Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

TU

Technische Universität Wien

Masterarbeit

Entwicklung eines nachhaltigen Holzbausystems für multifunktionale Gebäude bis zu 7 Geschossen

ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

unter der Betreuung von

Univ.-Ass. DI Andrea Cerna

259/ 2 Institut für Ingenieurholzbau und Tragwerksplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Radana Bogdan

Mart. Nr.: 0425678
Untere Augartenstraße 32
A- 1020 Wien

Wien, im November 2013

Kurzfassung

Verschwendung der Rohstoffe, Verschlechterung der Luft und ein Übermaß an Abfällen sind alles Globalprobleme, die auf katastrophale Folgen in der Zukunft deuten, wenn wir sie ignorieren und heute keine entsprechenden Maßnahmen ergreifen. Besonders ausschlaggebend ist die Baubranche. Der Bausektor verbraucht ca. 50 % der natürlichen Ressourcen, 40 % der Energie und 14 % des Wassers. Durch Bau und Abrisse werden mehr Abfälle als Hausmüll verursacht.

Weitere Problematiken wie rascher Bevölkerungszuwachs und Akkumulation der Bevölkerung in den Städten sollen den Planern ein Zeichen geben, kompakter und höher zu bauen. Es sollte die unnötige Verschwendung der Bodenfläche vermieden werden.

In der vorliegenden Arbeit wird ein 7-geschossiges, multifunktionales Holzhaus für den Stadtraum, unter der Berücksichtigung der erwähnten Problematiken, entwickelt. Das Konzept basiert auf der Verwendung von ökologischen Materialien wie Holz und Lehm, um mit ihnen möglichst hoch zu bauen.

Abstract

Waste of resources, deterioration of air and an excess of waste are all global problems which point to disastrous consequences in the future, if we ignore them today and take no appropriate action. Particularly the construction industry is crucial. The construction sector uses about 50% of natural resources, 40 % of energy and 14 % of the water. The construction and demolition of buildings creates more waste than the households. Other problems such as rapid population growth and accumulation of population in the cities are intended to give planners a sign to build more compact and higher. It should be avoided the unnecessary waste of floor.

A 7-storey, multi-functional wooden house for the urban environment is developing in the present work, taking into account the above-mentioned problems. The concept bases on the use of organic materials such as wood and clay to build as high as possible.

Inhaltsangabe

Kurzfassung II

Abstract..... III

1.Einleitung..... 1

1.1 Problemstellung 1

1.1.1 Auswirkung der Problematik auf die Architektur und Baubranche 2

1.2 Zielsetztung 2

2.Holz als Material der Zukunft 3

2.1 Vielfältigkeit von Holz..... 3

2.2 Materialeigenschaften 10

2.3 Waldpotenzial 11

2.4 Brand und Holz 13

3.Anforderungen an Holzbauten..... 16

3.1 Internationaler Vergleich 16

3.2 Österreich – gesetzliche Grundlage 17

3.2.1 Bauklassen..... 17

3.2.2 OIB-Richtlinien..... 18

4.Mehrgeschossiger Holzbau 28

4.1. Historische Beispiele 28

4.2 Moderne Beispiele 30

4.2.1 Berlin, Wohnhaus Esmarchstrasse..... 30

4.2.2 London, Murray Grove Tower..... 33

4.2.3 Bad Aibling, Wohn- und Bürogebäude..... 35

4.2.4 Wien, Wohnhaus Wagramerstrasse 37

4.2.5 Vorarlberg, Life Cycle Tower ONE 38

5.Entwicklung des 7-geschossigen Holzgebäudes 41

5.1 Entwurfsziele 41

5.2 Entwurf 42

5.3 Einfluss der OIB Brandschutz Richtlinie auf den Entwurf 52

5.4 Funktionen 55

5.4.1 Wohnen und Büro 56

5.4.2 Bibliothek und Ausstellung 66

5.4.3 Verkauf 74

5.5 Tragsystem 75

5.5.1 Ziele und Recherche 75

5.5.2 Tragsystem des Entwurfes 78

5.6 Materialien 84

5.6.1 Holz 84

5.6.2 Lehm 84

5.6.3 Glas 87

5.6.4 Stahl und Beton 88

5.6.5 Mineralische Wärmedämmung 88

5.7 Details 89

5.7.1 Decken 89

5.7.2 Aussen- und Innenwände 89

6. Zusammenfassung 94

7. Zusammenfassende Plandarstellungen

Literaturverzeichnis 95

Abbildungsverzeichnis 977

Tabellenverzeichnis 101

Diagrammverzeichnis 102

1.1 Problemstellung

Seit mehreren Jahrzehnten warnen die Experten vor verschiedenen Schäden für unseren Planeten und seinen Bewohner. In der ersten Linie sind das:

- rascher Bevölkerungszuwachs
- Verschwendung der Rohstoffe und fossilen Energiequellen und
- Übermaß an Abfällen
- Verschlechterung der Luft-, Wasser- und Bodenqualität .

Seit der industriellen Revolution setzt ein rapides Bevölkerungswachstum ein. Im Jahr 1804 überschritt die Weltbevölkerung eine Milliarde. Heute sind das 7,1 Milliarden Menschen. Innerhalb des 20. Jhd. hat sich die Zahl der Weltbevölkerung vervierfacht. Bis 2015 wird mit einem jährlichen Bevölkerungswachstum von rund 78 Millionen Menschen pro Jahr gerechnet. Pro Minute steigt die Zahl der Weltbevölkerung somit um 150 und jeden Tag um 216000 Bewohner**.**

Die zukünftigen Prognosen rechnen mit fast 27 Milliarden Menschen zur Jahrhundertwende, wenn die Kinderzahl pro Frau bis 2100 konstant auf dem Niveau bleibt. Welche Folge hat die steigende Zahl der Weltbevölkerung?

Es werden sich Problem in der Nahrungsversorgung, Wohnweise und Lebensqualität ergeben. Die Preise des Wohnens steigen und die zur Verfügung gestellte Wohnfläche pro Person sinkt. Die Akkumulation der Bevölkerung in den Städten benötigt überdachte Lösungsansätze für die architektonischen und raumplanerischen Konzepte.

Gleichzeitig, mit dem Beginn der industriellen Revolution, hat die Nutzung der Rohrstoffe und der fossilen Energiequellen eine unaufhaltsame Zunahme erfahren, was negative Folgen für die zukünftigen Generationen hat. Prognosen weisen darauf hin, dass die vorhandene Erdöl-, Erdgas- und Kohleressourcen in ca. 50, 70 und 190 Jahren mit dem derzeitigen technischen Know-How erschöpft sein werden. Daher ist der sorgfältige und sparsame Umgang mit unseren Ressourcen nicht nur die Aufgaben zukünftiger Generationen sondern auch der gegenwärtigen. Zusätzlich sind alternative Lösungen anzustreben.

Das nächste Problem ist der Abfall. Die produzierten Abfälle belasten Stadt und Land. Sie verunreinigen die Böden, was Konsequenzen auf Agrarproduktion und die Ernährungsqualität hat. Gleichzeit sind das die vergeudeten Ressourcen, die keine oder geringe Weiterverwertungen anbieten. In Deutschland zum Bsp. fallen jährlich ca. 400 Millionen t / a Abfälle an. Mehr als die Hälfte davon, 220 Millionen t / Jahr, stammen aus dem Bereich der Bauwirtschaft.

Ein weiteres Problem ist der CO2 Ausstoß. CO2 ist zu 60 % für den Treibhauseffekt verantwortlich, welcher zur Erderwärmung führt. Seit 1750 ist die CO2-Konzentration um 30 % gestiegen. Die Erde hat sich um 0,3 °C bis 0,6 °C erwärmt und Meerspiegel ist um 15 cm bis 25 cm angestiegen. In der Zukunft kann man an eine Erwärmung von 2 °C bis 5 °C

rechnen, wenn wir keine gescheiten Maßnahmen treffen. Die Konsequenzen der Klimaveränderung sind drastisch: Eiskappenschmelze, Überschwemmungen, Lawinen, Zyklone, Versteppungen. Diese Naturkatastrophen haben außerdem einen Einfluss auf das Bruttoinlandsprodukt von Staaten. Es führt zu Volksemigrationen, Lebensmittelknappheit und Seuchen.

1.1.1 Auswirkung der Problematik auf die Architektur und Baubranche

Nach den erwähnten Problematiken stellen sich folgende Fragen:

- Was hat das Ganze mit der Architektur zu tun?
- Welche Einflüsse haben die Klimaveränderung, Verschwendung der Ressourcen und Bevölkerungszuwachs?

Die Realisierung und Nutzung von den Gebäuden hat eine große Auswirkung auf die Umwelt, obwohl es auf ersten Blick als neutrale Verbindung betrachtet wird. Die Architektur hat sich nie vor dem 20. Jhd. mit dem Thema Umwelt und Nachhaltigkeit auseinander gesetzt. Die Statistiken zeigen, dass der Bausektor ca. 50 % der natürlichen Ressourcen, 40 % der Energie und 14 % des Wassers verbrauchen. Durch Bau und Abrisse werden mehr Abfälle als Hausmüll verursacht. Zum Bsp. verursacht der Bausektor in Deutschland 30 % der CO2-Emissionen (der Strom wird primär in Heizkraftwerken erzeugt) und damit mehr als Industrie und Transportwesen zusammen.

Von der Seite der Planer gibt es verschiedene Zugänge zu den Problematiken. Als denkbare Lösungen für das zukünftige Bauen mit Rücksicht auf die Umwelt und Energie werden verschiedene Konzepte verfolgt. Einige Architekten versuche die ökologische Anforderung an die Architektur durch Technik zu lösen wie Norman Foster, während sich die anderen dagegen wehren und nach historischen und einfachen Lösungen greifen wie z. B. Paolo Soleri.

1.2 Zielsetzung

Das Planen unter der Berücksichtigung der erwähnten Problematiken ist Hauptbestandteil der hier vorliegenden Arbeit. Aufgrund der steigenden Zahl der Bevölkerung und der Akkumulation von Menschen in den Städten wird ein 7-geschossiges, multifunktionales Holzhaus für den Stadtraum geplant. Zwischen kontrolliertem und umweltschönendem Ressourcenverbrauch sowie den gesetzliche Anforderungen wird eine optimale Lösung evaluiert.

2.1 Vielfältigkeit von Holz

Holz ist eins der ältesten Baumaterialien, welches durch die neuzeitliche Entdeckung von Stahl und Beton zum Nischenprodukt wurde. Die Herausforderungen und Möglichkeiten der neuen Materialien haben die Baubranche im 20. Jhd. erobert. Erst mit der aufkommenden Umweltproblematik rückte der Holzwerkstoff wieder in Vordergrund *(Abb. 1 / Abb. 2).*

Im Vergleich zu den neuen Materialien wie Beton und Stahl ist Holz ein nachwachsender Werkstoff und Speicher von CO2. Holz ist auch ein Teil des Ökosystems Wald, wodurch es einen zusätzlichen Wert gegenüber den anderen Materialien erhält.

Im Folgenden werden die Gründe erwähnt, die aus der Sicht der Experten Holz als Material der Zukunft definieren:

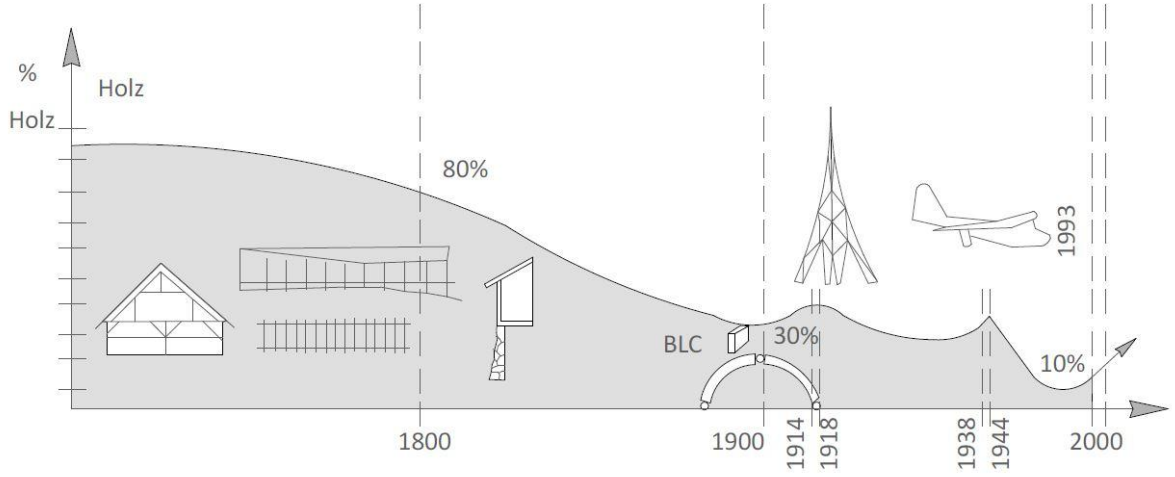


Abb.1: Holzeinsatz im Bauwesen [1]

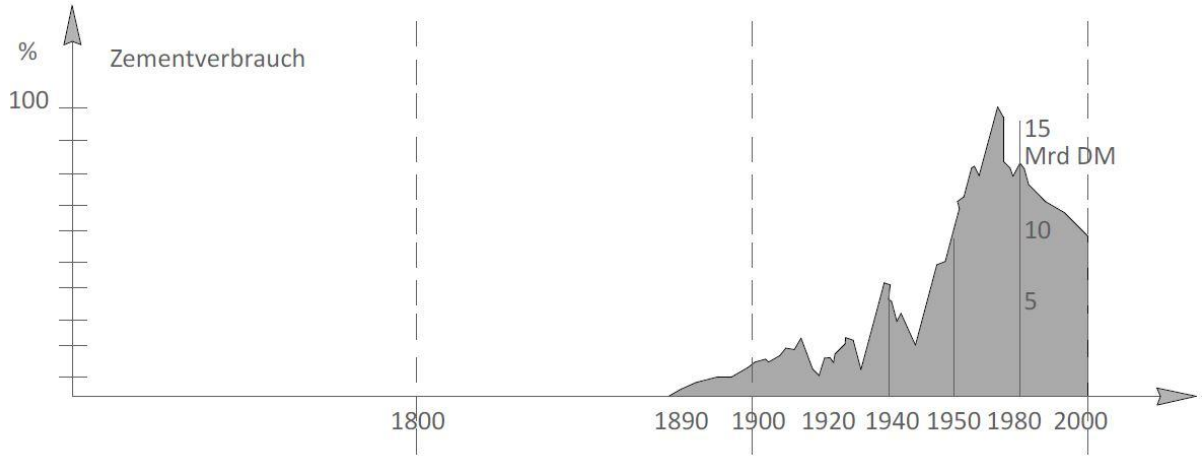


Abb. 2: Zeitlicher Überblick des Zementverbrauches [1]

1) **Holz ist erneuerbares Material**

Während die Ressourcen auf unserem Planeten begrenzt sind und es im Laufe der Zeit zu ihrem vollständigen Verbrauch kommt, ist das Holz ein Material, das durch natürliches Wachstum sich erneuert. Wenn wir mit dem Holzverbrauch verantwortlich und bewusst umgehen würden, könnten wir gleichzeitig unsere Umwelt schützen und zu gleich die Anforderungen an die heutige Lebensqualität erfüllen. Die steigende Substituierung von Holz in der Baubranche würde die Erhaltung oder mindestens den langsamen Verbrauch der fossilen Ressourcen auf der Erde bedeuten.

2) **Holz ist CO2-Speicher**

Das Wachstum von den Bäumen findet durch die Photosynthese statt. Während des Prozesses werden Kohlenstoff und Wasser mit Hilfe der Sonnenenergie in chemisch gebundene Energie umgewandelt, wodurch die Bestandteile wie Zellulose und Lignin entstehen. Wird ein Baum zu Baumaterial verwertet, verschiebt sich der Prozess der Freisetzung des Kohlenstoffes in der Atmosphäre. Erst durch Zersetzung oder Verbrennung gelangt CO2 in die Natur. Der Beitrag des Holzes als Baumaterial zur globalen Erwärmung ist am Ende des Zykluses annähernd null, während die andere Materialien für ihre Erzeugung viel Energie benötigen und dadurch CO2 freisetzen.

