



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## **DIPLOMARBEIT**

# **Entwurf eines Holz- Hybrid Gebäudes im Zentrum von Wiener Neustadt unter besonderer Berücksichtigung einer nachhaltigen Bauweise**

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

**Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing.Wolfgang Winter**

E259

Institut für Architekturwissenschaften

Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

**eingereicht an der Technischen Universität Wien**

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

**Bernhard Bauer**

00740232

Wien, am 28. Mai 2018



## Kurzfassung

Durch den enormen Einfluss der Bauindustrie auf den globalen Ressourcen- und Energieverbrauch wird es in Zukunft beim Planen, Bauen, Sanieren und Nutzen von Gebäuden unerlässlich, das Handeln an Nachhaltigkeitsstrategien auszurichten. Nachhaltige Bauwerke sind wirtschaftlich effizient, umweltfreundlich und ressourcenschonend.

Mit dem Bewusstsein endlicher Ressourcen und den spürbaren Auswirkungen des Klimawandels, widmet sich diese Diplomarbeit dem Entwurf eines Holz- Hybrid Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung einer ökologisch nachhaltigen Bauweise im Zentrum von Wiener Neustadt.

Besondere Bedeutung wurde hierbei der Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen gewidmet. Rohstoffe, welche im östlichen Niederösterreich lokal verfügbar sind, geringe Transportwege versprechen und somit auch die lokale Bauwirtschaft profitieren kann.

Ein Tragwerk wurde geplant, welches eine multifunktionale Gebäudenutzung oder eine spätere Umnutzung des Gebäudes zulässt und sich somit positiv auf den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes auswirken soll.

Sichtbare Holzoberflächen sowie der Einsatz von Lehmputz,- und Stampflehmoberflächen wurden zu einer authentisch erlebbaren, modernen Architektur vereint. Weiters wurde besonders darauf geachtet atmungsaktive, diffusionsoffene Bauteile zu schaffen die ein gesundes Innenraumklima erzeugen und auch ein haptisches Erlebnis für die Gebäudenutzer darstellen. In der vorgelegten Diplomarbeit wurden die bauphysikalischen Eigenschaften wie etwa der Brandschutz, Feuchteschutz sowie der winterliche und sommerliche Wärmeschutz thematisiert und mit konventionellen Bauweisen verglichen.

Durch den gezielten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen soll gezeigt werden, dass bautechnische und bauphysikalisch hochwertige Bauteile und Bauweisen geplant und ausgeführt werden können. Ein weiterer Schritt in eine nachhaltig gebaute Zukunft.



## Abstract

According to the enormous influence of the construction industry on global resources and energy consumption, the future direction in planning, construction and redevelopment of buildings has to aim towards environmental sustainability. Sustainable buildings are economically efficient, ecologically friendly and essentially resource-conserving.

Being aware of limited resources and the remarkable impact of climate change, this diploma thesis is dedicated to the design of a timber-hybrid building with a special focus on sustainable construction in the center of Wiener Neustadt.

The utilization of locally available, renewable resources that would result in short transportation routes and would therefore bring economical benefit to the local construction industry was of special significance. The planned wing assembly supports a multifunctional facility utilization, supports a potential change of use of the building in the future and will therefore have a positive effect on the entire life cycle of the construction.

Visible wooden surfaces as well as the use of clay plaster- and rammed earth surfaces were combined to an authentic-appearing, modern architecture. Furthermore, there was a special focus on creating breathable, diffusion-open elements, which establish a healthy indoor climate condition and offer a haptic experience for the occupants of the building.

In the presented diploma thesis, the physical properties of the building such as fire safety, moisture- as well as summer and winter heat protection were discussed and parameters were compared with that of conventional buildings. By the systematic use of sustainable raw materials, this work demonstrates that buildings of structural and physical high quality are plan- and feasible and should become a regular element in modern construction industry.



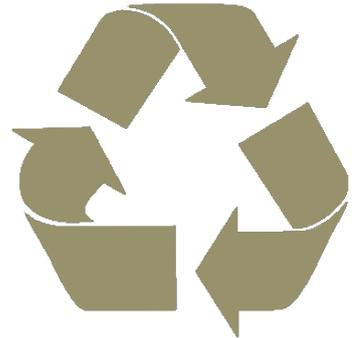
# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>3</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung Nachhaltigkeit als Leitgedanke</b>	<b>7</b>
1.1 Nachhaltigkeit als Leitgedanke.....	12
1.2 Welterschöpfungstag: Die Welt ist nicht genug .....	12
1.3 Ökologischer Fußabdruck und Biokapazität .....	14
1.4 Ressourcenverbrauch der Bauwirtschaft.....	16
1.5 Was ist Nachhaltigkeit.....	17
1.6 Nachhaltigkeit im Bauwesen.....	18
1.7 Begriffe der Nachhaltigkeit .....	20
<b>2 Ökologisch nachhaltige Baustoffe und Bauweise</b>	<b>23</b>
2.1 Ökobilanz- Bewertungsmethoden von Baustoffen .....	24
2.2 Umweltproduktdeklarationen EPD.....	26
2.3 Ökologische Materialkennwerte im Überblick .....	27
Ökologische Baustoffkonzepte.....	28
2.4 Bauweise Holz- Lehm- Stroh Bauweise mit Tradition.....	31
2.5 Umweltwirkungen und Ressourceneinsatz der Strohballenbauweise .....	34
2.6 Lokale, ökologische Rohstoffe/ Baustoffe .....	36
2.6.1 Holz .....	36
2.6.2 Stroh.....	37
2.6.3 Lehm .....	40
2.7 Materialeigenschaften der Baustoffe .....	41
2.7.1 Holz .....	41
2.7.2 Stroh.....	43
2.7.3 Lehm .....	44
2.8 Materialeigenschaften und Zusammenhänge .....	46
<b>3 Recherche ökologisch nachhaltiger Gebäude</b>	<b>49</b>
3.1 Moderne Holz- Mischbauweise.....	50
3.1.1 Illwerke Zentrum Montafon.....	50
3.1.2 HoHo Wien.....	56
3.2 Moderne Lehmbauweise.....	61

3.2.1 Alnatura Campus.....	61
3.3 Moderne Holz- Lehm- Stroh Mischbauweise.....	68
3.3.1 Haus S- Böheimkirchen .....	68
3.3.2 Haus des Lernens .....	72
<b>4 Entwurfsplanung</b>	<b>77</b>
4.1 Planungsaufgabe.....	78
4.2 Geografisch, topografische Lage .....	80
4.3 Klimadaten am Standort.....	80
4.4 Bauplatz und städtebauliche Situation .....	81
4.5 Entwurfskonzept.....	83
4.6 Raumprogramm .....	85
4.7 Entwurfsplanung.....	86
<b>5 Tragwerk</b>	<b>87</b>
5.1 Tragwerk im Überblick.....	88
5.2 Tragwerk im Detail .....	91
5.3 Auflagerausbildung .....	92
<b>6 Vorfertigung &amp; Montage</b>	<b>95</b>
6.1 Tragende und aussteifende Elemente.....	96
6.2 Fassadenelemente .....	99
6.3 Montageablauf.....	103
<b>7 Bauteile und Bauphysik</b>	<b>107</b>
7.1 Aufbauten.....	108
7.1.1 Bodenplatte .....	108
7.1.2 Geschoßdecken.....	108
7.1.3 Balkonkonstruktion .....	109
7.1.4 Dachaufbau- Begehbare Flachdach .....	109
7.1.5 Dachaufbau- Begrüntes Flachdach.....	110
7.1.6 Außenwandaufbau- Erdgeschoß .....	110
7.1.7 Außenwandaufbau- Obergeschoße .....	111
7.1.8 Erschließungskern.....	111
7.2 Brandschutz.....	112
7.2.1 Das Brandentstehungsrisiko in Holzgebäuden.....	112
7.2.2 Leistungsanforderung an den Brandschutz .....	113
7.2.3 Brennbarkeit und Feuerwiderstand .....	114
7.2.4 Leistungsvermögen des Holzbaus .....	117

7.2.5 Brandtests von strohgedämmten Bauteilen.....	119
7.2.6 Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse.....	124
7.3 Brandschutzkonzept.....	127
7.3.1 Baulicher Brandschutz .....	128
7.3.2 Anlagentechnischer Brandschutz.....	132
7.4 Feuchteschutz.....	133
7.4.1 Baustoff Holz.....	133
7.4.2 Mikrobielle Empfindlichkeit von Baustrohballen .....	135
7.4.3 Baustoff Lehm .....	139
7.4.4 Feuchtigkeitsverhalten der Gebäudehülle.....	142
7.5 Wärmeschutz .....	144
7.5.1 Wärmeschutzberechnung der Gebäudehülle .....	144
7.5.2 Sommerliche Überwärmung.....	146
7.5.3 Faktoren der sommerlichen Überwärmung.....	147
7.5.4 Sommerliche Überwärmung beim mehrgeschossigen Gebäude in Wiener Neustadt .....	151
<b>Anhang</b>	<b>160</b>
<b>Anhang 1- Schaubilder</b>	<b>160</b>
<b>Anhang 2- Entwurf</b>	<b>160</b>
<b>Anhang 3- Grundrisse</b>	<b>160</b>
<b>Anhang 4- Fassadenschnitt+ Detailplanung</b>	<b>160</b>
<b>Danksagung</b>	<b>161</b>
<b>Merkblatt für Verfasser von Hochschulschriften</b>	<b>163</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>165</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>171</b>





# 1

## Einleitung

### Nachhaltigkeit als Leitgedanke

Wir haben gelernt, uns ohne Muskelkraft fortzubewegen und zu fliegen, wir haben erreicht, drahtlos miteinander zu kommunizieren und unsere Spezies auf den Mond zu senden. Auch wenn der Fortschritt die Menschheit immer wieder positiv überrascht hat, gibt es dennoch einige unumstößliche Gesetzmäßigkeiten, die definitiv festgelegt sind. Zum Beispiel, dass man aus Eins nicht Zwei machen kann. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Quelle: Cree Rhomberg.



## 1.1 Nachhaltigkeit als Leitgedanke

Unser Planet bietet viel – aber nicht unendlich viel. Die globale Bevölkerung nimmt jährlich um 78 Millionen Menschen zu – was in etwa der Einwohnerzahl Deutschlands entspricht. Die heutigen Folgen der Klimakrise sind unübersehbar, wir nutzen natürliche Energiequellen nur unzureichend und beuten global alle Ressourcen unwiederbringlich aus. Dabei hinterlassen wir so viel Müll und CO<sub>2</sub>, als hätten wir eine zweite Erde zur Verfügung, die wir spätestens 2030 auch benötigen würden, um hinsichtlich unserer Ressourcen die Versorgung der Menschheit aufrecht zu erhalten.<sup>2</sup>

## 1.2 Welterschöpfungstag: Die Welt ist nicht genug

Wir nehmen mehr von unserem Planeten, als eigentlich vorhanden ist. Und wir nehmen immer mehr, immer schneller. Wir verbrauchen zu viele Rohstoffe, verschmutzen zu viel Wasser, fangen zu viele Fische, essen zu viel Fleisch, schlagen zu viel Holz, produzieren viel zu viel

Kohlendioxid. Der Tag, an dem die natürlichen Ressourcen für das ganze Jahr aufgebraucht sind, ist der Welterschöpfungstag, oder Earth Overshoot Day. In den letzten Jahren waren die Ressourcen unserer Erde regelmäßig bereits im August aufgebraucht, vier Monate vor Ablauf des Jahres.

Unsere Schulden an der Erde wachsen. Diese Schulden sind sichtbar und zeigen sich im Klimawandel, im Artensterben, Wassermangel und im Kollaps der Fischbestände. Wir können unsere Welt nicht unendlich ausbeuten. Die Verantwortung dafür tragen wir alle. Gerade im Westen verbrauchen wir viel zu viel, die Folgen tragen aber vor allem die armen Länder. Global betrachtet wurden die für das Jahr 2017 vorhandenen Ressourcen am 02. August aufgebraucht. Auf einzelne Länder bezogen liegt Luxemburg mit dem 17. Februar vorne. Deutschland hatte sein Limit am 24. April erreicht. Grundlage ist der Ökologische Fußabdruck von uns Menschen.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Quelle: Cree Rhomberg.

---

<sup>3</sup> Quelle: Cree Rhomberg.

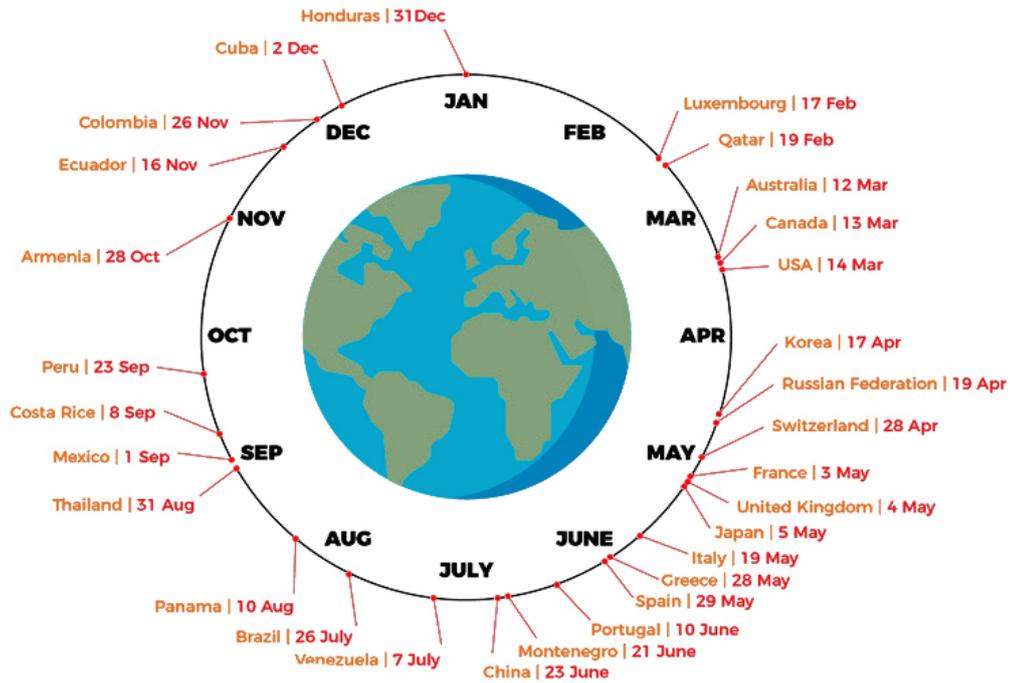


Abbildung 1: Welterschöpfungstag 2017



Abbildung 2 : Ressourcen des Planeten Erde



### 1.3 Ökologischer Fußabdruck und Biokapazität

Was würde passieren, wenn alle 6,4 Milliarden Menschen auf der Erde so leben wollten wie wir in Österreich? Gleiche Ernährung, ähnlicher Lebensstil, Energiebedarf etc? Footprint – der ökologische Fußabdruck – kann diese Fragen beantworten. Indem ermittelt wird, welche Fläche benötigt wird, um die Rohstoffe zur Verfügung zu stellen, die der Mensch für Ernährung, Konsum, Energiebedarf, Mobilität und Verkehr etc. verbraucht, sowie die Flächen, um Rückstände wie das Kohlendioxid aus der Verbrennung von fossiler Energie aufzunehmen und umzuwandeln. Die Ergebnisse sind alarmierend!

Der ökologische Fußabdruck einer/s durchschnittlichen EuropäerIn beträgt 4,8 Hektar, jener einer/s US-AmerikanerIn 9,4 Hektar. Ein/e ChinesIn hingegen muss mit 1,6 Hektar und eine InderIn mit gar nur 0,8 Hektar auskommen. Bei fairer Verteilung der produktiven Flächen unserer Erde entfallen auf jeden Menschen aber nur 1,8 Hektar. Für

Österreich heißt das: Mit einem Footprint von 4,9 Hektar leben wir deutlich über unsere Verhältnisse! Es bräuchte drei Planeten von der Qualität der Erde, um alle Menschen auf unserem Verschwendungsniveau leben zu lassen.

Und wenn wir auf einem biologisch vielfältigen artenreichen Planeten leben wollen, so müssen wir zusätzlich zumindest 20 % der bioproduktiven Flächen für die Wildnis und ihre Lebewesen reservieren. In diesem Fall bleiben etwa 1,4 ha pro ErdenbürgerIn. Und dieser Wert wird weiter abnehmen, da fruchtbarer Boden schwindet und die Bevölkerung wächst! Seit Ende der 80er Jahre hat der gesamte, globale Fußabdruck die weltweite Biokapazität überschritten. Heute ist der weltweite Fußabdruck bereits um 25 % größer als die nachhaltig auf der Erde verfügbaren Ressourcen. Das heißt, die Menschheit lebt nicht mehr von den „Zinsen“ der Natur, sondern verbraucht bereits das „Kapital“ der Erde.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Quelle: [www.footprint.at](http://www.footprint.at)

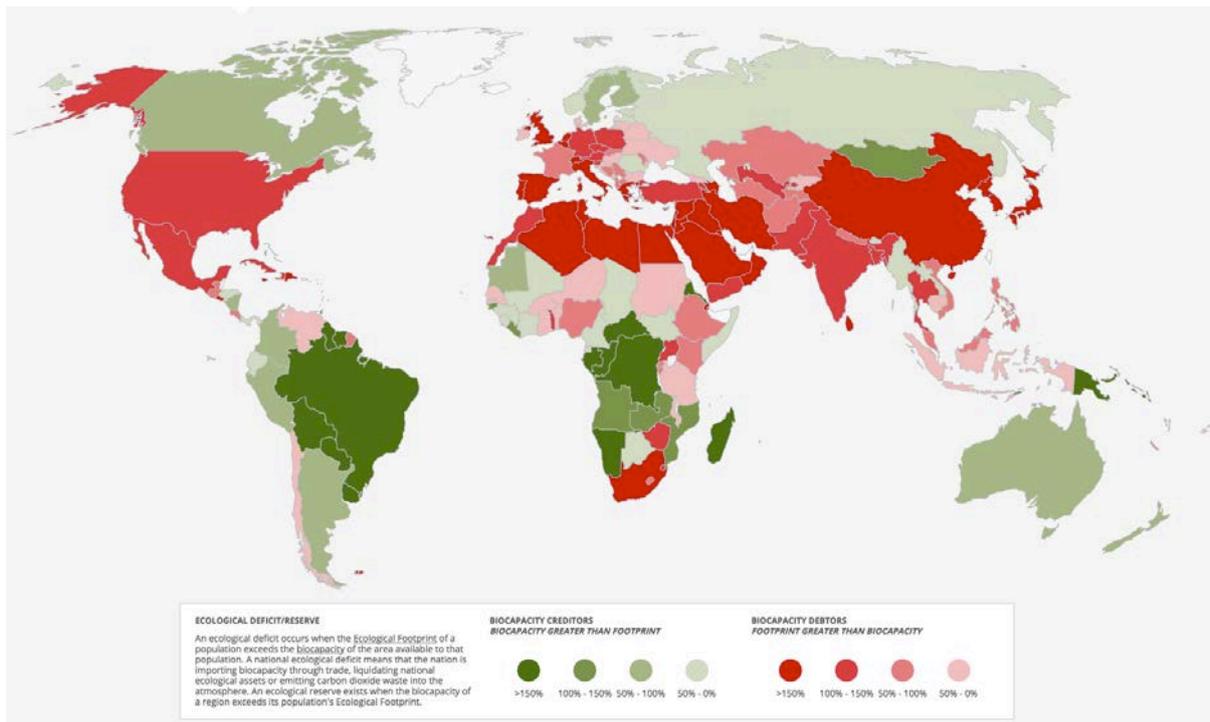


Abbildung 3: Reserven und Defizite der Biokapazität

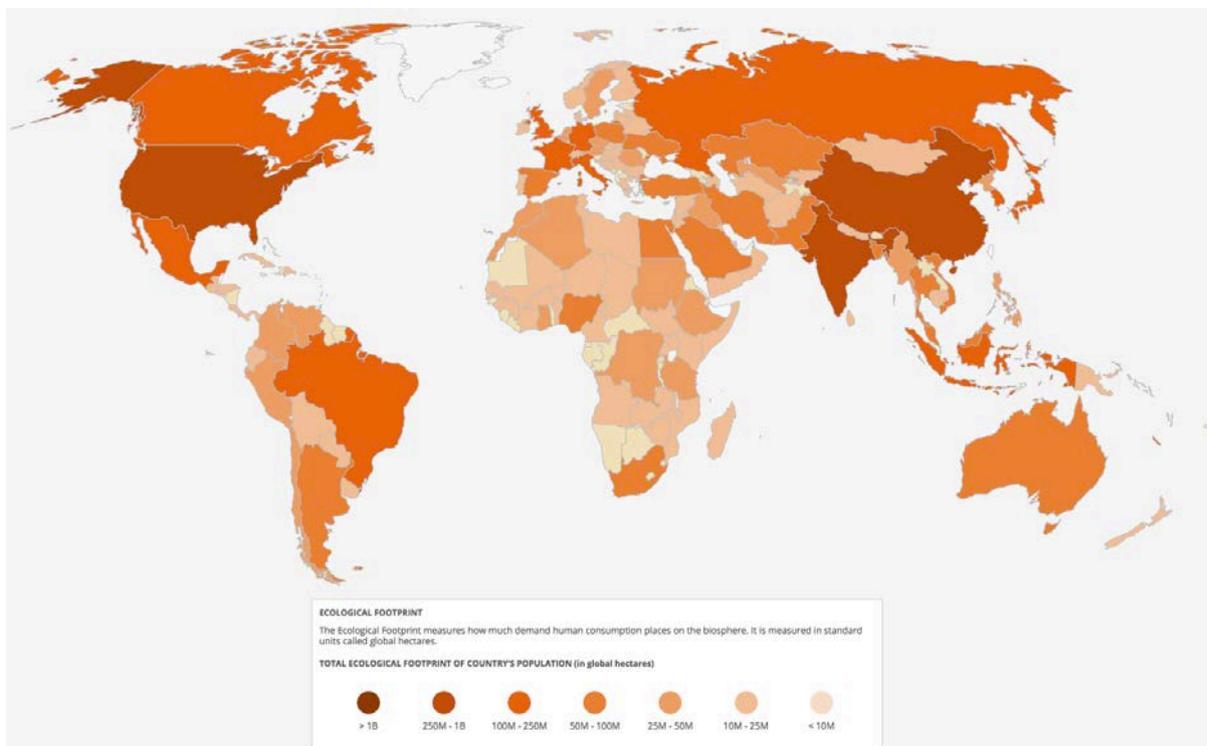


Abbildung 4: Ökologischer Footprint

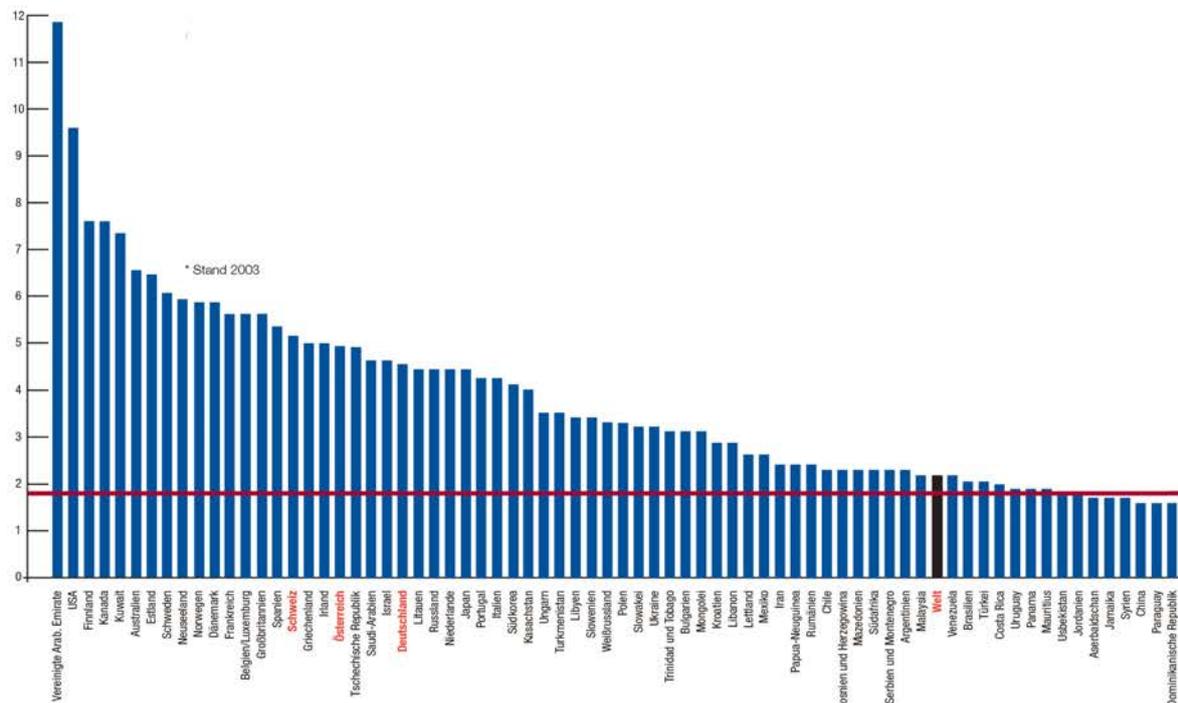


Abbildung 4: Ökologischer Fußabdruck pro Person \* Stand 2003  
Die rote Linie markiert die weltweite Biokapazität von 1,8 Hektar/Person

## 1.4 Ressourcenverbrauch der Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft gehört zu den ressourcenintensiven Wirtschaftszweigen. In der Bauwirtschaft wird rund ein Drittel des gesamten Materialverbrauches der österreichischen Volkswirtschaft umgesetzt.

Das verdeutlicht die Dringlichkeit der Forderung nach einem schonenden Umgang mit den nicht unbegrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen für Bauvorhaben.

Mit dem Einsatz regionaler Rohstoffe können die regionale Wertschöpfung und die Versorgungsunabhängigkeit erhöht werden.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Quelle: Informationsbroschüre „Nachhaltiges Bauen“ im Auftrag der Kärntner Landesregierung.



Im Detail gehen folgende Anteile für den Bausektor auf.

Positiv gesehen, steckt durch diesen großen Einfluss der Bauwirtschaft, bei einer Entwicklung in Richtung nachhaltigem Bauen, ein enormes Potenzial in diesem Sektor.

Genau daher muss der Nachhaltigkeit im Bauwesen in Zukunft eine viel größere Bedeutung geschenkt werden.

### 1.5 Was ist Nachhaltigkeit

Traditionell gesehen kommt der Begriff der Nachhaltigkeit aus der Forstwirtschaft. Das Prinzip der Nachhaltigkeit wurde erstmals 1713 von Hans Carl von Carlowitz schriftlich formuliert: "Man darf in einem Jahr nur soviel Holz aus dem Wald schlagen, wie in einem Jahr nachwächst."

Leider wird der Begriff der Nachhaltigkeit in den letzten Jahren inflationär gebraucht und missbraucht. Alles Mögliche von der Plastikflasche bis zur Kerze aus zertifiziertem Palmöl wird uns als "nachhaltig" verkauft.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Quelle: www.global 2000.at

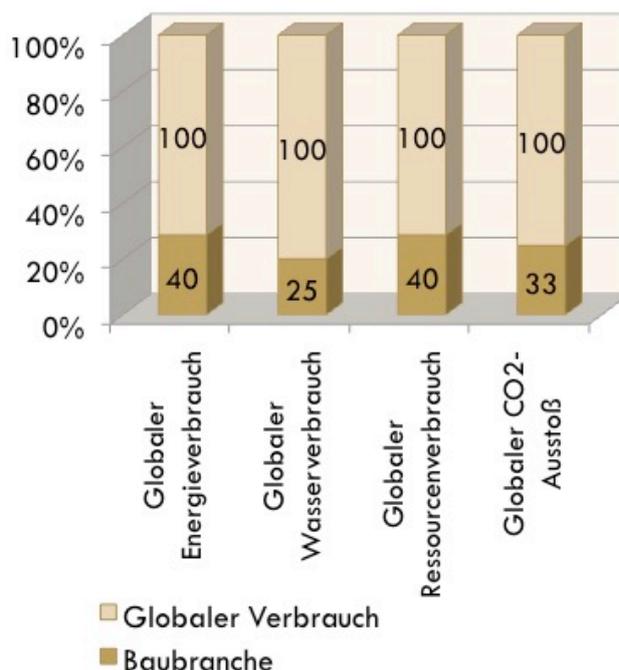


Abbildung 5: Ressourcenverbrauch

In Wirklichkeit bedeutet Nachhaltigkeit:

*„Nachhaltigkeit ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“<sup>7</sup>*

Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung sind der möglichst sparsame und effiziente Einsatz und der Schutz natürlicher Ressourcen (Ressourceneffizienz). Als „Ressourcen“ werden alle vom Menschen nutzbaren natürlichen

<sup>7</sup> (Quelle: Brundtland Bericht I 1987)



Rohstoffe wie Energieträger, Materie und Raum und die Teilbereiche der Umwelt, nämlich Boden, Wasser und Luft, bezeichnet. Dabei basiert das gängige Nachhaltigkeitskonzept auf einem Dreisäulenmodell.

Abbildung 6: Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit



### 1.6 Nachhaltigkeit im Bauwesen

Die Idee des Dreisäulenprinzips lässt sich auch auf das Bauen übertragen.

**Die Ökonomie** bezieht sich darauf, dass wir Gebäude wirtschaftlich sinnvoll und über dessen gesamten Lebenszyklus betrachten.

**Die Ökologie** steht – vereinfacht gesprochen – für den ressourcen- und umweltschonenden Bau von Gebäuden.

Im Fokus **des Sozialen** steht der Nutzer des Gebäudes. Von nachhaltigem Handeln kann also dann gesprochen werden, wenn diese drei Dimensionen in Einklang gebracht sind.

Das Nachhaltigkeitskonzept der DGNB geht jedoch noch einen Schritt weiter und setzt auf insgesamt sechs Themenfelder. So spielen zusätzlich zur Ökologie, Ökonomie und den soziokulturellen und funktionalen Aspekten auch die Technik, der Prozess und der Standort bei der Planung und dem Bau von Gebäuden eine Rolle.<sup>8</sup>

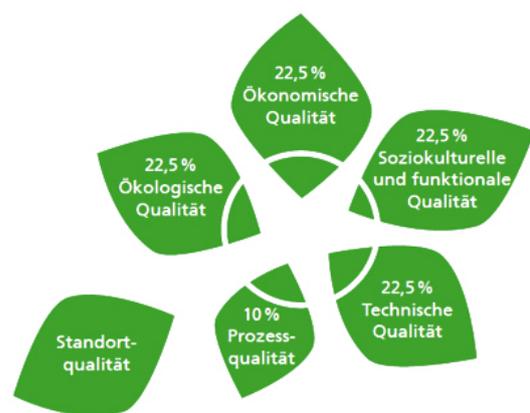


Abbildung 7: Nachhaltigkeit

<sup>8</sup> Quelle: www.dgnb.at



Im Detail spricht man von folgenden Faktoren im Bauwesen:

- Städtebaulicher Kontext
- Inanspruchnahme von natürlichen Flächen.
- Baumassenverteilung am Grundstück.
- Smart Grid.
- Multifunktionale Nutzbarkeit.
- Ökologische Bauweise  
Geringer Energie,- und Wasserverbrauch, Verwendung von lokal nachwachsenden Rohstoffen.

- 
- Umbau und Sanierung statt Neubau.
- Lebenszyklus eines Gebäudes und deren Bewohner → soziale Nachhaltigkeit.
- Rückbau und Recyclingfähigkeit.<sup>9</sup>

Das alles bedeutet Nachhaltigkeit im Bauwesen. Wie hier erkennbar, ist die ökologische Bauweise nur einer von vielen Aspekten der Nachhaltigkeit, welcher in dieser Arbeit jedoch verstärkt behandelt wird.

---

<sup>9</sup> Quelle: Modul BIOS, Vorlesung Adolf Merl



## 1.7 Begriffe der Nachhaltigkeit

Begriffe, welche im Bezug mit der Nachhaltigkeit immer wieder erwähnt werden, sind Effizienz, Suffizienz und der Rebound Effekt.

### Effizienz

Öko-Effizienz bezeichnet das Konzept, die Ressourcen-Produktivität zu erhöhen, d. h., dass der Ressourceneinsatz für einen ökonomisch festgelegten Output optimiert wird. Diese Optimierung beschränkt sich auf technologische Innovationen und ist gemeinhin anerkannt. Das bekannteste Beispiel ist ein spritsparenderes Auto: Der Output „1 Auto“ bleibt, aber der Ressourceneinsatz im Betrieb ist aufgrund eines effizienteren Motors verbessert worden.

Häufig wird Effizienz aber mit Energieeffizienz gleichgesetzt. Dabei gilt es noch u.a. die Effizienz im Materialverbrauch und Wassereinsatz zu betrachten. Gerade im produzierenden Gewerbe ist das Material mit ca. 50% der Hauptkostenblock und der Haupttreiber für CO<sub>2</sub>-Emissionen und Flächenverbrauch (Verlust an Biodiversität).

### Suffizienz

Doch Effizienz alleine reicht für eine nachhaltige Entwicklung nicht aus. Öko-Suffizienz bedeutet einen absoluten – und nicht nur relativen – geringeren Ressourceneinsatz, um einen ökonomisch sinnvollen und ökologisch vertretbaren Output zu erreichen. Oder anders: Der Begriff bezeichnet „eine Lebens- und Wirtschaftsweise, die dem Überverbrauch von Gütern und damit von Stoffen und Energie ein Ende setzt.“ (Linz 2012: Online). Angelika Zahrt gab in ihrem Interview passende Beispiele: „Weniger Auto fahren, mehr öffentliche Verkehrsmittel nutzen, mehr Rad fahren und zu Fuß gehen“. Somit sinkt der absolute Fußabdruck, den wir hinterlassen.

### Effizienz und Suffizienz

Es ist entscheidend, dass Effizienz und Suffizienz strategisch gemeinsam betrachtet werden und sich dabei sinnvoll ergänzen. Dies darf aber nicht als selbstloses Unterfangen missverstanden werden. Denn anders gesagt, wollen wir nicht nur mit weniger Input den gleichen Output, sondern einen



gesellschaftlich sinnvolleren Output aus den vorhandenen Ressourcen machen. Der Output ist damit keine rein quantitative Größe mehr, sondern ebenso eine qualitative. Wird für den sinnvolleren Output eine Ressource nicht mehr benötigt, bleibt sie ungenutzt. So kann der absolute Verbrauch sinken.

### **Rebound Effekt**

Es muss an dieser Stelle erwähnt werden, dass Effizienz und Suffizienz nicht frei von Rebound-Effekten sind. Gemeint ist damit, dass zwar prinzipiell Einsparungen in Hinblick auf die verwendeten Ressourcen entstehen, dieser positive Effekt jedoch durch eine gesteigerte oder veränderte Nutzung überkompensiert werden kann.

In der Gesamtbilanz führt dies zu einem Mehrverbrauch.<sup>10</sup>

Ein gutes Beispiel: Ein sparsamer Pkw verursacht geringere Treibstoffkosten pro gefahrenem Kilometer. Das wirkt sich zumeist auf das Fahrverhalten aus: Wege werden häufiger mit dem Pkw zurückgelegt, längere Strecken

gefahren und öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad dafür weniger genutzt. So kommt es, dass die technisch möglichen Effizienzgewinne in der Praxis häufig nicht erreicht werden, weil das Produkt häufiger oder intensiver genutzt wird.<sup>11</sup>

Es gibt verschiedene Arten von Rebound-Effekten, die es in den Überlegungen zu berücksichtigen gilt:

- Direkter Rebound:  
Eine Dienstleistung, die effizienter geworden ist, kann dadurch billiger angeboten werden. Was billiger wird, wird stärker nachgefragt.
- Indirekter Rebound:  
Wer dank Effizienzsteigerung Energie und damit Geld spart, gibt das Geld für anderes aus, das ebenfalls Energie verbraucht.
- Ressourcen-Effekt:  
Im Sinne der Effizienz wird eine endliche Ressource durch eine andere endliche Ressource ersetzt. Das Ziel eines regenerierbaren Systems ist damit nicht gelöst.
- Transformations-Effekt:  
Technische Effizienzsteigerungen

<sup>10</sup> Quelle: [nachhaltig-sein.info](http://nachhaltig-sein.info)

<sup>11</sup> Quelle: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)



verändern das Konsumverhalten, was sich auf Infrastrukturen, soziale Normen und so weiter auswirkt.

- Mental Rebound:

Verschiedentlich führen Einsparungen durch effizientere Technologien zur moralischen Selbstlegitimierung (Moral licensing) von zusätzlichem Konsum.<sup>8</sup>

Unter Berücksichtigung der Wichtigkeit einer nachhaltigen Entwicklung im Bauwesen sollen nun die weiteren Kapitel bearbeitet werden.

Besonderes Augenmerk wird eben auf den Einsatz von ökologischen, nachwachsenden Materialien gelegt. Durch den gemeinsamen Einsatz im Bauteil können konstruktive sowie bauphysikalisch hochwertige Bauteile generiert werden, welche noch dazu für ein gesundes Raumklima sorgen.



## 2

### **Ökologisch nachhaltige Baustoffe und Bauweise**

Bei der Analyse und Baustoffwahl wurde besonderes Augenmerk auf lokale, nachwachsende Rohstoffe gelegt. Rohstoffe mit Jahrtausend langer Traditionen, welche den Kriterien der Nachhaltigkeit entsprechen und unter Berücksichtigung ihrer Qualitäten entsprechend zum Einsatz gebracht werden sollen. Baustoffe welche diffusionsoffene, atmungsaktive Bauteile ermöglichen und somit ein gesundes Raumklima fördern.



## 2.1 Ökobilanz- Bewertungsmethoden von Baustoffen

Eine Ökobilanz ist ein quantitatives Bewertungsverfahren. Dabei werden die Stoff- und Energieflüsse von Bauprodukten, -systemen oder Prozessen, nach Fragestellung für das Werk, einzelne Lebensabschnitte oder über den gesamten Lebenszyklus bilanziert. Die internationalen Standards zur Erstellung von Ökobilanzen sind in ISO 14040 und ISO 14044 festgelegt. Ökobilanzen sind Bestandteil von Umweltproduktdeklarationen – Typ III Umweltdeklarationen nach ISO 14025 und EN 15804 und können, müssen aber nicht, zur Bewertung des Bauprodukts im Rahmen von Umweltzeichen wie natureplus oder IBO Prüfzeichen herangezogen werden. Nicht zuletzt dienen Ökobilanzen Herstellern auch dazu, Produktionsprozesse zu optimieren. Bisher wurden für mehr als 500 Baustoffe IBO-Richtwerte festgelegt. Für jeden Prozessschritt müssen dazu Material-, Transport- und Energieinputs sowie Emissionen in Luft, Boden, Wasser und Abfälle ermittelt werden.

Folgende ökologische Kennzahlen werden angegeben: <sup>12</sup>

**PEI: Primärenergieinhalt**  
aus nicht regenerierbaren sowie aus regenerierbaren Quellen. Hier wird der Energieverbrauch, welcher für die Rohstoffgewinnung und die Produktion, also bis hin zum "Produkt ab Werk" aufgewandt wird, beurteilt.  
Einheit in MJ (1MJ=1/4kWh).

**GWP: Global Warming Potential** oder auch Treibhauspotential. Die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre führt zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Treibhauseffekt). Das Treibhauspotenzial eines Stoffes wird stets im Vergleich zum Treibhauspotenzial von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) angegeben, das heißt, treibhauswirksame Emissionen werden als Kohlendioxid-(CO<sub>2</sub>)-Äquivalente ausgedrückt. Da die Treibhausgase unterschiedlich lange in der Atmosphäre verweilen, muss der GWP-Wert auf einen Zeitraum bezogen werden.

<sup>12</sup>

Quelle: [www.ibo.at](http://www.ibo.at)



Für die Charakterisierung der Beiträge zum GWP wird ein Zeitraum von 100 Jahren zugrunde gelegt. Des Weiteren wird über Wirkungsfaktoren beschrieben, in welchem Ausmaß verschiedene Stoffe zum Treibhauspotenzial beitragen. Über den Zeitraum von 100 Jahren betrachtet, hat Methan bei gleicher Masse bspw. den 25-fachen Wirkungsfaktor im Vergleich zu CO<sub>2</sub>. Damit beträgt das CO<sub>2</sub>-Äquivalent von Methan 25. Das bedeutet, Methan trägt bei gleicher Masse 25-mal mehr zum Treibhauseffekt bei als CO<sub>2</sub> (mit dem GWP-Wert von 1). Die Einheit des CO<sub>2</sub>-Äquivalent (kgCO<sub>2</sub>/kg).

#### **AP: Versauerungspotential**

Das Versauerungspotenzial (AP - Acidification potential) gibt die Auswirkung versauernder Emissionen an.

Es wird in Schwefeldioxid-(SO<sub>2</sub>)-Äquivalenten gemessen. Luftschadstoffe wie zum Beispiel Schwefel- und Stickstoffverbindungen reagieren in der Luft mit Wasser zu Schwefel- bzw. Salpetersäure; diese fällt dann als „Saurer Regen“ zur Erde und gelangt so in Boden und Gewässer. Dadurch werden Lebewesen und Gebäude geschädigt. In Summe verursachen die vielen einzelnen Wirkungen der Versauerung zwei schwerwiegende Folgen: das Sterben von Wäldern und von Fischen. Saure Niederschläge greifen aber auch Gebäude an. Vor allem der Sandstein an historischen Bauwerken ist davon betroffen.<sup>13</sup>

<sup>13</sup>

Quelle: [www.dgnb-systems.de](http://www.dgnb-systems.de)



## 2.2 Umweltproduktdeklarationen EPD

All diese Faktoren werden dann in sogenannten Umweltproduktdeklarationen (EPD) für Baustoffe zusammengefasst, welche dann für die ökologische Produktbewertung herangezogen werden.

Umweltdeklarationen von Bauprodukten (Environmental Product Declarations, EPD) stellen umweltbezogene Daten bereit.

Mit einer EPD kann nachgewiesen werden, dass ein Produkt die

Grundanforderungen der Europäischen Bauproduktverordnung erfüllt.

Die österreichische EPD-Plattform für Bauprodukte, Bau EPD GmbH, möchte eine einheitliche Basis für die Erstellung von Ökobilanzen im Baubereich schaffen. Diese Bestrebungen sollen zu konsistenten und damit vergleichbaren Baustoffdaten führen, welche auch in Gebäudebewertungssystemen Eingang finden können.<sup>14</sup>

## 5 LCA: Ergebnisse

### ANGABE DER SYSTEMGRENZEN (X = IN ÖKOBIANZ ENTHALTEN; MND = MODUL NICHT DEKLARIERT)

Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium				Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze
Rohstoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport zur Baustelle	Einbau ins Gebäude	Nutzung / Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotenzial
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X

### ERGEBNISSE DER ÖKOBIANZ UMWELTAUSWIRKUNGEN: 1m² BSP

Parameter	Einheit	Produktion					Entsorgung				Gutschrift
		A1	A2	A3	C2	C3	C4	D			
GWP	[kg CO <sub>2</sub> -Äq.]	-7,31E+02	7,23E+00	1,22E+02	4,45E-01	7,93E+02	0,00E+00	-3,60E+02			
ODP	[kg CFC11-Äq.]	4,29E-06	7,71E-08	2,84E-05	8,89E-10	1,19E-06	0,00E+00	-8,23E-05			
AP	[kg SO <sub>2</sub> -Äq.]	2,41E-01	3,12E-02	4,00E-01	1,91E-03	6,98E-03	0,00E+00	-3,70E-01			
EP	[kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -Äq.]	5,83E-02	7,10E-03	6,75E-02	4,42E-04	5,89E-04	0,00E+00	-3,55E-03			
POCP	[kg Ethen Äq.]	5,19E-02	3,18E-03	8,01E-02	2,07E-04	4,64E-04	0,00E+00	-2,48E-02			
ADPE	[kg Sb Äq.]	4,97E-04	2,23E-07	1,19E-04	9,39E-09	1,23E-07	0,00E+00	-6,23E-06			
ADPF	[MJ]	8,55E+02	1,00E+02	1,32E+03	6,28E+00	4,62E+01	0,00E+00	-4,05E+03			

Legende: GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

### ERGEBNISSE DER ÖKOBIANZ RESSOURCENEINSAZ: 1m³ BSP

Parameter	Einheit	Produktion					Entsorgung				Gutschrift
		A1	A2	A3	C2	C3	C4	D			
PERE	[MJ]	8,29E+02	3,67E-01	1,69E+03	8,31E-03	4,70E+00	0,00E+00	-3,28E+02			
PERM	[MJ]	8,29E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			
PERT	[MJ]	9,12E+03	3,67E-01	1,69E+03	8,31E-03	4,70E+00	0,00E+00	-3,28E+02			
PENRE	[MJ]	9,04E+02	1,03E+02	2,29E+03	6,31E+00	8,78E+01	0,00E+00	-7,39E+03			
PENRM	[MJ]	9,95E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			
PENRT	[MJ]	1,00E+03	1,03E+02	2,29E+03	6,31E+00	8,78E+01	0,00E+00	-7,39E+03			
SM	[kg]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			
RSF	[MJ]	6,39E+01	0,00E+00	3,84E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,28E+03			
NRSF	[MJ]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			
FW	[m³]	8,06E+02	4,51E+00	1,42E+03	1,18E-01	4,99E+01	0,00E+00	3,36E+03			

Abbildung 8: Ausschnitt aus einer Umwelt-Produktdeklaration- Baustoff KLH

Hier ein Beispiel für ein Ergebnis einer Umweltproduktdeklaration von Brettsperrholz.



## 2.3 Ökologische Materialkennwerte im Überblick

Nachwachsende Rohstoffe speichern CO<sub>2</sub> und können meist ohne großem Abfallaufkommen genutzt werden.

Holz wird z.B.: ab verlassen des Waldes zu 98% verwertet:

- Schnittholz
- Holzspäne → Platten
- Holzfasern → Platten, Heizgut,.

	Globales Erwärmungspotential GWP (kg CO <sub>2</sub> - Äq)	Erneuerbare Primärenergie PERT (MJ/kg)	Nicht erneuerbare Primärenergie PENRT (MJ/kg)	Versauerungspotential AP (kg SO <sub>2</sub> Äq)
<b>Brettschicht</b>	-1,24	21	7,39	0,00236
Brettsper Holz	-1,1	14,9	7,46	0,00226
Trockenbeton C25/30	0,0951	0,0198	0,636	0,000181
Hochlochziegel	0,182	0,384	2,3	0,000514
Baustahl	0,8	0,57	11,78	0,00179
Aluminiumblech	6,42	16	85,8	0,0302
Stahlbeton				
<b>Stroh</b>	<b>-1,25</b>	<b>14,6</b>	<b>0,801</b>	<b>0,000852</b>
Kork	-1,22	16,9	6,45	0,00189
Holzfasern- Dämmplatten	-0,804	19,1	14,4	0,004
Schaumglasschotter	0,429	0,363	7,72	0,00193
Steinwolle	1,93	0,783	21,4	0,0141
Glaswolle	2,45	2,55	46,2	0,0153
EPS	4,17	0,959	98,9	0,0149
XPS	4,2	0,879	93,6	0,0155
<b>Lehmputz</b>	<b>-0,00338</b>	<b>0,331</b>	<b>0,419</b>	<b>0,00011</b>
Kalk/ Zement	0,155	0,308	1,36	0,000359
Gips	0,168	0,444	2,51	0,000517
Kalk	0,178	0,349	2,11	0,000524

Abbildung 10: Öko- Kenndaten im Vergleich

In 1663,9cm<sup>3</sup> Konstruktionsholz (Kiefer) aber in nur 1,3 cm<sup>3</sup> Aluminium ist jeweils 1 MJ Primärenergieinhalt enthalten.

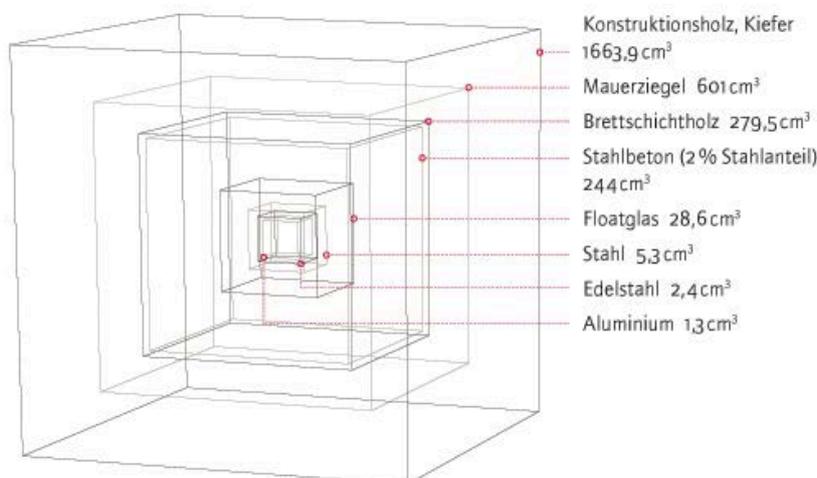


Abbildung 9: Primärenergieinhalt im Vergleich



## Ökologische Baustoffkonzepte

Ressourcen und somit auch Baustoffe, stehen regional je nach klimatischen und geologischen Gegebenheiten in unterschiedlicher Menge und Qualität zur Verfügung. Nachhaltigkeit bedeutet, auf die regionale Situation einzugehen und entsprechende Prioritäten zu setzen. So ist beispielsweise die Schonung der Ressource Wasser immer wichtig, aber die Bedeutung ist in trockenen Regionen eine andere als in wasserreichen Regionen. Der Einsatz regional, nachwachsender Rohstoffe (wie beispielsweise Holz, Stroh oder Hanf) ist ein wichtiges Kriterium der Nachhaltigkeit.<sup>15</sup>

Des Weiteren muss der gesamte Lebenszyklus einer Ressource, eines Materials und Baustoffes betrachtet werden.

Lebenszyklusanalyse:

- Rohstoffgewinnung
- Herstellung
- Transport
- Einbau
- Nutzungsdauer
- Entsorgung und Recycling

**Abfälle, Nebenprodukte und Baurestmassen** sind so gut es geht zu vermindern, z.B.: ist darauf acht zu geben, welche Abfälle schon bei der Rohstoffgewinnung erzeugt werden.

**Transportwege** sollen kurz gehalten werden. Die Verwendung von lokalen Rohstoffen ist zu bevorzugen.

**Einbau:** Mechanische Verbindungen sind aufgrund einer besseren Rückbaubarkeit zu bevorzugen.

**Nutzungsdauer:** Die Langlebigkeit von Materialien und damit auch die Nutzungsdauer von Gebäuden kann aus Sicht der Baustoffauswahl nur durch den richtigen Einsatzbereich und den korrekten Einbau von Baustoffen beeinflusst werden. Darüber hinaus kann eine Umnutzung durch das richtige Bausystem die Nutzungsdauer erheblich beeinflussen.

**Entsorgung und Recycling:** Am Ende der Lebensdauer ist es wichtig, dass ein Materialkreislauf gegeben ist, d.h. nach Ende der Lebensdauer sollen Baustoffe wieder verwertbar oder zumindest thermisch verwertbar sein.

<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Quelle: [www.rma.at](http://www.rma.at);  
Nachhaltig Bauen

<sup>16</sup> Quelle: VO2 Materialtechnologie  
SS 2013, Günter Pichler



## Lebenszyklus am Beispiel von Holz

Der Wald bindet während seines Wachstums große Mengen Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Mit Hilfe von Sonnenlicht wird das energiearme CO<sub>2</sub>-Molekül in ein energiereiches Kohlenstoffatom und ein energiereiches Sauerstoffmolekül zerlegt. Der Sauerstoff (O) wird wieder an die Umgebungsluft abgegeben. Der Kohlenstoff (C) hingegen dient dem organischen Aufbau des Baumes und bleibt für seine gesamte Lebensdauer gebunden. Wird ein Baum zur Holzproduktion genutzt, so bleibt der Kohlenstoff über die Lebensdauer des Produkts darin gebunden. Das Holzprodukt wird zum dauerhaften Kohlenstoffspeicher. Frei wird er erst, wenn das Holz z. B. verbrannt wird oder verrottet.<sup>17</sup>

Nach ihrer ersten Nutzungsdauer können Holzprodukte in anderer Form weiterverwendet werden (nach z.B. Abschluss eines primären Einsatzzyklus als u.a. Möbel oder Gebrauchsgegenstände, kann durch Rückbau wiederum das Ausgangsmaterial einer Span- oder Faserplatte entstehen). Das in den Produkten gespeicherte CO<sub>2</sub> bleibt während dieser Nutzungen dauerhaft gebunden.

Nach stofflicher Nutzung können Holzprodukte am Ende ihres Lebensweges thermisch genutzt werden. Im Gegensatz zu anderen Baustoffen, die bei ihrer Entsorgung fossile Energie verbrauchen, geben Holzbaustoffe die in ihnen gespeicherte Sonnenenergie CO<sub>2</sub>-neutral wieder ab.<sup>17</sup>

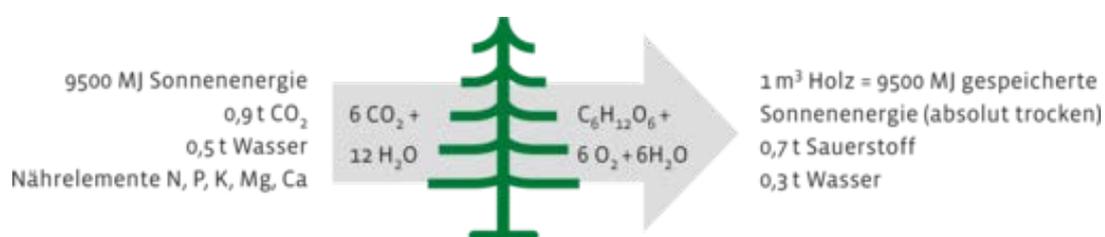


Abbildung 11: Kohlenstoffspeicher Holz

<sup>17</sup>

Quelle: [www.dataholz.at](http://www.dataholz.at)



Holz ist ein idealer Kreislaufwerkstoff.  
Holzprodukte können wieder und weiterverwendet werden.

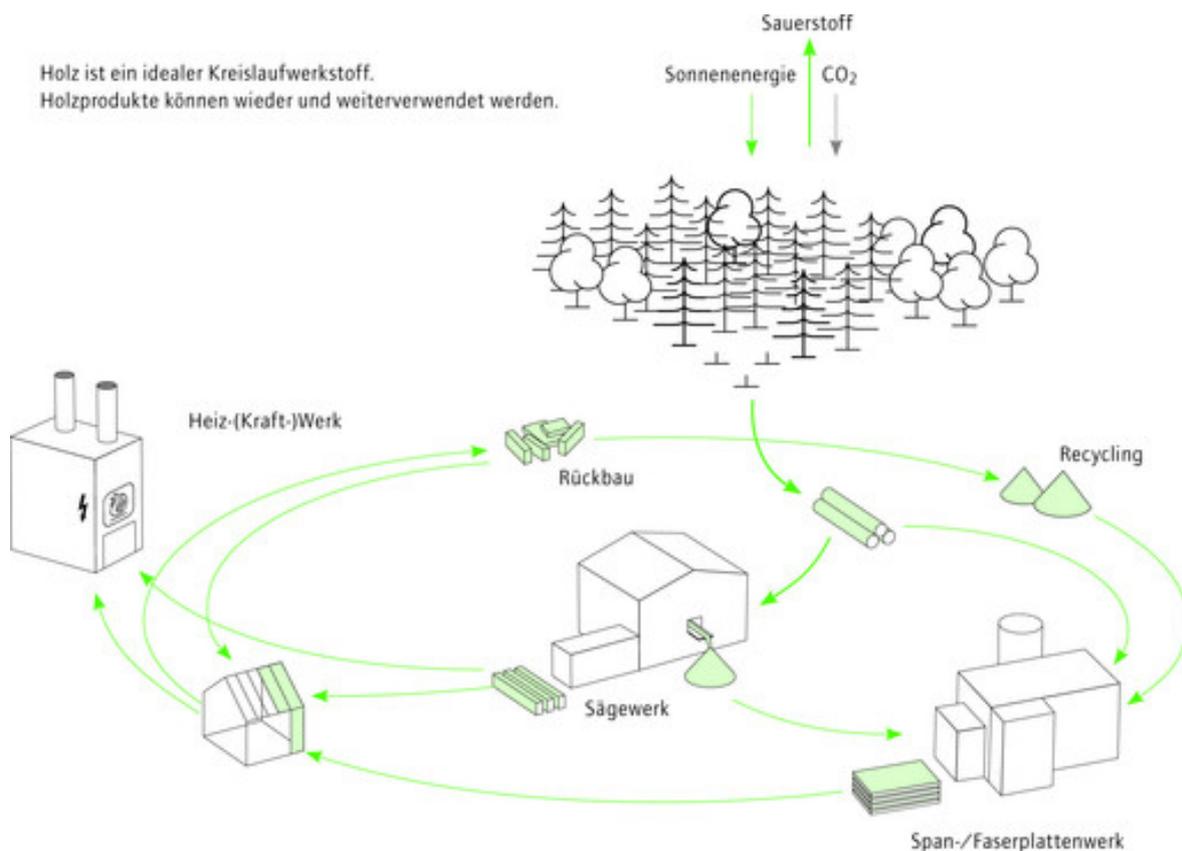


Abbildung 12: Lebenszyklus Holz

Aus den Erkenntnissen aus Punkt 2.1- 2.4 kann geschlussfolgert werden, dass es einer Reduktion der derzeit gängigen Baustoffe wie etwa Beton oder Stahl bedarf. Langlebige, leichte und lokal nachwachsende Roh/ Baustoffe, welche die Fähigkeit besitzen CO<sub>2</sub> zu speichern, sollen verstärkt zum Einsatz kommen.

Aufgrund dieser ersten Erkenntnisse werden nun 3 Baustoffe, welche gemeinsam eine harmonisierende Bauweise bilden, erläutert.



## 2.4 Bauweise Holz- Lehm- Stroh Bauweise mit Tradition

### Geschichte

Die erstmalige Anwendung von Strohballen lässt sich bis zum Ende des vorletzten Jahrhunderts zurückverfolgen, als Siedler in den „Sandhills“ von Nebraska, USA, diese als überdimensionale lasttragende Mauerziegel verwendeten. Bis weit in die 1940er-Jahre wurden in Nordamerika Strohballen auf diese Weise eingesetzt und direkt mit Lehm oder Zement verputzt.

In Europa ist nur ein Gebäude aus dieser Zeit bekannt. Im französischen Montargis errichtete der Apotheker Émile Feuillette 1920 sein Wohnhaus mit Strohballen in den Außenwänden. Mit Beginn des 21. Jhdts. verbreitete sich die Strohballenbauweise weltweit und fand schließlich auch ihren Weg nach Europa. Nach einigen wenigen Pionierbauten vor der Jahrtausendwende beginnt die Strohbauweise in Deutschland mit der Gründung des Fachverbandes Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) im Jahr 2002 Fuß zu fassen.

