

TIMBER IN THE CITY



Timber in the City

**DIPLOMARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

Studienrichtung: Architektur

Asmer Salčinović

Technische Universität Graz  
Erzherzog-Johann Universität  
Fakultät für Architektur

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Arch. Dr.sc.ETH Urs Leonhard Hirschberg  
Institut für Architektur und Medien

Graz, Mai 2014



## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am.....

## **Statutory Declaration**

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, on.....



## **Kurzfassung**

Diese Diplomarbeit mit dem Thema „Timber in the City“ beschäftigt sich mit Bauen mit Holz und zwar in den Gebieten, wo diese Bauweise nicht üblich ist. Es werden herkömmliche Bauweisen, darunter Beton- und Ziegelmassivbauweise sowie die klassische Holzbauweise (Pfosten-Riegel-Bau), mit der Holzmassivbauweise umfassend verglichen und Schlüsse gezogen. Richtige Vorbereitung und gut eingesetzte Technologie haben hochwertige Holzprodukte ergeben, von denen eines die KLH-Platte ist, die ihre hervorragenden Eigenschaften den kreuzweise angeordneten Fichtenlamellen zu verdanken hat, was dem Baustoff Holz ermöglichte, konkurrenzstark zu sein und sogar viele verschiedene Vorteile zu bieten, da es der einzige natürliche und nachwachsende Rohstoff ist und mithin das Baumaterial für die Zukunft.

## **Abstract**

This master thesis named “Timber in the City“ explores building with timber in regions where this building technique is not customary. Modern building techniques, such as concrete and solid brick building, as well as classic timber construction (post-and-beam system), will be comprehensively compared with solid timber construction and conclusions drawn. The result of proper planning and soundly implemented technology were high-grade lumber products, one of them being the CLT board, whose exceptional qualities come from cross-laminated spruce strips. This enabled timber to assert itself as a highly competitive building material that offers numerous advantages over other building materials, since it is the only natural and renewable raw material and consequentially the building material of the future.



#00\_Inhaltsverzeichnis

# Inhaltsverzeichnis

## #01 Einleitung ... .. 15

#1.1: Holz als Baustoff

#1.2: Vorurteile und Irrtümer: Das klassische und das massive Holzhaus

#1.3: Warum ein Holzhaus?

## #02 Umweltauswirkung ... .. 37

#2.1: Ökologische Vorteile von Holzhäusern

#2.2: Gegenüberstellung: Strahlung beim Beton-, Ziegel- und Holzhaus

#2.3: Energieverbrauch: Zurückführen auf das Passivhaus

## #03 Technologie ... .. 77

#3.1: Technologie: Das klassische und das massive Holzhaus

#3.2: Gegenüberstellung: Klassisches Haus, klassisches Passivhaus und Passivholzhaus

#3.3: Lebensdauer, Globalisierung, gesellschaftliche Tendenzen und Schwankungen

#3.4: Unterschied zwischen Ein- und Mehrfamilienhaus

#3.5: Klimabedingungen und -einschränkungen

#3.6: Geschossanzahl: Erfahrungen und Fallstudie

#3.7: Einwirkungen der Naturgewalten: Erdbeben, Winde, Brände und Feuchteigkeit

#3.8: Einschränkungen in der Formgebung und Visionen für die Zukunft

#3.9: Zum Baustoff Kreuzlagenholz (KLH)

## #04 Projekt

... .. 125

#4.1: Hostel an der kroatischen Küste auf der Insel Pag:

- # mehrgeschossiger Bau von 15.000 m<sup>2</sup>  
mit 150 Zimmern, 500 Betten (bis 800 mit Stockbettfunktion möglich),  
1 Konferenzraum, 1 Nachtklokal, 1 Pool, 2 Restaurants und 1 Bar
- # Top-Destination
- # Mehr als eine Million Übernachtungen pro ca.  
vier Monate dauernde Saison, mit andauernder Party
- # Der Strand liegt in der unmittelbaren Nähe von der Stadt Novalja,  
wo sich mehr als 20.000 Gäste in der Hochsaison aufhalten
- # Touristen kommen aus 82 Ländern, vorwiegend Jugendliche
- # Fahrplanmäßige Fluglinien nach Zadar aus UK  
und anderen EU-Ländern

#4.2: Kroatien: Neue Tendenzen in der EU, Konsequenzen und Potentiale  
(derzeit bestehender Holzmassivbau in Kroatien, Aussichten  
für Investierung in Holzmassivbauweise, etwaige Teuerung usw.)

#4.3: Meer und Klimabedingungen: Stein und Holz  
(Geeignetheit von Holzmassivbauten im kroatischen Klima)

#4.4: Schwerpunkt: Energieeffizienz (Bauten ohne Klima-Anlagen,  
mit Sonnenkollektoren, Photovoltaikzellen usw.)

## #05 Anhang

... .. 181

#5.1: Literaturverzeichnis

#5.2: Online-Ressourcen

#5.3: Abbildungs- und Tabellennachweis



#01\_Einleitung

Zum Baustoff Holz:

Holz gehört zu den ältesten Baustoffen des Menschen. Das ist ein „organisch gewachsener, anisotroper (Eigenschaften sind abhängig von der Richtung, d. h. in einer Richtung besitzt er andere Eigenschaften als in einer anderen), inhomogener (seine Eigenschaften verändern sich längs der verschiedenen Richtungen; d. h. er ist nicht stetig mit demselben Material durchsetzt) Baustoff“.<sup>1</sup>

## Holz als Baustoff

Als Baustoff ist es schon seit Jahrtausenden bekannt und in der Anthike wird schon von großen Holzbauwerken berichtet. Neben den Vorzügen für die Bewohner wie Behaglichkeit und Raumklima sowie den bauphysikalischen Vorteilen des Holzbaus, bekommt ein vermehrter Einsatz von Holz im Hochbau sowohl ökologisch als auch volkswirtschaftlich einen hohen Stellenwert. Durch die Nutzung von Holz als Baustoff wird eine Kohlendioxidsenke geschaffen.

Die Bäume wandeln im Zuge der Photosynthese 0,9 t Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), welches aus der Luft aufgenommen wird, mit 0,5 t Wasser und mit Hilfe von 9.500 MJ Sonnenenergie in 1  $\text{m}^3$  Biomasse (Holz) um. Ein Kubikmeter Holz besteht zur Hälfte aus Kohlenstoff. Diese Zahlen unterstreichen die Bedeutung der Wälder als Kohlenstoffsinken. In Österreichs Wäldern befinden sich rund 1 Milliarde Kubikmeter Holz, wobei etwa alle 40 Sekunden die Menge Holz zuwächst, welche für ein Einfamilienhaus benötigt wird.<sup>2</sup>

Wird das Holz der Bäume einer längerfristigen Nutzung zugeführt, so kann dieser Kohlenstoffgehalt über die Nutzungsdauer gespeichert werden. Zusätzlich ist mehr Energie gespeichert als für die Herstellung benötigt wird. Nach der Kaskadennutzung kann nach [Jörg 2010] mehr als die Hälfte der gespeicherten Sonnenenergie des Holzes als Wärmeenergie oder Strom genutzt werden. Während in den Einrichtungsgegenständen in einer 3-Zimmerwohnung rund 0,7 t Kohlenstoff gespeichert sind, werden bei einem modernen Einfamilienhaus in Holzbauweise 16 t gespeichert.<sup>3</sup>

Abb. 2

2 vgl. Jörg, 2010.  
3 vgl. Frühwald et al., 2001.

## Vorteile:

Günstige Eigenschaften:

- leicht und mit einfachen Werkzeugen verarbeitbar;
- Energieverbrauch ist heutzutage bei der Herstellung und der Verarbeitung des Rohstoffes Holz günstiger als bei anderen Baustoffen;
- Holz wächst unter Nutzung von Sonnenenergie und ist somit der einzige nachwachsende Baustoff, der den Menschen auch in der Zukunft zur Verfügung stehen wird aber zwar nur bei der Sicherstellung eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen Holzentnahme und Nachwachsen durch sinnvolle Forstwirtschaft;
- hohe Festigkeit: Der einzige Baustoff, der gleichermaßen Druck-, Zug- und Biegebeanspruchungen aufzunehmen vermag;
- geringes Eigengewicht;
- günstiges Brand- und neutrales Löschverhalten;
- beständig gegen viele chemische Einwirkungen;
- ist im chemischen Gleichgewicht mit seiner Umwelt, im Gegenteil zu vielen künstlichen Stoffen;
- *„Holzverwendung ist CO<sub>2</sub>-neutral und belastet die Umwelt nicht (bei Verbrennung oder Verrottung wird die gleiche Menge Kohlenstoff im CO<sub>2</sub> wieder freigesetzt und demnach trägt die Verwendung von langlebigen Holzprodukten im Bauwesen und anderen Bereichen wesentlich zur Kohlenstoffspeicherung und zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Anstieges in der Atmosphäre bei)“*.<sup>4</sup>

## Nachteile:

Die Nachteile lassen sich so zusammenfassen:

- relativ großer Streubereich der mechanischen Eigenschaften;
- Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeitseinflüsse.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Neuhaus, 2009.

<sup>5</sup> vgl. Werner, Zimmer, 2009.



Anhand des erstgenannten Nachteils wurden erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts durch überwiegend empirische Erfahrungen von Zimmermännern und Baumeistern Berechnungs- und graphische Methoden entwickelt, die die Beanspruchungen von Bauwerken aufgrund vorgegebener Lasten ermitteln und deren Spannungs- und Verformungszustände berechnen können. Aus dem handwerklich geprägten zimmermannsmäßigen Holzbau entsteht allmählich der Ingenieurholzbau, der wie der Mauerwerksbau und der sich entwickelnde Stahlbau vermehrt mathematische, natur- und ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse zur Lösung der Bauaufgaben einsetzt, die derzeit überwiegend rechnergestützt ausgeführt werden.

Diesen Nachteilen sind aber durch sachkundige Planung, Konstruktion und chemische Behandlung, sowie neuzeitlichen Fertigungsverfahren zu begegnen. Die moderne Holzverarbeitende Industrie ist in der Lage, durch definierte Zerlegung des gewachsenen Holzes in kleinere Elemente, deren Sortierung und anschließendes Zusammenfügen unter geregelten Klimabedingungen die Eigenschaften des Naturholzes zu vergleichmäßigen und damit zu vergüten (Brettschichtholz, Sperrholz, Flachpreßplatten usw.).

*„Die Entwicklung neuer mechanischer Verbindungsmittel wie Nägel, Dübel besonderer Bauart, Stabdübel, Passbolzen, Nagelplatten, Holzschrauben, Klammern, Schraub- und Rillennägeln sowie neuerer Verbindungen mit Stahlblechformteilen wie Winkeln, Lochblechen, Balkenschuhen, Sparrenpfettenankern, Balkenträgern und dgl. geben dem Holzbau nach vorübergehendem Abschwung am Anfang des 20. Jahrhunderts wesentliche neue Impulse. Die Entwicklung wasserfester Kunstharzleime und die Verwendung der einfachen aber genialen Keilzinkung als Längsstoßverbindung ermöglichen den bemerkenswerten Aufschwung des 'Holzleimbaus', dessen künstlich, industriell hergestellten geklebten Bauteile im Allg. größere Abmessungen besitzen als das natürliche Ausgangsprodukt Holz, wie z. B. „lange“ stabförmige Brettschichtholzbauteile für große bis sehr große Spannweiten, Furnierschichtholzbauteile oder flächenhafte Holzwerkstoffplatten“.*<sup>6</sup>

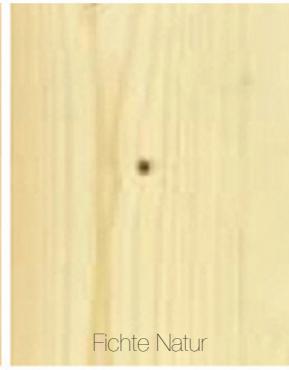
Abb. 3



Douglasie dt. Natur



Douglasie dt. Rustikal



Fichte Natur



Fichte Rustikal



Kiefer Natur



Kiefer Rustikal



Lärche Rustikal



Pitch Pine Select



Ahorn canad. Select



Ahorn canad. Rustikal



Birke finn. Natur



Birke finn. Rustikal



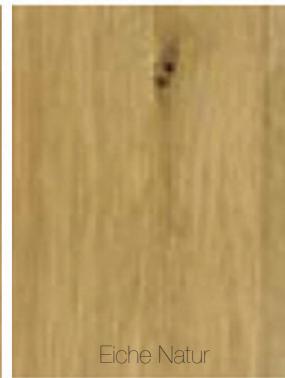
Buche ged. Natur



Buche ged. Rustikal



Eiche Select



Eiche Natur



Eiche Rustikal



Eiche Rustikal



Esche Rustikal



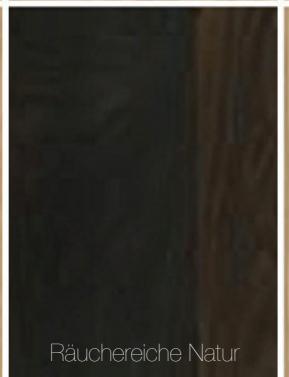
Kirsche amerik. Select



Merbau Select



Jatoba Select



Räuchereiche Natur



Rüsteele Natur



## Holzarten:

Als Bauhölzer werden vorwiegend genutzt:

### Nadelhölzer:

Fichte, Kiefer, Lärche, Tanne, Douglasie, Southern Pine, Western Hemlock;

### Laubhölzer nach Härtegrad (aufsteigend):

Gruppe A: Eiche, Buche, Teak, Keruing (Yang);

Gruppe B: Afzelia, Merbau, Angelique (Basralocus);

Gruppe C: Azobe (Bongossi), Greenheart.

Die gebräuchlichsten Bauhölzer im Hochbau sind Kiefer und Fichte. Lärche ist das für Bauzwecke hochwertige Nadelholz. Eiche und Buche benutzt man in der Regel nur für hoch beanspruchte Teile wie Dübel, Unterlagshölzer, Druckverteilungsplatten u. ä. Die besonders widerstandsfähigen Hölzer Eiche und Teak, Afzelia, Azobe und Greenheart sind außerdem für Hafenbau geeignet. Neuerdings wird auch Buche als Brettschichtholz bei Tragwerken eingesetzt.<sup>7</sup>

links: Abb. 4

<sup>7</sup> vgl. Werner, Zimmer, 2009.

## #1.2 Vorteile und Irrtümer

Kurz nach dem Zweiten Weltkrieg boten viele Unternehmen kostengünstige Holzrahmenhäuser als preiswerte Möglichkeit für die Bevölkerung. Die Herausforderung lag daran, die Leute zu einer neuen Denkweise zu führen, denn viele Bauten waren zu dieser Zeit in Staub verwandelt und das Vorurteil herrschte, lebten sie in ärmlichen Arbeitervierteln, lebten sie in Holzhäusern. Durch steuerliche Anreize und staatlichen Bausparkassen hat sich die Situation bereits in den 70-er und 80-er Jahren verändert, obwohl sich damals Stahl und Beton – die als beständig und nichtbrennbar betrachtet wurden – gegenüber Holz und Mauerwerk durchsetzten.

Es gibt ganz spezifische Vorurteile bezüglich der Holzhäuser, die entlarvt werden müssen: Holzhäuser werden schnell grau und unansehnlich, sind hellhörig, weisen Undichtheiten auf, wo sich ja auch Schädlinge einnisten können, müssen alle paar Jahre gestrichen werden, Rissbildung ist unbestreitbar, weil das Holz „arbeitet“, Holzhäuser halten nicht so lange wie Massivhäuser, sind nicht so brandbeständig und haben einen niedrigeren Wiederverkaufswert, imprägnierte Hölzer sind gesundheitsschädlich usw.

Trotz üblicher Meinung werden die Holzhäuser nicht grau und verunstaltet mit der Zeit, d. h. weder bauen sich die Farbbeschichtungen bei einer verputzten Fassade ab, noch wird das Holz von sich aus grau, was ebenso für Holzhäuser mit verputzten, Holzfasaden wie auch mit Kombination aus beidem gilt. Alle Vorteile der Holzhäuser werden erhalten.

Holzfassaden in unterschiedlichen Ausführungen verhalten sich in einer anderen aber vorhersagbaren Weise bezüglich des Vergrauens und zwar:

- das Vergrauen darf bei einer hinterlüfteten Fassade auftreten, wenn dies die architektonische Gestaltung vorsieht;
- spezielle Anstriche nehmen das Vergrauen vorweg und gleichen es aus, wodurch die Fassade hochwertig aussieht und wirkt;
- deckend beschichtete Oberflächen haben eine dicke Lack-schicht, so dass eine geschlossene Oberfläche entsteht, die jahrelang dauert, eine Beschädigung der Holzoberfläche durch die UV-Strahlung verhindert sowie alle Veränderungen der Oberfläche verdeckt – keine unansehnlichen Effekte.

Das Hellhören wird durch Schichtaufbau der Wände und Decken (gewichtige Vollholzdecke in Verbindung mit Estrich und Trittschalldämmung) unmöglich gemacht, wobei Dämmung, eine der Schichten, zu sehr guten Schalldämmwerten führt. Schallbrücken werden durch Montage der Rollladenkästen im Außenbereich vorgebeugt.

Undichtigkeiten in der Installation sind selten und können preisgünstig vollständig behoben werden.



Abb. 5

Eine weitere Voreingenommenheit ist, die Holzhäuser müssen alle paar Jahre gestrichen werden. Das gilt nur aber für die der Witterung ausgesetzten Elemente: konstruktive Holzteile im Bereich der Balkone, freistehende Überdachungen und Carports, das heißt nicht im Inneren. Bei deckenden Anstrichen ist das Holz alle zehn Jahre zu streichen, jedoch sind die konstruktiven Elemente so verbaut, dass keine Schäden bei fehlender Wartungsanstrich entstehen können. Die obengenannten hinterlüfteten Fassaden mit vorgesehenem Vergrauen können alle 15 und deckend lackierte Fassadenelemente alle 10 Jahre mit einer Ausgleichlasur gestrichen werden, um sie optisch zu verbessern. Holzfenster sind hier schon pflegebedürftiger aber auch dieser Aufwand entfällt vollkommen unter Verwendung von Holz-Alu-Verbundfenstern.

Die Sorge, dass die imprägnierten Hölzer gesundheitsschädlich sind, muss ebenso zerstreut werden: bei künstlicher Trocknung gefolgt von zeitweiliger Erhitzung der konstruktiven Holzteile (in der Produktionsphase), die nicht einer laufenden Feuchtigkeitsbelastung ausgesetzt sind, kann auf eine Imprägnierung gegen Ungeziefer verzichtet werden, während gesundheitliche Bedenklichkeit der Grundierung, die alle Außenbauteile aus Holz lediglich erhalten, schon seit vielen Jahren bloßgestellt ist.

Das Vorurteil, dass der Wiederverkaufswert eines Holzhauses niedriger ist als der eines Massivhauses, muss auch verbannt werden. Die Holzhäuser bieten heute sogar Vorteile gegenüber Massivhäusern, insofern sie gut gedämmt sind und mithin energiesparend.

Die Kümmeris, dass das Wärmespeichervermögen eines Holzhauses geringer als das eines Massivhauses ist, ist unbegründet, obwohl das tatsächlich so ist, weil das in einem Holzhaus durch verbesserte Wärmedämmung mehrfach ausgeglichen wird und außerdem spielt die Wärmespeicherung keine Rolle in Ermittlung des Heizenergieverbrauches.

Ausräumen muss man auch die Voreingenommenheit, dass Regen den Holzteilen Schaden anrichten kann: in einmal getrocknetes Holzelement kann das Wasser oder die Feuchtigkeit kaum eindringen, es wird einfach von den ausgetrockneten Poren nicht aufgenommen, sondern trocknet an der Oberfläche sofort wieder ab.

Für den Eigentümer und seinen Nachkommen ist die Lebensdauer eines Holzhauses kein Thema, da richtig getrocknetes und verbautes Holz genauso lange wie ein Massivhaus hält, d. h. es unterliegt keinem Alterungsprozess, der für den Menschen spürbar ist. Hohe Elastizität und Festigkeit sowie geringeres Gewicht sorgen auch dafür, dass sich die Holzhäuser besser bei Erdbeben verhalten und die Unzulänglichkeiten der Fundamentierung leichter ausgleichen, während ein Massivhaus keinesfalls im Stande ist, dasselbe zu leisten.

Hofbäckerei Eddeger-Tax: Der älteste bestehende Backbetrieb in Graz – Abb. 6



Vollholzteile verkohlen unter einer gleichmäßigen Rate und somit erreichen sie bessere Eigenschaften in Brandfällen. Während die Hitze die Tragwerkelemente eines Massivhauses zerstören kann, überstehen sie die Holzbauteile relativ unbeschadet. Es besteht also keine größere Brandgefahr für Holzhäuser.

Hoher Vorfertigungsgrad sowie ununterbrochener Bauablauf und schnelle Bauzeiten bei Holzhäusern halten die Materialkosten vergleichbar mit denen eines Massivhauses, während Holz zahlreiche Vorteile bietet: ausgezeichnetes Wohnklima, Wärmedämmung, folienfreie Ausführung – die Wände „atmen“ und regulieren die Feuchtigkeit selbst.

Rissbildung ist auch fast inexistent, obgleich diese Meinung vorherrscht: Verleimung der Brettschichten und künstliche Trocknung der Bauteile verhindern weitgehende Rissbildung, die ebenso nicht durch das „Arbeiten“ des Holzes entsteht. Die künstliche Trocknung bedeutet ebenfalls keinen Trocknungsprozess während des Bewohnens.<sup>8</sup>



Point King Residence, Victoria, Australia – Abb. 7

## #1.3 Warum ein Holzhaus?

### 12 Gründe für ein Holzhaus:

#### #01 Holz als Baustoff:

Holz ist leicht und vielseitig zu verarbeiten bei hoher Festigkeit. Im Vergleich zu anderen Baustoffen ist Holz gering wärmeableitend und damit der beste Wärmedämmstoff. Bei gleicher Wandstärke isoliert Holz sechsmal besser als Stein und zwölfmal besser als Beton. Dies macht sich in den geringeren Nebenkosten wohltuend bemerkbar.

#### #02 Vorfertigung:

Die Vorfertigung ist witterungsunabhängig und damit mit hoher Gütesicherung verbunden. Kein aufwendiger Transport und keine aufwendige Baustelleneinrichtung. Es ist auch keine Lagerung weder Bauteile noch Schalung auf der Baustelle notwendig.

#### #03 Bauzeit:

Der hohe Vorfertigungsgrad reduziert die Bauzeit. In nur ein paar Monate wird ein Holzhaus fertig gebaut (Rohbau sogar innerhalb von drei bis vier Tagen).



Billon / Vincent Kohler art installation wood - Abb. 8

#### #04 Konstruktion:

Das Konstruktionsprinzip hat sich mehrmals bewährt. Bei der Montage von Holzbauteilen gibt es keine „empfindlichen“ Stellen, d. h. es gibt keine Bewehrung, die berücksichtigt werden muss.

#### #05 Fläche:

Die schlankere Konstruktion als beim Massivbau bringt ca. 10% Flächengewinn.

#### #06 Wärmeschutz:

Der gute Wärmeschutz senkt die Heizkosten und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß sowie beugt Wärmebrücken vor.



Abb. 9

## #07 Installationen:

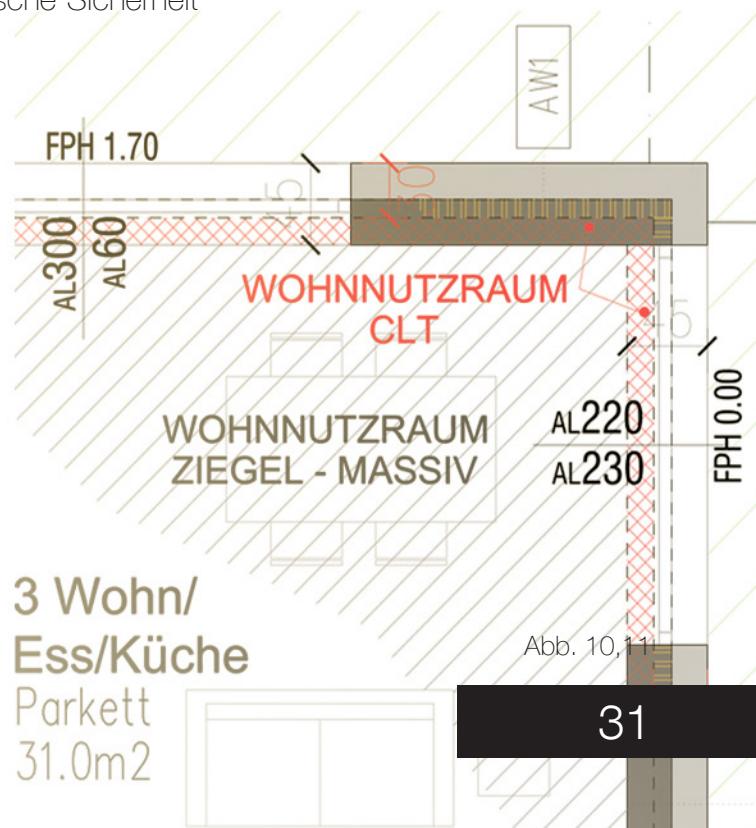
Leitungssysteme sind ohne aufwändige Stemm- und Befestigungsarbeiten zu erledigen. Auf der Baustelle gibt es keinen Schutt und sie bleibt deshalb sauber. Vorplanung spart viel Zeit.

## #08 Eigenleistung:

Der trockene Ausbau benötigt keine aufwändigen Werkzeuge und bietet damit gute Voraussetzungen für den versierten Heimwerker.

## #09 Um- und Ausbau:

Die Häuser lassen sich leicht und kostengünstig den sich ändernden Lebensgewohnheiten anpassen und die statische Sicherheit wird erhalten.



3 Wohn/  
Ess/Küche  
Parkett  
31.0m<sup>2</sup>

## #10 Wohnklima:

Schnellere Beheizbarkeit. Das Fehlen unangenehmer Luftströmungen und die geringe Gefahr der Schimmelbildung fördern das Wohnklima.





Norwegian Wild Reindeer Centre Pavilion – Abb. 12

## #11 Ökologie:

Holz spart Rohstoff und lässt sich problemlos weiter- und wiederverwenden. Außerdem setzt es keine schädlichen Stoffe frei.



## #12 Wiederverwertung:

Beim Rückbau eines Hauses wandert das Holz als Grundstoff wieder in die Holzindustrie oder lässt sich als CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoff nutzen.<sup>9</sup>



Abb. 13

<sup>9</sup> Gliederung und Text hier entnommen:  
<http://www.thie-blockhausbau.de/ihr-vorteil.htm>, o. J.



#02\_ Umweltauswirkung

## #2.1 Ökologische Vorteile von Holzhäusern

Wegstreichen kann man die Vorteile des Holzhauses nicht und die Gründe dafür, dass sich immer mehr Familien dafür entscheiden, ein Holzhaus zu bauen und in einem Holzhaus zu wohnen, sind unter anderem gesunde und behagliche Atmosphäre. Vielseitigkeit, hohe Festigkeit, Leichtigkeit, Emissionsfreiheit, keine elektrostatische Aufladung oder Strahlung – das sind weitere ökologische Vorteile der Holzhäuser. Aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht werden auch die Ansprüche der Verbraucher immer mehr berücksichtigt.

Holz produziert kein  $\text{CO}_2$  bei seiner Herstellung sondern bindet es, was ebenso vorteilhaft für die nachkommenden Generationen ist. In dieser Hinsicht kann man sagen, Holz ist ein idealer Baustoff. Zudem ist es erneuerbar und hat andere bautechnische Vorteile, die kurze Bauzeiten ermöglichen, während verschiedene Holzarten verschiedene technische und optische Einsatzmöglichkeiten bieten: vielschichtiger Dach-, Wand- und Deckenaufbau, genau an die gewünschten Anforderungen angepasst.



Million Hektar beträgt die steirische Waldfläche und ist damit gleich groß wie die gesamte Waldfläche der Schweiz. In den letzten sieben Jahren ist der steirische Wald um 4.000 Hektar gewachsen. Das ist die doppelte Größe des Wörthersees.

1

Millionen Bäume wachsen in den steirischen Wäldern. Österreichweit sind es 3,4 Milliarden. Statistisch gesehen verfügt jeder Österreicher über einen halben Hektar Wald, das sind 5.000 Quadratmeter.

850

Tausend Menschen sind in der Forst- und Holzwirtschaft beschäftigt. Sie erwirtschaftet einen Produktionswert von fünf Milliarden Euro.<sup>10</sup>

55

## **Vorteile eines Holzhauses:**

Das Wohnen:

- sofort ein gutes Raumklima,
- warme Oberfläche,
- riecht angenehm,
- strahlungsfrei,
- reguliert den Feuchtigkeitshaushalt der Raumluft.

Die Wirtschaftlichkeit:

- haltbar über Generationen,
- extrem gute Dämmwerte,
- mehr Wohnfläche.

Die Konstruktion:

- volle architektonische Freiheit,
- hervorragende statische Eigenschaften,
- sehr tragfähig — minimale Setzung,
- Trockenbauweise — keine Trockenzeiten,
- hoher Vorfertigungsgrad,
- schnelle Montagezeit,
- viel Eigenleistung möglich,
- Elektroleitungen und Sanitärrohre sind leicht zu verlegen,
- gute Schalldämmung durch schichtweisen Aufbau,
- geringes Gewicht (weniger Fundamentarbeiten).

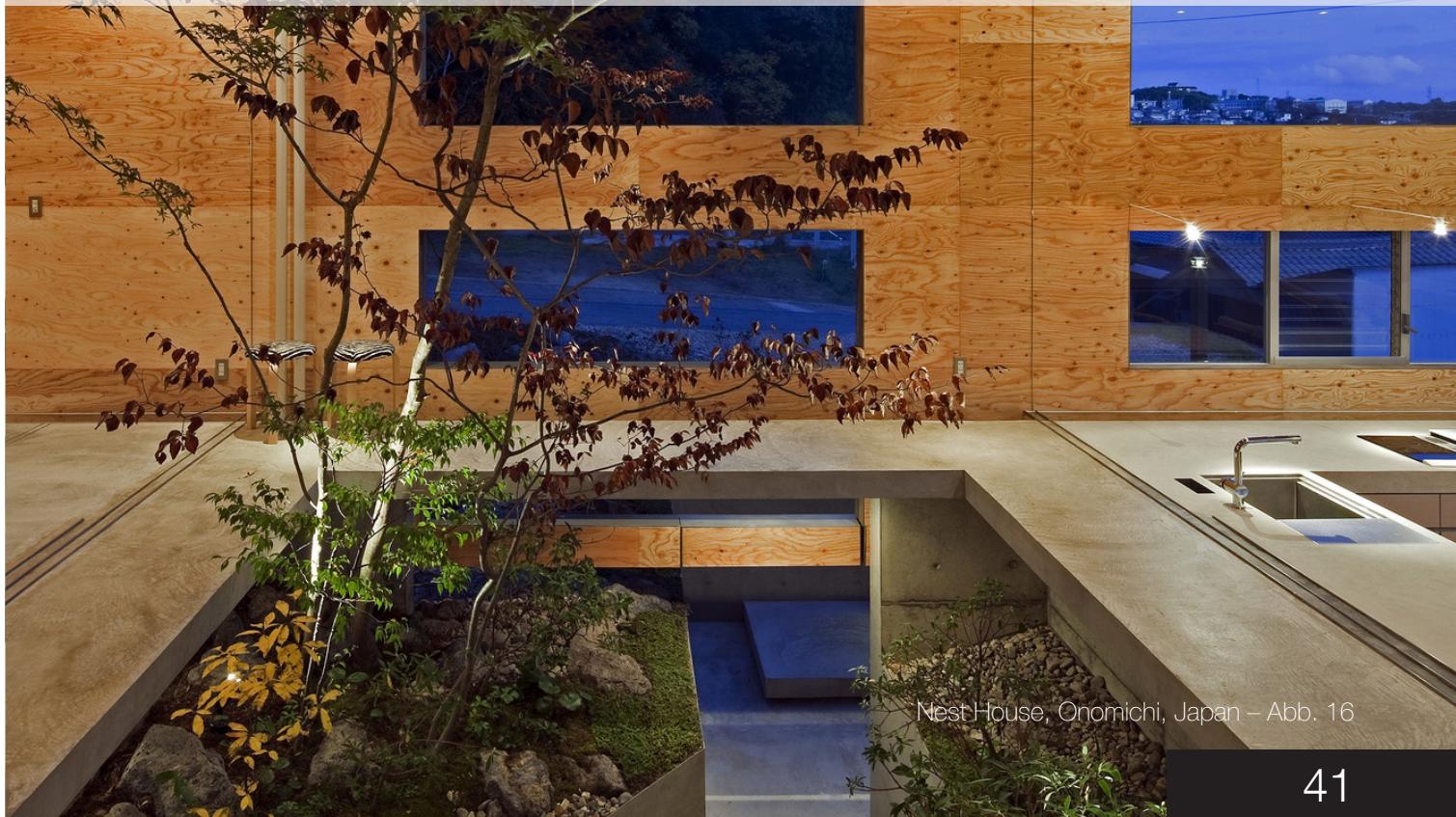
Die Ökologie:

- nachwachsender Rohstoff,
- geringer Energieaufwand bei der Herstellung.<sup>11</sup>

Abb. 15

Diffusionsoffener Wandaufbau ohne Folien und ökologische Baustoffe sorgen das ganze Jahr hindurch für behagliche Raumtemperaturen und raumklimatische Bedingungen innerhalb von den vier Wänden, die ein Holzhaus ummauern und wo man den Großteil seines Lebens verweilt.

Die Raumluft kann durch zentrales Lüftungssystem frei von Staub, Schmutz und Polen gehalten werden, sodass sie auch den Allergikern zu Gute kommt. Holz besitzt von Natur aus Dämmeigenschaften und so kann in einem gutgedämmten Holzhaus eine Fußbodenheizung mit sehr niedrigen Temperaturen gefahren werden (von 22° bis 28 °C).



Nest House, Onomichi, Japan – Abb. 16

## Warum sich Holz warm anfühlt

Wenn die menschliche Hand mit der Tischoberfläche in Kontakt kommt, dauert es 200 Millisekunden, bis die Eigenschaften der Oberfläche wahrgenommen werden, ob rau oder glatt, warm oder kalt. Eine metallische Oberfläche wird sich kälter anfühlen, obwohl alle Gegenstände in einem Raum die gleiche Temperatur haben müssen. Hierbei handelt es sich natürlich um die Wärmeleitfähigkeit, die verschiedene Materialien in einem anderen Ausmaß besitzen: Wenn die menschliche Hand, die eine Temperatur von 37 °C hat, einen Gegenstand in einem Raum, der z. B. 22 °C wie auch alle drinnen befindlichen Objekte hat, berührt, entsteht ein Wärmestrom, der von der Wärmeleitfähigkeit des bestimmten Materials abhängt und zwar – je größer dieser Wert ist, desto schneller wird der Hand die Wärme entzogen, bis sich die Temperatur der beiden Oberflächen ausgleicht.