Eine Tonne darr-trockene Holzmasse speichert 1,6 t CO2. Dies bedeutet, dass Bäume durch die Erzeugung ihrer Holzmasse der Atmosphäre CO2 entziehen und somit als CO2-Senke fungieren. Eine 25 m hohe Buche verbraucht z. B. jährlich 6,3 t CO2 und produziert 1,8 t Holzmaterial, in dem 75000 kWh Sonnenenergie gespeichert ist. Diese Energie kann bei der Verbrennung erzeugt werden, ohne die CO2 Konzentration in der Luft zu erhöhen. Zum Vergleich: für die gleiche Energiemenge sind 625 kg Erdöl notwendig. Neben den Eigenschaften des Holzes als CO2-Senke und des nachwachsenden Rohstoffes, sollten nicht vergessen werden, die anderen Eigenschaften und Vorteile des Holzes zu erwähnen:

3) **Holz ist Energieträger**

Die gespeicherte Sonnenenergie im Holz wird als Gebrauchsenergie genutzt. In Form von Brennholz und Holzkohle lässt sich die Energie wiederverwenden. Auch die Holzabfälle (Schalungen, Produktionsreste,…etc.) werden als Energieträger durch Verbrennung weiterverwertet *(Abb. 3).*

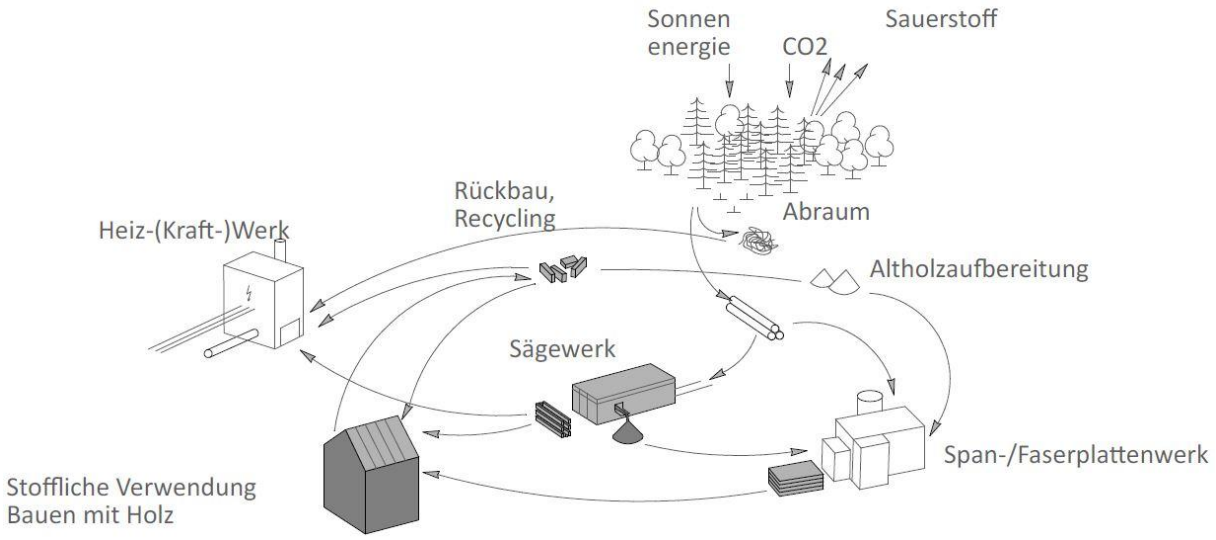


Abb. 3: Holz als idealer Kreislaufwerkstoff [2]

4) Holz ist Werkstoff

Von Möbeln über dekorative Zwecke bis zur Verwendung im Bauwesen (Hochbau, Brückenbau,…etc.) findet Holzwerkstoff seine Anwendung *(Tabelle 1).*

Bereits in dem ersten Bearbeitungsprozess, der Sortierungen und Zuschnitte des Rundholzes beinhaltet, entstehen zahlreiche Schnittholzprodukte, die in der Baubranche ihre Anwendung finden: Latten, Bretter, Balken, Bohlen oder Kanthölzer. Mit Hilfe von Gatter-, Blockband- oder Besäumungssägen werden Schnitthölzer durch das Auftrennen von Rundholz hergestellt. Durch die Kombination von geeigneten Klebstoffen und den Sägeprodukten finden Veredlungsprozesse statt, die zu homogenen Holzprodukten führen wie Brettschicht-, Furnierschicht- und Konstruktionsvollholz. Auch die beim Sägevorgang anfallenden Nebenprodukte, wie Späne und Fasern, können zu Bauprodukten umgewandelt werden: Flachpressplatten, Holzfaserplatten, Spanplatte,…etc. Daher ergibt sich durch die hochpräzisen technischen Be- und Verarbeitungsmöglichkeiten und den ökologische Aspekte für den Holzwerkstoff ein sicherer Platz auf dem Wirtschaftsmarkt.

Tabelle 1: Holzwerkstoffe

Holzwerkstoffe	*Kurze Beschreibung*	*Einsatz*	*Dimensionen*
 Konstruktionsvollholz	Veredelter und qualitative Bauschnittholz	Für alle tragende und aussteifende Konstruktionen geeignet	Länge bis max. 14 m Dicke bis max. 120 cm
 Brettschichtholz	Mindestens aus drei Brettlagen in gleicher Faserrichtung verleimter Holz	In fast allen Bereichen einsetzbar	Kann unendlich lang hergestellt werden. Wegen des Transports auf 30 m Länge begrenzt. Höhe bis 250 cm
 Furnierstreifenholz	Aus Schälfurnier (Dicke 3mm, Breite 13 mm, Länge 250 mm) geleimter Holz . Due Streifen werden parallel verleimt.	Als Ersatz für, auf druck belasteten, Vollholz	Länge bis 20m Breite 44 bis 280 mm Höhe 44- 483 mm
 Spannstreifenholz	Aus Holzspänen (Länge 300mm, Breite 25mm , dicke 0,8 mm)geklebter Holzwerkstoff.	Für Dach, Deckenträger, Schwellen, Stützen (wenn die Spänne parallel geklebt sind) Für Wand, Dach- und Deckenscheiben (wenn die Spänne in verschiedene Richtungen geklebt sind)	
 Einschichtige Massivholzplatte	Holzteile wie Bretter, Pfosten und Stäbe (Dicke 14-60 mm, Breite 18mm)werden in Faserrichtung parallel verklebt		Länge 2000-6300 mm Dicke 14-60 mm Breite 600 – 21000 mm

 dreischichtige Massivholzplatte	Besteht aus 3 Schichten (2 Deckenschichten und einem Mittellage) .Mittellage wird um 90 Grad im Verhältnis zu den Deckenlagen geklebt		Länge 4.5 m Breite 1-2,1 m
 Kreuzlagenholz	hochqualitative mehrschichtige Massivholzplatte, die aus mehreren aufeinander liegenden Brettlagen besteht	Kann für alle tragenden Elemente eingesetzt werden: Decke, Wände und Dachkonstruktion. Auch im Brückenbau	Länge bis max. 20 m Breite bis 2,95 m Höhe 34 cm
 Furnierschichtholz	besteht aus parallel aufeinander geklebten Schälfurnieren von 2-4 mm Dicke		
 Furniersperrholz	Holzwerkstoff , der durch kreuzweise Anordnung und Verleimung der Furnierschichten (Dicke bis 7 mm) entsteht	meistens für Innenausbau (Verkleidung und Füllung) und Möbelbau	Dicke max. 4 cm Länge bis 3 m
 OSB-Platte	OSB –Platte wird aus langen Spänen (75 mm lang 0,6 mm dick und 35 mm breit) zusammengesetzt, die ursprünglich Abfallprodukt der Furnier- und Sperrschichtindustrie waren	- Dach- und Wandbeplankungen - Schalungen für Beton - als Verlegeplatte - Möbelbau	Dicke 6- 40 mm Breite bis 2,5 m Länge bis 6,25 m

5) Holz ist Chemierohstoff

Holz als Material findet seine Anwendung nicht nur in der Baubranche sondern auch in der Herstellung von Produkten, die in verschiedenen Aspekten des Lebens zu finden sind. So zum Beispiel. ist der nachwachsende Rohstoff in der Lebensmittel- bis zur Textilindustrie zu finden. Beispiele sind Zuckeralkohole aus Birkenholz-Polysacchariden als Süßstoff und Viskosefasern aus Buchenholz-Zellulose als moderne Textilfasern zu nennen (*Tabelle 2).*

Tabelle 2: Holzchemische Marktprodukte [I1]

Produkte	*Verwendungsbeispiele*
Zellstoff	Papier
Celluloseester	Nahrungsmittelzusätze, Tapetenkleister
Alkalilignin	Kunstharzzusätze
Ligninsulfonate	Bindemittel
Tallöl	Lösungsmittel, Lack-, Kunstharzrohstoff
Terpentinöl	Lösungsmittel, Syntheserohstoff
Kiefernharz	Lack-, Farbenrohstoffe
Ethanol	Treibstoffzusatz, Lösungsmittel, Chemierohrstoff
Furfural	Lösungsmittel, Chemierohrstoff
Futterprotein	Viehfutter
Hefe	Nahrungsmittel
Sorbit	Tablettenzusatz
Xylit	Diabetikerzucker
Vanillin	Aromastoff, Lichtschutzmittel
Holzkohle	Aktivkohle, Grillkohle

6) Holz ist biologisch Abbaubar

Holz ist als Konstruktionsmaterial weitestgehend unempfindlich gegen chemische Angriffe. Es ist dagegen als natürliches organisches Material zersetzbar. Mikroorganismen und Wärmeeinfluss ermöglichen den Abbauprozess des organischen Materials. Es ist aber zu erwähnen, dass die Mikroorganismen von der Natur so programmiert sind, Holz nur unter „unnatürliche“ Verhältnisse zu zersetzen, d.h. wenn z.B. ein Feuchtegehalt von über 20 % herrscht. Im Holzbau ist es wichtig bevor mit dem Bau begonnen wird, dass die Konstruktion optimal getrocknet wird, um die gewünschten Klima für die Holzschädlinge und Rissbildungen zu vermeiden. Durch entsprechende konstruktive Maßnahmen kann Holz im Freien eingesetzt werden. Schafft man es die kritische Holzfeuchte zu vermeiden, ist die Konstruktion sicher. Dank dem natürlichen Sorptionsverhalten des Holzes, wird Wasser auf lokalen Feuchtestellen schnell durch seine Verteilung und Weiterleitung abgebaut.

7) Holz ist wichtiger Wirtschaftsfaktor

Die Bewirtschaftung des Waldes macht ihn zum ökonomischen Faktor. Forst- und Holzwirtschaft sind die größten Arbeitsgeber in Österreich. Dieser Sektor sichert Einkommen für 300 000 Arbeiter und schafft jährlich ein Produktionswert von 12 Milliarden Euro. Diese Bereiche erwirtschaften 4% des österreichischen Bruttoinlandsprodukts. 70 % der Produktion werden exportiert *(Abb. 4/ Abb. 5).*

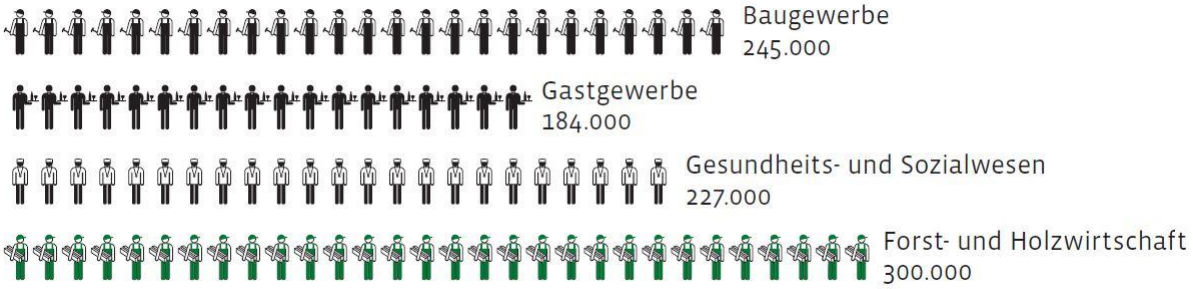


Abb. 4: Zahl der Beschäftigte nach den Branchen in Österreich [2]

	EU 27	Deutschland	Österreich
Waldfläche in Mio. ha	178	11	4
Bewaldung in %	42	31	48
Holzvorrat in Mrd. m³	21,75	3,4	1,1
Holzzuwachs in Mio. m³ pro Jahr	768	80	30
Holzeinschlag in Mio. m³ pro Jahr	484	70	20
Waldbesitzer in Mio.	16	2	0,145
Einkommensbezieher in Mio.	3,5	1,2	0,3
Umsatz in Mrd. Euro	400	170	12

Abb. 5: Holzwirtschaft in EU, Österreich und Deutschland [2]

2.2 Materialeigenschaften

Festigkeit

Das Verhältnis der Festigkeit zum Eigengewicht ist bei Holz relativ hoch. Dies wird durch die Reißlänge ausgedrückt. Es beschreibt wie lang ein frei aufgehängter Stab sein kann, bevor er unter eigener Last bricht. Im Vergleich zwischen Holz und Stahl kann Holz dreimal länger werden *(Tabelle 3).*

Tabelle 3: Vergleich der Reißfestigkeit von Holz und Stahl [I2]

Werkstoff	*Reißlänge [m]*
Stahl ST 30	*4.700*
Holz	*15.000*

Rohdichte

Die Rohdichte von Holz ist gering, daraus ergibt sich, dass das Eigengewicht des Holzes auch klein ist. Dadurch ist Holz als ein leichtes Konstruktionsmaterial im Vergleich zu anderen typischen Baumaterialien (Stahl, Beton, Ziegel) anzusehen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich der Rohdichte von Holz , Beton und Stahl

Werkstoffe	*Rohdichte [g/cm³]*
Holz (Fichte)	0,43
Holz (Kiefer)	0,49
Holz (Buche)	0,68
Holz (Eiche)	0,65
Stahl	7,85
Normalbeton	2 bis 2,6

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit ist relativ gering, was bauphysikalische als gute Eigenschaft einzustufen ist. Daraus ergibt sich eine gute Wärmeisolation für den Werkstoff.

Tabelle 5 : Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen [I2]

Werkstoffe	*Wärmeleitfähigkeit [W/mK]*
Aluminium	200
Stahl	60
Guss	50
V2A- Stahl	15
Beton	2,1
Polyethylen	0,4
Holz	0,13

Temperatureinfluss

Unter dem Einfluss der Temperatur kann es bei Baumaterialien zu thermischer Zersetzungen oder Dimensionsschwankung kommen. Dank des geringen Längenausdehnungskoeffizienten im Vergleich zu anderen Baustoffen muss dies bei Holz für die Standsicherheitsbetrachtung nicht beachtet werden. Ab einer längeren Temperatureinwirkung von 60 °C bis 80 °C können chemische Veränderungsprozesse beginnen. Auf die Festigkeit hat die Temperatur zwischen -30 °C bis 30 °C keinen Einfluss. Auch bei einem Brandfall wird die Festigkeit wenig beeinflusst. Der Querschnitt wird geringer, aber die Festigkeit des Restquerschnittes bleibt erhalten. Mit Überdimensionierung des Holzelementes kann diese Problematik einfach gelöst werden.

2.3 Waldpotenzial

Die Hälfte der natürlichen Ressourcen werden in der Baubranche „geopfert“. Wenn man die Baumaterialien größtenteils durch erneuerbare Ressource wie Holz substituiert, was wird mit unseren Wälder passieren und welche Auswirkung hat das auf unseren Planeten?

Man darf die Wälder nicht nur als CO2-Senke und als Lieferant eines nachwachsenden Rohstoffes betrachten. Ohne Wälder wäre das Leben auf unserem Planet nicht möglich. Bäume erzeugen durch Photosynthese Sauerstoff, der für Menschen existenziell ist und das Leben ermöglicht. Und nicht nur das, die Wälder

- bilden Lebensräume für Tiere und Pflanzen,
- stellen die Wasserspeicher (durch Moose) dar,
- sind Schutz gegen Erosion, Lawinen, Lärm und Wind,
- bieten Erholungsgebiete und Freizeitgestaltung,
- sind Luft- und Wasserfilter und
- sind Ort für Nahrung (durch Jagd, Pilze, Kräuter) wie auch medizinische Heilmittel (Heilkräuter, Antibiotika aus Pilze).

