

NACHHALTIGE HOMOGENE  
HOLZBAUSYSTEME

# Diplomarbeit

eingereicht im Department  
Bauen, Energie und Gesellschaft

im Fachhochschulstudiengang  
**Architektur**  
der FH Joanneum Graz, Austria

Betreuer:  
Dipl.-Ing. Tim Lüking

vorgelegt von:  
**Robert Kalb**  
geb. am 12.07.1988, Dresden



# Inhaltsverzeichnis

0.1	Eidesstattliche Versicherung . . . . .	7
0.2	Abstract . . . . .	9
<b>1</b>	<b>Nachhaltigkeit</b>	<b>11</b>
1.1	Begriff und Geschichte . . . . .	13
1.2	ökologische Nachhaltigkeit . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Werkstoff Holz</b>	<b>17</b>
2.1	Situation, Nutzung und Gewinnung . . . . .	19
2.2	Aufbau . . . . .	21
2.3	physikalische Aspekte . . . . .	23
2.3.1	Schwinden und Quellen . . . . .	23
2.3.2	Wärmeschutz . . . . .	25
2.3.3	Festigkeit . . . . .	26
2.3.4	Verhalten unter Belastung . . . . .	27
2.4	Holzarten im Vergleich . . . . .	29
2.5	Mondholz . . . . .	31
2.5.1	Regeln und wissenschaftlicher Hintergrund . . . . .	31
2.6	Bauen mit Holz . . . . .	33
2.6.1	Holzprodukte . . . . .	33
2.6.2	Gestaltung und Konstruktion . . . . .	34
2.7	Zusammenfassung . . . . .	39
<b>3</b>	<b>homogene Wandsysteme</b>	<b>41</b>
3.1	Eigenschaften und Vergleich . . . . .	43
3.1.1	Kondensation . . . . .	43
3.1.2	Wärmekapazität . . . . .	45
3.1.3	Dämmung . . . . .	45
3.1.4	Materialverbrauch . . . . .	45
3.2	Beispiele für Holzsysteme . . . . .	47

<b>4</b>	<b>Entwicklung des Systems</b>	<b>49</b>
4.1	Grundüberlegungen . . . . .	51
4.1.1	Holzart . . . . .	51
4.1.2	Maße . . . . .	51
4.1.3	Quellen und Schwinden . . . . .	51
4.1.4	Statische Angaben . . . . .	52
4.1.5	Bauphysikalische Angaben . . . . .	53
4.2	Decke . . . . .	55
4.2.1	System 1 . . . . .	55
4.2.2	System 2 - Wohnungstrenndecke . . . . .	63
4.2.3	System 2 - Decke gegen Außenraum . . . . .	70
4.3	Dach . . . . .	77
4.3.1	Flachdach . . . . .	77
4.3.2	geneigte Konstruktion . . . . .	84
4.4	Wände . . . . .	85
4.4.1	Grundaufbau . . . . .	85
4.4.2	mögliche Aufbauten . . . . .	87
4.4.3	Bauphysikalische Untersuchung . . . . .	88
4.4.4	Statische Untersuchung . . . . .	98
4.4.5	Nachweis Tragfähigkeit für Querschnitt 10/14 . . . . .	100
4.4.6	Nachweis Tragfähigkeit für Querschnitt 10/10 . . . . .	102
4.4.7	zum Entwurf . . . . .	103
4.4.8	Innenwände . . . . .	104
4.5	Konstruktion . . . . .	107
4.5.1	Montage . . . . .	107
4.5.2	Instandhalten . . . . .	109
4.5.3	Abreißen und Nachnutzen . . . . .	109
<b>5</b>	<b>Entwurf</b>	<b>111</b>
5.1	Voraussetzungen . . . . .	113
5.1.1	Grundgedanken . . . . .	113
5.1.2	Umgebung . . . . .	113
5.1.3	Grundstück . . . . .	124
5.2	Konzept . . . . .	131
5.3	Ergebnis . . . . .	133
5.3.1	Grundrisse und Schnitt . . . . .	139
5.3.2	Statik . . . . .	145
5.3.3	Ansichten . . . . .	148
5.3.4	Details . . . . .	153
5.3.5	Renderings . . . . .	161

**6 Zusammenfassung 165**

**Anhang 169**

A	Interview mit Herrn L. Ack . . . . .	171
B	Temperaturberechnungen . . . . .	173
C	Abbildungsverzeichnis . . . . .	179
D	Tabellenverzeichnis . . . . .	183
E	Quellenverzeichnis . . . . .	185



# 0.1 Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich folgende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken oder Formulierungen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher an keiner anderen Bildungsinstitution vorgelegt und ist noch nicht veröffentlicht.





## 0.2 Abstract

### deutsch

Nachhaltigkeit wird derzeit auf der ganzen Welt diskutiert.

Diese Arbeit konzentriert sich auf ein nachhaltiges Bausystem dessen Bauteile nach Möglichkeit nur aus Holz bestehen. Holz ist CO<sub>2</sub>-neutral und nahezu auf der ganzen Welt verfügbar. Alle Materialien, die auf Erdöl basieren werden vermieden und Materialien, die einen hohen Energiebedarf bei der Herstellung haben, auf ein Minimum reduziert. Diese Diplomarbeit untersucht die Eigenschaften und die Nachhaltigkeit von Holz, prüft dessen Einsatz im Bau und bietet eine Lösung für ein gesundes, nachhaltiges und modernes Leben in einem Holzhaus.

### english

Sustainability is discussed all over the world.

This thesis focusses on a sustainable building structure which parts are made just out of wood if possible. Wood is carbon-neutral and available nearly all over the world. Austria is one of the leading countries in modern wood constructions and has a long history of wooden buildings. I am using this knowledge in this thesis. All materials that are based on oil are avoided and other materials that are intense in energy consumption during the production process are reduced to a minimum.

This diploma thesis analyses the properties and the sustainability of wood, its usage as a construction material and provides a solution to a healthy, sustainable and modern life in a wooden building.



**Teil 1**

# **Nachhaltigkeit**



# 1.1 Begriff und Geschichte

„Prinzip, nach dem nicht mehr verbraucht werden darf, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren, künftig wieder bereitgestellt werden kann.“<sup>1</sup>

Bereits vor 2000 Jahren kamen in China die ersten Gedanken zur Nachhaltigkeit auf. Auf Grund des übermäßigen Verbrauchs von Rohstoffen, speziell Holz, wurden damals bereits Maßnahmen ergriffen, um die Umwelt vor der Zerstörung zu schützen. Anderen Kulturen wird zugeschrieben wegen des übermäßigen Verbrauchs von natürlichen Ressourcen untergegangen zu sein. Dies besagt eine Theorie über die Bewohner der Osterinsel von Jared Diamond.<sup>2</sup>

In der Neuzeit kam 1713 das erste Mal der Begriff „Nachhaltigkeit“ auf. Er geht auf Hans Carl von Carlowitz zurück, welcher in Freiberg (Sachsen) tätig war. Die Silberstadt hatte einen großen Bedarf an Holz, was zu Überlegungen zur nachhaltigen Holznutzung führte. Vor 200 Jahren fasste G. L. Hartig dann zusammen: „es seien die Wälder [...] doch so zu benutzen, dass die Nachkommenschaft wenigstens ebenso viel Vorteile aus den Wäldern ziehen kann, als sich die lebende Generation zueignet.“

Heute ist das Thema Nachhaltigkeit in aller Munde. Dennoch werden endliche Rohstoffe verbraucht, welche zusätzlich auch zur Erderwärmung beitragen. Bereits 1972 wiesen die Autoren Donella Meadows, Jrgen Randers und Dennis Meadows in ihrem Buch „The Limits to Growth“<sup>3</sup> (deutsch: „Die Grenzen des Wachstums“) darauf hin, dass es im Jahr 2050 zu einer Rohstoffknappheit kommen könnte. Die damals ermittelten Zahlen wurden nach 30 Jahren überprüft und in "Grenzen des Wachstums - Das 30-Jahre-Update"<sup>4</sup> bestätigt. Dieses Jahr lag der Earth Overshoot Day - der Tag, „an dem die menschliche Nachfrage an natürlichen Ressourcen die

---

<sup>1</sup> Duden: *Duden | Nachhaltigkeit | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition*. 22. August 2015 Url: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit>).

<sup>2</sup> Diamond, Jared: *Kollaps. Warum Gesellschaften überleben oder untergehen*. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verlag, 2005, S. 103ff.

<sup>3</sup> Jorgen Randers, Dennis Meadows, Donella Meadows William W. Behrens III: *The Limits to Growth*. New York: Universe Books, 1972.

<sup>4</sup> Jorgen Randers, Dennis Meadows, Donella Meadows: *Grenzen des Wachstums - Das 30-Jahre-Update*. 4. Auflage. Stuttgart: Hirzel S. Verlag, 2011.

Kapazität der Reproduktion dieser Ressourcen übersteigt<sup>5</sup> - bereits am 13. August, 1987 noch am 19. Dezember.

Im Bau wird seit einigen Jahren vermehrt auf den Energieverbrauch geachtet und dieser in einigen Ländern gesetzlich reguliert. Das ist aber noch nicht genug, denn ein Gebäude, welches weniger Energie verbraucht, aber nicht aus nachhaltigen Materialien besteht, kann nicht als nachhaltig bezeichnet werden. Natürlich stehen meistens wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund, doch ein wirtschaftlicher Weg ist nicht immer der beste.

Um auch den kommenden Generationen ein qualitatives Leben zu ermöglichen, muss es also auch im Bauwesen ein Umdenken geben.

---

<sup>5</sup> Wikipedia: *Earth Overshoot Day*. 22. August 2015 Url: [https://de.wikipedia.org/wiki/Earth\\_Overshoot\\_Day](https://de.wikipedia.org/wiki/Earth_Overshoot_Day).

## 1.2 ökologische Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit wird in der Literatur in drei Bereiche eingeteilt: die ökonomische, die soziale und die ökologische. Letztere soll Inhalt dieses Kapitels und dieser Arbeit sein.

Nachhaltig kann ein Prozess oder ein Material nur dann sein, wenn auch jeder Teilbereich nachhaltig ist.

So muss das Material selbst reproduzierbar sein und darf für die Umwelt nicht gefährlich sein. Das trifft auf viele natürliche Materialien zu, wobei endliche entsprechend nicht dazu gehören. Wichtig ist auch, dass die benötigte Energie zur Gewinnung, Umwandlung, Transport, Verwendung und Recycling nachhaltig gewonnen wurde. Der Aspekt der Entsorgung sollte nach Möglichkeit in Zukunft dem des Recycling weichen. Mit dem Begriff „Cradle To Cradle“ wird dieser Vorgang heute näher definiert. Übersetzt: „Von der Wiege in die Wiege“. Das bedeutet, dass der Stoffkreislauf geschlossen ist und es nicht zu einer Entsorgung, sondern einer Wiederverwendung mit der selben Funktion kommt.

Erste Schritte Richtung Nachhaltigkeit sind aber auch bereits die Reduktion des Energiebedarfs eines Vorganges oder der Ersatz durch einen energieärmeren Prozess, da so auch der Verbrauch von fossilen Energieträgern gesenkt wird. Ziel sollte es sein in Zukunft nur noch erneuerbare Energien zu verwenden.





## **Teil 2**

# **Werkstoff Holz**



## 2.1 Situation, Nutzung und Gewinnung

Holz erlebt in letzter Zeit eine Renaissance. Die moderne Zeit hat viele neue Möglichkeiten zur Konstruktion und Verarbeitung dieses schon seit Jahrhunderten bekannten Werkstoffes hervorgebracht. Deswegen wird Holz inzwischen nicht nur für Scheunen oder Almhütten verwendet, sondern auch in den unterschiedlichsten Typologien, wie Museen, Sporthallen, Universitätsgebäuden bis hin zu Kindergärten und Schulen.

Einige Vorteile bei der Verwendung von Holz liegen dabei auf der Hand. Wie zum Beispiel die gute CO<sub>2</sub>-Bilanz, dass es sich um einen nachwachsenden Rohstoff handelt und er in den meisten Gegenden unserer Erde verfügbar ist.

In Deutschland gibt es 11 Millionen Hektar (110.000km<sup>2</sup>) Wald, in denen insgesamt 7 Milliarden Bäume stehen. So besitzen rund 2 Millionen Einwohner ein Stück Wald, wobei die größten Flächen den einzelnen Bundesländern gehören. An erster Stelle liegt hier der Freistaat Bayern.

Ein Wald ist dabei nicht einfach nur eine Fläche, auf der Bäume wachsen, sondern die auch wirtschaftlich genutzt wird. Dies ist historisch durch die Nutzung des Waldes durch den Menschen bedingt. Schon vor mehreren Tausend Jahren war Holz ein begehrter Rohstoff zur Konstruktion und Energiegewinnung.

Bis heute haben sich Prinzipien von vor 300 Jahren erhalten (siehe Kapitel 1) und werden heute vom Gesetzgeber vorgeschrieben und von Förstern umgesetzt. Grundsätzlich wird nur so viel Holz geschlagen, wie im gleichen Gebiet nachwächst und Monokulturen werden größtenteils vermieden. Vor 50 Jahren war es üblich auf Fichtenholz zu setzen, da dieses sehr schnell wächst und in vielen Bereichen als Konstruktionsholz dient. So entstanden viele Fichtenwälder, die allerdings gegenüber Krankheiten, Pilzen und anderen Umwelteinflüssen weniger beständig sind. Auch deswegen ist der Begriff des „Waldsterbens“ bekannt, welches in Deutschland aber nicht mehr stattfindet. Heute ist der Mischwald sowohl ökonomisch, als auch ökologisch geeigneter. In den letzten 40 Jahren sind 700.000 Hektar Wald hinzugekommen und ein Drittel Deutschlands ist inzwischen bewaldet. Die Nutzung von Holz ist also erlaubt und auch gewollt.

Anders sieht das in anderen Gebieten der Erde aus. So ist natürlich die Abholzung des Regenwaldes ein ständig präsent Thema, welches dadurch zwar in den Köpfen der Gesellschaft angekommen ist - dennoch werden pro Jahr 130.000km<sup>2</sup> Holz abgeholzt oder verbrannt. Das ist mehr als die gesamte Waldfläche Deutschlands. Aber auch in Europa gibt es Probleme mit der Gewinnung von Holz. Brennholz stammt in den seltensten Fällen aus Deutschland. Kaum jemand wäre bereit die entsprechenden Preise zu bezahlen. Oft stammt es aus osteuropäischen Gebieten, wie zum Beispiel der Ukraine, wo die Kontrollen weniger streng sind. Dort wird häufig nicht nachhaltig abgeholzt. Mit der Herkunftsbezeichnung „Europa“ wird dann eine vermeintlich kontrollierte Herkunft suggeriert. Die genaue Betrachtung dieser Aspekte ist allerdings nicht Teil dieser Arbeit. Dennoch sollte darauf hingewiesen werden, dass ein Gebäude aus Holz nur dann nachhaltig sein kann, wenn auch die Rohstoffe entsprechend gewonnen wurden.

Holz wird heute zur Hälfte durch sogenannte Harvester geschlagen - Maschinen, die das Fällen, Entasten und Zuschneiden übernehmen. Möglich ist das aber nur in geeignetem Gelände. Ansonsten kommt die Motorsäge zum Einsatz. Die Axt ist eher der Vergangenheit oder Hobby-Holzfällern zuzuordnen.

Das meiste Holz findet in der Bau- und Möbelindustrie Verwendung. Der restliche Anteil wird zu Papier, Brennholz oder Pellets verarbeitet. Gerade der Verbrauch von Pellets ist in der EU in den letzten Jahren gestiegen. Viele Haushalte setzen inzwischen auf diese Art des nachhaltigen Heizens. Die Abwendung von herkömmlichen Heizmethoden durch fossile Brennstoffe ist eine positive Entwicklung im Bewusstsein der Menschen. Dennoch gibt es auch daran noch Kritikpunkte, die in der Zukunft zu vermeiden sind.

So ist die Nutzung als Brennstoff eine sehr kurzfristige und nicht nachhaltig andauernde Wirkung. Ein einmal verbranntes Stück Holz, bringt in Zukunft keinen Nutzen mehr. Das Ziel sollte sein, das geschlagene Holz nicht zu verfeuern, sondern konstruktiv und auch als Dämmmaterial zu verwenden. Ein Gebäude, das mit erdölbasierten Materialien gedämmt ist und anschließend Jahr für Jahr Holz verbrennt, kann in diesem Zusammenhang nicht als nachhaltig, bestenfalls als „nachhaltiger“ bezeichnet werden.

## 2.2 Aufbau

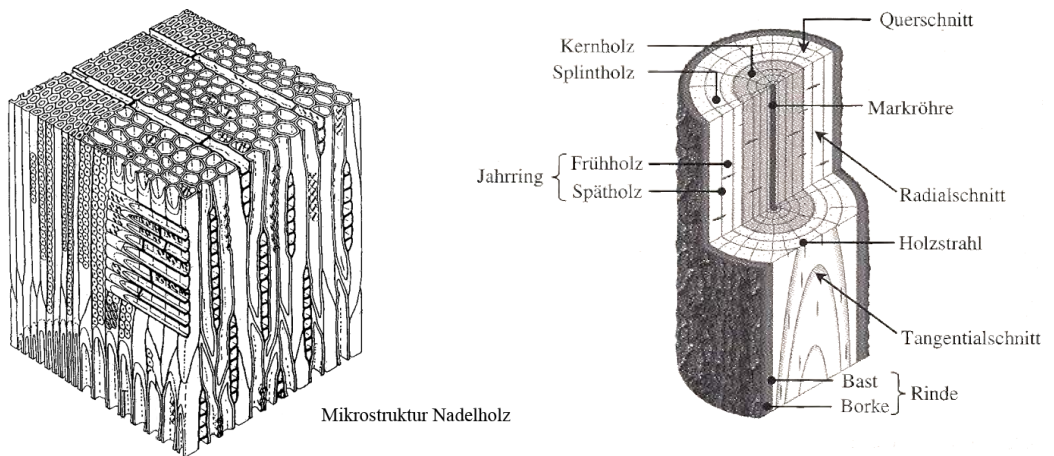


Abbildung 2.2.1: Mikro<sup>1</sup> - und Makrostruktur<sup>2</sup> von Nadelholz

Holz ist ein organisches Material und besteht demzufolge aus Kohlenstoffverbindungen. Bis heute wird an den Universitäten daran gearbeitet die Bestandteile von Holz besser zu verstehen und so neue Einsatzmöglichkeiten für die moderne Industrie zu finden.

Die wichtigsten bekannten und für den Holzbau entscheidenden Bestandteile sind dabei:

Tabelle 2.2.1: Bestandteile von Holz<sup>3</sup>

Zellulose	ca. 40 - 60%
Hemizellulose	ca. 5 - 25%
Lignin	ca. 20 - 40%
andere Inhaltsstoffe	ca. 0 - 15%

<sup>1</sup> Leiß, Bernhard: *Holzbauteile richtig geschützt*. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., 2002, Abb. 2.6.

<sup>2</sup> Colling, François: *Holzbau - Grundlagen und Bemessungshilfen*. 1. Auflage. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2004, Abb. 2.1.

<sup>3</sup> Leiß, Bernhard: *Holzbauteile richtig geschützt*. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., 2002, S.6.

Die Zellulose ist für die Tragfähigkeit des Holzes der wichtigste Bestandteil. Weniger verholzte Pflanzen oder Blätter enthalten entsprechend weniger Zellulose. Auch die Hemizellulosen tragen zur Stabilität bei und verbinden die Zellulose mit der Zellwand. Lignin wird die „Kittsubstanz“ des Holzes genannt und hilft die einzelnen Fasern im Holz zusammen zu halten. Es ist bräunlich und sorgt für die Vergilbung und eine intensivere Braunfärbung von Nadelhölzern.<sup>4</sup> Um diesen Effekten entgegen zu wirken, wird mit Holzschutzmitteln gearbeitet. Siehe dazu Kapitel 2.6.2.2.

Holz besteht außerdem aus länglichen Röhrchen, welche im Baum für den Wassertransport verantwortlich sind. Sie sind auch der Grund für das Schwindverhalten von Holz (siehe 2.3.1). Die Gesamtoberfläche dieser Kapillarröhrchenstruktur beträgt in einem Kubikzentimeter Holz 100 Quadratmeter. Diese Eigenschaft trägt außerdem zu einem guten Dämmwert bei, da die Wege durch sie hindurch sehr lang sind<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Leiß, Bernhard: *Holzbauteile richtig geschützt*. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., 2002, S.7ff.

<sup>5</sup> Thoma, Erwin: *Die geheime Sprache der Bäume*. Salzburg: Ecowin Verlag GmbH, 2012, S.66..

## 2.3 physikalische Aspekte

### 2.3.1 Schwinden und Quellen

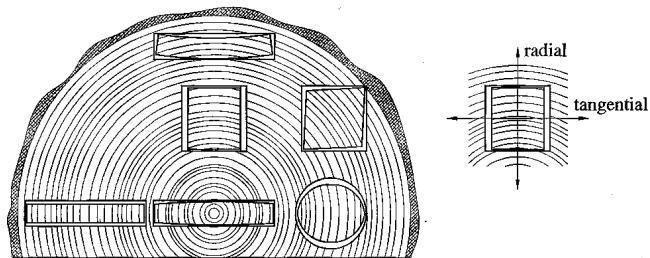


Abbildung 2.3.1: Verzerrung von Holzquerschnitten infolge von Schwinden<sup>1</sup>

Holz kann sich durch die Änderung seiner Feuchtigkeit verformen. Meistens handelt es sich dabei um den Trocknungsprozess nach dem Fällen bis zum Einbau und damit einhergehender weiterer Trocknung oder die Aufnahme von Wasser aus der Umgebung. Die Veränderungen längs zur Holzfasern sind so gering, dass sie vernachlässigt werden können. In tangentialer Richtung zu den Jahresringen sind diese allerdings doppelt so stark, wie in radialer Richtung und müssen daher beim Einbau beachtet werden.

Bretter oder Kanthölzer können an unterschiedlichen Stellen im Stamm geschnitten werden und unterscheiden sich somit von ihrer Qualität und ihren Eigenschaften. Aus der Mitte geschnittenes Holz ist sehr Formstabil und wird Herzholz genannt. Man kann es an den stehenden Jahresringen erkennen. Sie sind entsprechend selten, da aus einem Querschnitt immer nur ein Herzbrett herausgeschnitten werden kann. Konstruktionen, die auf Mittel- oder Seitenbretter zurückgreifen sind daher günstiger, müssen aber gut durchdacht sein. Man erkennt sie an den liegenden Jahresringen (siehe dazu Abb. 2.3.2).

Die Seite, auf der die Jahresringe nach oben zeigen, wird „rechte Seite“ genannt. Die gegenüberliegende Seite entsprechend „linke Seite“. Auf Grund des bereits

<sup>1</sup> Colling, François: *Holzbau - Grundlagen und Bemessungshilfen*. 1. Auflage. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2004, Abb. 2.3.

beschriebenen Quell- und Schwindverhaltens sollte Holz immer mit der rechten Seite nach außen eingebaut werden. Es gilt die Regel: Herz nach außen. Das Holz im Inneren ist witterungsbeständiger und verformt sich weniger stark. So erhöht sich die Lebensdauer einer Konstruktion wesentlich und unschöne Risse sind nach außen hin nicht sichtbar.

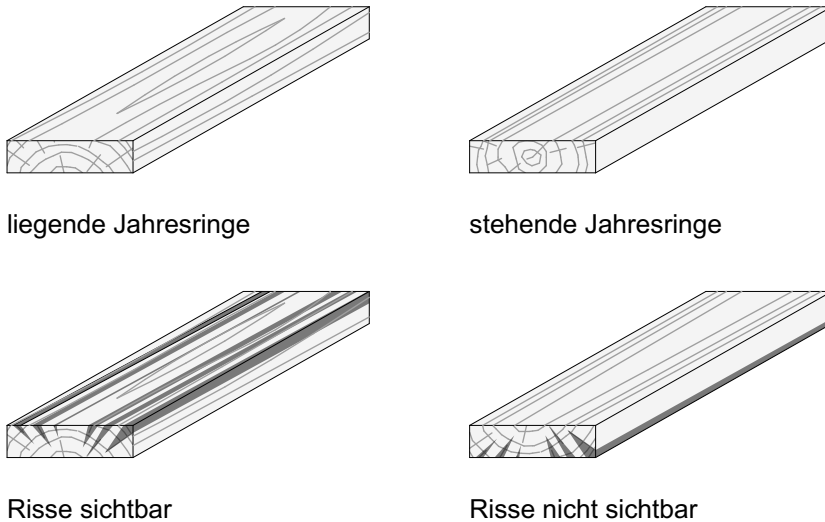


Abbildung 2.3.2: Lage der Jahresringe in Holzbrettern

### Herzholz:

Wird als Kantholz oft in der Konstruktion von Dachstühlen verwendet, da durch den Kern die Tragfähigkeit am höchsten gegenüber den anderen Varianten ist. Allerdings besteht eine erhöhte Gefahr von Verdrehung und Rissbildung.

### Kerngetrenntes Kantholz (herzgetrennt)

Durch die Trennung des Stammes mit dem Sägeblatt an der Markröhre entstehen Querschnitte, die sich nicht so stark verformen, wie Herzholz. Sie weisen immer noch eine gute Tragfähigkeit auf.

### Kernfreies Kantholz (herzfrei)

Herzfreies Holz findet an sichtbaren Oberflächen Verwendung, da hier die Rissbildung und Verdrehung am geringsten ist.



## 2.3.2 Wärmeschutz

Der Wärmeschutz ist im Zuge der Energieverordnungen und der gestiegenen Energiepreise ein wichtiges Thema geworden. Für einen Neubau ist ein U-Wert von mindestens  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  vorgeschrieben und somit ein zentraler Punkt im Entwurf eines Bausystems. Allerdings ist nicht nur dieser für ein gutes bauphysikalisches Verhalten entscheidend, sondern auch die Wärmespeicherkapazität. Umso mehr Wärme ein Baustoff speichern kann, umso langsamer gibt dieser sie wieder ab. Dieses Verhalten führt zu einem besseren Wohlbefinden, da Temperaturspitzen abgeflacht und plötzliche Änderungen abgefangen werden.

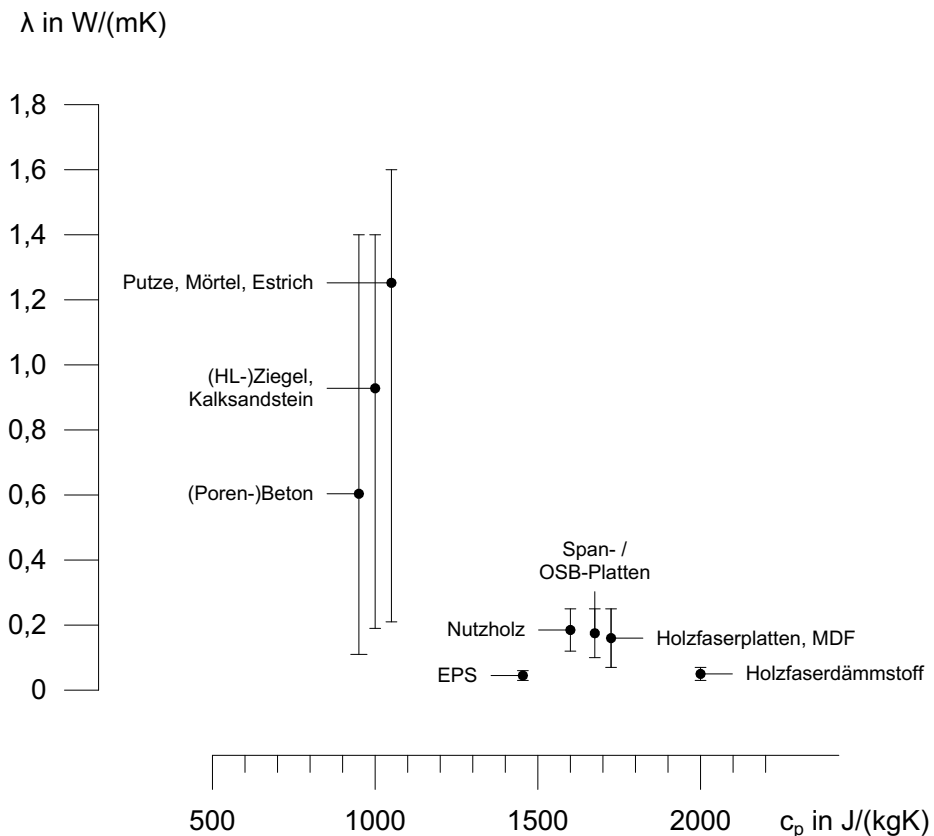


Abbildung 2.3.3: Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität von Baustoffen<sup>2</sup>

Stellt man nun die Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) in Abhängigkeit von der Wärmespeicherkapazität ( $c_p$ ) dar (Abb. 2.3.3), zeigt sich, dass Holzwerkstoffe insgesamt besser als Beton, Ziegel oder gar EPS abschneiden. Umso höher die Wärmespeicherkapazität und umso geringer die Wärmeleitfähigkeit, umso besser. Es zeigt sich, dass Holzfaserdämmstoffe sogar an die Werte von EPS in der Wärmeleitfähigkeit herankommen, aber zusätzlich noch eine viel höhere Wärmespeicherkapazität besitzen. EPS wird nur sehr gerne eingesetzt, da es um ein vielfaches günstiger in der Anschaffung ist. Das Problem der Entsorgung und der damit verbundenen Umweltverträglichkeit ist für viele Bauherren kein entscheidendes Kriterium.

### 2.3.3 Festigkeit

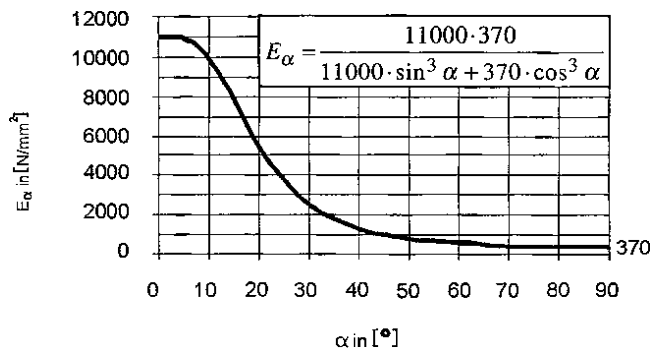


Abbildung 2.3.4: Elastizitätsmodul  $E_\alpha$  für Nadelholz C 24 in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$  zwischen Kraft- und Faserrichtung<sup>3</sup>

Entscheidend für Holzkonstruktionen ist auch die Festigkeit. Da es sich bei Holz nicht um einen in alle Richtungen homogenen Werkstoff handelt, besitzt es in unterschiedlichen Richtungen andere Festigkeiten. Nicht ohne Grund werden Holzstützen in der Wuchsrichtung (Winkel  $0^\circ$ ) des Baumes belastet, da in dieser Richtung die Festigkeit am höchsten ist. Mit der Änderung des Winkels nimmt die Tragfähigkeit sehr stark ab. Schon bei einer Abweichung von nur 20 Grad, beträgt sie nur noch 50% und bei 90 Grad nur noch einen Bruchteil.

<sup>2</sup> Werte aus: Alfons Goris, Joachim P. Heisel: *Schneider - Bautabellen für Architekten - mit Entwurfs-hinweisen und Beispielen*. 19. Auflage. Köln: Werner Verlag, 2010, Tafel 4.42

<sup>3</sup> Colling, François: *Holzbau - Grundlagen und Bemessungshilfen*. 1. Auflage. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2004, Abb. 2.4.

## 2.3.4 Verhalten unter Belastung

Holz zeigt gegenüber anderen Baustoffen, wie zum Beispiel Beton oder Stahl ein anderes Verhalten unter Belastung. Verformungen im elastischen Bereich zeigen sich bereits sehr schnell. Bei Beton hingegen gibt es nahezu keine Veränderung. Dies mag auf den ersten Blick ein Vorteil für Beton sein, doch dies ist nur bedingt richtig. In der Formstabilität hat Beton natürlich einen Vorteil, doch durch die sichtbare, elastische Verformung von Holz (siehe Abb. 2.3.5 Bereich bis ca. 32 N/mm<sup>2</sup>), können bereits kleine Veränderungen in der Belastung sichtbar werden. So ist es einfacher Probleme auszumachen und darauf zu reagieren. Dies ist auch ein Grund, warum im Bergbau Holz eingesetzt wurde, da eine Veränderung der Belastung durch die Verformung der Holzbalken sichtbar wurde. Eine Betonstütze versagt ab einem Punkt vollkommen und verformt sich dann plastisch - kommt also nicht wieder in den Ursprungszustand zurück.

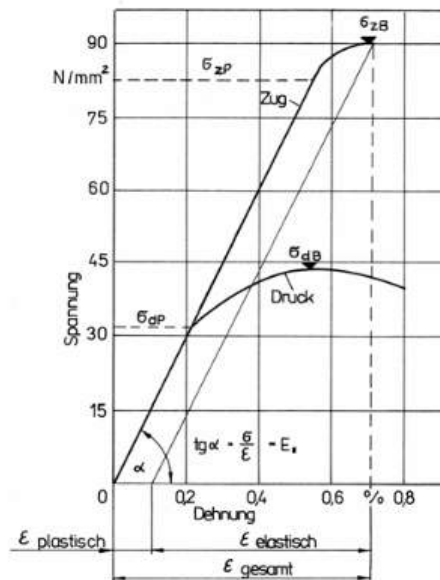


Abbildung 2.3.5: Spannungs-Dehnungsdiagramm Vollholz<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Niemz, Peter: *Physik des Holzes*. Zürich: ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Baustoffe IfB, 2004, S. 22.



## 2.4 Holzarten im Vergleich

Im Folgenden werden die wichtigsten Konstruktionshölzer auf ihre Eigenschaften, Beschaffenheit und Nutzung untersucht. Grundsätzlich eignen sich Nadelhölzer besser als Laubhölzer, da diese schlanker und gerader wachsen, leichter bearbeitbar und elastischer sind.

Laubhölzer werden häufig im Innenraum verwendet. Die wichtigsten sind: „Buche, Erle, Esche, Ulme, der Ahorn, die Birke, Pappel, Linde, Akazie, Kastanie und der Nußbaum.“<sup>1</sup>

Grundsätzlich können alle Nadelhölzer im Außenbereich eingesetzt werden, wobei es Unterschiede in der Festigkeit und der Gebrauchstauglichkeit gibt, die bei Lärche höher liegt, als bei Fichte oder Tanne. Dies ist allerdings nur wichtig, solange das Holz bewittert wird. Wichtiger ist langsam und gerade gewachsenes Holz. Bäume, die übermäßig Wind von einer Seite ausgesetzt sind, wachsen oft schief oder verdreht, da der Baum die Belastung auszugleichen versucht. Langsam gewachsene Bäume kommen vor allem in kälteren Gebieten, wie den Alpen vor.

Aus der Tabelle 2.4.1 geht hervor, dass sich Lärchenholz, sowie Kiefernholz sehr als Konstruktionsholz eignen. Das liegt an den hohen Festigkeiten in Bezug auf Biegung, Druck und Zug. Sie können also hohe Belastungen ohne plastische Verformungen aushalten. Die Tatsache, dass beide Holzarten zum Harzen neigen, bringt den Vorteil, dass sie beständiger gegen Schädlinge sind, da diese Harz meiden.

---

<sup>1</sup> Opderbecke, Prof. Adolf: *Das Holzbau-Buch*. Hannover: Verlag Th. Schäfer, 1995, Reprint nach dem Original von 1909, S.11.

## 2.4 Holzarten im Vergleich

Tabelle 2.4.1: Schwinden & Quellen - Holzarten im Vergleich<sup>2</sup>

	Lärche	Kiefer	Fichte	Tanne
Rohdichte ( $\frac{kg}{m^3}$ )	570	520	470	410
Schwindmaß (%)				
axial	0,3	0,4	0,3	0,1
radial	3,3	4,0	3,6	3,8
tangential	7,8	7,7	7,8	7,6
Quellmaß (%)				
radial	3,0	3,0	2,0	2,2
tangential	4,5	4,5	4,0	5,0
Biegefestigkeit ( $\frac{N}{mm^2}$ )	93	80	68	68
Druckfestigkeit ( $\frac{N}{mm^2}$ )	48	45	40	40
Zugfestigkeit ( $\frac{N}{mm^2}$ )	105	100	80	80
E-Modul ( $\frac{N}{mm^2}$ )	13800	12000	11000	13800
Dauerhaftigkeitsklasse	3-4	3-4	4	4
Verarbeitung	gut	gut	gut	gut
Bemerkung	harzt	harzt		

Dennoch haben die Berechnungen unter 4.4.4 gezeigt, dass so hohe Festigkeiten, wie bei Lärchen oder Kiefernholz nicht nötig sind. Auch der hohe Preis würde einen geringeren Querschnitt nicht rechtfertigen. Mit einer geringeren Dichte trägt die Fichte außerdem zu einer leichteren Konstruktion bei und das geringere Quell- und Schwindmaß lässt Konstruktionen formstabiler werden. Oft wird Fichtenholz wegen seiner weniger schönen Oberfläche als Konstruktions- und Blindholz verwendet und mit anderen Hölzern, wie zum Beispiel Lärchenholz, verkleidet.

<sup>2</sup> Wikipedia: *Liste der Holzarten*. 27. Juni 2015 Url: [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Holzarten](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Holzarten)>; Wikipedia: *Lärchenholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4rchenholz>>; Wikipedia: *Kiefernholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kiefernholz>>; Wikipedia: *Fichtenholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fichtenholz>>; Wikipedia: *Tannenholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tannenholz>>

## 2.5 Mondholz

Im Zusammenhang mit Holzbau und dem Ernten von Holz fällt immer wieder, auch heute noch, der Begriff des Mondholzes (u.a. in „Die geheime Sprache der Bäume“<sup>1</sup>).

Bei Mondholz handelt es sich um Holz, welches an einem bestimmten Zeitpunkt nach dem Mondkalender gefällt wurde. Diese Regeln gehen auf den Bauernkalender aus dem 16. / 17. Jahrhundert und weiter zurück. Danach sind bestimmte Mondkonstellationen oder Ereignisse entscheidend für eine gute Ernte und die Eigenschaften für gefälltes Holz. Diesem Holz wird nachgesagt, dass es sich nicht verzieht, beständig gegen Pilze und Parasiten ist und länger haltbar ist. Auch in anderen Bereichen kamen diese Regeln zur Anwendung, wie Heirat, berufliche und private Entscheidungen und werden heute dem Bereich der Astrologie zugeordnet.

### 2.5.1 Regeln und wissenschaftlicher Hintergrund

Die wichtigsten genannten Faktoren sind die Phasen der Ab- und Zunahme des Mondes, die unterschiedliche Entfernung des Mondes zur Erde, der auf- oder absteigende Mond am Himmel und der Stand des Mondes in den Tierkreiszeichen. Je nach gewünschten Eigenschaften und Verwendungszwecken sind verschiedene Tage günstiger. Im Laufe der Zeit sind unterschiedlichste Regeln für den richtigen Erntezeitpunkt entstanden, die sich zum Teil auch widersprechen und einen wissenschaftlichen Hintergrund vermissen lassen. Dazu zählt unter anderem, dass Holz, welches an Marien Tagen (Feiertage in Zusammenhang mit Maria) gefällt wurde, besonders gut sein soll.

Eine Regel ist allerdings in allen Mondkalendern gleich: Holz sollte im Winter und bei abnehmendem Mond oder Neumond gefällt werden. Es gilt als resistenter und trocknet besser.

Eine Erklärung für das Fällen des Holzes im Winter ist die geringere Feuchtigkeit im Holz durch die Saftruhe. Da es früher nicht möglich war, Holz industriell zu

---

<sup>1</sup> Thoma, Erwin: *Die geheime Sprache der Bäume*. Salzburg: Ecowin Verlag GmbH, 2012.

trocknen, war es eine gängige Praxis das Holz im Winter zu ernten, ca. 8 Wochen trocknen zu lassen und anschließend aus dem Wald zu transportieren. So reduzierte sich bereits die Anfangsfeuchtigkeit und somit die Beständigkeit des Holzes.

Ein Zusammenhang zwischen den Mondphasen und der Qualität des Holzes wurde auch wissenschaftlich untersucht. Man trifft dabei immer wieder auf die gleiche Untersuchung<sup>2</sup> von Professor Ernst Zürcher der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich. Auf Nachfrage am Institut für terrestrische Ökosysteme bei Herrn Prof. Dr. Hans Rudolf Heinimann (Professur für forstliches Ingenieurwesen) belegt die Studie lediglich den Einfluss des Mondes auf den Baumdurchmesser. Die Untersuchung gilt als „hochkontrovers“ und steht statistisch „auf wackligen Füßen“. Herr Prof. Dr. Heinimann kommt zu dem Fazit: „Es hat mehr mit Glauben zu tun, als mit Wissenschaft.“ und bezieht sich dabei auf den Zusammenhang mit den Regeln des Mondkalenders.