Dadurch, dass Holz ein schlechter Wärmeleiter ist, hat es eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und so ist dieser Wärmestrom zwischen ihm und der Hand sehr bescheiden, weshalb auch eine Parkbank im Winter als warm und angenehm empfunden wird, während ein Metallobjekt, im Gegensatz dazu, guter Wärmeleiter ist und wird auch in einem angenehm warmen Raum als kalt wahrgenommen, aufgrund des hohen Wärmestromes, den er verursacht, was ist eigentlich das, was man bei dem Kontakt verspürt – die Stärke des Wärmestromes und nicht die Oberflächentemperatur.<sup>12</sup>

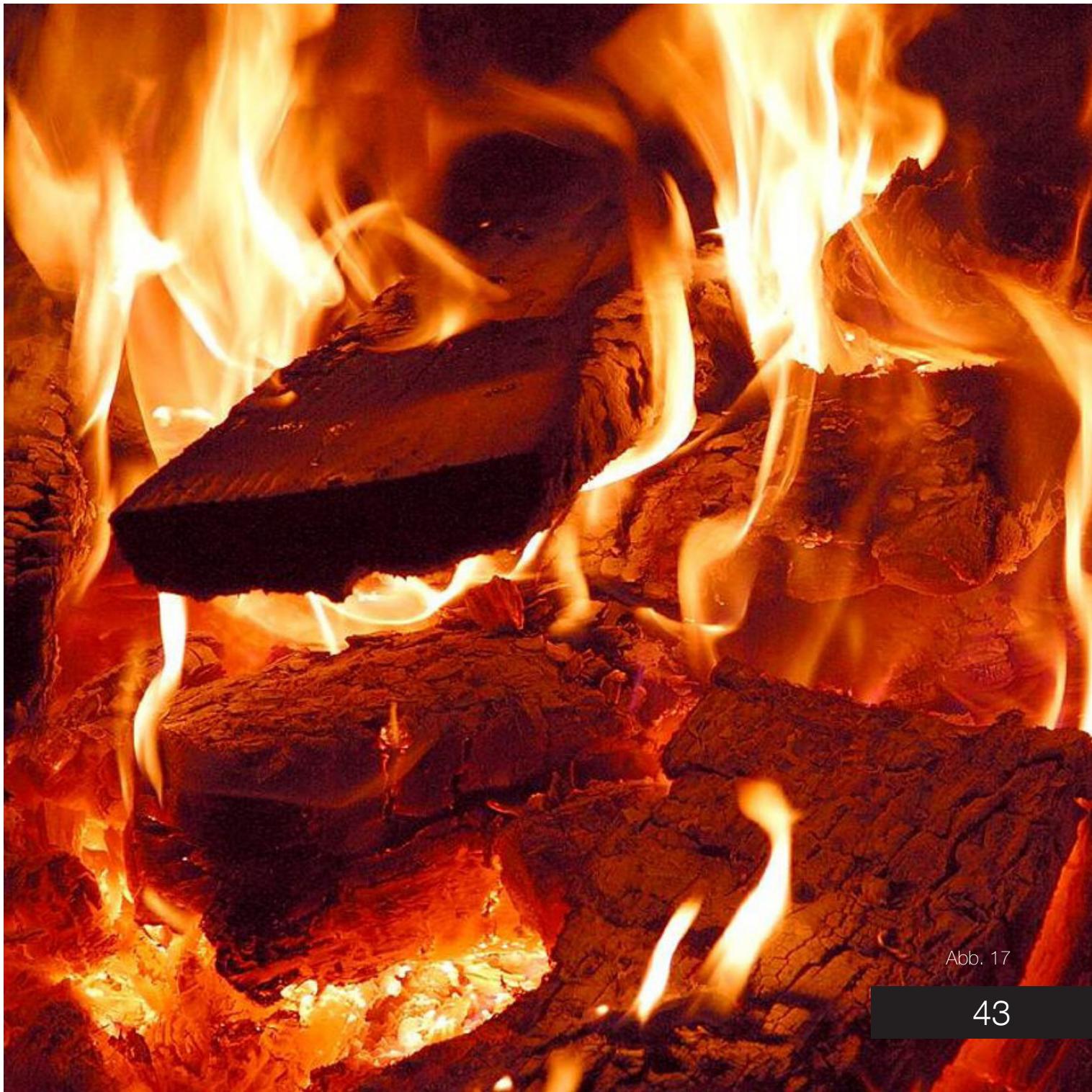
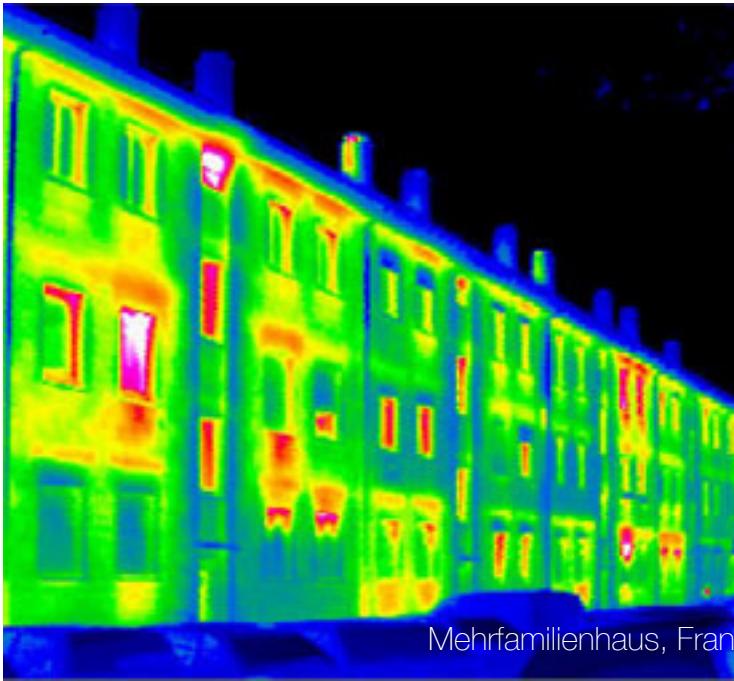


Abb. 17

Holz ist strahlungsfrei und einfach bearbeitbar. *„Die Infrarot-Thermografie ist ein bildgebendes Verfahren, das die Wärmestrahlung (Infrarotlicht) eines Objektes sichtbar macht. Mit Hilfe der Infrarot-Thermografie kann die Oberflächentemperatur z. B. eines Bauteils ermittelt und dargestellt werden – es können Informationen über Wärmeverluste gewonnen werden. Die Ausführung von Wärmedämm-Maßnahmen, Wärmebrücken, Warmluftströme, etc. kann mit diesem Verfahren qualitativ untersucht werden. Quantitative Aussagen wie z. B. der exakte Wärmedämmstandard eines Bauteils sind dagegen anhand der Thermographie nur schwierig zu beurteilen. Die richtige Erstellung und Auswertung von Infrarot-Aufnahmen erfordert Sachverstand und Fachwissen. Bei sorgfältiger Auswertung stellt die Thermographie eine wertvolle Hilfe zur Beurteilung der thermischen Gebäudehülle dar.“*<sup>13</sup>

Diffusion ist ein natürlicher Prozess, bei dem die Teilchen einer Substanz von Bereichen mit hoher Konzentration zu denen mit niedriger wandern, bis sie sich gleichmäßig verteilen. Diffusionsoffene Dämmplatten aus Holz regulieren die Luftfeuchtigkeit durch Feuchtigkeitsaufnahme von bis zu 20% ihres Eigengewichtes, die sie dann wieder abgeben, unter Beibehaltung ihrer Dämmeigenschaften und -wirkung, was positive Auswirkung auf das Raumklima hat. Holz ist ein atmungsaktiver Stoff, der Bildung der Feuchtigkeit auf Fenstern und Innenwänden verhindert, und ist somit ein sehr vorteilhaftes Baumaterial, weil es einen Wohlfühleffekt erzeugt.



Mehrfamilienhaus, Frankfurt Tevestraße, vor und nach der Modernisierung



Abb. 18, 19, 20

Dämmplatten aus Holz

Zahlreich sind auch die positiven bauphysikalischen Eigenschaften von Holz, darunter auch die Fähigkeit Feuchtigkeit aufzunehmen und abzugeben. Je nach Holzart und Klimabedingungen kommt es zur Einstellung einer Ausgleichfeuchte: bei 23 °C und 50% relativer Luftfeuchtigkeit beträgt sie zwischen 8% und 10%. Die in hohen Luftfeuchtigkeiten aufgenommene und gespeicherte Feuchtigkeit wird bei trockener Luft abgegeben. Somit entsteht ein angenehmes Raumklima in allen Klimabedingungen.<sup>14</sup>

Die Studien zur Lebensdauer der Holzhäuser sind zuhauf, da dies eine Frage ist, die sehr oft gestellt wird. Der Schluss all dieser Studien ist, die Lebensdauer von Holzhäusern beträgt ungefähr 80 Jahre, gleich wie die von Ziegel- und Betonhäusern. Die technische Lebensdauer von einem modernen Holzhaus ist sogar 150 bis 200 Jahre, jedoch gibt es hölzerne Fachwerkhäuser, die über 500 Jahre alt und noch nicht am Ende ihrer technischen Lebensdauer sind.

In Skandinavien und in Nordamerika bewährte sich die Errichtung von Holzhäusern mehrfach, da dort der Ausgangspunkt sowohl hohe Lebensdauer als auch qualitätvoller Bau sind, sodass auch einige Banken dort moderne Holzhäuser sogar mehr als Massivbau bewerten.<sup>15</sup>

14 vgl. <http://gutex.de/de/wissen/bauphysik/produkteigenschaften/angenehmes-wohnklima/>, 2013.

15 vgl. <http://augsburger-holzhaus.de/Lebensdauer.118.0.html>, o. J.



*„Ein sehr bekannter Vorteil beim Bau von einem Holzhaus ist eine sehr kurze Bauzeit. Dieser kommt durch den hohen Grad an Vorfertigung zustande. Nach der Detailplanung für die Vorfertigung von einem Holzhaus, werden die Wandelemente oft sogar innerhalb der nächsten 3 Wochen in Fertigung hergestellt. Die Bauzeit des Kellers, oder einer Bodenplatte ist in etwa genauso lange, wie die Vorfertigung für ein Holzhaus. Der Bau eines Kellers bzw. Bodenplatte erfolgt oft parallel zur Vorfertigung. Die Montage bei einem Holzhaus erfolgt innerhalb von 3-4 Tagen. Danach ist das Holzhaus regendicht erstellt und es kann mit dem Innenausbau begonnen werden. Durch diese kurze Bauzeit kann das Holzhaus oft, ohne dass es je durch einen Regen nass geworden ist, erstellt werden. Von Beginn der Vorfertigung bis zum Einzug in ein Holzhaus, muss man mit etwa 5 bis 6 Monaten Bauzeit rechnen.“<sup>16</sup>*

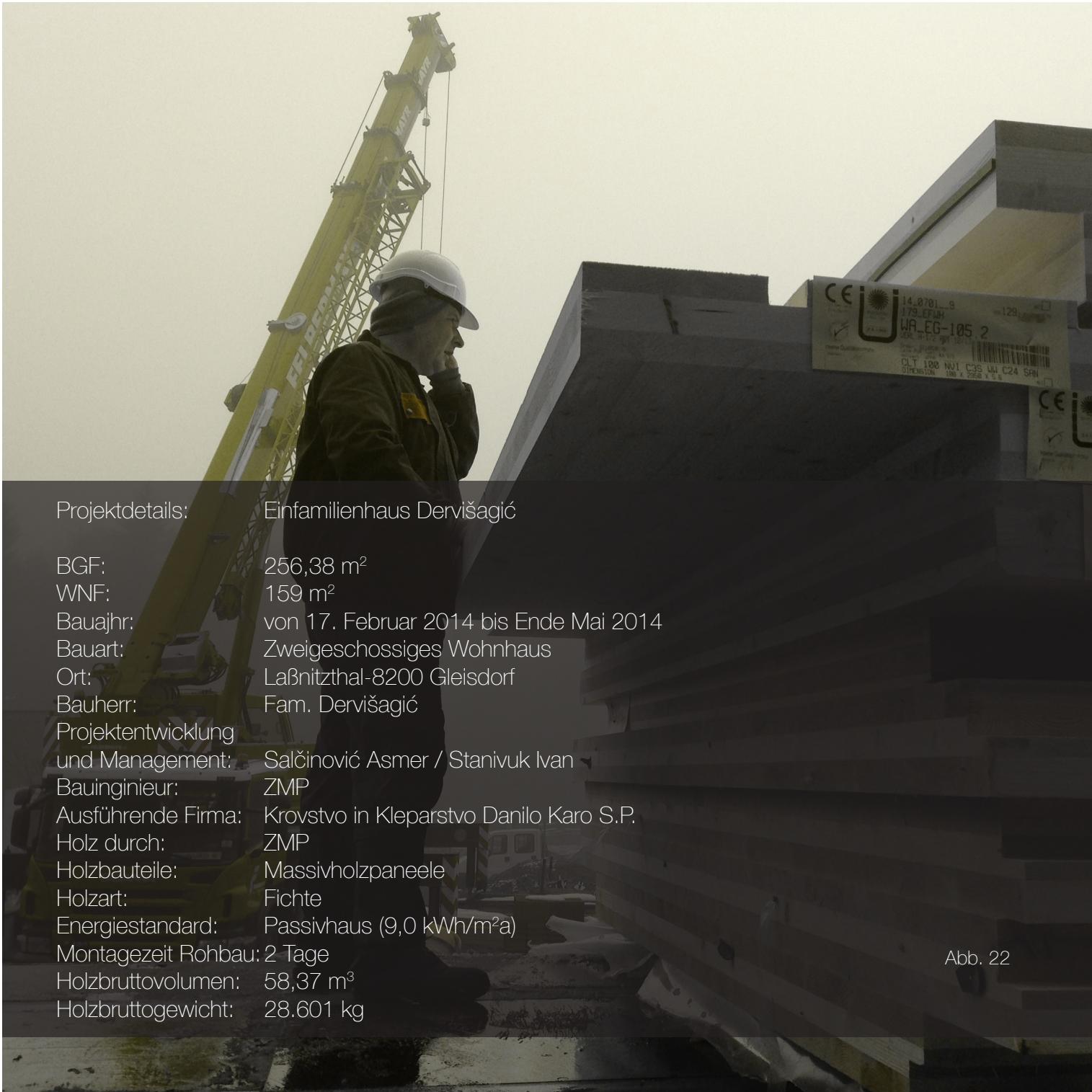
Abb. 21

47

*„Trockenbau ist eine Form des Zusammenfügens industrieller Halbzeuge im Bauwesen. Bei der Trockenbauweise werden keine wasserhaltigen Baustoffe wie Beton oder Putz zur Errichtung der Bauteile verwendet. Trockenbau ist im Allgemeinen schneller und meist günstiger als ein entsprechendes Mauerwerk. Bauphysikalische Anforderungen bezüglich Wärme-, Kälte-, Schall-, Brand-, Feuchte-, Strahlenschutz, Schlagsicherheit können durch jeweilige Maßnahmen auch in Trockenbauweise erfüllt werden.“<sup>17</sup>*

Sowohl der winterliche als auch der sommerliche Wärmeschutz sind von großer Bedeutung heutzutage. Optimale Phasenverschiebung innerhalb einer Außenwand spielt eine große Rolle bei Passivhäusern, sodass, um einen hohen Wärmeschutz bei einem Passivhaus zu erreichen, die Wandstärke etwa 45 cm sein muss, was wiederum bedeutet, dass alle Bauelemente der Außenhülle gut gedämmt sind und einen U-Wert von max. 0,15 W/m<sup>2</sup>K (Wärmedurchgangskoeffizient) haben, oder in anderen Worten, gehen pro einem Grad Temperaturunterschied und Quadratmeter Außenfläche höchstens 0,15 Watt verloren.

Für Fenster (Verglasung inkl. Fensterrahmen) gilt, dass sie einen U-Wert unter 0,80 W/m<sup>2</sup>K aufweisen müssen, während beim Gesamtenergiedurchlassgrad (Anteil der für den Raum verfügbaren Sonnenenergie) das bei 50% liegt. Wärmerückgewinnungssysteme sorgen für gutes Raumklima und sparen auch Energie: mind. 75% der Wärme aus der Abluft werden der Frischluft über einen Wärmeübertrager wieder zugeführt.

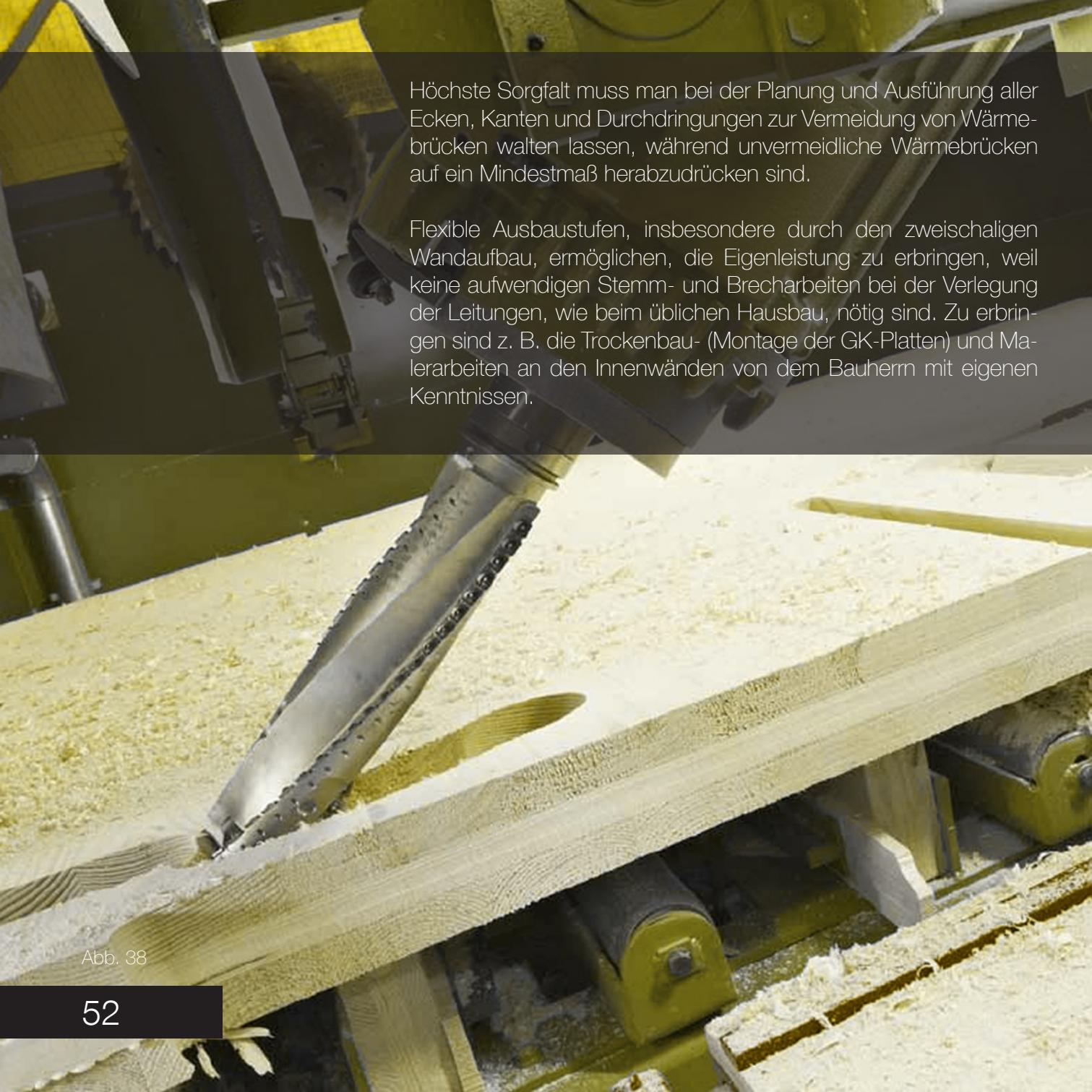


Projektdetails:	Einfamilienhaus Dervišagić
BGF:	256,38 m <sup>2</sup>
WNF:	159 m <sup>2</sup>
Baujahr:	von 17. Februar 2014 bis Ende Mai 2014
Bauart:	Zweigeschossiges Wohnhaus
Ort:	Laßnitzthal-8200 Gleisdorf
Bauherr:	Fam. Dervišagić
Projektentwicklung und Management:	Salčinović Asmer / Stanivuk Ivan
Bauingenieur:	ZMP
Ausführende Firma:	Krovstvo in Kleparstvo Danilo Karo S.P.
Holz durch:	ZMP
Holzbauteile:	Massivholzpaneele
Holzart:	Fichte
Energiestandard:	Passivhaus (9,0 kWh/m <sup>2</sup> a)
Montagezeit Rohbau:	2 Tage
Holzbruttovolumen:	58,37 m <sup>3</sup>
Holzbruttogewicht:	28.601 kg

Abb. 22







Höchste Sorgfalt muss man bei der Planung und Ausführung aller Ecken, Kanten und Durchdringungen zur Vermeidung von Wärmebrücken walten lassen, während unvermeidliche Wärmebrücken auf ein Mindestmaß herabzudrücken sind.

Flexible Ausbaustufen, insbesondere durch den zweischaligen Wandaufbau, ermöglichen, die Eigenleistung zu erbringen, weil keine aufwendigen Stemm- und Brecharbeiten bei der Verlegung der Leitungen, wie beim üblichen Hausbau, nötig sind. Zu erbringen sind z. B. die Trockenbau- (Montage der GK-Platten) und Malerarbeiten an den Innenwänden von dem Bauherrn mit eigenen Kenntnissen.

Abb. 38

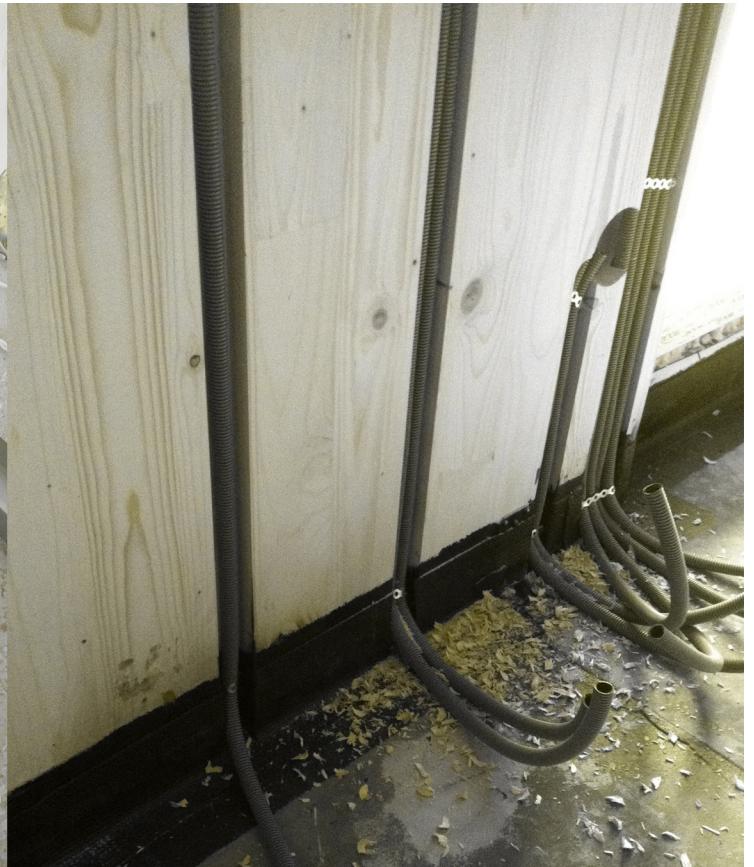
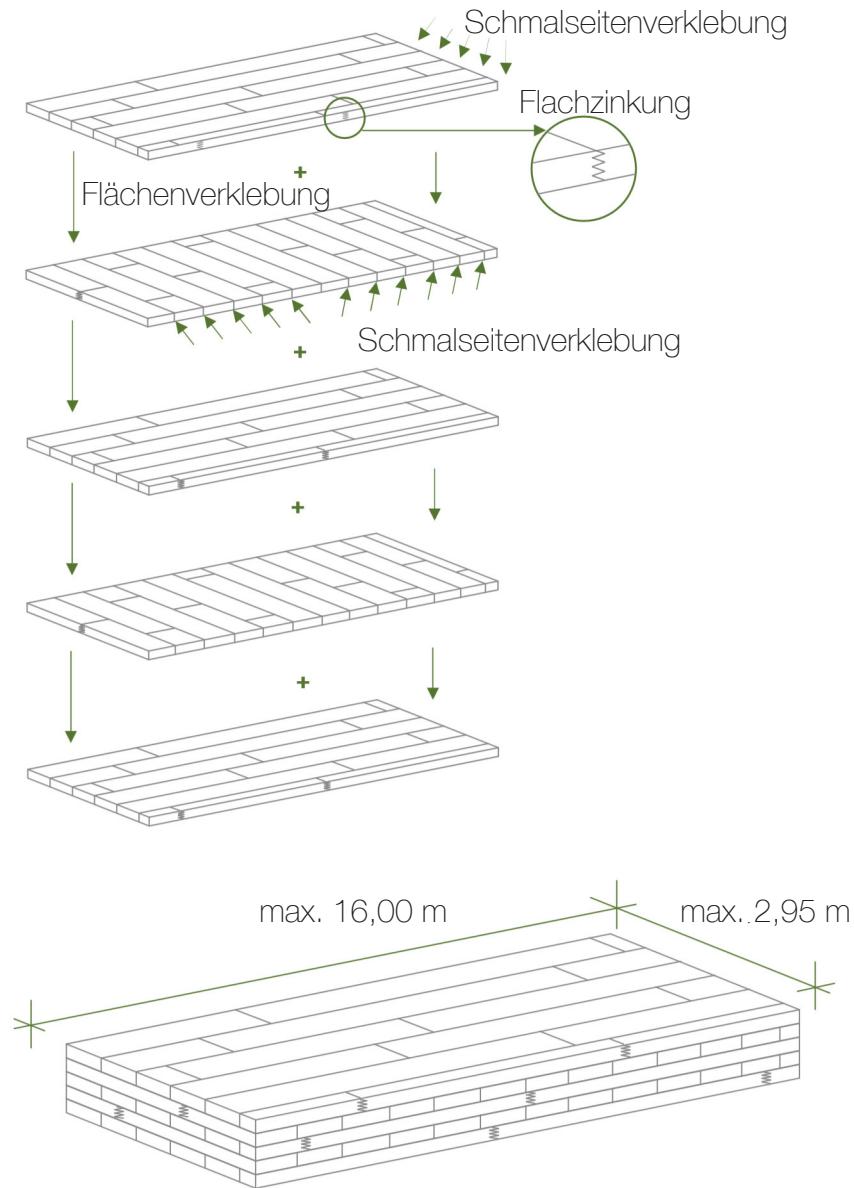


Abb. 39, 40, 41

*„Massivholzplatten erfüllen aufgrund ihrer hervorragenden statischen Eigenschaften, bedingt durch den kreuzweisen Aufbau und der allseitigen Lastabtragung, sämtliche Anforderungen für einen hochwertigen, innovativen und technisch anspruchsvollen Ingenieurholzbau. Die hohe Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht erlaubt selbst bei großen Spannweiten eine schlanke Dimensionierung von Bauteilen. Punktgestützte Konstruktionen oder Auskragungen können einfach und ökonomisch sinnvoll umgesetzt werden. Zahlreiche Untersuchungen und Prüfungen haben ergeben, dass sich Massivholzplatten auch zur Errichtung standsicherer Gebäude in Erdbebengebieten hervorragend eignen.*

*Die Berechnung von Massivholzplatten erfolgt unter dem Aspekt von nachgiebig verbundenen Querschnitten. Die Längslagen sind über schubweiche Querlagen miteinander verbunden sodass in der Regel die Durchbiegung infolge von Querkraft (Schubverformungen der Querlagen) und der sogenannte Rollschub nicht mehr vernachlässigt werden können. Massivholzplatten können demnach bei der statischen Berechnung nicht wie Brettschichtholzbauteile betrachtet werden.“<sup>18</sup>*

Abb. 42 – Wohnsicht Oberflächenqualität



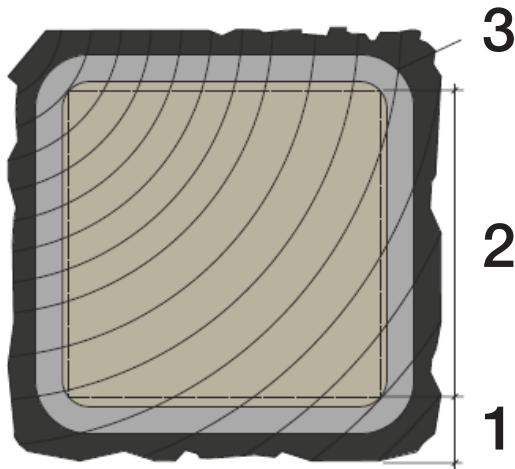
Aufbau einer 5-schichtigen CLT-Massivholzplatte (max. Produktionslänge ist 16,00 m und -breite 2,95 m) – Abb. 43

Aufgrund der Leichtigkeit der Holzbauteile und aus Mangel an Flächenmaßen im Gegensatz zu den Bauteilen eines Massivbaus ist eine hohe Schalldämmung mit einschaligen, plattenförmigen Holzbauteilen nicht erreichbar, sodass hier doppel- und mehrschalige Konstruktion mit biegeweichen Schalen oder fallweise auch eine schwere Masse ergänzend einzusetzen ist. Bauakustisch ist zielgerecht, die akustischen Prinzipien und die generellen Schallschutzanforderungen zu beachten.

Eine bei den benachbarten Funktionseinheiten oder Räumen einzuhaltende Mindestschalldämmmaße ergibt sich beim Luft- und Trittschallschutz aus nutzungsüblichen Normalgeräuschen. In einer Funktionseinheit können Räume festgestellt werden, die einen zusätzlichen, erhöhten Schallschutz zu erfüllen haben, z. B. Schlafräume eines Einfamilienhauses.

Die Aussage „Holz brennt sicher“ kann eine Doppeldeutigkeit sein: sicher brennt Holz, aber im bautechnischen Sinne brennt Holz auch sicher – es ist bekannt, wie sich Holz im Brandfall verhält und wie damit umzugehen ist, d. h. es kann genau berechnet werden, wie das verbaute Holz versagen wird, was nicht für jedes Baumaterial festzustellen ist. Massivholz ist besonders schwer entflammbar und brandbeständig. Die Verkohlungsrate von KLH-Bauteilen ist 2 cm a 30 min. Die Feuerwehrleute wissen deshalb schon, wie lange sie sich in einem brennenden Holzgebäude aufhalten dürfen, ohne selbst gefährdet zu werden.

Kohlenstoff-Einlagerung: Beim Bauen mit Beton und Stahl wird viel Energie verbraucht und CO<sub>2</sub> freigesetzt. In Holzkonstruktionen bleibt der in Bäumen gespeicherte Kohlenstoff gebunden. Es sind zum Beispiel in einem 20-stöckigen Holzhaus von ca. 480 qm pro Stockwerk 2.850 Tonnen Kohlenstoff gespeichert, während bei der konventionellen Bauweise 1.102 Tonnen CO<sub>2</sub> erzeugt werden, was einer Netto-CO<sub>2</sub>-Ersparung von 3.952 Tonnen entspricht.



### **Verkohlungsdiagramm von hölzernen Bauteilen:**

1. Opferebene: verkohlende Ebene, keine strukturelle Tragfähigkeit behalten
2. Verbliebener Durchschnitt: Strukturelle Tragfähigkeit behalten
3. Abgerundete Ecke

Abb. 44

Hohe Erdbebensicherheit ergibt sich aus der natürlichen Beweglichkeit von Holz, da beim Erdbeben Elastizität verlangt wird. Die Holzhäuser sind in der Lage, die hohen Sicherheitsbestimmungen zu erfüllen, wie Häuser aus anderen Baustoffen, oder sie sogar zu übertreffen.