Wenn unser wichtigster Lebensraum nur als nachwachsender Rohstoff betrachtet wird, kann man keine Lösung für die zukünftigen Probleme finden, sondern es würde zur Selbstzerstörung führen. Aber wenn man vom Waldpotenzial und Nutzung des Holzes redet ist es wichtig zwischen den Wäldern zu unterscheiden, die eine entscheidende Rolle im Ökosystem haben und den bewirtschafteten Kulturwäldern. Tropische Urwälder im Amazonas- oder Kongobecken verfügen über 100 Baumarten pro Hektar und zehntausende von Pflanzen- und Tierarten. Das Holz aus diesen Wäldern sollte nicht für die Produktion verwendet werden. Redet man über den Wald als Lieferant für Rohstoffe handelt es sich um bewirtschaftete Kulturwälder. Bei diesen Wäldern handelt sich z.B. in Europa um die Wirtschaftswälder, deren Waldnutzung nachhaltig gestärkt und gesichert ist. Durch ein forstliches Zertifizierungssystem wird nachhaltige Waldbewirtschaftung kontrolliert und dokumentiert. Es gibt viele lokale und regionale Zertifizierungssysteme, jedoch nur zwei die

von Bedeutung sind. Das sind zum einen das PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification) mit 230 Mio. Hektar zertifizierter Waldfläche und zum anderen das FSC (Forest Stewartship Council) mit 134 Mio. Hektar.

Seit 250 Jahre existiert in Europa eine nachhaltige Waldbewirtschaftung. Dank der Pflege und kontrollierten Nutzung der Wälder durch Forst- und Waldwirtschaft, können wir heute über Holz als Rohstoff der Zukunft reden. Fast die Hälfte der Fläche der EU Länder (42 %) ist mit Wald bedeckt. In Österreich sind 48 % der Landfläche mit Wald bedeckt. Jährlich wachsen dort 30 Mio. m³ Holz nach. Davon werden 26 Mio. geerntet. Vom Zuwachs könnte man 18 Mio. m³ Holzprodukten hergestellt. Wenn man die jährlichen Bauten im m³ umrechnet, kommt man auf ein gesamtes Hochbauvolumen von 33,5 m³. Würden alle Gebäude aus Holz gebaut, (pro m³ gebautem Raum ist ca. 0,07 m³ bis 0,09 m³ Holz notwendig) wäre dies ein Materialverbrauch von 5, 8 Mio. m³. Resultierend geht daraus hervor, dass, wenn man für alle Hochbauten in Österreich nur Holz als Baumaterial verwendet würde, ein Drittel des jährlichen Holzzuwachses ausreicht, um alle entstandenen Hochbauten innerhalb eines Jahres zu realisieren. Die Statistik in Deutschland weist ähnliches Waldpotenzial auf *(Abb. 5).*

Steigende Verwendung des Holzes in der Baubranche durch die gesicherte Kontrolle und Bewirtschaftung könnten einen Beitrag für die Erhaltung unseres Planeten bringen (CO2-Minderung, Ressource schonen), ohne die Wälder zu zerstören.

Tabelle 6: Holzvorräte in Mio. m³ [2]

Länder	*Holzvorräte [Mio. m³]*
Deutschland	3381
Schweden	2928
Frankreich	2892
Polen	1908
Finnland	1940
Italien	1429
Österreich	1095
Spanien	684
Tschechien	594

2.4 Brand und Holz

Im vorherigen Abschnitt wurden die Eigenschaften erwähnt, weshalb das Holz das Baumaterial der Zukunft sein sollte. Dadurch, dass das Bauen mit Holz eine der potenziellen Lösungen für die Erhaltung unseren Ressourcen und Minderung von CO2 ist, stellt sich die Frage: Warum wurden 90 % der Häuser im städtischen Raum aus Beton und Stahl gebaut? Warum greifen die Länder wie z. B. Österreich mit einem hohen Waldpotenzial auf nicht erneuerbare Materialien wie Beton und Stahl zurück?

Eine Eigenschaft die Holz von anderen Baumaterialien, wie Stahl, Ziegel und Beton unterscheidet ist seine Brennbarkeit. In der Geschichte ist bekannt, dass oft im Brandfall ganze Städte, in denen vorwiegend Holz als Baumaterial verwendet wurde, durch Brandausbreitung vernichtet wurden. Das Holz wurde während des anschließenden Neuaufbaus durch die aufkommende Werkstoffentwicklung durch die massive Bauweise in Städten fast komplett ersetzt. Die Anforderungen an den Brandschutz und die Gewährleistung der menschlichen Sicherheit im Brandfall wurden über die Zeit im Baugesetz immer strenger und differenzierter betrachtet. Besonders durch den Bevölkerungswachstum in den Städten und dem steigendem Bedarf an mehrgeschossigen Gebäuden. Je höher gebaut wird, desto anspruchsvoller werden die Anforderungen an Sicherheit – das Schutzniveau steigt. Brennbare Materialien werden grundsätzlich für mehrgeschossige Gebäude im Baugesetz nicht zugelassen.

Aber wie verhält sich Holz im Brandfall wirklich und ist es heutzutage möglich die brandschutztechnischen Anforderungen und die Sicherheit der Menschen in der mehrgeschossigen Holzbauweise zu erfüllen?

Durch den Prozess der Photosynthese wird die Sonnenenergie in Sauerstoff und Glucose umgewandelt. Daraus bilden Pflanzen den Gerüststoff Zellulose. Diese besteht aus langkettigen Molekülen. Durch eine Wärmezufuhr von 200 °C bis 300 °C brechen die langkettigen Verbindungen auf und es entstehen kurzkettige Verbindungen, die gasförmig und brennbar sind. *Da Gas ein größeres Volumen als feste Teilchen hat, entsteht im Holz ein Überdruck und die kurzkettigen Verbindungen dringen durch die Poren an die Oberfläche.*[3]. Im Kontakt mit Sauerstoff verbrennt das Gas unter Bildung von Wasser und Kohlendioxid. Da dieser Prozess von außen nach innen verläuft, entweichen alle Gase aus der Oberschicht zu einem bestimmten Zeitpunkt und der Verkohlungseffekt setzt ein. Der Zugang von Sauerstoff zur inneren Holzmasse ist unterbrochen und die Entstehung der brennbaren Gase wird verhindert. Die so entstandene verkohlte Schicht schützt die innere Struktur und ihre Tragfähigkeit vor der Zerstörung. Die Zeit bis die Holzkonstruktion statisch versagt verlängert sich dadurch. Man sagt, dass Holz „sicher“ brennt. Das Versagen der Holzkonstruktion im Brandfall ist berechenbar. Man weiß, wie es brennt und wie man damit umgeht. Im Vergleich zu Beton- und Stahlkonstruktionen ist der Zeitpunkt des Versagens der Holzkonstruktion deutlich erhöht. Der Stahl beweist eine große statische Festigkeit, aber im Brandfall beginnt Stahl sich zu dehnen und die Festigkeit sinkt rasch *(Diagramm 1).*

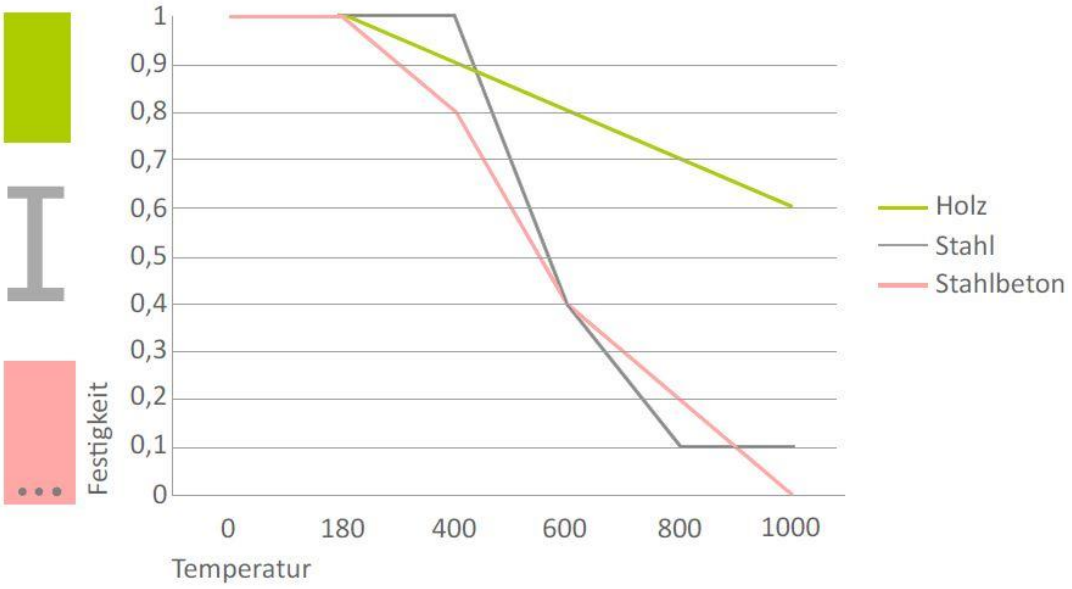


Diagramm 1: Festigkeitsabnahme unterschiedlicher Materialien bei höheren Temperaturen [1]

Holz besitzt eine Abbrandgeschwindigkeit von ca. 0,6 mm / min. Daraus lässt sich ableiten, dass die Holzkonstruktionen durch eine Überdimensionierung geschützt werden kann. Kommt es zu erhöhten Temperatureinwirkungen auf die Holzkonstruktion fungiert die entstehende Kohleschicht als Brandschutz. Aus der Sicht der konstruktiven Sicherheit kann Holz mit anderen Materialien gleichwertig betrachtet werden.

Architektur soll in erster Linie den Menschen dienen und keinen Widerspruch zwischen der architektonische Entwicklung und Sicherheit für Menschen schaffen. Im Brandfall muss das Gebäude der erhöhten Wärmeeinwirkung so lange Stand halten bis Personen- und Sachschutz gewährleistet ist sowie den Feuerwehrkräften, um ihre Arbeit zu vollrichten. Aber wie hängt die Auswahl der Konstruktion mit der Rettung und den Unfälle von Menschen in einem Brandfall zusammen?
Die Experten weisen darauf hin, dass die Elemente für Innengestaltung, wie Gardine und Tapete schon ausreichend sind für die Erzeugung der tödlichen Rauchvergiftungen in einem Brandfall. Selbst 100 g brennende Schaumwolle in einer Couch kann zur Vergiftung führen. Des Weiteren steht für die Rettung von Personen weniger Zeit zu Verfügung. Im Durchschnitt sind das vier Minuten zur Flucht. Eine Rauchvergiftung kann bereits nach zwei Minuten tödlich sein.

Wenn man die Statistik mit den Personenschäden von 1990 bis 1999 in den Wohnbauten des Kantons Zürich nach der Brandursache gruppiert, kommt man zu dem Ergebnis, dass die Bauweise und konstruktiven Materialen keinen Einfluss auf die Todesfälle im Brandfall haben *(Tabelle 7).* Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Brandopfer und der Bauweise der betroffenen Gebäude. Bevor die Konstruktion des Gebäudes zum Brandgeschehen beitragen kann, sind die Bewohner durch Erstickung um das Leben gekommen. Trotz der kontrollierten Verbrennung von Holz und der Materialunabhängigkeit der Konstruktion bei den Todesfällen im Brandfall, sind die gesetzlichen Beschränkungen für die Gebäude aus brennbaren Stoffen wie Holz sehr hoch. Die gesetzlichen Beschränkungen und die bauliche Sicherheit streben mehr zur Erhaltung der Konstruktion und der

Vermeidung von Totalschäden. Denn sollte ein Holzhaus wirklich in Brand geraten, sind Totalschäden kaum zu vermeiden.

Tabelle 7: Der Personenschaden von 1990 bis 1999 in den Wohnbauten des Kantons Zürich nach der Brandursache [3]

Datum	*Personenschäden und Brandursache*
Nov., 1991	Verbrennungen und Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
Jänn., 1992	Verbrennungen und Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
März 1992	Verbrennungen : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
Feb., 1993	Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
März, 1995	Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
Sept., 1995	Verbrennungen: Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett) - behinderte Person
Jänn., 1997	Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
Jänn., 1998	Verbrennungen: Fahrlässigkeit (Rauchen im Fauteuil) - behinderte Person
April, 1998	Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Rauchen im Bett)
Mai, 1998	Verbrennungen : Fahrlässigkeit (beim Rauchen sich selbst angezündet)
Jänn., 1992	Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (brennende Kerze) –Opfer schläft
Dez., 1994	Verbrennungen: Unfall (mit Kerzen sich selbst angezündet)
Apr., 1996	Unfall (Rauchen im Bett) - Herzversagen
Nov., 1991	Rauchgasvergiftung : Fahrlässigkeit (Beim Kochen eingeschlafen)
März., 1997	Verbrennungen: Unfall (Betrunkener stürzt auf Herdplatte))
Jänn.,1998	Unbekannt, Brand im 1.OG breitet sich ins 2. OG aus

3.1 Internationaler Vergleich

Wenn es um Holzbau geht variieren die geregelten Gebäudehöhen in der ganzen Welt. Einige Länder wie Großbritannien, Norwegen und New Zealand haben keine Höhenbegrenzungen. Die Zahl der Geschosse ist unbegrenzt. Wenn bei solchen Holzgebäuden ein Mindestmaß an Personen- und Konstruktionssicherheit gewährleistet und nachgewiesen wird, ist Holz als Baustoff mit anderen konstruktiven Materialien als gleichwertig anzusehen. Im Gegensatz zu den erwähnten Ländern, gibt es auch Länder in denen Holz als Baustoff mit optimalem Schutz nicht angesehen wird. In Russland dürfen Holzbauten maximal drei Geschosse haben. Die Regelung in Finnland ist fast ähnlich. Dort werden Holzgebäude bis vier Geschosse zugelassen. Die reduzierte Höhe liegt an der Begrenzung der Todesopferzahlen im Brandfall. Von 2002 bis 2004 gab es einen jährlichen Anstieg von 10 Opfern. Dadurch ist die Sicherheitsmaßnahme in diesem Land sehr hoch *(Abb. 6).*

In Österreich dürfen Holzgebäuden mit einem Fluchtniveau von max. 22 m bis OKF gebaut werden. Früher war die Höhe des Holzgebäudes in Österreich auf vier Geschosse begrenzt. Österreich ist nicht das einzige Land, das die Bauhöhe von Holzgebäuden geändert hat. In der Schweiz wurden 2005 die neue Brandschutznormen VKF eigeführt, mit denen die Realisierung von sechsgeschossigen Holzgebäuden möglich ist. Kurz danach, im Jahre 2006, wurde der erste Sechsgeschosser in Steinhaus fertig gestellt.