Untersuchungen, die sich auf Baumstämme von vor über 100 Jahren beziehen, sind außerdem äußerst schwer wissenschaftlich durchzuführen, da meist keine Daten über den exakten Fällzeitpunkt oder die Herkunft zur Verfügung stehen. Auch die Tatsache, dass Holz von vor 1900 in der Zeit der sogenannten kleinen Eiszeit gefällt wurden, lässt eine Vergleichbarkeit mit heutigen Ergebnissen meist nicht zu. Langzeitstudien aus der Gegenwart existieren auf Grund des Zeitfaktors nicht.

Abschließend kann man nur zusammenfassen, dass es bezüglich des Zusammenhanges zwischen Mond und Holz noch keine aussagekräftigen Untersuchungen gibt und so weder für die Regeln, noch gegen sie, ein Urteil gefällt werden kann.

---

<sup>2</sup> Zürcher, Ernst: Mondbezogene Traditionen in der Forstwirtschaft und Phänomene in der Baumbiologie. In: *Austrian Journal of Forest Science*, (Ausgabe 151 / 2000).



## 2.6 Bauen mit Holz

### 2.6.1 Holzprodukte

Durch die voranschreitende Technisierung des Holzbaus entstehen immer neue Produkte, die zum Großteil aus Holz bestehen. Ziel ist es meist die inhomogenen Eigenschaften zu beseitigen oder Abfallprodukte zu verwerten. Im Folgenden werden einige Holzprodukte näher betrachtet.

An erster Stelle sind hier Kanthölzer und Bretter zu nennen, welche im Holzbau konstruktiv eingesetzt werden. Fachwerke und Dachstühle werden seit langer Zeit aus diesen gefertigt. Auch als Fußbodenbelag kommt Holz in Form von Parkett und Laminat zum Einsatz. Holzfußböden sind warm, beanspruchbar und überzeugen auch durch ihre Optik.

Für komplizierte und hoch beanspruchte Konstruktionen wird Brettschichtholz verwendet. Es besteht aus mehreren Brettlagen, die miteinander verleimt werden. Die entstandenen Balken haben eine wesentlich höhere Tragfähigkeit. Der Leimanteil liegt bei unter 1% und die entstehenden Ausdünstungen liegen deutlich unter den geforderten Grenzwerten. Allerdings werden die Leime häufig aus erdölbasierenden Stoffen hergestellt und sind somit nicht nachhaltig. Dennoch erhöhen sie mit geringem Aufwand die Möglichkeiten von Holzkonstruktionen enorm.

Holz kann auch zu Dämmzwecken eingesetzt werden. So haben Holzfaserverplatten einen sehr guten Dämmwert und eine hohe Wärmespeicherkapazität (siehe dazu 2.3.2). Sie eignen sich außerdem auch auf Grund ihrer Druckfestigkeit als Trittschalldämmung. Einige Produkte halten durch Leim zusammen, andere wiederum durch die holzeigenen Bindekräfte und sind somit nachhaltiger.

Auch die bei der Produktion anfallenden Holzspäne finden in OSB- und Spanplatten Verwendung. Sie werden aus Spänen hergestellt, welche durch Trocknung und Verleimung eine homogene Platte ergeben. Die Leime verursachen aber meist Ausdünstungen und sind nicht natürlichen Ursprungs.

Auch die Kombination mit anderen Stoffen ist möglich. So bestehen Heraklithplatten (oder Holzwohle-Leichtbauplatten) aus einer Kombination von mineralischen

Bindemitteln (wie zum Beispiel Zement oder Magnesit) und Holz und kommen als Putzgrund oder zur Schalldämmung zum Einsatz. Hier ist auch das erhöhte Gewicht von Vorteil, welches beim Schallschutz im Holzbau wichtig ist.

Inzwischen gibt es bereits Produkte, die aus der Verbindung von Kunststoff und Holz bestehen und eine gute Formbarkeit aufweisen. Diese können zum Beispiel im Strangpressverfahren in nahezu jede Form gebracht werden. Der Aspekt der Nachhaltigkeit, den Holz eigentlich als Vorteil bringt, ist hier aber zu hinterfragen.

### 2.6.2 Gestaltung und Konstruktion

Im Holzbau ist es wichtig auf die Konstruktionsweise zu achten, da durch den Baustoff bestimmte Probleme auftreten, die sich allerdings mit dem nötigen Wissen lösen lassen. So ergeben sich die meisten Konstruktionen aus der Inhomogenität und der Tatsache, dass Holz ein natürlicher Baustoff ist, der entsprechend auf Umwelteinflüsse reagiert.

#### 2.6.2.1 Schutz mit Anstrichen / Chemischen Mitteln

Holz lebt, verändert und verfärbt sich und entsprechend besteht oft das Bedürfnis diesen Prozessen entgegenzuwirken oder dem Holz ein anderes Aussehen zu geben. Hierzu werden unterschiedliche Substanzen, wie zum Beispiel Lasuren, Lacke, Öle, Wachse oder mineralische Anstrich verwendet.

Sie bestehen im Allgemeinen aus einem Lösungsmittel, einem Bindemittel und Pigmenten, welche für die gewünschte Farbgebung zuständig sind. Es sollten aus gesundheitlichen Gründen nur lösungsmittelfreie Produkte zur Anwendung kommen. Gerade im Innenraum können Ausdünstungen, die über Jahre stattfinden Schäden verursachen. Auch die Bezeichnung „natürliche Lösungsmittel“ weist nicht direkt auf die Verträglichkeit hin.

Die Informationen des folgenden Absatzes stammen aus einem Interview mit Herrn L. Ack<sup>1</sup> zum Thema „Nachhaltigkeit von Lacken und Anstrichen“. Die entsprechenden Notizen sind im Anhang A nachzulesen.

---

<sup>1</sup>Name geändert

Die beste Variante eines natürlichen Holzschutzes stellt Leinöl dar. Es wurde bereits früher als Holzschutz verwendet<sup>2</sup> und kommt heute noch bei Küchen und Möbeln zum Einsatz. Auch im Außenbereich ist der Einsatz möglich. Da das Öl mit der Zeit ausgewaschen wird, ist eine regelmäßige Pflege wichtig. Ein weiterer Vorteil von Leinöl ist außerdem, dass es regional in großen Mengen und günstig verfügbar ist. Die Anwendung im technischen Bereich ist allerdings wegen der erhöhten Trocknungszeiten nicht immer möglich. Deswegen kommen dort oft chemisch veränderte Substanzen zum Einsatz, die auf die jeweiligen Anforderungen eingestellt sind. Im Gegensatz zu Ölen, schützen und decken Lacke Oberflächen sehr gut. Der Nachteil ist aber ein erhöhter Aufwand bei der Erneuerung, da ein kompletter Neuaufbau einschließlich schleifen und lackieren nötig ist. Sie platzen außerdem ab, zerkratzen und sind erdölbasiert.

Durch die natürlichen Eigenschaften bleibt das Holz atmungsaktiv und behält seine Diffusionsfähigkeit. Es entstehen keine Lösungsmitteldämpfe, die zu gesundheitlichen Schäden führen können. Es färbt das Holz nicht, sondern dunkelt dieses lediglich ab. Als zusätzlichen Schutz, kann das Holz vor der Behandlung mit Leinöl geflämmt werden, wobei die Maserung des Holzes stärker hervortritt. Dieses Verfahren wird auch zur natürlichen Verschönerung von Hölzern genutzt und stellt eine der wenigen natürlichen Gestaltungsmöglichkeiten von Holz dar.

Insgesamt ist zu sagen, dass die Verwendung von Holz immer mit Veränderung einher geht. Dabei sollte man nicht durch chemische Mittel versuchen dem entgegenzuwirken, sondern es als Teil der Eigenschaften von Holz zu verstehen.

### **2.6.2.2 konstruktiver Holzschutz**

Wenn man im Holzbau bestimmte Regeln beachtet, kann man auf einen chemischen Holzschutz verzichten. Wichtig ist nur wissen, dass das Holz sich mit der Zeit verändert und altert.

Der konstruktive Holzschutz wird angewendet, um Pilze, Feuchtigkeitsschäden und Fäulnis zu vermeiden. Durch die Kombination von Holz, Sauerstoff, Pilzsporen und Feuchtigkeit kann Fäulnis entstehen. Das Prinzip ist, eines dieser Faktoren zu vermeiden. Da Holz der Konstruktionsstoff ist, kann dieser nicht entfernt werden.

---

<sup>2</sup> Opderbecke, Prof. Adolf: *Das Holzbau-Buch*. Hannover: Verlag Th. Schäfer, 1995, Reprint nach dem Original von 1909, S.30.

Sauerstoffentzug ist nur bedingt möglich und tritt zum Beispiel unter Wasser auf. Dies ist der Grund, warum die Holzpfähle in Venedig nicht verfaulen. Pilzsporen kommen grundsätzlich in der Luft vor und lassen sich nicht vermeiden. Entsprechend verbleibt die Möglichkeit der Vermeidung von Feuchtigkeit und stehendem Wasser.

Einfache Maßnahmen dazu sind das Wasser abzuleiten und Überdachungen einzuplanen. Durch optimierte Formen, Tropfnasen und ausreichende Belüftung kann stehendes Wasser und Kondenswasser vermieden werden. In Bodennähe ist ein Spritzwasserschutz vorzusehen. Entweder befindet sich das Holz mindestens 30cm über dem Boden oder eine Entwässerung mit Gitterrost fängt das Wasser auf.

Bei Stoßen und Lattungen sollte ein Abstand von einem Zentimeter eingehalten werden, um die Kapillarwirkung zu vermeiden. Fugen helfen somit der Konstruktion und können auch als Gestaltungsmittel eingesetzt werden. Horizontale Bretter sollten mit mindestens 15 Grad hinterschnitten sein, um auch hier die Ableitung des Wasser zu gewährleisten. Tendenziell sind vertikale Lattungen aber langlebiger.

Wichtig ist aber dennoch eine regelmäßige Kontrolle und Wartung, um frühzeitig Schäden zu erkennen.

Diese Informationen stammen aus dem Vortrag über konstruktiven Holzschutz von Claudia Koch<sup>3</sup>.

### 2.6.2.3 Einbaurichtung

Grundsätzlich sollte die markzugewandte Seite immer nach außen angebracht werden (Bauminneres nach außen), da diese widerstandsfähiger ist. Nähere Erklärungen dazu finden sich im Kapitel 2.3.1.

### 2.6.2.4 Verbindungen

Holzverbindungen sind nötig, um einen stabilen Kontakt zwischen zwei oder mehr Bauteilen zu erreichen. Die Technik beruht dabei auf einem Form- und / oder einem Kraftschluss. Meistens werden Nägel, Schrauben oder Bolzen / Dübel zur Sicherung

---

<sup>3</sup> Koch, Claudia: Vortrag Konstruktiver Holzschutz, proHolz Akademie. FH Joanneum Graz, 12.03.2015.

der Verbindung eingesetzt. Da es sehr viele verschiedene Typen der Holzverbindungen gibt, soll hier nur auf die wichtigsten Arten eingegangen werden.

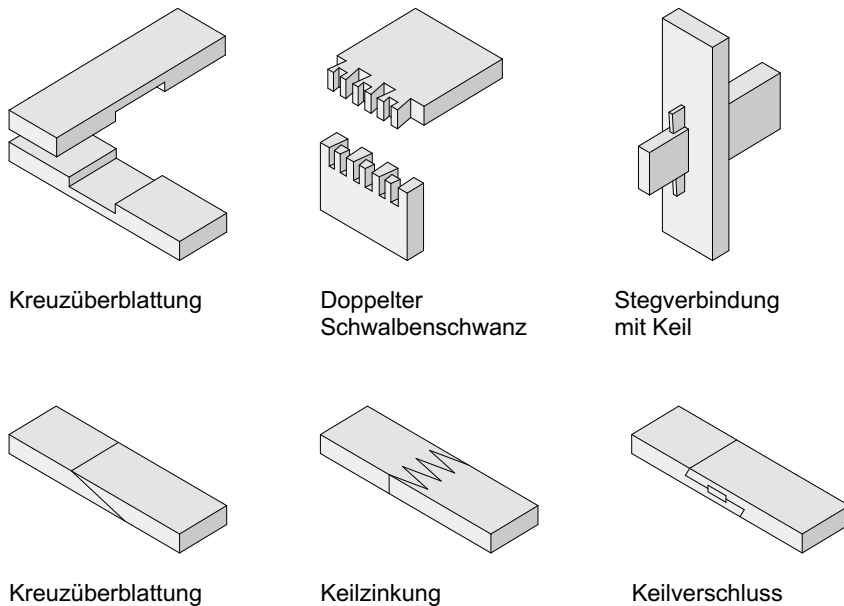


Abbildung 2.6.1: Zimmermannsverbindungen

### stiftförmige Verbindungsmittel

Dazu zählen Dübel, Bolzen, Schrauben, Nägel und Klammern, die sowohl aus Metall, als auch aus Holz bestehen können. Sie verhindern das Abscheren rechtwinklig zu ihrer Achse oder das Herausziehen. Diese Verbindung beruht auf der Reibung zwischen dem Verbindungselement und dem umgebenden Material. Diese entsteht durch einpressen in eine kleinere Bohrung als das Verbindungselement oder in das

### sonstige mechanische Verbindungen

Unter diesen Punkt zählen zum Beispiel flächige Verbindungsmittel, wie Nagelplatten und Formteile aus Stahl. Sie werden häufig eingesetzt, um die Konstruktion zu vereinfachen oder komplizierte Verbindungen herzustellen.

### Zimmermannsverbindungen

Typische Beispiele hierfür sind (Keil-)Zinkungen, Schwalbenschwänze, Zapfen, Keile und Blattungen.



## 2.7 Zusammenfassung

Es ist festzustellen, dass mit dem nötigen Wissen auch eine der Witterung ausgesetzte Holzkonstruktion langlebig sein kann. Dass sich der Baustoff mit der Zeit verändert sollte nicht als Nachteil, sondern als Zeichen für die Natürlichkeit des Gebäudes gesehen werden. Auch als Dämmung und sichtbare Oberfläche ist Holz ein ansprechender Baustoff. Mit seiner neutralen CO<sub>2</sub>-Bilanz trägt es außerdem zum Klimaschutz bei. Dabei wird es von der Natur geliefert und kann ohne große Bearbeitung eingesetzt werden. Zu Beachten ist die Kombination mit anderen Stoffen, welche den Aspekt der Nachhaltigkeit mindern können oder sogar zu gesundheitlichen Schäden führen.





## **Teil 3**

# **homogene Wandsysteme**



# 3.1 Eigenschaften und Vergleich

Homogenität [...] bezeichnet die Gleichheit einer physikalischen Eigenschaft über die gesamte Ausdehnung eines Systems oder auch die Gleichartigkeit von Elementen eines Systems.

Wandsysteme gelten als homogen, wenn diese nur aus einem Stoff bestehen und somit keine Materialübergänge enthalten. Daraus ergeben sich bauphysikalische Vorteile. Es können dabei verschiedene Materialien zur Anwendung kommen. Zum Beispiel Beton, (Ziegel-)Steine oder Holz.

## 3.1.1 Kondensation

Durch die Vermeidung von Materialübergängen, die in mehrschichtigen Wandsystemen auftreten, wird Tauwasser vermieden.

Zu beobachten ist Tauwasser in der Natur im Frühling, wenn Eis und Schnee schmelzen. Es entsteht aber auch, wenn warme, feuchte Luft auf kalten Oberflächen kondensiert. Dies passiert im Bau auf Fensterscheiben oder Wänden, die nicht ausreichend geschützt sind. Schimmelpilze benötigen lediglich Feuchtigkeit, genügend Luftzufuhr, Pilzsporen und eine entsprechende Oberfläche (zum Beispiel Holz).

Tauwasser kann auch im Inneren von Bauteilen auftreten. Dieses entsteht, da Wasserdampf durch die Wand diffundiert. Dabei sinkt die Temperatur von Innen nach außen und die Aufnahmefähigkeit von Wasser in der Luft nimmt ab. Wird eine Luftfeuchtigkeit von 100% erreicht oder überschritten, ist die Luft übersättigt und Tauwasser tritt auf.

In Abb. 3.1.1 werden die Temperaturverläufe eines homogenen und eines mehrschichtigen Aufbaus verglichen. Der homogene Aufbau besteht nur aus einzelnen Holzschichten ohne Lufteinschlüsse (entspricht System D - 0mm Luftspalt in 4.4). Der mehrschichtige Aufbau besteht aus Mauerwerk und Styropordämmung. Die Innen- und Außenseite sind verputzt.

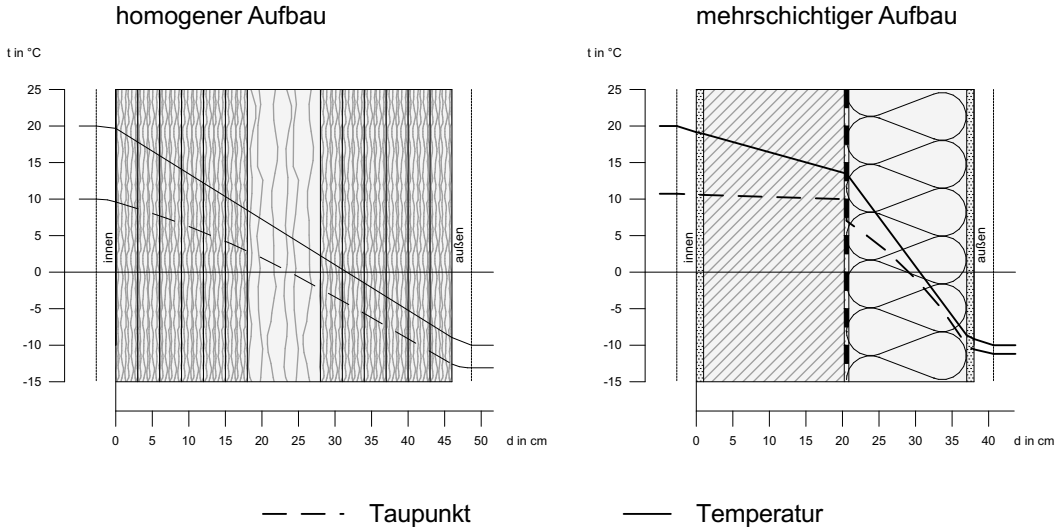


Abbildung 3.1.1: Vergleich der Verläufe von Temperatur und Taupunkt

Im mehrschichtigen Wandsystem wird zur Vermeidung von Tauwasser eine Dampfsperre eingesetzt. Sie ist vor allem nötig, da sich die Eigenschaften der Materialien bezüglich der Dampfdiffusion ändert und es so schnell zur Kondensation kommen kann. Dies wird in der Grafik durch den abfallenden Verlauf der Taupunktklinie im Bereich der Dampfbremse deutlich.

Im homogenen Wandsystem wird eine plötzliche Änderung der Dampfdiffusion vermieden, wodurch die Temperatur und der Wassergehalt der Luft gleichmäßig durch die Wand abnehmen. Entsprechende Darstellungen und Nachweise zum entwickelten System befinden sich im Kapitel 4.4.3.2. Lediglich der U-Wert der Wand muss ausreichend hoch sein, damit die Oberflächentemperaturen an der Innen- und Außenseite gegenüber den Lufttemperaturen nicht zu unterschiedlich sind, sonst würde Wasser auf der Oberfläche kondensieren und es in der Folge zur Schimmelbildung kommen.

### 3.1.2 Wärmekapazität

Homogene Wandsysteme sind verglichen mit ihren verwandten mehrschichtigen Aufbauten in der Regel schwerer (Vergleich von z.B. 24cm Mauerwerk mit 12cm Dämmung zu 36cm Mauerwerk), da der Konstruktionswerkstoff auch als Dämmstoff zur Anwendung kommt. Dies führt auch zu dickeren Aufbauten, wird aber durch bessere physikalische Eigenschaften aufgewogen.

Die hohe Masse führt in erster Linie zu einer höheren Wärmekapazität des Aufbaus. Das bedeutet es wird mehr Energie pro Kelvin Temperaturerhöhung benötigt. Temperaturspitzen werden dadurch abgefangen und Temperaturschwankungen sind ausgeglichener.

### 3.1.3 Dämmung

Da das eingesetzte Material sowohl als Dämmstoff, als auch zur Konstruktion eingesetzt wird, müssen bei rein homogenen Systemen keine erdölbasierten Dämmstoffe wie XPS oder EPS eingesetzt werden. In manchen Fällen wird eine Zusatzdämmung angebracht, welche aber auch mit natürlichen und / oder nachhaltigen Materialien ausgeführt werden kann.

### 3.1.4 Materialverbrauch

Im Gegensatz zu inhomogenen Systemen wird von einem Material wesentlich mehr verbraucht. So benötigt man für eine reine Holzwand größere Querschnitte, bzw. Dicken, als für eine Kombination aus verschiedenen Stoffen. Es ist also zu beachten, dass dieser erhöhte Materialverbrauch nicht zu einem übermäßigen Verbrauch von Holz führt und dieser nachhaltig stattfindet.



## 3.2 Beispiele für Holzsysteme

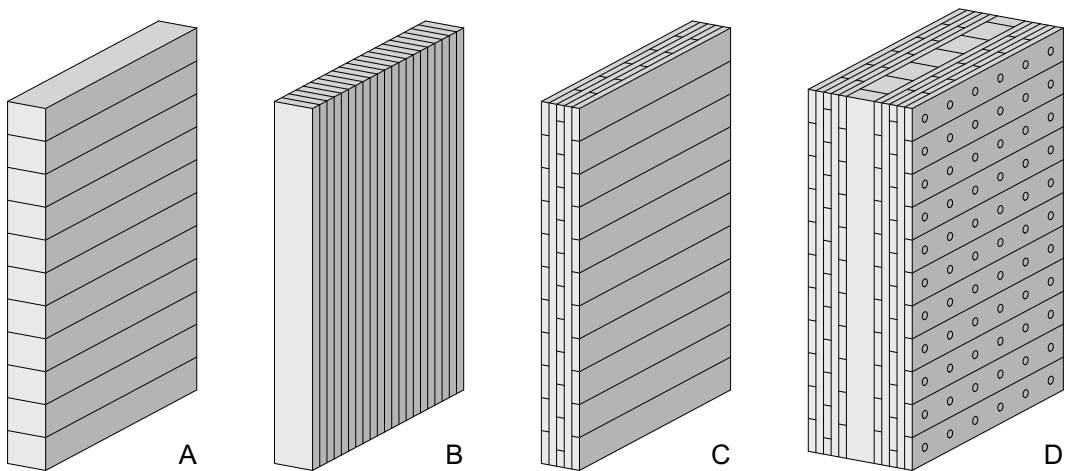


Abbildung 3.2.1: verschiedene Wandsysteme aus Holz<sup>1</sup>

### Verbindungsarten

Die Systeme bestehen aus Holzschichten, welche durch Nägel, Dübel, Leim oder konstruktive Lösungen zusammengehalten werden.

### A einlagig liegend

Dieses System wird zum Beispiel bei Blockhütten angewendet, bei denen ganze Baumstämme aufeinander gelegt werden. Meist halten diese dann konstruktiv an den Hausecken zusammen.

<sup>1</sup> angelehnt an: Kolb, Josef; Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich & DGfH Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München (Hrsg.): *Holzbau mit System*. Basel: Birkhäuser Verlag AG, 2007, S.114f.

### **B einlagig stehend**

Mehrere Brettlagen werden hier miteinander horizontal verdübelt. Die Konstruktion wird meistens dann noch mit einzelnen Holzlagen verkleidet. Das Problem der Luftdichtigkeit wird mit durch das Abkleben mit Dichtungsbändern erreicht. Dieses Problem ergibt sich durch den Aufbau der Wand.

### **C kreuzweise**

Durch die kreuzweise Anordnung der Holzlagen, kann dem Problem der Luftdichtigkeit entgegen gewirkt werden. Es gibt keine Fuge, die durch die gesamte Wand läuft.

### **D kreuzweise mit Kern**

Kombiniert man die kreuzweise Anordnung mit einem inneren, tragenden Kern, erhält man diese Konstruktion. Sie kann mehr Lasten aufnehmen und ist auch für größere Gebäude geeignet. Der Querschnitt ist auch größer, was aber zu besserer Dämmung und Wärmespeicherkapazität führt.

Bis auf das erste System profitieren alle anderen davon aus kleinen Querschnitten große massive Holzwände zu bauen, welche dann wieder als homogenes Wandsystem funktionieren. Diese Systeme sind außerdem auch als Deckenkonstruktion möglich.



## **Teil 4**

# **Entwicklung des Systems**



# 4.1 Grundüberlegungen

## 4.1.1 Holzart

Aus den Untersuchungen der Holzarten ergibt sich Lärche als belastbarstes und sowohl für den Innen- als auch Außenraum am besten geeignetes Holz. Es ist allerdings gegenüber Fichtenholz teurer. Als Konstruktionsholz bietet Fichte ausreichende statische Eigenschaften. Es wird daher als Blindholz verwendet. Lärchenholz kommt auf Grund seiner guten Oberfläche und Beständigkeit als Verkleidung zum Einsatz.

## 4.1.2 Maße

Mit dem entwickelten System soll mindestens ein 5-stöckiges Mehrfamilienhaus gebaut werden. Somit sind viele statische und bauphysikalischen Faktoren weit ausgereizt, um auch für alle kleineren Gebäude zu funktionieren. Die Geschosshöhe hat sich aus dem Entwurf mit 3,08m ergeben. Für diese Höhe werden alle statischen Berechnungen und Details angefertigt. Eine erste angenommene Spannweite von 4 Metern hat sich im Lauf des Entwurfs als nicht praxistauglich herausgestellt und wurde auf 6 Meter erweitert. Näheres dazu in den nächsten Kapiteln.

## 4.1.3 Quellen und Schwinden

Zu beachten ist außerdem das Quell- und Schwindverhalten des Holzes. Besonders an den Fenstern ist dies wichtig, da sich diese nicht im gleichen Maß, wie das umgebende Holz verformen.

### 4.1.4 Statische Angaben

#### 4.1.4.1 Charakteristische Werte für Nadelholz (Fichte) C24

Diese folgenden Angaben sind für die weiteren Berechnungen von Bedeutung und werden hier einmalig angegeben.

Biegespannung:

$$f_{m,k} = 24 \frac{N}{mm^2}$$

Schubspannung:

$$f_{v,h} = 2 \frac{N}{mm^2}$$

Druckspannung || Faser:

$$f_{c,0,k} = 21 \frac{N}{mm^2}$$

E-Modul: || Faser:

$$E_{0,mean} = 11.000 \frac{N}{mm^2}$$

#### 4.1.4.2 Bemessungswerte der Beanspruchung

Modifikationsbeiwert für Vollholz:

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

Teilsicherheitsbeiwert Holz:

$$\gamma_m = 1,3$$

Biegefestigkeit:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{m,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 24 \frac{N}{mm^2} = 14,77 \frac{N}{mm^2}$$

Schubfestigkeit:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,3} \cdot 2 \frac{N}{mm^2} = 1,23 \frac{N}{mm^2}$$

Klasse der Lasteinwirkungsdauer = mittel und Nutzungsklasse 1 & 2:

$$k_{mod} = 0,8 \text{ nach } \ddot{O}NORM \text{ EN } 1995-1-1:2009-07, \text{ Tab. 3.1}$$

## 4.1.5 Bauphysikalische Angaben

$R_{Sa} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  ... Wärmeübergangswiderstand außen nach DIN V 18599

$R_{Si} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  ... Wärmeübergangswiderstand innen nach DIN V 18599

Tabelle 4.1.1: Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten<sup>1</sup>

Dicke in mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R \text{ in } \frac{\text{m}^2 \text{ K}}{\text{W}} \cdot 10^3$	0	22	44	66	99	110	120	130	137	143	150

<sup>1</sup> interpoliert nach: Cziensielki, Erich: *Bauphysik Kalender*. Berlin: Ernst & Sohn, 2005, Tabelle 6, S.184.



# 4.2 Decke

## 4.2.1 System 1

Aus den Möglichkeiten der verschiedenen Deckenaufbauten wird als erstes ein Deckenaufbau untersucht, welcher aus Primärbalken besteht, zwischen denen sich eine Brettstapeldecke befindet, welche mit Sand bedeckt ist. Das soll vor allem dem Schallschutz dienen.

Eine Spannweite von 4 Metern sollte für den Entwurf ausreichend sein. Außerdem entstehen dadurch nicht zu hohe Deckenaufbauten.

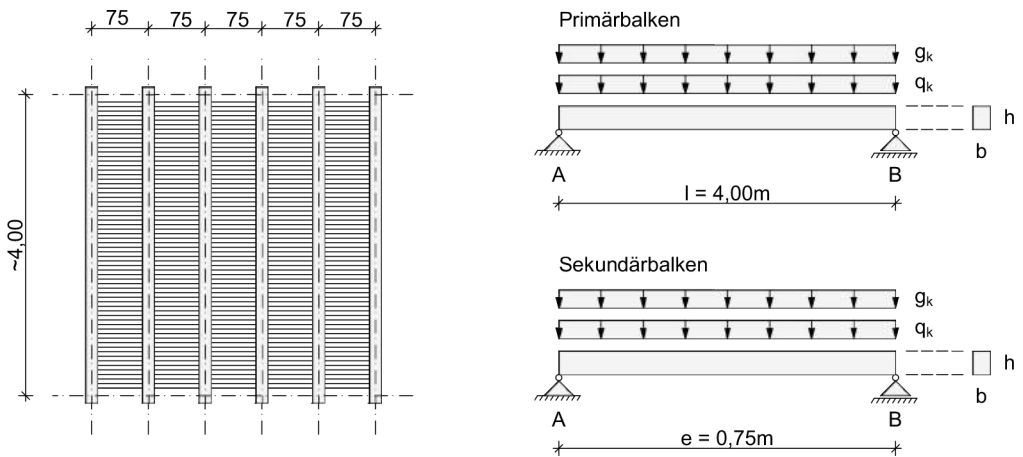


Abbildung 4.2.1: statisches System der Deckenbalken

$l$  ... Auflagerabstand,  $e$  ... Balkenabstand,  $h$  ... Balkenhöhe,  $b$  ... Balkenbreite  
 $g_k$  ... ständige Lasten,  $q_k$  ... veränderliche Lasten

### 4.2.1.1 Abschätzen der Dimensionen

Die Dimensionen werden für die Lastannahmen mit Hilfe der 10-20-30-Regel abgeschätzt. Diese besagt, dass die Höhe des primären Stahlbetonträgers  $\frac{l}{20}$  seiner Spannweite beträgt. Für Holz beträgt dieser Wert  $\frac{l}{15}$ . Für den Sekundärbalken gilt analog  $h = \frac{l}{25}$ .

Primärbalken

$$l = 4m$$

$$h = \frac{l}{15} = \frac{4m}{15} = 0,26\bar{6}m$$

$$\text{gewählt: } h = 0,26m$$

$$\frac{b}{h} = \frac{5}{7}$$

$$\Rightarrow b = \frac{5}{7} \cdot h = \frac{5}{7} \cdot 0,26m = 0,186m$$

$$\text{gewählt: } b = 0,20m$$

Querschnitt 20/26

Sekundärbalken

Da sich auf dem Sekundärbalken Sand befindet, wird zur Sicherheit eine Ersatzweite von 3m angenommen.

$$l = 3m$$

$$h = \frac{l}{25} = \frac{3m}{25} = 0,12m$$

$$\text{gewählt: } h = 0,16m$$

(größere Höhe als Sicherheit)

$$\frac{b}{h} = \frac{5}{7}$$

$$\Rightarrow b = \frac{5}{7} \cdot h = \frac{5}{7} \cdot 0,16m \approx 0,114m$$

$$\text{gewählt: } b = 0,12m$$

Querschnitt 12/16



### 4.2.1.2 Vorläufiger Aufbau

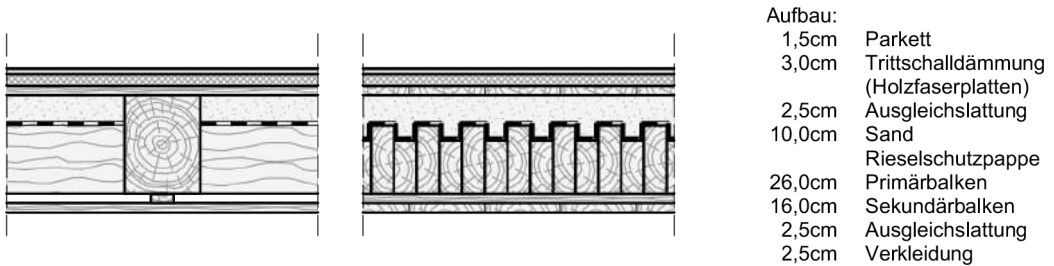


Abbildung 4.2.2: vorläufiger Deckenaufbau nach Abschätzung - Detail M 1:20

### 4.2.1.3 Bemessung nach ÖNORM 1990 und 1991

#### Charakteristische Einwirkungen

Tabelle 4.2.1: Lastzusammenstellung nach Abschätzung

Gegenstand	Dicke in <i>cm</i>	Wichte in $\frac{kN}{m^3}$	Last in $\frac{kN}{m^2}$
Primärbalken 20/26 alle 75cm (Fichte C24)		4,7	0,33
Parkett	1,5	6,0	0,09
Trittschalldämmung (Holzfaser)	3,0		0,04
Dielung (Fichte C24)	2,5	4,7	0,12
Sand	10,0	18,0	1,80
Rieselschutz	0,1		0,01
Sekundärbalken (Fichte C24)	16	4,7	0,76
Ausgleichslattung (Fichte C24)	2,5	4,7	0,10
Verkleidung (Lärche)	2,5	5,7	0,15
$\Sigma$ ständige Lasten $g_k$			3,40
Nutzlast nach ÖNORM B 1991-1-1:2006-01, Tab. 2			2,00
Trennwandzuschlag nach ÖNORM EN 1991-1-1:2003-03, Abs. 6.3.1.2 (8)			0,80
$\Sigma$ veränderliche Lasten $q_k$			2,80

## Lastfallkombinationen für Tragfähigkeitsnachweis

Lastfallkombination 1: nur ständige Lasten  $g_k$

$$g_d = 1,35 \cdot g_k = 1,35 \cdot 3,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 4,59 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Lastfallkombination 2: ständige Lasten und veränderliche Lasten  $g_k + q_k$

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 1,35 \cdot 3,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 2,80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 8,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Maßgebend ist die Lastfallkombination 2 und wird daher weiter verfolgt.

## Bemessungswerte und Auflagerreaktionen

Bemessungsmoment für LK2 (pro Balken  $e = 0,75\text{m}$ )

$$\begin{aligned} M_d &= \sum q_d \cdot \frac{l^2}{8} \cdot e = 8,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{(4,0\text{m})^2}{8} \cdot 0,75\text{m} \\ &= 13,19\text{kNm} \end{aligned}$$

Bemessungsquerkraft für LK2 (pro Balken  $e = 0,75\text{m}$ )

$$\begin{aligned} V_d &= \sum q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 8,79 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{4,0\text{m}}{2} \cdot 0,75\text{m} \\ &= 13,19\text{kNm} \end{aligned}$$

Charakteristische Auflagerreaktionen für LK2

$$\begin{aligned} A_{g,k} = B_{g,k} &= 1,35 \cdot \sum g_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,35 \cdot 3,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{4\text{m}}{2} \cdot 0,75\text{m} \\ &= 6,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{q,k} = B_{q,k} &= 1,5 \cdot \sum q_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,5 \cdot 2,80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{4\text{m}}{2} \cdot 0,75\text{m} \\ &= 6,30 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

**Vorbemessung**

erforderliches Widerstandsmoment:

$$W_{y,reg} = \frac{M_d}{f_{m,d}} = \frac{13,19kNm}{14,77 \frac{N}{mm^2}} = 894cm^3$$

$$\text{gewählt: } \frac{b}{h} = \frac{14cm}{20cm}$$

$$W_{y,vorh.} = 933cm^3$$

**Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Biegebemessung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{13,19kNm}{933cm^3} = 14,14 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{14,14 \frac{N}{mm^2}}{14,77 \frac{N}{mm^2}} = 0,92 < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Schubbemessung:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{13,19kN}{280cm^2} = 0,48 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,48 \frac{N}{mm^2}}{1,23 \frac{N}{mm^2}} = 0,40 < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

## Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Kriechbeiwert für Nutzungsklasse 1

$$k_{def} = 0,6$$

Berechnung der Durchbiegungen

$$\begin{aligned} E \cdot I &= E_{0,mean} \cdot I_y = E_{0,mean} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 11.000 \frac{kN}{mm^2} \cdot \frac{14cm \cdot (20cm)^3}{12} \\ &= 1026,7kNm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{g,inst} &= \frac{5}{384} \cdot g_k \cdot \frac{l^4}{E \cdot I} \cdot e = \frac{5}{384} \cdot 3,40 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{(4m)^4}{1026,7kNm^2} \cdot 0,75m \\ &= 0,83cm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{g,fin} &= W_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,83cm \cdot (1 + 0,6) \\ &= 1,33cm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{q,inst} &= \frac{5}{384} \cdot q_k \cdot \frac{l^4}{E \cdot I} \cdot e = \frac{5}{384} \cdot 2,80 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{(4m)^4}{1026,7kNm^2} \cdot 0,75m \\ &= 0,69cm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{q,fin} &= W_{q,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,69cm \cdot (1 + 0,6) \\ &= 1,11cm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{fin} &= W_{g,fin} + W_{q,fin} = 1,33cm + 1,11cm \\ &= 2,44cm \end{aligned}$$

Nachweis

es muss gelten:

$$\begin{aligned} W_{q,inst} &\leq \frac{l}{300} = \frac{400cm}{300} = 1,33cm \\ W_{fin} - W_{q,inst} &\leq \frac{l}{200} = \frac{400cm}{200} = 2,00cm \\ W_{fin} &\leq \frac{l}{250} = \frac{400cm}{250} = 1,60cm \end{aligned}$$

Berechnung

$$W_{q,inst} = 0,69\text{cm} < 1,3\text{cm} \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

$$W_{fin} - W_{q,inst} = 1,75\text{cm} < 2,0\text{cm} \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

$$W_{fin} = 2,44\text{cm} > 1,6\text{cm} \Rightarrow \text{Nachweis nicht erbracht}$$

Es muss ein besser auf das Trägheitsmoment optimierter Querschnitt gewählt werden. Die folgenden Berechnungen werden tabellarisch dargestellt und erfolgen analog der bereits durchgeführten Berechnung der Durchbiegung.

Tabelle 4.2.2: Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte

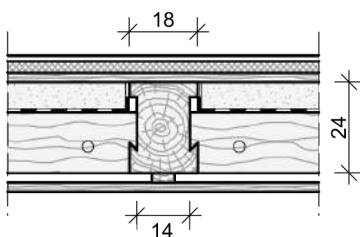
Maße (b/h) [cm]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$E \cdot I$ [kNm <sup>2</sup> ]	$W_{g,inst}$ [cm]	$W_{q,inst}$ [cm]	$W_{fin}$ [cm]	$W_{fin} - W_{q,inst}$ [cm]
14/20	9333	1026,67	0,83	0,68	2,42	1,74
14/22	12423	1366,49	0,62	0,51	1,81	1,30
16/22	14197	1561,71	0,54	0,45	1,59	1,14
14/24	16128	1774,08	0,48	0,39	1,40	1,01
18/24	20736	2280,96	0,37	0,31	1,09	0,78

es muss gelten:

$$\begin{aligned} &\leq \frac{l}{300} && \leq \frac{l}{250} && \leq \frac{l}{200} \\ &\leq 1,33 && \leq 1,60 && \leq 2,00 \end{aligned}$$

Die Tabelle zeigt, dass der Querschnitt 16/22 die Bedingungen knapp erfüllt. Es wird daher ein Minimalquerschnitt von 14/24 gewählt.

#### 4.2.1.4 Endgültiger Aufbau - System 1



Aufbau:	
1,5cm	Parkett
3,0cm	Trittschalldämmung
2,5cm	(Holzfaserplatten)
	Ausgleichslattung
10,0cm	Sand
	Rieselschutzpappe
24,0cm	Primärbalken
14,0cm	Sekundärbalken
2,5cm	Ausgleichslattung
2,5cm	Verkleidung

Abbildung 4.2.3: endgültiger Deckenaufbau - Detail M 1:20

Entsprechend der Berechnungen beträgt die minimale Dimension des Primärbalkens 14/24. Die Sekundärbalken werden mit einem Schwalbenschwanz an diesem befestigt. Dadurch benötigt der Balken eine Gesamtdimension von 18/24 und erfüllt so an allen Stellen den Tragfähigkeitsnachweis.

### **4.2.1.5 Zusammenfassung**

Aus den vorangegangenen Berechnungen folgten Probleme für den Entwurf. So zeigte sich, dass eine Maximalspannweite von 4 Metern nicht ausreichend ist. Des Weiteren erschien die Kombination einer verzahnten Brettstapeldecke mit Sand als wenig sinnvoll.