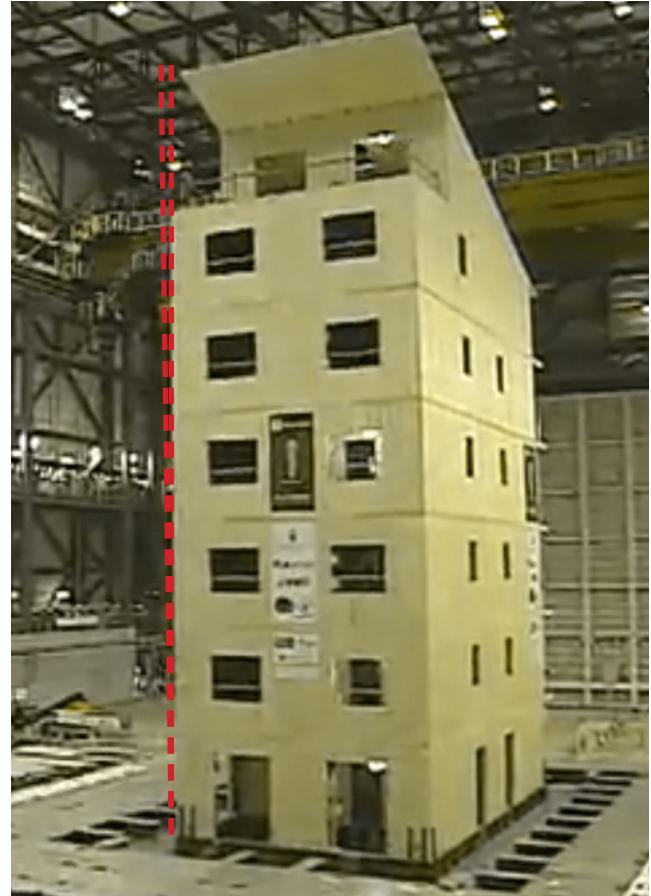
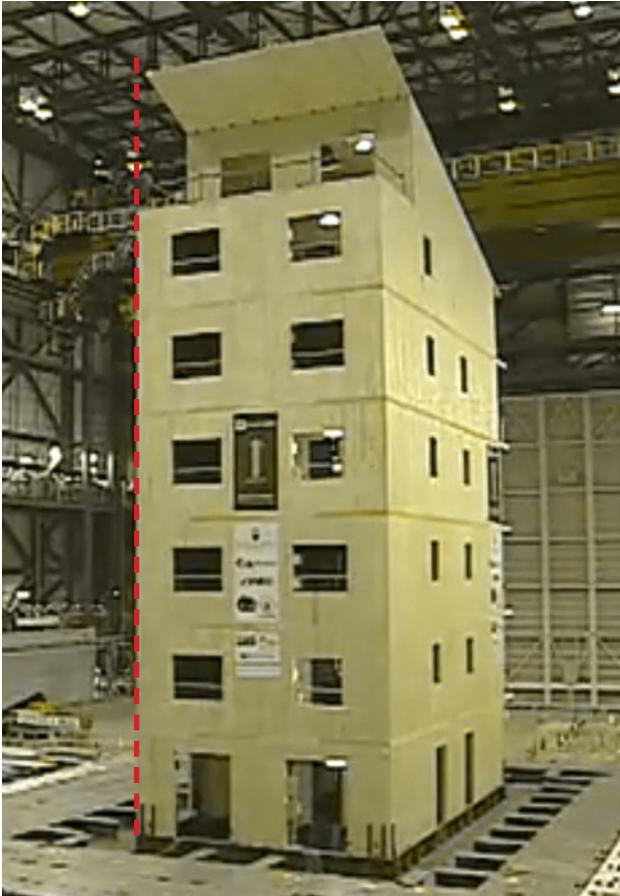


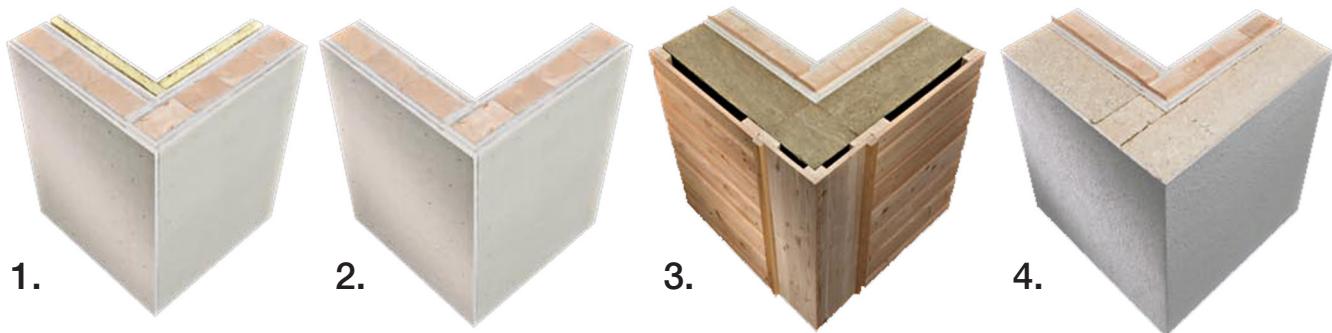
Abb. 45

Erdbebensicheres siebengeschossiges Massivholzhaus: sogar bei einem Erdbeben mit einer Stärke von 7,5 auf der Richter-Skala bleibt das Gebäude stehen und ohne irgendwelche Beschädigungen, da das Holz „arbeitet“.

Tragende Holzmassivbauteile belegen weniger Platz, weil sie schlanker sind, was mehr Wohnraum auf der bebauten Fläche zur Folge hat.

Der Massivholzbau erweist sich in diesem Sinne als besonders vielseitig einsetzbar: große Spannweiten, runde oder viereckige Fenster, Tür- und Dachformen durch exakte CNC-Fräsungen, Kombinierbarkeit mit Metall, Glas, Stein, Naturstein, Keramik usw. – eine Unmenge an Lösungen, egal ob für Innen- oder Außenoberflächen.

Das Massivholz kann auch auf verschiedene Weisen behandelt werden: gestrichen, lasiert, graviert, behauen, gebeizt, geölt, oder lässt die Montage von schweren Wandelementen ohne zusätzliche Abstützung zu, wie Regale, Schränke, Kunstwerke usw.



1. Innenwand
2. Brandwandersatzwand
3. Außenwand mit Holzfassade
4. Außenwand mit Putzfassade

Abb. 46

## #2.2 Gegenüberstellung: Strahlung beim Beton-, Ziegel- und Holzhaus

Redet man von der Wärmedämmung, redet man oft von der Speichermasse, was ein Material ist, das die Wärme aufzunehmen und wieder abzugeben vermag, um die Temperaturschwankungen in einem Raum so gut wie möglich auszugleichen.

Zur Verdeutlichung: Wenn die Sonne im Hochsommer durch ein Fenster in den Raum scheint, könnte die Raumtemperatur bald ansteigen, gäbe es keine Speichermassen, die erst erwärmt werden müssten. Luft ist nicht in der Lage, Wärme zu speichern, während einige Zeit vergehen muss, oft auch einige Tage, bis Wände, Decken, Estrich etc. durchgewärmt sind, wodurch eigentlich eine rasante Überhitzung des Raumes verhindert wird. Die alten Steinhäuser oder Kirchen z. B. bleiben aus dem Grund relativ kühl.

Ein Gegenbeispiel wäre Lüftung des Raumes im Winter, der guten Ordnung halber, und somit wird die angenehm warme aber stickige Raumluft durch eiskalte Luft von draußen ersetzt aber diesmal kühlt es im Raum nur kurz leicht ab und bald ist die Lufttemperatur wieder gleich: in den Wärmespeichermassen ist viel mehr Energie gespeichert als in der gewechselten Luft, die so gut wie keine in den Wänden und Decken gespeicherte Energie dem Raum entzieht. Die Speichermasse hat also eine riesige Einwirkung auf die Behaglichkeit im Raum.

Bei hochwärmegedämmten Holzhäusern ist die Wärmespeichermasse nicht mehr nötig, da die Neigung zum Überhitzen durch Wärmedurchgang durch die Wände verhindert wird. Die bei der Herstellung von Massivholzbauteilen üblich verwendeten Nadelhölzer haben eine große spezifische Feuchte- und Wärmespeicherkapazität und regulieren somit gut das Raumklima durch eine ausgeprägte Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung der Oberflächentemperaturen im Hochsommer und im Winter.

Auf den nächsten Seiten werden U-Werte anhand von Beispielen für ein Mauerwerk, einen Massivholz- und einen Holzrahmenbau verglichen.

## Ziegel und Dämmputz

Leichtmörtelputz, Ziegel, Kalkputz

Info: Die Werte wurden der Broschüre „Produktprogramm PROTON 2011“ der Firma Wienerberger entnommen und beziehen sich auf die Produktgruppe „PROTON-Planziegel“.<sup>19</sup>

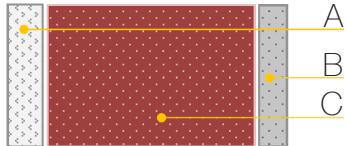
	Stärke [cm]	Baustoff [-]	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	Dämmstärke [cm]	Gesamtstärke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>A</b>	2	Leichtmörtelputz	0,31	–	–	–
<b>B</b>	1,5	Kalkputz	0,7	–	–	–
<b>C</b>	4–24	Ziegel	0,16	17,5	21	<b>0,74</b>
			0,12	24	28	<b>0,44</b>
			0,1	30	34	<b>0,31</b>
			0,09	36,5	40	<b>0,23</b>
			0,09	42,5	46	<b>0,20</b>

Tabelle 1

## CLT-Massivholzplatten

CLT 100 3s + Dämmung WLG 040 + Gipskartonplatte 12,5 mm

Angesetzte Wärmeübergangswerte:

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

	Stärke [cm]	Baustoff [-]	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	Dämmstärke [cm]	Gesamtstärke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>A</b>	10	CLT	0,11	0	11	<b>0,90</b>
<b>B</b>	1,25	Gipskartonplatte	0,21			
<b>C</b>	4–24	Dämmung WLG 040	0,04	4	15	<b>0,47</b>
			0,04	6	17	<b>0,38</b>
			0,04	8	19	<b>0,32</b>
			0,04	10	21	<b>0,27</b>
			0,04	12	23	<b>0,24</b>
			0,04	14	25	<b>0,22</b>
			0,04	16	27	<b>0,19</b>
			0,04	18	29	<b>0,18</b>
			0,04	20	31	<b>0,16</b>
			0,04	22	33	<b>0,15</b>
			0,04	24	35	<b>0,14</b>

## Holzrahmenbau

GK-Platte, OSB-Platte, Dämmung WLG 040, Steher, DHF-Platte

Berechnet mit Vollholzsteher:

$b = 6 \text{ cm}$

$e = 62,5 \text{ cm}$

$\lambda = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$

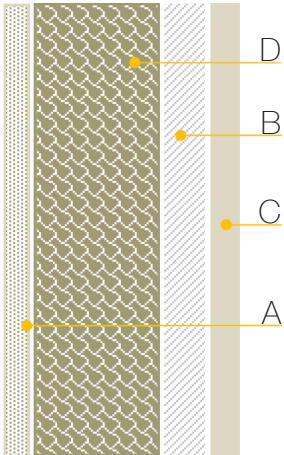
	Stärke [cm]	Baustoff [-]	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	Dämm- stärke [cm]	Gesamt- stärke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>A</b>	1,5	DHF-Platte	0,12	1,5	–	–
<b>B</b>	1,5	OSB-Platte	0,13	1,5	–	–
<b>C</b>	1,25	Gipskartonplatte	0,21	1,25	–	–
<b>D</b>	4–24	Dämmung WLG 040 + Konstr. Holz	0,049	4	8	<b>0,78</b>
			0,049	6	10	<b>0,59</b>
			0,049	8	12	<b>0,48</b>
			0,049	10	14	<b>0,40</b>
			0,049	12	16	<b>0,34</b>
			0,049	14	18	<b>0,30</b>
			0,049	16	20	<b>0,27</b>
			0,049	18	22	<b>0,24</b>
			0,049	20	24	<b>0,22</b>
			0,049	22	26	<b>0,20</b>
			0,049	24	28	<b>0,19</b>

Tabelle 3

Den zugleich energieeffizienten, behaglichen, wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Gebäudestandard nennt man Passivhaus. Im Grunde ist das ein Gebäudekonzept, kein Markenname, das sich in der Praxis bewährt hat und allein offen steht.

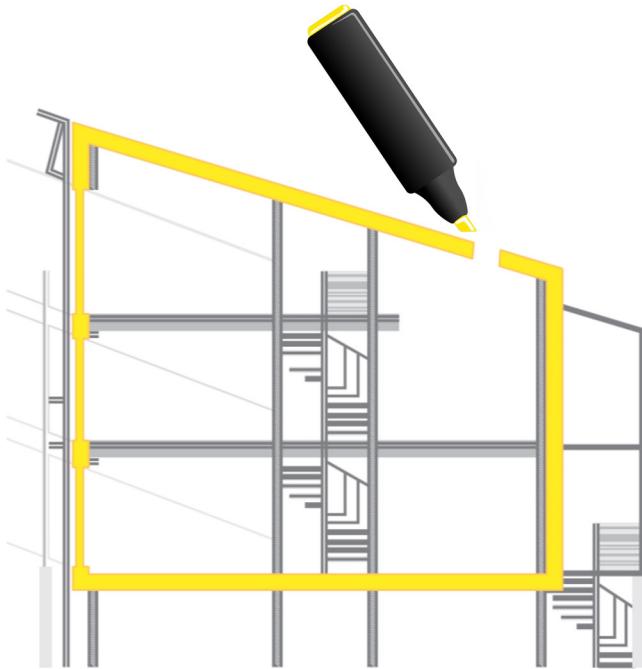
Seine Merkmale sind:

- mehr als 90% weniger verbrauchte Heizwärme im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude im Baubestand,
- mehr als 75% Einsparung im Vergleich zu einem Neubau,
- mit um 1,5 l-Heizölgleichwert pro Quadratmeter Fläche und Jahr um ein Vielfaches liegt der Heizenergieverbrauch unter dem eines Niedrigenergiehauses,
- Wärme bleibt im Raum dank den Sonderfenstern, der hochwirksamen Wärmedämmung in Außenwänden, im Dach und in der Bodenplatte,
- Nutzung der im seinen Inneren befindlichen Energiequellen, u. a. auch die Körperwärme der Personen,
- durch ein Wärmerückgewinnungssystem wird die Wärme der Abluft wieder verfügbar gemacht, was den Wohnkomfort verbessert,
- thermische Behaglichkeit erzielt durch geringe Temperaturschwankungen.<sup>20</sup>

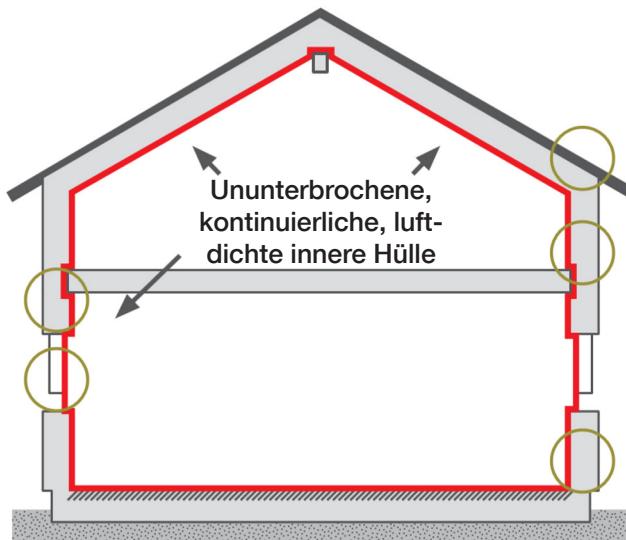
<sup>20</sup> vgl. [http://www.passiv.de/de/02\\_informationen/01\\_wasistpassivhaus/01\\_wasistpassivhaus.htm](http://www.passiv.de/de/02_informationen/01_wasistpassivhaus/01_wasistpassivhaus.htm), 2012.

Guter Wärmeschutz, Luftdichtheit, Lüftung, Haustechnik mit niedrigen Aufwandszahlen sowie stromsparende Geräte versteht man im Mitteleuropa unter dem Begriff „verbesserte Energieeffizienz“, welche positiv die Wirtschaftlichkeit sowie Umweltfreundlichkeit beeinflusst. Der Energieverbrauch wird verringert, die thermische Behaglichkeit erhöht und der Schutz der Bausubstanz verbessert alleine durch effiziente Haustechnik, was einmalig eine große Investition ist aber sich mehrfach durch Verringerung der Instandhaltungskosten, Erhöhung des Wertes des Hauses sowie der Nutzungsdauer und Verbesserung des Wohnklimas rentiert und rechtfertigt. Kosteneinsparungen sind beim Heizenergieverbrauch erheblich, was die messtechnisch begleiteten Projekte zeigen: Es wird um sogar einen Faktor 4 weniger Energie verbraucht als die Energiesparverordnung besagt.

Die Holzhäuser sind besonders durch Luftdichtheit für Bauschäden weniger anfällig. Die sorgfältig geplanten und ausgeführten Gebäudehüllen bleiben dauerhaft luftdicht. Das Stift-Prinzip symbolisiert diese ununterbrochene d. H. durchgehende dichte Gebäudehülle.



Das „Plotterstift“-Planungsprinzip



Die luftdichte innere Hülle muss im Voraus geplant werden.  
Systeme verschiedener Hersteller sollten nicht kombiniert werden.

Abb. 47, 48

Qualitätsverbesserungen beim Bauteil Fenster, unter denen die hochwertigen eine wichtige Voraussetzung für Passivhäuser sind, sorgen dafür, dass das Gesamt-U-Wert von unter  $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$  erreicht werden kann, was am meistens durch einen sachgerechten Einbau und strenge Planung bedingt ist und lässt sich beim heutigen Holzbau relativ leicht umsetzen. Hochwärmedämmende Fenster sind für die Behaglichkeit äußerst wichtig, weil sie die mittleren Oberflächentemperaturen über  $17 \text{ °C}$  halten können. Somit entfällt endgültig die ständige Wärmezufuhr dem Raum, weil in einem Passivhaus auch eine stundenlange Heizungsunterbrechung praktisch nicht bemerkt wird, d. h. es ist im Endeffekt egal wann und wo die Wärme zugeführt wird.

Unten ist eine Übersicht von verschiedenen Fensterkonstruktionen, die sich für ein Passivhaus eignen. Entwicklung von Fenstern ergab Verglasungen und Fensterrahmen mit besseren Eigenschaften. Solche Fenster haben eine warme innere Fläche, auch wenn das Wetter draußen kalt ist. Dreifache Verglasung gewährleistet niedrige Wärmeverluste.

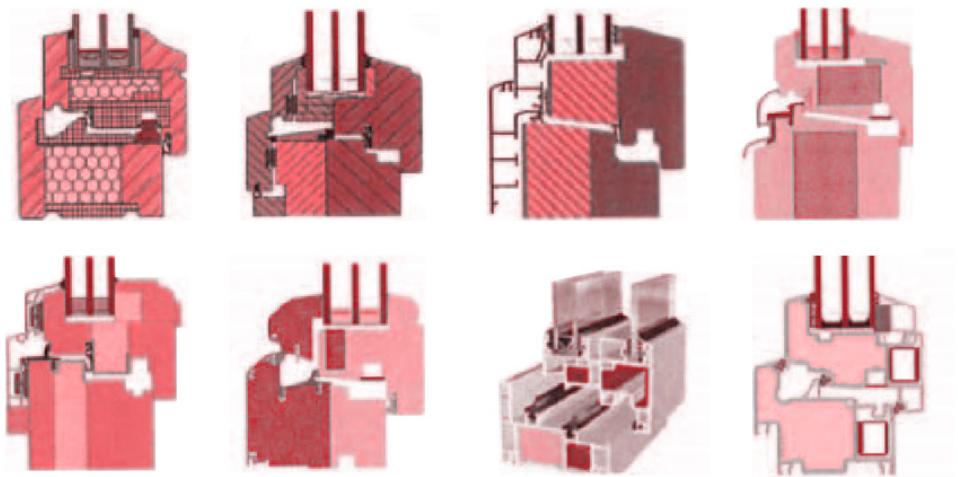


Abb. 49

Reduzierte Wärmeverluste sowie im Winter höhere und im Sommer niedrigere Temperaturen der Innenoberflächen ergeben sich aus verbesserter Wärmedämmung, was gegenseitig die Behaglichkeit verbessert und Anfälligkeit für Tauwasser an Innenoberflächen senkt. Diese verbesserte Wärmedämmung geht aus dem vermehrten Einsatz von Dämmstoffen hervor. Der Holzbau kann kostengünstige Lösungen bei schlanken Wandstärken bieten.

Vielleicht die wirtschaftlichste Energieeffizienzmaßnahme bei Passivhäusern ist, die Wärmebrücken zu vermeiden. Bemerkbar sind auch hier verbesserte Behaglichkeit und der Schutz der Bausubstanz. Es tritt kein Tauwasser an Innenoberflächen eines Passivhauses bei üblicher Temperatur und Feuchtigkeit auf, wenn dies ohne Wärmebrücken ausgeführt ist. Für den Holzbau gibt es eine ganze Reihe von erprobten Lösungen.

Die Lüfterneuerung darf dem Wärmeschutz und der Luftdichtheit untergeordnet nicht sein. Es ist eine polenfreie und geregelte Wohnungslüftung möglich unter Berücksichtigung der Behaglichkeit und Lufthygiene. Erhältlich sind hocheffiziente Wärmerückgewinnungsanlagen, die die Effizienz verbessern.

Erst aber die Wechselwirkung der guten Dämmung, Luftdichtheit, warmen Fenster und einer Wärmerückgewinnungsanlage ermöglicht die Errichtung von Passivhäusern in Mitteleuropa, die den Heizenergieverbrauch möglichst niedrig halten sowie die Heizung funktionell mit der Lüftung verbinden können, während die Behaglichkeit und die Bauqualität gleichzeitig steigern.

Ob Einfamilien- oder Reihenhäuser, mehrgeschossige Wohnbauten, Büros, Schulen oder Kindergärten – die Passivhäuser erweitern ihren Nutzungsbereich ständig, insbesondere die Massivholzhäuser, die luftdichte und gut gedämmte Konstruktionen besonders einfach umsetzen lassen.

*„[...] [A]b 2020 ist das System Passivhaus eine per Gesetz verordnete Realität. Grund genug, sich schon jetzt damit zu beschäftigen, wenn man bedenkt, dass ein Gebäude eine Nutzungsdauer von 100 Jahren besitzt – mangelfreie Konstruktion vorausgesetzt.“<sup>21</sup>*

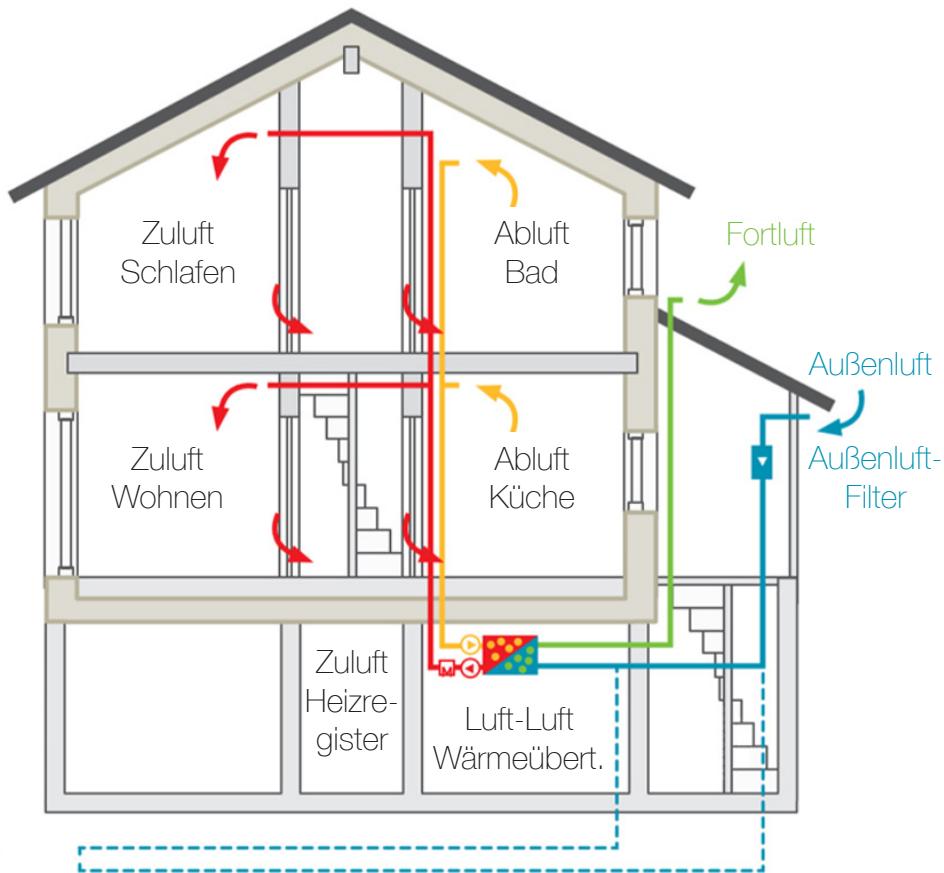


Abb. 50

Erdwärmeübertrager (optional)

## **Ein Wohngebäude ist ein Passivhaus, wenn es folgende drei Anforderungen erfüllt:<sup>22</sup>**

**1.** Ein behagliches Innenklima ist ohne separates Heizsystem und ohne Klimaanlage erreichbar: Dazu darf der Jahresheizwärmebedarf nach Passivhaus Projektierungs-Paket (PHPP) max. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) sein.

**2.** Die Behaglichkeitskriterien müssen in jedem Wohnraum im Winter wie im Sommer erfüllt sein. Daraus ergeben sich i.d.R. folgende Anforderungen:

- U-Werte opaker Außenbauteile müssen unter 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) liegen.
- U-Werte von Fenstern und anderen transluzenten Bauteilen müssen unter 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) liegen.
- Transluzente Flächen in West- oder Ostorientierung ( $\pm 50^\circ$ ) sowie transluzente Flächen mit Neigungen unter  $75^\circ$  gegen die Horizontale dürfen 15% der dahinterliegenden Nutzflächen nicht überschreiten oder sie müssen einen temporären Sonnenschutz mit einem Minderungsfaktor von mindestens 75% aufweisen. Für südorientierte Fenster liegt die Grenze erst bei 25% der dahinterliegenden Nutzflächen.
- Die Zulufttemperaturen am Luftauslass im Raum dürfen  $17^\circ$  nicht unterschreiten. Eine gleichmäßige Durchströmung aller Räume und in allen Räumen muss gewährleistet sein (Lüftungseffizienz). Die Lüftung muss in erster Linie auf Lufthygiene ausgelegt sein (DIN 1946). Die Schallbelastung durch die Lüftungsanlage muss sehr gering sein ( $< 25$  dBa).
- Die Häuser müssen in jedem Wohnraum mindestens eine öffentbare Außenluftöffnung aufweisen, eine Durchströmung der Wohnung mit Außenluft muss möglich sein (freie Sommerkühlung).

<sup>22</sup> Angaben laut Passivhausinstitut (PHI) Deutschland, unabhängiges Forschungsinstitut unter Leitung von Prof.-Dr. Wolfgang Feist. [http://www.passiv.de/de/02\\_informationen/02\\_qualitaetsanforderungen/02\\_qualitaetsanforderungen.htm](http://www.passiv.de/de/02_informationen/02_qualitaetsanforderungen/02_qualitaetsanforderungen.htm), 2012.

**3.** Der spezifische Primärenergieeinsatz für alle Haushaltsanwendungen (Heizung, Warmwasserbereitung und Haushaltsstrom) zusammen darf nicht höher sein als 120 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die Berechnung erfolgt nach PHPP.

### **Folgende Grundsätze gelten für den Bau von Passivhäusern:<sup>23</sup>**

#### **Wärmedämmung:**

Alle opaken Bauteile der Außenhülle des Hauses sind so gut gedämmt, dass sie einen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von max. 0,15 W/(m<sup>2</sup>K) haben, d.h. pro Grad Temperaturunterschied und Quadratmeter Außenfläche gehen höchstens 0,15 Watt verloren.

#### **Passivhaus-Fenster:**

Die Fenster (Verglasung einschließlich der Fensterrahmen) sollen einen U-Wert von 0,80 W/(m<sup>2</sup>K) nicht überschreiten, bei g-Werten um 50% (g-Wert = Gesamtenergiedurchlassgrad, Anteil der für den Raum verfügbaren Solarenergie).

#### **Lüftungswärmerückgewinnung:**

Die Komfortlüftung mit der hochwirksamen Wärmerückgewinnung bewirkt in erster Linie eine gute Raumlufthqualität – in zweiter Linie dient sie der Energieeinsparung. Im Passivhaus werden mindestens 75% der Wärme aus der Abluft über einen Wärmeübertrager der Frischluft wieder zugeführt.

## **Luftdichtheit des Gebäudes:**

Die Leckage durch unkontrollierte Fugen muß beim Test mit Unter-/ Überdruck von 50 Pascal kleiner als 0,6 Hausvolumen pro Stunde sein.

## **Wärmebrückenfreiheit:**

Alle Kanten, Ecken, Anschlüsse und Durchdringungen müssen besonders sorgfältig geplant und ausgeführt werden, um Wärmebrücken zu vermeiden. Wärmebrücken, die nicht vermieden werden können, müssen soweit wie möglich minimiert werden.

## **Wohnen im Passivhaus:<sup>24</sup>**

### **Regelmäßige Verantwortlichkeiten:**

- Ab etwa Mitte November bis Ende März (je nach Witterung), Fenster geschlossen halten, Lüftungsanlage (Zu- und Abluftanlage) in Betrieb nehmen, im „Sommerbetrieb“ ganz normal Fensterlüften oder Taste für Pollenallergiker.
- Filterwechsel: Küchenabluft (alle 2 bis 6 Monate), Abluffilter (alle 2 bis 6 Monate).
- Zur Vermeidung von Überhitzung im Sommer: Nachtlüftung, Verschattungseinrichtungen nutzen, möglichst energiesparende Haushaltsgeräte benutzen.

### **Zur Obacht:**

- Im ersten Jahr muss das Gebäude erst austrocknen, es kann daher sein, dass eine Zusatzheizung notwendig ist.

- Fenster in der Heizperiode möglichst nur im Bedarfsfall öffnen (Ausfall der Lüftungsanlage, Party etc.), Eingangstüre und Balkontüre nach dem Benutzen möglichst rasch wieder schließen.
- Gegenstände und helle bzw. reflektierende Flächen innen vor dem Fenster vermeiden (Mindestabstand 20 cm), es kann sonst durch örtliche Erwärmung zu Glasbruch kommen.
- Verletzungen der luftdichten Hülle durch Dübel, Nägel, Schrauben etc.: Nach dem Entfernen die verbleibenden Löcher im Putz der Außenwände wieder sorgfältig mit Fugenmörtel ausspachteln
- Zuluftöffnungen, Überströmöffnungen und Abluftöffnungen immer freihalten.
- Keine Dunstabzugshaube an das Abluftsystem anschließen (Brandschutz!).
- Keine Ablufttrockner verwenden (Schimmelbildung durch zu viel Kondenswasser).
- Fenster in der kalten Jahreszeit tagsüber möglichst nicht verschatten.
- Bei Winterurlaub, die Heizung nicht ganz abschalten, da es wird dadurch kaum Energie gespart und nach der Rückkehr ist es wieder schön warm.

### **Zur Energieersparnis:**

- Fensterlüftung in der Heizperiode vermeiden.
- Raumlufttemperatur nur so hoch wie nötig (Räume nicht überheizen!).
- Zum Wäschetrocknen möglichst Trockenschrank ohne elektronische Heizung benutzen oder Wäsche auf den Wäscheständer im Flur oder im Bad, weil so die Feuchtigkeit besser abgeführt werden kann
- Stromsparende Haushaltsgeräte und Energiesparlampen verwenden



#**03**\_Technologie

## Klassische Holzbauweisen

Redet man von einem klassischen Holzbau, versteht man darunter diejenigen Bauweisen, denen gemein ist, dass sie keine massiven Bauweisen in dem Sinne sind: Dachstühle, Fachwerke oder Holzrahmen- und Holzskelettbau – in meisten Fällen nämlich der Skelettbau bzw. Leichtbau, bei dem die Lasten über stabartige, waage- oder senkrechte Tragelemente zusammengeführt und an wenigen Stellen punktuell abgeleitet, während die Zwischenräume gefüllt werden.

Holzbau kann in die Skelett-, die Rahmen und die Massivholzbauweise gegliedert werden. Die Tafelbauweise findet Einsatz in Mitteleuropa in Einfamilienhäusern, die Massivholzbauweise mit vorgefertigten Platten, besonders die Brettsperrholzbauweise, im mehrgeschossigen Bau, während die Holzskelettbauweise fast keinen Einsatz findet. Mischformen dieser Bauweisen sind auch zu finden.

Die mit beidseitig bekleideten Plattenwerkstoffen auf Holz- oder Gipsbasis Konstruktionshölzer sind in einem Raster angebracht. Die horizontale Aussteifung übernimmt dabei diese Bekleidung und in der Ebene der Konstruktionshölzer wird Dämmung eingebracht. Anordnung einer Dampfbremse (OSB-Platte oder Folie) erfolgt an der Innenseite.

Die Tragstruktur und die Dämmebene sind bei der Brettsperrholzbauweise klar getrennt. Der Massivholzteil nimmt die Last auf und steift die Konstruktion aus, ist relativ brandbeständig und gleichzeitig eine Art Wärmedämmung. Selten wird an der Außenseite dieser Konstruktion eine Dampfbremse angebracht.

## Vorteile und Nachteile

### Vorteile:

- Energiebilanz (Nachhaltigkeit)
- Produktion und Montage (Vorfertigung, Kostensicherheit, Bauzeitverkürzungen)
- Vielfältigkeit (vielfältige Anwendungsmöglichkeiten)
- Mehrschichtigkeit (geringer Platzbedarf für Dämmung, hohe Dämmwerten)

### Nachteile:

- Speichervermögen (gering aufgrund fehlender Masse)
- Tragstruktur (Schwinden und Dehnen)
- Geschossdecken (hohe Anforderungen)
- Dauerhaftigkeit
- Brennbarkeit
- Geschossanzahl (zwei- bis dreigeschossige Bauten)
- Schall (große Anforderungen an Bauteile wegen geringer Masse)



## Fachwerkbauweise

Diese Bauweise ist der Vorläufer, aus dem sich andere Leichtbauweisen entwickelt haben. Sie war von der Antike bis ins 19. Jahrhundert vorherrschende Bauweise. Sie besteht aus einem tragenden Gerüst, dessen Zwischenräume mit Lehm-Holz-Verbund oder Ziegelwerk gefüllt sind.

## Holzrahmenbau bzw. Holztafelbau

Dies ist die meistverwendete klassische Holzbauweise, weil mit einem Holzrahmenbau ein Holzhaus relativ günstig zu bauen ist. Es handelt sich von einem sehr flexiblen und an die bestehende Gegebenheiten und Nutzungskonzepte leicht anpassbarem System, das sich aus der traditionellen Fachwerkbauweise der europäischen Einwanderer in Nordamerika entwickelt hat.

Konstruktionsprinzip ist wie folgt: Ein tragendes Gerüst aus Holzbalken wird mit Plattenwerkstoffen, hauptsächlich Holz- oder Gipsfaserplatten, beplankt. Eingesetzt wird in den Zwischenräumen die Wärmedämmung, sodass die tragende Konstruktion und die Dämmung in einer Ebene liegen, wobei gute Wärmedämmung bei geringen Wandstärken erreicht werden kann. Zur Vermeidung von Wärmebrücken durch das Traggerüst sind einige (zwei oder drei) gegeneinander versetzte Dämmschichten einzubringen. Dies ermöglicht, dass auch bei geringen Wandstärken ein Holzpassivhaus mit Holztafelbau problemlos erreicht werden kann.

Der große Vorteil dieser Bauweise ist die Möglichkeit, die Bauteile in der Zimmerei, wobei die einzelnen Wände mit Wärmedämmung und oft sogar mit Fenstern und Türen erstellt werden, vorzufertigen, welche dann auf der Baustelle nur noch zusammenzufügen sind. Auf diese Weise kann der Rohbau innerhalb von wenigen Tagen errichtet werden und ermöglicht so eine gewisse Unabhängigkeit von der Witterung. Diese Tatsache macht den Holzrahmenbau besonders kostengünstig und ist zudem ein Grund, warum diese Holzbauweise bei Anbietern von Fertighäusern zunehmender Beliebtheit genießt.