Der internationale Standpunkt bezüglich des mehrgeschossigen Holzbauens veränderte sich innerhalb einer Generation bedeutend. So wurde um 1990 in ganz Europa max. zweigeschossig mit Holz gebaut. Norwegen stellte die Ausnahme da mit viergeschossigen Holzbauten. Zehn Jahren danach, im Jahre 2000, hat fast die Hälfe der EU-Länder das Bauen aus Holz über fünf Geschosse zugelassen. Zukünftige Visionen gehen davon aus, dass der Holzbau über fünf Geschosse im Jahr 2020 möglich sein wird für den ganzen europäischen Raum. *(Abb. 7)*

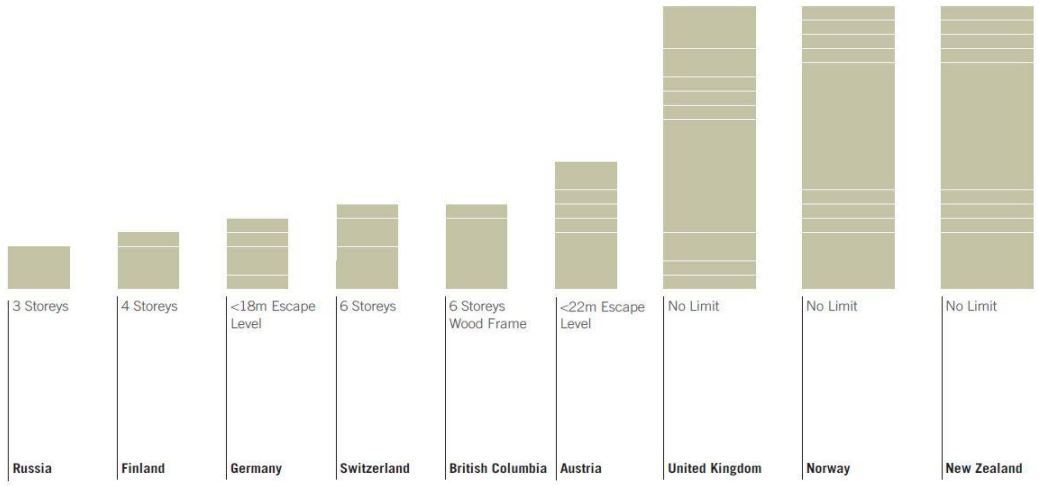


Abb. 6: Internationaler Vergleich - erlaubte Gebäudehöhe in verschiedenen Ländern, wenn die geforderte Schutzziele erfüllt sind[I3]

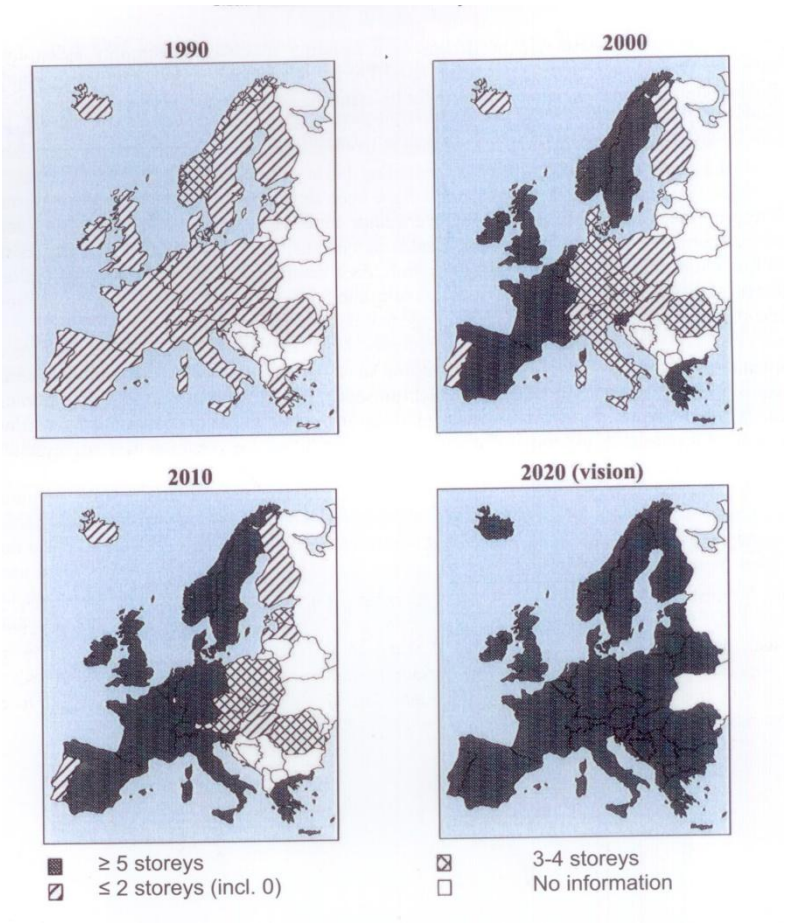


Abb.7: Veränderung der maximalen erlaubten Holzgebäudehöhe in den EU-Ländern von 1990 bis 2010 [4]

3.2 Österreich – gesetzliche Grundlage

3.2.1 Bauklassen

Die Einstufung eines Gebäudes in Gebäudeklassen richtet sich nach der Höhe und nach der Fläche eines Gebäudes [I4] In Österreich gibt es fünf Gebäudeklassen. In der Tabelle 8 sind die Klassifizierungen der Gebäude nach ihrer Höhe und Fläche dargestellt. Zu der Gebäudeklasse 5 gehören die Gebäude deren Fluchtniveau max. 22 m beträgt. Dank den OIB Richtlinien und den Sicherheitsnachweisen können in Österreich Gebäude dieser Klasse in Holzbauweise ausgeführt werden.

Tabelle 8: Gebäudeklassen 1 bis 5 [5]

Bauklassen	*Anzahl der Geschosse*	*Fluchtniveau*	*Anzahl der Wohnungen bzw. BE*	*Grundfläche (m²)*	*Besonderes*
1	≤ 3	≤ 7	1	≤ 400	freistehend
2	≤ 3	≤ 7	≤ 5	∑ ≤ 400	Reihenhaus
3	≤ 3	≤ 7	_	_	
4	≤ 4	≤ 11	1	Je ≤ 400	
5	_	≤ 22	_	_	oder unterirdisch

3.2.2 OIB-Richtlinien

Die OIB-Richtlinien stellen die Basis für Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften dar. Die Gliederung der Richtlinien wurde der Bauproduktenrichtlinie angepasst [6].

So werden die Richtlinien in sechs Gruppen eingeteilt:

Richtlinie 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit

Richtlinie 2: Brandschutz

Richtlinie 2.1 Brandschutz bei Betriebsbauten

Richtlinie 2.2 : Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks

Richtlinie 2.3 : Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 Metern

Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz

Richtlinie 4 : Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit

Richtlinie 5: Schallschutz

Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

Für dieses Projekt ist die Richtlinie 2 von Bedeutung. Da die Konstruktion des Gebäudes aus brennbarem Material besteht, sind besondere Maßnahmen und Anforderungen ans Projekt gestellt.

2007 wurde zum ersten Mal die OIB-Richtlinie veröffentlicht. Vier Jahre danach am 6.10.2011 überarbeitet und neu beschlossen. In der Richtlinie 2 „Brandschutz“ wurden bis 2011 die Anforderungen an Brandverhalten von Baustoffe durch die ÖNORM B 3806 bestimmt. In der neuen Richtlinie von 2011 sind die Anforderungen direkt in der Tabelle 1a der OIB-Richtlinie geregelt. Schon 03.05.2010 wurden in den Richtlinien die europäischen REI-Klassen als verbindlich eingeführt. In Österreich haben sich alle Bundesländer verpflichtet die OIB-Richtlinien zu übernehmen.

Ein besonderer Vorteil bei der Richtlinie 2 „Brandschutz“ ist die Möglichkeit von den darin erhaltenen Anforderungen abzuweichen, wenn die geforderten Schutzziele, die von den Richtlinien gefordert werden, erfüllt sind. Es können eigene Konzepte entwickelt werden, die den Einsatz des Holzes in Bauklasse 5 zulassen.

Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen

Im baulichen Brandschutz wird die Qualität von Baustoffen anhand ihrer Brennbarkeit bewertet. So sind die Baustoffe in verschiedenen Klassen eingeteilt in der ÖNORM EN 13501-1. Das Brandverhalten von Baustoffen wird mit A1, A2, B, C, D und E bewertet, wobei die Brennbarkeit von A1 bis E zunimmt. Für die Baustoffe von der Klasse A2 bis D werden noch zwei Eigenschaften von Baustoffe in Brandfall berücksichtigt:

- Abtropfen - d0 (ohne Abtropfen), d1 (kurzzeitig) und d2 (anhaltend);
- Rauchentwicklung - s1 (schwach), s2 (mittel), s 3 (stark).

Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile

Nicht nur Baustoffe, sondern auch einzelne Bauteile (Wände, Decke..etc.), müssen die entsprechenden Anforderungen im Brandfall erfüllen. Sie müssen eine gewisse Feuerwiderstandsdauer in Minuten nachweisen. In Abhängigkeit der Bauklassen ist die Widerstandszeit zu bestimmen. So zum Beispiel dürfen tragende Wände der Bauklasse 4 in 60 Minuten ihre tragende Funktion nicht verlieren.

Nach der ÖNORM EN 13501-2 wird Feuerwiderstand eines Bauteiles immer mit einem Buchstaben für die Bauteilfunktion und einer Zahl für die Zeitdauer definiert. Die Funktion der Bauteile wird in drei Haupteigenschaften geteilt:

- R (resistance) für Tragfähigkeit,
- E (etancheite) für Raumabschluss,
- I (isolation) für Wärmedämmung.

So z. B. muss eine Wand mit der Bezeichnung „REI 60„ im Brandfall die tragende Funktion 60 Minuten lang gewährleisten und den Raumabschluss wie auch Isolation garantieren für die Zeitdauer. Wenn eine Wand nicht tragend ist, aber eine brandabschnittbildend Funktion besitzt, dann ist diese mit EI 60 zu bezeichnen.

Neben diesen drei Bezeichnungen (R, E, I) kommen die folgenden Bezeichnungen seltener zur Anwendung:

- C für Brandschutzabschluss
- M für mechanische Einwirkungen
- S für Rauchdurchlässigkeit

Bauklasse 5

Nach der OIB-Richtlinie 2 müssen alle tragenden und trennenden Bauteile Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten haben und aus Baustoffen der Klasse A2 bestehen *(Tabelle 9/ Tabelle 10)*. Eine Ausnahme besteht in dem letzten Geschosse:

- Wenn das Gebäude aus max. sechs Geschosse besteht, können die letzten zwei Geschosse in Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten und in Holzbau ausgeführt werden. *(Abb.8)*

- Wenn das Gebäude aus 7 Geschossen besteht, müssen die ersten sechs Geschosse eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten aufweisen und das letzte Geschoss kann einen Feuerwiderstand von 60 Minuten haben.*(Abb. 9)*

:

Abb.8: Gebäude der Bauklasse 5 (7 Geschosse) [6]

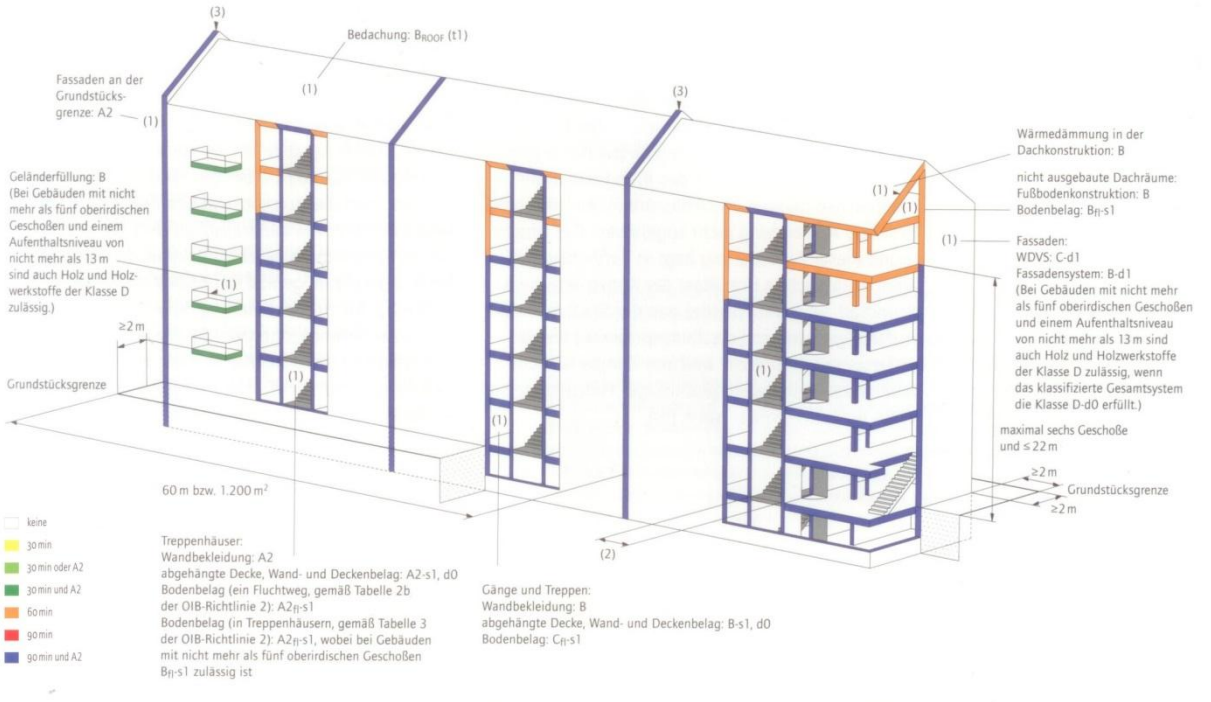


Abb. 9: Gebäude der Bauklasse 5 (6 Geschosse) [6]

Theoretisch dürfte man nach der OIB-Richtlinie 2 kein Holz für tragende und trennende Elemente verwenden, da für Bauteile mit einer Feuerwiderstanddauer von 90 min. die Baustoffklassen A2 notwendig wäre. Da die OIB-Richtlinien Abweichungen zulassen, können Konzepte entwickelt werden, die eine gleichwertige Sicherheit im Holzbau belegen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes, das von der Stadt Wien in Auftrag gegeben wurde, wurde untersucht mit welchen Kompensationsmaßnahmen ein 7-geschossiges Gebäude realisiert werden kann. Für das Beispiel eines fiktiven Gebäudes im Stadtraum wurden zwei Kompensationsmaßnahmen erarbeitet. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Sicherheitsmaßnahmen eines Holzhauses den Anforderungen der Richtlinien entsprechen. Mit Absprache der Baubehörde und den entsprechenden Nachweisen sind zwei Möglichkeiten für die Realisierung eines 7-geschossigen Holzhauses relevant:

	GK 5
1. Fassaden	
1.1 Außenwand- Wärmedämmverbundsystem(16)	C–d1
1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete(16)	
1.2.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	B–d1(2)
1.2.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
➢ Außenschicht	A2-d1(4)
➢ Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	C/A2
➢ Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	B(4)
1.3 Sonstige Außenwandbekleidungen oder –beläge(16)	B-d1(6)
1.4 Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	B(6)
2. Gänge und Treppen jeweils außerhalb von Wohnungen: Bekleidung und Beläge sowie angehängte Decken	
2.1 Wandbekleidung(7)	
2.1.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	B
2.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
➢ Außenschicht	B
➢ Unterkonstruktion	A2(5)

➢ Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
2.2 Abgehängte Decken	B-s1, d0
2.3 Wand und Deckenbeläge	B-s1, d0
2.4 Bodenbeläge	C_{fl}–s1
3. Treppenhäuser: Bekleidung und Beläge sowie abgehängte Decken	
3.1 Wandbekleidung(7)	
3.1.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder	A2
3.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten	
➢ Außenschicht	A2
➢ Unterkonstruktion	A2(5)
➢ Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
3.2 Abgehängte Decken	A2-s1, d0
3.3 Wand und Deckenbeläge	A2-s1, d0
3.4 Bodenbeläge	
3.4.1 in Treppenhäusern im Verlauf des einzigen Fluchtwegs	$A2_{fl}$–s1
3.4.2 in Treppenhäusern im Verlauf von mehreren Fluchtwegen	$A2_{fl}$–s1(9)
4. Dächer mit einer ≤ 60 Grad	
4.1 Bedachung (Gesamtsystem)(10)	B_{ROOF}(t1)(11)
4.2 Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dachkonstruktion	B(13)(14)
5. Nicht ausgebaute Dachräume: Fußbodenkonstruktion und Beläge	
5.1 Fußbodenkonstruktion (Bekleidung)	
5.1.1 Klassifiziertes Gesamtsystem oder Einzelsystem	B
Klassifizierte Einzelkomponenten	
➢ Außenschicht	B
➢ Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	B(13)
5.2 Bodenbeläge	B_{fl}-s1

Tabelle 9: Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffe (Bauklasse 5) [6]

(2) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind auch Holz und Holzwerkstoffe der Klasse D zulässig, wenn das klassifizierte Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt.

(4) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig; bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig.

(5) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig.

(6) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig.

(7) Fehlen in Gängen und Treppenhäusern Wand- bzw. Deckenbeläge, gelten für die Bekleidung (als Gesamtsystem) bzw. die Außenschicht der Bekleidung die Anforderungen für Wand- bzw. Deckenbeläge gemäß Zeile 2.3 bzw. 3.3.

