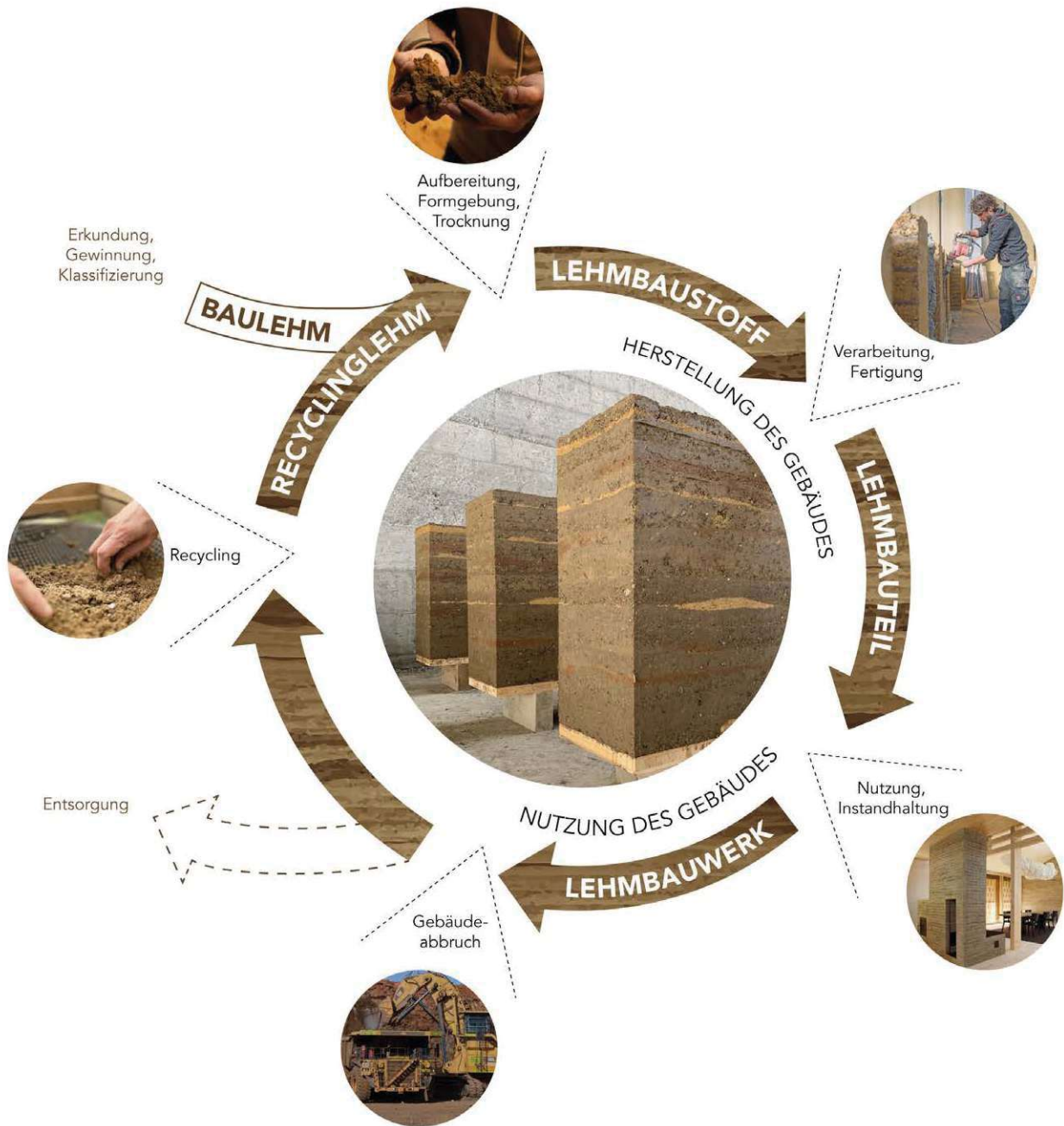


Abb.21: Kreislauf des Lehms

1.5 Analyse von Stampflehm in der Praxis

1.5.1 Druckerei Gugler, Pielach, 1998-1999

Bauherr: gugler print & media

Architektur: Ablinger, Vedral & Partner, Wien

Ausführung Lehmbau: M. Rauch, Lehm-Ton-Erde Baukunst GmbH, Schlins

Allgemeines

Die Druckerei Gugler in Pielach besteht aus einem Holzskelettbau in Kombination mit innenliegenden Stampflehmwänden (siehe Abb. 22). Das Gebäude besteht aus zwei Bereichen, der Maschinenhalle sowie dem Verwaltungstrakt. In letzterem befinden sich zwei zweigeschoßige Längswände aus Stampflehm. Diese wurden durch ein von Martin Rauch entwickeltes Vorfertigungskonzept bereits vorgestampft und anschließend in der Druckerei verbaut. Das aus nachhaltigen Rohstoffen errichtete Gebäude gewann unter anderem den Niederösterreichischen Holzbaupreis 2000.

Der Lehm

Die Stampflehmwände sorgen nicht nur durch ihre schöne erdige Farbe für ein angenehmes Raumklima, sondern agieren durch ein Heiz - und Kühlsystem, bei welchem Frischluft aus einem Grüngürtel angesaugt wird und über Luftrohre in die Wände geleitet und verteilt wird, auch wirklich als Temperaturregulator. Die Maschinenhalle kann mithilfe dieses Systems im Sommer gekühlt werden. Auch umgekehrt wird die Abluft der Maschinen in der Halle im Winter dazu genutzt den Verwaltungstrakt zu heizen (Druckerei Gugler, Stand 02.11.2023).

Die Nutzung

Die Lehmwände in der Druckerei sind laut dem Prokuristen und Leiter der Druck-Sinn Abteilung Reinhard Gugler vollkommen wartungsfrei. Seit der Fertigstellung des Gebäudes 1999 mussten keine Wartungsarbeiten an den Lehmwänden selbst durchgeführt werden. Die Wände wurden mit einer Art Wachsschicht an der Oberfläche behandelt damit sie nicht abkreiden bzw. abfärben oder die Farbe verändern.

Die Oberfläche kann man als „perfekt imperfekt“ bezeichnen (siehe Abb. 23), natürlich kann eine Lehmwand nicht die völlige Glätte einer beispielsweise Beton- oder Feinputzwand aufweisen. Aber dies macht den organischen Baustoff auch aus und die Ergebnisse immer einzigartig.

Aus heutiger Sicht würde der Besitzer die Druckerei genauso mit der Holzkonstruktion und den Lehmwänden erneut in Auftrag geben (Gugler, Leiter DruckSinn, 13.11.2023).

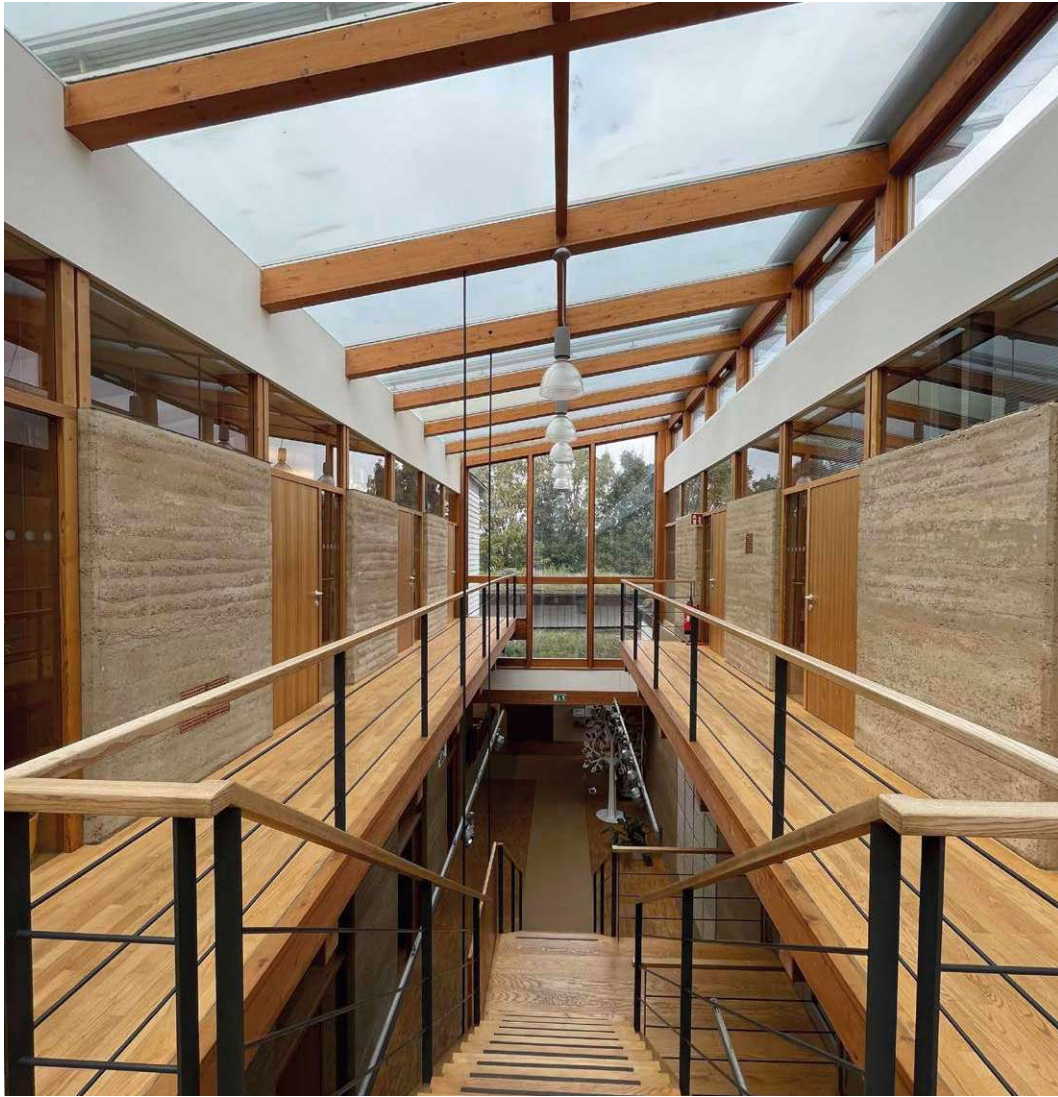


Abb.22: Druckerei Gugler, Obergeschoß

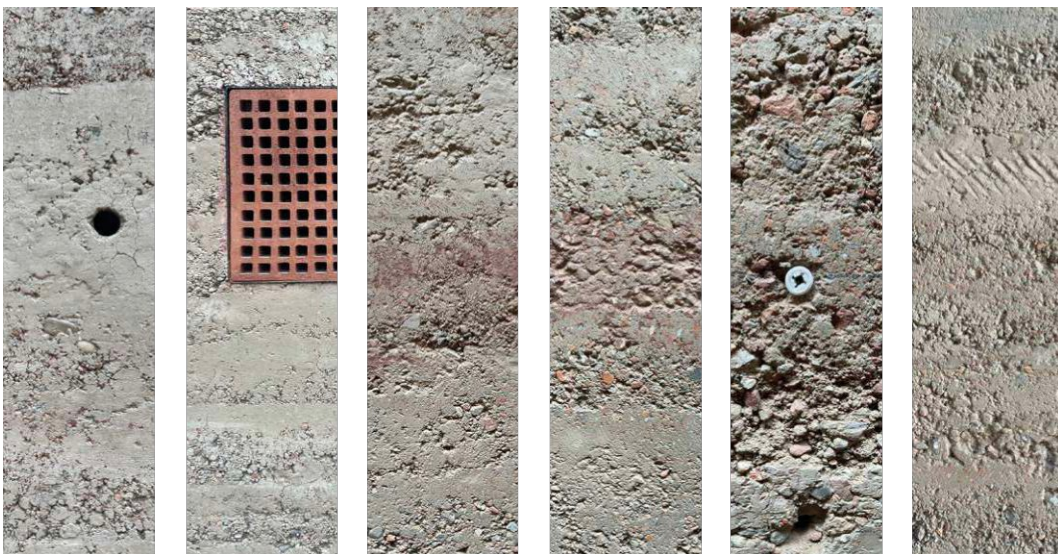


Abb.23: Druckerei Gugler, Stampflehmoberfläche

EINLEITUNG

1.5.2 Alnatura Campus, Darmstadt, 2015-2019

Bauherr: Campus 360 GmbH / Alnatura

Architektur: haas cook zemmrich STUDIO 2050

Ausführung Lehmbau: Lehm-Ton-Erde Baukunst GmbH, Schlins

Allgemeines

Der Alnatura Campus wurde auf einem ehemaligen Kasernengelände errichtet und ist europaweit das größte Gebäude mit einer Außenfassade aus Stampflehm (siehe Abb. 25). Im Inneren findet sich Platz für bis zu 500 Mitarbeiter (Der Alnatura Campus in Darmstadt, Stand 02.11.2024). Die Büroräume erstrecken sich über drei Geschoße hinweg und sind zum Atrium hin komplett offengehalten. Bei den Decken wurde auf besondere Schallwirksamkeit aufgrund des offenen Grundrisses geachtet, hierbei kamen Holzlamellendecken zum Einsatz (Alnatura Campus Darmstadt, Stand 02.11.2024).

Der Lehm

Die in Zusammenarbeit mit Martin Rauch entwickelten Stampflehmwandelemente wurden direkt neben der Baustelle vorgefertigt. Im Inneren eines jeden 12 m hohen Wandstücks befindet sich eine 17 cm starke Kerndämmung aus recyceltem Schaumglasschotter (siehe Abb. 24). Der Lehm wurde aus dem Aushub eines naheliegenden Bahnbauprojekts verwendet. In Sachen Energie setzt das Konzept des Alnatura Campus auf Low-Tech. Auf Klima- und Lüftungsgeräte wird vollständig verzichtet. Es wird Frischluft von einem Kiefernwald angesaugt und über einen Erdkanal ins Gebäude eingeleitet, dadurch hält sich der Heiz- und Kühlbedarf sehr gering. (Alnatura Campus Darmstadt, Stand 02.11.2024)

Die Nutzung

Leider bestand auch durch wiederholte Nachfrage nicht die Möglichkeit, etwas über die tatsächliche Nutzung und die Performance der Lehmwände herauszufinden.

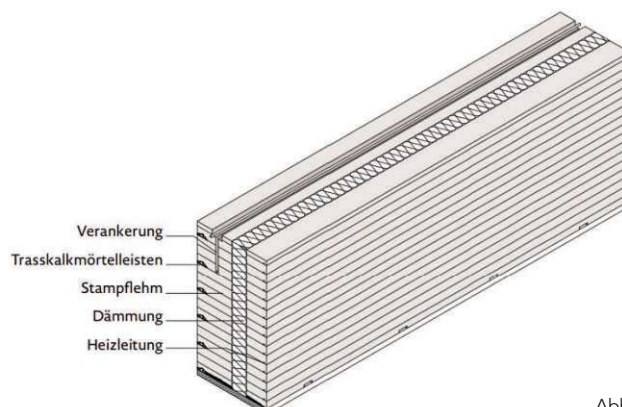


Abb.24: Alnatura Campus, Wandaufbau



Abb.25: Alnatura Campus

EINLEITUNG

1.5.3 Haus Rauch, Schlins, 2005-2008

Bauherr: Lehm-Ton-Erde Baukunst GmbH, Schlins

Architektur: Boltshauser Architekten, Zürich und Martin Rauch, Schlins

Ausführung Lehm-bau: Lehm-Ton-Erde Baukunst GmbH, Schlins

Allgemeines

Das zum Großteil direkt aus den Materialien des Aushubs hergestellte Einfamilienhaus in Schlins, Vorarlberg, ist das Eigenheim von Martin Rauch (siehe Abb. 26 u. 27). Der Erbau des Hauses diente als eine Art Labor, was mit dem Werkstoff Lehm alles gebaut werden kann.

Der Lehm

Nicht nur die Wände des Gebäudes bestehen aus Lehm, auch die Böden sowie einige Möbelstücke wurden aus dem Erdmaterial hergestellt. Insgesamt konnten 85 % des Baumaterials direkt aus der Baugrube gewonnen werden und das Holz für die verwendeten Doppelbaumdecken wurde direkt vor Ort geschlagen. So konnten rund 50 % der grauen Energie im Vergleich zu herkömmlichen Einfamilienhausmassivbauten eingespart werden. Die Stampflehm-mauern wurden ohne Stabilisierung und Oberflächenbehandlung errichtet. Die Stampflehm-wände sind ohne Bewehrung nur auf Druck belastbar, das bedeutet die Tragfähigkeit des Gebäudes entsteht durch die aus der Verdichtung gewonnenen Festigkeit (Haus Rauch, Stand 30.01.2024).

Die Nutzung

Laut einem Interview von Martin Rauch performt das Lehmgebäude genau wie erwünscht. Das Experiment war ein Erfolg, es hat sich über die Jahre hinweg bestätigt, dass alles wie geplant geklappt hat, von Statik, Ästhetik bis hin zu Akustik. Er würde das Einfamilienhaus genauso nochmals bauen (Interview mit Martin Rauch: Leben mit Lehm, Stand 30.01.2024).



Abb.26: Haus Rauch, Außenansicht

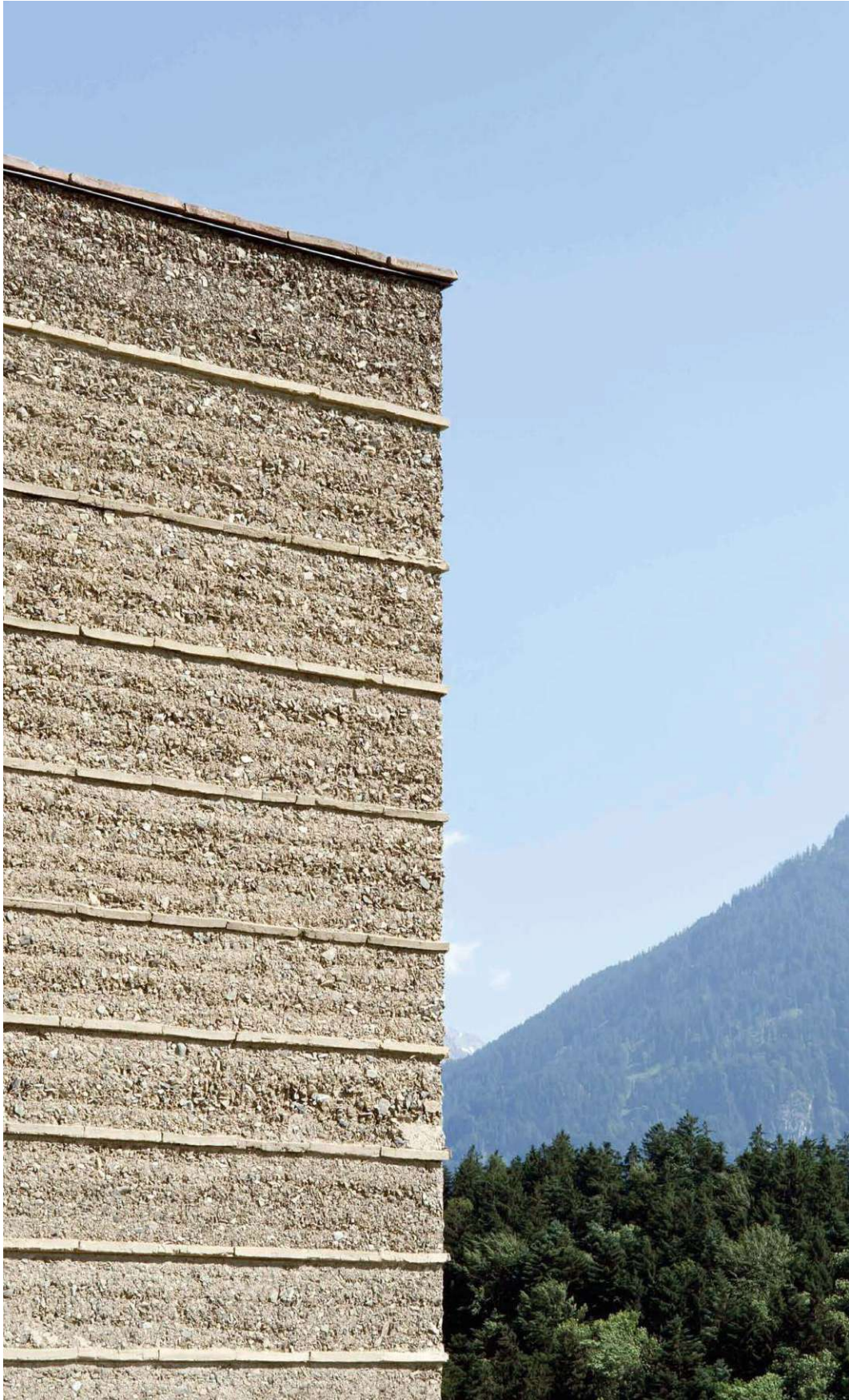


Abb.27: Haus Rauch, Detail

1.6 Zielsetzung

Ziel dieser Forschungsarbeit ist es herauszufinden, ob und wie sich ein Gebäude mit Stampflehm hinsichtlich Aspekten wie Tragfähigkeit, Dauerhaftigkeit oder auch Energieeffizienz in die Stadt einfügt. Weiters wird die ökologische Nachhaltigkeit des Materials Stampflehm im Vergleich zu herkömmlichen Baumaterialien unter Berücksichtigung von Ressourcenverbrauch, Emissionen und Recyclingfähigkeit untersucht. Um dies am besten erörtern zu können wird die Forschungsmethode „Research by Design“ (Univ. Prof. Michael U. Hensel, 10.12.2023) aufgegriffen. Der Fragestellung wird also mit einem konkreten Entwurfsbeispiel entgegengetreten.

In der Architektur ist jedes Beispiel einzigartig, da es sich an unterschiedlichen Standorten befindet, wo andere Bedingungen herrschen. Daher kann nie eine all-übergreifende Lösung gefunden werden. Dennoch kann mit einzeln herausgepickten Forschungsprojekten herausgefunden werden, wie praxistauglich der Stampflehmbau, beispielsweise in einer Stadt wie Wien, angewendet werden kann. Ziel ist es herauszufinden, inwiefern der Einsatz von Lehm in österreichischen Städten schon möglich oder noch nicht möglich ist sowie ein Entwurfskonzept für ein Projekt unter der Verwendung von Stampflehm zu entwickeln. Welches die Anforderungen an modernen städtischen Wohnraum erfüllt. Weiters wird erforscht, wie sich der Lehmbau unter den Vorgaben des Bebauungsplan der Stadt einsetzen lässt. Ein weiterer Punkt wird sein herauszufinden, in welchen Bauelementen der Lehm sinnvollerweise eingesetzt werden kann und wo wiederum besser zu anderen Materialien gegriffen wird.

Darüber hinaus soll die ästhetische Qualität des Stampflehmbaus in Wohnungen, wo er bisher noch nicht wirklich Anwendung findet, aufgezeigt werden. Was macht den Stampflehm besonders im Vergleich zum herkömmlichen Betonbau? Kann durch den Einsatz von natürlichen Materialien und Grünflächen außerdem ein naturnahes Wohngefühl in der Stadt erreicht werden oder prägt die urbane Atmosphäre das ausgewählte Grundstück deutlicher?

Die Integration einer weiteren Nutzung auf dem Grundstück, um die Nutzungsdurchmischung in der Stadt zu fördern und die multifunktionalen Einsatzmöglichkeiten von Stampflehm nicht nur im privaten Wohnungsbau, sondern auch in einem öffentlichem Gebäude zu erforschen, ist ebenfalls Part der Analyse.

Es soll ein Entwurf entstehen, der die Vor- und Nachteile bzw. die Herausforderun-

gen und Schwierigkeiten aufzeigt, die es mit sich bringt, wenn Lehm in der Stadt verwendet wird.

Durch die Forschungsmethode „Research by Design“ sollen die Möglichkeiten, die das Material Stampflehm bietet, aufgezeigt werden sowie die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen im Rahmen dieser Forschungsarbeit als Beispiel für zukünftige Projekte im Bereich des städtischen Wohnungsbaus agieren. Um in Zukunft den Blick auch auf alternative nachhaltigere Baumaterialien als den herkömmlichen Beton- oder Ziegelbau im österreichischen Städtebau zu lenken.

Forschungsfragen:

Wie kann ein nachhaltiges Wohngebäude unter Verwendung von Stampflehm in Wien optimal geplant werden?

Ist Stampflehmbau in der Stadt eine zukunftsorientierte und umsetzbare Bauweise? Wenn ja, in Kombination mit welchen Materialien?

Entspricht das Projekt bauphysikalischen, ökologischen und ökonomischen Standards um mit den herkömmlichen Baustoffen wie Stahlbetonbau mitzuhalten?

2 METHODE

2.1 Allgemeines

Der Abschnitt „Methode“ beinhaltet alle nötigen Analysepunkte, um einen entsprechenden Entwurf eines Wohngebäudes sowie einer Mediathek zu gestalten. Der Begriff Mediathek beinhaltet in diesem Fall eine kleine Bibliothek, einen Ausstellungsraum, sowie Räumlichkeiten, in denen technische Geräte wie Bildschirme etc. bereitgestellt werden. Die folgenden Analysepunkte stellen die Grundlagen für den im Abschnitt „Ergebnisse“ erarbeiteten Entwurf dar.

2.2 Auswahl Bauplatz

Als Bauplatz wurde ein Grundstück im 6. Wiener Gemeindebezirk Mariahilf ausgewählt (siehe Abb. 28), es befindet sich in der Mollardgasse 50. Die rund 1000 m² große Fläche bietet sich auf Grund von Lage und Größe für ein Experimentieren mit Materialien und Grundrissen an. Außerdem darf laut des Bebauungsplanes ein gemischtes Baugebiet geplant werden, so können auf dem Grundstück Wohnen und noch weitere Funktionen kombiniert werden.

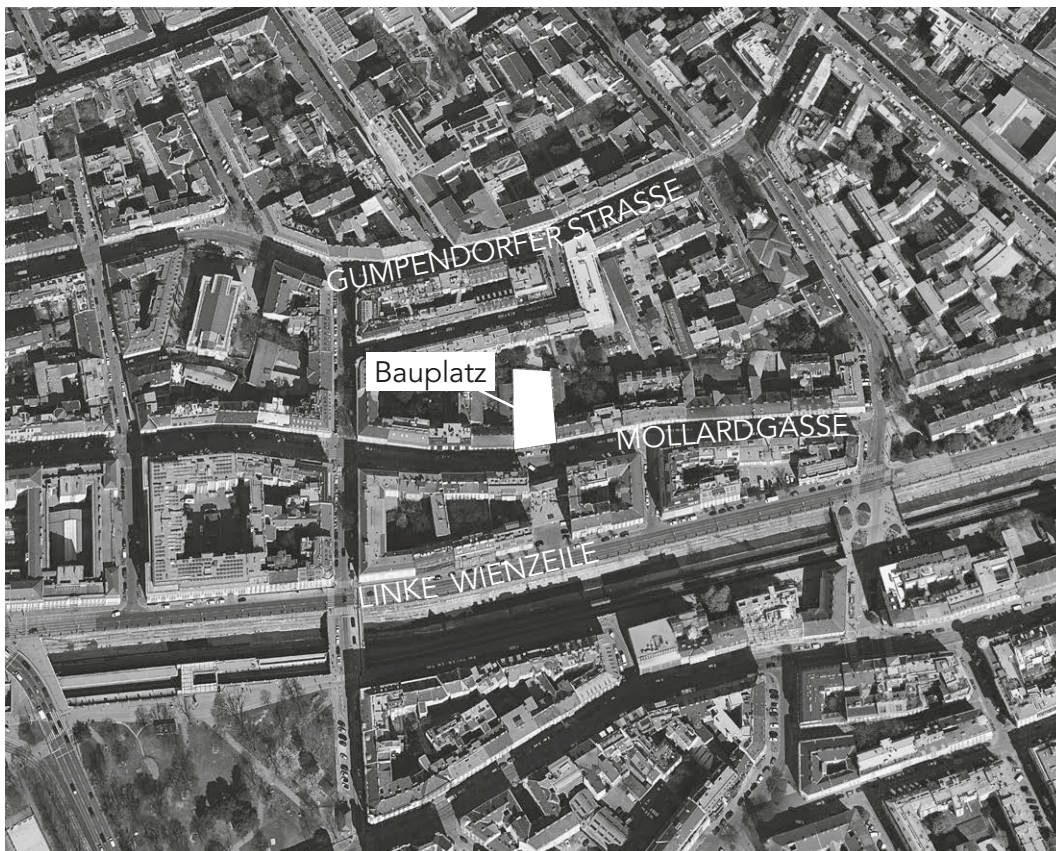


Abb.28: Auswahl Bauplatz

2.3 Entwurfsgrundlagen

2.3.1 Woher kommt der Lehm?

Die am nächsten gelegene Lehmabbaustelle vom Bauplatz befindet sich in Niederösterreich ca. eine Stunde entfernt (siehe Abb. 29). Die Firma Lehm und Sand GmbH besitzt eine eigene Lehmgrube und ist selbst Hersteller und Händler des Lehms. Die Firma bietet eine Vielzahl an Lehmprodukten an, darunter auch Stampflehm.

Der S&L Stampflehm besteht laut Hersteller aus einer Mischung aus Naturlehm und Kies. Die Maximalkorngröße beträgt 35 mm und ist daher ideal für die Herstellung klassischer Stampflehmwände geeignet. Weiters können die Farbpigmente des Lehms beliebig nach Wunsch eingestampft werden, die zur Auswahl stehenden Farben des Herstellers sind gelb, grau, beige, schwarz, rot, braun etc. oder auch Erdpigmente. (S&L Stampflehm, Stand 05.02.2024)

Ein kurzer Transportweg ist von großer Bedeutung für das Konzept eines nachhaltigen Baustoffs wie Lehm.