Große Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten bietet diese Bauweise an und ist beim Bauen von Ein- und Zweifamilienhäusern beliebt. Sie findet Anwendung auch bei mehrgeschössigen Bauwerken.

Abb. 52

## **Holzskelettbauweise**

Diese Bauweise ist aus dem Fachwerkbau entstanden, jedoch bietet sie große gestalterische Möglichkeiten dank hochwertigen Werkstoffen unserer Zeit.

Ein Traggerüst – Skelett – ist das Grundelement dieser Bauweise. Für die Konstruktion wird Brettschichtholz mit Stahlverbindungen eingesetzt, wodurch ein Raster aus Stützen und Trägern entsteht; an der Fassade sind große Öffnungen möglich, weil sie nicht in die Tragstruktur integriert ist.

Ausgesteift wird diese Konstruktion im Bereich der Wände und Decken mit kreuzweise verlegten Stahlprofilen. Am Anfang war die Fassade eine Ausfachung des Skeletts, jedoch ist sie den Anforderungen an Wärmeschutz aufgrund vieler Anschlussfugen nicht gerecht und wird heute inkl. Verglasung vor das Traggerüst gestellt, sodass eine wärmedämmende und winddichte Hülle entsteht.

Vorfertigung in der Zimmerei und Montage vor Ort und Stelle ist auch hier der Fall.

## **Massive Holzbauweisen**

Bei dieser Bauweise werden Wände aus Massivholzbauteilen errichtet. Hohe Qualität, Nachhaltigkeit und Ästhetik haben diese Bauweise in den vergangenen Jahren durchgesetzt, besonders beim Bau von Niedrigenergie- und Passivhäusern (KLH).

Vorteile:

- hoher Vorfertigungsgrad – kurze Bauzeit,
- einfache Anschlüsse und Verbindungen,
- niedrigerer Deckenaufbau gegenüber Holzbalkenkonstruktionen,
- massive Wandflächen für Befestigungen (Küchen- und Sanitärreichtungen),
- guter Brandschutz,
- gesundes, ausgeglichenes Raumklima,
- Vielseitigkeit in Design und Konstruktion.

Nachteile:

- Transport.

## Blockbohlenbauweise

Dies ist eine der ältesten Hausbaumethoden und ist in fast allen Ländern vorhanden und wird immer noch erhalten. Aufgeschichtet werden hier Bohle für Bohle und an den Ecken verkämmt.

Es gibt drei Formen:

- Rundstamm-Blockbohle ist die klassische Form, bei der, um die Winddichtigkeit zu erreichen, die Ober- und die Unterseite gefräst werden müssen.
- Vierkant-Blockbohle. Bei dieser Form haben die Blockbohlen einen viereckigen Querschnitt, sind ebenso gefräst und mit Nut und Feder versehen.
- Lamellen-Blockbohle ist aus mehreren miteinander verleimten Schichten aufgebaut, sodass sich widerstandsfähiges Kernholz auch an der Außenseite befindet, was zum Vorteil wenige Trockenrisse und günstiges Setzungsverhalten hat.

Heute werden Blockbohlenhäuser als zweischalige Blockbohlenschicht aufgebaut, damit eine wärmedämmende Schicht dazwischen angebracht werden kann und somit das Haus den modernen Wärmedämm- und Energiesparanforderungen gerecht wird. Einfachwände werden beim Innenausbau eingesetzt. Nachtrocknung und Setzung ist bei dieser Bauweise zu berücksichtigen und entsprechend die Fugen mit vorgespannten Stahlseilen quer zu der Fugenrichtung zu sichern, damit sie nicht aufgehen als Folge des Schwindens.

## Brettstapelbauweise

Bei dieser Massivholzbauweise bilden massive Brettstapelbauteile die Wände und die Decken. Einzelne Bretter, meist aus Fichte, mit einer Stärke von 22 bis 160 mm, können genagelt, gedübelt oder verleimt miteinander verbunden werden, um einen Brettstapelbauteil herzustellen. Statische Erfordernisse bedingen deren Dicke: bei Wänden ist sie zwischen 8 und 16 cm und bei Decken zwischen 8 und 22 cm.

Vorteile:

- keine Dampfbremse oder –sperre erforderlich,
- angenehme Oberflächenstruktur, die im Innenbereich sichtbar belassen werden kann,
- guter Schallschutz aufgrund der hohen Masse der Brettstapelbauteile,
- gute Wärmedämmung und guter sommerlicher Wärmeschutz
- gleicht die Raumfeuchtigkeit aus.

## #3.2 Gegenüberstellung: Klassisches Haus, klassisches Passivhaus und Passivholzhaus

### **Vorteile Passivholzhaus:**

- Kurze Bauzeit u.a. durch vorgefertigte Teile
- Fugen (übliche Wärmebrücken) gut zu dämmen
- Große gestalterische Freiheit
- Relativ witterungsunabhängig
- Holz ist nachwachsender Rohstoff
- Gute Öko-Bilanz

### **Nachteile Passivhaus Holzhaus:**

- Fehlermöglichkeiten bei Wärme- und Feuchteschutz
- Einbau von Dampfsperre notwendig
- Schall- und Brandschutz schlechter als bei Massivbau
- Schädlingsbefallrisiko

### **Vorteile Passivhaus Massivbau:**

- Wände fungieren als Wärmespeicher
- Langfristiger Schutz der Bausubstanz durch Außendämmung
- Einsatz von transparenter Wärmedämmung möglich
- Luftdichtheit relativ einfach zu erreichen
- Stabilität und Belastbarkeit
- Schall- und Brandschutz besser als bei Holzbau

### **Nachteile Passivhaus Massivbau:**

- Hoher Primärenergiebedarf in der Herstellung
- Arbeitsaufwand auf der Baustelle höher als bei Holzbau<sup>25</sup>

Hier sind sich auch die Experten noch nicht einig, welche Bauweise die beste ist. ACR-Institute analysieren seit 2011 im Rahmen des FFG-Technologieprogramms „Haus für Zukunft plus“, welche die beste Bauweise für Häuser in ökologischer und ökonomischer Hinsicht ist. Die Projektergebnisse waren im Februar 2013 zu erwarten, jedoch scheinen noch immer keine vorzuliegen.

ACR ist ein Netzwerk von 16 außeruniversitären kooperativen Forschungsinstituten der österreichischen Wirtschaft – mit jährlich rund 1.200 Forschungsprojekten und 15.000 hochwertigen Prüfungen.<sup>26</sup>

Es werden vier gängige Öko-Bautypen: Niederenergie-, Sonnen-, Passiv- und Plusenergiehaus jeweils in den vier Baustoffarten: Beton, Holz, Holzspanbeton und Ziegel verglichen und die Wissenslücken in Hinsicht auf Energiebedarf und Energieeffizienz von Konstruktionsweisen und Baustoffen geschlossen.

An diesem Projekt sind Experte aus sechs ACR-Instituten beteiligt: das Bautechnische Institut Linz, die Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg, die Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen, die Holzforschung Austria, das Österreichische Forschungsinstitut für Chemie und Technik sowie das Forschungsinstitut der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie und arbeiten gemeinsam am Projekt „Innovative Gebäudekonzepte im ökologischen und ökonomischen Vergleich über den Lebenszyklus“, d. h. auf welche Weise sich die Öko- und Energiebilanzen objektivieren und über den Lebenszyklus eines Gebäudes berechnen lassen. In diese Analyse fließen ein: Gebäudetypen und Konstruktionsweisen sowie unterschiedliche Baumaterialien, Haustechnik- und Wärmedämmkonzepte.

## #3.3 Lebensdauer, Globalisierung, gesellschaftliche Tendenzen und Schwankungen

Ein Forschungsvorhaben der Universität Leipzig, das Professor Winter geführt hat, zeigt eine erhebliche Weiterentwicklung des Holzbaus in den letzten 40 Jahren sowie eine Steigerung der für den Werterhalt einer Immobilie relevanten Qualität. „Im Hinblick auf die Beleihbarkeit, Wiederverwertbarkeit und Wertbeständigkeit gibt es also keine objektiven Gründe, ein Holzhaus schlechter einzustufen oder Bauherren in Fragen der Finanzierung zu benachteiligen“, sagt Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, an dessen Lehrstuhl die Forschungen durchgeführt wurden.

Werkstoffqualitäten, industrielle Fertigungsmethoden, freiwillige Fremd- und Selbstüberwachung der Hersteller sowie die Regelungsdichte haben sich stetig seit den 1960-er Jahren verbessert, belegt weiter dieses Forschungsvorhaben. Die nach 1985 erstellten Holzhäuser unterscheiden sich qualitativ nicht von konventionellen Gebäuden und bei denen liegt die Lebensdauer bei 80 und die technische Lebensdauer bei normaler Instandhaltung bei 100 Jahren oder mehr.<sup>27</sup>

In einer weiteren repräsentativen Studie, die das Hausbau-Magazin „Das Haus“ durchgeführt hat, haben sich mehr als ein Drittel der Befragten, nämlich 41,6%, ausgesprochen, gerne in einem Holzhaus leben zu wollen. Am beliebtesten war das Holzhaus unter den Familien mit Kleinkindern und den älteren Menschen mit je 43% Zuspruch, während in Baden-Württemberg die Prozentanzahl bei 54 liegt.

Dass mit Holz individueller zu bauen und einzurichten ist, meinten mehr als 70% der Befragten. Holzhäuser werden als Symbol des individuellen Designs sowie der zeitgenössischen Architektur angesehen.<sup>28</sup>

In Deutschland ist der Anteil der Holzfertighäuser ca. 15% bei Ein- und Mehrfamilienhäusern aber das Potential ist viel größer, zeigt diese Umfrage, zu der 1.000 ausgewählte Personen in Deutschland über 14 Jahre telefonisch befragt wurden. Jedoch ist der Anteil der Häuser, bei denen natürliche Baumaterialien verwendet wurden, in etwa 17% insgesamt. In Nordamerika und Kanada sind mit ca. 90% die Holzhäuser vertreten (sog. „timber frame“), in Japan liegt diese Zahl bei 40-50%. In Norwegen sind fast 80% der Einfamilienhäuser aus Holz gefertigt, da in Skandinavien selbst Holzbau eine lange Tradition hat.<sup>29</sup>

---

28 vgl. <http://www.fertighauswelt.de/news/index.html?NID=300>, 2010.  
29 vgl. <http://www.proholz.at/zuschnitt/06/vorfertigung-im-internationalen-vergleich/>, 2014.

## #3.4 Unterschied zwischen Ein- und Mehrfamilienhaus

Für den Aufbau eines Mehrfamilienhauses im Vergleich zu einem Einfamilienhaus spricht folgendes:

- Ein Mehrfamilienhaus ist preisgünstiger, was Prinzip der Modulbauweise ermöglicht: je mehr baugleiche Elemente vorgefertigt werden können, desto sind die Kosteneinsparungen größer und der Preis niedriger.
- Kostensenkung und Ersparung der Geldmittel wird auch durch die Montage, den Transport und den Ausbau erzielt, was wiederum den Quadratmeterpreis senkt.

Der Unterschied bei den Rohbauarbeiten in Holz- im Gegensatz zu der Ziegelmassivbauweise ist wie folgt:

Für den Rohbau in Ziegelmassivbauweise benötigt man

- 60-90 Tage für ein Mehrfamilienhaus bzw.
- 30-40 Tage für ein Einfamilienhaus, während sich die Bauzeit bei der Holzmassivbauweise sogar fast zehnfach verkürzt:
- 6-10 Tage benötigt man für ein Mehr- und
- nur 3-4 Tage für ein Einfamilienhaus.

An dieser Stelle sei jedoch gesagt, dass ab dem Zeitpunkt der Fertigstellung von Rohbauarbeiten die Dauer der Arbeiten bis zu deren vollständiger Fertigstellung gleich lang ist, d. h.

- noch ca. drei Monate für ein kleines Einfamilienhaus mit einfacher Ausstattung,
- ca. fünf Monate für ein kleines Einfamilienhaus mit gehobener Ausstattung oder ein größeres Ein- oder Mehrfamilienhaus mit einfacher Ausstattung sowie
- ca. sieben Monate für ein größeres Ein- oder Mehrfamilienhaus mit gehobener Ausstattung.

Die im Durchschnitt um einen Monat bei Ein- sowie bis zu zwei Monaten bei Mehrfamilienhäusern kürzere Bauzeit beeinflusst daher auch positiv den Kostenaufwand. Bei mehrgeschossigen Bauten ist die Ersparnis umso größer in Bezug auf den Quadratmeterpreis. Es ist schließlich viel mehr rentabel Mehrfamilienhäuser zu planen und zu bauen.

## #3.5 Klimabedingungen und -einschränkungen

Bei Holzmassivbauarbeiten spielen die Klimabedingungen keine große Rolle. Notwendig sind im Grunde nur einige trockene, d. h. niederschlagsfreie Tage in der Baunebensaison, damit die Stahlbetonfundamente vorbereitet (verschalt) und gefertigt (betoniert) werden können; die vorgefertigten Massivholzbauteile können der Witterung ohne den zusätzlichen Schutz (ausreichend ist z. B. nur regendichte Abdeckung an Ort und Stelle) bis zu drei Tagen ausgesetzt werden, während es bei der Montage praktisch keine Einschränkungen gibt, da sie in diesem Zeitraum vollständig zu Ende zu bringen ist.

Dadurch, dass man weder auf die Trocknung des Rohbaus warten noch etwas schalen oder ausschalen muss, denn es handelt sich um vorgefertigte Bauelemente mit vorausgefrästen Schlitzern zur Verlegung der Leitungen, ist die Fortsetzung und die Fertigstellung der Bauarbeiten nach der Rohbauphase sofort möglich: Gipskartonplattenmontage, Verlegung von Installationen usw. – also kein Zeitverlust.

In der Ziegelmassivbaunebensaison, in etwa von Dezember bis März, wo es zum Einfrieren des Mörtels oder zur erschwerten Trocknung der Betonelemente kommen kann, gewinnt die Holzmassivbauweise an Bedeutung, weil der limitierende Faktor nur das Vorhandensein von Niederschlägen ist, während die Außentemperatur nahezu keine Rolle spielt. Mithin ist auch möglich, günstigere Preise zu erzielen und eine größere Auswahl an Bauunternehmern zu haben.

Einschränkungen können Starkniederschläge und/oder Starkwinde auf Grund der großen Fläche der vorgefertigten Bauelemente sein, was Kranarbeit kompliziert und ungünstig macht aber auf der anderen Seite keinen Einfluss auf die Ziegelmassivbauarbeiten hat.



Ungestörte Montage eines Massivholzhauses im Winter – Abb. 53

## #3.6 Geschossanzahl: Erfahrungen und Fallstudie

Der kanadische Architekt Michael Green träumt schon davon, einen 30-geschossigen Holzbau in Vancouver zu errichten und damit die Stadtlandschaften weltweit zu verändern: statt Beton soll jetzt Holz eingesetzt werden, wohl bei mehrgeschossigen Gebäuden, da es in der ersten Linie umweltfreundlicher als sein anorganisches Gegenstück ist.

Er hat schon detailliert die Pläne für den Aufbau entwickelt und im Dokument mit dem Titel „Tall Wood“ frei verfügbar gemacht hat. Seine Absicht ist aber, höher als 30 Geschosse zu bauen. „Wir haben vor 100 Jahren mit dem Erforschen von Holz als Baustoff aufgehört, nun suchen wir nach neuen Möglichkeiten zum Einsatz des Materials“, so Green.<sup>30</sup>

Energieaufwand und Schadstoffemissionen bei der Verarbeitung von Holz sind geringer, was mit dem Klimawandel, der Verstädterung und den globalen Wohnungsbedarf Hand in Hand geht: Das sind seine Argumente und er hofft, großen Markt für seine Ideen in der Zukunft zu haben. In Japan gibt es schon 1.400 Jahre alte Holzpagodens, die bis heute erhalten sind und zwar in einem sehr erdbebenfälligen und klimatisch ungünstigen Gebiet, was das zweite Argument für Hochholzhäuser sein könnte.

Zurzeit ist das höchste Massivholzgebäude in Europa das 2009 fertiggestellte Stadthaus in London mit 30 Meter Höhe und acht Geschossen, das vom Londoner Architektenbüro Waugh Thistleton geplant und mit von KLH vorgefertigten Massivholzpaneelen erbaut wurde (mehr über diesem Projekt in diesem Kapitel). Es ist erwähnenswert, dass es In Großbritannien wie auch in Neuseeland und Norwegen es keine Höhenbeschränkungen für Holzrahmenbauten gibt, während in Österreich die Bauten maximal 22 Meter hoch sein dürfen und 90-minutige Brandbeständigkeit erweisen müssen. Für ProHolz Austria, die Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft, entkräften die zahlreichen Statistiken und Bauverordnungen über Brandbeständigkeit des Holzes die kritische Einstufung des Holzbaus und er ist sogar *„mitunter im Brandfall positiver zu beurteilen als Konstruktionen aus nicht brennbaren Baustoffen“*.<sup>31</sup>

Obwohl diese Fortschritte gemacht worden sind, wird noch einige Zeit vergehen, bis 30-geschossige und höhere Holzhochhäuser serientauglich werden.<sup>32</sup>

---

31 <http://www.proholz.at/forschung-technik/forschungspanorama/brandschutz-im-industriebau/>, 2013.  
32 vgl. <http://orf.at/stories/2111202/2111209/>, o. J.

## Argumente für ein Hochholzhaus<sup>33</sup>

Am Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts ermöglichten große Fortschritte im Stahl- und Stahlbetonbau Errichtung von riesigen Wahrzeichenbauten wie Eiffelturm in Paris und Wolkenkratzer in New York und Chicago. Das setzte Stahl und Beton als Standardmaterial für große Gebäude durch, während leichte hölzerne Fachwerke im Wohnbau zunehmende Beliebtheit genossen. Trotz einem senkenden kommerziellen Einsatz, wurde Holz zum Standard für die Errichtung der Einfamilienhäuser.

In den letzten Jahrzehnten ist in der Holztechnik zu einem großen Fortgang und zu einer umgestaltenden Entwicklung gekommen. Die wichtigsten Faktoren, die den Baustoff Holz zu einem technisch vielseitigen und wirtschaftlich konkurrenzstarken Material gemacht haben, sind unter anderem:

- neue Holzwerkstoffprodukte,
- CNC-Fertigung,
- vielfältige hocheffiziente Holzverbinder und
- Fortschritte in der Brandschutztechnik.

Die Architekten und Bauingenieure waren auch hochmotiviert, Bauten mit einer niedrigen Kohlenstoff- und Energiebilanz zu entwickeln und haben deswegen Baustoff Holz als Alternative für den Aufbau von großen Wirtschaftsbauten wie Ausbildungseinrichtungen, Museen, Flughäfen und Stadien überlegt.

Bei Hochholzhäusern spielte die Einsetzung von Massivholzpaneelen in die Konstruktion eine große Rolle. Massivholzbauweise wurde in Europa vor 15 Jahren entwickelt und hat sich seither schnell durch Nordamerika ausgebreitet. Das neue System umfasst Zusammenfügen von großen vorgefertigten Holzpaneelen in Form von Tafel- oder Holzrahmenbauweise. Tafelbauweise wird oft mit Pfosten-Riegel-Bau kombiniert, während im Bodenaufbau häufig eine Betonschicht, manchmal als Verbundbau, vorgesehen wird, um bessere Festigkeit, Steifigkeit, Vibrations- und Schallweiterleitungseigenschaften zu erreichen.

Weltweit haben die Entwerfer rasch das Potential der Massivholzbauweise erkannt und beschäftigten sich mit der Entwicklung von Konstruktionsprinzipien für Hochholzhäuser. Im März 2011 wurde ein Bericht von *British Columbia's Wood Enterprise Coalition (WEC)* namens „Tall Wood“ veröffentlicht, der sich mit den Massivholzkonstruktionen, genannt „Finding the Forest Through the Trees“ (FFTT), auseinandersetzt. Im Gegenteil zu den meisten anderen Hochholzhauskonzepten wurde FFTT für die erdbebenfälligen Gebiete anhand von Vancouver-Daten entwickelt und stützt sich nicht auf den Betonkern. Die vorläufige 3-D-Finite-Elemente-Analyse von 12-, 20- und 30-geschossigen Holzrahmen hat bewiesen, dass das System auch für die Hochholzhäuser in erdbebenfälligen Bereichen anwendbar ist.

## Massivholzbauweise

Massivholzbau bezieht sich auf keinen spezifischen Produkttyp, sondern eher auf die Bauweise, bei der große Holzpaneele zusammengefügt werden, um eine Konstruktion zu bilden. Es gibt sechs grundlegende Typen von Paneelen, die in Europa verfügbar und eigentlich Markenfabrikate sind. Sie sind Kreuzlagenplatten oder einschichtige Leimholzplatten, entweder genagelt, gedübelt oder druckverklebt. In Nordamerika werden auch Furnierschichtholz (*laminated veneer lumber*: LVL) und Spanstreifenholz (*laminated strand lumber*: LSL) in den Projekten verwendet. Der meistverwendete Plattentyp ist das verklebte Kreuzlagenholz (*cross-laminated timber*: CLT).

Obwohl die Idee über ein 30-geschossiges Holzhochhaus zuerst als untauglich oder sogar unmöglich erscheint, zeigt eine eindeutige Gegenüberstellung, dass die Leistung der Holzwerkplatten manchmal über die der Stahlbetonwand bei ähnlichen Querschnitten in allen kritischen Belastungsausrichtungen liegt. Weil das Gewicht des Holzes nur ein Viertel des Gewichts des Betons beträgt, wiegt das fertige Hochholzhaus zwischen einem Drittel und einer Hälfte des fertigen Betonbaus, was ein sehr vorteilhaftes Verhältnis von Festigkeit zur Masse ergibt. Bezüglich der Konstruktion ist die Herausforderung, einen Aufbau, der nicht nur gute Leistung hat, sondern auch effizient herzustellen und zu errichten ist, zu entwickeln.

Unterschiedliche Paneeltypen haben diverse Eigenschaften und sind mithin besser für verschiedene Einsatzfälle geeignet. Im Bericht von WEC wird empfohlen, LSL- und LVL-Paneele als Wandelemente und CLT-Paneele als Bodenplatten zu verwenden, da die letztgenannten erschwinglicher und von größeren Querschnittsdicken sind.

## Verordnungen

Im Laufe des letzten Jahrhunderts bezogen sich die meisten Bauverordnungen auf die leichten Holzrahmenkonstruktionen, die als brennbar oder nicht brennbar bezeichnet wurden, was wiederum dafür verwendet wurde, die maximale Gebäudegröße und -höhe zu verordnen. Als eine akzeptable Alternative zu der nicht brennbaren Konstruktion wird Holzrahmenkonstruktion bezeichnet, die auch eine gewisse Feuerwiderstandsdauer besitzt, ist aber trotzdem sehr beschränkt durch ihre Brennbarkeitsklasse.

Verschiedene Holzarten verkohlen unter spezifischer und gleichmäßiger Rate. Diese verkohlte Ebene fungiert als eine Schutzschicht für das Holz darunter. *US National Research Council* (NRC) führt zurzeit Prüfungen der CLT-, LVL- und LSL-Paneele durch, um die Verkohlungsrate, die bis jetzt auf europäische Standards basierte, festzustellen. Die Feuerwiderstandsdauer kann an die erforderlichen 60, 90 oder 120 Minuten angepasst werden.

Das ergab Reduzierung der maximalen Höhe von Holzhäusern in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts von ungefähr acht Geschossen in Nordamerika, als schwere Holzrahmenkonstruktion vorherrschte, bis auf den „Tiefpunkt“ von nur drei Geschossen in den 1950-er Jahren, als leichter Holzrahmenbau meistverwendet wurde. In den letzten einigen Jahrzehnten hat sich diese Tendenz umgekehrt und zwar hauptsächlich aufgrund der Verbesserung der Brandschutzmaßnahmen und Schutzsysteme. Einige Behörden in Nordamerika und Europa genehmigen jetzt leichte Holzrahmenkonstruktionen von bis zu sechs Geschossen.

Neulich wurde bemerkt, dass sich verschiedene Holzkonstruktionen anders im Brandfall verhalten und müssen daher nicht mehr unter diejenigen gruppiert werden, die einen beschränkten Brandwiderstand aufweisen. Schwere Pfosten-Riegel-Konstruktion verhält sich um einiges besser als die dem Brand ausgesetzte leichte Holzrahmenkonstruktion, während die Massivholzbauweise in Brandprüfungen ihre eigene Hochleistungs-kategorie zeigt. Diese Brandbeständigkeit wird weltweit vorangebracht. Österreich, England und Norwegen haben bereits aus diesem Grund ihre Vorschriften über die Geschossanzahlbeschränkung aufgehoben.

In Kanada wurde 2011 das *Wood and Wood-hybrid Mid-rise Building Committee* gegründet, das die Möglichkeiten, dasselbe zu genehmigen, nachprüft. Die Städte wie Chicago drängen das in den USA, dort wo die durch Stadtgebiete geförderte Errichtung von Hochholzhäussiedlungen („Green Building Zones“) umstritten wird.

## Das FFTT-System

Das FFTT-System stützt sich auf das Konzept „starke Stütze/schwacher Balken“, indem es die inhärente vertikale Festigkeit der Massivholzpaneel-Konstruktion zum Einsatz bringt. Diese Massivholzpaneele sind miteinander verbunden, um die sich über die ganze Gebäudehöhe erstreckenden und durch die hochduktilen I-förmigen Stahlträger miteinander befestigten Wandelemente zu bilden. Diese I-Träger besitzen ein völlig plastisches knickfestes Formänderungsvermögen, verhalten sich in einer vorhersagbaren Weise und lassen Ausbildung von Fließgelenken zu, die bei Erdbeben die Energie wirksam aufnehmen und abbauen. Das System wird zum Aufstellen der miteinander verbundenen Wandscheiben oder umlaufenden biegesteifen Rahmen verwendet.

Die Stahlträger sind zum Teil in die Stirnseite des Paneels eingebettet sowie eng an sie angepasst, um die Anschlussbedingungen zu vereinfachen. Sie sind auch wohlproportioniert, um die Ausbildung von Fließgelenken an den Paneelrändern zuzulassen sowie ausreichende Festigkeit und Steifigkeit zu haben, um allen Beanspruchungsbedingungen widerstehen zu können. Die Stahlträger sind an den Paneelen mit Durchsteckschrauben mit Unterlegscheiben in allen kritischen Beanspruchungsbereichen befestigt, um Aufbruch zu verhindern. Träger mit geschwächtem Querschnitt können verwendet werden, um die gewünschte Lage des Fließgelenkes unter Beibehaltung des größten Teils der Trägerfestigkeit zu erzielen.

Die Bodenplatte kann aus CLT-Paneeelen mit oder ohne Betonkern erbaut sein, während Säulen aus Brettschichtholz oder Furnierstreifenholz sein können. Die Stahlträger fungieren als Querbalken oder Balken, sofern vorhanden, während Balken aus Holzwerkstoff anderswo verwendet werden können.

Die vorläufigen Kostenvergleiche zwischen Beton- und Massivholzhochhäusern, die für 12-, 20- und 30-geschossige Bauten erstellt , zeigen, dass die Kosten der Massivholzkonstruktion mit denen der gewöhnlichen Betonkonstruktionen durchaus vergleichbar sind, abhängig von dem Einsatzort und davon, ob Feuerbeständigkeit durch Kapselung oder Verkohlung erreicht ist.



Darstellung eines 30-geschossigen FFTT-Designs mit lasttragenden Holzkern, Innen- und Außenwänden – Abb. 54

## Fazit

Die Vereinten Nationen sagen voraus, dass es bis 2050 einen weltweiten Bedarf nach Erbauung von drei Milliarden Wohneinheiten geben wird. Weil die Errichtung und der Betrieb der Gebäude schon 50 Prozent der Gesamtenergiebilanz weltweit ausmachen, wird in der Zukunft umso wichtiger, dass die Bauten energieeffizient und mit weniger energieintensiven und umweltschädlichen Baustoffen gebaut werden.

Holz ist der einzige bedeutende Baustoff, der gleichzeitig nachwachsend ist. Lebenszyklusstudien beweisen ständig, dass Holzprodukte Umweltvorteile in Bezug auf die graue Energie, Gewässer- und Luftverschmutzung sowie Treibhausgasemissionen bieten. Obschon das gemeinsame Anliegen ist, dass der Anstieg der Holznutzung zunehmende Entwaldung mit sich bringt, zeigen neuere Daten, dass der Baumbestand in allen Ländern auf der Nordhalbkugel erhalten wird oder auch steigt, wo nachhaltige Waldbewirtschaftungsmethoden umgesetzt werden, welche auch zunehmend auf dem globalen Niveau eingesetzt werden.

Die Fortschritte in Holztechnik in den letzten Jahren haben Holz als eine brauchbare, wirtschaftliche, haltbare und erneuerbare Alternative für fast alle Gebäudetypen durchgesetzt. Viele Analysen und Tests stehen bevor, ehe ein 30-geschossiges Holzhochhausprojekt umgesetzt werden kann, jedoch geht diese Arbeit weltweit zügig voran. Globale Stadtlandschaften könnten bald durch die allererste Generation der Holzhochhäuser geprägt werden.



Darstellung eines im FFTT-System entworfenen Hochholzhauses – Abb. 55

## Fallstudie: Stadthaus, Murray Grove, London<sup>34</sup>

Bauordnung verbietet die Errichtung von Hochholzhäusern nicht, obwohl die praktische obere Grenze (und die Normenvorschrift) für eine hölzerne Fachwerkwand bei sieben Geschoßen liegt. Das Stadthaus ist mit acht Geschoßen das größte bewohnbare Holzhaus der Welt, wobei Architekten und Bauingenieure an Entwicklung von deutlich höheren Holzhäusern arbeiten.

Das Gebäude ist über die Anforderungen Großbritanniens gedämmt. Mechanische Lüftungsanlagen in allen Zimmern gehen mit einem Wärmerückgewinnungssystem einher, welches bis zu 70% der Wärmeverluste verhindert, die entstünden, wäre die Rückluft ausgeblasen. Photovoltaik-Paneele auf dem Dach erzeugen einen bescheidenen Vorrat an erneuerbarer Energie. Nachhaltigkeit war bei der Planung äußerst wichtig und deshalb ist die Südwand eine grüne Wand, um die Biodiversität zu fördern und einen ökologisch nachhaltigen sog. Pocketpark zu schaffen.

Das ungewöhnliche Merkmal an diesem Haus sind die CLT-Paneele, die für die tragenden Wände und Bodenplatten verwendet wurden. Es gibt weder Stützen noch Träger und in der Konstruktion können demnach Öffnungen von beliebiger Größe und Lage erstellt werden. Die an diesem Projekt beteiligten Architekten und Bauingenieure hatten schon Erfahrung mit dem CLT-Bau, die sie bei den Projekten verschiedener Flachbau- und Geschäftshäuser sowie Ausbildungseinrichtungen und Industriebau erwarben. Das Interesse an Verwendung von CLT ist aus der umweltschonenden Baulust entstanden sowie dem Wunsch den Holzbau in Großbritannien zu fördern, besonders für den Einsatz im mehrgeschossigen Bau, für den bis jetzt nur anorganische Baustoffe wie Beton, Ziegel oder Stahl verwendet wurden.

Der Bau hat 29 Wohnungen und wurde mit dem System, das KLH in Austria entwickelte und das aus kreuzweise miteinander verbundenen und (formaldehydfrei) verklebten Lagenhölzern, die Paneele ausbilden, errichtet. Der Bonus beim CLT ist sein großer Beitrag zur Nachhaltigkeit der Konstruktion. Es senkt die für die Konstruktion verwendete Energie sowie Wärmeverluste bei der Nutzung, indem es den Dämmwert und die Luftdichtheit verbessert und kann einfach am Ende seiner Lebensdauer abgerissen und wiederverwertet werden. Durch Verwendung der Trockenbauweise in Bädern und Küchen gab es keinen Bedarf danach, das Gebäude trocknen zu lassen. Türen und Fenster wurden früh eingebaut, um das Gebäude möglichst schnell wasserdicht zu machen.

Sogar ist die Fassade aus Holz: Eternit fertigte 5.000 Paneele (mit Ausmaßen von 1.200 mm x 230 mm) vor, die aus 70% Altholz bestehen. Die Architekten entwickelten die Fassade, indem sie die Aufnahmen von dem sich wechselnden Licht und den Schatten gemacht hatten, welche die benachbarten Gebäude und Bäume auf dem leeren Grundstück warfen. Danach entwickelten sie ein Mustermotiv mithilfe von einer Sonnenbahnanimation und umhüllten letztendlich das Gebäude mit dem verpixelten und verzerrten Bild. Die Balkone und die Fenster bringen den Rhythmus des abstrahierten Bildes zur Geltung.

Diese Holzpaneele tragen beträchtlich zur Senkung der  $\text{CO}_2$ -Bilanz des Gebäudes bei. Die Entwerfer haben berechnet, dass das Gebäude, wäre es in einer klassischen Stahlbetonkonstruktion errichtet gewesen, die zusätzlichen 124 Tonnen Kohlenstoff bei der Erbauung erzeugt hätte. Mitsamt den 188 Tonnen  $\text{CO}_2$ , das in 900 Kubikmeter Holz gespeichert ist, wären das ca. 310 Tonnen Kohlenstoff.

Brandschutzmaßnahmen wurden leicht erfüllt. Es wurden eine 60-minutige Verkohlung und eine 90-minutige Feuerwiederstanddauer durch Hinzunahme einer Gipsplatte erreicht.

Die 128 mm starke Wand erreichte eine Hitzebeständigkeit von  $U = 0,13 \text{ W/m}^2/\text{K}$  mit nur 100 mm Dämmung.

Obwohl Holz auch für die Erdgeschosswände geeignet gewesen wäre, entschlossen sich die Hochbauingenieure für Stahlbeton, weil sie der Meinung waren, er wäre passender für den erheblichen Unterschied zwischen dem Erdgeschoss und erstem Geschoss sowie den Feuchteschutz besser gewährleisten würde.

Jedes Paneel wurde vorgefertigt, mit ausgefrästen Fenster- und Türenöffnungen. Als die Paneele auf die Baustelle geliefert wurden, wurden sie sofort mit dem Kran versetzt. Der neugeschossige Bau wurde in neun Wochen errichtet. Die Gelenke wurden mit Schrauben und Winkelplatten befestigt. Die Beanspruchungen sind im Allgemeinen niedrig in der ganzen Konstruktion, es waren jedoch zusätzliche Schrauben an allen Stellen mit großen Beanspruchungen quer zur Faserrichtung erforderlich. Fortschreitendes Versagen der Konstruktion wird durch ausreichende Redundanz verhindert, sodass jedes der Elemente allein entfernt werden kann, ohne dass das ganze Gebäude zusammenstürzt.