### Eine Bauweise- zwei Konstruktionen

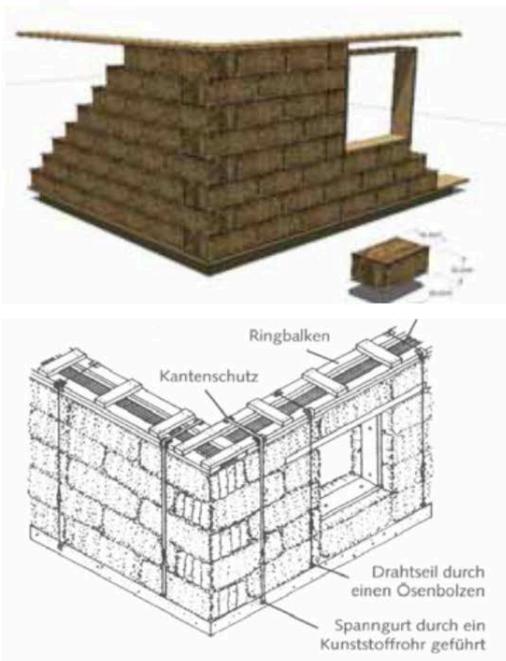
Die Strohbauweise kennt zwei Konstruktionsarten, den lasttragenden Strohballenbau und die Verwendung von Stroh als nicht druckbelastetem und meist ausfachendem Wärmedämmstoff.

Für die lasttragende Konstruktionsart entsprechend den historischen Vorbildern in Nebraska fehlt hierzulande ein allgemein gültiger Tauglichkeitsnachweis. Einige so konstruierte Gebäude wurden jedoch mithilfe von Zustimmungen im Einzelfall genehmigt. Dem gegenüber ist die Tauglichkeit von Stroh als ausfachendem Dämmstoff mittlerweile nachgewiesen. Für den Einsatz in Gefachen mit lichten Abmessungen bis 1 m existiert seit 2006 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für den Wärmedämmstoff Baustroh, und seit 2014 darf diese Konstruktionsart direkt mit Lehm oder Kalk verputzt und auch mit Plattenwerkstoffen o. Ä. verkleidet als ausgereift und allgemein anerkannt gelten. (Z-23.11-1595, 2014).<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Quelle: Strohgedämmte Gebäude; [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)



## Lasttragend



## Ständerkonstruktion

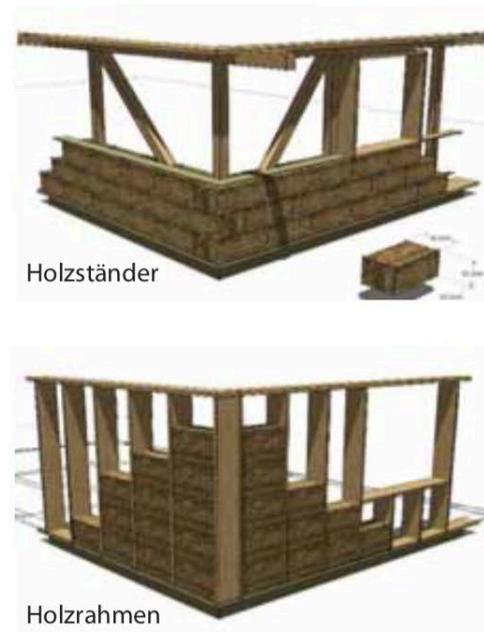


Abbildung 13: Die zwei Konstruktionsarten der Strohballenbauweise

### Anforderung an die Planung und Ausführung von Strohballenbauten

Der konstruktive Holzschutz ist unbedingt zu berücksichtigen. (siehe Kapitel 7.4.1 Feuchteschutz Baustoff Holz).

Die allgemein gültigen Anforderungen an die Bauausführung, wie Sicherheit auf der Baustelle, Standsicherheit, Brand-, Feuchte-, Wärme- und Schallschutz sowie Schutz gegen schädliche Einflüsse müssen gewährleistet werden.

Planern und Ausführenden muss die DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014

sowie das „Merkblatt Verarbeitung von Baustroh“ bekannt sein

### Luft,- und Winddichtheit

Bei allen Außenbauteilen müssen die luftdichte Ebene innen und die winddichte Ebene außen einschließlich aller Bauteilanschlüsse, Unterbrechungen und Durchdringungen (etwa durch Installationen) gemäß DIN 4108-7:2011-01 [19] sorgfältig geplant und dauerhaft sicher hergestellt werden.

19

<sup>19</sup> Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014;  
Quelle: FASBA Fachverband Strohballenbau  
Deutschland e.V.



## Feuchtetransport

Besonders im äußeren Bereich eines strohgedämmten Bauteils muss zwischen den einzelnen Bauteilschichten der Feuchtetransport gewährleistet sein. Damit sich an der Außenseite der Strohdämmung in bauunspezifischen Hohlräumen kein Tauwasser bildet, muss das Bauteil lückenlos ausgedämmt sein und die Bekleidungen müssen dicht und ohne Hohlräume anliegen. Die außenseitige Strohfäche soll nicht direkt mit einer Folie, sondern mit einem kapillar saugfähigen Baustoff bekleidet werden, z.B. Putz, Holz oder Holzfaserdämmplatten.

## Halmausrichtung

Optimale Wärmedämmung von Stroh wird mit einer überwiegenden Halmausrichtung senkrecht zum Wärmestrom erreicht. Strohballen müssen in vertikalen Bauteilen daher hochkant stehend oder hochkant liegend eingebaut werden, in Decken und Dächern flach liegend.

## Installationen

Elektroinstallationen sollen nicht direkt im Stroh geführt werden, sondern mit nicht brennbaren Materialien, z.B. Putz, ummantelt werden.

Um Feuchteschäden vorzubeugen, sollen wasserführende Installationen außerhalb strohgedämmter Bauteile verlegt werden.<sup>20</sup>



Abbildung 14: Halmausrichtung- Strohballen

<sup>20</sup> Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014;  
Quelle: FASBA Fachverband Strohballebau  
Deutschland e.V.



## 2.5 Umweltwirkungen und Ressourceneinsatz der Strohballenbauweise

### Nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT)

Das strohgedämmte Gebäude benötigt zu seiner Herstellung nur ca. die Hälfte der nicht erneuerbaren Primärenergie (PENRT [kWh]) im Vergleich zum herkömmlichen Massivbau. Der Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie für die Herstellung, Instandhaltung und Instandsetzung der vier Gebäudetypen (145.658–315.178 kWh) entspricht einer Wärmeversorgung (jährlicher PENRT von 2.447 kWh) von 60 Jahren (Strohbau) bis 129 Jahren (Massivbau). Ein strohgedämmtes Gebäude kann somit allein für den Herstellungs-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsaufwand des Massivbaus gebaut und 69 Jahre mit Wärme versorgt werden.

### Treibhauspotenzial (GWP [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent])

Der Unterschied zwischen dem Massivbau und dem ökologisch optimierten Gebäude in Strohbauweise im Bereich des Treibhauspotenzials beträgt ca. 97 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Ein sparsamer 5L-Mittelklassewagen kann 811.000 km zurücklegen, bis die gleiche Klimabelastung erreicht ist, das entspricht in etwa einer 20-fachen Erdumrundung.

Die Bereitstellung des fertigen Dämmstoffs „Baustroh“ verursacht im Vergleich zu anderen Dämmstoffen um ein Vielfaches geringere Emissionen und bedarf einer deutlich geringeren Energie zur Herstellung. Sie erfolgt quasi „nebenbei“ im sowieso ablaufenden landwirtschaftlichen Ernteprozess. Aufgrund des bundesweit überall vorhandenen Getreideanbaus können Transportwege besonders stark minimiert werden.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Quelle: Strohgedämmte Gebäude; [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)

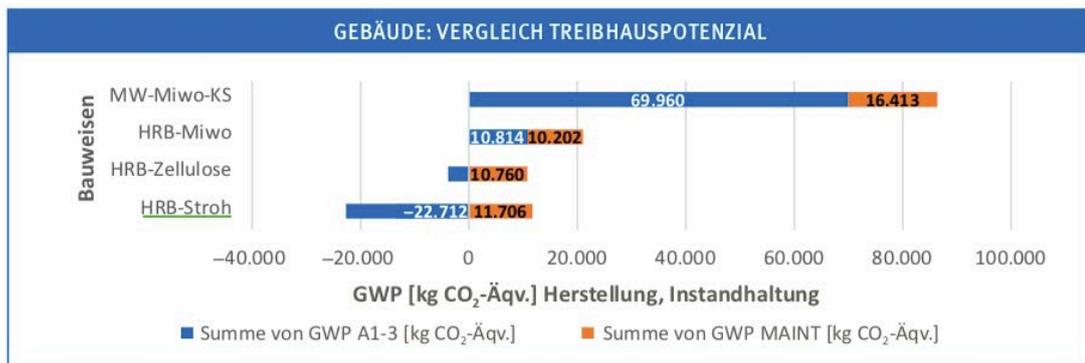


Abbildung 16: Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Quellen im Vergleich

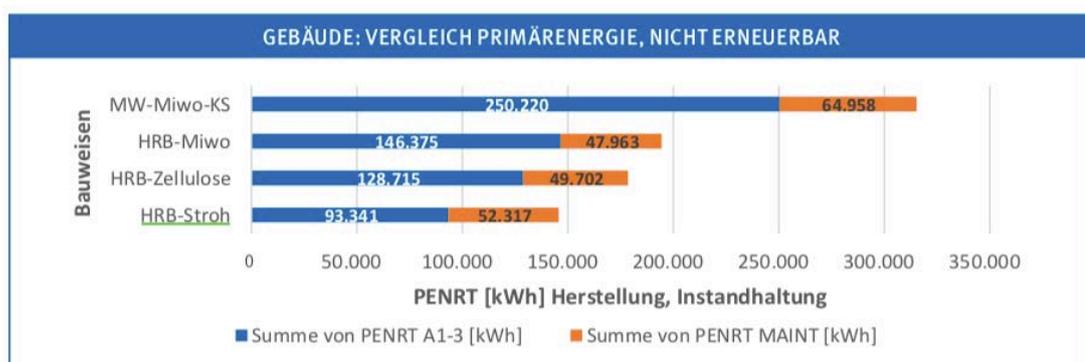


Abbildung 15: Treibhauspotential im Vergleich

Bauteile	HRB-Stroh <sup>1</sup>	HRB-Zellulose <sup>2</sup>	HRB-Miwo <sup>3</sup>	MW-Miwo-KS <sup>4</sup>
Gründung	Stahlbeton-Streifenfundamente mit 60 mm Perimeterdämmung			
Sohle (U = 0,21)	Beton auf Schotter, zellulosegedämmter Holzboden	Stahlbetonsohle, zellulosegedämmter Holzboden	Stahlbetonsohle, EPS-Dämmung, Estrich, Fliesen	Stahlbetonsohle, EPS-Dämmung, Estrich, Fliesen
Außenwände (U = 0,15)	Bohlenständerwerk, Strohdämmung, innen Lehmputz mit Dispersionsfarbe, außen Kalkputz, hydrophober Fassadenanstrich	Bohlenständerwerk, Einblaszellulose, OSB, Gipsfaserplatte mit Dispersionsfarbe, Holzfaserdämmplatte mit Dünnputz, hydrophober Fassadenanstrich	Bohlenständerwerk, Mineralfaserdämmung, OSB, Gipsfaserplatte mit Dispersionsfarbe, Holzfaserdämmplatte mit Dünnputz, hydrophober Fassadenanstrich	2-schaliges Mauerwerk, innen Kalksandstein, Mineralfaserdämmung, Vormauerziegel
Innenwände	Holzständer, Zellulose-dämmung, Holzschalung, Lehmputz, Dispersions-farbe	Holzständer, Zellulose-dämmung, Gipsfaser-platten, Dispersionsfarbe	Metallständer, Mineral-faserdämmung, Gipsfaser-platten, Dispersionsfarbe	11,5 cm Kalksandstein, Gipsputz, Dispersionsfarbe
Geschossdecke	offene Holzbalkendecke, Nut-und-Feder-Beplankung, Schotter, Holzfasertrittschallplatte, Holzboden	offene Holzbalkendecke, 3-Schicht-Platte, Schotter, Holzfasertrittschallplatte, Holzboden	offene Holzbalkendecke, OSB-Platte, Schotter, Mineralfasertrittschallplatte, Holzboden	Stahlbetonsohle/-decke, Mineralfasertrittschallplatte, Estrich, Fliese
Dach (U = 0,15)	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Strohdämmung, Holzschalung, Lehmputz, Dispersionsfarbe	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Zellulosedämmung, Dampf-bremse, Konterlattung, Gipsfaser, Dispersions-farbe	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Mineralfaserdämmung, Dampf-bremse, Konter-lattung, Gipsfaser, Disper-sionsfarbe	Sparrendach, Dachziegel, Unterdeckplatte Holz-faser, Mineralfaserdämmung, Dampf-bremse, Konter-lattung, Gipsfaser, Disper-sionsfarbe
Fenster (U <sub>w</sub> = 0,91)	Holzfenster 3-fach verglast	Holzfenster 3-fach verglast	Holzfenster 3-fach verglast	PVC-Fenster 3-fach verglast
Gebäudetechnik	Pelletkessel, thermische Solaranlage, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, Standardheizkörper, Heizwasserrohre Kupfer			



## 2.6 Lokale, ökologische Rohstoffe/ Baustoffe

Nachstehend werden nun die 3 Baustoffe der vorhin gewählten Bauweise, nämlich

- Holz
- Stroh
- und Lehm

auf deren Eigenschaften untersucht.

### 2.6.1 Holz

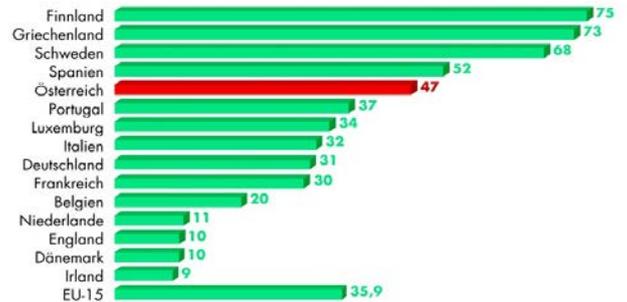
#### Holzvorkommen in Österreich

Der Wald wächst in Österreich auf 4 Mio Hektar, das entspricht 47,6% der Gesamtfläche.

Jährlich wachsen in Österreich rund 30,4 Mio. m<sup>3</sup> Holz nach. Mehr als drei Viertel davon (25,9 Mio. m<sup>3</sup>) werden geerntet, der Rest verbleibt im Wald und vergrößert dessen Fläche. Holz steht daher uns und auch kommenden Generationen nachhaltig zur Verfügung.<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Quelle: <http://www.proholz.at/wald-holz/wald-in-zahlen/>

#### Österreich zählt zu den waldreichsten Ländern Europas

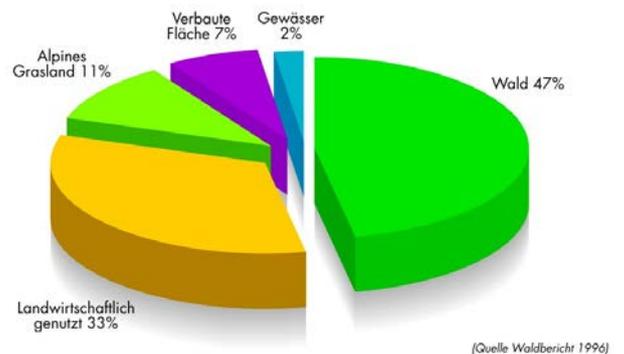


Waldfläche in Prozent der Staatsfläche

(Quelle UNECE/FAO1997)

Abbildung 17: Holzvorkommen im Ländervergleich

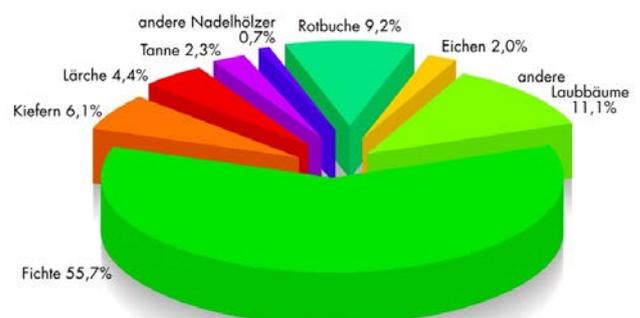
#### Halb Österreich ist Wald



(Quelle Waldbericht 1996)

Abbildung 18: Waldanteil in Österreich

#### Die Hauptbaumarten in den Wäldern Österreichs



Angaben in Prozent der Fläche

(Quelle Österr. Forstinventur 1992/96)

Abbildung 19: Hauptbaumarten



## 2.6.2 Stroh

Stroh ist kein Abfallprodukt, sondern ein wertvoller Rohstoff aus der Landwirtschaft.

In einer zukunftsfähigen Landwirtschaft findet Stroh zunehmend Verwendung, z. B. als Einstreu, Raufutter und Humusbildner auf Ackerflächen. Daneben nimmt die Bedeutung von Stroh als nachwachsendem Rohstoff deutlich zu. Dem stark steigenden Interesse an einer energetischen Nutzung von Stroh steht dabei die stoffliche Nutzung gegenüber. Beide Nutzformen lassen sich miteinander vereinbaren, wenn zunächst die stoffliche Nutzung erfolgt und nach der Lebensdauer – z. B. als Strohdämmung – eine energetische Verwertung folgt (Kaskadennutzung). In der Landwirtschaft ist wie bei der Entnahme aller anderen Anbauprodukte die Stoffbilanz der Böden zu berücksichtigen und die Entnahme von Stroh aus dem ökologischen Kreislauf zu ersetzen.

Für die Nutzung als Dämmstoff ist Stroh ein einzigartiges Produkt, weil es seit Jahrzehnten in der Landwirtschaft in Ballenform anfällt

und mit geringem Weiterverarbeitungsaufwand direkt verbaut werden kann.<sup>23</sup>

### Strohvorkommen

Im Jahr 2009 (Stand September 2009) wurden in Österreich auf einer Anbaufläche von 803.542 ha rund 4,8 Mio. t Getreide geerntet. Wenn man von dieser Fläche 178.502 ha für Körnermais abzieht, erhält man eine Anbaufläche von 625.039 ha, auf der insgesamt 2.936.292 t Getreide bzw. 1.795.912 t Getreidestroh geerntet wurden. (Statistik Austria, 2009)

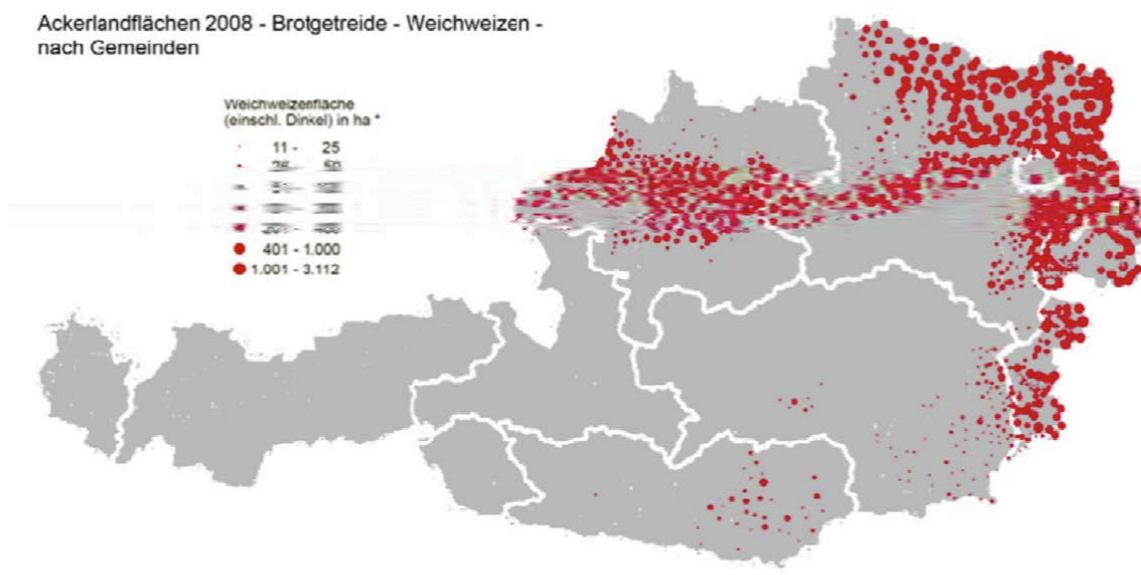
Die größten Anbauggebiete von Weizen und Gerste sind die Bundesländer Niederösterreich, Oberösterreich und das Burgenland. Allein in diesen drei Bundesländern befinden sich rund 94 % der Weizen- und Gersteanbaufläche in Österreich (Stand 2009), wie in der folgenden Tabelle zu sehen ist.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Quelle: Strohgedämmte Gebäude; [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)

<sup>24</sup> Quelle: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz\\_pdf/endbericht\\_1136\\_stroh\\_cert.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1136_stroh_cert.pdf)



Ackerlandflächen 2008 - Brotgetreide - Weichweizen - nach Gemeinden



Quelle: Agrarmarkt Austria, GrAT

Abbildung 20: Anbauflächen Weizen u. Gerste

	Weizen <sup>1</sup> [ha]	Gerste <sup>2</sup> [ha]
Niederösterreich	195.776	106.132
Oberösterreich	52.408	43.876
Burgenland	49.409	13.627
Österreich gesamt	309.034	181.525

Abbildung 21: Ackerlandflächen für Weizen 2008



## Vom Strohalm zum Baustrohballen

Zur Herstellung rechteckiger Ballen wird das Stroh von der Ballenpresse aufgenommen und zu etwa 5–10 cm dicken Lagen gepresst, die – mehrfach aneinandergereiht – einen Strohhalm ergeben. Während die Breite und Höhe der Ballen durch den Kanal der Ballenpresse vorbestimmt ist, ist die Länge der Ballen variabel. Da bei den üblicherweise im Strohbau verwendeten Kleinballen (46–50 x 36 x 65–90 cm) die Längen auch bei gleicher Längeneinstellung der Ballenpresse mitunter stark variieren, werden in Konstruktionen mit gleichbleibenden Ständer-Abständen die Ballen mit weiteren Lagen verlängert.



Dafür ist es wichtig, dass die Schmalseiten der Kleinballen relativ flach und die Ecken möglichst wenig abgerundet sind, das erspart viel Nachbearbeitung während des Einfüllprozesses. Der Strohhalm wird nach der voreingestellten Länge – je nach Größe – mit 2 bis 3 Polypropylen- oder Sisal-Schnüren zusammengebunden.<sup>25</sup>

Laut allgemein bauaufsichtlicher Zulassung (Z-23.11-1595) muss die Rohdichte (nach Konditionierung, Lagerung unter Normalklima 23°C/50%) der Strohhallen bei Prüfung nach DIN EN 1602<sup>4</sup> zwischen 90 kg/m<sup>3</sup> und 110 kg/m<sup>3</sup> liegen.

Abbildung 22: Baustrohballen

<sup>25</sup>

Quelle:  
<http://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau/baustrohballen/>



## 2.6.3 Lehm

### Lehmvorkommen

#### Ein Baustoff mit Tradition

Lehm ist das älteste im Bauwesen verwendete Bindemittel, neben Holz das älteste Baumaterial (Stampflehm) des Menschen und gehört mit Kalk und seit Beginn des 20. Jahrhunderts Zement, zu den wichtigsten mineralischen Baustoffen.<sup>26</sup>

In Österreich ist vor allem die Region Niederösterreich das Mekka des Lehms. Im Bezirk Melk gibt es zum Beispiel viele Gemeinden, die ihren kulturellen Reichtum dem damaligen Handel mit Lehm zu verdanken haben.<sup>27</sup>

Daraus wird ersichtlich, dass somit alle 3 genannten Baustoffe sehr lokal verfügbar sind und somit geringe Transportwege für ein Bauvorhaben in Ost- Österreich eingehalten werden können.

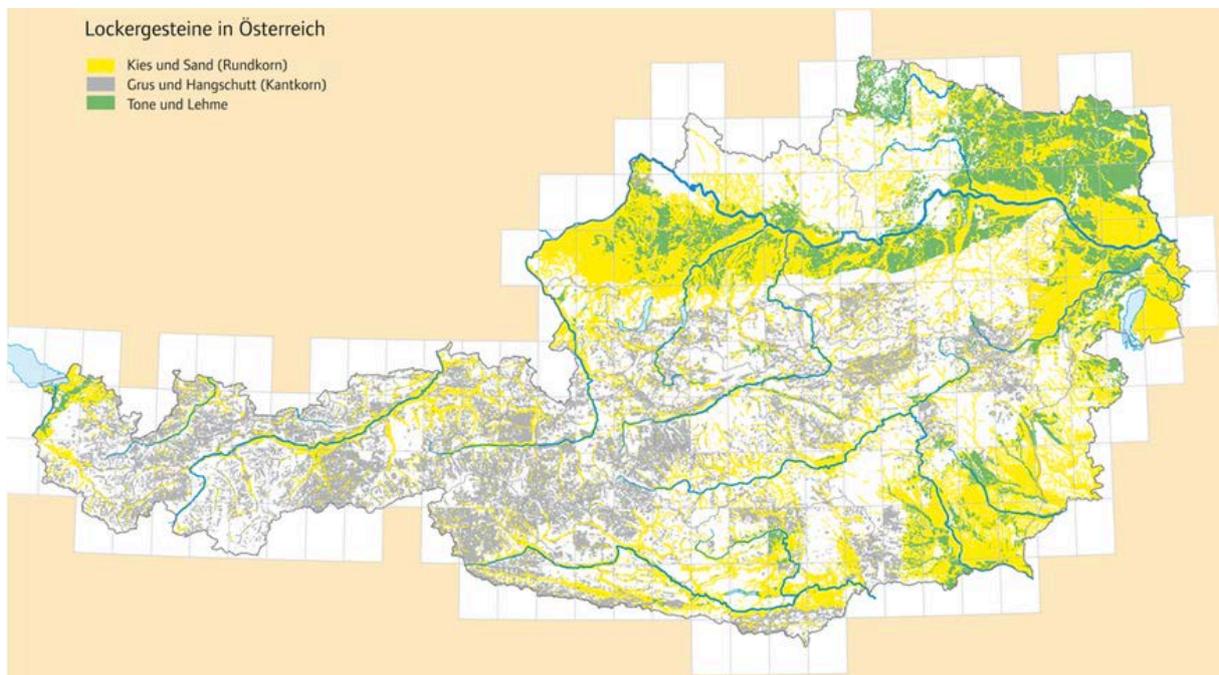


Abbildung 23: Lehmvorkommen Österreich- Großes Vorkommen im Bezirk Melk

<sup>26</sup> Quelle:  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>

<sup>27</sup> Quelle:  
<http://www.lehmhaus.net/lehmvorkommen.htm>



## 2.7 Materialeigenschaften der Baustoffe

### 2.7.1 Holz

#### Chemisch

Die Hauptbauelemente des Holzes Cellulose, Hemicellulose und Lignin sind aus den chemischen Elementen Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H) und Stickstoff (N) aufgebaut. Das Zusammenspiel von Cellulose, Hemicellulose und der Kittsubstanz Lignin bestimmt die Belastbarkeit der Zellwand und damit die mechanische Festigkeit und die Elastizität des Holzes. Weitere Bestandteile des Holzes sind u.a. Ätherische Öle, Harze, Stärke, Fette, Gerbstoffe und Mineralstoffe.

**Mechanisch:** Holz besitzt durch seine Mikrostruktur (Mikrofibrillen, Lignin) ein ausgezeichnetes Tragverhalten bei Zug- sowie Druckbeanspruchungen. Es zeichnet sich vor allem durch seine hohe Effektivität, sprich durch eine hohe Beanspruchbarkeit im Verhältnis zum Eigengewicht aus. Die tatsächliche Beanspruchbarkeit hängt stark von der Rohdichte, der Holzfeuchte und der Richtung der Lasteinwirkung (normal oder parallel zur Faser) ab.

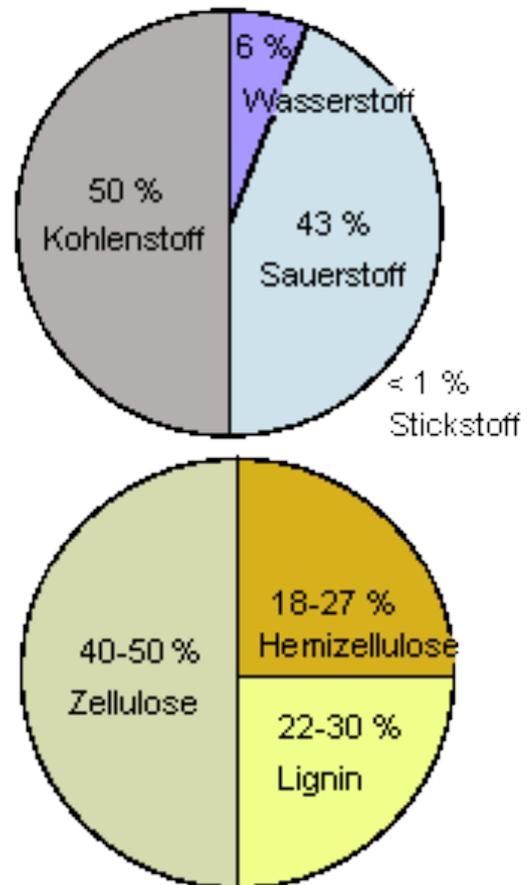


Abbildung 24: Chemische/ Elementare Bestandteile von Holz

(Siehe Tabellen).

Auffällig ist hier die große Differenz zwischen der Festigkeit parallel und normal und Faserrichtung des Holzes. Bei mehrgeschossigen Holzgebäuden (wie z.B.: dem Illwerk Montafon oder dem HoHo) werden die Druckkräfte der Stützen im Bereich der Geschoßdecke über Unterzüge aus Stahlbeton in die darunter liegende Stütze geleitet.

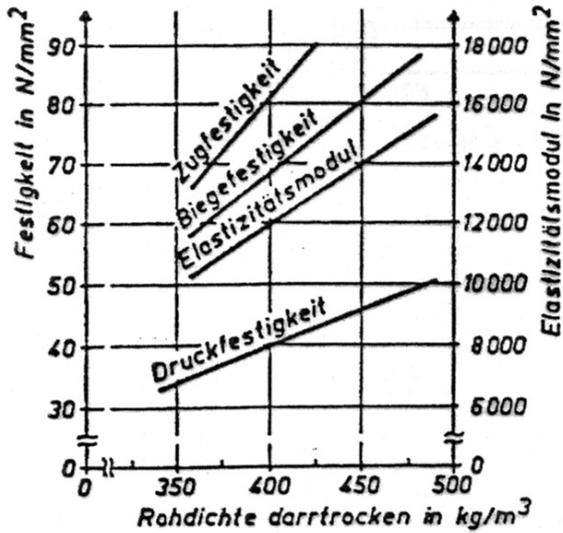


Abbildung 26: Festigkeit und E- Modul in Abhängigkeit der Rohdichte

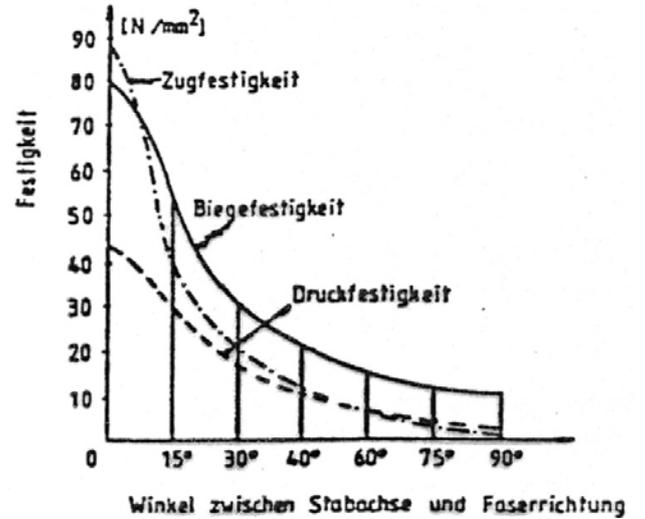


Abbildung 25: Abhängigkeit der Festigkeit von der Lasteinwirkung zur Faserrichtung

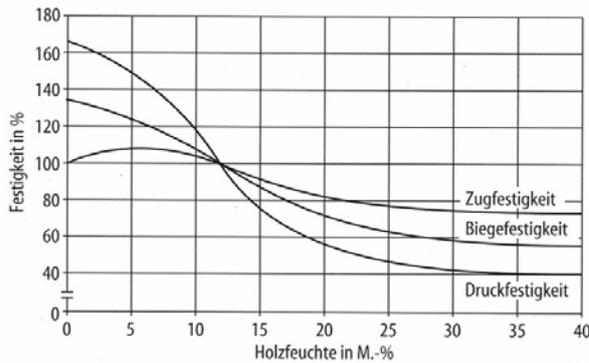
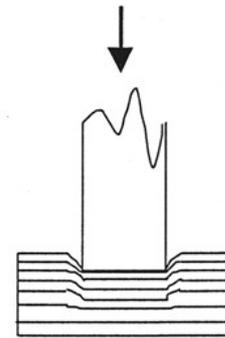


Abbildung 27: Festigkeit in Abhängigkeit der Holzfeuchte



Druck normal

Weitere Eigenschaften siehe Tabelle Materialeigenschaften.



## 2.7.2 Stroh

### Zusammensetzung von Stroh

Rund 15 % der organischen Substanz wird am Feld eingearbeitet (Wurzeln und Stoppeln), 45 % der organischen Substanz sind im Stroh und 40 % im Korn enthalten.

Das Stroh setzt sich aus folgenden Elementen zusammen.<sup>28</sup>

Zellulose	36 - 54 %
Pentosane	22 - 28 %
Furfural	17 - 19 %
Lignin	14 - 16 %
Fette, Wachse	2-4 %
Mineralstoffe	2 - 8 %

### Getreidesorten und Strohqualitäten

Für das Bauen wurde bisher Stroh der heimischen Getreidesorten Weizen, Roggen, Dinkel, Triticale und Gerste verwendet. Nach bisherigen Kenntnissen erscheinen Weizen und Roggen besonders geeignet, während Hafer als ungeeignet angesehen werden muss.

Die natürliche Beschaffenheit der Halme, insbesondere deren Länge, soll durch Anbau, Ernte und weitere Verarbeitung möglichst wenig verändert bzw. beschädigt werden.

Das Stroh soll goldgelb bis blassgelb sein.

Ansatzweise gräuliches Stroh und auch vereinzelte schwärzliche Flecken durch nicht mehr aktiven Schimmel können als unkritisch angesehen werden. Das Stroh darf nicht erdig oder modrig riechen. Der Feuchtegehalt muss unterhalb der Wachstumsgrenze für Schimmelpilze liegen. < 14%

Der Beikrautanteil im Stroh ist möglichst gering zu halten.<sup>29</sup>

Weitere Vor,- und Nachteile sind am Ende diese Kapitels sowie im Kapitel Bauphysik beschrieben.

<sup>28</sup> Quelle:  
<https://www.agrarplus.at/stroh.html>

<sup>29</sup> Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014  
<http://www.biwena.de/wp-content/uploads/2017/11/sbr-2014-11-22.pdf>



## 2.7.3 Lehm

### Bestandteile von Lehm

Lehm ist ein Gemisch aus Ton, Schluff (Feinstsand) und Sand, das Beimengen von größeren Gesteinspartikeln (Kies, Steine) sowie von organischem Material enthalten kann.

- Sand (Korngröße > 63µm)
- Schluff (Korngröße > 2µm)
- und Ton (Korngröße < 2 µm)

### Entstehung von Lehm

Er entsteht entweder durch Verwitterung aus Fest,- oder Lockergesteinen oder durch die unsortierte Ablagerung der genannten Bestandteile. Unterschieden werden je nach Entstehung Berglehm, Gehängelehm, Geschiebelehm (Gletscher), Lösslehm (Löss) und Auenlehm (aus Flussablagerungen).<sup>30</sup>

### Zusammensetzung von Lehm

Die Mischungsverhältnisse von Sand, Schluff und Ton können innerhalb definierter Grenzen schwanken, in kleinen Mengen kann noch gröberes Material (Kies und Steine) darin

<sup>30</sup> Quelle:  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>

enthalten sein.

Kalkhaltiger Lehm: Lehm mit nennenswertem Gehalt an Kalk, etwa in Folge wenig fortgeschrittener Verwitterung oder bei der Entstehung durch Ablagerung kalkigen Materials, wird als Mergel bezeichnet.<sup>31</sup>

Tonreicher Lehm: Der Ton wirkt dabei als Bindemittel, das die übrigen Partikel miteinander verbindet. Schluff und Sand sind somit nur Füllstoffe. Überwiegt der Tonanteil, spricht man von einem fetten Lehm. Überwiegt der Sandanteil, handelt es sich um einen mageren Lehm.<sup>32</sup>

### Lehm als Baumaterial

Lehmbaumaterialien sind dadurch gekennzeichnet, dass er durch Austrocknen fest und jederzeit durch Feuchtigkeitsaufnahme wieder weich wird. Durch die Zugabe von Zuschlägen mineralischer oder pflanzlicher Herkunft kann die Trockenschwindung und Rissbildung verringert, die Zug-, Druck- bzw. Abriebfestigkeit erhöht oder die Wasserempfindlichkeit herabgesetzt

<sup>31</sup> Quelle:  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>

<sup>32</sup> Quelle: <http://www.dieter-roehm.de/lehm.htm>



werden. Leichtzuschläge verbessern die wärmedämmenden Eigenschaften.

Da es sich um ein Naturprodukt handelt ist das Mischungsverhältnis unterschiedlich. Gute

Materialkenntnisse oder ein Fachmann helfen bei der Auswahl der richtigen Mischung, damit in der Anwendung das gewünschte Ergebnis erzielt wird.

### Lehm schwindet

Durch die Verdunstung des Anmachwassers, das notwendig ist, um Lehm verarbeiten zu können und seine Bindekraft zu aktivieren, reduziert sich sein Volumen, es entstehen "Trocken-" bzw. "Schwindrisse". Das lineare Trockenschwindmaß, das Maß, das die Verkürzung eines prismatischen Probekörpers beim Austrocknen angibt, beträgt bei Nasslehmverfahren etwa 3-12% und bei Stampflehm 0,4-2%.

Fetter Lehm enthält viel Ton und hat eine hohe Bindekraft, da er jedoch bei der Aushärtung um bis zu 12% schwinden kann, behilft man sich mit der Beigabe von Stroh, Holz oder eben Sand.<sup>33</sup>

Je nach Einsatzbereich, Grobputz, Feinputz, Edelputz, Strohlehm, Stampflehm, Lehmschüttung, Lehmbauplatten, Lehmsteine, muss die Zusammensetzung gewählt werden.

Das Schwinden kann jedoch durch Reduzierung des Wasser- sowie des Tonanteils und durch Optimierung der Kornzusammensetzung wesentlich verringert werden.<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> Quelle: <http://www.lehmbau-sued.de/lehmbaustoffe.html#leichtlehm>

<sup>34</sup> Quelle: <http://www.dieter-roehm.de/lehm.htm>



## 2.8 Materialeigenschaften und Zusammenhänge

Materialeigenschaften		Holz (Fichte)	Stroh	Lehmputz
Rohdichte $\rho$	(kg/m <sup>3</sup> )	482	100 ± 15kg/m <sup>3</sup>	1400
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$		0,14	0,043	0,8
in Halmrichtung			0,08	
Dampfdiffusionswiderstandszahl $\mu$		70	2	
Spezifische Wärmekapazität c		1,68	2	1
Wärmespeicherung S		810	200	1400
Ausgleichsfeuchte	Masse %	Max. 15%	max. 15%	5-7%
Brandverhalten nach EN 13501		D, s2, d0	E	A1

Eigenschaften	 Holz	 Stroh	 Lehm	Zusammenwirken der Baustoffe
Wärmeschutz	+	+	-	Dicke Strohdämmung mit gutem Lambda- Wert
Schallschutz	-	+	+	positiv wirkt hier der schwere Dämmstoff und eine dicke Putzschicht
Sommerliche Überwärmung	-	+	+	Stroh und dicke Lehmputzschicht beeinflussen die Speicherwirksame Masse positiv
Brandschutz	+/-	-	+	Holz brennt, jedoch kontrollierbar Stroh neigt zu glimmen Lehmbekleidung nicht brennbar
Diffusionsoffen	+	+	+	Alle drei Baustoffe sind diffusionsoffen
Feuchteschutz	+/-	+/-	+	Lehm konserviert Holz und Stroh Eigenschaften der Strohbekleidung sind zu berücksichtigen
Vorfertigung/ Verarbeitungszeit	+	+	+/-	Hoher Vorfertigungsgrad der Holz- Strohbauteile Lehm wird aufgrund der langen Trocknungszeit ebenfalls vorgefertigt
Regional verfügbar	+	+	+	Alle 3 Baustoffe sind im östlichen Österreich sehr regional verfügbar.
Nachwachsender Rohstoff	+	+	-	Holz und Stroh sind erneuerbare Ressourcen, Lehm kann mit wenig aufwand Hergestellt werden
CO <sub>2</sub> - neutral	+	+	+/-	Holz und Stroh binden CO <sub>2</sub>



### **Ökologische Baustoffe:**

Regionale, CO<sub>2</sub>-speichernde Baustoffe kommen zum Einsatz. Kriterien des ökologischen Baustoffkonzeptes werden eingehalten.

### **Tragsystem:**

Holz bildet ein leichtes aber sehr effizientes Tragsystem. Durch den gezielten Einsatz von Holz-Verbundkonstruktionen können hohe Brandwiderstandsdauern und gute Schalldämmwerte erreicht werden.

### **Brandschutz:**

Holz und Stroh brennen. Durch eine Überdimensionierung der tragenden Holzbauteile lässt sich jedoch der Brandschutz ohne zusätzliche Bekleidung herstellen.

Sichtbare Holzoberflächen können somit geplant werden.

Zusätzlich kann eine nicht brennbare Lehm Bekleidung die Holzkonstruktion sowie die Strohdämmung wie eine Brandschutzbekleidung schützen.

### **Speicherwirksame Masse:**

Durch die, im Vergleich zu anderen Wärmedämmungen, hohe Dichte und hohe spezif. Wärmekapazität des Strohs, sowie der hohen Dichte von

Lehm, lassen sich sommertaugliche Bauteile planen. Wichtig ist eine dicke Lehmputzschicht an der Wand-Innenseite.

### **Diffusionsoffene Bauteile:**

Atmungsaktive, diffusionsoffene Bauteile können geplant werden.

### **Feuchtigkeit im Bauteil:**

Holz und Stroh neigen bei hohem Feuchtigkeitsgehalt und diffusionsdichten Aufbauten zur Schimmelbildung.

Durch die geringe Gleichgewichtsfeuchte von Lehm von 0,4 – 6 Gewichtsprozenten ( je nach Tongehalt, Tonart und Feuchtgehalt der Luft) werden Holz und andere organische Stoffe, die von Lehm umgeben sind, entfeuchtet bzw. trocken gehalten, so dass diese nicht von Pilzen oder Insekten befallen werden.

Somit wirkt der Lehm konservierend.

### **Luftfeuchtigkeit:**

Lehm kann relativ schnell Luftfeuchtigkeit aufnehmen und diese bei Bedarf wieder abgeben. Dadurch reguliert er die Feuchtigkeit der Raumluft und trägt somit zu einem gesunden Raumklima bei.

**Schallschutz:**

Durch die hohe Masse und einer erhöhten Schichtdicke des Lehmputzes kann der Schallschutz im Gegensatz zu leichten Gipsbeplankungen erhöht werden.

**Arbeitsaufwand:**

Sowohl das Einbringen und „Nachstopfen“ der Strohdämmung, sowie die Verarbeitung des Lehmputzes ist im Vergleich zu standardisierten Bauprodukten mit

einem erheblichen Mehraufwand verbunden.

**Lange Trocknungszeit:**

Da der Lehm im Gegensatz zu Zement oder Kalk, nicht hydraulisch abbindet, kommt es zu langen Trocknungszeiten. Diese Trocknungszeiten können durch einen hohen Vorfertigungsgrad kompensiert werden. Durch konstante Temperaturen und Feuchtigkeit im Werk kann eine gleichmäßige, kontrollierte Trocknung erfolgen.

Unter Einhaltung einiger konstruktiver und bauphysikalischer Parameter ergänzen sich diese 3 gewählten Baustoffe sehr gut zu einer nachhaltigen Bauweise. Atmungsaktive und diffusionsoffene Bauteile sorgen für mehr Komfort in der Gebäudenutzung.



# 3

## Recherche ökologisch nachhaltiger Gebäude

Bei der Recherche wird ein Fokus auf ökologisch nachhaltige Gebäude gelegt. Jedes Beispiel zeigt bestimmte Besonderheiten auf, welche im späteren Entwurfsprozess berücksichtigt werden sollen. Baustoffe, Tragwerk, Konstruktion, Bauphysik, Vorfertigung & Montage werden untersucht und die Vor- und Nachteile herausgefiltert.



### 3.1 Moderne Holz- Mischbauweise

#### 3.1.1 Illwerke Zentrum Montafon

Architekten: Hermann Kaufmann Architekten

Ort: Vandans, Vorarlberg, Österreich

Baujahr: 2013



Abbildung 28: Illwerk Zentrum Montafon

Das Umfeld des neuen Standortes für das Illwerke Zentrum Montafon ist vom starken Naturraum mit den künstlichen Landschaftseingriffen für den Stausee und großen Kubaturen des Bestands geprägt. Der 120 Meter lange Neubau setzt ein selbstbewusstes, kräftiges Zeichen und definiert den Ort mit einer eindeutigen Vorder- und Rückseite neu. Ein Viertel des Gebäudes ragt in den See hinaus. Der lange Baukörper, mit seiner transparenten Fassadenstruktur, ermöglicht

qualitativ gleichwertige Bürosituationen und in allen Bereichen den direkten Bezug zur Landschaft.<sup>35</sup>

**Besonderheiten** des Projektes sind der hohe Vorfertigungsgrad, das einfache aber durchdachte Tragsystem im Zusammenhang mit dem Brandschutzkonzept sowie die sichtbaren Holzoberflächen im Gebäudeinneren.

<sup>35</sup>

Quelle: [www.nextroom.at](http://www.nextroom.at)



## Hybrid- Holzkonstruktion und Brandschutz

Das Life Cycle Tower (LCT)-System ging aus dem gleichnamigen Forschungsprojekt hervor, mit dem das Team um Architekt Hermann Kaufmann die Entwicklung eines Holz-Hybrid-Bausystems für bis zu 30 Stockwerken verfolgte. Der Schlüssel, um in die Höhe zu bauen und gleichzeitig den strengen Brandschutzauflagen gerecht zu werden, liegt dabei in einer Holz-Beton-Verbundrippendecke, die die jeweiligen Geschosse durch eine nicht brennbare Schicht konsequent trennt. Die einzelnen Systemkomponenten (Kern, Decke, Fassadenstützen) werden industriell vorgefertigt und sind modulartig einsetzbar.

Unter- und Erdgeschoss sowie das Stiegenhaus sind in Beton ausgeführt, die vier Obergeschosse als Hybrid-Holzkonstruktion, die in nur sechs Wochen vor Ort aufgebaut wurde. Eine Besonderheit für den großvolumigen Holzbau im LCT-System stellen die unbepankten tragenden Elemente dar. Auf verleimten, in die Fassade integrierten Holzstützen liegen Holz-Beton-Verbundelemente auf, die in der

Mittelachse von Stahlträgern gehalten werden, gestützt auf einer Reihe Stahlbetonsäulen.

Trotz sichtbarer Holzkonstruktion ist der Brandschutz gewährleistet. Einerseits sind das hybride Deckenelement und die vorgehängte Brandschürze im Fassadenbereich wichtige Argumente zur Erreichung der Sicherheitsanforderungen. Andererseits kompensiert eine Sprinkleranlage die Brennbarkeit des Baustoffes.<sup>36</sup>

Die Vordächer sind gleichzeitig konstruktiver Witterungsschutz.

Ein stringenter Fassadenraster, verglast ab Schreibtischhöhe, gibt dem Gebäude Transparenz und Großzügigkeit, die konsequente Skelettstruktur mit wenigen Aussteifungskernen hohe Flexibilität. Grundsätzlich wird Gebäudetechnik sparsam und gezielt eingesetzt.<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> Quelle: [www.proholz.at](http://www.proholz.at)

<sup>37</sup> Quelle: [www.nextroom.at](http://www.nextroom.at)



Abbildung 29: LCT System bestehend aus BSH- Stützen und Holz- Beton- Verbunddecke

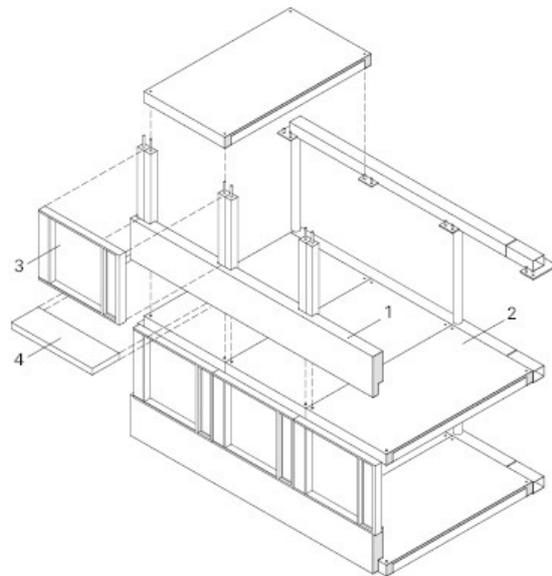


Abbildung 30: Isometrie und Bausystem IZM



Abbildung 31: Die Doppelstützen sind mit den HBV-Deckenelementen gegen das Ausziehen über Rohr-Dorn-Steckverbindungen gesichert. Dieses Prinzip der Rohbaukonstruktion sichert die vertikale Maßhaltigkeit des Gebäudes und garantiert die planmäßige und zügige Höhenentwicklung



Abbildung 32: Rohbau: Deckenelemente werden in der Mittelachse von Stahlträgern gehalten, welche auf einer Reihe Stahlbetonsäulen gestützt sind.



Abbildung 33: Innenraum Büroräumlichkeiten



## Heimische Ressourcen und Nachhaltigkeit

Die 3000 Festmeter an verbautem Holz stammen aus heimischen bzw. naheliegenden Wäldern.

Zwei Drittel des Holzes kommen aus Vorarlberg, das Tannen- und Fichtenholz für die Konstruktion stammt direkt aus dem Montafon. Das Eichenholz für die Fassade und die Möbel kommt aus Süddeutschland. Die 400 Decken- und Fassadenelemente fertigten Holzbaufirmen der Region vor und lieferten diese „just-in-time“ auf die Baustelle.

Beim IZM, als erstes gewerbliches Green Building in Vorarlberg (mittlerweile hat der Bau das Green Building Zertifikat in Gold erhalten) stand ressourceneffizientes, nachhaltiges Bauen im Vordergrund. Das Passivhaus mit gutem AV-Verhältnis und intelligent entwickelter Hüllstruktur gewährleistet minimierte Energieverbrauchs- und Energiekosten: Der Jahresheizwärmebedarf liegt bei 14 kWh/m<sup>2</sup>, der Jahresprimärenergiebedarf bei 29 kWh/m<sup>2</sup>. Somit liegt der Energiebedarf bei rund 70 Prozent unter den Energiekennwerten herkömmlicher Bürogebäude.

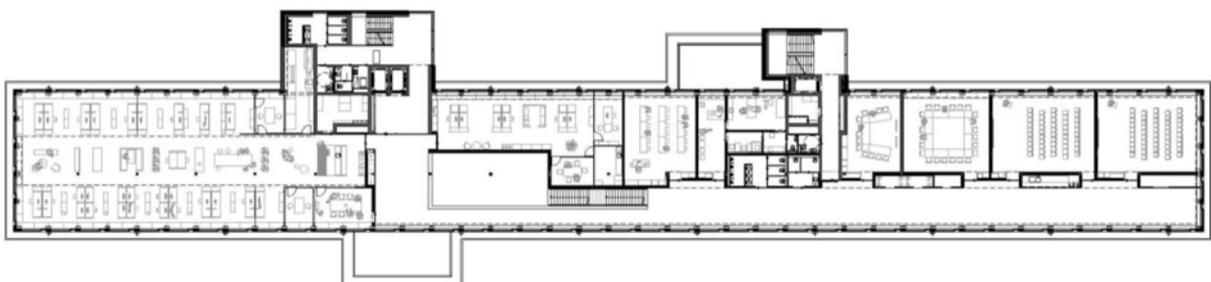


Abbildung 34: 1. Obergeschoss



## Gebäudetechnik

Als Energiequelle dient das Kühlwasser des Rotundwerks I, über eine Wärmepumpanlage wird das Gebäude gekühlt bzw. geheizt. Die Lüftung wird – bei öffenbaren Fenstern – über eine CO<sub>2</sub>-Messung gesteuert. Auch am Ende des Lebenszyklus ist aufgrund der modularen Bauweise mit einem vergleichsweise geringen Rückbauaufwand zu rechnen.

Zusätzlich zu Energieeffizienz und Lebenszyklusbetrachtungen spielten funktionelle Qualitäten eine zentrale Rolle. Vor allem aber auch gesundheitliche Faktoren sowie Überlegungen zu Wohlbefinden, Komfort und Raumqualität, die allesamt bei der Ausarbeitung des Bürokonzepts zum Tragen kamen.<sup>38</sup>

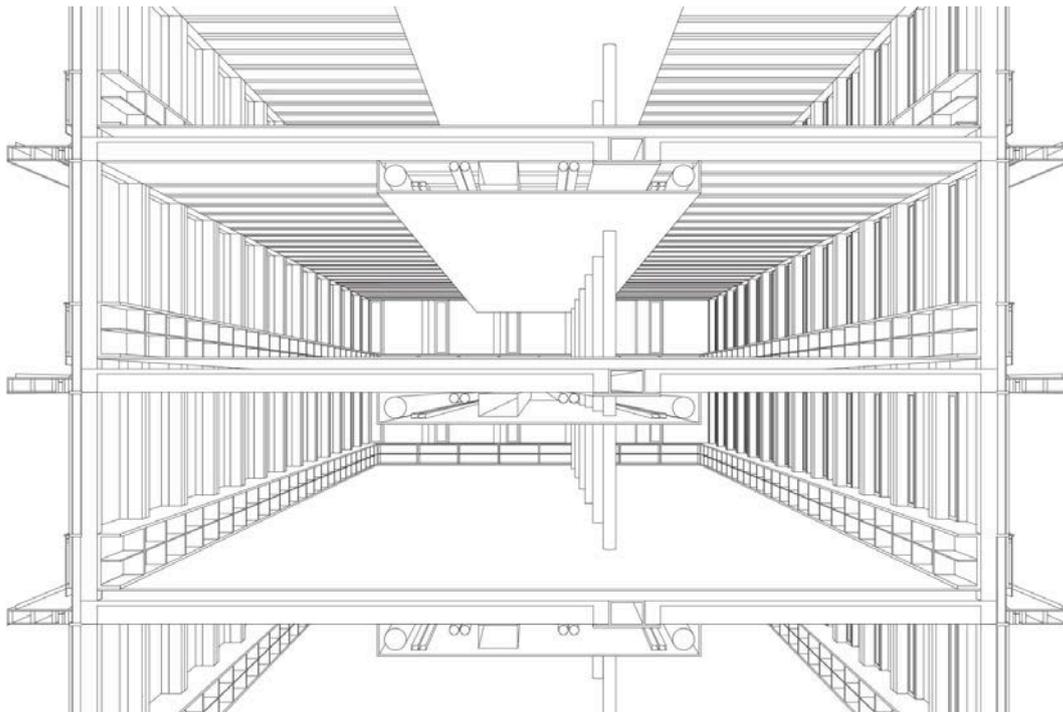


Abbildung 35\_ Tragwerk+ Gebäudetechnik in der Mittelzone  
Die Konstruktion ist gelenkig konzipiert, wobei die Ebenen als schubfeste Scheiben und die Fassadenstützen als Pendelstützen verwendet werden.



### 3.1.2 HoHo Wien

Architekt: RLP- Rüdiger Lainer+ Partner  
Ort: Wien, Österreich  
Baujahr: 2018



Abbildung 36: Rendering HoHo Wien und HoHo Next

Auf rund 4000 Quadratmeter Grundstücksfläche soll bis 2018 das HoHo Wien, ein 24 Geschöß und 84 Meter hohes Hochhaus in Hybridbauweise, in der Seestadt Aspern entstehen.

Architektonische Besonderheit ist die höhengestaffelte Silhouette und eine Fassadentextur, die an eine Baumrinde erinnert. Im Inneren des Gebäudes sollen sichtbare Holzoberflächen bei Decken und Außenwänden für ein spürbares Erleben des Elements Holz sorgen.

„Die flexible und nutzerbezogene Grundrissgliederung sorgt zusätzlich dafür, dass das Holz Hochhaus sehr lange genutzt werden kann.“<sup>39</sup>

**Besonderheiten** des Projektes sind der hohe Vorfertigungsgrad, das einfach aber durchdachte Tragsystem im Zusammenhang mit dem Brandschutzkonzept.

<sup>39</sup>

Quelle: [www.die.presse.com](http://www.die.presse.com)



## Materialität und Tragwerk

Ähnlich wie beim LCT- System kommen beim HoHo, Verbunddecken aus einer ca. 12cm dicken Betonschicht und einer darunterliegenden ca. 14cm dicken Brettsperrholzschiicht sowie Brettschichtholzstützen, die sich rund um das Gebäude bis in den 24 Stock erstrecken, zum Einsatz. Zwischenwände werden in Brettsperrholzwände gefertigt.<sup>40</sup>

Der Gebäudekern inkl. Erschließung wird in Stahlbeton errichtet. An diesen aussteifenden Kern dockt dann die Holz- Verbundkonstruktion an.