(9) Bei nicht mehr als fünf oberirdischen Geschoßen genügt B_{fl}-s1.

(10) Sofern bei Dächern mit einer Neigung <20° eine oberste Schicht mit 5 cm Kies oder Gleichwertigem vorhanden ist, ist auch eine Eindeckung der Klasse E ausreichend.

(11) Bei Dächern mit einer Neigung ≥20° müssen Eindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe der Klasse D zulässig.

(13) Es sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E bei Dächern mit einer Neigung <20° bzw. auf der obersten Geschoßdecke zulässig, sofern diese in A2 hergestellt sind und die gemäß Tabelle 3 erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch hinsichtlich der Leistungseigenschaften E und I erfüllt wird.

(14) Bei Aufbringen von 5 cm Estrich oder gleichwertigen Baustoffen bzw. Verwendung von Steinwolle als überwiegendem Teil der Dämmung können auch bei Dächern in Holzbauweise als Gesamtdämmung bzw. als Gefälledämmung EPS, XPS und PUR der Klasse E eingesetzt werden.

(16) Bei Außenwand-Wärmedämmverbundsystemen, vorgehängten hinterlüfteten, belüfteten oder nicht hinterlüfteten Fassadensystemen und sonstigen Außenwandbekleidungen oder -belägen bei Gebäuden der GK 4 und 5 ist ein positiver Nachweis nach ÖNORM B 3800-5 bzw. eine nachweisfreie Ausführung nach ÖNORM B 3806 erforderlich.

Tabelle 10 : Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile 1 [6]

	Gebäudeklassen (GK)	GK 1 (1)	GK 2 (1)	GK 5
1	**Tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)**			
1.1	im obersten Geschoß	–	R 30	R 60 (2)
1.2	in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 30 (3)	R 30	R 90 und A2
1.3	in unterirdischen Geschoßen	R 60	R 60	R 90 und A2
2	**Trennwände (ausgenommen Wände und Treppenhäuser)**			
2.1	im obersten Geschoß	nicht zutreffend	REI 30, EI 30	REI 60 (2), EI 60 (2)
2.2	in oberirdischen Geschoßen	nicht zutreffend	REI 30, EI 30	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.3	in unterirdischen Geschoßen	nicht zutreffend	REI 60, EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.4	zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend	REI 60, EI 60	nicht zutreffend
3	**Brandabschnittsbildende Wände und Decken**			
3.1	Brandabschnittsbildende Wände an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 EI 60	REI 90 (4) EI 90 (4)	REI 90 und A2 EI 90 und A2
3.2	Sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	nicht zutreffend	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
4	**Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤60°**			
4.1	Decken über dem obersten Geschoß	–	R 30	R 60 (2)
4.2	Trenndecken über dem obersten Geschoß	–	REI 30	REI 60 (2)
4.3	Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	–	REI 30	REI 90 und A2
4.4	Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30 (3)	R 30	R 90 (2) und A2
4.5	Decken über unterirdischen Geschoßen	R 60	REI 60 (5)	REI 90 und A2
5	**Balkonplatten**	–	–	R 30 und A2

(1) Sofern das Fluchtniveau nicht mehr als 11 m beträgt und jede Wohnung bzw. Betriebseinheit in jedem Geschoß zumindest an einer Stelle über geeignete Öffnungen in der Fassade erreichbar ist und nicht mehr als 7 m über dem angrenzenden Gelände liegt, (a) haben Gebäude der GK 1, die lediglich aufgrund der Hanglage in die GK 4 fallen, hinsichtlich des Brandverhaltens nur die Anforderungen für die GK 2 zu erfüllen, (b) haben Gebäude der GK 2 oder 3, die lediglich aufgrund der Hanglage in die GK 4 fallen, hinsichtlich des Brandverhaltens nur die Anforderungen für die GK 2 oder 3 zu erfüllen.

(2) Bei Gebäuden mit nicht mehr als sechs oberirdischen Geschoßen genügt für die beiden obersten Geschoße die Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten ohne A2.

(3) Nicht erforderlich bei Gebäuden, die nur Wohnzwecken oder der Büronutzung bzw. büroähnlichen Nutzung dienen.

(4) Bei Reihenhäusern genügt für die Wände zwischen den Wohnungen bzw. Betriebseinheiten auch an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze eine Ausführung in der Feuerwiderstandsklasse von REI 60 bzw. EI 60.

Tabelle 11 : Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile 2 [6]

	Gegenstand	GK 2 (1)	GK 4	GK 5
1	**Wände von Treppenhäusern**			
1.1	in oberirdischen Geschoßen (2)	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2
1.2	in unterirdischen Geschoßen	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2	**Decke über dem Treppenhaus** (3)	REI 30	REI 60	REI 90 und A2
3	**Türen in Wänden von Treppenhäusern**			
3.1	zu Wohnungen	-	EI_2 30	EI_2 30
3.2	zu Betriebseinheiten	EI_2 30	EI_2 30-C	EI_2 30-C
3.3	zu Gängen in oberirdischen Geschoßen (4)	-	E 30-C	E 30-C
3.4	zu Gängen und Räumen in unterirdischen Geschoßen	EI_2 30	EI_2 30-C	EI_2 30-C
4	**Treppenläufe und Podeste**			
4.1	in Treppenhäusern	R 30	R 60	R 90 und A2
4.2	in Treppenhäusern, in die ausschließlich Türen in E 30-C bzw. EI_2 30-C führen	-	A2	R 30 und A2
5	**Rauchabzugseinrichtung**			
5.1	Lage	-	an der obersten Stelle des Treppenhauses	
5.2	Große	-	geometrisch freier Querschnitt von 1 m²	
5.3	Auslöseeinrichtung	-	in der Angriffsebene der Feuerwehr sowie beim obersten Podest des Treppenhauses mit Zugängen zu Aufenthaltsräumen; unabhängig vom öffentlichen Stromnetz	in der Angriffsebene der Feuerwehr sowie beim obersten Podest des Treppenhauses mit Zugängen zu Aufenthaltsräumen; unabhängig vom öffentlichen Stromnetz und über ein rauchempfindliches Element an der Decke
6	**Außentreppen**	-	A2 und im Brandfall keine Beeinträchtigung durch Flammeneinwirkung und gefahrbringende Strahlungswärme	

(1) Gilt nicht für Reihenhäuser sowie Gebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen.
(2) Anforderungen an den Feuerwiderstand sind nicht erforderlich für Außenwände von Treppenhäusern, die aus Baustoffen A2 bestehen und die durch andere an diese Außenwände anschließende Gebäudeteile im Brandfall nicht gefährdet werden können.
(3) Von den Anforderungen kann abgewichen werden, wenn eine Brandübertragung von den angrenzenden Bauwerksteilen auf das Treppenhaus durch geeignete Maßnahmen verhindert wird.
(4) Für die Türen umgebende Glasflächen mit einer Fläche von nicht mehr als dem Dreifachen der Türblattfläche genügt EI 30.

(1) Bauliche Maßnahmen

Bei dieser Untersuchung wurde die Holzkonstruktion mit mineralischen (A2) Baustoffen gekapselt und im Brandfall die äquivalente Zeitdauer nach der ÖNORM 1991-1-2 bestimmt. Wenn die Branddauer unter dem Kapselkriterium liegt, ist eine Entzündung der Holzkonstruktion ausgeschlossen.

Für das untersuchte Objekt ergab sich bei konservativen Annahmen eine maximale äquivalente Branddauer von 27 Minuten. Das bedeuten, dass mit Hilfe einer 30- minütigen Kapselung (Baustoffklasse A2) die Holzkonstruktion nicht zur Brandlast akkumuliert werden könnte. Die Ergebnisse entsprachen auch internationalen Anforderungen. *(Abb. 10)*

(2) Anlagentechnische Maßnahmen

Die zweite Option, mit der die Sicherheitsziele gewährleisten werden können, ist die Anwendung einer Löschanlage (z.B.Sprinklern). Mit der Anlage können Entstehungsbrände eingedämmt bzw. gelöscht werden. Dadurch hat die immobile Brandlast der Konstruktion keinen Einfluss auf den Brandverlauf. *(Abb.11)*

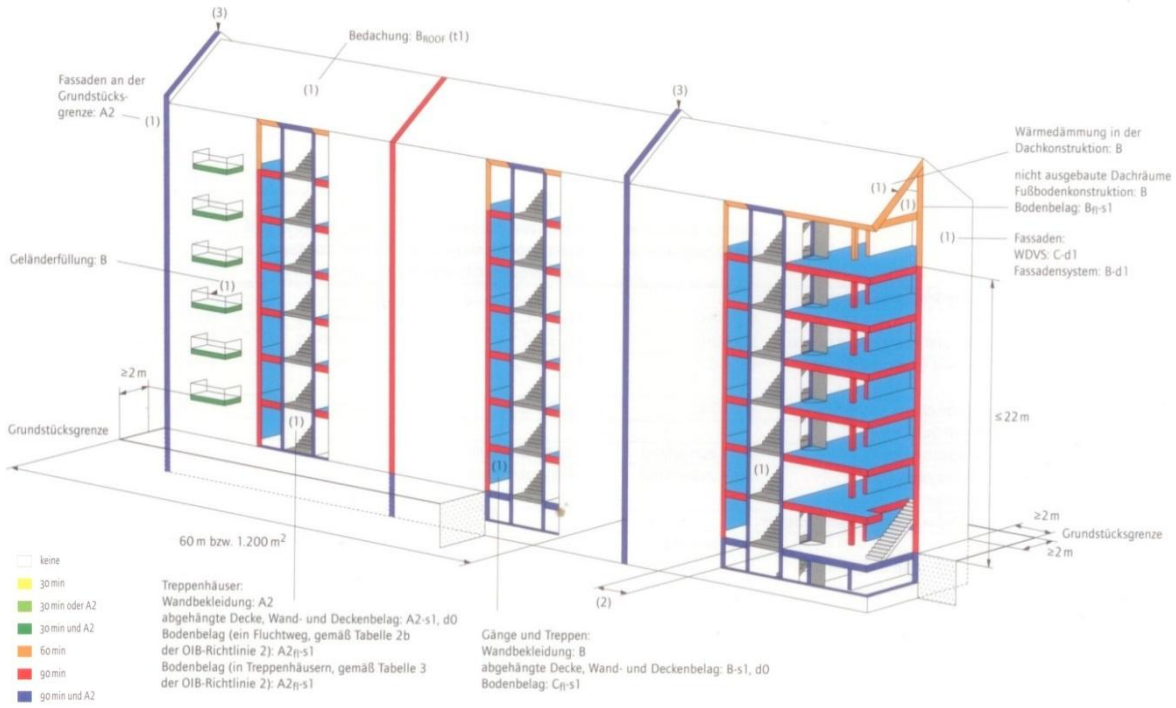


Abb.10: Gebäudeklasse 5 (Brandschutzkonzept/bauliche Maßnahmen) [6]

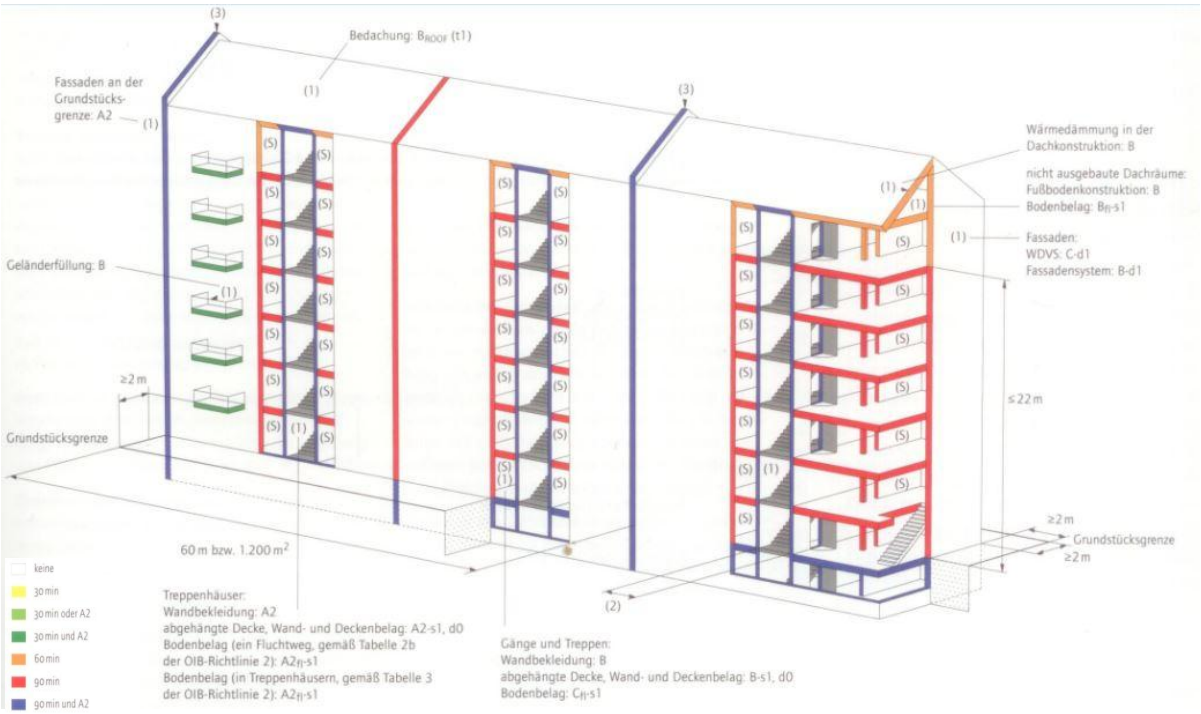
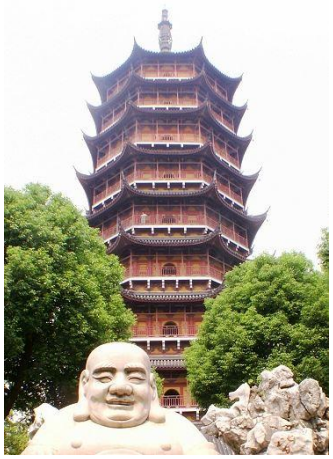


Abb.11: Gebäudeklasse 5 (Brandschutzkonzept/anlagentechnische Maßnahmen) [6]

4.1. historische Beispiele

Mit Holz mehrgeschossig zu bauen, ist keine neue Idee. Schon im 12. Jhd. haben die Menschen Holzhochbauten geschaffen (z. B. Pagode in China 75 m hoch). Einige von ihnen stehen noch heute. Im Folgenden werden einige von ihnen dargestellt:

Abbildung der Bauwerke	Kurze Beschreibung
 Abb.12: Der Possenturm [I5]	• 42,18 m hoch • 1791 in 11 Monaten errichtet • Fachwerkbauweise • Steht auf Haussteinsockel • 214 Stufen • In Thüringen, Deutschland
 Abb. 13 : Stabkirche Barsana Monastery [I6]	• 56 m hoch • 1720 errichtet • In Maramures, Rumänien

 Abb.14: Nordtempel Pagode [I7]	• 75 m hoch • Zur Zeit der Südlichen Song-Dynastie errichtet (1127-1279) • In China • achteckiger Turm • Nach Brand (1570) zur Zeit des KANGXI-Kaisers (reg. 1661-1722) erneuert
 Abb.15: Stabkirche Sapanta [I6]	• 78 m hoch • 2006 bis 2007 errichtet • In Muramures, Rumänien
 Abb.16: Der Hōryū-ji-Tempel [I8]	• fünfstöckige Pagode (Tō) • 31,5 m hoch • in der Asuka-Zeit erbaut (603-1603) • In Ikaruga, Japan • buddhistischer Tempel • Ältestes erhaltene Holzgebäude und älteste fünfstöckige Pagode in Japan

4.2 Moderne Beispiele

4.2.1 Berlin, Wohnhaus Esmarchstrasse

Abb. 17: Wohnhaus Esmarchstrasse [I9]

Das Wohnhaus im Berliner Stadtteil Prenzlauerberg ist sicher einer der hervorragendsten Projekten aus den letzten Jahren. Es ist das erste siebengeschossige Holzgebäude in urbanem Kontext in Mitteleuropa. Es handelt sich um ein Wohnhaus in Holzbauweise, das mitten in Berlin in einer Baulücke in nur 10 Monate fertig gestellt wurde. Das Haus bietet Raum für sechs Wohnungen, verteilt auf sechs Geschosse und eine Gewerbe Einheit mit einer Nutzfläche von 105 m² bis 148 m².