Dies war der Grund, um ein neues System zu entwickeln.

## 4.2.2 System 2 - Wohnungstrenndecke

Die entstandenen Probleme sollten nun im zweiten Deckensystem gelöst werden. Eine hohe Masse ist auf Grund des Schallschutzes nötig. Daher wird die Art des Auflagers auf den Wänden verändert und es kommt eine Brettstapeldecke zum Einsatz. Diese liegt über die gesamte Wand auf und hat außerdem den Vorteil, dass weniger große Holzquerschnitte verwendet werden können. Außerdem wird die Decke nun für eine Spannweite von 6m berechnet, um mehr Freiheit im Entwurf zu erreichen.

Die hier berechnete Decke dient der Trennung von Wohnungen, weswegen der Schallschutz eingehalten werden muss. Da der Schallschutz im Holzbau nur experimentell und nicht rechnerisch ermittelt werden kann und die Masse der Konstruktion entscheidend ist, orientiert sich der Aufbau an einer bereits bestehenden und geprüften Konstruktion (Abb. 4.2.4) von der Website [www.dataholz.at](http://www.dataholz.at)<sup>1</sup>, welche ein Eigengewicht von  $271,3\text{kg/m}^2$ , einen Luftschallschutz von 48dB und einen Trittschallschutz von 58dB hat.

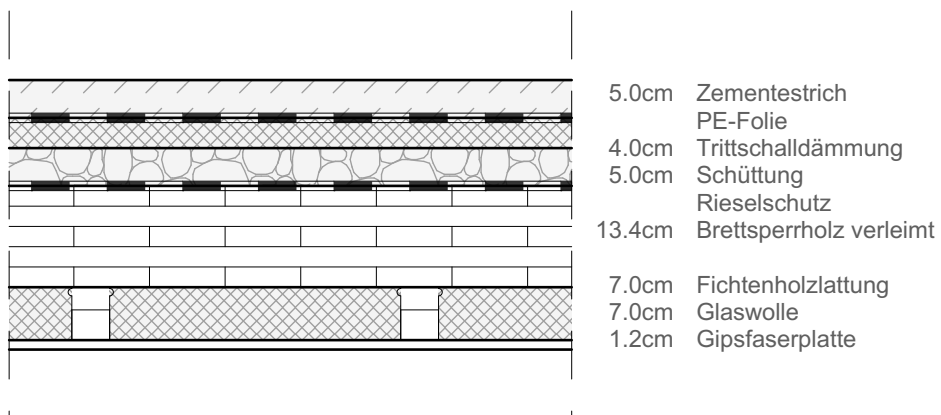


Abbildung 4.2.4: schalltechnisch vergleichbare Decke - Detail M 1:10<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dataholz: *Trenndecke - tdmnxa01a*. 14. August 2015 Url: <http://www.dataholz.at/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?language=de&kz=tdmnxa01a>.

### 4.2.2.1 Vorläufiger Aufbau

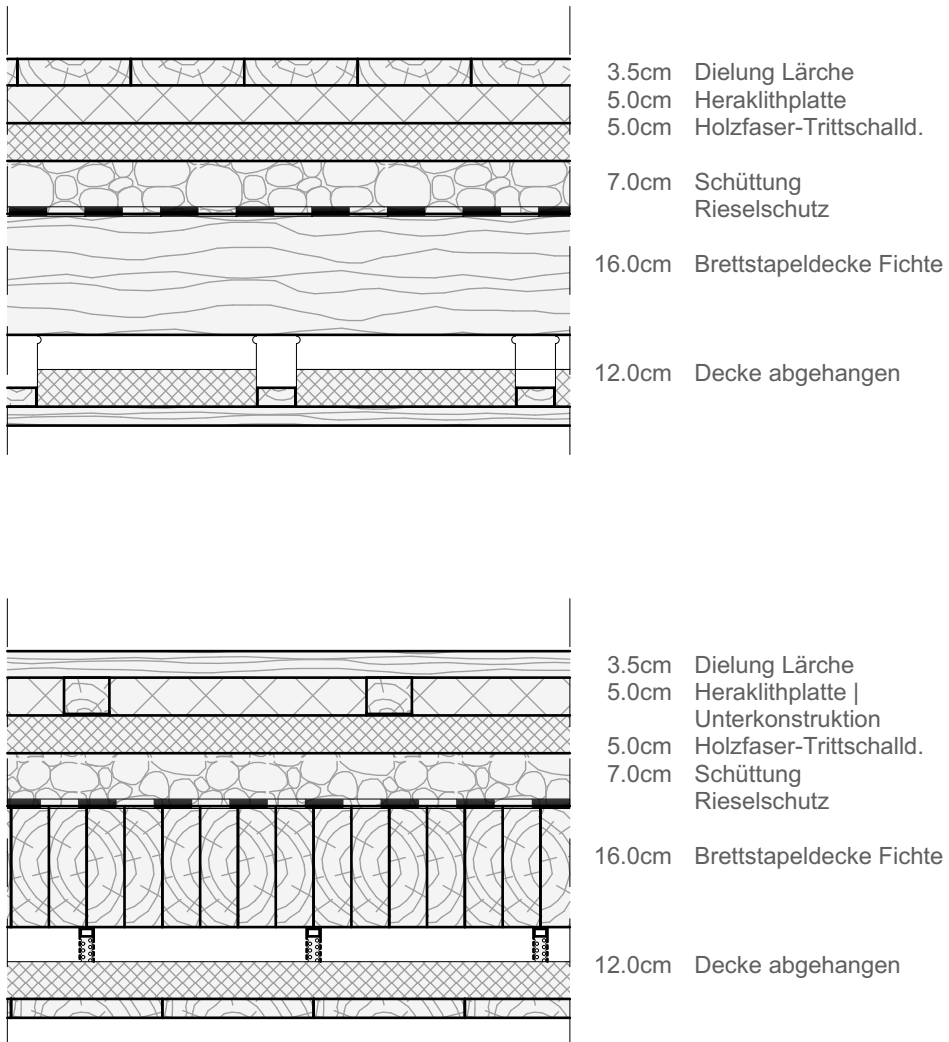


Abbildung 4.2.5: Annahme Decke - Detail M 1:10

<sup>2</sup>nach: Dataholz: *Trenndecke - tdmnxa01a*. 14. August 2015 Url: <http://www.dataholz.at/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?language=de&kz=tdmnxa01a>



### 4.2.2.2 Bemessung Decke System 2 nach ÖRNORM 1990 und 1991

#### Charakteristische Einwirkungen

Tabelle 4.2.3: Lastzusammenstellung nach Abbildung 4.3.2

Gegenstand	Dicke in <i>cm</i>	Wichte in $\frac{kN}{m^3}$	Last in $\frac{kN}{m^2}$
Dielen (Lärche)	3,5	6,0	0,21
Heraklithplatten (85%)	4,0		0,20
Lattung (Fichte, 15%)	5,0	4,7	0,04
Schüttung	7,0	18,0	1,26
Rieselschutz			0,01
Brettstapel (Fichte)	16,0	4,7	0,76
Lattung (15%)	2,5	4,7	0,02
Holzfasерplatten	5,0		0,10
Verkleidung (Lärche)	2,5	5,7	0,15
$\Sigma$ ständige Lasten $g_k$			2,75
Nutzlast nach ÖNORM B 1991-1-1:2006-01, Tab. 2			2,00
Trennwandzuschlag nach ÖNORM EN 1991-1-1:2003-03, Abs. 6.3.1.2 (8)			0,80
$\Sigma$ veränderliche Lasten $q_k$			2,80

#### Lastfallkombinationen

Bemerkung: Da nur der Lastfall II für die Bemessung entscheidend ist, wird nur noch dieser betrachtet.

Lastfallkombination 2: ständige Lasten und veränderliche Lasten  $g_k + q_k$

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 1,35 \cdot 2,75 \frac{kN}{m^2} + 1,5 \cdot 2,80 \frac{kN}{m^2} = 7,92 \frac{kN}{m^2}$$

## Bemessungswerte und Auflagerreaktionen

Bemessungsmoment für LK2 (pro Brett im Brettstapel  $e = 0,05m$ )

$$\begin{aligned} M_d &= \sum q_d \cdot \frac{l^2}{8} \cdot e = 7,92 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{(6,0m)^2}{8} \cdot 0,05m \\ &= 1,782kNm \end{aligned}$$

Bemessungsquerkraft für LK2 (pro Brett im Brettstapel  $e = 0,05m$ )

$$\begin{aligned} V_d &= \sum q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 7,92 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{6,0m}{2} \cdot 0,05m \\ &= 1,188kNm \end{aligned}$$

Charakteristische Auflagerreaktionen für LK2

$$\begin{aligned} A_{g,k} = B_{g,k} &= 1,35 \cdot \sum g_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,35 \cdot 2,75 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{6m}{2} \cdot 0,05m \\ &= 0,56 \frac{kN}{m} \\ A_{q,k} = B_{q,k} &= 1,5 \cdot \sum q_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,5 \cdot 2,80 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{6m}{2} \cdot 0,05m \\ &= 0,63 \frac{kN}{m} \end{aligned}$$

## Vorbemessung

erforderliches Widerstandsmoment:

$$\begin{aligned} W_{y,reg} &= \frac{M_d}{f_{m,d}} = \frac{1,782kNm}{14,77 \frac{N}{mm^2}} = 121cm^3 \\ W_y &= \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow h > \sqrt{\frac{6 \cdot 121cm^3}{5cm}} = 12,05cm \end{aligned}$$

somit ist die im Detail angenommene Höhe vorerst ausreichend:

$$\frac{b}{h} = \frac{5cm}{16cm}$$

$$\begin{aligned} W_{y,vorh.} &= 213,3cm^3 \\ A &= 80cm^2 \end{aligned}$$

**Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Biegebemessung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{1,782kNm}{213,3cm^3} = 8,36 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{8,36 \frac{N}{mm^2}}{14,77 \frac{N}{mm^2}} < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Schubbemessung:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,188kN}{80cm^2} = 0,223 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,223 \frac{N}{mm^2}}{1,23 \frac{N}{mm^2}} < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Berechnungen erfolgen analog 4.2.1.3, werden aber nur noch tabellarisch dargestellt.

Tabelle 4.2.4: Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte

Maße ( $b/h$ ) [cm]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$E \cdot I$ [kNm <sup>2</sup> ]	$W_{g,inst}$ [cm]	$W_{q,inst}$ [cm]	$W_{fin}$ [cm]	$W_{fin} - W_{q,inst}$ [cm]
5/16	1706,67	187,73	1,24	1,26	3,99	2,73
5/18	2430,00	267,30	0,87	0,88	2,80	1,92
5/20	3333,33	366,67	0,63	0,64	2,04	1,40
5/22	4436,67	488,03	0,48	0,48	1,54	1,05
5/24	5760,00	633,60	0,37	0,37	1,18	0,81
5/26	7323,33	805,57	0,29	0,29	0,93	0,64
es muss gelten:				$\leq \frac{l}{300}$	$\leq \frac{l}{250}$	$\leq \frac{l}{200}$
				$\leq 2,0$	$\leq 2,4$	$\leq 3,00$

Der angenommene Querschnitt von 5/16 erfüllt die Bedingungen nicht. Entsprechend der Tabelle wird ein Querschnitt von 5/20 gewählt.

Der neue Aufbau hat somit ein Eigengewicht von 2,938kN/m<sup>2</sup>.

### 4.2.2.3 Endgültiger Aufbau

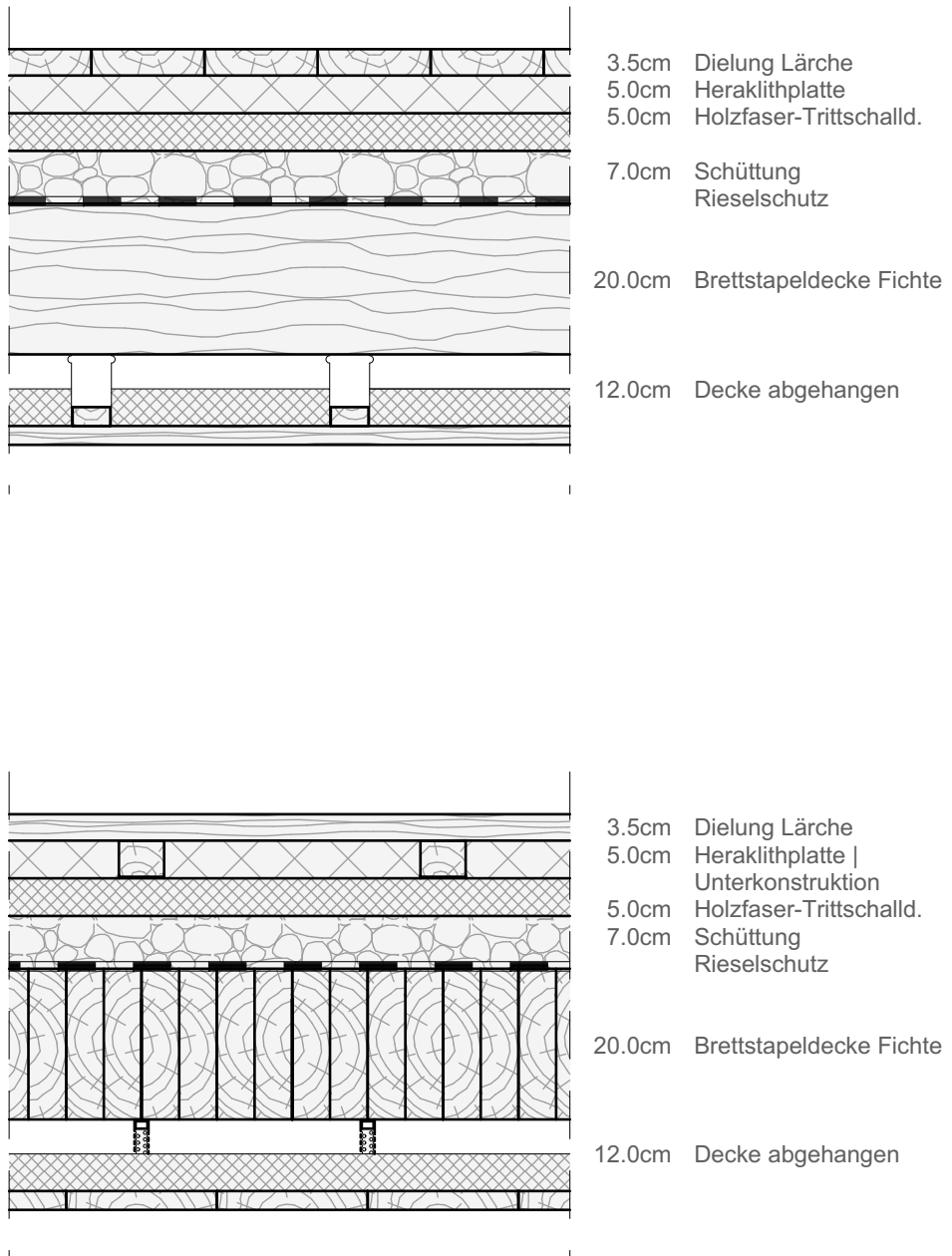


Abbildung 4.2.6: Resultat Wohnungstrenndecke - Detail M 1:10

## 4.2.3 System 2 - Decke gegen Außenraum

### 4.2.3.1 Vorläufiger Aufbau

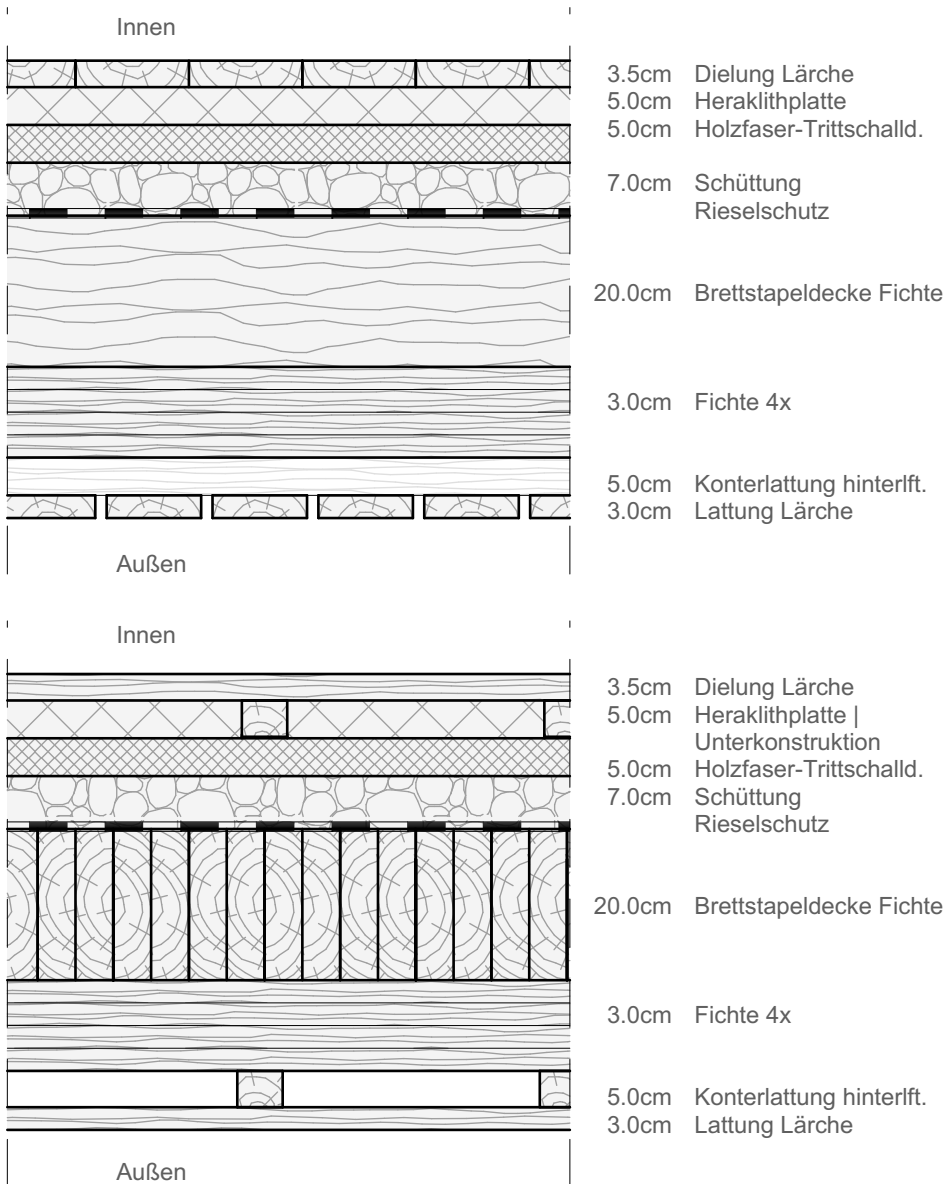


Abbildung 4.2.7: Annahme Decke gegen Außenraum - Detail M 1:10

In Entwürfen gibt es häufig Decken, welche den Außenraum vom Innenraum trennen. Diese Situationen sind zum Beispiel Auskragungen im Allgemeinen und an Balkonen und Loggien im Speziellen. Dafür muss sowohl der entsprechende U-Wert einer Wand und der Schallschutz einer Trenndecke erreicht werden.

Ausgehend von der zuvor berechneten Decke wird direkt eine Höhe der Brettstapeldecke von 20cm angenommen.

Die gesamte statische Berechnung erfolgt für eine Spannweite von 6 Metern.

Da die Gesamtkonstruktion dicker ist, als die betrachteten Wandaufbauten, wird auf einen erneuten Nachweis des U-Wertes verzichtet. Siehe dazu Kapitel 4.4.3.

#### 4.2.3.2 Bemessung nach ÖNORM 1990 und 1991

##### Charakteristische Einwirkungen

Tabelle 4.2.5: Lastzusammenstellung nach Abbildung 4.3.2

Gegenstand	Dicke in <i>cm</i>	Wichte in $\frac{kN}{m^3}$	Last in $\frac{kN}{m^2}$
Dielen (Lärche)	3,5	6,0	0,21
Heraklithplatten (85%)	4,0		0,20
Lattung (Fichte, 15%)	5,0	4,7	0,04
Schüttung	7,0	18,0	1,26
Rieselschutz			0,01
Brettstapel (Fichte)	20,0	4,7	0,94
Brettschichten (Fichte)	12,0	4,7	0,564
Lattung (15%)	5,0	4,7	0,04
Verkleidung (Lärche)	3,0	5,7	0,17
$\Sigma$ ständige Lasten $g_k$			3,434
Nutzlast nach ÖNORM B 1991-1-1:2006-01, Tab. 2			2,00
Trennwandzuschlag nach ÖNORM EN 1991-1-1:2003-03, Abs. 6.3.1.2 (8)			0,80
$\Sigma$ veränderliche Lasten $q_k$			2,80

## Lastfallkombinationen

Bemerkung: Da nur der Lastfall II für die Bemessung entscheidend ist, wird nur noch dieser betrachtet.

Lastfallkombination 2: ständige Lasten und veränderliche Lasten  $g_k + q_k$

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 1,35 \cdot 3,434 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,5 \cdot 2,80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 8,836 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## Bemessungswerte und Auflagerreaktionen

Bemessungsmoment für LK2 (pro Brett im Brettstapel  $e = 0,05\text{m}$ )

$$\begin{aligned} M_d &= \sum q_d \cdot \frac{l^2}{8} \cdot e = 8,836 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{(6,0\text{m})^2}{8} \cdot 0,05\text{m} \\ &= 1,988\text{kNm} \end{aligned}$$

Bemessungsquerkraft für LK2 (pro Brett im Brettstapel  $e = 0,05\text{m}$ )

$$\begin{aligned} V_d &= \sum q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 8,836 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{6,0\text{m}}{2} \cdot 0,05\text{m} \\ &= 1,326\text{kNm} \end{aligned}$$

Charakteristische Auflagerreaktionen für LK2

$$\begin{aligned} A_{g,k} = B_{g,k} &= 1,35 \cdot \sum g_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,35 \cdot 3,434 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{6\text{m}}{2} \cdot 0,05\text{m} \\ &= 0,70 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{q,k} = B_{q,k} &= 1,5 \cdot \sum q_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,5 \cdot 2,80 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{6\text{m}}{2} \cdot 0,05\text{m} \\ &= 0,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$



**Vorbemessung**

erforderliches Widerstandsmoment:

$$W_{y,reg} = \frac{M_d}{f_{m,d}} = \frac{1,988kNm}{14,77 \frac{N}{mm^2}} = 135cm^3$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow h > \sqrt{\frac{6 \cdot 135cm^3}{5cm}} = 12,73cm$$

somit ist die im Detail angenommene Höhe vorerst ausreichend:

$$\frac{b}{h} = \frac{5cm}{20cm}$$

$$W_{y,vorh.} = 333,3cm^3$$

$$A = 100cm^2$$

**Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Biegebemessung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{1,988kNm}{333,3cm^3} = 5,97 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{5,97 \frac{N}{mm^2}}{14,77 \frac{N}{mm^2}} < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Schubbemessung:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,326kN}{100cm^2} = 0,133 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,133 \frac{N}{mm^2}}{1,23 \frac{N}{mm^2}} < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Berechnungen erfolgen analog 4.2.1.3, werden aber nur noch tabellarisch dargestellt.

Tabelle 4.2.6: Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte

Maße ( $b/h$ ) [cm]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$E \cdot I$ [kNm <sup>2</sup> ]	$W_{g,inst}$ [cm]	$W_{q,inst}$ [cm]	$W_{fin}$ [cm]	$W_{fin} - W_{q,inst}$ [cm]
5/18	2430,00	267,30	1,08	0,88	3,15	2,26
5/20	3333,33	366,67	0,79	0,64	2,30	1,65
5/22	4436,67	488,03	0,59	0,48	1,72	1,24
5/24	5760,00	633,60	0,46	0,37	1,33	0,96
5/26	7323,33	805,57	0,36	0,29	1,04	0,75
es muss gelten:				$\leq \frac{l}{300}$	$\leq \frac{l}{250}$	$\leq \frac{l}{200}$
				$\leq 2,0$	$\leq 2,4$	$\leq 3,00$

Der angenommene Querschnitt von 5/20 erfüllt die Bedingungen. Eine Reduzierung auf 5/18 ist nicht möglich.

### 4.2.3.3 Bauphysikalische Untersuchung

Tabelle 4.2.7: U-Wert-Berechnung für Decke

Bauteil	Anzahl n	d in mm	$\lambda$ in W/mK	$R_n$ in $\frac{m^2W}{K}$
Wärmeübergang innen				0,040
Dielen	1	3,5	0,12	0,292
Heraklithplatten	1	5,0	0,092	0,543
Holzfaserplatten	1	5,0	0,045	1,111
Kiesschüttung	1	7,0	0,7	0,100
Holz	1	20,0	0,13	1,538
Holz	3	2,6	0,13	0,600
Holz	1	2,8	0,13	0,215
Luft (ruhend)	4	0,4	0,088	0,182
Wärmeübergang außen				0,130
4,751920374 $\Sigma$		52,7		4,752

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{4,598} \frac{K}{m^2W} = 0,210$$

Der berechnete U-Wert ist ausreichend. Somit entspricht der angenommene Aufbau dem endgültigen.



## 4.3 Dach

### 4.3.1 Flachdach

#### 4.3.1.1 Vorläufiger Aufbau

Ausgehend von dem bereits entwickelten Aufbau der Decken, wird nun ein Flachdach entwickelt. Dazu wird das System der Brettstapeldecke übernommen und mit der Konstruktion der Außenwände kombiniert, um einen ausreichenden U-Wert zu erreichen. Um das Entstehen von Tauwasser zu vermeiden, wird es hinterlüftet ausgeführt.

Zum einen muss die Statik auf Grund des neuen Aufbaus kontrolliert und gegebenenfalls verbessert werden. Da der U-Wert bereits bei den Wänden ausreichend ist und der Aufbau des Daches analog geschieht, ist ein erneuter Nachweis hier nicht erforderlich.

Es wird auch bereits eine abgehängte Decke eingeplant, um im Entwurf auf diese zurückgreifen zu können.

Die entstehende Durchbiegung muss im Entwurf berücksichtigt werden, da die Neigung des Flachdaches (mindestens 2%) durch diese beeinflusst wird.

In der Abbildung 4.3.2 wird bereits eine statische Höhe von 18cm angenommen, da der Aufbau sichtbar schwerer ist.

Die gesamte statische Berechnung erfolgt für eine Spannweite von 6 Metern.

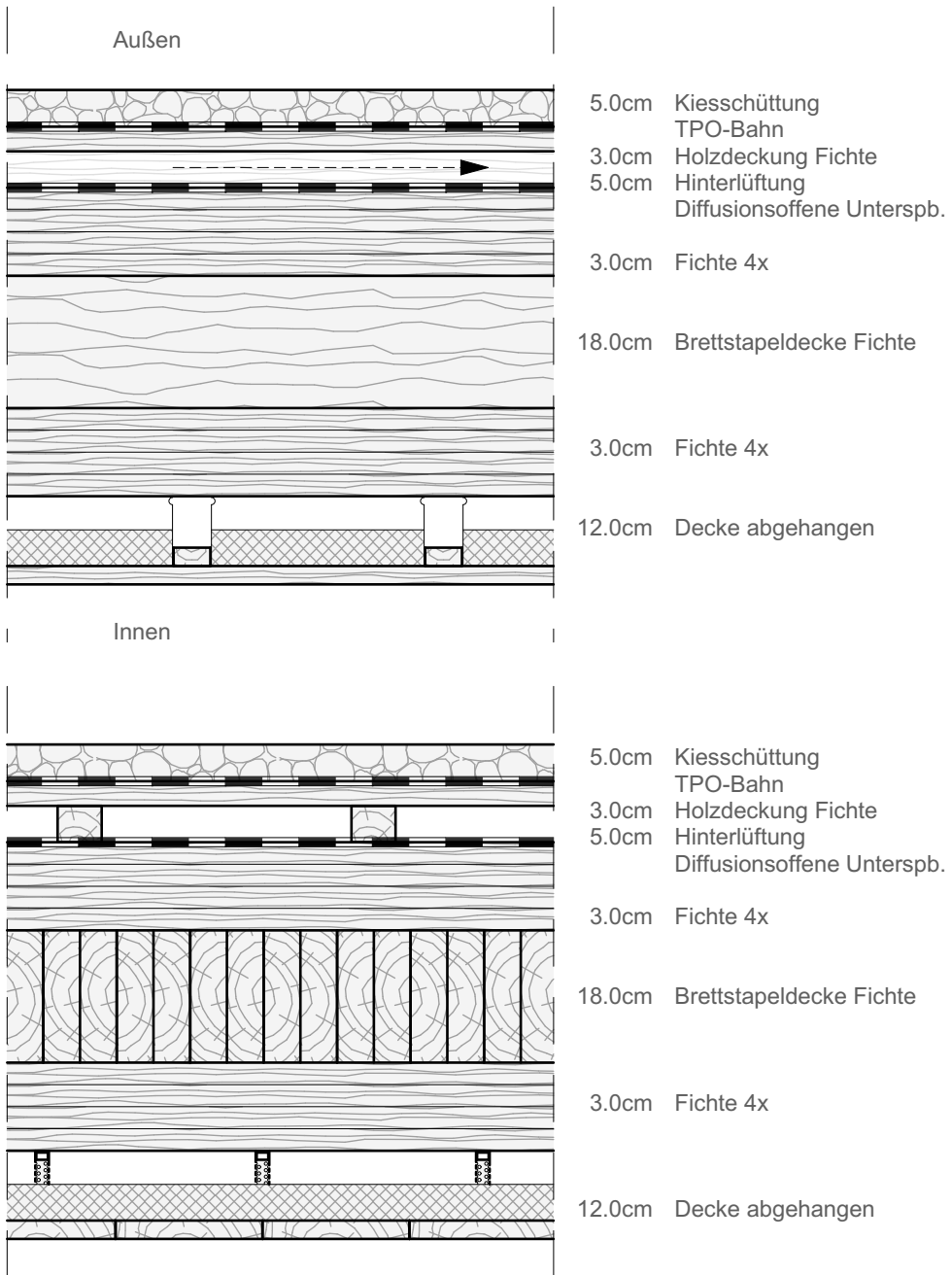


Abbildung 4.3.1: Annahme Flachdachaufbau ohne Neigung - Detail M 1:10

### 4.3.1.2 Bemessung nach ÖNORM 1990 und 1991

#### Charakteristische Einwirkungen

Tabelle 4.3.1: Lastzusammenstellung nach Abbildung 4.3.2

Gegenstand	Dicke in <i>cm</i>	Wichte in $\frac{kN}{m^3}$	Last in $\frac{kN}{m^2}$
Kiesschüttung	5,0	18,00	0,90
Abdichtungsbahn			0,01
Unterkonstruktion (Fichte)	3,5	4,70	0,17
Konterlattung (Fichte, 15%)	5,0	4,70	0,05
Fichtenholz	46,0	4,70	2,16
Abgehängte Decke:			
Holzfasерplatten	5,0		0,10
Verkleidung (Lärche)	2,5	5,70	0,15
$\Sigma$ ständige Lasten $g_k$			3,542
Nutzlast nach ÖNORM B 1991-1-1:2006-01, Tab. 2			2,000
Schneelast nach ÖNORM Graz ( $1,63kN/m^2$ )			
Flachdach (Formbeiwert 0,8)			1,304
$\Sigma$ veränderliche Lasten $q_k$			3,304

#### Lastfallkombinationen

Bemerkung: Da nur der Lastfall II für die Bemessung entscheidend ist, wird nur noch dieser betrachtet.

Lastfallkombination 2: ständige Lasten und veränderliche Lasten  $g_k + q_k$

$$q_d = 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 1,35 \cdot 3,542 \frac{kN}{m^2} + 1,5 \cdot 3,304 \frac{kN}{m^2} = 9,738 \frac{kN}{m^2}$$

## Bemessungswerte und Auflagerreaktionen

Bemessungsmoment für LK2 (pro Brett im Brettstapel  $e = 0,05m$ )

$$M_d = \sum q_d \cdot \frac{l^2}{8} \cdot e = 9,738 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{(6,0m)^2}{8} \cdot 0,05m$$

$$= 2,19kNm$$

Bemessungsquerkraft für LK2 (pro Brett im Brettstapel  $e = 0,05m$ )

$$V_d = \sum q_d \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 9,738 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{6,0m}{2} \cdot 0,05m$$

$$= 1,46kNm$$

Charakteristische Auflagerreaktionen für LK2

$$A_{g,k} = B_{g,k} = 1,35 \cdot \sum g_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,35 \cdot 3,542 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{6m}{2} \cdot 0,05m$$

$$= 0,72 \frac{kN}{m}$$

$$A_{q,k} = B_{q,k} = 1,5 \cdot \sum q_k \cdot \frac{l}{2} \cdot e = 1,5 \cdot 3,304 \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{6m}{2} \cdot 0,05m$$

$$= 0,74 \frac{kN}{m}$$

## Vorbemessung

erforderliches Widerstandsmoment:

$$W_{y,reg} = \frac{M_d}{f_{m,d}} = \frac{2,19kNm}{14,77 \frac{N}{mm^2}} = 148cm^3$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} \Rightarrow h > \sqrt{\frac{6 \cdot 148cm^3}{5cm}} = 13,33cm$$

somit ist die im Detail angenommene Höhe vorerst ausreichend:

$$\frac{b}{h} = \frac{5cm}{18cm}$$

$$W_{y,vorh.} = 270cm^3$$

$$A = 90cm^2$$



## Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Biegebemessung:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{2,19 \text{ kNm}}{270 \text{ cm}^3} = 8,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{8,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{14,77 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Schubbemessung:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,46 \text{ kN}}{90 \text{ cm}^2} = 0,243 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{0,243 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

## Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Die Berechnungen erfolgen analog 4.2.1.3, werden aber nur noch tabellarisch dargestellt.

Tabelle 4.3.2: Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte

Maße (b/h) [cm]	$I_y$ [cm <sup>4</sup> ]	$E \cdot I$ [kNm <sup>2</sup> ]	$W_{g,inst}$ [cm]	$W_{q,inst}$ [cm]	$W_{fin}$ [cm]	$W_{fin} - W_{q,inst}$ [cm]
5/18	2430,00	267,30	1,12	0,88	3,20	2,32
5/20	3333,33	366,67	0,82	0,64	2,34	1,69
5/22	4436,67	488,03	0,61	0,48	1,75	1,27
5/24	5760,00	633,60	0,47	0,37	1,35	0,98
5/26	7323,33	805,57	0,37	0,29	1,06	0,77
es muss gelten:				$\leq \frac{l}{300}$	$\leq \frac{l}{250}$	$\leq \frac{l}{200}$
				$\leq 2,0$	$\leq 2,4$	$\leq 3,00$

Der angenommene Querschnitt von 5/18 erfüllt die Bedingungen nicht. Entsprechend der Tabelle wird ein Querschnitt von 5/20 gewählt. Die maximale Durchbiegung von 2,34cm muss im Entwurf des Flachdaches berücksichtigt werden.

Die minimale Dachneigung bei der Wasser abfließen kann, liegt bei 2%, bzw. 1.1°. Die Durchbiegung von 2,34cm auf 3m (Mitte der Konstruktion) entspricht 0,78% oder 0,45°. Die Dachneigung muss entsprechend mindestens 2,78% oder 1,55° betragen.

Das Eigengewicht der Konstruktion hat sich außerdem auf 3,636 kN/m<sup>2</sup> erhöht.

### U-Wert

Tabelle 4.3.3: Berechnung U-Wert Wandsystem A

Bauteil	Anzahl n	d in mm	$\lambda$ in W/mK	$R_n$ in $\frac{m^2W}{K}$
Wärmeübergang innen				0,040
Holz	2	33	0,13	0,508
Holz	6	31	0,13	1,431
Holz	1	196	0,13	1,508
Luftschicht (ruhend)	8	4	0,088	0,704
Wärmeübergang außen				0,130
$\Sigma$		380		4,321

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{4,32} \frac{K}{Wm^2} = 0,231 \frac{K}{Wm^2}$$

Der U-Wert liegt unter den geforderten  $0,24 \frac{K}{Wm^2}$  und ist somit ausreichend.

## 4.3.1.3 Endgültiger Aufbau

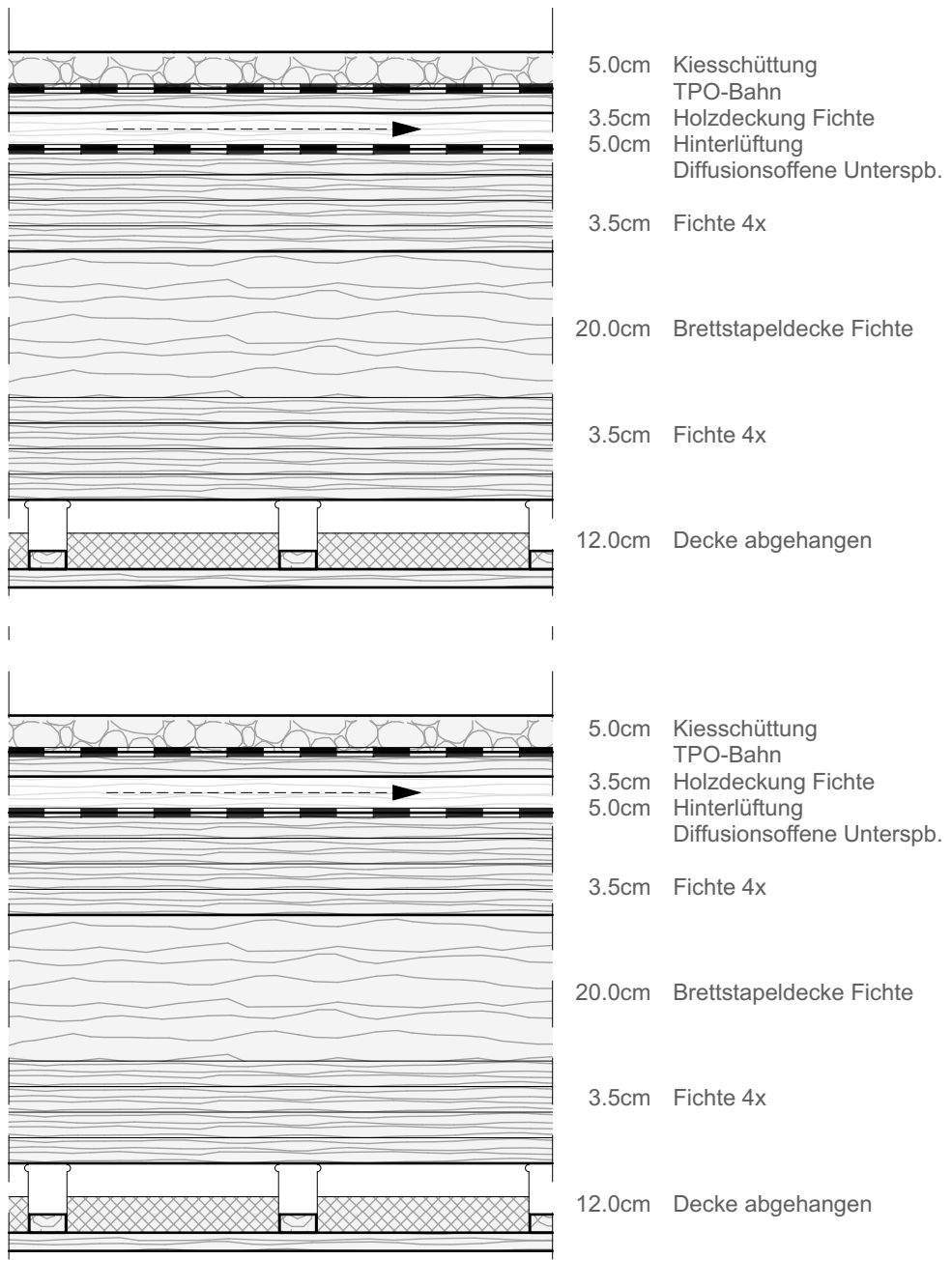


Abbildung 4.3.2: Resultat Flachdachaufbau ohne Neigung - Detail M 1:10

### 4.3.2 geneigte Konstruktion

Der Aufbau geneigter Dächer ist bei diesem System ähnlich dem des Flachdaches. Die Unterkonstruktion besteht wieder aus dem tragenden Kern und den Holzbrett-schichten. Lediglich die Dachdeckung ist unterschiedlich. Bis 25 Grad Neigung sollte auf ein Blechdach zurückgegriffen werden. Ab 25 Grad gibt es dann die Möglichkeit ein Holzschindeldach welches nachhaltiger ist, einzusetzen. Da die Unterkonstruktion gleich der des Flachdaches ist, bleiben auch die bauphysikalischen Werte gleich. Die Statik ist muss dann abhängig vom Entwurf neu berechnet werden. Um diese zu verbessern besteht auch die Möglichkeit das Dach einfach oder mehrfach stehend auszuführen.