Das unbehandelte Holz wird von einer Gebäudehülle vor Feuchtigkeit und Verrottung geschützt. Obschon die Leitungen bei dem Regenwetter verlegt wurden, hat es die Paneele nicht beschädigt, weil das System die Feuchtigkeit bei der Abtrocknung problemlos abgibt.



#### Projektdetails:

Fertigstellung:	2009
Bauart:	Mehrgeschossiges Wohngebäude
Ort:	Hackney, London
Bauherr:	Telford Homes PLC and Metropolitan Housing Trust
Architekt:	Waugh Thistleton Architects
Bauingenieur:	Techniker
Bauträger:	Telford Homes
Holz durch:	KLH UK
Holzbauteile:	Massivholzpaneele für Wand-, Boden-, Dach-, Innen- und Außenwand- sowie Aufzugskernaufbau
Holzart:	Fichte

Abb. 56

Gute akustische Eigenschaften wurden beim Entwerfen berücksichtigt. Die Holzhäuser werden als schlecht angesehen in Vergleich zu Stahlbeton- oder Ziegelbau in Bezug auf die Schalldämmung. CLT-Paneele haben hingegen eine deutlich höhere Dichte als hölzerne Fachwerksysteme und einen massiven inneren Kern, zu dem unterschiedliche, unabhängige und abtrennende Schichten hinzugefügt werden können. Dieser Schichtaufbau überwindet jedes Schallweiterleitungsproblem. Mit Gelenken vor den Trennwänden sowie schwimmenden Estrichen und abgehängten Decken wurde Schallschutz verbessert, während thermische Leistung die Anforderungen Großbritanniens weit übertrifft.

Obschon diese CLT-Konstruktion teurer als die entsprechende Stahlbetonkonstruktion ist, schafft sie erhebliche Ersparnisse durch spürbare Reduzierung der Bauzeit. Die Errichtung eines solchen Stahlbetonbaus hätte schätzungsweise 72 Wochen gedauert, während ein CLT-Gebäude in nur 49 fertiggebaut wurde. Ein riesiger Fahrzeugkran wurde bereitgestellt, was den Bedarf nach einem Turmdrehkran ausschloss. Ein Baugerüst war nur für die Ausmauerung nötig, jedoch nicht für die Errichtung der Holzkonstruktion, die in nur drei Tagen in der KLH-Fabrik vorgefertigt wurde. Ein vierköpfiges Bauteam aus Österreich verbrachte nur drei Tage pro Woche an der Baustelle und stellte das ganze Gebäude in 27 Arbeitstagen fertig – in neun Wochen also.

Der Bauherr war mit der  $\pm 5$  mm Toleranz sehr zufrieden, da sie bei der Stahlbetonkonstruktion  $\pm 10$  mm beträgt. Diese strengeren Toleranzen ermöglichen vereinfachtes Zusammenfügen, eine bessere Luftdichtheit und eine leichtere Ausmauerung.

Die Bewegung im Bereich der Kontaktflächen der Geschosse aufgrund der Feuchtigkeitsbildung und Fließdehnung wird auf nur 3 mm geschätzt, was die Ausführung der Bauteile allerdings zulässt. Durch Weglassung des Betonkernes entsteht keine differentielle Schwankung zwischen Beton und Holz, die bei einem klassischen Holzfachwerk jedoch auftritt.

Massivholzbauteile leisten einen wesentlichen Beitrag der thermisch wirksamen Masse, was auch bescheidene Temperaturschwankungen beweisen.

Die Einrichtung der Haustechnik war einfacher als erwartet; zukünftige Projekte könnten noch billiger werden, wenn man die aus diesem Projekt erworbene Erfahrung anwendet. Verkabelung und Verrohrung erfolgte an den Oberflächen und sie wurden mit einfachen Laschen verschraubt. Die Gipsplatten wurden in Tragschienen verlegt.

### Erdbeben

Die Erdbebensicherheit ist in vielen Ländern zu bedenken: Konstruktionsweise und Baumaterialien sind hier gleichermaßen wichtig. Ein Mauerwerk hat relativ schlechte Sicherheitswerte und muss daher mit einem Stahlbetonrahmen versehen werden, um die entstehenden Kräfte zu übernehmen, d. h. sie vom Ziegel fernzuhalten, damit ausreichende bis sehr gute Werte erreicht werden können, aber solche Materialmischungen können allerdings die Kosten erhöhen und die Wärmebrücken bei unzureichender Dämmung zur Folge haben.

An der anderen Seite sind Stahlbeton und insbesondere Massivholz durch seine Elastizität von Natur aus die erdbebensicheren Baustoffe, jedoch sind billig gebaute Skeletthäuser nicht in der obersten Klasse. Doppelwohnhäuser aus „normalem“ Holz erreichten bei einer Untersuchung die Stabilitätswerte, die über dem Erdbeben von 4,5 Magnituden liegen, während ein solcher Ziegelbau hier schwer beschädigt oder zerstört wäre. Wenn der reine Ziegelbau mit Stahlbeton „eingerahmt“ wird, kann er die Sicherheitswerte des Holzmassivbaus erreichen. Für einen Bauherrn, der sich für ein Massivholzhaus entscheidet, bestehen diese obengenannten Mehrkosten nicht.

Holzskelettbau kann eine hohe Erdbebensicherheit ebenfalls aufweisen, solange er sorgfältig geplant, aufwendig errichtet und mehrfach beplankt ist sowie starke Anschlussverbindungen hat.

Außerdem verfügen Holzbauten über „Sicherheitsreserven“ weit über den erreichten Werten, aber diese Aussage geht auf die Erfahrung zurück, da sich die tatsächliche Elastizität des Holzes mit herkömmlichen mathematischen Berechnungen schwer erfassen lässt.

Es folgt jedoch, dass sich Holzbauten bei Erdbeben sehr gut verhalten und sie oft ganz unbeschadet überstehen.

## **Winddichtheit**

Behaglichkeit, Energieeinsparung und Vermeidung von Bauschäden sind die wichtigsten Gründe für eine winddichte Ausführung eines Holzhauses. Diese winddichte Ebene ist durch den Architekten festzulegen: eine Folie, ein verstärktes Windpapier oder eine winddicht verklebte OSB-Platte, je nach der Bauweise. Durchdringungen dieser winddichten Ebene wie Fenster, Türen, Leitungsschächte usw. können schwerwiegende Auswirkungen auf die Winddichtheit haben. Fensterrahmen werden beispielsweise mit einer hierfür speziell entwickelten Klebefolie an die Winddichtungsebene angeschlossen. Überprüfung der Winddichtheit eines Holzhauses erfolgt mit einem sog. Blower-Door-Test aber generell gilt: die Anzahl der Durchdringungen möglichst gering halten.

## Brandschutz

Brandschutz wird durch bauliche Maßnahmen, die auf Grund der Materialisierung und Brandabschnittsbildung mit Brandvorschriften im Einklang stehen, woraus sich geringere Brandschutzkosten ergeben. Diese Maßnahmen sind die Regel für viele Gebäudetypen, darunter auch die Wohnbauten.

Die Brandabschnittsbildung ist die Aufteilung von Gebäuden in sog. Brandabschnitte. Ausgehend davon, dass ein Brand überall und immer ausbrechen kann, ist die Aufgabe des Brandschutzes, die Ausbreitung des Brandes zu verhindern oder ihn auf einen bestimmten Teil des Gebäudes oder auf ein Gebäude zu beschränken, was mit Brandmauern, brandabschnittbildenden Wänden und Decken sowie Brandschutzabschlüssen und Abschottungen erreicht wird.<sup>35</sup>

## Feuchteschutz

Eine diffusionsoffene Bauweise kennzeichnet Holzhäuser. Die luftdichte Ebene liegt hier zwischen dem Massivholzbauteil und der außenliegenden Dämmung: Die Feuchtigkeit kann in die massive Gebäudehülle eindringen und dort gespeichert werden, ohne die Schäden zu verursachen und bei niedriger Raumfeuchtigkeit wieder vom Holz abgegeben werden, was ein angenehmes Wohnklima das ganze Jahr hindurch verspricht.

Hierbei sind Küchen und Bäder besonders dampfwasserfällig aber infolgedessen, dass Massivholzwände im Grunde sehr gut gedämmt sind und eine höhere Oberflächentemperatur als schlecht gedämmte Wände aufweisen, kommt es zur Kondensation und folglich zu Schimmelbildung nicht, weil keine Feuchte auf der Oberfläche einer warmen Wand kondensieren kann. Dies reduziert die Heizkosten sowie beugt Schimmelbildung vor.

Guter Feuchteschutz spiegelt sich in der Haltbarkeit von Holzhäusern wider, da alle Fassadenausbildungen sowie Dachüberstände und Sockel die tragenden Holzbauteile vor Bewitterung schützen. Im Gebäudeinneren liegt die Holzfeuchte deutlich unter den kritischen 20%, in etwa bei 10-14% (also  $12\% \pm 2\%$ ), weil Holz ständig die Feuchte aufnimmt und wieder abgibt.

## #3.8 Einschränkungen in der Formgebung und Visionen für die Zukunft

Heutzutage gibt es fast keine Einschränkungen bei der Gestaltung mit Massivholz: es lassen sich ein- und mehrgeschossige Ein-, Zwei- oder Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude, Bildungs-, Kommunal-, Industrie-, Gewerbe- und Sonderbauten mit großen Spannweiten und Auskragungen errichten.

In der Zukunft wird Holz immer mehr zum Einsatz gelangen aber auch heute gibt es bahnbrechende Bauten, die sozusagen Vorreiter der in der Zukunft zu erwartenden sind, was sich am besten anhand von einigen Beispielen zeigen lässt.

### **Der „Woodcube“ in Hamburg**

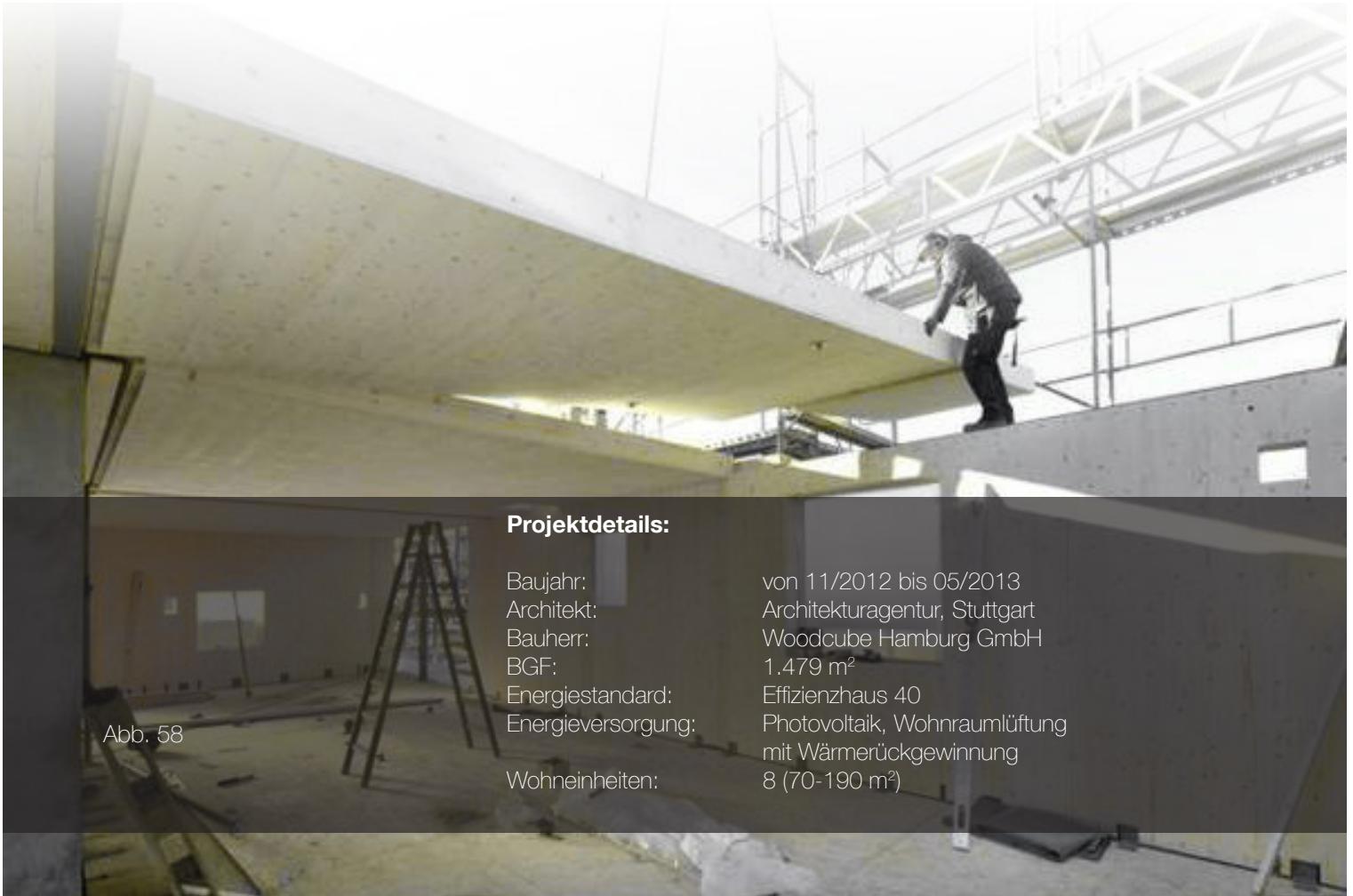
Dieses fünfgeschossige Mehrfamilienhaus hat 900 m<sup>2</sup> Wohnfläche und die gesamte Primärkonstruktion, mit Ausnahme des zentralen betonierten Aufzugs- und Treppenhauskernes, ist aus sichtbar belassenem Massivholz.

Die insgesamt 30 cm starken Außenwände haben eine zusätzliche Dämmung und eine außenliegende, unbehandelte Holzverschalung, während die 23 cm starke Massivholzdecken stützenfrei zwischen Kern und Außenwand spannen und an den Balkonen ohne thermische Unterbrechung nach außen auskragen, was eine flexible Raumaufteilung in Holzständerbauweise mit Gipskartonverkleidung ermöglicht. Lehm- und Holzschutzmittelfreiheit ist für einen späteren Rückbau und die Nachnutzung der Baustoffe sowie wohngesundheitslich sehr vorteilhaft.<sup>36</sup>



Abb. 57

Die Gebäudehülle hat ein fast Passivhausniveau. Das Gebäude ist CO<sub>2</sub>-neutral, da der verbleibende Energiebedarf aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt wird.



#### Projektdetails:

Baujahr:	von 11/2012 bis 05/2013
Architekt:	Architekturagentur, Stuttgart
Bauherr:	Woodcube Hamburg GmbH
BGF:	1.479 m <sup>2</sup>
Energiestandard:	Effizienzhaus 40
Energieversorgung:	Photovoltaik, Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung
Wohneinheiten:	8 (70-190 m <sup>2</sup> )

Abb. 58

In der Bauphase sparte der „Woodcube“ schon 8.500 Tonnen CO<sub>2</sub> ein laut den Berechnungen, was in etwa dem Jahresausstoß der 850 Deutschen entspricht.



Abb. 59

## Aussichtsturm im Zoo von Helsinki

Der Aussichtsturm soll eine exponierte Stelle hoch über dem Meer sein, von der aus sich ein großartiger Blick zur Innenstadt erstreckt. Die entstandene Holzstruktur ist selbsttragend und besteht aus 72 Leisten. Die Absicht des Architekten war, das Gebäude so zu gestalten, dass es einer bestehenden Natursteinmauer folgt, sich gegen die Baumgruppe zurücknimmt und in Hauptblickrichtung ausweitet.

Der Errichtung ging eine ausgedehnte Versuchsphase voran, in der 3-D-Simulationen entstanden sowie Modelle bis hin zum Maßstab 1 : 5 gebaut wurden. Eine Holzleiste in Originalgröße wurde auf ihr Krümmungsverhalten untersucht.<sup>37</sup>

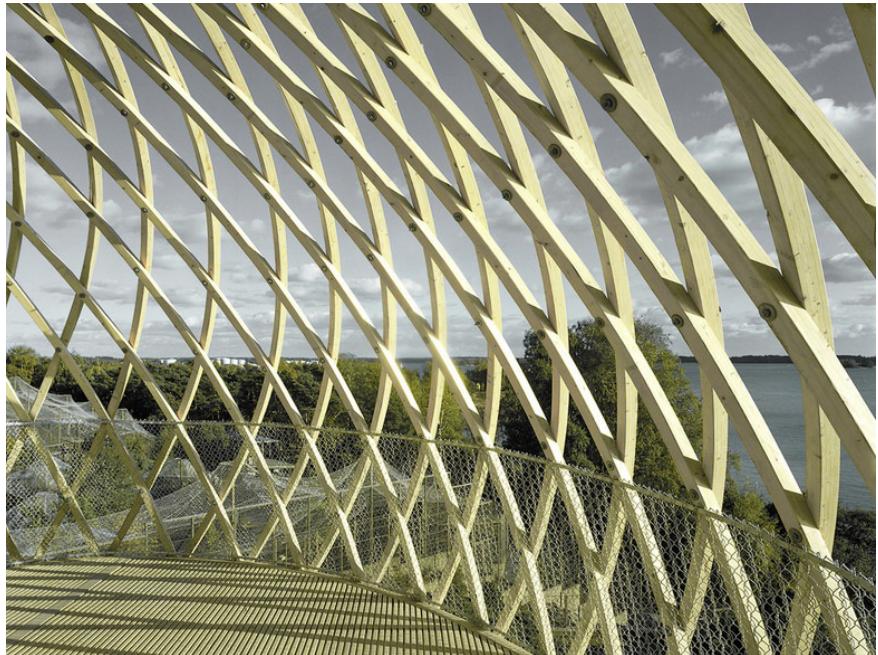


Abb. 60

<sup>37</sup> vgl. <http://www.detail.de/inspiratin/aussichtsturm-im-zoo-von-helsinki-108170.html>, 2004.

## Projektdetails:

Architekt:	Ville Harra
Tragwerksplanung:	Nuvo Engineering
Tragwerk:	Holz
Fassade:	Holz
Dach:	Holz
Innenausbau:	Holz



Abb. 61

## #3.9 Zum Baustoff Kreuzlagenholz (KLH)

*„Kreuzlagenholz (KLH) besteht aus kreuzweise angeordneten Fichtenlagen, die unter einem Pressdruck von 0,6 N/mm<sup>2</sup> zu großformatigen Massivholzelementen verleimt werden. Durch die kreuzweise Anordnung der Längs- und Querlagen wird das Quellen und Schwinden des Holzes in der Plattenebene auf ein unbedeutendes Minimum reduziert und die statische Belastbarkeit sowie die Formstabilität beträchtlich erhöht.*

*Um zerstörenden Schädlings-, Pilz- oder Insektenbefall auszuschließen, wird für die Produktion von KLH-Massivholzplatten gemäß der Europäischen Technischen Zulassung technisch getrocknetes Holz mit einer Holzfeuchte von 12% (± 2%) verwendet. Zur Erreichung [der] hohen Materialkennwerte werden sämtliche Brettlamellen vor Verwendung einer internen Sortierung unterzogen (zusätzlich zur allgemein üblichen Qualitätskontrolle).“<sup>38</sup>*

Geruchsloser, lösungs- und formaldehydfreier Klebstoff wird automatisiert und flächendeckend aufgetragen (0,2 kg/m<sup>2</sup>). Hochwertige Verleimung erfolgt durch den hohen Pressdruck.

Oberflächenqualität umfasst Nichtsicht-, Industriesicht- und Wohnsichtqualität. Die Nichtsichtqualität eignet sich für tragende Bauteile, die nach der Montage beplankt werden und keine besonderen optischen Anforderungen stellen. Industriesichtqualität eignet sich für industrielle Gebäude mit geringen optischen Anforderungen und Wohnsichtqualität ist für den Einsatz als sichtbar bleibende Oberflächen in Wohngebäuden gemeint (die Oberfläche ist gehobelt und geschliffen)



Abb. 62, 63, 64



#04\_Projekt

## #4.1 Allgemeine Daten zum Projekt

Hostel an der kroatischen Küste auf der Insel Pag:

# mehrgeschossiger Bau von 7.500 m<sup>2</sup> mit 150 Zimmern,  
500 Betten, 1 Konferenzraum, 1 Nachtlokal, 1 Pool,  
2 Restaurants und 1 Bar

# Top-Destination

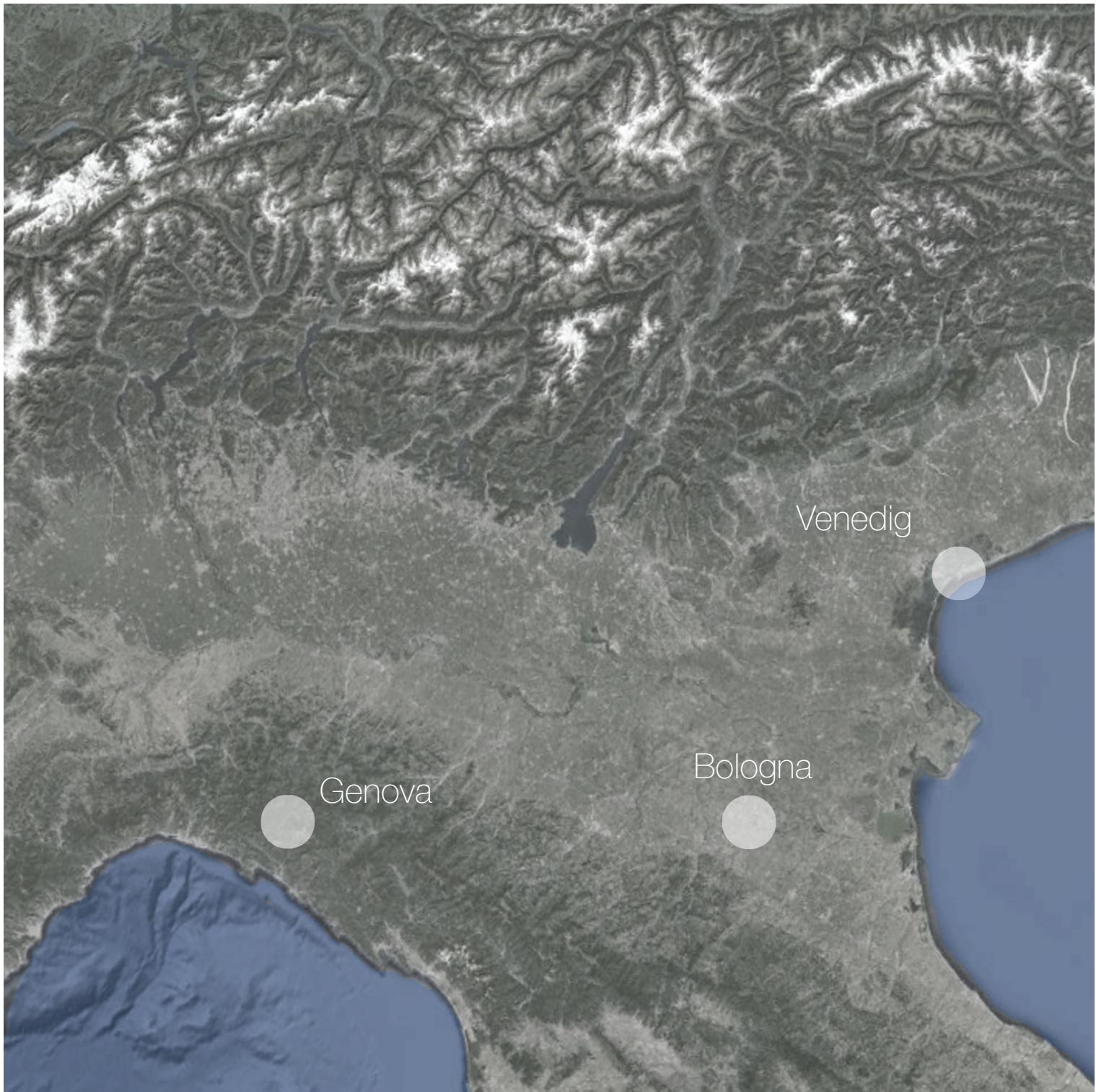
# Mehr als eine Million Übernachtungen pro ca.  
vier Monate dauernde Saison, mit andauernder Party

# Der Strand liegt in der unmittelbaren Nähe von der Stadt Novalja,  
wo sich mehr als 20.000 Gäste in der Hochsaison aufhalten

# Touristen kommen aus 82 Ländern, vorwiegend Jugendliche

# Fahrplanmäßige Fluglinien nach Zadar aus UK  
und anderen EU-Ländern

# VERORTUNG UND LAGE



Genova

Bologna

Venedig



Graz

Ljubljana

Zagreb

Pag – Novalja



Novalja

# Mehr als eine Million Übernachtungen pro ca. vier Monate dauernde Saison, mit andauernder Party

# Der Strand Zrće liegt in der unmittelbaren Nähe von der Stadt Novalja, wo sich mehr als 20.000 Gäste in der Hochsaison aufhalten

An aerial photograph of a coastal region. The land is divided into a grid of agricultural fields. A dark blue body of water is on the right side. A strip of land along the coast is highlighted in a bright red color, indicating a specific beach area.

# Top-Destination

# Beliebtes Reiseziel der Touristen aus der ganzen Welt wegen eines der meistbesuchten und besten Klubs (Papaya, #23 in der Welt)

Strand „Zrće“



An aerial photograph of a rural landscape. A specific plot of land is highlighted with a thick white border and filled with black. This plot is situated at a junction where a road from the top-left meets a road that runs horizontally across the middle. From this horizontal road, another road branches off to the right, and a third road branches off downwards towards the bottom-right. The surrounding area consists of a mix of fields, some with trees, and scattered buildings. The overall tone is grayscale.

Bauplatz  
9.370 m<sup>2</sup>

Gute Verbindung mit  
Hauptverkehrsstraßen





## #4.2 Kroatien: Neue Tendenzen in der EU, Konsequenzen und Potentiale

ProHolz ist die Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft und engagiert sich mit den Marketingmaßnahmen engagiert für eine zukunftsorientierte Steigerung der Wertschätzung und vermehrte Anwendung von Holz.

In Kroatien ist Massivholzbauweise noch immer nicht weit entwickelter Bereich und deswegen hat ProHolz in Kooperation mit der TU Graz und der Forstfakultät Zagreb sowie den Fakultäten für Bauingenieurwissenschaften Zagreb und Rijeka bereits vier Holzbaukurse in Kroatien umgesetzt, zuletzt im Juni 2013. Diese zweitägigen Kurse richten sich an Architekten und Bauingenieure, die sich mit der Hochbauplanung und dem -entwerfen beschäftigen. Im Rahmen der Veranstaltung werden einzelne Holzprodukte und ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt. Einen Schwerpunkt bildet die Massivbauweise mit Brettsperrholz.

Mit dem Eintritt Kroatiens in die EU eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Massivholzbauweise, zur Aufklärung der Baubranche zur Massivholzbauweise und zum Holzbau im Allgemeinen sowie zur Anlockung von ausländischen Anlegern und Förderung des Holzbaus.

Trockene Futtermauer ist die meistverwendete Bauweise in der Baugeschichte Kroatiens, da das Gestein vorwiegend als Baumaterial zugänglich war. Diese Mauer war in meisten Fällen ohne Mörtel erbaut und besitzt logischerweise eine große Speichermasse dank ihren Stärken von mindestens 40 cm bis zu 80 cm, was in den Sommermonaten sehr vorteilhaft war, insofern als die Häuser kühl blieben. Jedoch stellte das ein Problem im Winter dar aufgrund der mangelnden oder gar nicht vorhandenen Dämmung jeglicher Art.

Karstgebiete auf den zahlreichen Inseln und unterentwickelter (Schiff-)Transport haben diesen Bau aus Stein bedingt und geprägt, was am Beispiel von Goli Otok oder auch Pags am besten bemerkbar ist: Unzugänglich war damals jedes andere Baumaterial auf den Inseln, während die Situation in den Binnenwassergebieten ein bisschen besser war, da hier die Straßen gebaut wurden und das Baumaterial schon zugeliefert werden konnte.

Die Bausaison in Kroatien ist kurz und arbeitsintensiv und fällt zeitlich mit der Urlaubssaison zusammen; kurz und arbeitsintensiv ist sie aufgrund der hohen Temperaturen, die fast das ganze Jahr lang herrschen und somit längere Arbeitszeiten im Laufe des Tages verhindern. Bauen in der Ziegelmassivbauweise ist zeitintensiv und insbesondere ungünstig, wenn die Bausaison kurz ist, weil hier Arbeiten wie Schalen, Betonieren und andere Rohbauarbeiten einen großen Zeitaufwand haben. Massivholzbauweise eignete sich als eine gute Lösung, insoweit sie Zeitersparnis von bis zu 90% in der Rohbauphase ermöglicht.

## #4.4 Schwerpunkt: Energieeffizienz

Um das Gebäude kühl in den heißen Sommermonaten zu halten, werden vorwiegend nichtmechanische Maßnahmen ergriffen: natürliche Lüftung, bauliche Maßnahmen und Sonnenschutz. Die Tatsache ist nämlich, dass im mitteleuropäischen Raum weniger Dämmung nötig ist und eine zweifache Wärmeschutzverglasung ausreicht, um das Gebäude behaglich auch in den Sommermonaten zu halten.

In Mitteleuropa gibt es die Möglichkeit, die Räume mit natürlicher Lüftung kühl zu halten. Diese ist von Lüftungsöffnungen und Druckdifferenzen abhängig und wird am günstigsten in der Nacht mittels Stoßlüftung erreicht. Temperaturunterschiede und Windanfall beeinflussen die Druckdifferenzen.

Die zweite Maßnahme ist die Regulierung des Sonneneinfalls ins Gebäude. Große Überdachungen bei Balkonen und Loggien sorgen dafür, dass direkte Sonnenstrahlung den ganzen Tag niedrig ist und somit die Kühllast, jedoch sind die Besonnung und Belichtung der Räume ausreichend, was mit Zimmertypologie gezeigt wird, wo Sonneneinfall in all der Zimmertypen in allen Himmelsrichtungen untersucht wurde. Auf diese Weise werden Tageslichtnutzung und Überhitzungsschutz optimiert, da es sich in den Innenräumen konstant gleichbleibendes Licht gibt.

Sonnenschutzverglasung mit geringem Gesamtenergiedurchlassgrad (G-Wert) ist auch Teil der Sonnenschutzmaßnahmen. G-Wert gibt den Anteil der durch das Glas in den Raum eindringenden Sonnenenergie an und je niedriger der ist, desto weniger Sonnenenergie gelangt in den Raum.

Dachbegrünung senkt die Belastung durch Hitze in Obergeschossen erheblich und optimiert energetisch das Gebäude durch Verdunstung, indem sie die Oberflächentemperaturen niedrig hält.

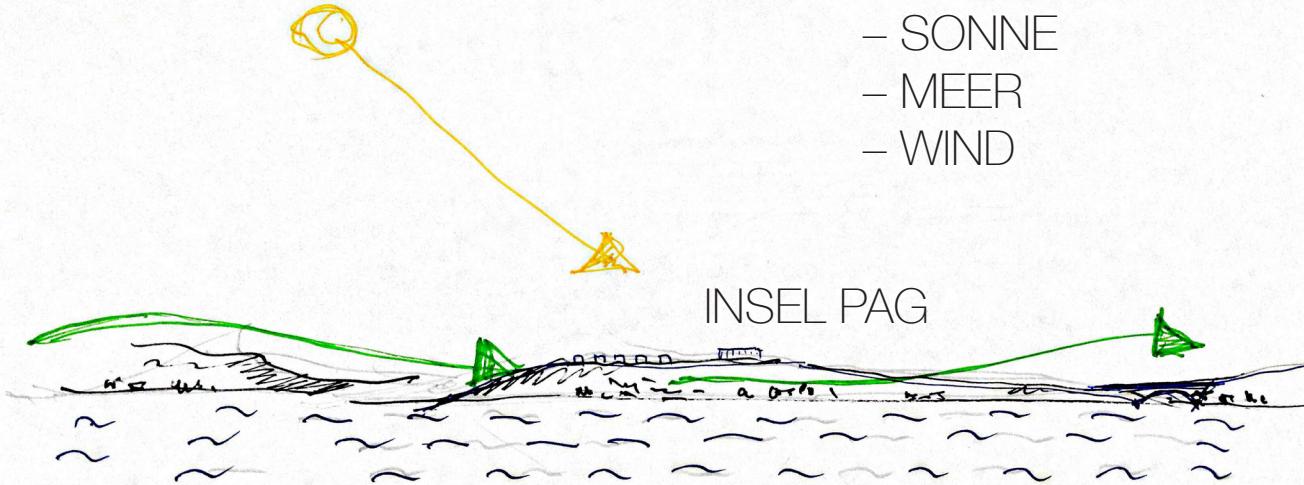
Spezieller weißer Fassadenanstrich hält das Gebäude hauptsächlich durch Reflexion kühl. Es kann bis zu 20% der Energie abgelenkt werden.

Schließlich wird ein Anteil der Energievorräte durch Solarkollektoren und Photovoltaik-Paneelen gedeckt, sodass der ganze Energiebedarf niedriger ist.