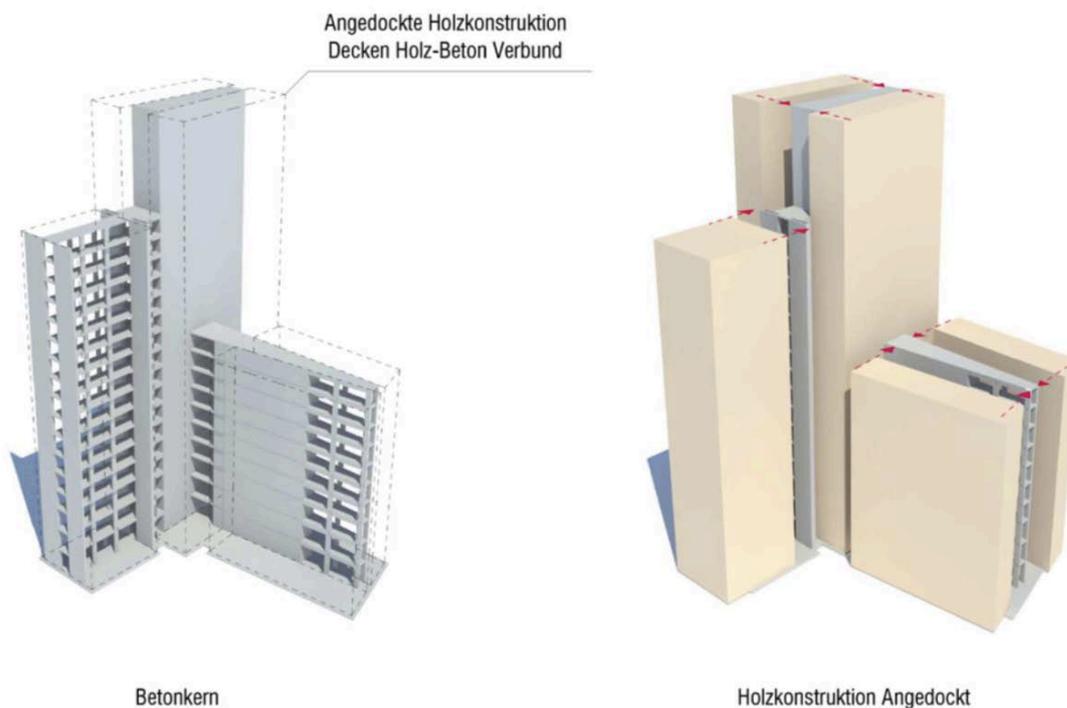


Abbildung 37: Aussteifender Gebäudekern aus Beton und angedockte Holz-Verbundkonstruktion

<sup>40</sup> Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)

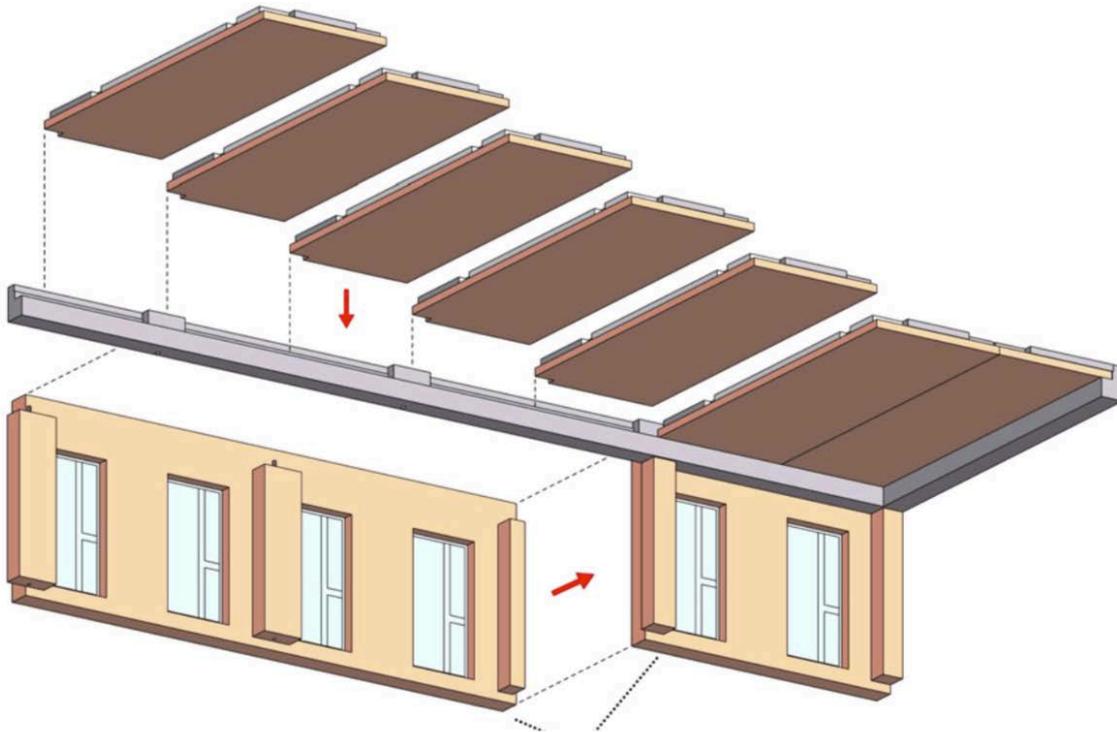
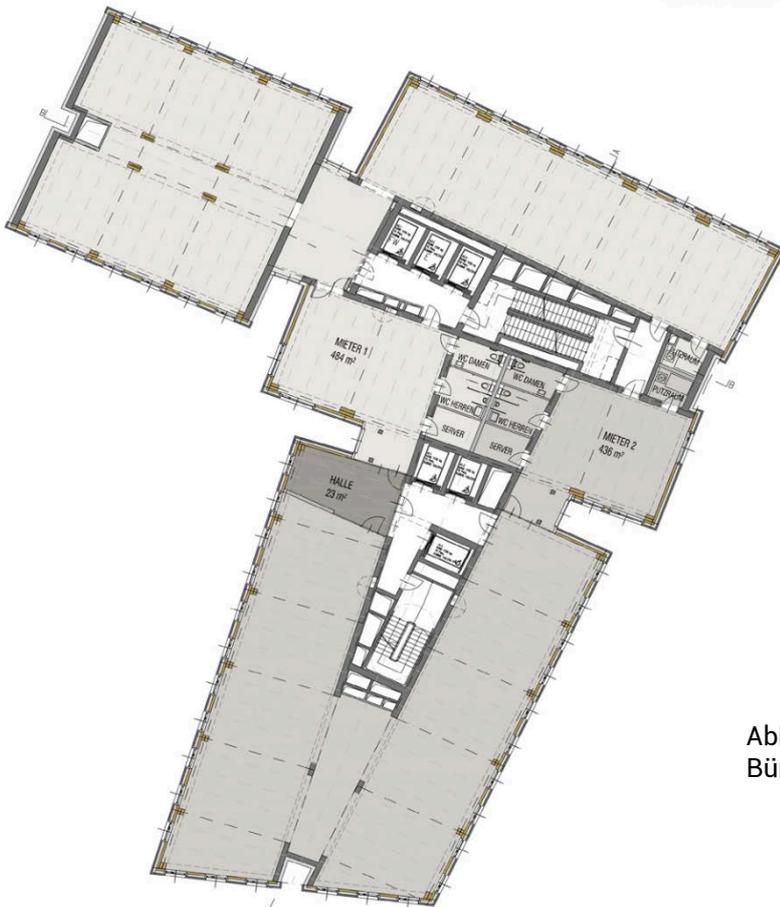


Abbildung 38: Tragkonstruktion bestehend aus BSH Stützen und Holz- Beton Verbunddecken



Der Grundriss zeigt eine zentrale Erschließung sowie eine kleine Brandabschnittsbildung. In Verbindung mit der Holz-Beton Verbunddecke kann so die enorme Höhe des Gebäudes aus Holz erreicht werden.

Abbildung 39: Regelgeschoß einer Büroetage für 2 Mieter



## Brandschutz

Das Brandschutzkonzept wurde durch einen Gebäudeaufbau aus einem Stahlbetonkern, welcher Liftschächte, Treppenhäuser, Fluchtwege und die gesamte Infrastruktur beherbergt sowie mit kleinen Brandabschnitten und massiven, unbeplankten Holzwänden und -decken sowie einer Sprinkleranlage definiert.

*„ Eine Kapselung würde Hohlräume schaffen, die im Brandfall nicht kontrollierbar wären. Der Vorteil der massiven Holzwand ist, dass der Abbrand kontinuierlich und sichtbar vonstattengeht. Unsere Brandversuche haben gezeigt, dass das Holz irgendwann von selbst zu brennen aufhört und auch dann noch hohe Stabilität gegeben ist.“*

Die Brandwiderstandsdauer des HoHo Wien wird bei rund 115 Minuten und damit weit über den geforderten 90 Minuten liegen. Der Einbau einer Sprinkleranlage ist selbstverständlich, da diese bei jedem Gebäude dieser Höhe benötigt wird.

Eben deshalb, weil der Kern aus Stahlbeton die Holzelemente

aussteift, existieren quasi keine tragenden Holzelemente im Gebäude, die nicht auswechselbar wären. Eine detaillierte Prüfung hat ergeben, dass jeglicher Holzbauteil im Gebäude renovierbar ist.<sup>41</sup>

## Nachhaltigkeit

Der Holzanteil des HoHo wird lt. Architekt Rüdiger Lainer bei rund 74% liegen, das würde 6.000m<sup>3</sup> Holz entsprechen.<sup>42</sup>

Dass die Erfolgsgeschichte in den Wäldern Österreichs beginnt, war für Günter Kerbler und Caroline Palfy von Beginn an Voraussetzung. Die XC® Deckenelemente von MMK einem Joint Venture der Mayr-Melnhof Holz Holding AG und der Kirchdorfer Gruppe stammen aus Eigenforst von Mayr-Melnhof, aber auch die Wände und Holzstützen von HASSLACHER NORICA TIMBER kommen zur Gänze aus nachhaltig bewirtschafteten heimischen Wäldern.

<sup>41</sup> Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)

<sup>42</sup> Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)



Palfy:

*„Ich werde immer wieder gefragt, ob der derzeitige Holz-Boom im Baugewerbe unseren Holzbestand gefährden könnte. In Österreich wachsen jährlich 30 Millionen Kubikmeter Holz nach, davon werden 26 Millionen Kubikmeter genutzt. Die restlichen 4 Millionen Kubikmeter verbleiben im Wald und vergrößern stetig den Holzvorrat.“*

Das bedeutet, dass in jeder Sekunde 1 Kubikmeter Holz nachwächst und somit das gesamte HoHo Wien in nur einer Stunde und 17 Minuten in unseren heimischen Wäldern nachgewachsen ist! Ein weiteres Plus für den einzigartigen Werkstoff Holz.

43

43

Quelle: [www.Hoho-wien.at](http://www.Hoho-wien.at)

Das Gebäude wird dem Passivhausstandard entsprechen. Die Räume werden von dezentralen Lüftungssystemen mit warmer, beziehungsweise kühler Frischluft versorgt. Die Abluft wird zentral abgeleitet. Die dezentrale Steuerung gibt dem Nutzer jegliche Freiheit, das Innenraumklima selbst zu bestimmen – bis hin zur herkömmlichen Fensterlüftung. Eine PV-Anlage auf dem Dach dient der Stromerzeugung.

44

44

Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)



## 3.2 Moderne Lehmbauweise

### 3.2.1 Alnatura Campus

Architekt: haas cook zemmrich | studie 2050

Ort: Darmstadt, Deutschland

Baujahr: 2016-2017



Abbildung 40: Alnatura Campus, Darmstadt

Auf einem ehemaligen Kasernengelände im Südwesten Darmstadts entsteht aktuell der Alnatura Campus. Herzstück des 55.000 Quadratmeter großen Geländes wird die Alnatura Arbeitswelt. Sie wird europaweit das größte Bürogebäude sein, dessen Außenfassaden aus Lehm gebaut sind.<sup>45</sup>

Auf einer Art Campus werden in drei Bereichen das Entwickeln der Produkte über deren Anbau, die

Verarbeitung und Vermarktung bis hin zum Kochen und Essen der selbst geernteten Nahrungsmittel erfahrbar. Die Bürowelt wird ein beispielhaftes Bürogebäude, welches die Anforderungen an zukunfts-gerechtes Arbeiten und nachhaltiges Bauen durch intelligente Wahl der Baumaterialien und dem behutsamen Einsatz energieeffizienter Gebäudetechnik umsetzt.<sup>46</sup>

<sup>45</sup> Quelle: [www.alnatura.com](http://www.alnatura.com)

<sup>46</sup> Quelle: [www.haascookzemmrich.com/alnatura-campus.html](http://www.haascookzemmrich.com/alnatura-campus.html)



## Tragwerk, Fassade und Materialität

Das spätere Bürogebäude wird drei Etagen haben. Pro Etage werden vier Stampflehmelemente übereinander gesetzt. Jedes vierte Element wird mit einem einbetonierten Stahlanker an der jeweiligen Geschossdecke verankert. Von innen soll die Stampflehmoberfläche sichtbar bleiben.

Auf die Frage, wie lange die Wände wohl der Witterung standhalten werden, sagt Clemens Quirin: „Stampflehm hat bei der entsprechenden Nutzung und Pflege kein Ablaufdatum. Es gibt in Europa viele Stampflehmhäuser, die mehrere hundert Jahre alt und noch gut erhalten sind.“ Gute Voraussetzungen für eine lange Lebensdauer des Bürogebäudes also.<sup>47</sup>



Abbildung 41: STB- Säulen+ Geschosßdecken, BSH- Leimbinder als Dachkonstruktion und die selbsttragenden Stampflehmwände



Abbildung 42: Innenraum nach Montage der zweischaligen Stampflehmwänden

<sup>47</sup> Quelle:  
[http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw\\_Bauen\\_mit\\_gedaemmttem\\_Stampflehm\\_2811659.html](http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Bauen_mit_gedaemmttem_Stampflehm_2811659.html)

## Aufbau und Herstellung der Stampflehmwände

Basis für die Wände ist Ausbruchmaterial aus dem Tunnelbau der Stuttgart 21-Baustelle. Außerdem enthält die Mischung Schotter von Schottergruben aus der Umgebung und Lehm aus dem Westerwald“, sagt Clemens Quirin, Büroleiter bei der Lehm Ton Erde Baukunst GmbH.

Erstmals werden hier Stampflehmwände mit zweischaligem Aufbau produziert. Zwischen den Lehmschichten wird eine Dämmschicht aus Glasschaumshotter eingefüllt, außerdem wird dem Lehm Lavaschotter beigemischt, auch das reduziert den Lambdawert.<sup>31</sup>

Der gesetzlich vorgeschriebene U-Wert von 0,35 W/m<sup>2</sup>K kann somit eingehalten werden.



Abbildung 43: Herstellung der zweischaligen, gedämmten Stampflehmwand



Insgesamt werden 384 Stampflehmelemente produziert. In der Fahrzeughalle am Grundstück steht dafür eine 35 m lange Schalung des Herstellers Doka.

Darauf fahren zwei Beschicker, die die Schalung mit drei Materialströmen zur gleichen Zeit füllen. An den Außenseiten wird die Lehmischung eingefüllt, dazwischen der Schaumglasschotter. Direkt im Anschluss wird das Material verdichtet. Zwischendurch wird die Maschine angehalten, um an der Schalungsaußenkante eine Schicht Trasskalkmörtel einzubringen. Da die Wände keine Stabilisatoren enthalten, wird Trasskalkmörtel schichtweise als Erosionsbremse gegen Regenwasser eingesetzt.

Denn die Stampflehmfassade wird später der Witterung ausgesetzt sein. Dass die Stampflehmwände ihr Aussehen mit der Zeit verändern werden, steht schon jetzt fest. Der Regen wird die obere Lehmschicht mit der Zeit leicht auswaschen. „Dann wird die Oberfläche rauer und steiniger aussehen“, sagt Clemens Quirin, „das ist aber so gewollt.“ Sobald der Lehm oberflächlich abgespült ist, treten die Trasskalkmörtel-Schichten hervor. Erst dann erfüllen sie ihre Funktion und bremsen Regenwasser an der Fassade. Das im Stampflehm enthaltene Steingranulat stabilisiert dann die Wände.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Quelle:  
[http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw\\_Bauen\\_mit\\_gedaemmtem\\_Stampflehm\\_2811659.html](http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Bauen_mit_gedaemmtem_Stampflehm_2811659.html)



## Bearbeitung und Montage

Sobald ein Wandelement fertig erstellt und ausgehärtet ist, schlagen die Mitarbeiter der Erden Lehmbau GmbH mit dem Meißelhammer in die Stirnseiten und die Oberseiten vertikale und horizontale Nuten hinein. „Die Nuten sind aber nicht zur Verbindung der Elemente gedacht, sondern zum Einbau der Fenster und der Regenrohre“, erklärt Clemens

Quirin. Untereinander werden die Stampflehmelemente mit Lehmörtel verbunden. Um aufsteigende Feuchte zu vermeiden, werden die ersten Elemente per Kran auf Betonsockeln platziert, die aus dem Stahlbetonfundament aufragen. Zwischen den Betonsockeln und den ersten Elementen wird eine mineralische Dichtschlämme aufgebracht.



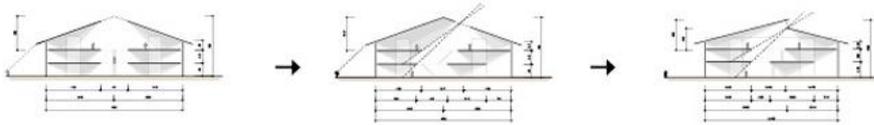
Abbildung 44: Einschlagen der Nuten für Fensteranschluss und Regenabfallrohre sowie Montage der 1. Reihe Stampflehmwände auf dem STB- Sockel



## Tageslichtoptimiertes Gebäude

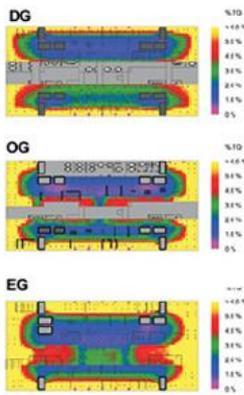
Die Großzügigkeit des Standortes ermöglicht den Bau eines weitgehend tageslichtoptimierten Gebäudes.

Der asymmetrische Dachfirst lenkt ausschließlich Nordlicht in das Atrium. Darum gruppieren sich auf 3 Geschossen 10000 qm Bürofläche für bis zu 500 Mitarbeiter. <sup>49</sup>

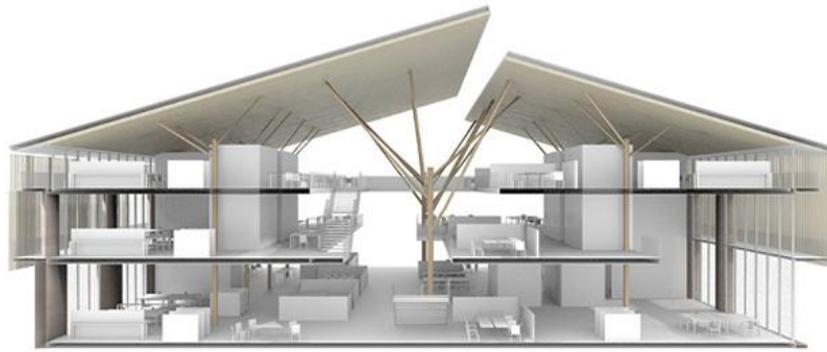


Lichtstudie

Eine intelligente, lichtoptimierte Gebäudegeometrie ermöglicht natürlich belichtete Arbeitsplätze nahezu über die gesamte Gebäudetiefe.

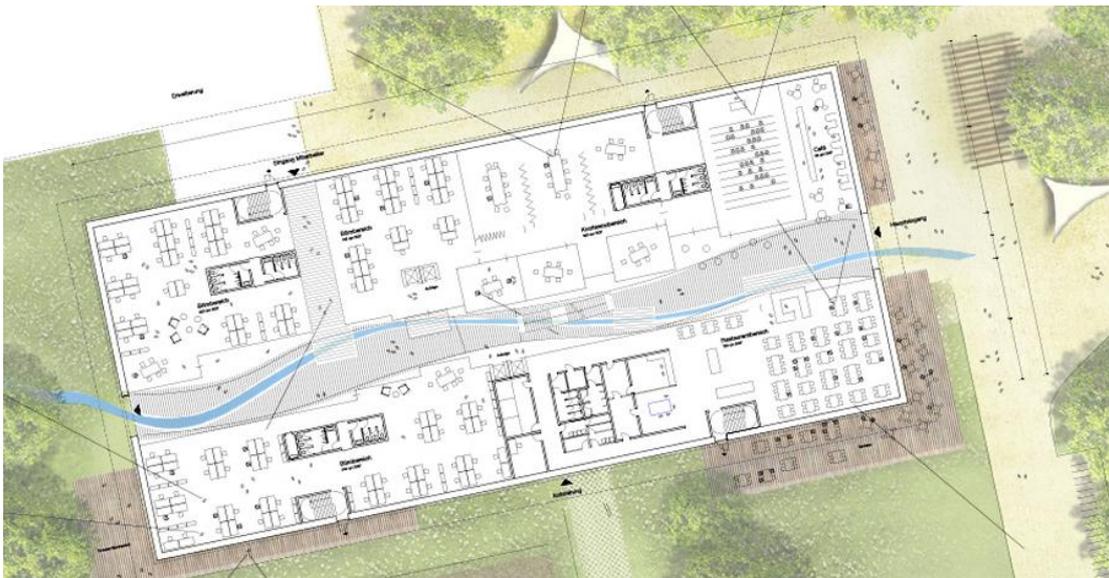


Lichtsimation



Innenraumperspektive

Abbildung 45: Schnitt- Tageslichtoptimierte Gebäudehülle und Grundriss des Campus



49

Quelle:  
<http://www.haascookzemmrich.com/alnatura-campus.html>



## Gebäudetechnik

Für die Temperaturregelung innerhalb des Gebäudes ist eine Geothermieanlage und Wärmepumpe zuständig. Die Stromerzeugung erfolgt mittels einer Photovoltaikanlage auf dem Dach

und ein Erdkanal versorgt das Gebäude mit vortemperierter Frischluft aus dem angrenzenden Wald. Die innovative Wahl der Baumaterialien sowie der ökologische Einsatz energieeffizienter Gebäudetechnik zeichnen das Gebäude aus.<sup>50</sup>

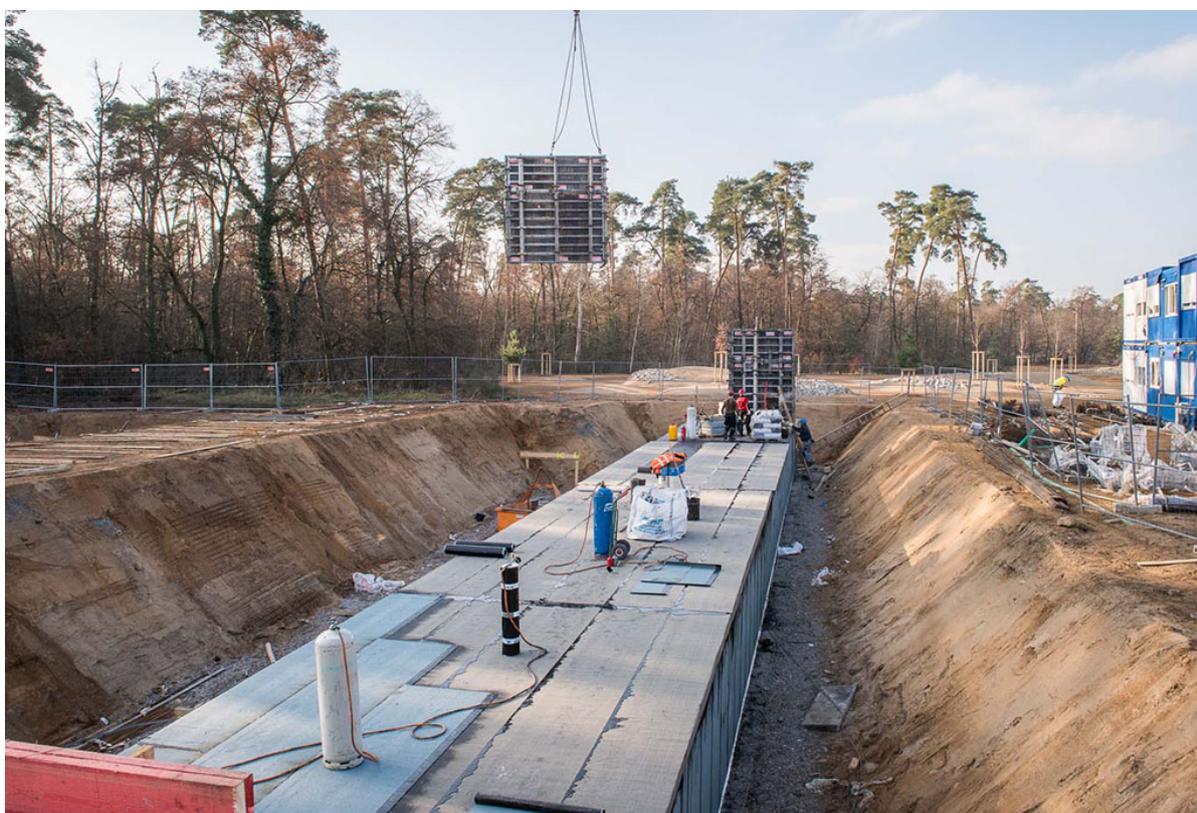


Abbildung 46: Einer von zwei Erdkanälen, die das Bürogebäude später mit Frischluft versorgen sollen

<sup>50</sup> Quelle: <http://www.geothermie.de/news-anzeigen/2017/02/23/alnatura-campus-europas-grosstes-burogebaude-aus-lehm-mit-nachhaltigem-konzept.html>



### 3.3 Moderne Holz- Lehm- Stroh Mischbauweise

#### 3.3.1 Haus S- Böheimkirchen

Architekt: Arch. Scheicher, Sbg / GrAT, TU Wien

Ort: Böheimkirchen, Österreich

Baujahr: 2005



Abbildung 47: S- House, Böheimkirchen: Das weit auskragende Dach bildet den konstruktiven Holzschutz für die darunter eingestellte Holz- Stroh- Lehm Box.

Das Strohballenhaus ist aus einem Projekt der GrAT (Gruppe Angepasste Technologie an der TU Wien) entstanden. Ein wichtiges Ziel im S-HOUSE Projekt war es, ökologische und funktionelle Vorteile zu verbinden und durch den konsequenten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen den Energie- und Ressourcenverbrauch um den Faktor 10 zu senken. Der Vergleich einer Strohwandkonstruktion mit einem konventionellen Wandaufbau hat

gezeigt, dass die Strohwand in allen Berechnungskriterien um bis zum Faktor 10 besser abschneidet. Während die Herstellung der Strohwand einen ökologischen Fußabdruck von nur 2364 ( $\text{m}^2\text{a}/\text{m}^2$  Wand) verursacht, verbraucht der vergleichbare konventionelle Wandaufbau mit 24915 ( $\text{m}^2\text{a}/\text{m}^2$  Wand) mehr als 10 Mal soviel natürliche Flächen.<sup>51</sup>

<sup>51</sup> Quelle:  
<http://baubiologie.at/strohballenbau/shouse->



## Energie und Ökologie

Das Nachwachsen und das Zurückgeben bestimmen dieses Objekt, beseelt von der Idee, den lästigen Abfallstoff Stroh als Baustoff zu nutzen – in aller Konsequenz, von der Dämmung bis zu den Schreibtischen und Innentüren, die nicht aus Holz-, sondern aus Strohplatten bestehen. Dem aktuellen Metall-Trend in der Architektur wird in Böheimkirchen nicht nur eine ochsenblutrote Holzfassade entgegengesetzt, diese wird sogar metallfrei mit Holzdübeln und speziell entwickelten Schrauben aus einem Holzwerkstoff in der Strohdämmung befestigt.

Gebaut wurde nicht für die Ewigkeit, sondern im Bewusstsein, dass dieses Objekt, wie viele andere Betriebsobjekte, vielleicht eine Lebenserwartung von zwanzig Jahren hat. Danach sollte ein Rückbau so einfach und ökologisch wie möglich sein. Für die Heizlastspitzen, die durch die unterschiedliche Nutzung des Gebäudes auftreten, wurde ein Biomasse-Speicherofen im kleinen Leistungsbereich bis 5 kW entwickelt.<sup>52</sup>



## Konstruktion

Auf Punktfundamenten werden die Strohballen- Bodenplatten montiert.

Dann wird als tragende Konstruktion eine KLH- Box aufgestellt. Kreuzlagenholz-Platten sind verleimte Massivholz-Platten. Die großen Strohballen (Dicke 60 cm) werden außen vor die Box montiert.

Zur Versteifung werden die Ballen auch noch untereinander mit Rundhölzern verbunden.

Dazu werden Schnüre mittels Dübel in der KLH-Platte befestigt, die Schnüre halten die Strohballen an der Fassade.



Abbildung 48: BSP- Bodenplatte auf Punktfundamente gelagert



Abbildung 49: Montage der Strohballen-Verbindung untereinander mittels Rundhölzer



Abbildung 51: Befestigung mittels Schnur



Abbildung 50: Befestigung der Schnüre mittels Holzdübel



Dann werden die Ballen außen mit Lehm (grob) verputzt (Brandschutz in der Hinterlüftungsebene) und die vorgesezte Holzfassade auf Staffeln mittels eigens entwickelten Holzspritzguß-Schrauben befestigt.



Abbildung 53: Mechanische Befestigung der Fassade



Abbildung 52: Befestigung der Lattung (Hinterlüftungsebene) auf die lehmverputzte Fassade

## Haustechnik

Die Komponenten der Haustechnik wurden nach Effizienz und Recyclierbarkeit ausgewählt und Leitungslängen minimiert sowie mineralische oder fossile Rohstoffe im höchst möglichen Ausmaß durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt. Die Lüftungskanäle und Kabeltrassen sind in Holz ausgeführt.

Spezielle Zirbenholz Innenoberflächen in den Frischluftkanälen verbessern das Innenraumklima und erhöhen das Wohlbefinden der Nutzer. Das begrünte Dach speichert Regenwasser und verzögert den Abfluss bei starken Niederschlägen.

53

---

53 Quelle:  
<http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/>



### 3.3.2 Haus des Lernens

Architekt: MAGK aichholzer klein ZT OG  
Ort: St. Pölten, Österreich  
Baujahr: 2017- 2018



Abbildung 54: Haus des Lernens (c) MAGK architektur aichholzer

Das dreigeschoßige Bürogebäude beinhaltet Büro,- Beratungs,- Seminar,- und Sozialräume.

Das Nachhaltigkeitskonzept hat den reduzierten Energieverbrauch, den bauökologischen als auch den baubiologischen Materialaspekt sowie die flexible Nutzbarkeit des Gebäudes im Fokus. Ziel ist, den ökologischen Rucksack möglichst klein zu halten.

#### Daten und Fakten zum Projekt:

- 450m<sup>3</sup> verbautes Holz =450t CO<sup>2</sup> gebunden
- 1100m<sup>2</sup> Lehmputz
- 2000 Strohballen
- Anteil der Baustoffe aus regenerierbaren Quellen ca. 90%



## Gründung

Unter der Fundamentplatte wurde anstatt der üblichen XPS-Wärmedämmung ein ökologisch unbedenklicheres Produkt, nämlich Schaumglas verwendet.

Hier ist der Einbau der etwa 40cm dicken, wärmedämmenden und druckfesten Schüttung zu sehen.

## Konstruktion

Der Werkstoff Holz wurde für die Primärkonstruktion verwendet. Im Inneren bilden Brettsperrholzelemente (CLT) den steifen Kern des Gebäudes. Eine Skelettkonstruktion überspannt die Querachse wodurch die Flexibilität der möglichen Umgruppierung und Umnutzung erreicht wird. Die Holzständeraußenwände müssen nur das Eigengewicht tragen und sind mit Stroh ausgefacht, das innen mit Lehm verputzt ist. Die Außenhülle ist in den unteren Geschoßen mit einem diffusionsoffenen Putzsystem überzogen, im Dachgeschoß mit einer Lärchenschalung.

In den Büroräumen bleibt die Skelettkonstruktion komplett, die CLT Wände und Decken großteils sichtbar. Der Lehmputz an den

Außen- und an den Innenwänden komplettiert das Erscheinungsbild der Büroräume.

## Gesunde Baustoffe

Es sind diese Baustoffe mit ihren spezifischen Eigenschaften, die ein positives Raumklima erzeugen. In der Dachkonstruktion kommen Dachbinder mit einer Höhe von 50cm zum Einsatz. Zwischen den Sparren werden ebenfalls Strohballen als Wärmedämmung eingesetzt.

## Haustechnik

Den Heizenergiebedarf deckt eine Wasser/Wasser Wärmepumpe und eine kontrollierte Raumlüftung minimiert die Lüftungsverluste. Der Wärmeeintrag erfolgt über die Wandflächen. Die Verwendung von Holz vermindert Wärmebrücken. Fenster und Türen werden mit einer 3-fachen Isolierverglasung ausgeführt.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Quelle:  
<https://www.ecoplus.at/media/6534/kurzinformation-leuchtturmprojekt-haus-des-lernens.pdf>



## Lehmputz

Die Strohdämmung wurde innen direkt mit einer 3cm dicken Lehmputzschicht vor Ort verputzt.

Ergebnis sind diffusionsoffene, atmungsaktive Außenwände, welche durch ihren natürlichen, erdigen Farbton sehr angenehm wirken.

Ein Nachteil der dicken, vor Ort verputzten Lehmschicht ist die lange Trocknungszeit, welche lt. Auskunft des Architekten zu erheblicher Bauverzögerung geführt hat.

Hier gilt es Lösungen zu erarbeiten, um den Lehmputz vorgefertigt auf die Baustelle zu bringen.



Abbildung 55: Einbringung des Glasschaumschotters anstatt XPS Dämmung



Abbildung 56: Primär- Skellettstruktur überspannt die Querachse+ Einbringung der Strohballen



Abbildung 58: Vorbereitung für den Innenputz



Abbildung 57: Lehmverputz auf Strohwand mit montierter Wandheizung.





# 4

## Entwurfsplanung

Unter besonderer Berücksichtigung einer ökologisch, nachhaltigen Bauweise wurde ein multifunktionales Holzhybrid-Gebäude am zentrumsnahen Stadtpark von Wiener Neustadt geplant. Eine Aufwertung und Belebung der Inneren Stadt war zentraler Leitgedanke bei der Bauplatzauswahl. Der nachstehende Entwurf vereint gleich mehrere Funktionen unter einem Dach. So sind etwa eine Bar/ Cafe, ein Restaurant, ein mehrfach beispielbarer Veranstaltungssaal, Ausstellungsflächen, Seminarräume, Büroflächen, Hotelzimmer und Wohneinheiten geplant.



#### 4.1 Planungsaufgabe

Im Zuge der bevorstehenden Niederösterreichischen Landesausstellung 2019 erfährt das Stadtzentrum von Wiener Neustadt derzeit eine starke Revitalisierung.

Angefangen vom Neubau des Marienmarktes am Hauptplatz über die Neugestaltung der Fußgängerzonen bis hin zu den beiden Herzstücken der Landesausstellung. Die Revitalisierung und Generalsanierung der in Österreich einzigartigen, noch erhaltenen Waffenlager- Anlage der sogenannten Kasematten, welche gleichzeitig mit der Neuen Galerie das Besucherzentrum der Landesausstellung 2019 bilden wird. Des weiteren wird am nördlichen Stadt- Zentrumsrand das bestehende Stadtmuseum und die Ausstellungskirche St. Peter/ Sperr umgestaltet.

Durch die bevorstehende Landesausstellung sowie der starken wirtschaftlichen Entwicklung Wiener Neustadts, wird dabei auch die Nachfrage nach einem modernen innerstädtischen Hotelgebäude gerechtfertigt.

An einem zentrumsnahen Standort, wo derzeit gerade das Hotelgebäude Hilton Garden Inn entsteht, soll das mehrgeschossige nachhaltige Gebäude geplant werden.

Der nachstehende Entwurf vereint gleich mehrere Funktionen unter einem Dach. So sind etwa eine Bar/ Cafe, ein Restaurant, ein mehrfach beispielbarer Veranstaltungssaal, Ausstellungsflächen, Seminarräume, Büroflächen, Hotelzimmer und Wohneinheiten geplant. Besonderer Fokus wurde auf die Verwendung lokaler, nachwachsender Roh,- Baustoffe gelegt.

Sichtbare Holzoberflächen und lehmverputzte Wände sorgen dabei für besondere visuelle und taktile Wahrnehmungen.



Abbildung 59: NÖ- Landesausstellung 2019 in Wiener Neustadt

Neubau Marienmarkt am Hauptplatz



Besucherzentrum der Landesausstellung



Revitalisierung  
Stadtzentrums  
Wiener Neustadt



Neugestaltung Fußgängerzonen



Umbau des Stadtmuseums und  
Ausstellungskirche St. Peter/ Sperr

Abbildung 60: Projekte rund um die NÖ- Landesausstellung 2019 in Wiener Neustadt



## 4.2 Geografisch, topografische Lage

Wiener Neustadt befindet sich 50 km südlich von Wien. Es liegt im Steinfeld, dem südlichsten Teil des Wiener Beckens. Das Stadtgebiet wird von der Warmen Fischa und dem Kehrbach durchflossen, die sich am nordöstlichen Stadtrand vereinigen. Im Osten der Stadt bildet die Leitha die Grenze zum Burgenland. Das Stadtgebiet erstreckt sich von Norden nach Süden rund 14km, von Westen nach Osten rund 6,5km.<sup>55</sup>



Abbildung 61: Lage Wiener Neustadts in Niederösterreich

## 4.3 Klimadaten am Standort

Wiener Neustadt's Klima wird als warm und gemäßigt klassifiziert. Der Niederschlag in Wiener Neustadt ist hoch, auch während dem trockensten Monats. Die Temperatur liegt in Wiener Neustadt im Jahresdurchschnitt bei 9.2 °C. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt im Durchschnitt 668 mm.<sup>56</sup>

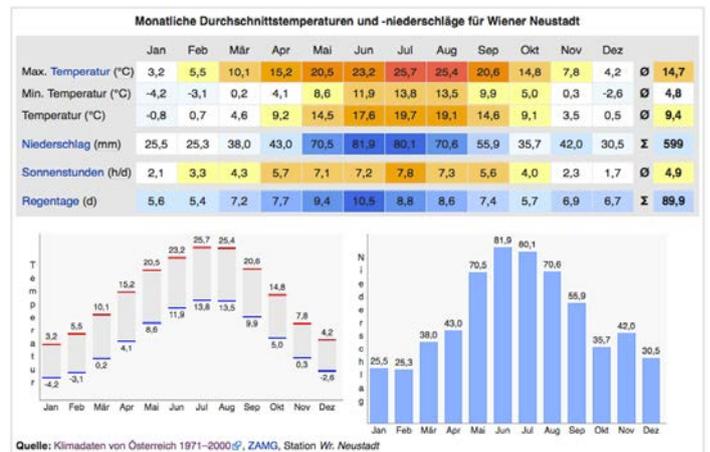


Abbildung 62: Klimadaten am Standort Wiener Neustadt

<sup>55</sup> Quelle: <https://www.ecoplus.at/media/6534/kurzinformation-leuchtturmprojekt-haus-des-lernens.pdf>

<sup>56</sup> Quelle: <https://de.climate-data.org/location/8444/>

#### 4.4 Bauplatz und städtebauliche Situation

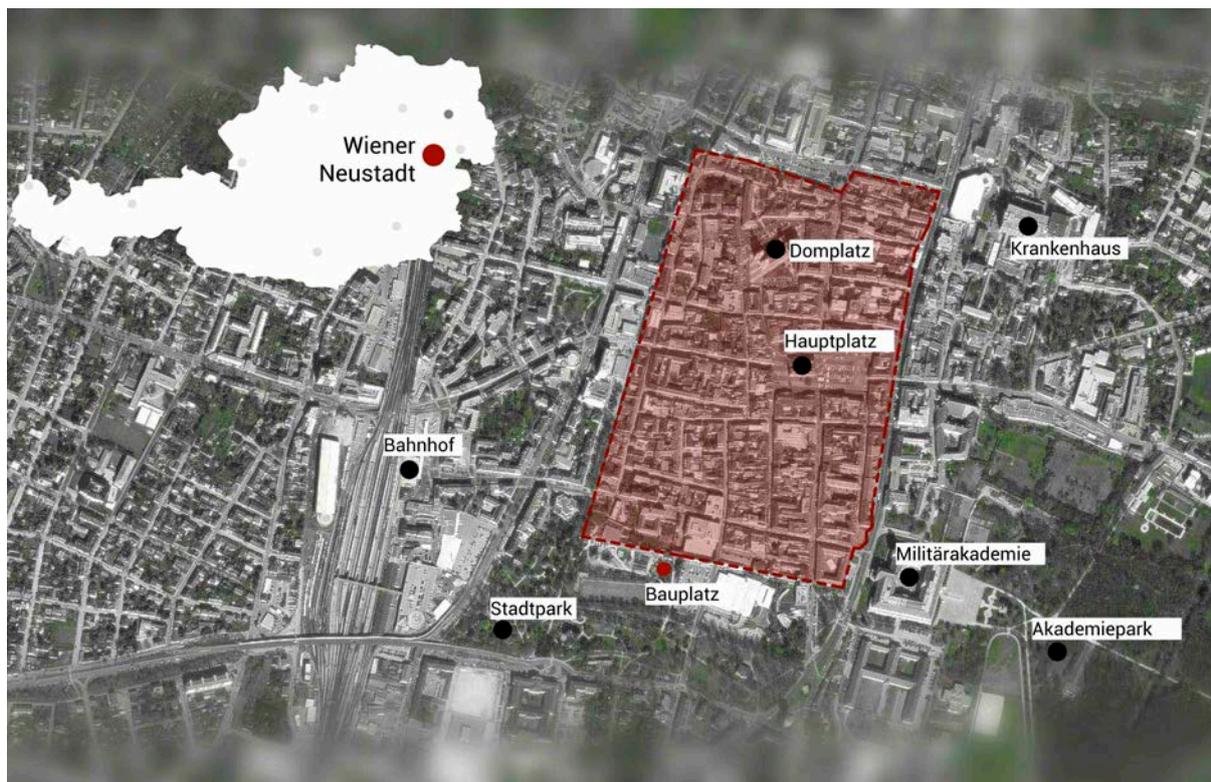


Abbildung 63: Bauplatz am Rande des Stadtzentrums (rot markiert) von Wiener Neustadt  
© Bernhard Bauer

Der Bauplatz liegt am Rande des Stadtzentrums von Wiener Neustadt, in der Bräuhausstrasse. Das Grundstück schließt im Norden direkt an die zum Teil noch erhaltene Stadtmauer an. Das Zentrum, also der Haupt,- und Domplatz sind in ungefähr 6 Gehminuten erreichbar.

Im Süden und Westen grenzt direkt der Stadtpark mit Kinderspielplatz sowie der Tennisplatz der Militärakademie Wiener Neustadt und die Kasematten mit der zukünftigen Neuen Galerie an. Am östlichen Nachbargrundstück befindet sich der Parkplatz des Möbelhauses Leiner.

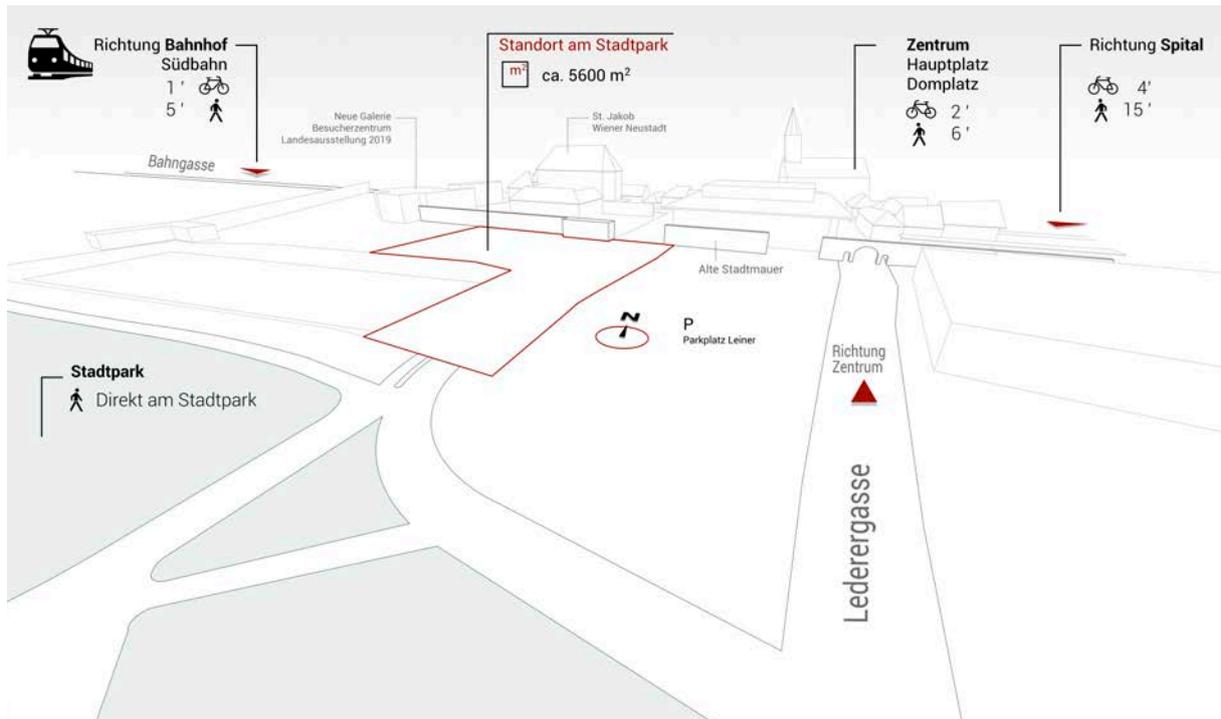


Abbildung 64: Standort mit Angabe von Entfernungen; © Bernhard Bauer

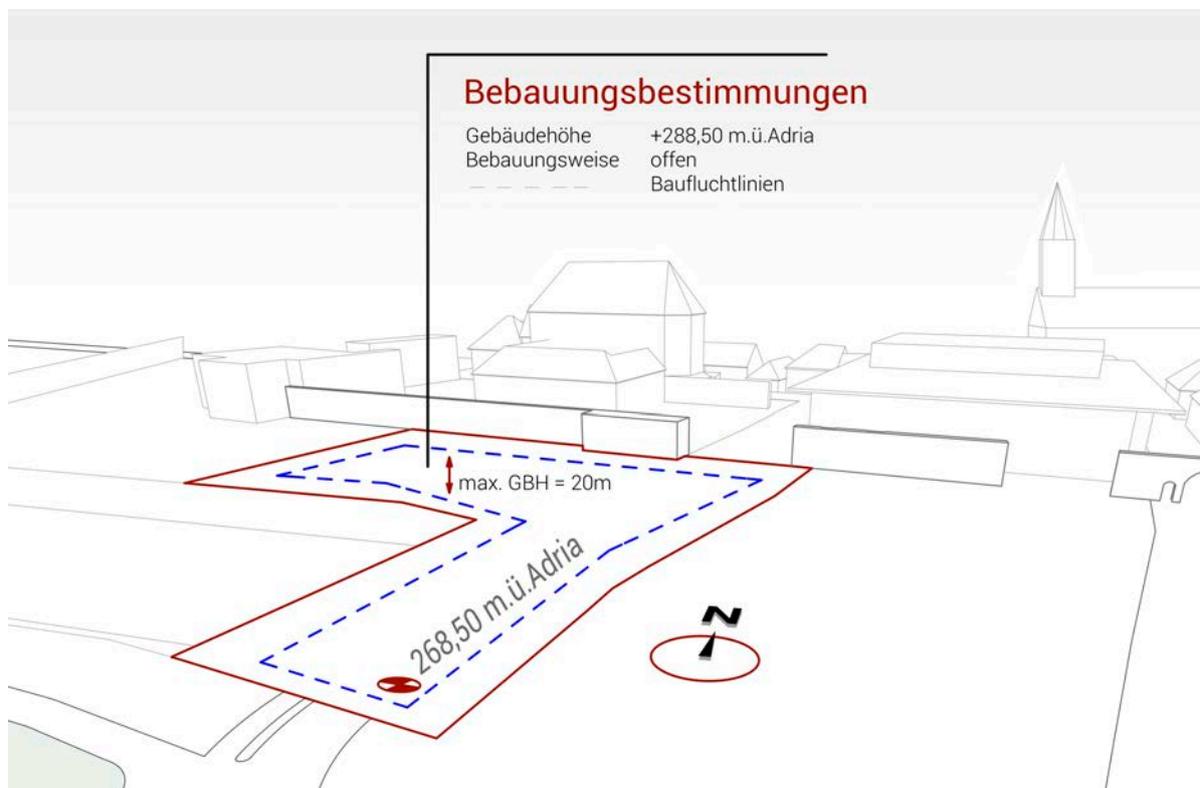


Abbildung 65: Bebauungsbestimmungen mit 20m GBH und festgelegten Baufluchtlinien © Bernhard Bauer

## 4.5 Entwurfskonzept

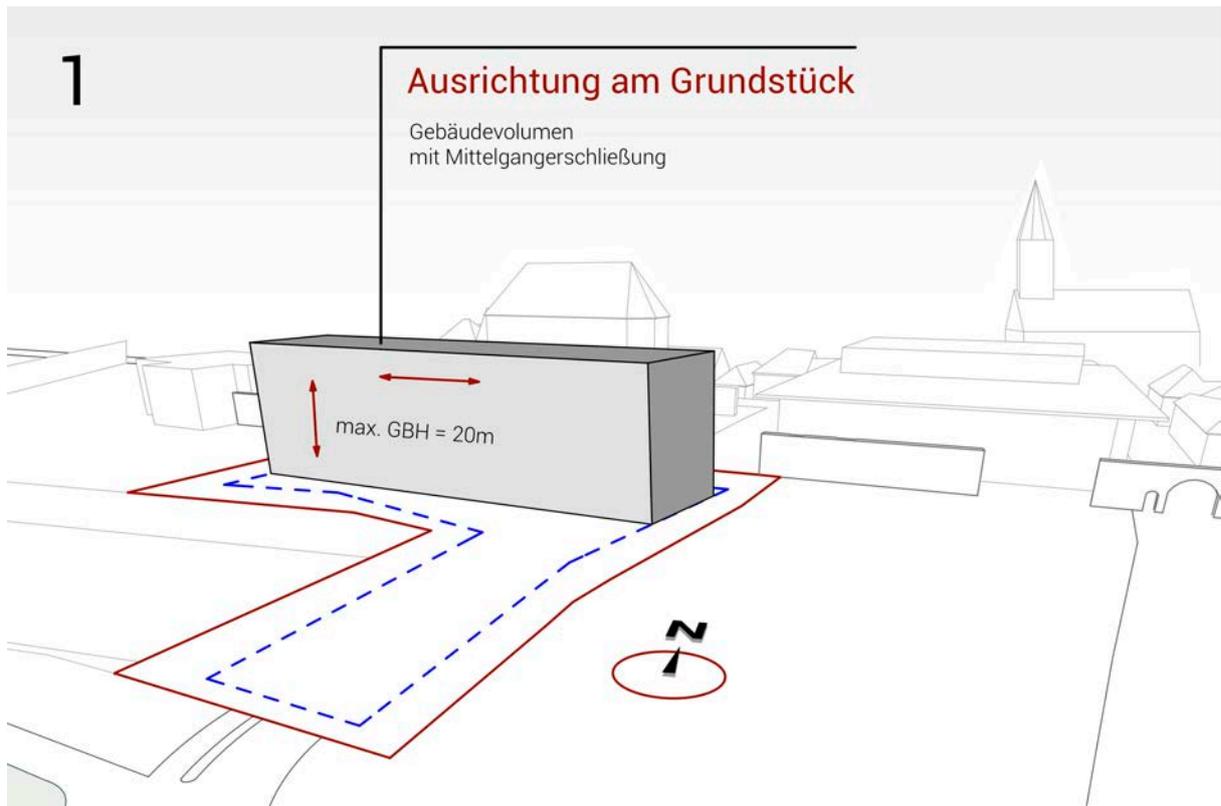


Abbildung 66: Gebäudevolumen lt. Bebauungsbestimmungen; © Bernhard Bauer

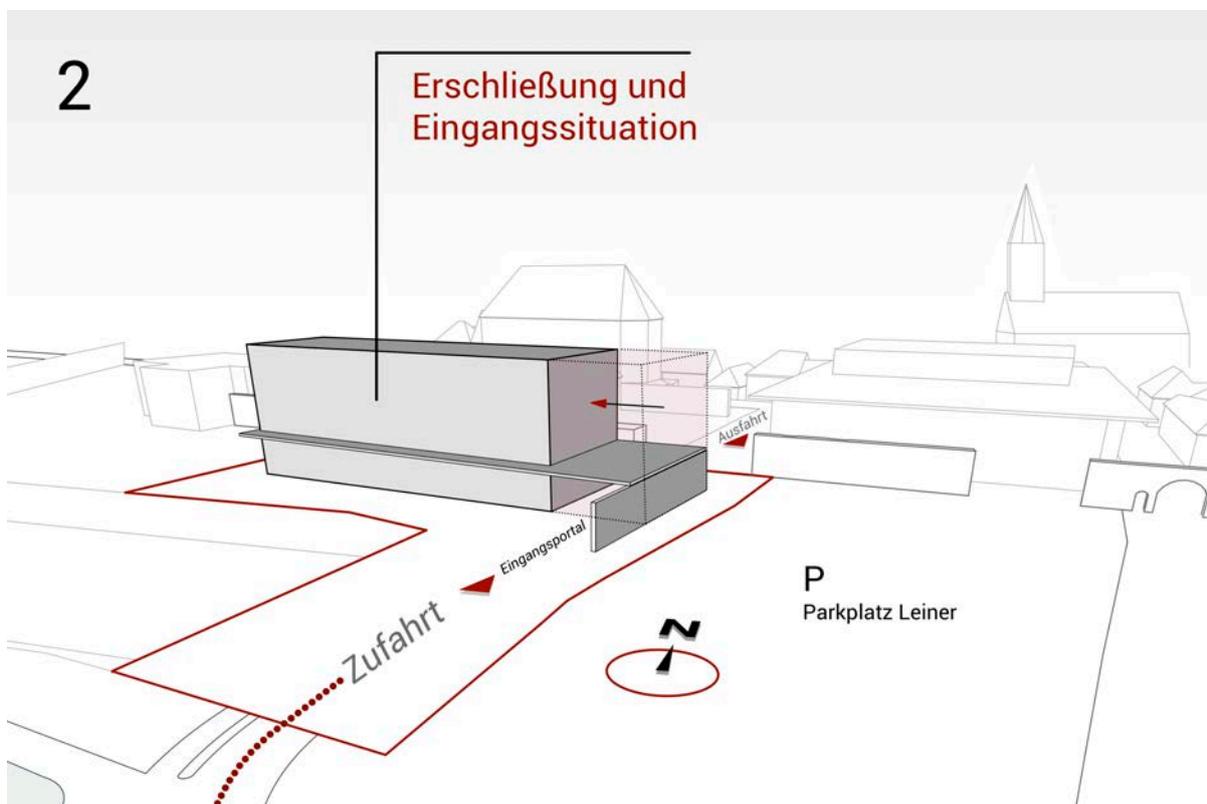


Abbildung 67: Zufahrt zum Grundstück und Eingangssituation ins Gebäude welche zum Parkplatz des Nachbargrundstückes abgetrennt werden soll; © Bernhard Bauer

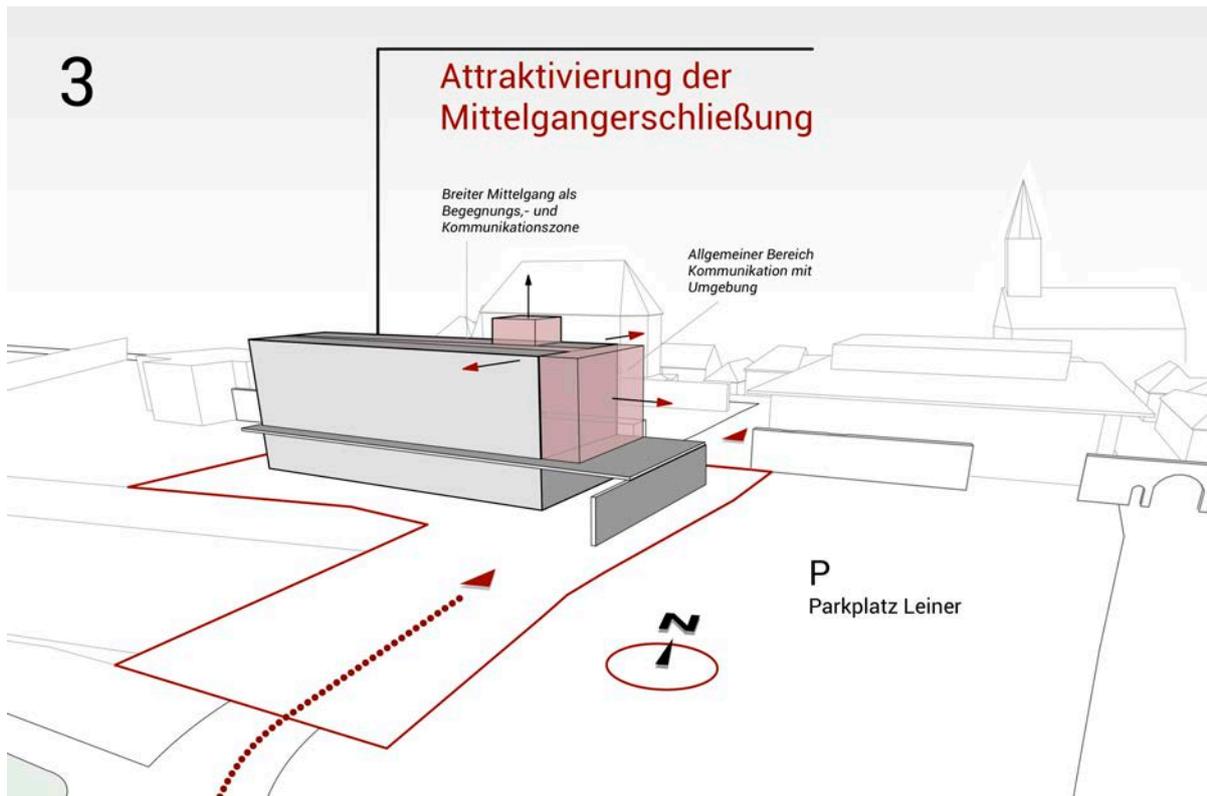


Abbildung 68: Breite Mittelgangerschließung, Transparenter Allgemeinbereich an der Kopfseite des Gebäudes um sich der Umgebung zu öffnen; © Bernhard Bauer

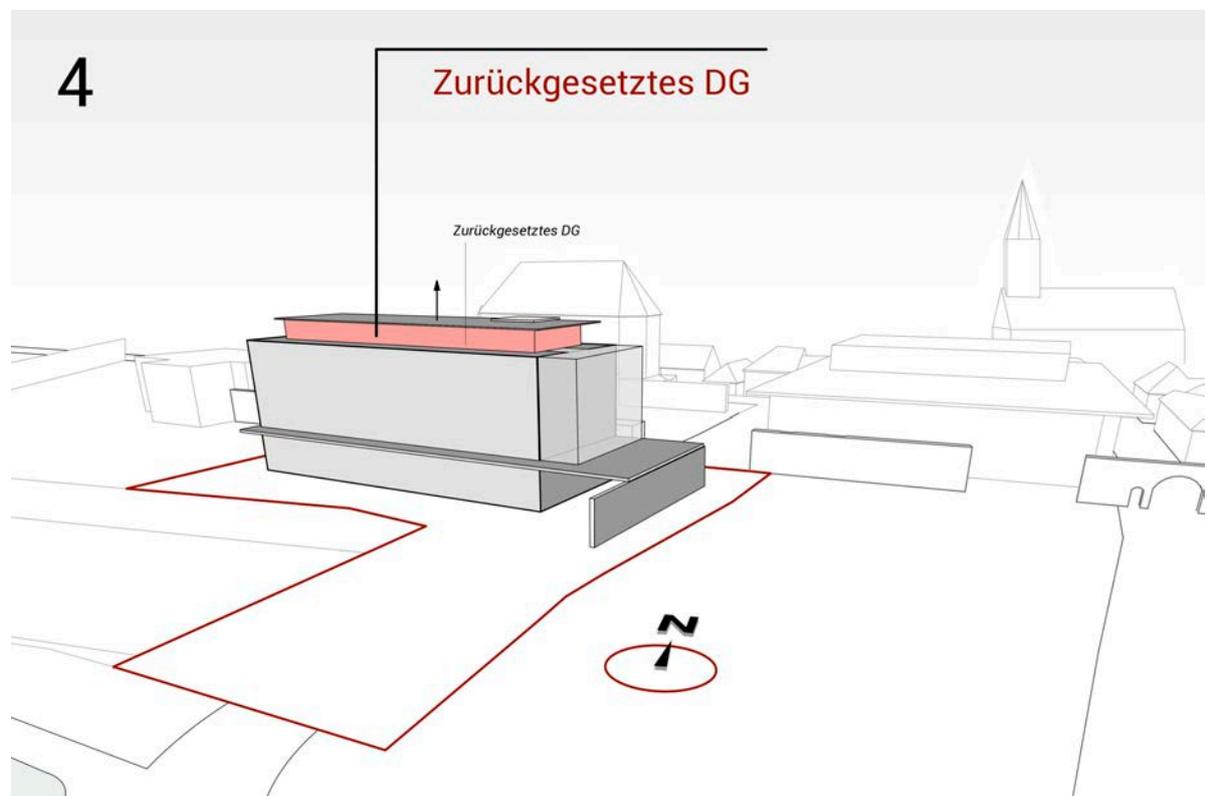


Abbildung 69: Gestaffeltes Dachgeschoß im erlaubten Ausmass; © Bernhard Bauer



## 4.6 Raumprogramm

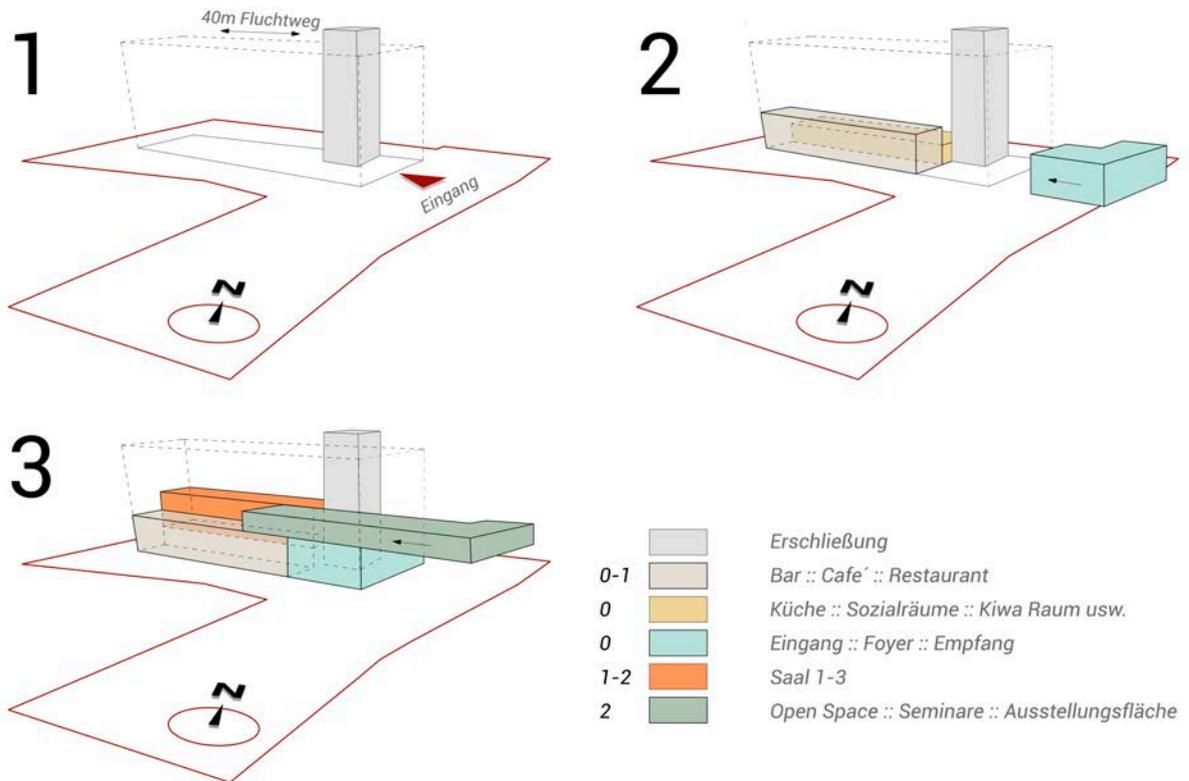


Abbildung 70: Raumprogramm vom Erdgeschoss bis zum 2.OG; © Bernhard Bauer

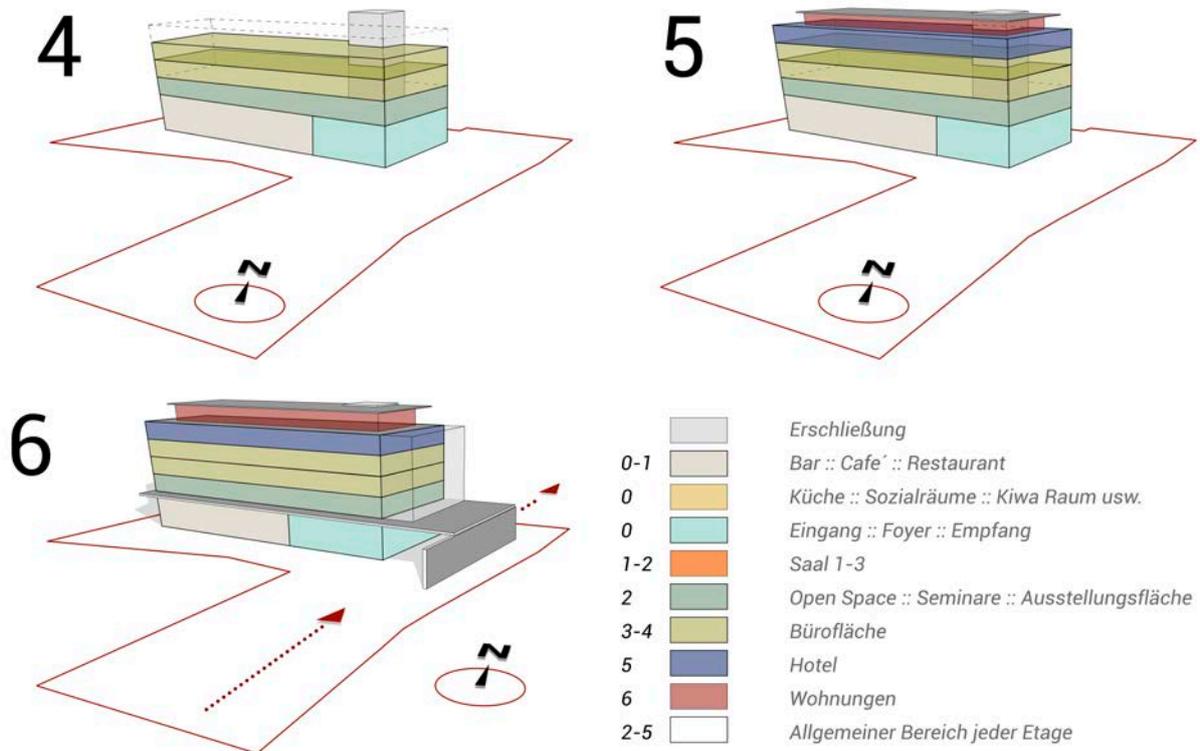


Abbildung 71: Raumprogramm gesamt; © Bernhard Bauer



## **4.7 Entwurfsplanung**

**Planunterlagen siehe Anhang:**

Anhang A: Schaubilder

Anhang B: Entwurfsplanung M 1:200

Anhang C: Grundrisse M 1:50

Anhang D: Fassadenschnitt+ Detailplanung M 1:20



# 5

## Tragwerk

Ziel war es, ein Tragsystem zu verwenden, welches eine flexible Gebäudenutzung und sichtbare Holzoberflächen zulässt und dabei die hochbautechnischen und bauphysikalischen Anforderungen erfüllt. Ein hoher Vorfertigungsgrad sorgt für hohe Genauigkeit und eine enorm schnelle Bauzeit.



