



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Nachhaltige Baustoffe

Analyse der Baustoffe Stroh und Lehm und deren Einsatz im Entwurf

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

unter der Leitung von

Associate Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai

E 259 Institut für Architekturwissenschaften

E 259.2 Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Melanie Würrer BSc

Matr.Nr. 01326334

A - 2224 Erdpress

Wien, am _____

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Das Thema des Klimawandels ist schon lange präsent. Nun ist jedoch ein kritischer Zeitpunkt erreicht, an dem gehandelt werden muss, um noch das Schlimmste verhindern zu können.

Einer der wichtigsten Punkte dabei ist die Senkung der Treibhausgasemissionen. Diese können auch im Sektor Bauen durch den Einsatz von nachhaltigen Materialien erheblich reduziert werden. Das Treibhauspotential beschreibt den Beitrag von verschiedenen Materialien zur globalen Erwärmung. Die Baustoffe Holz, Stroh und Lehm weisen dabei besonders gute Werte auf und dienen als CO₂-Speicher.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der eben genannten Thematik und bietet eine Lösung, wie nachhaltige und nachwachsende Materialien im Entwurf eingesetzt werden können.

Der Fokus liegt auf den Materialien Stroh und Lehm. Die Begründung liegt darin, dass diese äußerst gute ökologische Werte aufweisen. Sie benötigen einen geringen Anteil an nicht erneuerbarer Energie in der Herstellung und tragen weniger als andere Materialien zur globalen Erwärmung bei.

Die Basis der Arbeit gründet auf einer detaillierten Recherche und Analyse der genannten Baustoffe. Dazu wird nicht nur auf deren Herstellung, sondern auch auf Eigenschaften und Konstruktionsarten eingegangen.

Die Analyse von zwei geplanten Objekten, wobei eines davon bereits realisiert wurde, fundiert die Erkenntnisse.

Der Vergleich von vier verschiedenen Aufbauten und deren einhergehenden ökologischen Werten begründet zusätzlich die Wahl der Baustoffe und der Konstruktion.

Das letztendlich erlangte Wissen wird in einem Entwurf angewendet. Dieser gründet auf einem bereits stattgefundenen Wettbewerb. Dabei liegt der Fokus nicht nur auf dem Einsatz der Materialien Stroh und Lehm, sondern auch auf dem Erfüllen der verschiedenen Schwerpunkte der Dimensionen des nachhaltigen Bauens.

Der entstandene Wohnbau bietet Platz für 92 Wohneinheiten und besticht durch dessen nachhaltigem Konzept. Durch weitere Funktionen wird den Bewohnern eine hochwertige Lebensqualität geboten. Die Konstruktion zeichnet sich durch den ökonomischen Einsatz der Materialien aus. Der Entwurf bietet eine Lösung, wie Materialien sinnvoll eingesetzt werden können, an.

Abstract

The issue of climate change has been around for a long time. However, a critical point has now been reached. We have to change something to protect the earth and not worsen the situation.

One of the most important points here is the reduction of greenhouse gas emissions. These can also be reduced considerably in the building sector through the use of sustainable materials. The global warming potential describes the contribution of various materials to global warming. The building materials wood, straw and clay show good values and act as a CO₂ storage.

This thesis deals with the topic just mentioned before and offers a solution on how sustainable and renewable materials can be used in design.

The focus lies on the materials straw and clay. The reason for this decision is that they have extremely good ecological values. They require a small amount of non-renewable energy during their production and contribute less to global warming than other materials.

The work is based on a detailed research and analysis of the building materials straw and clay. Their production, characteristics and the different constructions are discussed.

The analysis of two planned objects, whereby one of them is already built, consolidate the findings.

The comparison of four different structures and their associated ecological values establish the choice of building materials and construction too.

The design, which is based on a competition that has already taken place, draws from the profound research. The focus is not only on the use of the materials straw and clay, but also on fulfilling the key aspects of the dimensions of sustainable building.

The resulting residential building offers space for 92 units and impresses with its sustainable concept. Additional functions offer residents a high quality of life. The construction is characterized by the economical use of materials. The design offers a solution on how materials can be used reasonably.

Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Herrn Associate Professor Dipl.-Ing. Dr.techn. Alireza Fadai für die Begleitung meiner Arbeit und die konstruktive Kritik. Danke für die zahlreichen Hilfestellungen.

Ein weiteres Danke geht an Herrn Dipl.Ing. Konrad Hitthaler, der mir stets mit hilfreichen Tipps zur Seite stand.

Danke auch an meine Familie, die mich immer unterstützt. Ein besonderer Dank geht dabei an meine Mama und meinen Bruder.

Danke an alle meine Freunde und Studienkollegen, die mir immer ein offenes Ohr schenken und zur Seite stehen. Danke für euren Zuspruch und eure Motivation.

Ein besonderer Dank geht an meinen Partner, der mich durch mein ganzes Studium begleitet hat und mich immer unterstützt. Ich bedanke mich für seine unermüdliche Geduld, seine Hilfestellung, wenn für den Modellbau einmal wieder zu wenig Zeit übrig war und dass er mir auch in den stressigsten Zeiten immer ein Lächeln entlocken konnte.

Inhalt

01	Einführung	11	04	Lehm	51
02	Baubiologie	15	4.1	Geschichte	52
2.1	Was ist Baubiologie?	16	4.2	Lehmarten	54
2.2	Einflussfaktoren	17		4.2.1 Lösslehm	55
	2.2.1 Standort	17		4.2.2 Sedimentlehm	55
	2.2.2 Baukörper	17		4.2.3 Geschiebelehm	55
	2.2.3 Baustoffe	18	4.3	Herstellung von Lehmstoffen	56
2.3	Baubiologische Institutionen	19		4.3.1 Baulehm	56
	2.3.1 Zertifizierungssysteme	19		4.3.2 Herstellung	56
2.4	Was beeinflusst meine Wahl der Baustoffe?	21		4.3.3 Formgebung	58
	2.4.1 Primärenergieinhalt	21		4.3.4 Trocknung	59
	2.4.2 Ökobilanzierung	21	4.4	Lehmstoffe	60
	2.4.3 Ökoindex OI3	22		4.4.1 Stampflehm	60
	2.4.4 Treibhausgasemissionen	22		4.4.2 Wellerlehm	60
03	Stroh	27		4.4.3 Stroh- und Faserlehm	60
3.1	Geschichte	28		4.4.4 Leichtlehm	60
3.2	Stroh	29		4.4.5 Lehmschüttungen	61
3.3	Initiativen und Netzwerke	31		4.4.6 Lehmörtel	61
	3.3.1 GrAT	31		4.4.7 Lehmsteine	62
	3.3.2 ASBN	32		4.4.8 Lehmplatten	62
3.4	Eigenschaften	33	4.5	Eigenschaften	63
	3.4.1 Primärenergieinhalt	33		4.5.1 Primärenergieinhalt	63
	3.4.2 Wärmeleitfähigkeit und Wärmeschutz	35		4.5.2 Wärmeschutz	64
	3.4.3 Feuchtigkeit und Schimmelbildung	35		4.5.3 Verhalten bei Feuchtigkeit	64
	3.4.4 Brandschutz	37		4.5.4 Statisches Verhalten	65
	3.4.5 Aufbau, Struktur und Tragverhalten	39		4.5.5 Brandschutz	65
3.5	Strohbauweisen	41	4.6	Bauweisen	66
	3.5.1 Lasttragende Systeme	42		4.6.1 Ausfachungen von Holzkonstruktionen	66
	3.5.2 Nicht lasttragende Systeme	44		4.6.2 Nicht tragende Trennwände	67
				4.6.3 Decken	68
				4.6.4 Putz	69

05	Beispiele	71
5.1	Strohhaus, Capital [A] architects	72
5.2	Haus des Lernens, MAGK Architekten	80
06	Entwurf	85
6.1	Ziele	86
6.2	Rahmenbedingungen	87
6.3	Die Dimensionen des nachhaltigen Bauens	88
	6.3.1 Wiener 4 Säulenmodell	91
	6.3.2 SMART Wohnbauprogramm	94
6.4	Bauplatzanalyse	95
	6.4.1 städtebauliche Analyse	96
	6.4.2 Flächenwidmungsplan	98
	6.4.3 Fotos	99
6.5	Raumprogramm	100
	6.5.1 Anordnung der Baukörper	102
6.6	Tragwerkskonzept	103
	6.6.1 Materialität	108
6.7	Grundrisse	110
6.8	Schnitte	122
6.9	Ansicht	126
	6.9.1 Schnittansicht	128
6.10	Wohnungstypen	130
6.11	Details	140
6.12	Ergebnis	147
6.13	Schaubilder	148
6.14	Conclusio	154
07	Literaturverzeichnis	155
08	Abbildungsverzeichnis	159
8.1	Planverzeichnis	160
8.2	Tabellenverzeichnis	160

Abkürzungsverzeichnis

ASBN	Austrian Strawbale Network
DHF	diffusionsoffene Holzfaserverplatte
EPD	Environmental Product Declarations, Umweltproduktdeklaration
FL	Faserlehm
GrAT	Gruppe Angepasste Technologie
GWP	Treibhauspotential
IBO	Österreichisches Institut für Baubiologie
LL	Leichtlehm
LM	Lehmmörtel
LMM	Lehmmauermörtel
LP	Lehmplatten
LPM	Lehmputzmörtel
LS	Lehmstein
LSM	Lehmspritzmörtel
LT	Lehmschüttung
OI3	Ökoindex
PEI	Primärenergieinhalt
SL	Strohlehm
STL	Stampflehm
WL	Wellerlehm

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Sprachformen verzichtet und das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beide Geschlechter.

01

Einführung

01 Einführung

Das Bauwesen steht vor neuen Herausforderungen. Der Einsatz von nachhaltigen und nachwachsenden Rohstoffen ist wichtiger denn je.

Österreich hat sich als europäischer Mitgliedstaat dazu verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahre 2050 um 80% gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Die Sektoren Energie und Industrie, Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft verursachen die größten Anteile an Treibhausgasemissionen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Materialien mit einem möglichst niedrigen Beitrag zur globalen Erwärmung zu analysieren und im Entwurf dementsprechend einzusetzen. Dabei soll ein Wohnbau entstehen, der seinen Bewohnern beste Raumqualitäten bietet und ein gemeinschaftliches Gefühl vermittelt.

Am Beginn dieser Arbeit wird ein Überblick über diverse Begrifflichkeiten wie Baubiologie, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen aufgezeigt. Das Ergebnis dieser ersten Analyse ist, dass vor allem die Baustoffe Stroh und Lehm in Verbindung mit Holz gute ökologische und ökonomische Werte aufweisen.

Darauf folgt eine ausführliche Analyse der Materialien Stroh und Lehm, in welcher vor allem auf deren Eigenschaften und mögliche Konstruktionsarten eingegangen wird. Zwei Referenzbeispiele zeigen zusätzlich mögliche Anwendungen auf.

Letztendlich wird das erlangte Wissen in einem Entwurf angewendet. Dieser gründet auf einem bereits stattgefundenen Wettbewerb. Dazu werden die Rahmenbedingungen und Anforderungen aufgezeigt. Ziel des Entwurfes ist es, die Schwerpunkte der Dimensionen des nachhaltigen Bauens zu erfüllen. Daher werden auch diese ausführlich beschrieben.

Um die Wahl der Baustoffe zu begründen, wurden außerdem vier verschiedene Aufbauten miteinander verglichen. Die durchgeführte Analyse zeigt, dass sowohl die Holzrahmenbauweise, als auch die Holzmassivbauweise am besten abschneiden. Daher werden beide Konstruktionsarten im Entwurf eingesetzt.

Schlussendlich entsteht ein Wohnbau, der Platz für 92 Wohneinheiten bietet. Den Bewohnern werden sowohl private als auch öffentliche Plätze geboten. Durch den Einsatz der nachhaltigen Materialien wird ihnen ein angenehmes Raumgefühl vermittelt. Die verschiedenen Wohnungstypen passen sich den Bedürfnissen der Bewohner an. Außerdem werden zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten angeboten, die den sozialen und gemeinschaftlichen Aspekt unterstreichen.

Der Entwurf wird schlussendlich mit ausgearbeiteten Details abgerundet.

Die somit entstandene Arbeit zeigt, dass auch die aktuellen Bauaufgaben mit nachhaltigen Baustoffen ausgeführt werden können. Es werden ausführliche Lösungen geboten, die sich auf verschiedenste Aufgaben anwenden lassen. Durch den vermehrten Einsatz dieser Materialien entstehen durchdachte ökologische und ökonomische Gebäude, welche einen positiven Beitrag zu unserer Umwelt leisten.

02

Baubiologie

2.1 Was ist Baubiologie?

Die Baubiologie befasst sich mit der Beziehung des Menschen zu seiner gebauten Umwelt. Dabei ist neben dem privaten Wohngefühl auch das Wohlfühl in der Arbeitswelt wichtig.¹

Weiters umfasst sie die Grundsätze der Nachhaltigkeit sowie ökonomische, ökologische und soziokulturelle Grundsätze.² Ein weiterer Grundsatz des Gesunden Bauens ist der sorgsame Umgang mit den Ressourcen, sowie ein vernünftiger Flächenverbrauch. Bewohner sollten sich daher immer die Frage stellen, was wirklich notwendig ist, damit das Eigenheim ein Gefühl von Wohlbefinden auslöst.³

Die Grundsätze der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles – werden nachgehend in dem Kapitel „Dimensionen der Nachhaltigkeit“ ausführlich erklärt.

Mit dem Wissen der Baubiologie lassen sich die umgebenden Einflüsse leicht steuern. Da man sehr viel Zeit in den eigenen vier Wänden verbringt, ist es besonders wichtig, diese so energieeffizient und behaglich wie möglich zu gestalten. Schadstoffe, elektrische Strahlungen und möglicher Pilzbefall können durch die richtige Planung minimiert oder gänzlich vermieden werden. Baubiologen stehen daher als beratendes und ausführendes Organ bei jeglichen Bauaufgaben zur Seite.⁴

1 vgl. Baubiologisches Institut Österreich (o.J.)
2 vgl. Ece N. (2018), S.13
3 vgl. Liedl P., Rühm B. (2019), S. 10
4 vgl. Baubiologisches Institut Österreich (o.J.)

2.2 Einflussfaktoren

2.2.1 Standort

Die Klimazone sowie das Kleinklima beeinflussen den Standort eines Gebäudes. Außerdem sind die Himmelsrichtungen und äußeren Wettereinflüsse maßgebend für die Ausrichtung des Hauses. Durch großzügige Verglasungen auf der Südseite kann man beispielsweise im Winter durch die eindringende Wärmestrahlung Energie sparen, in dem die Bauteile Wärme speichern und langsam wieder an die Umgebung abgeben. Ein passender Dachüberstand verhindert ein sommerliches Überhitzen, lässt aber durchaus die tiefstehende Sonne der Wintermonate in den Innenraum. Auch die Bodenbeschaffenheit eines Grundstückes muss zu Beginn auf dessen Tragfähigkeit untersucht werden. Außerdem kann geprüft werden, ob sich eine erneuerbare Wärmegewinnung, beispielsweise mit Erdwärme, lohnt.

Das Kleinklima kann durch Bepflanzung beeinflusst werden. Eine Vegetationsschicht an der Fassade sorgt für eine angenehme Abkühlung durch Verdunstung. Zusätzlich bietet diese neuen Lebensraum für Insekten. Bäume und Büsche sorgen wiederum für ausreichende Beschattung und Sichtschutz. Die Wahl des Standortes, sowie dessen vorangehende genaue Analyse ist ausschlaggebend für die Qualität des Entwurfes.⁵

Durch den Einsatz von erneuerbaren Energiequellen, wie Sonnenkraft oder Umgebungswärme, lassen sich energiesparende Maßnahmen treffen. Durch Photovoltaik wird Strom produziert, durch Solarzellen und Wärmepumpen Wärme für Heizung und Warmwasser. Diverse Heizsysteme lassen sich durch wassergeführte Rohrsysteme mit Heizkörper oder Flächenheizungen kombinieren. Die optimale Ausrichtung nach Süden, sowie die Reduzierung der Raumflächen beeinflussen zudem den Heizenergiebedarf.⁶

2.2.2 Baukörper

Ein kompakter, gut durchdachter Baukörper spart nicht nur Kosten, sondern auch Energie, die durch eine großzügige Außenhülle verloren gehen könnte. Je kleiner der Wert von Außenhülle zu Volumen ausfällt, desto geringer ist in der Regel der Heizenergiebedarf. Zusätzliche Pufferräume zwischen Außenraum und beheiztem Innenraum können energiesparend wirken.

5 vgl. Liedl P., Rühm B. (2019), S. 16-19
6 vgl. Ece N. (2018), S. 19

Die Räume werden nach den Himmelsrichtungen ausgerichtet. Aufenthaltsräume sollten nach Süden, Schlafräume nach Osten und Arbeitsplätze nach Norden ausgerichtet werden. Ein Sonnenschutz sollte aber immer wegen der unterschiedlichen Sonnenstände im Sommer und Winter angedacht werden.⁷

2.2.3 Baustoffe

Beim nachhaltigen Bauen wird der Fokus auf nachhaltige Baustoffe, also auf regionale, nachwachsende und schadstofffreie Rohstoffe gelegt. Auch die Transportwege, sowie die Energie, die für die Herstellung verbraucht wurde, werden dabei berücksichtigt. Außerdem sind recycelbare Stoffe perfekt, um sie wieder in den Kreislauf zurückzuführen.

Nachwachsende Rohstoffe tragen zu einem besseren Raumklima und somit zu einem besseren Wohlbefinden bei. Ein weiterer Pluspunkt ist der sparsame Betrieb des Hauses. Die Baukosten sind zu Beginn meist höher als bei einer konventionellen Bauweise, jedoch gleicht sich dies durch die Betriebskosten im Laufe der Jahre wieder aus.⁸

Als Baustoffe kommen beim Gesunden Bauen vor allem die Baustoffe Holz, Lehm und Stroh zum Einsatz. Mauerziegel, Stahlbetonteile oder ähnliche Baustoffe sollten vernünftig in einem geringeren Ausmaß eingesetzt werden.⁹

7 vgl. Liedl P., Rühm B. (2019), S. 30-33
8 vgl. Liedl P., Rühm B. (2019), S. 57 und ff.
9 vgl. Ece N. (2018), S. 15-16

2.3 Baubiologische Institutionen

Das Baubiologische Institut Österreich und das Österreichische Institut für Baubiologie [IBO] befassen sich mit der Beurteilung der verschiedenen Baustoffe und erstellen diverse Gutachten.

IBO ist ein gemeinnütziger Verein, welcher die Grundsätze des Gesunden Bauens erforscht. Das Aufgabengebiet des Vereins beinhaltet die Gebäudebewertung, die Materialökologie, bauphysikalische Optimierungen, sowie weiterführende Forschungstätigkeiten.¹⁰

2.3.1 Zertifizierungssysteme

Neben dem eigens eingeführten IBO Prüfzeichen, werden zusätzlich Prüfungen für natureplus und dem Österreichischen Umweltzeichen durch das IBO durchgeführt. Auf den verschiedenen Plattformen dieser Prüfzeichen, findet man jene Bauprodukte, welche die Eigenschaften der baubiologischen Anforderungen erfüllen. Entscheidend ist dabei die ganzheitliche Betrachtung eines Baustoffes in dessen gesamten Lebenszyklus.



Abb. 01 IBO Prüfzeichen, Quelle: <https://www.ibo.at>

IBO Prüfzeichen

Produkte, die mit dem IBO Prüfzeichen gekennzeichnet werden, sind gesundheitlich unbedenklich und bauökologisch empfehlenswert. Zu jedem Produkt gibt es außerdem einen ausführlichen Prüfbericht. Aktuell werden hauptsächlich Baustoffe in den Kategorien Betonfertigteile, Estriche, Gipsplatten, mineralische Schüttungen, zementgebundene Bauplatten oder Transportbeton mit dem Prüfzeichen versehen.

Ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung ist die geplante Aufnahme von Baustrohballen. Derzeit werden generell noch keine Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zertifiziert.



Abb. 02 natureplus Prüfzeichen, Quelle: <https://www.ibo.at>

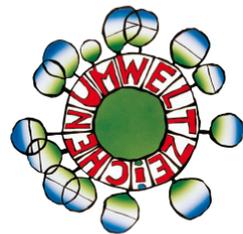
natureplus Prüfzeichen

Das natureplus Prüfzeichen ist ein europäisches Gütezeichen, das vor allem an nachwachsende oder recycelte Rohstoffe vergeben wird. Weitere Eigenschaften, die erfüllt werden müssen, sind das energieeffiziente Produzieren der Baustoffe und der Verzicht auf gesundheitsbedenkliche Stoffe.¹¹

10 vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.)
11 vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Zertifizierungssysteme für Bauprodukte

2.4 Was beeinflusst meine Wahl der Baustoffe?

Natureplus bietet eine sehr ausführliche Datenbank der unterschiedlichen Baustoffe an. Für jedes angeführte Material werden unterschiedliche produktspezifische Daten angegeben. Daher können die verschiedenen Baustoffe hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften einfach verglichen werden. In der Datenbank werden auch einige nachwachsende Rohstoffe angeführt. Stroh und Lehm werden jedoch nicht aufgelistet. Lediglich ein Produktname für Lehmbauplatten wird angeboten. Als Hersteller kann eine Zertifizierung der eigenen Produkte angestrebt werden. Dazu müssen die Richtlinien, die für jedes Produkt erstellt werden, eingehalten werden.¹²



Österreichisches Umweltzeichen

Das Österreichische Umweltzeichen wird nicht nur an Produkte in der Baubranche, sondern auch in den Bereichen Tourismus, Bildung und Events vergeben.¹³

Abb. 03 Österreichisches Umweltzeichen, Quelle: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start>

¹² vgl. Baubook (o.J.)

¹³ vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Zertifizierungssysteme für Bauprodukte

2.4.1 Primärenergieinhalt

„Der Primärenergieinhalt (PEI), selten auch Primärenergiegehalt genannt, beschreibt den zur Herstellung des Produktes notwendigen Energieverbrauch. Er weist die graue Energie eines Baustoffes aus, beschreibt also die zur Herstellung verbrauchte Energie. Dabei wird zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie unterschieden.“¹⁴

Die erneuerbare Energie wird aus nicht erschöpfbaren Quellen wie der Sonnenenergie oder Windenergie gewonnen. Im Gegensatz dazu bilden Kohle oder Öl die nicht erneuerbaren Quellen. Der PEI wird in MJ/m³ oder in kWh/m³ angegeben.¹⁵

2.4.2 Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung wird zur Nachhaltigkeitsbewertung herangezogen.¹⁶ Sie dient zur Darstellung von Energie- und Stoffflüssen von Bauprodukten oder Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus hinweg.¹⁷ Außerdem beschreibt diese die Auswirkungen von Prozessen, Produkten oder Bauwerken auf die Umwelt. Betrachtet man den gesamten Lebenszyklus eines Baustoffes, müssen Daten zur Rohstoffgewinnung, zur Produktion, zur Bau- und Nutzungsphase, zum Rückbau und zur Entsorgung oder Recycling erhoben werden. In jeder dieser Phasen müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden: Versauerungspotential, Ozonabbau, Treibhauspotential, Ressourcen- und Energiebedarf, Entsorgung und das Recyclingpotential.

All jene Daten werden in den Umweltproduktdeklarationen [EPD] für einzelne Baustoffe zusammengefasst.

Die EPD wird dem freiwilligen Umweltkennzeichen Typ III zugeordnet. Diese erleichtern die Erstellung einer Ökobilanzierung eines Gebäudes erheblich. Die Ökobilanz wird nach der ISO 14040 und ISO 14044 geregelt, die EPDs nach EN 15804.¹⁸

¹⁴ Baunetzwissen (o.J.)

¹⁵ vgl. Schneider P. et al. (2016)

¹⁶ vgl. Institut Bauen und Umwelt e.V. (2017)

¹⁷ vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Ökobilanzen

¹⁸ vgl. Institut Bauen und Umwelt e.V. (2017)

2.4.3 Ökoindex OI3

„Der Oekoindex OI3 bewertet die ökologische Qualität aller Materialien anhand von den Umweltindikatoren Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial und den Bedarf an nicht-erneuerbarer Primärenergie. Der Oekoindex OI3 kann für Baustoffe, Konstruktionen und gesamte Gebäude berechnet werden.“¹⁹

Der OI3 Wert kann für verschiedene Bilanzierungsgrenzen ermittelt werden. Baubook bietet dafür ein Werkzeug namens eco2soft mit dem neben der Ökobilanz eines Gebäudes auch dessen OI3 Index berechnet werden können.²⁰

Der Ökoindex wird vor allem bei der Vergabe von Wohnbaufördermitteln herangezogen. Durch die Einteilung in Klassen A bis E, wobei A für eine geringe ökologische Belastung und E für eine sehr hohe Belastung steht, lässt sich schnell die Qualität eines Baustoffes erkennen. Vor allem nachwachsende Rohstoffe kennzeichnen sich durch einen guten Ökoindex.²¹

2.4.4. Treibhausgasemissionen

Der Klimawandel ist in aller Munde. Die Sommer sind warm wie noch nie zuvor, die Winter verlaufen mild. Momentan wird mit einem Plus an globaler Erwärmung von 0,2°C pro Jahr gerechnet. Handeln Politik, Unternehmen und Konsumenten nicht, ist die Grenze von + 2°C bald überschritten. Diese durchaus erschreckenden Zahlen stellen uns jetzt schon vor immense Herausforderungen. Wir kämpfen gegen Dürren, Hitzewellen, Hochwasser, Waldbrände, Hurrikane und das Schmelzen des Arktiseises. Die Spitze dieser Katastrophen könnte aber laut Forscher noch nicht erreicht sein. Wird der Klimawandel nicht gestoppt, könnten 99% der Korallenriffe verschwinden und das Grönländische Eis komplett wegschmelzen, was wiederum einen Anstieg des Meeresspiegels von 7 Meter zur Folge hätte.²²

Der Klimaschutz hat momentan höchste Priorität. Deswegen wurde für den Zeitraum von 2013-2020 ein Klima- und Energiepaket erlassen, welches besagt, die Treibhausgasemissionen um 20 % gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Dieses Ziel wird unter den EU-Mitgliedstaaten aufgeteilt. Österreich muss davon 16 % der Emissionen speziell in den Sektoren Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft gegenüber dem Jahr 2005 reduzieren.²³

19 Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Ökoindex OI3
 20 vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Ökoindex OI3
 21 vgl. Arbeitsgruppe Ökoindex3 der Bundesländer (2011)
 22 vgl. Europäische Union (2019)
 23 vgl. österreich.gv.at (2020)

Folgende Grafik zeigt die Verteilung der Treibhausgasemissionen in den verschiedenen Sektoren, sowie die Änderungen der Emissionen zwischen 1990 und 2018.

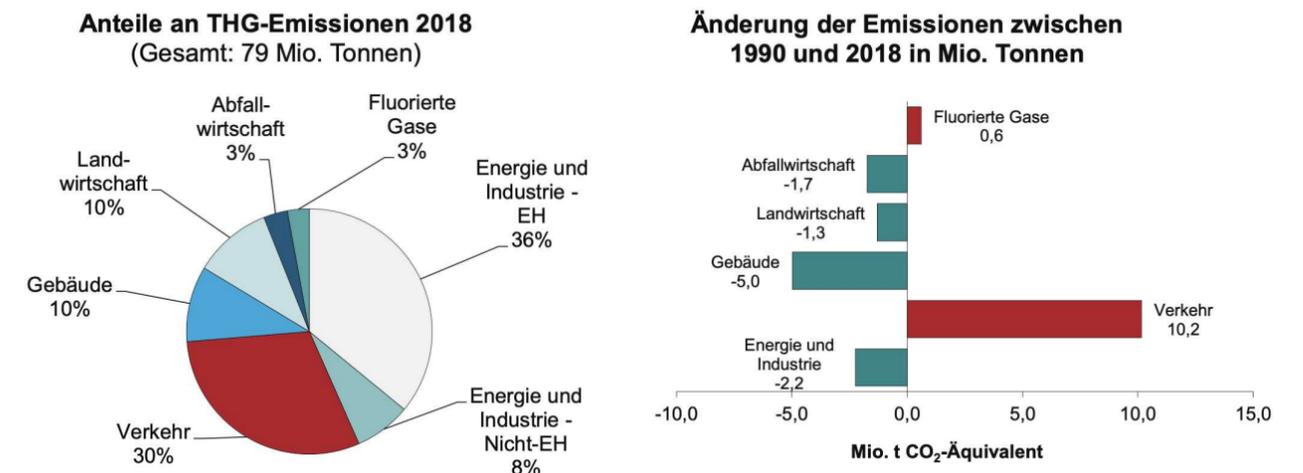


Abb. 04 Verteilung der Treibhausgasemissionen und Änderungen zwischen 1990 und 2018
 Quelle: https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/aktuelles/veranstaltungen/2020/Treibhausgas_Bilanz_2018.pdf

Für das Jahr 2030 wurden ebenso bereits erweiterte Ziele beschlossen. Diese fordern eine weitere Einsparung von 40 % gegenüber dem Jahr 1990, sowie eine Erhöhung der erneuerbaren Energien um einen Anteil von 32 % des Endverbrauchs. Auch hier greift wieder das Prinzip des *Effort Sharing*, also das Aufteilen der Ziele unter den Mitgliedstaaten. Österreich muss daher ein Minus von 36 % gegenüber dem Jahr 2005 bewirken. Um die eben genannten Ziele erreichen zu können, hat Österreich 2018 eine Klima- und Energiestrategie, die mission2030, erlassen.²⁴

Letztendlich sollen die Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 um mindestens 80 % gegenüber dem Jahr 1990 gesenkt werden. Das wichtigste Gebot dabei ist, vor allem die globale Erwärmung einzugrenzen, in dem die + 2°C Marke nicht überschritten wird.²⁵

Nun obliegt es auch dem Bausektor, Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Deswegen muss vor allem auf nachhaltige Baustoffe zurückgegriffen werden. Das Treibhauspotential [GWP] hilft dabei zu erkennen, welche Baustoffe besonders gut geeignet sind.

24 vgl. österreich.gv.at (2020)
 25 vgl. umweltbundesamt (o.J.)

„Das Treibhauspotenzial GWP (Global Warming Potential) beschreibt den Beitrag eines Spurengases zur globalen Erwärmung relativ zu Kohlendioxid. [...] Treibhauspotenzial wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Fluorkohlenwasserstoffe (HFKWs) sind die größten Verursacher der globalen Klimaerwärmung. Das Treibhauspotenzial der Materialien wird in kg CO₂ äquivalent angegeben.“²⁶

Folgende Tabelle zeigt das GWP von verschiedenen Baustoffen.²⁷

Baustoff [kg]	GWP [kg CO ₂ Äqv.]		
Normalbeton	0,095	EPS	4,169
Hochlochziegel	0,182	Stroh	-1,246
Stahlbeton	0,139	Zellulose	-0,885
Zement	0,673	Mineralschaumplatte	1,006
Leichtlehm	-0,03	Brettschichtholz	-1,235

Tab. 1 Treibhauspotential von verschiedenen Baustoffen, eigene Darstellung,
Quelle: Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Dämmstoffe
Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Massivbaustoffe
Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Holzbaustoffe

Vor allem Zement wird in diesem Zusammenhang oft kritisiert. So soll die Zementindustrie für 8 % aller Treibhausgasemissionen verantwortlich sein. Baustoffe, die sich negativ auf die Umwelt auswirken, sollen daher vernünftig und in einem geringen Ausmaß eingesetzt werden.²⁸

26 Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Umweltindikatoren
27 vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Dämmstoffe
vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Massivbaustoffe
vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Holzbaustoffe
28 vgl. Pramer P. (2019)

Es wird sich auch zukünftig nicht vermeiden lassen, auf mineralische und nicht abbaubare Baustoffe zurückzugreifen und das ist durchaus legitim. Sie sollen dort verarbeitet werden, wo es Sinn macht und ein anderer Baustoff nicht umsetzbar wäre. Wichtig dabei ist jedoch, dass schon in der Planung alternative Baustoffe einbezogen werden. So könnte statt dem Stahlträger auch ein Holzträger oder statt extrudiertem Polystyrol eine alternative Dämmung eingesetzt werden.

Neben der Wahl der richtigen Baustoffe, ist auch das Heiz- und Kühlsystem ausschlaggebend. Noch immer werden in Österreich fossile Energieträger, wie Ölheizungen, verwendet.²⁹

Laut Statistik Austria sind 725.918 Haushalte in Österreich mit Ölheizungen ausgestattet (Stand 2018). Hingegen weisen alternative Energiequellen wie Solarwärme mit 424.884 Haushalten und Wärmepumpen mit 327.978 Haushalten eine deutlich niedrigere Anteilnahme auf.³⁰ Ein wichtiges Thema ist daher der Austausch von veralteten Heizsystemen. Einhergehend soll auch die thermische Hülle umfassend saniert werden, um große Energieverluste weitestgehend zu vermeiden.³¹

Der erste Schritt dazu wurde bereits gegangen. Spätestens im Jahre 2035 soll es keine Ölheizungen in ganz Österreich mehr geben. Ab dem Jahr 2025 müssen alle Kessel, die älter als 25 Jahre sind, ausgetauscht werden. Ebenso dürfen ab diesem Zeitpunkt keine Gaskessel mehr eingebaut werden.³²

29 vgl. Klima- und Energiefonds (o.J.)
30 vgl. Statistik Austria (2018)
31 vgl. Klima- und Energiefonds (o.J.)
32 vgl. WKO (o.J.)

03

Stroh

3.1 Geschichte

Der Beginn des Strohballenbaus datiert sich nach dem Aufkommen der Ballenpresse 1870 in Nebraska mit dem sogenannten Nebraska-Stil. In der weiteren Folge wird dieser jedoch als lasttragende Bauweise bezeichnet. Zu dieser Zeit fiel vor allem die Langlebigkeit eines Strohballenbaus auf, wobei diese meist nur für eine Saison gebraucht wurden. Dennoch hielten diese weitaus länger stand.³³

Zahlreiche Beispiele aus den Jahren 1900-1914 bestehen nach wie vor und beweisen die Standfestigkeit eines Strohballenbaus, wie die unten abgebildete Fawn Lake Ranch in Nebraska.³⁴



Abb. 05 Fotografie der Fawn Lake Ranch, Quelle: <https://www.strohballenbau.info/historisches/>

Danach wurde der Baustoff Stroh etwas außer Acht gelassen. Erst ab den 1980er Jahren schenkte man dem Baustoff wieder mehr Beachtung und somit gelangte dieser auch nach Europa. Stroh gab es ja natürlich vorher schon hier zu Lande, jedoch wurde dieses weitestgehend verbrannt und nicht als Wärmedämmung oder Baustoff eingesetzt. Durch aktuelle Themen, wie dem energieeffizienten Bauen oder dem Stoppen des Klimawandels, gewinnt der Baustoff noch mehr an Bedeutung. Auch im städtischen Bereich gibt es erste Versuche, das Material wirksam einzusetzen.³⁵

33 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 11
34 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 8
35 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 11

3.2 Stroh

„Als Stroh werden die trockenen Stängel von gedroschenem Getreide (Weizen, Roggen, Gerste, Hafer, Reis, Hirse) oder Faserpflanzen (Flachs, Hanf) bezeichnet. Stroh ist ein nachwachsender Rohstoff, der durch Fotosynthese aus Sonnenenergie, Wasser und Mineralien der Erde entsteht. Es besteht aus Zellulose, Lignin, und Kieselerde und weist eine wachsartige, wasserabstoßende Außenschicht auf.“³⁶

Am besten geeignet für den Strohballenbau sind vor allem die Stroharten Winterweizen, Dinkel, Roggen, Wintergerste, Sommerweizen, Hafer und Sommergerste.³⁷

Wenn das Getreide im Stadium der Totreife angelangt ist, wird es mit einem Tangentialmähdrescher gedroschen. Dabei ist es besonders wichtig, einen in sich stabilen und unverletzten Halm zu ernten, um die Festigkeit und Tragsicherheit gewährleisten zu können. Der Ballen sollte am besten zwei Tage nach dem Dreschen produziert werden. Wichtig dabei ist, dass es zwischenzeitlich nicht regnet und das Stroh trocken und möglichst frei von Unkraut ist.³⁸

Mittels Kleinballenpressen oder Quaderballenpressen wird das Stroh letztendlich in Form gebracht. Es können verschiedene Größen je nach Hersteller angefertigt werden. Die Quaderballenpressen erreichen eine Dichte von bis zu 220 kg/m³ und die Ballen werden dabei vier- bis sechsfach gebunden.³⁹

Ein herkömmlicher Ballen hat eine Abmessung von 35 x 50 x 57-90 cm und gehört somit zu den Kleinballen. Er weist eine Dichte von 100 bis 120 kg/m³ auf. Ein Beispiel dafür ist der S-House Dämmstrohballen, welcher durch den Fachbereich Angepasste Technologie im Jahr 2010 zertifiziert wurde. Ein weiterer zertifizierter Baustrohballen ist der Waldland Ballen, welcher ebenfalls im Jahr 2010 eine europäische technische Zulassung erwirken konnte.