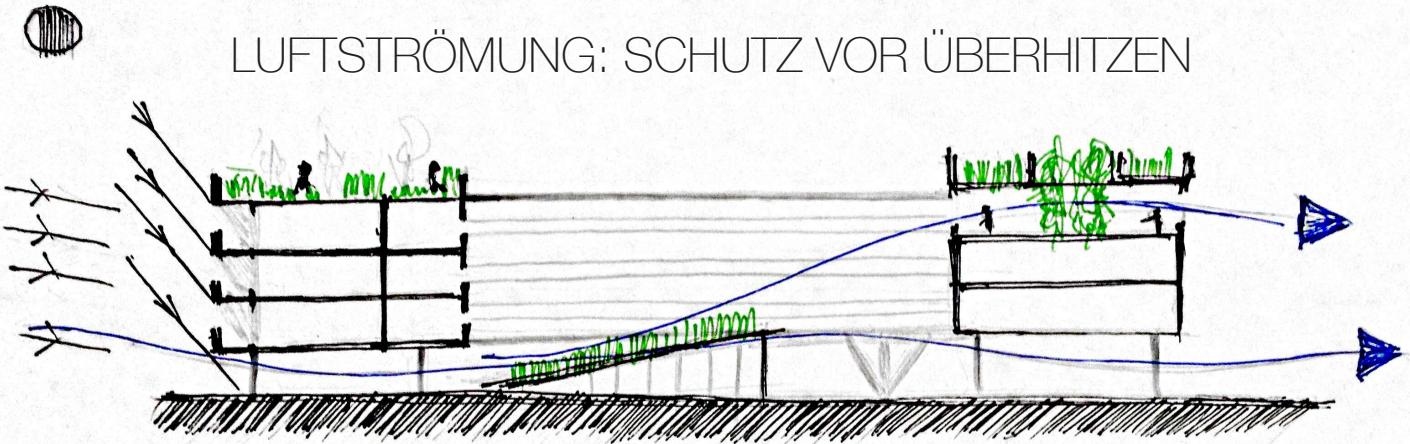
# Vorentwurf

ÜBERLEGUNGEN:

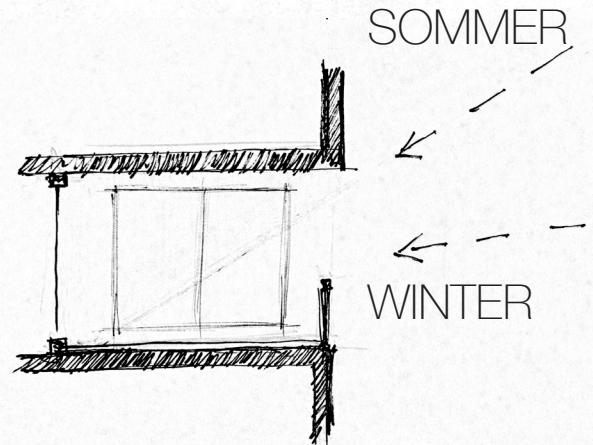
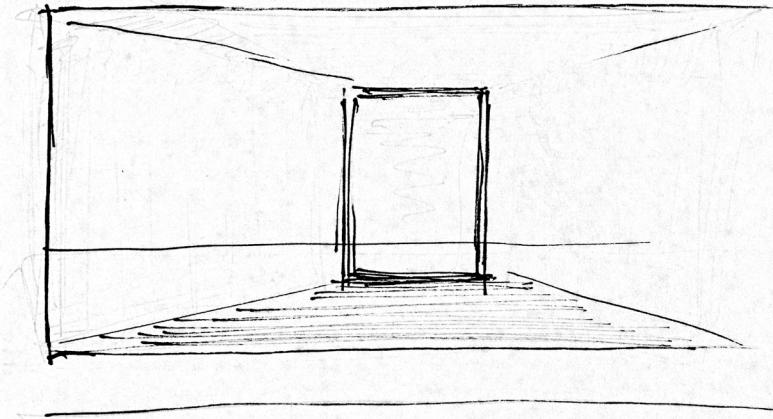
- SONNE
- MEER
- WIND



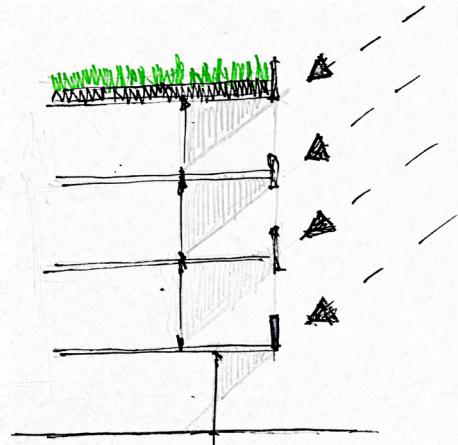
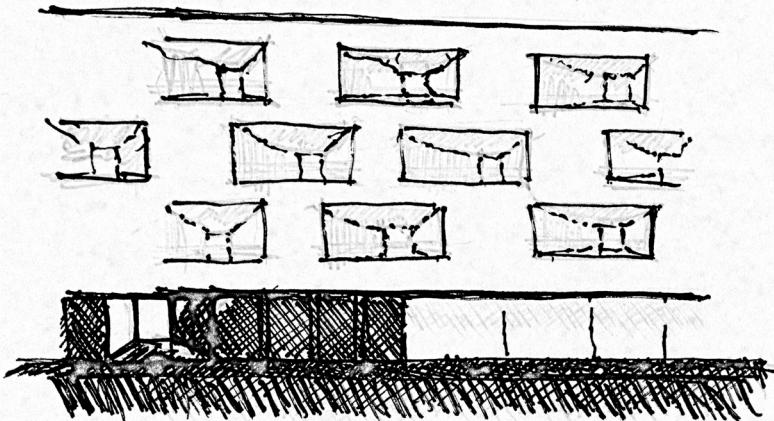
LUFSTRÖMUNG: SCHUTZ VOR ÜBERHITZEN

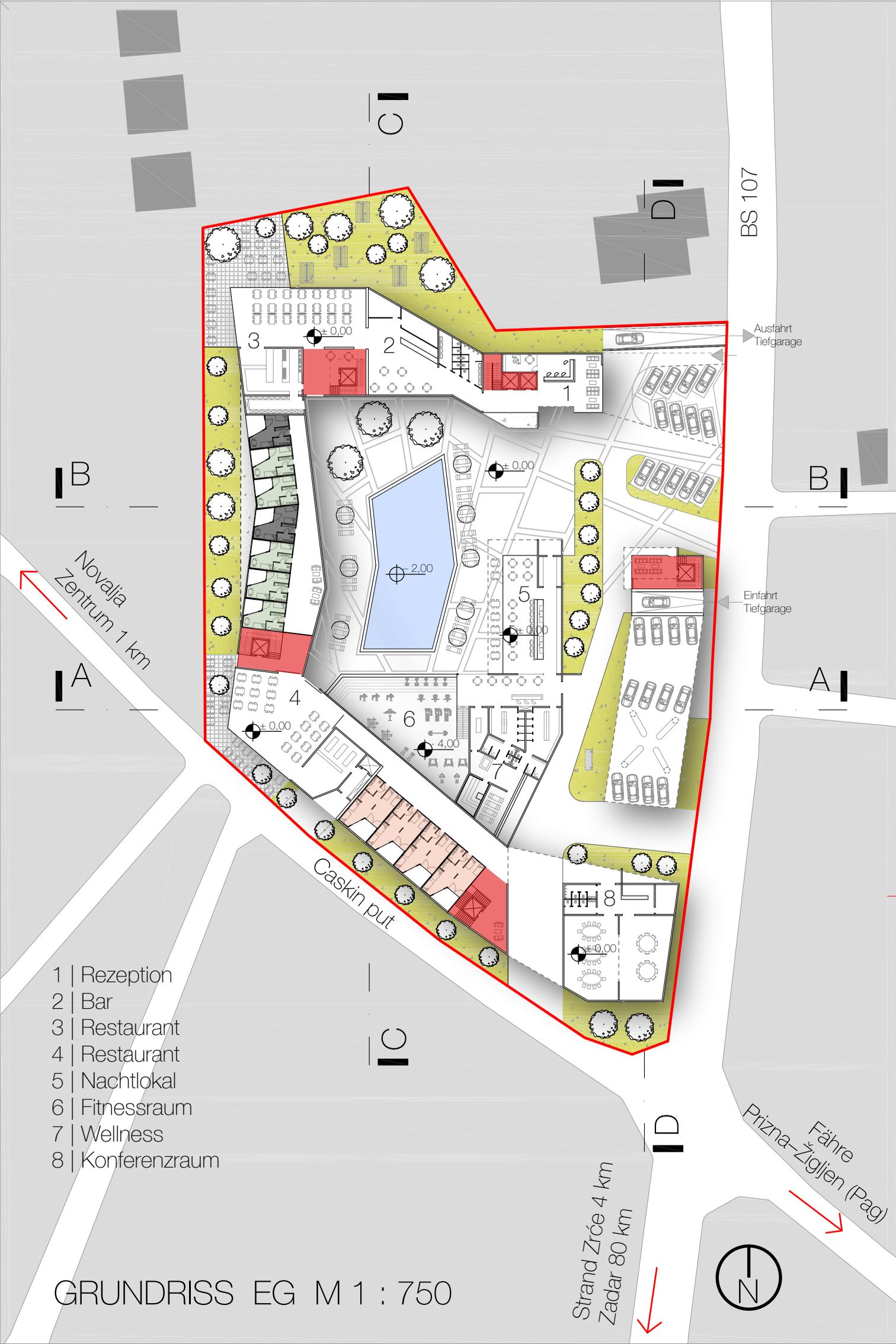


## SONNENLICHTEINFALL UND BESCHATTUNG



## NATÜRLICHE BESCHATTUNG + GRÜNFLÄCHEN: BEHAGLICHES RAUMKLIMA OHNE KLIMAAANLAGEN





- 1 | Rezeption
- 2 | Bar
- 3 | Restaurant
- 4 | Restaurant
- 5 | Nachtlokal
- 6 | Fitnessraum
- 7 | Wellness
- 8 | Konferenzraum

GRUNDRISS EG M 1 : 750

Strand Zrće 4 km  
Zadar 80 km

BS 107

Fähre Prizna-Žigljen (Pag)



Novalja Zentrum 1 km

Caskin put

Ausfahrt Tiefgarage

Einfahrt Tiefgarage



3

2

1

5

4

6

8

2.00

4.00

±0.00

±0.00

±0.00

±0.00



3

2

1

5

4

6

8

2.00

4.00

±0.00

±0.00

±0.00

±0.00

Ausfahrt Tiefgarage

Einfahrt Tiefgarage

Novalja Zentrum 1 km

Caskin put

BS 107

Fähre Prizna-Žigljen (Pag)

Strand Zrće 4 km  
Zadar 80 km

GRUNDRISS EG M 1 : 750



GRUNDRISS 1. OG M 1 : 750





GRUNDRISS 2. OG M 1 : 750



GRUNDRISS 3. OG M 1 : 750

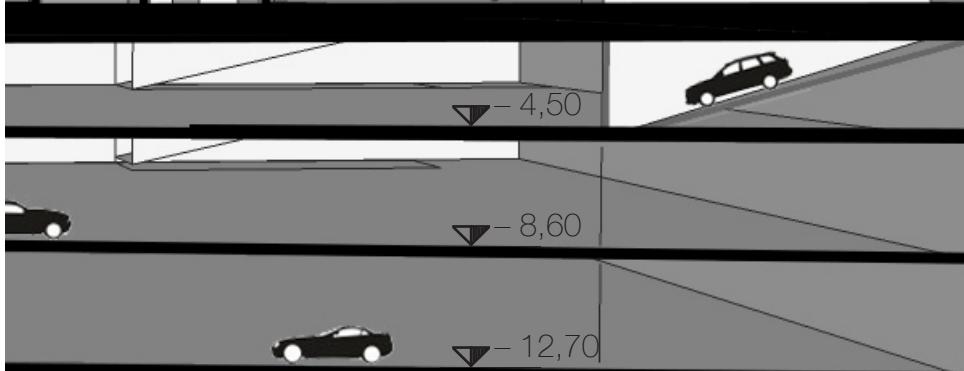
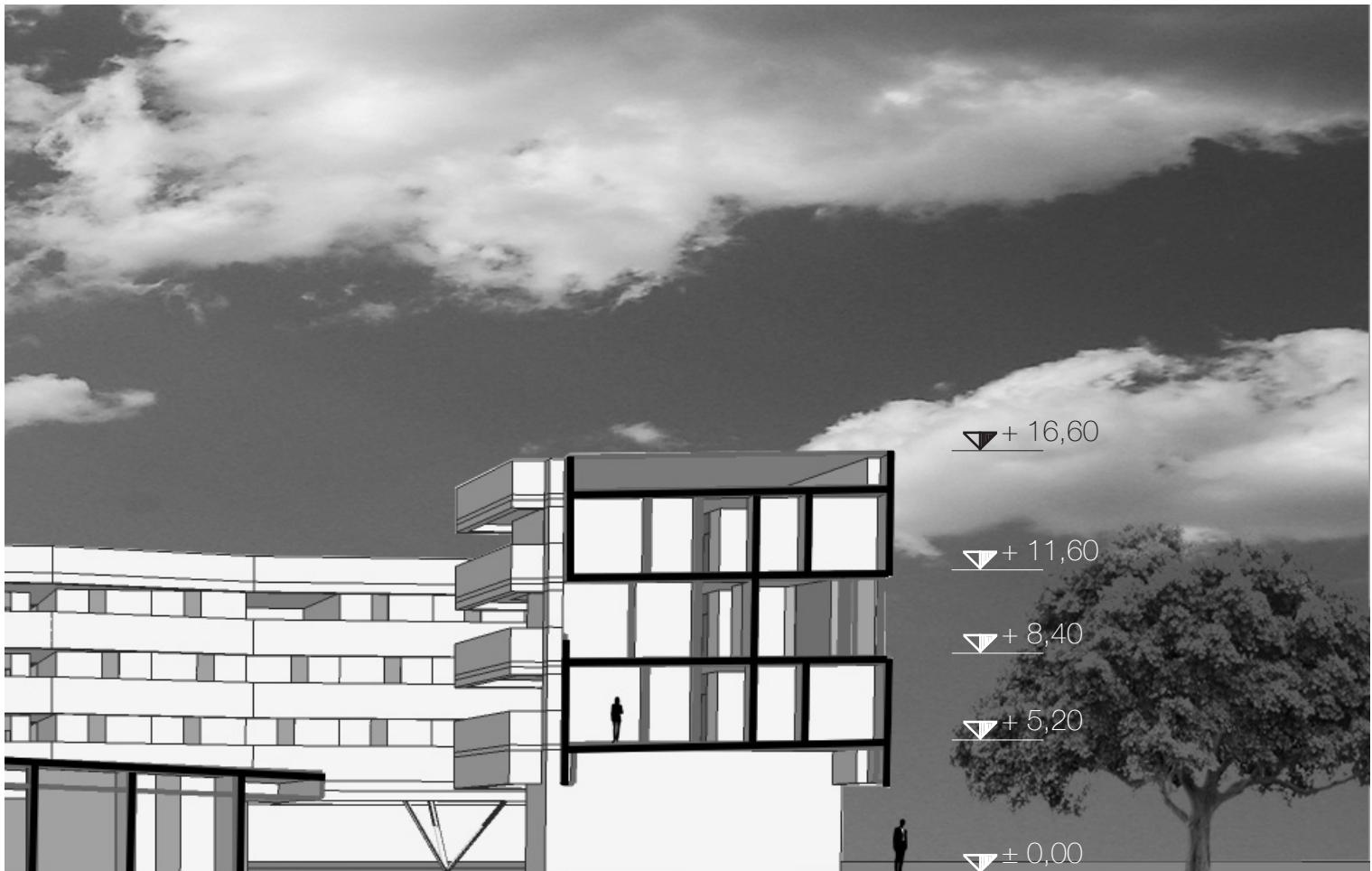






Schnitt A-A





Schnitt B-B







▼ + 16,60

▼ + 11,60

▼ + 8,40

▼ + 5,20

▼ ± 0,00



▽ + 16,60

▽ + 11,60

▽ + 8,40

▽ + 5,20

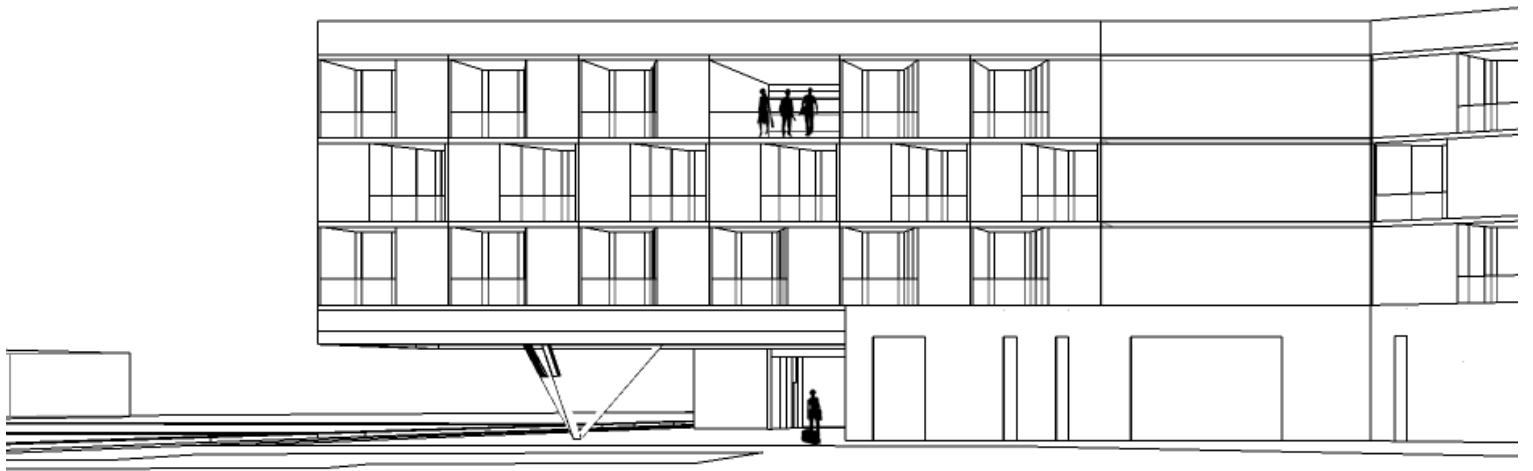
▽ ± 0,00

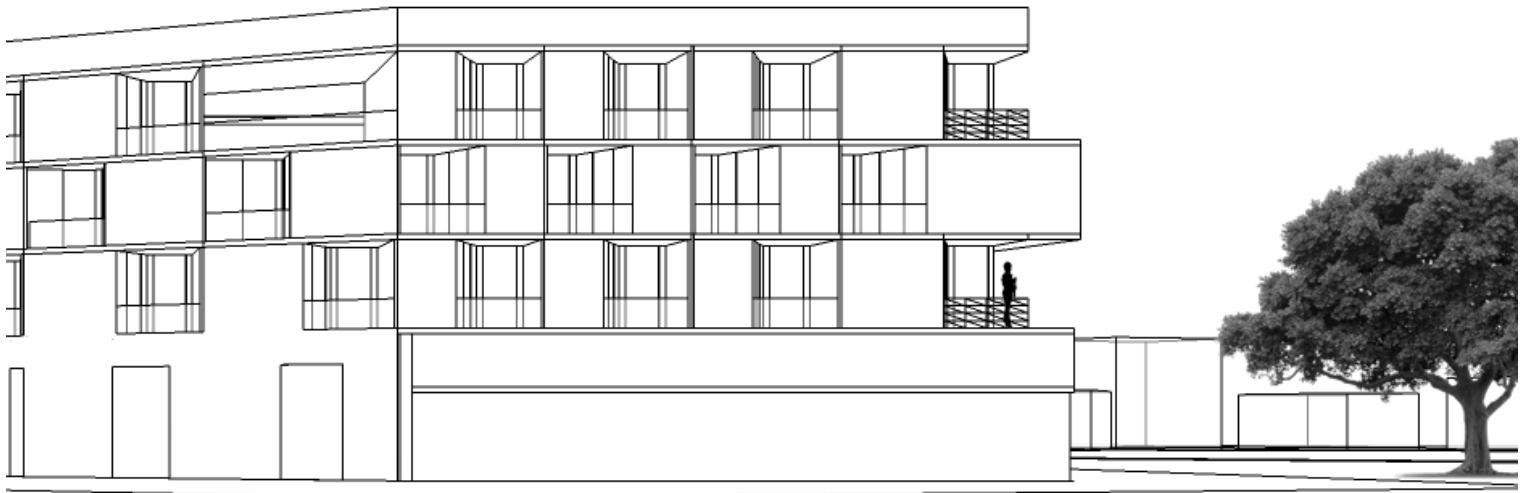
▽ - 4,50

▽ - 8,60

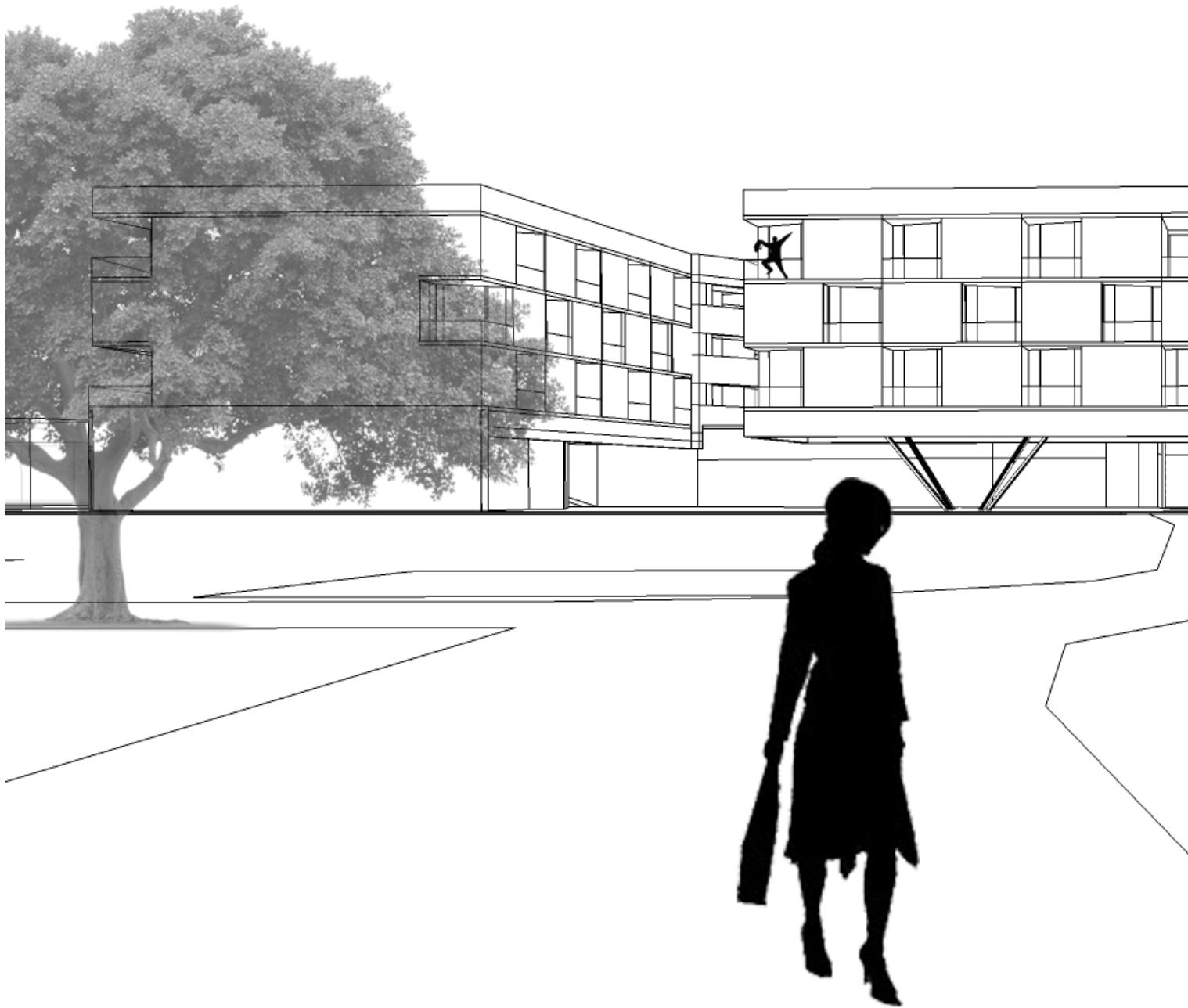
▽ - 12,70

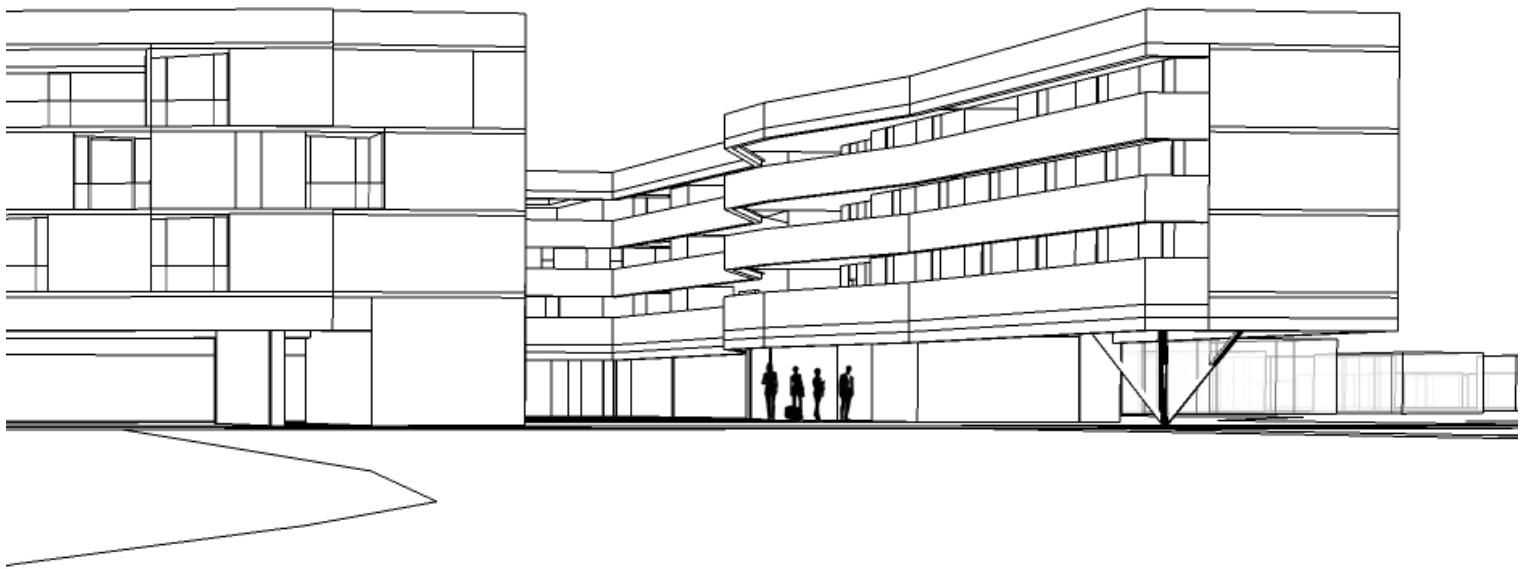
Schnitt D-D





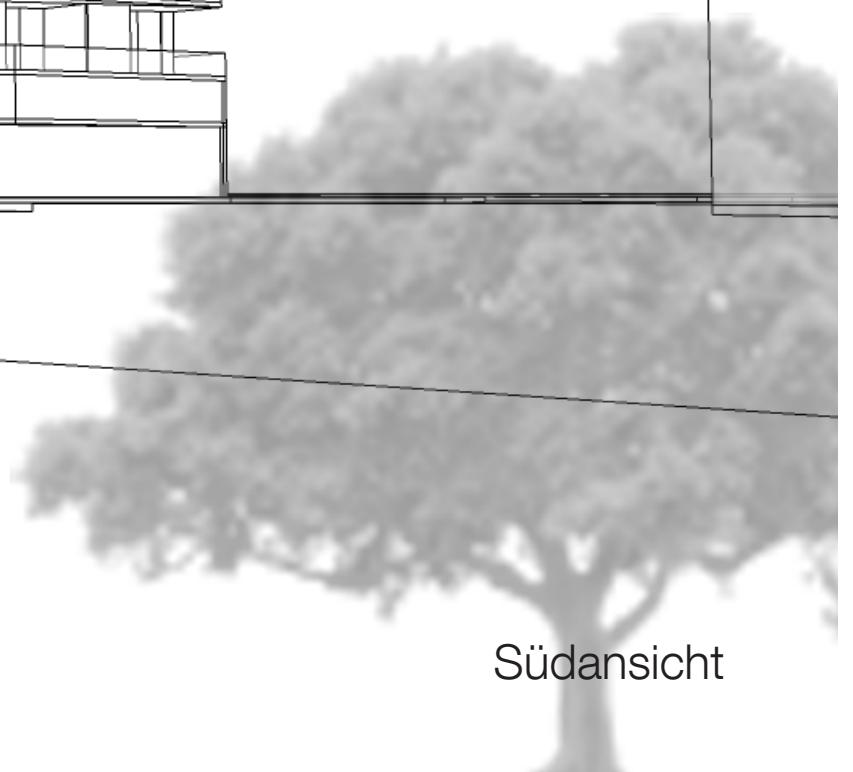
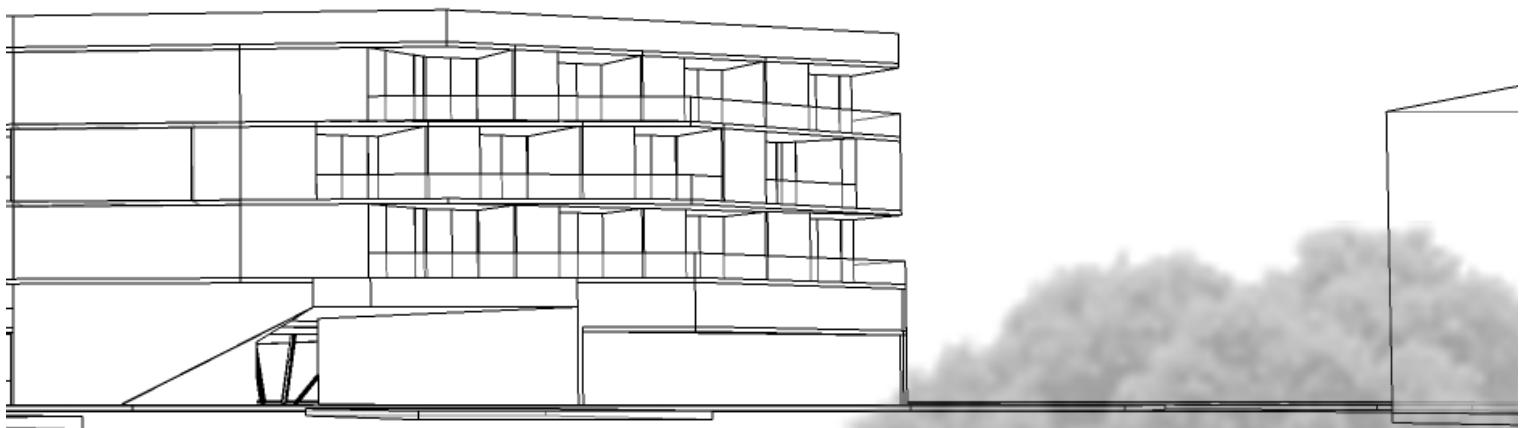
Nordansicht





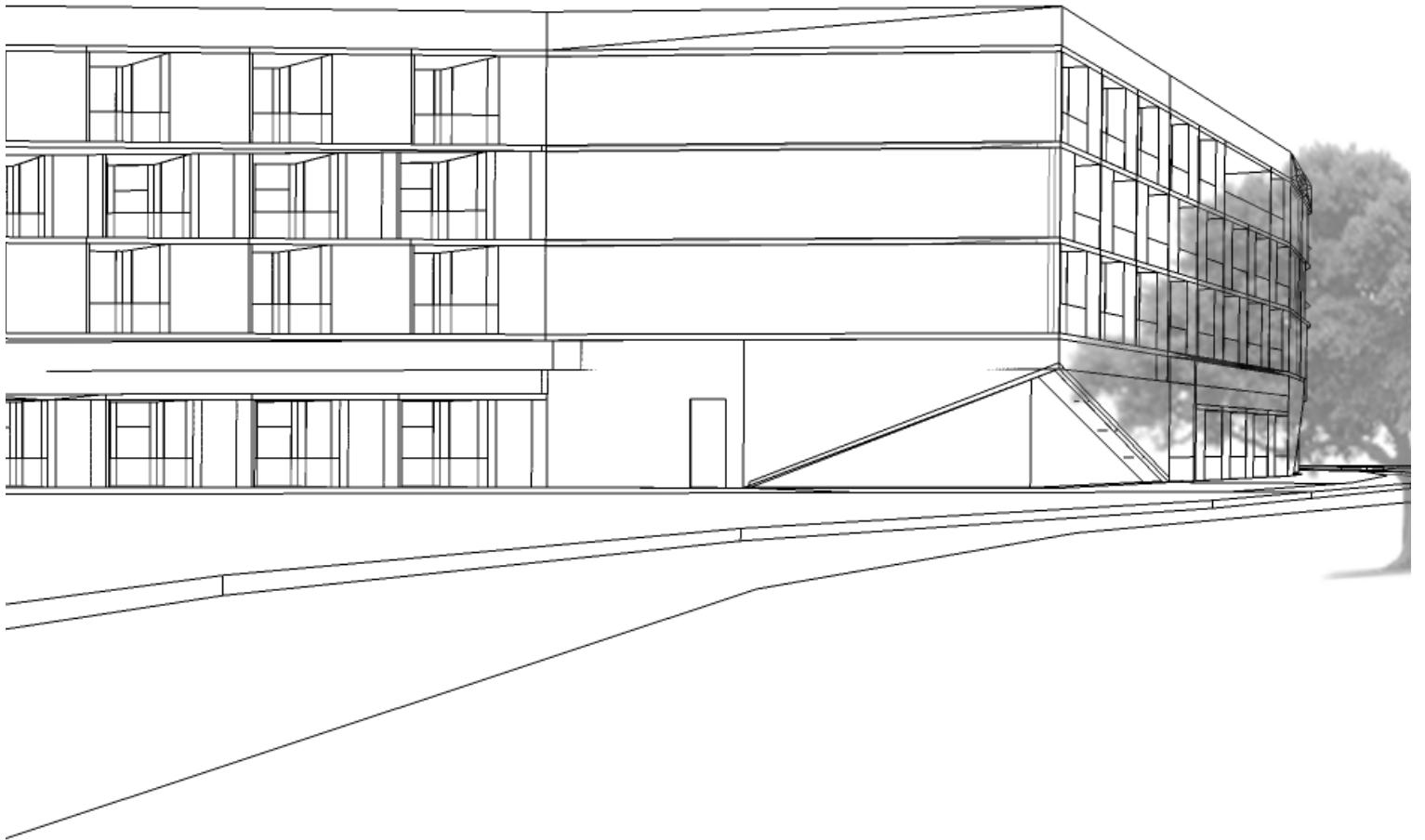
Ostansicht



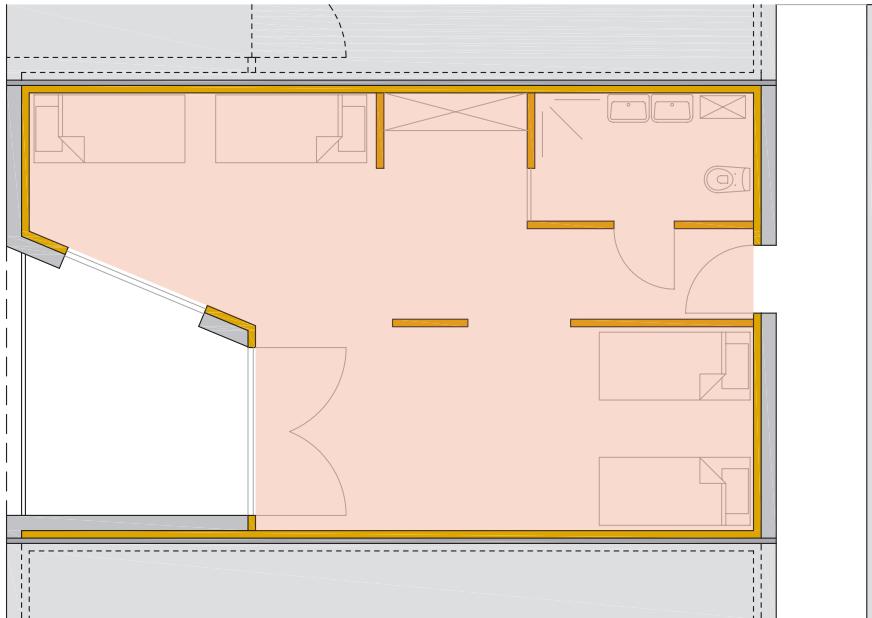


Südansicht





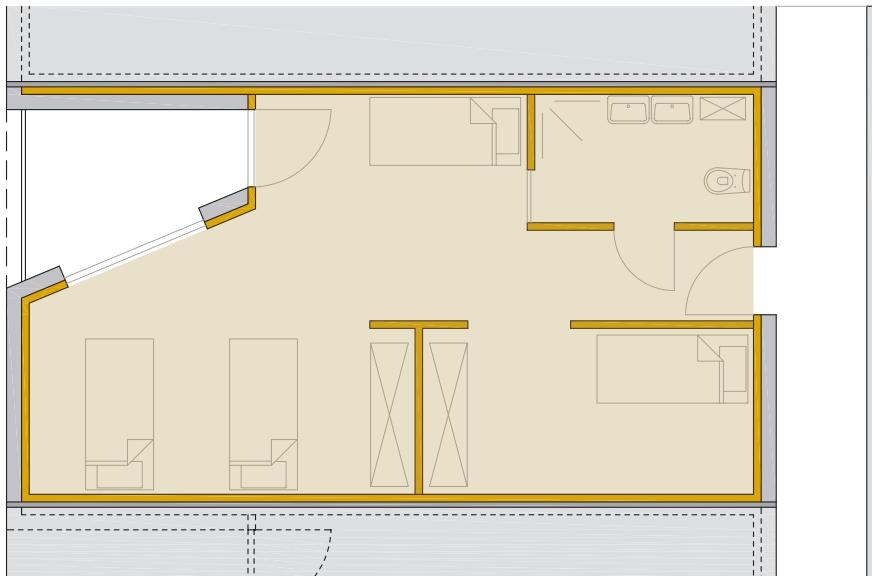
Westansicht



### Typ 1

Vierbettzimmer

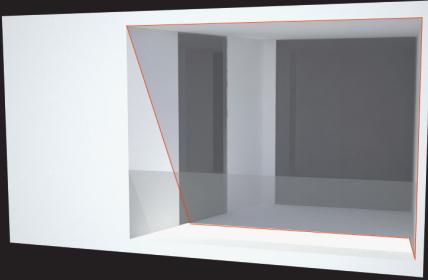
Fläche: 45,65 m<sup>2</sup>  
Loggia: 8,40 m<sup>2</sup>