## 5.1 Tragwerk im Überblick

Das Tragwerk wird in Skellettbauweise geplant, um eine möglichst hohe Flexibilität in der Gebäudenutzung zu erhalten. Der Erschließungskern wird

in einer Holz- Stampflehmkonstruktion geplant und dient dem Gebäude zur Aussteifung. Lediglich der Keller und Teile des Erdgeschoßes werden in Ortbetonbauweise geplant.

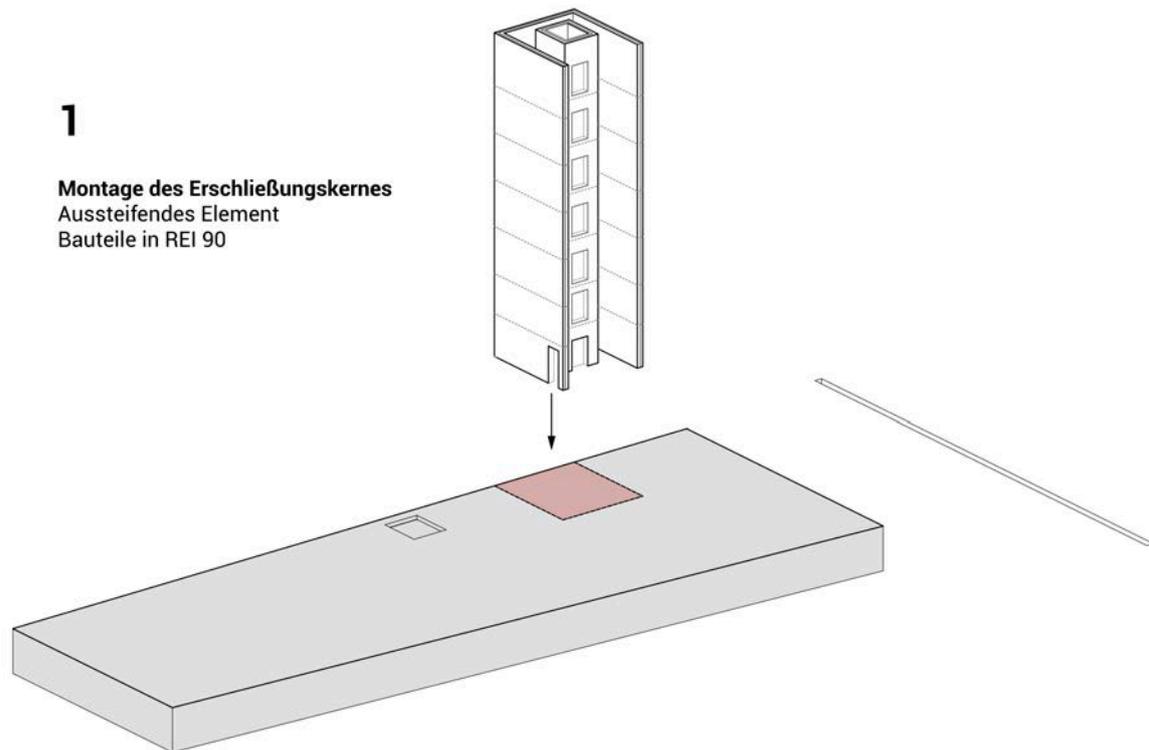


Abbildung 72: Der Erschließungskern als aussteifendes Element wird aus Holz-Stampflehmelementen vorgefertigt und montiert; © Bernhard Bauer

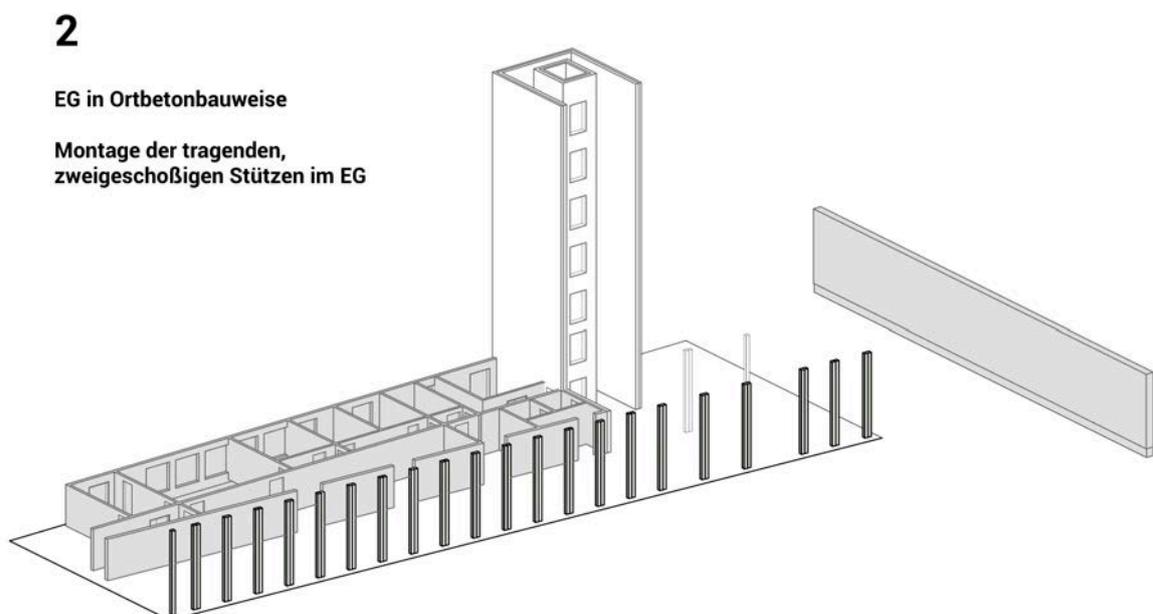


Abbildung 73: Keller und Teile des EG's werden in Ortbeton hergestellt, der Rest wird in HBV-Skellettbauweise vorgefertigt und montiert; © Bernhard Bauer

**3**

**Montage der Holz- Beton Verbunddecke**  
Auskragende Decke über EG

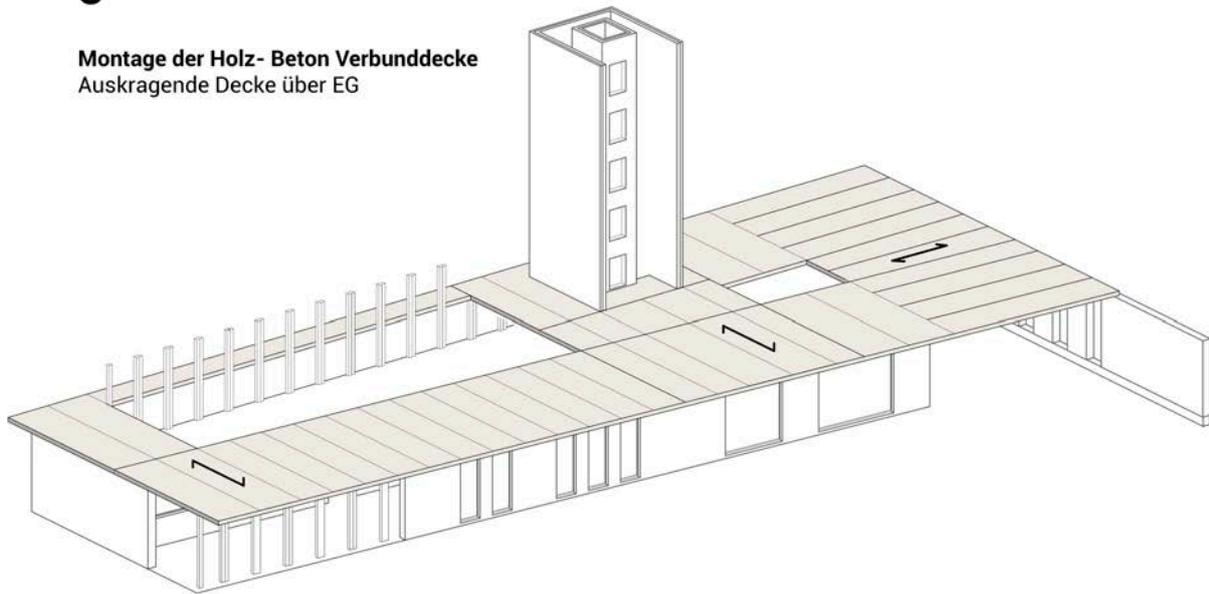


Abbildung 74: Montage der vorgefertigten, auskragenden Holz- Beton- Verbunddecke über dem Erdgeschoß; © Bernhard Bauer

**4**

**Geschoßweise Montage der BSH- Stützen**  
und der Holz- Beton Verbunddecken



Abbildung 75: Geschoßweise Montage der Tragstruktur bestehend aus BSH- Stützen und Holz- Beton Verbunddecken; © Bernhard Bauer



## 5

Montage des gestaffelten Dachgeschoßes  
in vorgefertigten Holz- Stroh- Lehm- Elementen

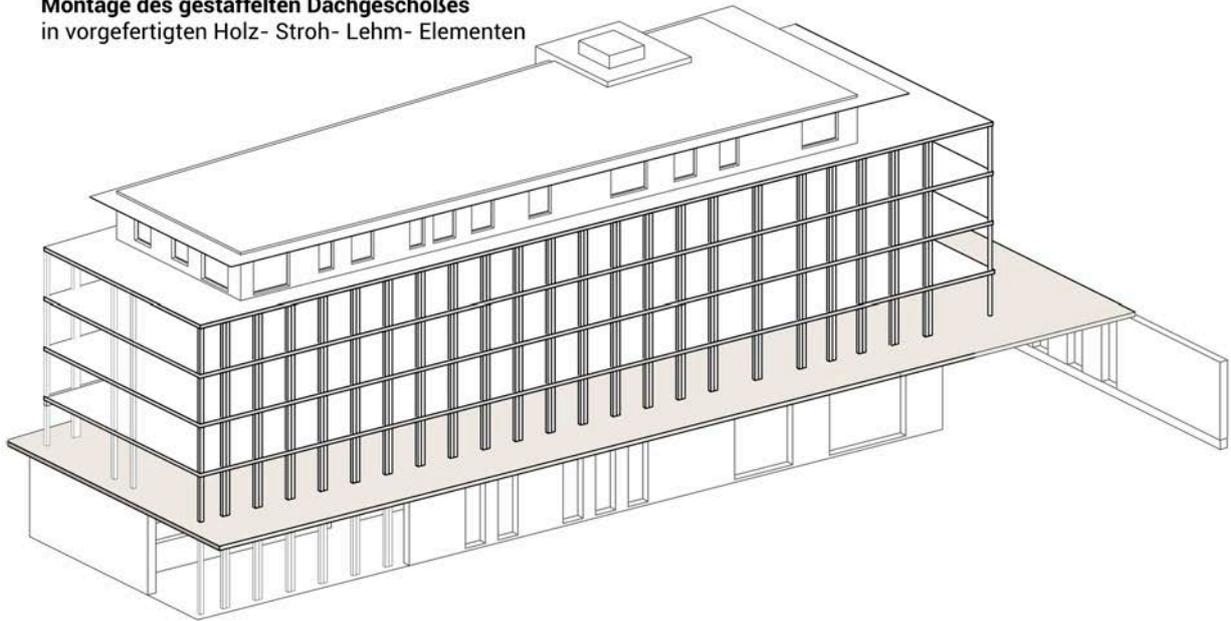


Abbildung 76: Gesamtes Tragsystem des Gebäudes; © Bernhard Bauer



## 5.2 Tragwerk im Detail

Die Konstruktion ist gelenkig konzipiert, wobei die Geschoßdecken als schubfeste Scheiben und die Fassadenstützen als Pendelstützen verwendet werden.

Die BSH- Stützenpaare sind mit 26/26cm geplant, die Holz- Beton Verbunddecken sind mit einer 16 cm dicken Brettsper Holzdecke und 9cm Verbundbeton geplant.

Die Deckenelemente der Randfelder sind 2,475 m breit und 7,00m lang. Im Mittelfeld variiert die Länge zwischen 1,70m und 5,95m. Die Elemente sind somit für den Transport mit dem LKW geeignet.

Die Doppelstützen sind mit den Deckenelementen gegen das Ausziehen über Rohr-Dorn-Steckverbindungen gesichert.

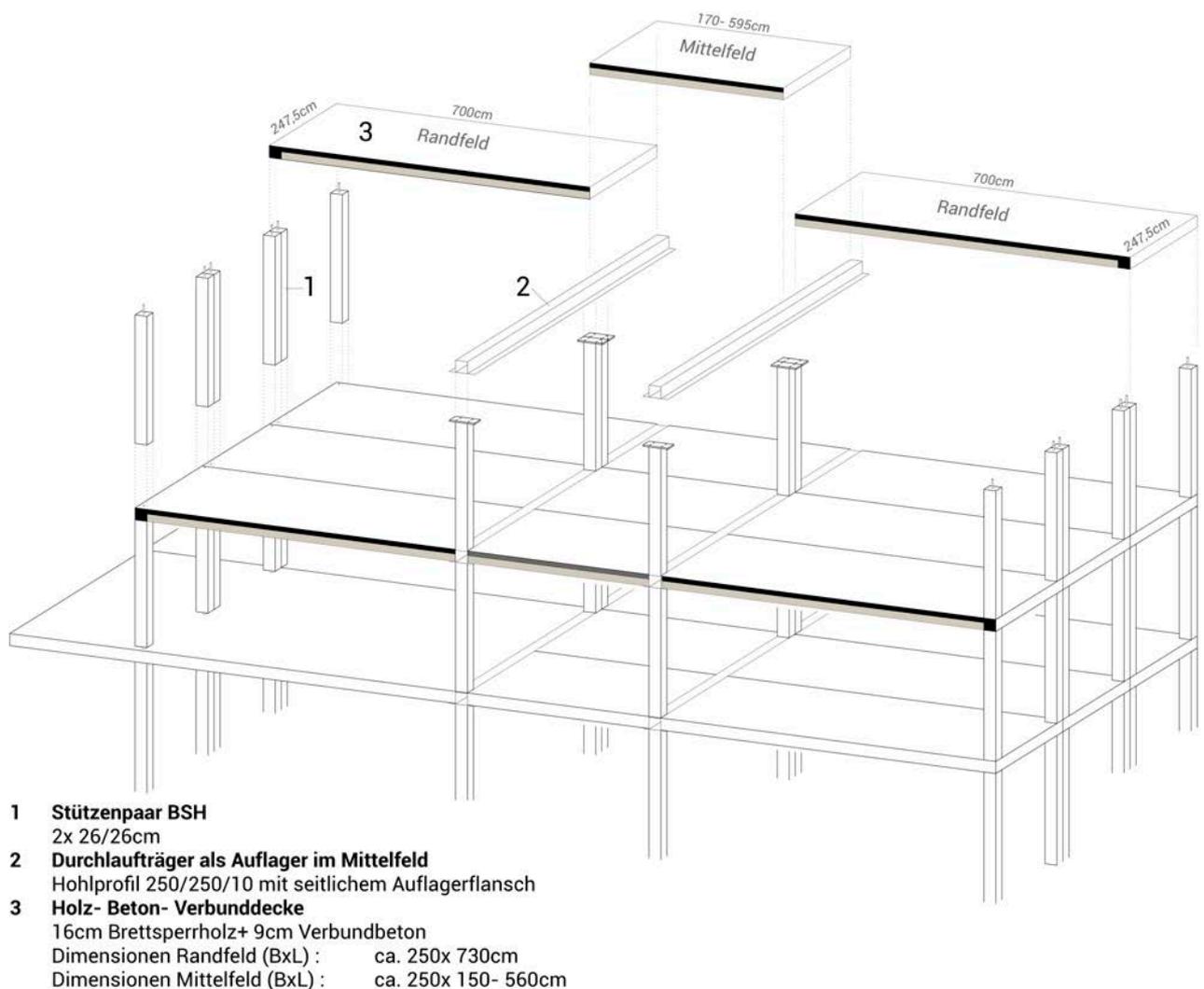


Abbildung 77: Isometrie des Tragwerks; © Bernhard Bauer



### 5.3 Auflagerausbildung

#### Auflagerausbildung im Randbereich der stumpf abschließenden Decken in den Obergeschoßen

Die Auflagersituation der Randfelder wird mit einem deckengleichen STB-Unterzug, welcher im Deckenelement integriert ist, geplant. Die Druckkräfte werden so von den BSH- Stützen

über den STB- Randträger in die darunter liegenden BSH- Stützen geleitet. Somit wird kein Holzbauteil normal zur Faserrichtung belastet.

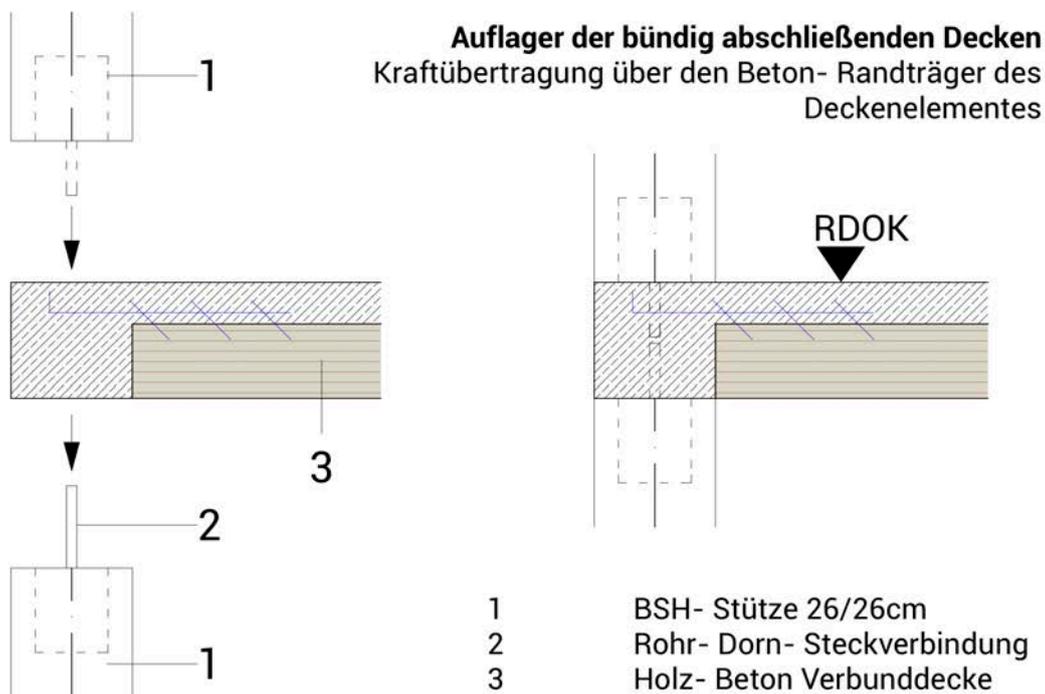


Abbildung 78: Auflagerausbildung- Lastabtragung über STB- Randträger  
© Bernhard Bauer

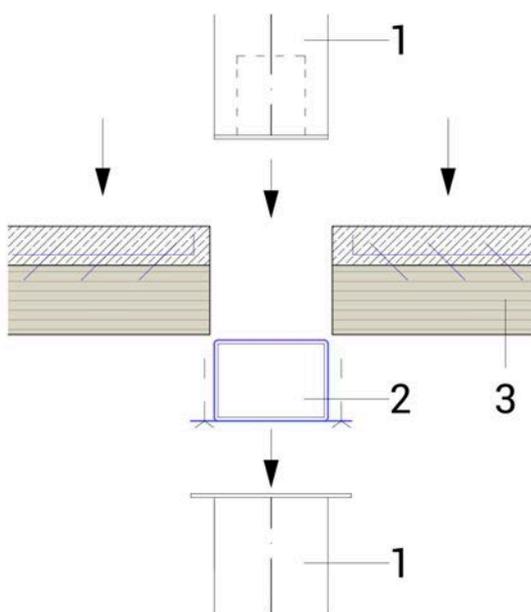


## Auflagerausbildung im Mittelfeld

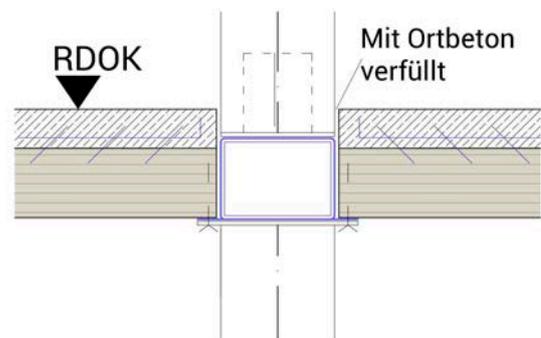
Die Auflagersituation im Mittelfeld wird mit einem deckengleichen Unterzug (Stahl- Hohlprofil), mit einem seitlich angeschweißten Stahlflansch, geplant.

Dieser Unterzug wird als

Durchlaufträger ausgebildet, daher können im mittleren Auflagerbereich die BSH- Stützen reduziert werden. Die Deckenelemente werden auf den Stahlflansch gelagert.



### Auflager in der Mittelachse Auflager der Deckenelemente auf den Stahl- Hohlprofilträger.



- 1 BSH- Stütze 26/26cm
- 2 Stahl- Hohlprofil- Träger mit seitlichem Flansch
- 3 Holz- Beton Verbunddecke

Abbildung 79: Auflagerausbildung- Lastabtragung über Stahl- Hohlprofilträger.  
© Bernhard Bauer



## Auflagerausbildung im Randbereich der auskragenden Decke über EG

Damit eine durchlaufende Holz-Beton- Verbunddecke und somit die Auskragung realisiert werden kann, muss eine spezielle Auflagerausbildung geplant werden.

Damit keine Kräfte über das Querholz geleitet werden, kommt eine Stahlverbindung, bestehend aus Fuß-, und Kopfplatte und einem Stahlhohlprofil als Distanzhalter, zum Einsatz.

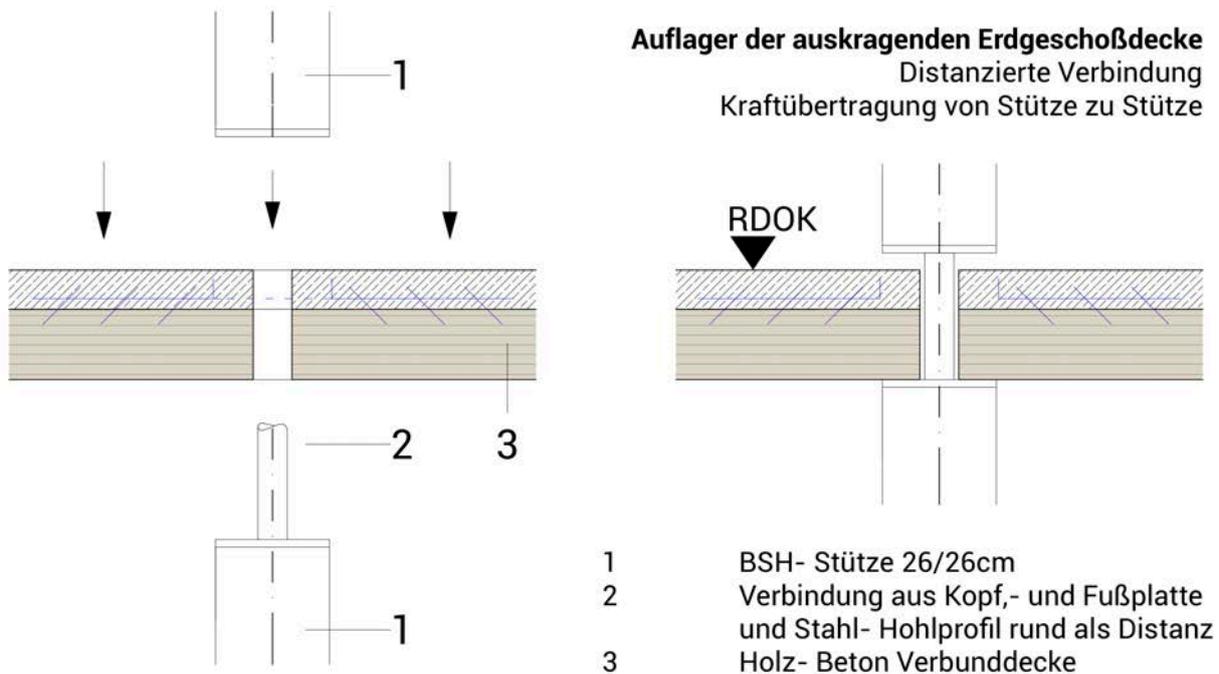
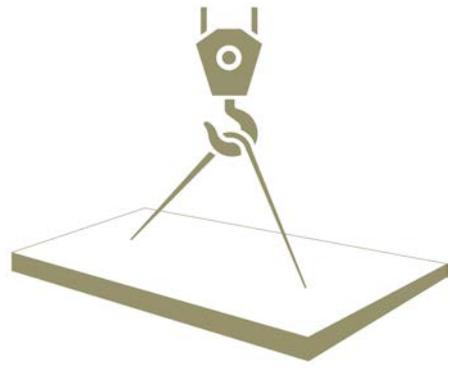


Abbildung 80: Auflagerausbildung- Lastabtragung über, zur Geschoßdecke distanzierte, Stahlverbindungen; © Bernhard Bauer



# 6

## Vorfertigung & Montage

Durch einen hohen Vorfertigungsgrad soll eine hohe Maßgenauigkeit und eine enorm schnelle Bauzeit erreicht werden. Weil die Vorfertigung der Holz- Stroh- Lehm- Elemente in einem Werk, unter konstanten Umfeldbedingungen, statt findet, können Fehlerquellen bei guter Planung minimiert werden. Auch der Lehmputz (Grobputz) soll vorgefertigt werden, um die enorm lange Trocknungszeit des Lehmputzes in den Griff zu bekommen. Die Elemente sollen inkl. Holzfassade und eingebauten Fenstern auf die Baustelle geliefert werden können.



## 6.1 Tragende und aussteifende Elemente

Abgesehen vom Keller und von Teilen des Erdgeschoßes werden alle Elemente im Werk vorgefertigt.

### Tragende BSH- Stützen

Als Grundelement werden BSH-Stützen mit den Abmessungen von 26x26cm in den jeweilig benötigten Längen abgebunden und vorgefertigt.

### Tragende Geschoßdecken

Die Holz- Beton Verbunddecken sind mit einer 16 cm dicken Brettsperrholzdecke (in Sichtqualität) und 9cm Verbundbeton geplant.

Die Deckenelemente sind 2,475m breit und zwischen 7,00m (Randfeld) und 1,70-5,95m (Mittelfeld) lang und sind somit für den Transport mit dem LKW geeignet.

1 BSH- Stützenpaar  
26/26cm



2 Holz- Beton Verbunddecke  
16cm BSP- Decke+ 9 cm Verbundbeton

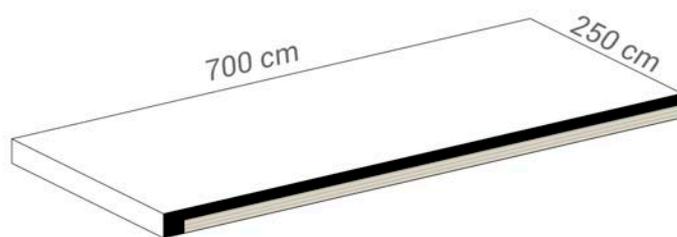


Abbildung 81: Vorfertigung der primären Tragstruktur; © Bernhard Bauer



### Stampflehwand im EG

Im Barbereich wird eine frei bewitterte Stampflehwand geplant. Die 2- geschößige Außenwand wird aus zweischaligen Stampflehm- Elementen mit ca. 100x65x100 cm (BxTxH) zusammengesetzt.

Diese Elemente werden im Werk gemeinsam mit einem STB- Sockel (Sockelausbildung) und dem BSH- Stützenpaar zu einem Element vorgefertigt.

### 3 Stampflehwand

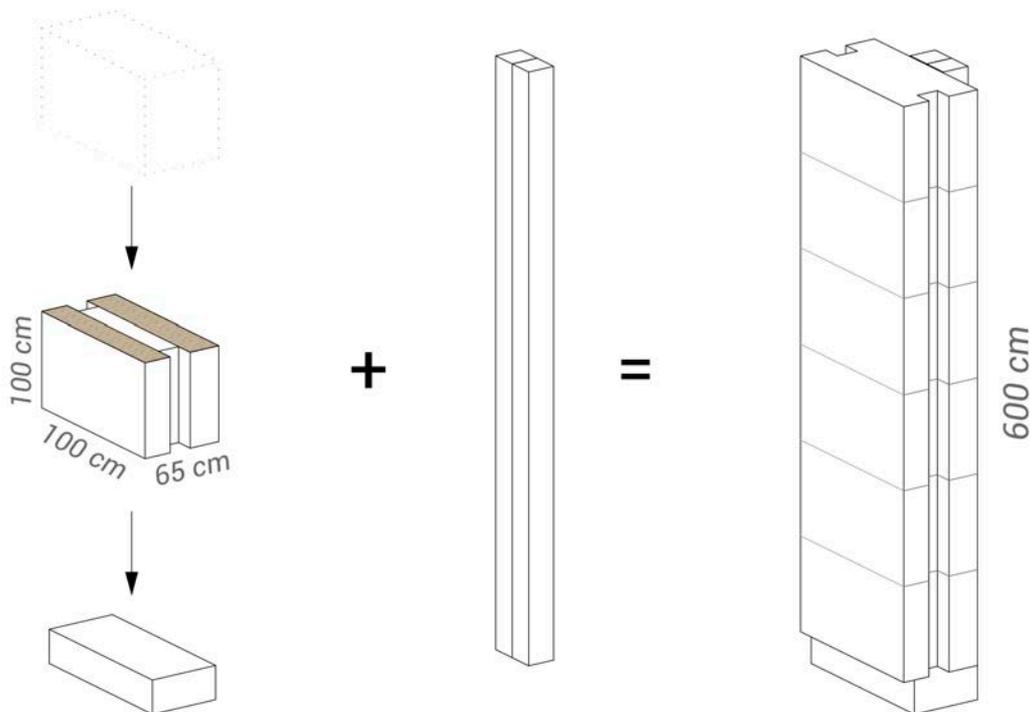


Abbildung 82: Vorfertigung der 2- geschößigen Stampflehm- Elemente; © Bernhard Bauer

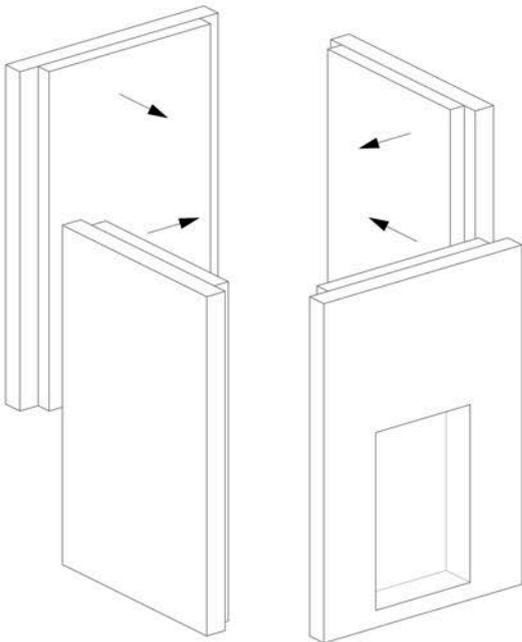


## Wand im Treppenhaus und Liftschacht

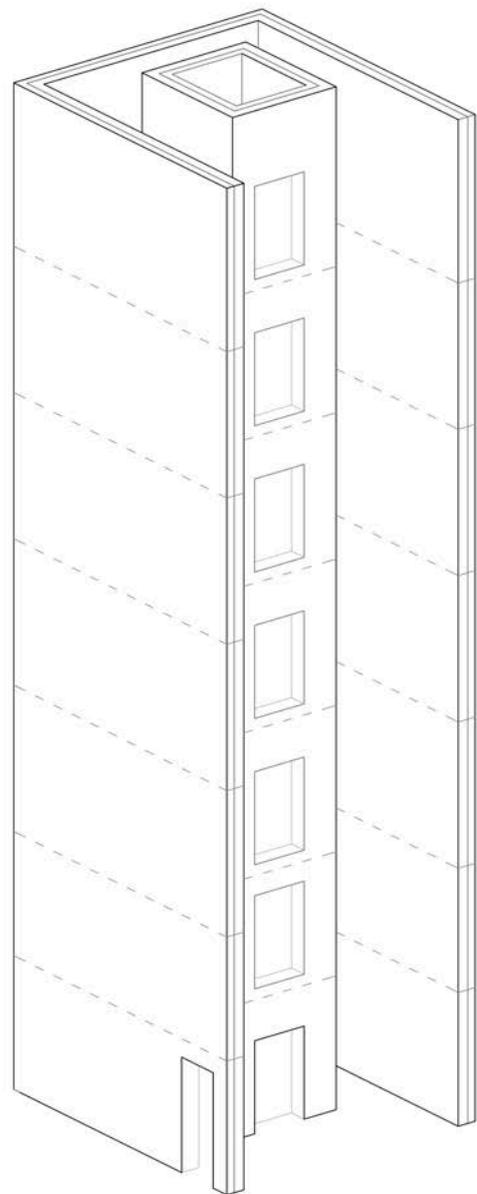
Die Wände im Bereich der Fluchtwege sind brandlastfrei geplant. Hier wird eine Brettsperrholz- Stampflehmwand geplant. Der Stampflehm ist dabei immer der Stiegenhausseite zugekehrt. Die Elemente werden im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengesetzt.

### 4 Wände im Treppenhaus/ Liftschacht

1. Vorfertigung der Stampflehm- Brettsperrholzwand- Elemente



3. Geschoßweise Montage auf der Baustelle



2. Fertiger Liftschacht über 1 Geschoß

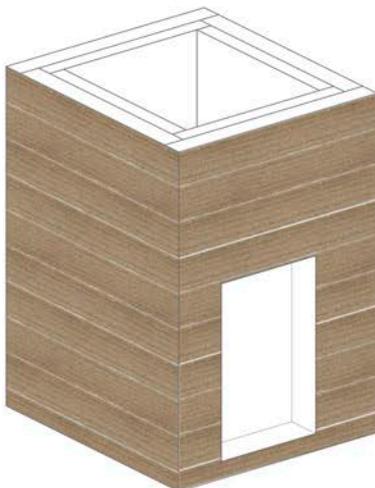


Abbildung 83: Vorfertigung der Holz- Stampflehm- Wände des Stiegenhauses;  
© Bernhard Bauer



## 6.2 Fassadenelemente

### Außenwand- Element

Die Holz- Stroh- Lehm- Außenwandelemente werden als 4 Geschöß hohe Elemente geplant. Mit einer Länge von 13,50m sind auch diese noch für den Transport mit dem LKW geeignet. Die Breite variiert je nach Elementtyp zwischen 97cm, 247,5cm und 301cm.

Das Standard- Strohballenformat von 36/48/85cm wurde bei der Planung der Achsabstände und der Elementierung sowie der Festlegung der Fenstergrößen von Anfang an

berücksichtigt.

Die Außenwandelemente werden, durch die integrierte und thermisch getrennte Stahl- Unterkonstruktion, an die BSH –Stützen befestigt. Die Stahl- UK dient außerdem der späteren Montage der auskragenden Balkondecken.

Die Elemente werden an der Innenseite bis zum Lehm- Grobputz und an der Außenseite bis zur fertigen, hinterlüfteten Fassade vorgefertigt und geliefert.

### Befestigung der 4- geschößigen Wandelemente am Tragwerk

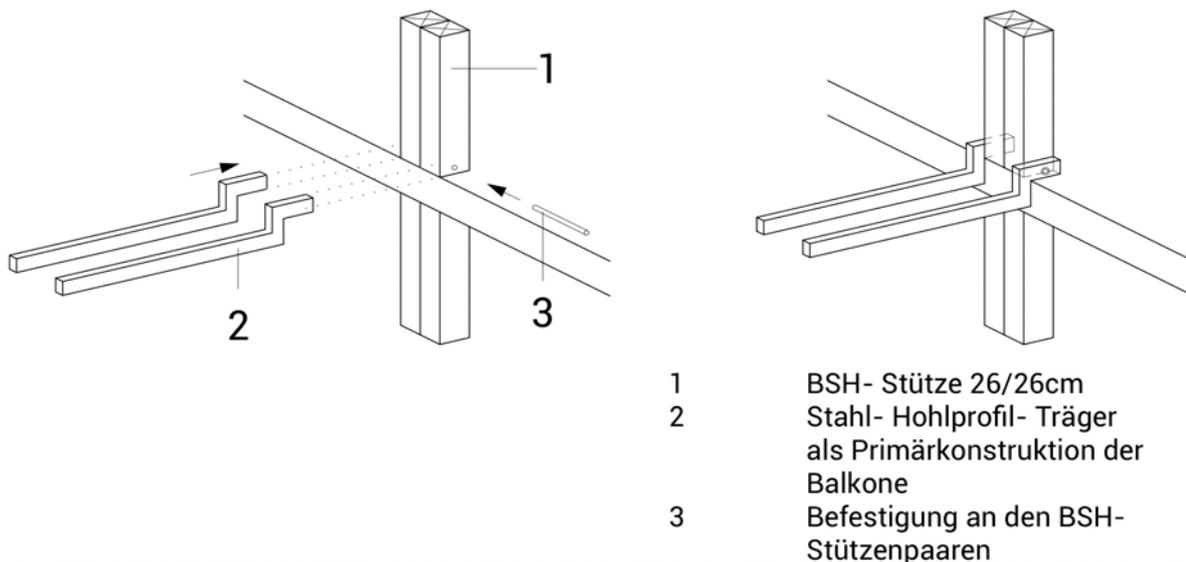
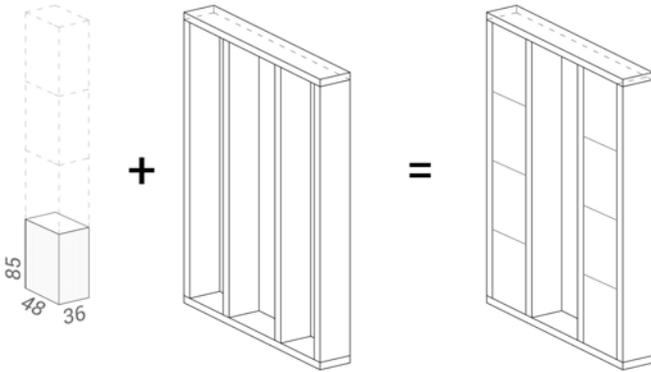


Abbildung 84: Befestigung der Außenwandelemente an den BSH- Stützenpaaren;  
© Bernhard Bauer

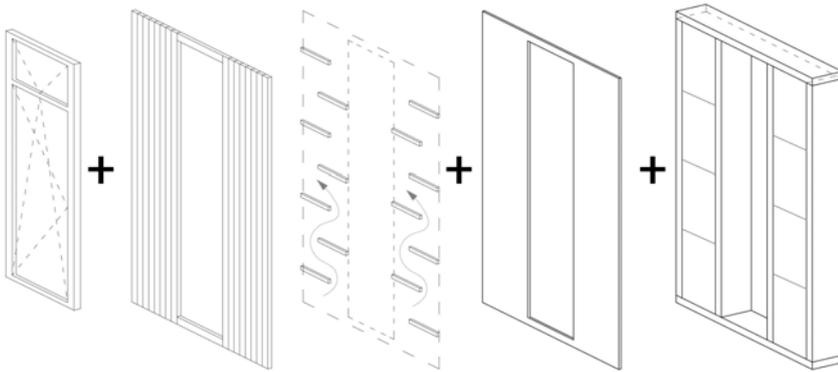


# 1 Aussenwand

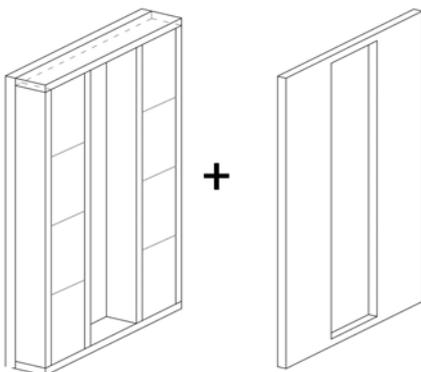
1. Befüllen der Holzrahmen mit Bau-Strohballen  
(Format= 36x48x85cm)



2. Aussen:  
Kalkputz direkt auf die Strohballe + Montage der Fassade+ Fenster



3. Innen:  
Vorfertigung des 6cm dicken Lehmputzes



Fertiges Fassadenelement  
über 4 Geschoße

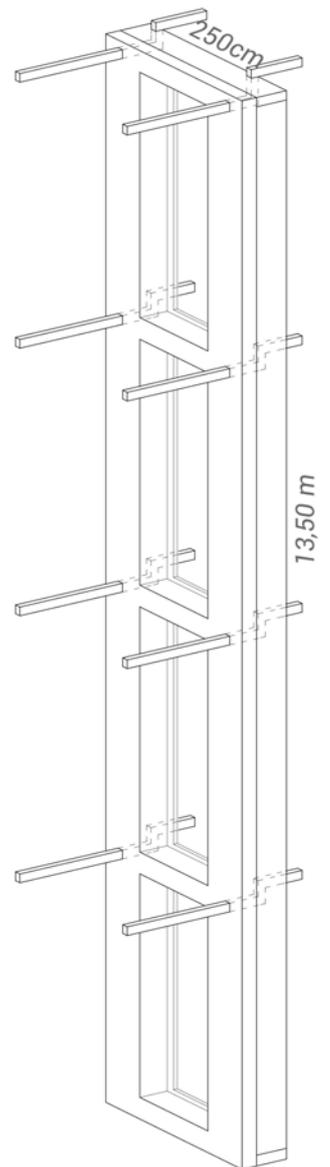


Abbildung 85: Vorfertigung der Außenwandelemente; © Bernhard Bauer

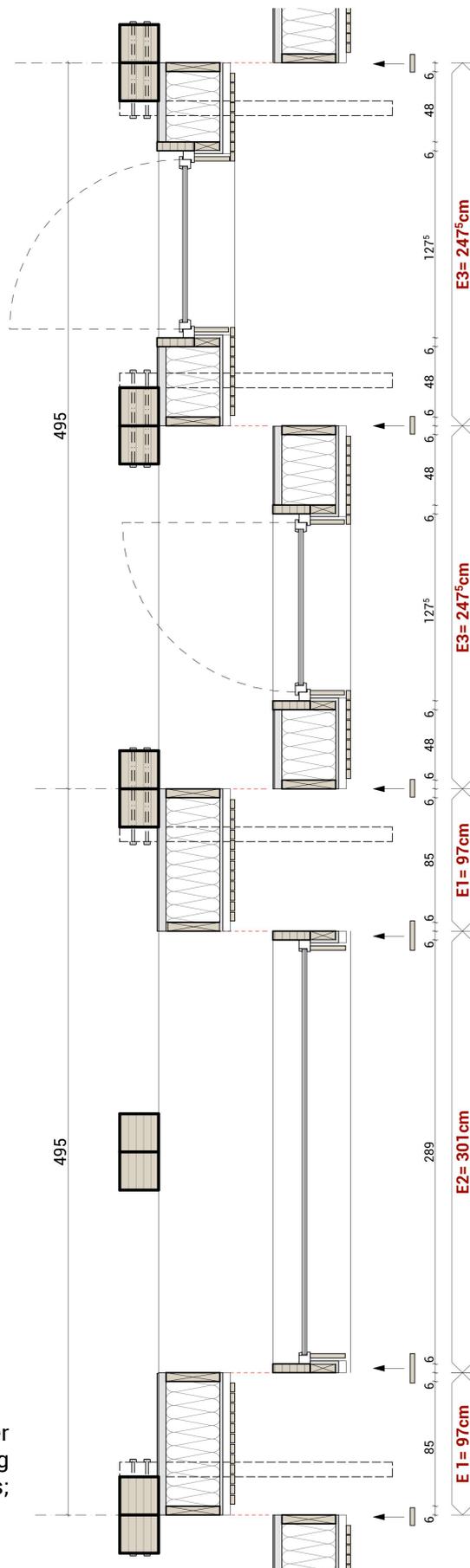


Abbildung 86: Elementierung der Außenwandelemente unter Berücksichtigung des Standard-Strohballenformates;  
© Bernhard Bauer



## Auskragende Balkonkonstruktion

Die Holz- Leichtbaukonstruktion der Balkondecken bestehen aus einer KVH- Tragkonstruktion welche an beiden Seiten mit Holzwerkstoffplatten bekleidet wird. Die Balkondecken werden auf die, im Wandelement integrierte,

Stahlunterkonstruktion befestigt. An der Unterseite wird diese aufgrund von Brandschutzmaßnahmen mit einem ca. 2cm dicken Kalkputz vor Ort verputzt. Auch der FB- Aufbau wird vor Ort hergestellt.

### 5 Balkon/ Vordachkonstruktion

1. Vorfertigung der KVH- Holzträger + Beplankung mit OSB3- Platten

2. Montage an der, im Außenwandelement integrierten, Stahl- Unterkonstruktion

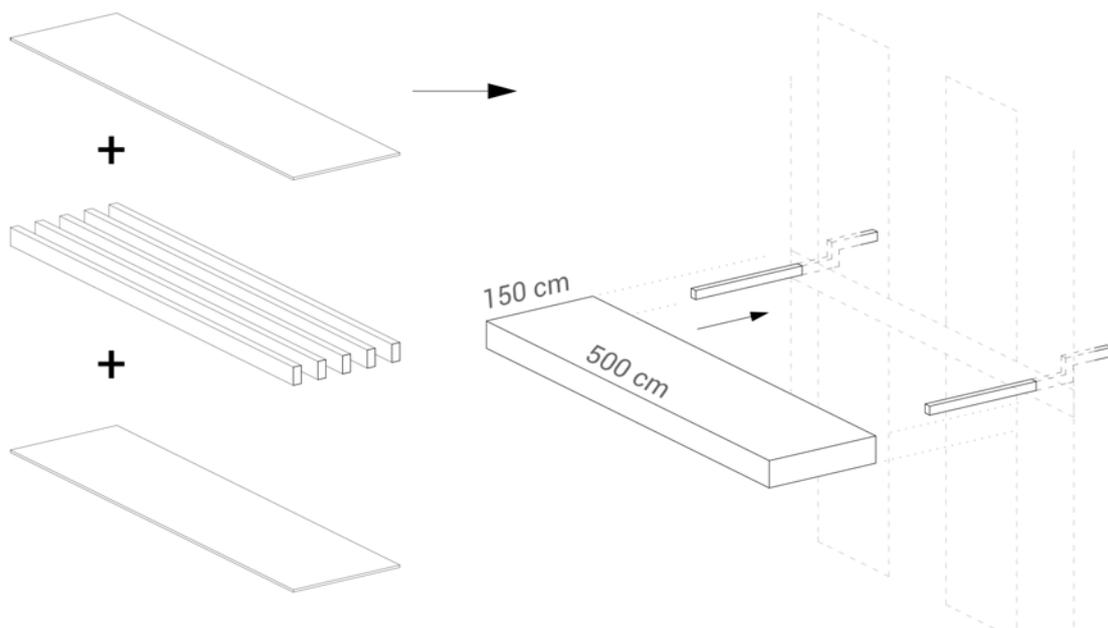


Abbildung 87: Vorfertigung der Balkon/ Vordachelemente; © Bernhard Bauer

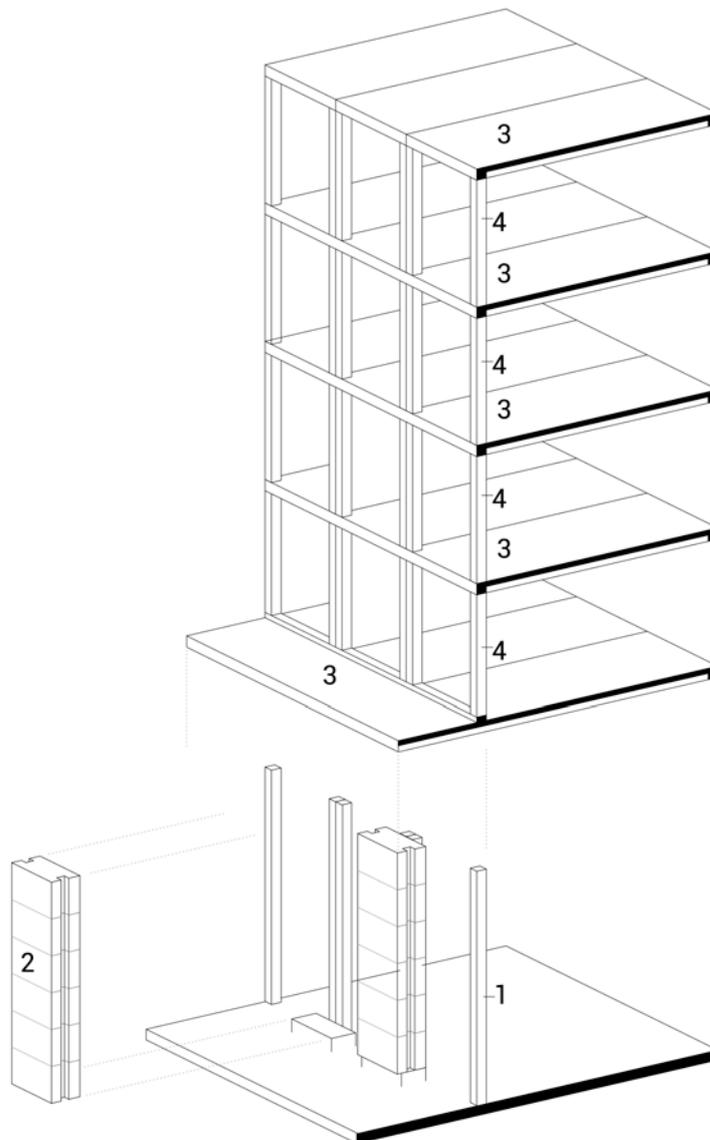
## Vorgehängte Holzfassade

Als Rankgerüst für eine Fassadenbegrünung wird als letzter Montageschritt eine vorgehängte Holzfassade vor die Balkondecken montiert. Vorgegraute Lärchenhölzer sollen zum Einsatz kommen.