36 Minke G., Krick B. (2014), S. 14-16
37 vgl. Krick B. (2008), S. 25
38 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 9
39 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 14-16

Für das zur Herstellung geerntete Stroh gibt es bestimmte Kriterien, die es zu erfüllen gilt. Der Feuchtegehalt, der Unkrautbesatz, der Restkorngehalt, die Nenndichte, der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit, die Brandverhaltensklasse sowie die Dimensionsstabilität dürfen bestimmte Werte nicht überschreiten.⁴⁰

Auch der Strohballe an sich muss bestimmte Qualitäten aufweisen, bevor dieser eingebaut werden kann. Ein guter Baustrohballe ist gelb, formstabil und möglichst frei von jeglichem Grünanteil. Er darf einen Feuchtegehalt von 14 % nicht überschreiten und muss ausreichend verdichtet werden. Außerdem sollen für die Herstellung nur die bereits erwähnten Getreidesorten verwendet werden.⁴¹

Die Vorteile von Stroh liegen klar in der Verfügbarkeit und der Nachhaltigkeit. Stroh ist eigentlich ein Abfallprodukt des zu erntenden Getreides und würde in den meisten Fällen verbrannt werden. Es ist außerdem vollständig abbaubar und wächst schnell wieder nach. Ein weiterer Vorteil ist die Eignung für den Selbstbau. Durch das Einsetzen der eigenen Arbeitskraft kann hier Geld gespart werden.⁴²

Der Baustoff Stroh erhält auch des Öfteren Gegenwind durch Vorurteile, welche sich nicht bestätigen. So suchen Nagetiere und Insekten keinen neuen Heimort in den Bauteilen. Dies liegt schlichtweg daran, dass die Ballen sehr dicht gepresst werden und somit gar kein Platz vorhanden ist. Außerdem wurden zum Zeitpunkt des Einbaus die bei den Tierchen heiß begehrten Körner bereits geerntet. Die darüber liegende Putzschicht, sowie ein zusätzliches engmaschiges Gitter schützen das Stroh vor unerwünschten Eindringlingen.⁴³

40 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 7
- Feuchtegehalt < 15 Gewichtsprozent
- Unkrautbesatz < 0,5 Gewichtsprozent
- Restkorngehalt < 0,4 Gewichtsprozent
- Nenndichte 105 kg/m³ (95-120kg/m³)
- Nennwert der Wärmeleitfähigkeit 0,046W/mK
- Brandverhaltensklasse E
- Dimensionsstabilität +/- 0,5,1 (Dicke, Breite, Länge)

41 vgl. ASBN (o.J.): Baustrohballe

42 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 39

43 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 46

3.3 Initiativen und Netzwerke

3.3.1 GrAT

Der Fachbereich Gruppe Angepasste Technologie [GrAT] wurde 1986 gegründet.⁴⁴

„Die GrAT erarbeitet und entwickelt in Forschungs- und Demonstrationsprojekten Innovationen in den Bereichen Ecodesign, Nachwachsende Rohstoffe, Produkt-Dienstleistungssysteme, nachhaltiges Bauen sowie Technologiegestaltung und -verbreitung. Ziel ist es, Technologien den menschlichen Bedürfnissen und Ressourcen anzupassen und nicht umgekehrt.“⁴⁵

Der Fachbereich leitete im Jahr 2010 das Projekt *Stroh-Cert*, durch welches der S-House Dämmstrohballe eine Zertifizierung erhielt. Das S-House wurde entworfen, um dem Wunsch nach nachhaltigem Bauen nachzugehen. Ziel des Entwurfes ist es, Funktionalität und Qualität zu verbinden, den Energie- und Ressourcenverbrauch zu minimieren, nachwachsende Rohstoffe einzusetzen, ein gesundes Raumklima zu schaffen und eine leichte Wiederverwertung der Produkte. Das Haus erfüllt Passivhaus-Werte, der U-Wert für Decken-, Wand- und Bodenaufbau liegt bei 0,12 W/m²K. Nicht nur die Konstruktion ist hier gut durchdacht, auch die Sonnenenergie wird hier optimal genutzt. Durch die einzelnen Komponenten wird hier ein rundum effizientes Gebäude geschaffen.⁴⁶

GrAT bietet eine nachträgliche Zertifizierung an. Diese Möglichkeit bietet sich für nicht zertifizierte Ballen an, welche von einem Bauern bezogen werden.⁴⁷

In Zukunft wäre es jedoch wichtig, den Baustrohballe in die österreichischen Normen aufzunehmen, um für ganz Österreich gleiche Bestimmungen zu schaffen. Damit wäre auch den Bauherren und den Architekten sehr geholfen, denn der Baustoff hätte allgemeine Gültigkeit und die Behörden müssten nicht ständig von der Technik überzeugt werden.

44 vgl. Gruppe Angepasste Technologie (o.J.)

45 Tiss (o.J.)

46 vgl. Gruppe Angepasste Technologie (2018)

47 vgl. ASBN (o.J.): Baustrohballe

3.3.2 ASBN

Das österreichische Netzwerk für Strohballenbau ist ein gemeinnütziger Verein, der aktuelle Techniken im Sinne des nachhaltigen Bauens erforscht, dokumentiert und entwickelt. Der Verein unter der Leitung des Obmannes Herbert Gruber ist vor allem dazu da, Wissen durch diverse Workshops und Lehrgänge zu vermitteln. Das ASBN ist außerdem Mitglied des European Straw Bale Network.

Die Homepage des ASBN bietet viele Informationen. So zum Beispiel eine Karte von Österreich, auf der alle Strohballenbauten gekennzeichnet sind. Zu allen Projekten kann man hier gewisse Eckdaten, wie den Ort, die Kosten pro m², die Projektbeteiligten sowie bauphysikalische Kennwerte finden.

Außerdem wird hier beschrieben, welche Architekten und Planer sich in Sachen Strohballenbau zur Verfügung stellen. Auch Baustrohanbieter lassen sich hier herausfiltern. Falls es jedoch keine Anbieter in der Nähe gibt, empfiehlt es sich, bei Bauern um Rat zu fragen, ob diese eigene Ballen liefern könnten.⁴⁸

⁴⁸ vgl. ASBN (o.J.): ASBN - austrian strawbale network

3.4 Eigenschaften

3.4.1 Primärenergieinhalt

Stroh nimmt Kohlenstoff auf und gibt Sauerstoff ab. Bei der Verwendung als Dämmstoff oder Baustoff wird der aufgenommene Kohlenstoff im Gegensatz zu Verrottung oder Verbrennung weiterhin gespeichert. Prinzipiell ist Stroh aber CO₂-neutral, denn beim Prozess des Verbrennens oder Absterbens wird genau so viel CO₂ freigesetzt, wie die Pflanze gespeichert hat.

„Stroh hat einen Kohlenstoffgehalt von ca. 42 %. Eine Tonne Stroh speichert also 420 kg Kohlenstoff.“⁴⁹

Bei der Ermittlung des Primärenergieinhaltes werden mehrere Faktoren betrachtet, welche die einzelnen Aufwände beschreiben. Nachdem das Getreide gedroschen wurde, wird das Stroh aufgeladen, gepresst und verladen. Dazu gehören unter anderem der Treibstoffbedarf sowie die Herstellung der dazu benötigten Maschinen oder des Garns. Die Bewirtschaftung der Ackerflächen kann hier außer Acht gelassen werden. Das Stroh ist nur ein Nebenprodukt, das Korn jedoch das Hauptprodukt. Prinzipiell lässt sich laut Benjamin Krick sagen, dass Quaderballenpressen effizienter als Hochdruckballenpressen arbeiten und deswegen auch der PEI kleiner ist.



Polyamidgarn 52 % - Ballen pressen 29 % - Be-/Entladen, Transport 19 %

Abb. 06 Anteile der Prozesselemente am PEI, eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B. (2014), S. 29

Der abgebildete Balken zeigt die Anteile der Prozesselemente am PEI. Die Herstellung des Garns benötigt den größten Anteil an nicht erneuerbarer Energie.

Folgende Werte können für den Primärenergieinhalt herangezogen werden:

PEI Quaderballen	50 kWh/Mg
PEI Hochdruck Kleinballen	63 kWh/Mg

Bei dem Vergleich der Primärenergieinhalte von Stroh und anderen Baustoffen, lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Stroh als Wärmedämmmaterial lässt sich mit Polystyrol oder Mineralwolle vergleichen. Bezogen auf einen m² Wandfläche mit einem Wärmedurchlasswiderstand von 7 (m²K)/W hat Stroh dabei einen Gehalt von 2,8 kWh/Mg, während Polystyrol bei 305,2 kWh/Mg und Mineralwolle bei 35,8 kWh/Mg liegt. Stroh lässt sich aber auch als lasttragendes Baumaterial einsetzen. Vergleichbare Materialien wie Ziegel liegen bei 722,2 kWh/Mg oder Porenbeton bei 1.166,7 kWh/Mg bezogen auf deren Masse.⁵⁰

⁴⁹ Minke G., Krick B. (2014), S. 29

⁵⁰ vgl. Krick B. (2008), S. 45 und f.

Folgende Darstellung zeigt den PEI von verschiedenen Dämmstoffen bei einem maximalen Wärmedurchlasskoeffizienten von $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

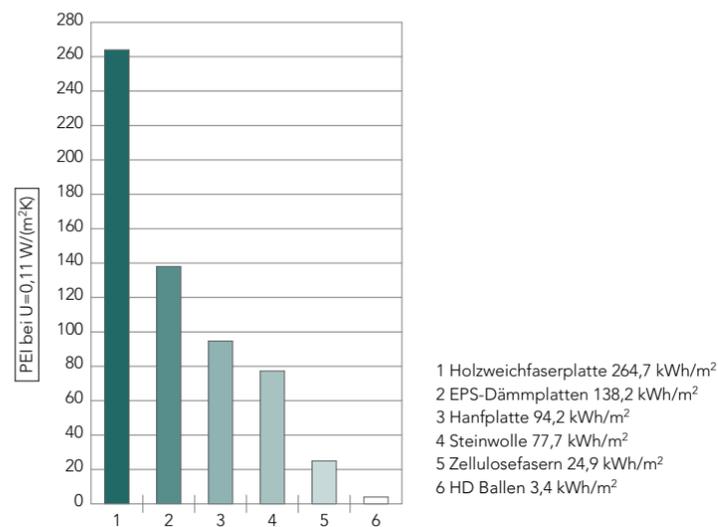


Abb. 07 Darstellung der Primärenergieinhalte verschiedener Dämmstoffe, eigene Darstellung
Quelle: Minke G., Krick B. (2014), S. 30

Vor allem im Vergleich mit anderen Wandsystemen kann die Strohballenwand mit ihrem niedrigen Primärenergieinhalt punkten. Ein Holzrahmensystem gedämmt mit Mineralwolle weist einen PEI Gehalt von knapp über $250 \text{ kWh}/\text{m}^2$ auf, während ein mit Stroh gedämmtes System gerade einmal knapp über $50 \text{ kWh}/\text{m}^2$ aufweist. Noch drastischer lässt sich der Unterschied im Vergleich zu einer Konstruktion aus Kalksandsteinen gedämmt mit extrudiertem Polystyrol aufzeigen. Diese liegt bei einem PEI von über $300 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

Generell lassen sich auch schon Unterschiede innerhalb des Strohballenbaus erkennen. Durch einzelne Maßnahmen lässt sich der PEI reduzieren. Eine Verschalung aus Holz erhöht den Gehalt mehr als eine 3 cm dicke Lehmputzschicht. Auch beim Putz selbst lassen sich im Sinne des Primärenergieinhaltes Einsparmaßnahmen erzielen. Ein Kalkputz oder Zementputz erhöht diesen mehr als ein Lehmputz.⁵¹

⁵¹ vgl. Krick B. (2008), S. 122 und f.

3.4.2 Wärmeleitfähigkeit und Wärmeschutz

Die Wärmeleitfähigkeit gibt an, wie viel Watt Wärmeenergie bei einer Wandfläche von einem Quadratmeter, einer Dicke von einem Meter und einem Temperaturunterschied von einem Kelvin übertragen wird.

Die Wärmeleitfähigkeit ist senkrecht zur Faser niedriger als bei Wärmestrom parallel zur Faser. Die Wärmeleitfähigkeit liegt bei stehenden Ballen, also wenn der Wärmestrom senkrecht zur Halmrichtung verläuft, bei $0,052 \text{ W}/(\text{mK})$ und bei liegenden bei $0,08 \text{ W}/(\text{mK})$.⁵² Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass bei liegenden Ballen ein direkter Strahlungsaustausch aufgrund der rohrförmigen Struktur aufliegt. Was wiederum bedeutet, dass die Wärmeleitfähigkeit in erster Linie von der Halmrichtung abhängt. Ein Ballen darf nicht zu dicht sein, weil dadurch die Wärmeleitfähigkeit stark ansteigen kann.⁵³

Der Wärmedurchgangskoeffizient, kurz U-Wert, gibt an, wie viel Wärmeenergie pro Grad Kelvin Temperaturunterschied durch einen Quadratmeter Wandfläche transportiert wird. Dieser liegt bei einer 100 cm dicken Strohschicht bei $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.⁵⁴

Stroh eignet sich außerdem zur Herstellung von Bauteilen in Passivhausstandard. Zum einen wegen dessen niedrigen Wärmeleitfähigkeit, zum anderen wegen der speicherwirksamen Masse. Das führt unter anderem dazu, dass es innen wohlig warm ist, wenn es draußen kalt ist und umgekehrt.⁵⁵

3.4.3 Feuchtigkeit und Schimmelbildung

Wie bereits erwähnt, darf der Baustrohballen einen maximalen Feuchtegehalt von 14% nicht überschreiten. Dabei ist vor allem die richtige Lagerung auf Paletten und mit Folien abgedeckt ausschlaggebend.

Auch die richtige Ausführung ist wichtig, um Schäden durch eindringendes Wasser zu vermeiden. Vor allem vorgefertigte Bauteile haben hier einen großen Vorteil, da sie im Werk selber keinen Wittereinflüssen ausgesetzt und auf der Baustelle bereits verkleidet oder verputzt sind.

Selbst wenn die Strohbauwand einmal stärkerer Feuchte ausgesetzt werden sollte – zum Beispiel bei einem Wasserrohrbruch – stellt dies kein Problem dar.

⁵² vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 18

⁵³ vgl. Krick B. (2008), S. 51

⁵⁴ vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 18

⁵⁵ vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 41

„Die diffusionsoffene Bauweise verhindert Probleme mit Feuchte in der Wand. Durch das hohe Austrocknungspotenzial solcher Bauweisen verursachen selbst kurzfristige unvorhersehbare Wassereinbrüche (z.B. Wasserrohrbruch) keine bleibenden Bauschäden.“⁵⁶

Der Feuchtegehalt kann mittels Sorptionsthermen oder Hygrometer ermittelt werden. Damit Schimmelpilze keine Chance haben, ist es wichtig, den Feuchtegehalt der Strohballen nicht zu überschreiten. Außenseitig überdämmte Konstruktionen mit Witterungsschutz sind für den Schutz der Ballen gut geeignet. Eine Überdämmung kann auch durch einen 3 cm dicken Lehmputz übernommen werden. Auch das Abdichten gegen aufsteigende Bodenfeuchtigkeit oder der Schutz gegen Spritzwasser ist für eine langlebige Konstruktion wichtig.⁵⁷

Schimmel entsteht vor allem dann, wenn eine übermäßig hohe Luftfeuchtigkeit von etwa 80 % besteht. Kondensat und angenehme 25°C Raumtemperatur begünstigen das Wachstumsverhalten zusätzlich. Um dem entgegen zu wirken ist ein richtiges Heiz- und Lüftungsverhältnis wichtig.⁵⁸

Baustoffe können dazu in vier Substratgruppen eingeteilt werden:

- 0: optimaler Nährboden
- I: biologisch verwertbare Substrate
- II: Substrate mit porigem Gefüge (Putz, Dämmung)
- III: inerte Substrate (Metalle, Gläser)

Stroh lag zuerst in der Substratgruppe I, wurde dann aber in die Gruppe 0 zurückgestuft. Nach Untersuchungen von gebauten Objekten liegt Stroh aber in den Gruppen I oder II. Wichtig ist und das gilt bei allen Bauweisen, dass der Wasserdampfdiffusionswiderstand der einzelnen Schichten nach außen hin abnehmen sollte, damit der Wasserdampf besser diffundieren kann. Denn dann bildet sich auch kein Kondenswasser im Bauteil.⁵⁹

56 Gruppe Angepasste Technologie (2001)
 57 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 21 und f.
 58 vgl. Infoportal Kaiser (o.J.)
 59 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 21 und f.

3.4.4 Brandschutz

Wegen der dichten Pressung des Ballens kann der Strohballen nur schlecht brennen, da sich zu wenig Luft darin befindet. Es bildet sich lediglich eine äußere Verkohlungsschicht, welche den Ballen zusätzlich schützt. Durch viele Tests konnte man den Strohballen schließlich in die Baustoffklasse B2 – normal entflammbar nach ÖNORM B 6015 einteilen.⁶⁰

In der OIB 2 werden Anforderungen an das Brandverhalten erläutert. Dabei wird generell zwischen dem Gesamtsystem oder den einzelnen Komponenten unterschieden. In der Gebäudeklasse 4 müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:⁶¹

Fassade	Brennbarkeitsklasse
Gesamtsystem oder	B-d1
Einzelkomponenten	
- Außenschicht	A2-d1
- Unterkonstruktion stabförmig/punktförmig	D/A2
- Dämmschicht	B

Tab. 2 Anforderungen an eine Fassade, eigene Darstellung, Quelle: Österreichisches Institut für Bautechnik (2019)

Brennbarkeitsklassen

- A1 kein Beitrag zum Brand (ohne brennbare Bestandteile)
- A2 kein Beitrag zum Brand (geringe Anteile von brennbaren Stoffen)
- B sehr begrenzter Beitrag zum Brand
- C begrenzter Beitrag zum Brand
- D hinnehmbarer Beitrag zum Brand
- E hinnehmbares Brandverhalten
- F keine Leistung feststellbar

60 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 42
 61 vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (2019)

In weiterer Folge gibt es noch Kennzeichnungen für die Qualmbildung und Tropfenbildung.

s1	schwach qualmend
s2	normal qualmend
s3	stark qualmend
d0	nicht tropfend
d1	tropfend
d2	zündend tropfend ⁶²

Geht man also von den einzelnen Komponenten der Fassade aus und nicht vom Gesamtsystem, kann man Stroh als dämmendes Material bedenkenlos einsetzen.

Ein Brandtest wurde nach den Bestimmungen der ÖNORM im Rahmen des Projektes *Haus der Zukunft* durchgeführt. Dabei konnte eine beidseitig verputzte Strohballenwand dem Feuer mehr als 90 Minuten lang Widerstand leisten. Auch der abschließende Kugelschlagtest konnte die Standfestigkeit der Wand beweisen.⁶³

In Deutschland wurde durch das Forschungslabor für Experimentelles Bauen an der Universität Kassel ebenfalls ein Brandtest durchgeführt. Testobjekt war eine verputzte Strohballenwand, die jedoch Risse aufwies. Auch nach 90 Minuten und einer Temperatureinwirkung von über 1000°C entstand kein Brand. Der Strohballen wies lediglich unter den Rissen eine Verkohlungsschicht auf.⁶⁴

Ein weiterer Test, welcher ebenfalls in Deutschland durch das Norddeutsche Zentrum für nachhaltiges Bauen durchgeführt wurde, zeigt ebenso die Standsicherheit einer Strohballenwand. Hier wurde eine mit Stroh gedämmte Holzriegelwand mit einer 6 cm dicken Kalkputzschicht untersucht. Die Kalkputzschicht galt als eigentliches Prüfobjekt. Die Schwierigkeit liegt im Allgemeinen darin, dass das Objekt mit der verputzten Seite nach unten zur Brennkammer gedreht wird, sodass die Stroh-elemente den Putz weiterhin tragen müssen. Der Kalkputz muss 60 Minuten lang dem bis zu 1000°C heißen Feuer widerstehen können, ohne Risse zu bilden. Dabei darf außerdem im Stroh eine bestimmte Temperatur nicht überschritten werden, damit sich keine Gase bilden können. Da der Test erfolgreich verlief und alle Kriterien erfüllt werden konnten, darf in Deutschland eine derartige Konstruktion bei Gebäuden mit bis zu fünf Geschossen angewendet werden.⁶⁵

62 vgl. Widetschek O. (2017)

63 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 42-43

64 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 28

65 vgl. Norddeutsches Zentrum für nachhaltiges Bauen (2014)

Auch in Österreich wurde ein Brandschutztest durch die MA 39 durchgeführt. Prüfgegenstand war eine tragende, beidseitig verputzte Holzriegelkonstruktion, welche mit Strohhäcksel gedämmt wurde. Der Test wurde von der Firma Lopas GmbH, welche einen eigenen patentierten Aufbau auf dem Markt hat, in Auftrag gegeben. Geprüft wurde dabei vor allem die Tragfähigkeit, der Raumabschluss und die Wärmedämmung der Konstruktion über einen Zeitraum von 120 Minuten.

Folgendes erstaunliches Ergebnis erbrachte der Test:

„Der Brandtest bei der Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien ergab z.B., dass der Feuerwiderstand einer LOPAS – Außenwandkonstruktion ausreicht, um zwei Stunden Vollbrand selbst unter tonnenschwerer Belastung ohne Versagen zu überstehen. (Zertifizierung: REI 120). Damit weist der Lopas Aufbau eine weit höhere Brandsicherheit auf, als die meisten konventionellen Holzbausysteme, ganz unabhängig von der Art ihrer Wärmedämmung.“⁶⁶

3.4.5 Aufbau, Struktur und Tragverhalten

Der Strohalm kann mit einer Stütze verglichen werden. Er muss die Ähre und sein Eigengewicht tragen und darf dabei nicht ausknicken, denn sonst ist der Halm zerstört. Extreme Schlankheit und lange Halme erschweren diese Herausforderungen zusätzlich. Um der Belastung Stand zu halten, entwickelt er sich zu einem Rohr.

„Wie alle rohrförmigen Bauteile verhalten sich Strohhalme in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung anisotrop: die Reaktion des Bauteils auf Kräfte aus unterschiedlichen Richtungen ist nicht analog. Kräfte in der Richtung des Rohres können besser abgetragen werden als Kräfte senkrecht zur Rohrlängsachse.“⁶⁷

Strohballen und Strohballenwände weisen ein elastomechanisches Verhalten auf. Wird auf einen unverputzten Ballen Druck ausgeübt, staucht sich dieser zusammen. Ist die Dichte eines Ballens bei gleicher Belastung höher, wird die Stauchung geringer. Verputzt man den Ballen, wird die Druckfestigkeit und das Elastizitätsmodul erhöht, sofern der Putz nicht direkt, sondern indirekt belastet wird. Bei direkter Belastung beult der Putz aus und wird somit zerstört.

66 MA 39 (2012)

67 Krick B. (2008), S. 24

3.5 Strohbauweisen

Bei Wandsystemen ist es wichtig, dass das Element sowohl die vertikalen Lasten, als auch die horizontalen Lasten in Folge von Wind aufnehmen kann. Auch hier besteht wieder die Gefahr des Ausbeulens sowie Abscherens bei verputzten Konstruktionen. Der Putz und der Verbund dessen mit dem Strohballen trägt dazu bei, dass die Wand als gesamtes Bauteil stabiler wird. Um die Zugspannungen in Folge von horizontalen Windlasten besser aufnehmen zu können, wird ein Gewebe oder Gitter eingearbeitet.⁶⁸

Hochkant liegende Ballen sind stabiler, da die Halme wie Rohre oder Stützen nebeneinanderstehen. Außerdem erreichen Strohballen, die eingespannt werden, eine höhere Steifigkeit, da eine Querdehnung nicht möglich ist.⁶⁹

Für den lasttragenden Strohballenbau werden häufig liegende Ballen verwendet. Da aber hochkant liegende Ballen einen höheren E-Modul und einen niedrigeren Wärmeleitwert aufweisen, wird die Verwendung dieser empfohlen.⁷⁰

Außerdem lässt der Einsatz von stehenden Ballen einen geringeren Wandquerschnitt bei ebenso gutem U-Wert zu.⁷¹

Es gibt verschiedene Konstruktionen, bei denen der Strohballen unterschiedlich eingesetzt werden kann: in der Konstruktion, vor der Konstruktion oder als tragendes Bauteil.

Prinzipiell gibt es verschiedene Anordnungen des Ständersystems: vor, in oder hinter der Ballenschicht. Werden Holzstützen verwendet, brauchen diese besondere Beachtung beim Verputzen. Zuvor müssen eine Schilfrohrmatte als Putzträger und ein zugfestes Gittergewebe aufgebracht werden, da das Holz arbeitet und somit Risse entstehen könnten. Bei einer Verkleidung mit OSB-Platten oder Gipskartonplatten ist es sinnvoll, sich an den Raster der Holzständerwand zu orientieren.⁷²

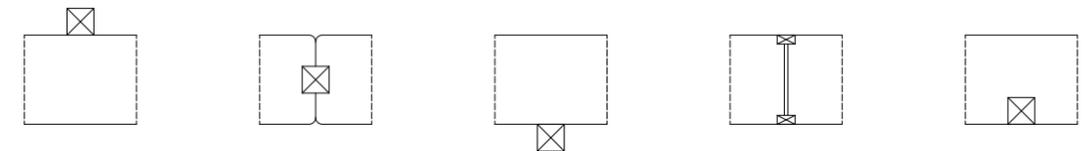


Abb. 08 mögliche Anordnungen der Stützen, eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B. (2014), S. 40

Man unterscheidet außerdem zwischen den nicht lasttragenden und den lasttragenden Systemen:

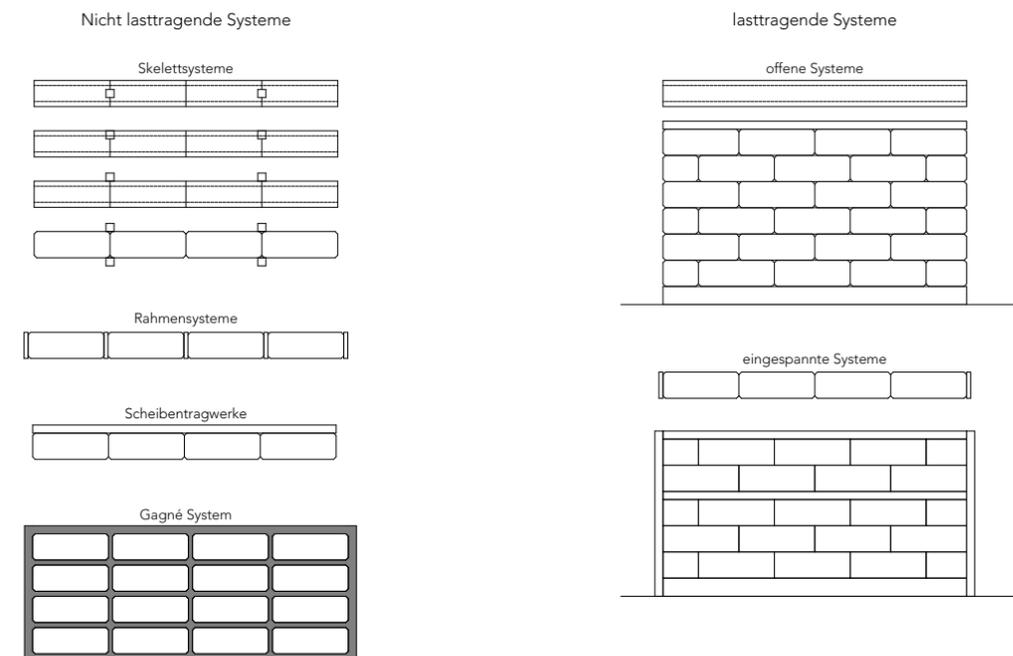


Abb. 09 Darstellung von verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten, eigene Darstellung, Quelle: Krick B. (2008), S. 113

68 vgl. Krick B. (2008), S. 147

69 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 31

70 vgl. Krick B. (2008), S. 154

71 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 53

72 vgl. Minke G., Krick B. (2014), S. 49 und f.

3.5.1 Lasttragende Systeme

Bei der lasttragenden Konstruktion wird der Ballen als tragendes Element eingesetzt und wie Ziegel übereinandergestapelt. Als Hilfskonstruktion werden Holzstützen an den Ecken angeordnet, damit die Wände exakt ausgerichtet werden können. Das Verputzen der Wände führt zu einem stabileren Ergebnis. Ein Ringbalken dient dazu, die Lasten des Daches aufzunehmen und gleichmäßig auf die Ballen zu verteilen. Folgende Abbildung zeigt verschiedene Ausführungsarten eines Ringbalkens.

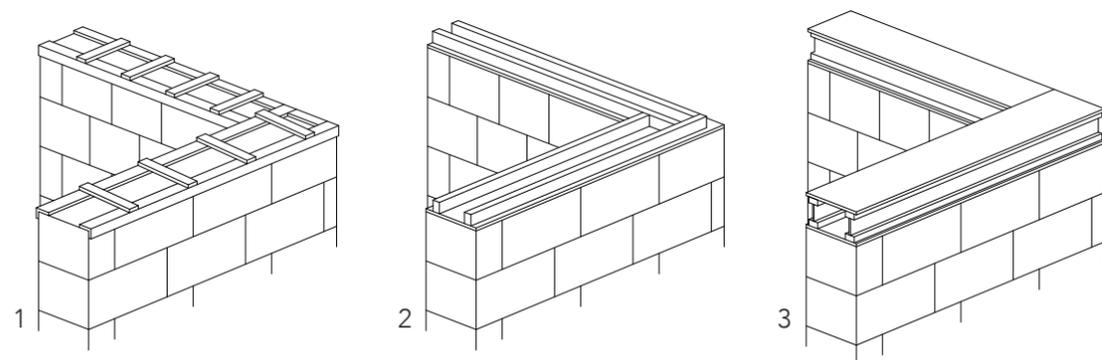


Abb. 10 Ringbalken als Leiterkonstruktion (1), Ringbalken mit Lastverteiltbrett (2), Ringbalken als Kasten aus Stegträgern (3), eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B. (2014), Seite 55

Die Wand bildet somit eine durchgehende, wärmebrückenfreie Dämmebene. Andere Vorteile sind die große Flexibilität und der hohe Grad der Selbstanfertigung. Nachteilig jedoch ist, dass es keine Möglichkeit zur Vorfertigung gibt. Die Ballen müssen auf der Baustelle gelagert und verbaut werden. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Ballen durch falsche Lagerung oder Verputzen Feuchtigkeit aufnehmen und dadurch beschädigt werden. Auch der Fenstereinbau ist bei dieser Konstruktionsart schwieriger, da das Raster durch die Strohballengröße vorgegeben ist und Öffnungen daher kleiner gehalten werden müssen. Für den Einbau werden Holzboxen gefertigt, in welche dann die Fenster oder Türen eingesetzt werden.

Um Risse des Putzes durch Setzungen zu vermeiden ist es wichtig, die Ballen vorzuspannen. Dies lässt sich entweder mit Gewindestangen oder Spanngurten erreichen. Die Gewindestangen stellen eine Verbindung zwischen dem Fundament und dem Ringanker her. Durch das Anziehen der Muttern auf den Stangen wird ein gleichmäßiges, künstlich herbeigeführtes Setzen erreicht. Dadurch lässt sich der Ringbalken schön ausrichten. Der Strohballen muss sozusagen aufgespießt werden. Hierbei ist aber Vorsicht geboten, denn der Ballen lässt sich bei einer falschen Position nicht mehr verschieben.

Außerdem birgt die Gewindestange die Gefahr von Feuchteproblemen mit sich. Die Spanngurte hingegen werden außen um die Ballen mit Schlaufen am Ringanker befestigt. Auch hier kann man das Vorspannen wieder kontrolliert Schritt für Schritt durchführen, indem der Gurt immer ein Stück weit enger gespannt wird. Um die Position einzuhalten, werden nach dem Entfernen der Gurte reißfeste Schnüre oder Drähte angebracht.

Anstatt üblicher Kleinballen können auch Großballen in der lasttragenden Konstruktion angewendet werden. Diese haben den Vorteil, dass sie aufgrund der dichteren Pressung mehr Lasten aufnehmen können und so auch für größere Projekte eingesetzt werden können. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Dämmwirkung entsprechend der Größe auch besser als bei handelsüblichen Ballen ist. Gegen die Großballen spricht jedoch die Unhandlichkeit. Durch die Größe und das Gewicht ist ein Kran notwendig und dementsprechend können Projektbeteiligte keine Eigenleistung erbringen. Außerdem nehmen die Ballen mehr Platz ein, das heißt also, dass man unter Umständen auch einen größeren Bauplatz brauchen könnte.⁷³

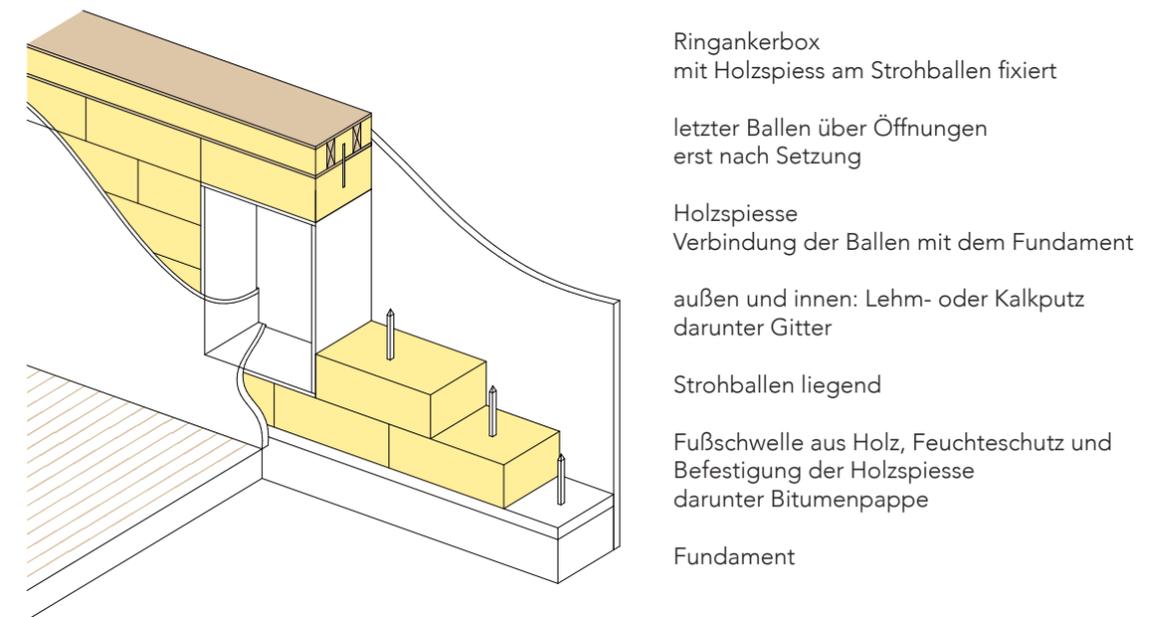


Abb. 11 Lasttragendes Wandsystem, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 56

⁷³ vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 56 und f.

3.5.2 Nicht lasttragende Systeme

Bei den nicht lasttragenden Systemen übernehmen die Strohballen lediglich wärmedämmende Eigenschaften. Ein zusätzliches Tragsystem, beispielsweise aus Holz, übernimmt hier die Lastabtragung. Die Ballen müssen unbedingt vorgespannt werden, damit mögliche Setzungen die Konstruktion nicht behindern. Mögliche Beispiele für Konstruktionen sind Skelettbausysteme, Rahmensysteme, Scheibentragwerke oder das System Gagné.⁷⁴ Bei dem System Gagné handelt es sich um eine Übereinanderschichtung der Strohballen, welche mit Zementmörtel zusammengehalten werden. Das Mörtelskelett übernimmt sowohl die Tragfunktion, als auch die Aussteifung.⁷⁵

Skelettbausysteme:

Bei den Skelettbausystemen wird zwischen dem innenliegenden Skelett, dem ballenbündigen Skelett, dem Außenskelett oder dem Doppelskelett unterschieden. Das Raster bewegt sich zwischen 1,2 m bis 4,8 m. Beim Innenskelett erfolgt die Aussteifung durch Einspannungen und biegesteifen Anschlüssen. Die Wände werden mit mehrlagigem Putz versehen. Für das Verkleiden der Ballen braucht es ein zusätzliches Gerüst, an dem die Verschalung angebracht werden kann.

Beim ballenbündigen Skelett lässt sich eine Verkleidung direkt an den außenliegenden Ständern anbringen. Um die Konstruktion zu verputzen, muss auf dem Ständersystem ein Putzträger wie Schilfrohrmatten angebracht werden. Dadurch können Risse im Putz vermieden werden. Beim Außenskelett liegen die Stützen nicht bündig zur Strohballenwand, sondern sitzen, wie das System schon sagt, außen. Dabei muss die Ständerkonstruktion mit den Strohballenwänden verbunden werden. Dies wird mit horizontal eingelegten Bohlen erreicht.

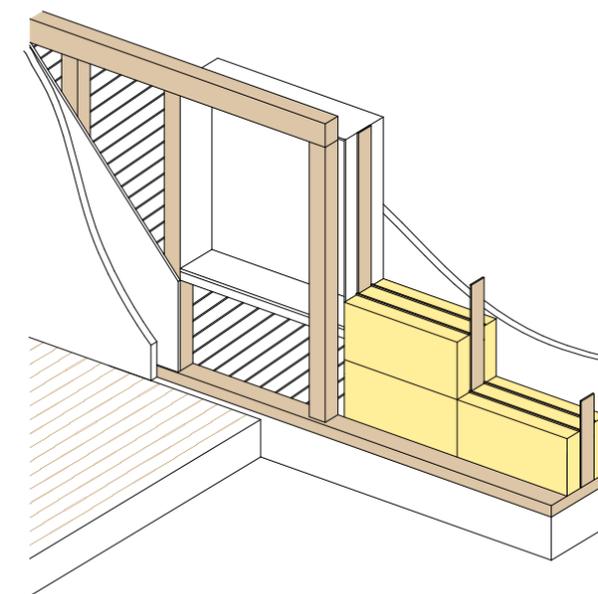
Beim Doppelskelett wird sowohl an der Außenseite als auch an der Innenseite eine Ständerkonstruktion angebracht.⁷⁶

Folgende Konstruktionen sind mögliche Ausführungen der Skelettbauweise.