Verortung der Lehmgrube:

Sand und Lehm GmbH

Andres Zöchbauer GmbH

Zur Sandgrube 12

3123 Winzing

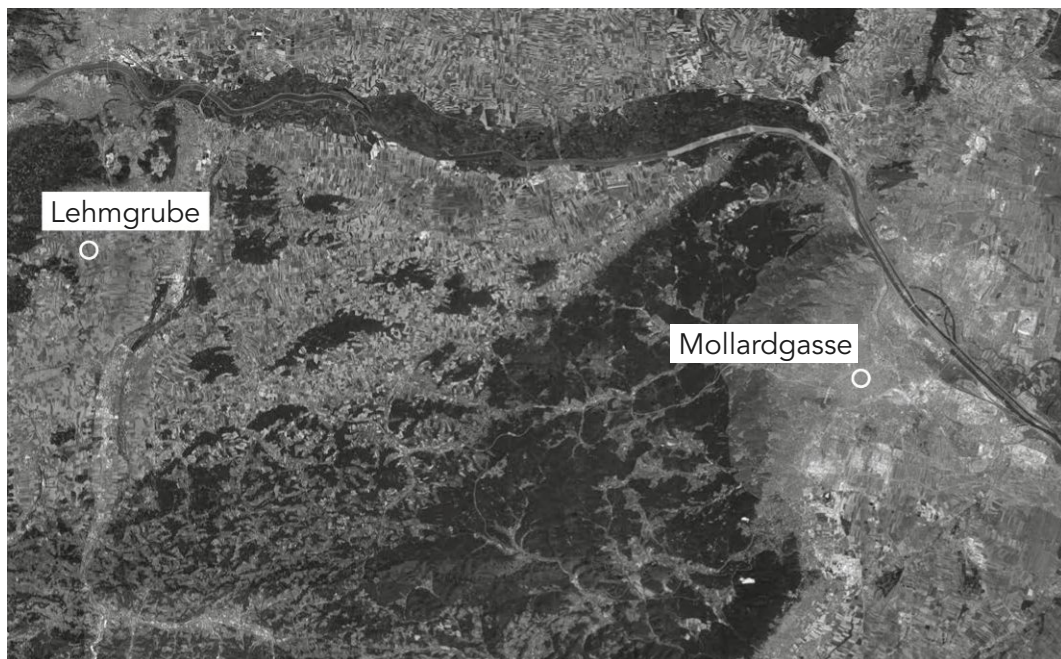


Abb.29: Verortung Lehmgrube

METHODE

2.4 Bebauungsbestimmungen Bauplatz

2.4.1 Bebauungsplan

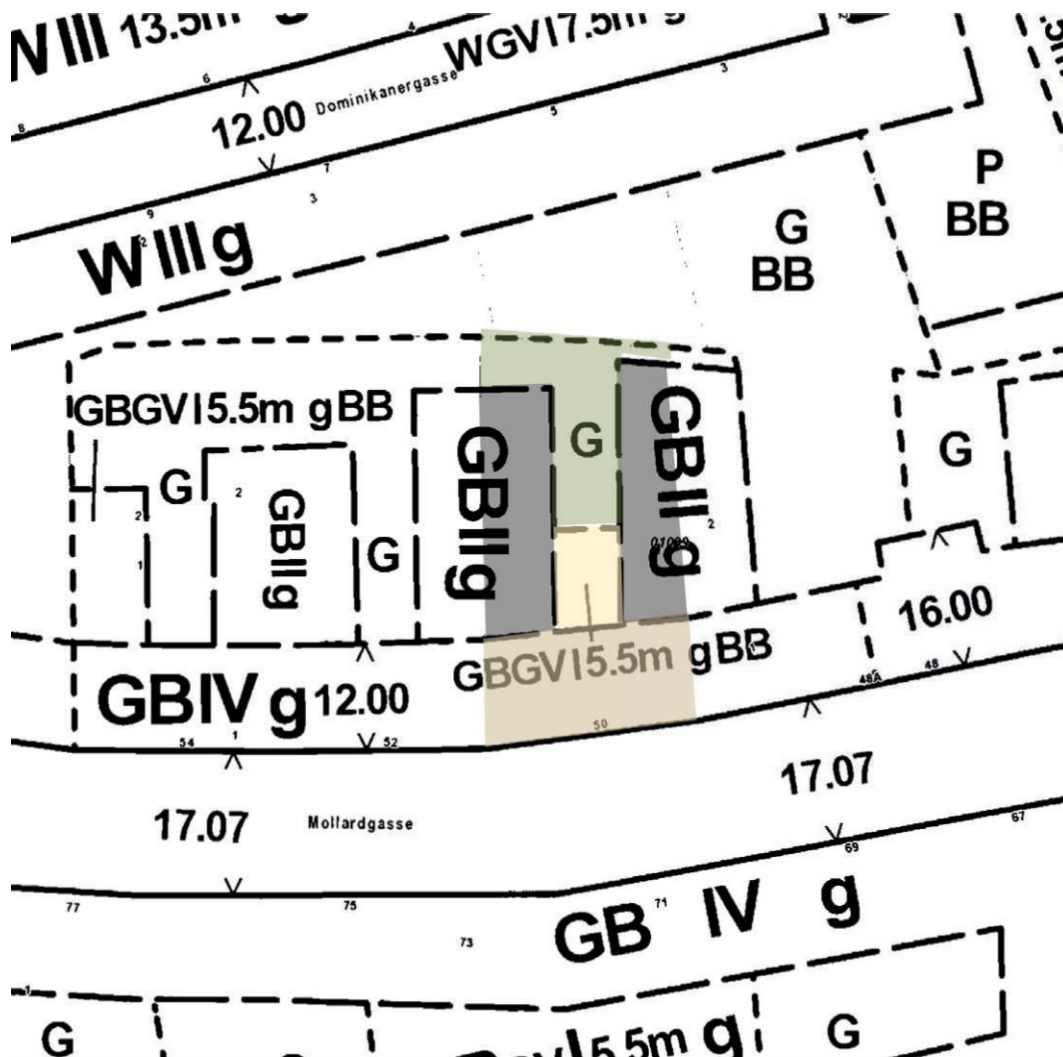


Abb.30: Bebauungsplan

Maximal bebaubare Fläche laut Bebauungsplan (siehe Abb. 31):

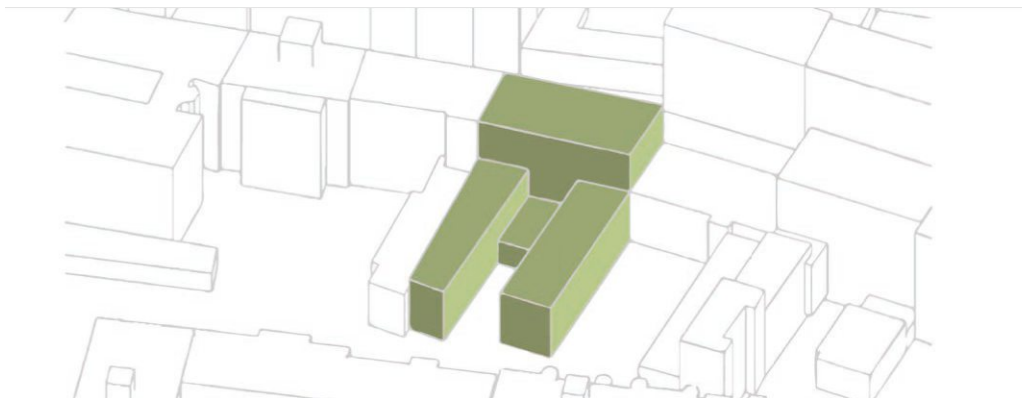


Abb.31: Maximal bebaubare Fläche

Bereich straßenseitig

- Gemischtes Baugebiet
- Bauklasse 4 = mindestens 12 m, höchstens 21 m (siehe Abb. 32)
- Geschlossene Bauweise (siehe Abb. 33)
- Gehsteige zur Straße mindestens 2,0 m Breite
- In der Mollardgasse ist Vorsorge zur Pflanzung bzw. Erhaltung von einer Baumreihe zu treffen
- Entlang der Baulinie (straßenseitig) keine Erker, Bauelemente dürfen höchstens 0,8 m über die Baulinie ragen (Straße breiter als 16 m)

Zulässige Gebäudehöhen:	
Bauklasse I	mindestens 2,5 m, höchstens 9 m,
Bauklasse II	mindestens 2,5 m, höchstens 12 m,
Bauklasse III	mindestens 9 m, höchstens 16 m,
Bauklasse IV	mindestens 12 m, höchstens 21 m,
Bauklasse V	mindestens 16 m, höchstens 26 m,
Bauklasse VI	mindestens 26 m

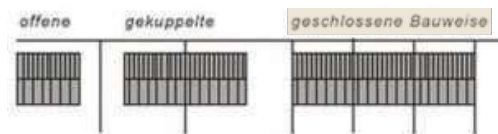


Abb.32: Bauklasse IV

Abb.33: Bauweise

Bereiche hofseitig

- Gemischtes Baugebiet
- Bauklasse 2 = mindestens 2,5 m, höchstens 12 m (siehe Abb. 34)
- Geschlossene Bauweise (siehe Abb. 35)

Zulässige Gebäudehöhen:	
Bauklasse I	mindestens 2,5 m, höchstens 9 m,
Bauklasse II	mindestens 2,5 m, höchstens 12 m,
Bauklasse III	mindestens 9 m, höchstens 16 m,
Bauklasse IV	mindestens 12 m, höchstens 21 m,
Bauklasse V	mindestens 16 m, höchstens 26 m,
Bauklasse VI	mindestens 26 m

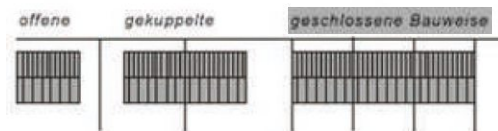


Abb.34: Bauklasse II

Abb.35: Bauweise

Bereich mittig

- Gemischtes Baugebiet-Geschäftsviertel
- Bauklasse 1
- Gebäudehöhe höchstens 5,5 m
- Geschlossene Bauweise (siehe Abb. 36)
- besondere Bestimmungen: Dach ist als begrüntes Flachdach auszuführen

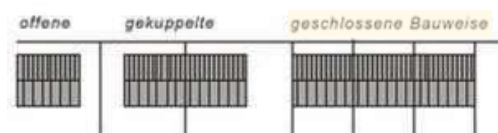


Abb.36: Bauweise

Freibereich

- Gärtnerische Ausgestaltung
- Falls unterkellert müssen für Bäume Erdkerne bestehen bleiben

2.5 Bauplatzanalysen Umgebung

2.5.1 Urban Heat Vulnerability

Im innerstädtischen Bereich ist der Urban Heat Vulnerability Index (UHVI) bereits zwischen 0,6 und 1,0 (siehe Abb. 37). Auch in der Umgebung des ausgewählten Standorts in der Mollardgasse liegt der UHIV bei einem Wert von rund 0,8 (orangener Bereich).

Beschreibung: Der Urban Heat Vulnerability Index ist ein Indikator für die Hitzeanfälligkeit eines bestimmten Gebiets innerhalb einer Stadt, basierend auf der Empfindlichkeit, der Exposition und der Anpassungsfähigkeit gegenüber extremer Hitze. Sie wird durch quantitative Bewertung von Exposition, Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit und anschließender Berechnung der Hitzeanfälligkeit aus den drei Komponenten mithilfe eines geeigneten Rahmenwerks bestimmt. Dieser Index hat eine Skala von null bis eins (von der niedrigsten zur höchsten Verwundbarkeit) (ECOTEN Urban Comfort s.r.o., Stadt Wien, 2019, S. 17).

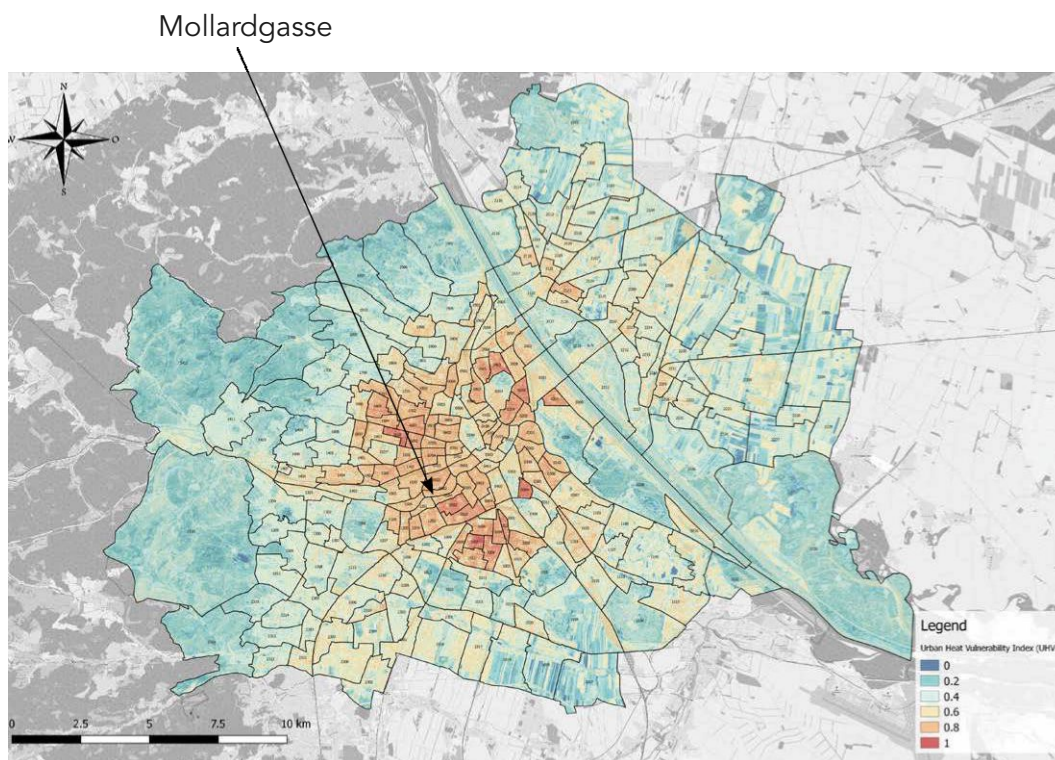


Abb.37: Urban Heat Vulnerability Map

2.5.2 Öffentliche Verkehrsmittel

Die Anbindung an den öffentlichen Verkehr findet hauptsächlich durch die nur 400 m entfernte U4 Station Margareten Gürtel statt (siehe Abb. 38). Durch diese Verbindung kann man in 5 min ins Stadtzentrum gelangen. Auch die Straßenbahnlinien 6 sowie 18 fahren an der Station Margareten Gürtel ab. Weiters befinden sich die Buslinien 57A und 12A in Gehweite.

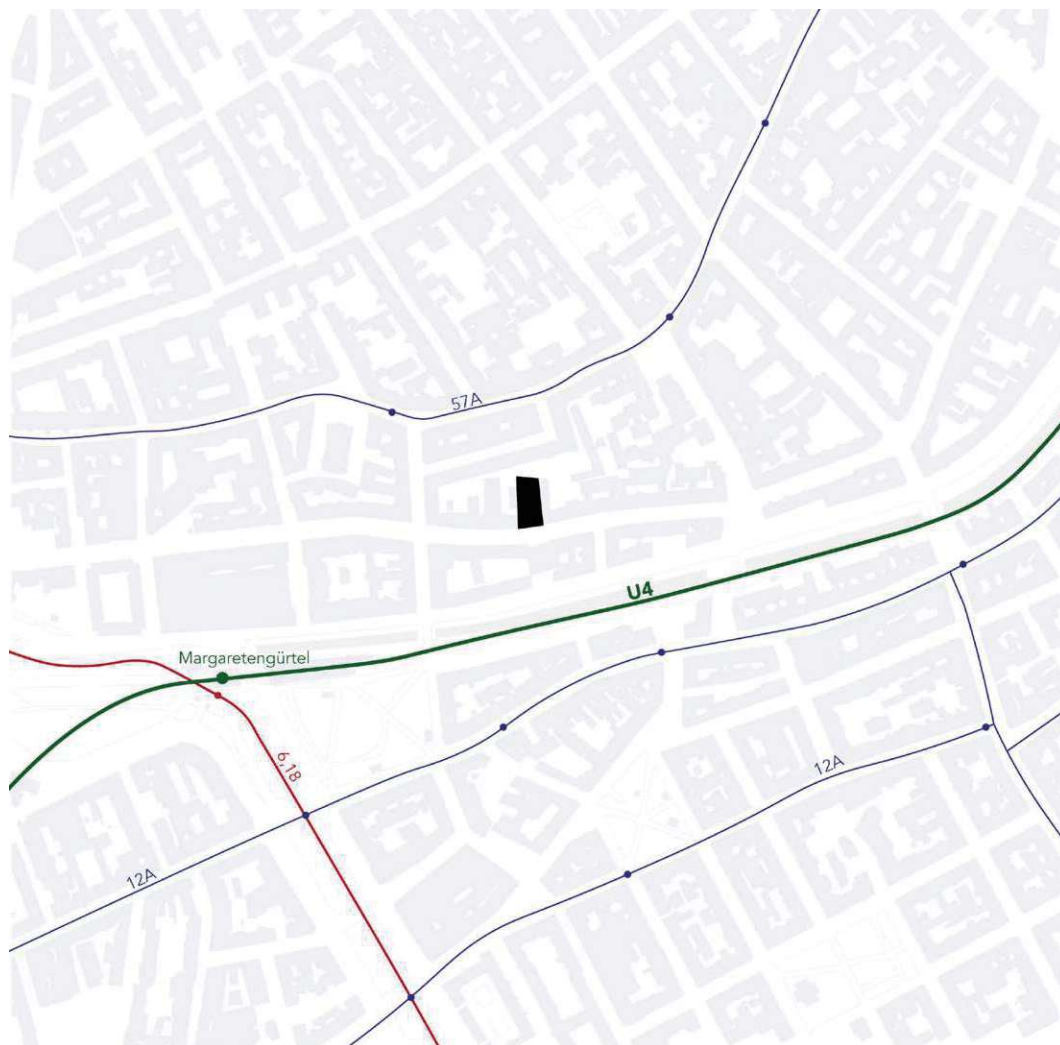


Abb.38: Öffentliche Verkehrsmittel

- Bus
- Straßenbahn
- U-bahn

METHODE

2.5.3 Grünflächen

2.5.3.1 Grünflächen in Wien

Auf gesamt Wien gesehen ist Mariahilf der Bezirk mit den zweitwenigsten Grünflächen (siehe Abb. 39). Nur der Bezirk Josefstadt ist noch geringer bepflanzt. Dies liegt natürlich unter anderem an der kleineren Gesamtfläche im Vergleich zu Bezirken wie Donaustadt oder Floridsdorf, aber auch daran, dass auf Grund möglichst dichter Wohnbebauung oft auf zusätzliche Grünflächen verzichtet wird. Wenn man Mariahilf aber mit anderen Bezirken ähnlicher Größe, wie z. B. Wieden vergleicht, wird deutlich, dass auch bei kleiner Fläche wesentlich mehr Grünraum möglich wäre (Grünflächen in Wien nach Bezirken im Jahr 2023, Stand 26.03.2024).

2.5.3.2 Grünflächen in Mariahilf



Abb.39: Grünflächen Bezirke Wien

Die einzelnen wenigen Grünflächen in Mariahilf ergeben eine Gesamtfläche von insgesamt 3,1 ha, im Verhältnis zu der Gesamtfläche 148 ha ergibt das insgesamt nur rund 2% Grünflächenanteil (siehe Abb. 40) (Mariahilf, Stand 15.03.2023).

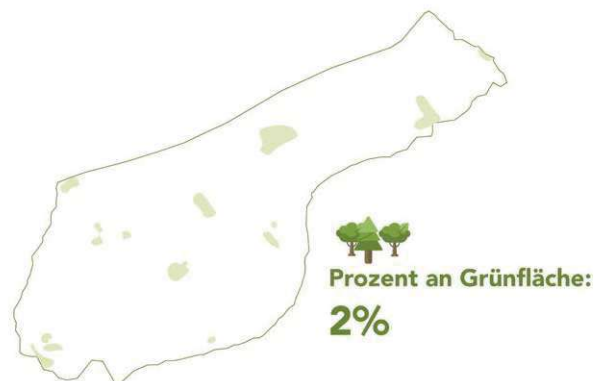


Abb.40: Grünflächen in Mariahilf

2.5.3.3 Grünflächen in der Umgebung des Bauplatzes

Da sich das Grundstück an der Grenze zu den Bezirken Margareten sowie Meidling befindet, gibt es in Fußweite einige Parks (siehe Abb. 41). Diese sind jedoch großteils geprägt von einer sehr städtischen Atmosphäre. Beispielsweise führen rund um die Stadtwildnis am Gürtel beidseitig stark befahrene Straßen vorbei (Wien Umweltgut, Stand 15.03.2024).

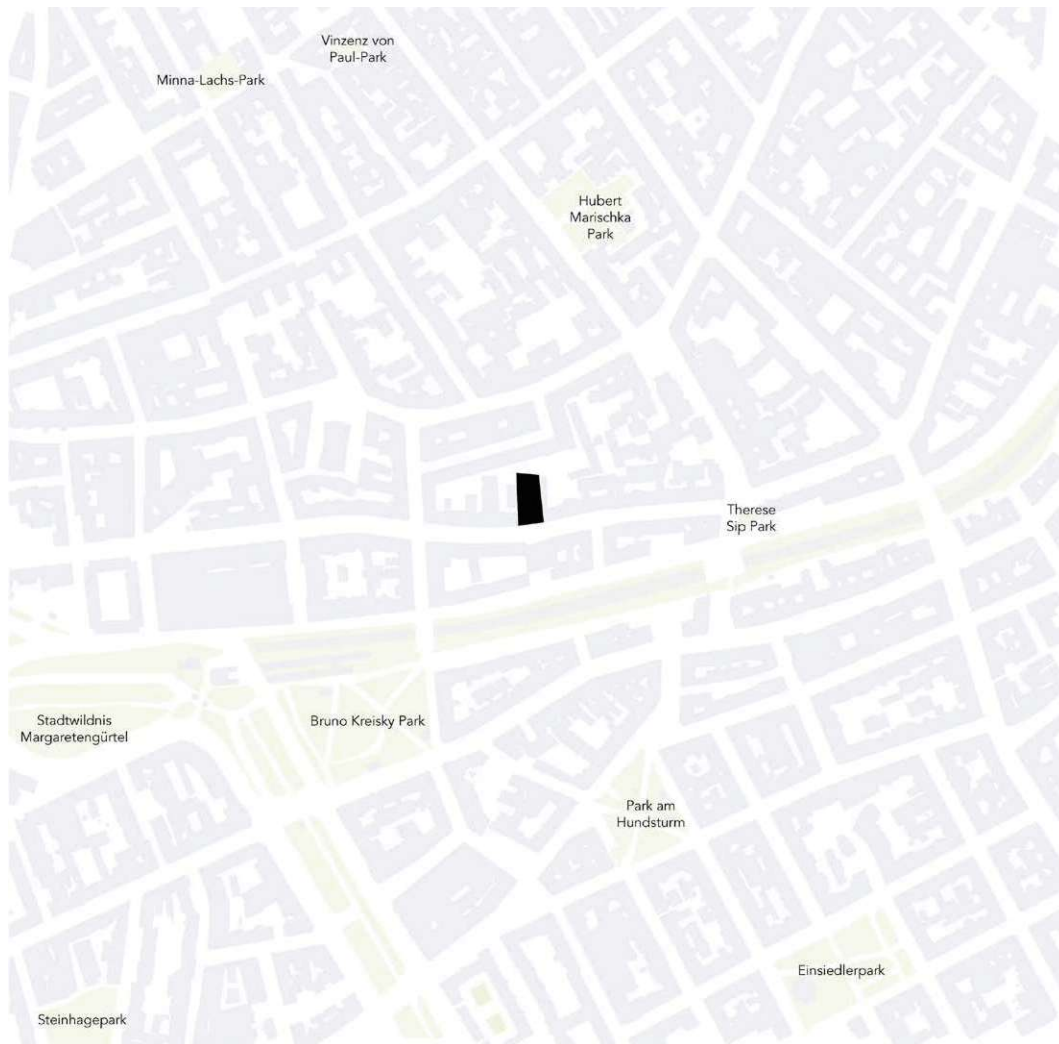


Abb.41: Grünflächen rund um den Bauplatz

METHODE

2.5.3.4 Grünflächen auf dem Bauplatz

Im Zuge des 6er Klimateams, eine Petition der Stadt Wien, die auf die Beteiligung der Bevölkerung des 6. Wiener Gemeindebezirks hofft, wurde die Forderung aufgestellt, das Grundstück in der Mollardgasse 50 in einen öffentlichen Park umzugestalten. Die Idee war, dass das Grundstück von der Stadt Wien aufgekauft werden sollte, da es in Mariahilf viel zu wenig Grünflächen gibt und als Park für alle zugänglich gemacht werden.

Dieser Vorschlag wurde jedoch von der Stadt zurückgewiesen mit der Begründung, dass die Idee ein oder mehrere Einreichkriterien nicht erfülle. Die Kriterien waren: positive Wirkung auf das Klima, Gemeinschaftsbildung, in 2 Jahren realisierbar, öffentlich-rechtlich möglich, entspricht den Zielen und Planungen der Stadt Wien, stellt den laufenden Betrieb sicher und fällt in den Zuständigkeitsbereich der Stadt Wien (6er Klimateam, Stand: 02.02.2024).

2.5.4 Öffentliche Einrichtungen

In der direkten Umgebung des Bauplatzes befinden sich einige Schultypen. Mehrere Volksschulen, eine neue Mittelschule, eine allgemeinbildende Schule sowie ein Berufsschulzentrum mit vier verschiedenen Berufsschulen mit insgesamt rund 4500 Schülern (siehe Abb. 42) (Berufsschulen Mollardgasse feiern 100. Geburtstag, Stand: 08.04.2024). Die nächste größere Bibliothek mit rund 160 Sitzplätzen zum Arbeiten ist die Hauptbibliothek am Urban-Loritz-PLatz in einer Entfernung von rund 20 Minuten Fußweg (Hauptbücherei, Stand: 08.04.2024).

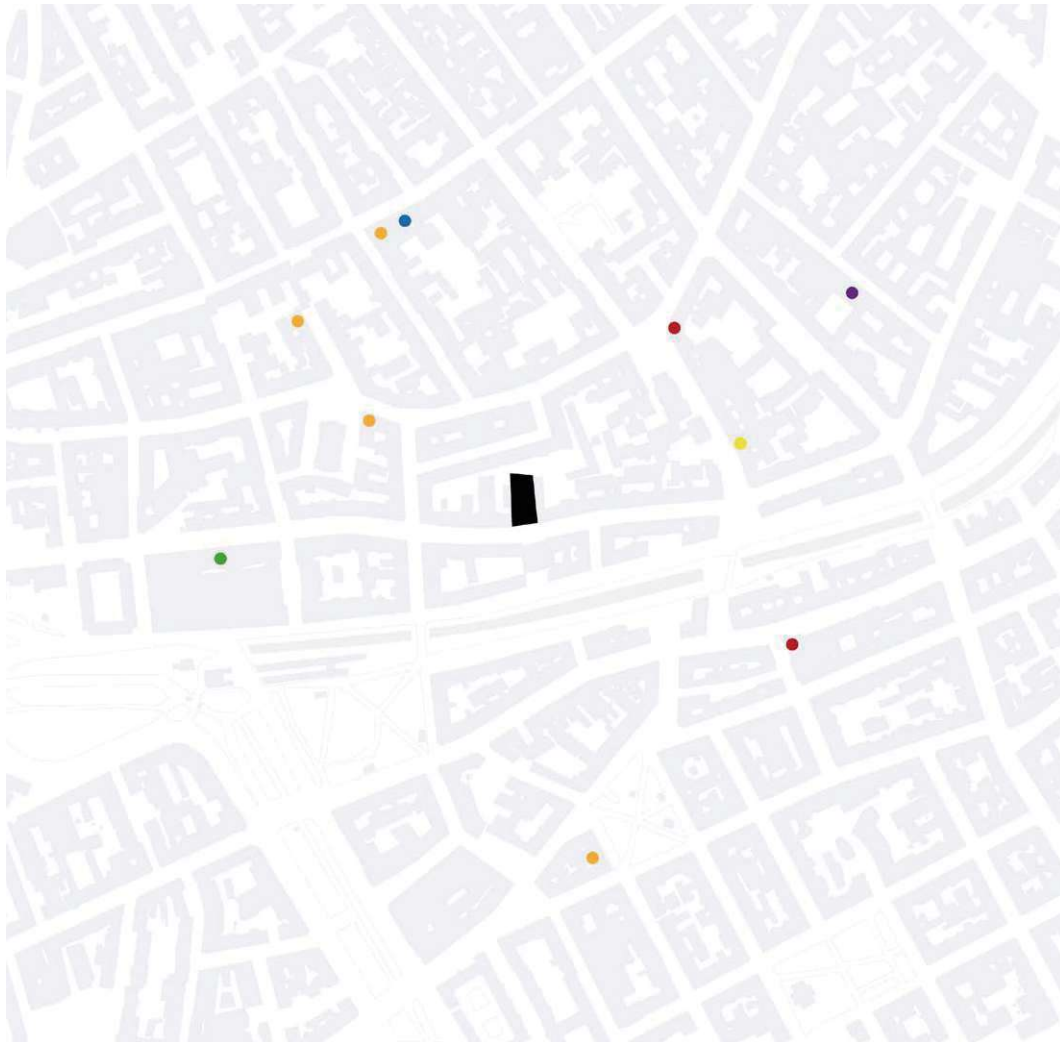


Abb.42: Öffentliche Einrichtungen

- Apotheke
- Volksschule
- Neue Mittelschule
- Allgemein bildende höhere Schule
- Berufsschule
- Wohn. u. Pflegehaus
- Bücherei

METHODE

2.5.5 Gastronomie

In der direkten Umgebung des Grundstücks gibt es einige Restaurants, Cafés und Bars. Richtung stadteinwärts auf der Gumpendorfer Hauptstraße vermehrt sich das Angebot deutlich (siehe Abb. 43).

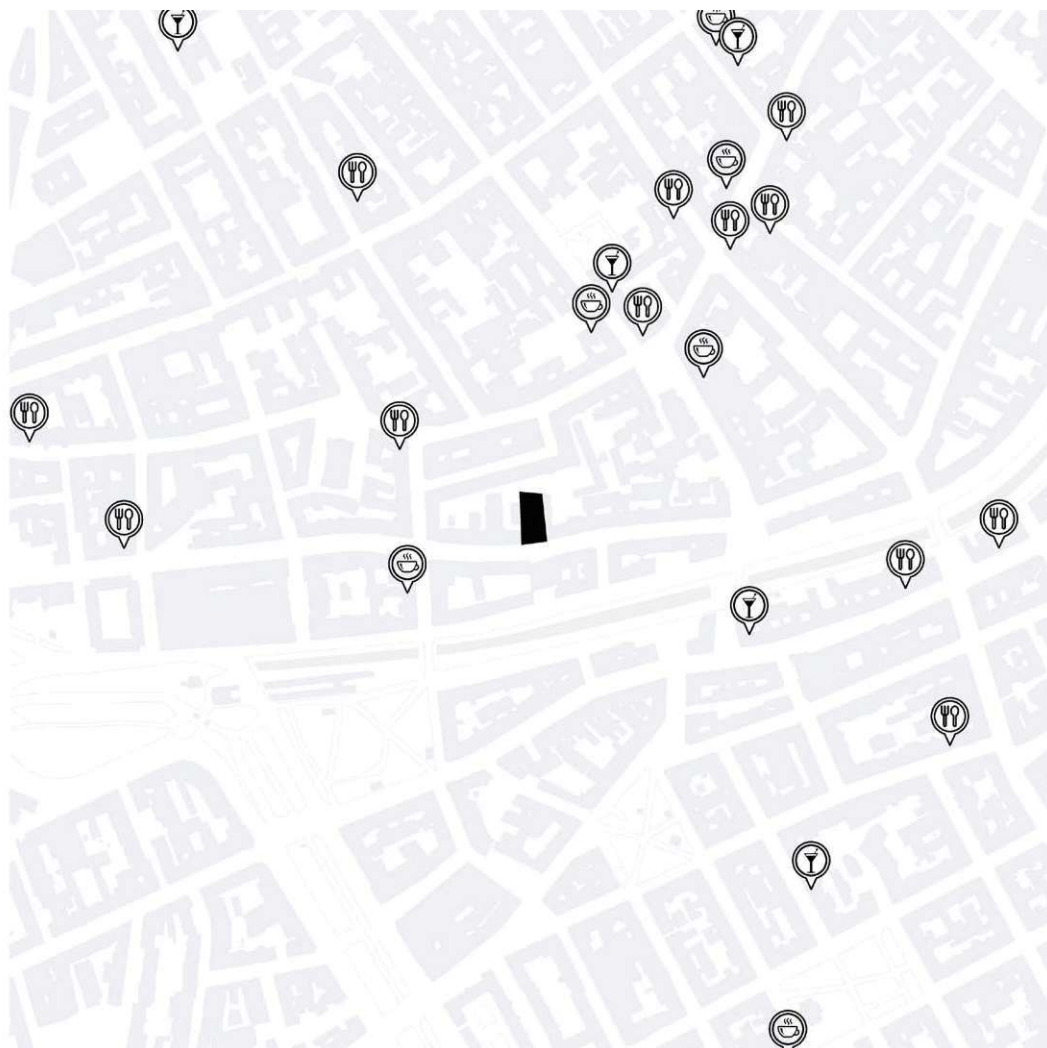


Abb.43: Gastronomie

-  Restaurants
-  Cafés
-  Bars

2.6 Bauplatzanalysen Grundstück

2.6.1 Fotodokumentation Grundstück

Die folgenden Bilder wurden am 3. Oktober 2023 zur Dokumentation des Bauplatzes aufgenommen (siehe Abb. 44 - 47).



Abb.44: Foto Bauplatz 1



Abb.45: Foto Bauplatz 2



Abb.46: Foto Bauplatz 3

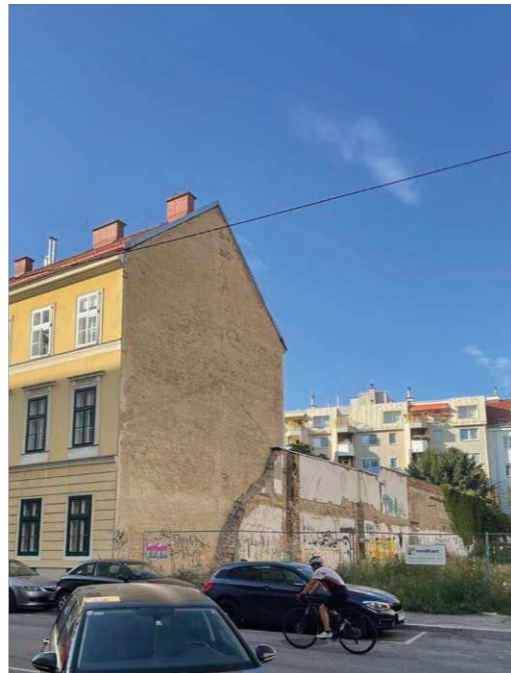


Abb.47: Foto Bauplatz 4

METHODE

2.6.2 Bodenbeschaffenheit

In der Umgebung des Bauplatzes befindet sich Auboden (siehe Abb. 48). In dieser von der Stadt Wien kategorisierten Bodenklasse finden sich Bodentypen, die durch Ablagerung von meist frischem, unterschiedlich verwittertem Gesteins- oder Bodenmaterial durch Fließgewässer charakterisiert sind. Auboden befindet sich typischerweise im Bereich von Gewässern, wie an diesem Beispiel auf allen Grundstücken, die entlang des Wien Flusses liegen (Bodentypen im Stadtplan, Stand 03.02.2024).

Da der Boden durch Überschwemmungen mit Nährstoffen angereichert wurde gilt er als sehr fruchtbar. Daher wird diese Bodenkategorie häufig für landwirtschaftliche Zwecke genutzt (Auenböden, Stand 03.02.2023).

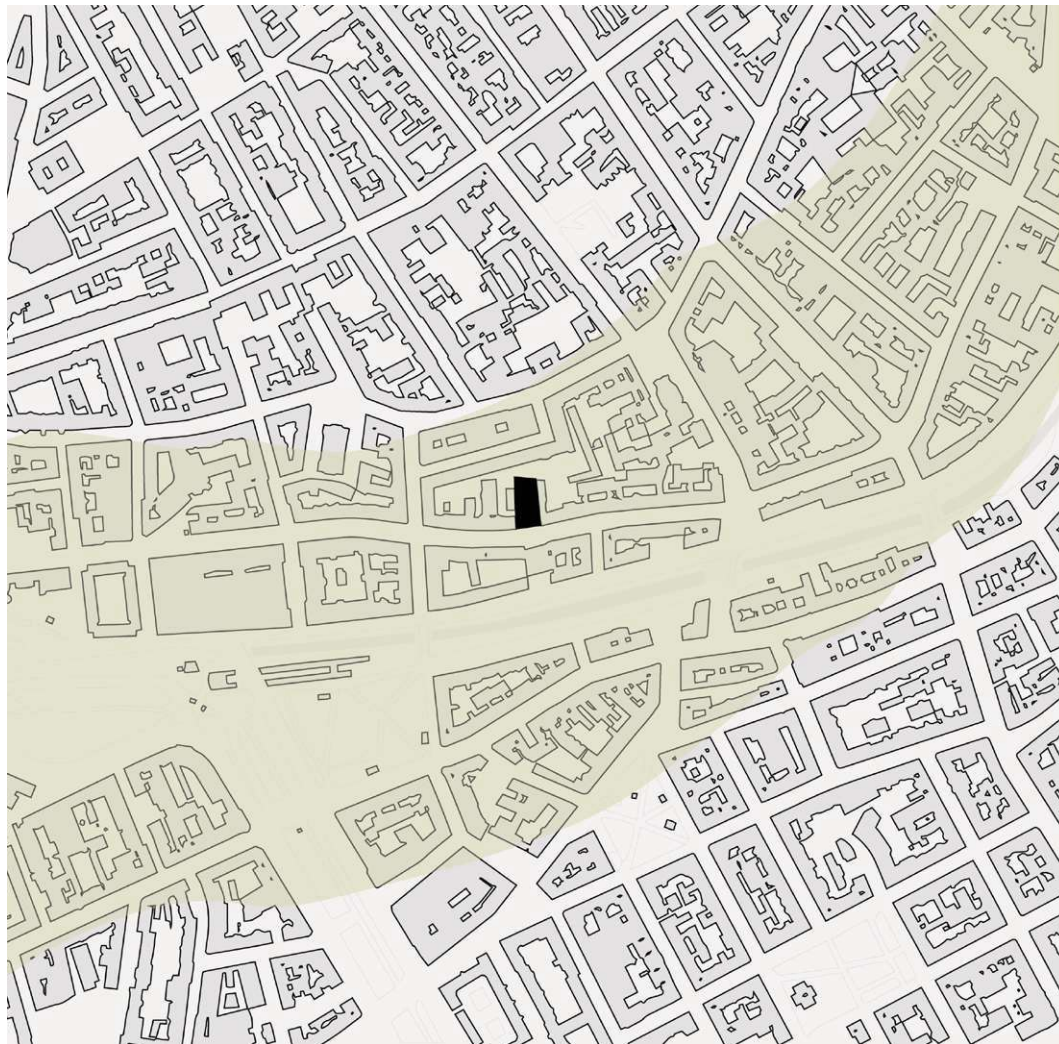


Abb.48: Bodenbeschaffenheit

- Braunerde
- Auboden

2.6.3 Sonnenstudien

Bei den Sonnenstudien wird analysiert, wie sich der Schatten verhält, wenn angenommen wird, dass der Baukörper straßenseitig (Bauklasse 4, siehe Kapitel 2.4 Bebauungsbestimmungen Bauplatz) als Wohngebäude mit maximaler Höhe bebaut wird sowie ein weiterer Baukörper im Innenhof entweder im Westen (siehe Abb. 49) oder im Osten (siehe Abb. 50) des Grundstücks platziert wird. Im Folgenden werden die beiden Varianten mit deren Schattenflächen verglichen.