## 6.3 Montageablauf

### 1. Montage der tragenden Konstruktion vom Erdgeschoß bis ins Dachgeschoß.

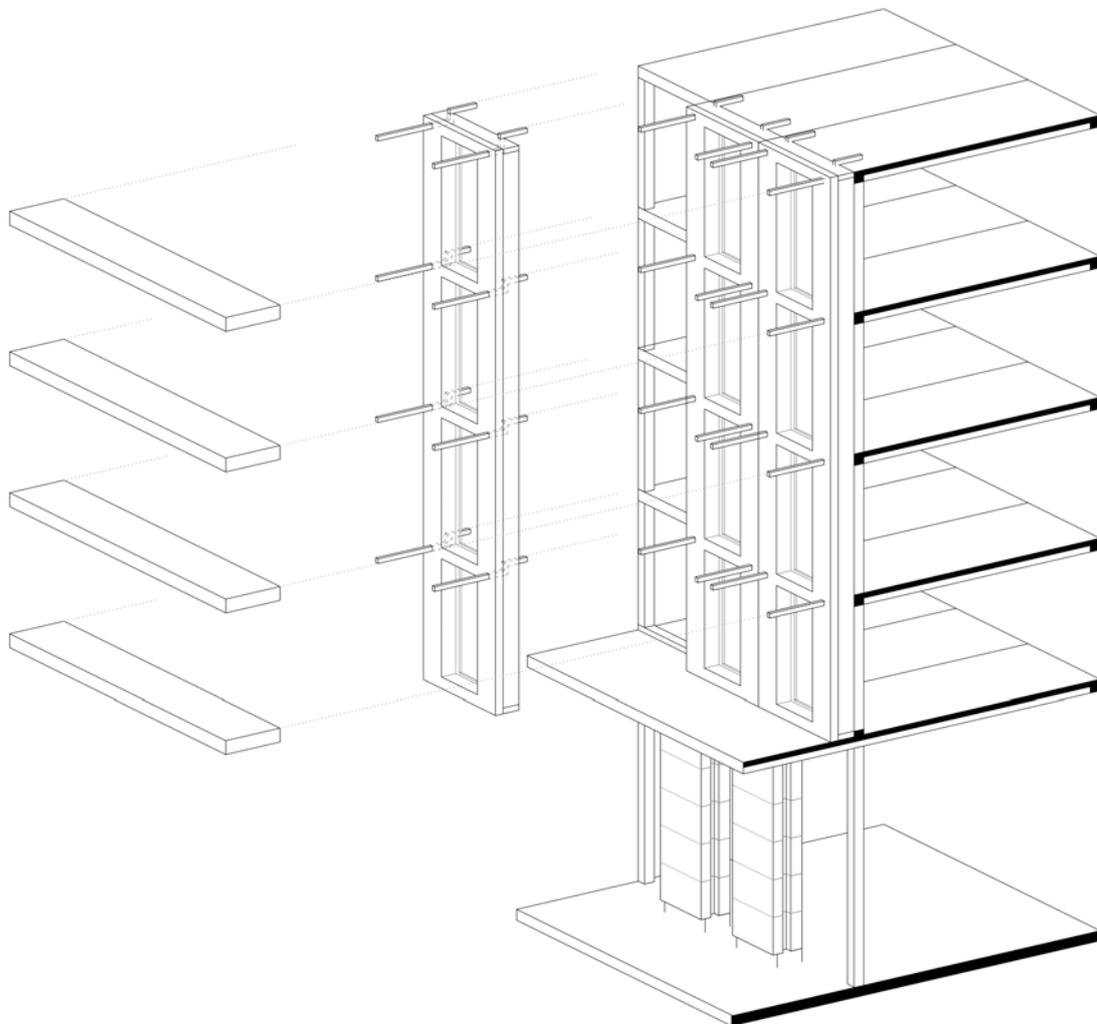


- 1 Montage der tragenden Struktur im EG
- 2 Montage der 2- geschößigen Stampflehmwand
- 3 Montage der Geschoßdecken
- 4 Geschossweise Montage der BSH- Stützenpaare

Abbildung 88: Montageablauf 1; © Bernhard Bauer



## 2. Montage der Außenwandelemente+ Balkonkonstruktion

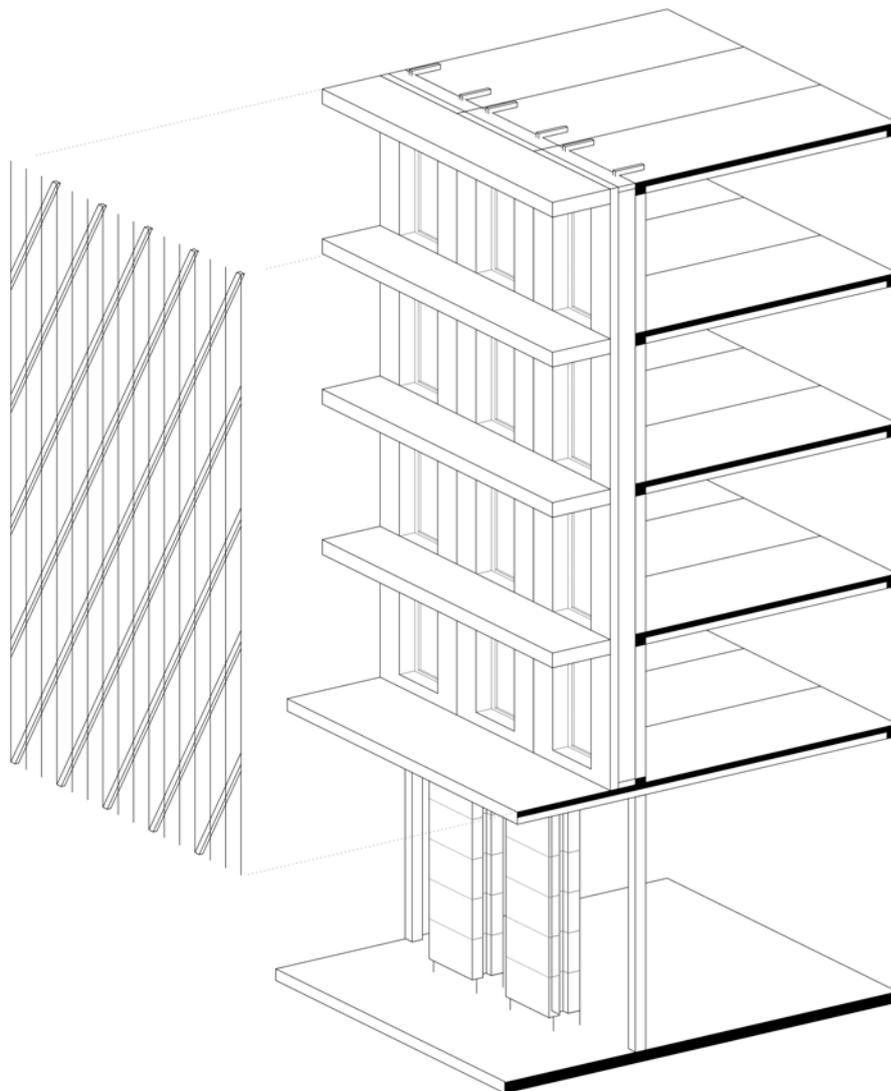


- 1 Montage der 4-geschoßigen Fassadenelemente inklusive Fenster und Holzfassade
- 2 Montage der Balkonkonstruktion Brandabschnittsbildendes Fassadenelement

Abbildung 89: Montageablauf 2; © Bernhard Bauer



### 3. Montage der vorgehängten, offenen Holzfassade

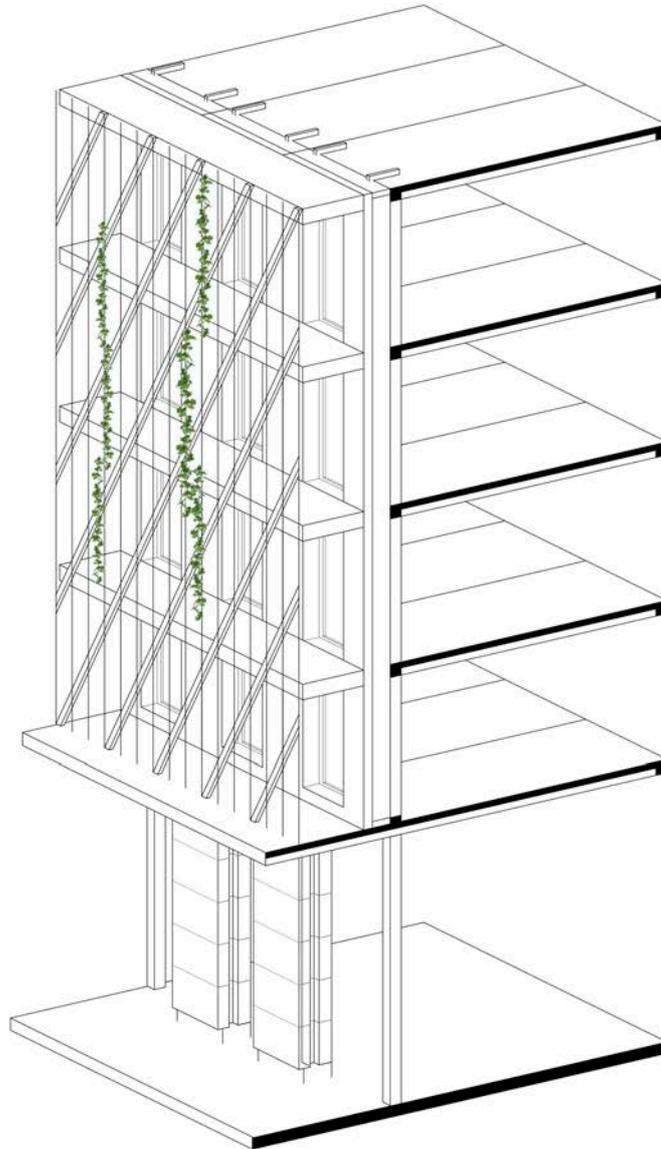


#### 1 Montage der vorgehängten Fassade (Verschattung)

Abbildung 90: Montageablauf 3; © Bernhard Bauer

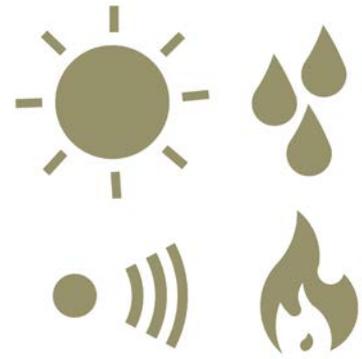


#### 4. Fertige Gebäudehülle (Fassade kann begrünt werden)



#### 1 Fertige Außenhülle

Abbildung 91: Fertige Gebäudehülle; © Bernhard Bauer



# 7

## Bauteile und Bauphysik

Wie bei jeder Bauweise muss auch die Konstruktion eines Holzbaues neben der Tragfähigkeit alle anderen Schutzfunktionen wie Brand,- Feuchte,- Schall,- Wärme,- und Holzschutz sowie den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz ohne eine Reduktion des Anforderungsniveaus erfüllen. Die zugehörigen Schutzziele und deren Umsetzung im Holzbau werden nachfolgend dargestellt.<sup>57</sup>

Besonderes Augenmerk wird hierbei auf eine sichtbare Holzkonstruktion (Thema Brandschutz) und diffusionsoffene Außenbauteile (Thema Feuchtigkeit) gesetzt.

---

<sup>57</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau  
S.72; Stefan Winter



## 7.1 Aufbauten

Im Folgenden werden die geplanten Bauteile beschrieben.

Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Verwendung von ökologischen Baustoffen gelegt.

Sichtbare Holz,- und Lehmoberflächen (Thema Brandschutz),  
diffusionsoffene Außenbauteile (Thema Feuchtigkeit) sowie die Berücksichtigung des sommerlichen Überwärmungsschutzes werden nachfolgend behandelt.

### 7.1.1 Bodenplatte

Anstatt der üblichen XPS- Wärmedämmplatten ist eine 40cm dicke Schicht aus Schaumglasschotter unter der Bodenplatte geplant. Es wird also ein mineralischer Dämmstoff eingesetzt.

Platte gegen Erdreich	
1,5 cm	FB- Belag
7,0 cm	Heizestrich
3,0 cm	TSDP
8,5 cm	Schüttung CEMWOOD
30,0 cm	STB- Platte
40,0 cm	Schaumglasschotter

### 7.1.2 Geschoßdecken

Eine Holz- Beton- Verbunddecke mit schwimmendem Heizestrich ist geplant. Die Schüttung wird anstatt eines Styroporbetons mit einer mineralisch ummantelten Holzspanschüttung geplant.

5 Geschoßdecke- OG´s	
1,5 cm	FB- Belag
6,0 cm	Heizestrich
3,0 cm	TSDP
5,0cm	Schüttung CEMWOOD
25,0 cm	Holz- Beton Verbunddecke
	9 cm Aufbeton
	16cm BSP- Decke (Sichtqualität)



### 7.1.3 Balkonkonstruktion

Ein rund 1,50m weit auskragendes Balkondach aus einer Holzleichtkonstruktion ist geplant. Die Holz- Unterkonstruktion wird dabei auf eine auskragende Stahl- UK montiert. Die Natursteinplatten werden im Drainagemörtel verlegt. An der Unterseite übernimmt eine 2cm dicke Kalkputzschicht die Anforderungen an den Brandaschutz.

Balkone- OG´s	
	4,0 cm Naturstein- Travertin
	4,0 cm Drainagemörtel
	0,5 cm bitum. Absichtung 2-lagig
	2,0 cm OSB 3- Platte
	7,5 cm Keilpfosten im Mittel von 6-9 cm
	2,0 cm OSB 3- Platte
	20,0 cm KVH- Träger 8/20cm zwischen Stahl- Balkon- UK lt. Statik
	2,0 cm OSB 3- Platte
	2,0 cm Kalkputz

### 7.1.4 Dachaufbau- Begehbare Flachdach

Auf die tragende Holz- Beton- Verbunddecke wird ein hinterlüftetes Flachdach geplant. Die Strohdämmung wird dabei zwischen Keilpfosten eingebracht, die Hohlräume gut ausgestopft. Eine Schalung und die darüber liegende diffusionsoffene Unterspannbahn lasse etwaige Feuchtigkeit aus dem Bauteil diffundieren. Die Natursteinplatten werden im Drainagemörtel verlegt.

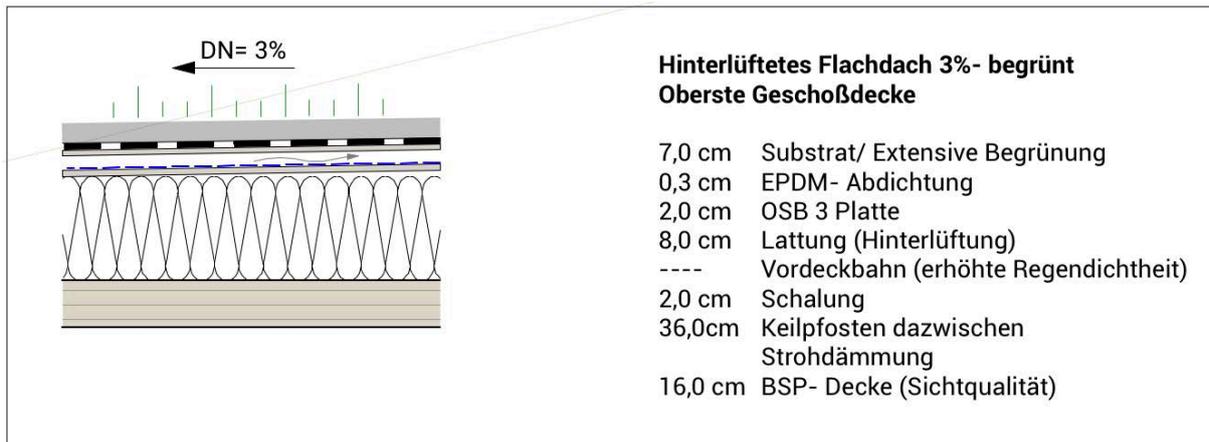
Hinterlüftetes Flachdach 3% Begehbare Terrasse	
	4,0 cm Naturstein- Travertin
	6,0 cm Drainagemörtel
	0,5 cm bitum. Abdichtung (2-lagig)
	2,0 cm OSB 3 Platte
	8,0 cm Lattung (Hinterlüftung)
	---- Vordeckbahn (erhöhte Regendichtheit)
	2,0 cm Schalung
	36,0cm Keilpfosten dazwischen Strohdämmung
	25,0 cm Holz- Beton Verbunddecke
	9,0 cm Aufbeton
	16,0 cm BSP- Decke (Sichtqualität)



### 7.1.5 Dachaufbau- Begrüntes Flachdach

Die oberste Geschoßdecke wird aufgrund der wegfallenden Anforderungen an den Trittschall als reine Brettsperrholzdecke geplant. Die Strohdämmung wird wieder zwischen Keilpfosten eingebracht. Eine extensive Begrünung ist über der Dachabdichtung

geplant.



### 7.1.6 Außenwandaufbau- Erdgeschoß

Die Außenwand im zweigeschossigen Erdgeschoß wird als zweischalige Stampflehmwand geplant. Die Stampflehmwand wird aus einzelnen Elementen vorgefertigt und gemeinsam mit der eigentlich tragenden BSH- Stütze vor Ort versetzt. Als Wärmedämmung wirkt die mittlere Schicht aus Schaumglasschotter. Da die Stampflehmoberfläche außen frei bewittert zur Erscheinung treten soll, wird in einem Abstand von ca. 60cm eine Trasskalkmörtelschicht als Erosionsschutzschicht eingebracht.





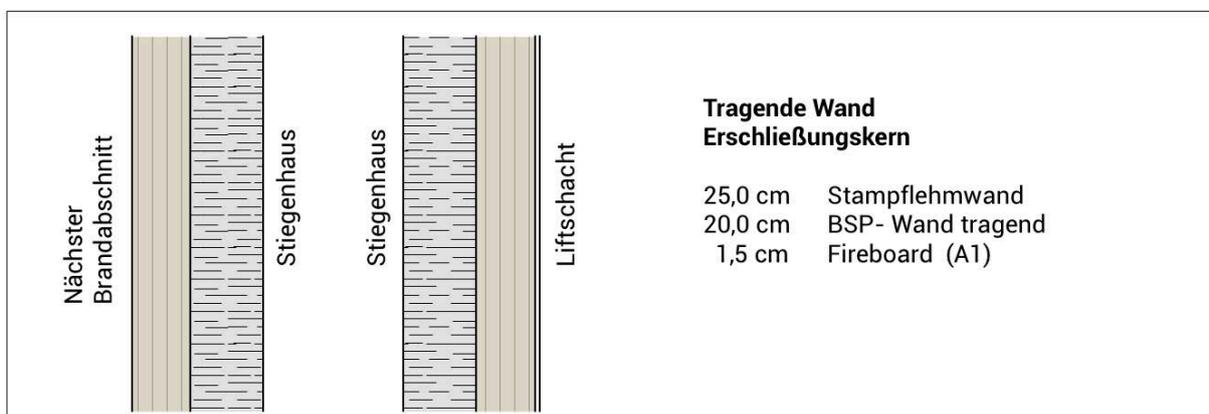
### 7.1.7 Außenwandaufbau- Obergeschoße

Die Außenwand in den oberen Geschoßen wird als direkt verputzte Strohballenwand geplant. Die Strohballen werden in eine, an das Strohballenformat angepasste, Holzständerkonstruktion eingebracht, die Hohlräume werden gut ausgestopft. Danach wird diese Element noch im Werk mit einer Lehm,- bzw. Kalkputzschicht verputzt. An der Außenseite wird auch schon die hinterlüftete Lärchenfassade im Werk vorgefertigt. Nach der Montage wird lediglich die Jute- Armierung und der Lehmfeinputz an der Wandinnenseite vor Ort aufgebracht.



### 7.1.8 Erschließungskern

Da es erhöhte Anforderungen an die Brennbarkeit und an die Feuerwiderstandsdauer im Bereich des Fluchtweges zu erfüllen gibt, wird hier eine Massivholz- Stampflehmwand geplant. Die massive Holzwand übernimmt dabei die tragende und aussteifende Funktion. Die Stampflehmwand, welche nicht brennbar (A1) ist, übernimmt an der Innenseite des Stiegenhauses die Funktion des Brandschutzes. Im Liftschacht wird der Brandschutz durch eine Beplankung aus nicht brennbaren Gipsfaserplatten geplant.





## 7.2 Brandschutz

Für die Planung, Werkstattzeichnungen, Ausführung, Qualitätssicherung und den Betrieb mehrgeschossiger Gebäude aller Art spielt der vorbeugende Brandschutz eine wesentliche Rolle. Dies gilt weltweit gleichermaßen und unabhängig von der Wahl des dominierenden konstruktiven Werkstoffes.

Holz ist allerdings im Vergleich zu Stahlbeton, Mauerwerk und Stahl der einzige Konstruktionswerkstoff, der selbst brennbar ist und somit im Falle eines Brands einen Teil der Brandlast eines Gebäudes darstellen kann. Diese Brennbarkeit des Werkstoffes trägt, zusammen mit der Erinnerung an zum Teil verheerende Stadtbrände im Mittelalter und in den großen Kriegen, bis heute zu Vorurteilen bezüglich der Brandsicherheit moderner Holzgebäude bei. Das diese Vorurteile sachlich unbegründet sind, wird nachfolgend untersucht.

### 7.2.1 Das Brandentstehungsrisiko in Holzgebäuden

Das Brandentstehungsrisiko ist grundsätzlich unabhängig von den Konstruktionswerkstoffen.

Denn das Risiko einer Brandentstehung geht in erster Linie von den technischen Installationen und im Wesentlichen von menschlichem Fehlverhalten aus. Unsachgemäße Elektroinstallationen, der eingeschlafene Raucher oder der vergessene Milchtopf sind die wesentlichen

Brandentstehungsrisiken. Eine Holzkonstruktion selbst stellt für sich kein Risiko einer Brandentstehung dar.<sup>58</sup>

---

<sup>58</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 72; Stefan Winter



## 7.2.2 Leistungsanforderung an den Brandschutz

Die weltweit gleichen Leistungsanforderungen an den Brandschutz sind:

- das Verhindern der Entstehung eines Brands und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung)
- die mögliche Rettung von Menschen und Tieren
- das Zulassen von wirksamen Rettungs,- und Löscharbeiten

Diese Leistungsanforderungen sind von allen Bauwerken gleichermaßen zu erfüllen. Dazu ist eine Reihe von Parametern zu berücksichtigen:

- Die Größe der brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungseinheiten
- Vorhandene Brandlasten
- Flucht,- und Rettungswege in Abhängigkeit von der Nutzung
- Bauliche Situation des Gebäudes wie Zugänglichkeit, Abstände zur Nachbarbebauung etc.
- Gestaltung der Außenfassade
- Anlagen des vorbeugenden Brandschutzes wie Alarmierungsanlage oder Sprinkler

Aus diesen genannten Anforderungen werden in den meisten Ländern detaillierte Regelwerke für den vorbeugenden baulichen und anlagentechnischen Brandschutz entwickelt, die in den jeweiligen Bauordnungen niedergelegt sind. Als Beispiel seien hier die Anforderungen an den Feuerwiderstand der tragenden und aussteifenden Bauteile in Abhängigkeit von den Gebäudehöhen und Ausdehnungen genannt, da diese wiederum die Möglichkeit der Feuerwehr für Löscharbeiten und Rettungsarbeiten wesentlich beeinflussen.

Bei Gebäuden der GK 4 und 5 (also ab einer Höhe des obersten Geschoßfußbodens > 8m) sind für die Sicherstellung des sogenannten 2. Rettungswegs Streckleitern nicht mehr ausreichend. Hier muss die Feuerwehr auf Drehleitern oder Hubrettungsgeräte zurückgreifen, wenn kein ortsfester 2. Rettungsweg zur Verfügung steht. Daher sind in diesen Gebäudeklassen längere Feuerwiderstandsdauern von 60 bzw. 90 Minuten erforderlich.<sup>59</sup>

---

<sup>59</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 72; Stefan Winter



### 7.2.3 Brennbarkeit und Feuerwiderstand

Es ist unbedingt notwendig, zwischen der Brennbarkeit der Baustoffe (durch die Baustoffklassen definiert) und dem Feuerwiderstand der Bauteile (durch die Feuerwiderstandsklassen der Bauteile definiert) zu unterscheiden.

Die Brennbarkeit der Baustoffe beeinflusst im Wesentlichen die Ausbreitung eines Brands unmittelbar nach der Entstehung und während der Brandentwicklung.

Die Feuerwiderstandsdauer eines Bauteils beschreibt das Vermögen, standsicher zu bleiben (Kriterium R) sowie bei raumabschließenden Bauteilen den Durchgang von Rauchgasen (Kriterium E) und den Durchgang von Wärme (Kriterium I) für die geforderte Feuerwiderstandsdauer zu verhindern. Entsprechend ihrer Feuerwiderstandsdauer werden die Bauteile in Feuerwiderstandsklassen eingeteilt, welche je nach Gebäudeklasse eingehalten werden müssen.

Die Brennbarkeit eines Baustoffs und der Feuerwiderstand eines Bauteils haben direkt nichts miteinander zu tun. Einige Beispiele:

- Eine Stahlstütze (Baustoffklasse A- nicht brennbar), die weder durch eine Brandschutzbekleidung noch durch einen Brandschutzanstrich geschützt wird, verliert im Regelfall spätestens nach 30 Minuten ihre Tragfähigkeit. Eine Stütze aus BSH hingegen brennt zwar an ihrer Außenseite ab, kann aber auf mehr als 90 Minuten Standsicherheit im Brandfall ohne zusätzliche Schutzbekleidungen bemessen werden.
- Eine Glasscheibe ist nicht brennbar, lässt aber einen nahezu sofortigen Wärmedurchgang zu. Eine 30mm dicke Platte aus Holzweichfasern brennt zwar, behindert aber den Wärmedurchgang wesentlich und führt frühestens nach ca. 15 Minuten zu einer Temperaturerhöhung auf der Feuer abgewandten Seite.<sup>60</sup>

---

<sup>60</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 74; Stefan Winter



A1 und A2	nicht brennbar
B1 bis B3 und C	schwer entflammbar
D und E	normal entflammbar
F	leicht entflammbar
s1 bis s3	Rauchtenwicklung (s=smoke)
d0 bis d2	Abtropfen/ Abfallen (d=droplets)
fl	Besondere Klassen für Bodenbeläge

Abbildung 92: Baustoffklassen nach DIN 4102

**Tabelle 1b: Allgemeine Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen**

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5		
					≤ 6 oberirdische Geschosse	> 6 oberirdische Geschosse	
<b>1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)</b>							
1.1 im obersten Geschöß	-	R 30	R 30	R 30	R 60	R 60	
1.2 in sonstigen oberirdischen Geschößen	R 30 <sup>(1)</sup>	R 30	R 60	R 60	R 90	R 90 und A2	
1.3 in unterirdischen Geschößen	R 60	R 60	R 90 und A2				
<b>2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)</b>							
2.1 im obersten Geschöß	-	REI 30 EI 30	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	
2.2 in oberirdischen Geschößen	-	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2	
2.3 in unterirdischen Geschößen	-	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2				
2.4 zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	nicht zutreffend	
<b>3 brandabschnittsbildende Wände und Decken</b>							
3.1 brandabschnittsbildende Wände an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 EI 60	REI 90 <sup>(2)</sup> EI 90 <sup>(2)</sup>	REI 90 und A2 EI 90 und A2				
3.2 sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	nicht zutreffend	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2	
<b>4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°</b>							
4.1 Decken über dem obersten Geschöß	-	R 30	R 30	R 30	R 60	R 60	
4.2 Trenndecken über dem obersten Geschöß	-	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60	REI 60	
4.3 Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschößen	-	REI 30	REI 60	REI 60	REI 90	REI 90 und A2	
4.4 Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschößen	R 30 <sup>(1)</sup>	R 30	R 30	R 30	R 60	R 90 und A2	
4.5 Decken über unterirdischen Geschößen	R 60	REI 60 <sup>(3)</sup>	REI 90 und A2				
<b>5 Balkonplatten</b>	-	-	-	R 30 oder A2	R 30 oder A2	R 30 und A2 <sup>(4)</sup>	
<small>(1) Nicht erforderlich bei Gebäuden, die nur Wohnzwecken oder der Büronutzung bzw. büroähnlichen Nutzung dienen;</small>							
<small>(2) Bei Reihenhäusern genügt für die Wände zwischen den Wohnungen bzw. Betriebseinheiten auch an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze eine Ausführung in REI 60 bzw. EI 60;</small>							
<small>(3) Für Reihenhäuser sowie Gebäude mit nicht mehr als zwei Betriebseinheiten mit Büronutzung bzw. büroähnlicher Nutzung genügt die Anforderung R60;</small>							
<small>(4) Bei Einzelbalkonen genügt eine Ausführung in R 30 oder A2, wenn die Fläche nicht mehr als 10 m², die Auskragung nicht mehr als 2,50 m und der Abstand zwischen den Einzelbalkonen mindestens 2,00 m beträgt.</small>							

Abbildung 93: Anforderungen an den Feuerwiderstand lt. OIB- RL 2

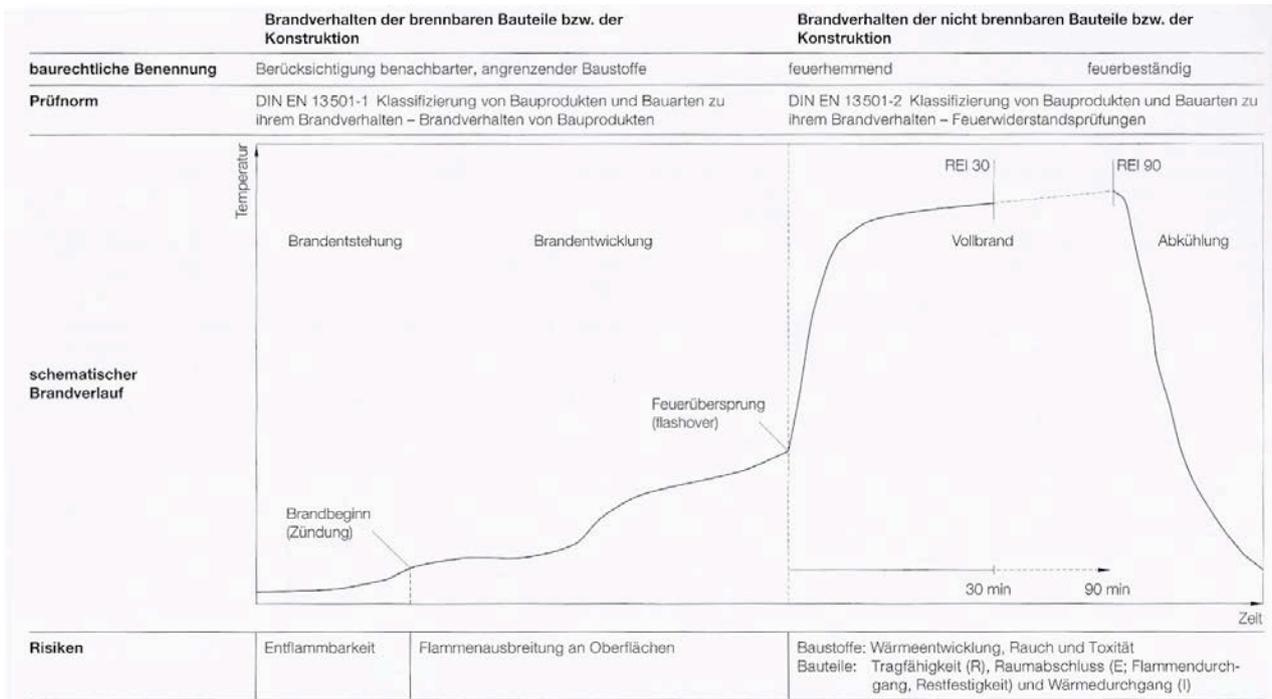


Abbildung 94: Brandentwicklungsdiagramm mit Eintrag des Einflusses von Baustoffen und Bauteilen



## 7.2.4 Leistungsvermögen des Holzbaus

Da es oft Wunsch von Planern, Bauherren und Nutzern ist, in Holzgebäuden das Holz auch sichtbar zu belassen, muss die Brennbarkeit des Werkstoffs in besonderem Maße berücksichtigt werden und die im Brandfall durchaus positiven Eigenschaften ausgenutzt werden.

Das Brandverhalten von Holzbauteilen wird durch das Verhältnis von Oberfläche zu Querschnitt und durch die Rohdichte der Hölzer sehr stark beeinflusst. Je größer die Rohdichte eines Holzes, umso geringer ist seine Abbrandrate, d.h. der Abbrand in mm/min, bei Einwirkung eines Brandes.

Das abbrennende Holz trägt zur Brandlast im Raum bei, die sich auf der dem Feuer zugewandten Seite bildende Holzkohleschicht schützt aber gleichzeitig den inneren Bereich. Die nominelle Abbrandrate  $\beta_n$  berücksichtigt den erhöhten Eckabbrand.

Da zudem die Wärmeleitfähigkeit relativ gering ist ( $\lambda \leq 0,13-0,17$  W/mK) bleibt der innere, unversehrte Bereich kühl und damit tragfähig.

Durch eine Erhöhung der Bauteildicken gegenüber den statischen erforderlichen Abmessungen lässt sich somit eine Brandschutzbekleidung aus Holz erzeugen.

Die massiven Holzbauteile haben zudem den Vorteil, dass ein Brand nicht in Hohlräumen eindringen kann, in denen er sich unkontrolliert und für die Feuerwehr nahezu unerreichbar ausbreiten könnte.

Massive Holzbauteile selbst sind gut löschbar, Nachzündungen treten nicht auf.<sup>61</sup>

---

<sup>61</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 75; Stefan Winter



Abbildung 95: Querschnitt Vollholzbalken nach Brandbeanspruchung. Im Gegensatz zur eindimensionalen Abbrandrate  $\beta_0$ , welche die Abbrandtiefe in der Mitte eines Holzquerschnitts abbildet, berücksichtigt die nominelle Abbrandrate  $\beta_n$  Eckausrundungen beim Abbrennen des Querschnitts und Risse im Holz

Material	eindimensionale Abbrandrate $\beta_0$ [mm/min]	nominelle Abbrandrate $\beta_n$ [mm/min]
<b>Nadelholz und Buche</b>		
Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vollholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
<b>Laubholz</b>		
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
<b>Furnierschichtholz</b>		
mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
<b>Platten</b>		
Holzbekleidungen	0,9 <sup>1)</sup>	
Sperrholz	1,0 <sup>1)</sup>	
Holzwerkstoffplatten außer Sperrholz	0,9 <sup>1)</sup>	

<sup>1)</sup> Die Werte gelten für eine charakteristische Rohdichte von  $450 \text{ kg/m}^3$  und eine Werkstoffdicke von 20 mm.

Abbildung 96: Abbrandverhalten unterschiedlicher Holzbaustoffe nach DIN EN 1995-1-2



## 7.2.5 Brandtests von strohgedämmten Bauteilen

### Rechtliche Situation

Wie schon im Kapitel 2.9. Materialeigenschaften und Zusammenhänge, beschrieben, weist Stroh, nach DIN 4102, ein Brandverhalten der Baustoffklasse E (normal entflammbar) auf. Aufgrund dieser Eigenschaft, darf Stroh laut österreichischer baurechtlicher Sicht, zumindest ohne Kompensationsmaßnahmen oder Brandschutzkonzept, ausschließlich in der GK 1, d.h. an freistehenden Gebäuden mit nicht mehr als 3 oberirdischen Geschoßen, mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 7,00m und insgesamt nicht mehr als 400 m<sup>2</sup> Brutto- Grundfläche der oberirdischen Geschoße, bestehend aus nicht mehr als 2 Wohnungen oder einer Betriebseinheit, eingesetzt werden.<sup>62</sup>

## Holz- Stroh- Riegelbauweise - Problematik der Kapselung

Ein großer Nachteil der Bauweise ist die Brennbarkeit und das Glimmverhalten der Strohballen. Diesem Umstand muss mit konstruktiven Lösungen wie einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung begegnet werden.

Durch den Dämmstoff Stroh werden zusätzliche Brandlasten eingebracht, die zudem zum Glimmen neigen. Des Weiteren muss berücksichtigt werden, dass sich bei den brennbaren Dämmstoffen bereits bei Temperaturen unterhalb der Entzündungstemperatur aufgrund der thermischen Zersetzung brennbare Gase bilden und im Bauteilinnern ansammeln können. Dies kann eine Gefahr für die Feuerwehr darstellen, die beim Löschangriff die Konstruktion öffnen muss, um eventuell vorhandene Glutnester zu löschen. Bei der Zufuhr von Sauerstoff können die Zersetzungsgase schlagartig durchzündet.

Das Schutzziel der brandschutztechnisch wirksamen

<sup>62</sup> Quelle: Brandschutz für ein 5-geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013



Bekleidung muss demnach bei Verwendung brennbarer Dämmstoffe dahingehend erweitert werden, dass nicht nur die Entzündung der Dämmstoffe verhindert, sondern auch deren Ausgasung vermieden werden muss.

Hinzu kommt, dass die Brandschutzbekleidung keine Schwachstellen in Form von Steckdosen, Schaltern oder Verteilerdosen aufweisen darf, da diese bei brennbarem Dämmmaterial zum Brandeintrag in die Konstruktion führen. Ebenso dürfen keine elektrischen Leitungen als potenzielle Zündquellen ungekapselt in den Bauteilen geführt werden.<sup>63</sup>

### **Bestimmung der Grenztemperatur von Baustrohballen**

Um die erforderliche Leistungsfähigkeit für die Brandschutzbekleidungen definieren zu können, musste zunächst die Grenztemperatur der thermischen Zersetzung von Baustrohballen bestimmt werden. Im Brandfall soll über den Schutzzeitraum von 60 min (Schutzzeitraum lt. auf europäischer

Ebene harmonisierte Normung DIN EN 13501-2- Kapselkriterium REI60 K<sub>2</sub>60) nicht nur die Entzündung, sondern sogar die kleinste thermische Veränderung des Dämmstoffs verhindert werden. Als Indikator wird hierfür die beginnende Verfärbung des Dämmstoffes benutzt.

Zur Ermittlung der Grenztemperatur der thermischen Zersetzung sieht der Versuchsaufbau vor, dass oberhalb des Strohs eine 18 mm dicke Gipskartonfeuerschutzplatte mit einem Thermoelement auf der Unterseite angeordnet wird. Mit der Heizspirale des Cone- Kalorimeters wird eine Wärmestromdichte von 20 kW/m<sup>2</sup> erzeugt, sodass nach ungefähr einer Stunde auf der Unterseite der GKF Temperaturen zwischen 150 und 275°C herrschen. Über die Feststellung der Verfärbung bei unterschiedlichen Temperaturschritten konnten 200 °C als Grenztemperatur der thermischen Zersetzung für Bau- Strohhallen ermittelt werden.<sup>64</sup>

<sup>63</sup> Quelle: Brandschutz für ein 5-geschossiges Gebäude in Strohhallenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013

<sup>64</sup> Quelle: Brandschutz für ein 5-geschossiges Gebäude in Strohhallenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013



Abbildung 97: Bestimmung der Grenztemperatur der thermische Zersetzung

### **Brandschutztechnische Untersuchungen zu Lehmbeleidungen**

Um die Leistungsfähigkeit verschiedener Lehmbeleidungen vergleichend beurteilen zu können, wurden ebenfalls Versuche im Cone-Kalorimeter durchgeführt. Dabei wurde eine Wärmestromdichte von ca. 40 kW/m<sup>2</sup> eingestellt, welche mit den Werten von Normbrandversuchen vergleichbar ist.

Es wurden auf diese Weise ein Strohlehmputz und ein mineralischer Lehmputz in 6 cm Dicke untersucht. Die ersten Versuchsergebnisse für herkömmliche Lehmputze zeigten, dass zur Erfüllung der brandschutztechnischen Anforderungen Putzschichten  $\geq 6$  cm erforderlich wären. Dies ist aus technischen und wirtschaftlichen

Gründen problematisch, sodass beschlossen wurde, einen Teil der Lehm-Putzschicht durch vorgefertigte Lehmplatten zu ersetzen. Dies bietet neben einem geringeren Feuchteintrag in das Bauteil ebenfalls Vorteile für die Qualitätssicherung der Putzschicht, um eine definierte Mindestdicke zuverlässig einhalten zu können.

Da durch eine reine plattenförmige Bekleidung durchgehende Fugen entstehen, die einen frühzeitigen Durchtritt von Heißgasen befürchten lassen, wurden zusätzlich verschiedene Deckputze in unterschiedlicher Stärke auf die Platte aufgetragen und im Brandversuch untersucht. Die Kombination aus einer 45 mm dicken Bims-Lehm-Platte mit einer 10 mm dicken Schicht Lehmputz lieferten vielversprechende Ergebnisse.



Die Probekörper bestanden aus einer Holz-Ständerkonstruktion mit einer Spanplatte als Indikatorplatte, um eventuell vorhandene Verkohlungen nachzuweisen.

Während der gesamten Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten wird die Grenztemperatur von 270 °C nicht erreicht. Dies gilt ebenfalls für die hinter den Fugen der Lehmplatten angeordneten Thermolemente.

Die Oberfläche der Lehmputzschicht direkt nach der 60-minütigen Beflammung wies keine Risse auf.

Nach Kühlung des Probekörpers und Abschlagen der Putzschicht ist erkennbar, dass die Spanplatte bei Versenken der Schrauben um 15 mm Tiefe keine thermischen Schädigungen in Form von Verfärbungen, Verkohlungen oder Verbrennungen aufweist. Werden die Schrauben jedoch nicht versenkt und lediglich bündig mit der Plattenoberfläche angeordnet, sind in diesem Bereich punktuelle Verkohlungen erkennbar.<sup>65</sup>

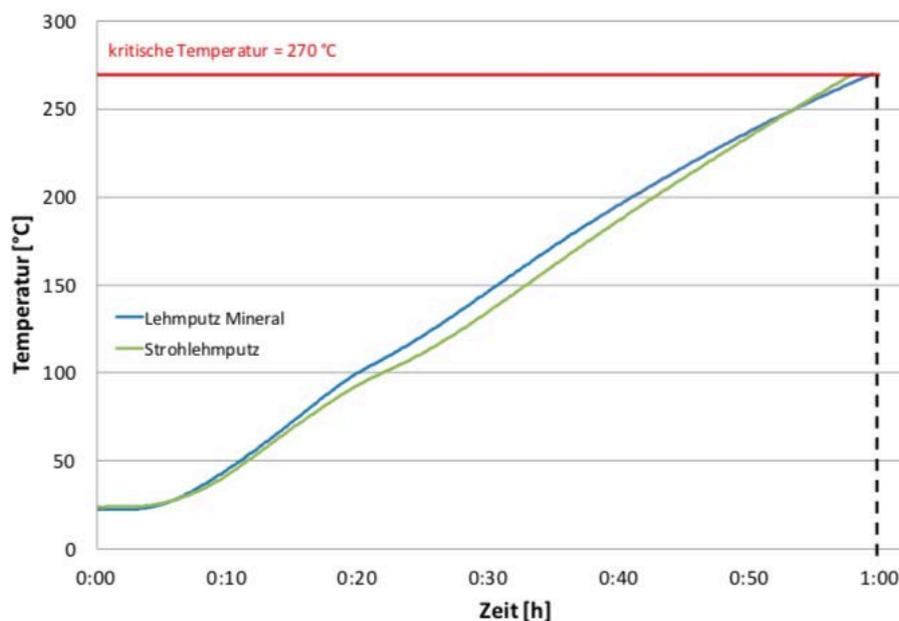


Abbildung 98: Lehmputzproben im Cone Kalorimeter

<sup>65</sup> Quelle: Brandschutz für ein 5-geschossiges Gebäude in Strohballebauweise, Europäischer Kongress EBH 2013



## **Brandschutztechnische Untersuchungen zu Kalkputzen**

Auch für den Kalkputz auf der Außenfassade wurden zunächst erste Voruntersuchungen mit dem Cone-Kalorimeter durchgeführt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde der Leichtkalkputz gräfix 71 ultra® mit einer Stärke von 6 cm ebenfalls in Anlehnung an die Prüfung nach DIN EN 14135 zur Klassifizierung als Brandschutzbekleidung im kleinen Deckenbrandhaus untersucht. Da in diesem Anwendungsfall die Putzschicht direkt auf das Stroh aufgebracht ist, muss eine thermische Grenztemperatur von 200 °C eingehalten werden.

Es ist zu erkennen, dass die Grenztemperatur der thermischen Zersetzung bei 60-minütiger ETK-Beflammung nicht erreicht wird. Außerdem konnten während und nach der Prüfung keine Risse oder sonstige Schädigungen des Putzes beobachtet werden. Nach dem Versuch wurde der Probekörper mit Wasser gekühlt, der Putz abgeschlagen und es erfolgte die visuelle Prüfung, bei der keine Verfärbungen am Stroh festgestellt werden konnten.

Somit konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass der erweiterter Entzündungsschutz über 60 Minuten mit einem direkt aufgetragenen 6 cm dicken Kalkputz gräfix 71 ultra® sichergestellt werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Verbindungsschicht, in der sich Stroh und Kalkputz vermischen nicht angerechnet werden darf. Nur die reine Kalkputzschicht darf berücksichtigt werden.<sup>66</sup>



Abbildung 99: Visuelle Prüfung des Strohs nach dem Brandversuch

<sup>66</sup> Quelle: Brandschutz für ein 5-geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013



## 7.2.6 Allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse

Bei Einfamilienhäusern werden die Brandschutzanforderungen (F30-B) mit der üblichen Strohballenbauweise erfüllt. Es gibt ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für eine tragende, raumabschließende Außenwandkonstruktion der Feuerwiderstandsklasse F 30-B für ein Strohballenbauteil mit  $\geq 8$  mm Lehmputzschicht.

Des Weiteren gibt es seit 2014 ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für tragende raumabschließende Wandkonstruktionen der Feuerwiderstandsklasse F30 bzw. F90 gemäß DIN 4102-2: 1977-09 bei einseitiger Brandbeanspruchung.

### Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis

**Prüfzeugnis Nummer:**

P-3048/817/08-MPA BS

**Gegenstand:**

Tragende, raumabschließende Wandkonstruktion der Feuerwiderstandsklasse F 30 bzw. F 90 gemäß DIN 4102-2 : 1977-09 bei einseitiger Brandbeanspruchung entspr. lfd. Nr. 2.1 Bauregelliste A Teil 3 – Ausgabe 2014/1 Bauarten zur Errichtung von tragenden Wänden, an die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer gestellt werden

**Antragsteller:**

Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V.  
Artilleriestraße 6  
27283 Verden

**Ausstellungsdatum:**

08.12.2014

**Geltungsdauer:**

03.03.2014 bis 02.03.2019



Dieses allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis umfasst 11 Seiten und 1 Anlage

Dieses allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis ersetzt das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis Nr. P-3048/817/08-MPA BS vom 24. Juni 2008.

Dieses allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis Nr. P-3048/817/08-MPA BS ist erstmals am 24.06.2008 ausgestellt worden.

Abbildung 100: Ausschnitt aus dem Allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis der MPA TU Braunschweig



Hier ist kurz der konstruktive Aufbau der tragenden, raumabschließenden Wandkonstruktion der **Feuerwiderstandsdauer F30** beschrieben.

Unterkonstruktion	Holzrahmen mit Holzständer BxH = 60x 360 mm
Dämmung	360 mm Baustroh
Putz	Lehmputz d= 8mm Oder Kalkputz d= 10mm

Um eine tragende, raumabschließende Wandkonstruktion der **Feuerwiderstandsklasse F 90** herzustellen, sind folgende Konstruktionskriterien zu berücksichtigen.

### Unterkonstruktion

Die Wandkonstruktion muss aus einer Holzrahmenkonstruktion aus Holzständern sowie Schwelle und Rähm mit den jeweiligen Abmessungen von  $b \times h > 60 \text{ mm} \times 360 \text{ mm}$  bestehen.

Die Befestigung der Schwelle bzw. des Rähms mit den Ständern erfolgt mit jeweils drei Spanplattenschrauben  $> 6 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ .

Am Ständerwerk muss auf jeder Seite

der Holzständer eine hölzerne Dreiecksleiste mit den Abmessungen  $b \times h = 38 \text{ mm} \times 58 \text{ mm}$  angeordnet werden, die mit Spanplattenschrauben  $> 4,5 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ ,  $a < 600 \text{ mm}$ , an dem jeweiligen Holzständer zu befestigen ist.

Der Holzständerabstand (Achismaß) muss  $d < 1000 \text{ mm}$  betragen.

### Dämmung

Die Gefache zwischen den Holzständern müssen mit einem insgesamt etwa 360 mm dicken Wärmedämmstoff aus Strohballen "Baustroh" entsprechend der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-23.11-'1595 ausgefüllt werden, wobei die Baustrohballen so anzuordnen sind, dass ihre Halme in Wandebene verlaufen.

Die Dämmung muss durch strammes Einpassen in den Gefachen gegen Herausfallen gesichert werden.

Stellenweise überstehendes Stroh ist so abzuschneiden (z. B. mit der Kettensäge), dass die Strohballen beidseitig bündig mit dem Holzrahmen abschließen. Loses Stroh ist abschließend abzufegen, so dass sich beidseitig der Wand eine nahezu ebene Wandoberfläche ergibt.



## Fugen

Vorhandene Fugen zwischen den Strohballen sowie zwischen den Strohballen und den Holzbauteilen (Ständerwerk, Schwelle, Rähm, usw.) müssen mit Stroh dicht verstopft werden.

## Putzauftrag

Als Putz ist auf beiden Seiten der Wand der mineralische Grundputz 'gräfix 73 Pajalith' (Leichtputz auf Kalk- Zement- Basis von Wolfgang Endress, Kalk- und Schotterwerk, Gräfenberg) aufzubringen.

Vor dem Aufbringen des Putzes ist auf der Holzkonstruktion (Ständer, Schwelle, Rähm und Aufleistung) vollständig ein etwa 10 mm dicker Putzträger aus einem Schilfrohr-Gewebe (mindestens normalentflammbar) zu befestigen. Dabei sind die einzelnen Halme des Schilfrohr- Gewebes über einen senkrecht zur Halmrichtung angeordneten Stahldraht über Verrodelung miteinander zu verbinden. Die vg. Rodeldrähte müssen untereinander einen Abstand von  $a < 100$  mm - gemessen in Längsrichtung der Halme - aufweisen und sind jeweils über mindestens drei Stück geeignete Stahldrahtklammern

kraftschlüssig an der Holzkonstruktion zu befestigen.

Wahlweise darf als Putzträger eine Lage aus passend zugeschnittenen, 9,5 mm dicken Holzweichfaserplatten (mindestens normalentflammbar), deren Querstöße stumpf gestoßen sind, auf der Holzkonstruktion befestigt werden.

Der mineralische Grundputz "gräfix 73 Pajalith ist zunächst über die Strohfläche in Dicke der Putzträger, d.h. etwa  $d = 10$  mm dick, abzuziehen. Anschließend ist auf die Putzträger eine Lage Putz,  $d > 10$  mm aufzubringen und der so aufgetragene Putzstreifen auf die Strohfläche mindestens etwa 150 mm weit auszuziehen, so dass im Bereich der Putzträger eine geschlossene, dichte und mindestens 18 mm dicke Putzoberfläche hergestellt wird. Die Mindestdicke des außerhalb der vg. Putzträger-Bereiche aufgetragenen Putzes muss  $d = 10$  mm betragen.<sup>67</sup>

<sup>67</sup> Quelle: Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis, MPA TU Braunschweig



### 7.3 Brandschutzkonzept

Um Holzbauwerke mit sichtbaren Konstruktionen umsetzen zu können, müssen bis heute häufig Abweichungen von den geltenden Brandschutzverordnungen beantragt und über die zugehörigen Brandschutzkonzepte mit Kompensationen begründet werden. Je mehr sichtbare Konstruktionen dabei gewünscht sind, umso mehr sollte auf hohlraumfreie Massivholz- und Verbundkonstruktionen zurückgegriffen werden.

Außerdem sind folgende Faustregeln für die Konstruktion zu berücksichtigen:

- Klare und eindeutige Flucht,- und Rettungswegführung
- Wenn möglich, Bereitstellung eines 2. ortsfesten Rettungsweges
- Eindeutige Ausbildung von Brand,- und Rauchabschnitten.
- Brandlastfreie Flucht,- und Rettungswege
- Einzelne, sichtbare und massive Holzbauteile tragen nur sehr unwesentlich zum Brandverlauf in einem Brandraum bei.
- Der Anteil an unbedeckten

Holzoberflächen in Räumen ist zu begrenzen, um die Brandlasthöhung durch die Holzbauteile gering zu halten.

- Geschoßweise Brandschutzschotte innerhalb der Schächte.
- Vermeidung von Kapselungen, da die Gefahr einer nur schwer zu kontrollierenden Brandausbreitung besteht (Hohlraumbrand).
- Detaillierte Planung der Fassade ab der GK 4, insbesondere wenn eine normal entflammbare Holzfassade verwendet werden soll.
- Verwendung von Holz- Beton- Verbunddecken ab Gebäuden mit einem Fluchtniveau > 7m. Somit lässt sich eine durchgehende nicht brennbare Schicht einfach realisieren, welche als Begrenzung der Brand,- und Rauchabschnitte dient.
- Ausreichende Ausstattung mit Brandmeldern und Feuerlöschmitteln.
- Intensive Überprüfung aller Brandschutzmaßnahmen, insbesondere der korrekte Einbau von Abschottungen und Anlagen des technischen Brandschutzes.<sup>68</sup>

<sup>68</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Stefan Winter



### 7.3.1 Baulicher Brandschutz

#### Fluchtweg

Die Fluchtweglänge bis zum Treppenhaus im 6-geschoßigen Gebäude in Wiener Neustadt wurde auf die maximal Länge von 40m ausgelegt. Ein 2. Treppenhaus kann bei Bedarf an die westliche Gebäudefront angestellt werden, oder im westlichen Teil ins Gebäude integriert werden.

#### Erschließungskern

Die Wände des Erschließungskerns sowie die Liftschachtwände werden in einer Holz-Stampflehmkonstruktion geplant. Die Wände sind somit aus Stampflehm mit dem Brandverhalten A (nicht brennbar) ausgeführt.

Der Liftschacht wird im Inneren mit einer Gipsfaserplatte bekleidet und weist somit ebenfalls eine nicht brennbare Beplankung auf.

Somit wird das Treppenhaus brandlastfrei gehalten.

#### Brand,- und Rauchabschnitte

Die maximale Brandabschnittsgröße beträgt ca. 1100m<sup>2</sup>.

Aufgrund der großen Brandabschnitte werden die Geschoße in mehrere Rauchabschnitte eingeteilt, welche durch Rauchschutztüren getrennt sind. Denn im Brandfall ist die Gefährdung durch Rauch wesentlich größer, als durch eine direkte Brandeinwirkung.



Abbildung 101: Wandaufbau im Stiegenhaus- Brandlastfreies Stiegenhaus durch Stampflehm und Gipsbeplankung; © Bernhard Bauer



## Tragende Bauteile

Die gesamte tragende Konstruktion ist sichtbar belassen und in der Feuerwiderstandsklasse REI 90 geplant.

### Stützen:

Die BSH Stützen wurden unter der Berücksichtigung der Abbrandrate durch Überdimensionierung auf die erforderliche Feuerwiderstandsdauer von R90 bemessen.

### Decken:

Die Holz- Beton- Verbunddecken weisen eine durchgehende, nicht brennbare Schicht auf (Verbundbeton) und bewirken somit eine geschoßweise Brandabschnittsbildung. Dieser Aufbau ist somit ebenfalls als feuerbeständiger Bauteil REI 90 geplant.

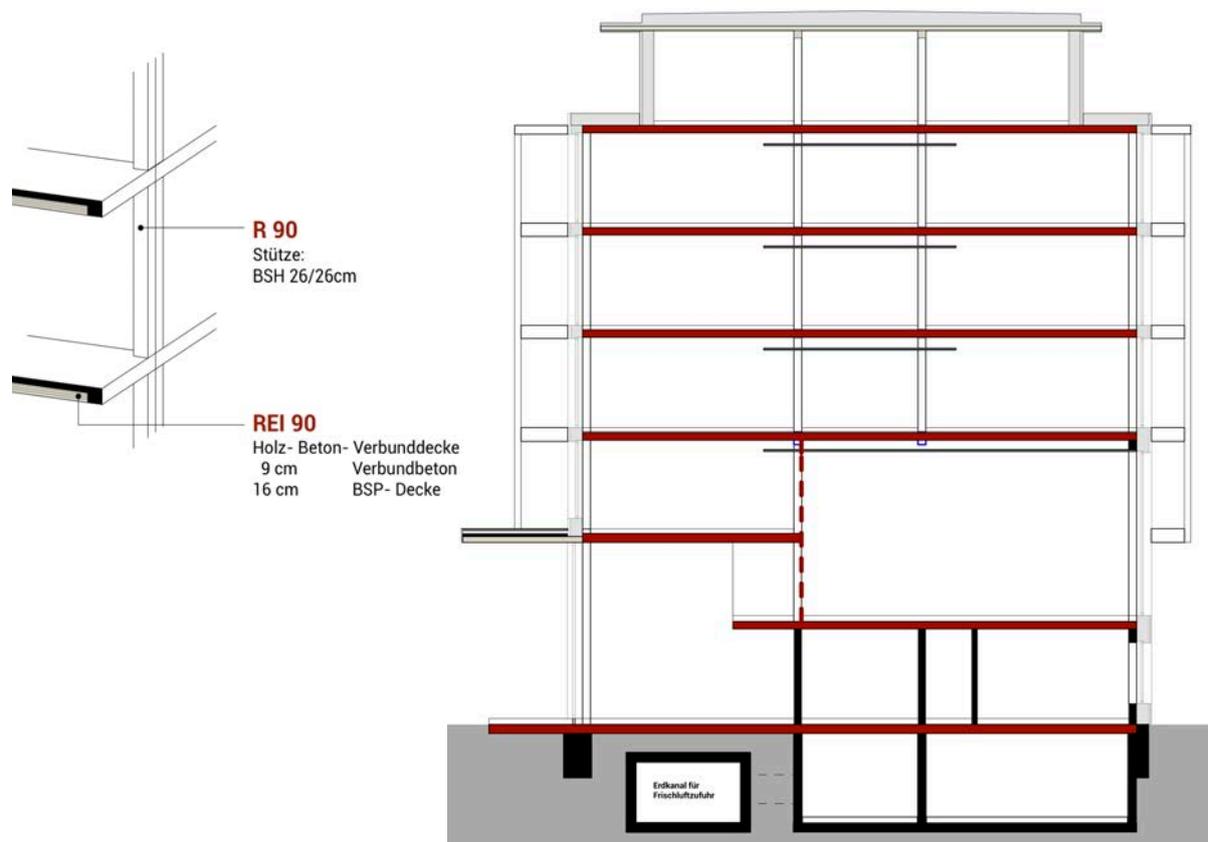


Abbildung 102: Tragwerk- Erfüllung der Brandschutzanforderungen bei sichtbaren Holzoberflächen durch Überdimensionierung der BSH Stützen und geschoßweise Brandabschnittsbildung mit der Holz- Beton Verbunddecke; © Bernhard Bauer



## Raumabschließende Bauteile

Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, die tragende Konstruktion sichtbar und ohne Kapselung zu planen. Daher wird die Fassadenkonstruktion als von der tragenden Konstruktion unabhängiges Bauteil geplant.

Die Fassadenelemente werden vor der tragenden Konstruktion vorgehängt und erfüllen somit keinerlei tragende Funktion.

Diese haben lediglich die Funktionen des Raumabschlusses (E) sowie den Durchgang von Wärme (I) zu bewerkstelligen.

Aufgrund dieser Trennung von Tragkonstruktion und Raumabschluss wurde entgegen den baurechtlichen Vorschriften, welche einen Feuerwiderstand von EI90 vorschreibt, der Brandschutz wie folgt hergestellt.

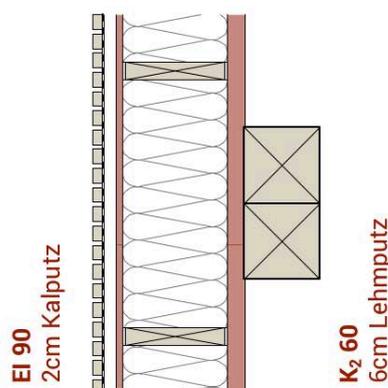
### Innen:

An der Innenseite soll die Strohdämmung mit einer ca. 6cm dicken Lehmputzschicht für einen Feuerwiderstand von 60 Minuten (Kapselkriterium  $K_260$ ) sorgen.

### Außen:

An der Außenseite soll die Strohdämmung, lt. dem „Allgemein bauaufsichtlichen Prüfzeugnis“ der MPA TU Braunschweig, mit einer ca. 2cm dicken Kalk-Zementputzschicht für einen Feuerwiderstand von 90 Minuten (Kapselkriterium EI90) sorgen.

Diese nicht brennbare Schicht an der Außenwandseite, in der Hinterlüftungsebene, ist speziell für die Planung einer hinterlüfteten Holzfassade von großer brandschutztechnischer Relevanz.