74 vgl. Krick B. (2008), S. 114
75 vgl. Krick B. (2008), S. 119
76 vgl. Krick B. (2008), S. 115-117

(teil)lasttragende Hybridbauweise

Bei diesem Wandsystem werden die Strohballen als Dämmung zwischen Holzständern eingeklemmt. Nach innen wird eine einfache Holzkonstruktion für die weitere Lastaufnahme ergänzt. Zusätzlich beinhaltet diese Ebene auch die Installationen. Das Ständersystem besteht aus senkrechten ca. 14 bis 20 cm breiten Brettern, welche zwischen den Strohballen eingeklemmt werden. Zusätzliche horizontale Holzleisten können weitere Setzungen verhindern. Dieses System wird vor allem bei schon bestehenden Häusern angewendet. Dabei wird die Hilfskonstruktion alle ein bis zwei Meter mit einem Anker an der bestehenden Wand fixiert.⁷⁷



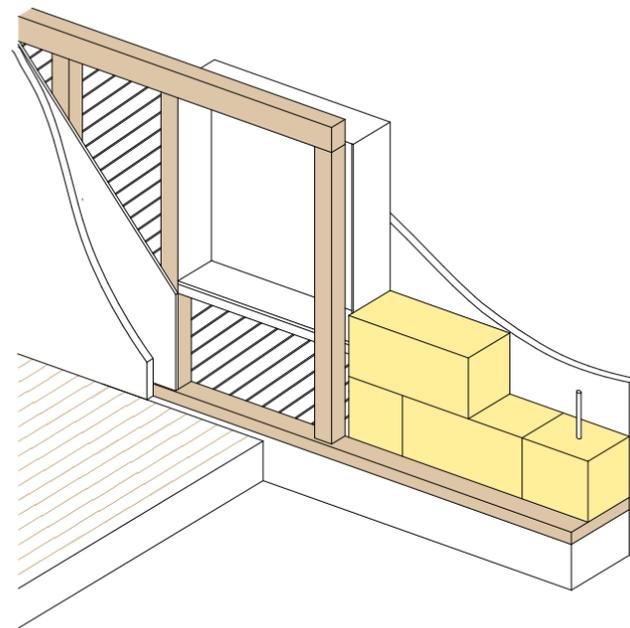
- Holzständer Bretter an Konstruktion befestigt
- Holzbox für Öffnungen
- Holzleisten zum Komprimieren Verhinderung von Setzungen
- Installationsebene
Diagonallattung als statische Aussteifung
Dampfbremse
- außen Kalkputz
innen Lehmputz auf Ausbauplatte und Putzträger
- Strohballen stehend zwischen Holzständer
- Fußschwelle aus Holz, Feuchteschutz und Befestigung der Holzspiesse darunter Bitumenpappe
- Fundament

Abb. 12 (teil)lasttragende Hybridbauweise, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 64

77 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 64-65

Ständerkonstruktion außen gedämmt

Bei der außen gedämmten Ständerkonstruktion liegt die Holzkonstruktion innen und dient gleichzeitig als Installations- und Montageebene. Die Riegelwand wird mit einer diagonal angeordneten Schalung zur Aussteifung verkleidet. Außen werden die Strohballen als durchgehende Wärmedämmebene angeordnet und verputzt. Das heißt, eine anderweitige Fassade kann nicht angebracht werden. Die Ballen werden zusätzlich an der Konstruktion mit Laschen befestigt. Für zusätzliche Standsicherheit können die Ballen untereinander mit eingeschlagenen Holzpflocken befestigt werden.⁷⁸



- Holzbox für Öffnungen
- statische Konstruktion innen
- eventuell Gewindestangen oder Holzspiesse
- Installationsebene
- Diagonallattung als statische Aussteifung
- Dampfbremse
- außen Kalkputz oder Holzschalung
- innen Lehmputz auf Ausbauplatte und Putzträger
- Strohballen stehend
- Fußschwelle aus Holz, Feuchteschutz und Befestigung der Holzspiesse darunter Bitumenpappe
- Fundament

Abb. 13 Ständerkonstruktion außen gedämmt, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 68

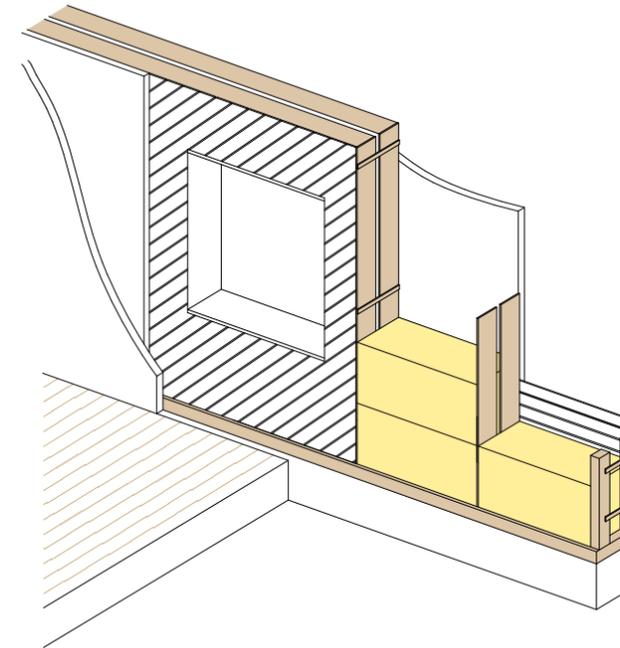
Bei den Rahmensystemen bilden ballenbreite Stützen die Tragkonstruktion. Die Rahmen können dann mit hochkant stehenden oder liegenden Ballen ausgefüllt werden. Der geringere Stützenabstand von nur einem Meter und die Stützendimensionen bilden die wesentlichen Unterschiede zur Skelettkonstruktion. Die Horizontalaussteifung wird durch Platten oder Diagonalschalungen übernommen.⁷⁹

⁷⁸ vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 68-70

⁷⁹ vgl. Krick B. (2008), S. 117-118

Holzständersystem „infill“ (StrohTec)

Eine Holzständerkonstruktion mit dazwischen eingeklemmten hochkant gestellten Strohballen bildet die Basis. Die Holzständer sind ca. 4 bis 6 cm stark und werden in einem Raster von etwa 80 cm angeordnet. Dazu können auch Doppelsteher verwendet werden, welche mit Holzweichfaser oder Kork gedämmt werden können, um die größten Schwachstellen dieser Konstruktion auszugleichen. Die Steher dienen außerdem noch dazu, eine Fassade oder Ausbauplatten anzubringen. OSB-Platten bewirken, dass die Konstruktion ausgesteift und luftdicht ist. Außen wiederum werden diffusionsoffene Unterdachplatten angebracht.⁸⁰



- Fenster und Türen zwischen Ständer mit Unterzügen
- Holzständer massiv
- 2 Ständer verbunden, KLH Massiv, zwischen-gedämmt, Leitersystem
- Diagonallattung als statische Aussteifung
- Dampfbremse
- außen Kalkputz oder Holzschalung
- innen Lehmputz auf Heraklithplatte als Installationsebene
- Strohballen stehend zwischen Holzständer
- Fußschwelle aus Holz, Feuchteschutz und Befestigung der Holzspiesse darunter Bitumenpappe
- Fundament

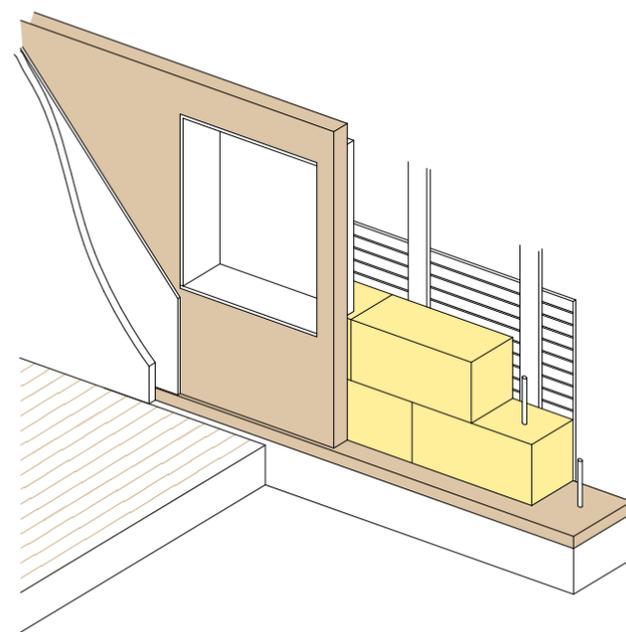
Abb. 14 Holzständersystem „infill“, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 72

⁸⁰ vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 72-74

Scheibentragwerke bestehen aus Scheiben, welche die Tragfähigkeit übernehmen und Strohballen, welche die Dämmwirkung übernehmen. Deswegen wird die Scheibe raumseitig angeordnet und bildet somit auch die Luftdichtheitsebene und die Horizontalaussteifung.⁸¹

Außen mit Großballen gedämmte Holzbox

Das Wandsystem besteht aus Kreuzlagenholzplatten und einer 50 cm dicken Strohballenebene. Um die Ballen mit der Wand zu verbinden, werden Holzdübel mit Hanfschnüren in die Platte geklebt und anschließend die Ballen festgezurrnt. Mit der im Zuge des Projektes S-House angefertigten Schraube *treeplast* lassen sich auch verschiedene Fassaden anbringen. Speziell bei diesem Projekt wurde die Bodenplatte, welche aus KLH Platten und Stroh besteht, auf Punktfundamenten angehoben.⁸²



- Holzbox für Öffnungen
- KLH Box innen
- eventuell Gewindestangen oder Holzspiesse
- 5/8 Staffeln mit Spritzgusschrauben am Stroh befestigt
- außen hinterlüftete Holzfasade innen Lehmputz auf Ausbauplatte und Putzträger
- Strohballen stehend
- Fußschwelle aus Holz, Feuchteschutz und Befestigung der Holzspiesse darunter Bitumenpappe
- Fundament

Abb. 15 Außen gedämmte Holzbox, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 71

81 vgl. Krick B. (2008), S. 118

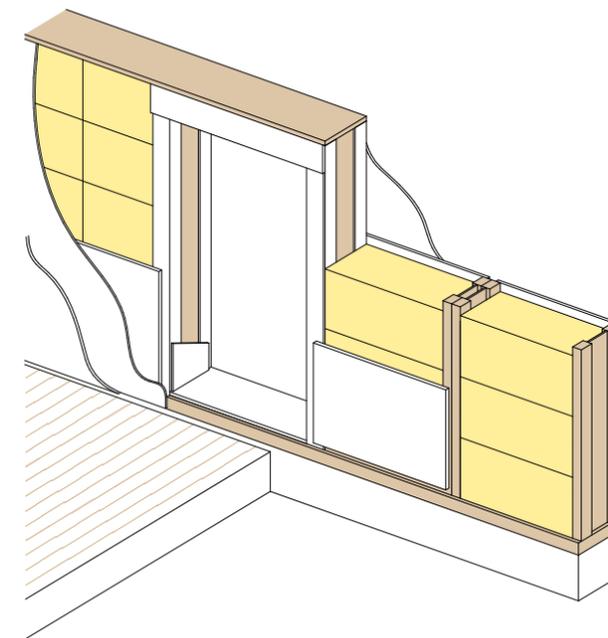
82 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 71

Modulbau und vorgefertigte Wände

Die Wandmodule werden im Werk vorgefertigt, weisen eine Installationsebene auf und sind meist speziell für das Errichten eines Passivhauses konstruiert. Der Vorteil liegt vor allem darin, dass nur zertifizierte und ökologisch unbedenkliche Produkte eingesetzt werden. Außerdem besteht nur ein sehr geringes Risiko von Feuchteschäden, da das Stroh schon komplett verbaut ist, wenn es auf die Baustelle kommt.

Ein zertifiziertes Modulsystem wurde von Kreativer Holzbau, dem Bauatelier Schmelz und Herbert Gruber entwickelt und trägt den Namen *system|haus|bau*.

Alle in dem System verwendeten Materialien tragen die CE-Kennzeichnung. Es entstand ein Baukastensystem, welches alle nötigen Bauteile wie Wand, Decke, Fensteröffnung oder Attika beinhaltet. Das Rastermaß beträgt 80 cm.⁸³



- Fenster und Türen im Rastermaß von 80 cm Rahmen aus Dreischichtplatten
- hinterlüftete Holzfassade Silikatputz auf Weichfaser diffusionsoffene Unterdachplatte
- innen Lehmputz auf Trockenbauplatte
- Heraklithplatte als Installationsebene luftdicht verklebte Platten Strohballen stehend Steico Passivhausständer mit Weichfaserplatte zwischengedämmt
- Fußschwelle aus Holz, Feuchteschutz darunter Bitumenpappe
- Fundament

Abb. 16 Modulbau, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 76

83 vgl. Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 76-77

04
Lehm

4.1 Geschichte

Lehmbauweisen sind auf der ganzen Welt schon seit vielen Jahrtausenden stark vertreten. In Ländern, welche ein trockenes und heißes Klima aufweisen, übernimmt der Lehm häufig lasttragende Funktionen. In Ländern mit hohem Holzanteil wird Lehm hingegen als ausfachendes Element verwendet. Die etwa 8000 Jahre alten Hauskonstruktionen von Catal Höyük in Anatolien sind eine der ältesten Konstruktionen aus Lehm und Holz. Die Außenwände bestehen aus Lehmsteinen und innenliegenden Holzstützen, welche die Lasten der Flachdachkonstruktionen aufnehmen.



Abb. 17 Systemzeichnung Catal Höyük

Quelle: <http://www.kenneymencher.com/2019/09/catal-huyuk-turkey-6500-bce-5700-bce.html>

Weitere Lehmkonstruktionen findet man in China bei Teilen der chinesischen Mauer oder in Ägypten, wo in den Grabstätten Lehmsteingewölbe errichtet wurden.⁸⁴

Ab dem Mittelalter nahm der Baustoff Lehm an seiner Beliebtheit ab, da dieser meist bei Bauwerken für die sozial ärmere Schicht eingesetzt wurde. Den Wohlhabenden waren Bauten aus teurem Steinmauerwerk bestimmt. In der Renaissance hingegen wurde Lehm nur mehr als aussteifendes Element für Fachwerksbauten verwendet. Danach geriet dieser mehr und mehr in Vergessenheit.⁸⁵

Heute erfährt der Lehm ein Aufschwung, da dieser beste ökologische Eigenschaften mitbringt und somit einen wichtigen Bestandteil im nachhaltigen Bauen bildet.

Der Baustoff ist außerdem recycelbar und kann in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden.

Folgende Abbildung zeigt den Stoffkreislauf des Lehm. Nach der Gewinnung von Baulehm wird dieser zu einem Lehmstoff weiterverarbeitet. Der Lehmstoff wird zu einem Lehmteil geformt, welches letztendlich im Bauwerk eingebaut wird. Entspricht das Gebäude nach vielen Jahren nicht mehr dem Stand der Technik und ist dieses auch nicht mehr zu retten, muss es abgebrochen werden. Hierbei muss auf eine klare Trennung der verschiedenen Materialien geachtet werden, damit der Lehm wieder mit frischem Baulehm gemischt und wieder verarbeitet werden kann.

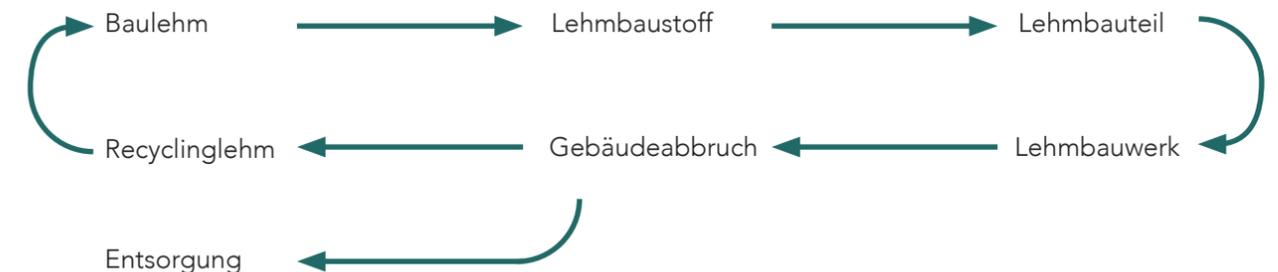


Abb. 18 Stoffkreislauf Lehm, eigene Darstellung

84 vgl. Schroeder H. (2019), S. 2-4

85 vgl. Schönburg K. (2017), S. 25-26

4.2 Lehmarten

„Lehme sind natürliche Gemenge aus verschiedenen Mineralien von stark unterschiedlicher Korngröße. Sie werden [...] nach Art ihrer Entstehung in Geschiebe-, Sediment-, Löss-, und Berglehm eingeteilt.“⁸⁶

Lehme kann man nahezu überall finden, denn sie sind Teil der obersten festen Erdkruste. Naturlehm entsteht durch die Umarbeitung der anorganischen und organischen Ausgangssubstanzen zu neuen Bestandteilen. Das Bodenprofil besteht dabei aus drei Schichten. Die erste Schicht, auch genannt A-Horizont, ist der ausgelaugte und humusreiche Oberboden. Der B-Horizont, also die zweite Schicht, bildet den Unterboden mit Kalkbestandteilen und ist als Baulehm geeignet. Die letzte Schicht, der C-Horizont, besteht aus dem unverwitterten Ursprungsgestein.

Beeinflusst wird das Bodenprofil durch Klima, Zeit, Vegetation, Gestein, Relief und der menschlichen Tätigkeit. Durch die ständige Einwirkung dieser Faktoren auf den Boden entsteht das ausgewogene Bodenprofil.⁸⁷

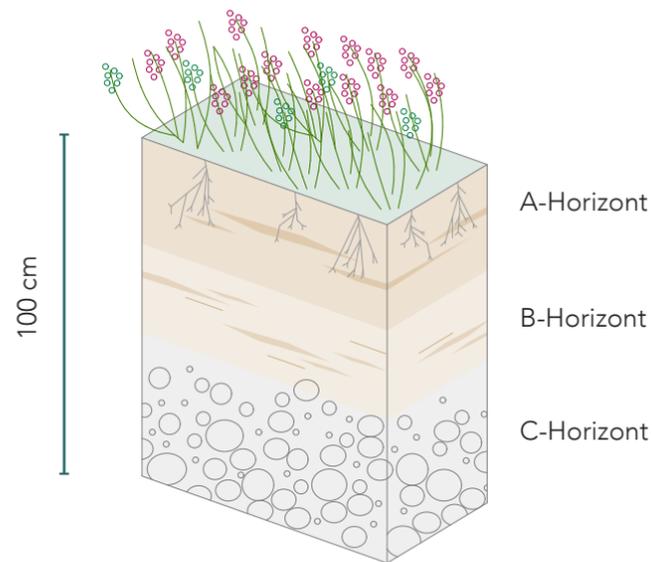


Abb. 19 Bodenprofil, eigene Darstellung

Quelle: https://www.lfu.bayern.de/boden/boeden_brauchen_wissenschaft/horizonte_in_boeden/index.htm

86 Schönburg K. (2017), S. 38

87 vgl. Schroeder H. (2019), S. 62-67

Folgende Lehme sind verschiedene Arten von Naturlehmen.

4.2.1 Lösslehm

„Löss ist eiszeitlicher, vom Wind verfrachteter, kalkreicher Flugstaub. Bei der Verwitterung wird der Kalk durch Niederschlagswasser gelöst, ausgewaschen und in tieferen Lagen in feinen Wurzelkanälen abgesetzt. Der „entkalkte“ Lösslehm erhält dadurch eine im Vergleich zum Löss höhere Plastizität.“⁸⁸

4.2.2 Sedimentlehm

Sedimentlehm besteht aus abgerundeten Gesteinskörnern, welche zuerst verwittern und danach in Überschwemmungen abgesetzt werden. Diesen findet man vor allem an Talhängen.⁸⁹

4.2.3 Geschiebelehm

Geschiebelehm entsteht durch Schürfwirkung des Eises am Gestein und wird letztendlich durch strömendes Wasser angeschwemmt.⁹⁰

Er beinhaltet abgeschliffene und gerundete Gesteinsbruchstücke, die sogenannten Geschiebe und wird häufig als Stampflehm eingesetzt.⁹¹

88 Schroeder H. (2019), S. 69

89 vgl. Schönburg K. (2017) S. 40

90 vgl. Schönburg K. (2017), S. 40

91 vgl. Schroeder H. (2019), S. 71

4.3 Herstellung von Lehmbaustoffen

4.3.1 Baulehm

Baulehm wird verwendet um Lehmbaustoffe herzustellen. Dabei gibt es mehrere Arten von Lehmen. Grubenlehm, Trockenlehm und Tonmehl werden der natürlichen Lagerstätte entnommen und meist im Selbstbau eingesetzt. Trockenlehm wird mechanisch getrocknet und zerkleinert und häufig für Putzmischungen verwendet. Tonmehl hingegen wird dem zu mageren Lehm hinzugegeben. Recyclinglehm wird bei Abbrucharbeiten gewonnen und wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Dabei muss jedoch auf eine saubere Aufbereitung geachtet werden.⁹²

4.3.2 Herstellung

Um feststellen zu können, wo sich der Lehm befindet, ist es notwendig, diesen durch bestimmte Verfahren zu erkunden.

Eines dieser Verfahren ist der Schurf, welcher oberhalb des Grundwasserhorizontes bis maximal 3 m ausgeführt wird. Der große Vorteil dieser Erkundung liegt in der genauen Beobachtung der einzelnen Schichten und der einfachen Entnahme einer Probe, da die Aufgrabung begehbar ist.

Ein anderes Verfahren ist die Sondierung. Hier empfiehlt es sich, dieses mit einem weiteren Verfahren zu kombinieren. Durch die schmalen Stahlstäbe, die in die Erde gerammt werden, lässt sich wenig über die Erdqualität aussagen. Auch das Verfahren der Bohrung kann eingesetzt werden. Hier werden verschiedene Bohrgestänge mit Aufsatzstücken verwendet, um in beliebiger Tiefe Proben zu entnehmen.

Nach der Entnahme der Proben müssen diese geprüft werden. Ein relativ schnelles Ergebnis bringt das Handprüfverfahren, welches nur von Fachleuten und Experten durchgeführt werden kann. Für genauere Ergebnisse gibt es standardisierte Prüfverfahren. Die charakteristischen Eigenschaften werden dabei in Kennwertklassen eingeteilt, welche sich vor allem auf die Körnung und das Bindemittel beziehen. Sand und Kies, also die Körner, die im Lehm einen größeren Durchmesser haben, werden mittels Siebanalyse bestimmt, Schluff und Ton mittels Schlämmanalyse. Die Kornfraktionen Sand und Kies, die als Siebkorn bezeichnet werden und die Kornfraktionen Ton und Schluff, welche als Schlämmkorn bezeichnet werden, werden in die Untergruppen fein, mittel und grob eingeteilt.

Bei der Siebanalyse werden Sand und Kies mittels Siebeinsatz mit genormter Maschenweite gesiebt. Alle Körner die kleiner sind als 0,063 mm fallen hindurch und werden gewogen und in ein Diagramm eingetragen. Somit entsteht die Körnungslinie, welche die Verteilung der Körner und deren Massenanteile angibt. Für die Schlämmanalyse werden etwa 50 g des feuchten Erdmaterials mit destilliertem Wasser und Natriumpyrophosphat aufgeschlämmt. Nach einer bestimmten Zeit können die Korngrößen für Schluff und Ton abgelesen und ausgewertet werden.

Nach der Analyse der Proben kann mit dem Gewinnen des Lehmes begonnen werden. Baulehm wird in einer natürlichen Lagerstätte mit einer Schürfkübelraupe gewonnen. Das gelöste Erdmaterial wird mit Fördergeräten zum Transporter gefördert. Der Abbau von Lehm wird in sieben Gewinnungsklassen eingeteilt, von denen aber nur die Klassen 3–5 relevant sind, da die restlichen Klassen für eine Verwendung als Baulehm unzureichend sind. Die Gewinnungsarten beziehen sich auf leicht lösbare Bodenarten, mittelschwer lösbare Bodenarten und schwer lösbare Bodenarten. Für die Ökobilanzierung ist es besonders wichtig, die Gewinnung durch Maschinen und den Transport miteinander zu beziehen.

Der gewonnene Lehm muss geprüft und dessen Qualität überwacht werden. Dabei wird vor allem auf die plastischen und bindenden Eigenschaften, die Korngrößenverteilung, den Humusanteil und mögliche bauschädliche Salze geachtet. Die Prüfung der Qualität muss der Hersteller durchführen.⁹³

Aus dem gewonnenen Lehm aus der natürlichen Lagerstätte wird durch Aufbereitung, Formgebung und Trocknung ein Lehmbaustoff. Die Aufbereitung kann natürlich oder mechanisiert erfolgen. Ersteres erfolgt durch natürliche Wettereinflüsse im Sommer oder Winter oder durch Sumpfen und Mauken.

Mechanisch kann der Lehm gebrochen, geschnitten und geknetet werden. Die Lehmklumpen werden mit dem Kollergang oder dem Schlaghammer zerkleinert. Danach werden die Körner gesiebt. Diejenigen, die noch zu groß sind, können noch einmal gebrochen werden. Die Maschenweite liegt dabei zwischen 2 und 7 mm.

Um Lehmmehl oder Tonmehl herzustellen, werden die feinen Körner zu Pulver gemahlen. Dies erreicht man mit einer Trommel-, Kugel- oder einer Walzenmühle. Das Rohmehl kann außerdem auch zu Pellets granuliert werden. Damit Baulehm die gewünschten Eigenschaften erfüllen kann, muss dieser oft mit Zusatzstoffen oder Zusatzmitteln versehen werden. Beim Aufschlämmen wird dem Lehm Wasser zugesetzt, sodass sich die Kapillarkraftbindungen zwischen den Körnern auflöst. Dieses Verfahren wird häufig bei Lehmsteinen und Lehmplatten angewendet, da diese eine hohe Formstabilität aufweisen. Der große Nachteil daran ist jedoch der hohe Wasserverbrauch. Um den Wasserverbrauch zu mindern, wird Wasserdampf eingesetzt.⁹⁴

⁹³ vgl. Schroeder H. (2019), S. 81 und f.

⁹⁴ vgl. Schroeder H. (2019), S. 134-142

⁹² vgl. Schroeder H. (2019), S. 78

4.3.3 Formgebung

Die Baulehmmasse muss in Form gebracht werden, damit der Baustoff verwendet werden kann. Damit das Bauteil gebrauchstauglich ist, muss es gut genug verdichtet und das Porenwasser ausgepresst werden. Folgende Formgebungsverfahren können dabei eingesetzt werden: Pressformgebung, bildsame Formgebung und die Formgebung durch Gießen.

Die Pressformgebung wird für elementierte Formatgestaltung, also Lehmsteine und Platten, oder für bauteilbildende Formatgestaltung angewendet. Der Wassergehalt liegt dabei bei unter 15 % bezogen auf die Masse. Das Pressen wird in unterschiedliche technologische Verfahren unterteilt. Das Trockenpressen ist durch den niedrigen Feuchtegehalt unter 8 % und einem Pressdruck von 40 MPa gekennzeichnet. Dieses Verfahren wird häufig für Lehm- bauplatten im Innenbereich angewendet. Durch den hohen Druck wird der Lehm optimal verdichtet. So entsteht ein stabiler Lehm- baustoff, welcher vor allem günstig hinsichtlich Kosten und Zeit ist. Beim Nass- oder Feuchtpressen hingegen beträgt der Feuchtegehalt bis zu 15 % und der Druck lediglich nur 20 MPa. Verdichtet werden kann das Bauteil zum Beispiel mit einer Kniehebelpresse oder mit mobilen leichten Lehm- steinpressen.

Bei der bauteilbildenden Formatgestaltung wird der Lehm in eine Schalung eingebracht, beziehungsweise beim Fußbodenaufbau wird dieser ohnedies durch die Wände begrenzt. Das Bauteil muss letztendlich auch wie die elementierte Formgestaltung verdichtet werden, zum Beispiel mittels Rüttelplatten oder Vibrationswalzen. Der Stampflehm- bau bezeichnet das Einbringen von Lehm in eine Schalung aus Holzwerkstoffen. Dies funktioniert ähnlich wie bei Beton. Die Schalung muss vor dem Verfüllen mit Stampflehm mit Öl behandelt werden damit das nachträgliche Lösen gewährleistet werden kann. Die Formgebung ergibt sich somit mit dem Entfernen der Schalung, nachdem der Lehm getrocknet ist.

Im Stroh- und Leichtlehm- bau werden ebenfalls bauteilbildende Formate erzielt. Auch hier arbeitet man mit Schalungen, meist mit der verlorenen, also eine, die sich nicht wiederverwenden lässt.

Bei der bildsamen Formgebung beträgt der Feuchtegehalt 15-25 % bezogen auf die Masse. Dazu gehört das manuelle Formen, das vor allem früher angewendet wurde, als Genauigkeit und serielle Erzeugung noch keinen hohen Stellenwert hatten. Ein weiteres Formgebungsverfahren ist das Patzen.

Beim traditionellen Patzen wird der Lehm- baustoff in eine Form ohne nachträgliches Verdichten geworfen, also gepatzt. Der Formling wird dann an der Luft getrocknet. Beim mechanisierten Patzen werden die vorher geteilten Portionen in Stahlformen geschleudert. Auch hier erfolgt keine nachträgliche Verdichtung.

Weiters gibt es noch das Strangformen. Der Lehm wird in Strangpressen zu einem Endlosstrang geformt und anschließend in immer gleiche Formate geschnitten. Die so entstandenen Ziegel können gebrannt oder luftgetrocknet werden.

Bei der Formgebung durch Gießen weist die Masse eine breiige Konsistenz mit einem Feuchtegehalt von 25-40 % bezogen auf die Masse auf. Hier wird zwischen dem Batteriegießen und dem Bandstreichen unterschieden. Ersteres kennzeichnet sich durch das Gießen des Lehm- baustoffes in batterieförmige Schalungskästen mit anschließender Verdichtung. Letzteres ist das Aufstreichen des Lehm- baustoffes auf ein Transportband. Durch eingelegte Schilfrohmatten erlangt das Bauteil seine nötige Stabilität. Dieses Verfahren eignet sich vor allem für Lehm- bauplatten.

Abschließend gibt es noch das Verfahren des Spritzens. Vor allem Lehmputz wird häufig mit einer Putzmaschine auf Wände aufgetragen. Durch den hohen Druck wird der Lehm automatisch verdichtet.⁹⁵

4.3.4 Trocknung

„Lehm- bausteine bzw. Lehm- bauteile sind unmittelbar nach der Formgebung noch nicht formstabil und weisen nur eine geringe Festigkeit auf. Erst im trockenen Zustand erreichen sie ihre vorgesehene statisch- konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften. Dazu muss das für die Verarbeitung zu Lehm- baustoffen und zur Formgebung notwendige Anmachwasser wieder austrocknen. Mit der Formgebung und der anschließenden Trocknung ist der Herstellungsprozess der Lehm- baustoffe abgeschlossen.“⁹⁶

Prinzipiell wird zwischen einer natürlichen Trocknung und der künstlichen Trocknung unterschieden. Der große Unterschied liegt im Energieverbrauch. Somit steht der Faktor Ökonomie dem Faktor Zeit gegenüber. Neben der längeren Trocknungsdauer wird außerdem bei der natürlichen Trocknung mehr Fläche benötigt, da die Bauteile länger gelagert werden müssen.⁹⁷

95 vgl. Schroeder H. (2019), S. 143-163

96 Schroeder H. (2019), S. 163

97 vgl. Schroeder H. (2019), S. 163-168

4.4 Lehmstoffe

4.4.1 Stampflehm

Stampflehm [STL] besteht aus Ton und Schluff mit einem Anteil von 20–35 % und Sand und Kies mit einem Anteil von 50–75 %. STL kann als tragendes Bauteil oder nicht tragendes Bauteil eingesetzt werden. Der Lehm wird dabei in eine Schalung eingebracht und getrocknet und kann als vorgefertigtes Element verarbeitet werden. Nicht nur Wandbauteile sind dadurch möglich, sondern auch Fußböden.

4.4.2 Wellerlehm

Wellerlehm [WL] besteht aus Baulehm und Stroh oder gegebenenfalls anderen Zusatzstoffen und Wasser. Da die Aufbereitung sehr aufwendig ist, wird diese Art meist nur für Ausbesserungsarbeiten verwendet. Ein ganzes Bauteil zu erstellen bedeutet abwechselnd Strohfasern mit einer Länge von 30-50 cm und Baulehm übereinander anzuordnen bis eine Bauteildicke von maximal 60 cm erreicht wurde.

4.4.3 Stroh- und Faserlehm

Stroh- und Faserlehm [SL,FL] wird ähnlich wie WL hergestellt. Der große Unterschied besteht darin, dass bei dieser Art auf einen m^3 Lehm etwa 40-60 kg Fasern kommen. Beim WL hingegen kommen nur 25 kg Stroh auf einen m^3 Lehm. SL und FL wird vor allem zur Ausfachung von Fachwerken oder Holzständerkonstruktionen angewendet.

4.4.4 Leichtlehm

Leichtlehm [LL] besteht aus Baulehm, organischen oder mineralischen leichten Zusatzstoffen und Wasser. Es wird zwischen leichten und schweren Mischungen unterschieden. Leichte Mischungen haben eine niedrigere Rohdichte. Es werden häufig Strohfasern, Holzhackschnitzel oder Blähton eingesetzt, wobei Stroh etwa $60-90 \text{ kg/m}^3$, Holzhackschnitzel 300 kg/m^3 und mineralische leichte Zusatzstoffe $300-600 \text{ kg/m}^3$ bezogen auf das Bauteil einnehmen soll. Die Aufbereitung erfolgt meist in einem Zwangsmischer. Wichtig dabei ist, dass alle Zusatzstoffe komplett mit Lehm umhüllt sind. Leichtlehm wird ausschließlich für nicht tragende Bauteile verwendet beziehungsweise als Ausfachung.⁹⁸

4.4.5 Lehmschüttungen

Lehmschüttungen [LT] sind rieselfähige Baulehmstoffe, die vor allem für das Verfüllen von Hohlräumen oder zur Massefüllung von Geschossdecken verwendet werden. Auch hier unterscheidet man wieder zwischen normalen LT und Leichtlehmschüttungen. Der Unterschied liegt auch hier bei der Rohdichte.

4.4.6 Lehmmörtel

Lehmmörtel [LM] wird aus feinkörnigem Baulehm, mineralischen oder organischen Zusatzstoffen und Wasser angemischt. LM wird unterteilt in Lehmfrischmörtel, der gebrauchsfertig gemischt ist und Lehmfestmörtel, der ein bereits erhärteter LM ist.

Lehmmörtel kann vor Ort als Baustellenmörtel oder als Lehmwerkmörtel, welcher noch mit Wasser angereichert wird, verwendet werden. Auch die Verwendung von bereits verwendetem Mörtel ist möglich.

Lehmmörtel kann zusätzlich noch in der Art der Verwendung in Lehmmauermörtel, Lehmputzmörtel und Lehmspritzmörtel unterteilt werden.

Lehmmauermörtel [LMM] wird wie normaler Mörtel zwischen den Ziegeln oder Lehmsteinen als verbindendes Element verwendet. Dabei ist es besonders wichtig, dass der Mörtel die im Mauerwerk entstehenden Druckkräfte aufnehmen kann. Deswegen wird der LMM in drei unterschiedlichen Festigkeitsklassen M2, M3 und M4 mit den Druckfestigkeiten $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$, $\geq 3,0 \text{ N/mm}^2$ und $\geq 4,0 \text{ N/mm}^2$ eingeteilt.

Mit Lehmputzmörtel [LPM] werden Wände im Innenbereich aber auch im geschützten Außenbereich verputzt. Die Putzschicht kann aus mehreren Lagen bestehen, muss aber eine Mindestdicke von 3 mm betragen.

Eine Sonderform des LPM weisen die Lehmputzplatten auf, welche wie Fliesen angebracht werden und im Anschluss mit einem Lehmputz beschichtet werden. Auch hier wird zwischen zwei Festigkeitsklassen S I und S II unterschieden, welche sich in Druckfestigkeit, Biegefestigkeit, Haftfestigkeit und Abrieb differenzieren.

Lehmspritzmörtel [LSM] wird aufgespritzt und vor allem zur Ausfachung von skelettartigen Tragwerken verwendet.⁹⁹

98 vgl. Schroeder H. (2019), S. 176-184

99 vgl. Schroeder H. (2019), S. 184-203

4.4.7 Lehmsteine

Lehmsteine [LS] werden wie Ziegelsteine übereinandergestapelt, um entweder tragende oder nicht tragende Wände herzustellen. Es wird zwischen Lehmvollsteinen mit einem Lochanteil < 15 % und Lehmlochsteinen mit einem Lochanteil > 15 % unterschieden. Grundsätzlich gibt es alle möglichen Formate, die sich herstellen lassen können. Jedoch weist das Normalformat eine Größe von 240 x 115 x 71 mm (Länge x Breite x Höhe) und das Dünnformat 240 x 115 x 52 mm auf. Da das Mauerwerk vor allem auf Druck belastet wird, werden die LS auch hier wieder in verschiedene Druckfestigkeitsklassen von 2 bis 6 eingeteilt. Der Name der jeweiligen Druckfestigkeitsklasse beschreibt gleichzeitig auch den Mindestwert der Druckfestigkeit. Tragendes Mauerwerk muss mindestens der Druckfestigkeitsklasse 2 entsprechen.