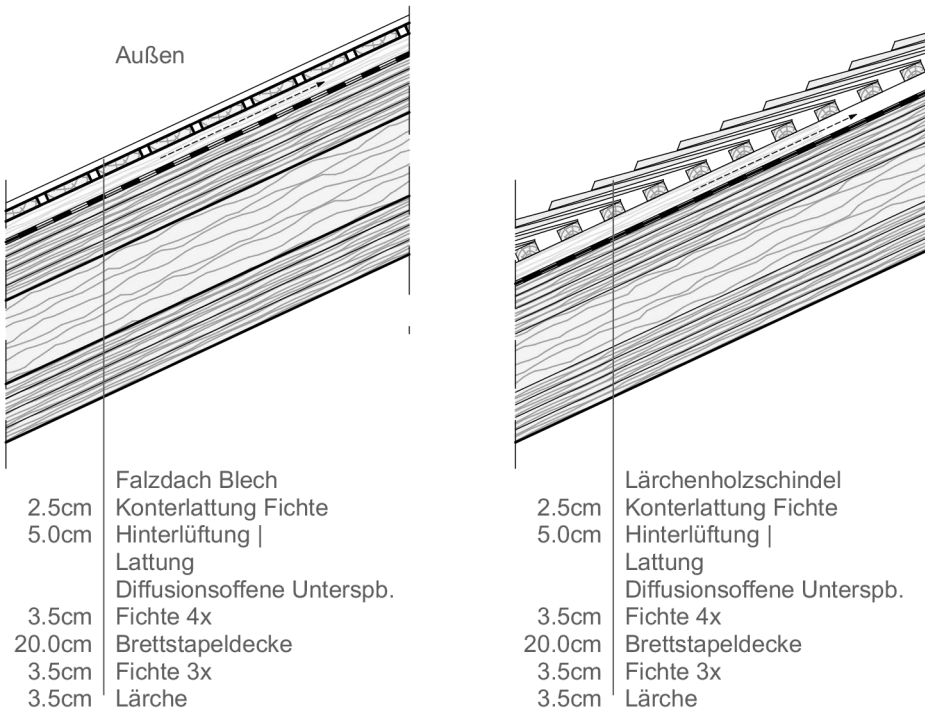


Abbildung 4.3.3: Blech- und Holzschindeldach - Detail M 1:20

# 4.4 Wände

## 4.4.1 Grundaufbau

tragender Kern, außen gefräste Platten mit Dübeln

Jedes Element besteht aus mehreren Holzbrettlagen. Die mittlere Schicht übernimmt die tragende Funktion (siehe System D unter 3.2.1). Die äußeren hingegen haben primär die Aufgabe der Dämmung. Um die Isolierwirkung zu erhöhen, wird jede Lage diagonal gefräst, sodass Luftpolster in den Zwischenräumen entstehen. Der Anteil entspricht 50% mit einer Tiefe von 4,0mm. Dies ist in der Berechnung des U-Wertes zu berücksichtigen.

### 4.4.1.1 Aussteifung

Da die Tragfähigkeit von Holz bei 20 Grad Drehung gegen die Krafrichtung noch 50% beträgt (siehe 2.3.3), sollten die äußeren Brettlagen zuerst im Winkel von 20 Grad angebracht werden. Da aber die mittlere Schicht die tragende Funktion übernimmt, werden die äußeren Lagen im 45 Grad Winkel, horizontal und vertikal angeordnet, um die Wand auszusteifen.

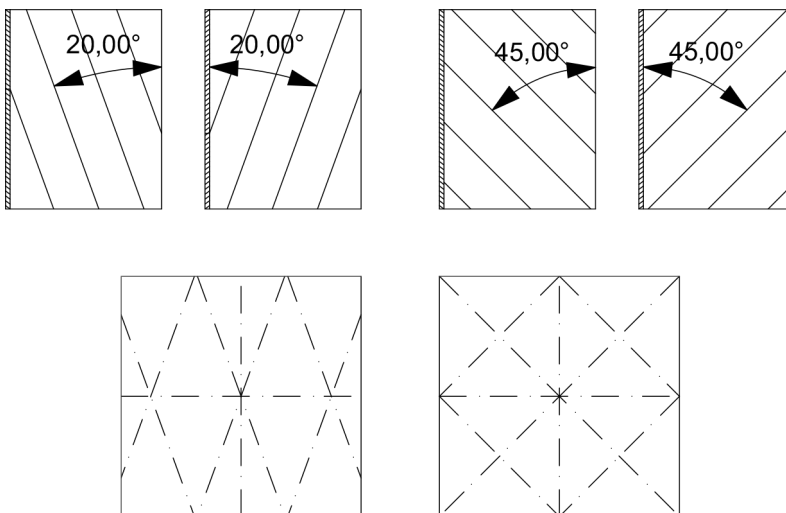


Abbildung 4.4.1: Aussteifung abhängig vom Winkel - Ansicht

### 4.4.1.2 Verbindung

Die einzelnen Schichten werden mit Hilfe von Hartholzdübeln, speziell Buchenholzdübeln zusammen gehalten. Diese haben einen Durchmesser von 22 Millimeter, werden auf 21 Millimeter herunter getrocknet und anschließend in ein vorgebohrtes Loch von 20 Millimetern eingepresst. Durch die Aufnahme von Feuchtigkeit, verbindet der Dübel die Holzlagen untrennbar miteinander. In Abb. 4.4.2 wird gezeigt, dass 25 Dübel pro Quadratmeter gebraucht werden. Im ersten Bild sind nur horizontale und vertikale Schichten vorhanden. Im zweiten kommen dann zwei diagonale Lagen hinzu und im dritten zwei weiter, verschobene, diagonale Lagen. Trotz der Überschneidung von Fugen an einigen Stellen, ist die Luftdichtigkeit gesichert, da sich im Inneren der Wand noch die tragende Schicht befindet, welche diese verdeckt.

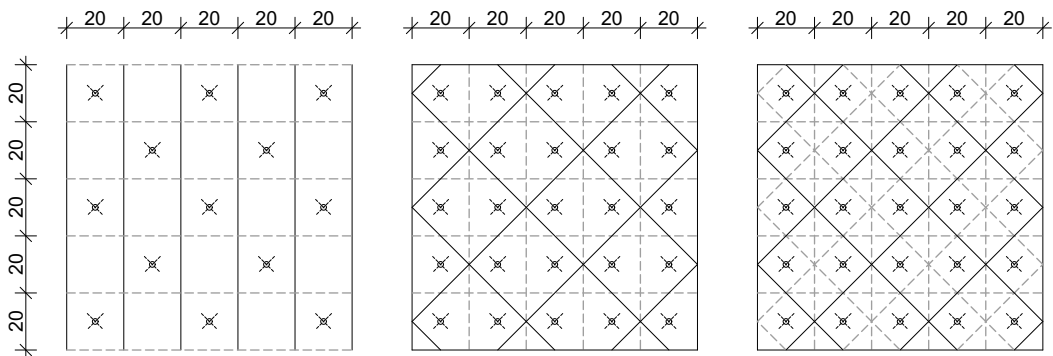


Abbildung 4.4.2: benötigte Dübel auf  $1\text{m}^2$

## 4.4.2 mögliche Aufbauten

Im Folgenden werden 4 ähnliche Wandaufbauten untersucht.

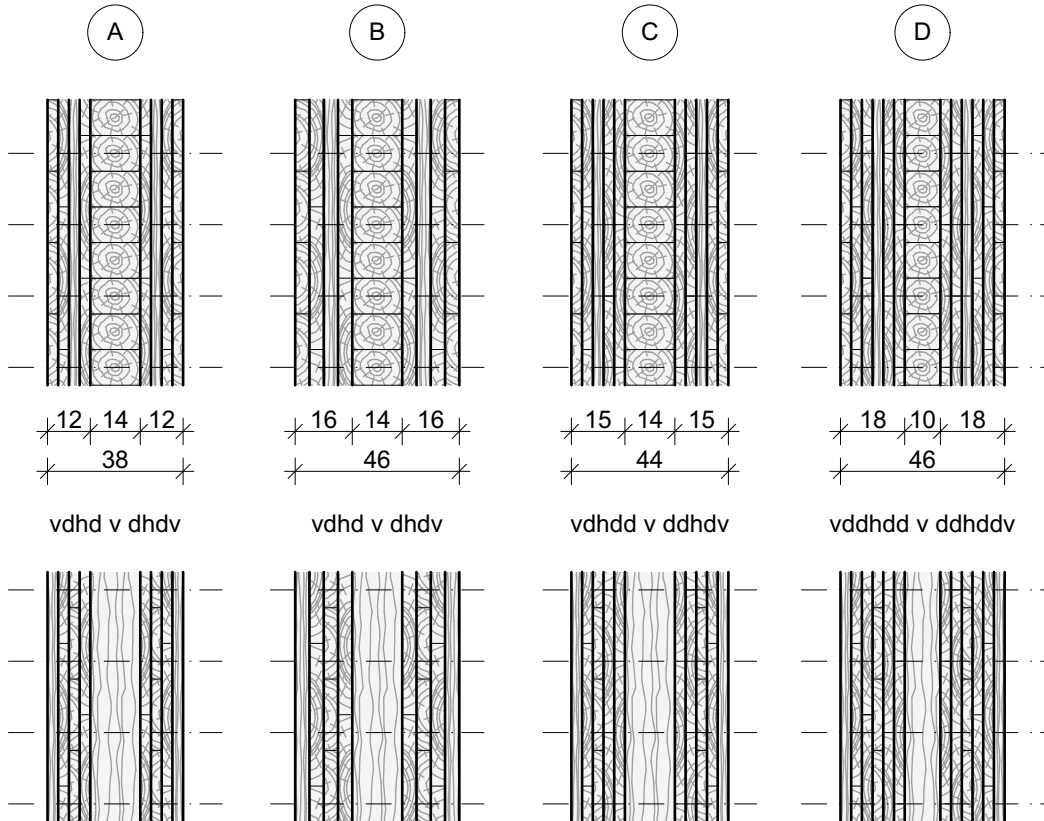


Abbildung 4.4.3: 4 mögliche Wandaufbauten - Horizontal- und Vertikalschnitt M 1:20

**h** Brettlage horizontal

**v** Brettlage vertikal

**d** Brettlage diagonal

**A** 4 Brettlagen à 3cm, tragende Schicht à 14cm (auf 10cm), 4 Brettlagen à 3cm

**B** 4 Brettlagen à 4cm, tragende Schicht à 14cm (auf 10cm), 4 Brettlagen à 4cm

**C** 5 Brettlagen à 3cm, tragende Schicht à 14cm (auf 10cm), 5 Brettlagen à 3cm

**D** 6 Brettlagen à 3cm, tragende Schicht à 10cm (auf 14cm), 6 Brettlagen à 3cm

### 4.4.3 Bauphysikalische Untersuchung

#### 4.4.3.1 U-Wert

##### Berechnung

$$R_{ges} = R_{Sa} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{Si}$$

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}}$$

##### Wandsystem A

Tabelle 4.4.1: Berechnung U-Wert Wandsystem A

Bauteil	Anzahl n	d in mm	$\lambda$ in W/mK	$R_n$ in $\frac{m^2W}{K}$
Wärmeübergang innen				0,040
Holz	2	28	0,13	0,431
Holz	6	26	0,13	1,200
Holz	1	136	0,13	1,046
Luftschicht (ruhend)	8	4	0,088	0,704
Wärmeübergang außen				0,130
$\Sigma$		380		3,55

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{3,55} \frac{K}{Wm^2} = 0,282 \frac{K}{Wm^2}$$



**Wandsystem B**

Tabelle 4.4.2: Berechnung U-Wert Wandsystem B

Bauteil	Anzahl n	d in mm	$\lambda$ in W/mK	$R_n$ in $\frac{m^2W}{K}$
Wärmeübergang innen				0,040
Holz	2	38	0,13	0,585
Holz	6	36	0,13	1,662
Holz	1	136	0,13	1,046
Luftschicht (ruhend)	8	4	0,088	0,704
Wärmeübergang außen				0,130
$\Sigma$		460		4,17

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{4,17} \frac{K}{Wm^2} = 0,240 \frac{K}{Wm^2}$$

**Wandsystem C**

Tabelle 4.4.3: Berechnung U-Wert Wandsystem C

Bauteil	Anzahl n	d in mm	$\lambda$ in W/mK	$R_n$ in $\frac{m^2W}{K}$
Wärmeübergang innen				0,040
Holz	2	28	0,13	0,431
Holz	8	26	0,13	1,600
Holz	1	136	0,13	1,046
Luftschicht (ruhend)	10	4	0,088	0,880
Wärmeübergang außen				0,130
$\Sigma$		440		4,13

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{4,13} \frac{K}{Wm^2} = 0,242 \frac{K}{Wm^2}$$

**Wandsystem D**

Tabelle 4.4.4: Berechnung U-Wert Wandsystem D

Bauteil	Anzahl n	d in mm	$\lambda$ in W/mK	$R_n$ in $\frac{m^2W}{K}$
Wärmeübergang innen				0,040
Holz	2	28	0,13	0,431
Holz	10	26	0,13	2,000
Holz	1	96	0,13	0,738
Luftschicht (ruhend)	12	4	0,088	1,056
Wärmeübergang außen				0,130
$\Sigma$		460		4,40

$$U_{ges} = \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{4,40} \frac{K}{Wm^2} = 0,228 \frac{K}{Wm^2}$$

Die betrachteten Wandaufbauten erfüllen nur zum Teil die geforderten Werte. Somit haben lediglich das System B und D den nötigen U-Wert von 0,24 erreicht. Auf Grund des ausreichenden U-Wertes wird System B gewählt.

### 4.4.3.2 Temperaturverlauf und Tauwasser

Die Wandsysteme werden nun hinsichtlich Tauwasser und ihren Temperaturverläufen untersucht. Die Berechnung erfolgt nach der DIN 4108-3 und den Randbedingungen:

außen: -10 ° C 80% rel. Luftfeuchtigkeit  
 innen: 20 ° C 50% rel. Luftfeuchtigkeit

Es werden folgende Formeln zur Berechnung angewendet:

$$\text{Wärmestromdichte: } q_n = \frac{1}{R_n}(t_i - t_a)$$

$$\text{Temperatur: } t_a = t_i - R_i \cdot q_n$$

$$\text{Wasserdampfsättigungsdruck (T} \geq 0\text{): } p_s = 288,68 \cdot \left(1,098 + \frac{T}{100}\right)^{8,02}$$

$$\text{Wasserdampfsättigungsdruck (T} < 0\text{): } p_s = 4,689 \cdot \left(1,486 + \frac{T}{100}\right)^{12,3}$$

Die einzelnen Werte können im Anhang B eingesehen werden.

Es ist deutlich erkennbar, dass kein Tauwasser entsteht, da sich die Graphen des Sättigungsdruckes und des Dampfdruckes nicht berühren. Auch die Oberflächentemperaturen sind ausreichend und es wird auch deutlich, dass die Luftspalten einen Beitrag zum Dämmwert der Wand bringen.

Um auszuschließen, dass an Stellen, die durchgehend nur aus Holz bestehen oder immer den größten Luftspalt haben, wurde das System D mit 0 Millimeter und 8 Millimeter Luftspalt berechnet. Auch hier tritt kein Tauwasser auf.

System A

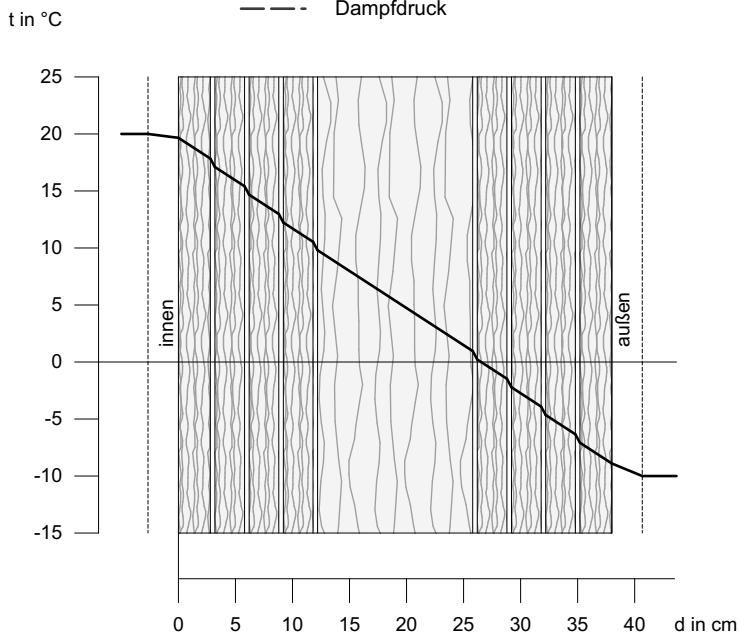
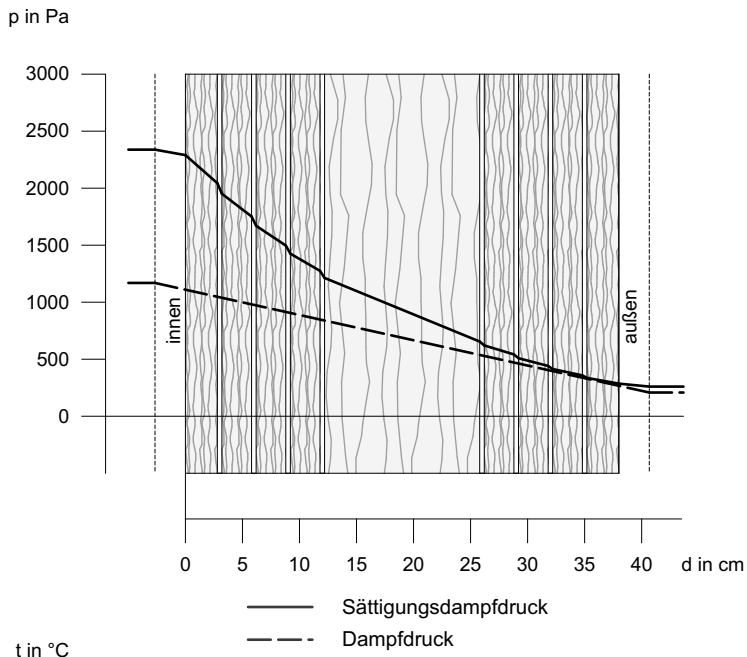


Abbildung 4.4.4: Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf A

## System B

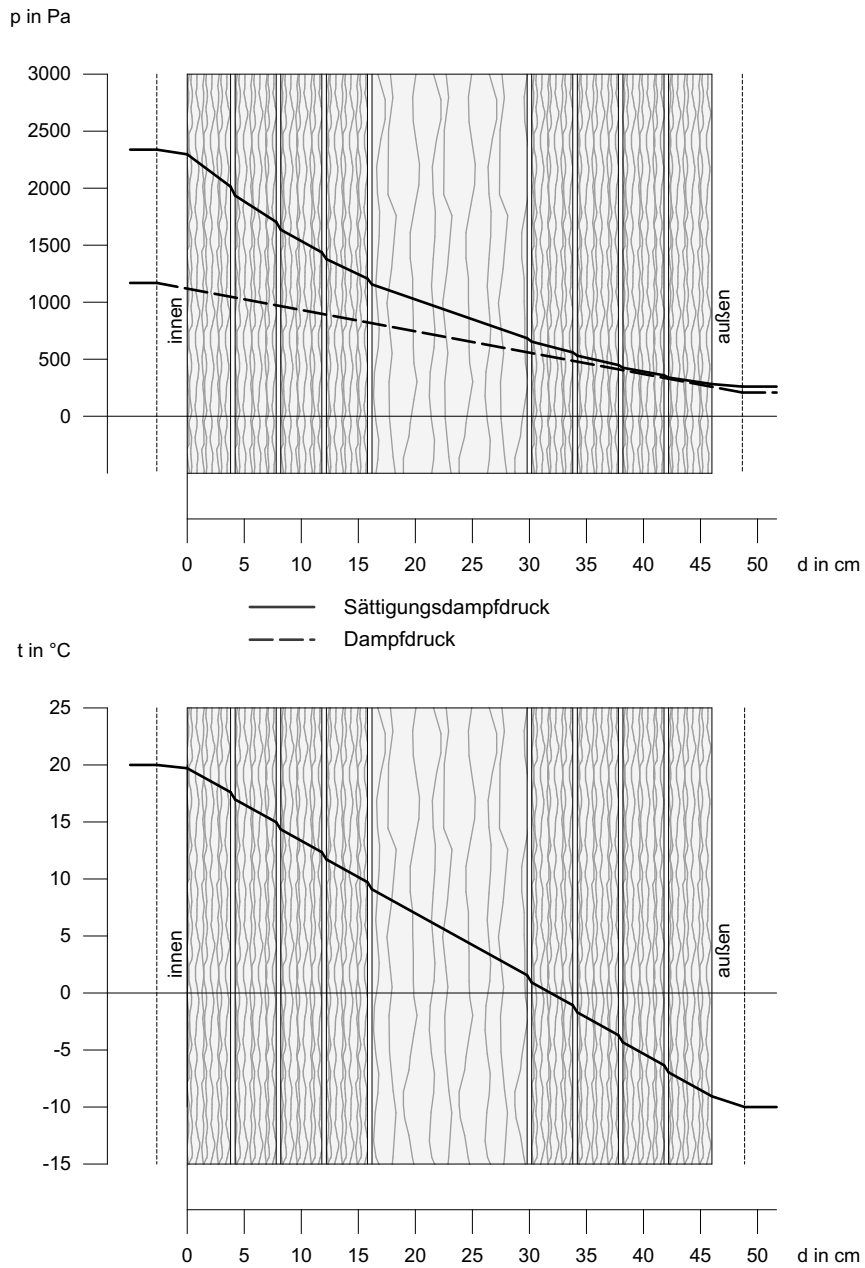


Abbildung 4.4.5: Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf B

System C

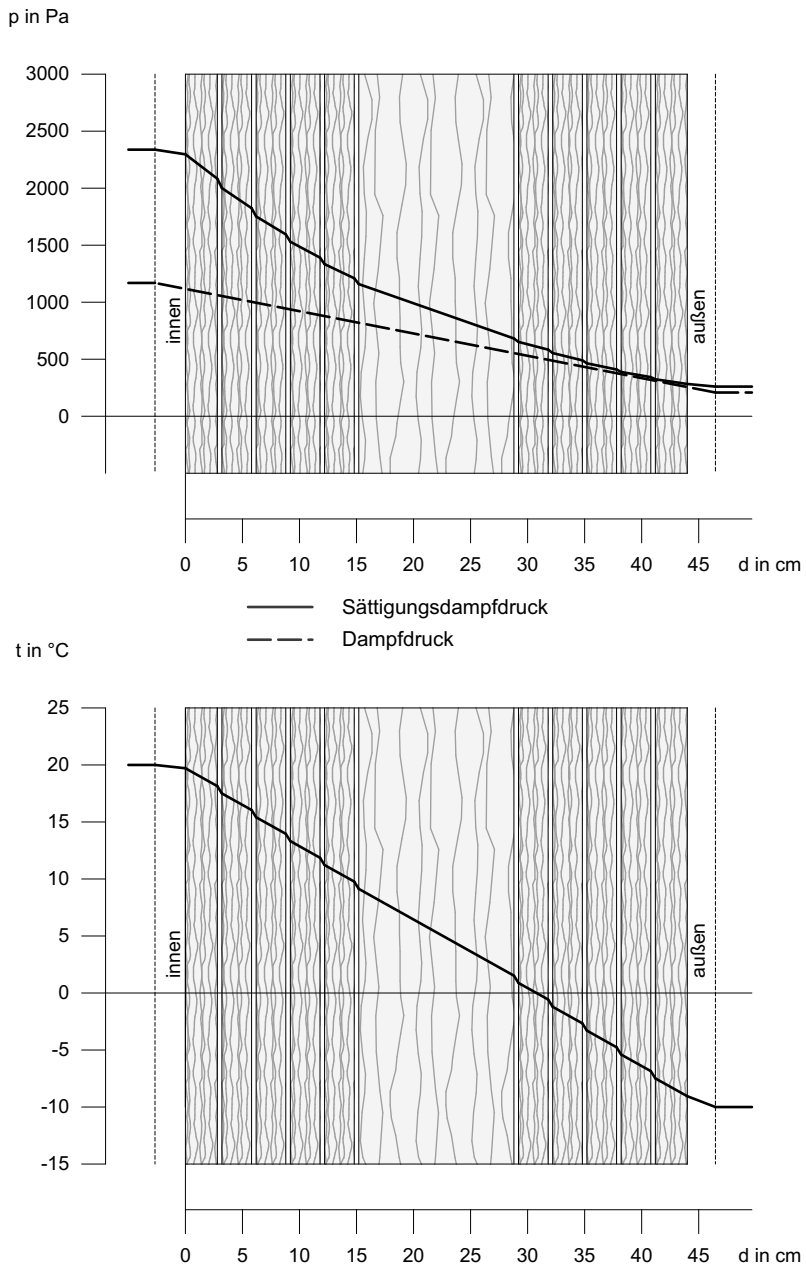


Abbildung 4.4.6: Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf C

## System D

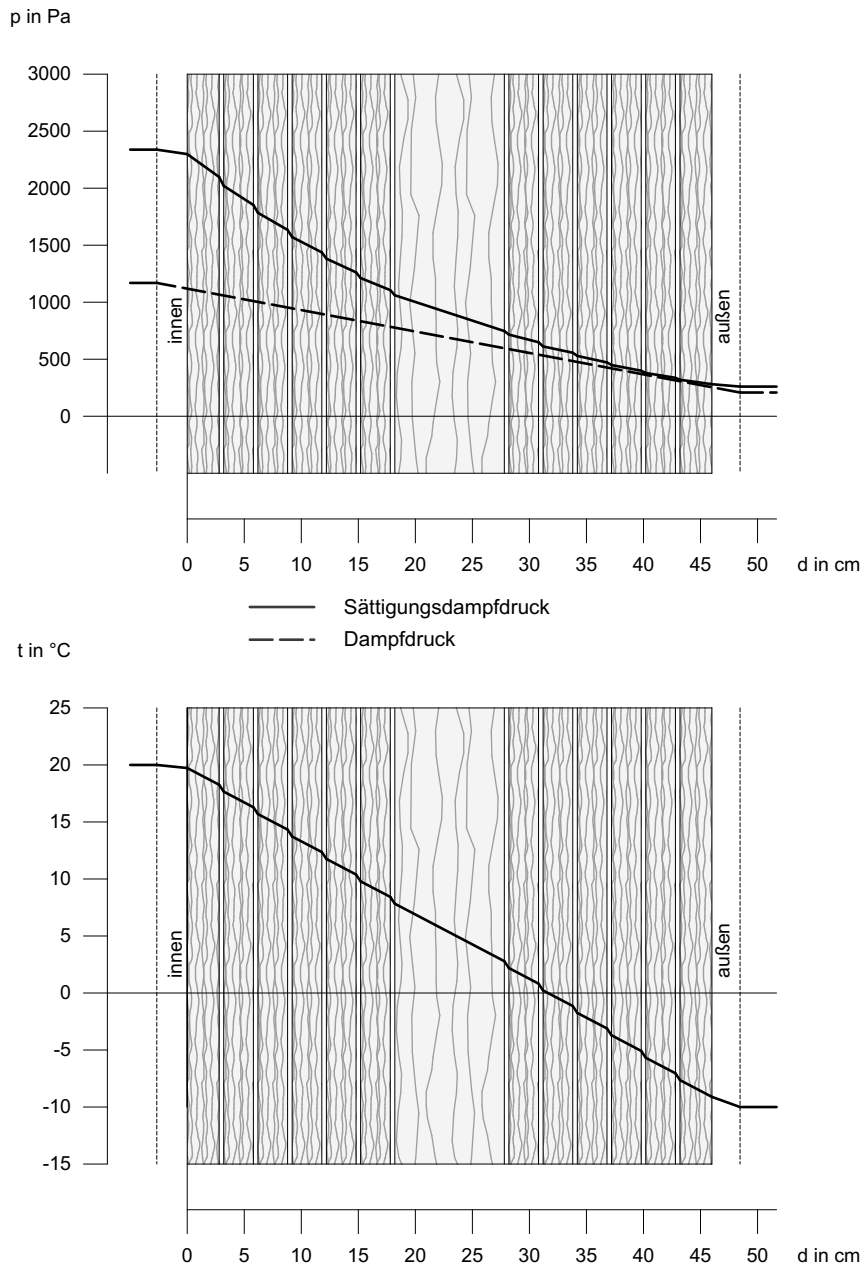


Abbildung 4.4.7: Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf D

**System D - 0mm Luftspalt**

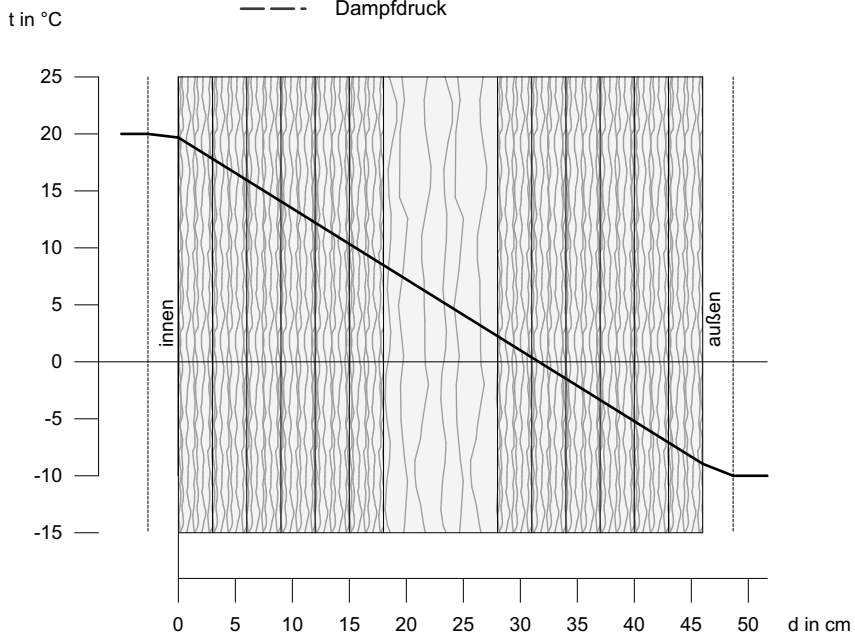
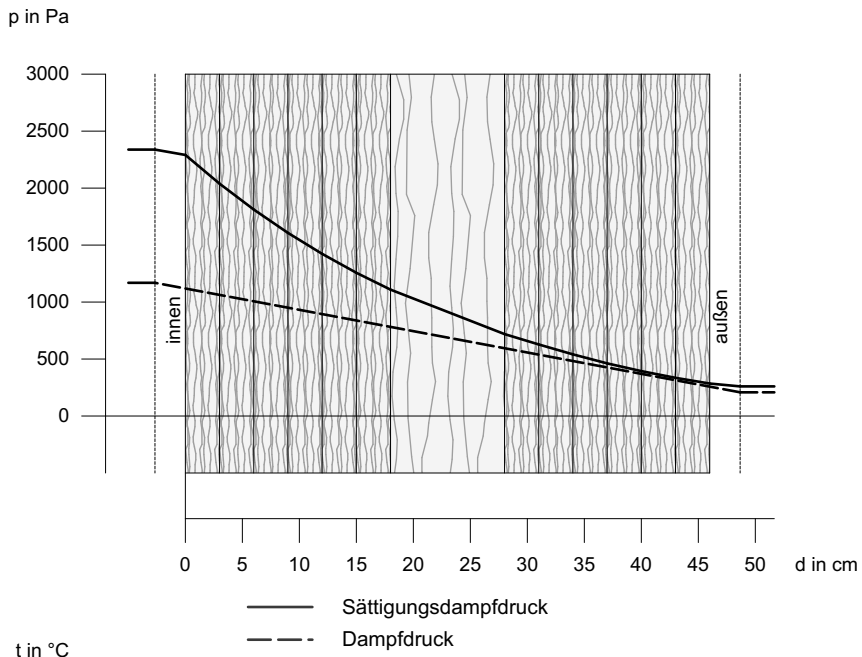


Abbildung 4.4.8: Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf D - 0mm Luftspalt



## System D - 8mm Luftspalt

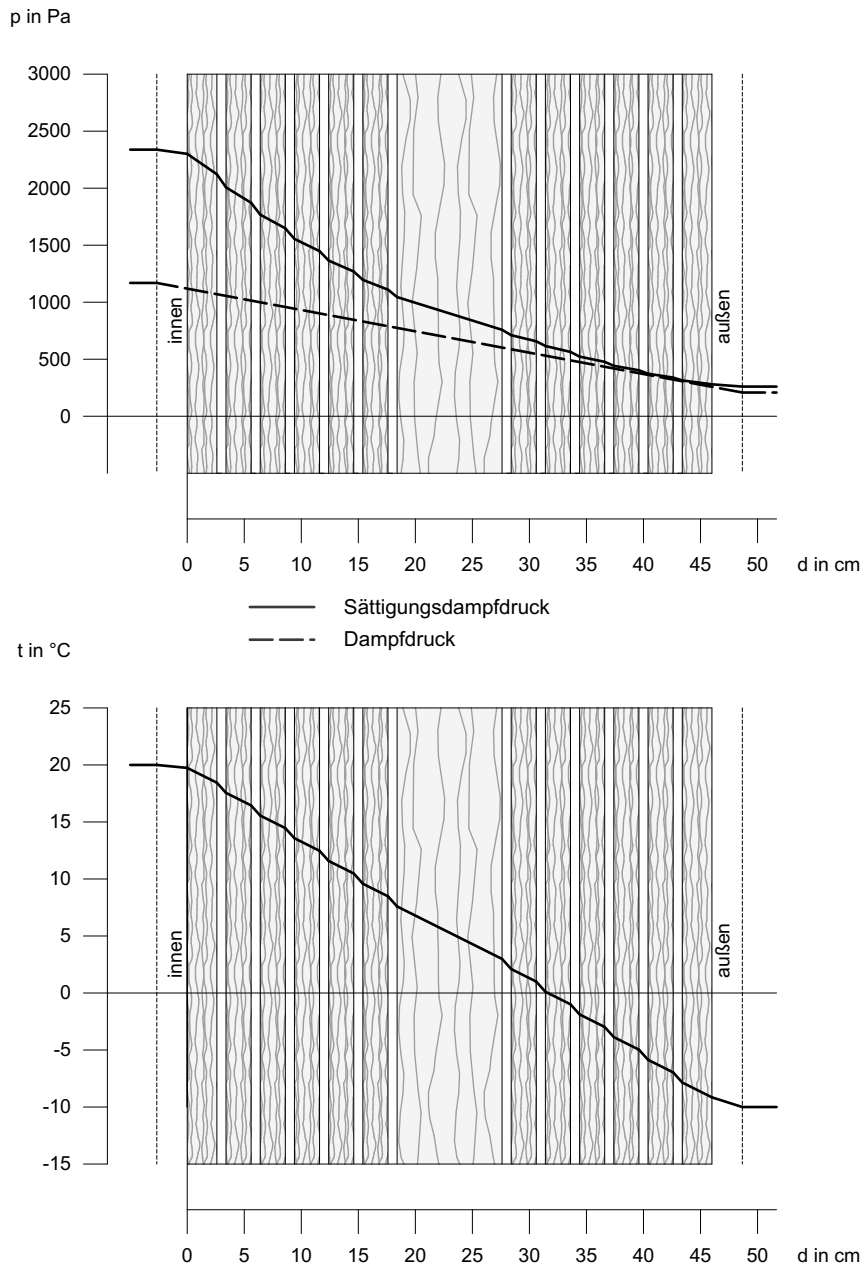


Abbildung 4.4.9: Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf D - 8mm Luftspalt

## 4.4.4 Statische Untersuchung

In der Wandkonstruktion trägt lediglich der innere Bereich. Es wird als erstes geprüft, ob der Querschnitt 10/14 ausreichend ist und eine Mittelwand in einem Gebäude mit 5 Stockwerken betrachtet, die sich im Erdgeschoss zwischen zwei 6 Meter langen Deckenfeldern befindet.

### 4.4.4.1 Lasten

#### aus Wand

In der Wand wird Fichtenholz ( $4,7\text{kN}/\text{m}^2$ ) als Blind- und Konstruktionsholz genutzt. Die jeweils äußersten Lagen werden aus Lärchenholz ( $5,7\text{kN}/\text{m}^2$ ) gefertigt.

Die Last wird für eine 50 Zentimeter dicke Wand berechnet, so bleibt für spätere Veränderungen genug Toleranz. Außerdem verbleibt auch die Möglichkeit eine vorgesetzte Fassade. Nicht zuletzt auch durch die Tatsache, dass in die veränderlichen Lasten bereits Zuschläge für leichte Trennwände einberechnet sind.

$$\begin{aligned}g &= 0,44\text{m} \cdot 4,7\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0,06\text{m} \cdot 5,7\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \\ &= 2,41\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\end{aligned}$$

$$g_k = 2,41\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,88\text{m} = 6,94\frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

## Zusammenstellung

Tabelle 4.4.5: Lastzusammenstellung aus Geschossen

Bauteil	Anzahl	$g_k$	$G_k$ in $\frac{kN}{m}$	$q_k$	$Q_k$ in $\frac{kN}{m}$
Dach	1x	$\frac{3,636 \frac{kN}{m^2}}{\cos 1,56^\circ} \cdot 6m$	= 21,82	$\frac{3,304 \frac{kN}{m^2}}{\cos 1,56^\circ} \cdot 6m$	= 19,83
Decken	4x	$2,938 \frac{kN}{m^2} \cdot 6m$	= 70,51	$2,80 \frac{kN}{m^2} \cdot 6m$	= 67,20
Wände	5x	6,94	= 34,70		
$\Sigma$			127,03		87,03

$$\begin{aligned}
 q_d &= 1,35 \cdot \sum G_k + 1,5 \cdot \sum Q_k \\
 &= 1,35 \cdot 125,21 \frac{kN}{m} + 1,5 \cdot 87,03 \frac{kN}{m} \\
 &= 302,04 \frac{kN}{m}
 \end{aligned}$$

### 4.4.5 Nachweis Tragfähigkeit für Querschnitt 10/14

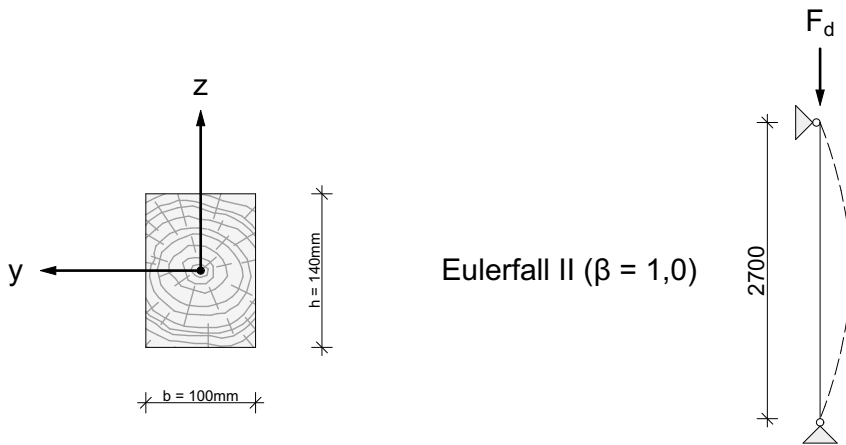


Abbildung 4.4.10: Statisches System Wand

Klasse der Lasteinwirkungsdauer = lang und Nutzungsklasse 1 & 2:

$$k_{mod} = 0,7 \text{ nach } \text{ÖNORM EN 1995-1-1:2009-07, Tab. 3.1}$$

Nadelholz C24 (Fichte)

Nutzungsklasse 1 & 2

Lasteinwirkungsdauer: KLED = lang

Kraft auf den Querschnitt:

$$F_d = 302,04 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,1 \text{ m} = 30,20 \text{ kN}$$

### 4.4.5.1 Nachweis der Tragfähigkeit (Knicknachweis)

Berechnung des Trägheitsradius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b \cdot h^3}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{140\text{mm}}{\sqrt{12}} = 40,4\text{mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{b^3 \cdot h}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{100\text{mm}}{\sqrt{12}} = 28,87\text{mm}$$

Berechnung des Schlankheitsgrades  $\lambda$  und Interpolation des Knickbeiwertes  $k_c$

$$\lambda_{ef,y} = \frac{\lambda_{ef}}{i_y} = \frac{2.880\text{mm}}{40,4\text{mm}} = 71,29 \rightarrow k_{c,y} = 0,537$$

$$\lambda_{ef,z} = \frac{\lambda_{ef}}{i_z} = \frac{2.880\text{mm}}{28,87\text{mm}} = 99,76 \rightarrow k_{c,z} = 0,304$$

$$f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0,7}{1,3} = 11,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d}{A} = \frac{30.204\text{N}}{100\text{mm} \cdot 140\text{mm}} = 2,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,537 \cdot 11,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,356 < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,304 \cdot 11,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,628 < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Maximalkraft:

$$F_{max} = A \cdot f_{c,0,d} \cdot k_{c,z} = 48,14\text{kN}$$

$\Rightarrow$  62,3% der möglichen Belastung sind ausgenutzt.