2.6.3.1 Gebäude im Westen des Bauplatzes platziert

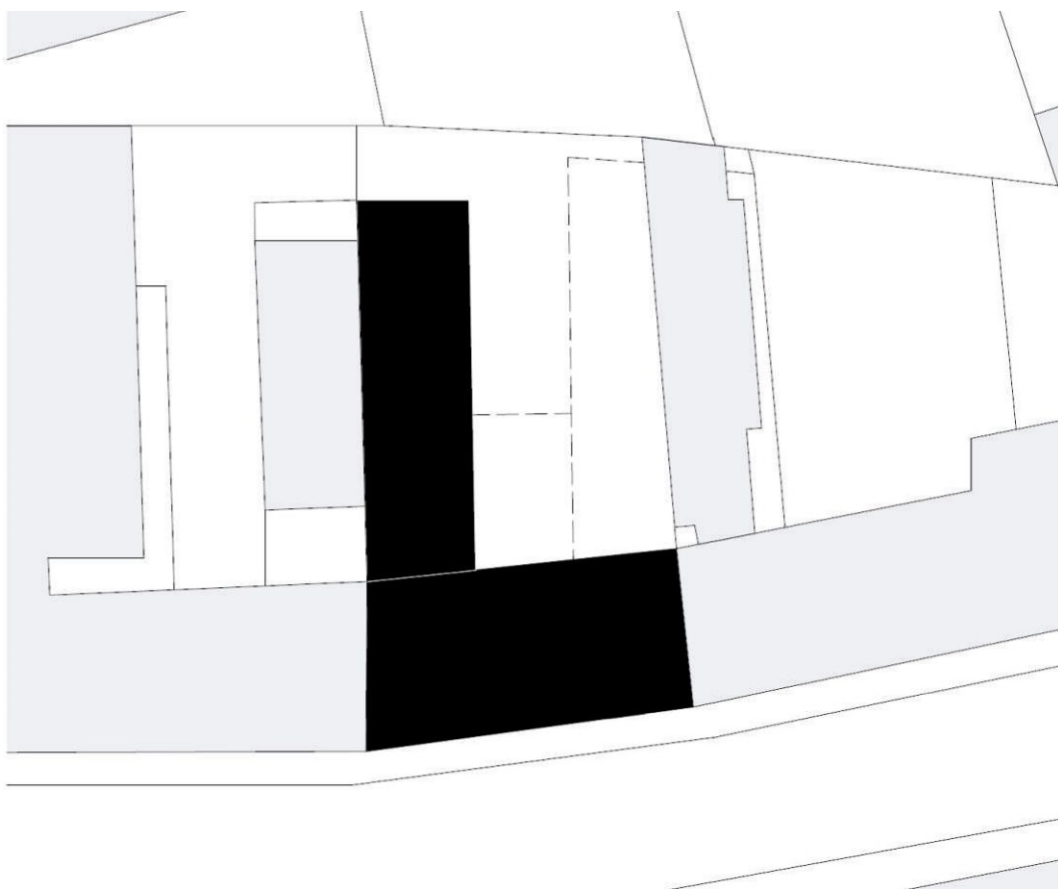


Abb.49: Gebäude im Westen platziert

Die Schattenfläche wird in Prozent der Gesamtfläche angegeben, kategorisiert werden außerdem Schattenflächen im Innenhof, auf der Fassade des Gebäudes hofseitig, sowie auf dem Dach des Baukörpers im Innenhof.

Uhrzeit	Hof [%]	Gebäude hofseitig [%]	Dach [%]
4:00	100	95	20
5:00	100	80	0
6:00	100	50	0

METHODE

7:00	100	0	0
8:00	90	0	0
9:00	60	5	5
10:00	40	5	5
11:00	30	5	5
12:00	30	100	5
13:00	40	100	4
14:00	60	100	3
15:00	90	100	0
16:00	100	100	0
17:00	95	100	0
18:00	100	100	50
19:00	100	100	100
Gesamt %	1235	1040	197
Schattenfläche in % im Durchschnitt pro Stunde	77%	65%	12%

2.6.3.2 Gebäude im Osten des Bauplatzes platziert

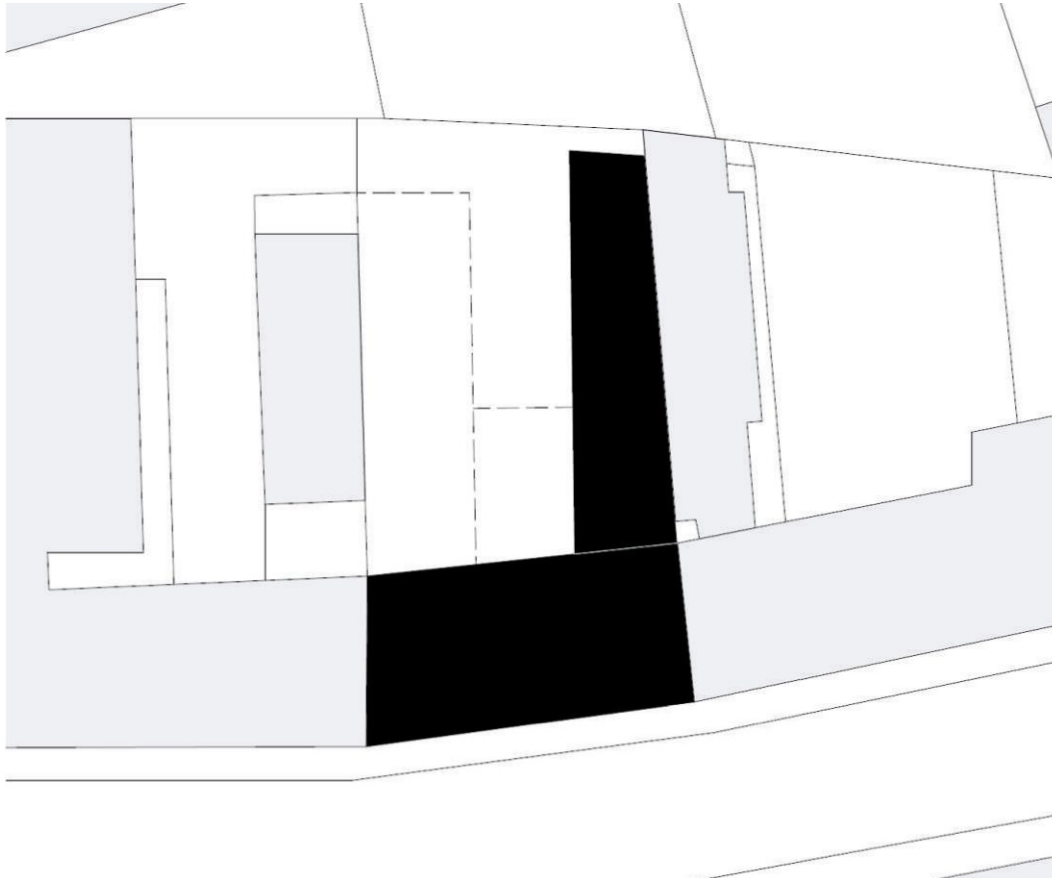


Abb.50: Gebäude im Osten platziert

Uhrzeit	Hof [%]	Gebäude hofseitig [%]	Dach [%]
4:00	100	100	0
5:00	100	100	30
6:00	90	100	0
7:00	100	100	0
8:00	100	100	5
9:00	70	100	10
10:00	50	100	10
11:00	30	100	10
12:00	30	20	10
13:00	20	20	10
14:00	15	15	5
15:00	20	5	3
16:00	40	0	0
17:00	70	3	0
18:00	100	50	0
19:00	100	100	100
Gesamt %	1035	1013	193
Schattenfläche in % im Durchschnitt pro Stunde	64%	63%	12%

2.6.3.3 Auswertung der Sonnenstudie

Der Vergleich der beiden Baukörper zeigt auf, dass das im Osten platzierte Gebäude im Innenhof, auf der Fassade des Baukörpers und auf dem Dach des Baukörpers jeweils weniger Schattenfläche im Durchschnitt in Prozent aufweist. Weiters wird ersichtlich, dass die Nachmittagssonne durch das im Osten platzierte Gebäude auf dem Grundstück besser genutzt werden kann, wohingegen der im Westen platzierte Baukörper mehr die Vormittagssonne begünstigt.

2.7 Conclusio der Analysen

Die sorgfältige Analyse des ausgewählten Bauplatzes in der Mollardgasse 50 im 6. Wiener Gemeindebezirk Mariahilf ermöglicht eine umfassende Betrachtung verschiedener Faktoren, die maßgeblichen Einfluss auf die architektonische Gestaltung haben. Mit etwa 1000 m² bietet dieser Standort nicht nur Raum für architektonische Experimente, sondern eröffnet auch die Möglichkeit, innovative Konzepte zur Verbesserung der städtischen Lebensqualität zu integrieren.

Die Identifikation einer Hitzeanfälligkeit im UHVI-Bereich von 0,8 legt den Fokus auf die Notwendigkeit kreativer Lösungen zur Minimierung der Hitzebelastung. Durch die Integration von begrünten Dächern, Fassadenbegrünung und effizienter Gebäudeplanung im Entwurf können wir einen substanziellen Beitrag zur Schaffung eines klimaresilienten Stadtteils leisten.

Die herausragende Anbindung an den öffentlichen Verkehr durch die U4-Station Margaretengürtel und diverse Bus- und Straßenbahnlinien bildet eine Grundlage für nachhaltige Mobilität und die Förderung einer umweltfreundlichen Verkehrsinfrastruktur. Im Entwurf sollten diese Verkehrsanbindungen betont und öffentliche Bereiche nahe der Station gestaltet werden.

Die geringe Grünflächenabdeckung in Mariahilf motiviert, gezielte Interventionen vorzunehmen, wie die Integration von Grünflächen bzw. eines Parks. Der Entwurf kann nicht nur die Lebensqualität steigern, sondern auch einen Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit leisten.

Die Vielzahl von Bildungseinrichtungen in unmittelbarer Umgebung schafft die Möglichkeit, diese in den Entwurf zu integrieren und das Bildungsangebot durch die potenzielle Ergänzung einer Mediathek zu vervollständigen.

Die bestehende Gastronomieszene bildet eine solide Grundlage für die Schaffung eines lebendigen sozialen Umfelds, das durch eine gezielte Entwicklung weiter gestärkt werden kann.

Besonders hervorzuheben ist die Bodenbeschaffenheit des Bauplatzes, die aus Auboden besteht. Die fruchtbare Natur dieses Bodentyps ermöglicht die Schaffung von urbanen Gärten oder grünen Freiflächen, die das Konzept einer ökologisch verantwortungsvollen Planung weiter unterstützen.

Insgesamt stellt der Bauplatz in der Mollardgasse einen vielversprechenden Rahmen dar, um architektonische Innovationen mit einem starken Fokus auf Nachhaltigkeit zu verbinden. Der Einsatz von Stampflehm als zentrales Baumaterial verspricht nicht nur ästhetische Relevanz, sondern auch eine wegweisende Integration ökologischer Prinzipien in die städtische Umgebung. Der Entwurf wird somit nicht nur den Bedürfnissen der Gemeinschaft gerecht, sondern setzt auch einen Maßstab für zukunftsweisende städtebauliche Lösungen.

3 ERGEBNISSE

3.1 Entwurfsentscheidungen

3.1.1 Welche Fläche wird bebaut?

Die Analysen des Bauplatzes sowie der Umgebung haben klar aufgezeigt, dass im 6. Wiener Gemeindebezirk deutlich mehr Grünflächen gefordert sind. Die Planungsentscheidung fällt daher entsprechend aus, nur den vorderen Baukörper zur Straßenseite hin mit einem Wohngebäude zu planen und im Hof eine 3-geschoßige Mediathek zu platzieren (siehe Abb. 51). Durch Sonnenstudien sowie die existierenden Nachbargebäude fiel die Entscheidung auf den östlichen Part des Grundstückes, um die Mediathek zu verorten. Auf der restlichen Fläche des 1000m² großen Bauplatzes wird ein öffentlich zugänglicher Park geplant.



Abb.51: Platzierung Gebäude

3.1.2 Materialwahl

Der Kernentwurf setzt sich mit dem Konzept des Einsatzes natürlicher Materialien im städtischen Wohnbau auseinander (siehe Abb. 52). Das zentrale Anliegen besteht darin, ein Wohnhaus und eine kleine Mediathek zu entwerfen, welche nicht nur ästhetisch ansprechend sind, sondern auch ein erfrischendes und erholsames Klima inmitten der städtischen Umgebung schaffen. Die Natur gilt seit jeher als Erholungsraum, viele Städter flüchten auf das Land um der turbulenten Stadt zu entkommen (Hofmeister, Schoof, 2018, S.8). Aber warum kann die Natur nicht auch in der Stadt diesen gesuchten Erholungsort bieten? Dieses Ziel wird durch die Verwendung von natürlichen Materialien, insbesondere durch den umfangreichen Einsatz von Lehm und Holz und die Schaffung eines großflächigen Parks im Innenhof versucht zu erreichen.

Der gegenwärtige Zeitpunkt macht einen solchen Ansatz besonders relevant. Angesichts der zunehmenden Urbanisierung und der damit einhergehenden Umweltbelastungen ist es von entscheidender Bedeutung, nachhaltige Baupraktiken zu fördern, die die natürlichen Ressourcen schonen und die Lebensqualität in urbanen Gebieten verbessern. Der Rückgriff auf natürliche Materialien wie Lehm und Holz ermöglicht nicht nur eine Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks, sondern schafft auch ein gesundes und angenehmes Raumklima für die Bewohner. Darüber hinaus wird im Rahmen dieses Konzepts ein besonderer Fokus auf die Schaffung einer grünen Oase im Innenhof gelegt. Diese grüne Oase dient nicht nur als Rückzugsort und Erholungsraum für die Bewohner des Wohnhauses, sondern stellt auch eine öffentlich zugängliche Grünfläche dar, die das Gefühl von Natur und Wald in die Stadt zurückbringt.

Insgesamt zielt dieses Konzept darauf ab, die Vorteile natürlicher Baustoffe und grüner Raumgestaltung zu vereinen, um eine nachhaltige und lebenswerte städtische Umgebung zu schaffen, die sowohl ökologisch als auch sozial verantwortungsbewusst ist.



Abb.52: Materialkonzeptskizze

3.2 Konzept

3.2.1 Raumprogramm

Im Raumprogramm werden die funktionalen Anforderungen und Raumbedürfnisse der einzelnen Bereiche innerhalb der beiden Bauten Wohnhaus und Mediathek genauer betrachtet. Es dient als Leitfaden für den weiteren Entwurf.

WOHNHAUS

WOHNEN	<ul style="list-style-type: none"> Singlewohnungen Couplewohnungen Familienwohnungen Wohngemeinschaft 	COMMUNITY	<ul style="list-style-type: none"> Aufenthaltsräume Lernräume Laubengänge
FUNKTIONSRÄUME	<ul style="list-style-type: none"> Fahrradraum Müllraum Kellerabteile Haustechnikraum 	CAFÉ	<ul style="list-style-type: none"> Sitzplätze Caféküche Lagerraum Wintergarten Sanitärraum Terrasse

MEDIATHEK

BIBLIOTHEK	<ul style="list-style-type: none"> Empfang Bücherei Ausstellungsbereich 	ARBEITSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> Sitzstufen Workspace classic Workspace multimedia Chillout-Lounges
FUNKTIONSRÄUME	<ul style="list-style-type: none"> Sanitärräume Barrierefreies WC Archiv 		

3.2.2 Verortung der Nutzungen

In der groben Verortung der Zonen (siehe Abb. 53) ist ersichtlich, dass im Block straßenseitig hauptsächlich Wohnen vermisch mit Community-Nutzungen, um die Nachbarn zu treffen, stattfindet. Zusätzlich befindet sich im Erdgeschoß des sechsstöckigen Wohnbaus noch ein öffentliches Café. Im länglichen Bauwerksteil befindet sich die Mediathek welche die Funktionen Bibliothek, Ausstellungsraum und Multimedia-Arbeitsplätze vereint.



Abb.53: Verortung der Nutzungen

ERGEBNISSE

3.2.3 Konzept Öffentliche Räume - Private Räume

Um eine gute Nutzungsdurchmischung auf dem Grundstück zu erhalten, wurde die öffentliche Mediathek im hinteren Part des Grundstücks verortet. Die Erdgeschoßzone wird vollkommen öffentlich gestaltet, dadurch werden die Besucher in das Café, den öffentlichen Park und die Mediathek geleitet. Auch im vorwiegend privaten Wohnhaus befinden sich in den oberen Geschoßen halböffentliche Aufenthaltsräume für die Hausbewohner um die Interaktion dieser zu verstärken (siehe Abb. 54).

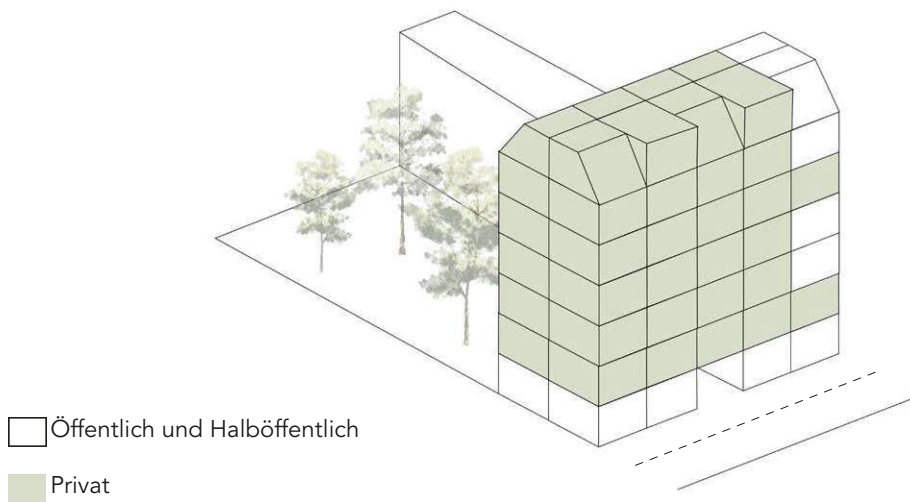


Abb.54: Konzept Öffentlich - Privat

3.2.4 Wegführung Erdgeschoßzone

In Abb. 55 wird ein Beispiel möglicher Wegführung durch die Erdgeschoßzone von unterschiedlichen Personengruppen aufgezeigt. Ziel ist es, das Erdgeschoß für alle Wienerinnen und Wiener zugänglich zu machen und als öffentlichen Aufenthaltsort zu gestalten.

Beispielpersonen:

- 01 Ein Bewohner des Wohnkomplexes ist auf dem Nachhauseweg.
- 02 Eine Dame ist unterwegs zu einer öffentlichen Ausstellung in der Mediathek und erkundet diese.
- 03 Ein Pärchen wohnt in der Gegend und ist auf der Suche nach einem gemütlichen Café zum verweilen.
- 04 Ein Arbeiter der Stadt Wien holt den Müll der Hausbewohner direkt straßenseitig ab und bringt ihn zum Fahrzeug.
- 05 Eine Familie spaziert zum großzügig angelegten Park im Innenhof und verbringt dort den Nachmittag im Grünen.

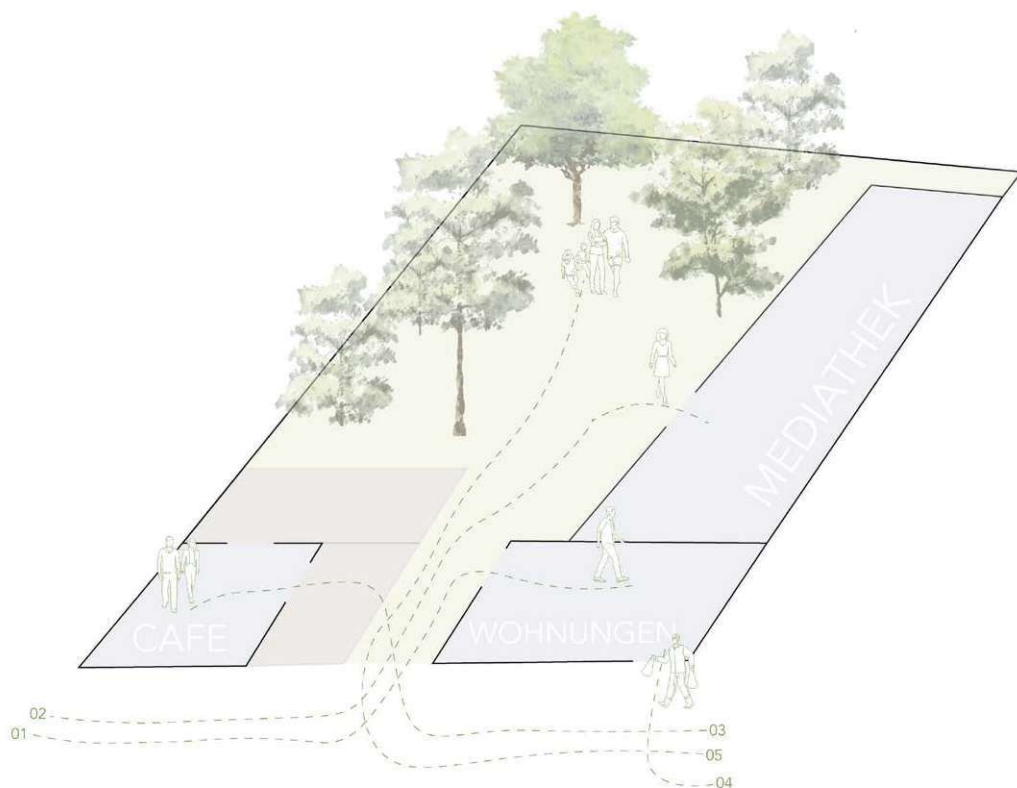


Abb.55: Wegführung Erdgeschoßzone

3.3 Entwurf

3.3.1 Bauteile und Materialien

3.3.1.1 Außenwände/Fassade

Die Außenwände werden je nach Abnutzung und Richtung unterschiedlich gewählt. In der Innenseite im Erdgeschoß sowie an der Fassade Richtung Innenhof wird eine Lehmbau-Außenwand (siehe Abb.56) mit Zwischendämmung geplant. Aufgrund von Abnutzung der Fassade straßenseitig, wie z.B. die Belastung durch Streumitteinsatz im Winter, Schlagregen, die Abnutzung durch Müllabfuhr, das Abstellen von Fahrrädern oder die allgemeine Luftbelastung durch den Mobilen Individual Verkehr wäre es nicht zielführend, aufseiten der Straße ebenfalls eine Lehmaußenfassade zu planen. Daher wurde straßenseitig eine hinterlüftete Holz-fassade (siehe Abb. 57) als Außenwand gewählt (Außenwand - awmoho03a-01, Stand: 02.08.2023).

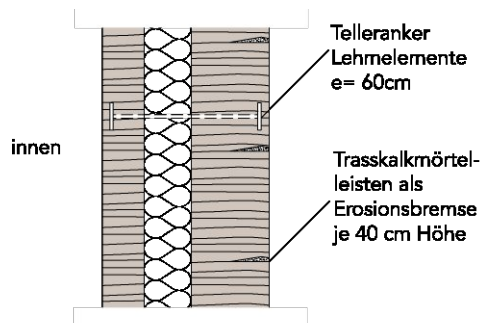


Abb.56: Lehmwand

Lehmfassade (außen nach innen)	
28,0	Stampflehmelement vorgestampft
17,0	Schaumglasschotterdämmung
15,0	Stampflehmelement vorgestampft

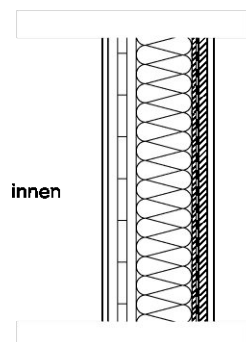


Abb.57: Holzwand

Holzwandaufbau (außen nach innen)	
2,4	Holz Lärche Außenverkleidung
3,0	Holz Fichte Lattung (3/5)
	Diffusionsoffene Folie $sd \leq 0,3 \text{ m}$
1,5	Gipsfaserplatte
20,0	Konstruktionsholz (6/20)
	dazw. Mineralwolle
10,0	Brettsperrholz verklebt
2,2	3-Schichtplatte Fichte

3.3.1.2 Decken

Die Decken wurden im Entwurf als 16 cm starke KLH-Decken (Aufbau siehe Abb. 58) gewählt, diese entsprechen den erforderlichen Kriterien hinsichtlich Statik, Schallübertragung sowie Brandschutz. Um die Akustik im Gebäudeinnern zu verbessern, wird eine Akustikfolie auf der Holzdecke angebracht, sowie eine ökologische Perlite-Schüttdämmung (Perlite Schüttung, Stand: 02.05.2024) verwendet. Die Trittschalldämmung wird aus Gründen der Recyclingfähigkeit aus dem natürlichen Material Kork gewählt.

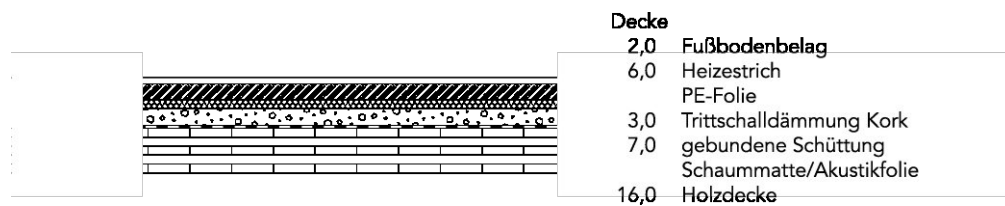


Abb.58: Holzdecke

3.3.1.3 Schächte

Bei der Wahl der Aufbauten der Schachtwände fällt die Wahl auf ein klassisches Schachtsystem der Firma Rigips (Schachtwände Rigips, S. 14, Stand 15.04.2022). Für die Optik des Schachtes wird außen noch eine zusätzliche Holzplatte angebracht (siehe Abb. 59). Auch der Lehm käme in Sachen Brandschutz durchaus in Frage, in Falle eines Rohrbruchs innerhalb des Schachts jedoch, wäre eine Sanierung deutlich aufwendiger und würde auch mehr Schaden mit sich bringen.

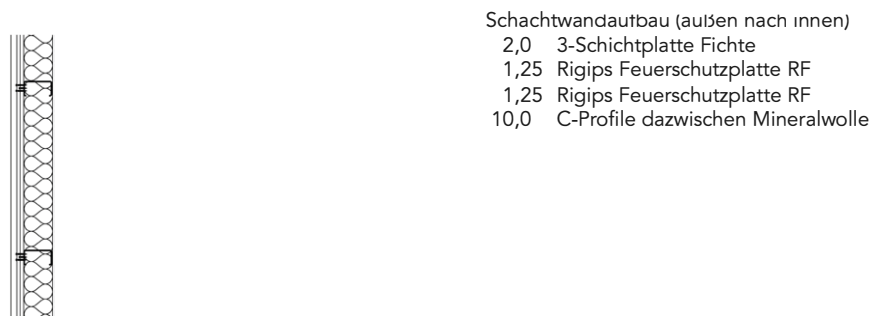


Abb.59: Schachtwand

ERGEBNISSE

3.3.1.4 Innenwände

Die Innenwände wurden aufgrund der hohen raumklimatischen sowie akustischen Qualitäten des Material Lehms großteils aus 30 cm Stampflehmelementen gewählt (siehe Abb. 60). Die weiteren Zwischenwände bestehen aus einer Holzkonstruktion, welche wahlweise mit Holzoptik oder Lehmbauplattenoptik (siehe Abb. 61) gewählt wird (Innenwand iwrxxo11a, Stand 02.05.2024).

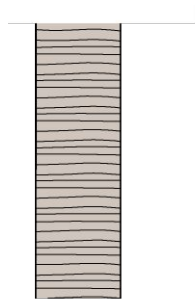


Abb.60: Lehminnenwand

Innenwand
30,0 Stampflehm

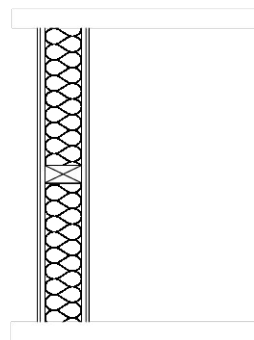


Abb.61: Holzzinnenwand

Innenwand
1,0 wahlweise Holz 3-Schichtplatte
oder Lehmplatte
1,6 Kronospan OSB Firestop
12,0 Konstruktionsholz (e=625mm)
dazwischen Mineralwolle
1,6 Kronospan OSB Firestop
1,0 wahlweise Holz 3-Schichtplatte
oder Lehmplatte

3.3.1.5 Treppen

Die Wahl von Fertigteiltreppen aus Holz wird nicht nur wegen ihrer Ästhetik, sondern auch aufgrund der Verwendung eines natürlichen Materials getroffen. Die natürliche Schönheit und Wärme des Holzes verleihen den Treppen eine zeitlose Eleganz und schaffen eine harmonische Verbindung zur Wahl anderer Baumaterialien, wie zum Beispiel zum Stampflehm im Raum.

3.3.1.6 Fenster

Die Entscheidung, auch für die Fenster das klassische Material Holz zu wählen, beruht auf einer Vielzahl von überzeugenden Vorteilen, die Holzfenster mit sich bringen. Nicht nur die ästhetische Ausstrahlung des Holzes spielt dabei eine Rolle, sondern auch seine ausgezeichneten wärme- und schalldämmenden Eigenschaften. Darüber hinaus bieten Holzfenster eine natürliche Atmungsaktivität, die zur Aufrechterhaltung eines gesunden Raumklimas beiträgt sowie eine bemerkenswerte Langlebigkeit. Diese Kombination aus ästhetischem Charme und funktionalen Vorteilen macht Holzfenster zu einer zeitlosen Wahl, die den Ansprüchen an Komfort, Effizienz und Nachhaltigkeit gleichermaßen gerecht wird.

3.3.1.7 Brandschutzwände

Anforderungen an eine Brandschutzwand (siehe Abb. 62) :

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	
					≤ 6 oberirdische Geschoße	> 6 oberirdische Geschoße
1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)						
1.1 im obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60 ⁽⁵⁾	R 60
1.2 in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽¹⁾	R 30	R 60	R 60	R 90	R 90 und A2
1.3 in unterirdischen Geschoßen	R 60	R 60	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2
2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)						
2.1 im obersten Geschoß	-	REI 30 EI 30	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 ⁽⁵⁾ EI 60	REI 60 EI 60
2.2 in oberirdischen Geschoßen	-	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.3 in unterirdischen Geschoßen	-	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.4 zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	nicht zutreffend
3 brandabschnittsbildende Wände und Decken						
3.1 brandabschnittsbildende Wände an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 EI 60	REI 90 ⁽²⁾ EI 90 ⁽²⁾	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
3.2 sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	nicht zutreffend	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°						
4.1 Decken über dem obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60	R 60
4.2 Trenndecken über dem obersten Geschoß	-	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60	REI 60
4.3 Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	-	REI 30	REI 60	REI 60	REI 90	REI 90 und A2
4.4 Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽¹⁾	R 30	R 30	R 30	R 60	R 90 und A2
4.5 Decken über unterirdischen Geschoßen	R 60	REI 60 ⁽³⁾	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
5 Balkonplatten ⁽⁶⁾	-	-	-	R 30 oder A2	R 30 oder A2	R 30 und A2 ⁽⁴⁾
(1) Nicht erforderlich bei Gebäuden, die nur Wohnzwecken oder der Büronutzung bzw. büroähnlichen Nutzung dienen;						
(2) Bei Reihenhäusern genügt für die Wände zwischen den Wohnungen bzw. Betriebseinheiten auch an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze eine Ausführung in REI 60 bzw. EI 60;						
(3) Für Reihenhäuser sowie Gebäude mit nicht mehr als zwei Betriebseinheiten mit Büronutzung bzw. büroähnlicher Nutzung genügt die Anforderung R 60;						
(4) Bei Einzelbalkonen genügt eine Ausführung in R 30 oder A2, wenn die Fläche nicht mehr als 10 m ² , die Auskragung nicht mehr als 2,50 m und der Abstand zwischen den Einzelbalkonen mindestens 2,00 m beträgt;						
(5) Die Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten genügt für die beiden obersten Geschoße, wenn alle sonstigen oberirdischen Geschoße in R 90 und A2 bzw. EI 90 und A2 bzw. REI 90 und A2 ausgeführt werden;						
(6) Balkonplatten sind als vollflächiger Bauteil herzustellen.						

Abb.62: Auszug OIB-Richtlinie 2

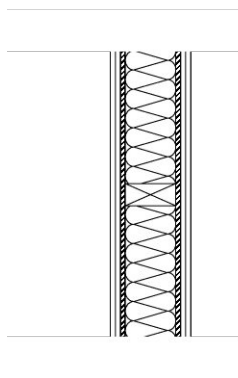
ERGEBNISSE

Wie in der vorigen Abbildung ersichtlich, sind die Anforderungen in diesem Fall (Gebäudeklasse 4) an eine Brandschutzwand REI 90 und A2. Außerdem wird in der DIN 4102 erwähnt, dass eine Brandschutzwand aus ausschließlich nicht brennbaren Materialien besteht.

1. Brandschutzwand Holz

Obwohl Holz nicht zu den nicht brennbaren Materialien gezählt werden kann, dieses ist dem Bereich B2 – normalentflammbar zugeordnet. Wurde dennoch vom Hersteller Rigips ein System entwickelt, das die Brandbeständigkeit REI 90 erfüllt (Aufbau siehe Abb. 63). Für die Holz- und Gipskartonkonstruktion wurde von der Materialprüfanstalt Braunschweig ein „Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis“ erstellt welches nachweist, dass die Konstruktion der Feuerwiderstandsdauer von REI 90 entspricht, also 90 Minuten (Neue „Brandwand“ für den Holzbau, Stand: 02.03.2024).