### Außenwand- Element

2,7 cm	Lärchenschalung
---	Windbremse
5,0 cm	Hinterlüftung
2,0 cm	Kalkputz
36,0 cm	Holzriegel 6/34 dazwischen Strohdämmung d=36cm
6,0 cm	Lehmputz (direktveputzt)
26,0cm	BSH- Stützen 26x26cm

Abbildung 103: Brandschutzbekleidung- Direkt verputzte Strohbällen mit Lehm,- und Kalkputz  
© Bernhard Bauer



## Fassade

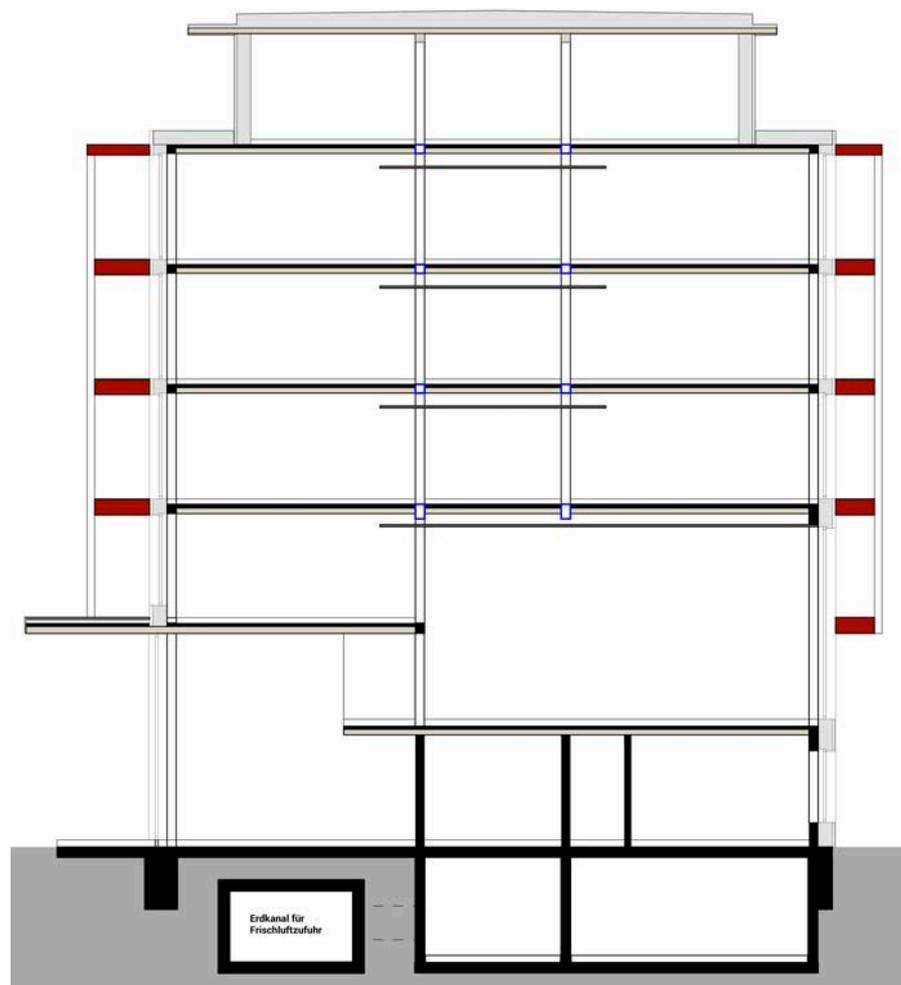
Da die Fassade als normal entflammbare, hinterlüftete Holzfassade gewünscht wird, wurden folgende konstruktive brandschutztechnische Maßnahmen geplant.

Horizontale, geschoßweise Unterbrechung der Hinterlüftungsebene der Fassade um eine Kaminwirkung zu unterbinden.

So wird garantiert, dass keine selbstständige Brandweiterleitung außerhalb des Primärabbrandbereichs erfolgt und vor Eintreffen der Feuerwehr nicht mehr als 2 Geschoße oberhalb des Brandherds von der Flammenausbreitung betroffen sind. Die Unterseite ist ebenso mit einer Kalk- Zementputzschicht bekleidet und ist somit feuerbeständig mit einem nicht brennbaren Baustoff bekleidet.

Abbildung 104: , Horizontal auskragendes Vordach dient als geschoßweises Brandschutzschott der hinterlüfteten Holzfassade.

Untersicht mit Kalkputz (nicht brennbar);  
© Bernhard Bauer





### 7.3.2 Anlagentechnischer Brandschutz

#### Rauchabzugseinrichtung

An der obersten Stelle des Treppenhauses wird eine Rauchabzugseinrichtung lt. OIB RL 2-Tabelle 2b geplant.

Dabei ist ein geometrisch freier Querschnitt von 1,00m<sup>2</sup> erforderlich.

#### Brandmeldeanlage

Das Gebäude wird mit einer automatischen Brandmeldeanlage mit direkter Verbindung zur nächsten Feuerwehrwache ausgestattet.

Die Entfernung zur nächst gelegenen Feuerwehrstation beträgt in Luftlinie gemessen 450m (lt. NÖ Atlas, [www.atlas.no.e.gv.at](http://www.atlas.no.e.gv.at)).

Im Brandfall ist somit ein rasches Eintreffen der Feuerwehr gewährleistet. Die Aufstellfläche für die Feuerwehr wird in der Freiflächenplanung berücksichtigt.

#### Trockene Steigleitung

Bei Bedarf wird eine Löschwasserleitung „Trocken oder Nass“ im Bereich des Stiegenhauses geplant.

Diese wird im Bedarfsfall von der Feuerwehr mit Löschwasser gespeist. Sie ist keine Einrichtung der Selbsthilfe, sondern beschleunigt allein die Brandbekämpfung durch die Feuerwehr. Die TRVB 128 definiert Einspeise- und Entnahmestellen, Be- und Entlüftung sowie Entleerung. <sup>69</sup>

<sup>69</sup> Quelle: BST Brandschutztechnik, [www.bst.at](http://www.bst.at)



## 7.4 Feuchteschutz

Wie schon im Kapitel 2 „Ökologisch nachhaltige Baustoffe und Bauweise“ beschrieben, zeichnen sich die Baustoffe Holz, Lehm und Stroh durch ihre nachgewiesene Nachhaltigkeit und Recyclingfähigkeit aus.

Des Weiteren haben diese einen positiven Einfluss auf ein ausgeglichenes Raumklima. Dies ist in erster Linie ihrer Fähigkeit, Feuchtigkeit zu speichern und langsam wieder abzugeben zu verdanken, ihrer Feuchtigkeitspufferfähigkeit. Sie verhindert zu trockene Raumluft und damit ein Ansteigen von Atemwegserkrankungen.

Luft-, und winddichte, jedoch diffusionsoffene Bauteile kommen zum Einsatz, welche mit diesem Effekt zu einer ausgezeichneten Innenraumluftqualität beitragen.

### 7.4.1 Baustoff Holz

Holz ist und bleibt ein natürliches Material. Daher kann es, wenn die natürlichen Voraussetzungen vorliegen, durch natürliche Zersetzungs Vorgänge abgebaut

werden. Das ist die Grundlage des biologischen Kreislaufes in unseren Wäldern. Zu den Abbaumechanismen ist vor allem ein im Vergleich zu in Gebäuden verbautem Holz, hoher Feuchtegehalt erforderlich. Solange Holz trocken bleibt- entsprechend DIN 68800, ist dies auch bei einer Holzfeuchte  $u$  von ständig  $\leq 20\%$  der Fall- findet kein biologischer Abbau durch holzerstörende Pilze statt. In trockenem Zustand kann Holz als Konstruktionswerkstoff mehrere Hundert Jahre alt werden, wie eine Vielzahl historischer Bauten eindrucksvoll belegt. Die wesentliche Aufgabe beim Planen und Bauen mit Holz besteht also darin, durch geeignete Feuchteschutzmaßnahmen das Holz vor dauerhafter Feuchteerhöhung zu schützen und es im langfristigen Mittel trocken zu halten. Kurzfristige Feuchteerhöhungen, z.B. an der Oberfläche von Holzbekleidungen in Bädern, sind völlig unkritisch, solange ein rasches Rücktrocknen möglich ist.

Der Holzschutz hätte dem Holzbau in den 1970er- und 1980 Jahren beinahe ein Bein gestellt, als Holzschutz nur mit chemischen Mitteln in Verbindung gebracht wurde



und die Meinung überwog, Holz durch den Einsatz von Giftstoffen haltbar machen zu müssen. In den letzten 25 Jahren hat hier allerdings ein Paradigmenwechsel stattgefunden, wobei dem konstruktiven Holzschutz wieder eindeutiger Vorrang vor allen anderen Maßnahmen eingeräumt wird.<sup>70</sup>

#### **Die Grundsätze des Konstruktiven Holzschutzes sind:**

- Schutz vor Niederschlägen
- Schutz vor Spritzwasser
- Schutz vor aufsteigender Feuchtigkeit
- Schutz vor Kapillarwasser
- Schutz vor Kondensat

#### **Konstruktiver Holzschutz in der Ausführung:**

- Holzfeuchte beim Einbau berücksichtigen ( $\leq 20\%$ )  
Holzausgleichsfeuchtigkeit
- Sockelausbildung im Spritzwasserbereich;  $h \geq 30\text{cm}$
- Dachüberstand berücksichtigen (Auskragung  $\geq 30\text{cm}$  über den vordersten Holzbauteil)
- Mindestgefälle des Untergrundes (Bodenplatte, Balkone und Dachflächen) von 3% im Holzbau

<sup>70</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Stefan Winter

- Bauphysikalisch richtige Konstruktion (diffusionsoffene Bauweise ist zu bevorzugen).
- Hinterlüftete Fassaden sind zu bevorzugen.
- Tropfnasen und Hinterschneidungen  $\geq 15^\circ$  für eine definierte Wasserabtropfkante (z.B. bei Fassadenbrettern)
- Vermeidung von Wasseraufnahme über das Hirnholz.
- Kontaktflächen zwischen Bauteilen verringern; z.B. zwischen tragenden Balken und Bodenbrettern
- Abfasen von Holzkanten.<sup>71</sup>

Durch die Berücksichtigung des konstruktiven Holzschutzes, ist auch die korrekte Einbringung der Baustrohballen gewährleistet. Hier muss speziell auf die Tauwasserbildung in der äußeren Schicht des Bauteiles geachtet werden.

<sup>71</sup> Quelle: [www.infoholz.at](http://www.infoholz.at)  
Konstruktiver Holzschutz



## 7.4.2 Mikrobielle Empfindlichkeit von Baustrohballen

### Einleitung

Obwohl Strohballen, im Vergleich zu den meisten anderen pflanzlichen Dämmstoffen, vollkommen unbehandelt verwendet werden, sind bisher in der Praxis bei fachgerechter Ausführung keine Probleme bekannt geworden. Es ist jedoch zu erwarten, dass sie im Vergleich zu mit Borax, Wasserglas oder Ammonium- Sulfat behandelten Pflanzenfasern empfindlicher sind.<sup>72</sup>

Es handelt sich bei Stroh immerhin um das natürliche Substrat der Pilze. Viele Untersuchungen zeigen jedoch, dass die gute Feuchtespeicherfähigkeit nicht zur Entstehung von Schimmelpilzen in den Materialien führt,

da diese bei ordnungsgemäßem Einbau die Feuchtigkeit schnell genug wieder abgeben können. Diese Materialien müssen diffusionsoffen eingebaut werden.

### Schimmel

Schimmel beinhaltet Pilze verschiedener Gattungen. Besonders hervorzuheben sind ihre Fähigkeiten der Zersetzung von Zellulose und Lignin, den Hauptbestandteilen von Pflanzen.

Wichtig sind hierbei die Faktoren Feuchte, Temperatur, sowie die Versorgung mit Sauerstoff, da die meisten Pilze Sauerstoff zum Wachstum benötigen. Ein weiterer Faktor ist der pH- Wert , d.h. ob die Bedingungen sauer oder alkalisch sind. Von Pilzen werden eher neutrale Bedingungen, mit pH- Werten zwischen 3- 9 bevorzugt.

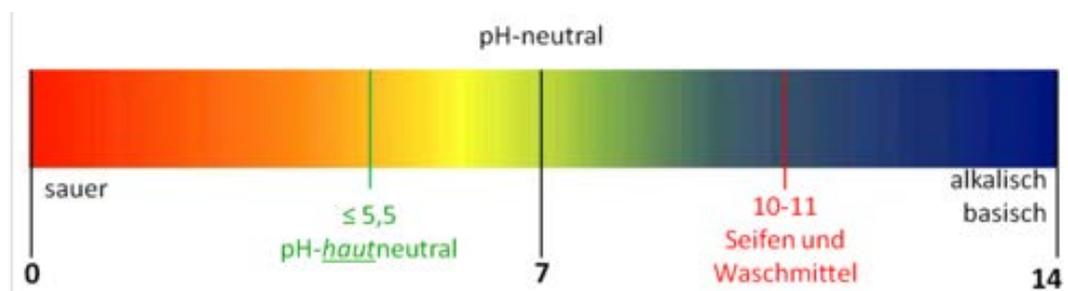


Abbildung 105: PH- Skala

<sup>72</sup> Quelle: www.oeph.de Kleine Einführung Strohballenbau in Deutschland



Getreide auf dem Feld ist über sein gesamtes Wachstum dem Befall mit Schimmelpilzen ausgesetzt. Je nach Gesundheit der Pflanze, führt dieser Befall dann nach der Ernte zu Schäden oder nicht.<sup>73</sup>

Für das Bauen wurde bisher Stroh der heimischen Getreidesorten Weizen, Roggen, Dinkel, Triticale und Gerste verwendet. Nach bisherigen Kenntnissen erscheinen Weizen und Roggen besonders geeignet, während Hafer als ungeeignet angesehen werden muss.<sup>74</sup>

Die eigentliche Aktivität der Schimmelpilze setzt erst mit dem Tod des Getreides durch die Ernte ein. Die Pflanze setzt dem Pilz keinen Widerstand mehr entgegen. Bei passenden Umweltfaktoren wie z.B.: einer rel. Luftfeuchtigkeit von 70%, einer Temperatur zwischen 0-50°C (optimal sind 30°C) und genügend Sauerstoff beginnt dann der Zersetzungsprozess.

Die Vermehrung passiert über die Bildung von Sporen, was immer dann passiert, wenn die Umweltfaktoren schlechter werden (Trockenheit, zu hohe Temperatur oder zu starke Sonneneinstrahlung).

Besonders wichtig ist, das gesunde Stroh trocken zu ernten und zu lagern. Dies verhindert ein weiteres Wachstum von vorhandenen Schimmelpilzen, sowie die Keimung von vorhandenen Sporen.

### **Untersuchungen zum Wachstum von Schimmelpilzen auf Baustoffen**

Um die Anfälligkeit von Baustoffen und Konstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen auf Schimmelpilzbefall zu schaffen, entwickelte das Fraunhofer Institut für Bauphysik ein sogenanntes Isoplethenmodell und ein biohygrothermisches Modell. Hier werden Vorhersagen über eine mögliche Schimmelpilzbildung getroffen.

<sup>73</sup> Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau-Strohballen

<sup>74</sup> Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.



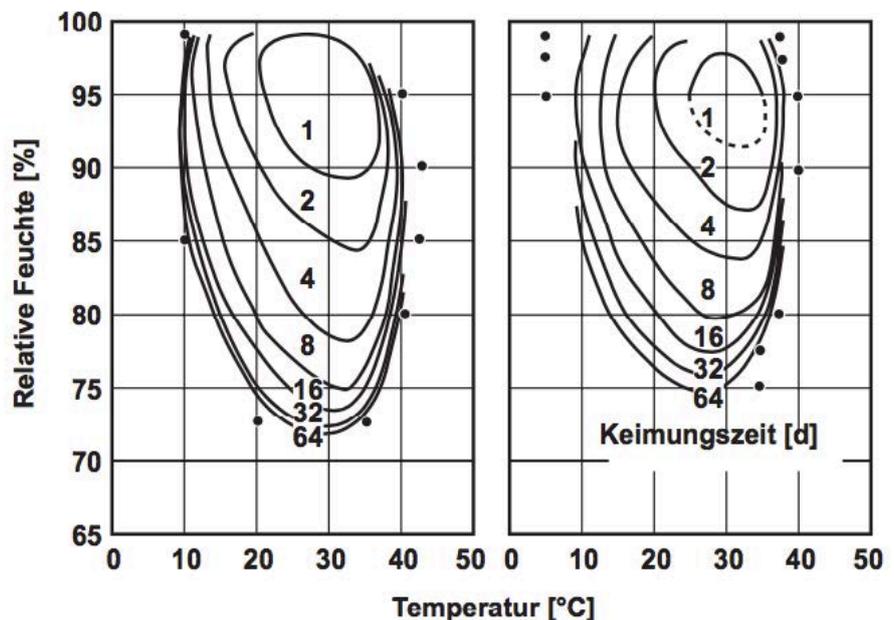
Bei Isoplethensystemen handelt es sich um Systeme, welche die Sporenauskeimzeiten bzw. das Mycelwachstum in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte beschreiben.

Basierend auf diesem System sind in Österreich schon Untersuchungen an Stroh unternommen worden. Es konnte gezeigt werden, dass Stroh in die Gruppe der guten Substrate einzuordnen ist. Schimmelpilzwachstum trat bei 10°C und 100% rel. Luftfeuchte nach ca. 2 Wochen auf.

Basierend auf diesem Modell wurde das hygrothermische Verhalten einer Strohwand untersucht. Die Ergebnisse zeigen zwar ein gewisses Gefährdungspotential, das jedoch nicht zum Tragen kommt, da die Dauer der günstigen Bedingungen für eine Sporenauskeimung bzw. Mycelwachstum nicht ausreichend lang ist.<sup>75</sup>

Temperatur	10°C	23°C	23°C
Rel. Luftfeuchtigkeit	100%	100%	75%
Wachstumsbeginn	2 Wochen	Nach wenigen Tagen	8 Wochen

Abbildung 106: Isoplethensystem für Sporenauskeimung. Die Isolinien geben in Abhängigkeit von Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit die Keimungszeit in Tagen an. Die Punkte zeigen Bedingungen, bei denen nach 95 Tagen noch keine Keimung stattgefunden hatte.



<sup>75</sup> Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau-Strohballen



## Rechtliche Situation

In Deutschland ist der Strohballenbau noch relativ jung. Die ersten Gebäude stammen aus den 90iger Jahren und konnten aufgrund der bestehenden Rechtsgrundlage nur mit einer Genehmigung für den Einzelfall errichtet werden.

Für die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung von Baustrohballen sind eine Reihe von gesetzlichen Voraussetzungen zu erfüllen. Eine davon ist der Nachweis der Resistenz gegenüber Schimmelbefall, nach DIN IEC 68 Teil 2-10 „Grundlegende Umweltprüfverfahren- Prüfung und Leitfaden: Schimmelwachstum“. Das Problem mit dieser Norm liegt vor allem in der Verwendung von Schimmelpilzen als Animpfung, d.h. das Produkt wird mit Schimmelsporen besprüht und unter für Schimmelpilze optimale Bedingungen gelagert.

Diese Art der Untersuchung zeigt, dass Stroh bei diesem Test scheitert, da Stroh ein natürliches Substrat für Schimmelpilze darstellt.

Dieser Test trägt nicht den Eigenschaften des Baumaterials Stroh Rechnung, ebenso wie vielen anderen Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Sinnvoller ist hier, wie z.B.: in Österreich, nach ÖN EN ISO 846 und ÖN B6010 üblich, einen Test ohne das Animpfen mit Schimmelpilzsporen durchzuführen oder den Test auf das gesamte Bauteil zu beziehen, was sicherlich eher der Realität entsprechen würde.<sup>76</sup>

---

<sup>76</sup> Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau-Strohballen



### 7.4.3 Baustoff Lehm

Lehmprodukte sind zu 100 % frei von synthetisch-organischen Zusatzstoffen. Die einzigen Bindemittel sind der natürliche Tonanteil im Lehm sowie hochelastische Pflanzenfasern.

Hier zeigt sich, dass Lehmputze wesentlich mehr Feuchtigkeit aufnehmen können als herkömmliche Putze. Jedoch zeigt sich auch, dass es große Unterschiede je nach Art der verwendeten Lehmputze gibt.

#### Sorptionsvermögen von Lehm

Das Biomaterial kann relativ schnell Feuchtigkeit aufnehmen und bei Bedarf wieder an die Raumluft abgeben.<sup>77</sup>

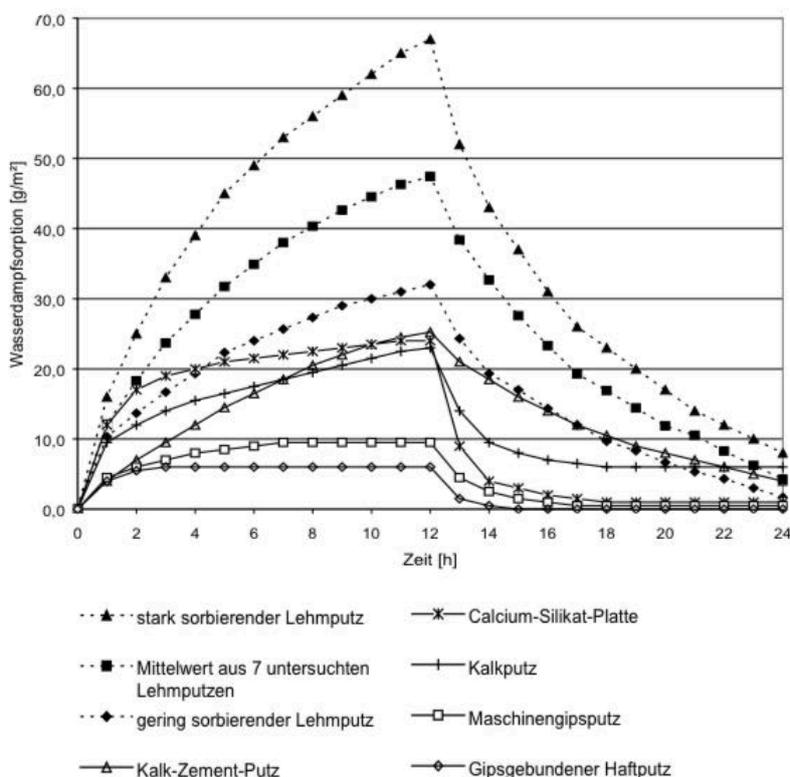


Abbildung 107: Sorptionsvermögen von Lehmputzen im Vergleich zu anderen Putzarten

77

Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)



## Gleichgewichtsfeuchte

Die Menge an Wasser, die ein Baustoff aus der Umgebungsluft aufnehmen kann, hängt von seiner Struktur ab, der Art seiner Kapillaren und Poren, in denen er das Wasser einlagert.

Mit der Aufnahme bzw. Abgabe von Wasser ändern sich die Strukturen (Quellen, Schwinden) einiger Baustoffe. Je nach Temperatur von Umgebungsluft und Baustoff stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Aufnahme von Wasserdampf aus der Luft und der Abgabe von Wasserdampf an die Umgebung ein.

Zu jeder Temperatur und Umgebungsfeuchte gehört somit ein bestimmter, vom jeweiligen Material abhängiger Feuchtegehalt im Baustoff.

	Gleichgewichtsfeuchte im verbauten Zustand
Lehm	0,4-6 Vol%
Holz	max. 15 Vol%
Stroh	max. 15 Vol%

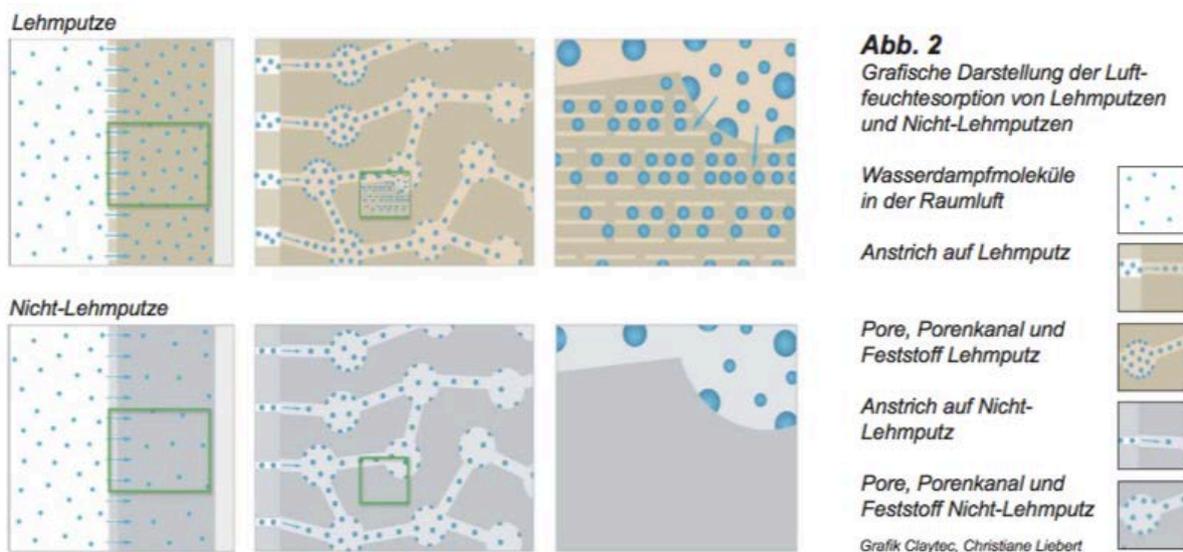


Abbildung 108: Luftfeuchtesorption von Lehmputzen und Nicht- Lehmputzen



## Lehm wirkt konservierend

Bedingt durch diese geringe Gleichgewichtsfeuchte von Lehm von 0,4 – 6 Gewichtsprozenten ( je nach Tongehalt, Tonart und Feuchtgehalt der Luft) werden Holz und andere organische Stoffe, die von Lehm umgeben sind, entfeuchtet bzw. trocken gehalten. Denn wo zwei verschiedene Baustoffe zusammentreffen, nimmt immer der trockenere Baustoff (Lehm in diesem Fall) das anfallende Wasser auf und transportiert es nach außen.

Somit schützt Lehm die von ihm umschlossenen Hölzer und Faserstoffe optimal.

Insofern kann man von einer Konservierung durch Lehm sprechen.<sup>78</sup>

## Lehm wirkt antibakteriell

Lehm ist diffusionsfähig. Tonminerale im Lehm können durch ihre sehr große Oberfläche mikroskopisch kleine Schadstoffe und Gerüche aufnehmen und neutralisieren. Somit reinigt Lehm die Luft und trägt zu einem gesunden und angenehmen Raumklima bei. Schimmelbildung wird verhindert, indem die in Wasserdampf gelösten Schadstoffe aus der Luft absorbiert werden.

Lehm wirkt durch seine fungiziden Eigenschaften, wie etwa einem hohen ph- Wert, Schimmelbefall an der Bauteiloberfläche entgegen.<sup>79</sup>

Lehm	6,9		
Holz			
Kalk	>12	Kein Nährboden	alkalisch
Kunstharz-Dispersionsanstrich	5-8	guter Nährboden	alkalisch

<sup>78</sup> Quelle:  
<https://www.wenninger.co.at/lehmputz/>

<sup>79</sup> Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)



## 7.4.4 Feuchtigkeitsverhalten der Gebäudehülle

Die Tauglichkeit von strohgedämmten Bauteilen ist maßgeblich von deren feuchtetechnischen Eignung abhängig. Innerhalb des Bauteils darf es nicht zu einem schädlichen Schimmelpilzbefall kommen.

In Abhängigkeit von der Temperatur müssen hierzu die anfallenden Feuchtemengen durch die Einhaltung von bestimmten Schichteigenschaften ausreichend gering gehalten werden.

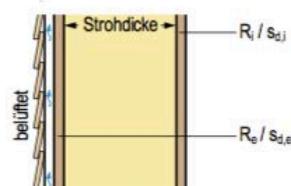
Strohgedämmte Bauteile gelten als geeignet, wenn die Eigenschaften der einzelnen Schichten den Vorgaben der Anlage 1 der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 entsprechen.<sup>80</sup>

### Anlage 1 zu Z-23.11-1595 Neufassung 3. Juni 2014

Beispiele für feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften von Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung

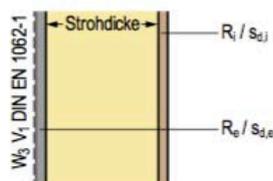
a) Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	$R_i$ [m <sup>2</sup> -K/W]	$s_{d,e}$ [m]	$R_e$ [m <sup>2</sup> -K/W]
1	≤ 1,00	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 0,50	-
2	≤ 0,48	≥ 0,76	≤ 3,14	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 1,00	≥ 1,00
4	≤ 0,48	≥ 2,00	≤ 0,35	≤ 1,50	≥ 0,70
5	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 1,50	≥ 1,43
6	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 2,00	≥ 1,90



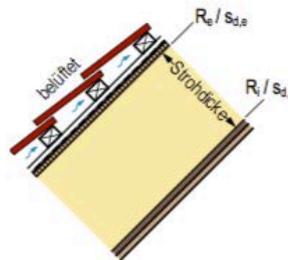
b) Frei bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W<sub>3</sub> und V<sub>1</sub>

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	$R_i$ [m <sup>2</sup> -K/W]	$s_{d,e}$ [m]	$R_e$ [m <sup>2</sup> -K/W]
1	≤ 0,70	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 0,50	-
2	≤ 0,48	≥ 0,76	≤ 3,14	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	≥ 3,00	≤ 0,35	≤ 1,50	≥ 0,30



c) Dachkonstruktionen mit belüfteter Dachdeckung

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	$R_i$ [m <sup>2</sup> -K/W]	$s_{d,e}$ [m]	$R_e$ [m <sup>2</sup> -K/W]
1	≤ 0,48	≥ 2,00	≤ 0,35	≤ 0,50	≥ 0,14
2	≤ 0,36	≥ $s_{d,a}$	≤ 0,35	≤ 3,00	≥ 0,14



Hinweise:

Zeile 1 charakterisiert die jeweils zulässige Grundvariante. Weitere Zeilen: mögliche Varianten mit geänderten Bauteileigenschaften (grau hinterlegt), die in der Folge dann zu ändernde Schichteigenschaften erfordern (fett gedruckte Werte).

Abbildung 109: Zulässige Schichteigenschaften

<sup>80</sup> Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.



## Rechenbeispiel des Außenwandbauteiles lt. Tabelle a:



	Dicke	$\mu$	$\lambda$
Strohämmung	36cm		
Innenputz Lehmputz	6cm	10	0,8
Außenputz Kalkputz	2cm	15	0,7

## Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d = d \times \mu$ (m)

Innen:  $0,06 \times 10 = \mathbf{0,6m}$   
 $\geq s_{di} \text{ zulässig} = 0,1m$

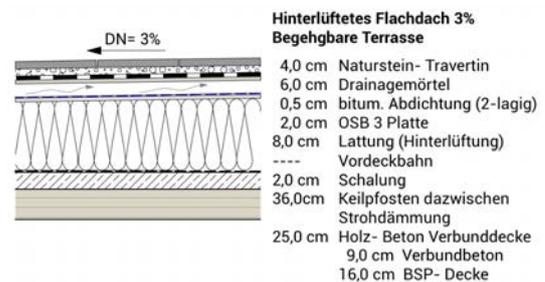
Außen:  $0,03 \times 15 = \mathbf{0,45m}$   
 $\leq s_{de} \text{ zulässig} = 0,50m$

## Wärmedurchlasswiderstand $R = d / \lambda$ ( $m^2K/W$ )

Innen:  $0,06 / 0,8 = \mathbf{0,075}$   
 $\leq R_i \text{ zulässig} = 0,35$

Außen:  $0,03 / 0,7 = \mathbf{0,043}$   
 Keine Anforderungen

## Rechenbeispiel des hinterlüfteten Flachdaches lt. Tabelle c:



	Dicke	$\mu$	$\lambda$
Strohämmung	36cm		
Innenschicht Verbundbeton	9cm	80	2
BSP- Decke	16cm	70	0,14
Außenschicht Holzschalung	2,4cm	4	0,14

## Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke $s_d = d \times \mu$ (m)

Innen:  $0,09 \times 80 = 7,2 m$   
 $+ 0,16 \times 70 = \mathbf{11,2 m}$   
 $\mathbf{18,4 m}$   
 $\geq s_{di} \text{ zulässig} = 2,00m$

Außen:  $0,02 \times 4 = \mathbf{0,08m}$   
 $\leq s_{de} \text{ zulässig} = 0,50m$

## Wärmedurchlasswiderstand $R = d / \lambda$ ( $m^2K/W$ )

Innen:  $0,09/2 = 0,04$   
 $0,16/0,14 = \mathbf{1,14}$   
 $\mathbf{1,18}$   
 $\leq R_i \text{ zulässig} = 0,35$

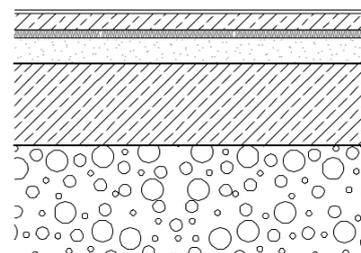
Außen:  $0,024 / 0,14 = \mathbf{0,17}$   
 $\geq R_e \text{ zulässig} = 0,14$



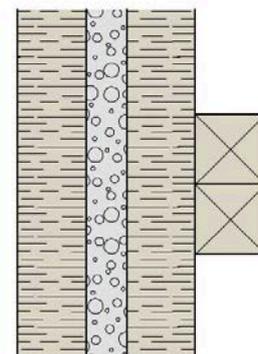
## 7.5 Wärmeschutz

### 7.5.1 Wärmeschutzberechnung der Gebäudehülle

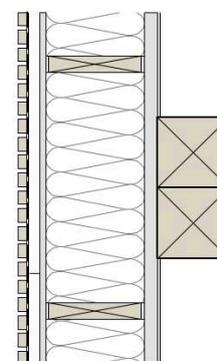
<b>01- Decke geg. Erdreich</b>				
	Aufbau von aussen nach innen :	Dicke [m]	Lambda $\lambda$ [W/mK]	D- Wert [m <sup>2</sup> K/W]
Wärmeübergang- aussen ( $R_{s,e}$ )				0,04
1	Schaumglasschotter	0,16	0,08	2,00
2	STB- Decke	0,3	2,3	0,13
3	Schüttung	0,85	0,19	4,47
4	TDSP 30/50	0,03	0,032	0,94
5	PAE- Folie	-	-	
6	Heizestrich	0,07	1,396	0,05
7	Parkett/ Fliesen+ Kleber	0,015	0,209	0,07
Wärmeübergang- innen ( $R_{s,i}$ )				0,17
Wärmedurchgangswiderstand (m <sup>2</sup> K/W) =				7,87
Vorhandener U- WERT (W/ m <sup>2</sup> K) =				<b>0,13</b>
Zulässiger U- WERT lt. OIB 6 (W/ m <sup>2</sup> K) $\leq$				<b>0,40</b>



<b>A- Stampflehmwand EG</b>				
	Aufbau von aussen nach innen :	Dicke [m]	Lambda $\lambda$ [W/mK]	D- Wert [m <sup>2</sup> K/W]
Wärmeübergang- aussen ( $R_{s,e}$ )				0,04
1	Stampflehm	0,25	1,5	0,17
2	Schaumglasschotter	0,2	0,08	2,50
3	Stampflehm	0,25	1,5	0,17
Wärmeübergang- innen ( $R_{s,i}$ )				0,13
Wärmedurchgangswiderstand (m <sup>2</sup> K/W) =				3,00
Vorhandener U- WERT (W/ m <sup>2</sup> K) =				<b>0,33</b>
Zulässiger U- WERT lt. OIB 6 (W/ m <sup>2</sup> K) $\leq$				<b>0,35</b>

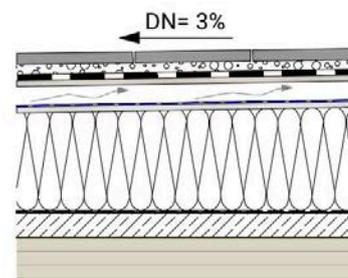


<b>B- Hinterlüftete Außenwand (Obergeschoße)</b>				
	Aufbau von aussen nach innen :	Dicke [m]	Lambda $\lambda$ [W/mK]	D- Wert [m <sup>2</sup> K/W]
Wärmeübergang- aussen ( $R_{s,e}$ )				0,04
1	Holzfassade	-	-	
2	Hinterlüftung	-	-	
3	Kalkputz	0,02	0,872	0,02
4	Strohdämmung	0,36	0,043	8,37
5	Lehmputz	0,06	0,82	0,07
6	BSH- Stützen	-	-	
Wärmeübergang- innen ( $R_{s,i}$ )				0,13
Wärmedurchgangswiderstand=				8,64
Vorhandener U- WERT=				<b>0,12</b>
Zulässiger U- WERT lt. OIB 6 $\leq$				<b>0,35</b>





08- Hinterlüftetes Flachdach				
	Aufbau von aussen nach innen :	Dicke [m]	Lambda $\lambda$ [W/mK]	D- Wert [m <sup>2</sup> K/W]
	Wärmeübergang- aussen ( $R_{s,e}$ )			0,04
1	Terrassenbelag	-	-	
2	Drainagemörtel	-	-	
3	Bitum. Abdichtung	-	-	
4	OSB 3 Platte	-	-	
5	Konterlattung 5/8cm	-	-	
6	Diffusionsoffene Unterdeckbahn	-	-	
7	Schalung	0,02	0,14	0,14
8	Strohdämmung	0,36	0,043	8,37
9	Dampfsperre	-	-	
10	Verbundbeton	0,09	2,3	0,04
11	Brettsperrholzdecke	0,16	0,14	1,14
	Wärmeübergang- innen ( $R_{s,i}$ )			0,10
	Wärmedurchgangswiderstand=			9,84
	Vorhandener U- WERT=			0,10
	Zulässiger U- WERT lt. OIB 6 ≤			0,20





## 7.5.2 Sommerliche Überwärmung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels kommt dem sommerlichen Wärmeschutz in doppelter Hinsicht besondere Bedeutung zu. Zum einen aus Sicht der Gebäudenutzer als unverzichtbarer Faktor des Komforts und der Gesundheit, zum anderen bei der Suche nach den Ursachen des Klimawandels als potenzieller negativer Klimatreiber. Letzteres insbesondere, wenn Planung, Ausführung oder Nutzung von Gebäuden in Hinblick auf die Überhitzung unterbleiben und in der Folge fossile Energie für das Kühlen verwendet werden muss.<sup>81</sup>

So ist bereits jetzt schon beim Energieverbrauch von Gebäuden eine Verlagerung vom Verbrauch für die Raumheizung hin zur Raumkühlung zu verzeichnen.<sup>82</sup>

Ein Ziel des sommerlichen Wärmeschutzes ist es, den Temperaturdurchgang durch ein Dach oder eine Wand so zu verzögern, daß die höchste Temperatur des Tages erst dann auf die Raumseite gelangt, wenn es draußen schon so kühl ist, dass man der Raumaufheizung aus den Bauteilen durch Lüftung entgegenwirken kann. Angestrebt wird eine Phasenverschiebung von 10 - 12 Stunden. Ein Teil der im Bauteil gespeicherten Wärme wird dann auch wieder nach außen abgeleitet.

Daher kommt es auf der Raumseite der Konstruktion nicht zur gleichen Temperatur wie auf der Außenseite.<sup>83</sup>

---

<sup>81</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Stefan Winter

<sup>82</sup> Quelle: Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden, Fa. Wienerberger

---

<sup>83</sup> Quelle: Bauphysikalische Grundlagen, ITI TU Wien



### 7.5.3 Faktoren der sommerlichen Überwärmung

Im Forschungsprojekt RIOPT im Labor für Bauphysik der TU Graz wurden mittels umfangreicher, dynamischer Gebäudesimulationen die wesentlichen Einflussfaktoren für den sommerlichen Wärmeschutz bewertet.

Hierbei wurden folgende Faktoren für den Wärmeschutz definiert.

- Bauweise/ speicherwirksame Masse (massiv oder leicht)
- Beschattung
- Lüftung/ natürliche Kühlung

Sensitivitäten der Überwärmung in Bezug auf diese Faktoren wurden an vier Grundtypen aktueller Bauweisen analysiert und gegenübergestellt.

- Stahlbeton
- Ziegel
- Brettsperrholz
- Holztafelbauweise

### Speicherwirksame Masse

Die oberflächliche vergleichende Betrachtung der Ergebnisse zeigt erwartungsgemäß zunehmend ausgeprägte Tagesschwankungen der Temperatur bei abnehmender Speichermasse.

Bei genauer Analyse wird jedoch deutlich, dass die Unterschiede in den Bauweisen hinsichtlich einer Überwärmung gegenüber zwei anderen Faktoren sichtlich in den Hintergrund treten:

- Der Sonnenschutz und
- der nächtliche Luftwechsel

haben einen ungleich größeren Einfluss.

Ergebnisse zeigten, dass die über längere Zeiträume gemittelten Temperaturwerte bei allen vier Bauweisen bemerkenswert nahe beieinander liegen.<sup>84</sup>

<sup>84</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 88; Daniel Rüdiger, Heinz Ferk

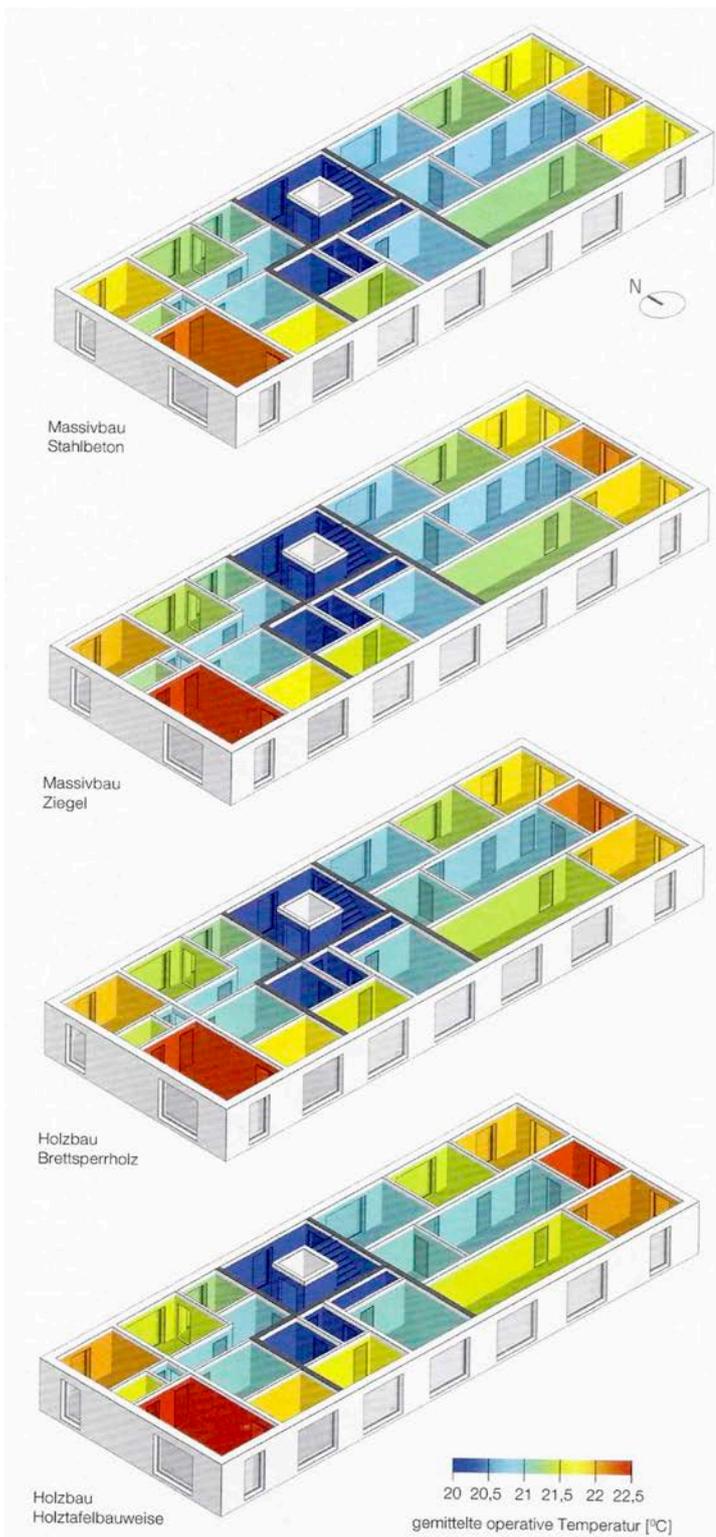


Abbildung 110: Temperaturmittelwerte bei verschiedenen Bauweisen, Wärmebilanz bei Kühlung durch natürlichen Luftwechsel

Die über den Tag vor allem durch solare Einstrahlung anfallende Wärmemenge muss möglichst effektiv absorbiert und nachts bei kühleren Außenlufttemperaturen mittels Luftstrom an die Umgebung abgeführt werden können. Treten länger anhaltende Hitzeperioden auf, bei denen das nächtliche Auskühlen der Speichermasse so nicht mehr möglich ist, kommt es auch bei hohen Speichermassen zu einer zukzessiven Erwärmung und letztlich Überwärmung der einzelnen Räume. Bei massiven Bauweisen vollzieht sich diese Erwärmung zwar langsamer als im Leichtbau, jedoch dauert auch die Abkühlung entsprechend länger.

Besonders in Schlafräumen kann es Sinn machen, die speicherwirksame Masse zu reduzieren, um ein nächtliches Abkühlen des Raumes zu begünstigen. Dies bedeutet, dass die Speichermasse immer im Zusammenhang mit dem realisierbaren kühlungswirksamen Luftwechsel, dem potenziellen solaren Eintrag sowie der Nutzung gesehen und geplant werden muss.



Erst wenn aus Masse wirksame Speichermasse wird, also dem Aufwärmen auch wieder Abkühlung folgt, kann sie den Temperaturverlauf über den Tag günstig beeinflussen.

Bei dem für die Überwärmung ausschlaggebenden Tag- Nacht-Zyklen kehrt sich die Richtung des Wärmestroms jeweils binnen zwölf Stunden um.

Aus diesem Grund können nur die oberflächennahen ersten Zentimeter aktiv werden. Betrachtungen und Optimierungen hinsichtlich der speicherwirksamen Masse müssen sich deshalb auf diese obersten Schichten der Konstruktionen konzentrieren. Stahlbetongebäude mit leichten Vorsatzschalen und abgehängten Decken können etwa eine geringere Wärmekapazität aufweisen als Holztafelbauten mit Gipsfaserbeplankung.

Folglich sind die realisierbaren Unterschiede hinsichtlich der effektiv wirksamen Massen deutlich geringer als angenommen.<sup>85</sup>

## Solarer Eintrag und Beschattung

Im Sommer stellt die solare Einstrahlung den wesentlichen Wärmeeintrag dar.

Der heute oft sehr hohe Fensterflächenanteil, welcher in der Heizperiode durchaus energetisch positive Effekte mit sich bringt, kann bei unzureichender Beschattung in der warmen Jahreszeit schnell zur Überwärmung führen. Hierbei wird oft auch der Beitrag von diffuser und reflektierter Strahlung unterschätzt.

Das vordringlichste Ziel einer Optimierung ist es, eine effektive Beschattung aller transparenten Flächen zu gewährleisten.

Der Sonnenschutz muss dabei so gestaltet werden, dass er von den Nutzern nicht als einschränkend empfunden wird. Bei Anwesenheit der Nutzer sollte der Sonnenschutz ausreichend Licht in den Raum bringen und visuellen Kontakt nach außen ermöglichen.<sup>86</sup>

<sup>85</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 90; Daniel Rüdissler

<sup>86</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 90; Daniel Rüdissler, Heinz Ferk



## Luftwechsel und natürliche Kühlung

Das Prinzip der natürlichen Kühlung ist es, alle Öffnungen geschlossen zu halten, solange die Außenluft wärmer als die Raumtemperatur ist. Sobald die Außentemperatur die Innentemperatur unterschreitet, sollte man hingegen für eine effektive Durchlüftung des Gebäudes sorgen. Um einen möglichst effektiven nächtlichen Luftwechsel bauseitig gewährleisten zu können, muss der Einbruch,- und Regenschutz genauso berücksichtigt werden, wie physikalische Gesetzmäßigkeiten. Damit sich Luft bewegt, ist ein Druckunterschied als Folge von thermischem Auftrieb oder Wind erforderlich.

Auf Basis dieser Grundsätze kann etwa mittels planerischer Optimierung von Grundrissen, Öffnungen, Gebäudeausrichtung, oder dem Einsatz automatischer Anlagen erheblicher Einfluss auf die Effizienz der nächtlichen Kühlung genommen werden. Diese planerischen Herausforderungen hinsichtlich Minimierung der Sonneneinstrahlung und Maximierung des nächtlichen Luftwechsels müssen angenommen werden.<sup>87</sup>

---

<sup>87</sup> Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 90; Daniel Rüdissler



### 7.5.4 Sommerliche Überwärmung beim mehrgeschossigen Gebäude in Wiener Neustadt

Die vorgenannten Maßnahmen wurden am geplanten Gebäude angewandt und werden nun hier im folgenden Kapitel beschrieben.

#### Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität  $c$  ist eine Stoffkonstante, sie gibt an, wie viel Wärmeenergie 1 kg eines bestimmten Baustoffs aufnehmen muss, damit seine Temperatur um 1 K ansteigt. Die Einheit ist  $J / (kg \cdot K)$ .

Je größer die spezifische Wärmekapazität eines Baustoffes ist, desto langsamer erwärmt er sich. Ihr Wert ist insbesondere in Wohngebäuden hinsichtlich der Behaglichkeit und eines gleichbleibenden Innenraumklimas eine wichtige Kenngröße.

Grundsätzlich gilt, dass Baustoffe mit einer hohen Wärmespeicherkapazität Temperaturspitzen besser abpuffern können als Leichtbaustoffe.<sup>88</sup>

<sup>88</sup> Quelle: Spezifische Wärmekapazität; Quelle: baunetzwissen.de

#### Wärmespeicherzahl S

Verglichen mit Dämmstoffen wie Polystyrol und Mineralfaser, weisen Stroh und andere pflanzliche Dämmstoffe einen relativ hohen Wert der spezifischen Wärmekapazität ( $c$ ) auf. In Verbindung mit der relativ hohen Rohdichte ( $\rho$ ) einer Strohdämmung (bis zu 115  $kg/m^3$ ) ergibt sich gegenüber den herkömmlichen Dämmstoffen eine höhere Wärmespeicherung ( $S$ ).<sup>89</sup>

Baustoff	Dichte $kg/m^3$	Spezif. Wärmekapazität $c$ $kJ/kgK$	Wärmespeicherzahl $S$ $kJ/m^3 \cdot K$
Holzfasern WD	170	2,10	357
Kork	120	1,80	216
Stroh	100	2,00	200
Zellulose	55	1,90	105
Glaswolle	100	0,84	84
XPS	45	1,45	65
EPS	25	1,45	36

#### Spezif. Wärmespeicherfähigkeit Q

In Abhängigkeit von der spezifischen Wärmekapazität  $c$ , der Rohdichte  $\rho$  und der Wanddicke ( $m$ ) steht die Wärmespeicherfähigkeit  $Q$ ; sie wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$Q = d \cdot \rho \cdot c \text{ [kJ/m}^2\text{K]} \quad ^{90}$$

<sup>89</sup> Quelle: Strohedämmte Gebäude; Quelle: FNR, www.baustoffe.fnr.de

<sup>90</sup> Quelle: Wärmespeicherfähigkeit; Quelle: baunetzwissen.de



## Vergleich der Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Wandaufbauten

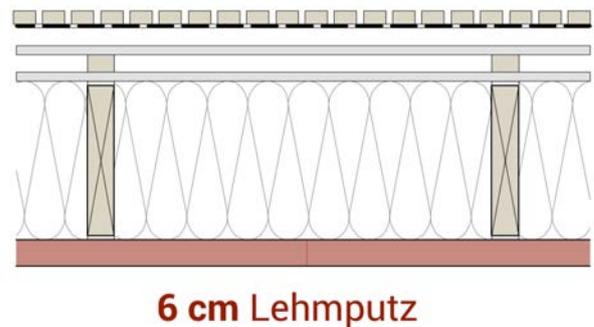
Die Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, z.B. einer Außenwand oder einer Geschossdecke, beeinflusst den Heizwärme- oder auch Kühlbedarf eines Gebäudes.

Die Masse des Außenwandbauteiles der Holz- Stroh- Lehmwand wird hier mit anderen Außenwandbauteilen verglichen.

### 1. Holz- Stroh- Lehm Außenwand

(Aufbau von Außen nach Innen) d= 50cm

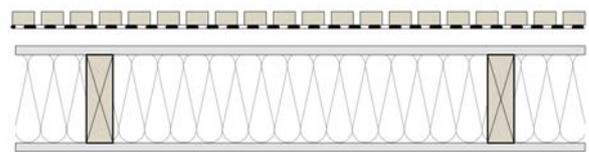
Baustoff	Dicke (m)	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	c kJ/kg K	Wärmespeicherfähigkeit Q
Holzfassade	/	/	/	/
Lattung	/	/	/	/
Kalkputz	0,02	1600	1,13	<b>36</b>
Stroh	0,36	100	2,00	<b>72</b>
Lehmputz	0,06	1400	1,00	<b>84</b>
<b>Gesamt</b>				<b>192</b>



### 2. Holzriegelwand

(Aufbau von Außen nach Innen) d= 32cm

Baustoff	Dicke (m)	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	c kJ/kg K	Wärmespeicherfähigkeit Q
Fassade	/	/	/	/
Lattung	/	/	/	/
MDF	0,02	600	1,70	<b>20,5</b>
MW-WD	0,20	50	1,03	<b>10,30</b>
OSB	0,02	650	1,70	<b>22,10</b>
GKF- Platte	0,02	800	1,05	<b>16,80</b>
<b>Gesamt</b>				<b>69,70</b>

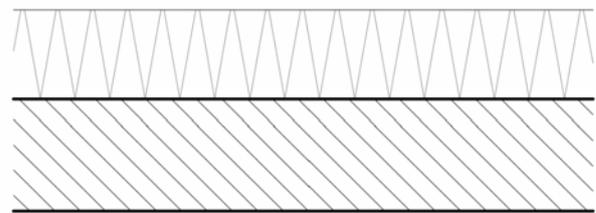




### 3. HLZ-Mauerwerk +20 cm EPS WD

(Aufbau von Außen nach Innen) d= 45cm

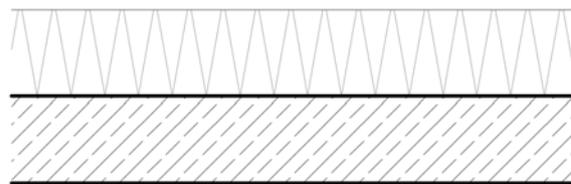
Baustoff	Dicke (m)	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	c kJ/kgK	Wärmespeicherfähigkeit Q
EPS- WD	0,20	25	1,45	<b>7,25</b>
HLZ	0,25	798	0,92	<b>183,50</b>
Gipsputz	0,02	1500	0,84	<b>25,25</b>
<b>Gesamt</b>				<b>216</b>



### 4. 20cm STB- Wand+20 cm EPS WD

(Aufbau von Außen nach Innen) d= 40cm

Baustoff	Dicke (m)	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	c kJ/kgK	Wärmespeicherfähigkeit Q
EPS- WD	0,20	25	1,45	<b>7,25</b>
STB- Wand	0,20	2300	1,08	<b>496,80</b>
Gipsputz	0,02	1500	0,84	<b>25,25</b>
<b>Gesamt</b>				<b>529,30</b>



Hier ist zu erkennen, dass der massive STB- Wandaufbau die größte Wärmespeicherfähigkeit besitzt.

Der geplante Holz- Stroh- Lehm Wandaufbau nähert sich jedoch mit seiner dicken Lehmputzschicht dem Ziegel- Massivaufbau an.



## Speicherwirksame Masse verschiedener Wandaufbauten im Vergleich

Vergleicht man weiter, lediglich den  
speicherwirksamen Bereich, sprich

die ersten Zentimeter der  
Konstruktion, so kommt man zu  
folgendem Ergebnis.

Außenwandbauteile	Baustoff	Dicke (m)	Dichte (kg/m <sup>3</sup> )	c kJ/kgK	Wärmespeicherfähigkeit Q
<b>01 Holz- Stroh- Lehmwand</b>	Lehmputz	0,06	1400	1,00	<b>84</b>
<b>02 Hinterlüftete Holzriegelwand</b>	MW-WD	0,02	50	1,03	1,03
	OSB	0,02	650	1,70	22,10
	GKF- Platte	0,02	800	1,05	16,80
					<b>39,93</b>
<b>03 HLZ- Massivwand</b>	HLZ	0,04	798	0,92	29,40
	Gipsputz	0,02	1500	0,84	25,20
					<b>54,60</b>
<b>04 STB- Massivwand</b>	STB- Wand	0,06	2300	1,08	<b>149,04</b>
<b>Vorsatzschale</b>	MW-WD	0,04	50	1,03	2,06
	GKF- Platte	0,02	800	1,05	16,80
					<b>18,86</b>

Abbildung 111: Speicherwirksame Masse im Vergleich; © Bernhard Bauer

Hier weist der Lehmputz schon eine  
höhere Wärmespeicherfähigkeit als  
die Ziegel- Masswand auf.

Wird eine Massivwand innen mit einer  
leichten Vorsatzschale beplankt, so  
sinkt die Wärmespeicherfähigkeit  
knapp

unter jene der Holzleichtbauweise  
und weit unter jene des Holz- Lehm-  
Stroh- Wandaufbaues.

Sprich, eine Installation einer  
Vorsatzschale ist aus Sicht der  
sommerlichen Überwärmung zu  
vermeiden.



## Massive Decken

Des weiteren ist das Gebäude mit einer Holz- Beton- Verbunddecke geplant, welche einen erheblichen Beitrag zur speicherwirksamen Masse leistet.

## Solarer Eintrag und Beschattung

Das Gebäude ist mit raumhohen Fenstern ausgestattet.

Der Fensteranteil beträgt, gemittelt auf 1 Büroraum ca. 44% der Außenwandfläche.

Die, aus brandschutztechnischer Sicht notwendigen, horizontal auskragenden Balkone, übernehmen hier in 1. Instanz die baulichen Beschattungsmaßnahmen.

Die Fenster sind mit Raffstore-Lamellen ausgestattet, welche eine weitere Verschattungsmöglichkeit darstellen und gleichzeitig das Tageslicht ins Gebäudinnere transportieren sollen.

Damit soll der sommerlichen Überwärmung vorgebeugt und ein komfortables Arbeitsklima geschaffen werden.