4.4.8 Lehmplatten

Lehmplatten [LP] sind flächenhafte Lehmstoffe zur Beplankung oder Bekleidung von Wänden. Sie können mit oder ohne Unterkonstruktion befestigt werden. Die Platten können auch eine Sonderfunktion als Flächenheiz- und Kühlplatten übernehmen. Außerdem dürfen sie nicht eine höhere Dicke als ein Fünftel der Breite aufweisen.¹⁰⁰

¹⁰⁰ vgl. Schroeder H. (2019), S. 204-220

4.5 Eigenschaften

4.5.1 Primärenergieinhalt

„Auf den traditionellen Lehmbau übertragen ist bzw. war die manuelle Verarbeitung von geeignetem Baugrubenaushub zu Lehmstoffen und -konstruktionen vor Ort unter dem Aspekt des PEI ein Idealfall. Weil auch keine Transportwege für den Lehmstoff entstanden, war der PEI in diesem Falle praktisch gleich Null.“¹⁰¹

Durch die moderne mechanische Aufbereitung und Formgebung der Lehmstoffe wird Wasser und Energie verbraucht. Außerdem exportieren viele Firmen deren Baustoffe ins Ausland, womit sich die Transportwege verlängern.¹⁰²

Auch die Aufbereitung der Zusatzstoffe, welche die Eigenschaften des Lehmes verändern, benötigt zusätzlichen Aufwand. Früher galten als Zusatzstoffe Strohhäcksel oder Pflanzenstängel. Diese wurden einfach zerkleinert und beigemischt. Heute werden sie maschinell zerkleinert.¹⁰³

Folgende Tabelle zeigt die verschiedenen Werte des Primärenergieinhalts, Treibhauspotential und Versauerungspotential von Stampflehm und Lehmsteinen.

Baustoff (Dichte in kg/m ³)	PEI [MJ]		GWP [kg CO ₂ eq.]	AP [kg SO ₂ eq.]
	PENRT	PERT		
Stampflehm (2200)	0,07181	21,13778	0,00441	0,00003
Lehmstein/Grünling (1200)	1,04750	29,82796	0,06167	0,00010

Tab. 3 Umweltwirkungsindikatoren, eigene Darstellung, Quelle: Schroeder H. (2019), S. 48

¹⁰¹ Schroeder H. (2019), S. 46

¹⁰² vgl. Schroeder H. (2019), S. 46-47

¹⁰³ vgl. Schönburg K. (2017) S. 61-62

4.5.2 Wärmeschutz

Die Wärmeleitfähigkeit liegt bei den verschiedenen Lehmbaustoffen zwischen 0,10 und 1,4 W/(m²K). Bei steigendem Porenanteil sinkt die Trockenrohdichte. Dies bedeutet, dass auch die Wärmeleitfähigkeit abnimmt.¹⁰⁴

Vor allem Leichtlehm leitet Wärme aufgrund der vielen luftgefüllten Hohlräume schlecht. Deswegen wird LL gerne in Form von Platten oder Schüttungen als wärmedämmendes Material eingesetzt. Lehm hat außerdem eine wärmeregulierende Wirkung. Am Tag nimmt er die Wärmestrahlung auf und speichert diese, um sie in der kühleren Nacht wieder abzugeben.¹⁰⁵

4.5.3 Verhalten bei Feuchtigkeit

Lehm ist nicht wasserbeständig und muss daher im Innenraum oder im geschützten Außenbereich angewendet werden.

Um die kapillare Wasseraufnahme zu ermitteln, kann eine Tauchprüfung durchgeführt werden. Dabei wird ein Prüfkörper mit den Abmessungen 220 x 40 x 25 mm in einen mit Wasser gefüllten Behälter 50 mm tief eingetaucht. Nach 45 bis 60 Minuten wird dieser auf Schäden untersucht. Hält der Baukörper die 60 Minuten ohne Probleme durch, gilt er als gut wasserbeständig und als ein guter Lehmbaustoff.

Die Kontaktprüfung wird bei Lehmsteinen und -platten durchgeführt. Dazu wird ein Tuch mit Wasser benetzt, welches der Menge des aufzutragenden Mörtels entsprechen würde. Anschließend wird der Prüfkörper 24 Stunden in einem geschlossenen Behälter über Wasser und danach zwei Tage im Normklima gelagert. Bei der visuellen Prüfung darf der Körper keine Risse oder Verformungen aufweisen.¹⁰⁶

„Die Eigenschaft, Wasser in einer bestimmten Zeit aufzunehmen, ist bei den verschiedenen Lehmen sehr unterschiedlich ausgeprägt: magere Lehme können nur vergleichsweise wenig Wasser aufnehmen und benötigen dazu kurze Zeit. Fette Lehme oder Tone besitzen dagegen auf Grund ihres hohen Anteils an Tonmineralien ein großes Wasseraufnahmevermögen, das aber wegen des größeren Quellpotentials mit einer viel größeren Zeitdauer verbunden ist.“¹⁰⁷

Lehm hat außerdem eine feuchteregulierende Wirkung. Er nimmt die Feuchtigkeit, die im Raum entsteht auf und gibt sie langsam wieder ab.¹⁰⁸

104 vgl. Schroeder H. (2019), S. 283
105 vgl. Schönburg K. (2017) S. 83-84
106 vgl. Schroeder H. (2019), S. 276-279
107 Schroeder H. (2019), S. 280
108 vgl. Schönburg K. (2017), S. 83

Frost

Sobald Lehmsteine Wasser aufgenommen haben und dieses gefriert, vergrößert sich das Volumen um etwa 10 %. Dies kann zu erheblichen Schäden durch Verformungen führen. Damit Lehmsteine als Außenmauerwerk eingesetzt werden können, müssen sich diese einer Frost-Tau-Wechselprüfung unterziehen. Dazu wird ein Prüfkörper mit einem in Wasser getränktem Tuch belegt und 24 Stunden bei 23°C gelagert. Danach wandert dieser bei - 15°C für 34 Stunden in den Frostschrank und wird danach wieder langsam aufgetaut. Der Lehmstein darf auch hier wieder keine Risse oder Verformungen aufweisen.¹⁰⁹

4.5.4 Statisches Verhalten

Die Wände können sowohl tragende Funktionen als auch nicht tragende Funktionen übernehmen. Tragende Wände müssen richtig bemessen werden. Die vorhandenen Spannungen müssen kleiner als die zulässigen sein.

$$\text{vorhandene } \sigma \leq \text{zulässige } \sigma$$

Lehmbaustoffe sollten grundsätzlich, wenn sie tragende Funktionen einnehmen, immer auf Druck beansprucht werden und weniger auf Biege- oder Zugbeanspruchung.¹¹⁰

Damit reine Lehmabauwände standsicher sind, muss eine entsprechende Bewehrung eingearbeitet werden. Dies können Zweige, Schilf oder auch Holzhäcksel übernehmen. Tragende Wände können aus Stampflehm oder Wellerlehm mit Bewehrung gefertigt werden. Die Bewehrung erfolgt mittels Staken oder einem Holzspalier, in welchem eine Strohlehmfüllung eingearbeitet werden kann. Aber auch das einfache Übereinanderschichten von Lehmsteinen ist möglich und benötigt keine zusätzliche Bewehrung.¹¹¹

4.5.5 Brandschutz

Lehm wird in die Klasse A1 – nicht brennbar eingeteilt. Falls dem Lehm jedoch organische Zusatzstoffe wie Stroh oder Holzhackschnitzel zugegeben werden, verändert sich die Brennbarkeitsklasse dementsprechend. Zusatzstoffe, welche unter 1 % der gesamten Masse ausmachen, sind hingegen kein Problem und werden daher nicht berücksichtigt.¹¹²

109 vgl. Schroeder H. (2019), S. 276-281
110 vgl. Schroeder H. (2019), S. 337-341
111 vgl. Schönburg K. (2017), S. 110-112
112 vgl. Schroeder H. (2019), S. 174-175

4.6 Bauweisen

Beim Bau mit Lehm sollte immer darauf geachtet werden, dass dieser möglichst schnell aufgrund des Zeitdruckes auf der Baustelle austrocknen muss. Dies wird mittels ordentlicher Querlüftung aber auch mit künstlicher Trocknung erreicht. Während dem Einbau muss der Lehm vor möglichen Wittereinflüssen geschützt werden, damit dieser nicht zusätzlich Wasser durch Regen aufnimmt.

Das Lehmbauteil muss gegen aufsteigende Bodenfeuchte geschützt werden, beispielsweise durch Sperrschichten. Falls das Lehmbauteil als tragendes Element fungiert, muss das Bauteil zuerst ausreichend getrocknet sein, damit es die Lasten aufnehmen kann. Das Wichtigste dabei ist aber immer, dass auf die Verarbeitungshinweise des jeweiligen Herstellers geachtet wird.

Lehm ist für den Kellerbau oder als Fundament nicht geeignet, da dieser der Bodenfeuchte ausgesetzt wäre.¹¹³

Jedoch kann Lehm in anderen Bereichen vielfältig eingesetzt werden. Im folgenden Abschnitt werden einige Konstruktionsweisen vorgestellt.

4.6.1 Ausfachungen von Holzskelettkonstruktionen

Lehmbauteile übernehmen keine tragenden Funktionen, wenn diese als Innenwände oder als Ausfachung ausgeführt werden. Heute werden vor allem Lehmsteine für die Ausfachung von Holzständerkonstruktionen verwendet. Da diese Konstruktion jedoch einen zu hohen U-Wert aufweist, muss diese noch mit einer Dämmschicht verkleidet werden. Wird zur Ausfachung von Wänden Leichtlehm verwendet, erhöht sich die wärmedämmende Wirkung.

Holzständerwände mit Leichtlehmausfüllung

Bei dieser Konstruktionsweise übernehmen Kanthölzer die tragende Funktion, welche in einem Abstand von maximal einem Meter angeordnet werden. Waagrechte Elemente können als Stürze eingebaut werden. Das Füllskelett dient als Befestigung für eine verlorene Schalung, dessen Raster etwa 35-40 cm beträgt. Die verlorene Schalung kann zum Beispiel aus Schilfrohmatten sein. Die Leichtlehm Masse kann als feuchte Masse oder trocken in Form von Steinen eingebaut werden.¹¹⁴

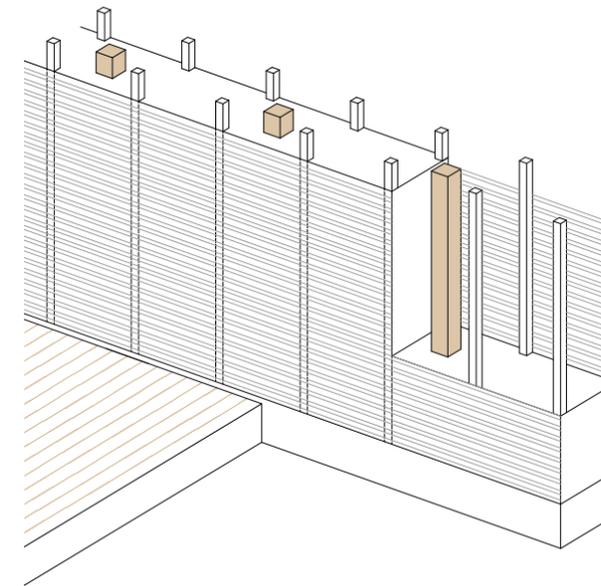


Abb. 20 Holzständerbauweise mit LL-Ausfachung, eigene Darstellung, Quelle: Schroeder H. (2019), S. 369

4.6.2 Nicht tragende Trennwände

Diese können entweder mit Lehmsteinen oder Lehmplatten ausgeführt werden. Die Lehmsteine werden wie bei normalem Ziegelmauerwerk im Verband übereinander geschichtet. Die Lehmplatten wiederum werden an einem Tragskelett befestigt. Der Zwischenraum lässt sich mit Dämmung ausfüllen.¹¹⁵

113 vgl. Schroeder H. (2019), S. 333-335
114 vgl. Schroeder H. (2019), S. 362-369

115 vgl. Schroeder H. (2019), S. 374-378

4.6.3 Decken

Holzbalkendecken können in Verbindung mit Lehm als Stakendecken, Einschubdecken oder aufgelegte Decken ausgeführt werden.

Stakendecken

Staken sind Rundhölzer mit einem Durchmesser von ungefähr 4–12 cm und werden mit Latten zu einem Tragsystem verbunden. Es wird zwischen Wickeldecken und Spalierdecken unterschieden. Für die Konstruktion einer Wickeldecke wird ein Lehm-Stroh-Gemisch um die Staken gewickelt. In den Deckenbalken, welche einen Abstand von etwa einem Meter messen, werden die Wickel in vorher eingeschlagenen Nuten eingehängt. Nach dem Trocknen kann der Zwischenraum bis zur Oberkante der Balken mit Lehmschüttungen aufgefüllt werden. Die Untersicht kann verputzt oder offen sichtbar gelassen werden.

Bei den Spalierdecken hingegen werden dünne Latten in einem Abstand von 2–6 cm in Nuten eingehängt oder direkt an den Deckenbalken befestigt. Ein langfaseriger Strohlehm wird aufgebracht und in die Zwischenräume gedrückt. Die Fasern, welche an der Unterseite der Decke hinaus schauen, werden mit Lehm verstrichen. Nach der Trocknung kann die Untersicht verputzt werden.¹¹⁶

Einschubdecken

Etwa 10 cm breite Bretter werden an den Deckenbalken in Nuten eingeschoben. Danach kann der Einschub mit der Füllmasse belegt werden. Ein Rieselschutz verhindert das Hindurchrieseln von Schüttungen.

Aufgelegte Lehmdecken

Eine Verschalung wird auf den Deckenbalken befestigt. Nach Anbringen eines Rieselschutzpapiertes können entweder feuchte oder trockene Lehmbaustoffe angebracht werden. Eine bewährte Methode ist das Verfüllen von Estrichwaben mit Lehmschüttung.¹¹⁷

116 vgl. Schroeder H. (2019), S. 378-382
117 vgl. Schroeder H. (2019), S. 382-383

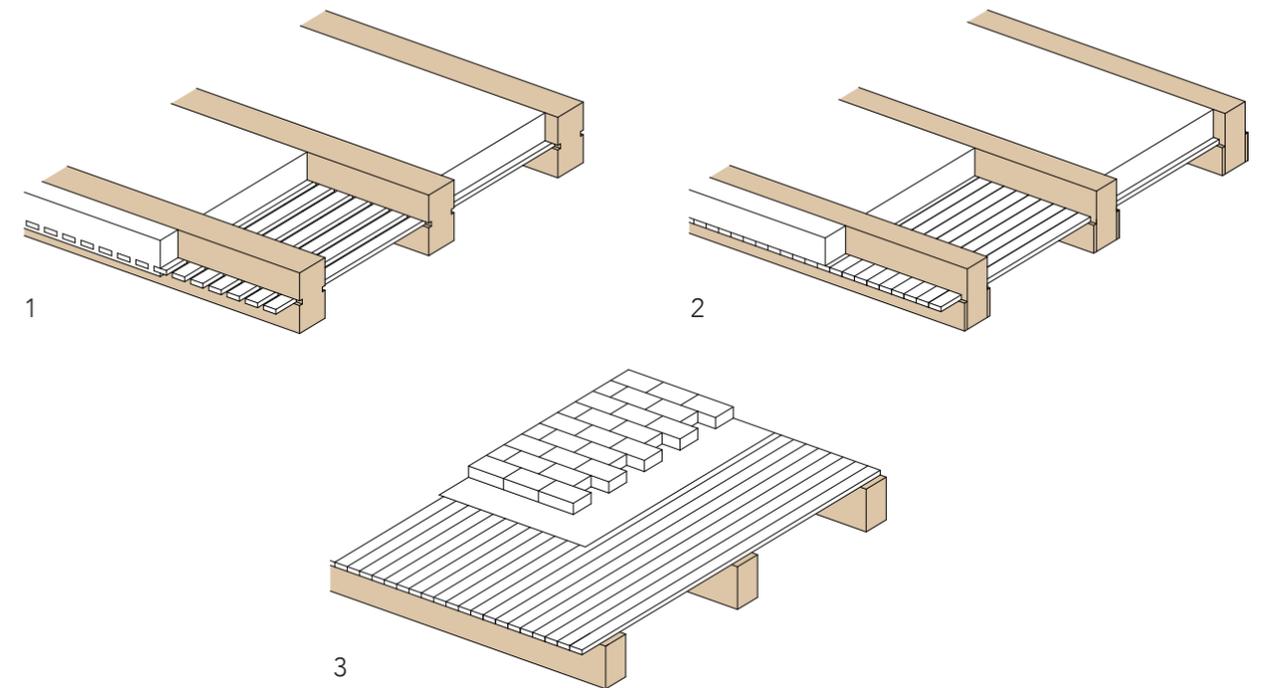


Abb. 21 Spalierdecke (1), Einschubdecke (2), Aufgelegte Decke (3), eigene Darstellung
Quelle: Schroeder H. (2019), S. 382-384

4.6.4 Putz

Der Putzgrund muss sauber, trocken, frei von Staub und eben sein. Der Putz sollte unter 5°C Bauteiltemperatur nicht aufgetragen werden. Stark saugfähige Untergründe müssen vor dem Auftragen des Putzes angehäst werden. Zu glatte Oberflächen müssen aufgeraut werden. Findet man an der Oberfläche wechselnde Materialien vor, zum Beispiel bei einer Holzskelettwand, müssen dementsprechend Putzträger angebracht werden. Ein altbewährter Putzträger ist das Schilfrohr. Dieses ist auch in Matten oder Platten erhältlich. In den Unterputz sollte ein Armierungsgewebe eingearbeitet werden. Der Putz kann einlagig oder mehrlagig aufgetragen werden. Dies kann manuell durch anwerfen, aufziehen und abreiben erfolgen. Lehmputz lässt sich aber auch mittels Putzmaschinen auftragen. Der Putz muss nach dem Anbringen vollständig austrocknen. Erst dann hat er seine volle Gebrauchsfähigkeit erreicht.¹¹⁸

118 vgl. Schroeder H. (2019), S. 394 und f.

05

Beispiele

5.1 Strohhaus, Capital [A] architects

„Sustainability is not an option - it is a must-have.“¹¹⁹



Abb. 22 Entwurf Strohhaus, Quelle: <https://www.capital-a.at/strohhaus-wien>

Das Architekturbüro Capital [A] Architects wurde 2016 unter der Leitung von DI Peter Schubert gegründet, nachdem es 14 Jahre als Büro für Projektentwicklung und Immobilienentwicklung fungiert hatte. 2017 wurde außerdem die Baugruppe FIELD 8 für radikal ökologische Bauprojekte gegründet. Die Architekten haben sich zum Ziel gesetzt, möglichst viel mit nachhaltigen Baustoffen, wie Lehm, Stroh und Holz, zu arbeiten.¹²⁰

FIELD 8 wurde vor allem deswegen gegründet, um Bauprojekte in Holz-Stroh-Lehmbauweise in urbaner Umgebung umzusetzen. Es werden alle Planungsschritte und die Kontrolle dessen übernommen. Das Strohhaus besticht durch den durchdachten Einsatz der einzelnen Materialien. Das Stroh wird als Dämmmaterial eingesetzt und liefert dabei nicht nur gute bauphysikalische Eigenschaften, sondern speichert auch viel CO₂. Das Tragsystem wird durch eine Massivholzkonstruktion gebildet. Dabei werden Chemie-, Leim-, und Metallfreie Massivholzelemente verwendet.

Die Mitglieder der Baugruppe können gemeinsam Entscheidungen treffen und sind am gesamten Prozess beteiligt. Somit können individuelle Wünsche miteinbezogen und umgesetzt werden. Die zukünftigen Bewohner haben Einblick über die Kosten und deren möglichen Veränderungen. Deswegen wird mit *lean construction* gearbeitet, weil man dadurch einen besseren und genaueren Einblick bekommt.¹²¹

Ziel des Projektes ist es, einen rundum ökologischen Wohnbau zu entwickeln, der nicht nur durch die Konstruktion der Außenwände besticht, sondern auch durch die Innenausstattung.¹²² Außerdem soll das Projekt CO₂-neutral, beziehungsweise CO₂-negativ sein. Die Herausforderung besteht vor allem darin, die Brandschutzanforderungen zu erfüllen.

Das Strohhaus soll insgesamt fünf Geschosse fassen. Im Erdgeschoss befindet sich das Büro des Architekten und in den restlichen Geschossen drei Wohneinheiten. Die Ausrichtung nach drei Seiten bietet Tageslicht für alle Wohnungen und die Wohnungspreise liegen voraussichtlich bei 5.300-5.500€/m².¹²³

Außerdem sollen ein Gemeinschaftsraum und ein Co-Working Space die Wohnnutzfläche ergänzen.¹²⁴

¹²⁰ vgl. capital [A] architects (o.J.)

¹²¹ vgl. Field 8

¹²² vgl. Zoidl F. (2017)

¹²³ vgl. Zoidl F. (2018)

¹²⁴ vgl. Field 8

¹¹⁹ capital [A] architects (o.J.)

Da der Standort in Wien Döbling jedoch noch nicht fixiert wurde, ist noch unklar, ob das Projekt in dieser Form umgesetzt wird. Ein Standortwechsel würde möglicherweise Veränderungen mit sich bringen.

Um die CO₂-Bilanz weiterhin niedrig zu halten, werden keine Parkflächen für Autos eingeplant. Lediglich für Fahrräder wird genügend Platz vorhanden sein. Dazu muss jedoch eine Ausgleichsabgabe entrichtet werden, welche trotzdem weniger Kosten als das Errichten einer Tiefgarage verursachen würde.¹²⁵

Nachfolgende Abbildungen zeigen Grundrisse des Strohhauses.

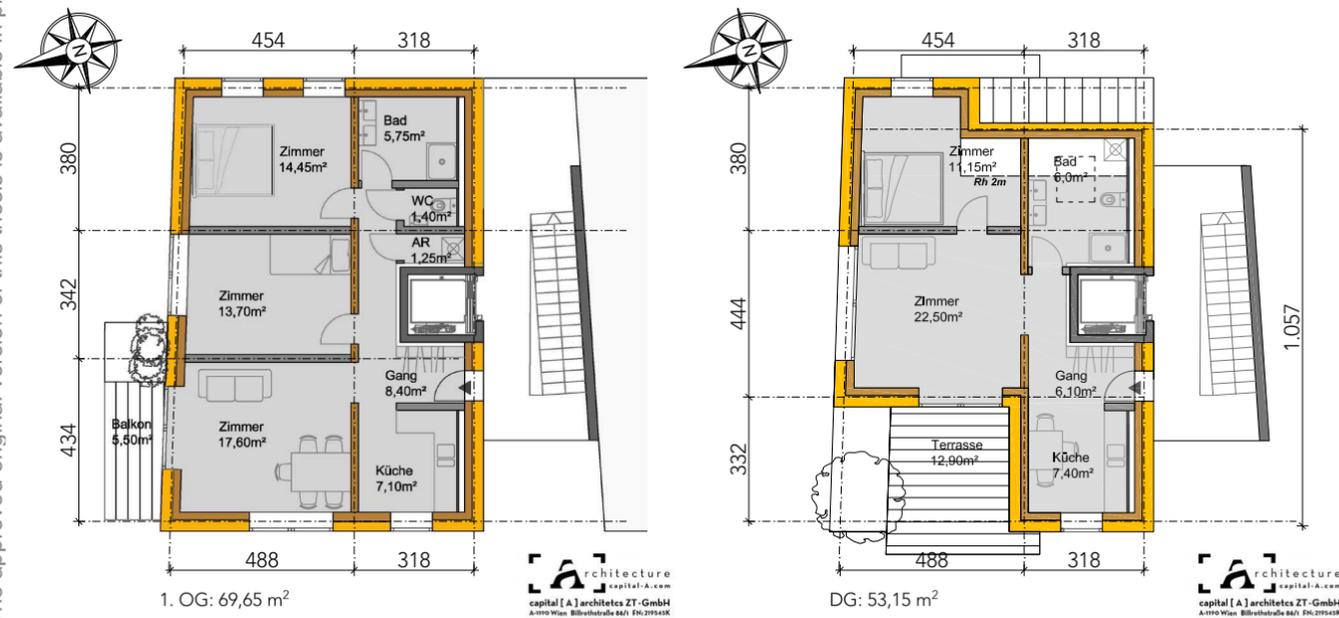


Abb. 23 Grundrisse Obergeschoss und Dachgeschoss, Quelle: <https://www.capital-a.at/strohhaus-wien>

Konstruktion

Die Konstruktion des Strohhauses besteht einerseits aus den tragenden Elementen in Massivholz und andererseits aus der Dämmung in Stroh.¹²⁶

Bei der Holzkonstruktion wird darauf geachtet, leimfreies und im weiteren Sinne auch formaldehydfreies Holz zu verwenden. Leim kann als Brandbeschleuniger fungieren und Formaldehyd gelangt in weiterer Folge in die Atmosphäre. Daher wurde zu Beginn des Entwurfes nach Firmen gesucht, welche diese Anforderungen erfüllen können. Dabei kamen folgende in Betracht: Rombach Bauholz + Abbund GmbH, Thoma Holz GmbH, EcoCocon und holzius GmbH. Im weiteren Planungsprozess entschied man sich letztendlich für holzius GmbH, denn diese verfügen über ein Zertifikat der Brandklassifizierung und der Europäischen Technischen Zulassung.¹²⁷

Wandaufbau

Der Wandaufbau zeigt eine Gesamtstärke von 51,5 cm mit einem U-Wert von 0,13 W/(m²K).

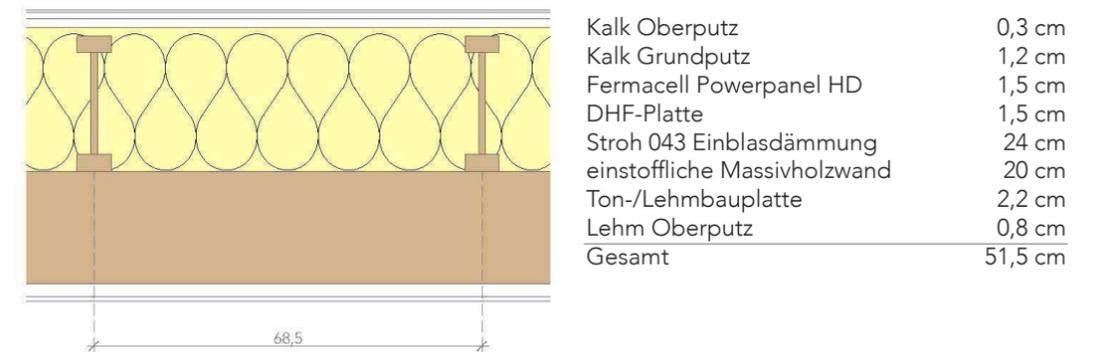


Abb. 24 Wandaufbau, eigene Darstellung, Quelle: Capital [A] architects, Stand 14.10.2019

¹²⁵ Gespräch mit DI Schubert, am 13.01.2020

¹²⁶ vgl. Wohnportal (2019)

¹²⁷ Gespräch mit DI Schubert, am 13.01.2020

Die Massivholzwand von holzius GmbH ist metallfrei, leimfrei, luftdicht, setzungsfrei, formstabil und patentiert. Wegen der stehenden Ausrichtung des Holzes kann die Wand optimal vertikal auf Druck belastet werden.

„Die patentierten Wand-, Decken- und Dachelemente bestehen aus senkrecht aneinander gereihten und miteinander verzahnten rechteckigen Massivholzbohlen, welche untereinander schichtweise mit schwalbenschwanzförmigen Massivholz-Gratleisten verbunden sind.“¹²⁸

Die Verbindung der Enden der Elemente wird mit Schrauben und Klebeband hergestellt. Um diese mit dem Fundament zu verbinden, wird eine Schwelle aus Holz angebracht, welche als Zuganker fungiert. Besonders wichtig dabei ist die Abdichtung zwischen dem Stahlbetonfundament und den Holzelementen.

Eine weitere Besonderheit ist die Verwendung von Hölzern aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung. Die Vollholzelemente sind in unterschiedlichen Stärken von 6 bis 30 cm realisierbar. Außerdem können diese in Sichtqualität bestellt werden.¹²⁹

Die Wandkonstruktion wird durch Stegräger der Firma STEICO ergänzt. Sie bestehen aus den Gurten und dem dazwischenliegenden Steg. Die Gurte werden aus Furnierschichtholz und der Steg wiederum aus einer Hartfaserplatte hergestellt. Diese dienen zum einen dazu, abgeschlossene Boxen herzustellen, um das Stroh einzublasen, andererseits übernehmen sie auch tragende Funktionen. Die Vorteile liegen vor allem darin, dass weniger Material verwendet wird und Wärmebrücken reduziert werden.¹³⁰

Gedämmt wird die Konstruktion mit Strohhäcksel. Dieses wird zwischen den Stegrägern eingeblasen. Pro Wohneinheit sollen etwa 10 Tonnen Stroh verbraucht werden.¹³¹ Die Schwierigkeit besteht darin eine Firma zu finden, welche eine dauerhafte Zulassung des Dämmstoffes vorweisen kann. Die Firmen Sonnenklee und ISO Stroh können jeweils eine Zertifizierung aufweisen und bieten sowohl den Ballen als auch Strohhäcksel an. Im Fall des Strohhauses wird mit dem Produkt ISO Stroh 043 gearbeitet.¹³²

128 Holzius (2017)
129 vgl. Holzius (2017)
130 vgl. Steico Naturbaustoffe (o.J.)
131 vgl. Zoidl F. (2018)
132 Gespräch mit DI Schubert, am 13.01.2020

Folgende Vorteile bringt der Dämmstoff Stroh als Einblasdämmung mit sich:

- + zeitsparend
- + lückenlose Verarbeitung
- + verschiedene Formen möglich
- + kein Abfall
- + keine Gebundenheit an den Maßen der Strohballen
- + witterungsunabhängig
- + einfache Vorfertigung

Die Dämmung wird letztendlich mit DHF-Platten verkleidet und mit Kalkputz verputzt.¹³³

„Stroh ist aus ökologischer Sicht das perfekte Dämmmaterial. Ganz im Gegensatz zum Wegwerfprodukt Styropor ist Stroh recyclebar, kommt aus heimischer Landwirtschaft, verursacht somit nur kurze Transportwege und bindet CO₂. Ähnliches gilt auch für das Massivholz, das wir beim Bau verwenden. Wenn wir dieses Strohhaus mit einer Mahlzeit vergleichen, dann servieren wir biologische Rohkost – ohne chemische Zusätze. Unser Ziel lautet, eine CO₂-neutrale Wohnimmobilie zu bauen.“¹³⁴

Die Konstruktion trägt zu einem besseren Wohlbefinden der Bewohner bei. Die Luftfeuchtigkeit wird besser geregelt.

Auf die Frage hin, warum man sich für Stroh entschieden hatte, antwortete DI Peter Schubert mit der Begründung, dass letztendlich der PEI Gehalt des Baustoffes ausschlaggebend war.

Da das Gebäude direkt an das Nachbargebäude anschließen soll, wird die Feuermauer aus Stahlbeton gefertigt. Daran grenzt das offene Stiegenhaus, welches eigenständig auf Stützen steht. Auch der Liftschacht besteht wegen brandschutztechnischen Gründen aus Stahlbeton. Eine weitere Möglichkeit wäre jedoch die Massivholzelemente mit nicht brennbaren Materialien zu verkleiden.¹³⁵

133 Gespräch mit DI Schubert, am 13.01.2020
134 vgl. Wohnportal (2019)
135 Gespräch mit DI Schubert, am 13.01.2020

Terrassenkonstruktion

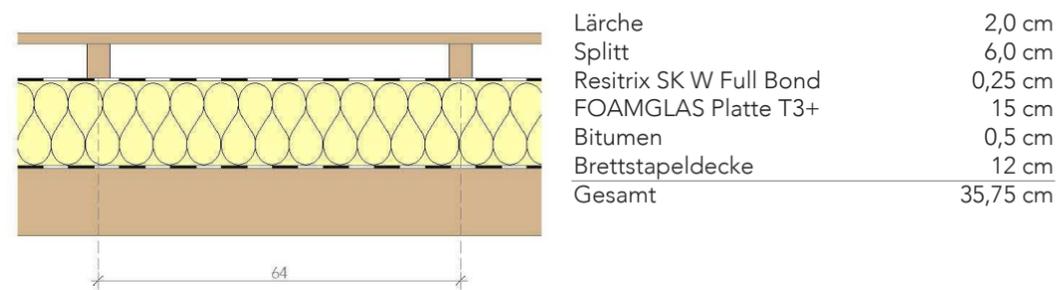


Abb. 25 Terrassenaufbau, eigene Darstellung, Quelle: Capital [A] architects, Stand 14.10.2019

Dachkonstruktion

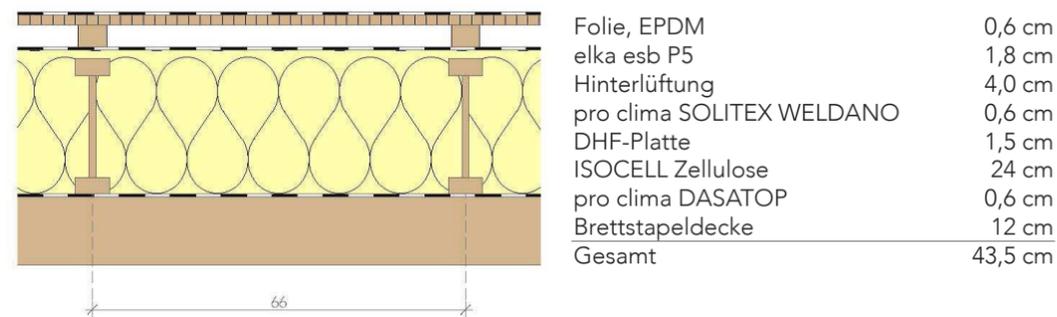


Abb. 26 Dachaufbau, eigene Darstellung, Quelle: Capital [A] architects, Stand 14.10.2019

Im Gegensatz zum Wandaufbau wird beim Dachaufbau Zellulose eingeblasen, um die Anforderungen an den Brandschutz erfüllen zu können. Aber auch die Herstellung von Papier ist aufwendig. Daher wäre hier auch der Einsatz von Stroh als Dämmmaterial anzudenken.

Energiesystem

Das Energiesystem wird vor allem durch ein Eisspeichersystem von Viessmann gebildet.¹³⁶ Die Eisspeicherheizung besteht aus einer Zisterne, welche zur Gänze eingegraben werden muss. Darin befinden sich Spiralen, die sich in Entzugswärmetauscher und Regenerationswärmetauscher aufteilen. Die Zisterne wird mit Wasser gefüllt. Der Wärmetauscher entzieht dem Wasser die Energie und leitet diese an die Wärmepumpe weiter. Somit verliert das Wasser immer mehr an Temperatur und gefriert letztendlich. Mittels dem Regenerationswärmetauscher wird der Zisterne wieder Wärme, die zum Beispiel durch den Solar-Luftabsorber gewonnen wird, zugesetzt und das Eis kann langsam auftauen. Ist das Wasser wieder vollkommen flüssig, wiederholt sich der Prozess wieder.

Wegen der sich immer wiederholenden Prozesse wird ständig Energie erzeugt.

„Denn beim Wechsel des Aggregatzustands (Phasenwechsel) wird die dieselbe Energiemenge freigesetzt, die benötigt wird, um einen Liter Wasser von 0 auf 80 Grad Celsius zu erwärmen. In der Praxis bedeutet das, dass ein Eisspeicher mit einem Volumen von zehn Kubikmetern die gleiche Energiemenge liefert, wie die Verbrennung von 110 Litern Heizöl.“¹³⁷

136 Gespräch mit DI Schubert, am 13.01.2020
 137 Viessmann (o.J.)

5.2 Haus des Lernens, MAGK Architekten

Das Haus des Lernens wurde in St. Pölten, in Niederösterreich, errichtet und 2018 eröffnet. Es umfasst insgesamt 3 Geschosse und bietet Platz für Büro-, Beratungs-, Seminar- und Sozialräume. Das neue Gebäude schließt an ein bereits bestehendes an.¹³⁸



Abb. 27 Fotografie Haus des Lernens, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>

Folgende Abbildung zeigt den Grundriss des Erdgeschosses.

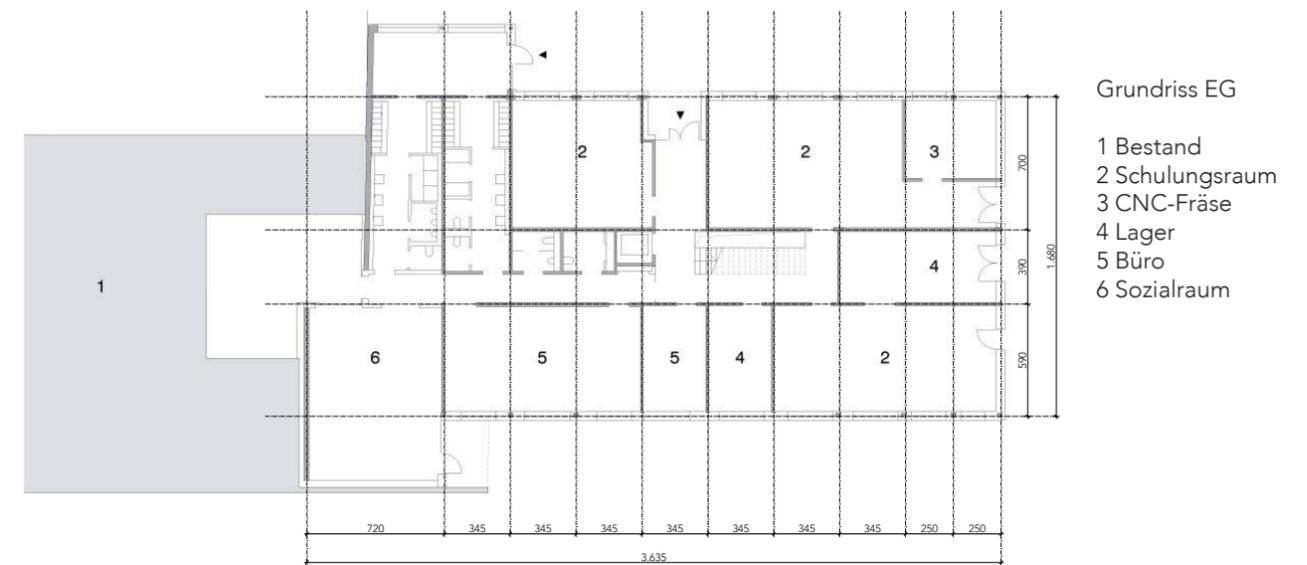


Abb. 28 Grundriss Erdgeschoss, <http://www.magk.at/hdl>

Das Projekt wurde von der gemeinnützigen Sanierungs- und Beschäftigungs-GmbH (Gesa) in Auftrag gegeben. Der Betrieb bietet arbeitssuchenden Menschen einen Platz und erleichtert ihnen somit den Wiedereintritt in die Arbeitswelt. Es werden verschiedene Dienstleistungen wie Wohnraumsanierung, Gartenpflege, Holzarbeiten oder aber auch das Aufbereiten von gebrauchten EDV-Geräten angeboten. Somit können Arbeitssuchende ihre jeweiligen Stärken in den verschiedenen Themenfeldern ausüben.