Auf Grund der erfolgten statischen Berechnung wird der tragende Querschnitt auf 10/10 Zentimeter reduziert. Somit können mehr Holzlagen zur Dämmung beitragen.

### 4.4.6 Nachweis Tragfähigkeit für Querschnitt 10/10

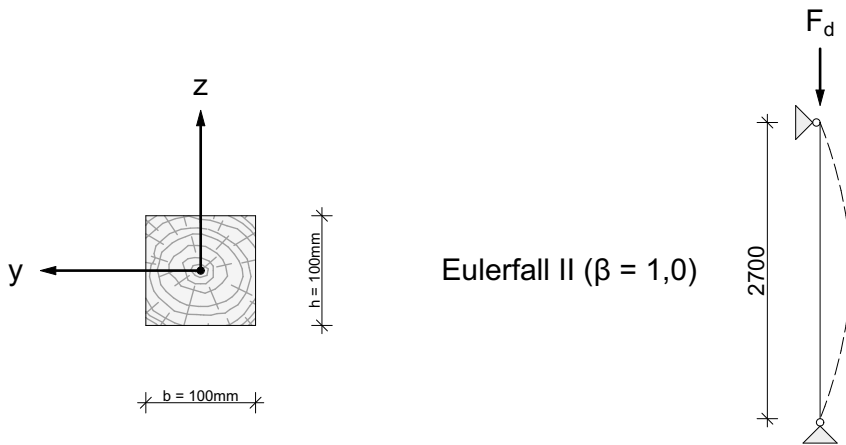


Abbildung 4.4.11: Statisches System Wand

Klasse der Lasteinwirkungsdauer = lang und Nutzungsklasse 1 & 2:

$$k_{mod} = 0,7 \text{ nach } \text{ÖNORM EN 1995-1-1:2009-07, Tab. 3.1}$$

Nadelholz C24 (Fichte)

Nutzungsklasse 1 & 2

Lasteinwirkungsdauer: KLED = lang

Kraft auf den Querschnitt:

$$F_d = 302,04 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,1 \text{m} = 30,20 \text{kN}$$

### 4.4.6.1 Nachweis der Tragfähigkeit (Knicknachweis)

Berechnung des Trägheitsradius

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{b^3 \cdot h}{12 \cdot b \cdot h}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}} = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{100\text{mm}}{\sqrt{12}} = 28,87\text{mm}$$

Berechnung des Schlankheitsgrades  $\lambda$  und Interpolation des Knickbeiwertes  $k_c$

$$\lambda_{ef,y} = \lambda_{ef,z} = \frac{\lambda_{ef}}{i_z} = \frac{2.880\text{mm}}{28,87\text{mm}} = 99,76 \rightarrow k_{c,z} = 0,304$$

$$f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{0,7}{1,3} = 11,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nachweis:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d}{A} = \frac{30.204\text{N}}{100\text{mm} \cdot 100\text{mm}} = 3,0204 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,0204 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{0,304 \cdot 11,31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,88 < 1 \Rightarrow \text{Nachweis erbracht}$$

Maximalkraft:

$$F_{max} = A \cdot f_{c,0,d} \cdot k_{c,z} = 34,38\text{kN}$$

$\Rightarrow 87,8\%$  der möglichen Belastung sind ausgenutzt.

Nach dieser Berechnung ist es sinnvoll auf einen geringeren tragenden Querschnitt zu wechseln. Somit bietet sich das System D mit einem Kern von 10/10 an. Es hat einen höheren U-Wert, aber die selbe Dicke.

## 4.4.7 zum Entwurf

Der Wandaufbau ist darauf ausgelegt mit einer vorgesetzten Fassade verkleidet zu werden. Diese muss hinterlüftet ausgeführt werden, um die Trocknung der Wand zu gewährleisten.

### 4.4.8 Innenwände

Die tragenden Innenwände werden analog der statischen Berechnungen für die Außenwand ausgeführt.

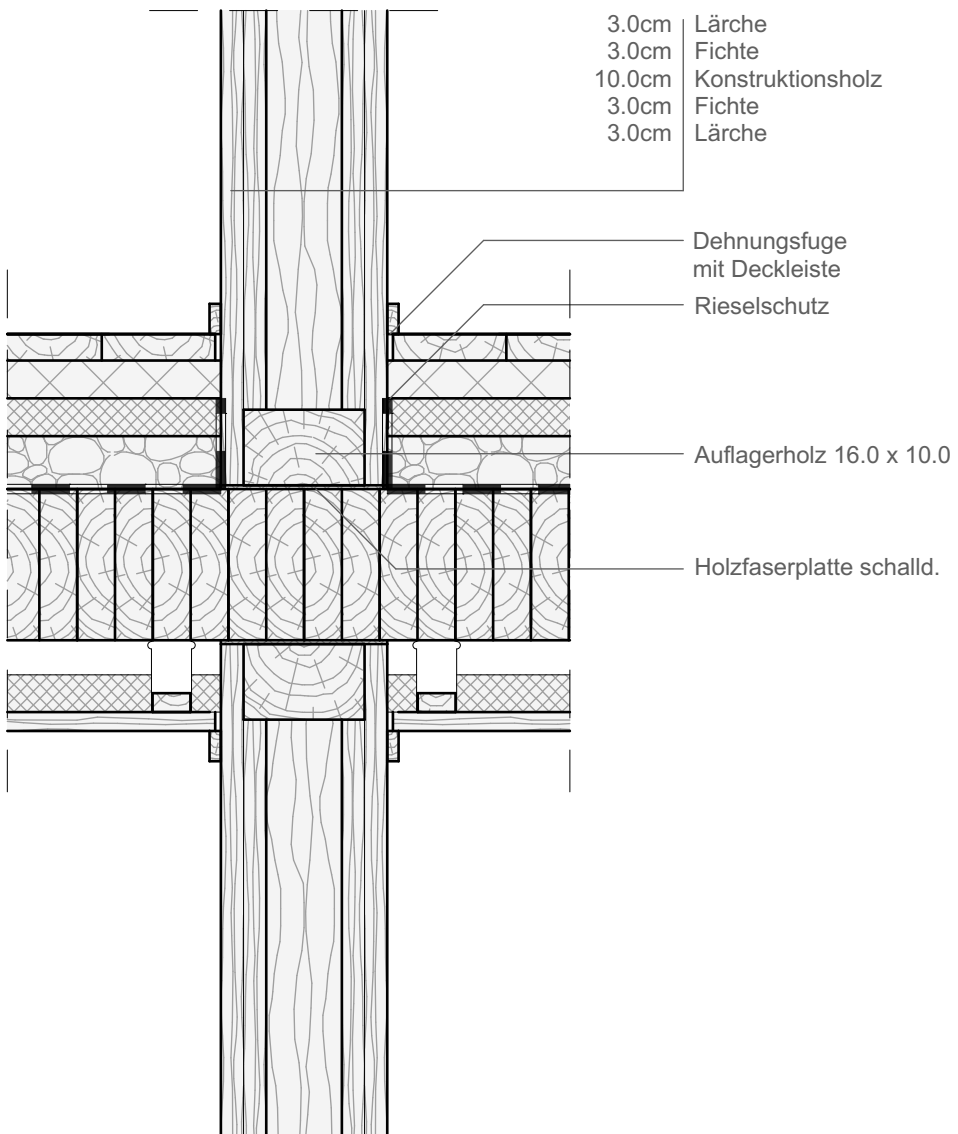


Abbildung 4.4.12: nichttragende Innenwand - Detail M 1:10



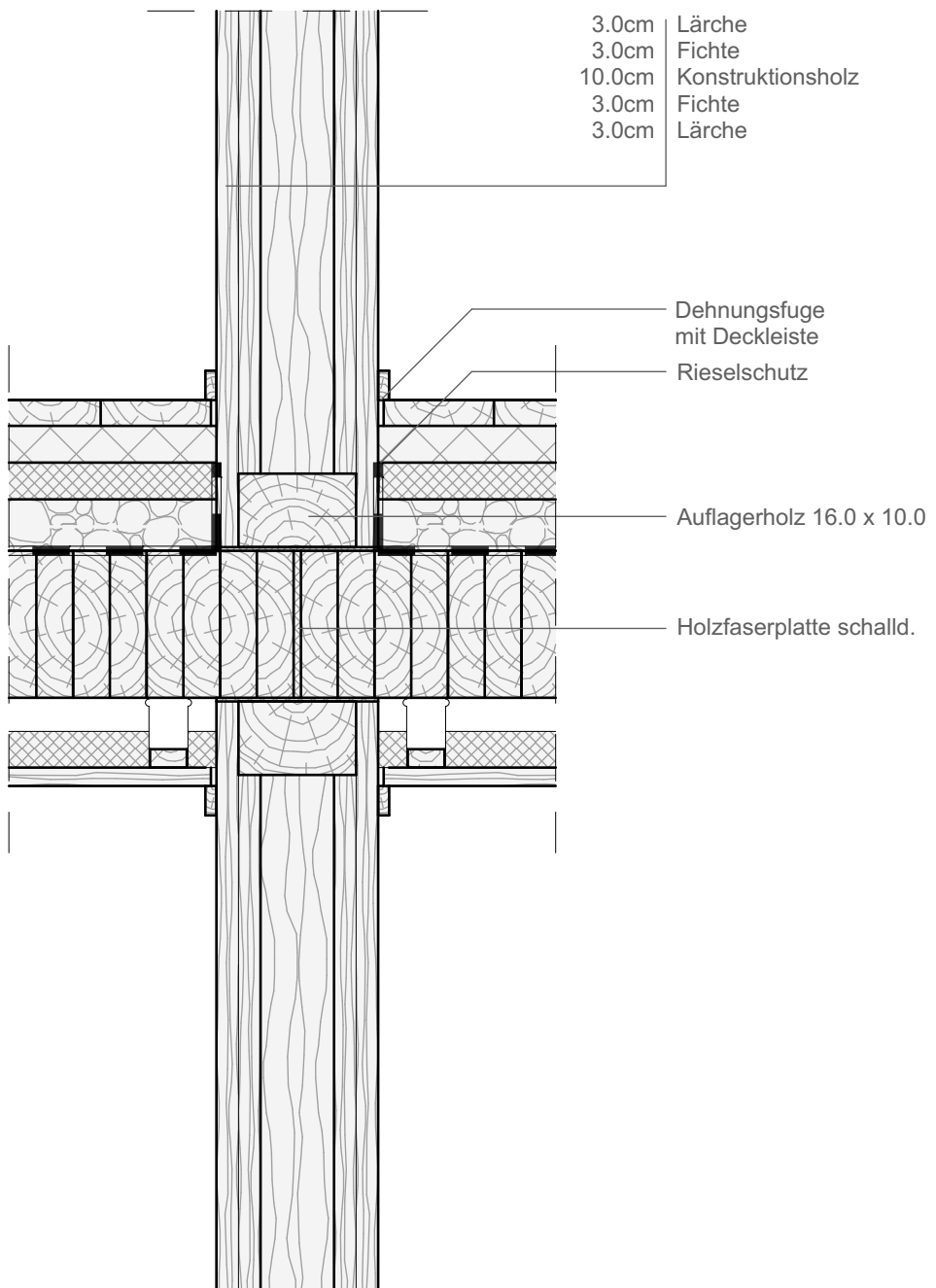


Abbildung 4.4.13: tragende Innenwand - Detail M 1:10

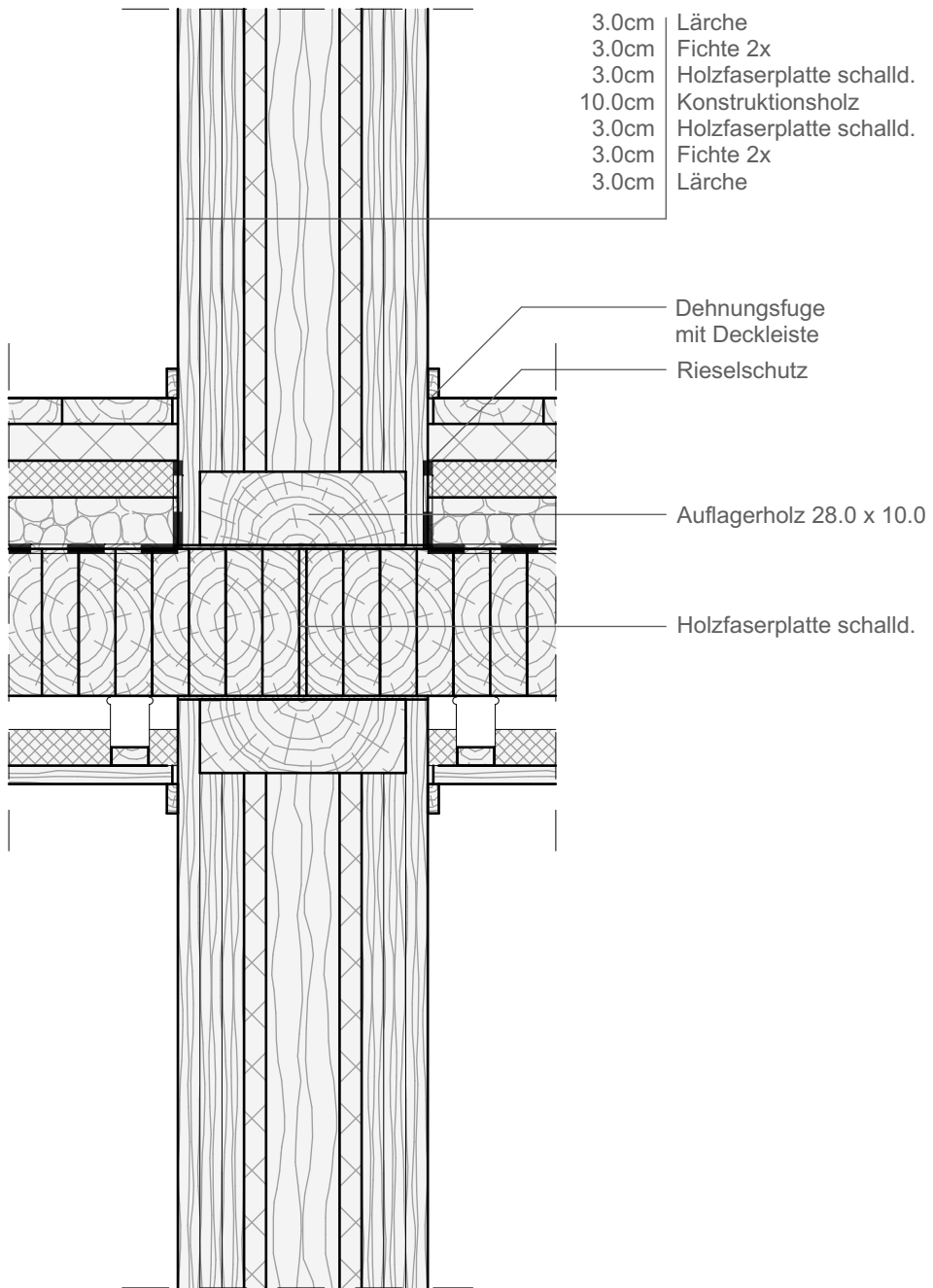


Abbildung 4.4.14: tragende Wohnungstrennwand - Detail M 1:10

# 4.5 Konstruktion

## 4.5.1 Montage

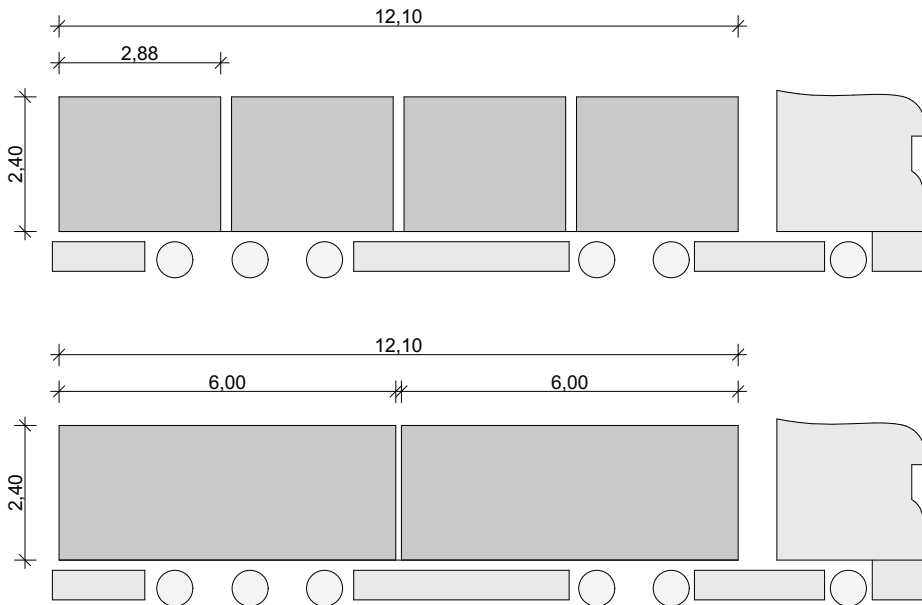


Abbildung 4.5.1: Wand- und Deckenmaße beim Transport

Die Wand- und Deckenelemente werden im Werk vorgefertigt, wo die einzelnen Lagen zusammen gedübelt werden. Die Wandelemente haben Maximalmaße von 2,40 Meter Breite und 2,88 Meter Höhe. Die 2,88 Meter ergeben sich aus der Geschosshöhe und die 2,40 Meter aus den Maximalmaßen auf einem LKW, der ohne spezielle Genehmigungen fahren darf. So ist für den Aufbau kein Schwer- oder Sondertransport nötig. Auch die Maße der Deckenfelder ergeben sich dadurch. Die Statik ist für 6 Meter Länge ausgelegt, die Breite von 2,40 Meter durch den Transport begrenzt.

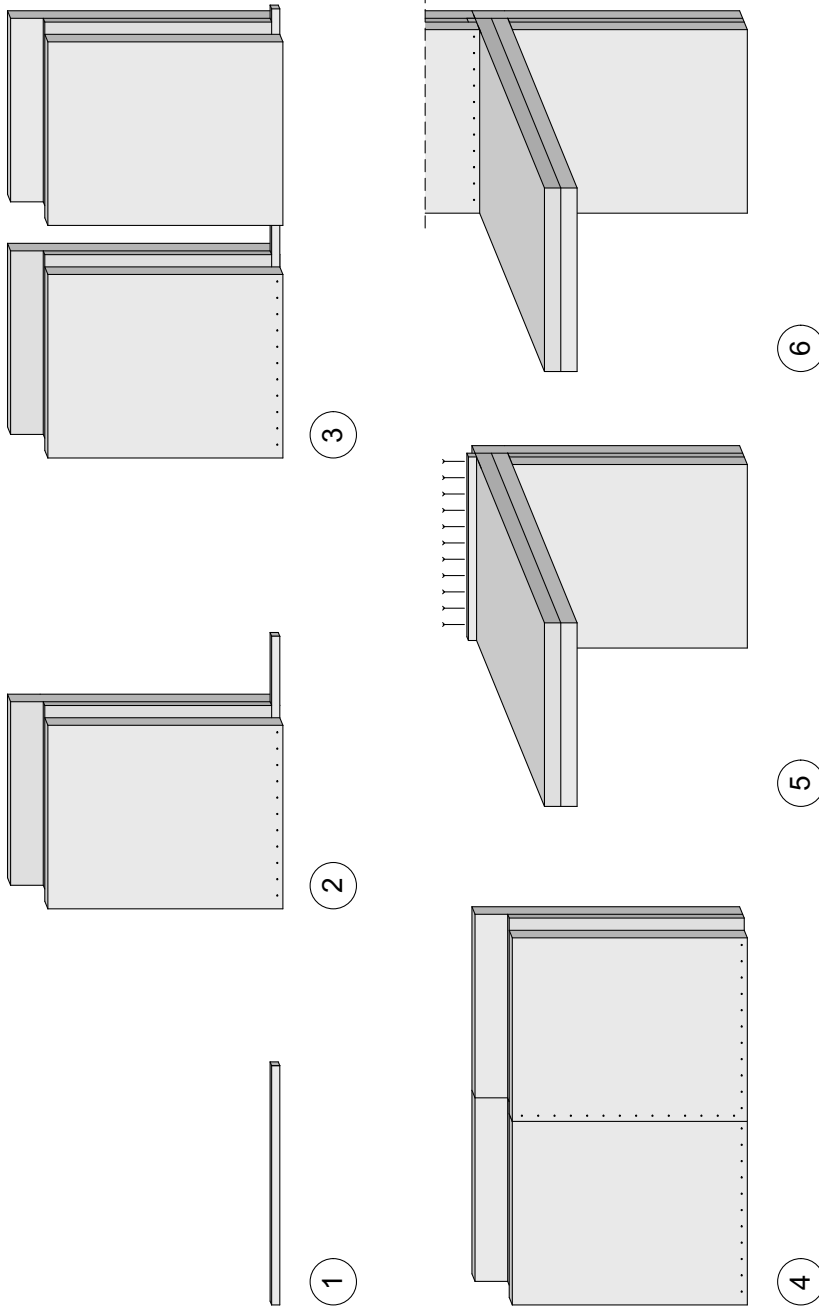


Abbildung 4.5.2: Montage der Wand und Deckenelemente

Ausgangssituation für die Montage der Wandelemente ist ein horizontaler Holzbalken (1), welcher auf dem jeweiligen Untergrund montiert wird. Auf diesen wird das angelieferte Wandelement aufgesetzt und festgedübelt (2). Anschließend wird das nächste Wandelement angesetzt (3) und die Fuge mit Hanf abgedichtet. An der entstandenen Überschneidung kommen wieder Holzdübel zur Verbindung zum Einsatz (4). Ist dieser Prozess auf einer Etage abgeschlossen, werden die Deckenelemente aufgelegt und mit den Wänden verschraubt (5). Auf diesen wird erneut ein Holzbalken befestigt und der Prozess beginnt von vorn (6).

## **4.5.2 Instandhalten**

Zur Instandhaltung müssen auf Grund des Einsatzes von Holz einige Dinge beachtet werden. So wird das Holz auf der Außenseite mit Leinöl behandelt, um es widerstandsfähiger zu machen. Dieser Anstrich muss je nach Bewitterung alle 3 bis 8 Jahre erneuert werden. Eine regelmäßige Kontrolle und Wartung ist deswegen wichtig. Auch der komplette Austausch der vorgesetzten Fassade ist möglich.

## **4.5.3 Abreißen und Nachnutzen**

Da das System hauptsächlich von Holzdübeln zusammengehalten wird, kann es vollständig recycelt werden. Es gibt die Möglichkeit gesamte Wände in einem neuen Gebäude zu verwenden oder die Dübel heraus zu bohren um die einzelnen Holzschichten zu verwerten. Dabei ist der Aufbau für eine neue Wand denkbar, aber auch die Nutzung als Brennholz.



# **Teil 5**

# **Entwurf**





# 5.1 Voraussetzungen

## 5.1.1 Grundgedanken

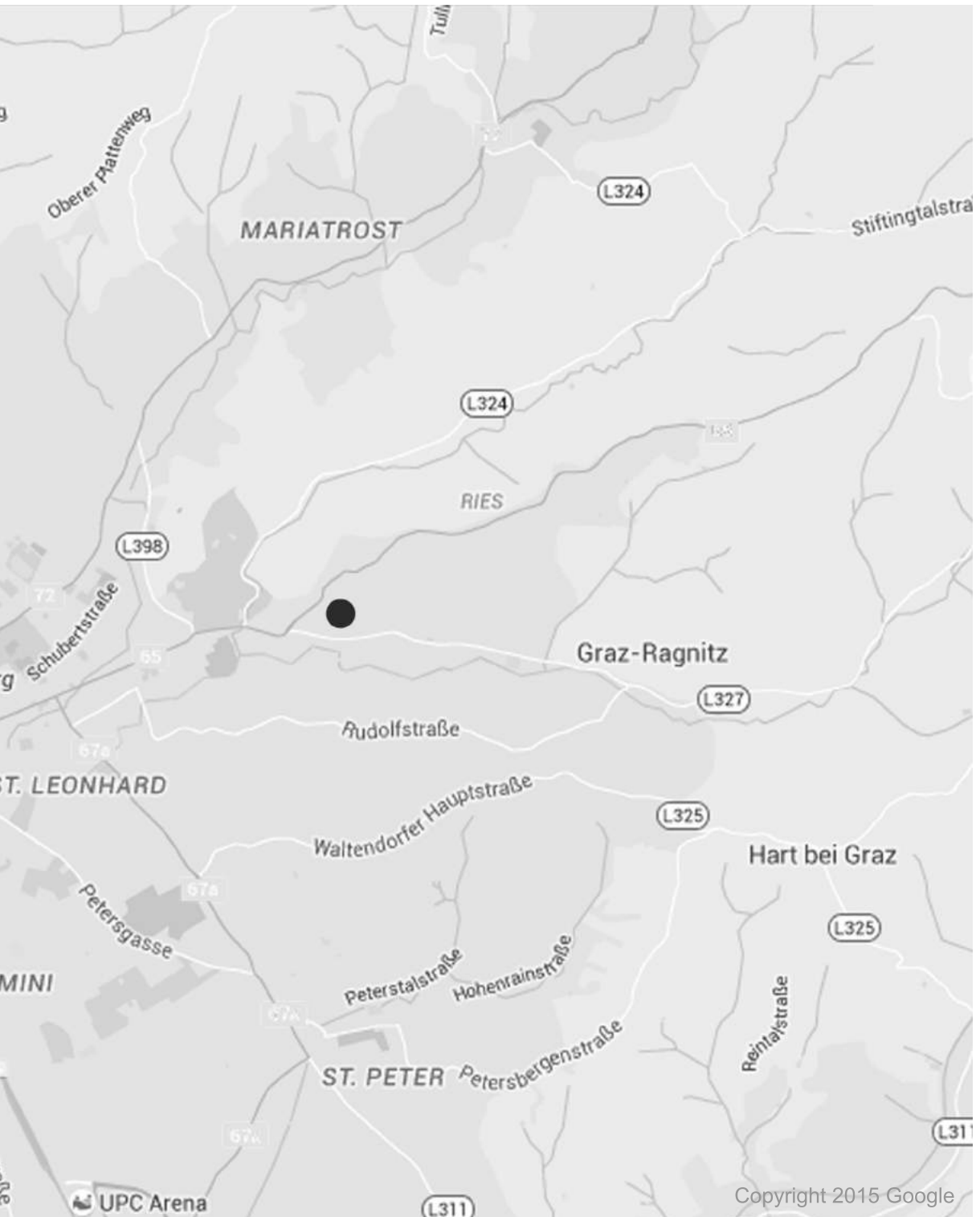
Ziel ist es mit dem im vorherigen Kapitel entwickelten System ein Mehrfamilienhaus zu planen. Natürlich entwickelte sich das System zeitweise parallel zum Entwurf, da hier immer wieder Probleme auftauchten, die anschließend gelöst wurden. So wurde die Spannweite von 4 Metern auf 6 Metern erweitert, wodurch das Endergebnis erst möglich wurde.

## 5.1.2 Umgebung

Das Grundstück befindet sich im äußeren, östlichen Bereich von Graz im Stadtteil Ries. Mit dem Rad gelangt man in 7 Minuten in das Stadtzentrum oder nutzt die nahegelegenen Haltestellen der öffentlichen Verkehrsmittel. In kürzerer Entfernung befinden sich ein Supermarkt, eine Apotheke und Sport- und Freizeitanlagen. Die Umgebung ist von kleinen Ein- und Mehrfamilienhäusern geprägt. Viele Grünflächen bieten Naturnähe und Erholungsmöglichkeiten. Damit wird die Lage des Grundstücks dem Gedanken der Nachhaltigkeit gerecht.



Abbildung 5.1.1: Lage des Grundstücks in Graz



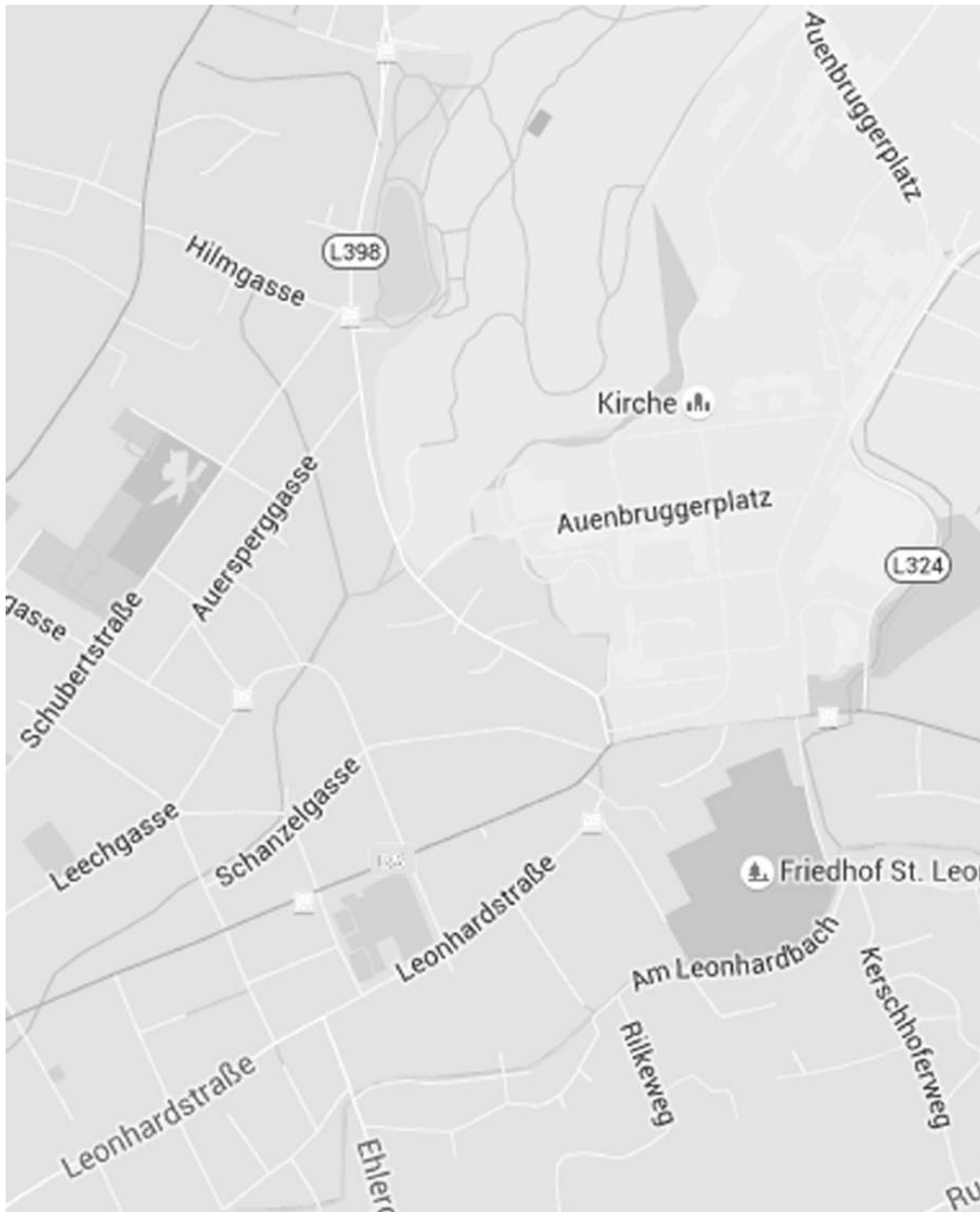
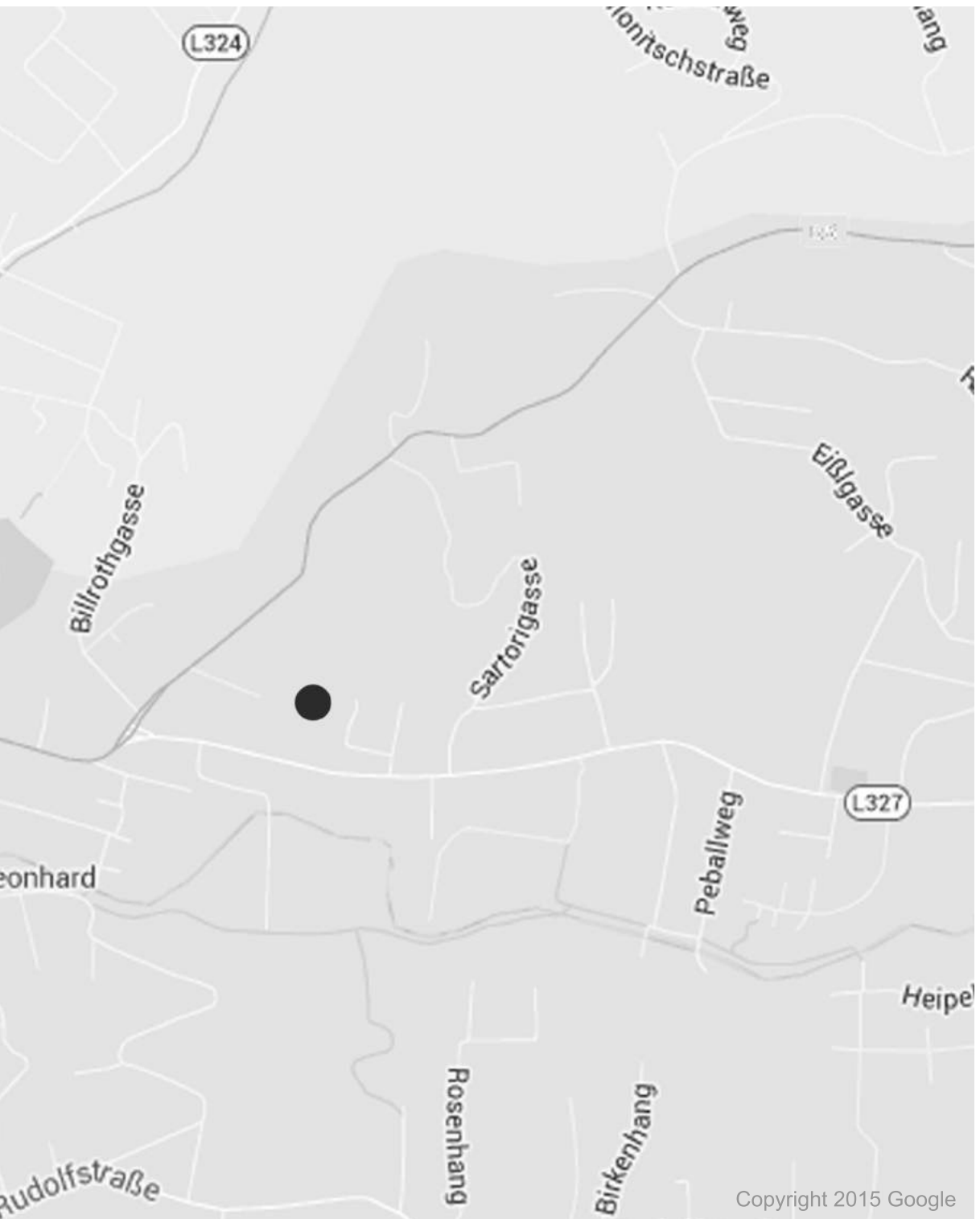


Abbildung 5.1.2: Lage des Grundstücks in Graz Ries



Copyright 2015 Google

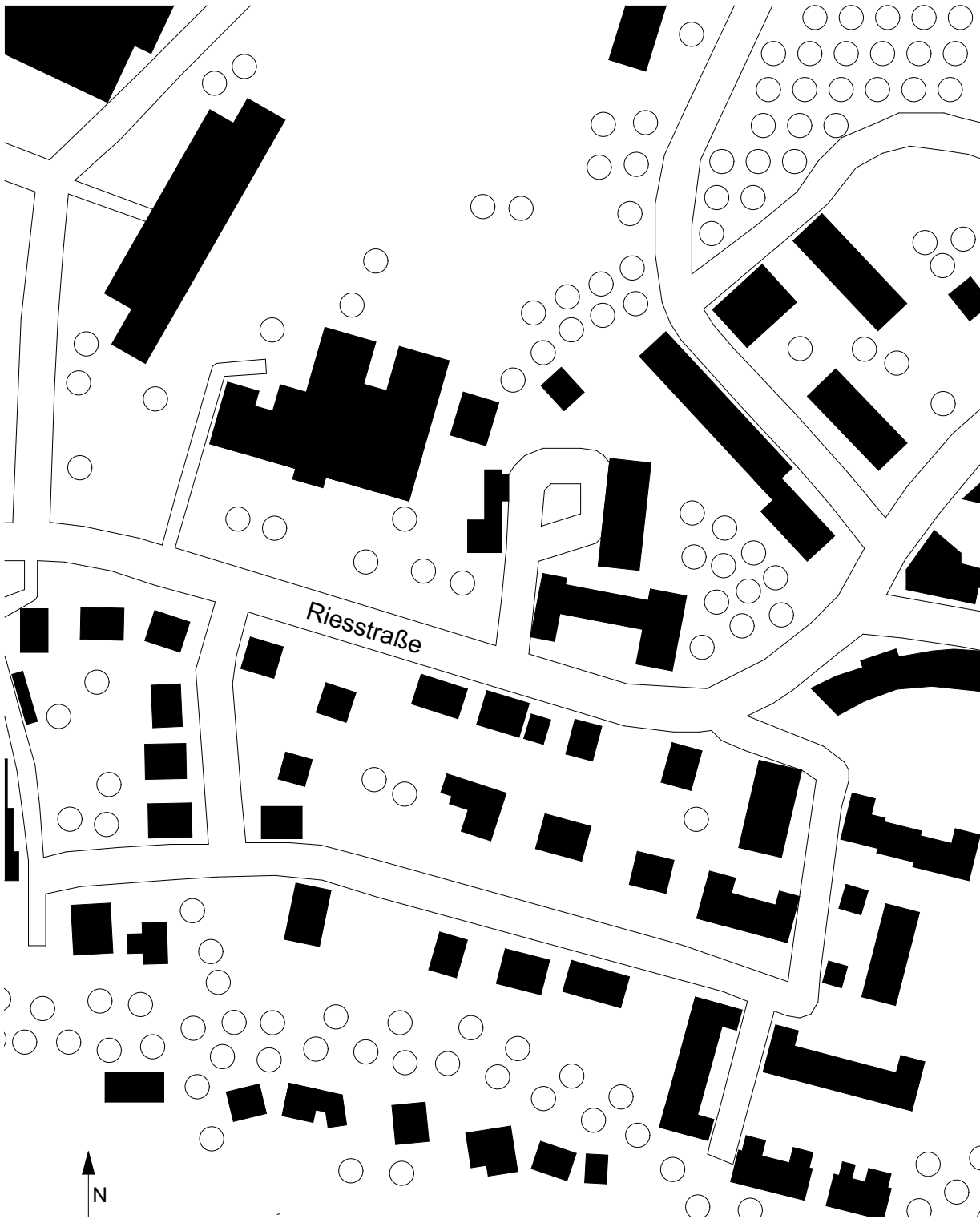
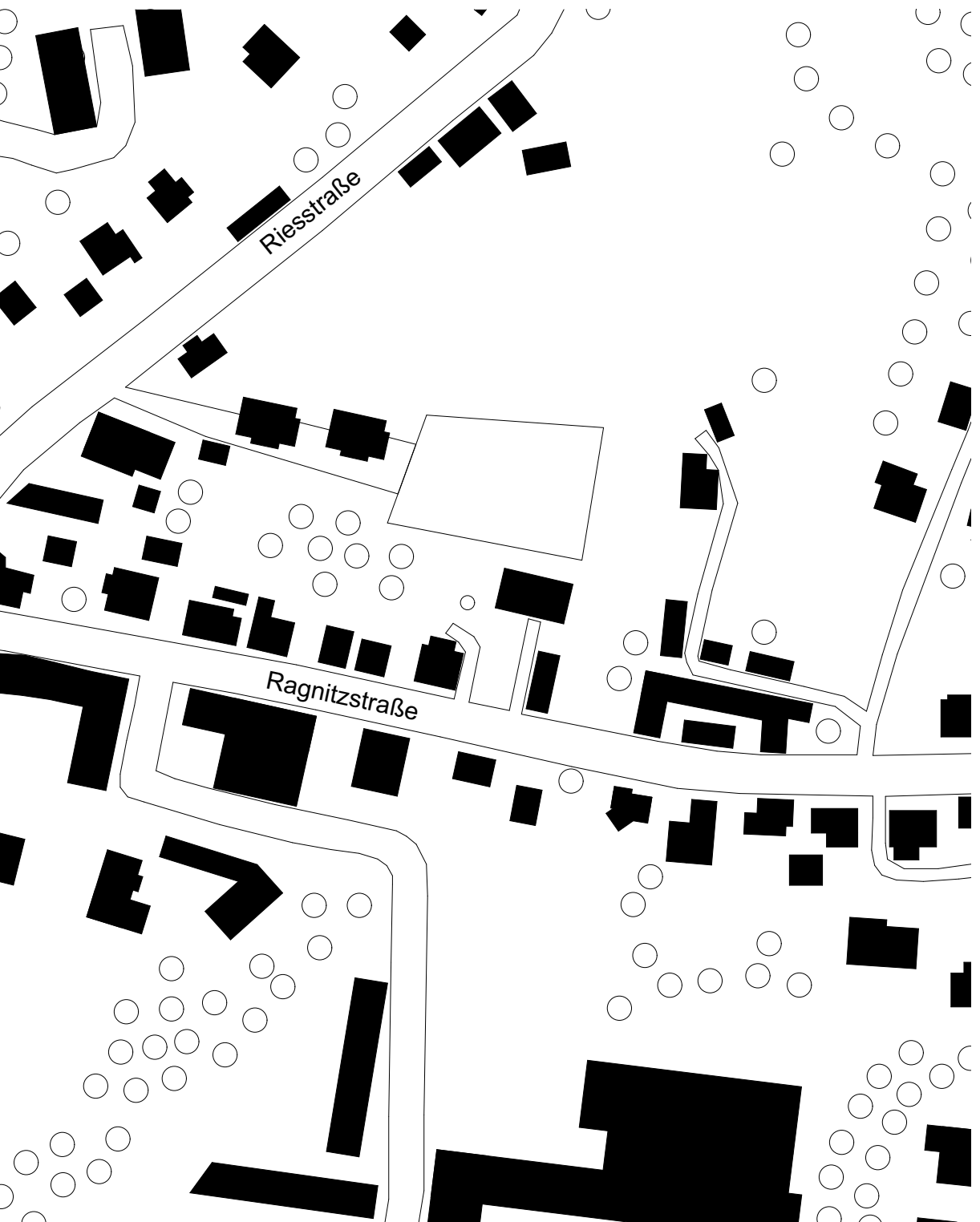