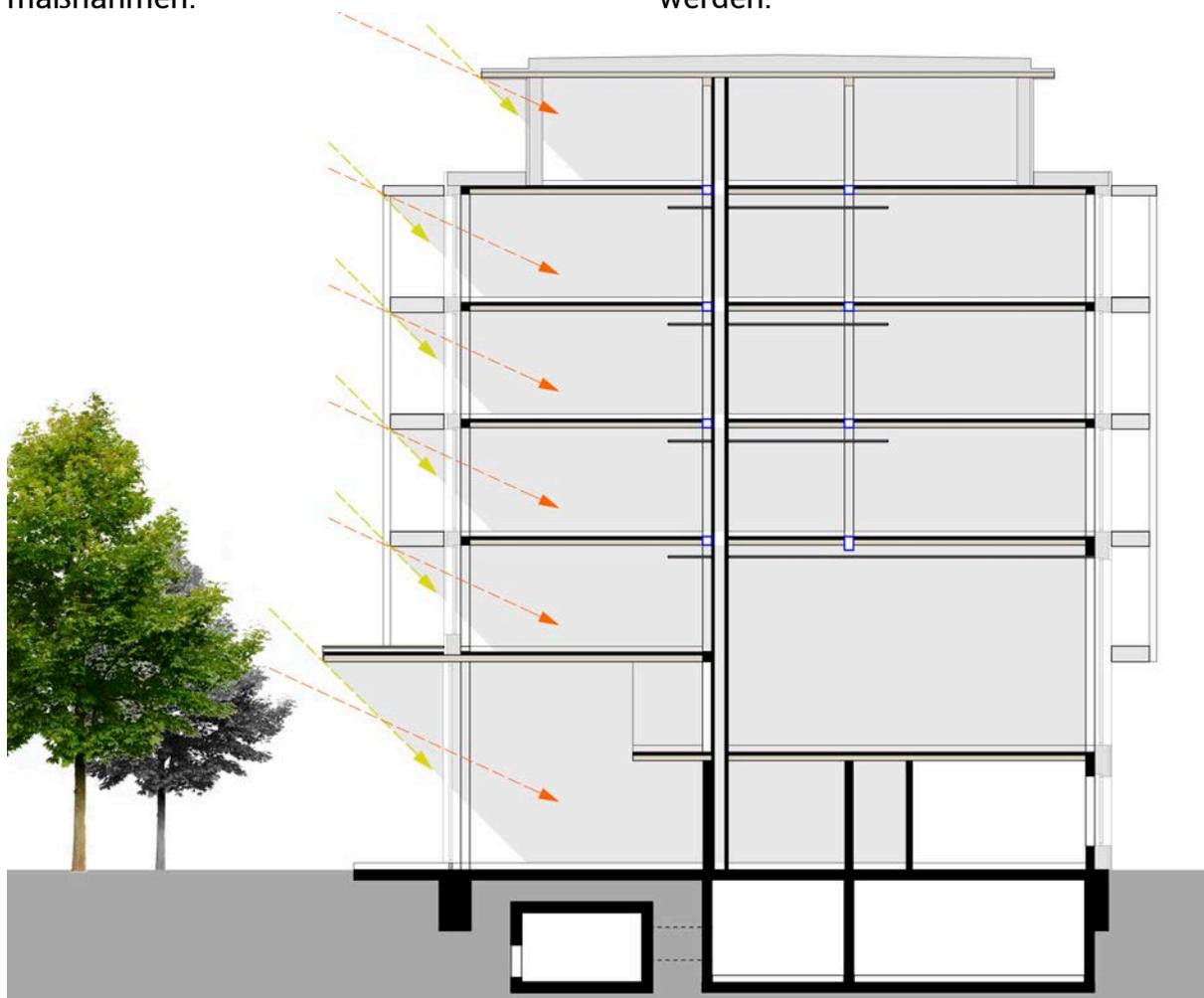


Abbildung 112\_ Verschattung durch Vordächer; © Bernhard Bauer



## Luftwechsel und nächtliche Kühlung

Um die Wärme, welche sich tagsüber in der speicherwirksamen Masse der Bauteile angesammelt hat, abzutransportieren und Frischluft nachzuführen, sind kippbare Oberlichtfenster in Kombination mit einem groß dimensionierten, natürlichen Lüftungssystem mit Erdwärmetauscher geplant.

Bei dieser Belüftungsart handelt es sich um ein altes Prinzip. Es nutzt das Erdreich als Temperaturpuffer bei unangenehmen Temperaturen der Außenluft.

Diese Luft-, Erdreichwärmetauscheranlagen leisten einen großen Beitrag zur Energieeinsparung in hochwärmegedämmten und luftdicht ausgeführten Gebäuden. Insbesondere der hohe, zur Kühlung von Gebäuden aufgewendete Energiebedarf kann durch eine solche natürliche Kühlung der Zuluft stark reduziert werden.

Des Weiteren soll die begrünte Fassade einen zusätzlichen Verschattungsfaktor darstellen.

## Natürliche Lüftung

Die raumhohen Fenster sind durchgehend mit Oberlichten ausgestattet, welche automatisch gesteuert und geregelt werden sollen.

Gleichzeitiges Lüften und Energiesparen wird durch die so genannte geregelte Spaltlüftung möglich. Der Sensor misst regelmäßig den CO<sub>2</sub>-gehalt und aktiviert automatisch den Antriebsmotor des Öffnungsmechanismus sobald ein festgelegter Grenzwert überschritten wird. Je mehr Kohlendioxid im Zimmer vorhanden ist, desto weiter wird das Fenster geöffnet, bis maximal 15 Millimeter. Damit wird ein effizienter Luftaustausch ermöglicht: "Die einströmende kalte Luft wird umgehend mit der warmen Zimmerluft vermischt. Dadurch kommt es nicht zu einer Abkühlung und damit nicht zu einem erhöhten Heizenergieaufwand.

91

---

<sup>91</sup> Quelle:  
<https://derstandard.at/2816648/Automatischer-Fensteroeffner-regelt-CO2-Anteil-im-Raum>

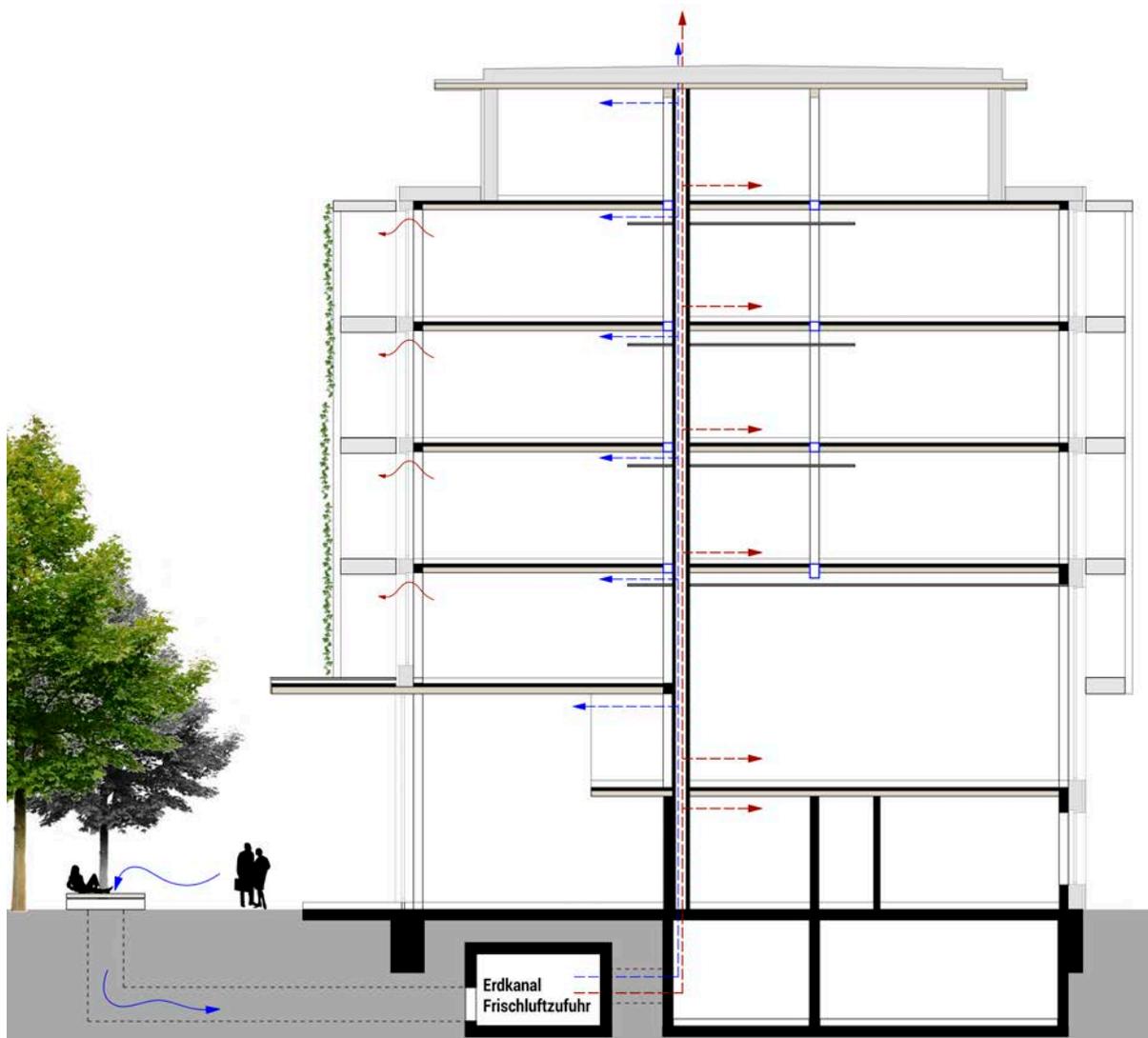


Abbildung 113: Frischluftzufuhr und Lüftung; © Bernhard Bauer

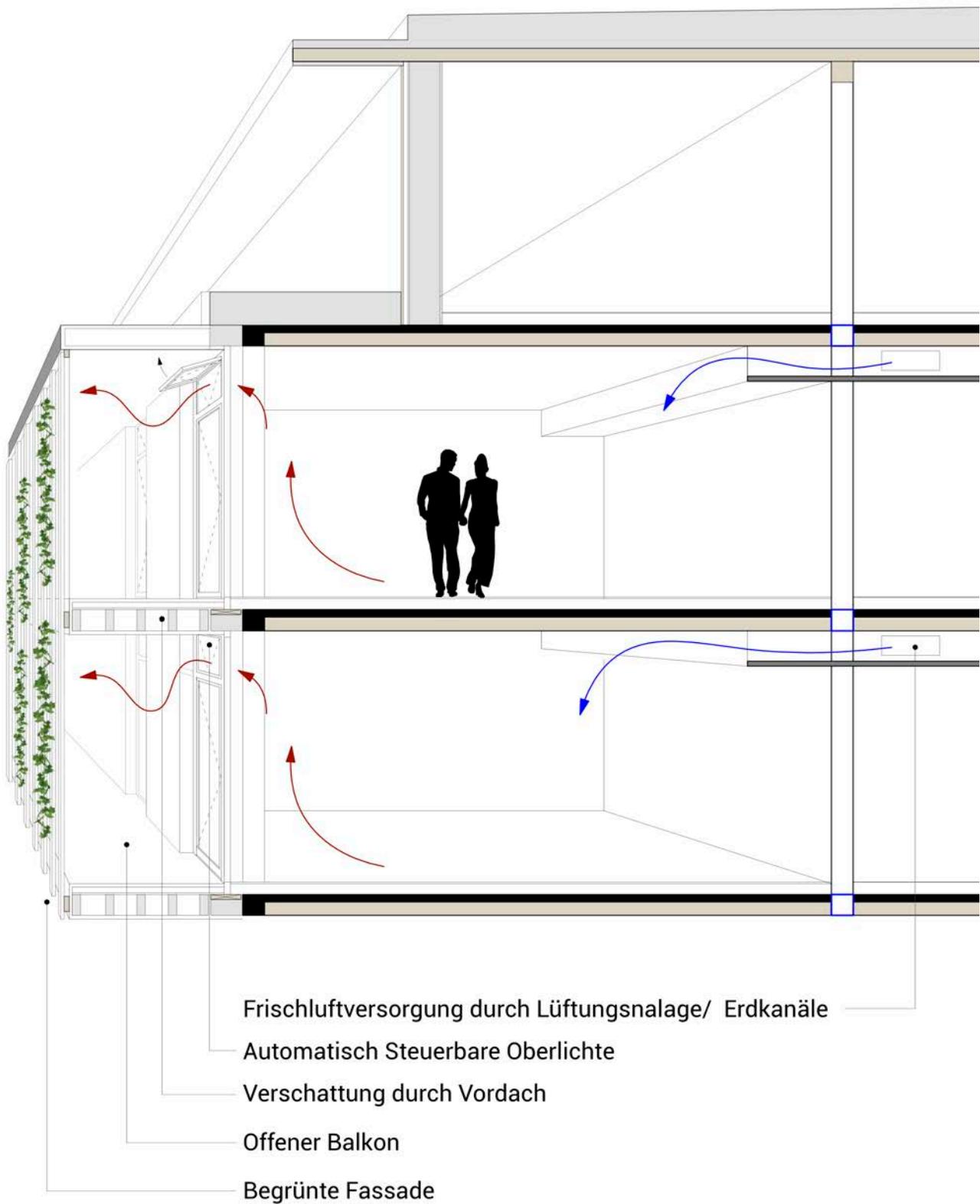


Abbildung 114: Frischluftzufuhr+ Lüftung durch Oberlichtfenster sowie zusätzlicher Verschattung durch die begrünte Fassade; © Bernhard Bauer



# Anhang

## **Anhang 1- Schaubilder**

**Schaubilder (Quelle: Bernhard Bauer, TU Wien)**

## **Anhang 2- Entwurf**

**Entwurfsplanung M 1:200 (Quelle: Bernhard Bauer, TU Wien)**

## **Anhang 3- Grundrisse**

**Grundrisse M 1:50 (Quelle: Bernhard Bauer, TU Wien)**

## **Anhang 4- Fassadenschnitt+ Detailplanung**

**Fassadenschnitt+ Detailplanung M 1:20 (Quelle: Bernhard Bauer, TU Wien)**

Anhang 1

# Schaubilder



**Ansicht Stadtpark**  
Schaubild



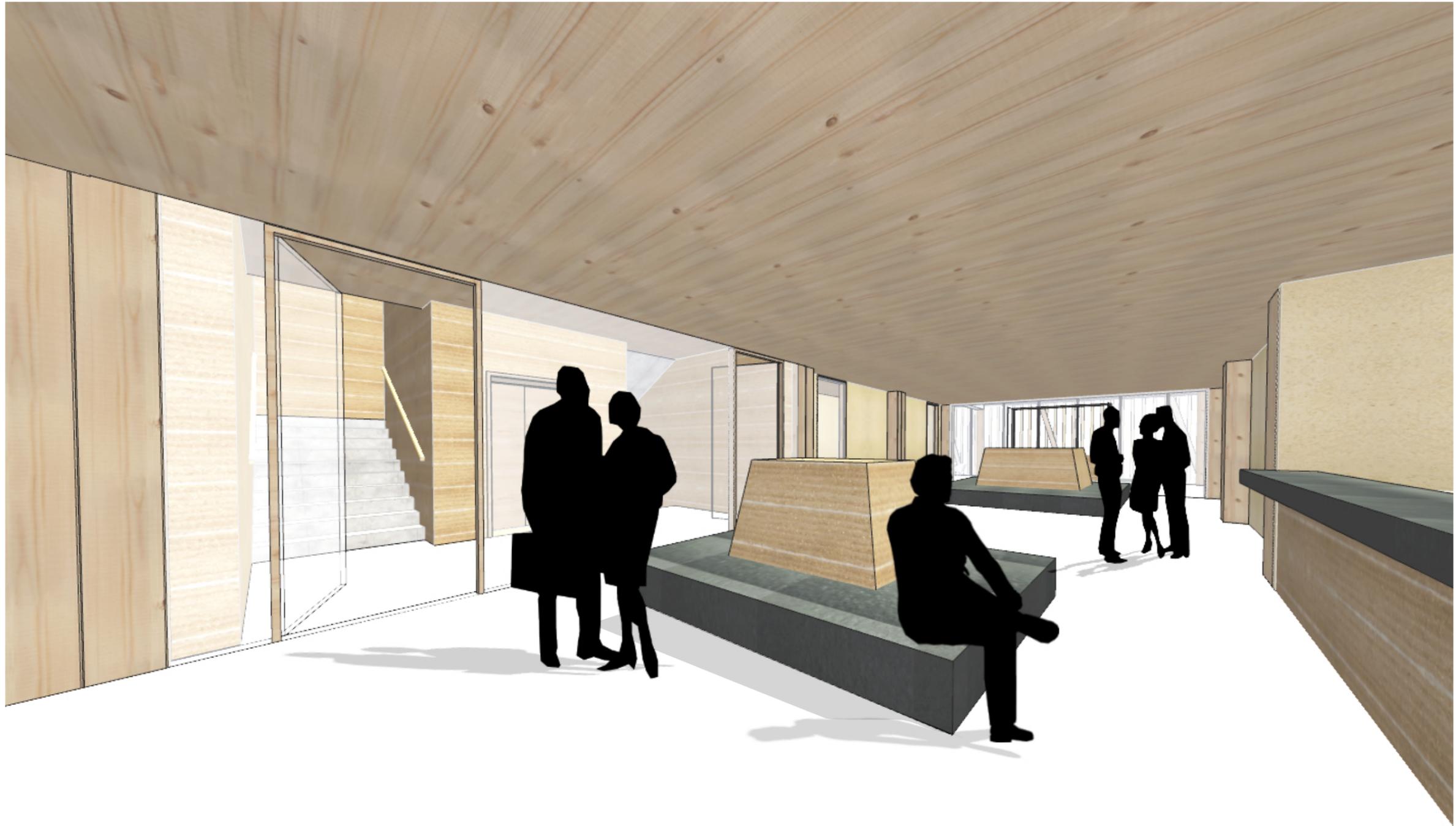
Bar/ Cafe´ im Erdgeschoß  
Schaubilder



Foyer/ Empfang im OG  
Schaubilder



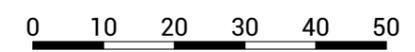
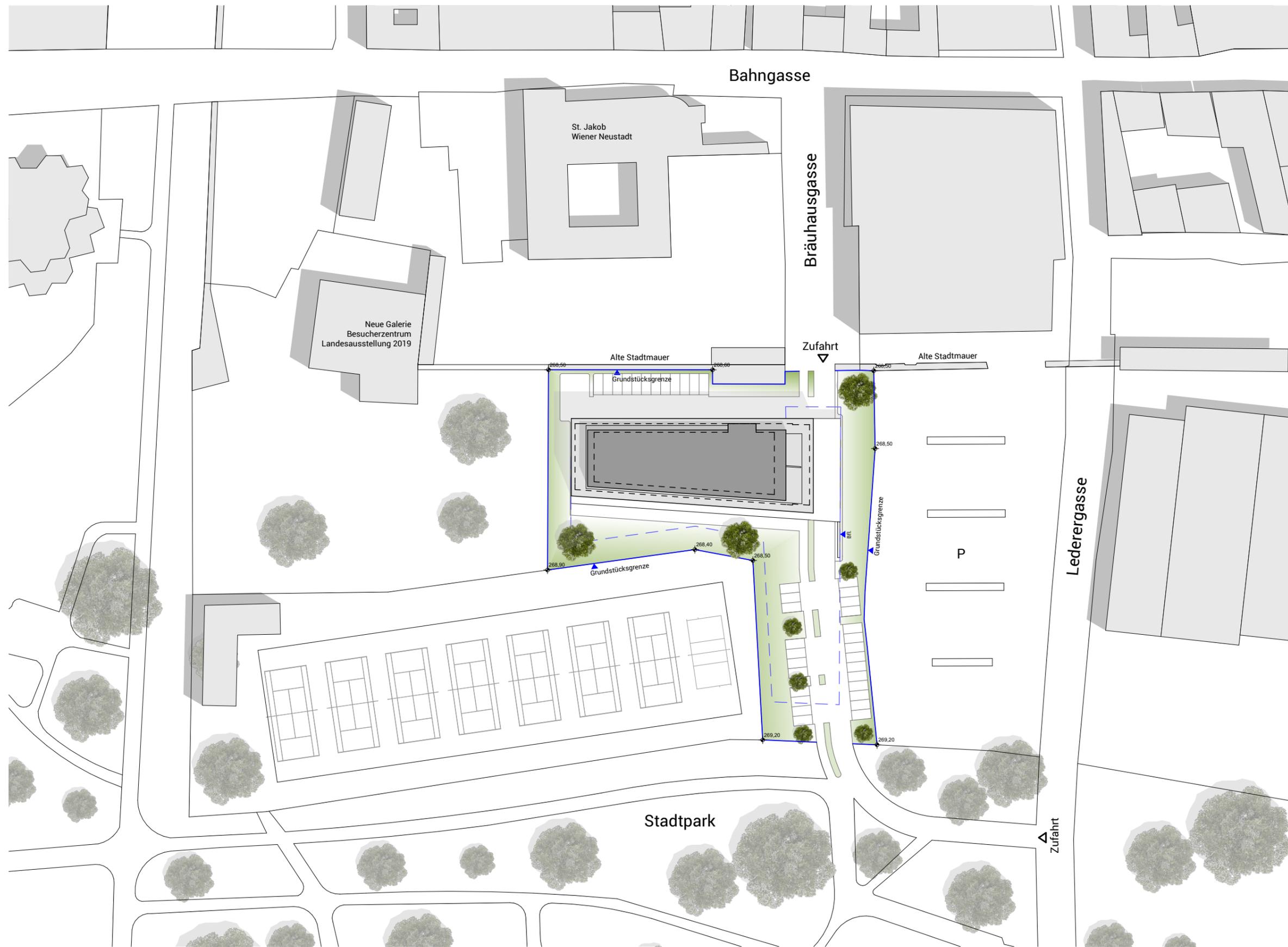
Foyer/ Empfang im EG  
Schaubilder



**Erschließung+ Empfang im Büro (4.+ 5. OG)**  
Schaubilder

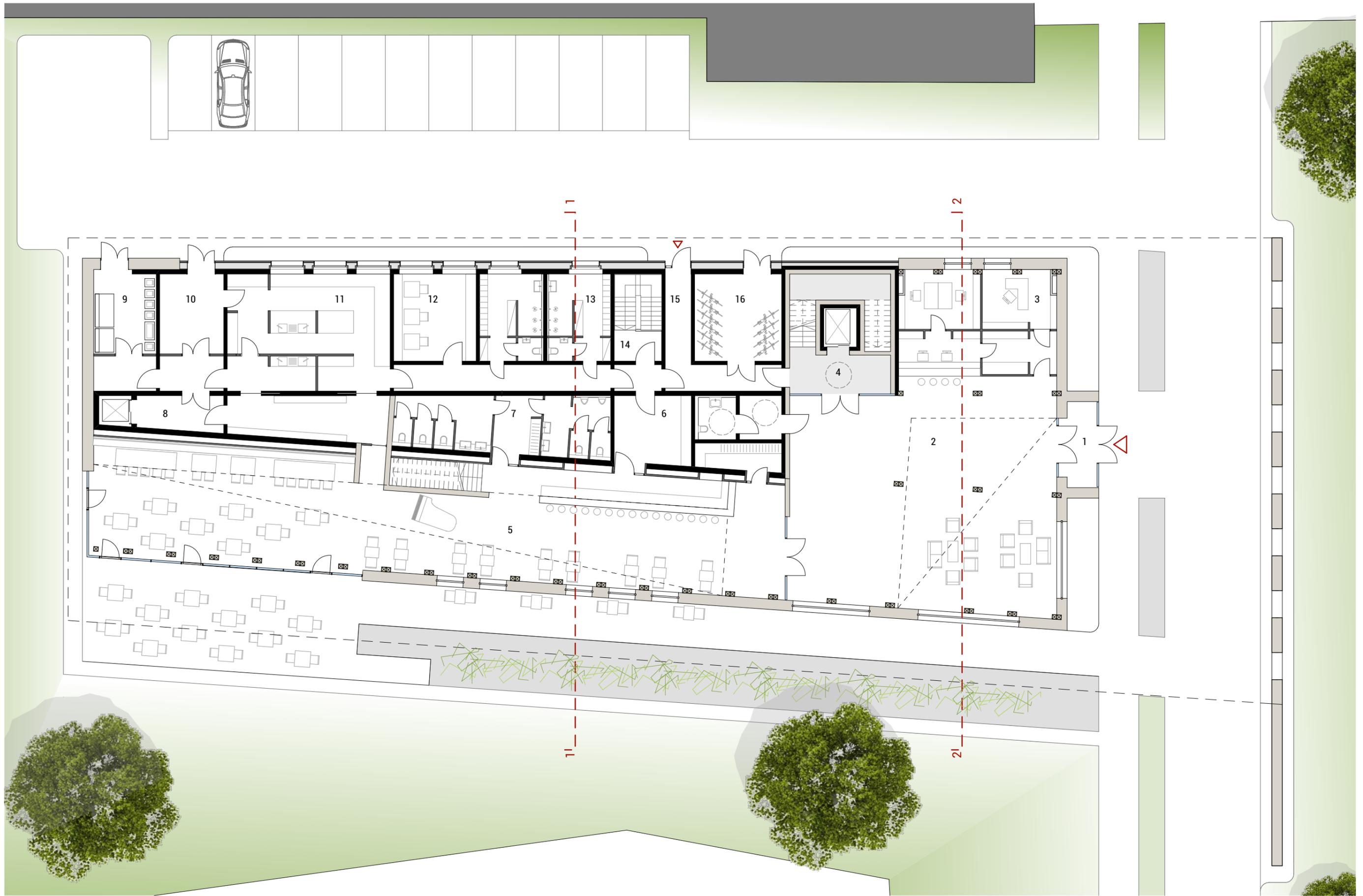
Anhang 2

# Entwurfsplanung M 1:200



Lageplan

1:1000



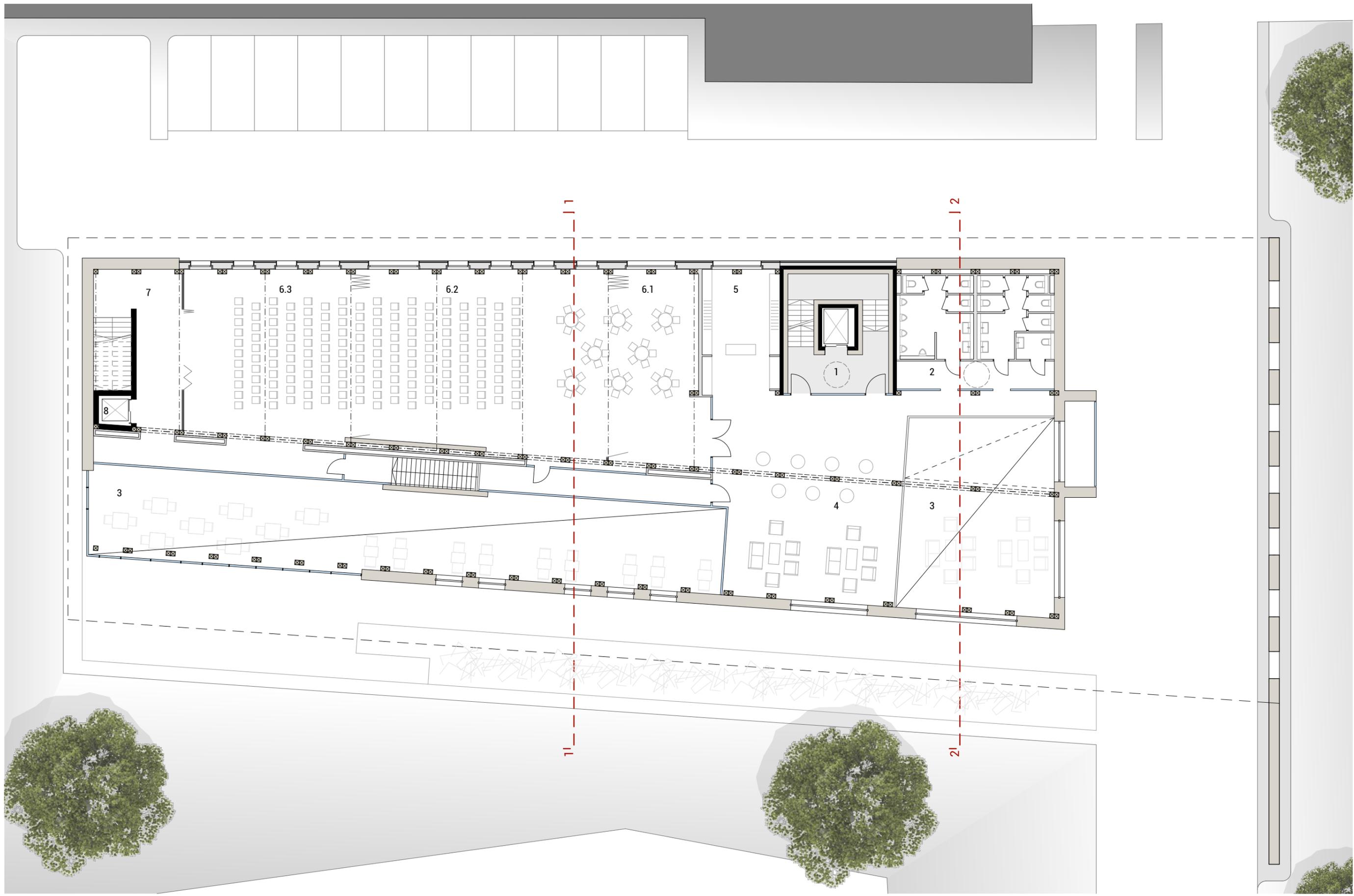
- |                     |                         |                |                         |
|---------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| 1 Eingang/ Windfang | 5 Bar/ Restaurant       | 9 Müllraum     | 13 Umkleiden            |
| 2 Foyer/ Empfang    | 6 Lager                 | 10 Anlieferung | 14 Stiegenabgang Keller |
| 3 Office            | 7 Toiletten             | 11 Küche       | 15 Notausgang           |
| 4 Stiegenhaus       | 8 Lasten,- Speiseaufzug | 12 Sozialräume | 16 Fahrrad/ Kiwa- Raum  |



**Erdgeschoss**



**1:200**

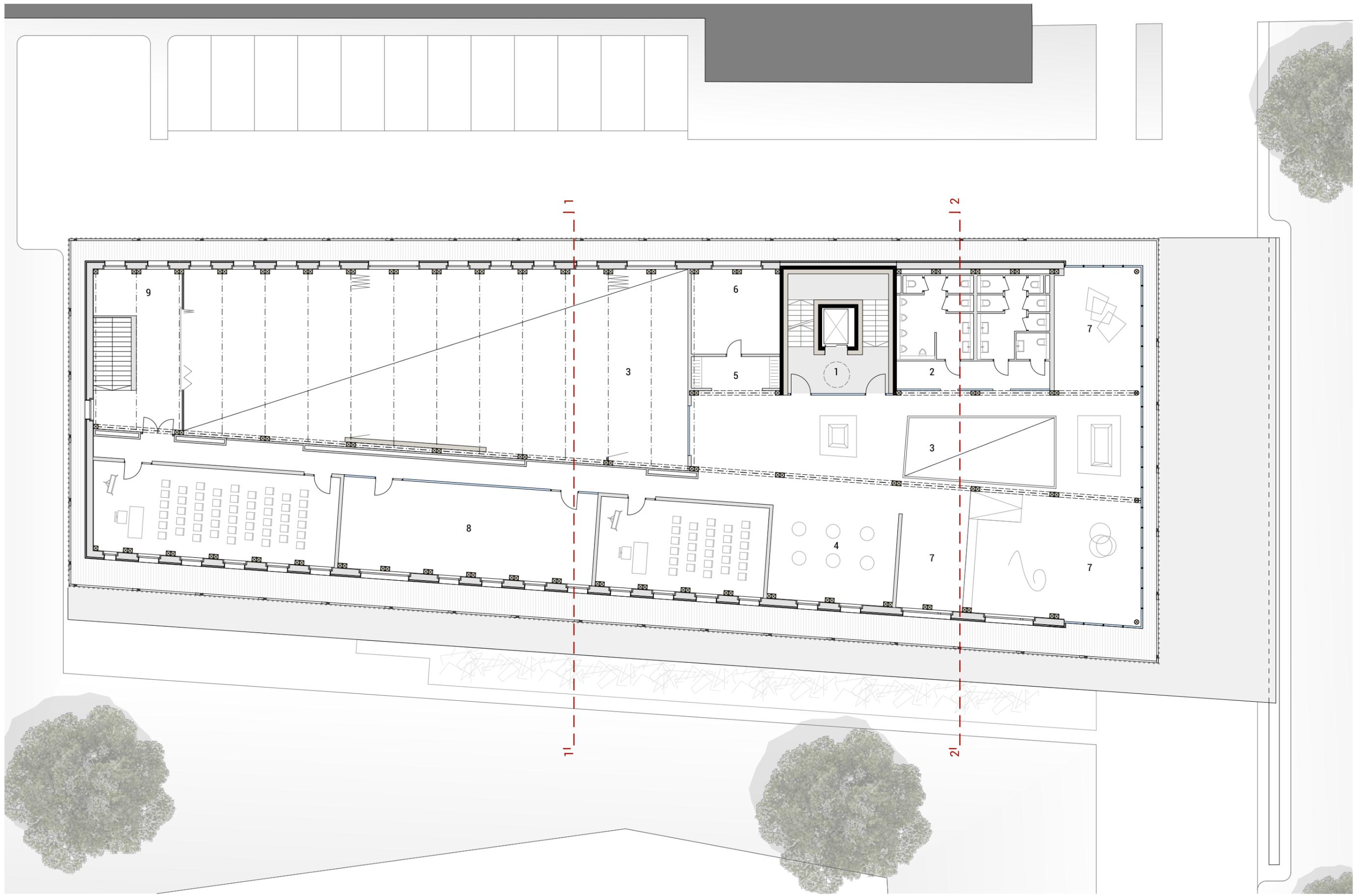


- |   |                |     |           |   |               |
|---|----------------|-----|-----------|---|---------------|
| 1 | Stiegenhaus    | 5   | Garderobe | 7 | Bühne/ Buffet |
| 2 | Toilette       | 6.1 | Saal 1    | 8 | Lastenaufzug  |
| 3 | Luftraum       | 6.2 | Saal 2    |   |               |
| 4 | Empfang/ Foyer | 6.3 | Saal 3    |   |               |



**1. Obergeschoss**

**1:200**



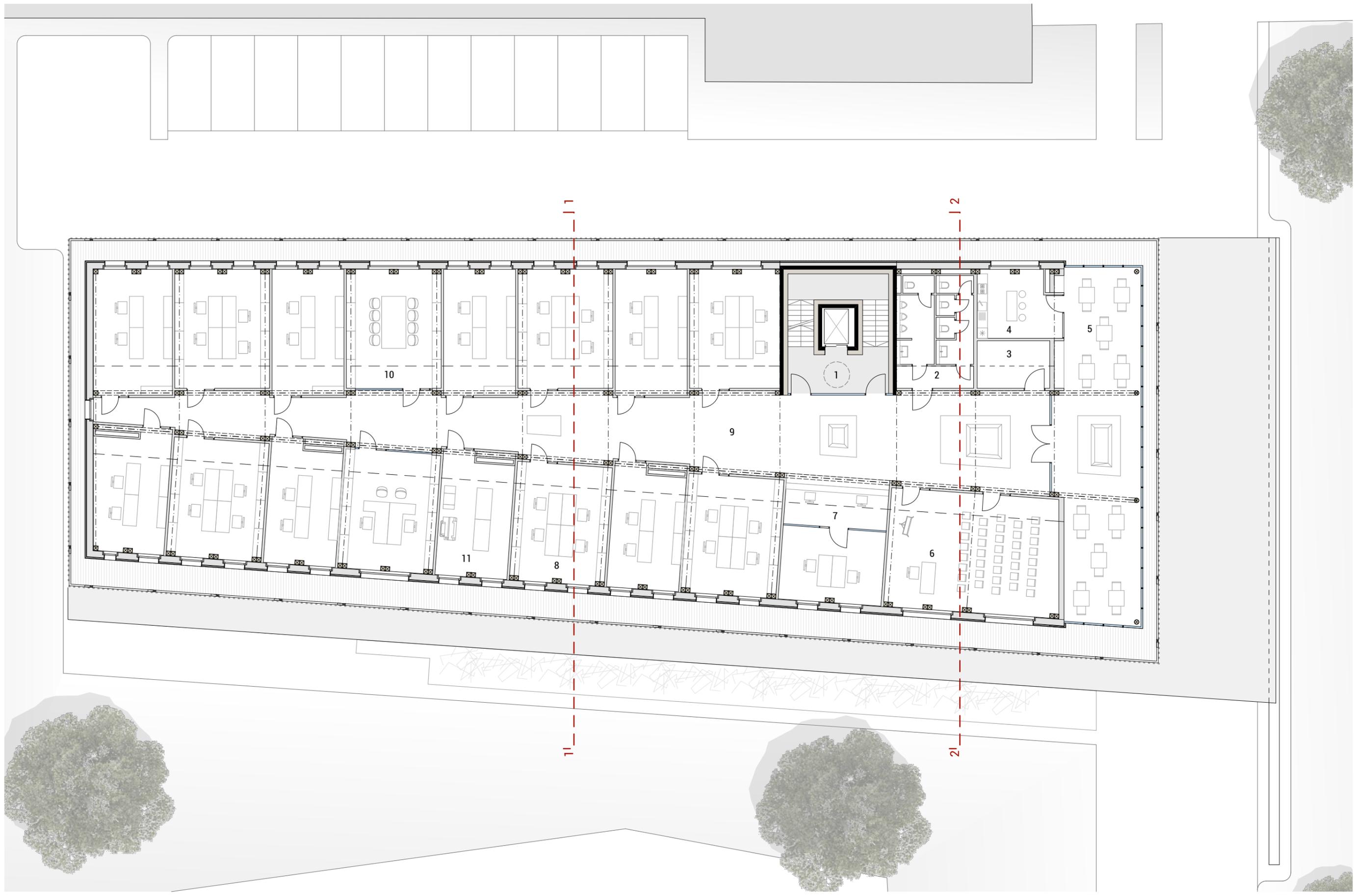
- |   |                   |   |                    |   |                           |
|---|-------------------|---|--------------------|---|---------------------------|
| 1 | Stiegenhaus       | 5 | Garderobe          | 9 | Stiegenabgang/ Bühnenraum |
| 2 | Toilette          | 6 | Archiv             |   |                           |
| 3 | Luftraum          | 7 | Ausstellungsfläche |   |                           |
| 4 | Empfang/ Catering | 8 | Seminarräume       |   |                           |



**2. Obergeschoss**



**1:200**

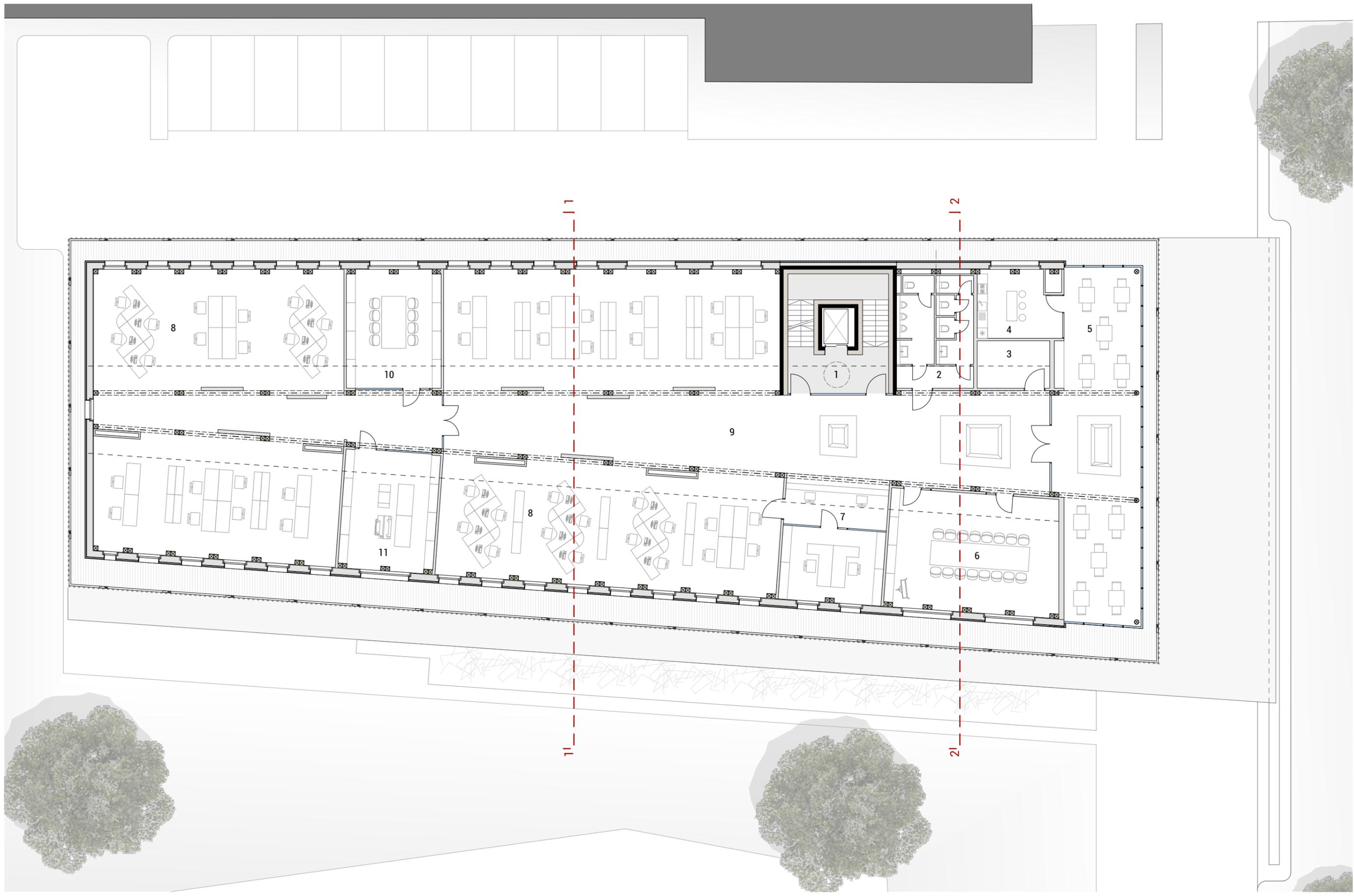


- |   |             |   |                              |    |                               |
|---|-------------|---|------------------------------|----|-------------------------------|
| 1 | Stiegenhaus | 5 | Pausenraum :: Sozialraum     | 9  | Breite Mittelgangerschließung |
| 2 | Toilette    | 6 | Seminarraum :: Besprechungen | 10 | Besprechungszimmer            |
| 3 | Archiv      | 7 | Empfang                      | 11 | Kopierraum                    |
| 4 | Küche       | 8 | Kleinraumbüros               |    |                               |



**3. Obergeschoss**

1:200



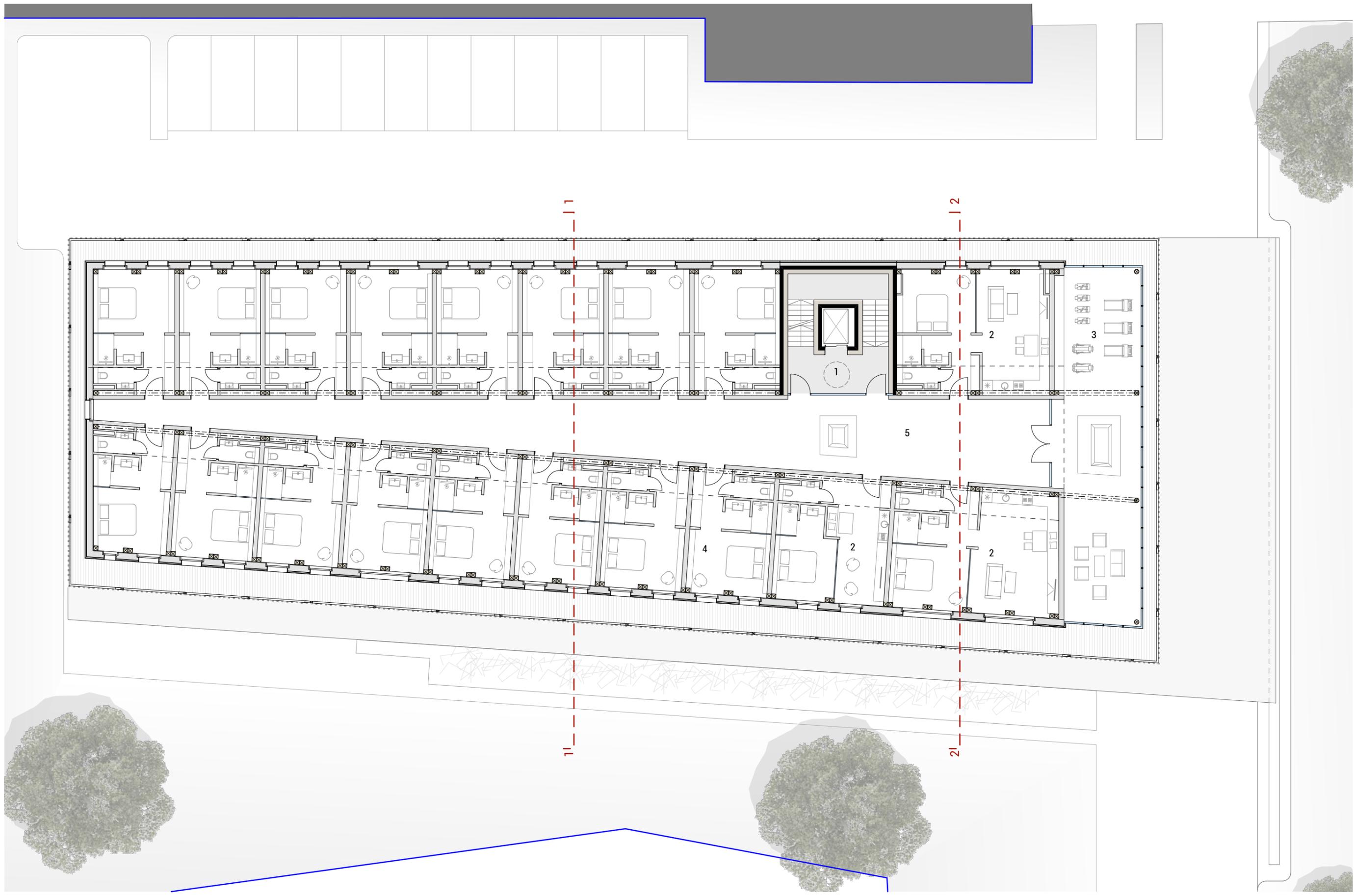
- |   |             |   |                              |    |                               |
|---|-------------|---|------------------------------|----|-------------------------------|
| 1 | Stiegenhaus | 5 | Pausenraum :: Sozialraum     | 9  | Breite Mittelgangerschließung |
| 2 | Toilette    | 6 | Seminarraum :: Besprechungen | 10 | Besprechungsraum              |
| 3 | Archiv      | 7 | Empfang                      | 11 | Kopierraum                    |
| 4 | Küche       | 8 | Großraumbüro                 |    |                               |



**4. Obergeschoss**



**1:200**



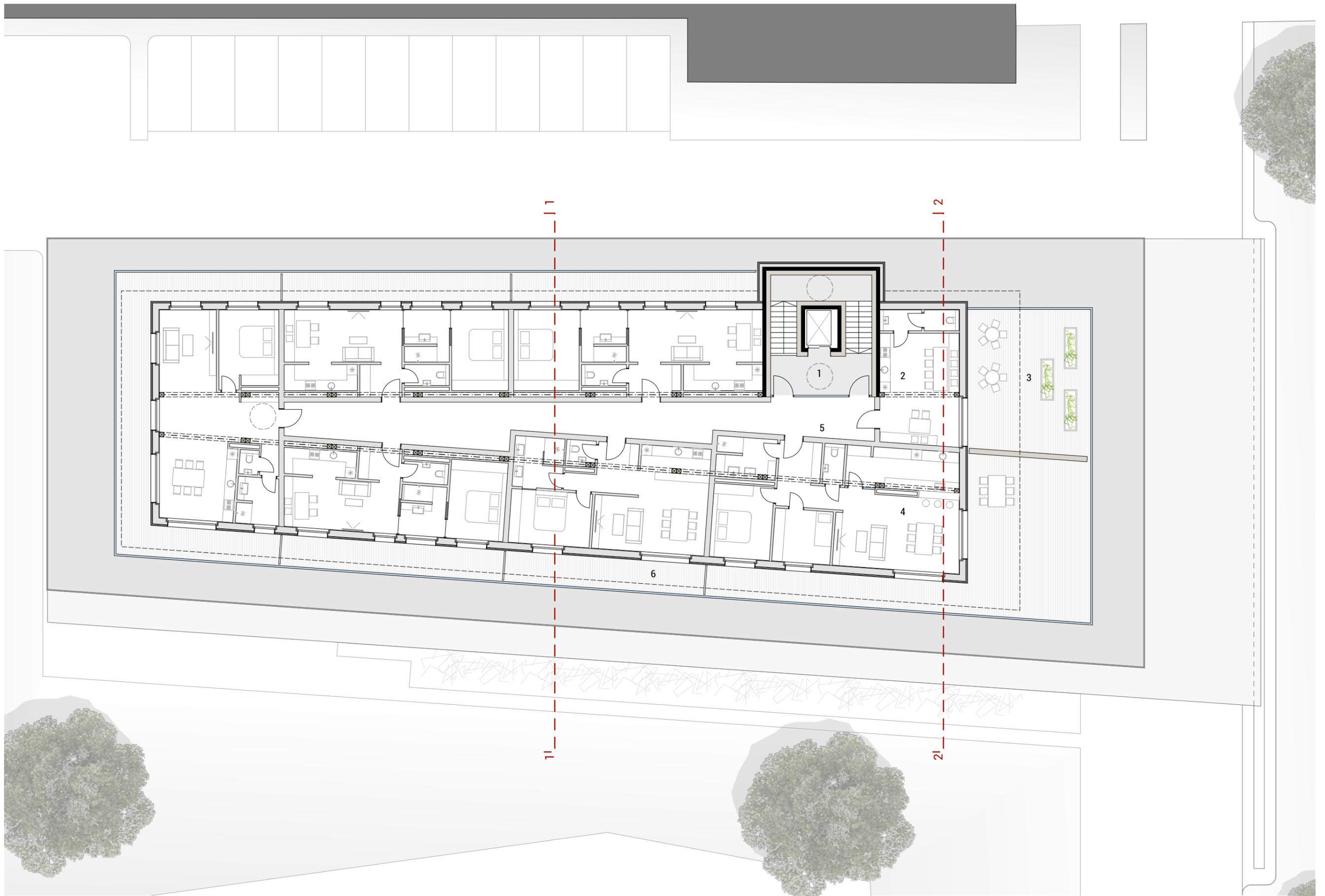
- 1 Stiegenhaus
- 2 Suiten
- 3 Fitnessraum :: Freizeitraum

- 4 Standard Hotelzimmer
- 5 Breite Mittelgangerschließung



**5. Obergeschoss**

**1:200**



- 1 Stiegenhaus
- 2 Gemeinschaftsraum
- 3 Gemeinschaftsterrasse :: urban gardening
- 4 Wohnung 1-6

- 5 Breite Mittelgangerschließung
- 6 Private Terrassen



**Dachgeschoss**



**1:200**



- 1 Bar :: Cafe´ :: Restaurant
- 2 Sozialräume :: Küche :: Anlieferung
- 3 Saal 1-3
- 4 Open Space :: Seminarräume

- 5 Büroflächen
- 6 Hotelzimmer
- 7 Wohnungen



**Schnitt 1-1**

**1:200**



- |   |                           |   |                                  |    |             |
|---|---------------------------|---|----------------------------------|----|-------------|
| 1 | Eingang :: Foyer          | 5 | Open Space :: Ausstellungsfläche | 9  | Hotelzimmer |
| 2 | Empfang :: Büro           | 6 | Luftraum                         | 10 | Wohnungen   |
| 3 | Wartebereich vor Saal 1-3 | 7 | Besprechungsraum                 |    |             |
| 4 | WC- Anlagen               | 8 | Breite Mittelgangerschließung    |    |             |



**Schnitt 2-2**

**1:200**



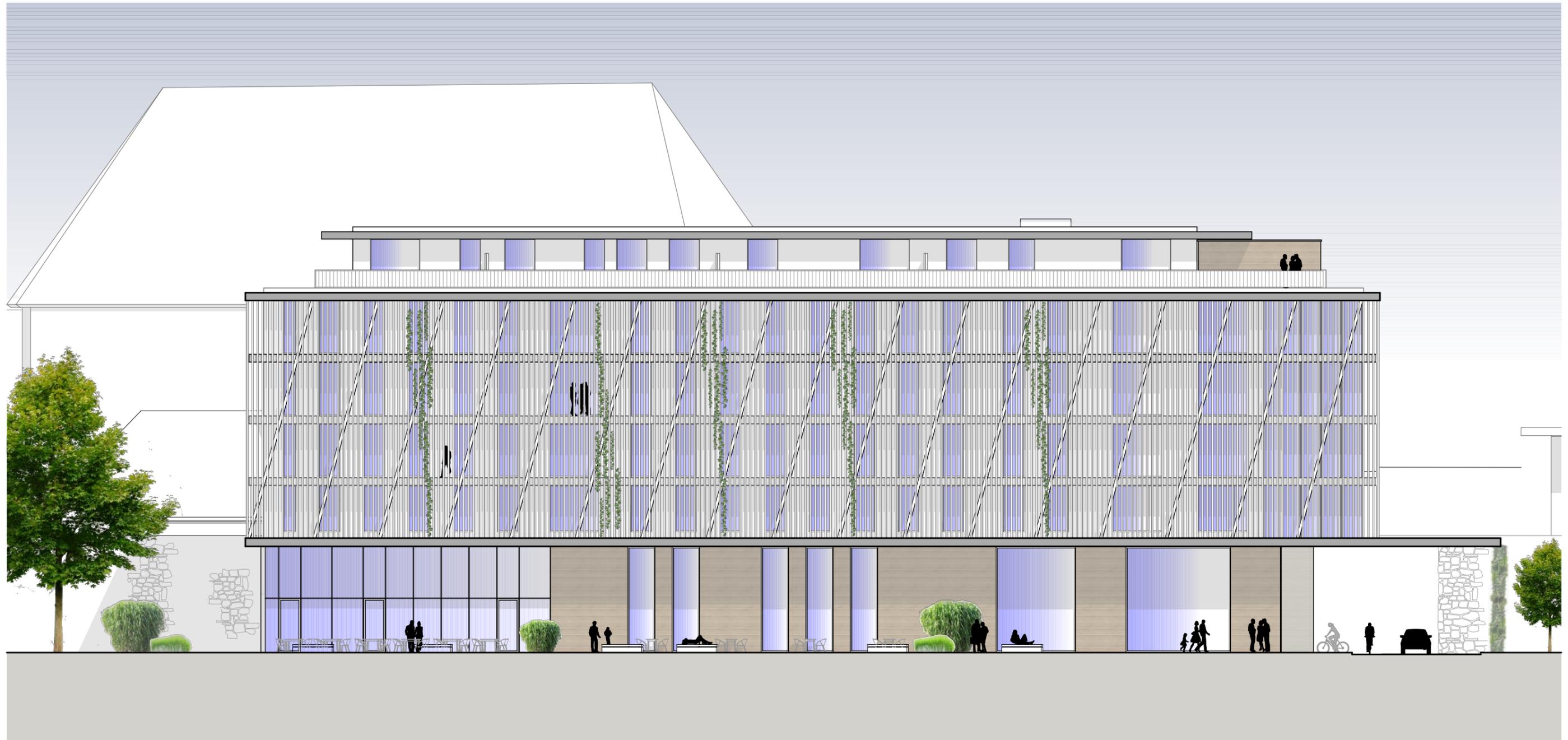
Ansicht- Nord

1:200



Ansicht- Ost

1:200



Ansicht- Süd

1:200



Ansicht- West

1:200

Anhang 3

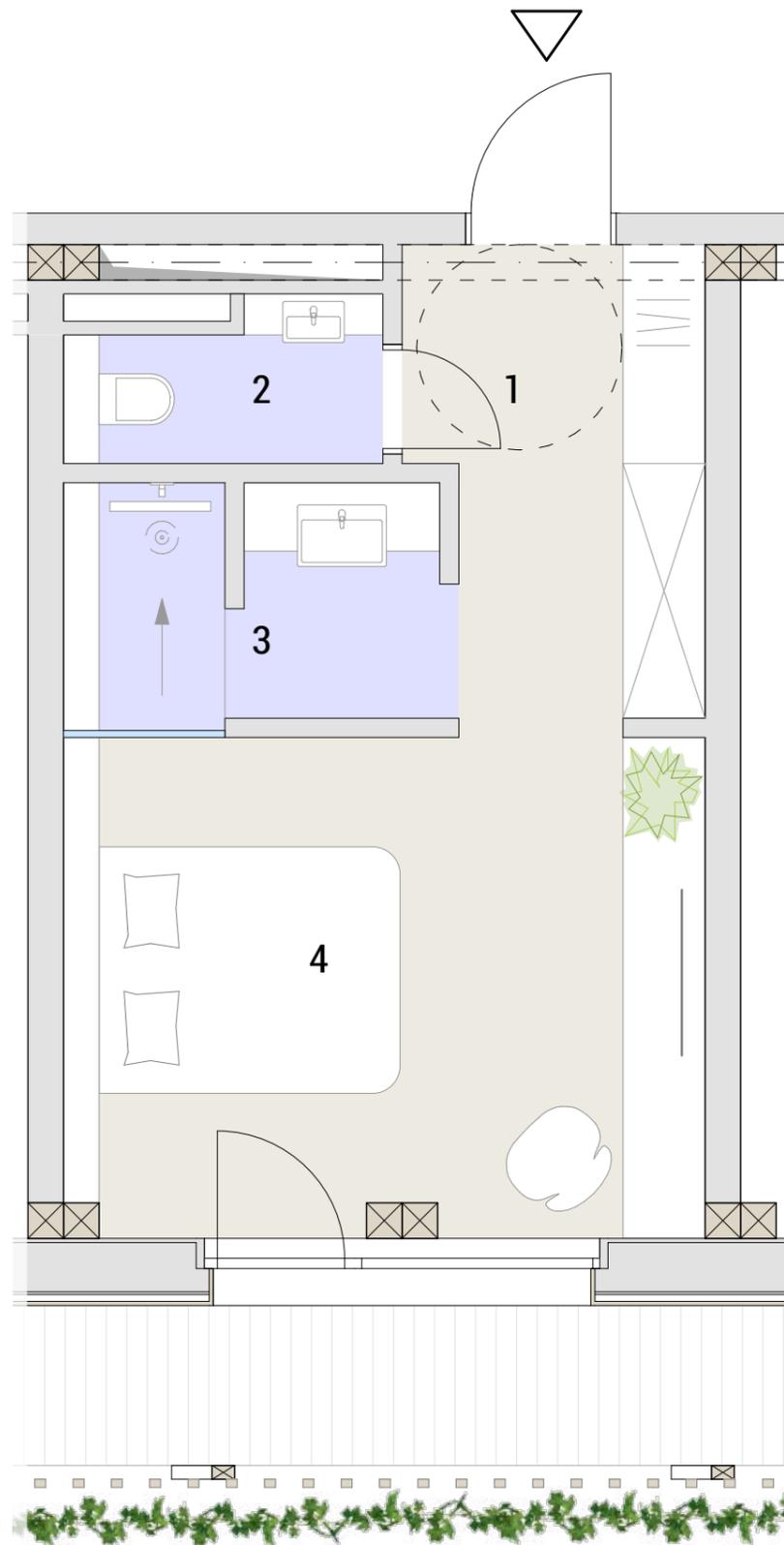
## Grundrisse M 1:50



<b>Apartmentwohnung</b>		
1	Vorraum	6,5 m <sup>2</sup>
2	WC	2,5 m <sup>2</sup>
3	Bad	5 m <sup>2</sup>
4	Zimmer	16 m <sup>2</sup>
5	Wohnküche	35 m <sup>2</sup>
6	Balkon	