Das Gebäude soll daher auch den Menschen in der Region Platz für Weiterbildung und Beschäftigung bieten. Beim Bau wurden arbeitslose Personen beschäftigt und regionale Firmen beauftragt. Somit können die auf der Baustelle erlernten Fähigkeiten zum Beispiel wieder im Bereich der Wohnraumsanierung umgesetzt werden.¹³⁹

Das Haus des Lernens besticht durch das durchdachte Nachhaltigkeitskonzept und den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen. Die Konstruktion wird durch Holzständerwände und einer Skelettkonstruktion in der Querachse gebildet. Der steife Kern im Inneren des Gebäudes trägt maßgeblich zur Aussteifung des Gebäudes bei und wurde mit Brettsperrholzelementen konstruiert. Die Holzelemente binden rund 450 Tonnen an CO₂. Auch der Liftschacht wurde mit Vollholzelementen konstruiert.¹⁴⁰

¹³⁹ vgl. GESA (o.J.)

¹⁴⁰ vgl. MAGK Architekten (o.J.)

¹³⁸ vgl. MAGK Architekten (o.J.)



Abb. 29 Fotografie Liftschacht, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>



Abb. 30 Fotografie Baustelle, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>

Als Dämmung wurden Kleinballen mit einer Größe von 36 cm mal 45 cm per Hand in die Ständerkonstruktion eingearbeitet. Aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Faser, wurden die Ballen stehend verbaut. In der Dachkonstruktion wurde teilweise mit Strohhäckseln gearbeitet, da diese in schlecht erreichbare Zonen eingeblasen werden konnten.

Die Fassade wurde in den unteren beiden Geschossen mit diffusionsoffenem Putz versehen. Der Putzträger wird durch Holzweichfaserplatten gebildet. Im zurückversetzten Dachgeschoss wurden die Außenwände mit Lärchenholz verkleidet.¹⁴¹

Die Gebäudetechnik wird durch eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe und einer kontrollierten Lüftung gebildet. Die Heizrohre befinden sich in den mit Lehm verputzten Wänden.¹⁴²

Das Gebäude erfüllt mit einem Heizwärmebedarf von 11,50 kWh/m²a Passivhausstandard und weist einen OI3 Index von 133 auf. Das Projekt erhielt insgesamt 1000 von 1000 Punkten und trägt somit zu Recht den Goldstatus des klima:aktiv Programmes.¹⁴³

Ein weiterer beeindruckender Aspekt ist, dass die eingeplanten Kosten nicht überschritten wurden. Durch ein Darlehen, Crowdfunding, Eigenleistungen und diversen Förderungen konnten die Baukosten von 2.360.000 € abgedeckt werden.¹⁴⁴

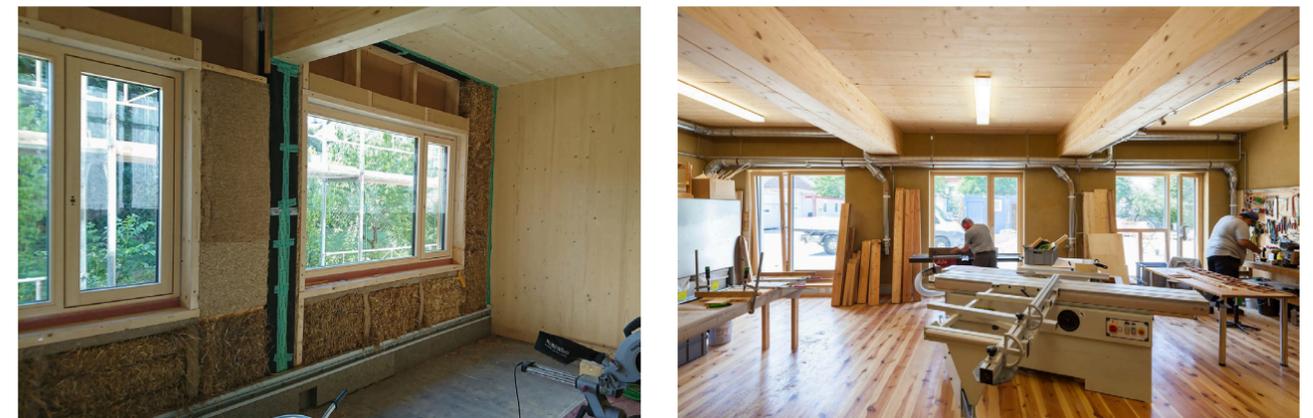


Abb. 31 Fotografien Innenraum, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>

141 vgl. Holzbau Austria (2019)

142 vgl. MAGK Architekten (o.J.)

143 vgl. Klimaaktiv Gebäudedatenbank (2019)

144 vgl. GESA (2018)

06

Entwurf

6.1 Ziele

Das Ziel dieser Arbeit ist es, das gesammelte Wissen der letzten Kapitel in einem Entwurf zu vereinen und somit einen durchdachten und nachhaltigen Wohnbau auszuarbeiten.

Der neu entstandene Wohnbau bietet Platz für 92 Wohneinheiten, welche für alle Altersgruppen zugänglich sind. Die Bewohner erfreuen sich über ein einzigartiges Raumgefühl, welches durch den Einsatz der Materialien Holz, Stroh und Lehm begünstigt wird.

Durch die gute Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz kann das Gelände optimal erschlossen werden. Die Infrastruktur in der näheren Umgebung trägt zusätzlich zu einer hochwertigen Lebensqualität bei.

Der Wohnbau besticht nicht nur durch dessen Ökologie und Nachhaltigkeit, sondern auch durch das dahinterstehende soziale Konzept.

Den Bewohnern werden private und öffentliche Bereiche geboten. Grundsätzlich besitzt jeder seine eigene Wohnung mit privatem Außenbereich. Diese sind über Laubengänge erschlossen, welche wiederum als Treffpunkte dienen und zum Verweilen mit den Nachbarn einladen. Diverse Gemeinschaftsräume, eine Werkstatt, ein Bewegungsraum sowie eine großzügige Dachterrasse bieten weiteren Platz für gemeinsame Tätigkeiten.

Ergänzt wird das Raumprogramm durch einen Kindergarten und einen Garconnierenverbund. Der Kindergarten ist auch für die umliegende Nachbarschaft geöffnet und wurde deswegen straßenseitig angeordnet. Der Freiraum mit dem angrenzenden Spielplatz hingegen öffnet sich in Richtung Westen. Die Anordnung der Baukörper verhindert eine zusätzliche Lärmbelästigung.

Der Garconnierenverbund bietet Platz für Menschen mit Behinderung. Diese haben die Möglichkeit eine kleine Wohnung zu beziehen, welche ihnen Privatsphäre bietet. Falls notwendig, können die Bewohner durch externes Personal optimal betreut werden.

6.2 Rahmenbedingungen

Der Bauträgerwettbewerb wurde im Juni 2019 von wohnfonds_wien als einstufiges und öffentliches Verfahren ausgelobt.

Im Hinblick auf die Ausführung des Gebäudes ist der Schwerpunkt auf einen reinen Holzbau zu legen. Dies bedeutet, dass die tragenden Bauteile der oberirdischen Geschoße eine hölzerne Tragstruktur aufweisen sollen. Hinsichtlich der Baustoffwahl, der Verkleidungen und der Fassadenausführung werden keine Präferenzen getroffen.

Für den folgenden Entwurf werden die eben genannten Anforderungen übernommen. Jedoch werden diese noch durch weitere Parameter, nämlich den Einsatz der Baustoffe Lehm und Stroh, erweitert.

Die OIB-Richtlinie 2 „Brandschutz“ lässt grundsätzlich bis zur Gebäudeklasse 4 (GK 4), mit Ausnahme von brandabschnittsbildenden Bauteilen an der Grundstücksgrenze beziehungsweise unterirdischen Bauteilen, die Verwendung von Holzelementen zu. Gebäude der GK 4 werden in den Richtlinien als Gebäude mit nicht mehr als vier oberirdischen Geschoßen und mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 11 m, bestehend aus mehreren Wohnungen oder mehreren Betriebseinheiten von jeweils nicht mehr als 400 m² Nutzfläche, definiert. Die Anforderungen an den Feuerwiderstand variieren zwischen 30 und 90 Minuten.

Der Entwurf soll auf dem Wiener 4 Säulenmodell – Ökonomie, Soziale Nachhaltigkeit, Architektur und Ökologie – basieren. Zusätzlich soll die Hälfte der zu konzipierenden Wohnungen als Smartwohnungen gemäß dem Smart-Wohnbauprogramm ausgeführt werden. Ein Augenmerk wird hier vor allem auf alleinerziehende Väter oder Mütter gelegt. Deswegen sollen private Bereiche beziehungsweise eigene Wohnungen den Gemeinschaftszonen gegenüberstehen, damit ein gegenseitiges Unterstützen gegeben ist und die Kommunikation gefördert wird. Der Fokus liegt dabei auf dem Pflegen von nachbarschaftlichen Kontakten und dem sozialen Netzwerk. Im Sinne des leistbaren Wohnens können auch temporäre Wohnvorschläge für die Gemeinschaftsflächen angedacht werden. Zusätzlich soll ein Freiraumkonzept alles abrunden.¹⁴⁵

145 vgl. Wohn_fonds (2019): Ausschreibungstext Wettbewerb

6.3 Die Dimensionen des nachhaltigen Bauens

Die Grundsätze des nachhaltigen Bauens beruhen auf den Bereichen Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles. Ergänzend werden auch technische Eigenschaften wie Brandschutz, Standsicherheit, Wärmeschutz und die Planung und Ausführung herangezogen. All diese Aspekte sollen immer gemeinsam und voneinander abhängig für die gesamte Nutzungsdauer eines Gebäudes betrachtet werden.¹⁴⁶

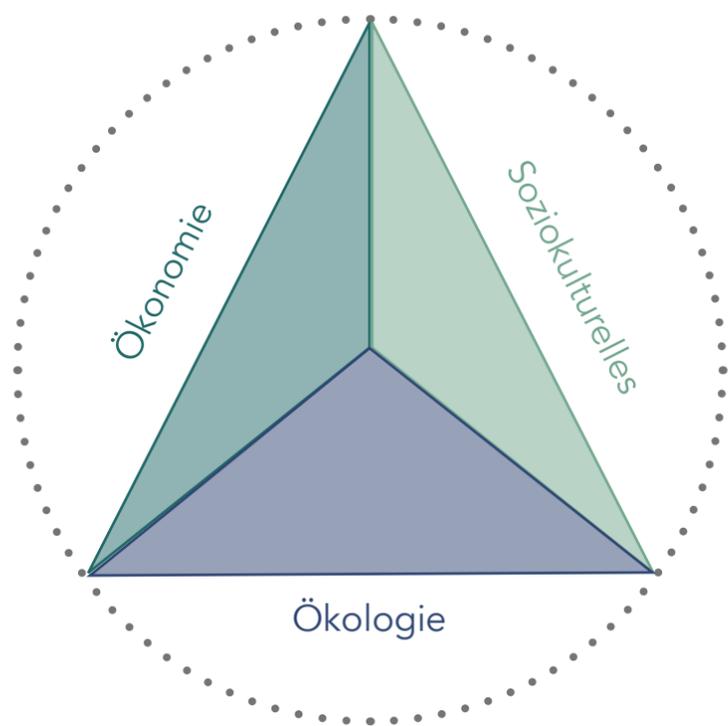


Abb. 32 Dimensionen des nachhaltigen Bauens, eigene Darstellung
Quelle: <http://holzhauskonfigurator.at/nachhaltiges-bauen-mit-holz/prinzipien-des-nachhaltigen-bauens.html>

Ökologische Dimension

Ziel ist es, die natürlichen Ressourcen und das Ökosystem zu schützen. Dies lässt sich vor allem durch einen minimierten Flächenverbrauch und Energieeinsatz, durch den Einsatz erneuerbarer Energiequellen, durch die Minimierung des Frischwasserverbrauchs, durch das Nutzen von Regenwasser und durch den Einsatz wiederverwertbarer und -verwendbarer Baustoffe erreichen. Damit das Ökosystem zukünftig besser geschützt werden kann, ist es wichtig, Wirkungspotentiale wie das Treibhauspotential, das Ozonabbaschichtpotential, das Ozonbildungspotential, das Versauerungspotential und das Überdüngungspotential einzudämmen. Diese führen nämlich massiv zur Erderwärmung, zum Abbau der Ozonschicht und zur Versauerung der Böden.

Ökonomische Dimension

Die ökonomischen Ziele sind die Optimierung der Lebenszykluskosten, die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und die Erhaltung des Kapital- und Gebäudewertes. Zu den Lebenszykluskosten zählen die Herstellungskosten, die Baunutzungskosten und die Abrisskosten. Schon am Beginn können Kosten von möglichen zukünftig auftretenden Schäden durch eine genaue Planung minimiert werden. Dies kostet zwar erheblich mehr Zeit, verhindert aber das Auftreten von nicht eingeplanten Leistungen.

Der Lebenszyklus eines Gebäudes setzt sich aus der Planung und Rohstoffgewinnung, der Herstellung und Errichtung, der Nutzung und Instandhaltung sowie dem Rückbau, der Verwertung und Entsorgung zusammen.

Alle Schritte sollen anhand der integralen Planung in den Bereichen Energie- und Ressourcenverbrauch, Umweltbelastung und Gesamtwirtschaftlichkeit optimiert werden. Ein nachhaltiges Gebäude zeichnet sich oft durch eine vielfältige Nutzung aus. Mehrere Entwürfe mit mehreren Nutzungsszenarien machen dadurch vor allem am Beginn der Planung Sinn, damit eine weitere Nutzung oder Umnutzung stattfinden kann.¹⁴⁷

Soziokulturelle Dimension

Die dritte Dimension beinhaltet die Ziele Funktionsqualität, Gestaltungsqualität und die Sicherstellung von Behaglichkeit, Gesundheit und Sicherheit. Diese sozialen Aspekte werden meist subjektiv wahrgenommen und müssen daher an den einzelnen Menschen angepasst werden.

146 vgl. Holzbauteam Tirol (o.J.)

147 vgl. Holzbauteam Tirol (o.J.)

Daher muss der Entwurf am Beginn der Planungsphase immer nach den Nutzungsanforderungen gerichtet werden, damit die Funktionalität gewährleistet wird und auch im Laufe des Betriebes gegeben ist. Aber auch die Einbettung in das städtebauliche Gefüge sollte gut durchdacht werden, damit eine nachhaltige Nutzung oder Umnutzung möglich ist. Die richtige Baustoffwahl führt zu einem besseren Wohlbefinden und einem angenehmeren Raumklima.¹⁴⁸

Die nachfolgende Grafik fasst die wichtigsten und entwurfsrelevanten Begriffe der drei Bereiche – Ökonomie, Ökologie und Soziokulturelles – zusammen und zeigt deren Zusammenhänge. Diese wurden sogleich als weitere Ziele des Entwurfs definiert.

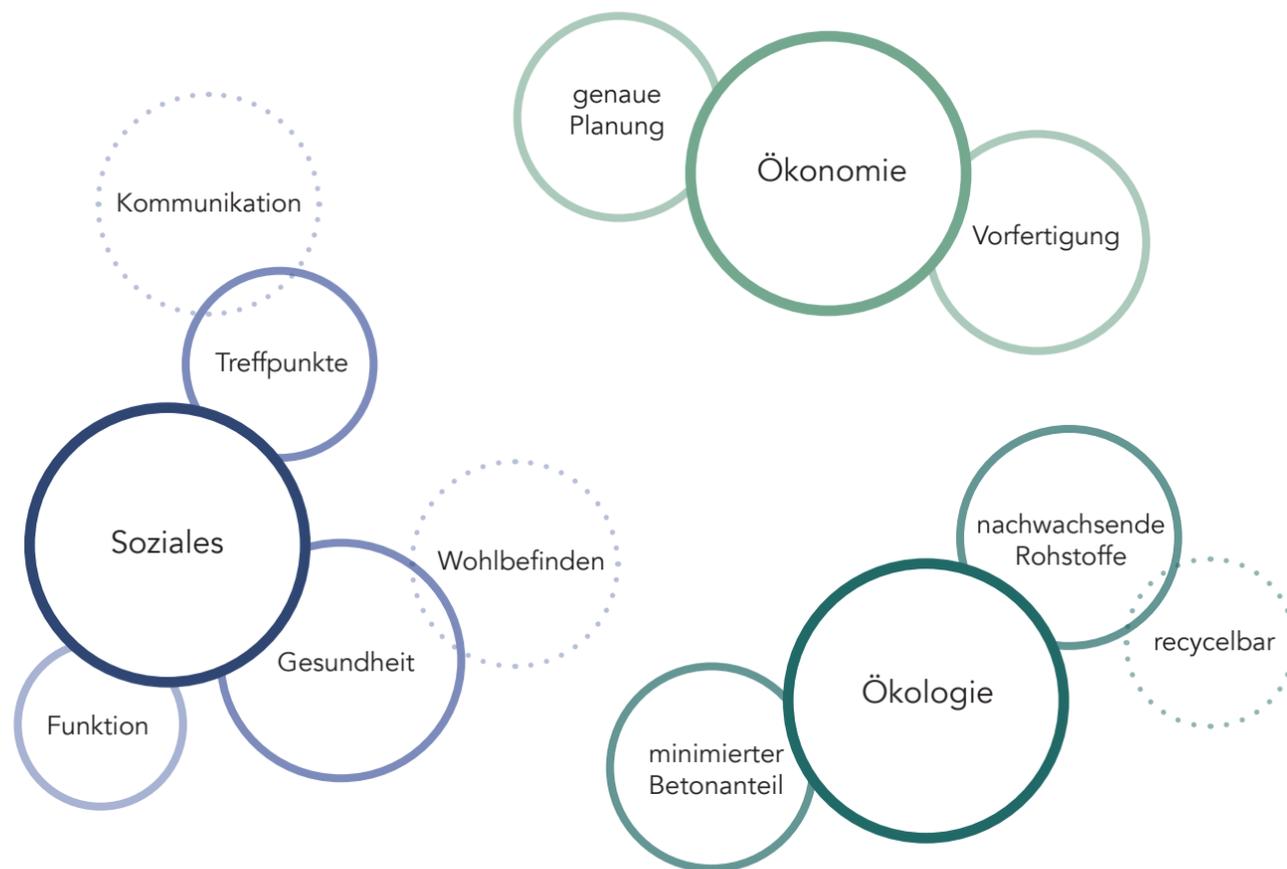


Abb. 33 Ziele der Dimensionen des nachhaltigen Bauens, eigene Darstellung

148 vgl. Holzbauteam Tirol (o.J.)

6.3.1 Wiener 4 Säulen Modell

Das Wiener 4 Säulen Modell wurde von wohnfonds_wien entwickelt, um Bauträgerwettbewerbe für öffentlich geförderte Wohnbauten bestmöglich bewerten zu können.

„Der wohnfonds_wien ist eine gemeinnützig tätige Organisation und fungiert als dienstleistungsorientierte Koordinationsstelle – unter anderem zwischen Bauträgern, Hauseigentümern und ihren Vertretern, Magistratsabteilungen, hier vor allem der Förderstelle, und Serviceeinrichtungen der Stadt Wien.“¹⁴⁹

Das Modell basiert ähnlich wie die eben genannten Dimensionen auf den Bereichen Ökologie, Ökonomie, Soziale Nachhaltigkeit und Architektur. In jedem der Themenblöcke werden Kriterien genannt, die nicht zwingend erfüllt werden müssen, aber für ein stimmiges Konzept herangezogen werden können. Wichtig dabei ist die Ausgewogenheit zwischen den Säulen.¹⁵⁰

In allen Kategorien kann eine maximale Punkteanzahl von je 11 Punkten erzielt werden. Eine Gesamtanzahl von 44 Punkten pro Projekt ist zu erreichen. Folgende Tabelle zeigt die Einordnung der Punkte und der dazugehörigen Qualitäten des Projektes.¹⁵¹

37 - 44	Klasse A	Projekt hat besondere Qualität
28 - 36	Klasse B	Projekt erhält Förderungsempfehlung
23 - 27	Klasse C	Projekt erhält Förderungsempfehlung mit Auflagen
12 - 22	Klasse D	Projekt muss in die Wiedervorlage
0 - 11	Klasse E	Neukonzeption ist erforderlich

Tab. 4 Punktesystem Wiener 4 Säulen Modell, eigene Darstellung, Quelle: Wohn_fonds wien (o.J.): Wiener 4 Säulen Modell

149 Groschopf D., Trojan M. (o.J.)

150 vgl. Groschopf D., Trojan M. (o.J.)

151 vgl. Wohn_fonds (o.J.): Wiener 4 Säulen Modell

Ökologie

Die Ziele und Aspekte zum Thema Ökologie wurden bereits im vorhergehenden Kapitel dargelegt. Weitere Kriterien sind rückbaufreundliche Bauweisen und der Einsatz von Materialien mit geringem Anteil an Grauer Energie, gute Belichtung, der Schutz vor sommerlicher Überwärmung, eine barrierefreie Erschließung, Lärmschutz, Sichtschutz, Innenhöfe und deren Bepflanzung oder aber auch das Schaffen von Sport- und Freizeitangeboten.

Ökonomie

Geförderter Wohnbau bedeutet in erster Linie leistbares Wohnen. Hier fließen die Faktoren Grundstückskosten, Gesamtbaukosten, Nutzerkosten und die Kosten für Bauausstattung mit ein. Durch eine genaue Planung und Optimierungen sollen vor allem Folgekosten verhindert werden.

Soziale Nachhaltigkeit

Ziel ist es, verschiedene Nutzungskonzepte für mehrere Nutzergruppen zu entwickeln, welche sich durch geringfügige Maßnahmen leicht abändern lassen. Gemeinschaftsflächen wirken verbindend und bieten Raum für Kommunikation. Es sollen Räume geschaffen werden, die sowohl Platz für Stauraum bieten, als auch als Arbeitsplatz oder Wohnraum fungieren.

Architektur

In der Kategorie Architektur spielt vor allem die Einbettung des Gebäudes in das städtebauliche Gefüge eine große Rolle. Wie lässt sich das Grundstück erschließen und gibt es vielleicht Anreize die Anlage zu durchqueren? Auch die Einbindung des Erdgeschosses und die Beziehung zum städtischen Raum ist wichtig. Es sollen verschiedene Grundrisse geboten werden, deren Räume optimal ausgerichtet sind.¹⁵²

Folgende Grafik zeigt zusammenfassend die wichtigsten und entwurfsrelevanten Begriffe, welche ebenfalls für den Entwurf herangezogen werden.

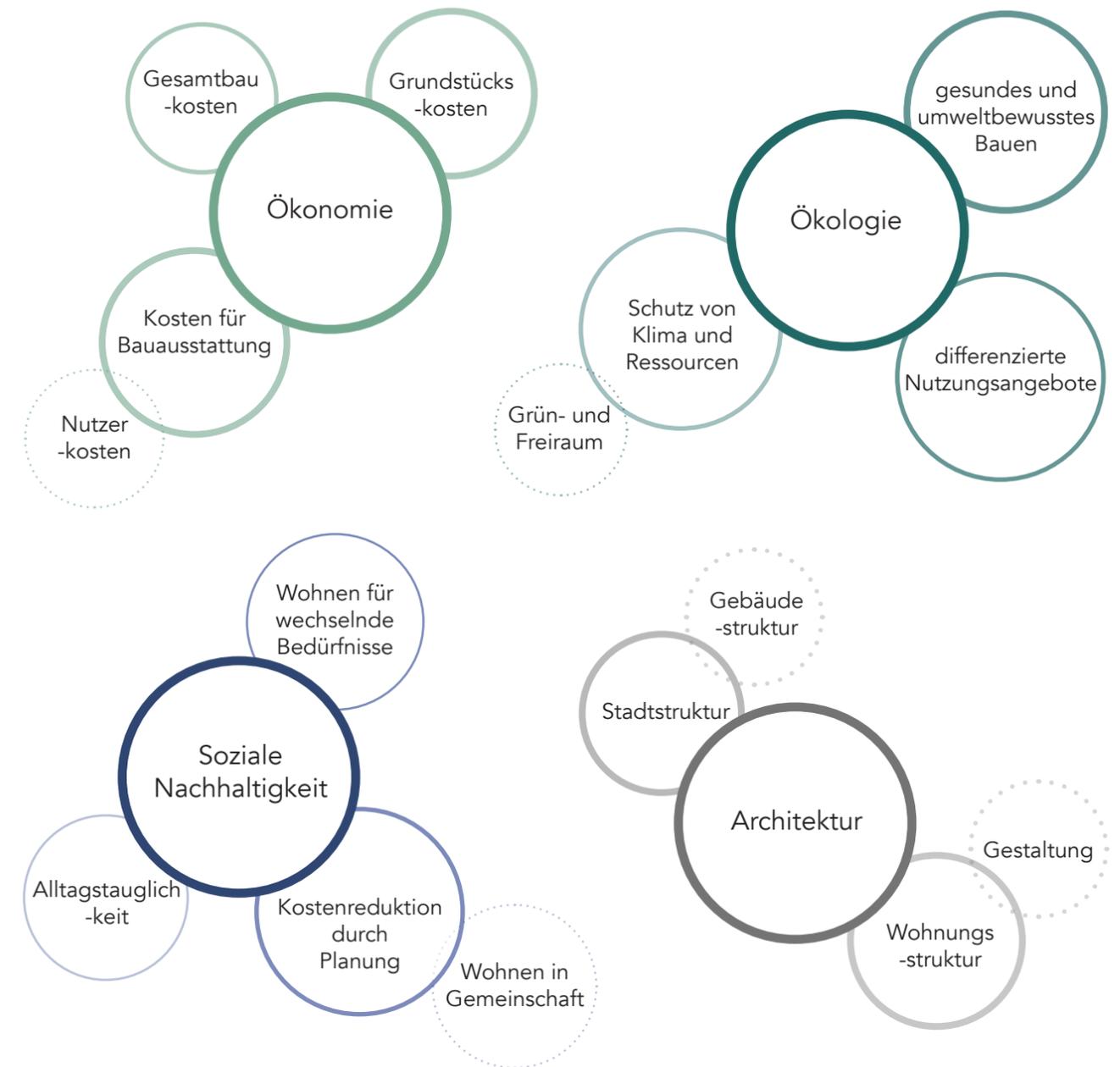


Abb. 34 Ziele des Wiener 4 Säulen Modells, eigene Darstellung

152 vgl. Wohn_fonds (2019): Beurteilungsblatt 4 Säulen Modell

6.3.2 SMART Wohnbauprogramm

SMART Wohnungen sollen vor allem jungen Paaren, alleinerziehenden Müttern oder Vätern und Singles leistbares Wohnen ermöglichen.¹⁵³ Dazu wurde unter anderem ein Wohnungsschlüssel entwickelt, welcher zeigt, dass die Wohnungen grundsätzlich etwas kleiner ausfallen. Das soll jedoch durch durchdachte und effiziente Grundrisslösungen keine Defizite mit sich bringen.

Typ A	1 Zimmer	max. 40 m ²
Typ B	2 Zimmer	max. 55 m ²
Typ C	3 Zimmer	max. 70 m ²
Typ D	4 Zimmer	max. 85 m ²
Typ E	5 Zimmer	max. 100 m ²

Tab. 5 maximaler Flächenverbrauch der jeweiligen Wohnungstypen, eigene Darstellung
Quelle: Wohn_fonds wien (o.J.): SMART-Wohnbauprogramm

Die Hälfte aller auszuführenden Wohnungen eines Bauträgerwettbewerbes sollen als SMART Wohnungen ausgeführt werden. Eine gute Durchmischung der Wohnungen erscheint als sinnvoll, die durchschnittliche Wohnnutzfläche sollte bei etwa 65 m² liegen.

Die Wohnungen sollen mehrere Nutzergruppen ansprechen und können auch bei betreuten oder gemeinschaftlichen Wohnmodellen vorgesehen werden. Durch die kleineren Wohnungsgrundrisse müssen die Möglichkeiten von Abstellflächen und gemeinschaftlichen Raumangeboten neu angedacht werden. Das monatliche Entgelt darf 7,50 € pro m² inklusive der Betriebskosten nicht überschreiten.¹⁵⁴

¹⁵³ vgl. Wohn_fonds (o.J.): SMART-Wohnbauprogramm
¹⁵⁴ vgl. Wohn_fonds (2019): SMART-Wohnbauprogramm

6.4 Bauplatzanalyse

Die Liegenschaft befindet sich in der Waldrebgasse 3, im Bezirk Donaustadt. Auf den beiden benachbarten Grundstücken befinden sich jeweils Wohnbauten. Der Platz öffnet sich in Richtung der Feuerwache Stadlau und einem Sportplatz und ist in Richtung Westen frei von jeglicher angrenzender Bebauung.

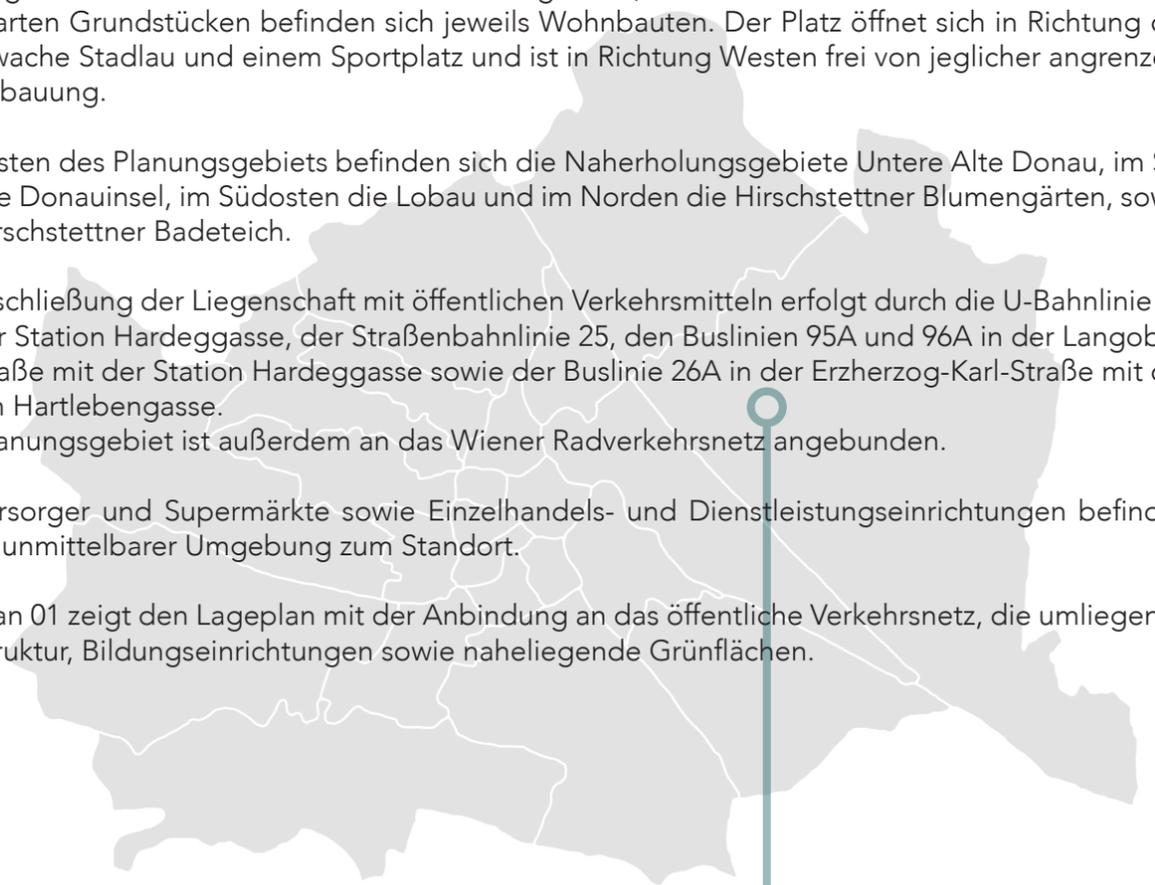
Im Westen des Planungsgebiets befinden sich die Naherholungsgebiete Untere Alte Donau, im Süden die Donauinsel, im Südosten die Lobau und im Norden die Hirschstettner Blumengärten, sowie der Hirschstettner Badeteich.

Die Erschließung der Liegenschaft mit öffentlichen Verkehrsmitteln erfolgt durch die U-Bahnlinie U2 mit der Station Hardeggasse, der Straßenbahnlinie 25, den Buslinien 95A und 96A in der Langobardenstraße mit der Station Hardeggasse sowie der Buslinie 26A in der Erzherzog-Karl-Straße mit der Station Hartlebengasse. Das Planungsgebiet ist außerdem an das Wiener Radverkehrsnetz angebunden.

Nahversorger und Supermärkte sowie Einzelhandels- und Dienstleistungseinrichtungen befinden sich in unmittelbarer Umgebung zum Standort.

Der Plan 01 zeigt den Lageplan mit der Anbindung an das öffentliche Verkehrsnetz, die umliegende Infrastruktur, Bildungseinrichtungen sowie naheliegende Grünflächen.

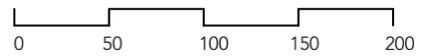
Abb. 35 Standort, Wienkarte, eigene Darstellung
Quelle: <https://www.wienfuehrungen.at/home/wien-umriss/>



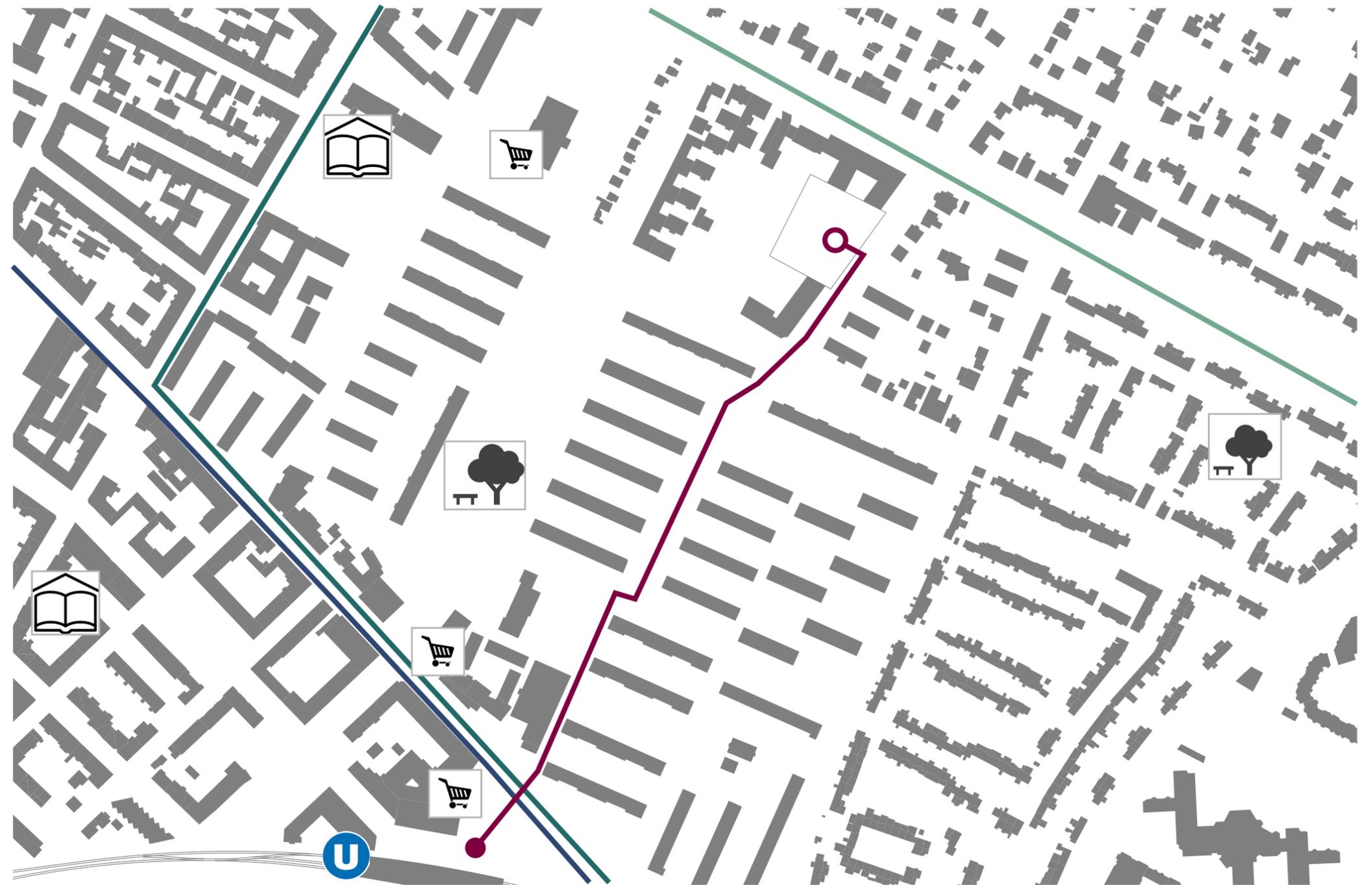
Standort
Waldrebgasse 3
1220 Wien

6.4.1 städtebauliche Analyse

-  Bildungsstätte
 -  Nahversorger
 -  Spielplatz, Park
-
-  Straßenbahnlinie 25
Station Hardeggasse
 -  Buslinie 95A | 96A
Station Hardeggasse
 -  Fußweg 8 min zu
U-Bahn Station Hardeggasse
 -  Buslinie 26A
Station Hartlebengasse



Plan 01 Lageplan



6.4.2 Flächenwidmungsplan

Die Flächenwidmung weist ein gemischtes Baugebiet mit der Bauklasse II auf. Die maximale Gebäudehöhe von 12 m darf daher nicht überschritten werden. Das neue Gebäude ist in geschlossener Bauweise auszuführen. Diese darf jedoch unterbrochen werden. Unbebaute Flächen sind gärtnerisch auszugestalten.