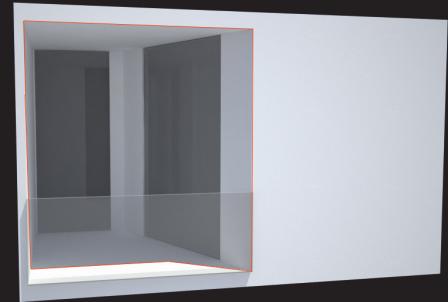
### Typ 2

Vierbettzimmer

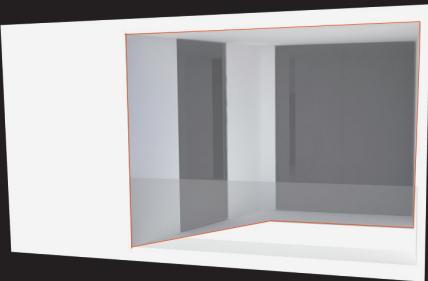
Fläche: 44,45 m<sup>2</sup>  
Loggia: 4,84 m<sup>2</sup>



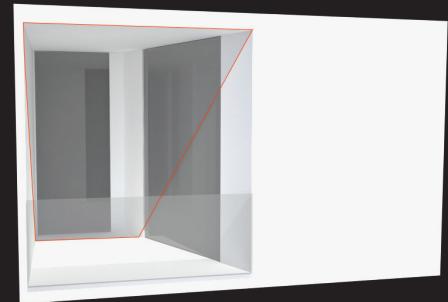
Mitte Juli  
13.00 Uhr



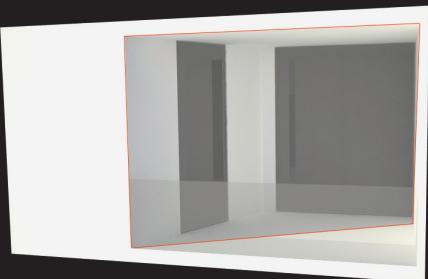
### Belichtung und Schattenbildung



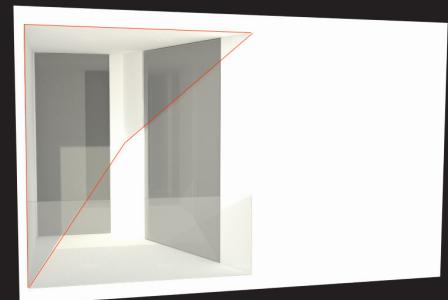
Mitte Juli  
15.00 Uhr

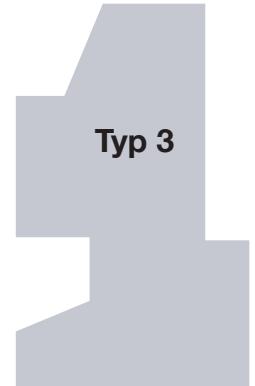
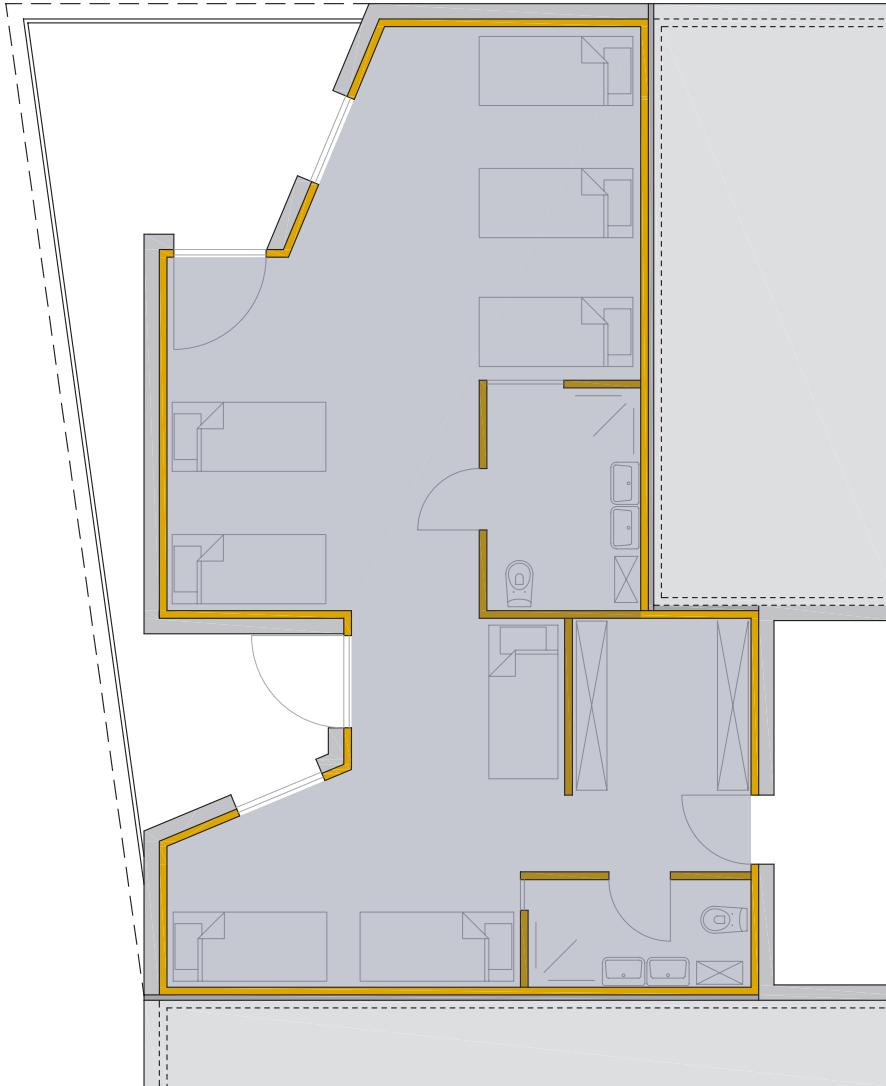


### Typ 1 links Typ 2 rechts



Mitte Juli  
17.00 Uhr





**Typ 3**

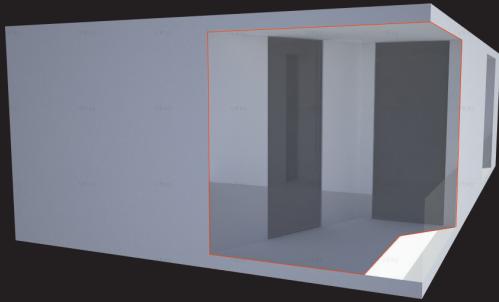
Neunbettzimmer

Fläche: 56,28 m<sup>2</sup>

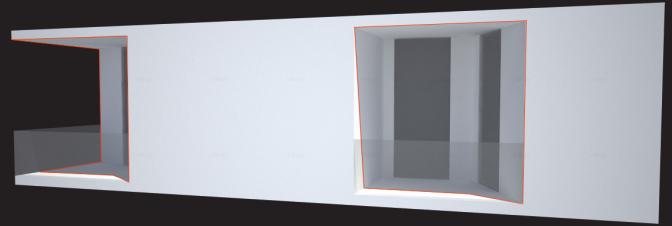
Balkon: 14,05 m<sup>2</sup>

Loggia: 4,84 m<sup>2</sup>

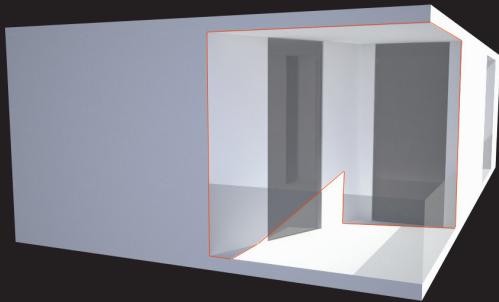




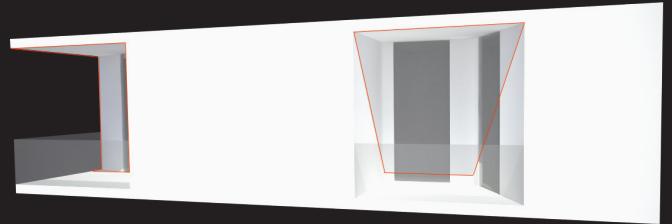
Mitte Juli  
13.00 Uhr



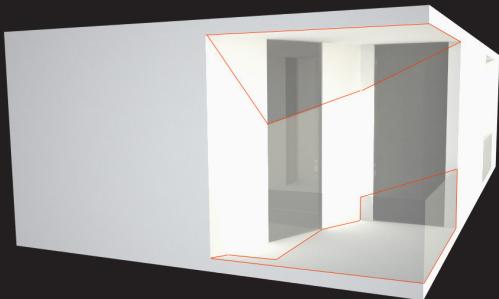
### **Belichtung und Schattenbildung**



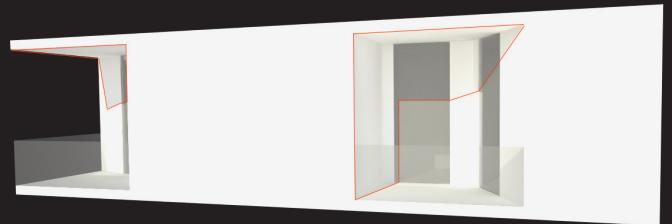
Mitte Juli  
15.00 Uhr

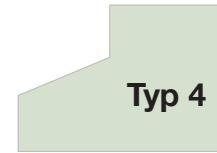
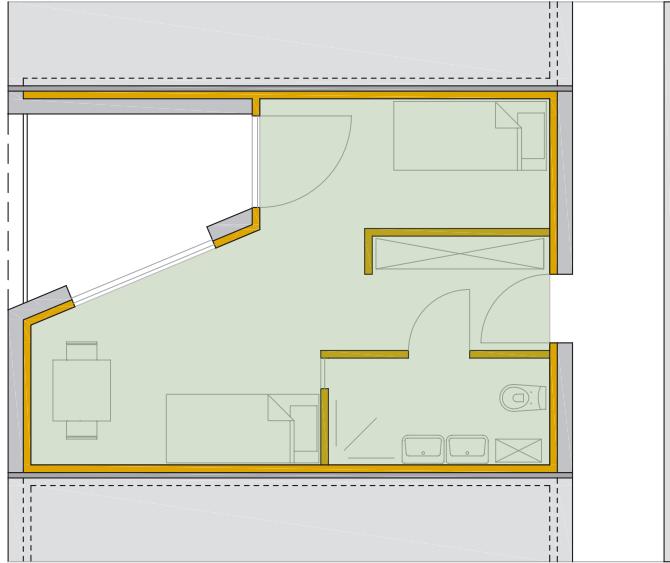


### **Südseite links Westseite rechts**



Mitte Juli  
17.00 Uhr



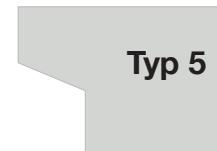
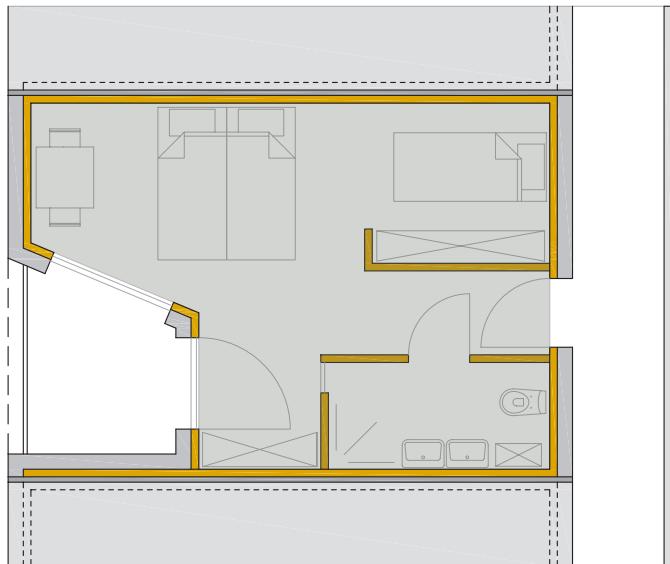


**Typ 4**

Zweibettzimmer

Fläche: 25,61 m<sup>2</sup>

Loggia: 5,56 m<sup>2</sup>

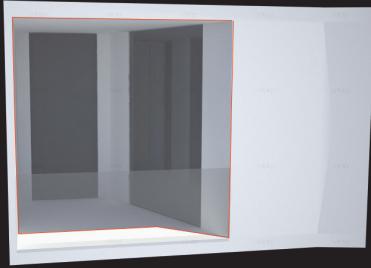


**Typ 5**

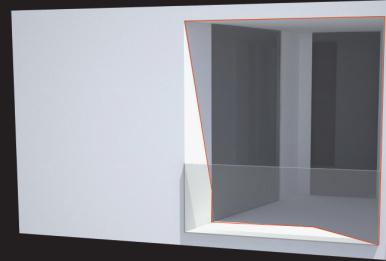
Dreibettzimmer

Fläche: 27,12 m<sup>2</sup>

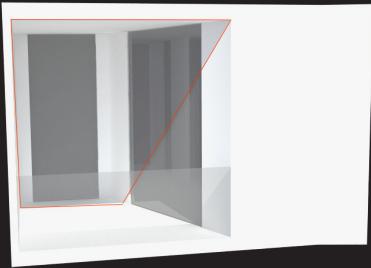
Loggia: 4,31 m<sup>2</sup>



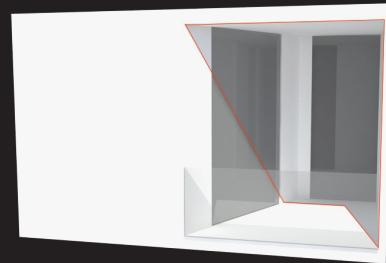
Mitte Juli  
13.00 Uhr



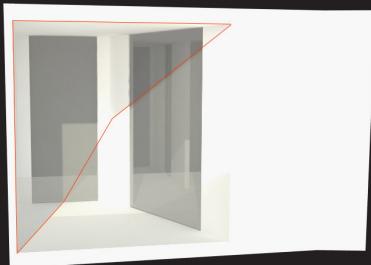
### Belichtung und Schattenbildung



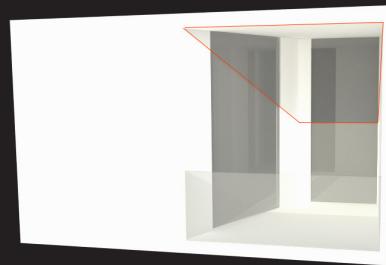
Mitte Juli  
15.00 Uhr

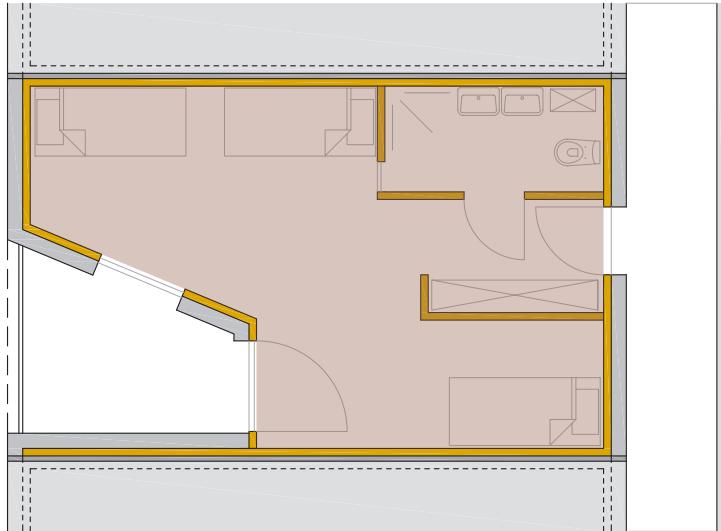


### Typ 4 links Typ 5 rechts



Mitte Juli  
17.00 Uhr



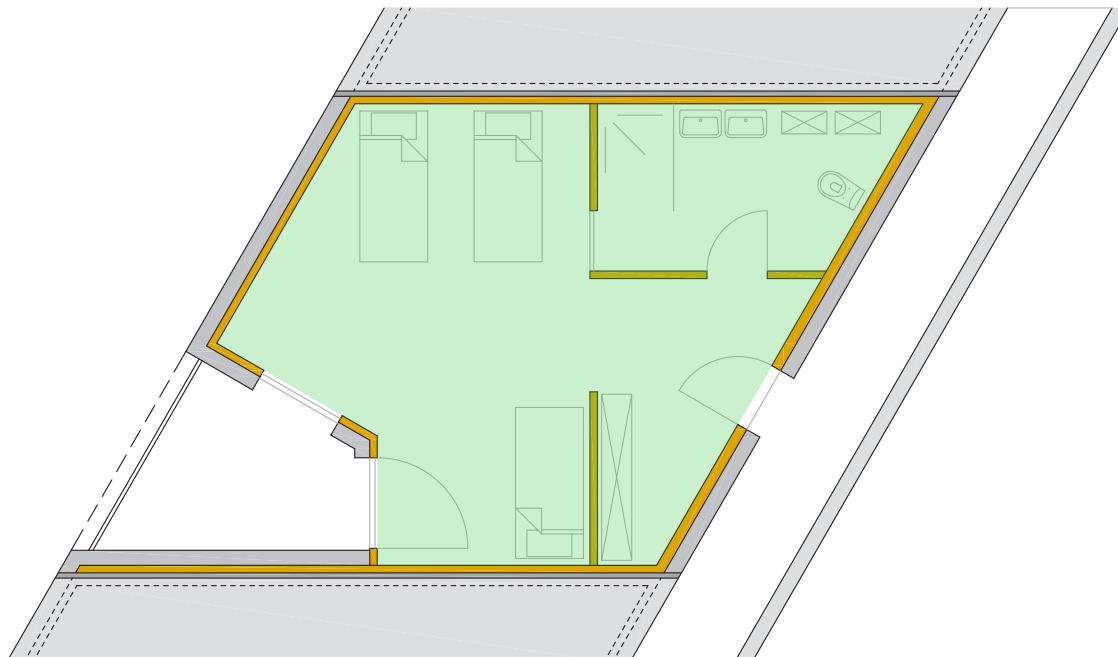


**Typ 6**

Dreibettzimmer

Fläche: 29,45 m<sup>2</sup>

Loggia: 5,32 m<sup>2</sup>

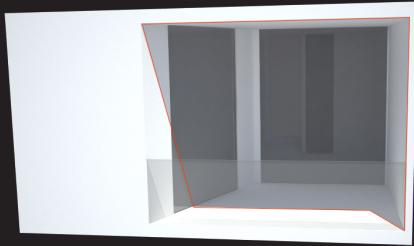


**Typ 7**

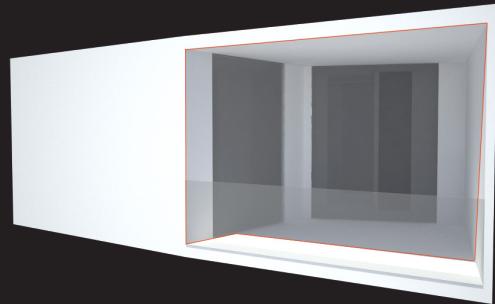
Dreibettzimmer

Fläche: 38,57 m<sup>2</sup>

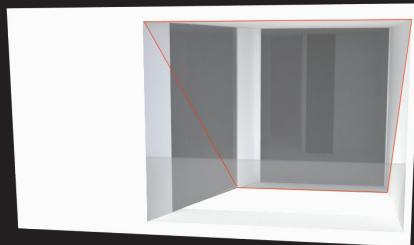
Loggia: 5,71 m<sup>2</sup>



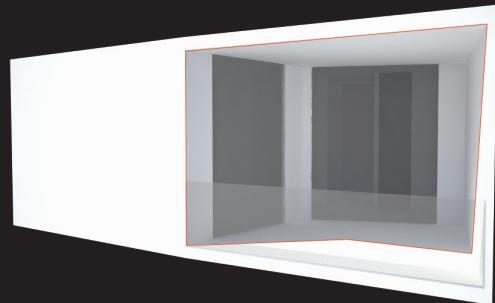
Mitte Juli  
13.00 Uhr



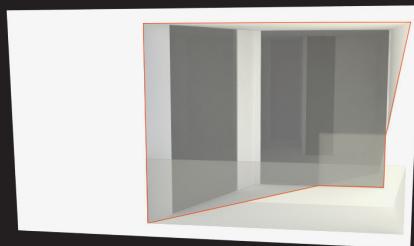
### **Belichtung und Schattenbildung**



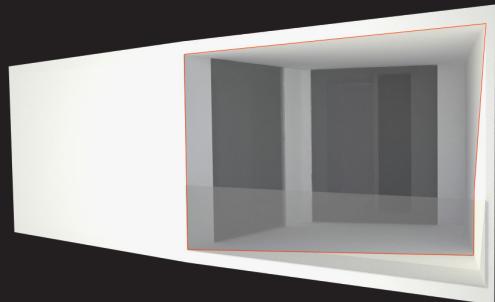
Mitte Juli  
15.00 Uhr

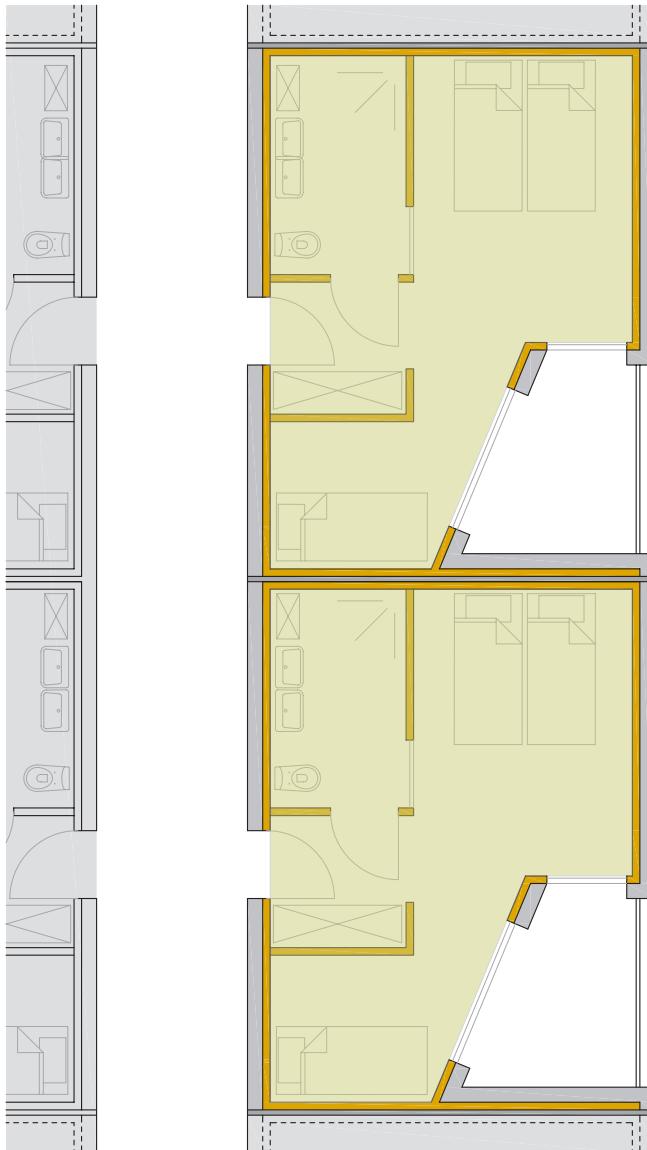


### **Typ 6 links Typ 7 rechts**



Mitte Juli  
17.00 Uhr





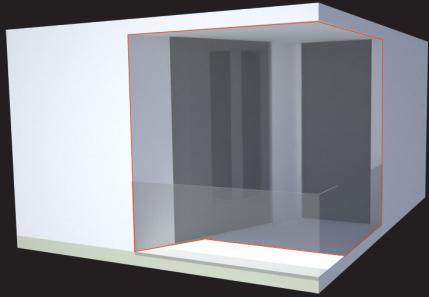
## Typ 8

Dreibettzimmer

Fläche: 26,51 m<sup>2</sup>

Loggia: 4,88 m<sup>2</sup>

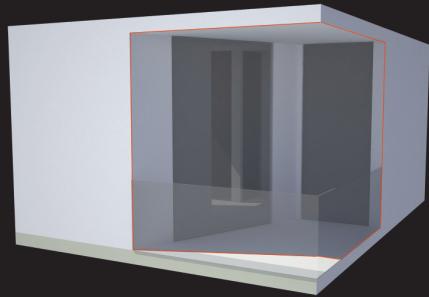




Mitte Juli

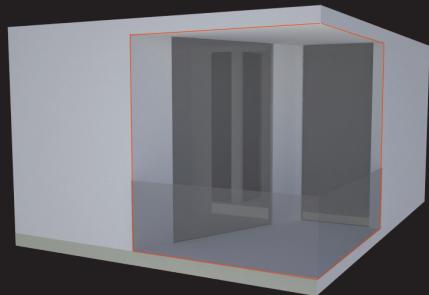
13.00 Uhr

### **Belichtung und Schattenbildung**



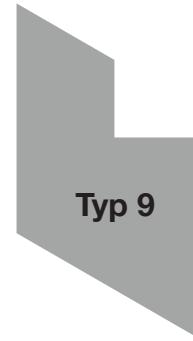
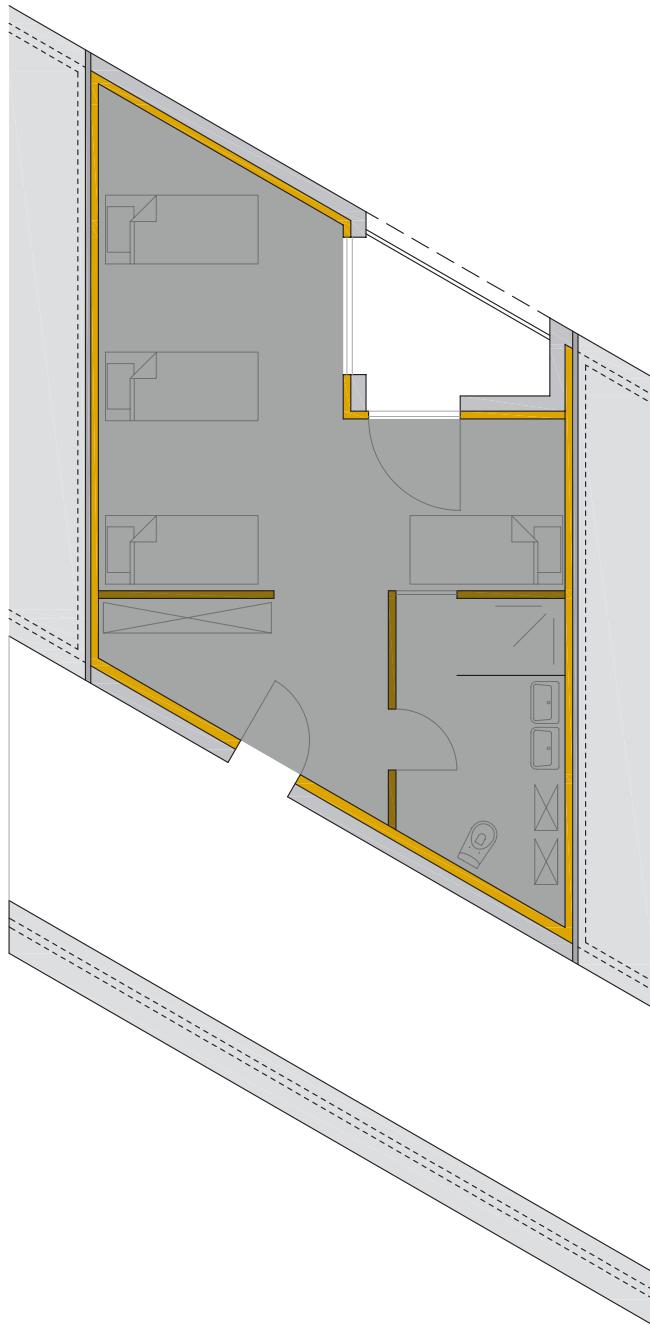
Mitte Juli