Die Tragende Konstruktion ist ein Holzfachwerk aus massivem Brettschichtholz, das in Fassadenebene angeordnet ist. Die zwei Haustechnikschächte aus Stahlbeton, die sich in der Mitte des Kubus befinden, sind die einzigen Vorgaben für die Einteilung der Grundrisse. Sie haben gleichzeitig eine tragende und eine aussteifende Funktion. Dadurch bleiben die Wohnungen flexibel und stützenfrei. Die Aussteifung für die Fassadenwände erfolgt über Windverbände aus Massivholz. Die Geschossdecken aus Brettschichtholz sind mit Aufbeton versehen.

Gemäß der Berliner Bauordnung dürfen Gebäude aus Holz (als tragenden Baumaterial) aus Brandschutzsicherheit höchsten fünf-geschossig gebaut werden. Die oberste Geschossdecke darf maximal in 13 m Höhe liegen.

Trotz der Berliner Bauordnung ist den Architekten Kaden und Klingbeil gelungen, ein Brandschutzkonzept zu entwickeln, bei dem das Sicherheitsniveau des Holzhauses mit einem Gebäude in Massivbauweise vergleichbar ist. Dank der separaten Erschließung konnte der Entwurf realisiert werden.

Das offene Treppenhaus bildet einen eigenständigen Baukörper, der von den Wohnungen abgerückt ist. Es steht an der Brandwand zum Nachbargebäude. Das Treppenhaus ist mit den Wohnungen durch schmale Stege verbunden. Auf diese Art bleibt der Fluchtweg im Brandfall sicher und rauchfrei. Der Abstand zwischen dem Treppenhaus und der Wohnkörper bietet eine dritte Fassade zur Belichtung der Wohnungen.

Aufgrund der Brandschutzanforderungen sind die Wände und Stützen mit Gipsfaserplatten gekapselt. Die Untersicht der Geschossdecke aus Brettstapelholz bleibt sichtbar ohne Kapselung der Holzkonstruktion.

Um den Energieverbrauchsstandard des Hauses zu verbessern (Jahres-Primärenergiebedarf Qp darf 40 kWh/m² Nutzfläche nicht übersteigen) und Brandschutzauflagen zu erfüllen, wurde ein Wärmedämmverbundsystem WLG 040 von 10 cm Stärke aufgebracht. Die Balkonterrassen sind mit einer Dämmung von 16 cm und das Flachdach mit 20 cm isoliert. Die Fenster sind mit Wärmeschutzglas versehen mit einem Ug-Wert von 0,9 W/m²K.

Abb. 18: Trennung der Stützen durch Stahlelemente [I10]

Die Terrassen – und das ist auch für die Baugruppe ein Experiment – liegen direkt vor den einzelnen Wohnungen, stehen aber als Gemeinschaftseigentum allen Bewohnern offen.
Links die Untersicht der Holzverbunddecke.

Schnitt durch Wand und Decke im Maßstab 1:10

1 Riegel 36/28 cm
2 Dickholzwand 210 mm
3 Fermacell 12,5 mm
4 Steinwolle 100 mm
5 Mineralischer Putz
6 Windverband
7 Fermacell 18 mm
8 Brettstapeldecke 160
9 Beton 100 mm
10 Fußbodenheizung
11 Zementestrich 45 mm
12 Parkett 18 mm

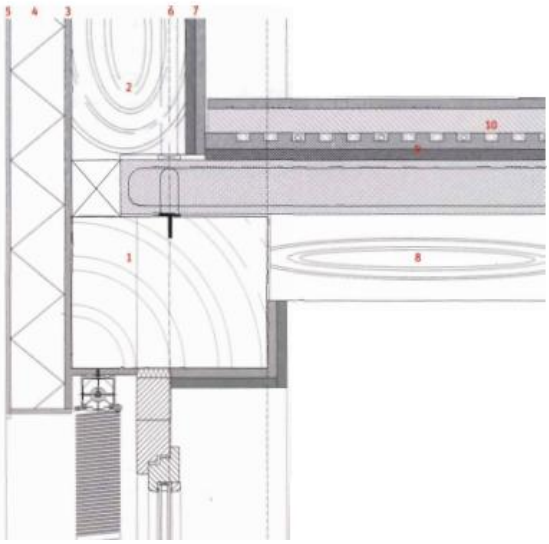


Abb. 19: Schnitt durch Wand und Decke [I11]

Abb. 20: 2. Obergeschoss[I11]

4.2.2 London, Murray Grove Tower

Abb.21: Murray Gove Tower [I12]

2008 wurde in London das höchste Massivholzgebäude Europas gebaut. Das Architektenbüro „Waugh Thistleton Architects„ plante das 9-geschossige, freistehende Wohnhaus aus Holz im Londoner Stadtteil Hackney. Das nur in 9 Wochen fertiggestellt wurde. Die Architekten wollten etwas Neues und gleichzeitig Umweltbewusstes planen.

Das Gebäude hat einen quadratischen Grundriss mit 17,5 m Seitenlänge und steht auf einem Eckgrundstück. Die Höhe des Wohnhauses beträgt 29,75 m. Nach britischem Baurecht sind für die Gebäude bis 30 m zwei Fluchtwege erforderlich. Aus dem Grund planten die Architekten absichtlich das Gebäude kleiner als 30 m und errichteten zwei zentral gelegene Treppenhäuser mit Aufzugschächten.

Das Gebäude wurde mit Brettsperrholz gebaut. Die Ausnahme ist das Erdgeschoss, das in Stahlbeton ausgeführt wurde. Die zahlreichen längs und quer angeordnete Wandscheiben sorgen für die vertikale Aussteifung. Die Deckenelemente von 2,4 m Breite und 13,5 m Länge (max. Transportmaße) übernehmen die Funktion der horizontalen Aussteifung. Die tragenden Holzplatten sind nach dem Prinzip „Decke-Wand-Decke“ befestigt. Bei der Montage wurden zuerst die Decken an die Wände in einer Höhe von 2,7 m befestigt. Danach wurde die zweite Wand darauf montiert. Es ist bemerkungswert wie dünn die tragenden Wände aus Brettsperrholzplatten ausgeführt sind. Die Stärke von den lastabtragenden Wänden beträgt nur 12,8 cm. Für das Treppenhaus und die Schächte wurde nur noch eine Plattenstärke von 11,7 cm benötigt. Die größte Elementdicke wurde für die Decken eingesetzt und beträgt 14,6 cm.

Im Gegensatz zu den anderen Holzhäusern bei denen die Fluchtwege in nichtbrennbaren Materialien ausgeführt sind, werden beim Murray Tower die Treppen- und Aufzugskerne aus Brettsperrholz gebaut.

Wände und Podeste des Treppenhauses sind aus Holz gebaut. Die Treppenläufe sind eine Ausnahme. Sie wurden auf der Baustelle als Stahlhohlformen montiert und mit Beton gefüllt.

In Großbritannien ist der Einsatz von Holz in öffentlichen Zugangsbereichen wie Treppenhäuser erlaubt. Da die zwei Treppenhäuser vom Tower die einzige Fluchtwege sind, mussten sie eine Feuerwiderstandsklasse von F120 erreichen. Die Wände vom Treppenhaus wurden mit Gipskartonplatten beplankt, während die Innenseite der Aufzugschächte nur mit einem Brandschutzanstrich gesichert wurde.

Die Wände und die Decken wurden mit Gipskartonplatten gekapselt .Unter der Decke wurde die Beplankung in Form von abgehängten Decken ausgeführt. Der Bodenaufbau bestand aus Zementestrich mit einer Stärke von 5 cm, der auf der Trittschalldämmung von 2,5 cm gelegt wurde. Dadurch wurden gleichzeitig Brandschutz- und Schallschutzanforderungen erfüllt.

Das Gebäude verfügt über eine hinterlüftete Fassade aus Eternitplatten und darunter 7 cm dicke Wärmedämmung aus Polyurethanschaum. Das ganze weist ein U-Wert von 0,3 W/m²K.

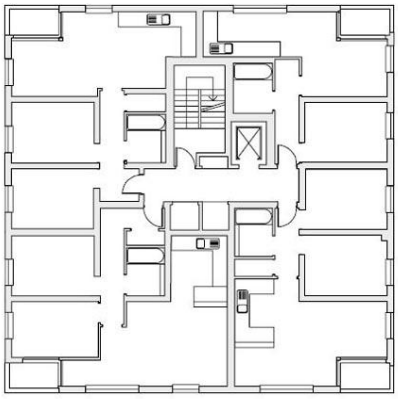
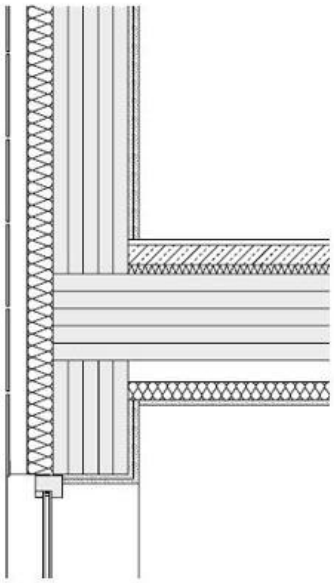


Abb. 22: 2. Obergeschoss [I13]



Wandaufbau
Faserzementplatten
Hinterlüftung 50 mm
Wärmedämmung 70 mm
Brettsperrholz 128 mm
Gipskartonplatten 2 Lagen

Bodenaufbau
Bodenbelag 15 mm
Estrich 55 mm
Trittschalldämmung 25 mm
Gummimatte
Brettsperrholz 146 mm
Abhängekonstruktion:
Lufthohlraum 75 mm
Mineralwolle 50 mm
Gipskartonplatte

Abb. 23: Fassadenschnitt [I13]

4.2.3 Bad Aibling, Wohn- und Bürogebäude

Abb 24: Bad Aibling, Wohn- und Bürogebäude [I14]

Seit dem Sommer 2011 steht in Bad Aibling das höchste Holzhaus Deutschlands. Das 8-geschossige Wohn- und Bürogebäude ist nicht nur ein Beispiel für die Möglichkeit des Holzes als Baumaterial, sonder auch ein Beispiel für einen hohen Vorfertigkeitsgrad. Das ganze Haus wurde in nur 16 Tagen errichtet.

Die tragenden Wände bestehen aus Vollholzquerschnitten (von 8 cm bis 12 cm), die mit einem Rähm oben verbunden sind und dicht nebeneinander auf einer Schwelle stehen. Die Vollholzstiele sind von beiden Seiten mit Gipskartonplatten beplankt. Außenliegende Mineralwolledämmung sorgt für entsprechenden Wärme- und Brandschutz. Das Ziel war es die Oberfläche des Gebäudes sowohl innen als auch außen in Holz ausführen. Deshalb wurde die Fassade mit Holz geplant. Ab dem ersten Geschoss besteht die Fassade aus Nut– und Feder-Schalung, die auf eine horizontale Traglattung befestigt wurde. Bei einer geschlossenen Fassade, wie Nut- und Feder-Schalung entwickelt sich Brand deutlich langsamer als bei einer Fassade, die offene Strukturen hat. Da es sich um keine hinterlüftete Fassade handelt und eine Steinwolledämmung darunter liegt, ist eine Brandverteilung über einen Belüftungsspalt ausgeschlossen. Eine zusätzliche Brandschutzmaßnahme ist die Abschottung der Fassade. Geschossweise ist die hölzerne Fassade mit dem Stahlwinkel, der drei Zentimeter aus der Fassade auskragt, getrennt, was eine Brandweiterleitung verhindert. Die Wände wurden als Fertigteilelemente, d. h. Das Vollholz, Holzschalung, Wärmedämmung und die eingebauten Fenster auf die Baustelle geliefert wurden. Das oberste Geschoss ist in Brettsperrholz ausgeführt. Dies war der Wunsch der Bauherren die innere Oberfläche aus Holz sichtbar zu lassen. Die Decken bestehen aus 20 cm dicken Brettsperrholzplatten. Diese sind mit einer Schüttung überdeckt und von unten mit Gipsplatten beplankt. Um die Verteilung des Rauchs im Brandfall in den oberen Geschossen zu verhindern, wurde zwischen den Brettsperrholzplatten und des Estrichaufbaus Kunststofffolien eingezogen und rauchdicht ausgebildet. Im Wohnbereich wurde auf Beplankung verzichtet, um die Holzoberfläche sichtbar zu lassen.

Um Brandschutzanforderungen zu erfüllen, ist das Treppenhaus (gleichzeitig Fluchtweg) aus Fertigbeton gebaut. Es dient als größere Sicherheit im Brandfall und gleichzeitig steift es das Gebäude aus. Die Wohnungen sind über Laubengänge aus Stahlbeton erschlossen, was das Verrauchen im Brandfall verhindert. Die äußere Erschließung diente als Kompensation dafür, dass in den Innenraum einige Decken und Wände unbekleidet blieben. Für die Hochhäuser

sind zwei Rettungswege erforderlich. Für den Fall haben die Architekten eine gute Lösung gefunden und haben es geschafft, das Gebäude nur mit einem Stiegenhaus zu versorgen. Nach dem Baugesetzt kann der zweite Rettungsweg für die Gebäudeklasse 5 über die Fassade in Verbindung mit Rettungsgeräten der Feuerwehr realisiert werden. Die Rettung im Brandfall ist über die Fenster geplant. Bis zum dritten Geschoss werden Steckleitern verwendet und ab dem vierten Geschoss Drehleitern. Die Balkone dürfen im Brandfall nicht betreten werden, da sie aus Holz und Stahl gebaut sind.

Um Energiebewusst zu bauen verfügt das Gebäude über eine dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Abb. 25: Vorgefertigte Wandelemente [I15]

Abb. 26: Betonkern [I16]

Abb. 27: Wandaufbau [I17]

4.2.4 Wien, Wohnhaus Wagramerstrasse

Abb. 28: Wohnhaus Wagramerstrasse [I18]

Ende 2009 fand ein Bauträgerwettbewerb mit dem Thema „Holzbau in der Stadt„ statt. Ziel war es die innovative Entwicklung eines mehrgeschossigen Gebäudes im urbanen Raum mit dem ökologischen Werkstoff Holz. Als Sieger für das Grundstück auf der Wagramerstrasse wurde das Büro „Schluder Architektur“ erklärt. Das Projekt besteht aus zwei Gebäudegruppen: direkt auf der Strasse befindet sich ein 7-geschossiger und hinten dem drei dreigeschossige Baukörper.

Nach der Bauordnung in Wien muss das Erdgeschoss in Stahlbeton ausgeführt werden für Gebäude die 5. Die restlichen sechs Geschosse sind in Brettsperrholz gebaut. Die Erschließungskerne sind aus Brandschutzsicherheit und Aussteifung aus Stahlbeton. Alle Wände (Außen- und Trennwände) sind in Brettsperrholz geplant. Bei den Decken kommen Brettsperrholz–Beton-Verbund-Elemente zum Einsatz. Die Decke über dem Dachgeschoss ist eine reine Massivholzdecke.

Um die Bauschutzanforderungen zu erfüllen, wurde die gesamte Holzkonstruktion mit Gipskartonplatten gekapselt. Die Außenwände sind von außen mit mineralischer Dämmung verkleidet.

Abb. 29: Betonkerne und Holz [I18]

4.2.5 Vorarlberg, Life Cycle Tower ONE

Abb. 30: Life Cycle Tower ONE [I19]

Das Forschungsprojekt „LifeCycle Tower“ ist entstanden aufgrund weltweit ändernder Rahmenbedingungen wie knappe Ressourcen, urbanes Wachstum, CO2-Ausstoß…ect. Das Konzept der Forschung ist die Entwicklung des Bausystems für Holzgebäude bis 100 m Höhe (30 Stockwerke). Die wesentlichen Ziele sind großvolumiger Bau, Ressourceneffizienz und Systembau. Jahrelang hat sich ein internationales Expertenteam unter Leitung der Cree Gmbh mit dem Problem auseinandergesetzt. Die Experten aus allen entscheidenden Bereichen der Bauwirtschaft wie z. B. Architektur, Statik, Bauphysik, Gebäudetechnik, Marketing und Prozessmanagement haben am Projekt teilgenommen. Als Prototyp der Forschung wurde 2012 ein 8-geschossigers Bürogebäude, der so genannte „LifeCycle Tower One„ in Dornbirn (Vorarlberg) gebaut. Das Konzept basiert auf der Forschung des LCT.