Plan 02 Flächenwidmungsplan

6.4.3 Fotos



Abb. 36 Fotos Umgebung, Quelle: eigene Aufnahmen



Die Wettbewerbsanforderungen beinhalten ein genaues Raumprogramm, welches das zu errichtende Gebäude erfüllen muss. Abbildung 37 zeigt die übergeordneten Bereiche. Nachfolgend werden diese noch einmal mit den einzelnen Raumanforderungen aufgelistet.

SMART WOHNEN

1. kleine und kompakte Wohnungen
2. Abstellraumflächen
3. Gemeinschaftsräume
4. private Freiräume

WOHNEN

1. leistbares Wohnen
2. Begegnungszonen schaffen
3. verschiedene Wohnangebote schaffen

KINDERGARTEN

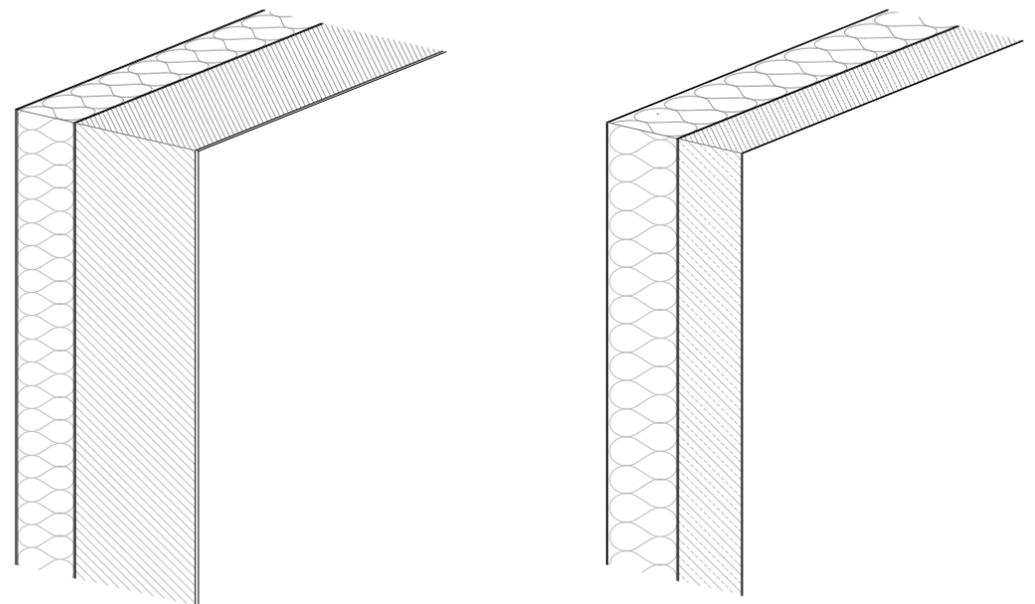
1. 3 Gruppenräume
2. Bewegungsraum
3. Sanitärflächen
4. Garderoben
5. Personalräume
6. Lagerraum
7. Spielplatz

GARCONNIERENVERBUND

1. 15 Wohneinheiten
2. ein Betreuungsstützpunkt
3. Gemeinschaftsraum
4. Werkstatt
5. Ruheraum, Bibliothek
6. Zugang zu Freiraum

ALLGEMEINFLÄCHEN

Abb. 37 Raumprogramm, eigene Darstellung



Ziegelmauerwerk

PENRT	1018 MJ/m ²
GWP	70,3 kg CO ₂ /m ²
AP	0,210 kg SO ₂ /m ²
U-Wert	0,134 W/m ² K

Aufbau	
Putz	1 cm
extrudiertes Polystyrol	18 cm
Kleber	0,5 cm
Stahlbeton	38 cm
Putz	0,5 cm
Gesamt	58 cm



Stahlbetonwand

PENRT	1027 MJ/m ²
GWP	83,3 kg CO ₂ /m ²
AP	0,230 kg SO ₂ /m ²
U-Wert	0,136 W/m ² K

Aufbau	
Putz	0,5 cm
extrudiertes Polystyrol	22 cm
Kleber	0,5 cm
Stahlbeton	20 cm
Putz	0,5 cm
Gesamt	43,5 cm

Abb. 39 Aufbauten Ziegelmauerwerk und Stahlbetonwand, eigene Darstellung,
Quelle: <https://www.baubook.info/BTR/>

Holzständerbauweise

PENRT	370 MJ/m ²
GWP	-110 kg CO ₂ /m ²
AP	0,122 kg SO ₂ /m ²
U-Wert	0,130 W/m ² K

Aufbau	
Fassadenverkleidung	2,4 cm
Luftschicht, Lattung	3 cm
Windpapier	
OSB Platte	1,5 cm
Einblasdämmung Stroh	34 cm
dazw. Holzständer	
OSB Platte	1,5 cm
Dampfbremse	
istraw Platte	3,8 cm
Lehmputz	0,5 cm
Gesamt	46,7 cm

Holzmassivbauweise

PENRT	952 MJ/m ²
GWP	-117 kg CO ₂ /m ²
AP	0,287 kg SO ₂ /m ²
U-Wert	0,132 W/m ² K

Aufbau	
Fassadenverkleidung	2,4 cm
Luftschicht, Lattung	3 cm
Windpapier	
OSB Platte	1,5 cm
Dämmung Glaswolle	20 cm
dazw. Steico Träger	
Dampfbremse	
CLT	16 cm
Gesamt	42,9 cm

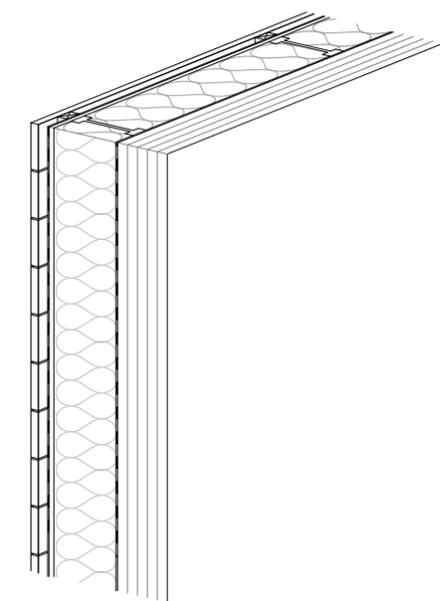
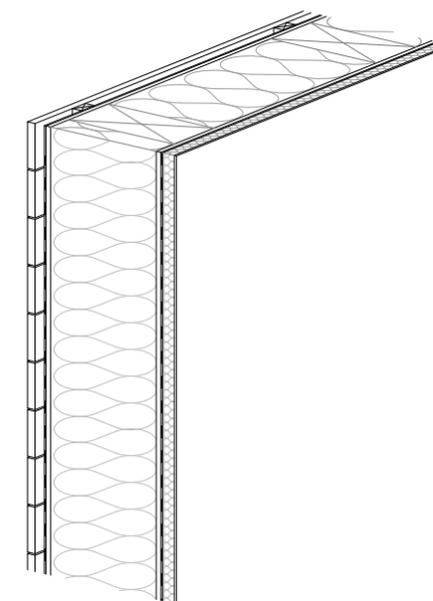


Abb. 40 Aufbauten Holzständerbauweise und Holzmassivbauweise, eigene Darstellung,
Quelle: <https://www.baubook.info/BTR/>

Der Stahlbetonanteil reduziert sich auf ein Minimum. Das Untergeschoss muss aus technischen Gründen komplett in Stahlbeton ausgeführt werden. Von dort ausgehend verlaufen drei Stiegenhauskerne, ebenfalls in Stahlbeton ausgeführt, bis ins Dachgeschoss. Der vierte Stiegenhauskern wird aus Massivholzelementen gefertigt, welche gekapselt sind, um die Brandschutzanforderungen erfüllen zu können. Die Kerne wurden unter der Einhaltung der Fluchtwegbestimmungen mit einer maximalen Weglänge von 40 m positioniert. An den Grundstücksgrenzen werden Feuermauern in Stahlbeton gefertigt.

Dem Holzbau wird eine eigenständige Betonkonstruktion vorgelagert, welche letztendlich als Laubengang dient. Dieser verbindet die einzelnen Baukörper und dient als Treffpunkt für die Bewohner. Ein Teil des Kindergartens wird ebenso aus Stahlbeton gefertigt, da sich darüber der Laubengang befindet und dieser auf Grund von brandschutztechnischen Bestimmungen als nicht brennbare Konstruktion ausgeführt werden muss.

Abbildung 41 zeigt vier verschiedene Diagramme, welche sich mit den Anteilen von Holz und Stahlbeton beschäftigen. Die ersten beiden Diagramme beinhalten den Gesamtanteil des jeweiligen Materials am gesamten Projekt. Der Unterschied liegt darin, dass einmal nur tragende Bauteile berücksichtigt und einmal auch nicht tragende Elemente miteinbezogen wurden.

Die anderen beiden Diagramme zeigen die Anteile der Konstruktionsart des Baustoffes. Hier wird ersichtlich, dass vor allem das Fundament, sowie die Decke zwischen Tiefgarage und Erdgeschoss den größten Anteil ausmachen.

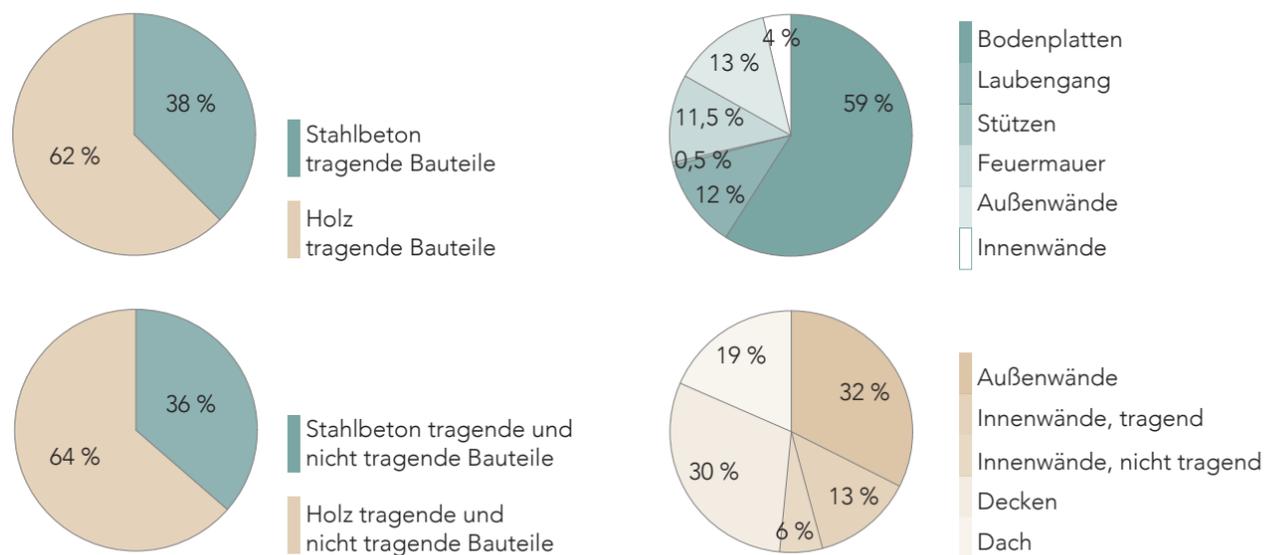


Abb. 41 Vergleich Holzanteil - Stahlbetonanteil, eigene Darstellung

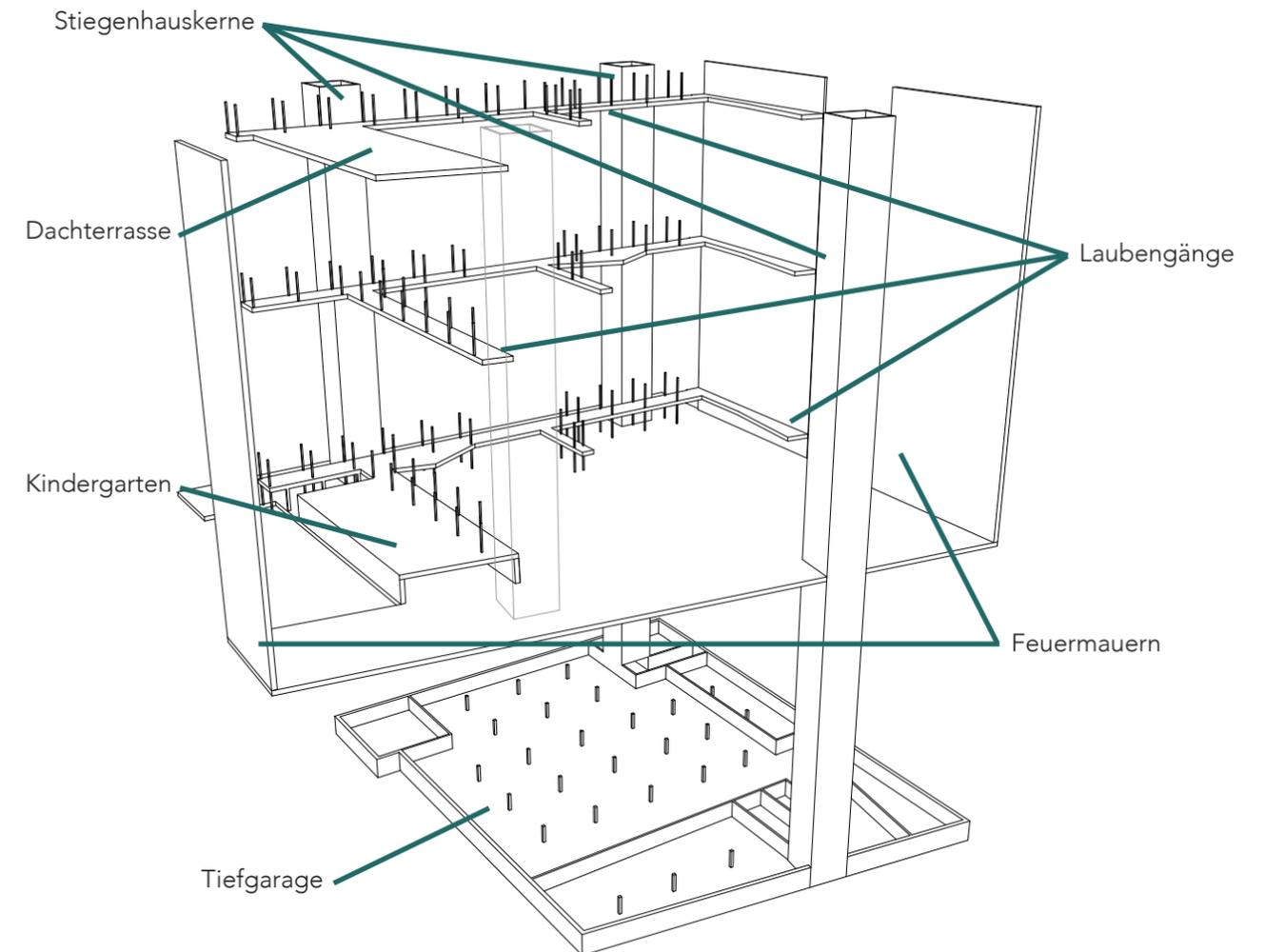


Abb. 42 Stahlbetonelemente, eigene Darstellung

6.6.1 Materialität

Das äußere Erscheinungsbild ist geprägt durch die horizontale Fassadenverkleidung. Diese wird sich im Laufe der Jahre von einem warmen Branton, zu einem Grauton verwandeln. Jedes Material soll wahrnehmbar und spürbar eingesetzt werden. Daher werden die in Stahlbeton ausgeführten Laubengänge in deren Betonoptik belassen.

Ergänzt wird das harmonische Konzept mit einer Fassadenbegrünung, Pflanzentrögen und etlichen Bäumen.

Somit entsteht ein optisch ansprechendes und nachhaltiges Gebäude.

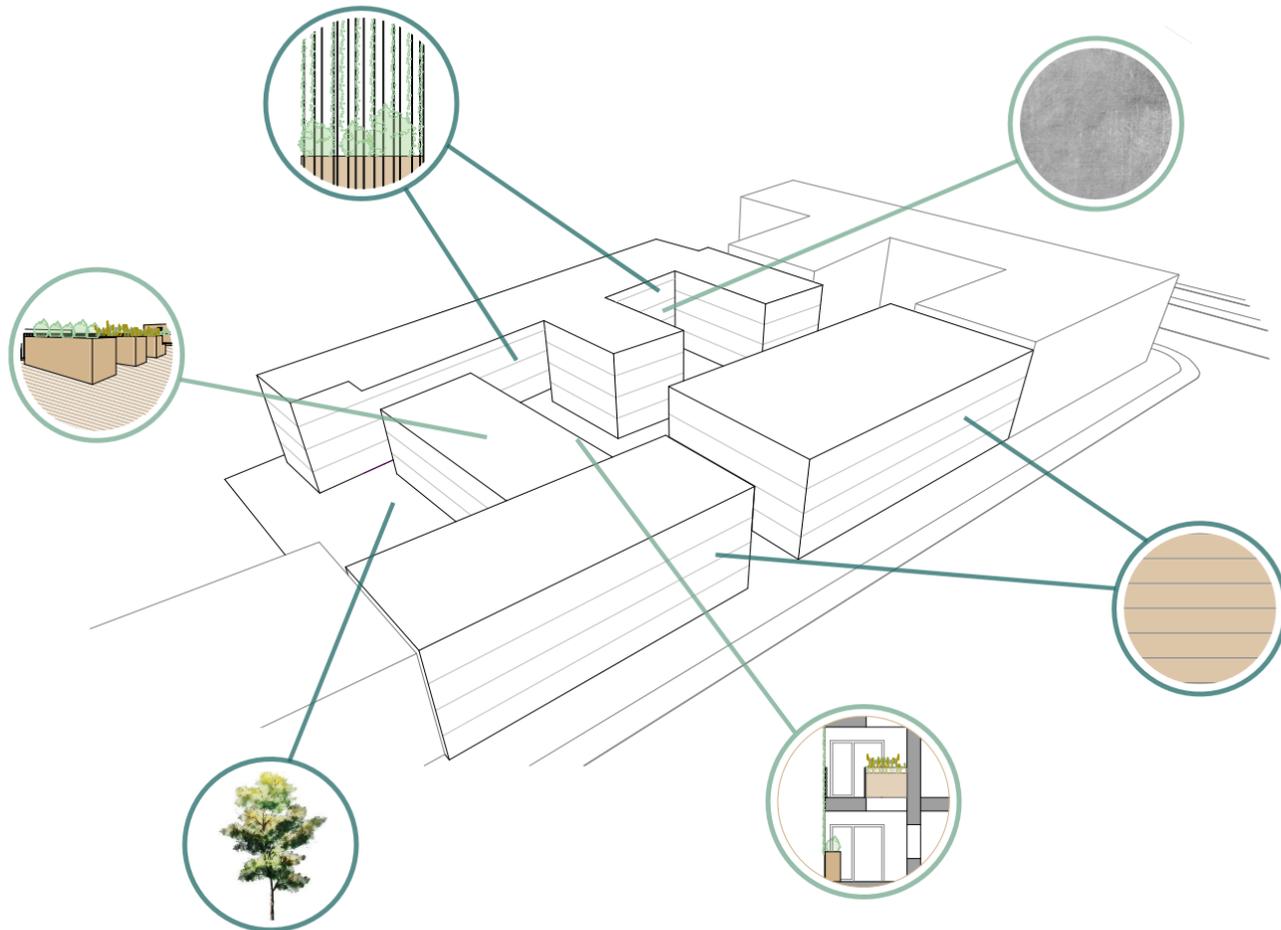


Abb. 43 Zuordnung der Materialien, eigene Darstellung

Folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Materialien einer Wohneinheit. Jede Wohnung wird mit einem Holzboden ausgestattet. Die Böden, sowie Teile der Wände in den Nasszellen werden verfliest. Die Wohnungstrennwände werden als Holzmassivwand ausgeführt. Die Oberflächen bleiben sichtbar. Dies begünstigt ein besseres Raumgefühl. Nicht tragende Wände werden entweder als CLT Wände mit Sichtqualität oder als Holzständerbauweise mit Lehmsteinen ausgeführt.

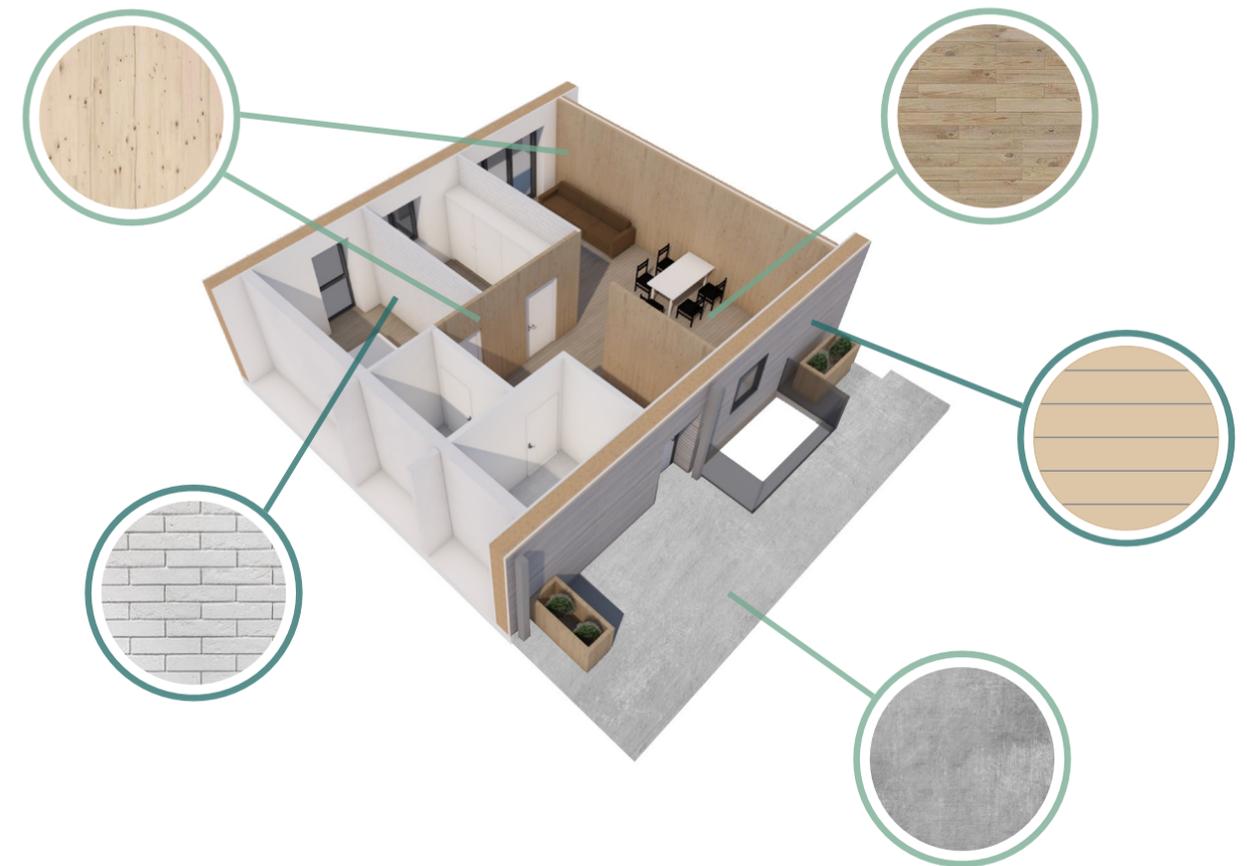


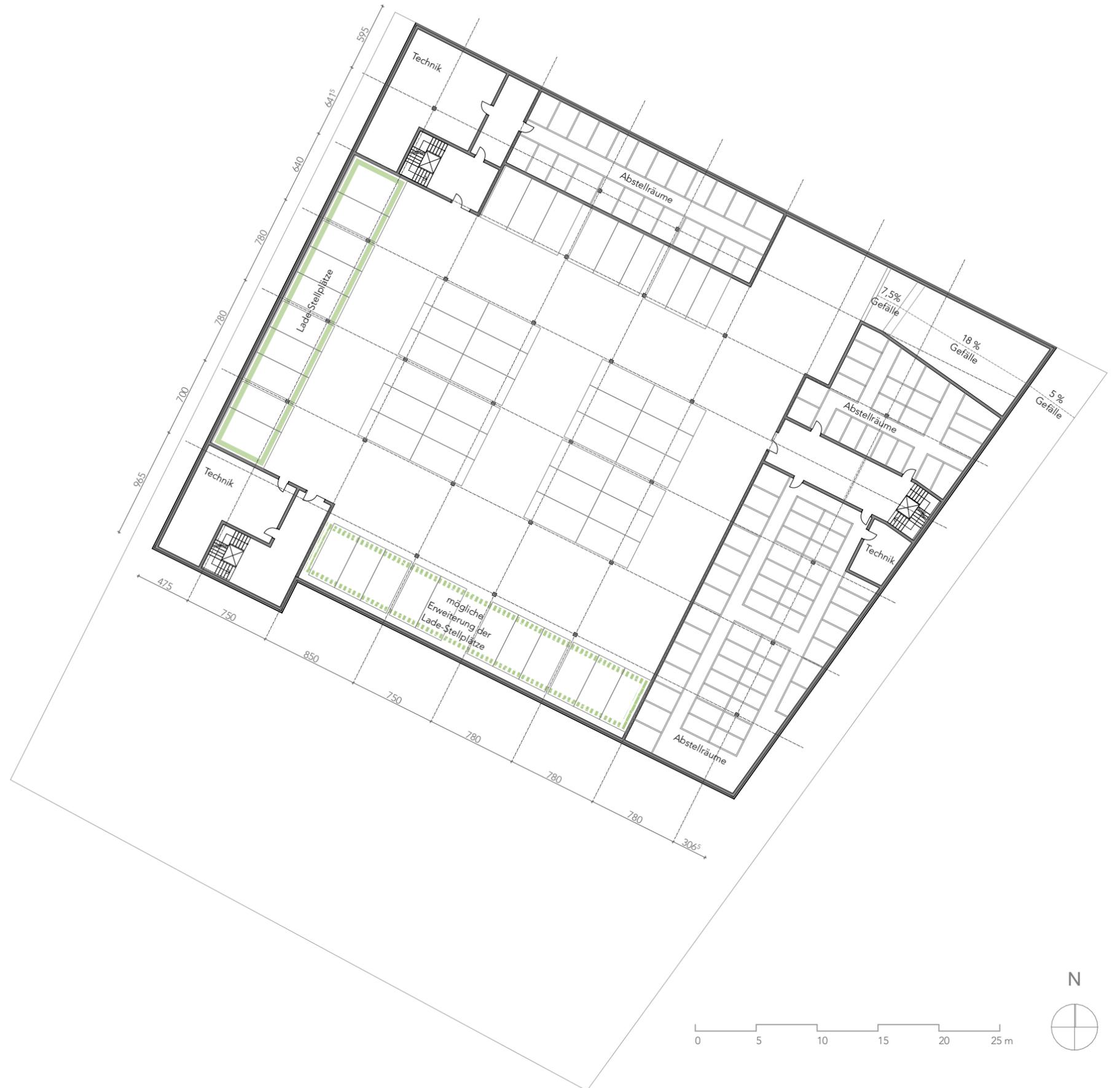
Abb. 44 Zuordnung der Materialien einer Wohneinheit, eigene Darstellung

6.7 Grundrisse

Tiefgarage

Räumlichkeiten:

- je ein Abstellraum pro Wohnung
- 50 Stellplätze
 - 2 Behindertenstellplätze
 - Parkmöglichkeit für Elektroautos
 - Erweiterungen der Ladestellplätze möglich
- diverse Technikräume



Erdgeschoss

Räumlichkeiten:

Bauteil 1

Garconnierenverbund
- 5 Wohneinheiten

Allgemeinflächen
- Müllraum
- Fahrradabstellraum
- Kinderwagenabstellraum

Gemeinschaftsflächen
- Bewegungsraum
- Werkstatt

Zufahrt Tiefgarage

Bauteil 2

Kindergarten
- 3 Gruppenräume
- Bewegungsraum
- Personalräume
- Sanitärräume
- Lagerflächen

Bauteil 3

11 Wohneinheiten



Plan 04 Grundriss Erdgeschoss



Erdgeschoss - Freiraumkonzept

- 1 Spielplatz mit diversen Spielgeräten
- 2 Eigengärten
- 3 Platz, um den Bewegungsraum nach außen zu verlagern
- 4 Hochbeete
- 5 Sitzgelegenheiten
- 6 Pergola als Schattenspender



2. Obergeschoss

Räumlichkeiten:

Bauteil 1

9 Wohneinheiten
der Gang als Spielfläche
Nischen als Sitzflächen
Öffnungen am Ende des Ganges als Gästezimmer oder Working Spaces

Bauteil 2

6 Wohneinheiten
Gemeinschaftsraum
Working Spaces

Bauteil 3

11 Wohneinheiten
Terrasse „Grätzloase“



Plan 07 Grundriss 2. Obergeschoss

Dachgeschoss

Räumlichkeiten:

Bauteil 1

- 9 Wohneinheiten
- der Gang als Spielfläche
- Nischen als Sitzflächen
- Öffnungen am Ende des Ganges als Gästezimmer oder Working Spaces

Bauteil 2

- 3 Wohneinheiten
- Gemeinschaftsterrasse mit Laube und Liegeflächen
- Working Space

Bauteil 3

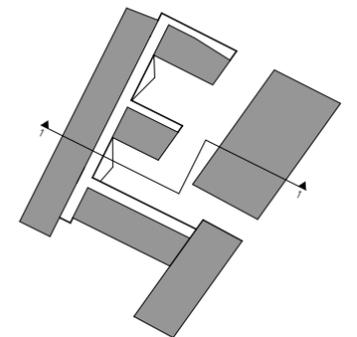
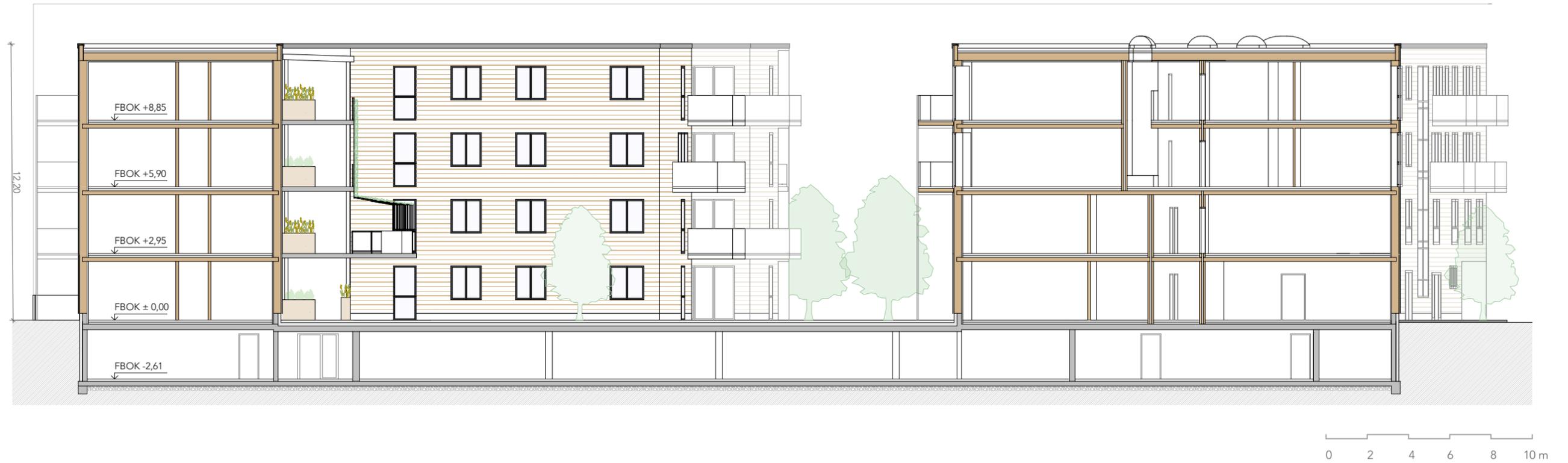
- 11 Wohneinheiten



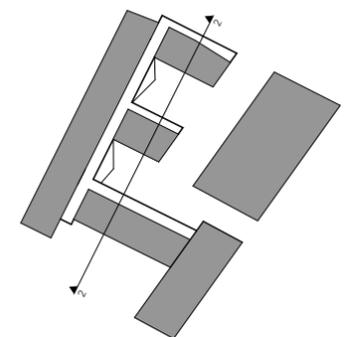
Plan 08 Grundriss Dachgeschoss

6.8 Schnitte

Schnitt 1-1

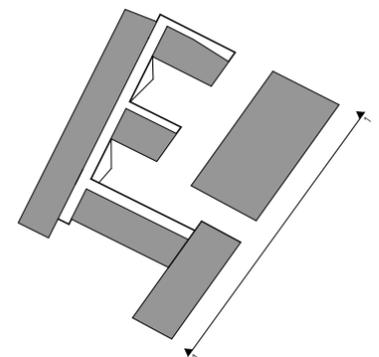


Schnitt 2-2

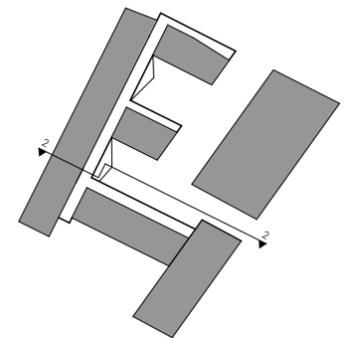


6.9 Ansichten

Ansicht 1

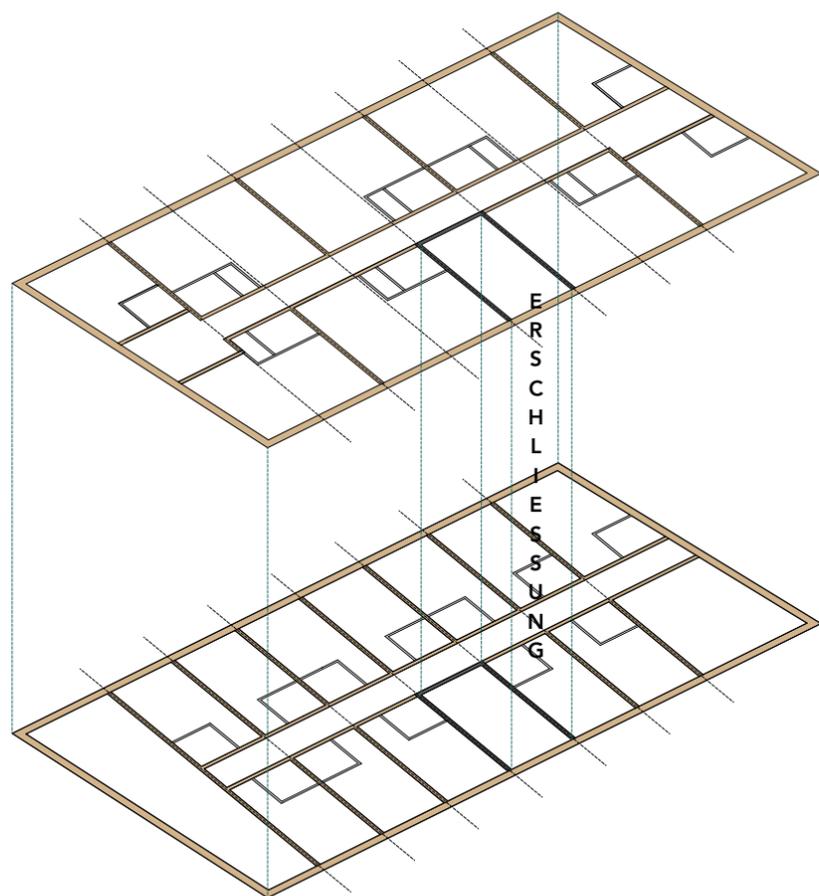


6.9.1 Schnittansicht



6.10 Wohnungstypen

Systemskizze Wohnungstypen Bauteil 1



Wohnungstypen Bauteil 1

Wohnungstyp A Smart



Wohnungstyp B+ Smart



Wohnungstyp 2 Zimmer



Garconnierenverbund

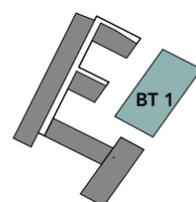
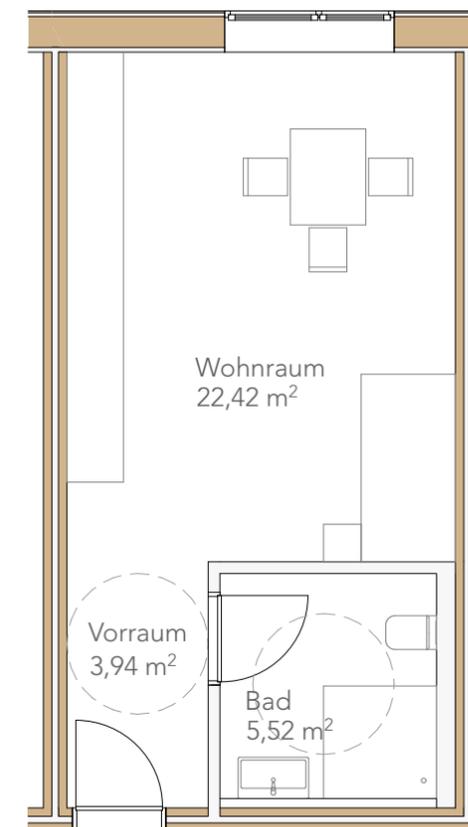