Abbildung 5.1.3: Lageplan M 1:2000



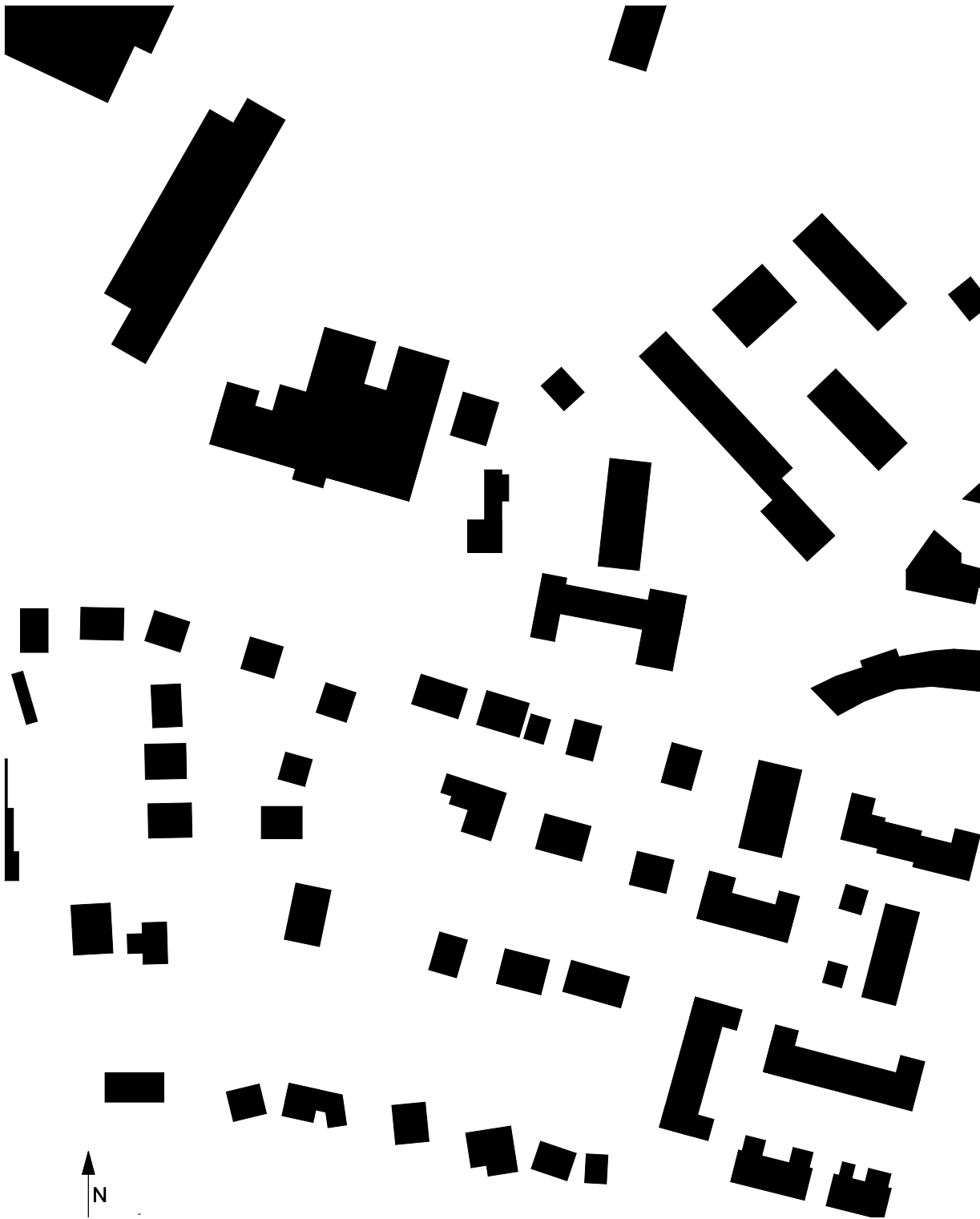


Abbildung 5.1.4: Schwarzplan M 1:2000



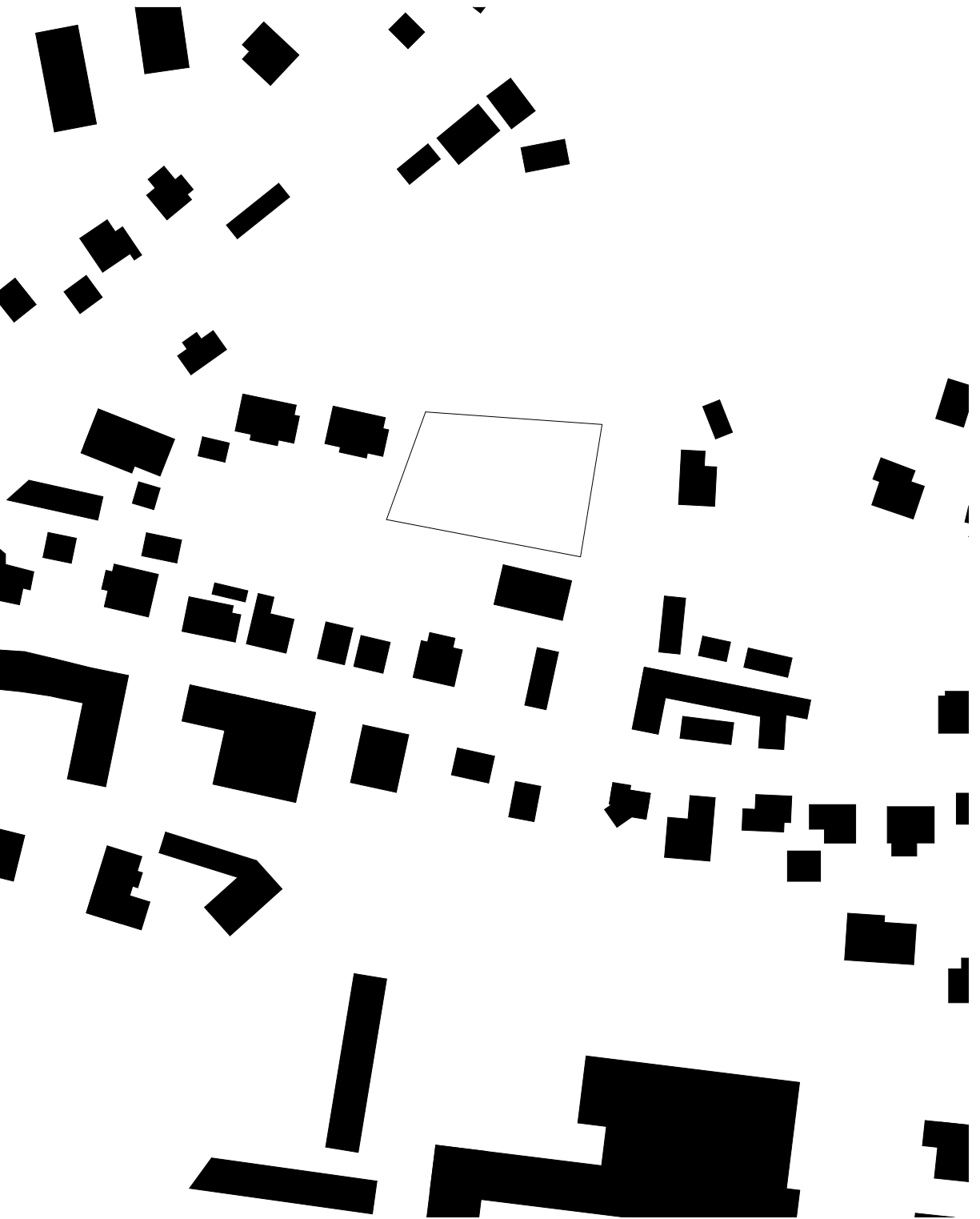




Abbildung 5.1.5: Foto 1 Ragnitzstraße



Abbildung 5.1.6: Foto 2 Ragnitzstraße

### 5.1.3 Grundstück

Vom Grundstück am Südhang hat man einen Ausblick auf den Ruckerlberg und die im Tal liegenden Häuser. Mit 2500 Quadratmetern bietet es außerdem genügend Platz für zwei Mehrfamilienhäuser und einen Garten. Die Erschließung erfolgt über das bestehende Nachbargrundstück und die anschließende Riesstraße.



Abbildung 5.1.7: Blick von Westen auf das Grundstück



Abbildung 5.1.8: Blick von Norden auf das Grundstück



Abbildung 5.1.9: Blick von Süden auf das Grundstück



Abbildung 5.1.10: Blick von Süden vom Ruckerberg auf das Grundstück



Abbildung 5.1.11: Blick von Süden vom Ruckerberg auf das Grundstück





Abbildung 5.1.12: Blick vom Ruckerlberg auf das Grundstück

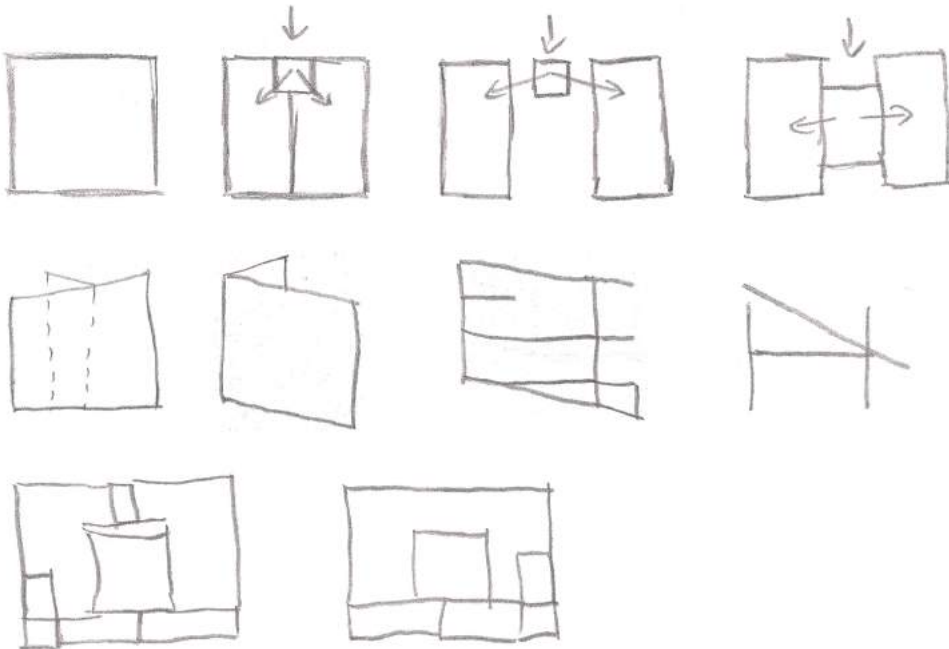


Abbildung 5.1.13: Ausblick vom Grundstück auf den Ruckerlberg

## 5.2 Konzept

Die Grundidee ist einen möglichst würfelförmigen Baukörper zu entwerfen, um das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen zu optimieren. Es stellte sich heraus, dass ein Zweispänner mit Flachdach dieses Verhältnis am besten erfüllt. Aus gestalterischen Gründen gab es die Idee mit den Positionen der Loggien zu spielen. Da sich das Gebäude an einem Südhang befindet, sollten auch Schiebeelemente eingeplant werden.

Abbildung 5.2.1: erste Grundideen



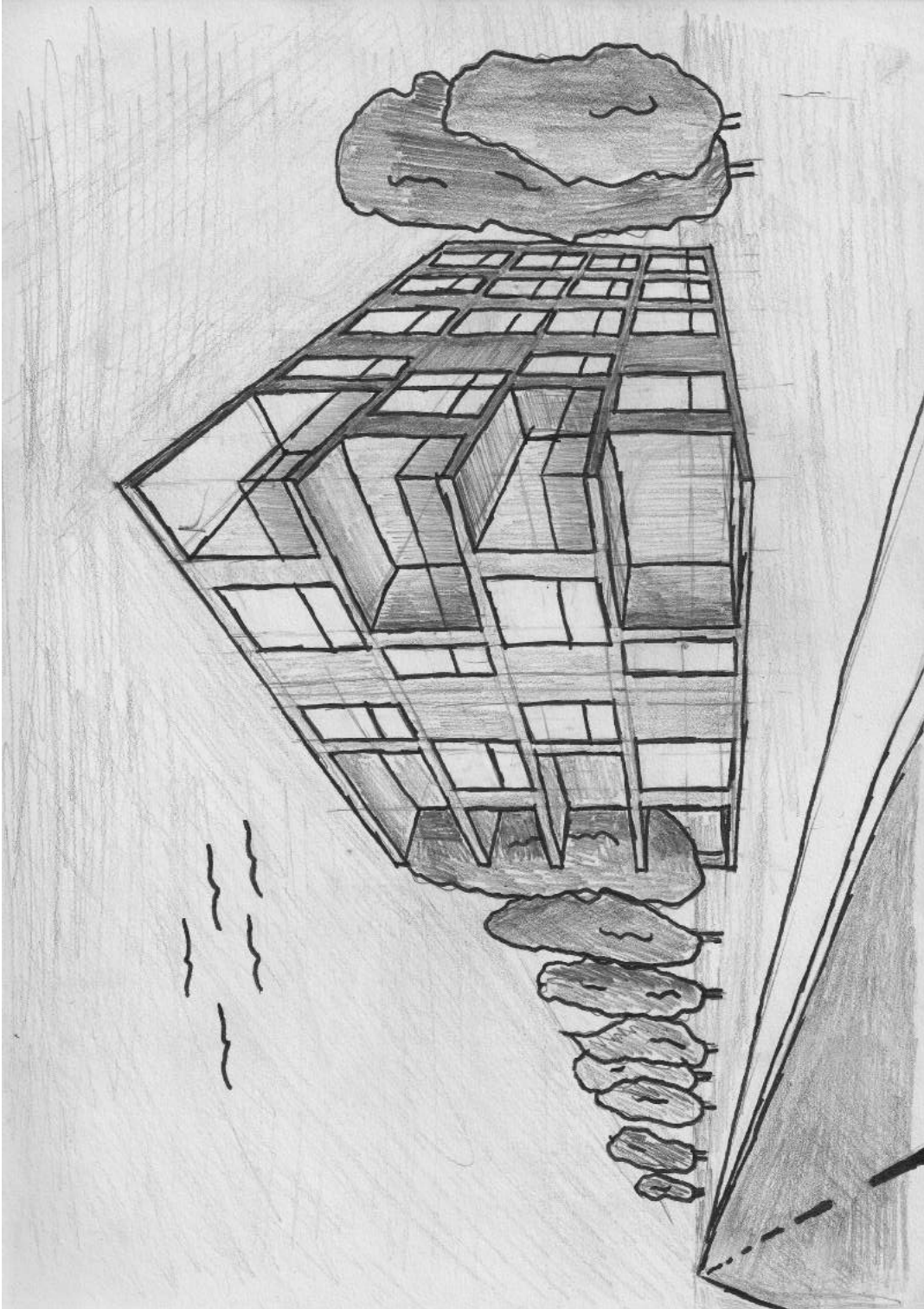


Abbildung 5.2.2: Skizze einer konkreteren Idee

## 5.3 Ergebnis

Entstanden sind zwei Baukörper, welche die bereits bestehende Bebauung in ähnlicher Form fortsetzen. Da es sich um Mehrfamilienhäuser handelt, ist ein Keller eingeplant, um Fahrräder und persönliche Gegenstände abstellen zu können. Dieser befindet sich zur Hälfte oberirdisch. Das hat den Vorteil, dass die Wohnbereiche nicht ebenerdig liegen und so das Gelände ausgenutzt wird.

Aus gestalterischen Gründen wurde im Bereich der Loggien von der Würfelform abgewichen. Da sich die Gebäude am Südhang befinden, sind Schiebeelemente angebracht, die der Bewohner je nach Bedürfnis zur Verschattung nutzen kann. Sie fügen sich bündig in die Fassade ein. Die Geländer der Loggien ergeben sich aus der horizontalen Lattung der Fassade.

Nach der statischen Untersuchung wurde klar, dass sich die überkragenden Decken nur mit einer weiteren Stütze realisieren lassen, welche nun den Abschluss an den Ecken der Gebäude bilden.

In jedem Gebäude befinden sich 10 Wohnungen. 5 mit jeweils  $79,9\text{m}^2$  Wohnbereich und  $10,52^2$  Loggia und 5 mit jeweils  $85,9\text{m}^2$  Wohnbereich und  $5,69\text{m}^2$  Loggia. Pro Haus stehen somit ca.  $900\text{m}^2$  Nutzfläche zur Verfügung.

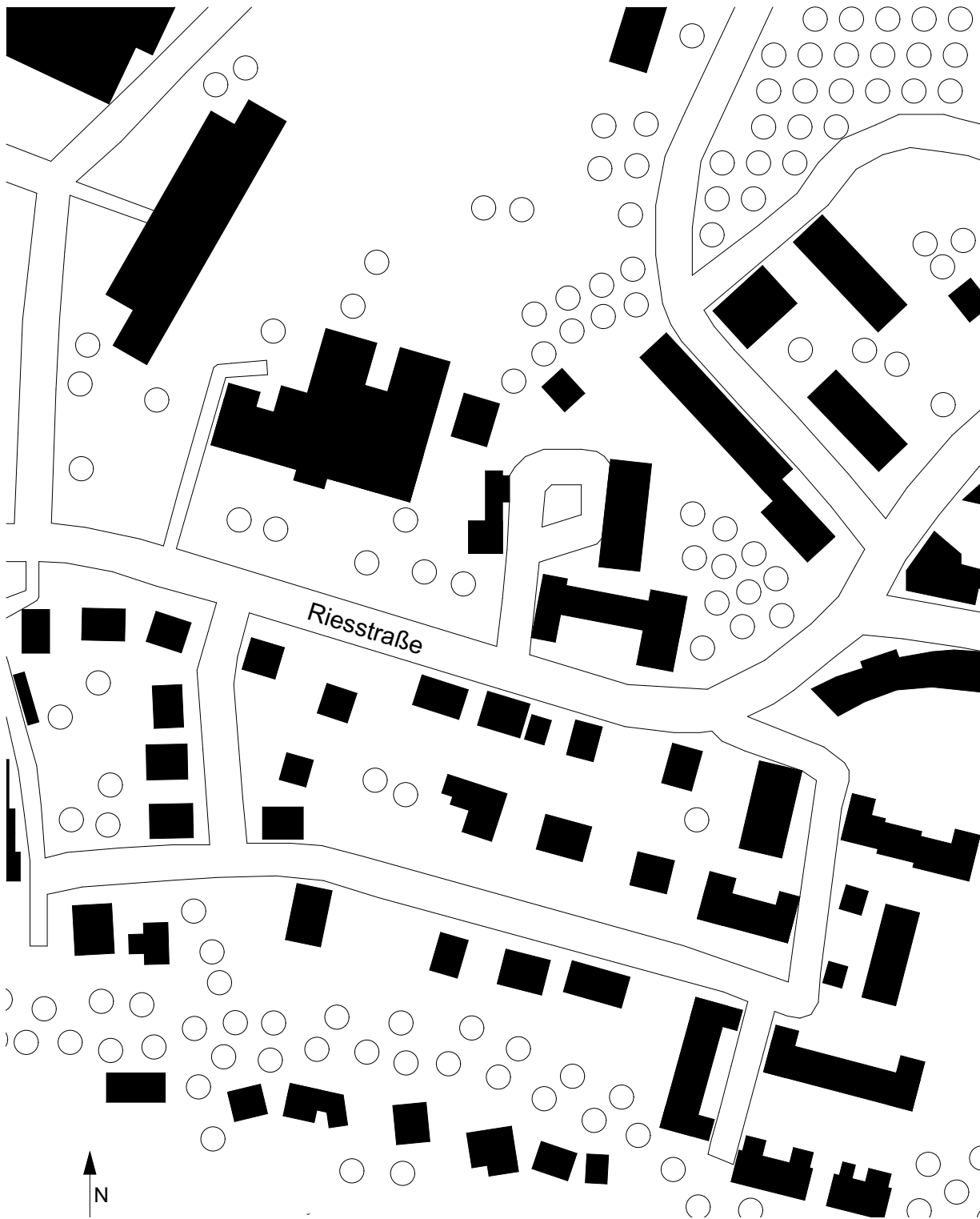


Abbildung 5.3.1: Lageplan Situation nach dem Bau - M 1:2000



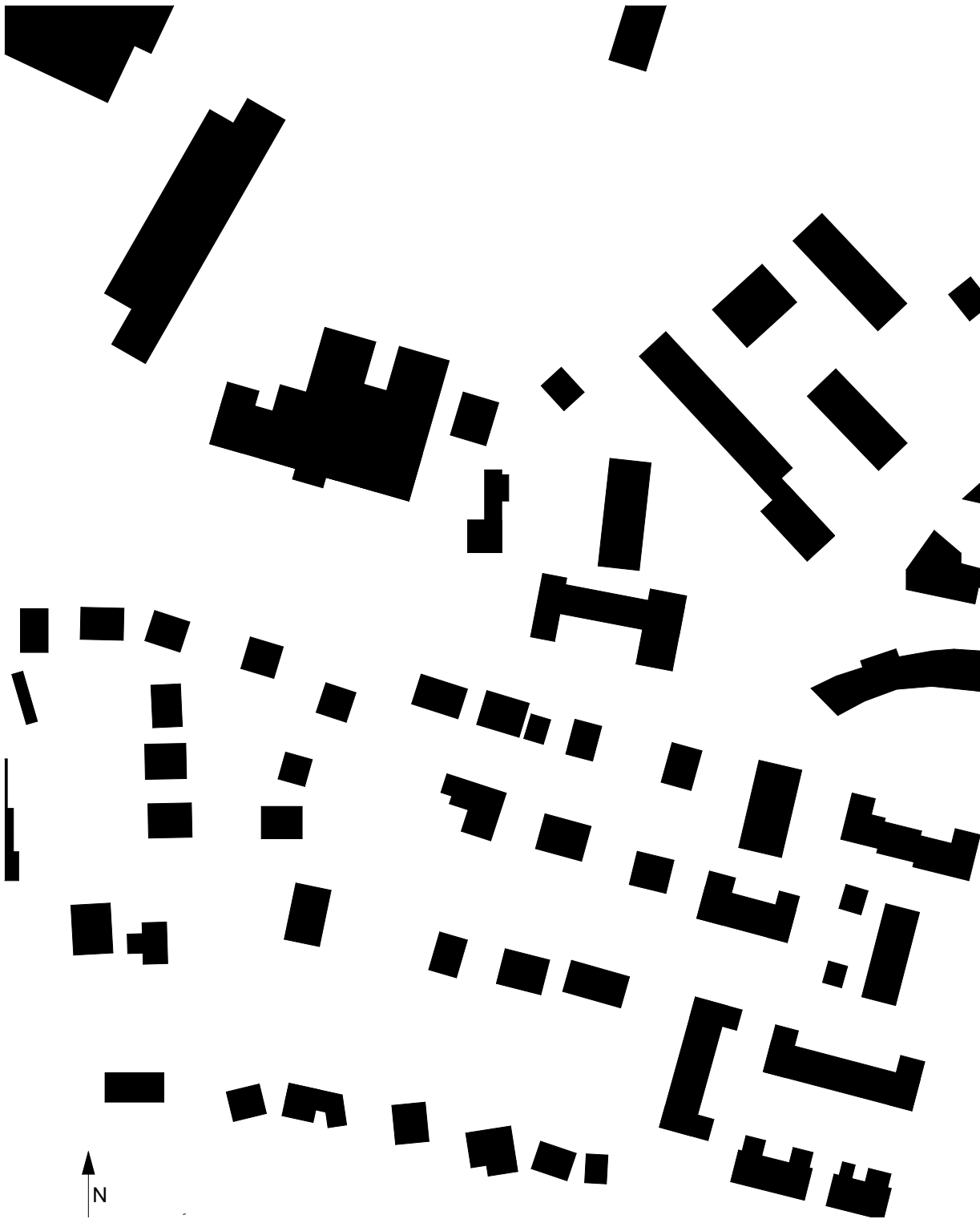
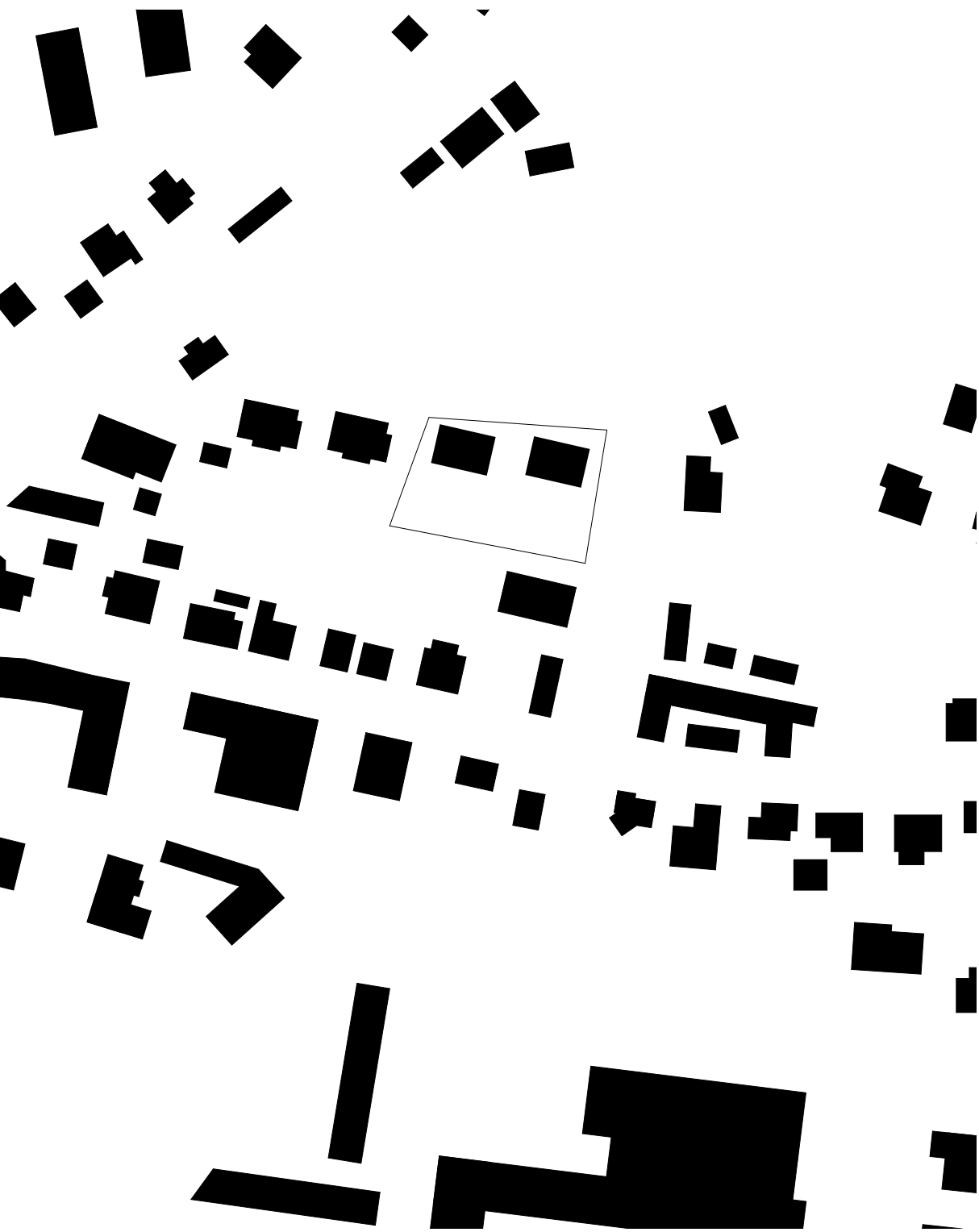