Die Konstruktion besteht aus 2 x 18 mm „Rigipsfeuerschutzplatten“ und einer 18 mm Holzwerkstoffplatte auf jeder Seite. Auch Schalldämmwerte von bis zu 67 dB können laut Hersteller erreicht werden. (HW13RF, www.rigips.de, Stand: 01.02.2020)



Holzwandaufbau (außen nach innen)	
1,8	Rigips Feuerschutzplatte RF
1,8	Rigips Feuerschutzplatte RF
1,8	Holzwerkstoffplatte
18,0	Holzständer dazwischen Mineralwolle
1,8	Holzwerkstoffplatte
1,8	Rigips Feuerschutzplatte RF
1,8	Rigips Feuerschutzplatte RF

Abb.63: Brandschutzwand Hersteller Rigips

2. Brandschutzwand Lehm

Da es für den Lehmbau in den österreichischen Normen zurzeit noch keine Richtlinien zu zulässigen Brandschutzsicherheiten gibt, sind die einzigen Richtlinien, die den Lehmbau momentan beinhalten, die DIN Normen (siehe Anhang). Daher müssen Projekte, die Lehmwände als Brandschutzwände verwenden, eine individuelle Brandschutzprüfung in Auftrag geben, welche sehr kostspielig ist. Dass der Lehm die Brandschutzbestimmungen einhalten kann beweist ein Beispiel für eine solche individuelle Brandschutzprüfung für das LWL-Freilichtmuseum in Detmold. Es wurden im Zuge des Baus des LWL-Freilichtmuseums in Detmold im Juni 2022 an der MFPA in Leipzig (Materialprüfung und Materialforschung) Brandschutztests an tragenden Stampflehmwänden durchgeführt. Weil nicht ausreichend normative Bestimmungen vorlagen, war für dieses Projekt eine Zustimmung im Einzelfall notwendig, welche durch die erfolgreichen Brandschutzprüfungen erreicht werden konnte (Tragende Stampflehmwand im Brandversuch, Stand 02.05.2024). Die getesteten Stampflehmwände wurden in Anlehnung auf die gültige Mauerwerksnorm DIN EN 1996-1-1 getestet. Die Prüfwand hatte eine Stärke von 22 cm und eine Höhe von 13,3 m. Sie erreichte unter 15 Tonnen Belastung einen Brandschutz von *REI 90 - feuerbeständig* und wäre somit selbst als Brandschutzwand zugelassen, was in diesem Projekt aber nicht geplant war (Stampflehmkonstruktion im Brandversuch, Stand 02.05.2024).

Weiters wurde in der früheren DIN Norm 18951 Lehm bereits als *nicht brennbar* eingestuft. Die Voraussetzungen dafür waren, dass fasrige Bestandteile nur in geringen Mengen dem Lehm beigemischt sind. (Pro Lehm Brennbarkeit, Stand 02.05.2024)

Aufgrund dieser Brandschutzprüfungen wird auch in diesem Projekt angenommen, dass eine Lehmwand als Brandschutzwand verwendet werden kann. Es müssten dazu aber aufgrund von den abweichenden Stärken neue Brandschutzprüfungen stattfinden.

ERGEBNISSE

3.3.2 Regenwasserkonzept

Das Regenwasser wird sowohl innen als auch außen abgeleitet (siehe Abb. 64). Die straßenseitige Regenrinne wird in ein Fallrohr (DN 100) linksseitig der Fassade eingeleitet, welche ab dem ersten Obergeschoß nach innen verzogen wird. Das Wasser, das sich in den Rinnen der Loggia sammelt, wird nach innen hin abgeleitet. Zusätzlich wird noch an jeder Loggia ein Notüberlauf angebracht. Die innen liegenden Regenwasserrohre (DN 100) werden in zwei Schächten nach unten geführt. Das Wasser vom Gründach der Mediathek wird über eine Rinne in ein innenliegendes Fallrohr (DN 125) eingeleitet. Die Durchmesser der Fallrohre wurden nach Quadratmeter Dachflächen dimensioniert.

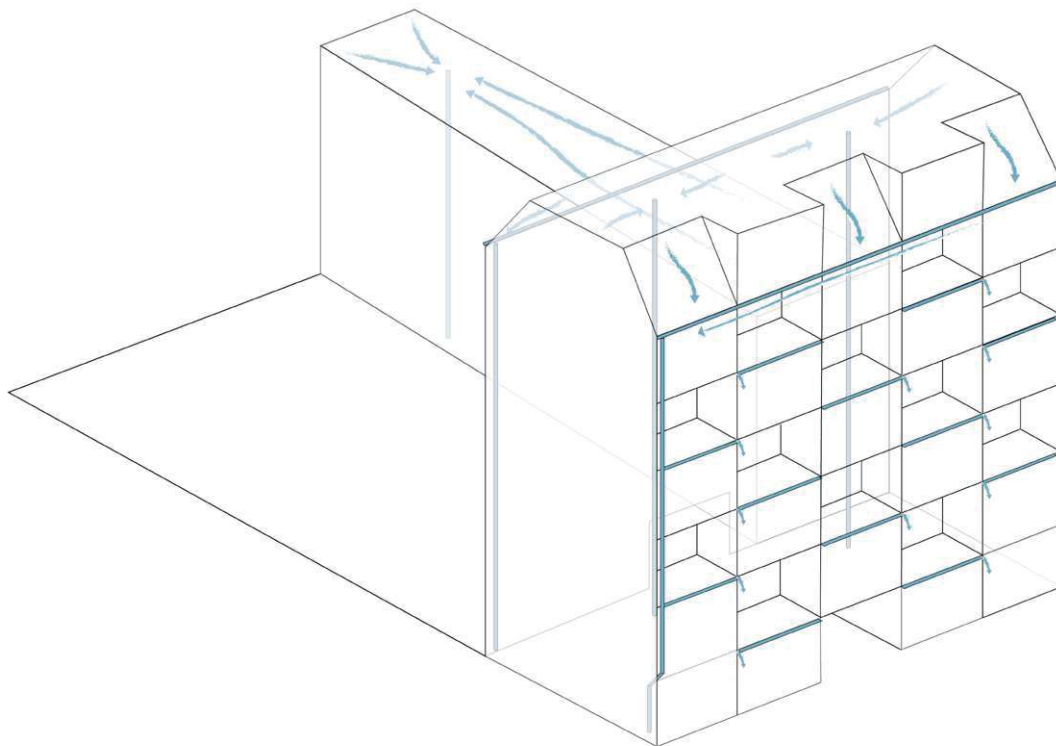


Abb.64: Abwasseraxonomie

3.3.3 Brandschutzkonzept

Das Brandschutzkonzept wurde als Beispiel für das 1.Obergeschoß erstellt, da in diesem Geschoß sowohl die Wohnungen, als auch die Mediathek sichtbar sind. Der Brandschutzplan wurde auf Grundlage der OIB- Richtlinie 2 entworfen.

Gebäudeklassen

Das Wohngebäude ist durch sieben oberirdische Geschoße und einem Fluchtniveau von 21 m in die Gebäudeklasse 5 (GK 5) einzuordnen.

Die Mediathek zählt mit drei oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von 7,80 m zur Gebäudeklasse 4 (GK 4).

Materialien

Die brandabschnittsbildenden Wände und Decken müssen in REI 90 und A2 ausgeführt werden. REI 90 bedeutet, dass die Tragfähigkeit, die raumabschließende Funktion, sowie Wärmedämmung des Bauteils im Brandfall für mindestens 90 Minuten bestehen bleibt. Es sind Baustoffe mit der Klassifizierung A2 also „nicht brennbar“ zu verwenden. Die Türe zum Brandabschnitt des Treppenhauses wird in E-30-C, also selbstschließend, ausgeführt.

Brandabschnitte

Die Wände zu den Nachbargebäuden die direkt angrenzend sind werden als Brandschutzwände ausgeführt, diese müssen 15 cm über Dach geführt werden.

Die gesamte Nettogrundfläche der Mediathek (über alle Geschoße hinweg) beträgt 394 m². Da die maximale Netto-Grundfläche eines Brandabschnittes für „andere Nutzung“ 1200 m² (siehe Abb. 65) beträgt, kann somit die gesamte Mediathek als ein Brandabschnitt angenommen werden.

Für das Wohngebäude gibt es laut OIB-RL 2 keine maximale Netto-Grundfläche eines Brandabschnittes lediglich eine maximale Längsausdehnung von 60 m die aber deutlich unterschritten wird. Daher wird der Wohnkomplex als ein Brandabschnitt, sowie das Stiegenhaus als ein Brandabschnitt angenommen.

Nutzung	Maximale Netto-Grundfläche eines Brandabschnittes	Maximale Längsausdehnung eines Brandabschnittes	Maximale Anzahl von oberirdischen Geschoßen je Brandabschnitt
Wohnnutzung	-	60 m	-
Büronutzung oder büroähnliche Nutzung	1.600 m ²	60 m	4
andere Nutzung ⁽¹⁾	1.200 m ²	60 m	4

Abb.65: Brandabschnitte

Fluchtwege

Die Fluchtwege dürfen maximal eine Länge von 40 m haben, werden bei den Wohnungen aber erst ab den Wohnungseingangstüren bis zum Treppenhaus gemessen. Hierbei dürfen sich die Wohnungen über maximal zwei Geschoße erstrecken, was in diesem Projekt der Fall ist. Dieser Weg beträgt im Wohnhaus maximal 15,6 m (von der am weitesten entfernten Wohnung zum Treppenhaus gemessen), was die maximale Gehweglänge von 40 m deutlich unterschreitet.

Der zweite Fluchtweg bzw. Rettungsweg kann beim Wohnhaus über die Fassade bzw. über die Loggien erfolgen.

In der Mediathek wird der Fluchtweg ins Freie von 40 m eingehalten und zusätzlich kann die Rettung durch die Feuerwehr über die hofseitige Fassade erfolgen.

Erste und erweiterte Löschhilfe

Im Wohnhaus wurde im Brandabschnitt Treppenhaus in jedem Geschoß ein tragbarer Feuerlöscher als erste Löschhilfe eingeplant. Weiters wurde in jedem Geschoß des Wohnhauses ein Wandhydrant mit formbeständigem D-Schlauch und geeigneter Anschlussmöglichkeit für die Feuerwehr zur Brandbekämpfung vorgesehen.

Rauchwarnmelder und Brandmeldeanlage

In den Wohnungen ist in jedem Aufenthaltsraum ein unvernetzter Rauchwarnmelder positioniert. Ebenso wurden entsprechende Brandmelder in der Mediathek eingeplant. Über dem Treppenhaus kommt eine mechanische Brandrauchentlüftung zum Einsatz.

Brandüberschlag

Da einige Öffnungen angrenzend an brandabschnittsbildende Wände einen Abstand von weniger als 50 cm haben, werden diese in EI-30 als Fixverglasung ausgeführt, sowie bei Wohnungseingangstüren als EI₂-30-C. Weiters wird der Brandüberschlag zur Mediathek, wobei der Winkel kleiner als 135 ° ist und der Abstand kleiner als 3,0 m, ebenfalls als EI-30 und EI₂-30-C ausgeführt (OIB-RL 2, S.3, Punkt 3.1.8).

Die Einhaltung der Brandschutzregelungen laut OIB-Richtlinie 2 sind als Beispiel im Brandschutzplan siehe Abb. 66 illustriert. Für die entsprechende Sicherheitsbeleuchtung ist noch ein zusätzlicher Sicherheitsbeleuchtungsplan notwendig.

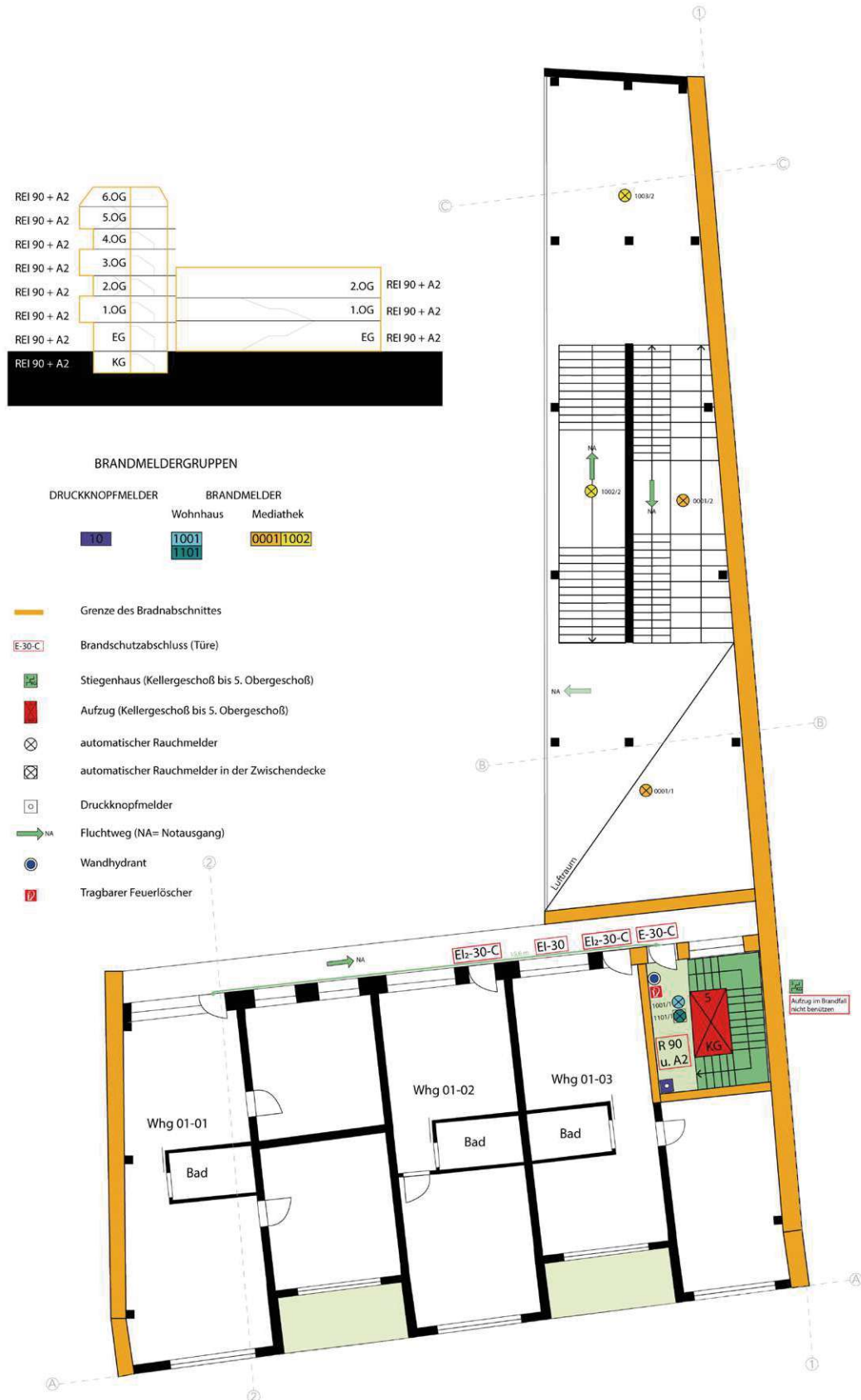


Abb.66: Darstellung des Brandschutzkonzepts, 1. Obergeschoß

3.4 Tragwerkskonzept

3.4.1 Tragwerk

3.4.1.1 Holzskelett

Um Lehmwände als tragende Konstruktion zu verwenden, sind zum einen sehr dicke Abmessungen erforderlich, was es in diesem Entwurf, bei dem das Gebäude in eine Baulücke geplant wird, eher unwirtschaftlich ist. Weiterhin ist die Beanspruchung durch in diesem Beispiel sechs oberirdische Geschoße für den reinen Lehm-bau in heutiger Zeit eher unüblich.

Als nachwachsender Rohstoff und durch die gute Kombinierbarkeit mit Lehm wurde daher ein Holzskelett als Tragkonstruktion gewählt (siehe Abb. 67). Holz bietet nicht nur ökologische Vorteile als nachwachsender Rohstoff, sondern besticht auch durch seine strukturellen Eigenschaften wie Festigkeit, Leichtigkeit und Flexibilität. Diese Eigenschaften machen es zu einer geeigneten Wahl für das Tragsystem des Gebäudes.

Das Holzskelett besteht im EG aus quadratischen Holzstützen mit rund 30 cm x 30 cm. In den oberen Geschoßen können die Stützen durch weniger Last kleinere Abmessungen haben. Weitere Bauteile des Tragkonzeptes sind Unterzüge aus Holz mit darauf liegenden Brettsperrholzdecken (genaue Bemessung der Bauteile siehe Anhang). Diese Konstruktionsweise gewährleistet nicht nur die nötige Stabilität, sondern ermöglicht auch eine ästhetisch ansprechende Gestaltung des Gebäudes.

Durch das Tragskelett wird ein freier Grundriss mit freier Anordnung der Wände erreicht. Dies hat den Hintergedanken, dass die Gebäudestruktur somit flexibel umgenutzt werden kann. Sollten also die Wohnungsgrundrisse in Zukunft nicht mehr zeitgemäß sein oder eine Mediathek an diesem Standort nicht mehr benötigt, kann die Gebäudestruktur auf andere Wohnformen bzw. gänzlich andere Nutzungen adaptiert werden, ohne das gesamte Gebäude abreißen zu müssen.

Dieses Konzept der Anpassungsfähigkeit wird durch die Verwendung des Holz-skeletts als Tragkonstruktion verstärkt, da Holz eine schnellere und kostengünstigere Anpassung an neue Anforderungen ermöglicht als konventionelle Baumaterialien. Holzskellette können also erfolgreich dazu beitragen, die Lebensdauer von Gebäuden zu verlängern und ihre Flexibilität für zukünftige Nutzungsänderungen zu verbessern.

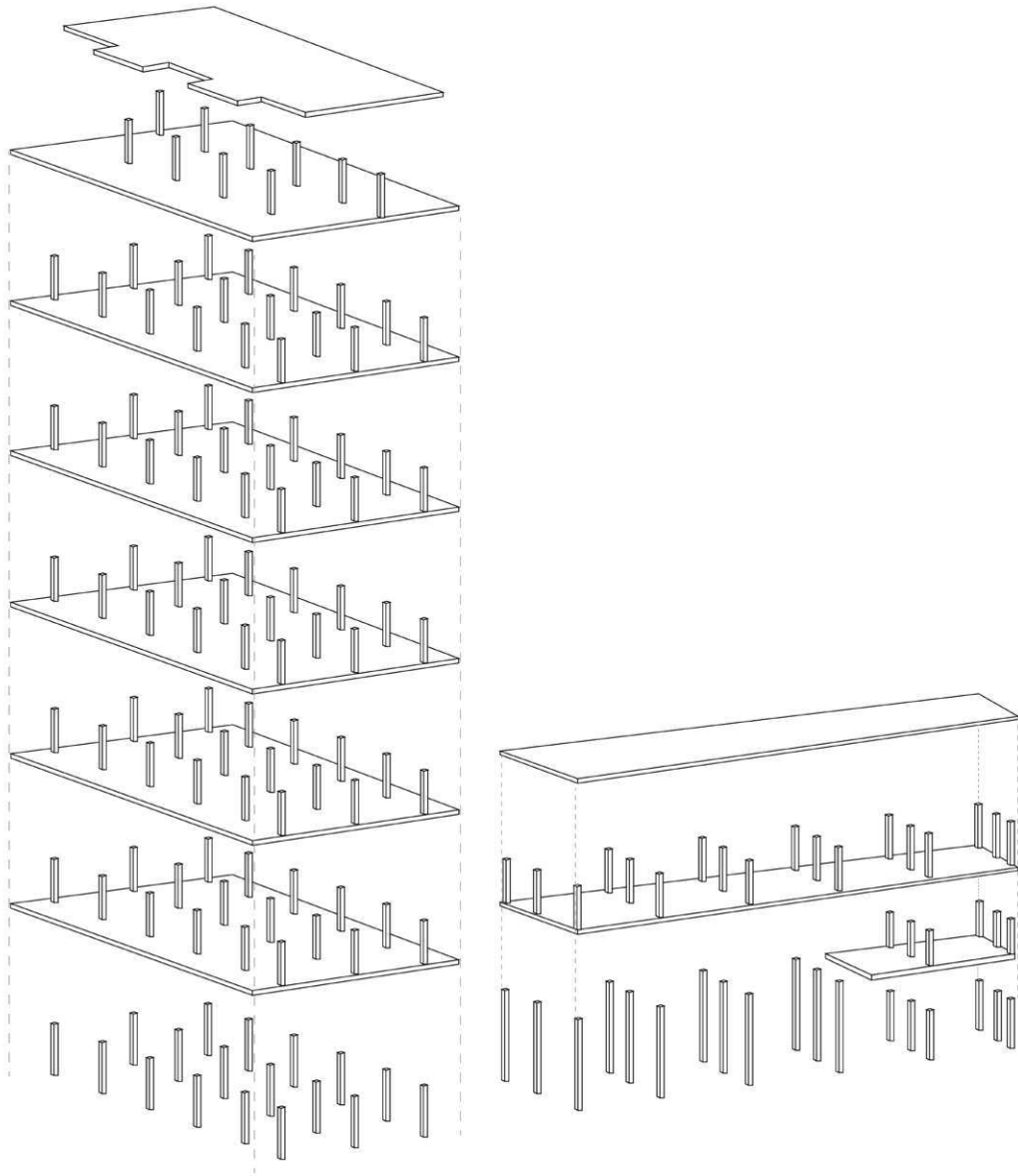


Abb.67: Tragkonzept Holzskelett

ERGEBNISSE

3.4.1.2 Deckenspannrichtung

In Abb. 68 ist die Positionierung der Unterzüge (strichliert dargestellt), sowie die Spannrichtung der Decken erkennbar. Es wird über jeweils drei Stützen ein Unterzug gelegt, welcher das Auflager für die Decken übernimmt. Durch den Einsatz von Unterzügen wird die Kraftableitung durch die Stützen vereinfacht und es gibt keine Durchstanzproblematik der Stützen durch die Decke. Die Bemessungen der Bauteile sind im Anhang angefügt.

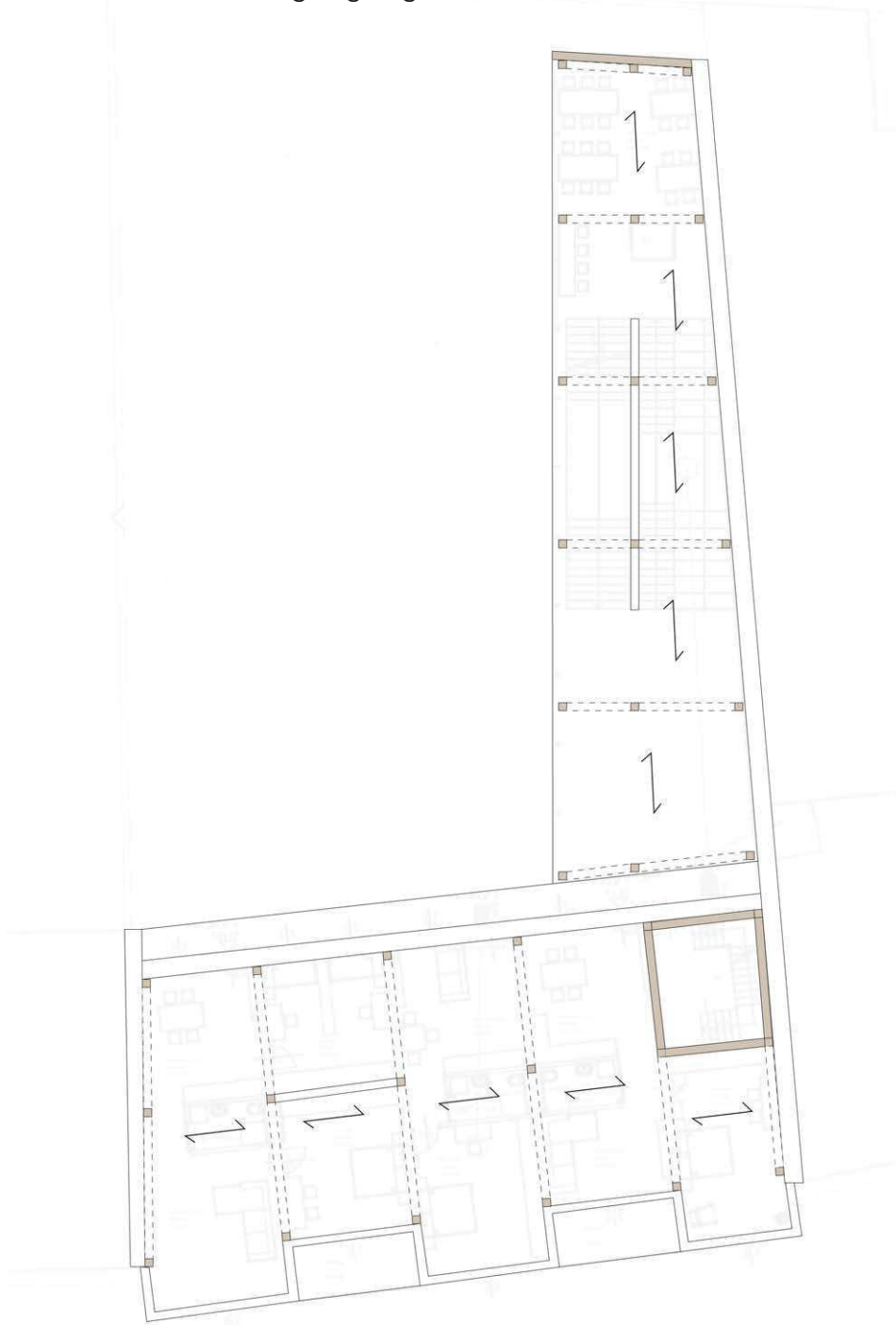


Abb.68: Deckenspannrichtung

3.4.2 Aussteifung

Die Aussteifung des Gebäudes erfolgt hauptsächlich durch einen rund um das Treppenhaus laufenden Kern aus Brettsperrholzwänden (siehe Abb. 69). Dieser verläuft vom Erdgeschoß bis zum 6. Obergeschoß. Weiters tragen einzelne weitere Brettsperrholzwände sowie Stampflehmwände zur Aussteifung bei um eine Verdrehung rund um den Kern zu verhindern. Näher erläutert unter Punkt 3.4.3 Stampflehmwände im statischen System.

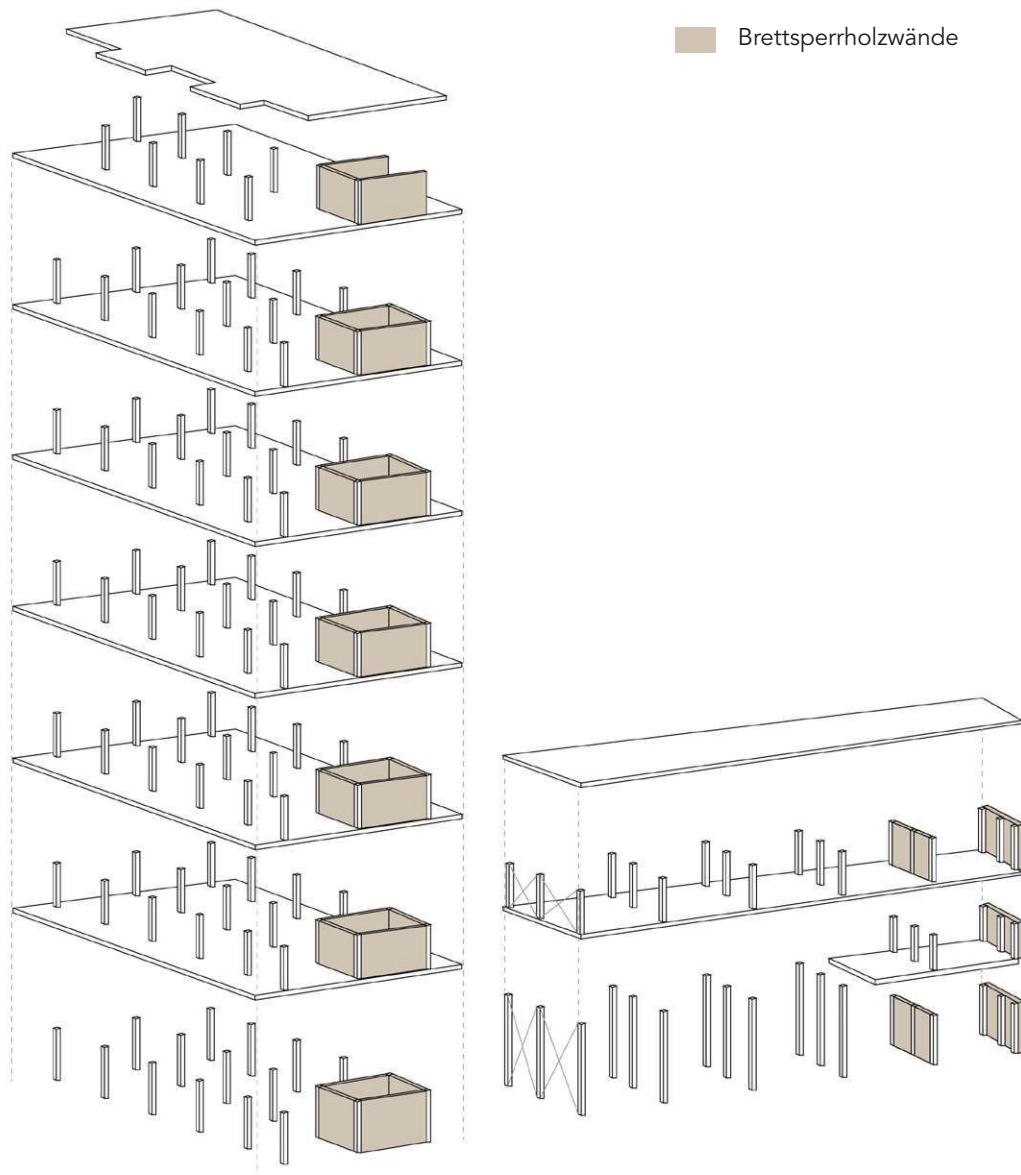


Abb.69: Aussteifung

3.4.3 Stampflehm im Statischen System

Welche Bauteile konkret als Stampflehmwände ausgeführt werden ist in Abb. 70 ersichtlich. Die Stampflehmwände im Wohnungsbauteil befinden sich in jedem Geschoß exakt übereinander und tragen somit auch zur Aussteifung des Gebäudes bei. In der Mediathek wird die Stabilität durch zusätzliche Auskreuzungen zwischen den Holzstützen mittels Stahlseilen verstärkt.

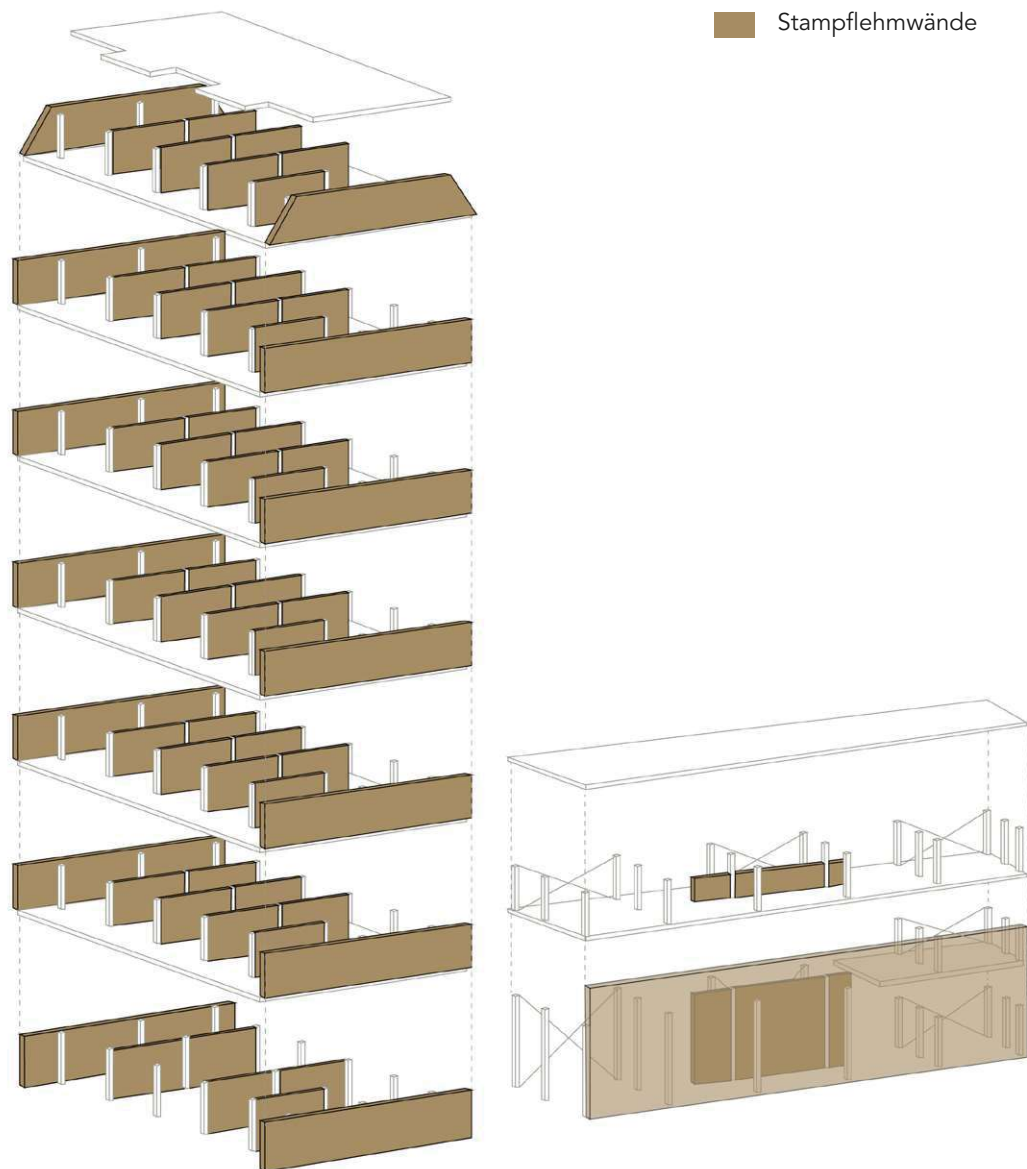


Abb.70: Längsaussteifung Stampflehmwände

3.4.4 Ausbildung der Stampflehmwände

Um die aussteifende Funktion der Stampflehmwände garantieren zu können sind noch weitere Forschungen notwendig. Einige mögliche Herangehensweisen der Aussteifung mittels Stampflehmwänden sind im Folgenden ersichtlich (siehe Abb. 71 bis 73). Die erste Variante (siehe Abb. 71) zeigt die Stampflehmwand ohne zusätzliche Einlagen, da Stampflehm aber wie Beton hauptsächlich auf Druck und weniger auf Zug belastbar ist, müssten hierfür noch einige Tests durchgeführt werden um zu überprüfen ob die Stampflehmwände ohne Zusätze die Aussteifung übernehmen können. Die nächste Variante (siehe Abb. 72) zeigt die Stampflehmwand ausgefacht mit Holzelementen, angelehnt an den Fachwerkbau. Diese Variante sollte aus statischer Hinsicht auf jeden Fall funktionieren, macht aber die Vorfertigung sowie die Recyclingfähigkeit der Wände etwas anspruchsvoller. Eine weitere Möglichkeit der Ausbildung der Stampflehmwände (siehe Abb.73) ist die Aussteifung mittels Stahlseilaukreuzungen innerhalb der Lehmwände, auch hier gelten die gleichen Punkte betreffend Herstellung und Recycling wie in Variante 2. Welche der drei Möglichkeiten die sinnvollste ist bedarf noch zusätzlicher Forschung und wird in dieser Arbeit als weitere Forschungsfrage offengelassen.