Im Gegensatz zu den anderen erwähnten Holzprojekten ist der LCT One in Skelettkonstruktion ausgeführt und die Holzoberflächen der tragenden Holzkonstruktion sind nicht gekapselt. Dank dem gut ausgearbeiteten Brandschutz- und Tragwerkkonzept konnten die Ziele realisiert werden.

Das Gebäude hat einen Grundriss von 13 m x 24 m und eine Höhe von 27 m. Durch den massiven Betonkern wurden innerhalb, neben dem Stiegenhaus und dem Lift, der Fluchtweg und die Aussteifung für die Holzskelettkonstruktion geschaffen. Die restliche Skelettkonstruktion wurde aus Holz als Doppelstütze ausgeführt und pro Geschoss getrennt. Es wurde das System „Stütze-Decke-Stütze„ wurde verwendet.

Entscheiden für das Projekt war die Holz-Beton-Decke. Durch ihren Einsatz, konnte das Hochhaus gebaut werden. Der nicht brennbare Beton, kann im Brandfall die Brandausbreitung in die anderen Geschosse verhindern. In der Stahlschalung von 8,1 m Länge und 2,7 m Breite (Dimensionen von Deckenelemente) wurden Holzbalken eingelegt und die Abstände dazwischen geschalt. Im Vergussverfahren wurden diese dann betoniert. Die Dicke der Betonlage misst nur 8 cm, was eine große Effizient aufweist. Durch die dünne Betonschicht wurde an Fassadefläche gespart. Da der Herstellungsprozess nicht direkt auf der Baustelle stattfand, konnte die Montagezeit minimiert werden. Für die Montage eines Deckenelements (8,1 m x 2,7 m) wurden nur fünf Minuten benötigt. Die Leimbinder und Betondecke wurden mit Schrauben und Schubkernen verbunden. Am Rand der Betondecke

wurden Sturzträger angebracht, die zur Weiterleitung von Kräften aus den Fassadenstützen beitragen.

Das Hirnholz der Doppelstützen steht direkt auf dem Beton. Der verbindende Dorn wird auf der Baustelle im das Fertigteil eingegossen. Diese Sturzträger ermöglichen die notwendige brandschutztechnische, geschoßweise Trennung der Konstruktion in der Stützenebene und die Einleitung der Lasten aus der Decke in die Stützen, ohne ein Holzbauteil quer zur Faser zu belasten. Dem Kräfteverlauf folgend, werden die Stützen entsprechend den tatsächlichen statischen Erfordernissen konfektioniert. Die Installationsmodule, wie Lüftung, Elektrik, Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Sprinkler wurden zwischen den Leimbindern gelegt. Die Module wurden vorgefertigt und auf der Baustelle montiert. Durch die Platzierung der Installationen auf der Decke wurde eine Flexibilität der Grundrisse geschaffen. Die Fassade wurde aus Recyclingmetall gewonnen. Die Aluminiumpaneele umhüllen die Holzkonstruktion.

Abb. 31:Doppelstütze [I20]

Abb. 32: Vorgefertigte Holz-Beton- Deckenelemente [I21]

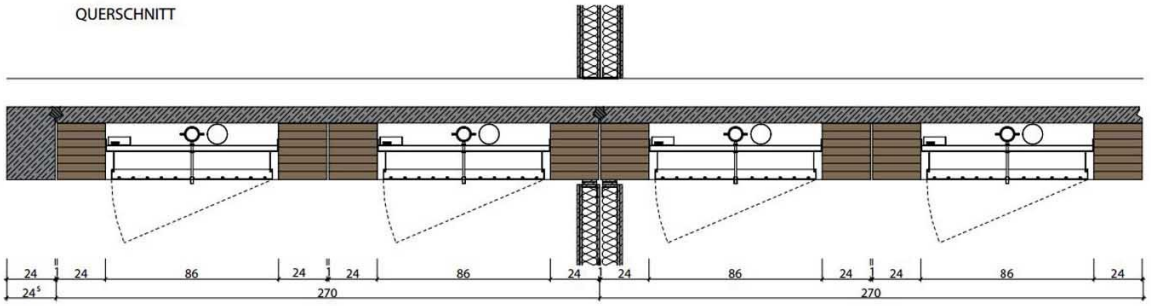


Abb. 33: Deckenschnitt mit Installation [I22]

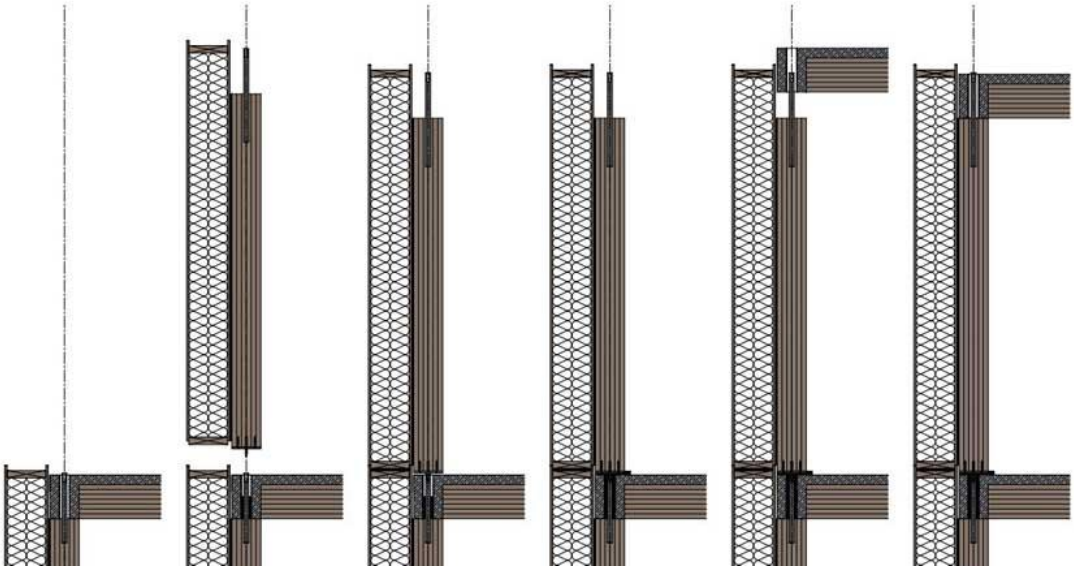


Abb. 34 : Montageablauf [I22]

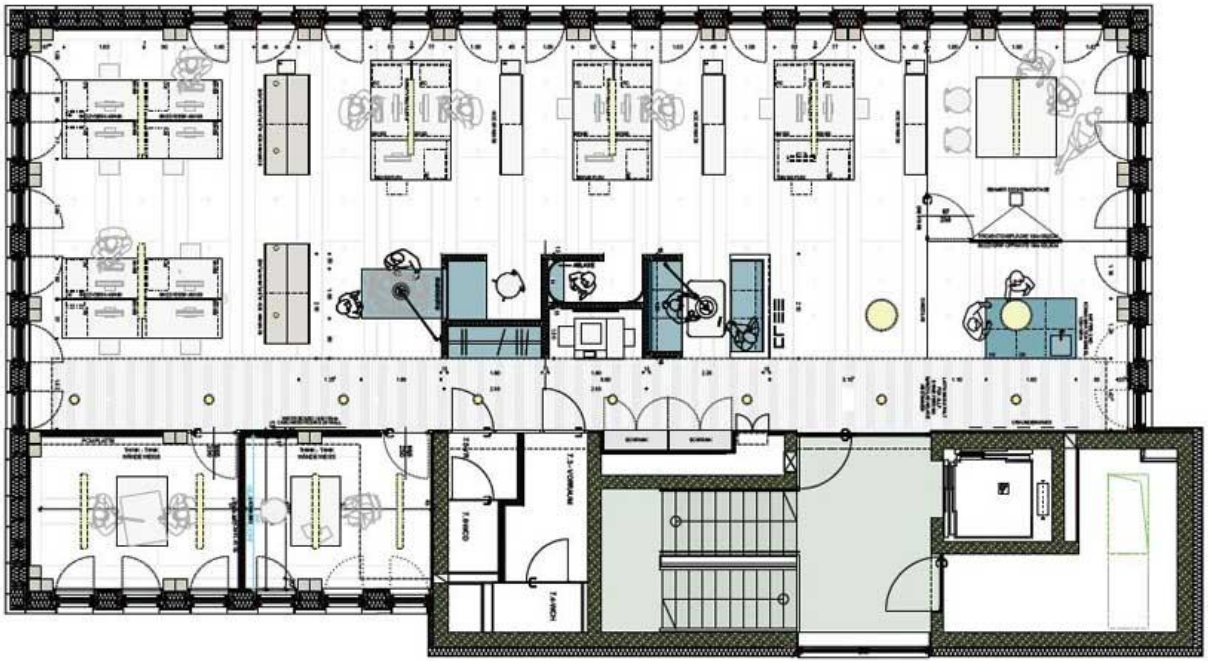


Abb. 35: Grundriss: Büro [I23]

5.1 Entwurfsziele

Auf der Grundlage der bisherigen Recherche und den erwähnten Problematiken wie der rasche Bevölkerungszuwachs, die Verschwendung der Rohstoffe und die steigende CO2-Konzentration wird ein architektonisches Konzept entwickelt. Primär wird versucht den Ressourceneinsatz durch eine entsprechende Materialwahl und deren Verwendung zu optimieren und gleichzeitig positive Auswirkung auf die CO2-Bilanz zu haben.

Als Reaktion auf die Problematiken wird folgendes Konzept entwickelt und bearbeitet:

1- Das Material

Um Ressourcenverbrauch auf dem Planet zu optimieren wird Holz als Baumaterial ausgesucht, weil es sich bei Holz um ein nachwachsendes Material handelt. Ein anderer entscheidender Grund ist die Fähigkeit CO2 zu speichern. Dies hat eine positive Auswirkung auf die steigende CO2-Konzentration auf unserem Planeten. Trotz der Eigenschaft des Holzes immer wieder wachsen zu können, soll bei dem Projekt der Holzverbrauch effektiv verwendet werden.

2- Der Prototyp für den Stadtraum

Problematiken wie der rasche Bevölkerungszuwachs und die steigende Konzentration der Bevölkerung in den Städten stellt die Architekten vor die Aufgabe höher und dichter zu bauen. Aus diesem Grund wird ein 7-geschossiger Holzbau für den Stadtraum geplant (maximale erlaubte Höhe für Holzhäuser ist Bauklasse 5 mit Fluchtniveau von 22 m).

3- Das kompakt Bauen

Das Gebäude wird als kompakter Körper geplant. Die Gründe dafür sind zum einen um Bodenfläche zu sparen und zum anderen um eine positive Wirkung auf die Energiebilanz zu erzielen.

4- Multifunktionalität und Flexibilität

Das Projekt soll möglichst flexibel sein, um die Möglichkeiten für verschiedene Funktionen zu schaffen. Für ein Holzgebäude ist mit einer Lebensdauer von 80 Jahre zu rechnen. Während dieser Zeit sind Funktionswechsel und Nutzungsänderungen zu erwarten. Der zweite Vorteil der Flexibilität ist die „Marktsicherheit“ des Projektes. Wenn das Gebäude den verschiedenen Nutzungen und Funktionen (z. B. private oder öffentliche Funktion) angepasst ist, lässt sich ein Käufer für das Gebäude leichter finden.

5.2 Entwurf

- **Erste Schritte:**

Durch die Gewährleistung der Personensicherheit im Brandfall (sichere Evakuierung) und einer stabilen statischen Konstruktion werden an Hochhäuser hohe Anforderungen gestellt. Die zwei Parameter sind gleichzeitig zu betrachten, da sie sich gegenseitig beeinflussen. Die Lage der Erschließung bestimmt die Grundrisstypologie und hat einen großen Einfluss auf die Grundrissflexibilität. Aufgrund dessen werden typische Grundrisstypologien der Hochhäuser analysiert und untersucht:

1. Der Innen-Kern-Typus (Abb. 36)

Statisch gesehen hat dieser Typus eine sehr günstige Grundform. Der Kern wird größtenteils in Massivbau ausgeführt und statisch mitverwendet. Der Typus findet eine breite Anwendung und verfügt über viele Referenzbauten. Wird der Kern aus Holz ausgeführt, bestehen statisch gesehen keine großen Vorteil, da ein Holzkern keine besondere statische Aussteifung bietet.

Was die Evakuierung betrifft, ist dieser Typus günstig angelegt, weil alle Räume einen kurzen Weg zum Stiegenhaus haben. Bei dem Holzbau könnte es problematisch werden, da sich alle Fluchtwege auf einem Punkt hin konzentrieren.

Betrachtet man die Teilbarkeit der Grundrisse in unterschiedlichen Einheiten, ist die Form vorteilhaft. Nachteilig zeigt sich die Erweiterung des Grundrisses (), die mit diesem Typus nicht möglich ist. Durch den Kern geht ein hoher Anteil der Grundrissfläche verloren und aufgrund der Belichtung ist die Raumtiefe auf max. 8 m begrenzt. Daher ist das zu planende Gebäude immer als freistehend auszuführen.

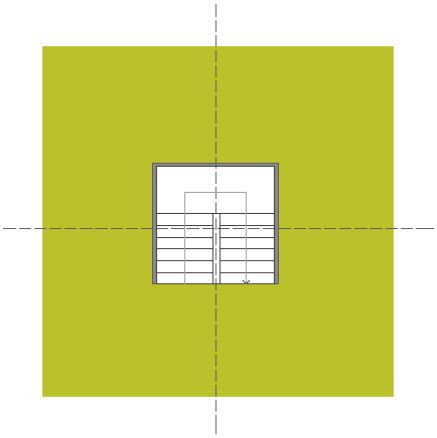


Abb. 36: Der Innen-Kern-Typus (Schema)

(2) Der Peripherie-Kern-Typus (Abb. 37)

Der Peripherie-Kern-Typus ist statisch nicht optimal. Durch die Exzentrizität des Stiegenhauses entstehen große Momente im Gefüge. Gewöhnlich werden daher zwei

Erschließungen geplant, was die statische Fähigkeit des Gebäudes in Abhängigkeit von ihrer Anordnung verbessert.

Problematisch für die Evakuierung ist der lange Fluchtweg.

Bei einem Erschließungskern ist die Flexibilität des Grundrisses zu gering wie auch die Grundfläche. Bei mehreren ist dagegen die Teilbarkeit vorteilhaft. Der Nachteil wären die Mehrkosten, die durch zusätzliche Erschließungen entstehen.

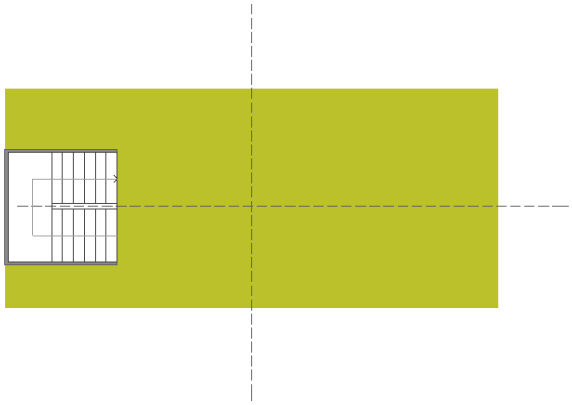


Abb. 37: Der Peripherie-Kern-Typus (Schema)

(3) Der Außen-Kern-Typus (Abb. 38)

Die Statische Leistung des Außen-Kern-Typus ist ähnlich dem Innen-Kern-Typus. Doch im Gegensatz zu dem Innen-Kern-Typus sind bei dem Außen-Kern-Typus meistens mehrere Stiegenhäuser angebracht.