15.00 Uhr



Mitte Juli

17.00 Uhr

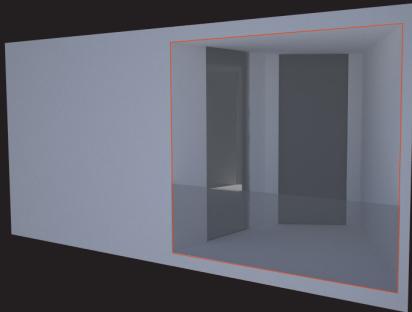


**Typ 9**

Vierbettzimmer

Fläche: 41,08 m<sup>2</sup>  
Loggia: 3,71 m<sup>2</sup>

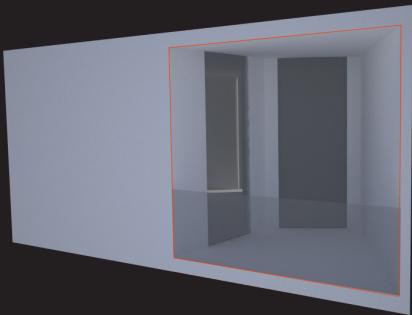




Mitte Juli

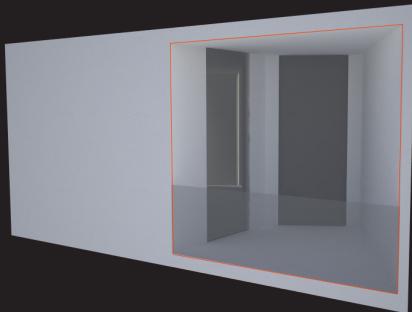
13.00 Uhr

### **Belichtung und Schattenbildung**



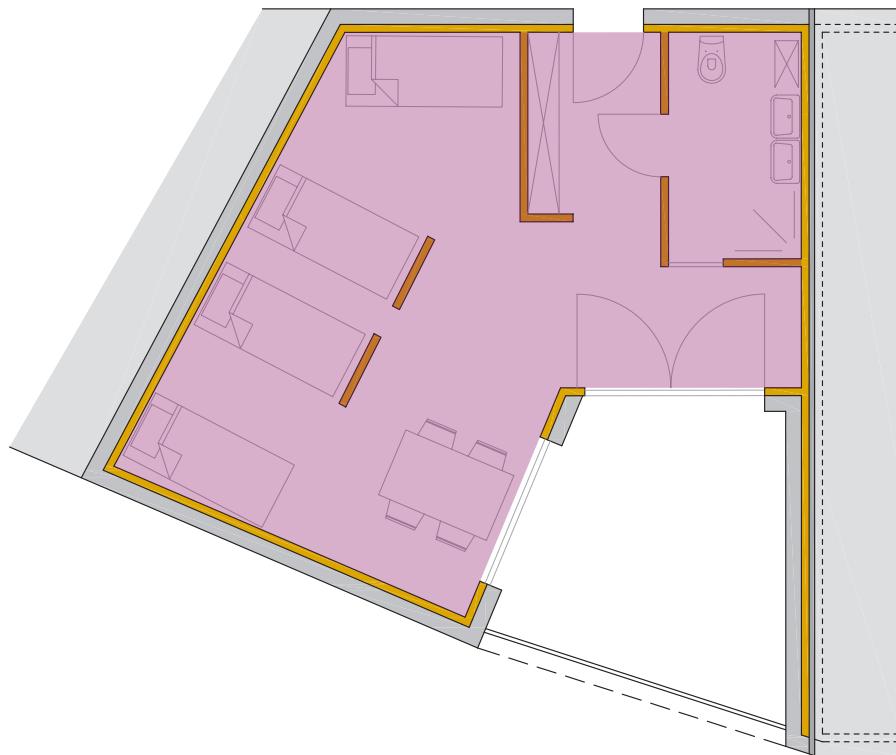
Mitte Juli

15.00 Uhr



Mitte Juli

17.00 Uhr

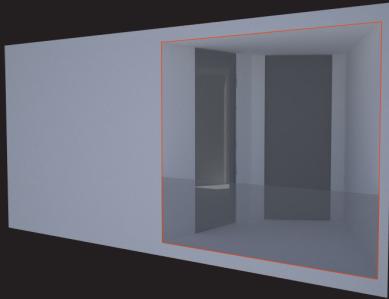


**Typ 10**

Vierbettzimmer

Fläche: 42,45m<sup>2</sup>  
Loggia: 11,93 m<sup>2</sup>

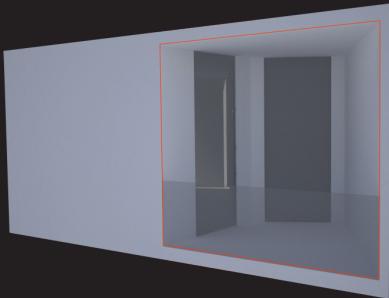




Mitte Juli

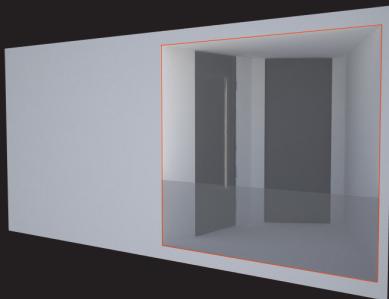
13.00 Uhr

### **Belichtung und Schattenbildung**



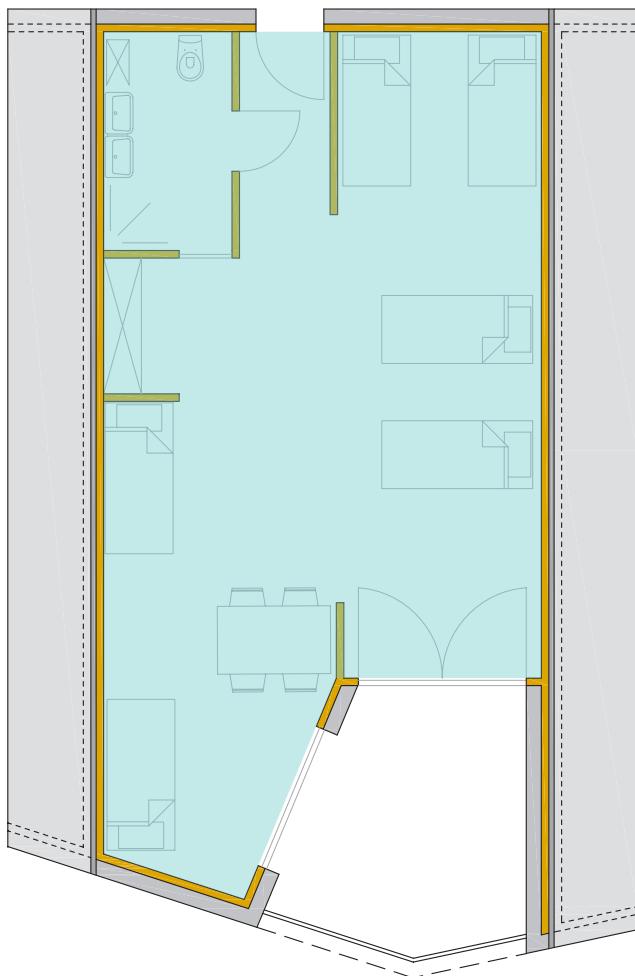
Mitte Juli

15.00 Uhr



Mitte Juli

17.00 Uhr



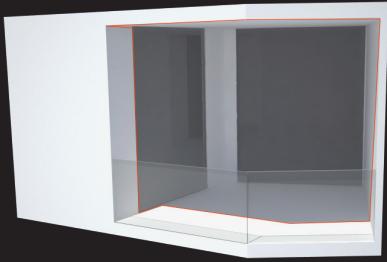
**Typ 11**

Vierbettzimmer

Fläche: 42,45m<sup>2</sup>

Loggia: 11,93 m<sup>2</sup>

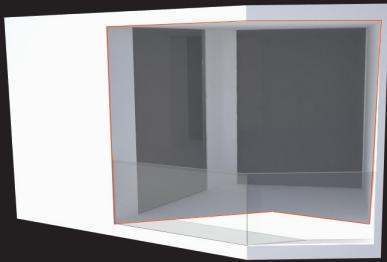




Mitte Juli

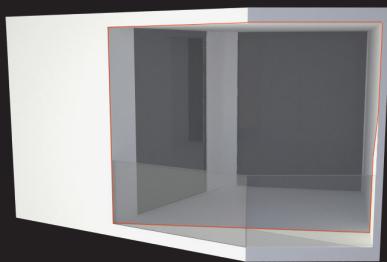
13.00 Uhr

### **Belichtung und Schattenbildung**



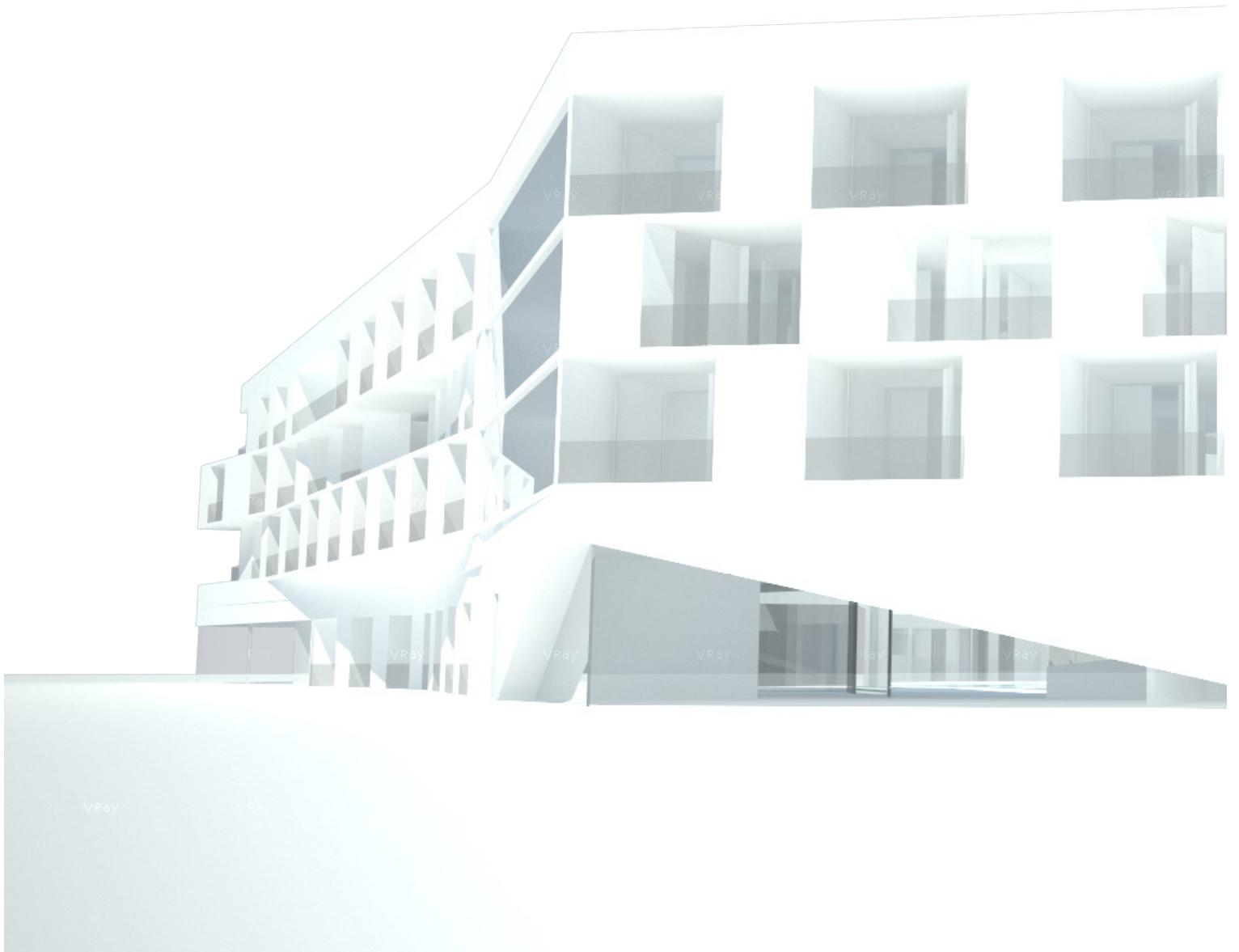
Mitte Juli

15.00 Uhr

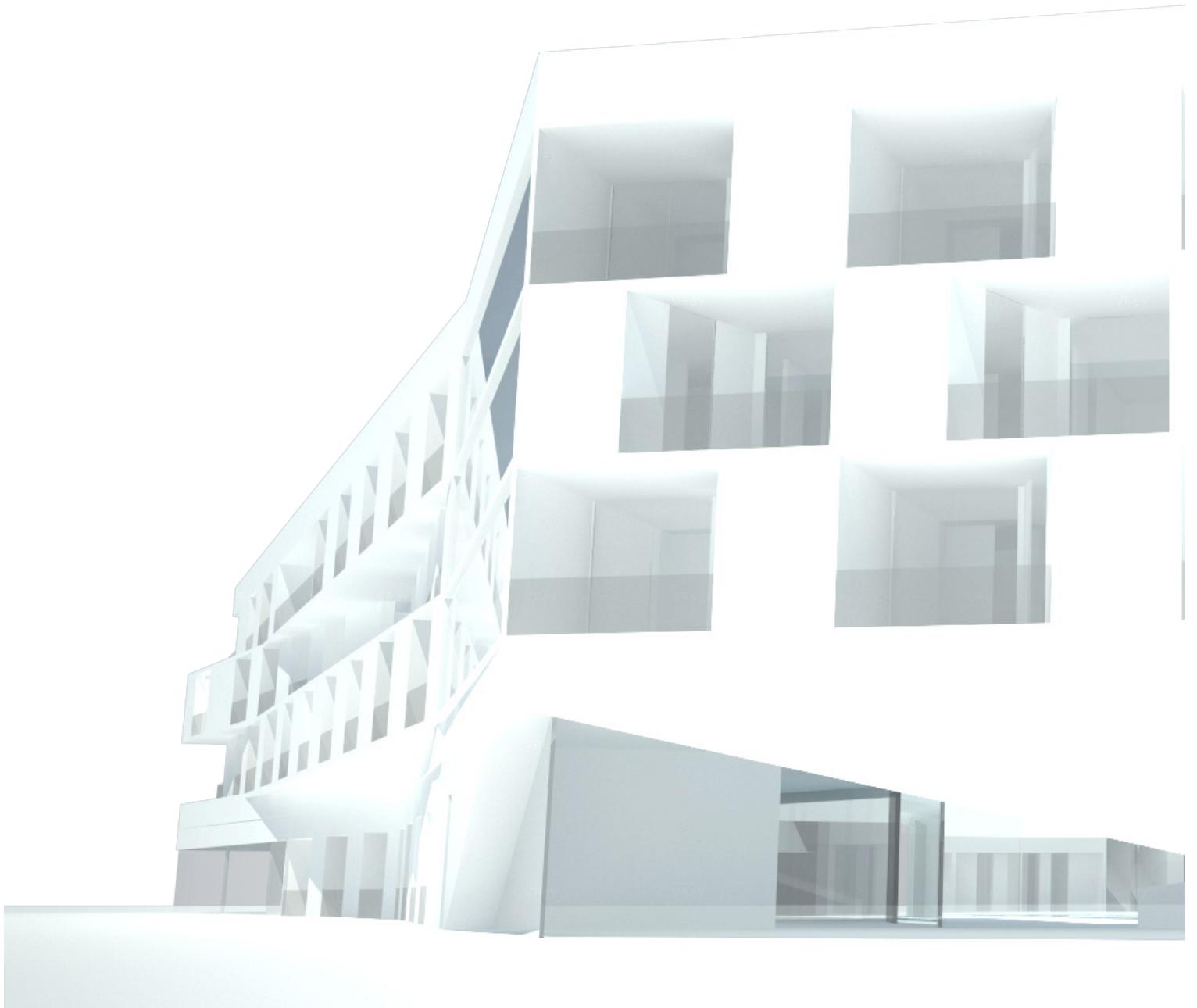


Mitte Juli

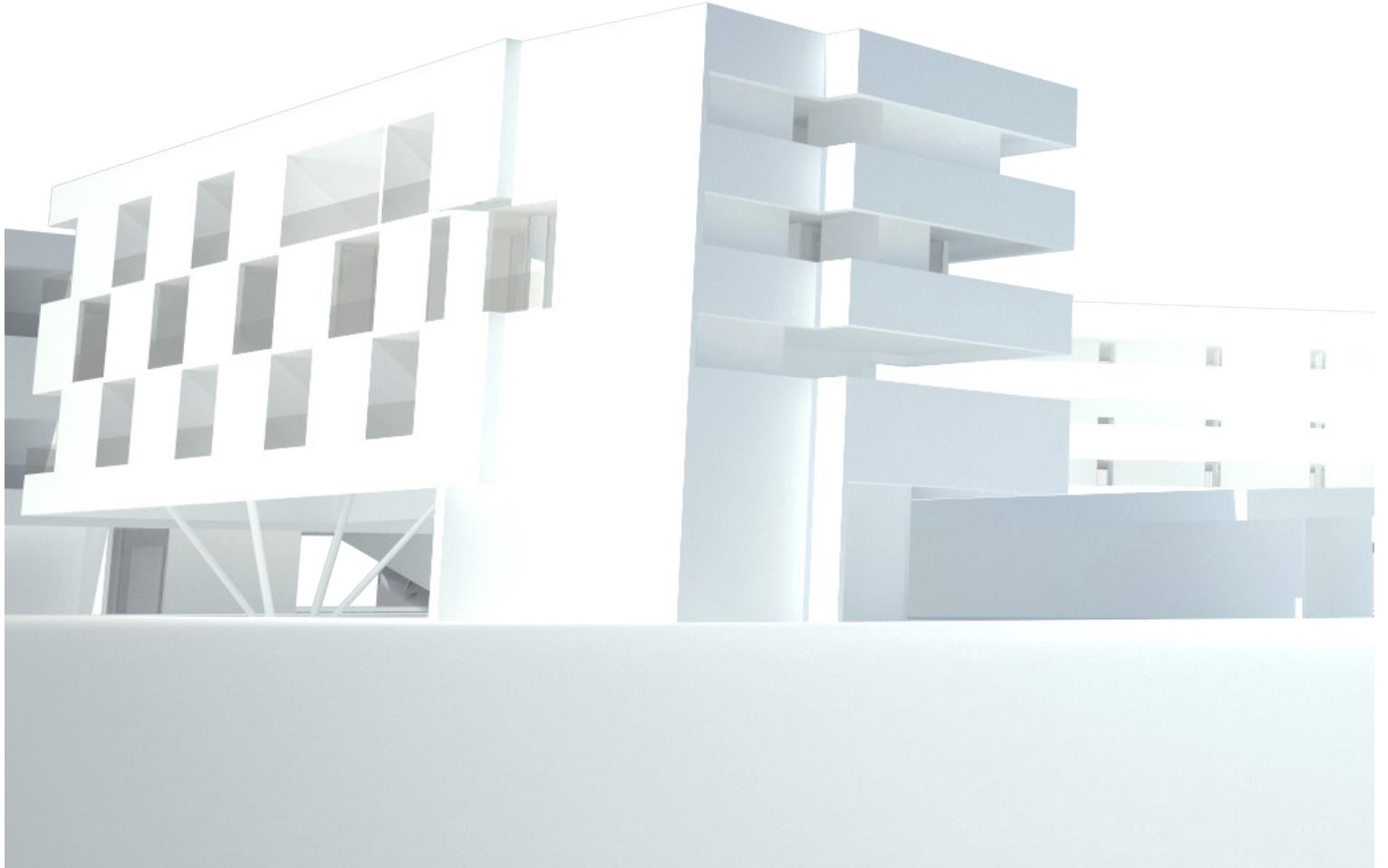
17.00 Uhr

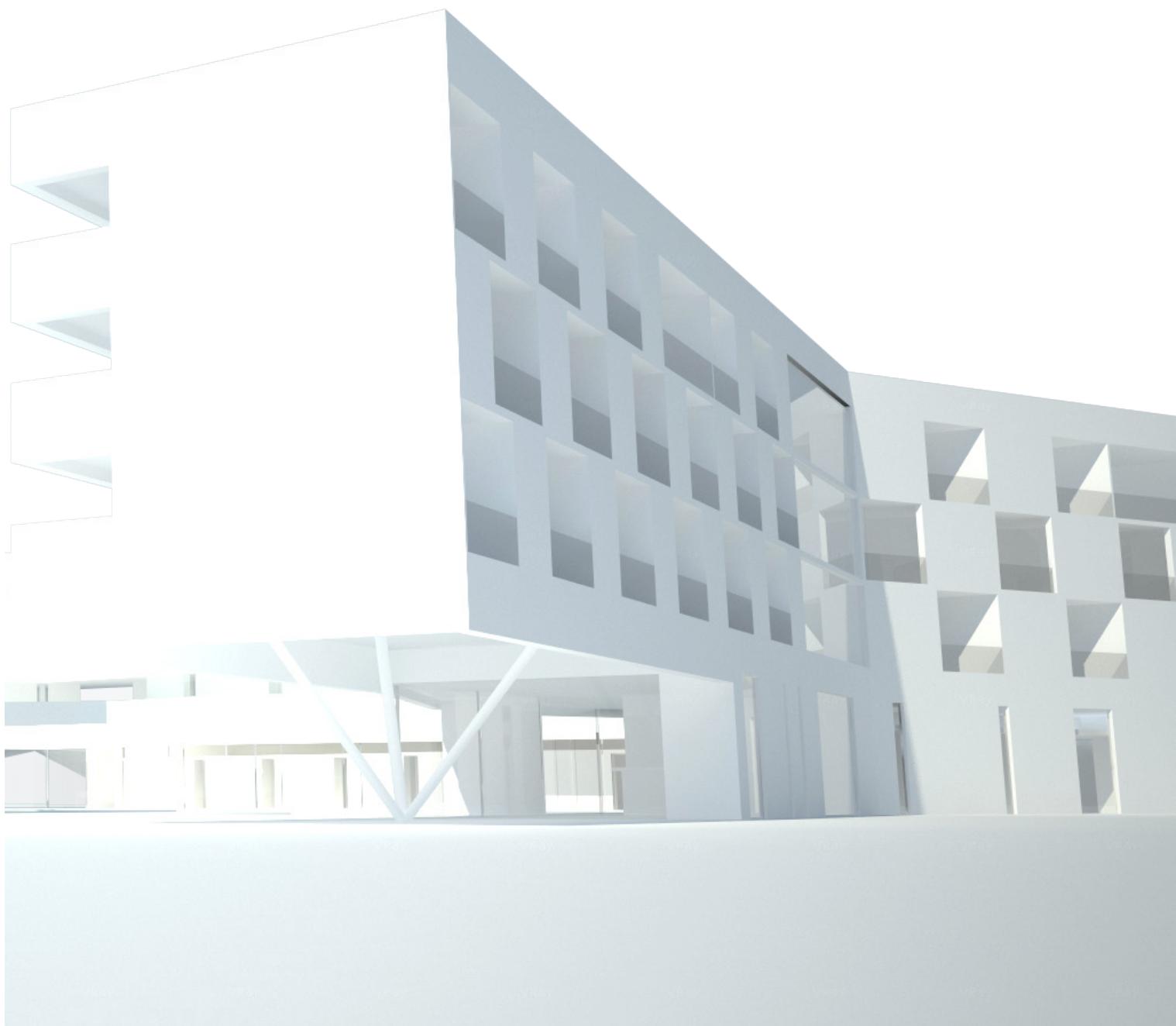














#05\_Anhang

## #5.1 Literaturverzeichnis

*Bauteilkatalog Passivhaus.* Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich: KLH Massivholz GmbH. Auflage: Bauteilkatalog Passivhaus, Version 01/2012. Online unter: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314\\_Passivhaus\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Passivhaus_dt.pdf) (Stand: 20.5.2014)

*Bauteilkatalog Wohnbau.* Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich: KLH Massivholz GmbH. Auflage: Bauteilkatalog Wohnbau, Version 01/2012. Online unter: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314\\_Wohnbau\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Wohnbau_dt.pdf) (Stand: 20.5.2014)

*Brandschutz im Holzbau.* Herausgegeben von Flumroc AG, Zürich, o. J. Online unter: [http://www.flumroc.ch/downloads/brandschutz/brandschutz\\_holzbau\\_de.pdf](http://www.flumroc.ch/downloads/brandschutz/brandschutz_holzbau_de.pdf) (Stand: 20.5.2014)

*Case Study: Stadthaus, Murray Grove, London.* Herausgegeben von TRADA Technology, London, o. J. Online unter: [http://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray\\_grove\\_case\\_study.pdf](http://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf) (Stand: 20.5.2014)

Dolezal, Franz: *Gebäudezertifizierung und nachhaltiges Bauen. Ökostandards in Österreich.* in: Zuschnitt Attachment – Sonderthemen im Bereich Holz, Holzwerkstoffe und Holzbau. proHolz Austria, Wien 2010

Frangi, A.; Fontana A.; Knoblauch, M.: *Fire Behaviour of Cross-Laminated Solid Timber Panels.* ETH Zürich. Institute of Structural Engineering, Zürich 2008

Frühwald, A.; Pohlmann, C., Wegener, G.: *Holz: Rohstoff der Zukunft nachhaltig verfügbar und umweltgerecht.* Deutsche Gesellschaft für Holzforschung und Holzabsatzfonds, München 2001

Green, M.: *Tall Wood. THE CASE FOR Tall Wood BUILDINGS.* ARCHITECTURE + DESIGN, Equilibrium Consulting LMDG Ltd BTY Group, Kanada, 2012. Online unter: <http://woodworks.org/wp-content/uploads/CWC-Tall-Walls2.pdf> (Stand: 20.5.2014)

*Kreuzlagenholz.* Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich: KLH Massivholz GmbH. Auflage: Kreuzlagenholz, Version 02/2013. Online unter: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/Herstellung/Neu/KLH\\_Kreuzlagenholz\\_.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/Herstellung/Neu/KLH_Kreuzlagenholz_.pdf) (Stand: 20.5.2014)

Lach, H.: *Bauen mit Holz.* Extrabeilage der Kleinen Zeitung GmbH & Co KG, Klagenfurt 2010. Online unter: [http://www.proholz-kaernten.at/fileadmin/user\\_upload/jourmale/2010\\_03\\_holz-hat-zukunft.pdf](http://www.proholz-kaernten.at/fileadmin/user_upload/jourmale/2010_03_holz-hat-zukunft.pdf) (Stand: 20.5.2014)

*Montage und Installation.* Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich: KLH Massivholz GmbH. Auflage: Montage & Installation, Version 01/2012. Online unter: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/Montage/Montage\\_Installation\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Kreuzlagenholz/Montage/Montage_Installation_dt.pdf) (Stand: 20.5.2014)

Neuhaus, H.: *Ingenieurholzbau: Grundlagen – Bemessung – Nachweise – Beispiele.* Vieweg+Teubner Verlag. 2. Auflage, Wiesbaden 2009

*Stora Enso Building and Living. Building Solutions.* Herausgegeben von Stora Enso, Helsinki 2012. Online unter: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2013/08/01-Technikordner-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf> (Stand: 20.5.2014)

Teibinger, M.; Matzinger, I.: *Bauen mit Brettsperrholz im Geschößbau. Fokus Bauphysik*. Holzforschung Austria, Wien, 2013. Online unter: [http://www.knauf.at/fromEpim/HFA\\_Planungsbroschuere-Brettsperrholz\\_eBook\\_KNAUF.pdf](http://www.knauf.at/fromEpim/HFA_Planungsbroschuere-Brettsperrholz_eBook_KNAUF.pdf) (Stand: 20.5.2014)

Telbinger, M.: *Brandverhalten von Holz- und Holzwerkstoffen. Anforderungen – Entwicklungen*. Holzforschung Austria. Wien o. J. Online unter: <http://www.holzforschung.at/fileadmin/Content-Pool/PDFs/Brandverhalten.pdf> (Stand: 20.5.2014).

Tichelmann, K.; Pfau, J.: *Entwicklungswandel Wohnungsbau: Neue Konzepte in Trocken- und Leichtbauweise*. Vieweg-Verlag, Braunschweig–Wiesbaden 2010

*Timber Tower Research Project*. Herausgegeben von Skidmore, Owings & Merrill, LLP, o. O. 2013. Online unter: <http://www.scribd.com/doc/194099737/Estruturas-Madeira-20130506-Som-Timber-Tower-Final-Report-2> (Stand: 20.5.2014)

Wegener, G.; Zimmer, B.; Frühwald, A.; Scharai-Rad, M.: *Ökobilanzen Holz – Fakten lesen, verstehen und handeln*. Informationsdienst Holz, München 1997

Werner, G.; Zimmer, B.: *Holzbau 1. Grundlagen DIN 1052 (neu 2008) und Eurocode 5*. Springer Verlag, Berlin 2009

## #5.2 Online-Ressourcen

<http://www.abb-bau.de/>  
<http://www.acr.at>  
<http://www.augsburger-holzhaus.de/>  
<http://www.breisgauhaus.de/>  
<http://www.detail.de/>  
<http://www.energiesparen-im-haushalt.de/>  
<http://www.eqcanada.com/>  
<http://www.fertighauswelt.de/>  
<http://www.flumroc.ch/>  
<http://www.gruber-holzbau.at/>  
<http://www.gutex.de/>  
<http://www.holzbau-grenl.at/>  
<http://www.holzbauwelt.de/>  
<http://www.holzhaus-spezial.de/>  
<http://www.ig-passivhaus.de/>  
<http://www.klh.at/>  
<http://www.massivholzmauer.de/>  
<http://www.passiv.de/>  
<http://www.ploner-holzbau.de/>  
<http://www.proholz.at/>  
<http://www.thie-blockhausbau.de/>  
<http://www.umweltbundesamt.at/>  
<http://www.woodworks.org/>

Abb. 1: [http://snohetta.com/uploads/project/64/max\\_2a3efae-08fee15a91220020b2025c275.jpg](http://snohetta.com/uploads/project/64/max_2a3efae-08fee15a91220020b2025c275.jpg), 20.5.2014.

Abb. 2: [http://www.ditles.si/Files/ALUMNI/1/3\\_Gradnja%20z%20lesom%20-%20izziv%20in%20priloznost%20za%20Slovenijo%20.pdf](http://www.ditles.si/Files/ALUMNI/1/3_Gradnja%20z%20lesom%20-%20izziv%20in%20priloznost%20za%20Slovenijo%20.pdf), 20.5.2014.

Abb. 3: <https://www.flickr.com/photos/67532178@N00/4550476718/in/photostream/>, 20.5.2014.

Abb. 4: *Holzarten*, <http://decke-wand-boden.de/Slideshows/JOKA%20Slides%20Massivholzdielen/Viva%20Castilla/slides/Holzarten%20Viva%20Castilla.jpg>, 20.5.2014.

Abb. 5: <http://wordlesstech.com/wp-content/uploads/2011/12/Kimball-art-center-by-BIG-architects-1.jpg>, 20.5.2014.

Abb. 6: *Hofbäckerei Edeger-Tax, Graz*, [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Graz\\_Hofbäckerei\\_Edegger-Tax.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Graz_Hofbäckerei_Edegger-Tax.jpg), 20.5.2014.

Abb. 7: *Poirt King Residence*, <http://abduzeedo.com/architect-day-uid-architects>, 20.5.2014.

Abb. 8: *Billon / Vincent Kohler art installation wood*, <http://minus.com/IRdr8C4d5c7Ka>, 20.5.2014.

Abb. 9-11: Asmer Salčinović.

Abb. 12: *Norwegian Wild Reindeer Centre Pavilion*, [http://static.dezeen.com/uploads/2011/11/dezeen\\_Norwegian-Wild-Reindeer-Centre-Pavilion-by-Snohetta\\_2.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2011/11/dezeen_Norwegian-Wild-Reindeer-Centre-Pavilion-by-Snohetta_2.jpg), 20.5.2014.

Abb. 13: <http://www.evacalor.com/wp-content/uploads/2011/06/Ecologia-head-full-width.jpg>, 20.5.2014.

Abb. 14: <http://img.welt.de/img/news3/crop113504908/465872172-ci3x2l-w620/Waldbesitzer-befuerchten-mehr-Holzdiebstahl.jpg>, 20.5.2014.

Abb. 15: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2013/08/01-Technikordner-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf>, S. 291, 20.5.2014.

Abb. 16: *Nest House, Onomichi, Japan*, [http://static.dezeen.com/uploads/2011/05/dezeen\\_Nest-by-UID-Architects-10.jpg](http://static.dezeen.com/uploads/2011/05/dezeen_Nest-by-UID-Architects-10.jpg), 20.5.2014.

Abb. 17: [http://lh5.ggpht.com/\\_Z6B9YB8yLwI/S4YRZ4NvmVI/AAAAAAAAAdc/mBTJmuTCX-w/s1152/vatra.JPG](http://lh5.ggpht.com/_Z6B9YB8yLwI/S4YRZ4NvmVI/AAAAAAAAAdc/mBTJmuTCX-w/s1152/vatra.JPG), 20.5.2014.

Abb. 18-19: *Mehrfamilienhaus, Frankfurt Tevestraße, vor und nach der Modernisierung*, [http://www.passiv.de/downloads/05\\_tevesstrasse\\_messtechnische-begleitung.pdf](http://www.passiv.de/downloads/05_tevesstrasse_messtechnische-begleitung.pdf), S. 6, 20.5.2014.

Abb. 20: *Dämmplatten aus Holz*, <http://images.fordaq.com/p-17870000-17865277-3/Dämmplatten.jpg>, 20.5.2014.

Abb. 21: <http://img.welt.de/img/news3/crop113504908/465872172-ci3x2l-w620/Waldbesitzer-befuerchten-mehr-Holzdiebstahl.jpg>, 20.5.2014.

Abb. 22-37: Asmer Salčinović.

Abb. 38: <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2013/08/01-Technikordner-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf>, S. 304, 20.5.2014.

Abb. 39-41: Asmer Salčinović.

Abb. 42: *Wohnsicht Oberflächenqualität einer Massivholzplatte*, <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2013/08/01-Technikordner-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf>, S. 3, 20.5.2014.

Abb. 43: *Aufbau einer 5-schichtigen CLT-Massivholzplatte*, <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2013/08/01-Technikordner-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf>, S. 6, 20.5.2014.

Abb. 44: <http://woodworks.org/wp-content/uploads/CWC-Tall-Walls2.pdf>, S. 113, 20.5.2014.

Abb. 45: *Erdbeben Holz gegen Stein*, <http://www.youtube.com/watch?v=z6SAQVSorFA>, 20.5.2014.

Abb. 46: *Massivholzwand*, <http://www.huber-sohn.de/mehrgeschossiger-holzbau-2.html>, 20.5.2014.

Abb. 47: *Das „Plotterstift“-Planungsprinzip*, [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314\\_Passivhaus\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Passivhaus_dt.pdf), S. 12, 20.5.2014.

Abb. 48: *Die luftdichte innere Hülle*, [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314\\_Passivhaus\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Passivhaus_dt.pdf), S. 15, 20.5.2014.

Abb. 49: *Fenster*, [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314\\_Passivhaus\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Passivhaus_dt.pdf), S. 23, 20.5.2014.

Abb. 50: *Lufterneuerung*, [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314\\_Passivhaus\\_dt.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Konstruktion/120314_Passivhaus_dt.pdf), S. 19, 20.5.2014.

Abb. 51: [http://www.solutionsforwood.ca/\\_docs/reports/LEED-GG24Mar09.pdf](http://www.solutionsforwood.ca/_docs/reports/LEED-GG24Mar09.pdf), S. 1, 20.5.2014.

Abb. 52: <https://www.flickr.com/photos/67532178@N00/4550476718/in/photostream/>, 20.5.2014.

Abb. 53: *Ungestörte Montage eines Massivholzhauses im Winter*: Asmer Salčinović.

Abb. 54: *Darstellung eines 30-geschossigen FFTT-Designs mit lasttragenden Holzkern, Innen- und Außenwänden*, <http://woodworks.org/wp-content/uploads/CWC-Tall-Walls2.pdf>, S. 78, 20.5.2014.

Abb. 55: *Darstellung eines im FFTT-System entworfenen Hochholzhauses*, [http://www.builderonline.com/Images/tmp9178.tmp\\_tcm138-1765293.jpg](http://www.builderonline.com/Images/tmp9178.tmp_tcm138-1765293.jpg), 20.5.2014.

Abb. 56: *Stadthaus, Murray Grove, London*, [http://media.rightmove.co.uk/6k/5506/5506\\_1216108\\_IMG\\_02\\_0000.jpg](http://media.rightmove.co.uk/6k/5506/5506_1216108_IMG_02_0000.jpg), 20.5.2014.

Abb. 57-59: *Der „Woodcube“ in Wilhelmsburg, Hamburg*, <http://www.detail.de/architektur/themen/hamburg-wuerfelt-mit-holz-der-woodcube-in-wilhelmsburg-020476.html>, 20.5.2014.

Abb. 60-61: *Aussichtsturm im Zoo von Helsinki*, <http://www.detail.de/inspiration/aussichtsturm-im-zoo-von-helsinki-108170.html>, 20.5.2014.

Abb. 62: *Herstellung von KLH*, <http://www.klh.at/kreuzlagenholz/herstellung.html>, 20.5.2014.

Abb. 63: *Verleimung von KLH*, <http://www.klh.at/kreuzlagenholz/verleimung.html>, 20.5.2014.

Abb. 64: *Oberflächenqualität von KLH*, <http://www.klh.at/kreuzlagenholz/formate.html>, 20.5.2014.

Tabellen 1-3: *Vergleich der U-Werte eines Ziegel-, Massivholz- und Holzrahmenbaus*, <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2013/08/01-Technikordner-Stora-Enso-Building-Solutions-CLT.pdf>, S. 175-178, 20.5.2014.