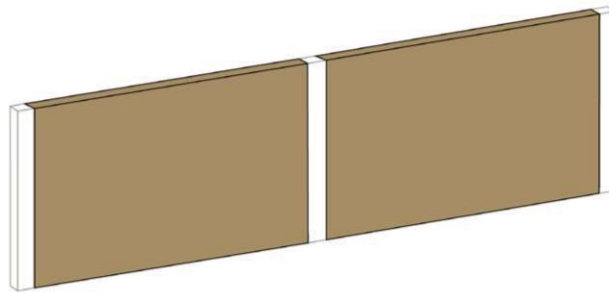


Abb.71: Aussteifung Stampflehm

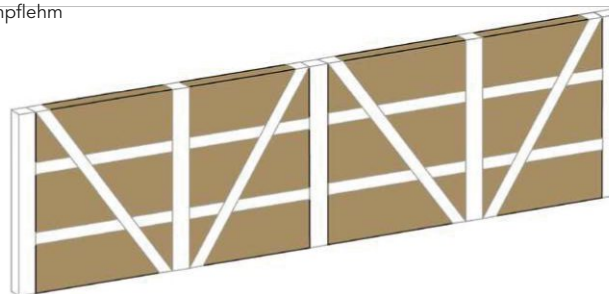


Abb.72: Aussteifung mittels Holzstreben im Stampflehm

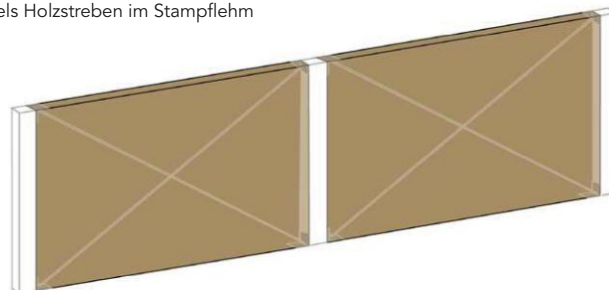


Abb.73: Aussteifung mittels Stahlseilaukreuzungen im Stampflehm

3.5 Entwurfsdarstellungen

3.5.1 Wohnungen

Die Gestaltung der Wohnungen in dieser Diplomarbeit wurde vom Prinzip der klassischen Durchsteckwohnung inspiriert (siehe Abb. 74). Dieses Konzept, bei dem jede Wohnung sowohl hof- als auch straßenseitig belichtet wird, diente als Leitfaden für die Entwicklung von insgesamt sieben verschiedenen Wohnungstypen (siehe Abb. 75-81). Drei dieser Typen sind als eingeschossige Einheiten konzipiert, während die restlichen vier als Maisonette-Wohnungen über zwei Etagen angelegt sind. Dabei stand stets das Ziel im Vordergrund, für jeden Bewohner das passende Zuhause zu schaffen.

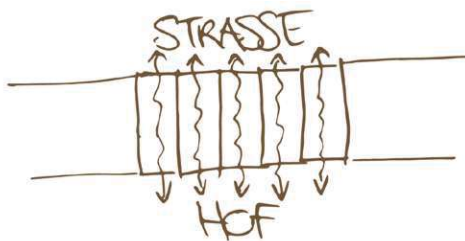


Abb.74: Skizze Durchsteckwohnung

Ein zentraler Aspekt der Wohnungsgestaltung war die Verwendung natürlicher Materialien wie Stampflehm und Holz. Die 30 cm starken Stampflehmwände beeinflussen nicht nur das Raumklima positiv, sondern verleihen den Räumen auch eine ästhetische Qualität, welche ein Gefühl der Verbundenheit mit der Natur vermittelt. Diese bewusste Materialwahl ermöglicht eine harmonische Integration der Wohnanlage in die umgebende Landschaft und schafft zugleich ein gesundes und angenehmes Wohnklima.

Die Wohnungen zeichnen sich durch großzügige Wohnflächen aus, die Komfort und Funktionalität verbinden. Durch die geschickte Anordnung der Räume wurde eine optimale Raumnutzung erzielt, die den Bedürfnissen moderner Lebensstile gerecht wird. Zudem wurde bei der Gestaltung der Wohnungstypen darauf geachtet, eine Vielfalt an Wohnoptionen anzubieten, um unterschiedlichen Lebenssituationen gerecht zu werden.

3.5.1.1 TYP 1



Couple

73 m²

2-Zimmer Wohnung

9 m² Loggia

Kommt 2-mal vor –

1.OG und 4.OG

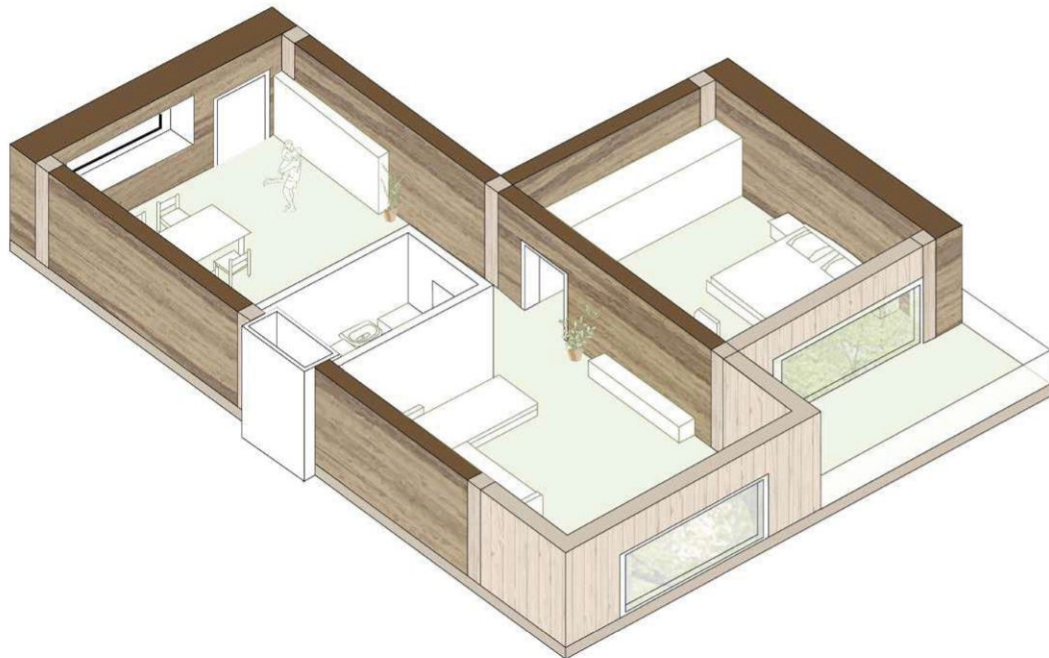
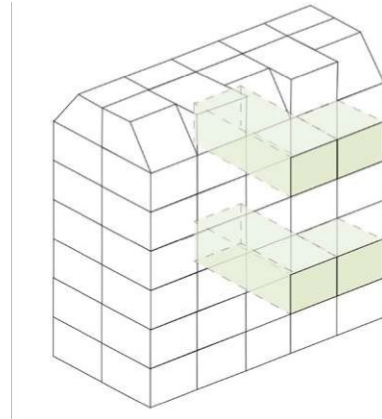
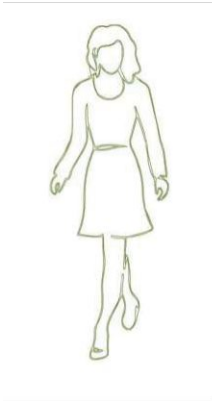


Abb.75: Wohnung TYP 1

ERGEBNISSE

3.5.1.2 TYP 2



Single

55 m²

2-Zimmer Wohnung

1.OG: 9 m² Loggia

Kommt 2-mal vor –

1.OG und 4.OG

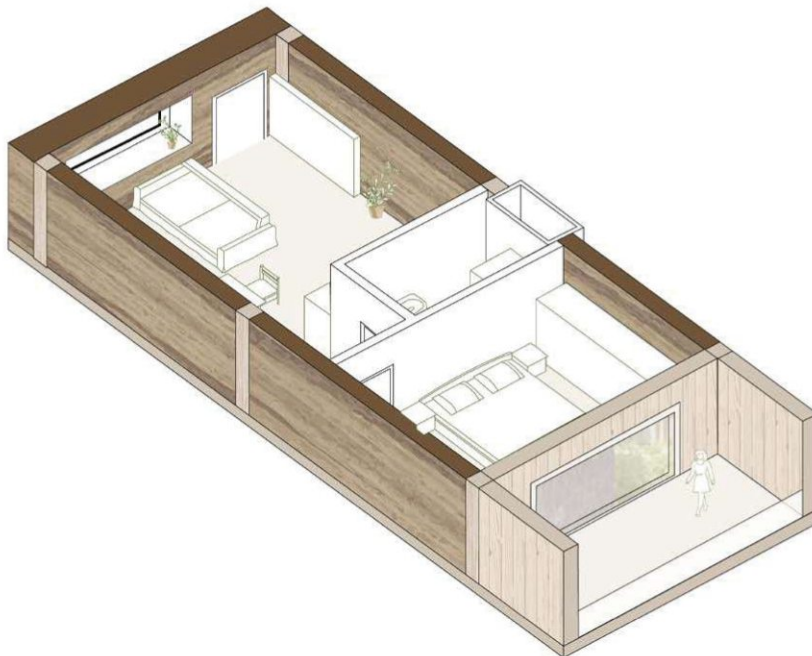
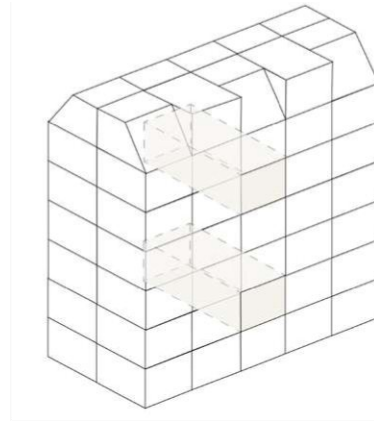
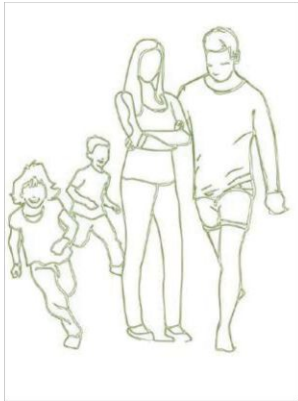


Abb.76: Wohnung TYP 2

3.5.1.3 TYP 3



Familiy
 104 m²
 3-Zimmer Wohnung
 9 m² Loggia
 Kommt 2-mal vor –
 1.OG und 4.OG

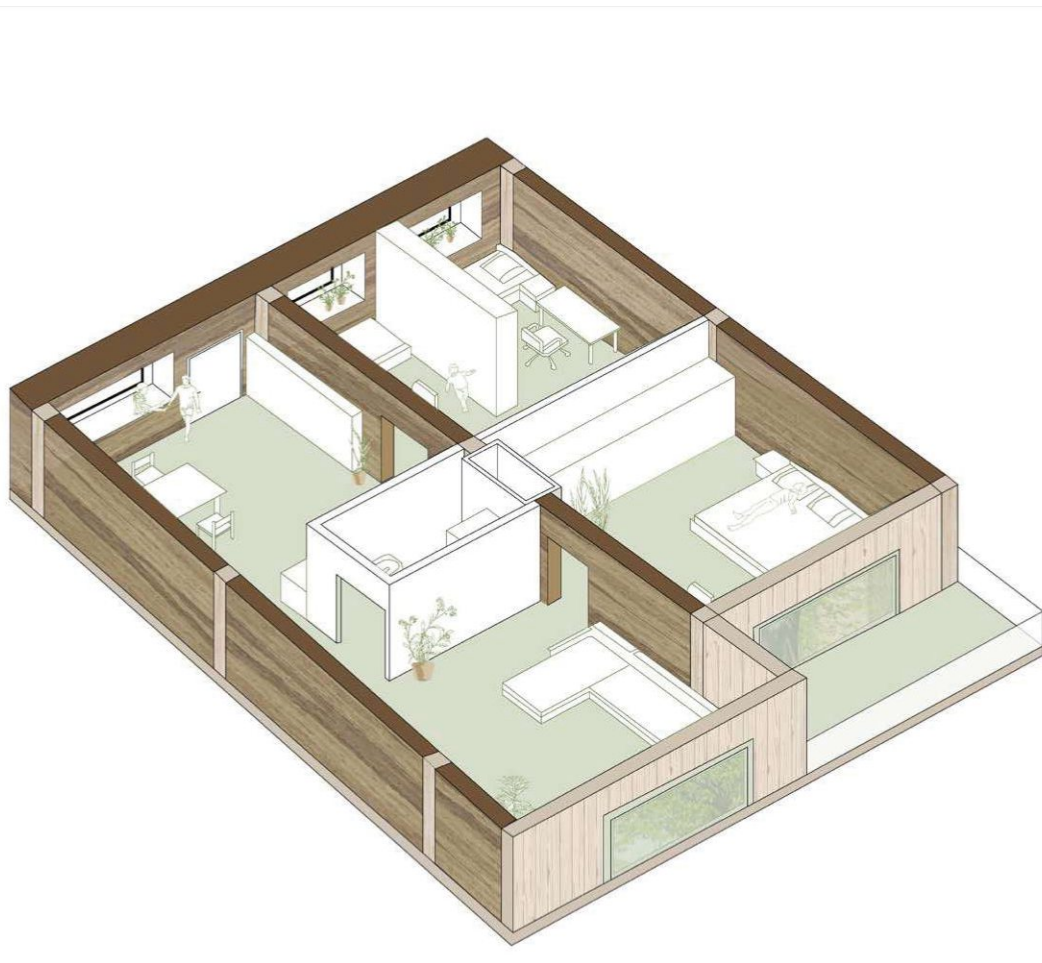
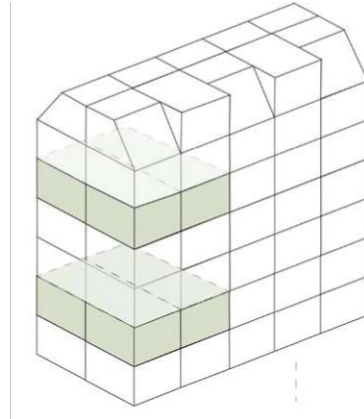
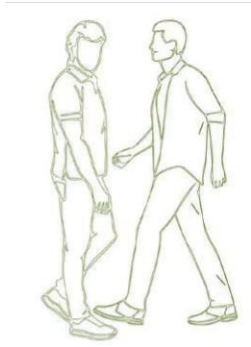


Abb.77: Wohnung TYP 3

ERGEBNISSE

3.5.1.4 TYP 4



Couple Cross Over 1

90 m²

2-Zimmer Wohnung

Kommt 2-mal vor –

2.OG + 3.OG und

5.OG + 6.OG

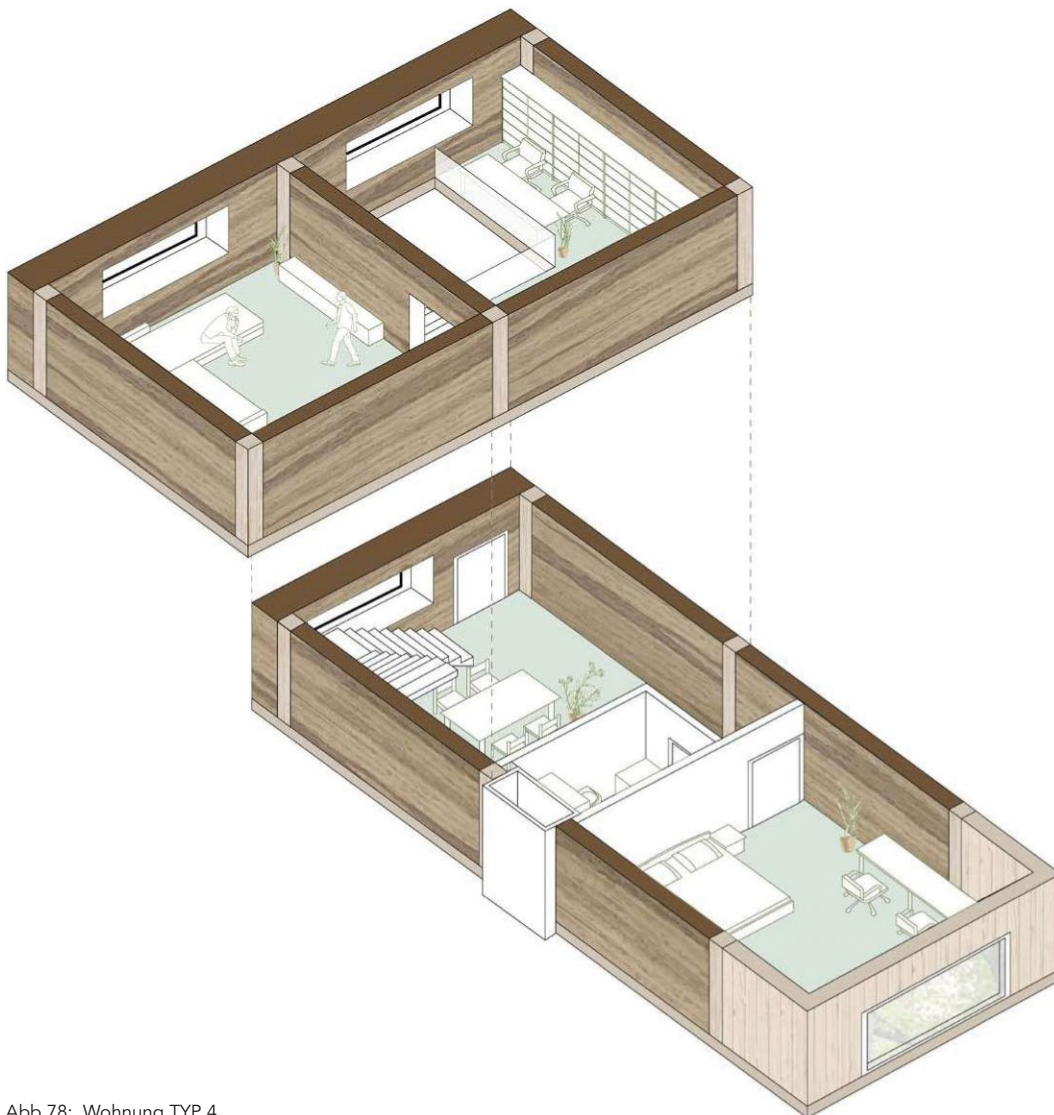
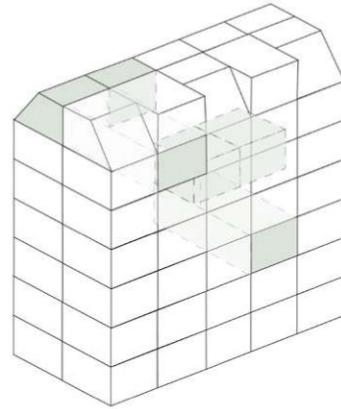
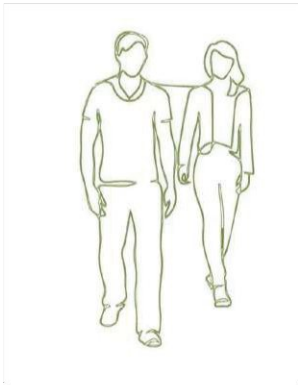


Abb.78: Wohnung TYP 4

3.5.1.5 TYP5



Couple Cross Over 2

102 m²

2-Zimmer Wohnung

2-mal 9 m² Loggia

Kommt 2-mal vor –

2.OG + 3.OG und

5.OG + 6.OG

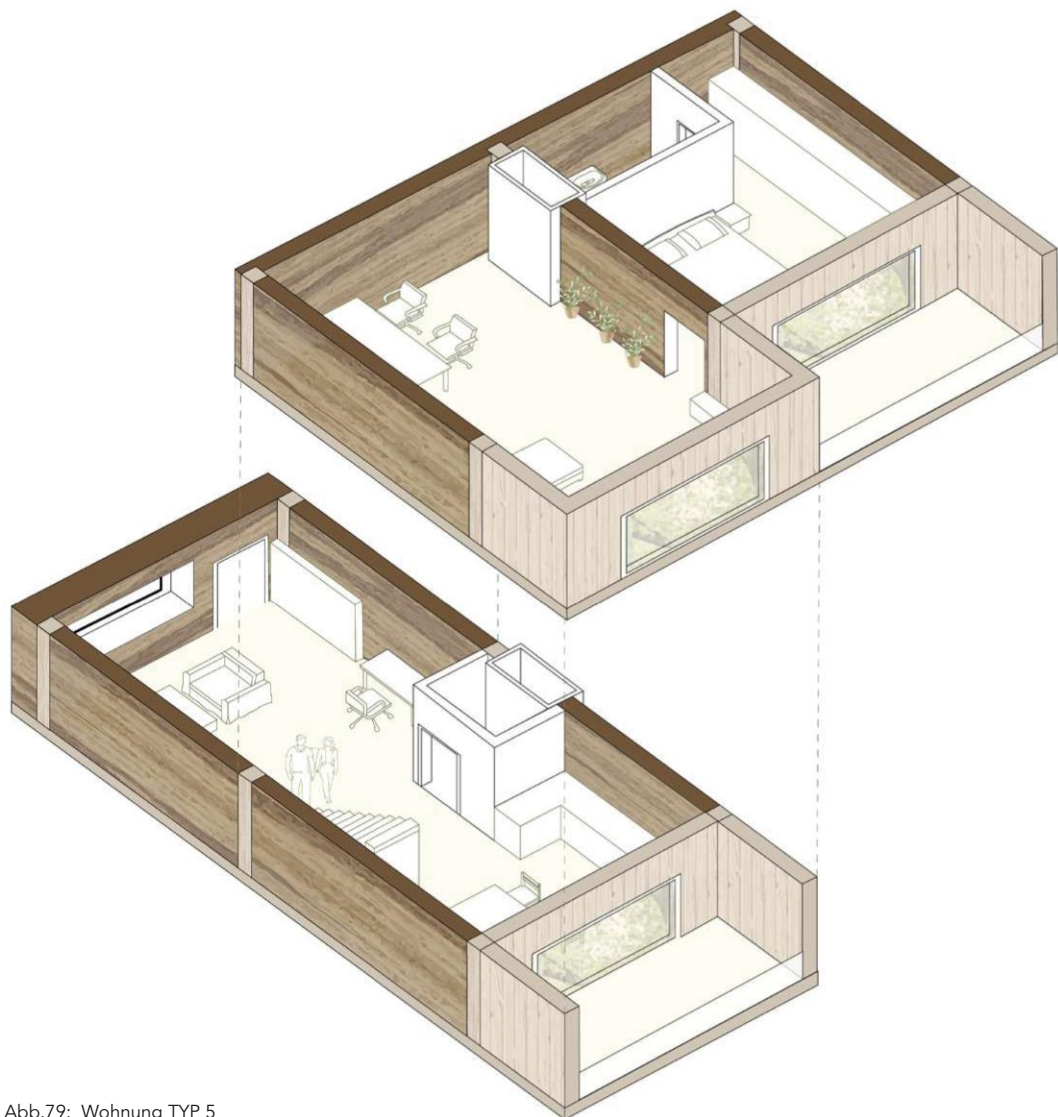
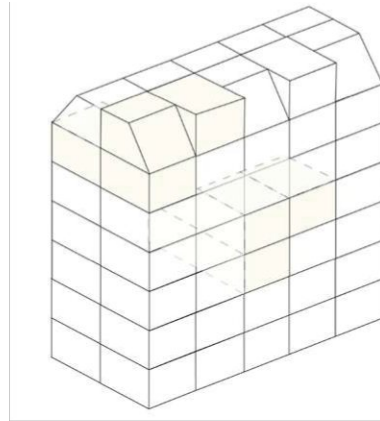
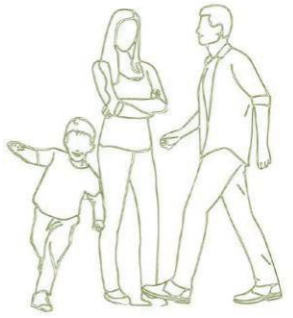


Abb.79: Wohnung TYP 5

ERGEBNISSE

3.5.1.6 TYP 6



Maisonette Family

90 m²
3-Zimmer Wohnung
9 m² Loggia
Kommt 2-mal vor –
2.OG + 3.OG

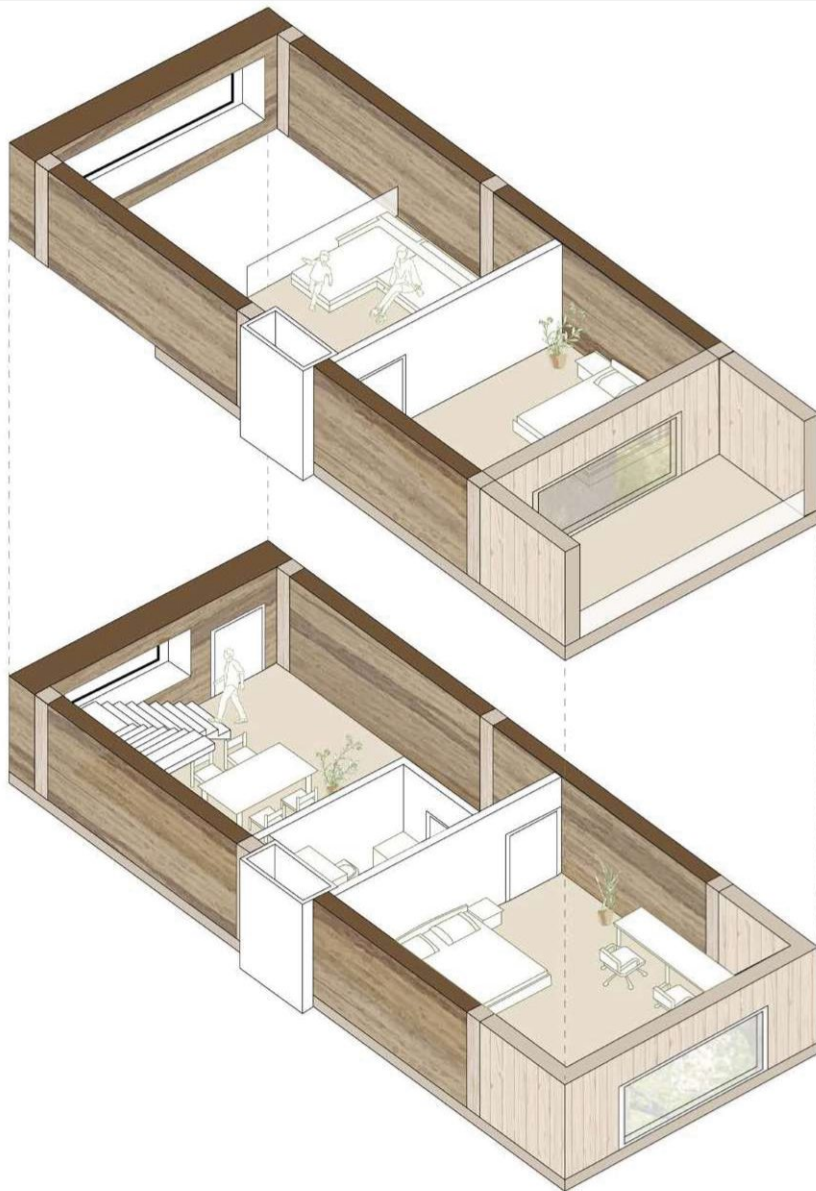
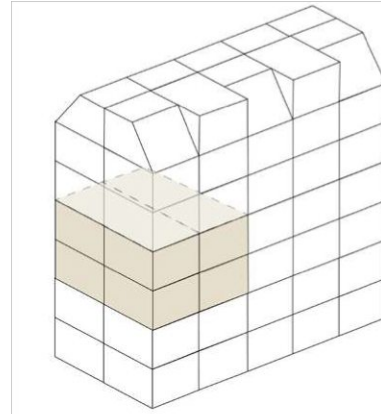
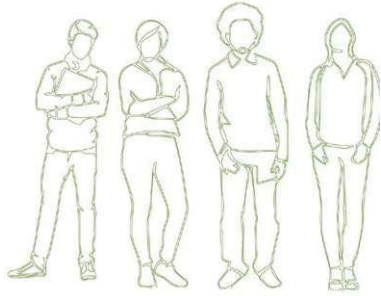


Abb.80: Wohnung TYP 6

3.5.1.7 TYP 7



Shared
 182 m²
 4-Zimmer Wohnung
 9 m² Loggia
 Kommt 1-mal vor –
 5.OG + 6.OG

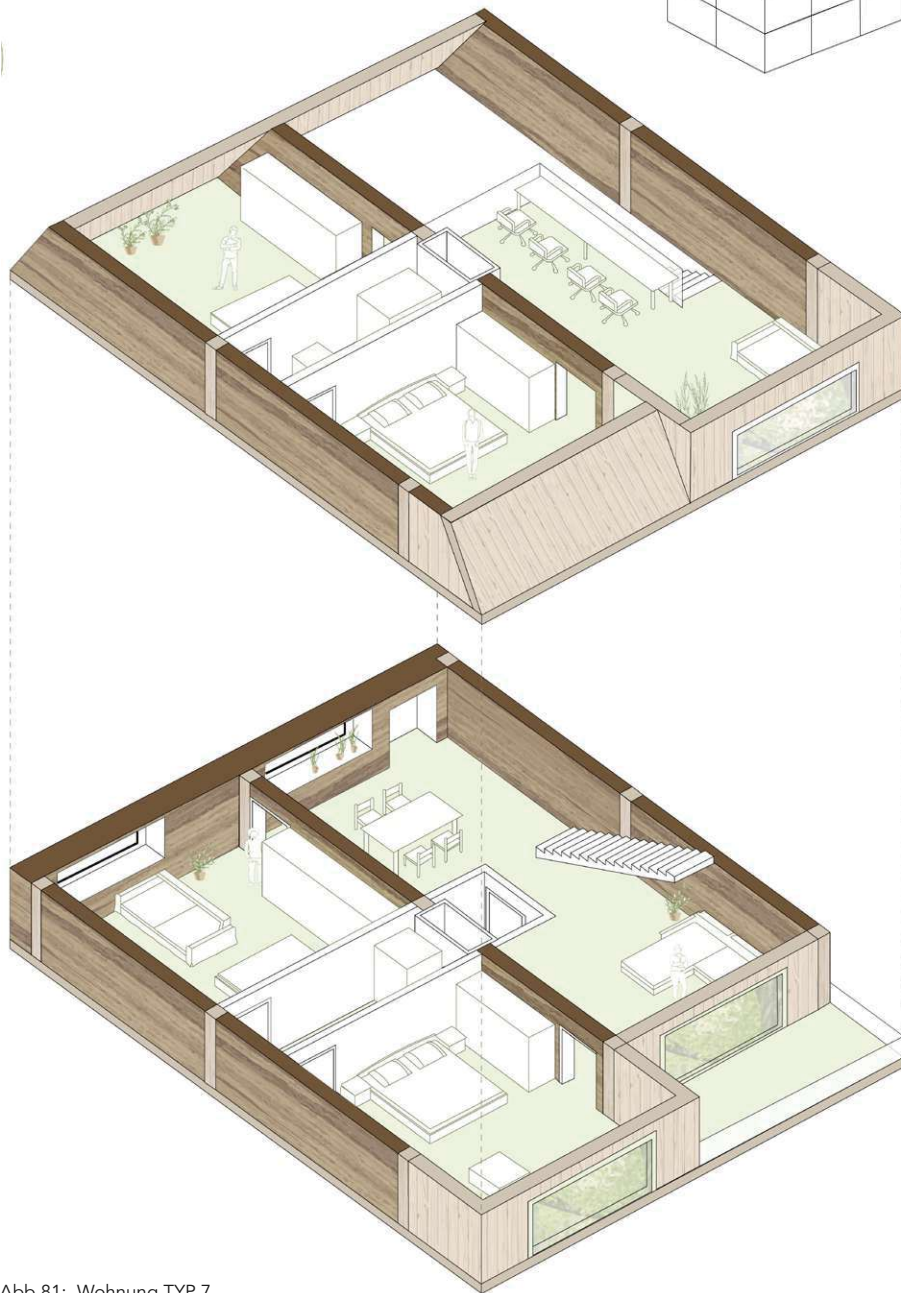
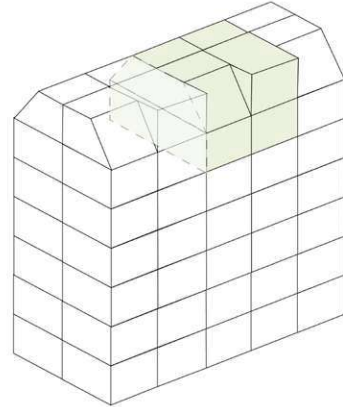


Abb.81: Wohnung TYP 7

ERGEBNISSE

3.5.2 Grundrisse

Im Folgenden sind die Grundrisse vom Untergeschoß bis zum 6. Obergeschoß dargestellt (siehe Abb. 82- 89). Um die Kellerabteile der Bewohner und den Haus-technikraum unterzubringen wurde der Part des Treppenhauses unterkellert. Im Erdgeschoß befindet sich das öffentliche Café mit Wintergarten und in Richtung Hof ausgerichteter Terrasse sowie der Fahrrad- und Müllraum für die Hausbewohner. Im zweiten Baukörper, der Mediathek, befindet sich im Erdgeschoß der Eingangsbereich und die zweigeschoßige Bücherei sowie der Ausstellungsbereich und die Sanitäranlagen. Weiters führt eine großzügig angelegte Treppe mit Sitzstufen und Gehstufen ins zweite Obergeschoß. Dort befinden sich Sitz- bzw. Lernplätze für die Besucher der Mediathek. Weitere Lese- und Sitzgelegenheiten, sowie Sanitärräume bietet das 3. Obergeschoß der Mediathek. Im straßenseitigen Gebäudeteil sind vom 1. bis zum 6. Obergeschoß die 13 Wohnungen verortet.