Abbildung 5.3.2: Schwarzplan Situation nach dem Bau - M 1:2000







### 5.3.1 Grundrisse und Schnitt

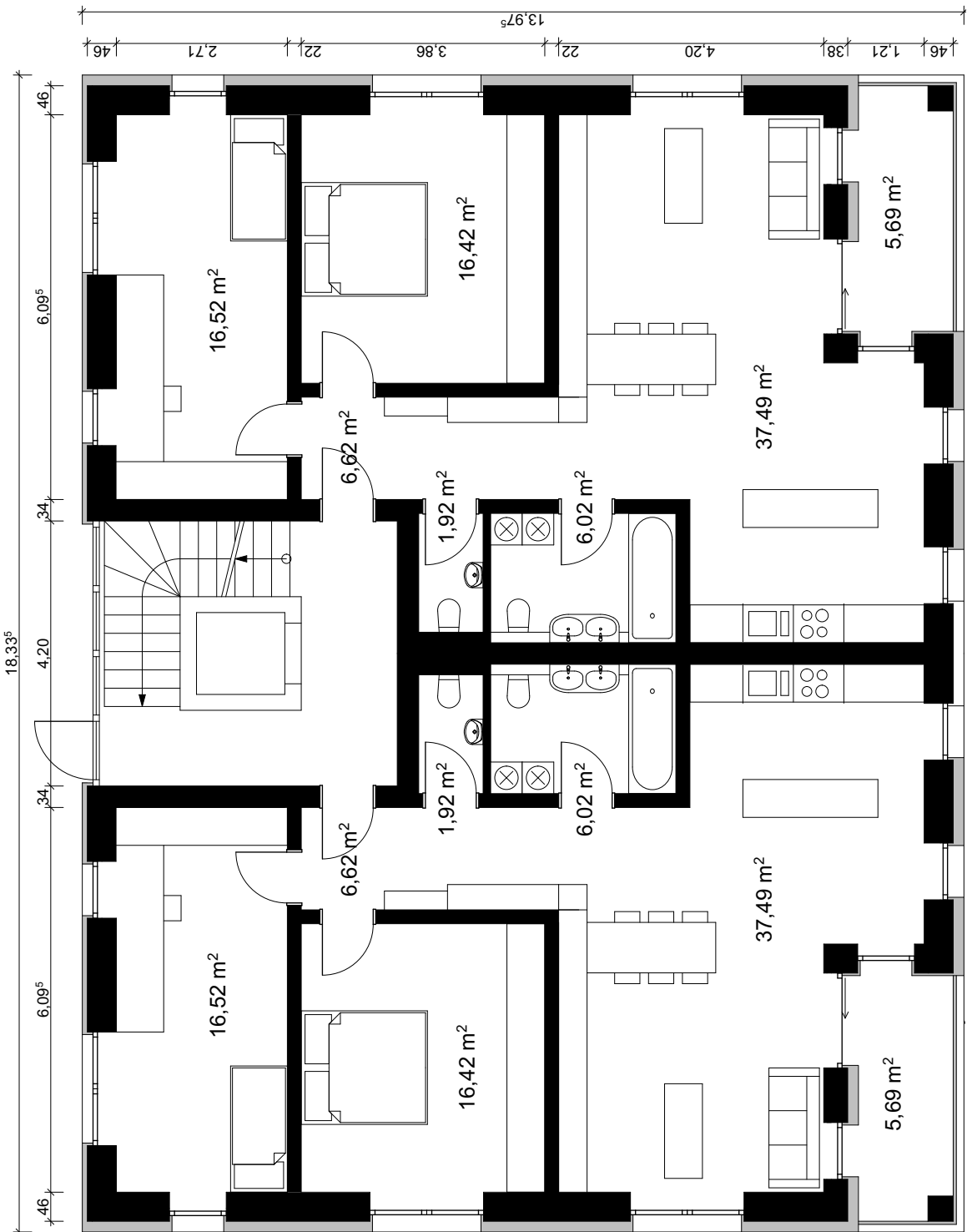


Abbildung 5.3.3: Grundriss Erdgeschoss M 1:100

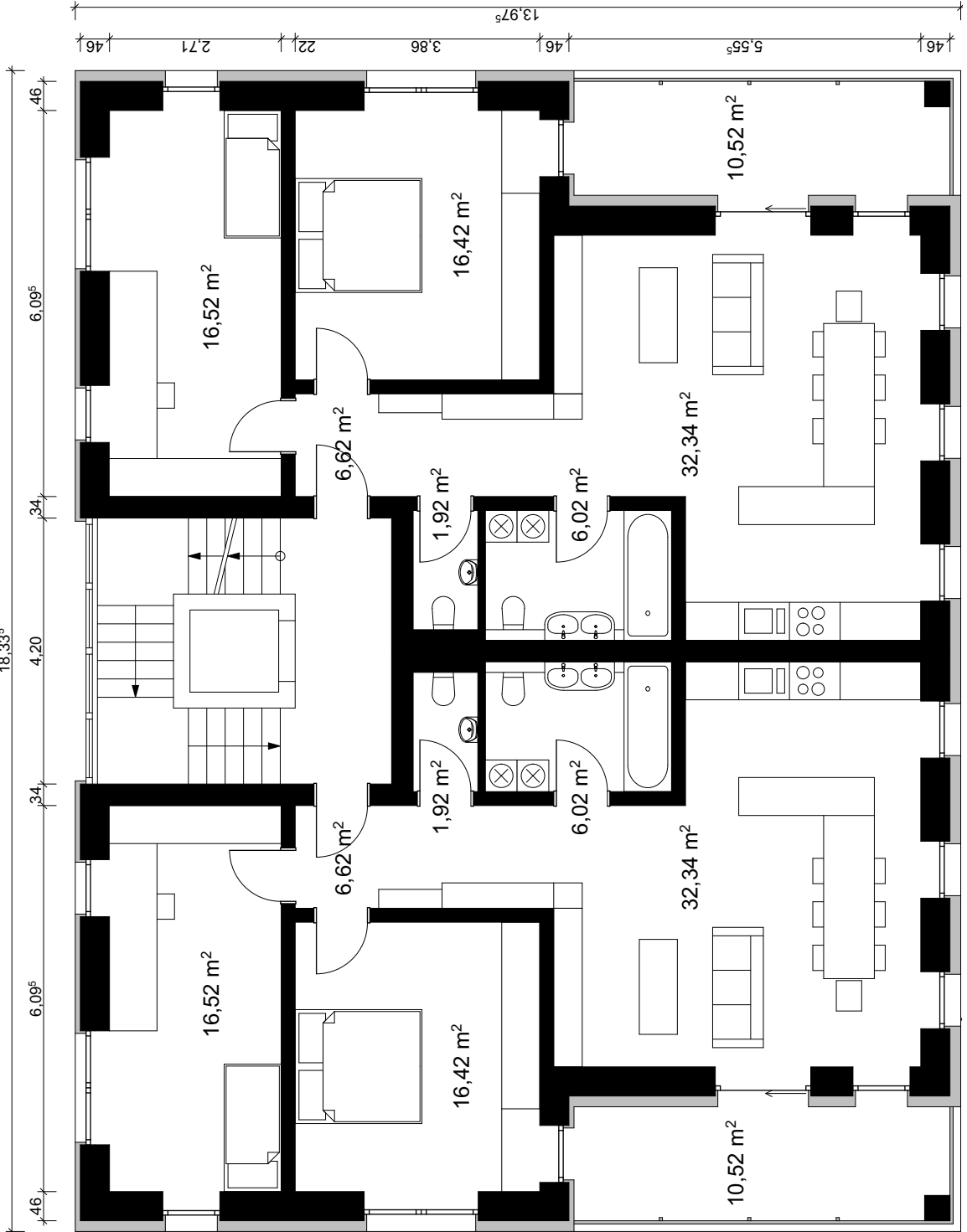


Abbildung 5.3.4: Grundriss 1. und 3. Obergeschoss M 1:100

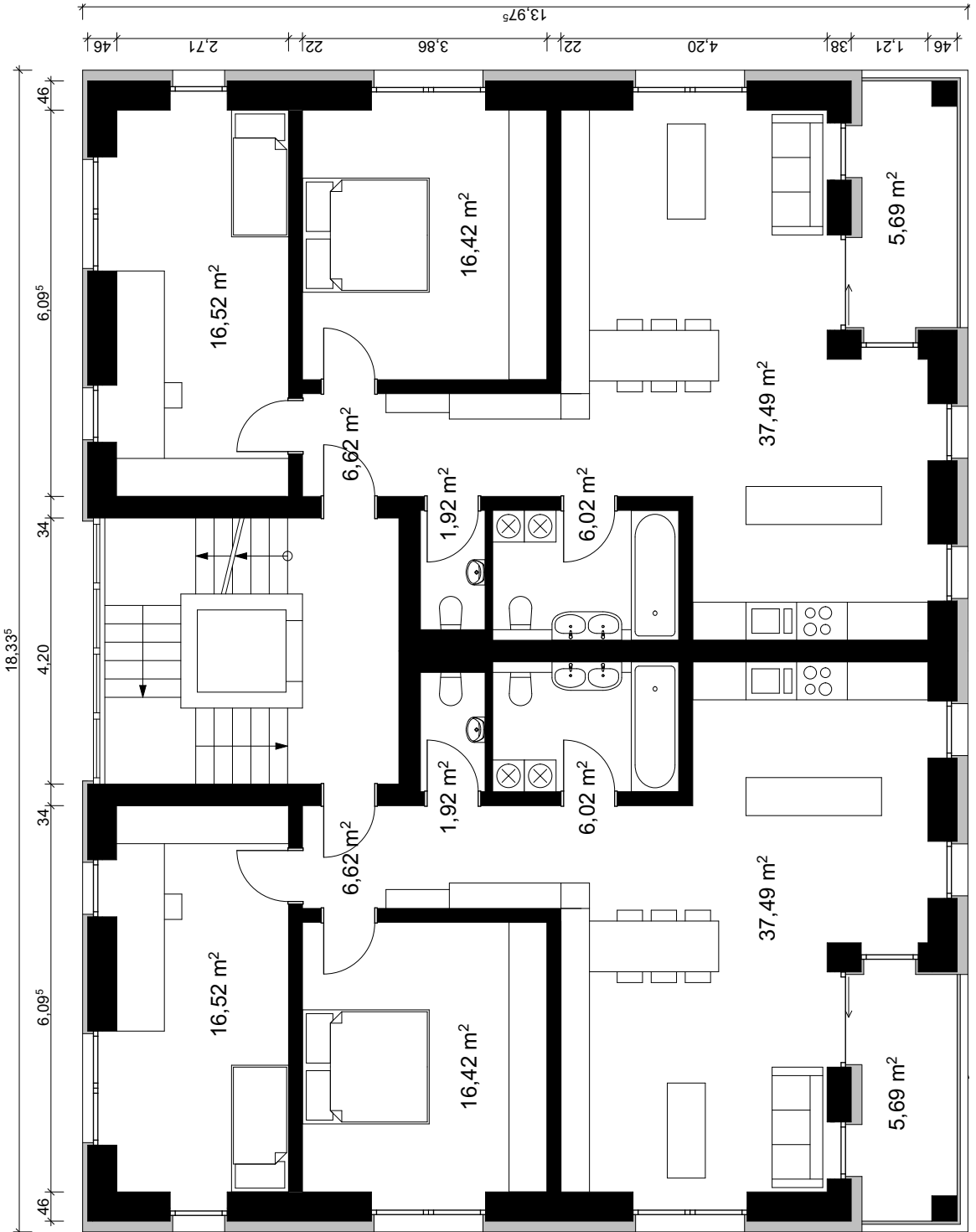


Abbildung 5.3.5: Grundriss 2. und 4. Obergeschoss M 1:100

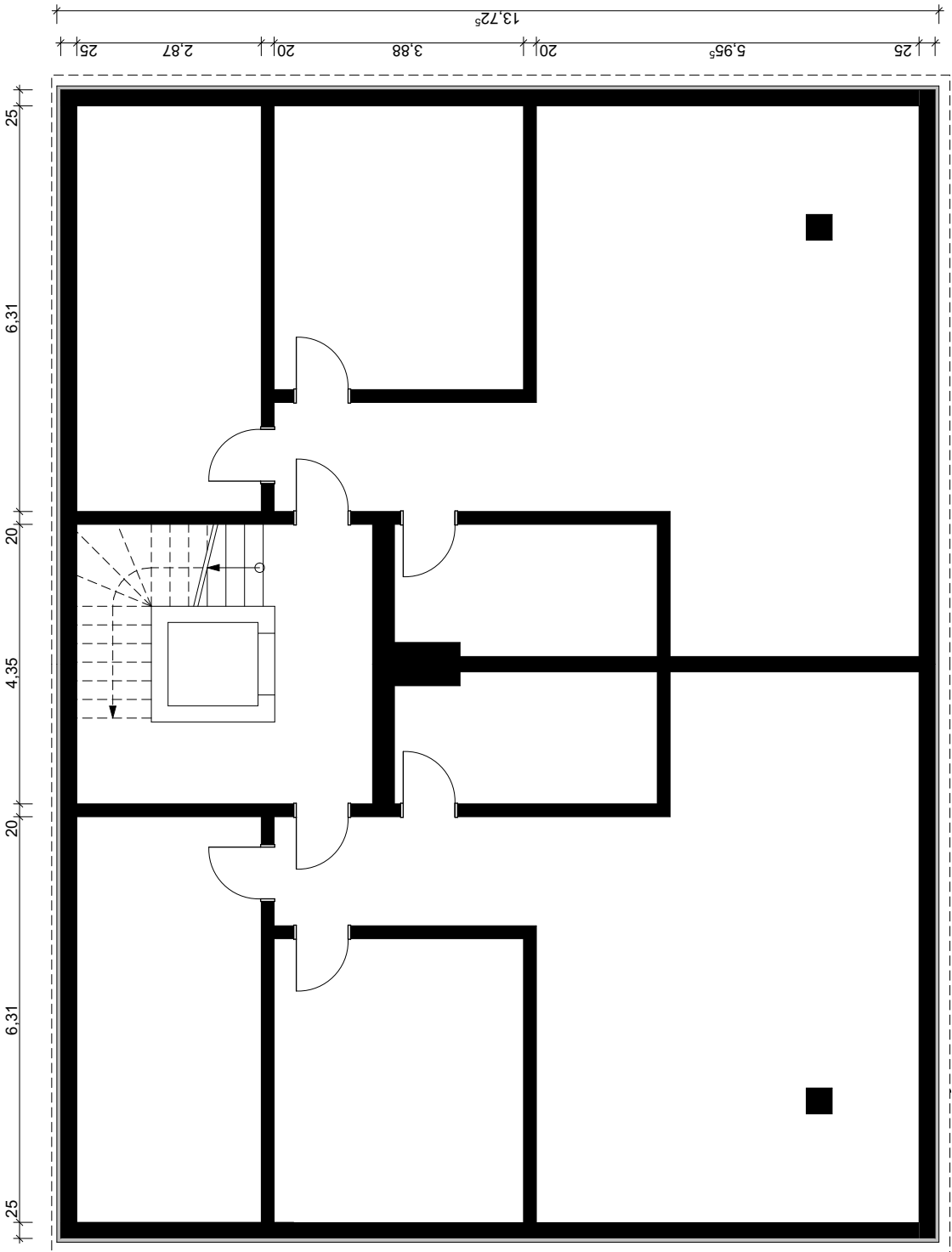


Abbildung 5.3.6: Grundriss Kellergeschoss M1 1:100

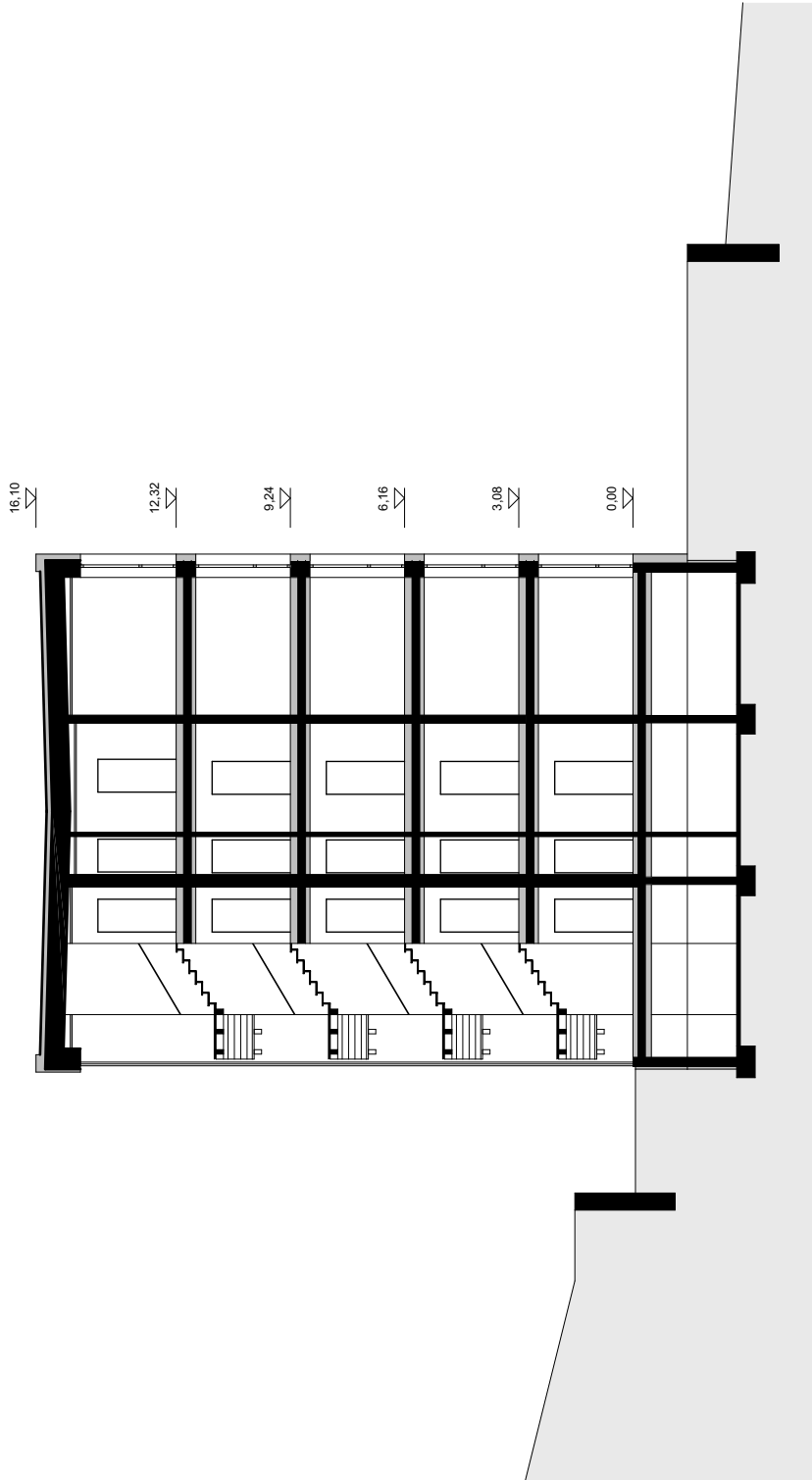


Abbildung 5.3.7: Schnitt M 1:200





## 5.3.2 Statik

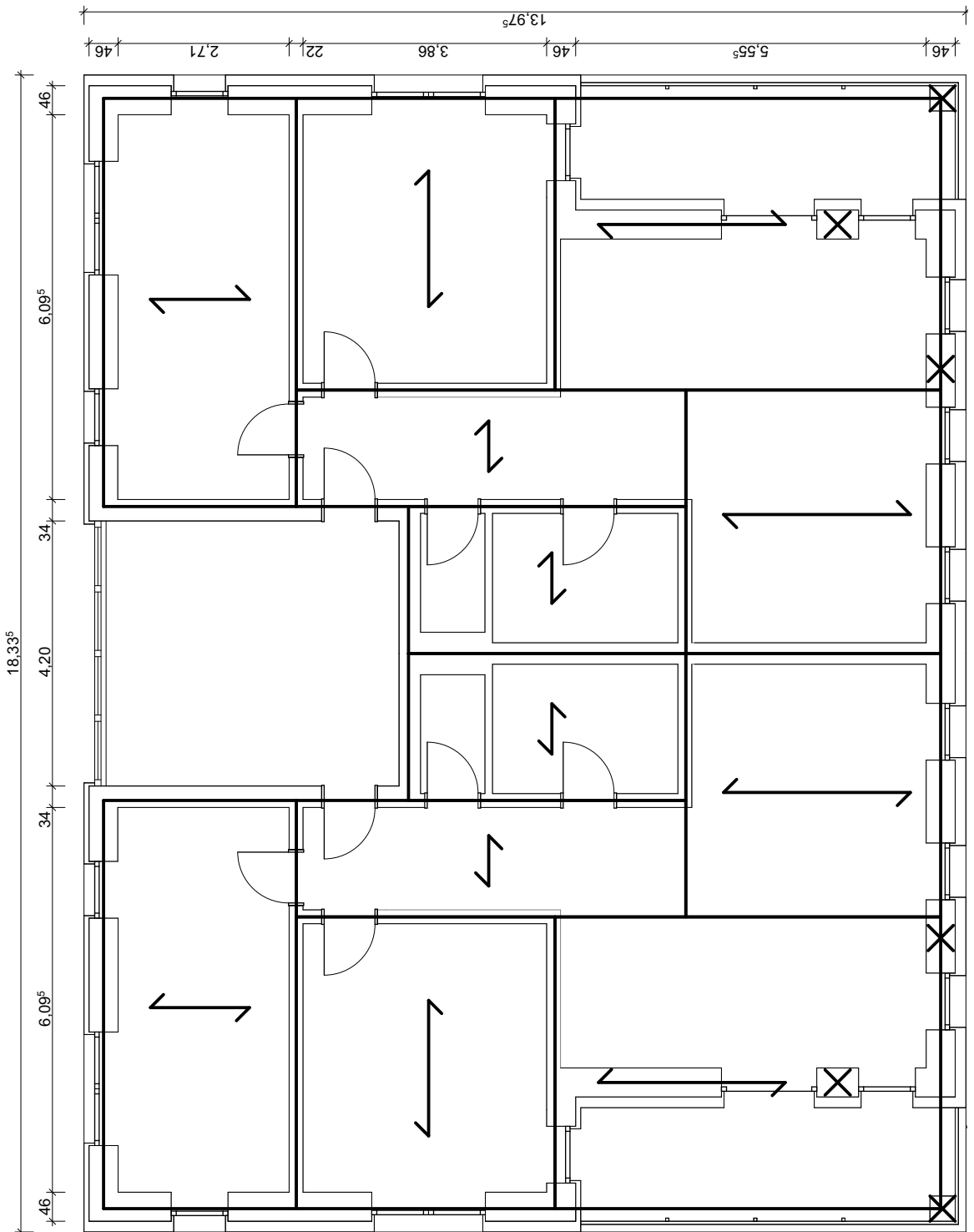


Abbildung 5.3.8: Statik 1. und 3. Obergeschoss M 1:100

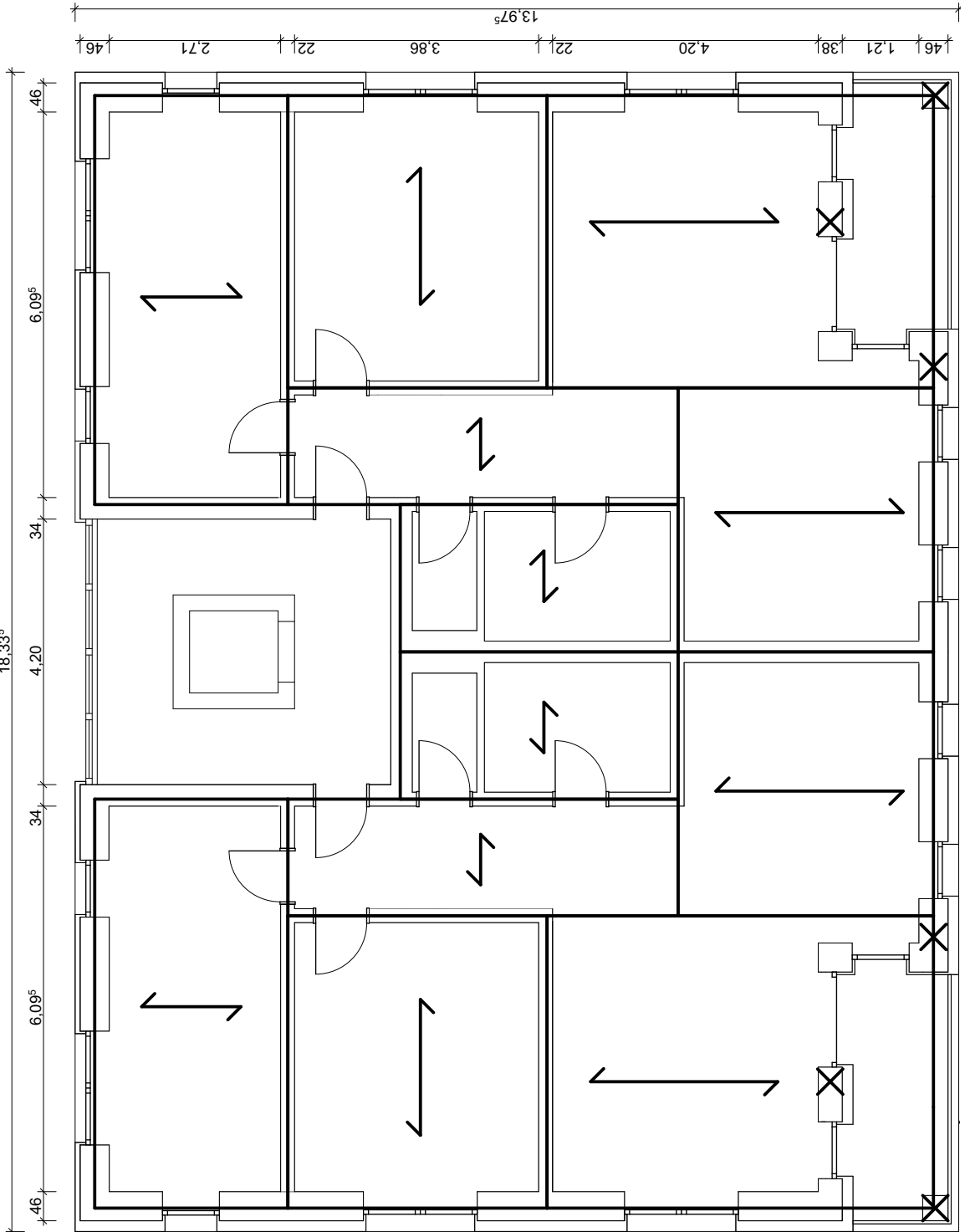


Abbildung 5.3.9: Statik 2. und 4. Obergeschoss M 1:100



### 5.3.3 Ansichten



Abbildung 5.3.10: Frontfassade - Ansicht M 1:200



Abbildung 5.3.11: Ostfassade - Ansicht M 1:200



Abbildung 5.3.12: Westfassade - Ansicht M 1:200

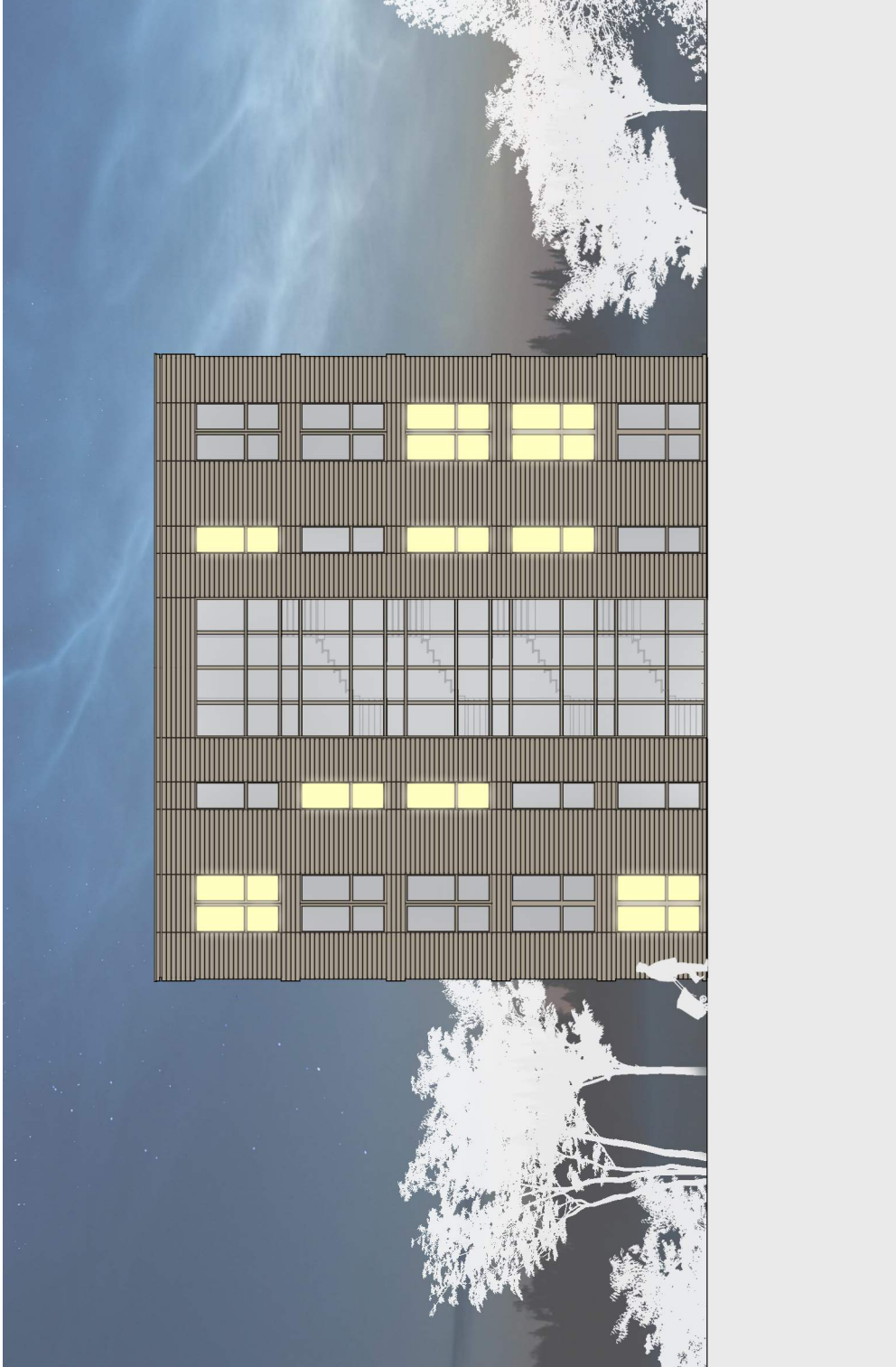


Abbildung 5.3.13: Rückseite - Ansicht M 1:200





## 5.3.4 Details

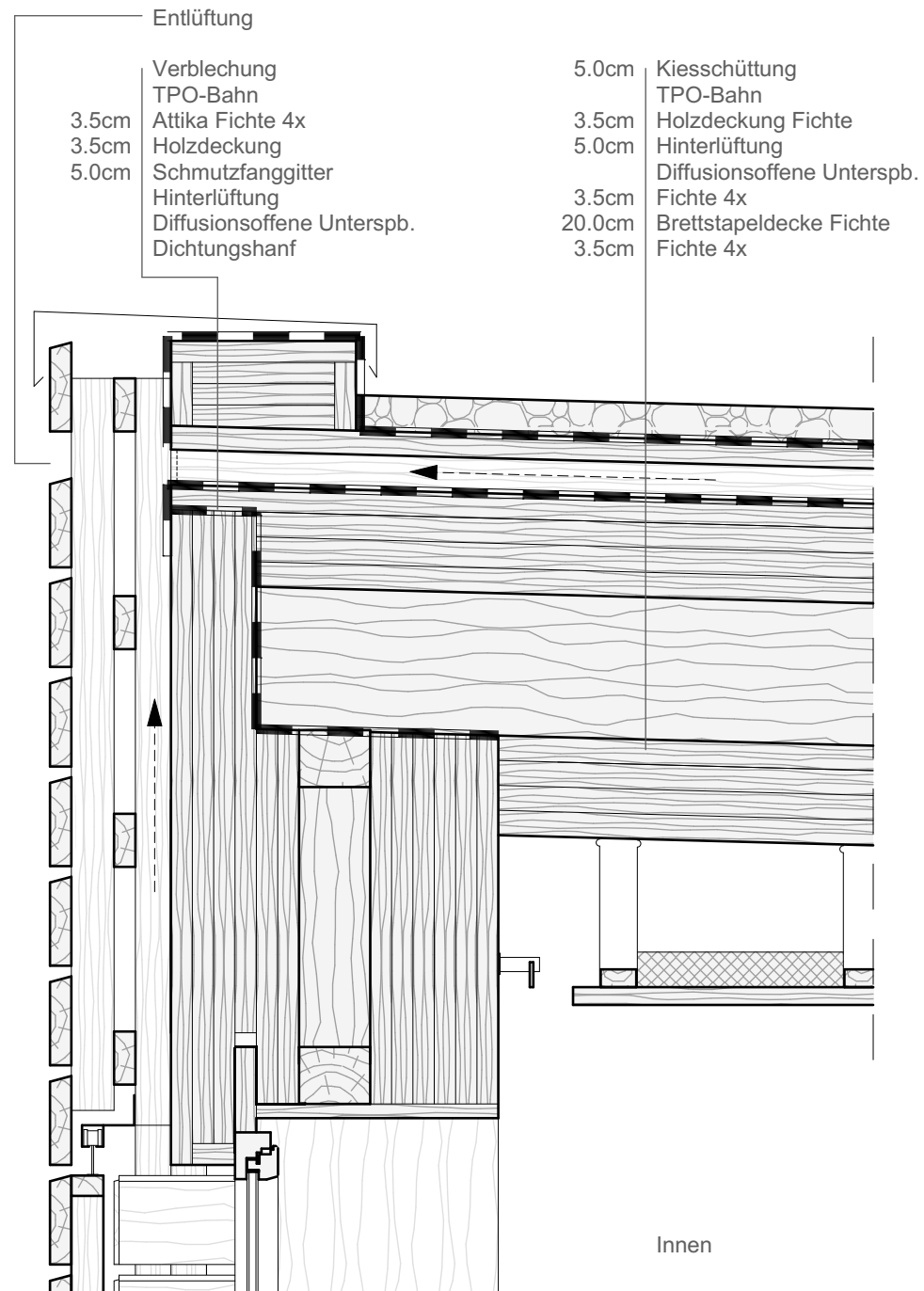


Abbildung 5.3.14: Attika - Detail M 1:10

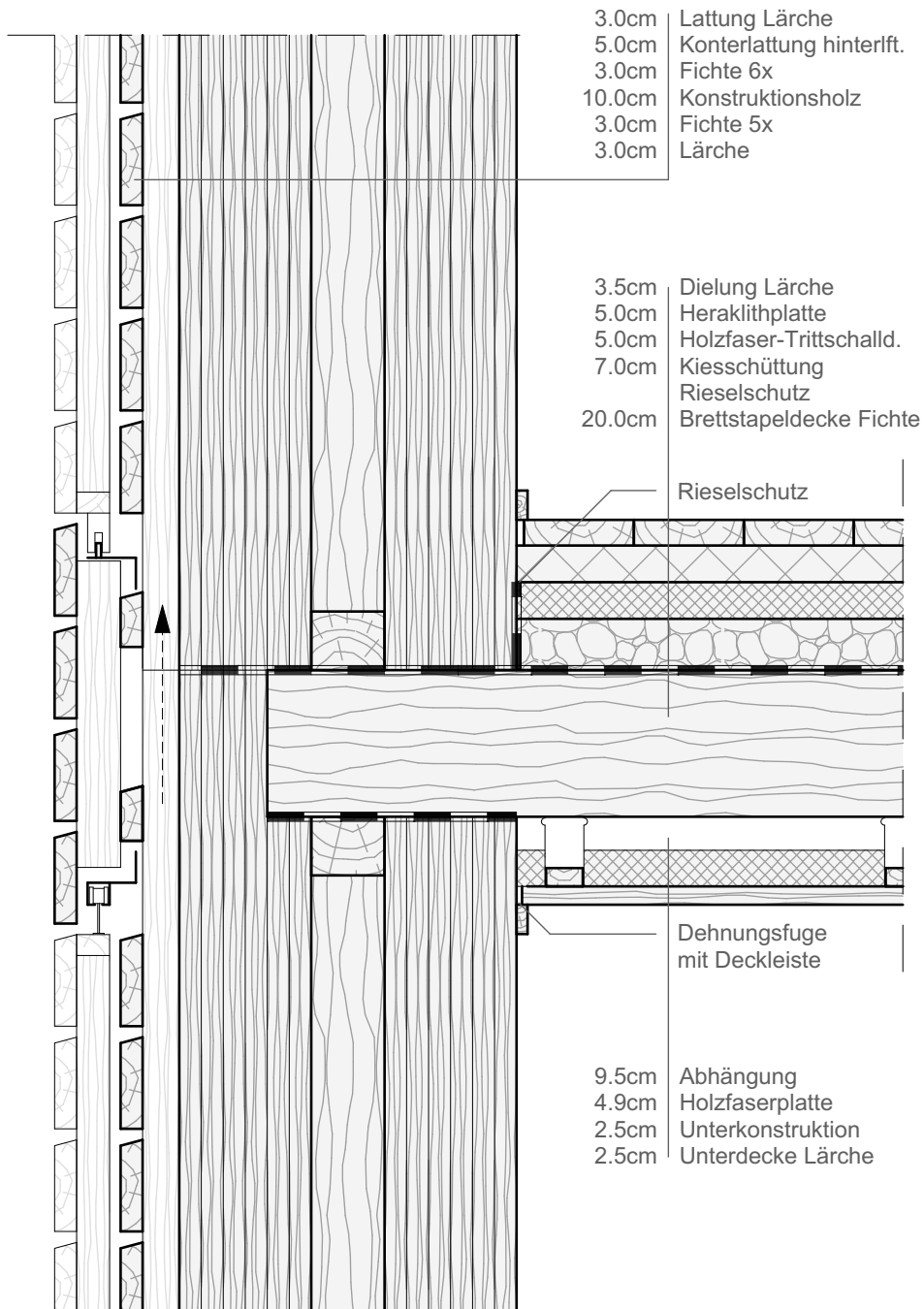


Abbildung 5.3.15: Deckenanschluss an Außenwand - Detail M 1:10

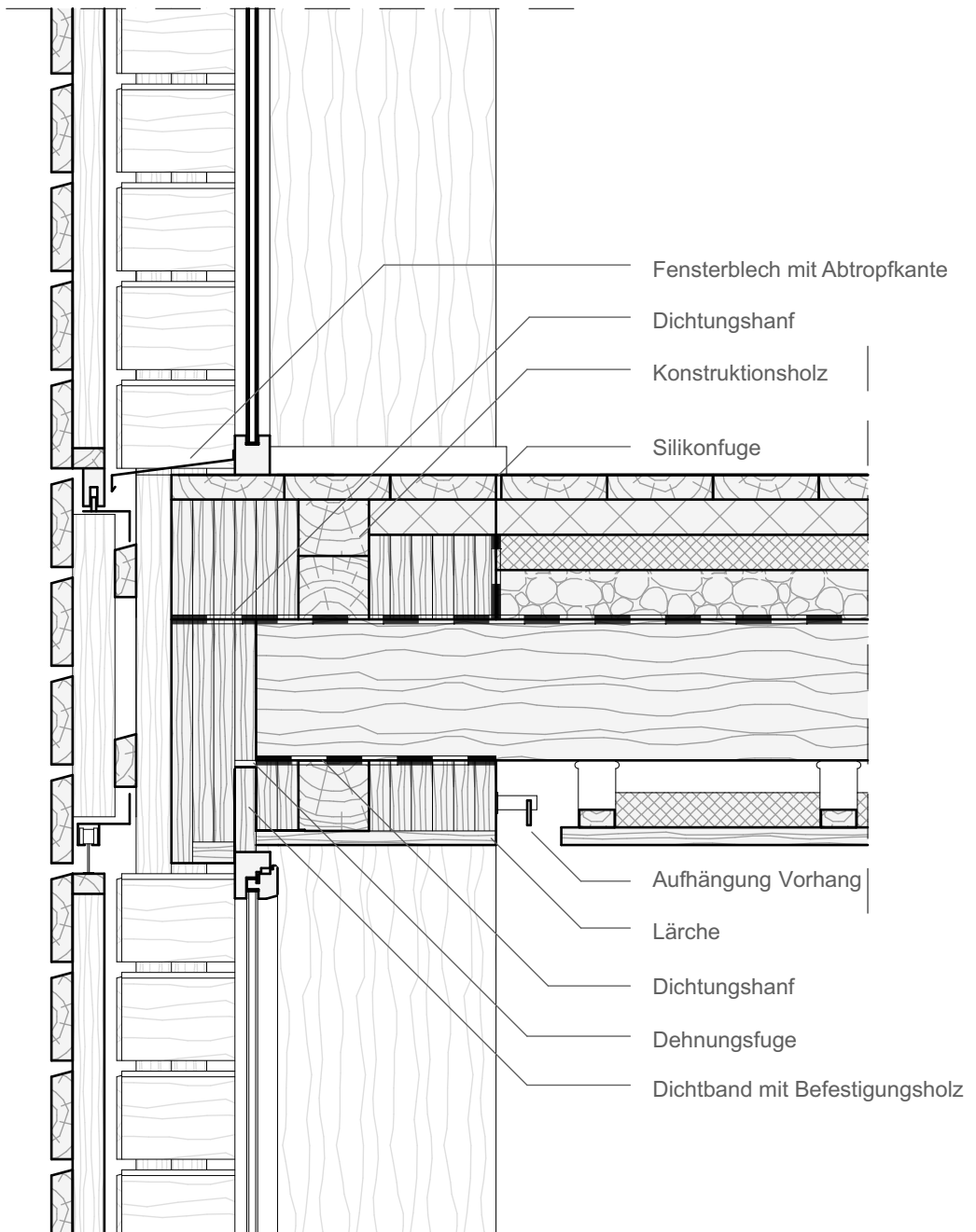


Abbildung 5.3.16: Fensteranschluss - Detail M 1:10

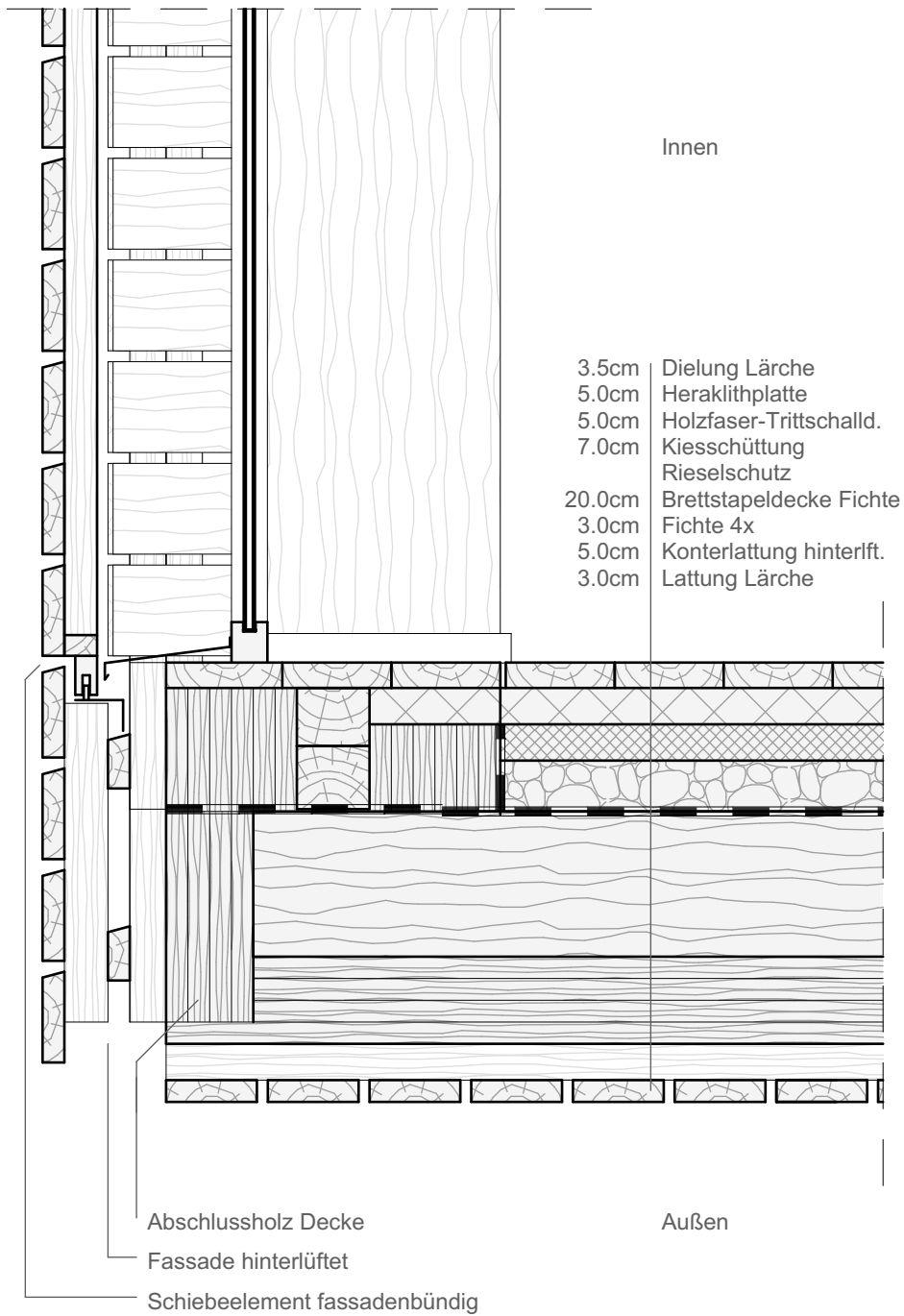


Abbildung 5.3.17: Balkon - Detail 1 M 1:10

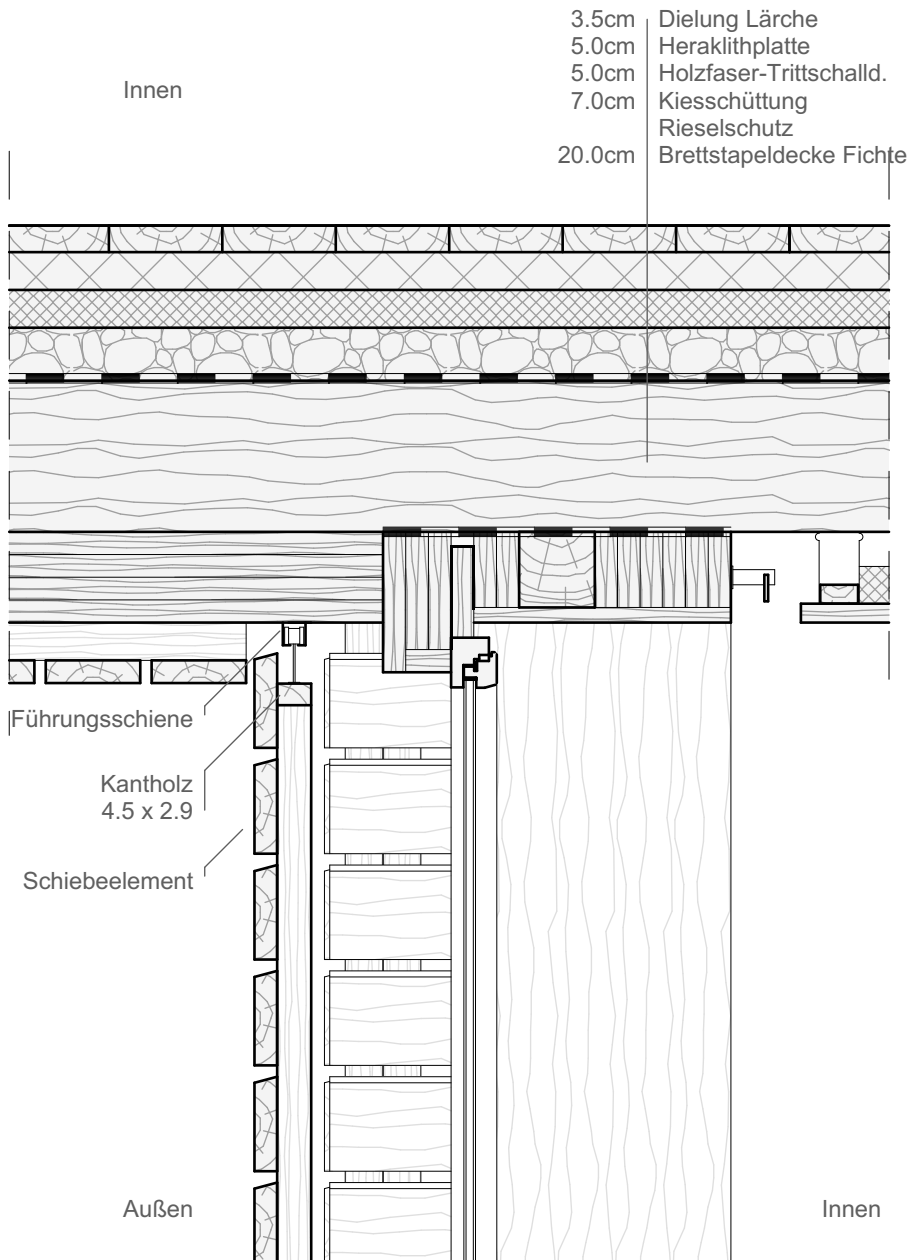


Abbildung 5.3.18: Balkon - Detail 2 M 1:10

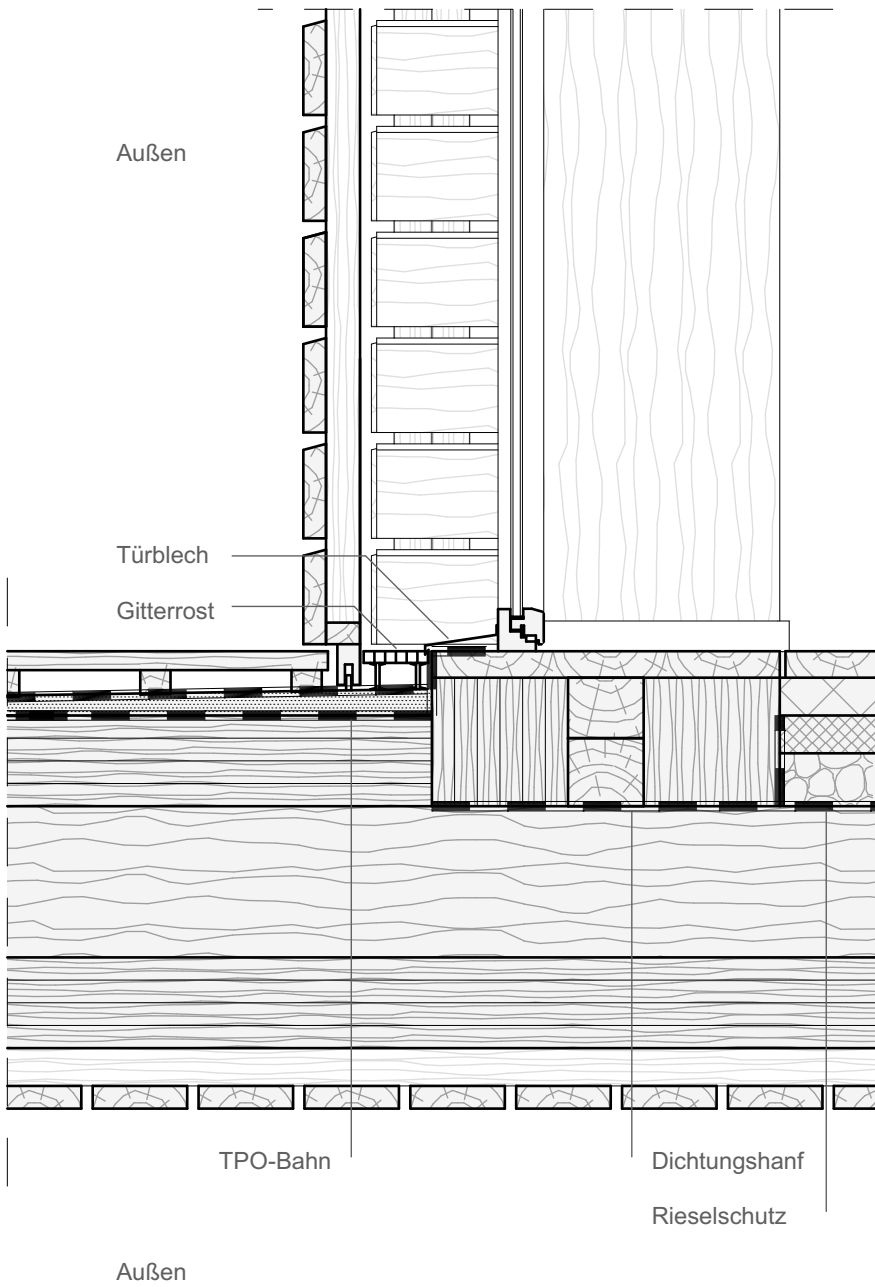


Abbildung 5.3.19: Balkon - Detail 3 M 1:10

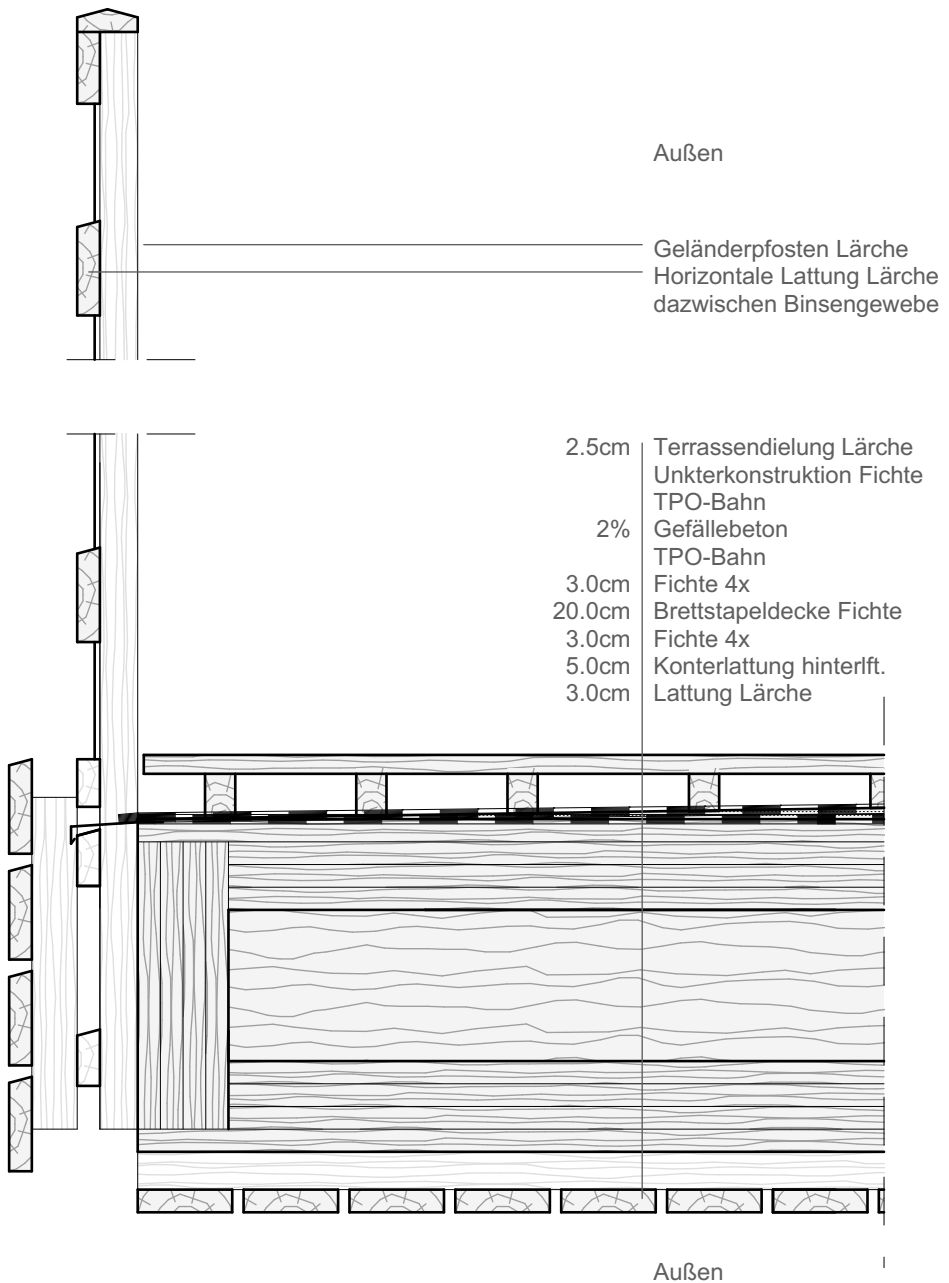


Abbildung 5.3.20: Balkon - Detail 4 M 1:10

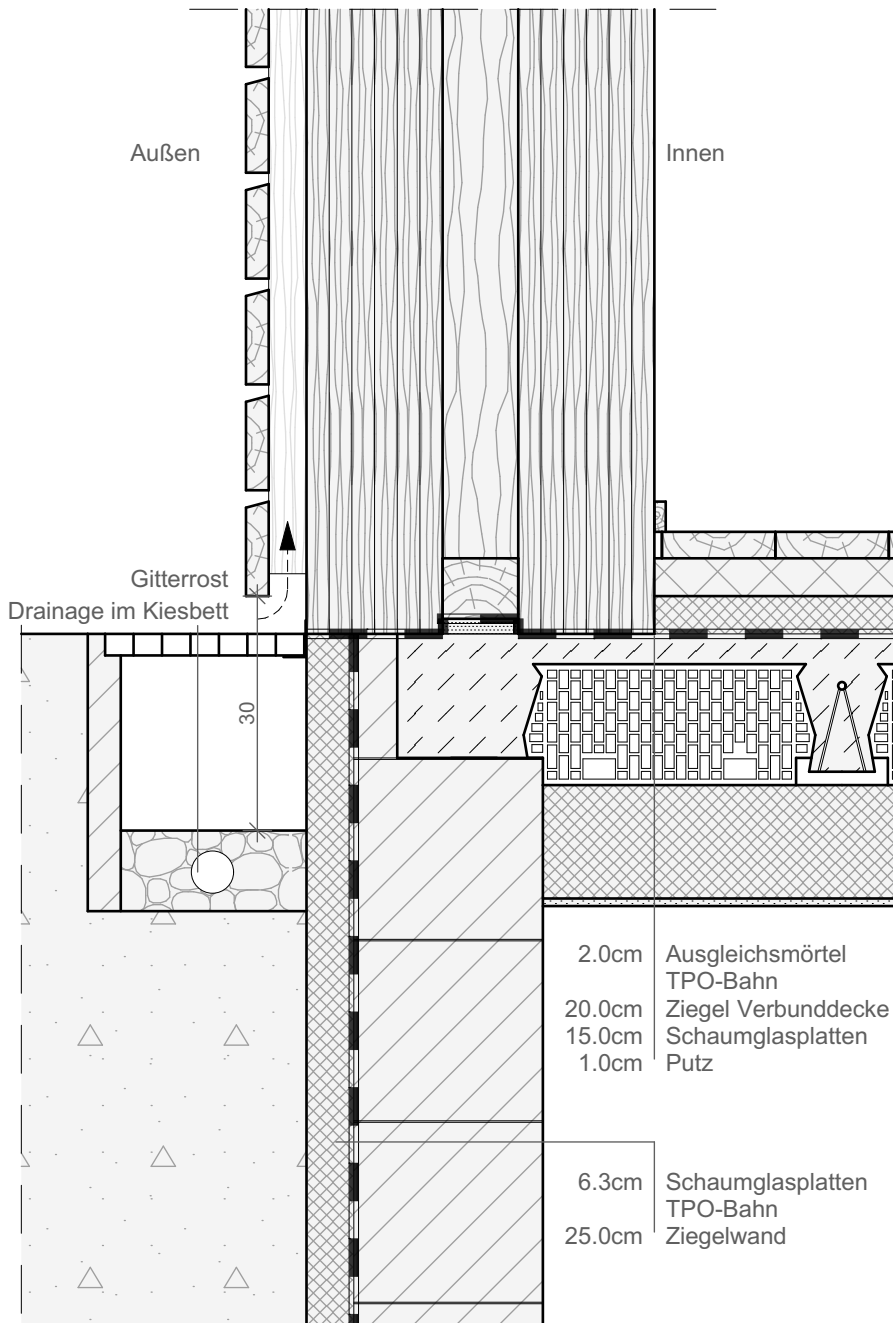


Abbildung 5.3.21: Keller - Detail M 1:10



## 5.3.5 Renderings

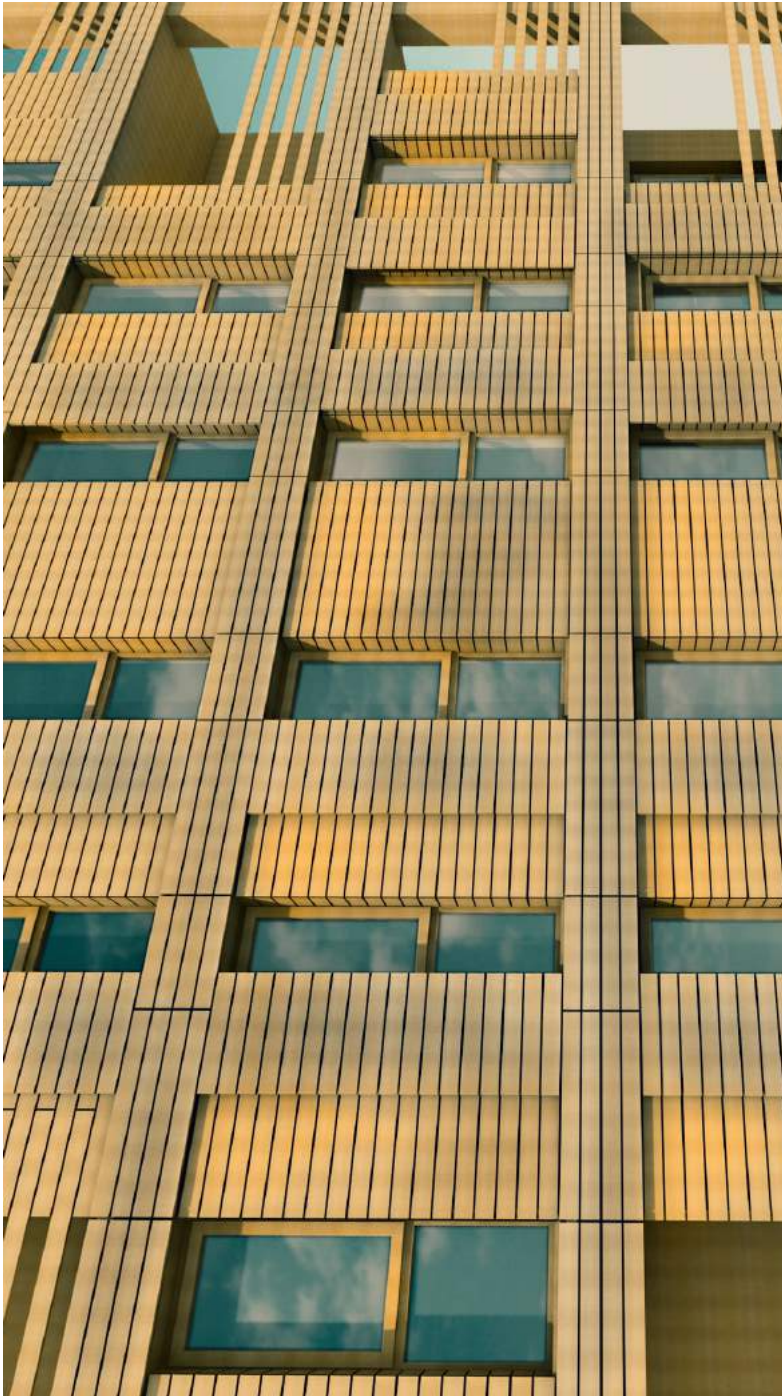


Abbildung 5.3.22: Rendering Südfassade



Abbildung 5.3.23: Rendering Innen

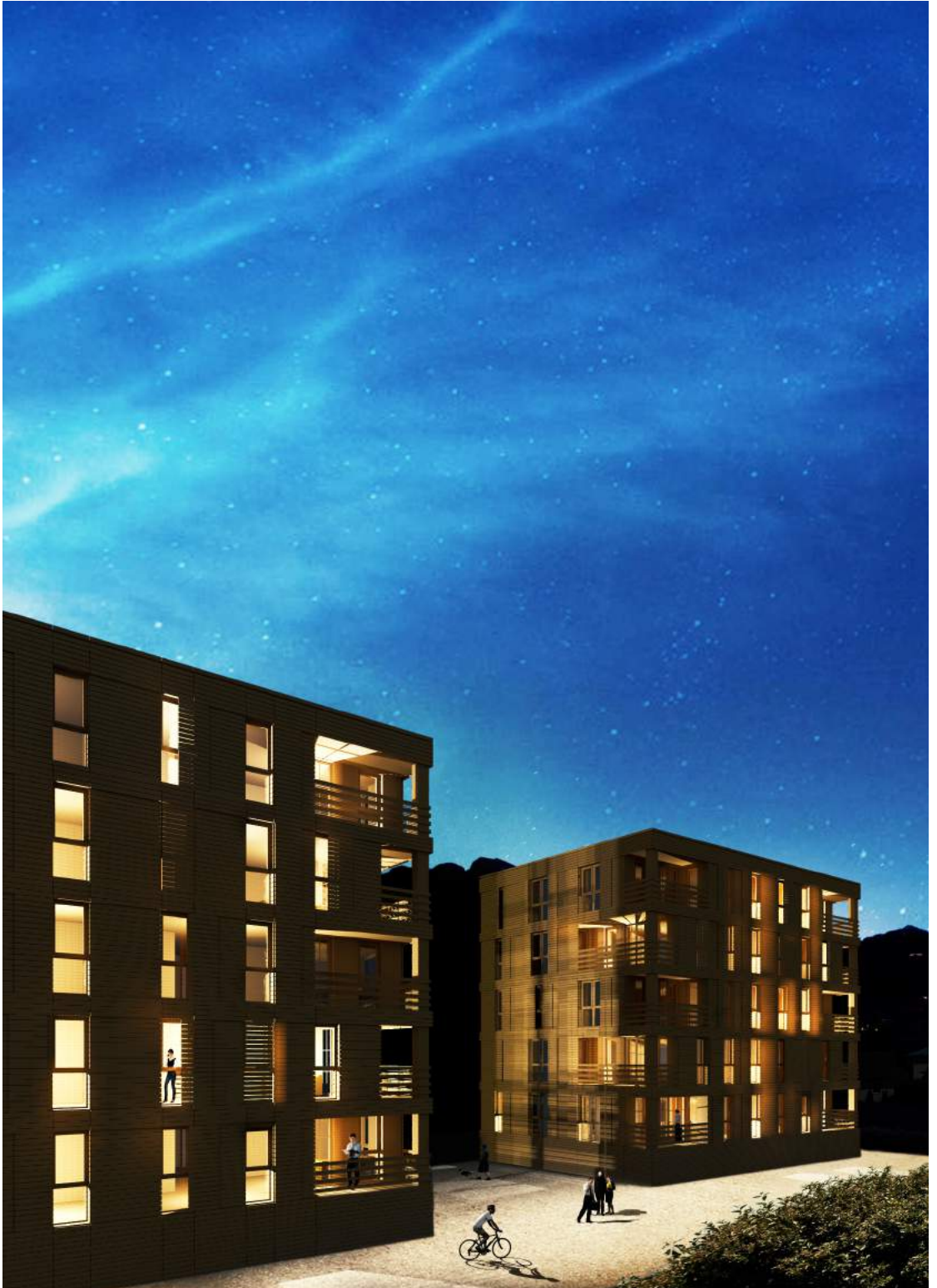


Abbildung 5.3.24: Rendering Baukörper



## **Teil 6**

# **Zusammenfassung**



---

Die Arbeit hat gezeigt, dass sich nachhaltiger Holzbau und moderne Architektur nicht ausschließen, aber auch konstruktive Probleme mit sich bringt. Auch die Auswahl der eingesetzten Materialien war oft eine Herausforderung, da die Begriffe „nachhaltig“ und „ökologisch“ oft anders interpretiert werden, als es der Fall sein sollte. Selten wird tatsächlich der gesamte Kreislauf betrachtet.

Holz bietet eine gute Lösung für eine nachhaltige Architektur, wobei auch hier auf die Nachhaltigkeit aller Teilprozesse von der Gewinnung bis zur Entsorgung geachtet werden muss. In Zukunft sollte dahingehend mehr Bewusstsein geschaffen werden, denn trotz vorhandenem Wissen, werden immer noch Materialien eingesetzt, die einen solchen Anspruch nicht erfüllen.

Robert Kalb, 2015





# Anhang



# A Interview mit Herrn L. Ack<sup>1</sup>

Chemnitz, 23.07.2015

- bestes Öl ist Leinöl, regional
- kann zu 100% eingesetzt werden
- Lacke nutzen sich ab, müssen abgeschliffen werden + neu lackieren, d.h. kompletter Neuaufbau
- Lacke zerkratzen, blättern ab, sind erdölbasiert
- Öle waschen aus
- zu 100% natürlich geht nicht, zu 1% unnatürlich
- Öl im Innenbereich perfekt, seit 10 Jahren verstärkte Anwendung, nahezu Standard
- bei anderen Ölen Problem der Trocknung, nur mit Zusätzen möglich
- Sonnenblumenöl wird immer wieder flüssig
- Leinöl ist in ausreichenden, günstigen Mengen vorhanden
- andere Öle haben Nachteile und sind zum Teil erheblich teurer
- langsame Trocknung ohne Zusätze ist vor allem im technischen Bereich / Herstellung zum Beispiel von Parkett problematisch

---

<sup>1</sup>Name geändert



# B Temperaturberechnungen

## Wandsystem A

Tabelle B.1: Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck

R in $\frac{m^2K}{W}$	U in $\frac{W}{m^2K}$	$t_i$ in °C	$h_i$ in %	$t_a$ in °C	$h_a$ in %	q in $\frac{W^\circ C}{m^2K}$
3,55	0,282	20,00	50,00	-10,00	80,00	8,45
Schicht	d in mm	$\lambda$ in $\frac{W}{mK}$	R in $\frac{m^2K}{W}$	$t_i$ in °C	$p_s$ in Pa	$p_x$ in Pa
innen				20,00	2338	1169
Wärmeübergang			0,040	19,66	2290	
Lärche	28	0,13	0,215	17,84	2044	
Luft (ruhend)	4		0,088	17,10	1951	
Lärche	26	0,13	0,200	15,41	1752	
Luft (ruhend)	4		0,088	14,67	1670	
Lärche	26	0,13	0,200	12,98	1497	
Luft (ruhend)	4		0,088	12,23	1426	
Lärche	26	0,13	0,200	10,54	1275	
Luft (ruhend)	4		0,088	9,80	1213	
Lärche	136	0,13	1,046	0,96	655	
Luft (ruhend)	4		0,088	0,22	621	
Lärche	26	0,13	0,200	-1,47	542	
Luft (ruhend)	4		0,088	-2,22	509	
Lärche	26	0,13	0,200	-3,91	441	
Luft (ruhend)	4		0,088	-4,65	414	
Lärche	26	0,13	0,200	-6,34	358	
Luft (ruhend)	4		0,088	-7,08	336	
Lärche	28	0,13	0,215	-8,90	286	
Wärmeübergang außen			0,130	-10,00	260	208

**System B**

Tabelle B.2: Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck

$R$ in $\frac{m^2K}{W}$	$U$ in $\frac{W}{m^2K}$	$t_i$ in $^{\circ}C$	$h_i$ in %	$t_a$ in $^{\circ}C$	$h_a$ in %	$q$ in $\frac{W^{\circ}C}{m^2K}$
4,17	0,240	20,00	50,00	-10,00	80,00	7,20
Schicht	$d$ in mm	$\lambda$ in $\frac{W}{mK}$	$R$ in $\frac{m^2K}{W}$	$t_i$ in $^{\circ}C$	$p_s$ in Pa	$p_x$ in Pa
innen				20,00	2338	1169
Wärmeübergang			0,040	19,71	2297	
Lärche	38	0,13	0,292	17,61	2014	
Luft (ruhend)	4		0,088	16,97	1935	
Lärche	36	0,13	0,277	14,98	1704	
Luft (ruhend)	4		0,088	14,35	1636	
Lärche	36	0,13	0,277	12,35	1437	
Luft (ruhend)	4		0,088	11,72	1378	
Lärche	36	0,13	0,277	9,72	1207	
Luft (ruhend)	4		0,088	9,09	1156	
Lärche	136	0,13	1,046	1,56	684	
Luft (ruhend)	4		0,088	0,92	654	
Lärche	36	0,13	0,277	-1,07	560	
Luft (ruhend)	4		0,088	-1,70	531	
Lärche	36	0,13	0,277	-3,70	449	
Luft (ruhend)	4		0,088	-4,33	425	
Lärche	36	0,13	0,277	-6,33	359	
Luft (ruhend)	4		0,088	-6,96	339	
Lärche	38	0,13	0,292	-9,06	282	
Wärmeübergang		0,130	-10,00	260	208	
außen						

## System C

Tabelle B.3: Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck

R in $\frac{m^2K}{W}$	U in $\frac{W}{m^2K}$	$t_i$ in °C	$h_i$ in %	$t_a$ in °C	$h_a$ in %	q in $\frac{W^\circ C}{m^2K}$
4,13	0,242	20,00	50,00	-10,00	80,00	7,27
Schicht	d in mm	$\lambda$ in $\frac{W}{mK}$	R in $\frac{m^2K}{W}$	$t_i$ in °C	$p_s$ in Pa	$p_x$ in Pa
innen				20,00	2338	1169
Wärmeübergang			0,040	19,71	2297	
Lärche	28	0,13	0,215	18,14	2083	
Luft (ruhend)	4		0,088	17,50	2001	
Lärche	26	0,13	0,200	16,05	1825	
Luft (ruhend)	4		0,088	15,41	1752	
Lärche	26	0,13	0,200	13,96	1595	
Luft (ruhend)	4		0,088	13,32	1530	
Lärche	26	0,13	0,200	11,86	1391	
Luft (ruhend)	4		0,088	11,22	1334	
Lärche	26	0,13	0,200	9,77	1210	
Luft (ruhend)	4		0,088	9,13	1159	
Lärche	136	0,13	1,046	1,52	682	
Luft (ruhend)	4		0,088	0,88	652	
Lärche	26	0,13	0,200	-0,57	584	
Luft (ruhend)	4		0,088	-1,21	554	
Lärche	26	0,13	0,200	-2,66	490	
Luft (ruhend)	4		0,088	-3,30	464	
Lärche	26	0,13	0,200	-4,76	410	
Luft (ruhend)	4		0,088	-5,40	388	
Lärche	26	0,13	0,200	-6,85	343	
Luft (ruhend)	4		0,088	-7,49	324	
Lärche	28	0,13	0,215	-9,05	283	
Wärmeübergang außen			0,130	-10,00	260	208

**System D**

R in $\frac{m^2K}{W}$	U in $\frac{W}{m^2K}$	$t_i$ in °C	$h_i$ in %	$t_a$ in °C	$h_a$ in %	q in $\frac{W^\circ C}{m^2K}$
4,40	0,228	20,00	50,00	-10,00	80,00	6,83

Tabelle B.4: Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck

Schicht	d in mm	$\lambda$ in $\frac{W}{mK}$	R in $\frac{m^2K}{W}$	$t_i$ in °C	$p_s$ in Pa	$p_x$ in Pa
innen				20,00	2338	1169
Wärmeübergang			0,040	19,73	2299	
Lärche	28	0,13	0,215	18,26	2098	
Luft (ruhend)	4		0,088	17,66	2020	
Lärche	26	0,13	0,200	16,29	1853	
Luft (ruhend)	4		0,088	15,69	1784	
Lärche	26	0,13	0,200	14,33	1634	
Luft (ruhend)	4		0,088	13,72	1571	
Lärche	26	0,13	0,200	12,36	1437	
Luft (ruhend)	4		0,088	11,76	1382	
Lärche	26	0,13	0,200	10,39	1262	
Luft (ruhend)	4		0,088	9,79	1212	
Lärche	26	0,13	0,200	8,43	1106	
Luft (ruhend)	4		0,088	,83	1061	
Lärche	96	0,13	0,738	2,79	747	
Luft (ruhend)	4		0,088	2,19	716	
Lärche	26	0,13	0,200	0,82	649	
Luft (ruhend)	4		0,088	0,22	621	
Lärche	26	0,13	0,200	-1,14	557	
Luft (ruhend)	4		0,088	-1,75	529	
Lärche	26	0,13	0,200	-3,11	472	
Luft (ruhend)	4		0,088	-3,71	449	
Lärche	26	0,13	0,200	-5,08	399	
Luft (ruhend)	4		0,088	-5,68	379	
Lärche	26	0,13	0,200	-7,04	337	
Luft (ruhend)	4		0,088	-7,64	320	
Lärche	28	0,13	0,215	-9,11	281	
Wärmeübergang			0,130	-10,00	260	208
außen						



## System D - 0mm Luftspalt

Tabelle B.5: Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck

$R$ in $\frac{m^2K}{W}$	$U$ in $\frac{W}{m^2K}$	$t_i$ in $^{\circ}C$	$h_i$ in %	$t_a$ in $^{\circ}C$	$h_a$ in %	$q$ in $\frac{W^{\circ}C}{m^2K}$
3,71	0,27	20,00	50,00	-10,00	80,00	8,09

Schicht	$d$ in mm	$\lambda$ in $\frac{W}{mK}$	$R$ in $\frac{m^2K}{W}$	$t_i$ in $^{\circ}C$	$p_s$ in Pa	$p_x$ in Pa
innen				20,00	2338	1169
Wärmeübergang		0,040	8,09	19,68	2292	
Lärche	30	0,13	0,231	17,81	2040	
Lärche	30	0,13	0,231	15,94	1813	
Lärche	30	0,13	0,231	14,08	1608	
Lärche	30	0,13	0,231	12,21	1423	
Lärche	30	0,13	0,231	10,34	1258	
Lärche	30	0,13	0,231	8,48	1109	
Lärche	100	0,13	0,769	2,25	719	
Lärche	30	0,13	0,231	0,39	628	
Lärche	30	0,13	0,231	-1,48	541	
Lärche	30	0,13	0,231	-3,35	463	
Lärche	30	0,13	0,231	-5,21	395	
Lärche	30	0,13	0,231	-7,08	336	
Lärche	30	0,13	0,231	-8,95	285	
Wärmeübergang außen			0,130	-10,00	260	208

## System D - 8mm Luftspalt

Tabelle B.6: Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck

$R$ in $\frac{m^2K}{W}$	$U$ in $\frac{W}{m^2K}$	$t_i$ in $^{\circ}C$	$h_i$ in %	$t_a$ in $^{\circ}C$	$h_a$ in %	$q$ in $\frac{W^{\circ}C}{m^2K}$
4,61	0,22	20,00	50,00	-10,00	80,00	6,50
Schicht	$d$ in mm	$\lambda$ in $\frac{W}{mK}$	$R$ in $\frac{m^2K}{W}$	$t_i$ in $^{\circ}C$	$p_s$ in Pa	$p_x$ in Pa
innen				20,00	2338	1169
Wärmeübergang			0,040	19,74	2301	
Lärche	26	0,13	0,200	18,44	2122	
Luft (ruhend)	8		0,137	17,55	2007	
Lärche	22	0,13	0,169	16,45	1872	
Luft (ruhend)	8		0,137	15,56	1768	
Lärche	22	0,13	0,169	14,46	1648	
Luft (ruhend)	8		0,137	13,57	1555	
Lärche	22	0,13	0,169	12,47	1448	
Luft (ruhend)	8		0,137	11,58	1365	
Lärche	22	0,13	0,169	10,48	1269	
Luft (ruhend)	8		0,137	9,58	1196	
Lärche	22	0,13	0,169	8,48	1110	
Luft (ruhend)	8		0,137	7,59	1045	
Lärche	92	0,13	0,708	2,99	758	
Luft (ruhend)	8		0,137	2,10	711	
Lärche	22	0,13	0,169	1,00	657	
Luft (ruhend)	8		0,137	0,11	616	
Lärche	22	0,13	0,169	-0,99	564	
Luft (ruhend)	8		0,137	-1,88	523	
Lärche	22	0,13	0,169	-2,98	477	
Luft (ruhend)	8		0,137	-3,87	442	