**65 m<sup>2</sup>**



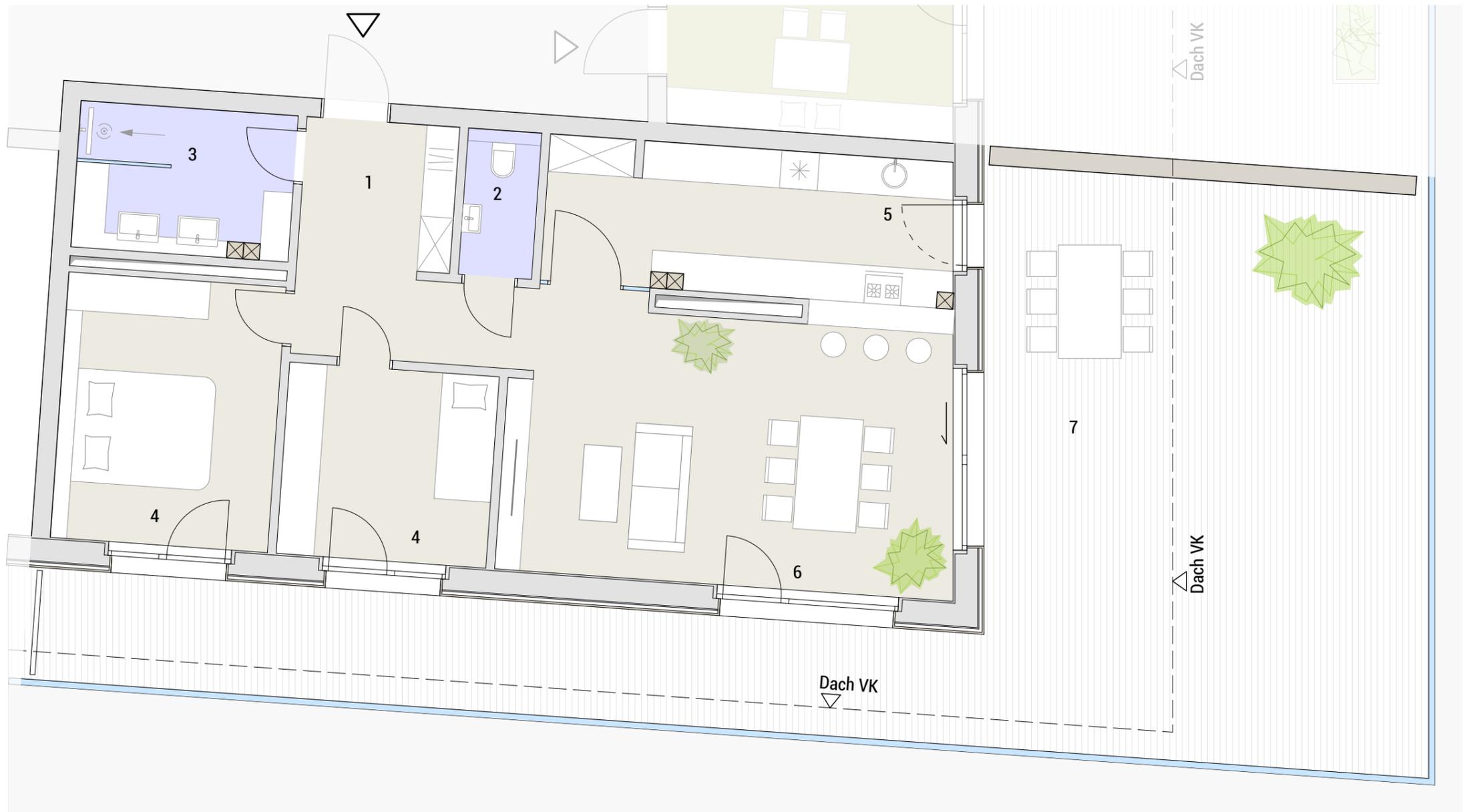


<b>Hotelzimmer</b>  <b>30,5 m<sup>2</sup></b>	1	Vorraum	6,5 m <sup>2</sup>
	2	WC	2,0 m <sup>2</sup>
	3	Bad	5 m <sup>2</sup>
	4	Zimmer	17 m <sup>2</sup>
	5	Balkon	



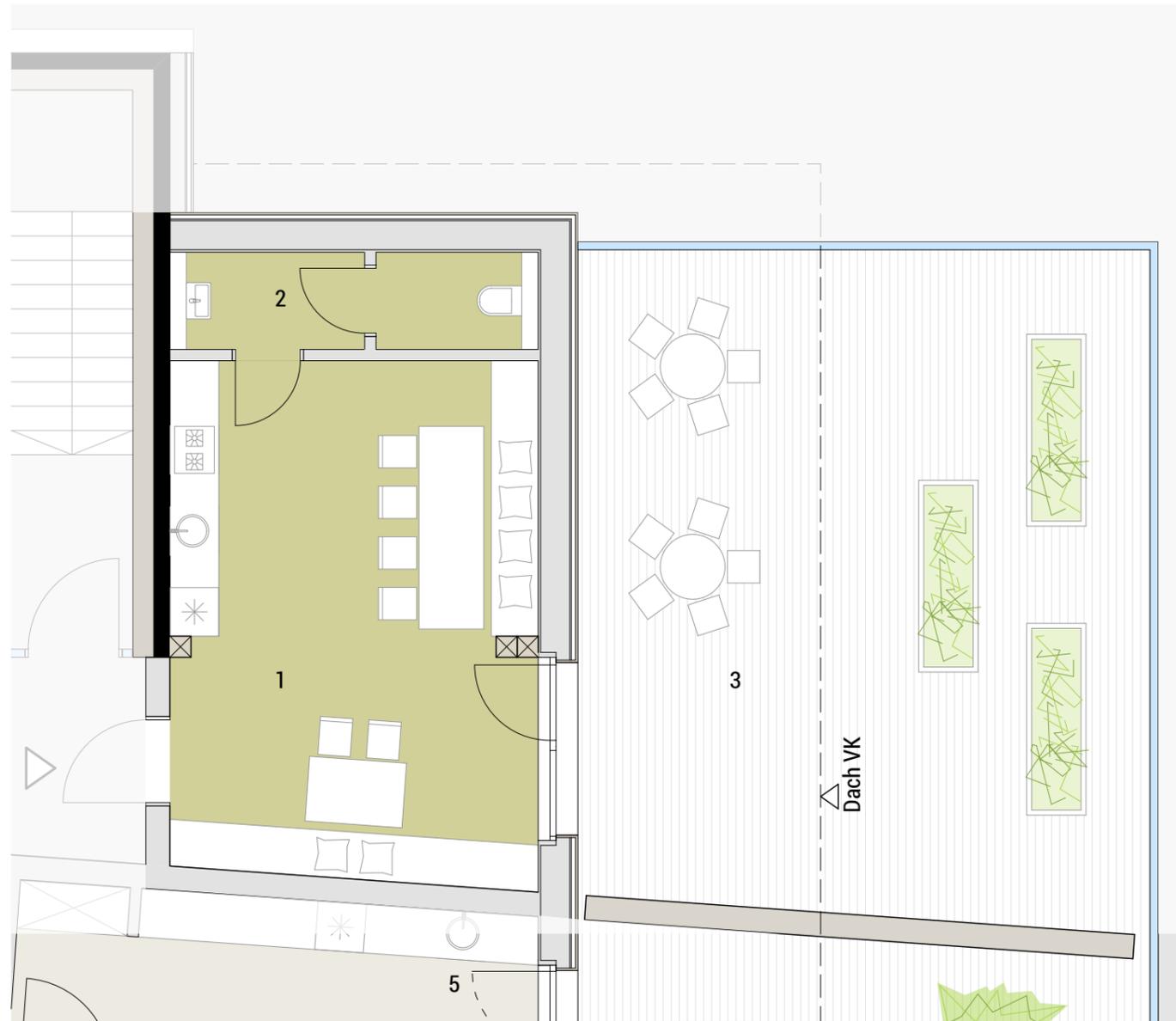
**Hotelzimmer**

**1:50**



<b>Dachgeschoßwohnung</b>		
<b>91 m<sup>2</sup></b>	1	Vorraum 11,0 m <sup>2</sup>
	2	WC 2,5 m <sup>2</sup>
	3	Bad 8,0 m <sup>2</sup>
	4	Zimmer 14,5 m <sup>2</sup>
	4	Zimmer 10,0 m <sup>2</sup>
	5	Wohnküche 15,0 m <sup>2</sup>
	6	Wohnküche 30,0 m <sup>2</sup>
	7	Dachterasse





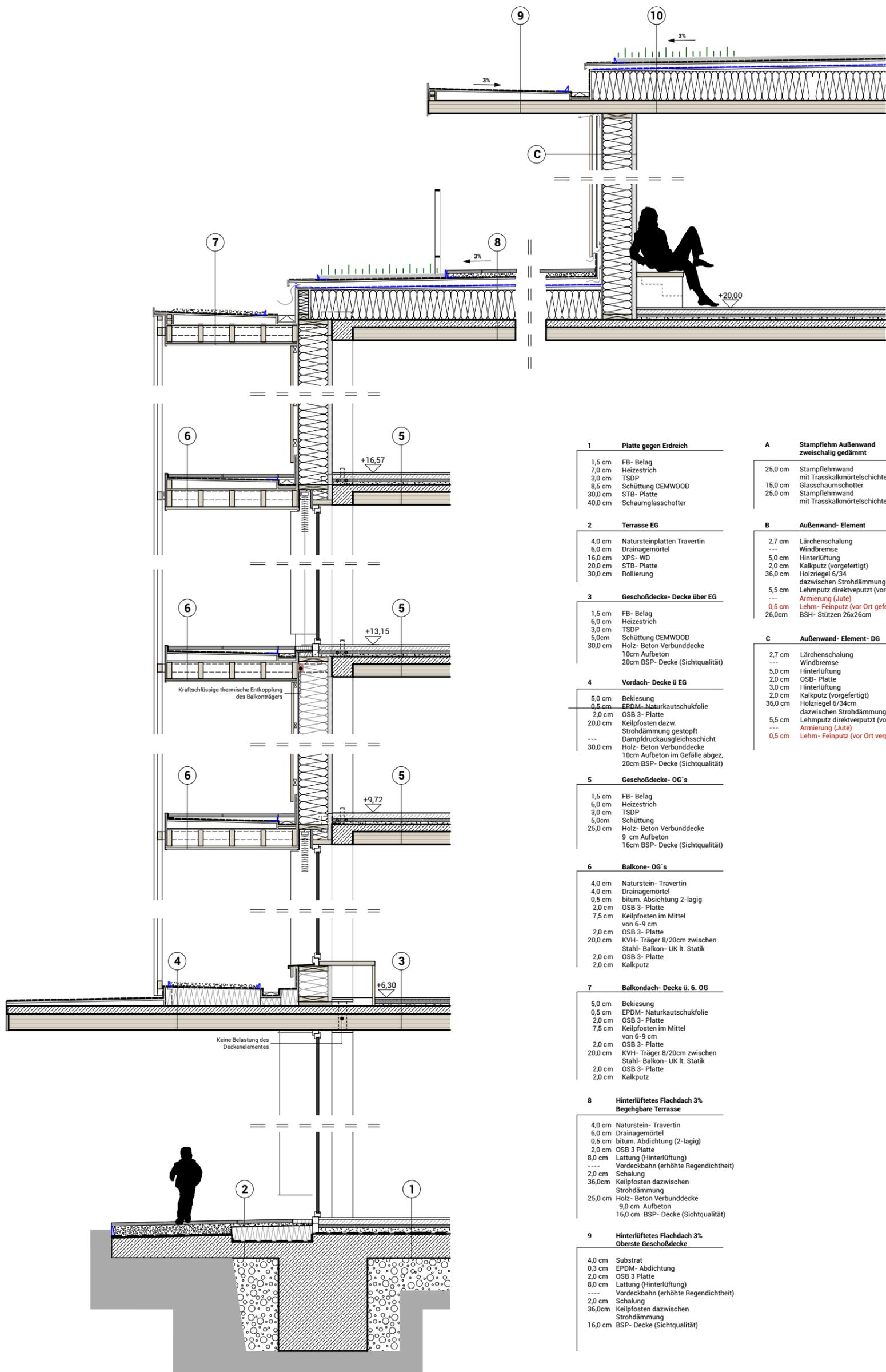
<b>Allgemeinbereich DG</b>	1	Vorraum	29,5 m <sup>2</sup>
	2	WC+ VR	5,5 m <sup>2</sup>
	3	Dachterrasse	
<b>35 m<sup>2</sup></b>			



**Allgemeiner Bereich DG 1:75**

Anhang 4

# Fassadenschnitt und Detailplanung M 1:20



1	Platte gegen Erdrich
1,5 cm	FB- Belag
7,0 cm	Heizestrich
3,0 cm	TSDP
8,5 cm	Schüttung CEMWOOD
30,0 cm	STB- Platte
40,0 cm	Schaumglasschotter

2	Terrasse EG
4,0 cm	Natursteinplatten Travertin
6,0 cm	Drainagemörtel
16,0 cm	XPS- WD
20,0 cm	STB- Platte
30,0 cm	Rollierung

3	Geschoßdecke- Decke über EG
1,5 cm	FB- Belag
6,0 cm	Heizestrich
3,0 cm	TSDP
5,0 cm	Schüttung CEMWOOD
30,0 cm	Holz- Beton Verbunddecke
10 cm	Aufbeton
20 cm	BSP- Decke (Sichtqualität)

4	Vordach- Decke ü EG
5,0 cm	Bekiesung
0,5 cm	EPDM- Naturkautschukfolie
2,0 cm	OSB 3- Platte
20,0 cm	Keilposten dazw. Strohdämmung gestopft
---	Dampfdruckausgleichsschicht
30,0 cm	Holz- Beton Verbunddecke
10 cm	Aufbeton im Gefälle abgez.
20 cm	BSP- Decke (Sichtqualität)

5	Geschoßdecke- OG's
1,5 cm	FB- Belag
6,0 cm	Heizestrich
3,0 cm	TSDP
5,0 cm	Schüttung
25,0 cm	Holz- Beton Verbunddecke
9 cm	Aufbeton
16 cm	BSP- Decke (Sichtqualität)

6	Balkone- OG's
4,0 cm	Naturstein- Travertin
4,0 cm	Drainagemörtel
0,5 cm	bitum. Abdichtung 2-lagig
2,0 cm	OSB 3- Platte
7,5 cm	Keilposten im Mittel von 6-9 cm
2,0 cm	OSB 3- Platte
20,0 cm	KVH- Träger 8/20cm zwischen Stahl- Balkon- UK lt. Statik
2,0 cm	OSB 3- Platte
2,0 cm	Kalkputz

7	Balkondach- Decke ü. 6. OG
5,0 cm	Bekiesung
0,5 cm	EPDM- Naturkautschukfolie
2,0 cm	OSB 3- Platte
7,5 cm	Keilposten im Mittel von 6-9 cm
2,0 cm	OSB 3- Platte
20,0 cm	KVH- Träger 8/20cm zwischen Stahl- Balkon- UK lt. Statik
2,0 cm	OSB 3- Platte
2,0 cm	Kalkputz

8	Hinterlüftetes Flachdach 3% Begehbare Terrasse
4,0 cm	Naturstein- Travertin
6,0 cm	Drainagemörtel
0,5 cm	bitum. Abdichtung (2-lagig)
2,0 cm	OSB 3 Platte
8,0 cm	Lattung (Hinterlüftung)
----	Vordeckbahn (erhöhte Regendichtheit)
2,0 cm	Schalung
36,0 cm	Keilposten dazwischen Strohdämmung
25,0 cm	Holz- Beton Verbunddecke
9,0 cm	Aufbeton
16,0 cm	BSP- Decke (Sichtqualität)

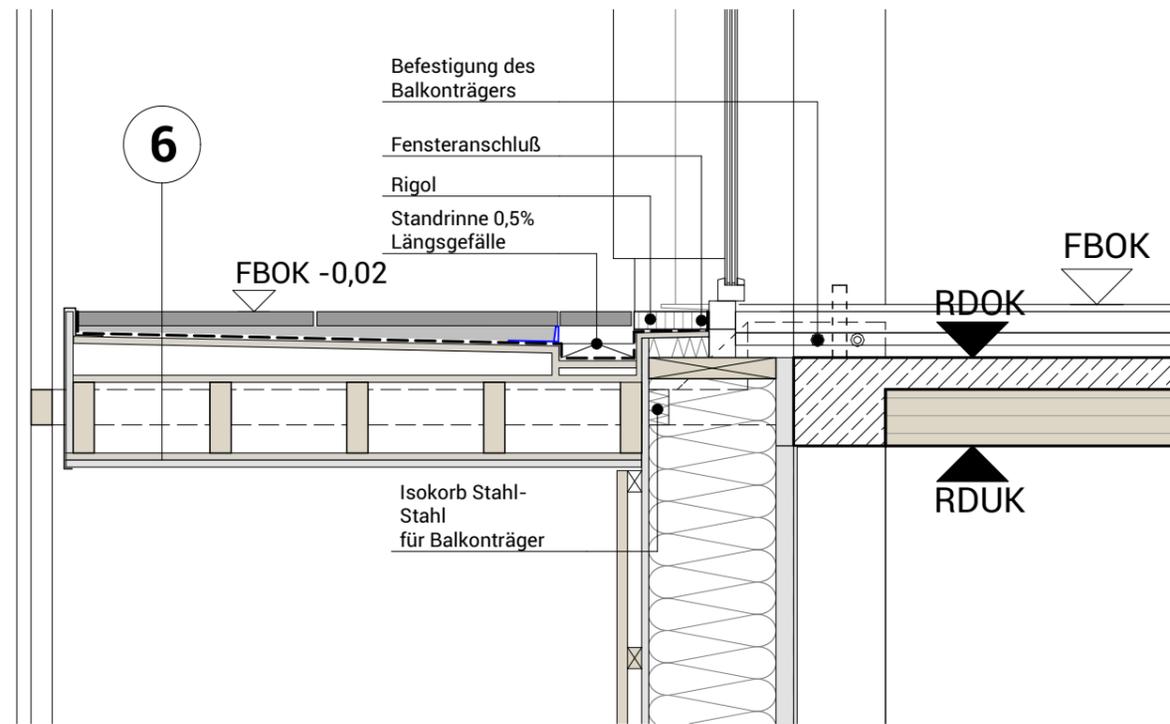
9	Hinterlüftetes Flachdach 3% Oberste Geschoßdecke
4,0 cm	Substrat
0,3 cm	EPDM- Abdichtung
2,0 cm	OSB 3 Platte
8,0 cm	Lattung (Hinterlüftung)
----	Vordeckbahn (erhöhte Regendichtheit)
2,0 cm	Schalung
36,0 cm	Keilposten dazwischen Strohdämmung
16,0 cm	BSP- Decke (Sichtqualität)

A	Stamplehm Außenwand zweischalig gedämmt
25,0 cm	Stamplehmwand mit Trasskalkmörtelschichten
15,0 cm	Glasschaumschotter
25,0 cm	Stamplehmwand mit Trasskalkmörtelschichten

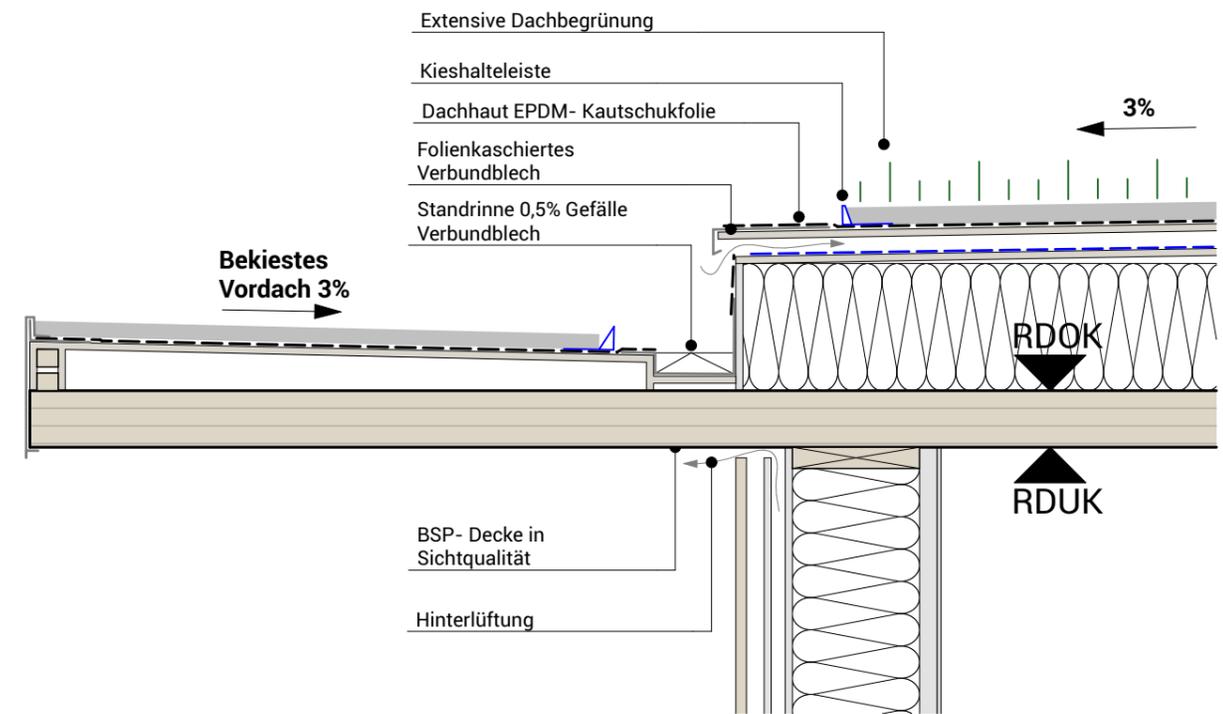
B	Außenwand- Element
2,7 cm	Lärchenschalung
---	Windbremse
5,0 cm	Hinterlüftung
2,0 cm	Kalkputz (vorgefertigt)
36,0 cm	Holzriegel 6/34 dazwischen Strohdämmung d=36cm
5,5 cm	Lehmputz direktverputzt (vorgefertigt)
---	Armierung (Jute)
0,5 cm	Lehm- Feinputz (vor Ort gefertigt)
26,0 cm	BSH- Stützen 26x26cm

C	Außenwand- Element- DG
2,7 cm	Lärchenschalung
---	Windbremse
5,0 cm	Hinterlüftung
2,0 cm	OSB- Platte
3,0 cm	Hinterlüftung
2,0 cm	Kalkputz (vorgefertigt)
36,0 cm	Holzriegel 6/34cm dazwischen Strohdämmung d=36cm
5,5 cm	Lehmputz direktverputzt (vorgefertigt)
---	Armierung (Jute)
0,5 cm	Lehm- Feinputz (vor Ort verputzt)

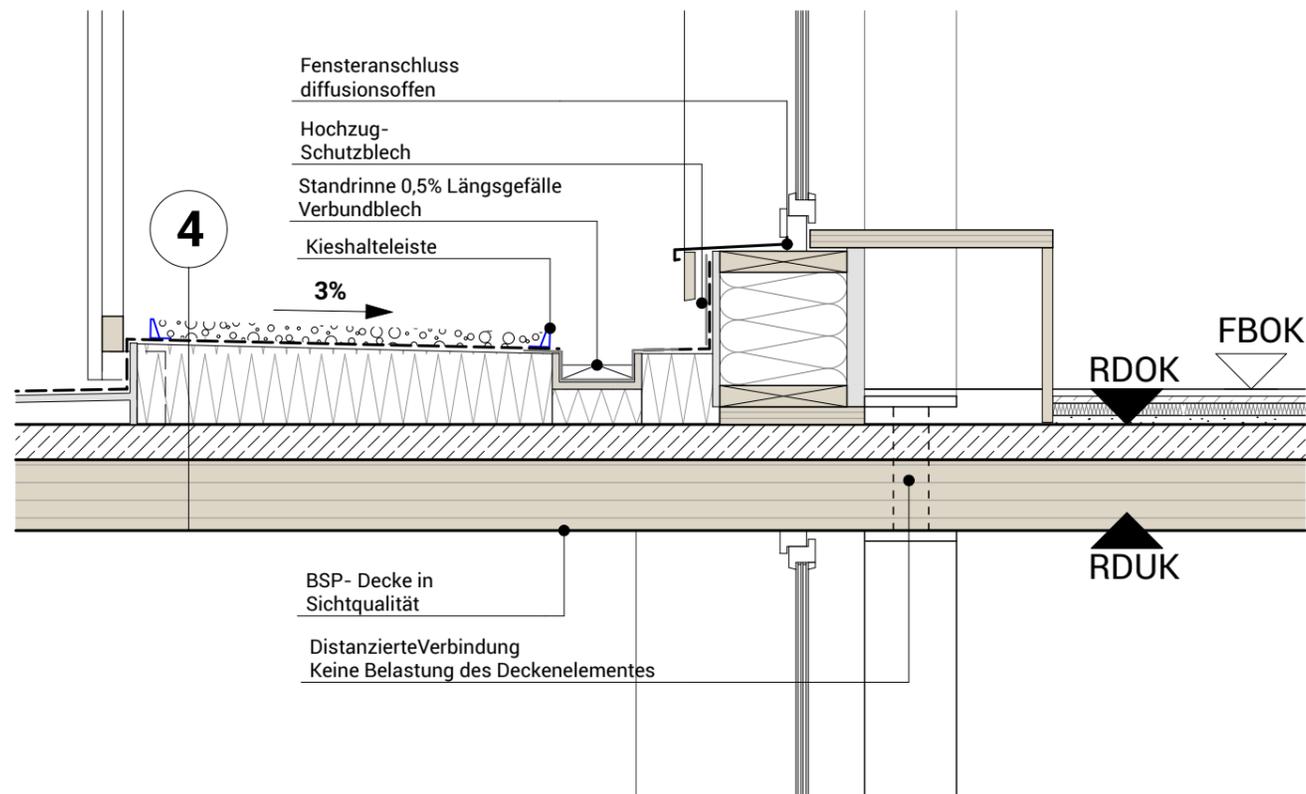
### Detail- Balkon



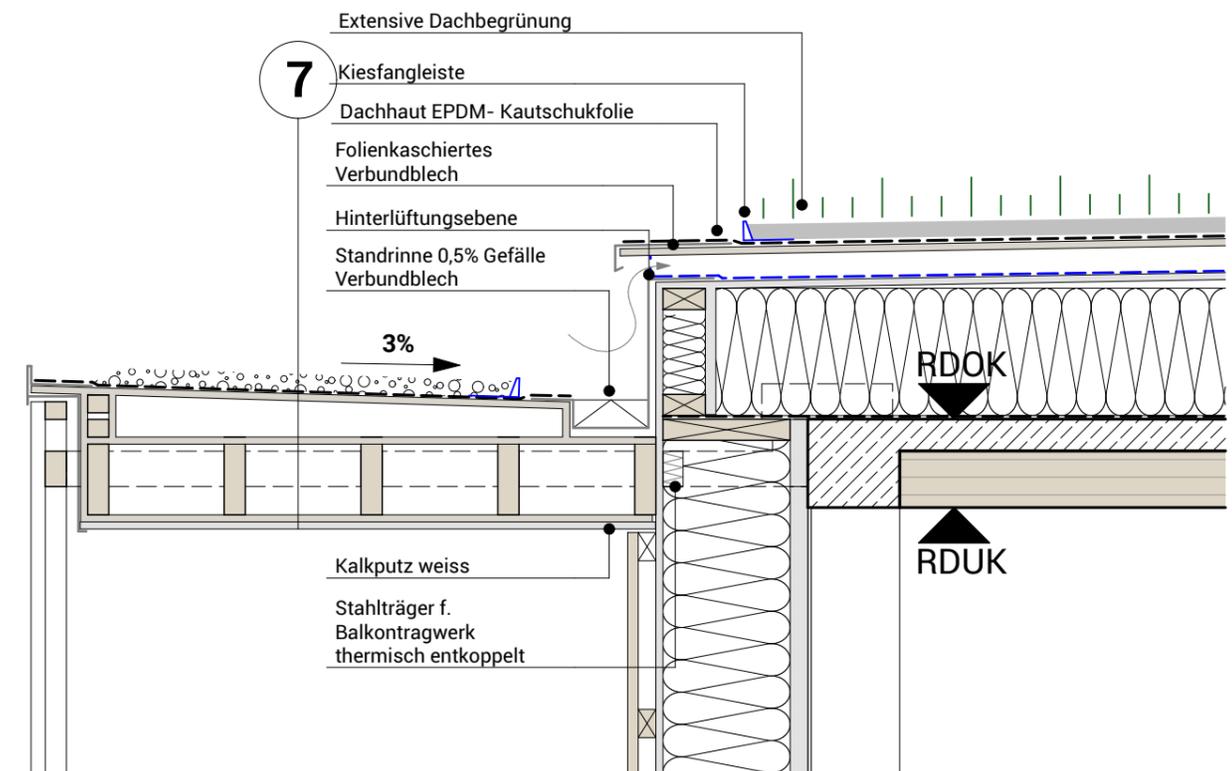
### Detail- Decke/ Vordach ü. Dachgeschoß



### Detail- Decke ü. EG



### Detail- Begrüntes Flachdach+ Vordach



## Danksagung

Zum Abschluss meiner Diplomarbeit, möchte ich mich noch recht herzlich bei allen bedanken, die bei der Erstellung und zum Gelingen dieser vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt hierbei Herrn Em.O.Univ.Prof. Dipl.-Ing.Wolfgang Winter für seine umsichtige Betreuung und dem Team des Institut für Architekturwissenschaften- Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau.

Auch bei Herrn Univ.Lektor Oberrat Dipl.Ing.Dr.techn. Herbert Keck sowie bei Herrn Univ.Prof. Arch. DI. Dr.techn. Heinz Priebernig möchte ich mich für die Teilnahme als Zweit,- und Drittprüfer an meiner Diplomprüfung bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner gesamten Familie bedanken, welche während meines Studiums stets mit ihrer vollsten Unterstützung und viel Geduld hinter mir gestanden ist.



# Merkblatt für Verfasser von Hochschulschriften



## MERKBLATT FÜR VERFASSER/INNEN VON HOCHSCHULSCHRIFTEN

(Diplom-/Masterarbeiten und Dissertationen)

Der / die unterzeichnete Verfasser / Verfasserin der nachstehend angeführten Hochschulschrift:

Bernhard Bauer

Hauptstrasse 117, 2492 Zillingdorf

Matrikel Nr.: 00740232

nimmt im Sinne der §§ 42 und 42a Urheberrechtsgesetz 1936 in der jeweils gültigen Fassung zur Kenntnis:

Die gedruckte Version der Hochschulschrift wird in der Universitätsbibliothek der Technischen Universität (eine Dissertation auch in der Nationalbibliothek) aufgestellt, allgemein zugänglich gemacht und somit veröffentlicht.

1. Die Universitätsbibliothek darf, solange die Hochschulschrift veröffentlicht, aber nicht erschienen oder vergriffen ist, ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin für den eigenen Gebrauch einzelne Vervielfältigungsstücke herstellen. Ebenso dürfen auf Bestellung für den eigenen Gebrauch eines anderen unentgeltlich bzw. durch Fotokopien oder andere reprographische Verfahren auch gegen Entgelt, einzelne Vervielfältigungsstücke hergestellt werden.
2. Ist die Hochschulschrift bereits erschienen (d.h. durch Druck oder ein anderes Vervielfältigungsverfahren bereits in den Verkehr gebracht) und noch nicht vergriffen, darf die Universitätsbibliothek ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin für den eigenen Gebrauch von Teilen davon einzelne Vervielfältigungsstücke herstellen. Ebenso dürfen auf Bestellung für den eigenen Gebrauch eines anderen unentgeltlich bzw. durch Fotokopien oder andere reprographische Verfahren auch gegen Entgelt, einzelne Vervielfältigungsstücke von Teilen der Hochschulschrift hergestellt werden. (Erfolgt die Vervielfältigung für den eigenen Gebrauch durch Abschreiben, kann auch von einem erschienenen und noch nicht vergriffenen Werk ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin dieses zur Gänze vervielfältigt werden.)
3. Die Universitätsleitung hat in der Richtlinie des Vizerektors für Lehre über die elektronische Abgabepflicht von Hochschulschriften (Dissertationen, Diplomarbeiten, Masterarbeiten) an der TU Wien (s. Mitteilungsblatt 2013, 14. Stück, 19.6.2013) beschlossen, zusätzlich zum gedruckten Exemplar ein elektronisches Exemplar (PDF-Dokument, PDF/A bzw. PDF ab Version 1.4) zu verlangen, welches verpflichtend in TISS hochgeladen werden muss. Die Hochschulschriften werden über einen Server der Universitätsbibliothek der TU Wien der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, sofern keine Benützungssperre vorliegt und der Verfasser / die Verfasserin seine / ihre Zustimmung dazu gibt. Das Urheberrecht verbleibt beim Verfasser/ bei der Verfasserin; eine spätere Veröffentlichung in einem Verlag in Druckform bleibt möglich. Die Erfassung der bibliografischen Daten der Hochschulschrift, das Hochladen der elektronischen Version und die Abgabe der Einverständniserklärung erfolgt elektronisch in TISS.
4. Die Hochschulschrift muss selbständig verfasst sein, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel dürfen nicht benutzt werden.

Ich versichere, dass ich diese Hochschulschrift bisher weder im In- oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Datum:

28.05.2018

Dekanat: Ablage im Prüfungsakt

Unterschrift:



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Welterschöpfungstag 2017 (Quelle: Global Footprint Network).....	13
Abbildung 2 : Ressourcen des Planeten Erde (Quelle: Infolder CREE Rhomberg; <a href="http://www.creebyrhomberg.com">www.creebyrhomberg.com</a> ).....	13
Abbildung 3: Ökologischer Footprint (Quelle: footprintnetwork.org).....	15
Abbildung 4: Reserven und Defizite der Biokapazität (Quelle: footprintnetwork.org).....	15
Abbildung 5: Ökologischer Fußabdruck pro Person * Stand 2003.....	16
Abbildung 6: Ressourcenverbrauch (Quelle: Vorlesung Dipl. Ing. Dr. Adolf Merl).....	17
Abbildung 7: Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit (Quelle: <a href="http://www.event-partner.de">www.event-partner.de</a> ).....	18
Abbildung 8: Nachhaltigkeit (Quelle: <a href="http://www.dgnb.at">www.dgnb.at</a> )7.....	18
Abbildung 9: Ausschnitt aus einer Umwelt- Produktdeklaration- Baustoff KLH Quelle: <a href="http://www.klh.at">www.klh.at</a> .....	26
Abbildung 10: Primärenergieinhalt im Vergleich; Quelle: <a href="http://www.proholz.at/zuschnitt/30/primaerenergieinhalt-von-baustoffen/">http://www.proholz.at/zuschnitt/30/primaerenergieinhalt-von-baustoffen/</a> .....	27
Abbildung 11: Öko- Kenndaten im Vergleich; Quelle der Werte: <a href="http://www.baubook.at/oekoindex">www.baubook.at/oekoindex</a> .	27
Abbildung 12: Kohlenstoffspeicher Holz; Quelle: <a href="http://www.dataholz.at">www.dataholz.at</a> .....	29
Abbildung 13: Lebenszyklus Holz (Quelle: <a href="http://www.dataholz.at">www.dataholz.at</a> ).....	30
Abbildung 14: Die zwei Konstruktionsarten der Strohballenbauweise; Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland (FASBA).....	32
Abbildung 15: Halmausrichtung- Strohballen; Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014.....	33
Abbildung 16: Treibhauspotential im Vergleich; Quelle: Strohgedämmte Gebäude; <a href="http://www.baustoffe.fnr.de">www.baustoffe.fnr.de</a> .....	35
Abbildung 17: Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Quellen im Vergleich; Quelle: Strohgedämmte Gebäude; <a href="http://www.baustoffe.fnr.de">www.baustoffe.fnr.de</a> .....	35
Abbildung 18: Holzvorkommen im Ländervergleich; Quelle: <a href="http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img7.jpg">http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img7.jpg</a> .....	36
Abbildung 19: Waldanteil in Österreich; Quelle: <a href="http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img6.jpg">http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img6.jpg</a> .....	36
Abbildung 20: Hauptbaumarten; Quelle: <a href="http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img8.jpg">http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img8.jpg</a> .....	36
Abbildung 21: Anbauflächen Weizen u. Gerste Quelle: <a href="https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1136_stroh_cert.pdf">https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1136_stroh_cert.pdf</a> .....	38
Abbildung 22: Ackerlandflächen für Weizen 2008; Quelle: Statistik Austria 2008.....	38
Abbildung 23: Baustrohballen.....	39
Abbildung 24: Lehmvorkommen Österreich- Großes Vorkommen im Bezirk Melk; Quelle: <a href="https://www.geologie.ac.at/forschungsentwicklung/kartierunglandesaufnahme/rohstoffe/lockergesteine/">https://www.geologie.ac.at/forschungsentwicklung/kartierunglandesaufnahme/rohstoffe/lockergesteine/</a> .....	40
Abbildung 25: Chemische/ Elementare Bestandteile von Holz.....	41
Abbildung 26: Abhängigkeit der Festigkeit von der Lasteinwirkung zur Faserrichtung; Quelle: <a href="http://slideplayer.org/slide/10503233/">http://slideplayer.org/slide/10503233/</a> .....	42
Abbildung 27: Festigkeit und E- Modul in Abhängigkeit der Rohdichte; Quelle: <a href="http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img40.jpg">http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img40.jpg</a> .....	42

Abbildung 28: Festigkeit in Abhängigkeit der Holzfeuchte; Quelle: <a href="http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img42.jpg">http://player.slideplayer.org/33/10503233/data/images/img42.jpg</a> .....	42
Abbildung 29: Illwerk Zentrum Montafon, Quelle: <a href="http://www.hermann-kaufmann.at">www.hermann-kaufmann.at</a> .....	50
Abbildung 32: Die Doppelstützen sind mit den HBV-Deckenelementen gegen das Ausziehen über Rohr-Dorn-Steckverbindungen gesichert. Dieses Prinzip der Rohbaukonstruktion sichert die vertikale Maßhaltigkeit des Gebäudes und garantiert die planmäßige und zügige Höhenentwicklung; Quelle: <a href="http://www.structuremag.org">www.structuremag.org</a> .....	52
Abbildung 30: Isometrie und Bausystem IZM; Quelle: <a href="http://www.structuremag.org">www.structuremag.org</a> .....	52
Abbildung 31: LCT System bestehend aus BSH- Stützen und Holz- Beton- Verbunddecke Quelle: <a href="http://www.structuremag.org">www.structuremag.org</a> .....	52
Abbildung 33: Rohbau: Deckenelemente werden in der Mittelachse von Stahlträgern gehalten, welche auf einer Reihe Stahlbetonsäulen gestützt sind. Quelle: <a href="https://www.detail.de/artikel/holz-hybrid-bausystem-illwerke-zentrum-montafon-11644/">https://www.detail.de/artikel/holz-hybrid-bausystem-illwerke-zentrum-montafon-11644/</a> ..	53
Abbildung 34: Innenraum Büroräumlichkeiten ((c) Foto Bruno Klomfar);Quelle: <a href="http://docplayer.org/44172017-illwerke-zentrum-montafon-das-quergelegte-holzhochhaus.html">http://docplayer.org/44172017-illwerke-zentrum-montafon-das-quergelegte-holzhochhaus.html</a> .....	53
Abbildung 35: 1. Obergeschoss; Quelle <a href="http://docplayer.org/44172017-illwerke-zentrum-montafon-das-quergelegte-holzhochhaus.html">http://docplayer.org/44172017-illwerke-zentrum-montafon-das-quergelegte-holzhochhaus.html</a> .....	54
Abbildung 36_ Tragwerk+ Gebäudetechnik in der Mittelzone Die Konstruktion ist gelenkig konzipiert, wobei die Ebenen als schubfeste Scheiben und die Fassadenstützen als Pendelstützen verwendet werden. ....	55
Abbildung 37: Rendering HoHo Wien und HoHo Next Quelle: <a href="http://cetus_Baudevelopment_GmbH_und_Rüdiger_Lainer_u_Partners_Architekten_ZT_GmbH">cetus_Baudevelopment_GmbH_und_Rüdiger_Lainer_u_Partners_Architekten_ZT_GmbH</a> .....	56
Abbildung 38: Aussteifender Gebäudekern aus Beton und angedockte Holz-Verbundkonstruktion; Quelle: Rüdiger Lainer und Partner .....	57
Abbildung 39: Tragkonstruktion bestehend aus BSH Stützen und Holz- Beton Verbunddecken; Quelle: <a href="https://www.lainer.at/fileadmin/files/projekte/HoHo/2017_02_hoho.pdf">https://www.lainer.at/fileadmin/files/projekte/HoHo/2017_02_hoho.pdf</a> .....	58
Abbildung 40: Regelgeschoß einer Büroetage für 2 Mieter; Quelle: <a href="https://www.lainer.at/fileadmin/files/projekte/HoHo/2017_02_hoho.pdf">https://www.lainer.at/fileadmin/files/projekte/HoHo/2017_02_hoho.pdf</a> .....	58
Abbildung 41: Alnatura Campus, Darmstadt; Quelle: <a href="http://www.haascookzemrich.com/alnatura-campus.html">http://www.haascookzemrich.com/alnatura-campus.html</a> .....	61
Abbildung 42: STB- Säulen+ Geschoßdecken, BSH- Leimbinder als Dachkonstruktion und die selbsttragenden Stampflehmwände Quelle: <a href="http://www.lehmtonerde.at/de/projekte/projekt.php?PID=97">http://www.lehmtonerde.at/de/projekte/projekt.php?PID=97</a> .....	62
Abbildung 43: Innenraum nach Montage der zweischaligen Stampflehmwänden; Quelle: <a href="https://www.alnatura.de/de-de/ueber-uns/alnatura-campus">https://www.alnatura.de/de-de/ueber-uns/alnatura-campus</a> .....	62
Abbildung 44: Herstellung der zweischaligen, gedämmten Stampflehmwand; Quelle: <a href="http://www.lehmtonerde.at/de/projekte/projekt.php?PID=97">http://www.lehmtonerde.at/de/projekte/projekt.php?PID=97</a> .....	63
Abbildung 45: Einschlagen der Nuten für Fensteranschluss und Regenabfallrohre sowie Montage der 1. Reihe Stampflehmwände auf dem STB- Sockel .....	65
Abbildung 46: Schnitt- Tageslichtoptimierte Gebäudehülle und Grundriss des Campus .....	66
Abbildung 47: Einer von zwei Erdkanälen, die das Bürogebäude später mit Frischluft versorgen sollen.....	67
Abbildung 48: S- House, Böheimkirchen: Das weit auskragende Dach bildet den konstruktiven Holzschutz für die darunter eingestellte Holz- Stroh- Lehm Box. Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	68
Abbildung 49: BSP- Bodenplatte auf Punktfundamente gelagert; Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	70

Abbildung 50: Montage der Strohballen- Verbindung untereinander mittels Rundhölzer; Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	70
Abbildung 51: Befestigung der Schnüre mittels Holzdübel; Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	70
Abbildung 52: Befestigung mittels Schnur; Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	70
Abbildung 53: Befestigung der Lattung (Hinterlüftungsebene) auf die lehmverputzte Fassade; Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	71
Abbildung 54: Mechanische Befestigung der Fassade; Quelle: <a href="http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/">http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/</a> .....	71
Abbildung 55: Haus des Lernens (c) MAGK architektur aichholzer .....	72
Abbildung 56: Einbringung des Glasschaumschotters anstatt XPS Dämmung; Quelle: <a href="https://www.gesa-noe.at/ueber-gesa/haus-des-lernens/">https://www.gesa-noe.at/ueber-gesa/haus-des-lernens/</a> .....	74
Abbildung 57: Primär- Skellettkonstruktion überspannt die Querachse+ Einbringung der Strohballen Quelle: <a href="http://www.magk.at/hdl?lightbox=dataltem-j6f528703">http://www.magk.at/hdl?lightbox=dataltem-j6f528703</a> .....	74
Abbildung 58: Lehmverputz auf Strohwand mit montierter Wandheizung. Quelle: <a href="https://www.gesa-noe.at/ueber-gesa/haus-des-lernens/">https://www.gesa-noe.at/ueber-gesa/haus-des-lernens/</a> .....	75
Abbildung 59: Vorbereitung für den Innenputz Quelle: <a href="http://www.magk.at/hdl?lightbox=dataltem-j6f52872">http://www.magk.at/hdl?lightbox=dataltem-j6f52872</a> .....	75
Abbildung 60: NÖ- Landesausstellung 2019 in Wiener Neustadt .....	79
Abbildung 61: Projekte rund um die NÖ- Landesausstellung 2019 in Wiener Neustadt .....	79
Abbildung 62: Lage Wiener Neustadts in Niederösterreich; Quelle: <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/68/Karte_A_No_e_WN_2017.svg/1200px-Karte_A_No_e_WN_2017.svg.png">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/68/Karte_A_No_e_WN_2017.svg/1200px-Karte_A_No_e_WN_2017.svg.png</a> .....	80
Abbildung 63: Klimadaten am Standort Wiener Neustadt; Quelle: <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Wiener_Neustadt#Klima">https://de.wikipedia.org/wiki/Wiener_Neustadt#Klima</a> .....	80
Abbildung 64: Bauplatz am Rande des Stadtzentrums (rot markiert) von Wiener Neustadt; Quelle: © Bernhard Bauer .....	81
Abbildung 65: Standort mit Angabe von Entfernungen; Quelle: © Bernhard Bauer .....	82
Abbildung 66: Bebauungsbestimmungen mit 20m GBH und festgelegten Baufluchtlinien; Quelle: © Bernhard Bauer .....	82
Abbildung 67: Gebäudevolumen lt. Bebauungsbestimmungen; Quelle: © Bernhard Bauer .....	83
Abbildung 68: Zufahrt zum Grundstück und Eingangssituation ins Gebäude welche zum Parkplatz des Nachbargrundstückes abgetrennt werden soll; Quelle: © Bernhard Bauer .....	83
Abbildung 69: Breite Mittelgangerschließung, Transparenter Allgemeinbereich an der Kopfseite des Gebäudes um sich der Umgebung zu öffnen; Quelle: © Bernhard Bauer .....	84
Abbildung 70: Gestaffeltes Dachgeschoß im erlaubten Ausmass; Quelle: © Bernhard Bauer... ..	84
Abbildung 71: Raumprogramm vom Erdgeschoss bis zum 2.OG; Quelle: © Bernhard Bauer ....	85
Abbildung 72: Raumprogramm gesamt; Quelle: © Bernhard Bauer .....	85
Abbildung 73: Der Erschließungskern als aussteifendes Element wird aus Holz- Stampflehmelementen vorgefertigt und montiert; Quelle: © Bernhard Bauer.....	88
Abbildung 74: Keller und Teile des EG´s werden in Ortbeton hergestellt, der Rest wird in HBV- Skellettbauweise vorgefertigt und montiert; Quelle: © Bernhard Bauer .....	88
Abbildung 75: Montage der vorgefertigten, auskragenden Holz- Beton- Verbunddecke über dem Erdgeschoß; Quelle: © Bernhard Bauer .....	89
Abbildung 76: Geschoßweise Montage der Tragstruktur bestehend aus BSH- Stützen und	

Holz- Beton Verbunddecken; Quelle: © Bernhard Bauer .....	89
Abbildung 77: Gesamtes Tragsystem des Gebäudes; Quelle: © Bernhard Bauer .....	90
Abbildung 78: Isometrie des Tragwerks; Quelle: © Bernhard Bauer .....	91
Abbildung 79: Auflagerausbildung- Lastabtragung über STB- Randträger Quelle: © Bernhard Bauer .....	92
Abbildung 80: Auflagerausbildung- Lastabtragung über Stahl- Hohlprofilträger. Quelle: © Bernhard Bauer.....	93
Abbildung 81: Auflagerausbildung- Lastabtragung über, zur Geschoßdecke distanzierte, Stahlverbindungen. Quelle: © Bernhard Bauer .....	94
Abbildung 82: Vorfertigung der primären Tragstruktur; Quelle: © Bernhard Bauer .....	96
Abbildung 83: Vorfertigung der 2- geschoßigen Stampflehm- Elemente; Quelle: © Bernhard Bauer .....	97
Abbildung 84: Vorfertigung der Holz- Stampflehm- Wände des Stiegenhauses; Quelle: © Bernhard Bauer.....	98
Abbildung 85: Befestigung der Außenwandelemente an den BSH- Stützenpaaren; Quelle: © Bernhard Bauer.....	99
Abbildung 86: Vorfertigung der Außenwandelemente; Quelle © Bernhard Bauer .....	100
Abbildung 87: Elementierung der Außenwandelemente unter Berücksichtigung des Standard-Strohballenformates; Quelle: © Bernhard Bauer .....	101
Abbildung 88: Vorfertigung der Balkon/ Vordachelemente; Quelle: © Bernhard Bauer .....	102
Abbildung 89: Montageablauf 1; Quelle: © Bernhard Bauer .....	103
Abbildung 90: Montageablauf 2; Quelle: © Bernhard Bauer .....	104
Abbildung 91: Montageablauf 3; Quelle: © Bernhard Bauer .....	105
Abbildung 92: Fertige Gebäudehülle; Quelle: © Bernhard Bauer .....	106
Abbildung 93: Baustoffklassen nach DIN 4102.....	115
Abbildung 94: Anforderungen an den Feuerwiderstand lt. OIB- RL 2; Quelle: OIB Richtlinie 2- Ausgabe März 2015 .....	115
Abbildung 95: Brandentwicklungsdiagramm mit Eintrag des Einflusses von Baustoffen und Bauteilen; Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; S.74, Stefan Winter) .....	116
Abbildung 96: Querschnitt Vollholzbalken nach Brandbeanspruchung. Im Gegensatz zur eindimensionalen Abbrandrate $\beta_0$ , welche die Abbrandtiefe in der Mitte eines Holzquerschnitts abbildet, berücksichtigt die nominelle Abbrandrate $\beta_n$ Eckausrundungen beim Abbrennen des Querschnitts und Risse im Holz; Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, S. 75; Stefan Winter	118
Abbildung 97: Abbrandverhalten unterschiedlicher Holzbaustoffe nach DIN EN 1995-1-2; Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, S. 75; Stefan Winter .....	118
Abbildung 98: Bestimmung der Grenztemperatur der thermische Zersetzung; Quelle: Brandschutz für ein 5- geschoßiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013 .....	121
Abbildung 99: Lehmputzproben im Cone Kalorimeter; Quelle: Brandschutz für ein 5- geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013.....	122
Abbildung 100: Visuelle Prüfung des Stroh nach dem Brandversuch; Quelle: Brandschutz für ein 5- geschoßiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013.....	123
Abbildung 101: Ausschnitt aus dem Allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis der MPA TU Braunschweig.....	124
Abbildung 102: Wandaufbau im Stiegenhaus- Brandlastfreies Stiegenhaus durch Stampflehm und Gipsbeplankung; Quelle: © Bernhard Bauer .....	128

Abbildung 103: Tragwerk- Erfüllung der Brandschutzanforderungen bei sichtbaren Holzoberflächen durch Überdimensionierung der BSH Stützen und geschoßweise Brandabschnittsbildung mit der Holz- Beton Verbunddecke; Quelle: © Bernhard Bauer.....	129
Abbildung 104: Brandschutzbekleidung- Direkt verputzte Strohbällen mit Lehm,- und Kalkputz Quelle: © Bernhard Bauer .....	130
Abbildung 105: , Horizontal auskragendes Vordach dient als geschoßweises Brandschutzschott der hinterlüfteten Holzfassade.....	131
Abbildung 106: PH- Skala (Quelle: <a href="http://www.safehair.eu">www.safehair.eu</a> ).....	135
Abbildung 107: Isoplethensystem für Sporenauskeimung. Die Isolinien geben in Abhängigkeit von Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit die Keimungszeit in Tagen an. Die Punkte zeigen Bedingungen, bei denen nach 95 Tagen noch keine Keimung stattgefunden hatte. (Quelle: Fachverband Strohbällenbau Deutschland e.V. Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau-Strohbällen) .....	137
Abbildung 108: Sorptionsvermögen von Lehmputzen im Vergleich zu anderen Putzarten; (Quelle: Auswirkung von Lehmbaustoffen auf die Raumluftheuchte, Wulf Eckermann und Christof Ziegert) .....	139
Abbildung 109: Luftfeuchtesorption von Lehmputzen und Nicht- Lehmputzen;.....	140
Abbildung 110: Zulässige Schichteigenschaften; Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Fachverband Strohbällenbau Deutschland e.V. ....	142
Abbildung 111: Temperaturmittelwerte bei verschiedenen Bauweisen, Wärmebilanz bei Kühlung durch natürlichen Luftwechsel; Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 89, Daniel Rüdisser, Heinz Ferk .....	148
Abbildung 112: Speicherwirksame Masse im Vergleich; Quelle: © Bernhard Bauer.....	154
Abbildung 113_ Verschattung durch Vordächer; Quelle: © Bernhard Bauer .....	155
Abbildung 114: Frischluftzufuhr und Lüftung; Quelle: © Bernhard Bauer .....	157
Abbildung 115: Frischluftzufuhr+ Lüftung durch Oberlichtfenster sowie zusätzlicher Verschattung durch die begrünte Fassade; Quelle: © Bernhard Bauer .....	158



# Quellenverzeichnis

- 1 Quelle: Cree Rhomberg.
- 2 Quelle: Cree Rhomberg.
- 3 Quelle: Cree Rhomberg.
- 4 Quelle: [www.footprint.at](http://www.footprint.at)
- 5 Quelle: Informationsbroschüre „Nachhaltiges Bauen“ im Auftrag der Kärntner Landesregierung.
- 6 Quelle: [www.global2000.at](http://www.global2000.at)
- 7 (Quelle: Brundtland Bericht I 1987)
- 8 Quelle: [www.dgnb.at](http://www.dgnb.at)
- 9 Quelle: Modul BIOS, Vorlesung Adolf Merl
- 10 Quelle: [nachhaltig-sein.info](http://nachhaltig-sein.info)
- 11 Quelle: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)
- 12 Quelle: [www.ibo.at](http://www.ibo.at)
- 13 Quelle: [www.dgnb-systems.de](http://www.dgnb-systems.de)
- 14 Quelle: [www.ibo.at](http://www.ibo.at)
- 15 Quelle: [www.rma.at](http://www.rma.at); Nachhaltig Bauen
- 16 Quelle: VO2 Materialtechnologie; SS 2013, Günter Pichler
- 17 Quelle: [www.dataholz.at](http://www.dataholz.at)
- 18 Quelle: Strohgedämmte Gebäude; [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)
- 19 Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Quelle: FASBA Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- 20 Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Quelle: FASBA Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- 21 Quelle: Strohgedämmte Gebäude; [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)
- 22 Quelle: <http://www.proholz.at/wald-holz/wald-in-zahlen/>
- 23 Quelle: Strohgedämmte Gebäude; [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)
- 24 Quelle: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz\\_pdf/endbericht\\_1136\\_stroh\\_cert.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1136_stroh_cert.pdf)
- 25 Quelle: <http://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau/baustrohballen/>
- 26 Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>
- 27 Quelle: <http://www.lehmhaus.net/lehmvorkommen.html>
- 28 Quelle: <https://www.agrarplus.at/stroh.html>
- 29 Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014 <http://www.biwena.de/wp-content/uploads/2017/11/sbr-2014-11-22.pdf>
- 30 Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>
- 31 Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lehm>
- 32 Quelle: <http://www.dieter-roehm.de/lehm.htm>
- 33 Quelle: <http://www.lehmbau-sued.de/lehmbaustoffe.html#leichtlehm>
- 34 Quelle: <http://www.dieter-roehm.de/lehm.htm>
- 35 Quelle: [www.nextroom.at](http://www.nextroom.at)
- 36 Quelle: [www.proholz.at](http://www.proholz.at)
- 37 Quelle: [www.nextroom.at](http://www.nextroom.at)
- 38 Quelle: [www.proholz.at](http://www.proholz.at)
- 39 Quelle: [www.diepresse.com](http://www.diepresse.com)
- 40 Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)
- 41 Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)
- 42 Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)
- 43 Quelle: [www.hoho-wien.at](http://www.hoho-wien.at)
- 44 Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)
- 45 Quelle: [www.alnatura.com](http://www.alnatura.com)
- 46 Quelle: <http://www.http://www.haascookzemmrich.com/alnatura-campus.html>
- 47 Quelle: [http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw\\_Bauen\\_mit\\_gedaemmtem\\_Stampflehm\\_2811659.html](http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Bauen_mit_gedaemmtem_Stampflehm_2811659.html)
- 48 Quelle: [http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw\\_Bauen\\_mit\\_gedaemmtem\\_Stampflehm\\_2811659.html](http://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Bauen_mit_gedaemmtem_Stampflehm_2811659.html)
- 49 Quelle: <http://www.haascookzemmrich.com/alnatura-campus.html>
- 50 Quelle: <http://www.geothermie.de/news-anzeigen/2017/02/23/alnatura-campus-europas-grosstes-burogebaude-aus-lehm-mit-nachhaltigem-konzept.html>

- 51 Quelle: <http://baubiologie.at/strohballenbau/shouse-in-bheimkirchen-n-3/>
- 52 Quelle: <https://www.nextroom.at/building.php?id=29084>
- 53 Quelle: <http://baubiologie.at/strohballenbau/s-house-in-bheimkirchen-n-3/>
- 54 Quelle: <https://www.ecoplus.at/media/6534/kurzinformation-leuchtturmprojekt-haus-des-lernens.pdf>
- 55 Quelle: <https://www.ecoplus.at/media/6534/kurzinformation-leuchtturmprojekt-haus-des-lernens.pdf>
- 56 Quelle: <https://de.climate-data.org/location/8444/>
- 57 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; S.72; Stefan Winter
- 58 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 72; Stefan Winter
- 59 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 72; Stefan Winter
- 60 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 74; Stefan Winter
- 61 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Seite 75; Stefan Winter
- 62 Quelle: Brandschutz für ein 5- geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013
- 63 Quelle: Brandschutz für ein 5- geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013
- 64 Quelle: Brandschutz für ein 5- geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013
- 65 Quelle: Brandschutz für ein 5- geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013
- 66 Quelle: Brandschutz für ein 5- geschossiges Gebäude in Strohballenbauweise, Europäischer Kongress EBH 2013
- 67 Quelle: Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis, MPA TU Braunschweig
- 68 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau; Stefan Winter
- 69 Quelle: BST Brandschutztechnik, [www.bst.at](http://www.bst.at)
- 70 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Stefan Winter
- 71 Quelle: [www.infoholz.at](http://www.infoholz.at): Konstruktiver Holzschutz
- 72 Quelle: [www.oeph.de](http://www.oeph.de) Kleine Einführung Strohballenbau in Deutschland
- 73 Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau- Strohballen
- 74 Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- 75 Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau- Strohballen
- 76 Quelle: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- Mikrobielle Empfindlichkeit von Bau- Strohballen
- 77 Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)
- 78 Quelle: <https://www.wenninger.co.at/lehmputz/>
- 79 Quelle: [www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at)
- 80 Quelle: Strohbaurichtlinie SBR- 2014; Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
- 81 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Stefan Winter
- 82 Quelle: Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden, Fa. Wienerberger
- 83 Quelle: Bauphysikalische Grundlagen, ITI TU Wien
- 84 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 88; Daniel Rüdissler, Heinz Ferk
- 85 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 90; Daniel Rüdissler
- 86 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 90; Daniel Rüdissler, Heinz Ferk
- 87 Quelle: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau, Seite 90; Daniel Rüdissler
- 88 Quelle: Spezifische Wärmekapazität; Quelle: [baunetzwissen.de](http://baunetzwissen.de)
- 89 Quelle: Strohgedämmte Gebäude; Quelle: FNR, [www.baustoffe.fnr.de](http://www.baustoffe.fnr.de)
- 90 Quelle: Wärmespeicherfähigkeit; Quelle: [baunetzwissen.de](http://baunetzwissen.de)
- 91 Quelle: <https://derstandard.at/2816648/Automatischer-Fensteroeffner-regelt-CO2-Anteil-im-Raum>