3.5.2.1 Grundriss Untergeschoß M 1:250

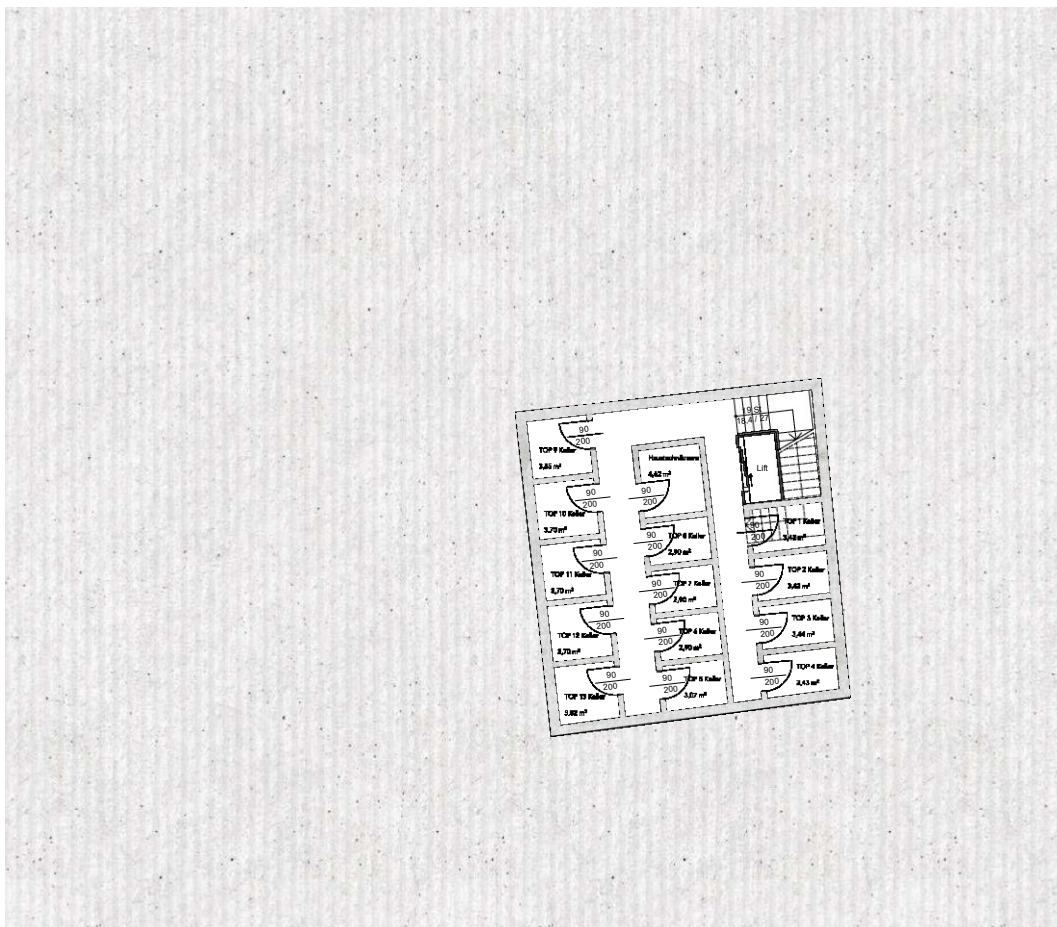


Abb.82: Grundriss UG

3.5.2.2 Grundriss Erdgeschoß M 1:250



Abb.83: Grundriss EG

ERGEBNISSE

3.5.2.3 Grundriss 1. Obergeschoß M 1:250



Abb.84: Grundriss 1.0G

3.5.2.4 Grundriss 2. Obergeschoß M 1:250



Abb.85: Grundriss 2.OG

ERGEBNISSE

3.5.2.5 Grundriss 3. Obergeschoß M 1:250



Abb.86: Grundriss 3.OG

3.5.2.6 Grundriss 4. Obergeschoß M 1:250



Abb.87: Grundriss 4.OG

ERGEBNISSE

3.5.2.7 Grundriss 5. Obergeschoß M 1:250



Abb.88: Grundriss 5.OG

ERGEBNISSE

3.5.2.9 Ansicht Süden M 1:200

Von der Straßenseite aus erkennt man das Gebäude durch die vor- und rückspringenden Gebäudeerker sowie an der Holzfassade. Das natürliche Material Holz verleiht dem Gebäude eine einladende Atmosphäre und fügt sich harmonisch in die Umgebung ein. Die Sockelzone lädt durch ihre großzügige Öffnung in den grünen Innenhof ein (siehe Abb. 90).



Abb.90: Ansicht Süden

3.5.2.10 Schnittansicht Norden M 1:200

Von Norden aus erkennt man auch von außen das Kernkonzept des Entwurfs - den Stampflehm. Dadurch, dass die Hofseite nicht durch die Verschmutzungen die straßenseitig anfallen belastet wird, kann hier auch an der Außenfassade Lehm verwendet werden. Die Wohnungszugänge sind mittels Laubengängen hofseitig angelegt, diese können ebenfalls als Gemeinschaftsbalkone verwendet werden. Im Querschnitt durch die Mediathek sind die drei Geschosse, verbunden durch großzügige Treppenanlagen, dargestellt (siehe Abb. 91).



Abb.91: Schnittansicht Norden

ERGEBNISSE

3.5.2.11 Schnitt M 1:150

Der Schnitt durch die unterschiedlichen Wohneinheiten des Gebäudekomplexes zeigt die Verwendung von Stampflehm auch im Inneren (siehe Abb. 92). Die teilweise mehrgeschoßigen Maisonette-Wohnungstypen erstrecken sich über zwei Geschoße hinweg. Die Fassade der Mediathek besteht aus einer klassischen Pfosten-Riegel-Konstruktion und ist bis auf die Sanitärräumlichkeiten vollständig verglast, was einen Einblick von außen, aber auch einen Ausblick von innen auf den grünen Hof ermöglicht.

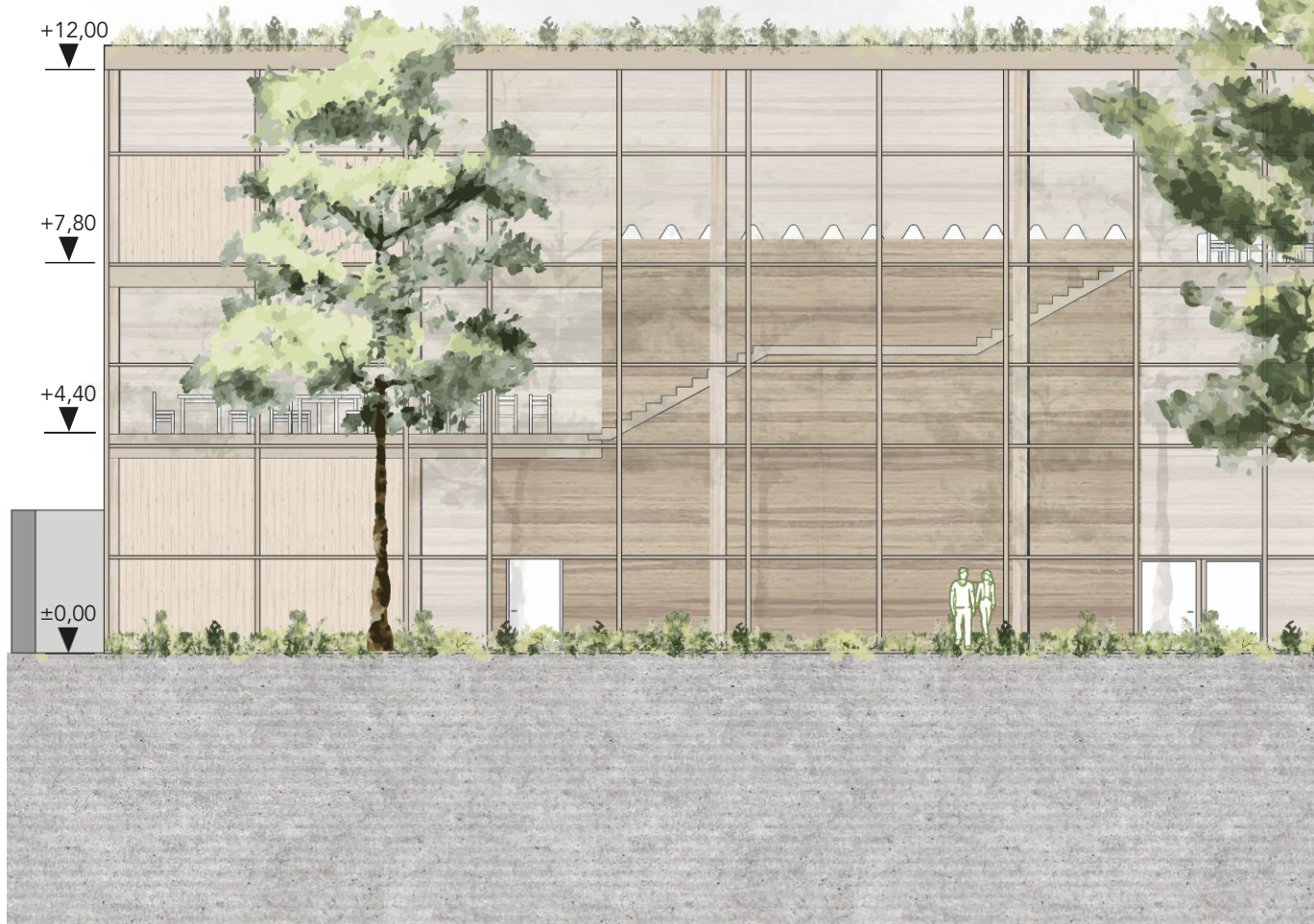


Abb.92: Schnitt

Die abgebildete gezeichnete Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available for print at TU Wien Bibliothek.



ERGEBNISSE

3.5.3 Details

In den Konstruktionsdetails werden bestimmte Schnittpunkte der Aufbauten im Gebäude herausgegriffen und im Maßstab 1:20 gezeigt.

Im Detail 1 (siehe Abb. 94) wird die Lehmfassade mit Fensteranschluss oben und unten sowie der Anschluss zum Stahlbetonfundament und dem darüberliegenden Laubengang gezeigt. Auf dem Laubengang befinden sich die Eingangstüren zu den Wohnungen.

Im Detail 2 (siehe Abb. 96) ist die Holzfassade straßenseitig dargestellt. Die vorspringenden Erker der Fassade bilden die Loggien im Geschoß dazwischen. Eine dieser Loggien wird im Detail genauer gezeigt.

Das Detail 3 (siehe Abb. 98) zeigt den Anschluss vom Steildach zum Flachdach des Wohngebäudes sowie den unteren Traufenabschluss.

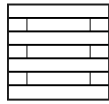
Den unteren Abschluss der Pfosten-Riegel-Fassade zum Fundament der Mediathek ist in Detail 4 (siehe Abb. 100) ersichtlich.

Im Detail 5 (siehe Abb. 102) ist der obere Attikaabschluss von der Lehmwand zum Gründach der Mediathek abgebildet.

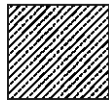
Legende Hauptmaterialschraffuren



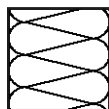
Stampflehm



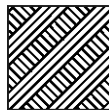
Kreuzlagenholz



Stahlbeton



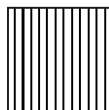
Mineralwolldämmung



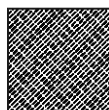
Vollholz



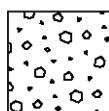
gewachsener Boden



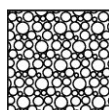
Holzwerkstoff



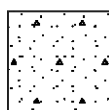
Estrich



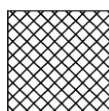
Schüttung gebunden



Kies



Frostkoffer



Pflanzenmatte (Substrat)

ERGEBNISSE

3.5.3.1 Detail 1, Lehmaußenwand

- ① Decke
2,0 Fußbodenbelag
6,0 Heizestrich
- PE-Folie
3,0 Trittschalldämmung Kork
7,0 Schüttung gebunden
- Schaummatte/Akustikfolie
16,0 Holzdecke
- ② Balkon
2,0 Terrassendielen, Lärche
6,0 Unterkonstruktion auf Elastomerlager
(Entwässerungsebene)
- Bitumenabdichtung
2,0 Schalungsplatten
5,0 Kanthölzer im Gefälle
16,0 Holzdecke
- ③ Bodenplatte
2,0 Fußbodenbelag
6,0 Heizestrich
3,0 Trittschalldämmung Kork
7,0 Schüttung gebunden
30,0 WU-Betonplatte
15,0 XPS
5,0 Sauberkeitsschicht
Frostkoffer
gewachsener Boden
- ④ Terrasse
4,0 Natursteinbelag
7,0 Kiesbett
- Unkrautvlies (Wurzelschutz)
Frostkoffer
gewachsener Boden

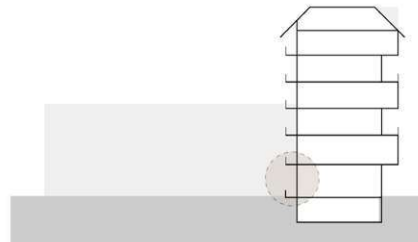


Abb.93: Verortung Detail 1

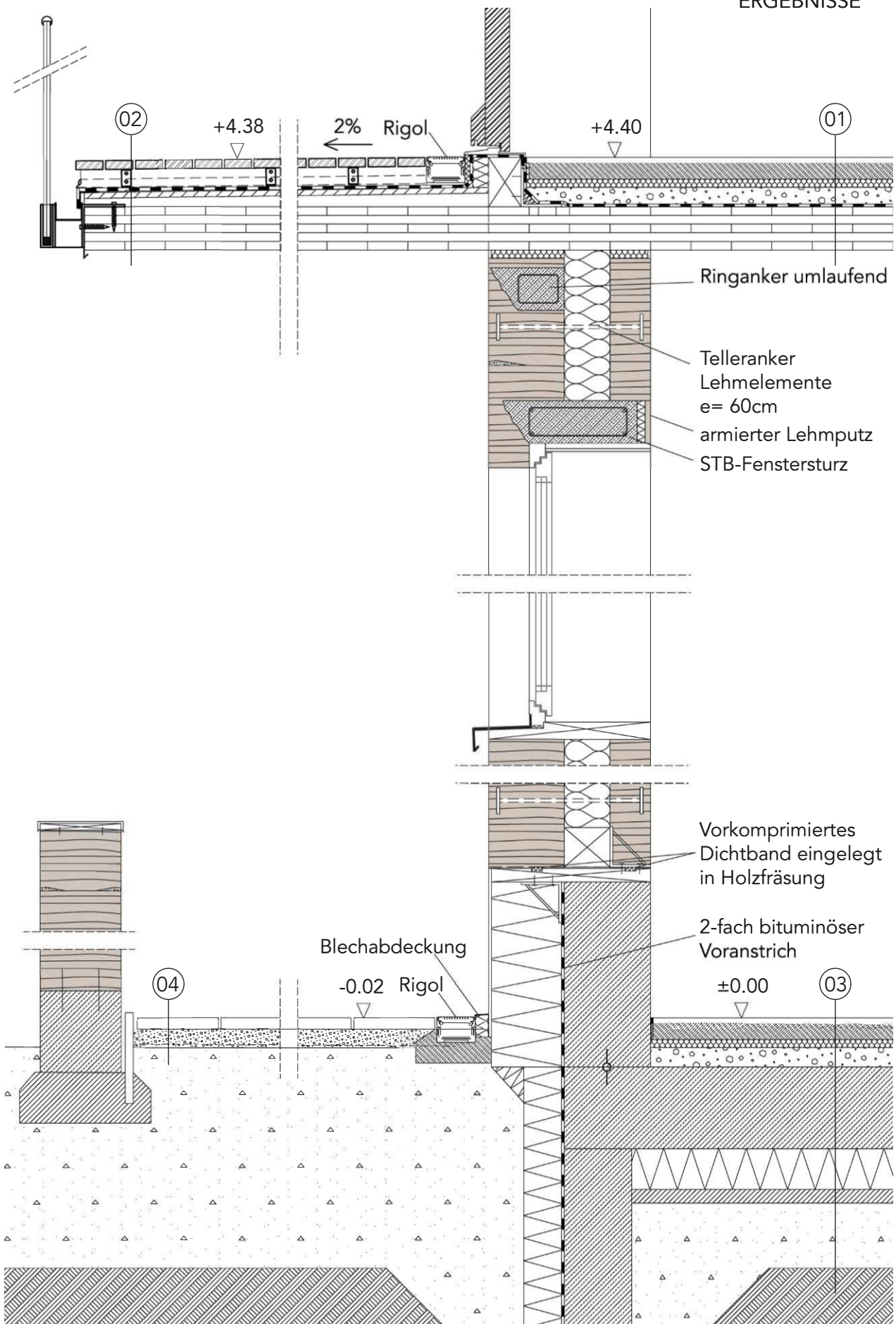


Abb.94: Konstruktionsdetail 1, Lehmaußenwand

ERGEBNISSE

3.5.3.2 Detail 2, Holzaußenwand

- ⑤ Decke
- 2,0 Fußbodenbelag
- 6,0 Heizestrich
 - PE-Folie
- 3,0 Trittschalldämmung Kork
- 7,0 gebundene Schüttung
 - Schaummatte/Akustikfolie
- 16,0 Holzdecke
- 20,0 Mineralwolle
 - diffusionsoffene Folie $sd \leq 0,3 \text{ m}$
- 0,30 Holz Fichte Lattung (3/5)
- 0,24 Holz Lärche Außenverkleidung

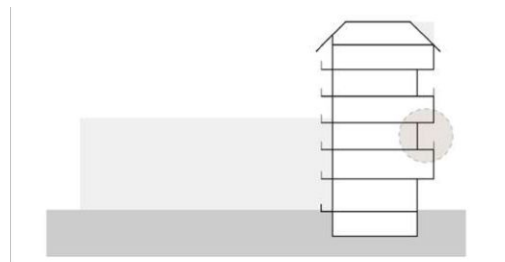


Abb.95: Verortung Detail 2

- ⑥ Decke
 - 2,0 Fußbodenbelag
 - 6,0 Estrich
 - PE-Folie
 - 3,0 TSD
 - 7,0 gebundene Schüttung
 - Schaummatte/Akustikfolie
 - 16,0 Holzdecke
-
- ⑦ Terrasse
 - 2,0 Terrassendielen, Hartholz, Lärche
 - 6,0 Unterkonstruktion auf Elastomerlager (Entwässerungsebene)
 - Bitumenabdichtung
 - 2,0 Schalungsplatten
 - 20,0 Gefälledämmung
 - 16,0 Holzdecke
-
- ⑧ Holzwandaufbau (außen nach innen)
 - 2,4 Holz Lärche Außenverkleidung
 - 3,0 Holz Fichte Lattung (3/5)
 - Diffusionsoffene Folie $sd \leq 0,3 \text{ m}$
 - 1,5 Gipsfaserplatte
 - 20,0 Konstruktionsholz (6/20) dazw. Mineralwolle
 - 10,0 Brettsperrholz verklebt
 - 2,2 3-Schichtplatte Fichte

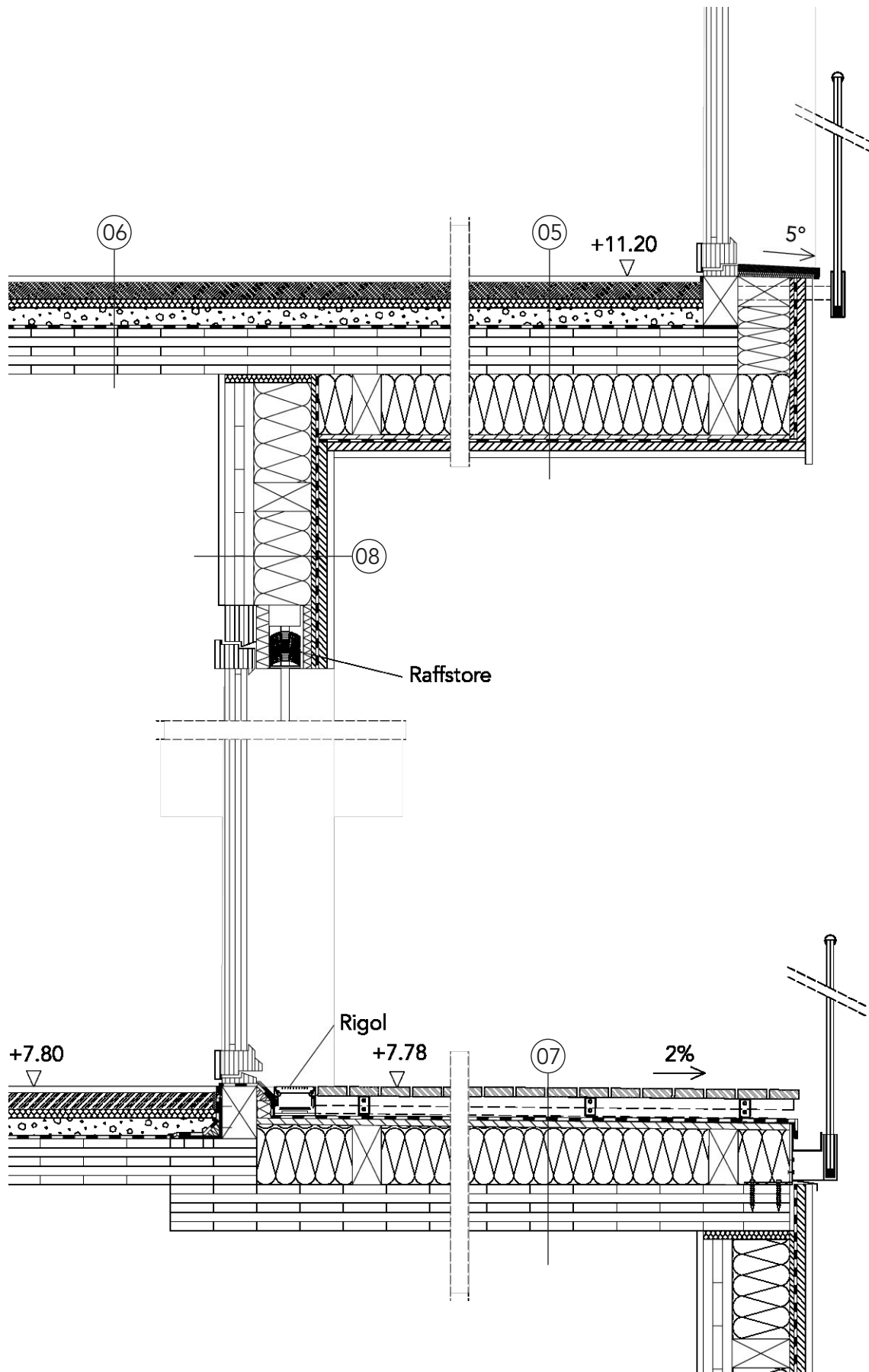
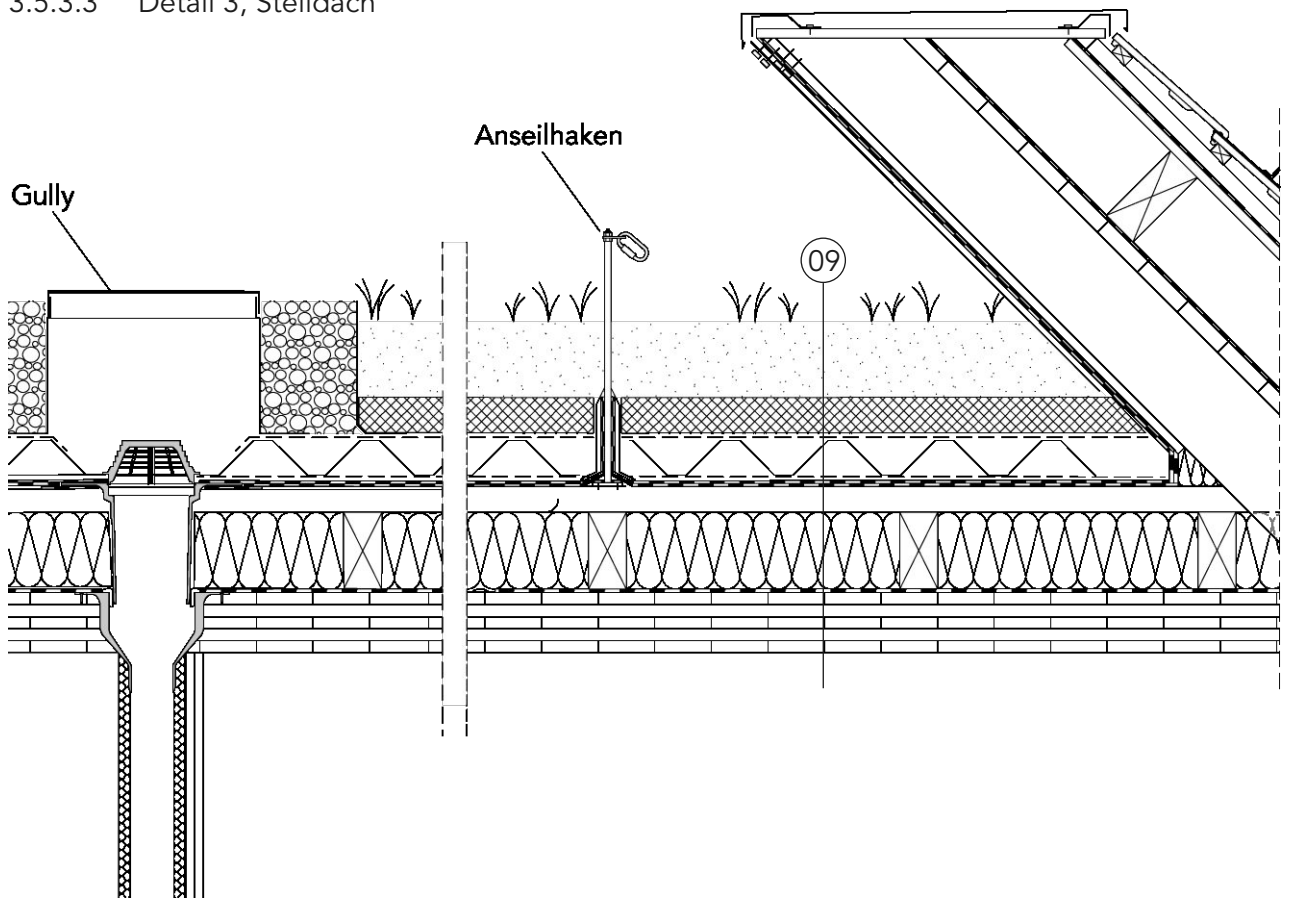


Abb.96: Konstruktionsdetail 2, Holzaußenwand

ERGEBNISSE

3.5.3.3 Detail 3, Steildach



- ⑨ Flachdach begrünt
extensive Begrünung
- 30,0 Vegetation
 - 10,0 Pflanzenmatte (Substrat)
 - Filtervlies
 - 10,0 Dränschicht
 - 1,5 Bautenschutzmatte
 - Abdichtung Bitumen 2-lagig mit Wurzelschutz
 - 6,0 Kanthölzer im Gefälle
 - 20,0 Dämmung Mineralwolle
 - Dampfbremse
 - 16,0 Holzdecke

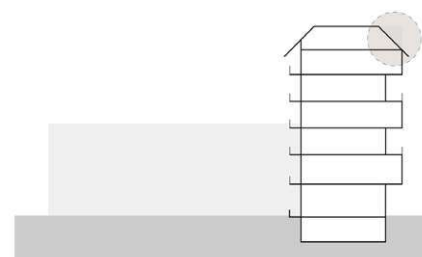


Abb.97: Verortung Detail 3

- ⑩ Steildach
- Dachdeckung
- 3,0 Lattung (3/5)
- 5,0 Konterlattung
- Dachbahn
- 2,4 OSB-Platte
- 24,0 Mineralwolldämmung
- Dampfbremse
- 4,0 Holzschalung
- 24,0 Sichtsparren

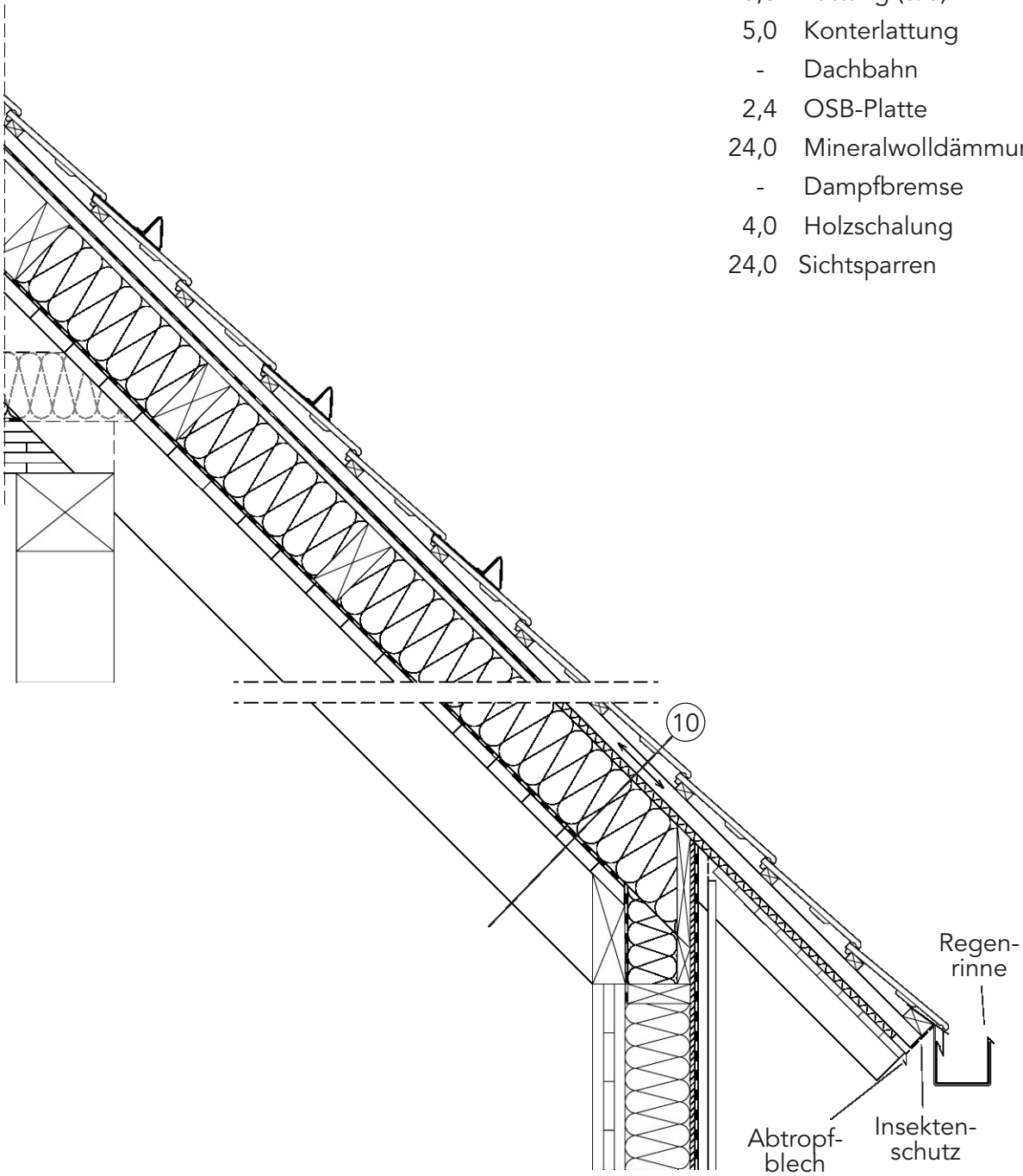


Abb.98: Konstruktionsdetail 3, Steildach

ERGEBNISSE

3.5.3.4 Detail 4, Mediathek Sockel

- ⑪ Bodenplatte
- 2,0 Fußbodenbelag
- 6,0 Heizestrich
- PE-Folie
- 3,0 Trittschalldämmung Kork
- 7,0 Schüttung
- 30,0 WU-Betonplatte
- 15,0 XPS
- 5,0 Sauberkeitsschicht
- Frostkoffer
- gewachsener Boden

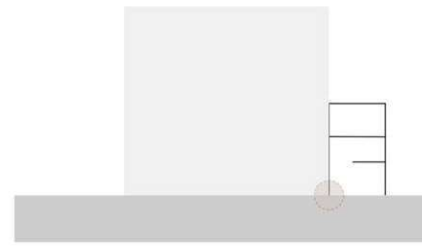


Abb.99: Verortung Detail 4

- ⑫ Terrasse
- 4,0 Natursteinbelag
- 7,0 Kiesbett
- Unkrautvlies (Wurzelschutz)
- Frostkoffer
- gewachsener Boden