Lärche	22	0,13	0,169	-4,97	403	
Luft (ruhend)	8		0,137	-5,86	373	
Lärche	22	0,13	0,169	-6,96	339	
Luft (ruhend)			0,137	-7,85	314	
Lärche	26	0,13	0,200	-9,15	280	
Wärmeübergang			0,130	-10,00	260	208
außen						

# C Abbildungsverzeichnis

2.2.1	Mikro- und Makrostruktur von Nadelholz . . . . .	21
2.3.1	Verzerrung von Holzquerschnitten infolge von Schwinden . . . . .	23
2.3.2	Lage der Jahresringe in Holzbrettern . . . . .	24
2.3.3	Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität von Baustoffen <sup>1</sup> . . . . .	25
2.3.4	Elastizitätsmodul $E_\alpha$ für Nadelholz C 24 in Abhängigkeit vom Winkel $\alpha$ zwischen Kraft- und Faserrichtung . . . . .	26
2.3.5	Spannungs-Dehnungsdiagramm Vollholz <sup>2</sup> . . . . .	27
2.6.1	Zimmermannsverbindungen . . . . .	37
3.1.1	Vergleich der Verläufe von Temperatur und Taupunkt . . . . .	44
3.2.1	verschiedene Wandsysteme aus Holz <sup>3</sup> . . . . .	47
4.2.1	statisches System der Deckenbalken . . . . .	55
4.2.2	vorläufiger Deckenaufbau nach Abschätzung - Detail M 1:20 . . . . .	57
4.2.3	endgültiger Deckenaufbau - Detail M 1:20 . . . . .	61
4.2.4	schalltechnisch vergleichbare Decke - Detail M 1:10 <sup>4</sup> . . . . .	63
4.2.5	Annahme Decke - Detail M 1:10 . . . . .	64
4.2.6	Resultat Wohnungstrenndecke - Detail M 1:10 . . . . .	69
4.2.7	Annahme Decke gegen Außenraum - Detail M 1:10 . . . . .	70
4.3.1	Annahme Flachdachaufbau ohne Neigung - Detail M 1:10 . . . . .	78
4.3.2	Resultat Flachdachaufbau ohne Neigung - Detail M 1:10 . . . . .	83
4.3.3	Blech- und Holzschindeldach - Detail M 1:20 . . . . .	84
4.4.1	Aussteifung abhängig vom Winkel - Ansicht . . . . .	85
4.4.2	benötigte Dübel auf 1m <sup>2</sup> . . . . .	86
4.4.3	4 mögliche Wandaufbauten - Horizontal- und Vertikalschnitt M 1:20 . . . . .	87
4.4.4	Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf A . . . . .	92
4.4.5	Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf B . . . . .	93
4.4.6	Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf C . . . . .	94
4.4.7	Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf D . . . . .	95

4.4.8	Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf D - 0mm Luftspalt . . . . .	96
4.4.9	Wasserdampfsättigung und Temperaturverlauf D - 8mm Luftspalt . . . . .	97
4.4.10	Statisches System Wand . . . . .	100
4.4.11	Statisches System Wand . . . . .	102
4.4.12	nichttragende Innenwand - Detail M 1:10 . . . . .	104
4.4.13	tragende Innenwand - Detail M 1:10 . . . . .	105
4.4.14	tragende Wohnungstrennwand - Detail M 1:10 . . . . .	106
4.5.1	Wand- und Deckenmaße beim Transport . . . . .	107
4.5.2	Montage der Wand und Deckenelemente . . . . .	108
5.1.1	Lage des Grundstücks in Graz . . . . .	114
5.1.2	Lage des Grundstücks in Graz Ries . . . . .	116
5.1.3	Lageplan M 1:2000 . . . . .	118
5.1.4	Schwarzplan M 1:2000 . . . . .	120
5.1.5	Foto 1 Ragnitzstraße . . . . .	122
5.1.6	Foto 2 Ragnitzstraße . . . . .	123
5.1.7	Blick von Westen auf das Grundstück . . . . .	124
5.1.8	Blick von Norden auf das Grundstück . . . . .	125
5.1.9	Blick von Süden auf das Grundstück . . . . .	126
5.1.10	Blick von Süden vom Ruckerlberg auf das Grundstück . . . . .	127
5.1.11	Blick von Süden vom Ruckerlberg auf das Grundstück . . . . .	128
5.1.12	Blick vom Ruckerlberg auf das Grundstück . . . . .	129
5.1.13	Ausblick vom Grundstück auf den Ruckerlberg . . . . .	130
5.2.1	erste Grundideen . . . . .	131
5.2.2	Skizze einer konkreteren Idee . . . . .	132
5.3.1	Lageplan Situation nach dem Bau - M 1:2000 . . . . .	134
5.3.2	Schwarzplan Situation nach dem Bau - M 1:2000 . . . . .	136
5.3.3	Grundriss Erdgeschoss M 1:100 . . . . .	139
5.3.4	Grundriss 1. und 3. Obergeschoss M 1:100 . . . . .	140
5.3.5	Grundriss 2. und 4. Obergeschoss M 1:100 . . . . .	141
5.3.6	Grundriss Kellergeschoss M 1:100 . . . . .	142
5.3.7	Schnitt M 1:200 . . . . .	143
5.3.8	Statik 1. und 3. Obergeschoss M 1:100 . . . . .	145
5.3.9	Statik 2. und 4. Obergeschoss M 1:100 . . . . .	146

---

5.3.10	Frontfassade - Ansicht M 1:200 . . . . .	148
5.3.11	Ostfassade - Ansicht M 1:200 . . . . .	149
5.3.12	Westfassade - Ansicht M 1:200 . . . . .	150
5.3.13	Rückseite - Ansicht M 1:200 . . . . .	151
5.3.14	Attika - Detail M 1:10 . . . . .	153
5.3.15	Deckenanschluss an Außenwand - Detail M 1:10 . . . . .	154
5.3.16	Fensteranschluss - Detail M 1:10 . . . . .	155
5.3.17	Balkon - Detail 1 M 1:10 . . . . .	156
5.3.18	Balkon - Detail 2 M 1:10 . . . . .	157
5.3.19	Balkon - Detail 3 M 1:10 . . . . .	158
5.3.20	Balkon - Detail 4 M 1:10 . . . . .	159
5.3.21	Keller - Detail M 1:10 . . . . .	160
5.3.22	Rendering Südfassade . . . . .	161
5.3.23	Rendering Innen . . . . .	162
5.3.24	Rendering Baukörper . . . . .	163



# D Tabellenverzeichnis

2.2.1	Bestandteile von Holz . . . . .	21
2.4.1	Schwinden & Quellen - Holzarten im Vergleich . . . . .	30
4.1.1	Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten . . . . .	53
4.2.1	Lastzusammenstellung nach Abschätzung . . . . .	57
4.2.2	Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte	61
4.2.3	Lastzusammenstellung nach Abbildung 4.3.2 . . . . .	65
4.2.4	Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte	68
4.2.5	Lastzusammenstellung nach Abbildung 4.3.2 . . . . .	71
4.2.6	Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte	74
4.2.7	U-Wert-Berechnung für Decke . . . . .	75
4.3.1	Lastzusammenstellung nach Abbildung 4.3.2 . . . . .	79
4.3.2	Berechnung der Durchbiegungen für unterschiedliche Querschnitte	81
4.3.3	Berechnung U-Wert Wandsystem A . . . . .	82
4.4.1	Berechnung U-Wert Wandsystem A . . . . .	88
4.4.2	Berechnung U-Wert Wandsystem B . . . . .	89
4.4.3	Berechnung U-Wert Wandsystem C . . . . .	89
4.4.4	Berechnung U-Wert Wandsystem D . . . . .	90
4.4.5	Lastzusammenstellung aus Geschossen . . . . .	99
B.1	Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck - System A . .	173
B.2	Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck - System B . . .	174
B.3	Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck - System C . .	175
B.4	Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck - System D . .	176
B.5	Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck - System D - 0mm Luftspalt . . . . .	177
B.6	Berechnung Temperatur und Dampfsättigungsdruck - System D - 8mm Luftspalt . . . . .	178





# E Quellenverzeichnis

- Alexander Jung, Horand Knaup, Samiha Shafy Bernhard Zand:** Sind wir noch zu retten? In: *Der Spiegel*, (Ausgabe 9 / 2015), Seite 57.
- Alfons Goris, Joachim P. Heisel:** *Schneider - Bautabellen für Architekten - mit Entwurfshinweisen und Beispielen*. 19. Auflage. Köln: Werner Verlag, 2010.
- Colling, François:** *Holzbau - Grundlagen und Bemessungshilfen*. 1. Auflage. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2004, ARCH 694 C711.
- Colling, François:** *Holzbau - Beispiele*. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer, 2014.
- Cziensielski, Erich:** *Bauphysik Kalender*. Berlin: Ernst & Sohn, 2005.
- Dataholz:** *Trenndecke - tdmnx01a*. 14. August 2015 Url: <http://www.dataholz.at/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/bauteil?language=de&kz=tdmxa01a>).
- Diamond, Jared:** *Kollaps. Warum Gesellschaften überleben oder untergehen*. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verlag, 2005.
- Duden:** *Duden | Nachhaltigkeit | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition*. 22. August 2015 Url: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit>).
- Gottfried C. O. Lohmeyer, Matthias Post:** *Praktische Bauphysik*. 8. Auflage. Wiesbaden: Springer, 2013.
- Issel, Hans:** *Der Holzbau*. Hannover: Verlag Th. Schäfer, 1985, Reprint nach dem Original von 1900.
- Jorgen Randers, Dennis Meadows, Donella Meadows:** *Grenzen des Wachstums - Das 30-Jahre-Update*. 4. Auflage. Stuttgart: Hirzel S. Verlag, 2011.
- Jorgen Randers, Dennis Meadows, Donella Meadows William W. Behrens III:** *The Limits to Growth*. New York: Universe Books, 1972.
- Koch, Claudia:** Vortrag Konstruktiver Holzschutz, proHolz Akademie. FH Joanneum Graz, 12.03.2015.
- Kolb, Josef; Lignum Holzwirtschaft Schweiz, Zürich & DGfH Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München (Hrsg.):** *Holzbau mit System*. Basel: Birkhäuser Verlag AG, 2007.
- Lücking, Tim:** *Kategorisierung von Bausystemen*. Dissertation, Technische Universität Graz, 2015.

- Leißer, Bernhard:** *Holzbauteile richtig geschützt*. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co., 2002, ARCH 694 L532.
- Niemz, Peter:** *Physik des Holzes*. Zürich: ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Baustoffe IfB, 2004.
- Opderbecke, Prof. Adolf:** *Das Holzbau-Buch*. Hannover: Verlag Th. Schäfer, 1995, Reprint nach dem Original von 1909, ARCH 694 O61.
- ORF2:** *ECO Holz100 Thoma Teil 1/2.avi*. 3. April 2015 Url: <https://www.youtube.com/watch?v=g8Sufzcd5-Y>).
- ORF2:** *ECO Holz100 Thoma Teil 2/2.avi*. 3. April 2015 Url: <https://www.youtube.com/watch?v=JCYZKOYxbZA>).
- Regenwald, Abenteuer:** *Abholzung des Regenwaldes*. 18.08.2015 Url: <https://www.abenteuer-regenwald.de/wissen/abholzung>).
- Ruske, Wolfgang:** *Holz-Glas-Architektur*. 1. Auflage. Kissing: WEKA Fachverlage GmbH & Co. KG, 1988.
- Stefan Andritschke, Oliver Dünisch, Thomas Herres:** *Holz im Außenbereich*. München: Deutsche Verlags-Anstalt, 2012.
- Thoma, Erwin:** *Die geheime Sprache der Bäume*. Salzburg: Ecowin Verlag GmbH, 2012.
- Wikipedia:** *Earth Overshoot Day*. 22. August 2015 Url: [https://de.wikipedia.org/wiki/Earth\\_Overshoot\\_Day](https://de.wikipedia.org/wiki/Earth_Overshoot_Day)).
- Wikipedia:** *Fichtenholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/Fichtenholz>).
- Wikipedia:** *Kiefernholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kiefernholz>).
- Wikipedia:** *Liste der Holzarten*. 27. Juni 2015 Url: [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Holzarten](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Holzarten)).
- Wikipedia:** *Lärchenholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4rchenholz>).
- Wikipedia:** *Tannenholz*. 27. Juni 2015 Url: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tannenholz>).
- Zürcher, Ernst:** Mondbezogene Traditionen in der Forstwirtschaft und Phänomene in der Baumbiologie. In: *Austrian Journal of Forest Science*, (Ausgabe 151 / 2000), S. 417 – 424.