Abb. 45 Systemskizze Bauteil 1, eigene Darstellung

Garconnierenverbund

Flächenaufstellung

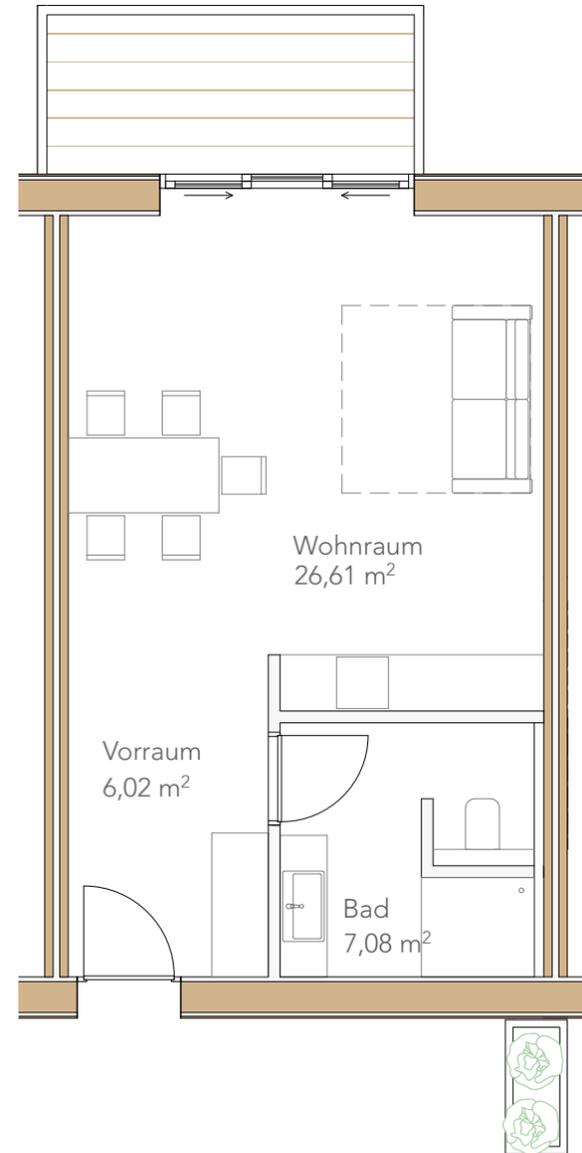
Vorraum	3,94 m ²
Bad	5,52 m ²
Wohnraum	22,42 m ²
Gesamt	31,88 m ²



Plan 13 Wohnungstyp Garconnierenverbund

15 Wohneinheiten mit Nasszelle und Wohnraum
 5 Wohneinheiten im Erdgeschoss, 10 Wohneinheiten im 1. Obergeschoss
 Zugänge zu Freiräumen über die Gemeinschaftsräume

Wohnungstyp A - SMART

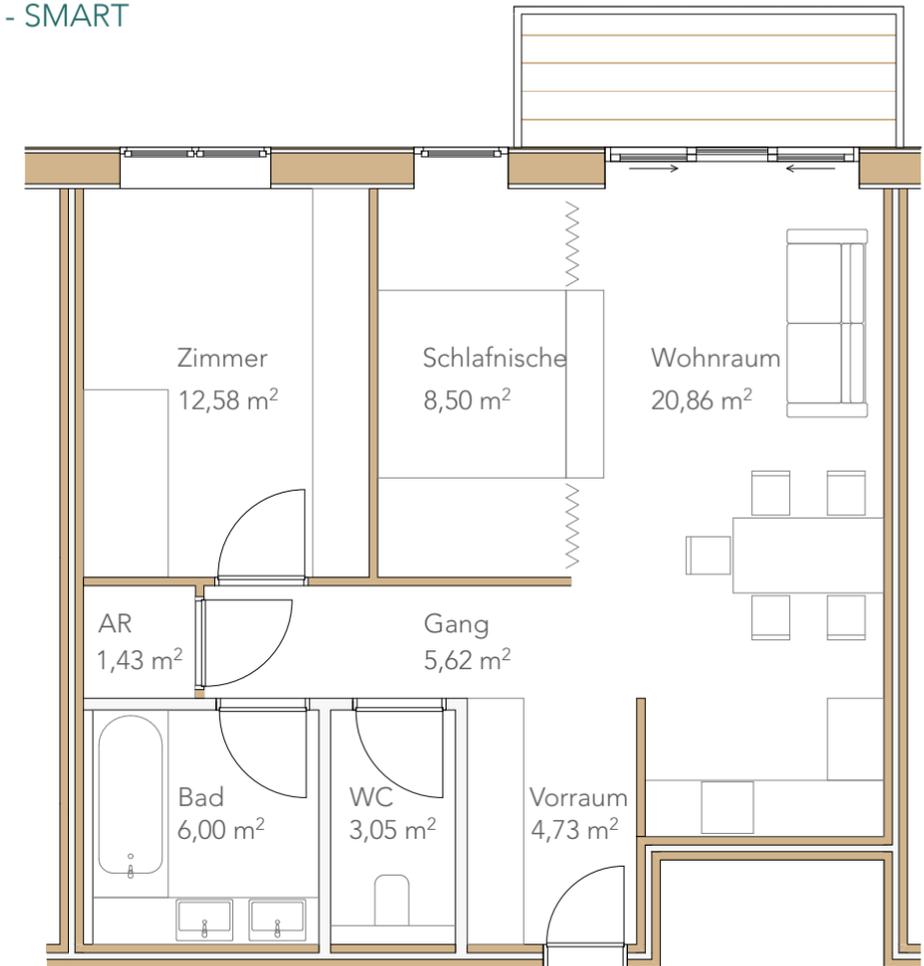


Plan 14 Wohnungstyp A - Smart

Flächenaufstellung

Vorraum	6,02 m ²
Bad	7,08 m ²
Wohnraum	26,61 m ²
Gesamt	39,71 m²

Wohnungstyp B+ - SMART

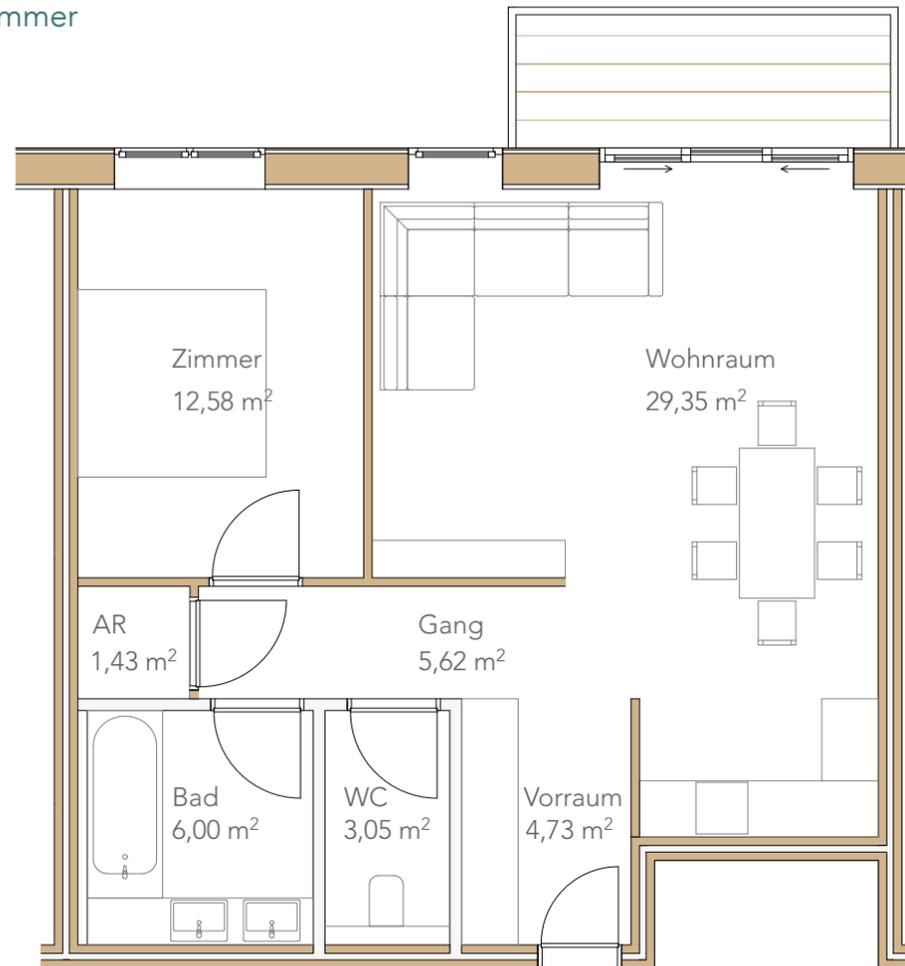


Plan 15 Wohnungstyp B+ - Smart

Flächenaufstellung

Vorraum	4,73 m ²
Gang	5,62 m ²
WC	3,05 m ²
Bad	6,00 m ²
AR	1,43 m ²
Zimmer	12,58 m ²
Schlafnische	8,50 m ²
Wohnraum	20,86 m ²
Gesamt	62,77 m²

Wohnungstyp 2 Zimmer



Flächenaufstellung

Vorraum	4,73 m ²
Gang	5,62 m ²
WC	3,05 m ²
Bad	6,00 m ²
AR	1,43 m ²
Zimmer	12,58 m ²
Wohnraum	29,35 m ²
Gesamt	62,76 m²

Plan 16 Wohnungstyp 2-Zimmer

Systemskizze Wohnungstypen Bauteil 2 und 3

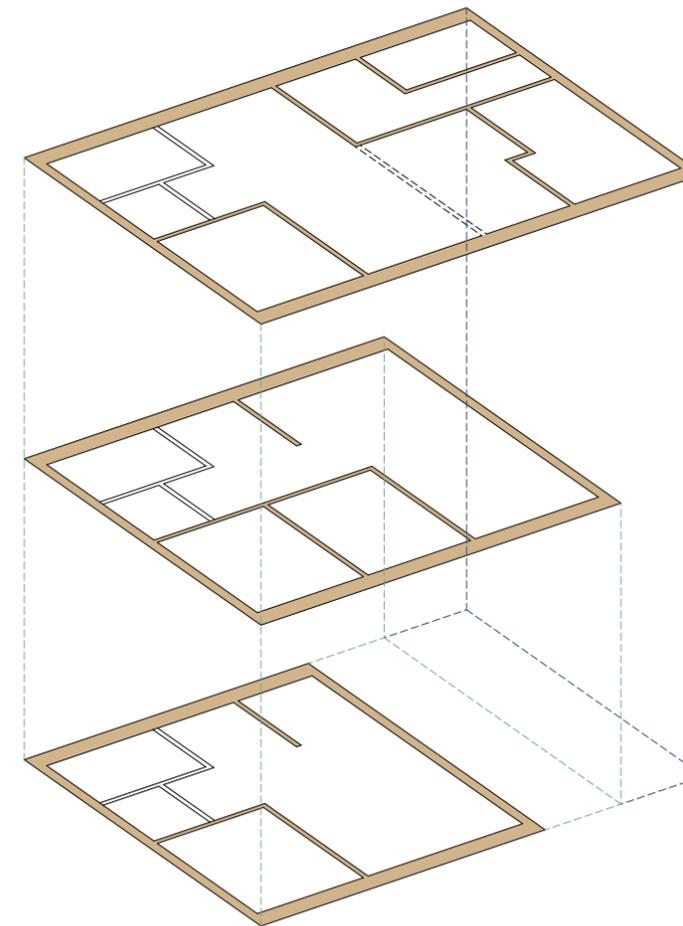


Abb. 46 Systemskizze Bauteil 2 und 3, eigene Darstellung

Wohnungstypen Bauteil 2 + 3

Wohnungstyp D Smart



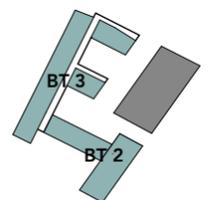
Wohnungstyp 3 Zimmer



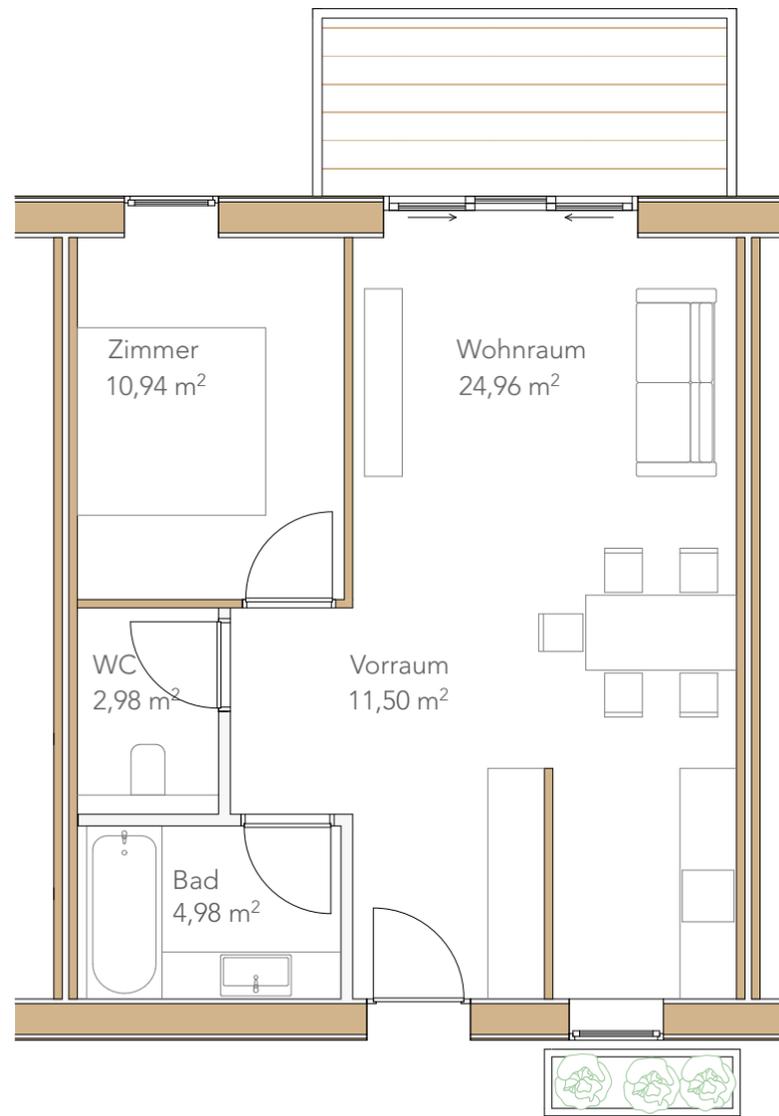
Wohnungstyp C Smart



Wohnungstyp B Smart



Wohnungstyp B - SMART

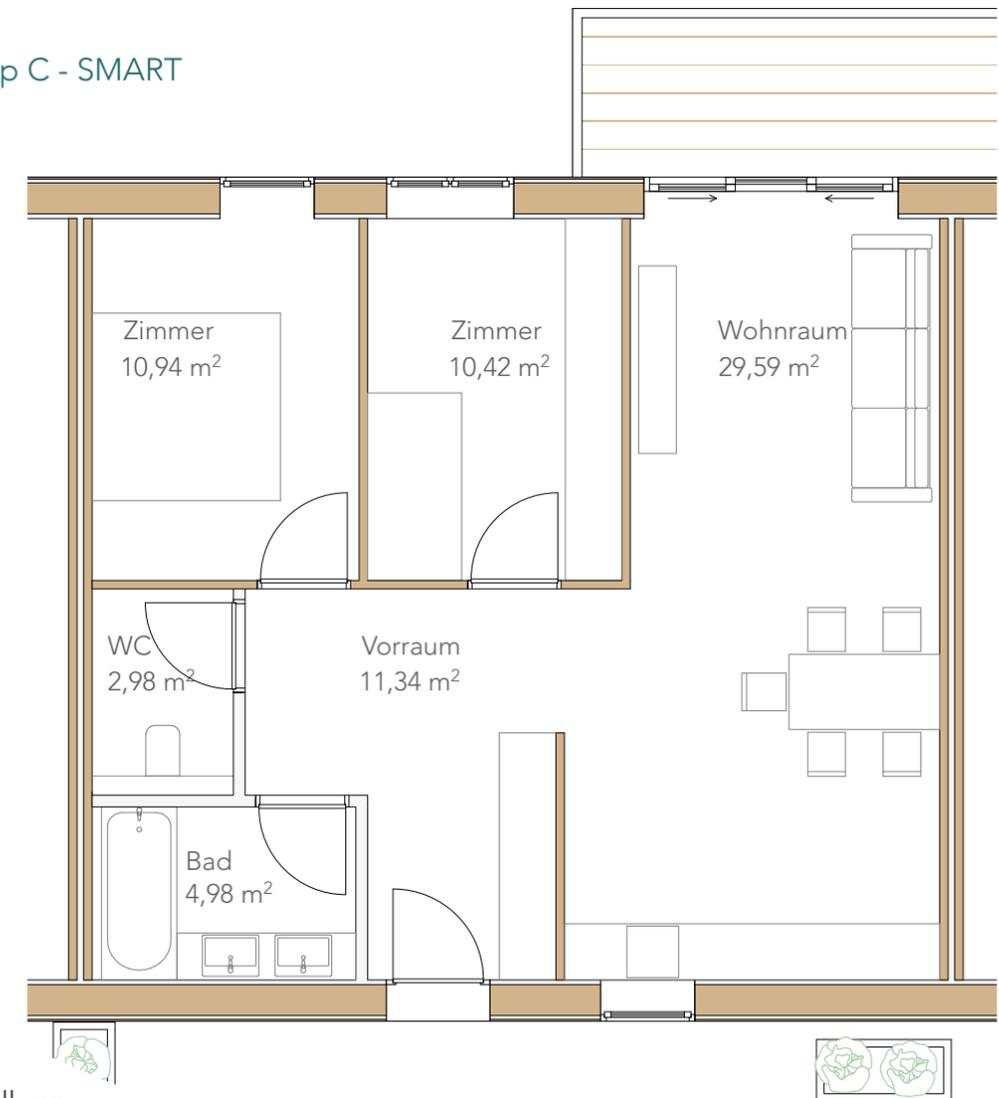


Flächenaufstellung

Vorraum	11,50 m ²
WC	2,98 m ²
Bad	4,98 m ²
Zimmer	10,94 m ²
Wohnraum	24,96 m ²
Gesamt	55,36 m ²

Plan 17 Wohnungstyp B - Smart

Wohnungstyp C - SMART

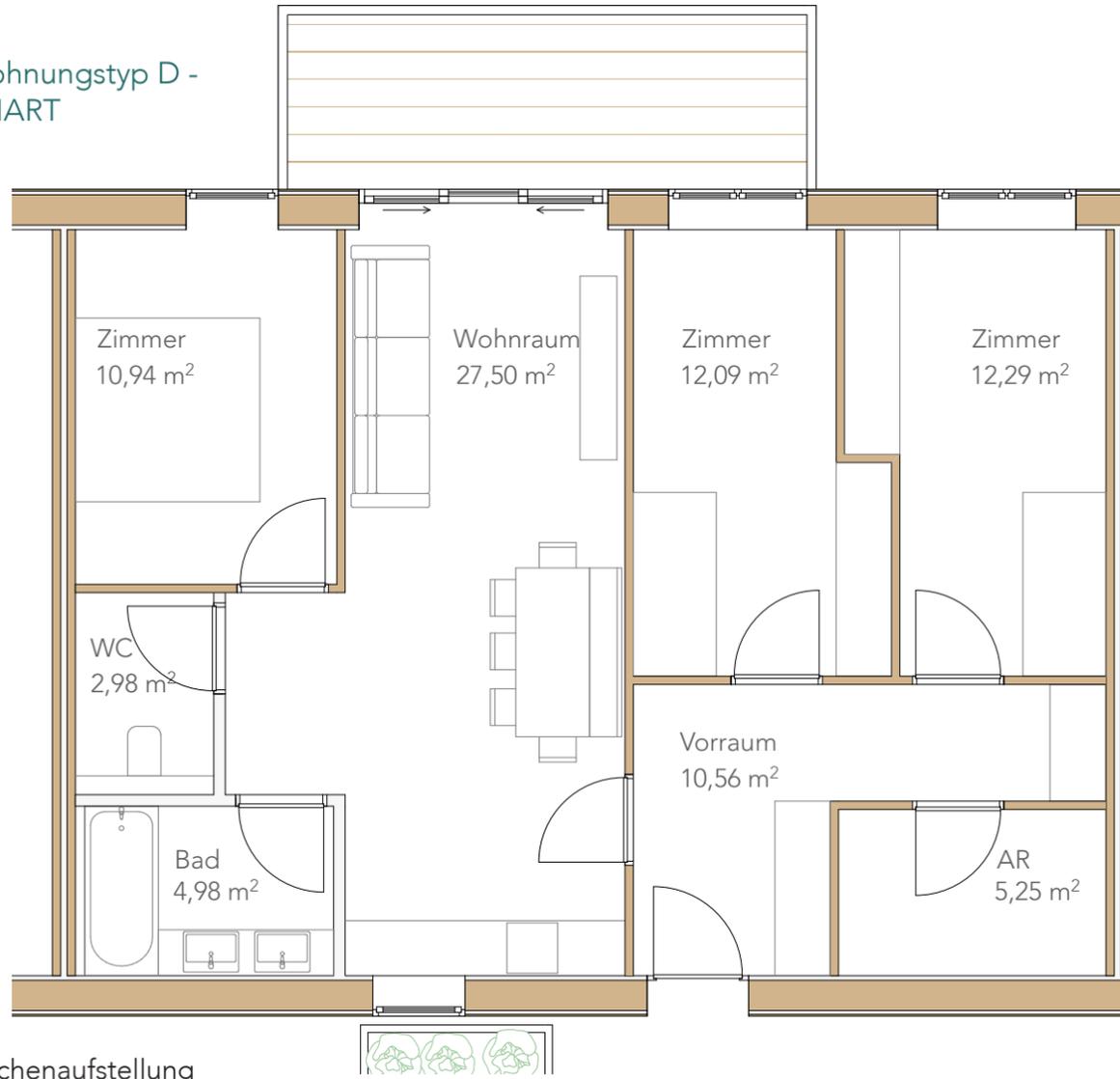


Flächenaufstellung

Vorraum	4,73 m ²
Gang	5,62 m ²
WC	3,05 m ²
Bad	6,00 m ²
AR	1,43 m ²
Zimmer	12,58 m ²
Schlafnische	8,50 m ²
Wohnraum	20,86 m ²
Gesamt	62,77 m ²

Plan 18 Wohnungstyp C - Smart

Wohnungstyp D - SMART



Flächenaufstellung

Vorraum	10,56 m ²
AR	5,25 m ²
Zimmer	12,29 m ²
Zimmer	12,09 m ²
Wohnraum	27,50 m ²
WC	2,98 m ²
Bad	4,98 m ²
Zimmer	10,94 m ²
Gesamt	86,59 m ²

Plan 19 Wohnungstyp D - Smart

Wohnungstyp 3 Zimmer

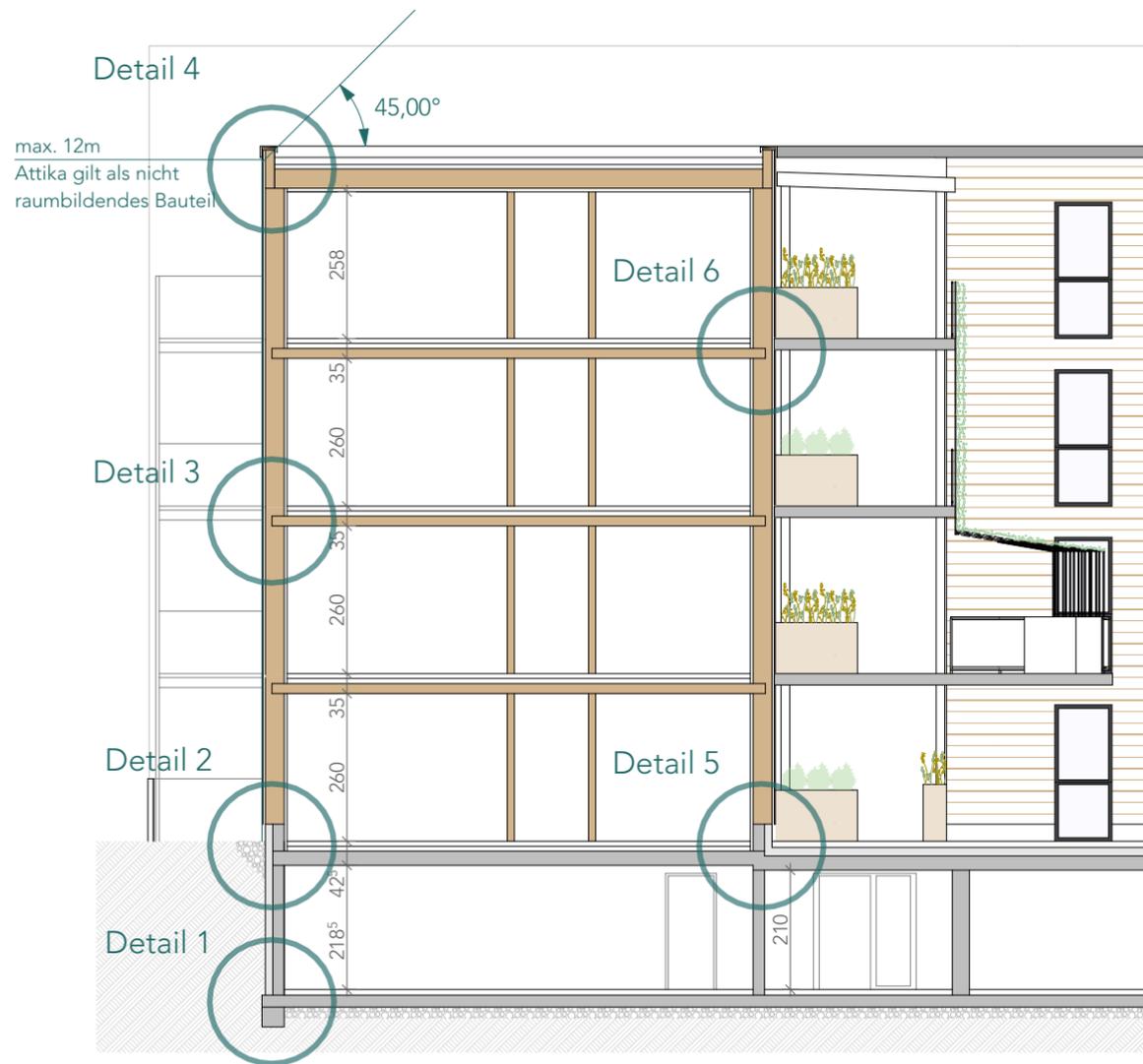


Flächenaufstellung

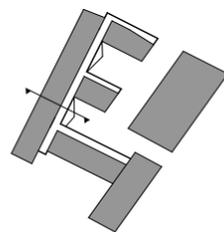
Vorraum	10,56 m ²
AR	5,25 m ²
Zimmer	12,29 m ²
Wohnraum	40,03 m ²
WC	2,98 m ²
Bad	4,98 m ²
Zimmer	10,94 m ²
Gesamt	87,03 m ²