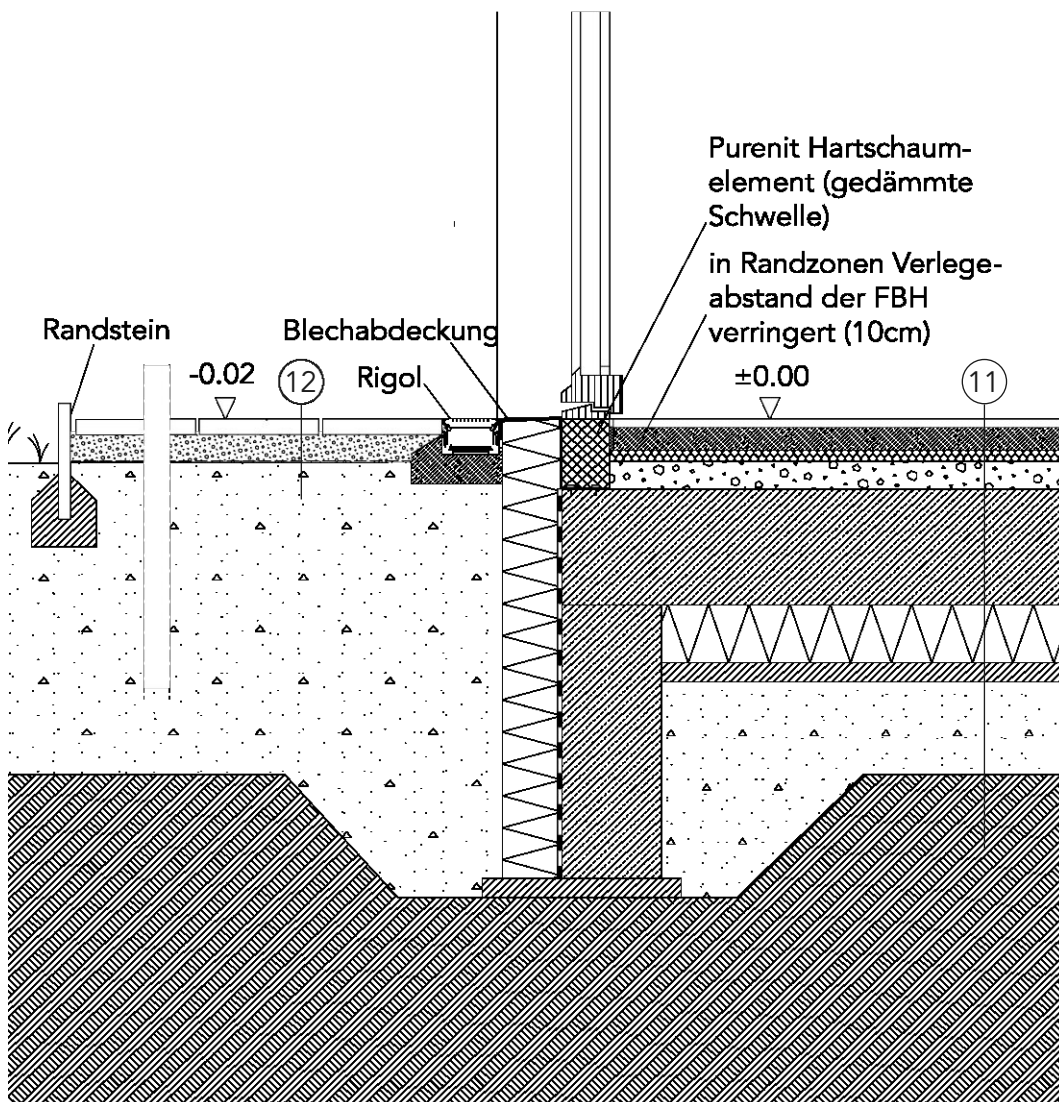


Abb.100: Konstruktionsdetail 4, Mediathek Sockel

3.5.3.5 Detail 5, Mediathek Dachanschluss

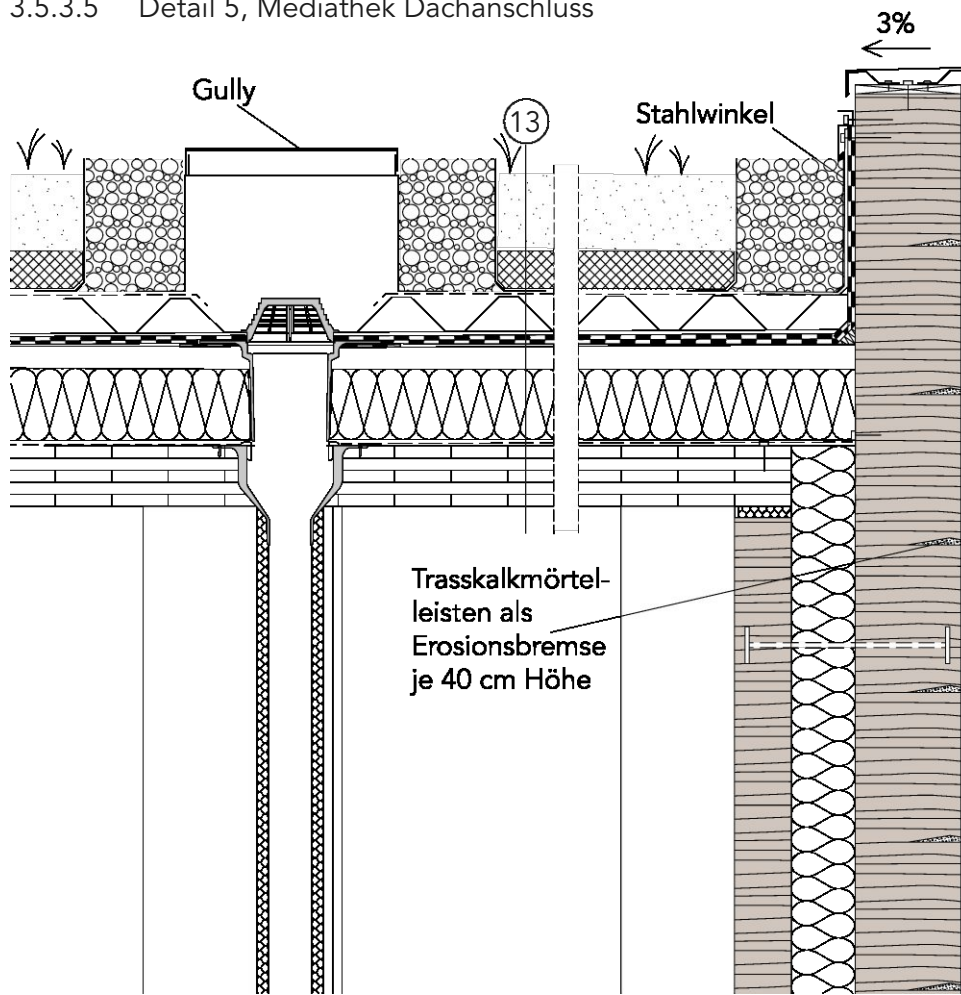


Abb.102: Konstruktionsdetail 5, Mediathek Dachanschluss

- ⑬ Flachdach begrünt
 extensive Begrünung
- 30,0 Vegetation
 - 10,0 Pflanzenmatte (Substrat)
 - Filtervlies
 - 10,0 Dränschicht
 - 1,5 Bautenschutzmatte
 - Abdichtung Bitumen 2-lagig mit Wurzelschutz
 - 6,0 Kanthölzer im Gefälle
 - 20,0 Dämmung Mineralwolle
 - Dampfbremse
 - 16,0 Holzdecke



Abb.101: Verortung Detail 5

ERGEBNISSE

3.5.3.6 Schaubilder



Abb.103: Außenschaubild



This document is the original version of this thesis. The approved printed version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abb.104: Mediathek



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



Abb.105: Wohnung



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.

4 CONCLUSIO

Die Schlussfolgerung dieser Diplomarbeit reflektiert die Ergebnisse einer ausführlichen Forschung in Theorie sowie praktischer Anwendung, mithilfe des Konzepts „Research by Design“ zum Thema Stampflehm in der Stadt. Durch das Erproben der Anwendung von Stampflehm in der Stadt an einem realen Entwurf in der Stadt Wien konnten detaillierte Erkenntnisse gewonnen werden, welche auch für zukünftige Forschungen relevant sind.

Besonders herausfordernd war die angemessene Detaillierung der Stampflehmkonstruktion sowie das Herausfinden, inwiefern Stampflehm bestimmte Anforderungen an den klassischen mehrgeschoßigen Wohnbau erfüllen kann. Durch die Kombination des Materials Lehm und Holz konnte nach einiger Forschungsarbeit die statische Komponente im Entwurf realistisch gelöst werden. Reiner Lehmbau wäre für den mehrgeschoßigen Wohnbau derzeit unwirtschaftlich, da die Abmessungen aufgrund niedriger Tragfähigkeit zu groß wären und es mit den Anforderungen momentan nicht kompatibel wäre. In diesem Entwurf wurde das Tragkonzept durch ein Holzskelett gelöst und dieses mit dazwischenliegenden Stampflehmwänden ausgefüllt. Ein möglicher Lösungsweg. Durch weitere Forschung in dieser Thematik wären aber bestimmt auch weitere Kombinationsmöglichkeiten von Lehm und Holz als Fixsysteme für den modularen Wohnbau möglich.

Eine weitere Herausforderung war der Umgang mit Brandschutz, da eines der größten Probleme des Lehmbaus in Österreich momentan ist, dass dieser noch nicht in den bautechnischen Regelwerken wie ÖNORMEN verankert ist. So wäre für jedes Lehmbauprojekt eine separate Prüfung notwendig, welche aber mit sehr hohen Kosten verbunden ist. Denn obwohl einzelne Stampflehmwände in Materialprüfungsanstalten bereits einen Brandschutz von REI 90 erreicht haben, gilt dieses Wissen nicht als standardisiert, solange es nicht in den Regelwerken aufgenommen ist. Um den Lehmbau in Österreich als konventionelle Bauweise zu implizieren, wäre daher dringend eine Erneuerung der ÖNORMEN und die Miteinschließung und genauere Prüfung des Baustoffs Lehm notwendig.

Ein weiterer kritischer Faktor zur Verwendung des Baustoffs Lehm ist zur Zeit noch der deutlich höhere Kostenaufwand. Dieser entsteht dadurch, dass Lehmbaustoffe noch nicht in Masse produziert werden, sondern es beispielsweise nur einzelne Hersteller von vorgefertigten Stampflehmwänden gibt. Wenn davon ausgegangen wird, dass Lehm als nachhaltiger Baustoff in der Zukunft Standard wird, kann

auch angenommen werden, dass sich die Produktionskosten verringern werden, da das Material sehr häufig in unseren Böden vorkommt und selbst nicht kostenintensiv ist.

Die Forschungsfrage „Ist Stampflehm eine zukunftsorientierte und umsetzbare Bauweise?“ kann durch die Erarbeitung eines Beispielentwurfs in dieser Diplomarbeit mit „Ja“ beantwortet werden. Der Baustoff Lehm würde den immensen CO₂-Ausstoß, den es momentan im Bausektor gibt, durch seine leichte Verfügbarkeit und Recyclingfähigkeit, wenn er als konventioneller Baustoff eingesetzt wird, auf jeden Fall deutlich senken. Handlungsbedarf im Bausektor, um die Klimaziele zu erreichen, ist spätestens jetzt unbedingt notwendig. Das Material Lehm als Baustoff kann dazu einen gravierenden Beitrag leisten. Dennoch ist es in Österreich noch ein weiter Weg, bis der Lehmbau in den Städten wieder Fuß fassen kann. Es sind noch viele Forschungsfragen im Zusammenhang mit Lehmbau offen sowie auch eine Neuauflage der derzeitigen Normen notwendig.

Die vorliegende Diplomarbeit hat gezeigt, dass Stampflehm eine vielversprechende Alternative im Baubereich darstellt, insbesondere im Kontext der urbanen Umgebung. Die erfolgreiche Umsetzung eines realen Entwurfs in Wien verdeutlicht die praktische Anwendbarkeit von Stampflehm und unterstreicht die Bedeutung weiterer Forschung auf diesem Gebiet. Es ist entscheidend, dass sowohl Reguliierungsbehörden als auch die Bauindustrie den Wert und die Potenziale von Lehm-bauweise erkennen und unterstützen.

Abschließend gilt es festzuhalten, dass die Erforschung und Förderung von Lehm-bau eine multidisziplinäre Anstrengung erfordert. Die Zusammenarbeit zwischen Regierung, Wissenschaft, Bauunternehmen und Gemeinden ist notwendig. Nur durch ein koordiniertes Vorgehen können die Hindernisse überwunden und die Vorteile dieser nachhaltigen Bauweise voll ausgeschöpft werden.

5 DANKSAGUNG

Ein besonderer Dank gilt meinen Diplomarbeitsbetreuern Ulrich Pont und Sigrun Swoboda, die es mir ermöglicht haben, in meinem gewünschten Forschungsgebiet zu arbeiten, indem sie meine Ideen akzeptiert und gemeinsam mit mir weiterentwickelt haben. Ihre umfassende Unterstützung und fachliche Anleitung während des gesamten Prozesses waren von unschätzbarem Wert und haben dazu beigetragen, dass diese Arbeit eine Bereicherung für meine akademische Laufbahn wurde.

Ebenso möchte ich meinem Freund Felix für seine stetige Unterstützung danken, sowie meiner Familie und meinen Freunden, die mich durch Höhen und Tiefen begleitet haben. Ihre unermüdliche Unterstützung und Ermutigung haben mir in den schwierigen Phasen Mut gemacht und die Freude Momente noch schöner gemacht.

Ich bin dankbar für die Menschen, die mich auf diesem Weg begleitet haben und ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

6 LITERATUR

6.1 Literaturverzeichnis

Alnatura Campus Darmstadt, <https://www.haascookzemmrich.com/de/projekte/alnatura-campus/>, Stand 02.11.2024

Architektin Karin Stieldorf über nachhaltiges Planen und Bauen zwischen Wien und Bhutan, Lenoble, 2019, <https://www.diepresse.com/5590785/architektin-karin-stieldorf-ueber-nachhaltiges-planen-und-bauen-zwischen-wien-und-bhutan>, Stand: 15.10.2023

Auenböden, <https://de.wikipedia.org/wiki/Auenb%C3%B6den>, Stand: 03.02.2023

Außenwand - awmoho03a-01, Holzforschung Austria/ dataholz.eu, S1,2, Stand: 02.08.2023

Badisches Landesmuseum Karlsruhe: Vor 12000 Jahren in Anatolien, Die ältesten Monumente der Menschheit, 2007

Bauen mit Lehm und Stampflehm: Ökologisch zukunftsträchtig, <https://demane-ga.com/2023/07/28/bauen-mit-lehm-und-stampflehm-oekologisch-zukunftstraechtig/>, Stand: 05.02.2024

Berge Bjørn: The Ecology of Building Materials, Second Edition, 2009, S.123
Berufsschulen Mollardgasse feiern 100. Geburtstag, https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20110606_OTS0117/berufsschulen-mollardgasse-feiern-100-geburtstag, Stand: 08.04.2024

Betonherstellung und Klimaschutz, <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/herstellung/betonherstellung-und-klimaschutz-7229519>, Stand: 25.03.2024

Bodentypen im Stadtplan, <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/bodentypen.html>, Stand: 03.02.2024

Der Alnatura Campus in Darmstadt, <https://www.alnatura.de/de-de/ueber-uns/alnatura-campus/>, Stand: 02.11.2024

LITERATUR

DIN Normen für Lehmbaustoffe, <https://www.dachverband-lehm.de/wissen/lehmbau-din-normen>, Stand: 28.01.2024

Druckerei Gugler, <http://netzwerkehm.at/lehmbau/druckerei-gugler/>, Stand: 02.11.2023

ECOTEN Urban Comfort s.r.o., Stadt Wien: URBAN HEAT VULNERABILITY ASSESSMENT OF VIENNA, AUSTRIA, https://urban-comfort.eu/wp-content/uploads/2019/11/Booklet_UHVM_Vienna.pdf, 2019, S. 17

Flächenwidmungs- und Bebauungsplan, <https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>, Stand: 05.02.2024

Geschichte des Lehmbaus, <http://netzwerkehm.at/lehm/geschichte/>, Stand: 10.10.2023

Geschichte des Lehmbaus, <http://netzwerkehm.at/lehm/geschichte/>, Stand: 25.10.2023

Grünflächen in Wien nach Bezirken im Jahr 2023, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/684312/umfrage/gruenflaechen-in-wien-nach-bezirken/>, Stand 26.03.2024

Gugler Reinhard, Leiter DruckSinn, Email, 13.11.2023, 12:17

Hauer: LEHM URBAN, 2020, S.174

Hauptbücherei, <https://buechereien.wien.gv.at/B%C3%BCchereien-Wien/Standorte-%C3%96ffnungszeiten/Hauptb%C3%BCcherei>, Stand: 08.04.2024

Haus Rauch, <https://boltshauser.info/projekt/haus-rauch/> Stand: 30.01.2024

Univ. Prof. Michael U. Hensel, Introduction to Reaserch by Design, Vortrag Master of Building Sciences and Environment, TU Wien 10.12.2023

Hofmeister Sandra, Jakob Schoof: Bewohnte Natur, Edition Detail, 2018, S.8

HW13RF, www.rigips.de, Stand: 01.02.2020

Innenwand iwrxxo11a, Holzfoschung Austria, <https://www.dataholz.eu/bauteile/innenwand/detail/kz/iwrxxo11a.htm>, Stand 02.05.2024

Interview mit Martin Rauch: Leben mit Lehm, <https://cradle-mag.de/artikel/interview-mit-martin-rauch.html> Stand: 30.01.2024

Dipl.Ing. Janson: Materialforschung Stampflehm- Ein Beitrag zur Weiterentwicklung des Baustoffes Stampflehm, <https://api-depositonce.tu-berlin.de/server/api/core/bitstreams/6661a204-a0ee-4919-9ae2-f3fdb094930c/content>, 2012, S. 134
KLH Massivholz GmbH: Bemessung nach Eurocode 5, S.14

Krapfenbauer Thomas: BAUTABELLEN 19. Ausgabe, 2013, S.191

Lehmann: What is green Urbanism? Holistic principles to Transform Cities for Sustainability, https://www.researchgate.net/publication/221915598_What_is_Green_Urbanism_Holistic_Principles_to_Transform_Cities_for_Sustainability, 2011, S.248

Lehmbau, Alte Technik mit großer Zukunft, TU Wien, 2023, <https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/lehmbau-alte-technik-mit-grosser-zukunft>, Stand: 14.02.2023)

LEHMBAU, <http://cargocollective.com/naturbaustoffe-farben/LEHMBAU>, Stand: 15.02.2024

Dipl. Ing Liebrich: Moderner Lehmbau in Deutschland, 13.3.2024, TU Wien

Maier, Mooshammer, Schild: Holzbauskriptum HTL 1, Linz, EC5

Mariahilf, <https://www.google.com/maps>, Stand: 15.03.2023

Martin Rauch, Den Lehmbau die Stadt aneignen lassen, Interview für © 2023 architektur-online, 7. April 2021, Stand: 02.03.2024

Martin Rauch - Den Lehmbau die Stadt aneignen lassen, Interview für architektur-online, 7. April 2021, <https://www.architektur-online.com/kolumnen/den-lehmbau-die-stadt-aneignen-lassen>, Stand: 02.03.2024

Neue „Brandwand“ für den Holzbau, holzbauaustria.at, Stand: 02.03.2024

Netzwerk Lehm, <https://netzwerkehm.at/>, Stand: 28.01.2021
OIB-Richtlinie 2, S. 2-32, Ausgabe Mai 2023

LITERATUR

OIB-Richtlinie 4, Ausgabe Mai 2023

OIB-Richtlinie 6, S. 5, Ausgabe Mai 2023

Perlite Schüttung, <https://hbc-solution.at/boeden/>, Stand: 02.05.2024

Pilz, Achim: Lehm im Innenraum, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2010, S. 27-29 und S. 226-230

Pro Lehm Brennbarkeit, <https://www.prolehm.at/uploads/VelUo2ND/Prfung-BrandbestndigkeitLehmputz.pdf>, Stand 02.05.2024

Rauch, Martin: Gebaute Erde Gestalten & Konstruieren mit Stampflehm, 3, korrigierte und erweiterte Auflage, DETAIL Business Information GmbH, München, 2022, S. 78

Rieger-Jandl, Breuss: Lehm - DER Baustoff zum Erreichen der CO2-Ziele, http://netzwerklehm.at/wp-content/uploads/2023/04/paper_lehm-als-baustoff-der-zukunft.pdf, S.1 f.

Röhlen; Ziegert: Lehmbau-Praxis, Planung und Ausführung, 2020, S. 212

S&L Stampflehm, <https://www.lehmputze.at/index.php/produkte-leistungen/abdichtlehm-stampflehm/39-stampflehm-0-35>, Stand: 05.02.2024

Schachtwände Rigips, <https://medien.rigips.de/downloads/schachtwaeende.pdf>, S. 14, Stand 15.04.2022

Schallschutz mit Lehm, <https://www.malerblatt.de/themen/gebaeudehuelle-innenraum/schallschutz-mit-lehm/> Stand: 30.01.2024

Schaumglasschotter, <http://www.scharingerbau.at/naturbaustoffe/naturbaustoffe/schaumglas/schaumglasschotter/>, Stand: 22.02.2024

Schmatzberger, Boll, Broer: Eine Lebenszyklusperspektive für Gebäude, 2022, S.15

Schönburg: Lehmbauarbeiten, 2017, S. 88

Shibam, Jemen: 500 Hochhäuser aus Lehm mitten in der Wüste, <https://architekturvideo.de/shibam-jemen-hochhaeuser-lehmbau/>, Stand: 15.10.2023

Stampflehm und Heizung, <http://www.lehmprojekt.de>, Stand 05.02.2024

Stampflehmkonstruktion im Brandversuch, <https://www.holzbauaustria.at/technik/2022/07/Stampflehmkonstruktion.html>, Stand 02.05.2024

Statiktugo, <https://ifb-sw.tugraz.at/p/statiktugo/>, Stand 18.05.2024

Tavoussi Kamyar, Fadai Alireza: Tragwerkslehre Bemessungstabellen 2015, S. 2-12

Tragende Stampflehmwand im Brandversuch, <https://www.nbau.org/2022/08/13/tragende-stampflehmkonstruktion-im-brandversuch/>, Stand 02.05.2024

United Nations Environment Programme: Global Status Report for Buildings and Construction, https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf, 2020, S. 4

Wien Umweltgut, wien.gv.at/umweltgut/public/, Stand: 15.03.2024

6er Klimateam, <https://mitgestalten.wien.gv.at/de-DE/projects/6er-klimateam>, Stand: 02.02.2024

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Zugang Büros OG
Eigenes Foto

Abb.2: Besprechungszimmer
Eigenes Foto

Abb.3: Besprechungszimmer Zugang
Eigenes Foto

Abb.4: Detail Büro
Eigenes Foto

Abb.5: Detail Treppengeländer
Eigenes Foto

Abb.6: Lehm und Grün
Eigenes Foto

Abb.7: Schaukel im Aufenthaltsbereich
Eigenes Foto

Abb.8: Detail Lehmwand
Eigenes Foto

Abb.9: OG Gangbereich
Eigenes Foto

Abb.10: Detail Lehmwand Türe
Eigenes Foto

Abb.11: Zugang Aufenthaltsraum
Eigenes Foto

Abb.12: Detail Lehmwand Träger
Eigenes Foto

Abb.13: Sonnenpyramide von Moche (2.-5. Jahrhundert. n. Chr.)
© Gerhard Huber, https://austria-forum.org/attach/Geography/America/Peru/Pictures/Trujillo/Moche_-_Temple_of_the_Sun_1/scaled-900x598-pn0134_Sonnenpyramide.jpg

Abb.14: Shibam Jemen
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/licensed-image?q=tbn:ANd9GcSuNSTIMce-wlSOUwZeJlQm9pxvWEzgGRxO3fvUWqml-Yp0F41NkBQcUvDG01qTGWMiX-ZJqZAOoQCHPD9kuNwXrlhTMI5FwW>

Abb.15: Kellergassen Niederösterreich
https://img.kleinezeitung.at/public/incoming/lcf5qu-Wildendrn-bach-Galgenberg-Weinerlebnis-0047-c-Niedersterreich-Werbung_-_Robert-Herbst_1686038301691941.jpg/alternates/WIDE_1200/Wildendrn-bach-Galgenberg-Weinerlebnis-0047-c-Niedersterreich-Werbung_-_Robert-Herbst_1686038301691941.jpg

Abb.16: Haus Rauch, Lehm-bau in Österreich
© Beat Bühler, Martin Rauch <https://www.lehmtonerde.at/de/projekte/projekt.php?plD=7>

Abb.17: Herstellung Stampflehm
<https://www.firstinarchitecture.co.uk/rammed-earth-construction>

Abb.18: Kostenvergleich Stampflehm und Beton
 © Hauer, Titel: LEHM URBAN, 2020, S.174, Tab 77

Abb.19: Wärmeleitfähigkeit Lehmstoffe in Bezug zu ihrer Rohdichte
http://www.lehmprojekt.de/geladene_bilder/download/waermeleitzaehl_und_dampfdiffusionswiderstandsfaktor.pdf

Abb.20: Green Urbanism
<https://corporate.enelx.com/content/dam/global/media-hub/faq/2023/what-is-green-urbanism/desk-green-urbanism.png>

Abb.21: Kreislauf des Lehms
https://lehm.com/fileadmin/user_upload/allgemein/Kreislauf_Lehm.jpg
<https://claytec.de/>
<https://www.lernpunkt.lehm.de/de/events/vom-roh-lehm-zur-lehmmischung-material-lehm-erforschen-baustoffe-entwickeln>
https://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_bauen_mit_gedaemmtem_stampflehm-2811659.html
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/abrisssbirne-eine-branche-verliert-ihr-wahrzeichen/19879436.html>
<https://lehm.ch/materialien/stampflehm/>
<https://www.lehmtonerde.at/de/produkte/produkt.php?alD=6>

Abb.22: Druckerei Gugler, Obergeschoß
 Eigenes Foto

Abb.23: Druckerei Gugler, Stampflehmoberfläche
 Eigene Fotos

Abb.24: Alnatura Campus, Wandaufbau
 © B. Peter, https://www.forum-holzbau.com/pdf/58_IHF2017_Peter.pdf

Abb.25: Alnatura Campus
 © Roland Halbe, <https://www.haascookzemrich.com/de/projekte/alnatura-campus/>

Abb.26: Haus Rauch, Außenansicht
 © Beat Bühler, <https://netzwerk.lehm.at/lehmbau/haus-rauch/>

Abb.27: Haus Rauch, Detail
 © Beat Bühler, <https://cradle-mag.de/artikel/martin-rauch-bauen-mit-lehm.html>

Abb.28: Auswahl Bauplatz
 Eigene Darstellung

Abb.29: Verortung Lehmgrube
 Eigene Darstellung

Abb.30: Bebauungsplan
<https://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>

Abb.31: Maximal bebaubare Fläche
 Eigene Darstellung

LITERATUR

Abb.32: Bauklasse IV

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/flaechenwidmung/planzeigen/zeichenbebplan.html>

Abb.34: Bauklasse II

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/flaechenwidmung/planzeigen/zeichenbebplan.html>

Abb.33: Bauweise

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/flaechenwidmung/planzeigen/zeichenbebplan.html>

Abb.35: Bauweise

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/flaechenwidmung/planzeigen/zeichenbebplan.html>

Abb.36: Bauweise

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/flaechenwidmung/planzeigen/zeichenbebplan.html>

Abb.37: Urban Heat Vulnerability Map

<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/hitzekarte.pdf>

Abb.38: Öffentliche Verkehrsmittel

Eigene Darstellung

Abb.39: Grünflächen Bezirke Wien

Eigene Darstellung

Abb.40: Grünflächen in Mariahilf

Eigene Darstellung

Abb.41: Grünflächen rund um den Bauplatz

Eigene Darstellung

Abb.42: Öffentliche Einrichtungen

Eigene Darstellung

Abb.43: Gastronomie

Eigene Darstellung

Abb.44: Foto Bauplatz 1

Eigenes Foto

Abb.46: Foto Bauplatz 3

Eigenes Foto

Abb.45: Foto Bauplatz 2

Eigenes Foto

Abb.47: Foto Bauplatz 4

Eigenes Foto

Abb.48: Bodenbeschaffenheit

Eigene Darstellung

Abb.49: Gebäude im Westen platziert

Eigene Darstellung

Abb.50: Gebäude im Osten platziert

Eigene Darstellung

- Abb.51: Platzierung Gebäude
Eigene Darstellung
- Abb.52: Materialkonzeptskizze
Eigene Darstellung
- Abb.53: Verortung der Nutzungen
Eigene Darstellung
- Abb.54: Konzept Öffentlich - Privat
Eigene Darstellung
- Abb.55: Wegführung Erdgeschoßzone
Eigene Darstellung
- Abb.56: Lehmwand
Eigene Darstellung
- Abb.57: Holzwand
Eigene Darstellung
- Abb.58: Holzdecke
Eigene Darstellung
- Abb.59: Schachtwand
Eigene Darstellung
- Abb.60: Lehminenwand
Eigene Darstellung
- Abb.61: Holzinnenwand
Eigene Darstellung
- Abb.62: Auszug OIB-Richtlinie 2
OIB Richtlinie 2 - Brandschutz, Tabelle 1b, S.24
- Abb.63: Brandschutzwand Hersteller Rigips
Eigene Darstellung
- Abb.64: Abwasseraxonometrie
Eigene Darstellung
- Abb.65: Brandabschnitte
OIB-RL 2 Ausgabe Mai 2023 , S.3, Punkt 3.1.1
- Abb.66: Darstellung des Brandschutzkonzepts, 1. Obergeschoß
Eigene Darstellung
- Abb.67: Tragkonzept Holzskelett
Eigene Darstellung
- Abb.68: Deckenspannrichtung
Eigene Darstellung
- Abb.69: Aussteifung
Eigene Darstellung
- Abb.70: Längsaussteifung Stampflehmwände
Eigene Darstellung
- Abb.71: Aussteifung Stampflehm
Eigene Darstellung

LITERATUR

Abb.72: Aussteifung mittels Holzstreben im Stampflehm
Eigene Darstellung

Abb.73: Aussteifung mittels Stahlseilaukreuzungen im Stampflehm
Eigene Darstellung

Abb.74: Skizze Durchsteckwohnung
Eigene Darstellung

Abb.75: Wohnung TYP 1
Eigene Darstellung

Abb.76: Wohnung TYP 2
Eigene Darstellung

Abb.77: Wohnung TYP 3
Eigene Darstellung

Abb.78: Wohnung TYP 4
Eigene Darstellung

Abb.79: Wohnung TYP 5
Eigene Darstellung

Abb.80: Wohnung TYP 6
Eigene Darstellung

Abb.81: Wohnung TYP 7
Eigene Darstellung

Abb.82: Grundriss UG
Eigene Darstellung

Abb.83: Grundriss EG
Eigene Darstellung

Abb.84: Grundriss 1.OG
Eigene Darstellung

Abb.85: Grundriss 2.OG
Eigene Darstellung

Abb.86: Grundriss 3.OG
Eigene Darstellung

Abb.87: Grundriss 4.OG
Eigene Darstellung

Abb.88: Grundriss 5.OG
Eigene Darstellung

Abb.89: Grundriss 6.OG
Eigene Darstellung

Abb.90: Ansicht Süden
Eigene Darstellung

Abb.91: Schnittansicht Norden
Eigene Darstellung

Abb.92: Schnitt
Eigene Darstellung

- Abb.93: Verortung Detail 1
Eigene Darstellung
- Abb.94: Konstruktionsdetail 1, Lehmaußenwand
Eigene Darstellung
- Abb.95: Verortung Detail 2
Eigene Darstellung
- Abb.96: Konstruktionsdetail 2, Holzaußenwand
Eigene Darstellung
- Abb.97: Verortung Detail 3
Eigene Darstellung
- Abb.98: Konstruktionsdetail 3, Steildach
Eigene Darstellung
- Abb.100: Konstruktionsdetail 4, Mediathek Sockel
Eigene Darstellung
- Abb.99: Verortung Detail 4
Eigene Darstellung
- Abb.102: Konstruktionsdetail 5, Mediathek Dachanschluss
Eigene Darstellung
- Abb.101: Verortung Detail 5
Eigene Darstellung
- Abb.103: Außenschaubild
Eigene Darstellung
- Abb.104: Mediathek
Eigene Darstellung
- Abb.105: Wohnung
Eigene Darstellung
- Abb.106: KLH Bemessungstabelle Decken
KLH Massivholz GmbH: Bemessung nach Eurocode 5, S.14
- Abb.107: Abmessung Deckenplatten
KLH Massivholz GmbH: Bemessung nach Eurocode 5, S.05
- Abb.108: Einflussflächen Stützen
Eigene Darstellung
- Abb.109: Euler Fälle
Tavoussi Kamyar, Fadaï Alireza: Tragwerkslehre Bemessungstabellen 2015, S. 2
- Abb.110: Bemessungstabelle Holzquerschnitt
Tavoussi Kamyar, Fadaï Alireza: Tragwerkslehre Bemessungstabellen 2015, S. 11
- Abb.111: Bemessungstabelle Holzquerschnitt 2
Tavoussi Kamyar, Fadaï Alireza: Tragwerkslehre Bemessungstabellen 2015, S. 11
- Abb.112: Einflussflächen Unterzüge
Eigene Darstellung
- Abb.113: Bemessungstabelle Holzquerschnitt 3
Tavoussi Kamyar, Fadaï Alireza: Tragwerkslehre Bemessungstabellen 2015, S. 4

LITERATUR

Abb.114: Bemessungstabelle Holzquerschnitt 4

Tavoussi Kamyar, Fadaï Alireza: Tragwerkslehre Bemessungstabellen 2015, S. 6

Abb.115: Statisches System Unterzug Mediathek

Eigene Darstellung

Abb.116: Momentenverlauf Unterzug Mediathek

Philipp Egg: Statiktugo TU Graz, <https://ifb-sw.tugraz.at/p/statiktugo/> Stand: 18.05.2024

Abb.117: Materialkennwerte Holz C24

Maier, Mooshammer, Schild: Holzbauskriptum HTL 1, Linz, EC5

7 ANHANG

Baurechtliche Bestimmungen:

Der Lehmbau wird bisher in den österreichischen Bauordnungen noch nicht explizit genannt, was es umso schwieriger macht für Bauvorhaben Richtlinien und Vorschriften herauszufinden. Momentan orientiert man sich an den deutschen DIN-Normen:

DIN 18940: Tragendes Lehmsteinmauerwerk – Konstruktion, Bemessung und Ausführung

DIN 18942-1:2018-12: Lehmbaumstoffe – Teil 1: Begriffe

DIN 18942-100:2018-12: Lehmbaumstoffe – Teil 100: Konformitätsnachweis

DIN 18945:2018-12: Lehmsteine – Anforderungen und Prüfverfahren

DIN 18946:2018-12: Lehmmauermörtel – Anforderungen und Prüfverfahren

DIN 18947:2018-12: Lehmputzmörtel – Anforderungen und Prüfverfahren

DIN 18948:2018-12: Lehmplatten – Anforderungen und Prüfverfahren

(DIN Normen für Lehmbaumstoffe, Stand: 28.01.2024)

Neben den DIN-Normen gibt es auch Technische Merkblätter welche weiteren Erläuterungen zum Lehmbau beinhalten. Seit 2013 gibt es diese DIN-Normen für Lehmbau in Deutschland bereits, sie gelten aber bisher ausschließlich auf im Werk hergestellte Produkte. Ab Ende des Jahres 2024 soll der Lehmbau außerdem in der Landesnorm Deutschland aufgenommen werden, dadurch kann im Bauantrag neben den herkömmlichen Bauweisen wie Ziegel oder Beton auch Lehmbaumweise angegeben werden können (Dipl. Ing Liebrich, 13.3.2024).

In Österreich hingegen sind die baurechtlichen Bestimmungen und Regelwerke noch in keinen Normen verankert, bisher muss für Bauwerke, die in Lehmbaumweise erreicht werden eine Sondergenehmigung eingeholt werden.

Der Fachverband „Netzwerk Lehm“ setzt sich in Österreich zur Förderung des Lehmbaus ein, dennoch ist es in Österreich noch ein weiter Weg, bis Lehmbau in gleicher Weise wie andere Bauformen in den Normen verankert ist. (Netzwerk Lehm, Stand 28.01.2021)

Konstruktion:

Bemessung Brettsper Holzdecke:

Für die Bemessung der Decke werden Einfeldträger angenommen. Die Spannweite zwischen den Feldern beträgt rund 4,50 m, es wird bei der Vorbemessungstabelle von der Firma KLH verwendet (siehe Abb. 106).

Lastannahmen:

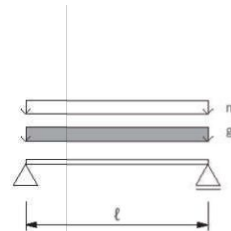
Die Nutzlast im Wohnungsbau (Kategorie A) beträgt 2,00 kN/m² bzw. in meinem Fall mit Zwischenwandzuschlag von 0,8 kN/m² insgesamt 2,8 kN/m².

Die Aufbauten werden mit rund 2,00 kN/m² angenommen.

2.4 KLH ALS DECKE - EINFELDTRÄGER

Schwingungsnachweis für erhöhte Anforderungen
Mindestplattenstärken für R 0 (Kaltbemessung)

nach Zulassung ETA-06/0138
ÖNORM EN 1995-1-1:2009 und ÖNORM B 1995-1-1:2010
ÖNORM EN 1995-1-2:2011 und ÖNORM B 1995-1-2:2011



Ständige Aufkast	Nutzlast	SPANNWEITE EINFELDTRÄGER l									
		n_k [kN/m ²]	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
1,00	A	1,50	3s 78 DL	3s 90 DL							
		2,00		3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7s 208 DL	7s 230 DL
		2,80								7s 208 DL	7s 230 DL
	B	3,00	3s 90 DL	3s 108 DL							
		3,50				5s 145 DL	5s 182 DL	5s 200 DL			
		4,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL			
C	5,00	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL				
								7s 230 DL	7s 248 DL	7s 260 DL	
1,50	A	1,50			3s 120 DL	5s 145 DL					
		2,00								7s 201 DL	7s 208 DL
		2,80	3s 90 DL	3s 108 DL							
	B	3,00				5s 140 DL	5s 162 DL				
		3,50						5s 200 DL		7s 201 DL	7s 208 DL
		4,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 145 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL		7s 208 DL	7s 230 DL
C	5,00	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL		7s 208 DL	7s 230 DL	
								7s 230 DL	7s 248 DL	7s 260 DL	
2,00	A	1,50									
		2,00		3s 108 DL			5s 162 DL				
		2,80	3s 90 DL								
	B	3,00				5s 140 DL					
		3,50						5s 200 DL			
		4,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 145 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL			
C	5,00	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL				
								7s 201 DL	7s 208 DL	7s 230 DL	
								7s 208 DL	7s 230 DL	7s 248 DL	
2,50	A	1,50									
		2,00									
		2,80									
	B	3,00			3s 120 DL	5s 140 DL					
		3,50					5s 182 DL				
		4,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 145 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL			
C	5,00	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL				
								7s 201 DL	7s 208 DL	7s 230 DL	
								7s 208 DL	7s 230 DL	7s 248 DL	
3,00	A	1,50									
		2,00									
		2,80									
	B	3,00			3s 120 DL	5s 145 DL					
		3,50					5s 182 DL				
		4,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 145 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL			
C	5,00	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 162 DL	5s 182 DL	5s 200 DL				
								7s 201 DL	7s 208 DL	7s 230 DL	
								7s 208 DL	7s 230 DL	7s 248 DL	

*) zusätzlich zum Eigengewicht der KLH-Elemente (das Eigengewicht von KLH ist in der Tabelle bereits berücksichtigt)

Brandwiderstand:	R 0	R 30	R 60	R 90
------------------	-----	------	------	------

Abb.106: KLH Bemessungstabelle Decken

Die Vorbemessung mithilfe der Tabelle ergibt 5s 162 DL (5 Schichten, Dicke 162mm), sowie dass der Brandschutz R90 erreicht wird. Die Plattenabmessungen sind in Abb. 107 ersichtlich.

DECKLAGE IN RICHTUNG DER PLATTENLÄNGSRICHTUNG DL (DECKE/DACH)

Nennstärke in mm	in Schichten	Lamellenaufbau [mm]							Plattenbreiten Standard [m]	Plattenlänge maximal [m]
		L	Q	L	Q	L	Q	L		
60	3s	19	22	19					2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
78	3s	19	40	19					2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
90	3s	34	22	34					2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
95	3s	34	27	34					2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
108	3s	34	40	34					2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
120	3s	40	40	40					2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
95	5s	19	19	19	19	19			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
117	5s	19	30	19	30	19			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
125	5s	19	34	19	34	19			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
140	5s	34	19	34	19	34			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
145	5s	34	21,5	34	21,5	34			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
162	5s	34	30	34	30	34			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
182	5s	34	40	34	40	34			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
200	5s	40	40	40	40	40			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
201	7s	34	21,5	34	22	34	21,5	34	2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
226	7s	34	30	34	30	34	30	34	2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
208	7ss	68	19	34	19	68			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
230	7ss	68	30	34	30	68			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
248	7ss	74	30	40	30	74			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
* 260	7ss	80	30	40	30	80			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
* 280	7ss	80	40	40	40	80			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
247	8ss	68	21,5	68	21,5	68			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
* 300	8ss	80	30	80	30	80			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50
* 320	8ss	80	40	80	40	80			2.40 / 2.50 / 2.72 / 2.95	16.50

Abb.107: Abmessung Deckenplatten

Bemessung Holzstützen

Die Einflussflächen für eine Stütze im Wohnungsbau und eine in der Mediathek wurden siehe Abb. 108 ermittelt.

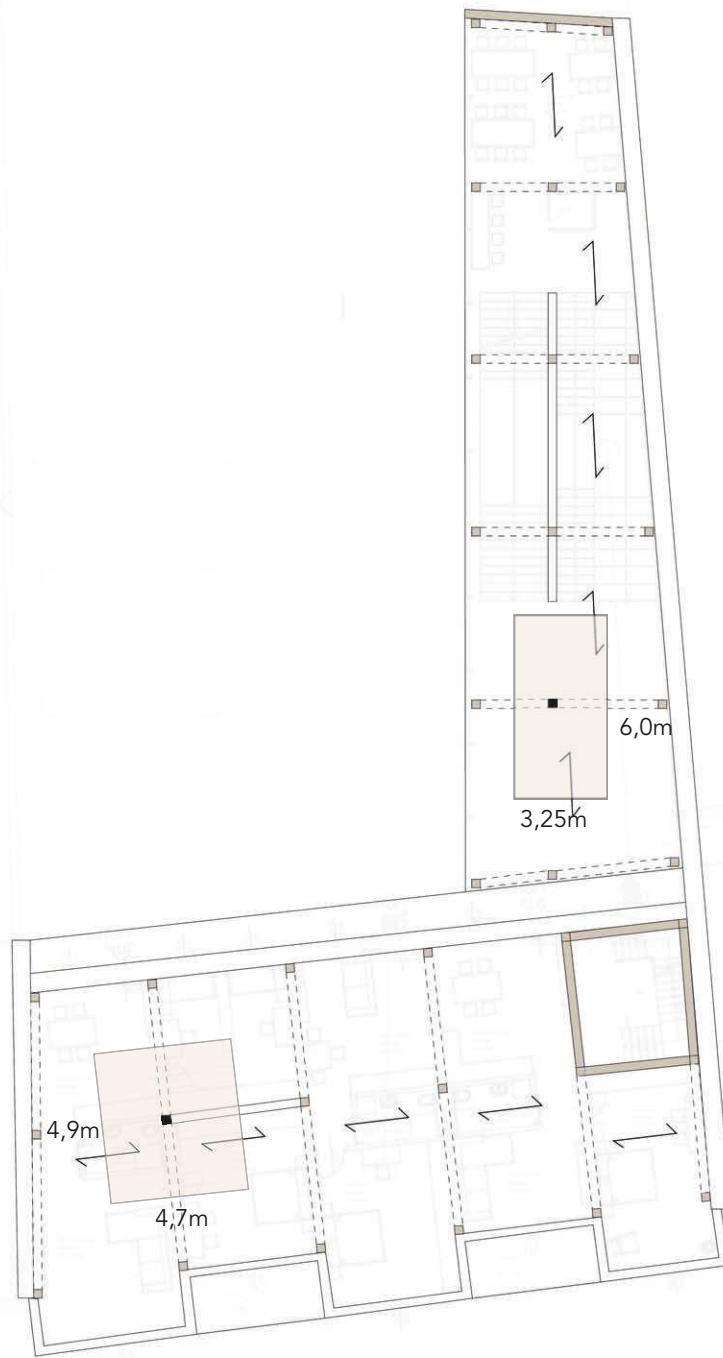


Abb.108: Einflussflächen Stützen

Bemessung Stütze Wohngebäude:

Einflussfläche: 4,7 m * 4,9 m = 23,03 m²

Veränderliche Lasten: Nutzlast im Wohnbau ~2,8 kN/m²

Ständige Lasten: Aufbauten ~2,0 kN/m²

(2,0 kN/m² + 2,8 kN/m²) * 1,3 = 6,24 kN/m²

23,03 m² * 6,24 kN/m² = 143,71 kN

Knicklänge der Stütze (Euler Fall 2, siehe Abb. 109)

$l_k = l, l = 4 \text{ m}, l_k = 4 \text{ m}$

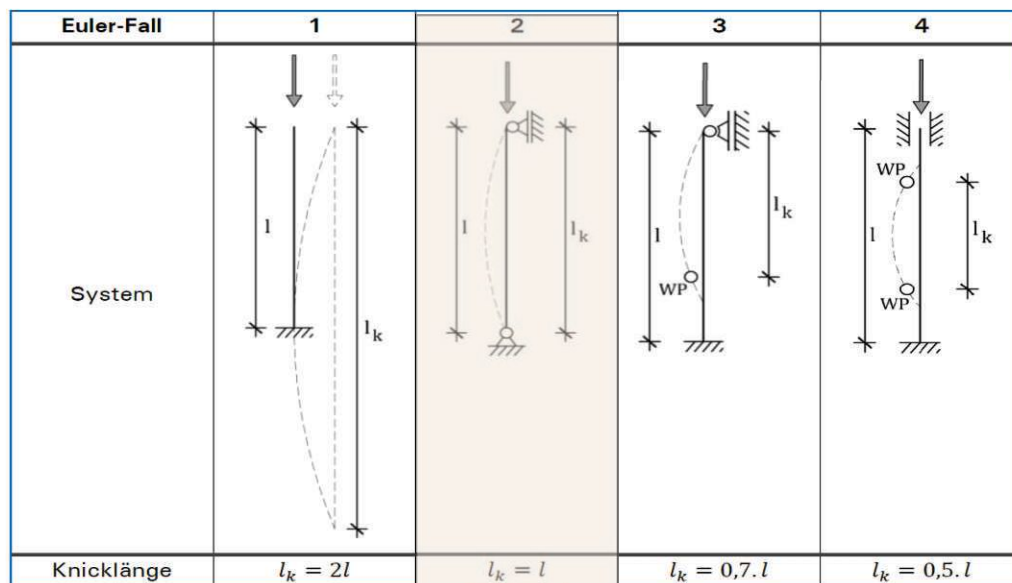
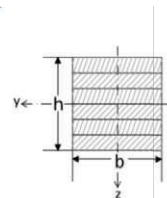


Abb.109: Euler Fälle

Eingangswerte:
 Holzgüte GL 24h $f_{c,0,k} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$
 $E_{0,05} = 960 \text{ kN/cm}^2$
 Modifikationsbeiwert $k_{mod} = 0,8$
 Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1,25$
 Imperfektionsbeiwert $\beta_c = 0,1$



Querschnitt <i>b = h [cm]</i>	Knicklänge l_k [m]																
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8	32	21	15	11	9	7	6	5									
10	72	50	36	27	21	17	13	11	9	7							
12	127	98	73	55	43	34	28	23	19	14	11						
14	187	162	128	99	78	62	51	42	36	26	20	16	13				
16	254	235	201	162	129	104	86	71	60	45	34	27	22	18			
18	327	312	285	243	200	163	135	113	96	71	55	44	35	29	25	21	
20	409	396	374	338	289	242	202	170	144	108	83	66	54	45	38	32	28
22	499	487	469	439	393	339	288	244	209	156	121	96	79	65	55	47	41
24	598	587	570	545	506	452	393	337	290	219	170	136	111	92	78	66	57
26	705	694	679	658	625	576	515	450	391	298	233	186	152	126	107	91	79
28	821	810	796	776	748	707	649	581	512	395	310	248	203	169	143	122	106

Abb.110: Bemessungstabelle Holzquerschnitt

Erforderlicher Querschnitt der Stütze lt. Bemessungstabelle: 18 cm (siehe Abb.110).

Um ausreichend Brandschutzabbrand zu gewährleisten werden pro Seite 4 cm Abbrandmaterial hinzugefügt ergibt einen Querschnitt von 26 cm je Stütze im Erdgeschoß. In den höheren Geschoßen kann der Querschnitt, da sich die Aufbautenlast verringert dementsprechend kleiner angenommen werden.

ANHANG

Bemessung Stütze Mediathek:

Einflussfläche (siehe Abb. 108): $3,25 \text{ m} * 6,0 \text{ m} = 19,5 \text{ m}^2$

Veränderliche Lasten: Nutzlast Kategorie C3.1 (Krapfenbauer, S.191) $\sim 4,0 \text{ kN/m}^2$

Ständige Lasten: Aufbauten $\sim 2,0 \text{ kN/m}^2$

$(2,0 \text{ kN/m}^2 + 4,0 \text{ kN/m}^2) * 1,3 = 7,8 \text{ kN/m}^2$

$19,5 \text{ m}^2 * 7,8 \text{ kN/m}^2 = \underline{152,1 \text{ kN}}$

Knicklänge der Stütze (Euler Fall 2, siehe Abb. 109)

$l_k = l, l = 7 \text{ m}, l_k = \underline{7 \text{ m}}$

Eingangswerte:

Holzgüte GL 24h

$$f_{c,0,k} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 960 \text{ kN/cm}^2$$

Modifikationsbeiwert

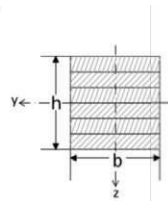
$$k_{mod} = 0,8$$

Teilsicherheitsbeiwert

$$\gamma_M = 1,25$$

Imperfektionsbeiwert

$$\beta_c = 0,1$$



Querschnitt $b = h$ [cm]	Knicklänge l_k [m]																
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8	32	21	15	11	9	7	6	5									
10	72	50	36	27	21	17	13	11	9	7							
12	127	98	73	55	43	34	28	23	19	14	11						
14	187	162	128	99	78	62	51	42	36	26	20	16	13				
16	254	235	201	162	129	104	86	71	60	45	34	27	22	18			
18	327	312	285	243	200	163	136	113	96	71	55	44	35	29	25	21	
20	409	396	374	338	289	242	202	170	144	108	83	66	54	45	38	32	28
22	499	487	469	439	393	339	288	244	209	156	121	96	79	65	55	47	41
24	598	587	570	545	506	452	393	337	290	219	170	136	111	92	78	66	57
26	705	694	679	658	625	576	515	450	391	298	233	186	152	126	107	91	79
28	821	810	796	776	748	707	649	581	512	395	310	248	203	169	143	122	106

Abb.111: Bemessungstabelle Holzquerschnitt 2

Erforderlicher Querschnitt der Stütze lt. Bemessungstabelle: 22 cm (siehe Abb. 111).

Um ausreichend Brandschutzabbrand zu gewährleisten werden pro Seite 4 cm Abbrandmaterial hinzugefügt ergibt einen Querschnitt von 30 cm je Stütze.

Die ausgewählte Stütze ist in der Mediathek über zwei Geschoße hinweg und hat somit die längste Knicklänge, daher kann angenommen werden, dass die weiteren Stützen mit den selben Abmessungen mehr als ausreichend sind.

Bemessung Unterzüge

Die Einflussflächen für einen Unterzug im Wohnungsbau und einen in der Mediathek wurden siehe Abb. 112 ermittelt.

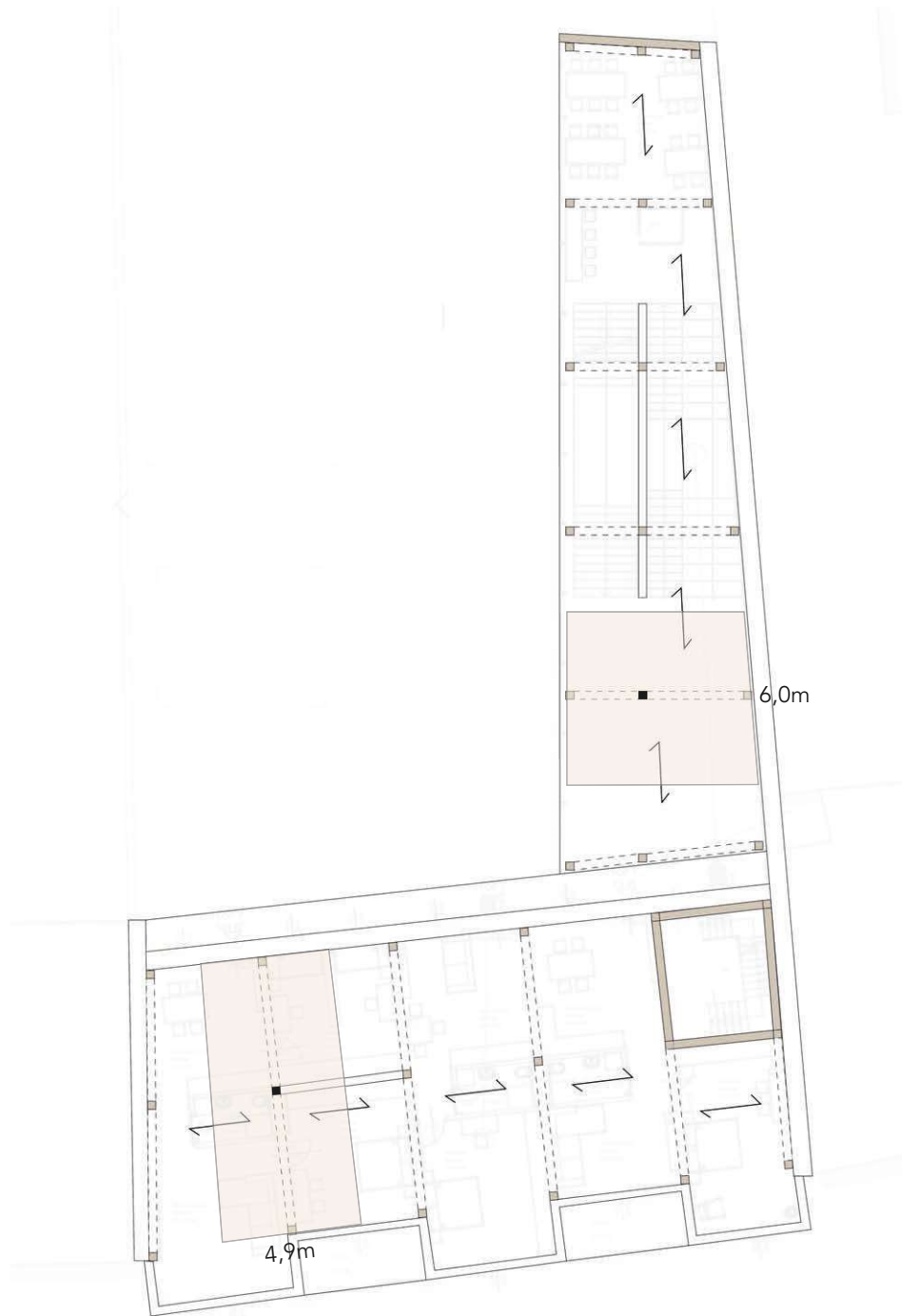


Abb.112: Einflussflächen Unterzüge

ANHANG

Bemessung Unterzug Wohngebäude Erdgeschoß:

gerechnet als Einfeldträger

Spannweite = 4,9 m daher rund 5 m angenommen

Veränderliche Lasten: Nutzlast im Wohnbau ~2,8 kN/m²

Ständige Lasten: Aufbauten ~2,0 kN/m²

(2,0 kN/m² + 2,8 kN/m²) * 1,3 = 6,24 kN/m²

6,24 kN/m² * 4,9 m = 30,58 kN/m

Tabelle: bei Last ~30 kN/m, Spannweite = ~5 m

2.1.2 Erforderliche Querschnittswerte für Träger aus Brettschichtholz unter Gleichlast

Erforderliches Widerstandsmoment W_y [cm³] und Trägheitsmoment I_y [cm⁴] für Träger aus Brettschichtholz (GL 24h)

Folgende Voraussetzungen gelten:

$k_{med} = 0,8$ $\gamma_M = 1,25$ $k_{def} = 0,6$ $\psi_2 = 0,3$
 $f_{m,k} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$ $E_{0,mean} = 1.150 \text{ kN/cm}^2$

50% ständige Last, 50% veränderliche Last

Schubspannungs- und Schwingungsnachweise sind gesondert zu führen!

Last q [kN/m]	Spannweite L [m]											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	W _y	94	212	378	590	850	1.156	1.510	1.912	2.360	2.856	3.398
	I _y	543	1.834	4.348	8.492	14.674	23.302	34.783	49.524	67.935	90.421	117.391
3	W _y	142	319	566	885	1.274	1.735	2.266	2.867	3.540	4.289	5.098
	I _y	815	2.751	6.522	12.736	22.011	34.952	52.174	74.287	101.902	135.632	176.067
4	W _y	189	425	755	1.180	1.699	2.313	3.021	3.823	4.720	5.711	6.797
	I _y	1.087	3.668	8.696	16.984	29.348	46.603	69.565	99.049	135.870	180.842	234.783
5	W _y	236	531	944	1.475	2.124	2.891	3.776	4.779	5.900	7.139	8.496
	I _y	1.359	4.586	10.870	21.230	36.685	58.254	86.957	123.811	169.837	226.053	293.478
6	W _y	283	637	1.133	1.770	2.549	3.469	4.531	5.735	7.080	8.567	10.195
	I _y	1.630	5.503	13.043	25.476	44.022	69.905	104.348	148.573	203.804	271.264	352.174
7	W _y	330	743	1.322	2.065	2.974	4.047	5.286	6.691	8.260	9.995	11.895
	I _y	1.902	6.420	15.217	29.721	51.359	81.556	121.739	173.336	237.772	316.474	410.870
8	W _y	378	850	1.510	2.360	3.398	4.626	6.042	7.646	9.440	11.423	13.594
	I _y	2.174	7.337	17.391	33.967	58.696	93.207	139.130	198.098	271.739	361.685	469.565
9	W _y	425	966	1.699	2.655	3.823	5.204	6.797	8.602	10.620	12.850	15.293
	I _y	2.446	8.254	19.565	38.213	66.033	104.857	156.522	222.960	305.707	406.895	528.261
10	W _y	472	1.062	1.888	2.950	4.248	5.782	7.552	9.558	11.800	14.278	16.992
	I _y	2.717	9.171	21.739	42.459	73.370	116.508	173.913	247.622	339.674	452.106	586.957
12,5	W _y	590	1.328	2.360	3.688	5.310	7.228	9.440	11.948	14.750	17.848	21.240
	I _y	3.397	11.464	27.174	53.074	91.712	145.635	217.391	309.528	424.592	565.132	733.696
15	W _y	708	1.593	2.832	4.425	6.372	8.673	11.328	14.337	17.700	21.417	25.488
	I _y	4.076	13.757	32.609	63.689	110.054	174.762	260.870	371.433	509.511	678.159	880.435
17,5	W _y	826	1.869	3.304	5.163	7.434	10.119	13.216	16.727	20.650	24.987	29.736
	I _y	4.755	16.060	38.043	74.304	128.397	203.889	304.348	433.339	594.429	791.185	1.027.174
20	W _y	944	2.124	3.776	5.900	8.496	11.564	15.104	19.116	23.600	28.556	33.984
	I _y	5.435	18.342	43.478	84.918	146.738	233.016	347.826	495.245	679.348	904.212	1.173.913
25	W _y	1.180	2.655	4.720	7.375	10.620	14.455	18.880	23.995	29.900	35.895	42.480
	I _y	6.793	22.928	54.348	106.148	183.424	291.270	434.783	619.056	849.185	1.130.265	1.467.391
30	W _y	1.416	3.186	5.664	8.850	12.744	17.346	22.656	28.574	35.400	42.834	
	I _y	8.152	27.514	65.217	127.378	220.109	349.524	521.739	742.967	1.019.022	1.356.318	

Abb.113: Bemessungstabelle Holzquerschnitt 3

Ablesen der Kennwerte W_y und I_y laut Abb. 113.

W_y = 8.850 cm³

I_y = 127.378 cm⁴

Tabelle:

Breite b [cm]		Höhe h [cm]												
		44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
6	Wy													
	ly													
8	Wy	2.581	3.072	3.605	4.181	4.800	5.461	6.165	6.912	7.701	8.533	9.408	10.325	11.284
	ly	56.789	73.728	93.739	117.077	144.000	174.763	209.621	248.832	292.651	341.333	395.136	454.315	519.000
10	Wy	3.227	3.840	4.507	5.227	6.000	6.827	7.707	8.640	9.627	10.667	11.760	12.907	14.108
	ly	70.987	92.160	117.173	146.347	180.000	218.453	262.027	311.040	365.813	426.667	493.920	567.893	648.000
12	Wy	3.872	4.608	5.408	6.272	7.200	8.192	9.248	10.368	11.552	12.800	14.112	15.488	16.928
	ly	85.184	110.592	140.608	175.616	216.000	262.144	314.432	373.248	438.976	512.000	592.704	681.472	778.560
14	Wy	4.517	5.376	6.309	7.317	8.400	9.557	10.789	12.096	13.477	14.933	16.464	18.069	19.748
	ly	99.381	129.024	164.043	204.885	252.000	305.835	366.837	435.456	512.139	597.333	691.488	795.051	908.000
16	Wy	5.163	6.144	7.211	8.363	9.600	10.923	12.331	13.824	15.403	17.067	18.816	20.651	22.572
	ly	113.579	147.456	187.477	234.155	288.000	349.525	419.243	497.664	585.301	682.667	790.272	908.629	1.038.000
18	Wy	5.808	6.912	8.112	9.408	10.800	12.288	13.872	15.552	17.328	19.200	21.168	23.232	25.488
	ly	127.776	165.888	210.912	263.424	324.000	393.216	471.648	559.872	658.464	768.000	889.056	1.022.208	1.168.000
20	Wy	6.453	7.680	9.013	10.453	12.000	13.653	15.413	17.280	19.253	21.333	23.520	25.813	28.224
	ly	141.973	184.320	234.347	292.693	360.000	436.907	524.053	622.080	731.627	853.333	987.840	1.135.787	1.298.000
22	Wy	7.099	8.448	9.915	11.499	13.200	15.019	16.955	19.008	21.179	23.467	25.872	28.395	31.037
	ly	156.171	202.752	257.781	321.963	396.000	480.597	576.459	684.288	804.789	938.667	1.086.624	1.249.365	1.427.000
24	Wy	7.744	9.216	10.816	12.544	14.400	16.384	18.496	20.736	23.104	25.600	28.224	30.976	33.856
	ly	170.368	221.184	281.216	351.232	432.000	524.288	628.864	746.496	877.952	1.024.000	1.185.408	1.362.944	1.557.000
26	Wy	8.389	9.984	11.717	13.589	15.600	17.749	20.037	22.464	25.029	27.733	30.576	33.557	36.672
	ly	184.565	239.616	304.651	380.501	468.000	567.979	681.269	808.704	951.115	1.109.333	1.284.192	1.476.523	1.687.000
28	Wy	9.035	10.752	12.619	14.635	16.800	19.115	21.579	24.192	26.955	29.867	32.928	36.139	39.496
	ly	198.763	258.048	328.085	409.771	504.000	611.669	733.675	870.912	1.024.277	1.194.667	1.382.976	1.590.101	1.818.000

Abb.114: Bemessungstabelle Holzquerschnitt 4

Ablezen der Querschnittsgröße laut Abb. 115.

$$W_y = 9.035 \text{ cm}^3$$

$$l_y = 198.763 \text{ cm}^4$$

daher Querschnitt: b= 28cm, h= 44cm

Da im Erdgeschoß die Raumhöhe 4,40 m beträgt ist ein Unterzug mit der Höhe von 44 cm vorgesehen. In den oberen Geschoßen kann aufgrund von weniger Auflast, die Abmessung des Unterzuges verringert werden.

ANHANG

Bemessung Unterzug Mediathek:

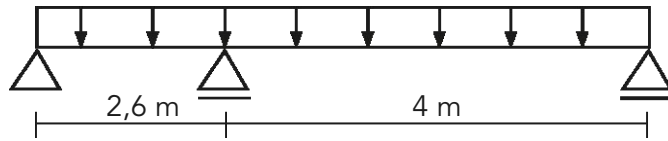


Abb.115: Statisches System Unterzug Mediathek

Da die Tabelle in den Bemessungstabellen nur bis zu einer Belastung von 30 kN/m reicht und es durch die höhere Nutzlast in der Mediathek zu höheren Lasten kommt, wurde die Biegungsbemessung für diesen Unterzug händisch überschlagen.

Lastannahmen:

Veränderliche Lasten: Nutzlast Kategorie C3.1 (Krapfenbauer, S.191) ~ 4,0 kN/m²

Ständige Lasten: Aufbauten ~2,0 kN/m²

$(2,0 \text{ kN/m}^2 + 4,0 \text{ kN/m}^2) \cdot 1,3 = 7,8 \text{ kN/m}^2$

$7,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 6\text{m (Einflussbreite)} = 46,8 \text{ kN/m} \rightarrow$ zu groß für Bemessungstabelle

Daher wurde die Biegungsbemessung überschlagen und der Unterzug so vor-dimensioniert. Das maximale Moment wurden mithilfe des Online Programms Statiktugo der TU Graz berechnet (Statiktugo TU Graz, Stand: 18.05.2024) (siehe Abb. 116).

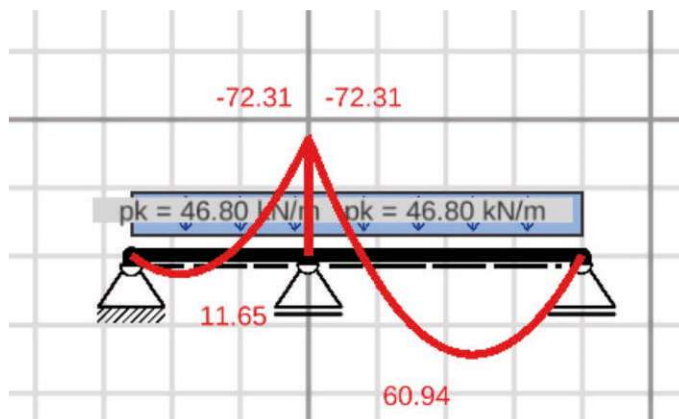


Abb.116: Momentenverlauf Unterzug Mediathek

$$\sigma = M/W \leq 1$$

$$W_{\text{erf}} = M_y / f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = 14,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (Maier et al, siehe Abb. 117)}$$

$$f_{m,d} = 1,48 \text{ kN/cm}^2$$

Nadelholz C24 = S10 $\gamma_M = 1,3$				Belastung - Lasteinwirkung					
				Eigengewicht		Lager	Hochbauten	Dächer	
				Ständig	Lang	Mittel	Kurz/sehr kurz		
Faktor Lasteinwirkungsdauer				k_{mod}	0,6	0,7	0,8	1,0	
1	Biegung		$f_{m,k}$	24,0	$f_{m,d}$	11,1	12,9	14,8	18,5
2	Zug	parallel	$f_{t,0,k}$	14,0	$f_{t,0,d}$	6,5	7,5	8,6	10,8
3	Zug	rechtwinkelig	$f_{t,90,k}$	0,4	$f_{t,90,d}$	0,2	0,2	0,2	0,3
4	Druck	parallel	$f_{c,0,k}$	21,0	$f_{c,0,d}$	9,7	11,3	12,9	16,2
5	Druck	rechtwinkelig	$f_{c,90,k}$	2,5	$f_{c,90,d}$	1,2	1,3	1,5	1,9
6	Schub		$f_{v,k}$	2,3	$f_{v,d}$	1,1	1,2	1,4	1,8
8	E-Modul	parallel	$E_{0,mean}$	11.000	$E_{0,mean}$	11.000			

Abb.117: Materialkennwerte Holz C24

$$W_{\text{erf}} = (72,31 \text{ kNm} \cdot 100) / 1,48 = 4885,81 \text{ cm}^3$$

$$W = (b \cdot h^2) / 6$$

$$h = \sqrt{(W \cdot 6) / b}$$

Annahme $b = 30 \text{ cm}$

$$h = \sqrt{(4885,81 \text{ cm}^3 \cdot 6) / 30 \text{ cm}}$$

$$h = 31,26 \text{ cm}$$

runden auf nächst größeres gängiges Maß: 34 cm

QS: $b = 30 \text{ cm}$, $h = 34 \text{ cm}$

$$W_{\text{tatsächlich}} = (b \cdot h^2) / 6$$

$$W_{\text{tatsächlich}} = (30 \cdot 34^2) / 6 = 5780 \text{ cm}^3$$

tatsächliche Spannung:

$$\sigma = My / Wy$$

$$\sigma = (72,31 \text{ kNm} \cdot 100) / 5780 \text{ cm}^3 = 1,25 \text{ kN/cm}^2$$

Ausnutzung:

$$1,25 / 1,48 = 0,8446 \rightarrow 84,46 \%$$

Abmessungen Unterzug: $b = 30 \text{ cm}$, $h = 34 \text{ cm}$