Plan 20 Wohnungstyp 3-Zimmer

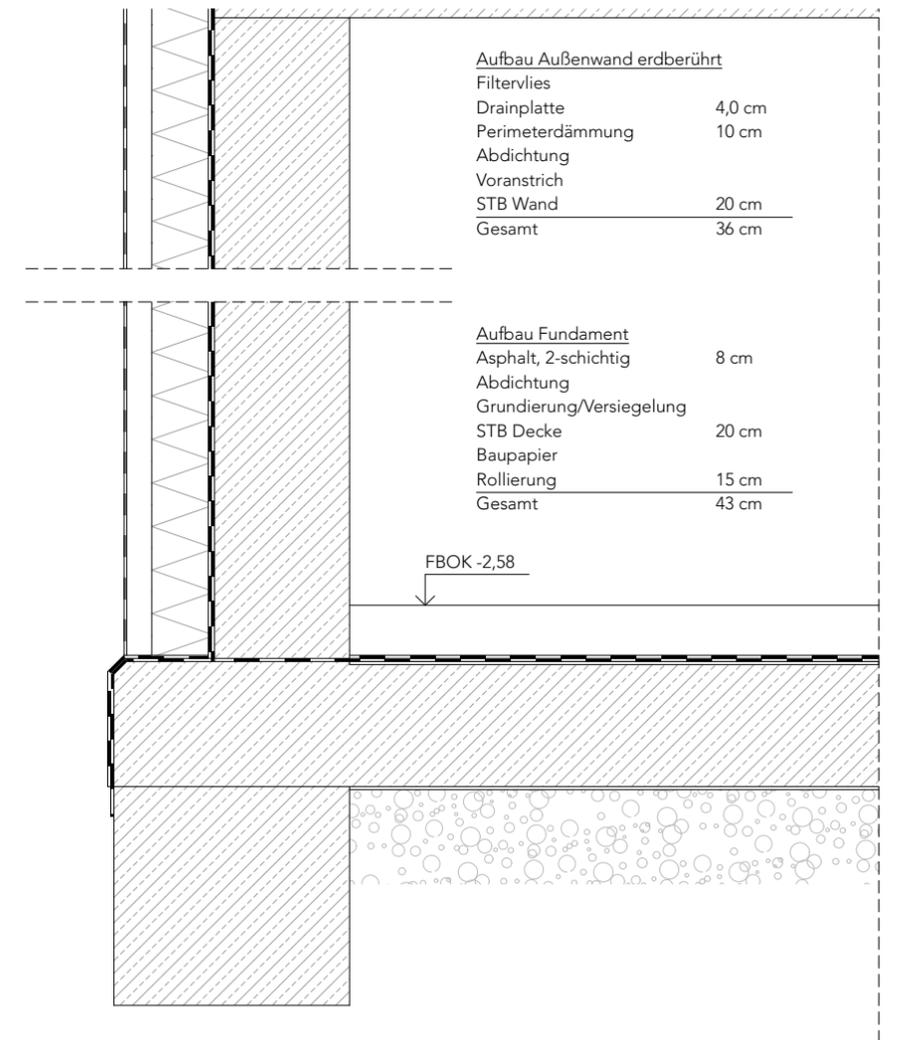
6.11 Details



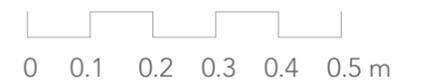
Plan 21 Ausschnitt Detailpunkte



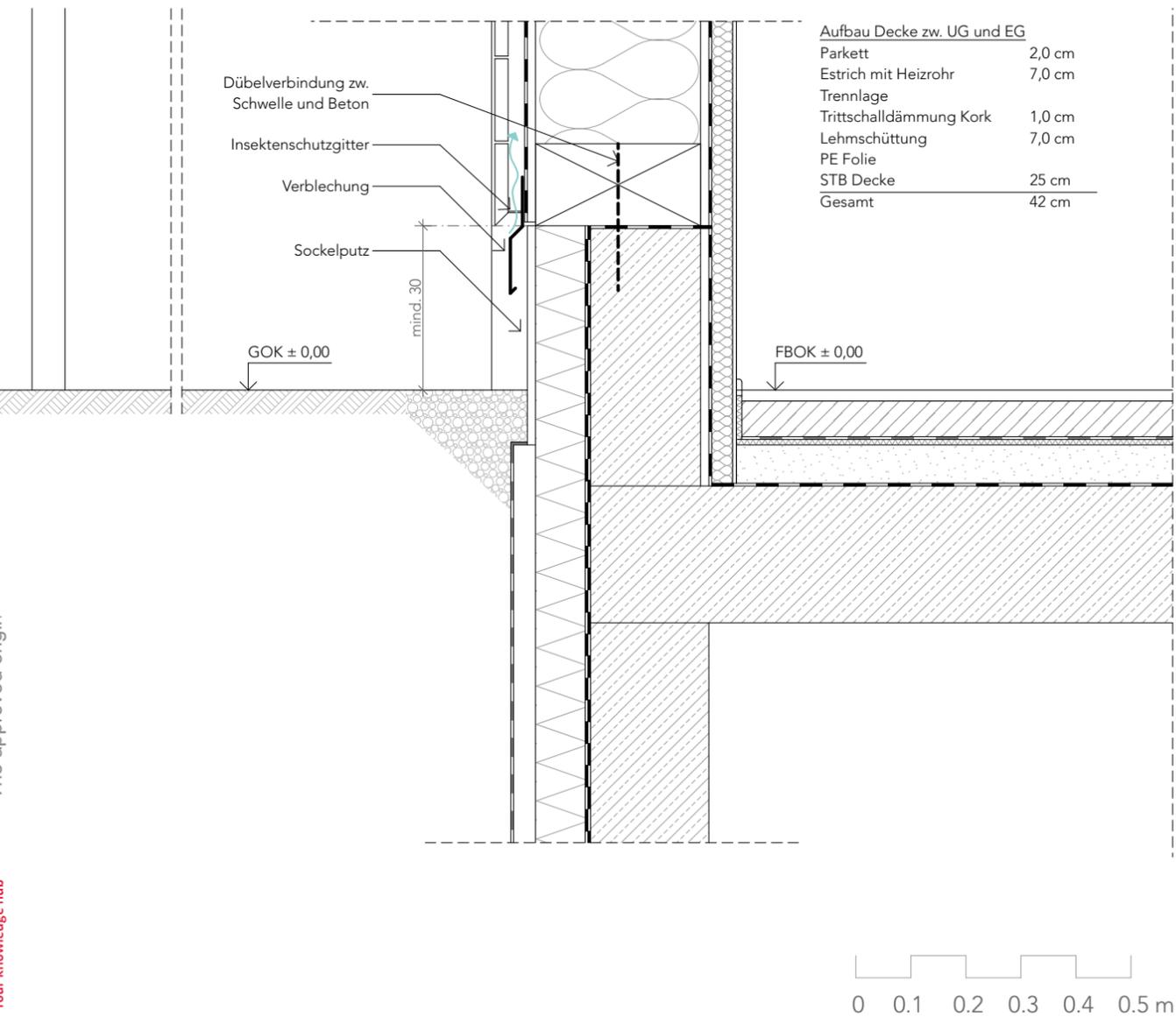
Detail 1 Fundament



Plan 22 Detail 1

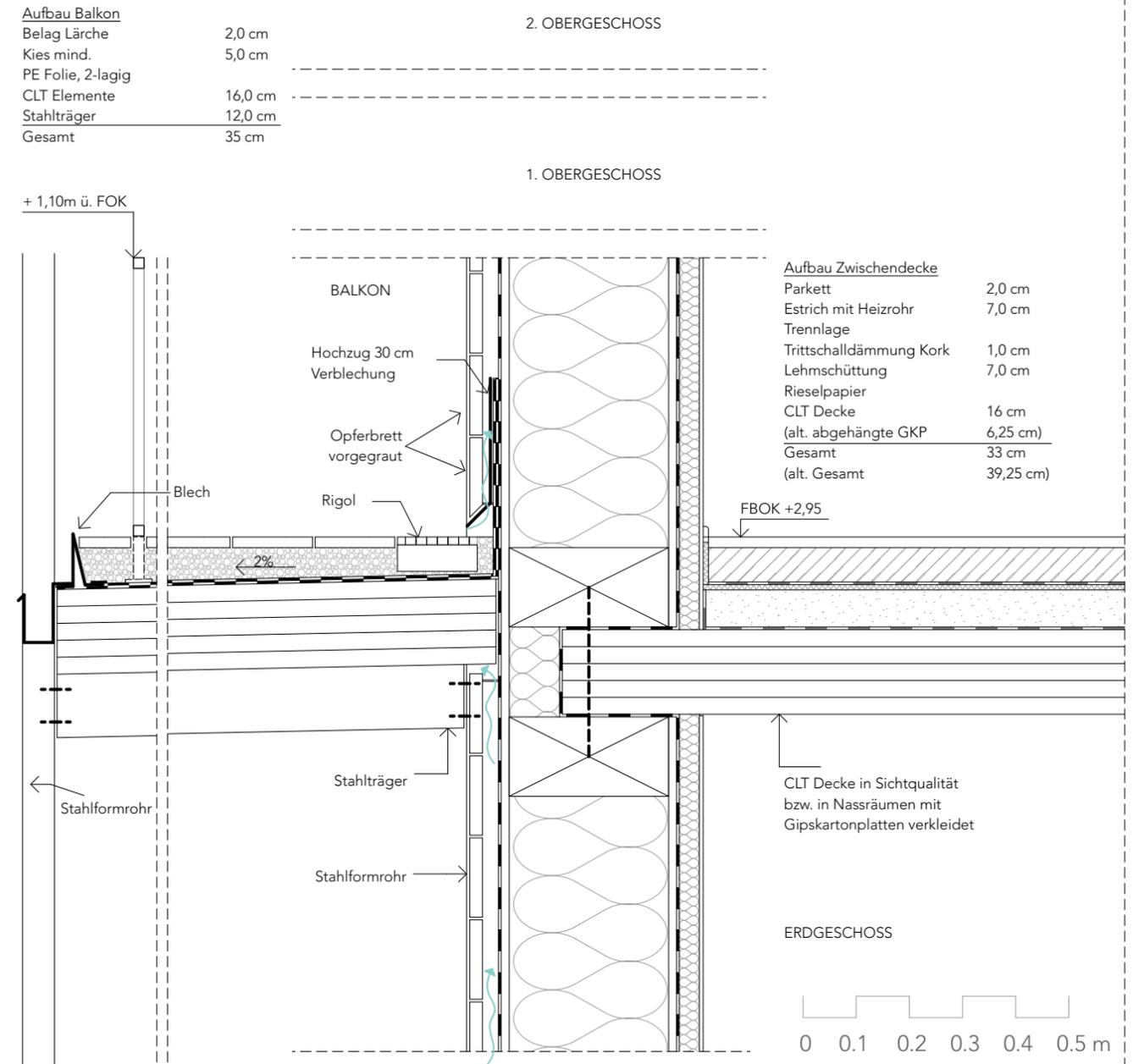


Detail 2 Anschluss Holzrahmenbau an Stahlbetonwand



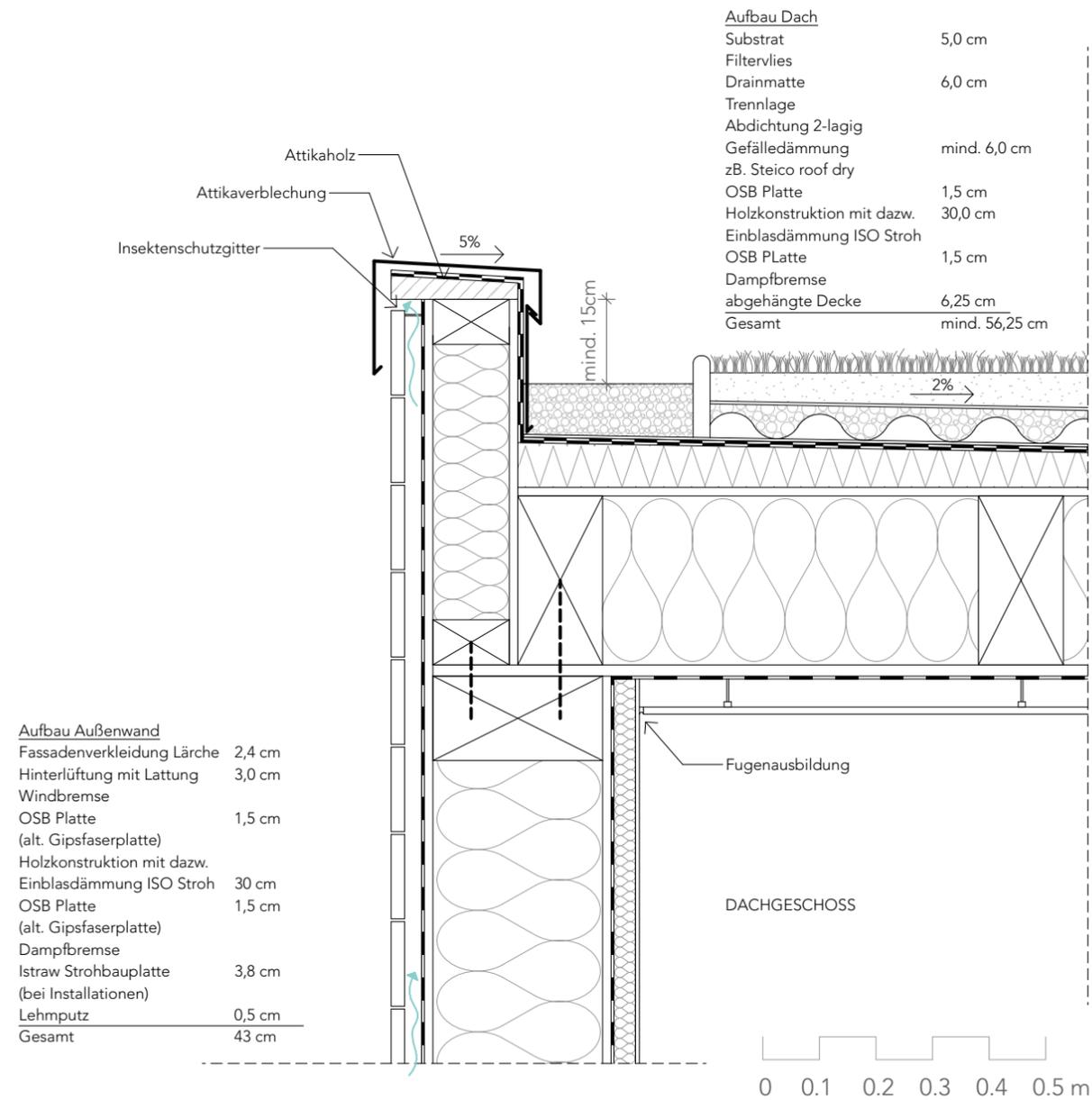
Plan 23 Detail 2

Detail 3 Anschluss Außenwand - Zwischendecke - Balkon



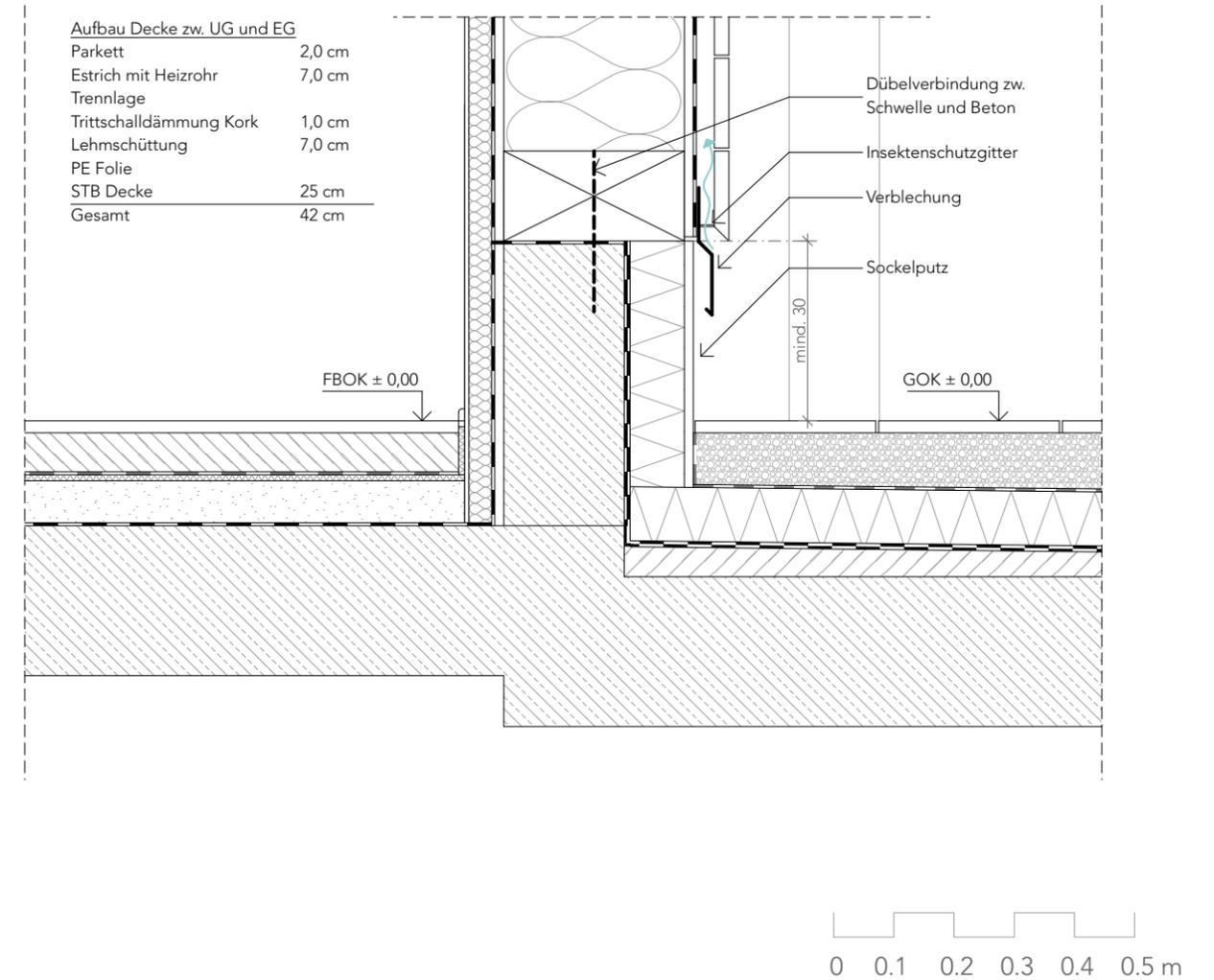
Plan 24 Detail 3

Detail 4 Anschluss Außenwand - Dach



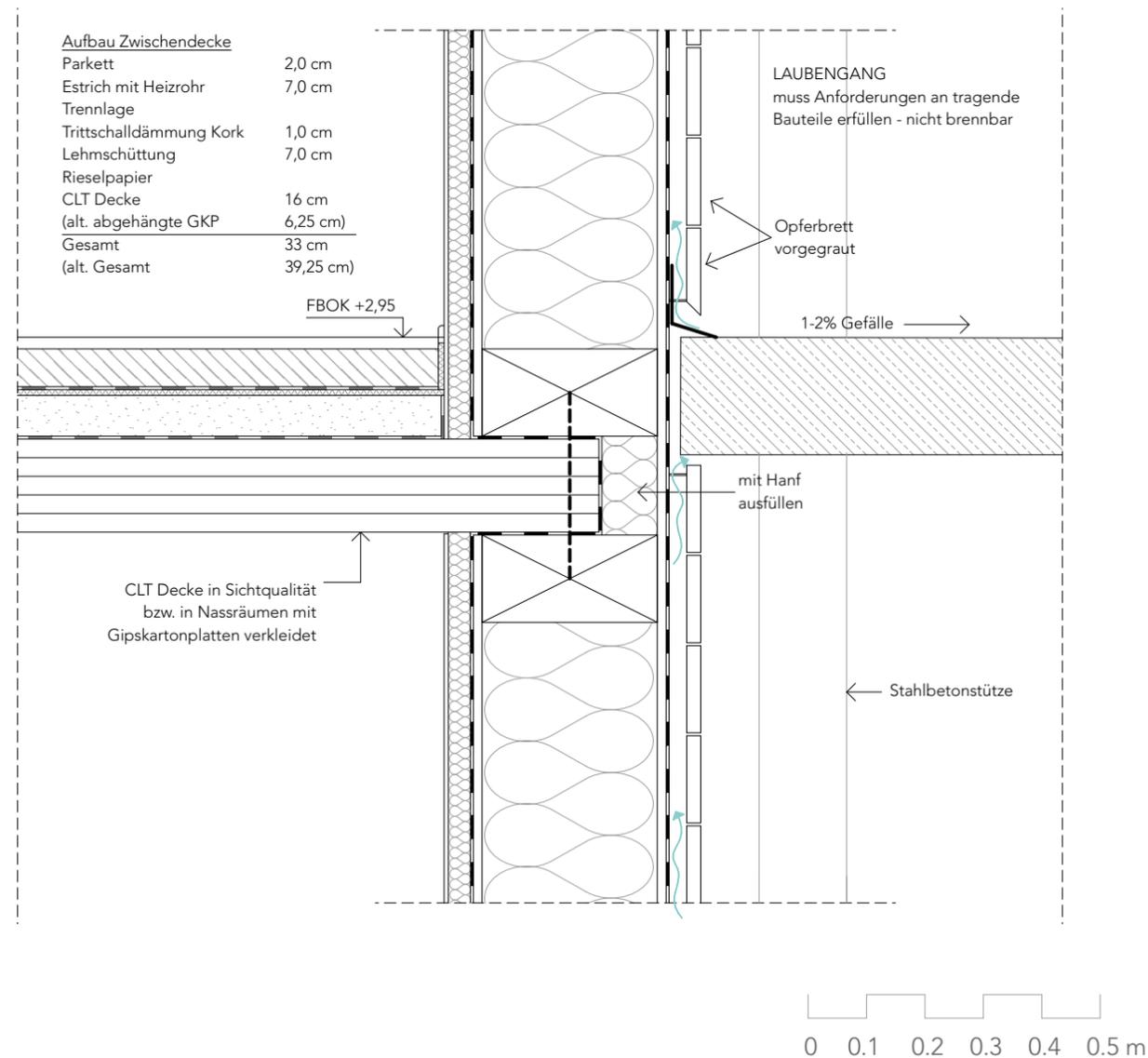
Plan 25 Detail 4

Detail 5 Anschluss Außenwand - Stahlbetondecke



Plan 26 Detail 5

Detail 6 Anschluss Außenwand - Zwischendecke - Laubengang



Plan 27 Detail 6

Der entstandene Wohnbau erfüllt die vorausgesetzten Anforderungen aus dem Wettbewerb. Da vor allem die Umsetzung des Wiener 4 Säulen Modells ein wichtiger Punkt war, werden diese nachstehend noch einmal angeführt.

Ökonomie

Die Holzrahmenbauweise ist ressourcensparend und damit auch günstiger. Man benötigt im Gegensatz zur Massivholzbauweise nur einen Bruchteil an Holz. Durch den schlankeren Querschnitt der Außenwände wird mehr vermietbare Fläche gewonnen. Die effizienten Grundrisse bieten Lösungen für verschiedene Individuen. Die adaptierbaren Wohnungen begünstigen das leistbare Wohnen.

Ökologie

Der Wohnbau erfüllt alle Vorgaben des ökologischen Bauens. Der Stahlbetonanteil wird auf ein Minimum reduziert. Die Materialien Holz, Stroh und Lehm versprechen ein ausgezeichnetes Raumgefühl.

Durch die optimale Ausrichtung der Baukörper wird jede einzelne Wohnung ausreichend belichtet. Der Einsatz von erneuerbaren Energiequellen, wie Erdwärme oder Photovoltaik runden das ökologische Konzept ab.

Nachdem das Gebäude seine maximale Lebensdauer erreicht hat, können die einzelnen Bauteile abgebaut und die Materialien voneinander getrennt werden.

Architektur

Die geplanten Baukörper fügen sich in die bestehende Stadtstruktur ein. Durch die vorgegebene Gebäudehöhe ragt es nicht über die Nachbarbebauung hinaus. Die entstandenen Innenhöfe bieten Platz und Schatten für die Bewohner. Es werden Plätze geschaffen, die als Treffpunkt dienen und zum Verweilen einladen.

Die Fassade vermittelt ein naturnahes Gefühl und Wärme.

Soziologie

Den Bewohnern werden öffentliche und private Bereiche geboten. Somit können diese, je nach deren persönlichen Bedürfnissen, die Räumlichkeiten wechseln.

Um das Nachbarschaftsgefühl zu stärken, werden verschiedene Plätze oder Räume geschaffen. Im Innenbereich werden daher Gemeinschaftsräume, eine Werkstatt, ein Bewegungsraum, sowie diverse Working Spaces angeboten.

Im Außenbereich lädt eine große Dachterrasse, kleine Gemeinschaftsterrassen und die großzügigen Innenhöfe zum gemeinsamen Verweilen ein.

6.13 Schaubilder



Abb. 47 Schaubild 1, Blick von der Waldrebgasse, eigene Darstellung



Abb. 48 Schaubild 2, Hof vom Kindergarten, eigene Darstellung



Abb. 49 Schaubild 3, Terrasse, eigene Darstellung

6.14 Conclusio

Die entstandene Arbeit bietet einen ausführlichen Überblick der Materialien Stroh und Lehm und zeigt, wie sie im Entwurf eingesetzt werden können.

Sie beweist, dass auch diese Materialien einfach im normalen Planungsprozess miteinbezogen werden können. Durch deren Vielfältigkeit können sie in verschiedenen Projekten in unterschiedlichen Ausführungen angewendet werden.

Der Holzbau ist im Jahre 2020 in Österreich bereits angekommen. Immer öfter wird dieser der mineralischen Bauweise vorgezogen, aber noch nicht oft genug. Der günstigere Preis steht dem nachhaltigen und ökologischen Gedanken gegenüber. Viele gebaute Objekte beweisen jedoch, dass dies bei einer detaillierten und vorausschauenden Planung nicht zutrifft. Beim ökologischen Bauen wird der gesamte Lebenskreislauf eines Gebäudes berücksichtigt. Dabei wird ersichtlich, dass sich die Kosten nach einigen Jahren amortisieren. Dies liegt zum einen an der effizienteren Planung, zum anderen an dem Einsatz von erneuerbaren Energiequellen. Das Gebäude besteht daher nicht nur allein durch dessen Verarbeitung. Es steht in einem Zusammenhang mit seiner Umgebung, es entsteht im besten Fall sogar ein autarkes Gebäude.

Die Schwierigkeit wird zukünftig an der Ausweitung der Einsetzbarkeit von nachhaltigen Materialien liegen. Abbildung 41 zeigt, dass der Betonanteil selbst bei einer effizienten Planung noch immer problematisch ist. Hier sticht vor allem der Bau eines Kellergeschosses hervor. Würde auf die vielen vorgeschriebenen Stellplätze verzichtet werden, könnte ein komplettes Geschoss eingespart werden. Eine Änderung der Stellplatzverordnung wäre durchaus anzudenken, denn der Trend geht ohnehin zur autofreien Stadt.

Neben Stroh und Lehm gibt es noch etliche andere ökologische Baustoffe, die eingesetzt werden können. Diese müssen zukünftig vermehrt in die genannten Datenbanken eingearbeitet werden. Hier besteht noch immer großer Nachholbedarf, denn wie auch beschrieben, werden viele der nachhaltigen Baustoffe nicht mit den diversen Zertifizierungen angegeben.

Um die genannten Klimaziele zu erreichen, wäre es wichtig, gezielte Verordnungen für Neubauten oder auch Sanierungen zu erlassen. Frankreich ist dabei Vorreiter. Präsident Emmanuel Macron möchte ein Nachhaltigkeitsgesetz durchsetzen, welches besagt, dass mindestens 50% aller staatlich finanzierten Neubauten aus Holz oder anderen nachhaltigen Baustoffen errichtet werden müssen.¹⁵⁶ Dieser Ansatz wäre auch in Österreich umsetzbar und würde das Erreichen der Ziele immens erleichtern.

¹⁵⁶ vgl. Stacher S. (2020)

07 Literaturverzeichnis

- Arbeitsgruppe Ökoindex3 der Bundesländer (2011): OI3 – Ökoindex, [online] https://www.baubook.at/m/Daten/Bilder/Infos/k4_OI3_Folder.pdf, zuletzt geöffnet am 16.03.2020
- ASBN (o.J.): Baustrohballen, [online] <http://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau/baustrohballen/>, zuletzt geöffnet am 02.04.2020
- ASBN (o.J.): ASBN – austrian strawbale network, [online] <http://baubiologie.at/strohballenbau/asbn/>, zuletzt geöffnet am 03.04.2020
- Baubiologisches Institut Österreich (o.J.): Was ist Baubiologie?, [online] <https://www.baubiologie.or.at/bbi/was-ist-baubiologie/>, zuletzt geöffnet am 29.02.2020
- Baubook (o.J.): natureplus, [online] <https://www.baubook.at/natureplus/?SW=32>, zuletzt geöffnet am 27.02.2020
- Baunetzwissen (o.J.): Primärenergieinhalt, [online] <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/primaerenergieinhalt-6895567>, zuletzt geöffnet am 05.03.2020
- capital [A] architects (o.J.): Strohaus, [online] <https://www.capital-a.at/strohhaus-wien/>, zuletzt geöffnet am 11.01.2020
- Ece Nürgül (2018): Baubiologie Kriterien und architektonische Gestaltung, Basel, Verlag Birkhäsuer
- Europäische Union (2019): Unser Ziel: Klimaneutralität bis 2050, [online] <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1>, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Field 8 (o.J.), [online] <https://www.field8.info/>, zuletzt geöffnet am 14.12.2019
- GESA (2018): Haus des Lernens, [online] https://www.gesa-noe.at/site/assets/files/6879/crowdfunding_foldera4_gesa_haus_des_lernens_2019_neu.pdf, zuletzt geöffnet am 21.04.2020
- GESA (o.J.), [online] <https://www.gesa-noe.at/ueber-gesa/>, zuletzt geöffnet am 21.04.2020
- Groschopf Dieter, Trojan Michaela (o.J.): Der geförderte Wiener Wohnungsneubau, [online] https://www.srl.de/dateien/dokumente/de/Planerin%204-13_Groschopf_Trojan.pdf, zuletzt geöffnet am 05.03.2020
- Gruppe Angepasste Technologie (o.J.): introduction, [online] <https://www.grat.at/>, zuletzt geöffnet am 14.12.2019
- Gruppe Angepasste Technologie (2001): Tagungsband Strohbau Symposium 2001, [online] https://www.grat.at/wp-content/uploads/2018/07/01_Strohbau-Tagungsband.pdf, zuletzt geöffnet am 03.04.2020
- Gruppe Angepasste Technologie (2018): Das S-House – Planen und Bauen für die Zukunft, [online] https://www.grat.at/wp-content/uploads/2018/07/2002-S-House_Broschuere.pdf, zuletzt geöffnet am 14.12.2019
- Gruber Herbert und Astrid, Santler Helmuth (2012): Neues Bauen mit Stroh in Europa, Staufen bei Freiburg, ökobuch Verlag

- Holzbau Austria (2019): Strohgescheit!, [online] https://www.holzbauaustria.at/news/2019/05/strohgescheit_.html zuletzt geöffnet am 21.04.2020
- Holzbauteam Tirol (o.J.): Prinzipien des nachhaltigen Bauens, [online] <http://holzhauskonfigurator.at/nachhaltiges-bauen-mit-holz/prinzipien-des-nachhaltigen-bauens.html>, zuletzt geöffnet am 04.03.2020
- Holzplus (2017): Systemhandbuch, [online] <https://www.holzplus.com/wp-content/uploads/2017/11/171130-holzplus-system-handbuch-web-de.pdf>, zuletzt geöffnet am 01.02.2020
- Infoportal Kaiser (o.J.): Wie entsteht Schimmel?, [online] <https://xn--gebuediagnostik-info-71b.de/diagnostik/schimmel/wie-entsteht-schimmel/>, zuletzt geöffnet am 10.01.2020
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (2017): Mit EPDs vom Bauprodukt zum nachhaltigen Gebäude, [online] https://www.youtube.com/watch?v=cUAFjQNVX_Q, zuletzt geöffnet am 16.03.2020
- Klimaaktiv Gebäudedatenbank (2019): Haus des Lernens, [online] <https://klimaaktiv-gebaut.at/haus-des-lernens.htm> zuletzt geöffnet am 21.04.2020
- Klima- und Energiefonds (o.J.): Faktencheck Nachhaltiges Bauen: Mit energieeffizienten Gebäuden zum erfolgreichen Klimaschutz, [online] <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/FCNB16Broschrefinal.pdf> zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Krick Benjamin (2008): Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise, Kassel, Kassel Uni. Press
- Liedl Petra, Rühm Bettina (2019): Gesundes Bauen und Wohnen, Baubiologie für Bauherren und Architekten, München, Deutsche Verlagsanstalt
- MA 39 (2012): Prüfbericht über den Feuerwiderstand einer tragenden, mit Strohäckselndämmung gedämmten Holzriegelkonstruktion, brandraumseitig verputzt, [online] <https://www.lopas.ag/index.php/hausbau-menu/brandschutz>, zuletzt geöffnet am 11.01.2020
- MAGK Architekten (o.J.): Haus des Lernens, [online] <http://www.magk.at/hdl>, zuletzt geöffnet am 21.04.2020
- Minke Gernot, Krick Benjamin (2014): Handbuch Strohballenbau Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele, Staufeu bei Freiburg, ökobuch Verlag
- Norddeutsches Zentrum für nachhaltiges Bauen (2014): Brandschutztest Strohballen-Wand mit Zentimeter Kalkputz, [online] <https://www.youtube.com/watch?v=PF1gP1DhgoE&t=7s>, zuletzt geöffnet am 11.01.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.), [online] <https://www.ibo.at>, zuletzt geöffnet am 27.02.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Zertifizierungssysteme für Bauprodukte, [online] <https://www.ibo.at/materialoekologie/umweltzeichen-fuer-bauprodukte/>, zuletzt geöffnet am 27.02.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Dämmstoffe, [online] <https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/daemmstoffe2013.pdf>, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien - Massivbaustoffe, [online] <https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/massivbaustoffe2013.pdf>, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien - Holzbaustoffe, [online] <https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/holzbaustoffe2013.pdf>, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Ökobilanzen, [online] <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekobilanzen/>, zuletzt geöffnet am 16.03.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Ökoindex OI3, [online] <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3/>, zuletzt geöffnet am 16.03.2020
- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o.J.): Umweltindikatoren, [online] <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/ibo-richtwerte-fuer-baumaterialien/treibhauspotenzial-primaerenergieverbrauch-versauerungspotenzial/>, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Österreichisches Institut für Bautechnik (2019): OIB – Richtlinie 2: Brandschutz [online] <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-2>, zuletzt geöffnet am 20.08.2020
- österreich.gv.at (2020): Die österreichische Klimaschutzstrategie/Politik, [online] https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/1/Seite.1000310.html, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Pramer Philip (2019): Böser Beton: Warum Zement der geheime Klimakiller ist, [online] <https://www.derstandard.at/story/2000102411187/boeser-beton-warum-zement-der-geheime-klimakiller-ist>, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Schneider Patricia, Pfoh Sandro, Grimm Franziska (2016): Leitfaden 01 Ökologische Kenndaten Baustoffe und Bauteile, [online] https://www.ppe.tum.de/fileadmin/w00bqx/www/content/uploads/151016_Leitfaden_OEkologische_Kenndaten.pdf, zuletzt geöffnet am 16.03.2020
- Schönburg Kurt (2017): Lehmbauarbeiten: Aktualität der herkömmlichen Lehmbauarbeiten, wirtschaftliche und technische Vorteile, Lehm und Lehmabbaustoffe, Neubau und Sanierung von Lehmbauten, Lehm-Gestaltungsarbeiten, Schäden an Lehmbauten, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag GmbH, 2. Auflage
- Schroeder Horst (2019): Lehmbau: Mit Lehm ökologisch planen und bauen Wiesbaden, Springer Vieweg Verlag, 3. Auflage
- Schubert Peter, persönliches Gespräch Besuch in seinem Büro am 13.01.2020
- Stacher S. (2020): Mehr Holz für weniger Klimawandel [online] <https://www.architektur-aktuell.at/news/mehr-holz-fuer-weniger-klimawandel>, zuletzt geöffnet am 14.09.2020
- Statistik Austria (2018): Energieeinsatz der Haushalte, [online] https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html, zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Steico Naturbaustoffe (o.J.): Steicojoist, [online] <https://www.steico.com/produkte/stegtraeger/steicojoist/ueberblick/> zuletzt geöffnet am 01.02.2020
- Tiss (o.J.): Forschungseinheitenprofil Fachbereich Gruppe Angepasste Technologie, [online] <https://tiss.tuwien.ac.at/fpl/research-unit/index.xhtml?id=2164294>, zuletzt geöffnet am 14.12.2019
- umweltbundesamt (o.J.): Treibhausgase, [online] <https://www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase> zuletzt geöffnet am 17.03.2020
- Viessmann (o.J.): Eisspeicher – innovative Energiequelle, [online] <https://www.viessmann.at/de/wohngebaeude/waerme-pumpe/eisenergiespeicher.html>, zuletzt geöffnet am 01.02.2020
- Widetschek Otto (2017): Vorbeugender Brandschutz, [online] http://www.brandschutz-info.at/wbinfo/media/download_gallery/BRANDSCHUTZ-Info_Nr._51_Bauprodukte_2.pdf, zuletzt geöffnet am 10.12.2019

WKO (o.J.): Bundes-Regierungsprogramm 2020 bis 2024: Aus für Ölheizung in der Sanierung ab 2021, [online]
<https://www.wko.at/branchen/stmk/gewerbe-handwerk/sanitaer-heizung-lueftung/regierungsprogramm-oelheizung.html>, zuletzt geöffnet am 04.09.2020

Wohn_fonds wien (2019): Ausschreibungstext Wettbewerb, [online] <https://www.wohnfonds.wien.at/articles/nav/138>
 zuletzt geöffnet am 05.03.2020

Wohn_fonds wien (o.J.): Wiener 4 Säulen Modell, [online] <https://www.wohnfonds.wien.at/articles/nav/142>
 zuletzt geöffnet am 05.03.2020

Wohn_fonds wien (2019): Beurteilungsblatt 4-Säulen Modell, [online]
https://www.wohnfonds.wien.at/media/neubau/4SaulenModell_wfw_2019.pdf
 zuletzt geöffnet am 05.03.2020

Wohn_fonds wien (o.J.): SMART-Wohnbauprogramm, [online] <https://www.wohnfonds.wien.at/articles/nav/164>
 zuletzt geöffnet am 05.03.2020

Wohn_fonds wien (2019): SMART-Wohnbauprogramm, [online]
https://www.wohnfonds.wien.at/media/file/Neubau/GSB/201908_SMART-Wohnbauprogramm.pdf
 Zuletzt geöffnet am 05.03.2020

Wohnportal (2019): Alles aus Stroh? Sowieso!, [online]
<https://wohnen.raiffeisen.at/alles-aus-stroh-sowieso/>, zuletzt geöffnet am 10.12.2019

Zoidl Franziska (2017): Eine Baugruppe, die aus Stroh baut, [online]
<https://www.derstandard.at/story/2000053920622/eine-bau-gruppe-die-aus-stroh-bau>, zuletzt geöffnet am 10.12.2019

Zoidl Franziska (2018): Pläne für fünfstöckiges Haus aus Stroh, [online]
<https://www.derstandard.at/story/2000091498799/plaene-fuer-ein-fuenfstoeckiges-haus-aus-stroh>, zuletzt geöffnet am 10.12.2019

08 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 01 IBO Prüfzeichen, Quelle: <https://www.ibo.at>
- Abb. 02 natureplus Prüfzeichen, Quelle: <https://www.ibo.at>
- Abb. 03 Österreichisches Umweltzeichen, Quelle: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start>
- Abb. 04 Verteilung der Treibhausgasemissionen und Änderungen zwischen 1990 und 2018, Quelle: https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/aktuelles/veranstaltungen/2020/Treibhausgas_Bilanz_2018.pdf
- Abb. 05 Fotografie der Fawn Lake Ranch, Quelle: <https://www.strohballenbau.info/historisches/>
- Abb. 06 Anteile der Prozesselemente am PEI, eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B (2014), S.29
- Abb. 07 Darstellung der Primärenergieinhalte verschiedener Dämmstoffe, eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B (2014), S. 30
- Abb. 08 mögliche Anordnungen der Stützen, eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B. (2014), S. 40
- Abb. 09 Darstellung von verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten, eigene Darstellung, Quelle: Krick B. (2008), S. 113
- Abb. 10 Ringbalken als Leiterkonstruktion, Ringbalken mit Lastverteilbrett, Ringbalken als Kasten aus Stegträgern, eigene Darstellung, Quelle: Minke G., Krick B. (2014), S. 55
- Abb. 11 Lasttragendes Wandsystem, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 56
- Abb. 12 (teil)lasttragende Hybridbauweise, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 64
- Abb. 13 Ständerkonstruktion außen gedämmt, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 68
- Abb. 14 Holzständersystem „infill“, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 72
- Abb. 15 Außen gedämmte Holzbox, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 71
- Abb. 16 Modulbau, eigene Darstellung, Quelle: Gruber H. und A., Santler H. (2012), S. 76
- Abb. 17 Systemzeichnung Catal Höyük
 Quelle: <http://www.kennymencher.com/2019/09/catal-huyuk-turkey-6500-bce-5700-bce.html>
- Abb. 18 Stoffkreislauf Lehm, eigene Darstellung
- Abb. 19 Bodenprofil, eigene Darstellung,
 Quelle: https://www.lfu.bayern.de/boden/boeden/boeden_brauchen_wissenschaft/horizonte_in_boeden/index.htm
- Abb. 20 Holzständerbauweise mit LL-Ausfachung, eigene Darstellung, Quelle: Schröder H. (2019), S. 369
- Abb. 21 Spalierdecke, Einschubdecke, Aufgelegte Decke, eigene Darstellung, Quelle: Schroeder H. (2019), S. 382-384
- Abb. 22 Entwurf Strohhaus, Quelle: <https://www.capital-a.at/strohhaus-wien>
- Abb. 23 Grundrisse Obergeschoss und Dachgeschoss, Quelle: <https://www.capital-a.at/strohhaus-wien>
- Abb. 24 Wandaufbau, eigene Darstellung, Quelle: Capital [A] architects, Stand 14.10.2019
- Abb. 25 Terrassenaufbau, eigene Darstellung, Quelle: Capital [A] architects, Stand 14.10.2019
- Abb. 26 Dachaufbau, eigene Darstellung, Quelle: Capital [A] architects, Stand 14.10.2019
- Abb. 27 Fotografie Haus des Lernens, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>
- Abb. 28 Grundriss Erdgeschoss, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>
- Abb. 29 Fotografie Liftschacht, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>
- Abb. 30 Fotografie Baustelle, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>
- Abb. 31 Fotografien Innenraum, Quelle: <http://www.magk.at/hdl>
- Abb. 32 Dimensionen des nachhaltigen Bauens, eigene Darstellung
 Quelle: <http://holzhauskonfigurator.at/nachhaltiges-bauen-mit-holz/prinzipien-des-nachhaltigen-bauens.html>
- Abb. 33 Ziele der Dimensionen des nachhaltigen Bauens, eigene Darstellung
- Abb. 34 Ziele des Wiener 4 Säulen Modells, eigene Darstellung
- Abb. 35 Standort, Wienkarte, eigene Darstellung, Quelle: <https://www.wienfuehrungen.at/home/wien-umriss/>
- Abb. 36 Fotos Umgebung, Quelle: eigene Aufnahmen
- Abb. 37 Raumprogramm, eigene Darstellung
- Abb. 38 Anordnung der Baukörper, eigene Darstellung
- Abb. 39 Aufbauten Ziegelmauerwerk und Stahlbetonwand, eigene Darstellung,
 Quelle: <https://www.baubook.info/BTR/>

- Abb. 40 Aufbauten Holzständerbauweise und Holzmassivbauweise, eigene Darstellung, Quelle: <https://www.baubook.info/BTR/>
- Abb. 41 Vergleich Holzanteil - Stahlbetonanteil, eigene Darstellung
- Abb. 42 Stahlbetonelemente, eigene Darstellung
- Abb. 43 Zuordnung der Materialien, eigene Darstellung
- Abb. 44 Zuordnung der Materialien einer Wohneinheit, eigene Darstellung
- Abb. 45 Systemskizze Bauteil 1, eigene Darstellung
- Abb. 46 Systemskizze Bauteil 2 und 3, eigene Darstellung
- Abb. 47 Schaubild 1, Blick von der Waldrebgasse, eigene Darstellung
- Abb. 48 Schaubild 2, Hof vom Kindergarten, eigene Darstellung
- Abb. 49 Schaubild 3, Terrasse, eigene Darstellung

8.1 Planverzeichnis

- Plan 01 Lageplan, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 02 Flächenwidmungsplan, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 03 Grundriss Tiefgarage, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 04 Grundriss Erdgeschoss, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 05 Grundriss Erdgeschoss, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 06 Grundriss 1. Obergeschoss, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 07 Grundriss 2. Obergeschoss, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 08 Grundriss Dachgeschoss, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 09 Schnitt 1-1, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 10 Schnitt 2-2, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 11 Ansicht 1, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 12 Ansicht 2, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 13 Wohnungstyp Garconnierenverbund, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 14 Wohnungstyp A - Smart, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 15 Wohnungstyp B+ - Smart, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 16 Wohnungstyp 2-Zimmer, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 17 Wohnungstyp B - Smart, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 18 Wohnungstyp C - Smart, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 19 Wohnungstyp D - Smart, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 20 Wohnungstyp 3-Zimmer, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 21 Ausschnitt Detailpunkte, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 22 Detail 1, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 23 Detail 2, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 24 Detail 3, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 25 Detail 4, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 26 Detail 5, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt
- Plan 27 Detail 6, von Autorin mit ArchiCad 23 erstellt

8.2 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1 Treibhauspotential von verschiedenen Baustoffen, eigene Darstellung
Quelle: Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Dämmstoffe
Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Massivbaustoffe
Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (2013): IBO-Richtwerte für Baumaterialien-Holzbaustoffe
- Tab. 2 Anforderungen an eine Fassade, eigene Darstellung
Quelle: Österreichisches Institut für Bautechnik (2019)
- Tab. 3 Umweltwirkungsindikatoren, eigene Darstellung
Quelle: Schroeder H. (2019), Seite 48
- Tab. 4 Punktesystem Wiener 4 Säulen Modell
Quelle: Wohn_fonds wien (o.J.): Wiener 4 Säulen Modell
- Tab. 5 maximaler Flächenverbrauch der jeweiligen Wohnungstypen
Quelle: Wohn_fonds wien (o.J.): SMART-Wohnbauprogramm