Der Außen-Kern-Typus bietet, im Vergleich zu den zwei bisher erwähnten Typen, die beste Evakuierungssicherheit. Die Fluchtstiegen können so angeordnet sein, dass sich kurze ausbilden. Der zweite Vorteil ist, dass sich die Stiege außerhalb des Gebäudes befindet. Im Brandfall garantiert diese einen sicheren Zugang zur Frischluft.

Diese Form bietet sowohl eine gute Teilung des Grundrisses als auch die Möglichkeit einer Erweiterung. Die Grundrisse sind addierbar und können nebeneinander gestellt werden.

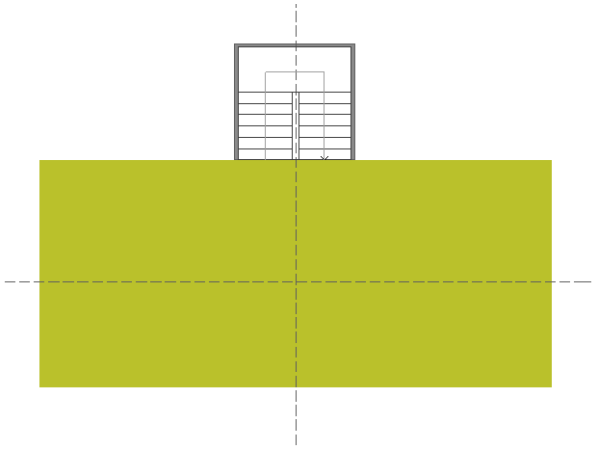


Abb.38: Der Außen-Kern-Typus (Schema)

- **Die Grundform :**

Aus dem Vergleich der Analysen und den gestellten Konzeptanforderungen wird der Grundtypus für das Gebäude entwickelt. Das Projekt soll primär eine hohe Grundrissflexibilität und Evakuierungssicherheit aufweisen, ohne dass die Optik des Gebäudes das Stadtbild beschwert. Dem wird sekundär der optimale Materialverbrauch angepasst.

Welcher von den Typen kann an besten die gestellten Anforderungen erfüllen?

Der Nachteil des Innen-Kern-Typus ist der große Materialverbrauch angesichts des Massivkernes. Wird der Kern des Weiteren in Holz ausgeführt, bietet dieser dem Gebäude keine gescheite Gebäudeaussteifung. Für die maximale Raumtiefe ergibt sich ein Wert von 8 m. Darüber hinaus muss das Gebäude freistehend sein und von vier Seiten belichtet werden.

Der Außen-Kern–Typus bietet für das Projekt mehr Vorteile. Die Evakuierung ist sicherer und die Grundrissflexibilität ist höher. Mit der entsprechenden Positionierung der Erschließung lässt sich das Gebäude sowohl freistehend als auch für Baulücken planen.

Die typischen Gebäudetiefen im Stadtraum sind von 10 m bis 15 m. Wegen der Möglichkeit der Erweiterung und der dichten Bebauung soll das Holzgebäude diese Tiefe nicht überschreiten. Mit der Anordnung der offenen Erschließungen an der Seite ist die Addierung und Erweiterung des Gebäudes möglich und die Evakuierung sicher. Die Raumtiefe von 10 m bietet den Platz für die größeren Räume die anspruchsvolle Funktionen erlauben. Die Breite des Grundrisses darf nicht mehr als 40 m betragen aufgrund der maximal erlaubten Fluchtweglänge. *(Abb.39)*

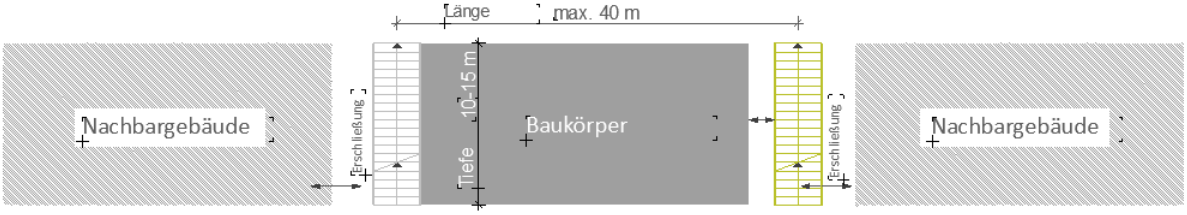


Abb. 39: Anpassung des Gebäudes im städtischen Blockbebauung (Schema)

Die Erschließungen sollen separate Elemente mit eigener und unabhängiger Konstruktion bilden. Die Sicherheit ist dadurch im Brandfall höher. Durch die zweite Erschließung kann der zweite erforderliche Fluchtweg geboten werden, ohne auf die Hilfsmittel der Feuerwehr zurückzugreifen. Dies hängt aber von der jeweiligen Nutzungsart ab, da einige keine zweite Erschließung beanspruchen. Die Erschließungen sollen aus Sicherheitsgründen nicht in Holzbau ausgeführt werden. Sollte man dies doch tun, ist ein Sicherheitsabstand von 8 m von dem Gebäude notwendig. Dieser hat aber den Nachteil, dass die wertvolle Grundfläche verloren geht. Aus dem Grund der Sicherheit wird bei der Stiege auf dem Baustoff Holz

verzichtet. Grundlegend soll das Stiegenhaus offen sein. Im Winter besteht die Möglichkeit es mit verschiebbaren Lamellen zu schließen.

Die tragende Konstruktion des Baukörpers befindet sich in den Außenwänden, die dadurch eine maximale Flexibilität des Grundrisses bietet. Der Grundriss ist nach der räumlichen Anordnung „schichtartig“ geteilt. Am Rand befindet sich das offene Stiegenhaus. Danach kommen Nass- und Sanitärräume an der Fassade, die die Aufenthaltsräume von der Stiege trennen. *(Abb. 41)*

- die Nassräume stellen eine Art „Pufferraum“ für die Aufenthaltsräume dar,
- die Nassräume haben Tageslicht und eine zusätzlicher Lüftung,
- die Abflussrohre befinden sich außen an der Fassade, wodurch die Reparatur und die Montage erleichtert werden,
- die Nassräume sind auf einem Ort konzentriert,
- die Decken des Holzgebäudes haben keine Durchbrüche, was im Brandfall vorteilshaft ist, da Gefahr durch Rauchdurchdringung ausgeschlossen ist. (der Installationsschacht ist ebenfalls außen an der Fassade im Stiegenbereich),
- Grundrissflexibilität der Aufenthaltsräume.

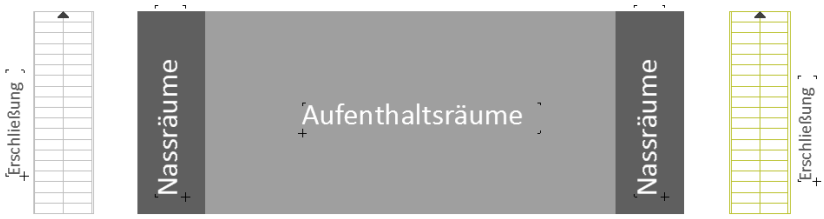


Abb. 40: Räumliche Anordnung im Grundriss (Schema)

Wenn der Aufenthaltsbereich in ein Raster geteilt wird, das einer typischen Raumgröße entspricht, kommt es in den vorher betrachteten Projekten zu einer Flächenverschwendung bei der Addition der Räume. So z. B. wenn das Raster der Raumgröße der einzelnen Räume entspricht (Küche= Essbereich= Wohnbereich= Schlafzimmer= Bad) oder zwei Rastereinheiten durch Addition einen neuen Raum bilden (z.B. Essbereich+ Wohnbereich), steigt die Fläche der Wohnung rasch. Es kommt zu unnötiger Platzverschwendung. *(Abb. 41)*

Abb.41: Unökonomische Grundrissaufteilung (Schema)

Der Gebäudegrundriss wird so geteilt, dass das Raster sowohl statischen als auch funktionalen Anforderungen entspricht. Das Raster wird nicht nach der Raumfläche sondern nach der Raumbreite bestimmt. Die Raumtiefe von vier Meter bleibt fix. Die Gebäudelänge wird in ein Raster mit dem Achsenabstand von 1,7 m geteilt, in dem die min. Raumbreite die Zusammenfügung von den zwei Rasterbreiten darstellt (3,4 m, inklusiv zwei Wandbreite mit jeweils ca. 20 cm). Damit die Rasteraddition funktioniert, muss eine seitliche Erschließung angebracht werden. So können 1,7 m Rasterbreite beliebig addiert und bei jeder Einheit (1,7 m x 4 m) erschlossen werden. Beispielsweise entsprechen drei Einheiten (5.1 m x 4 m) der Größe des Wohnbereiches und zwei Einheiten (3,4 m x 4 m) dem Kinderzimmer. *(Abb. 42)*

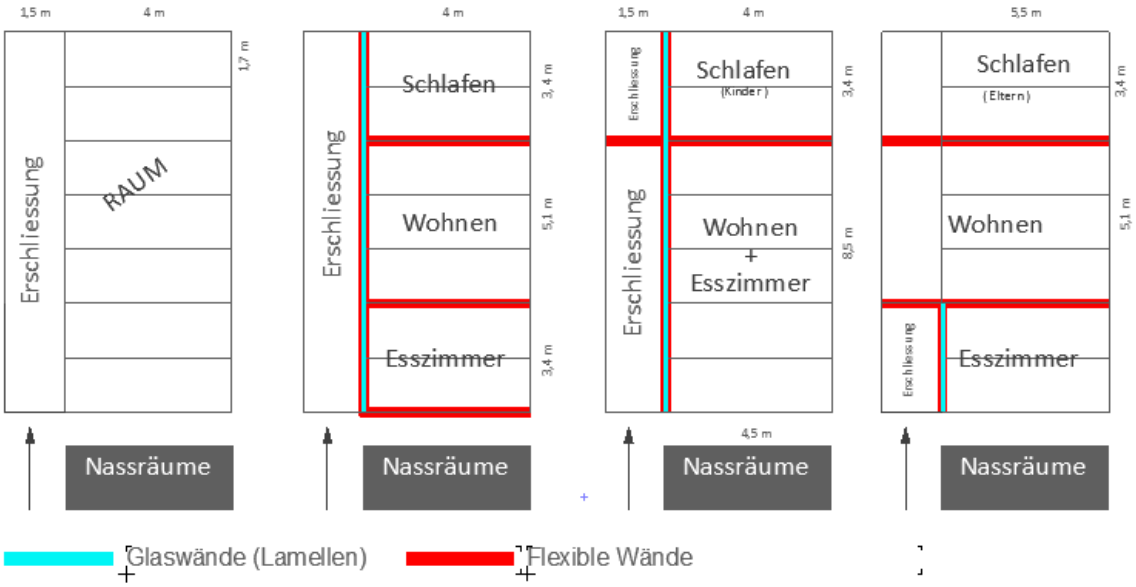


Abb. 42: Grundrissaufteilung des Gebäudes nach dem Raster von 1,7 m (Schema)

Das seitliche Stiegenhaus hat den Nachteil, dass entlang der gesamten Gebäudelänge die innere Erschließung verläuft. Hierdurch geht Nutzfläche verloren. Daher wurde die innere Erschließung der Räume durch flexible Glaswände getrennt, wodurch der Erschließungsgang jederzeit ein Teil des Raumes werden kann.(Abb. 43.) Ein Elternschlafzimmer von 3.4 m Breite kann beispielsweise seine Tiefe um 1,5 m vergrößern. (Abb. 42).Diese Flexibilität ist auch bei den anderen Funktionen vorteilshaft.

Wenn man das Raster betrachtet beträgt die Gebäudetiefe nur 5,5 m. Durch eine gespiegelte Kopie des Systems kommt man auf 11 m Gebäudetiefe. Es entsteht ein mittiger Raum von drei Meter Breite, die durch eine Trennwand halbiert sein können. (Abb. 46.) Durch die Glasscheiben ist dieser Bereich belichtet und bildet für öffentliche Funktionen bequeme Erschließungszone oder auch Aufenthaltsräume.

Zusammengefasst wird die Gebäudefläche für die Erschließungszone innerhalb des Gebäudes nach Bedarf „ vergeben „. Auf dieser Art wird die Verschwendung der Fläche für die Erschließungszone minimiert.

Auf ein unterirdisches Geschoss wird bewusst verzichtet. Bauen unter der Erde ist aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen nicht geeignet. Die Materialien, die meistens zum Einsatz kommen (z. B. Beton) sind nicht umweltfreundlich und die Kosten für den Schutz der Räume steigen rasant. Auch die Entsorgung des Kellers nach dem Ende der Lebensdauer des Gebäudes ist im Vergleich zu der oberirdischen Holzkonstruktion viel aufwendiger.

Die nächsten Gründe warum auf den Keller verzichtet wird, sind die verschiedenen Funktionen, die für das Gebäude geplant werden. Jede Funktion hat unterschiedliche Anforderungen. Viele von denen brauchen keinen Keller (z. B. Büros). Für die Funktionen, die doch den Bedarf daran haben, wird in dem 7-geschossigen Gebäude ein Geschoss dafür geplant.

Abb. 43: Verschiebbare Glaswände (Lamellen)

Abb. 44: 3D Darstellung

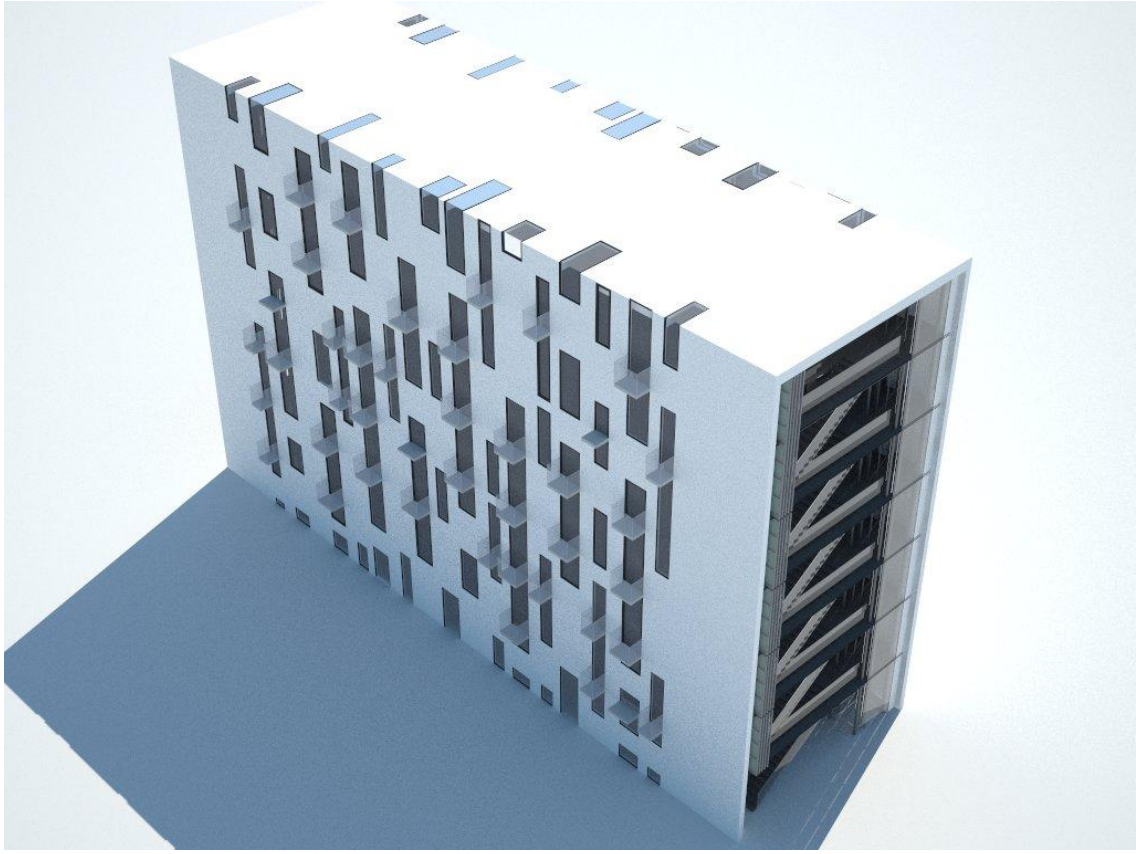


Abb. 45: 3D Darstellung

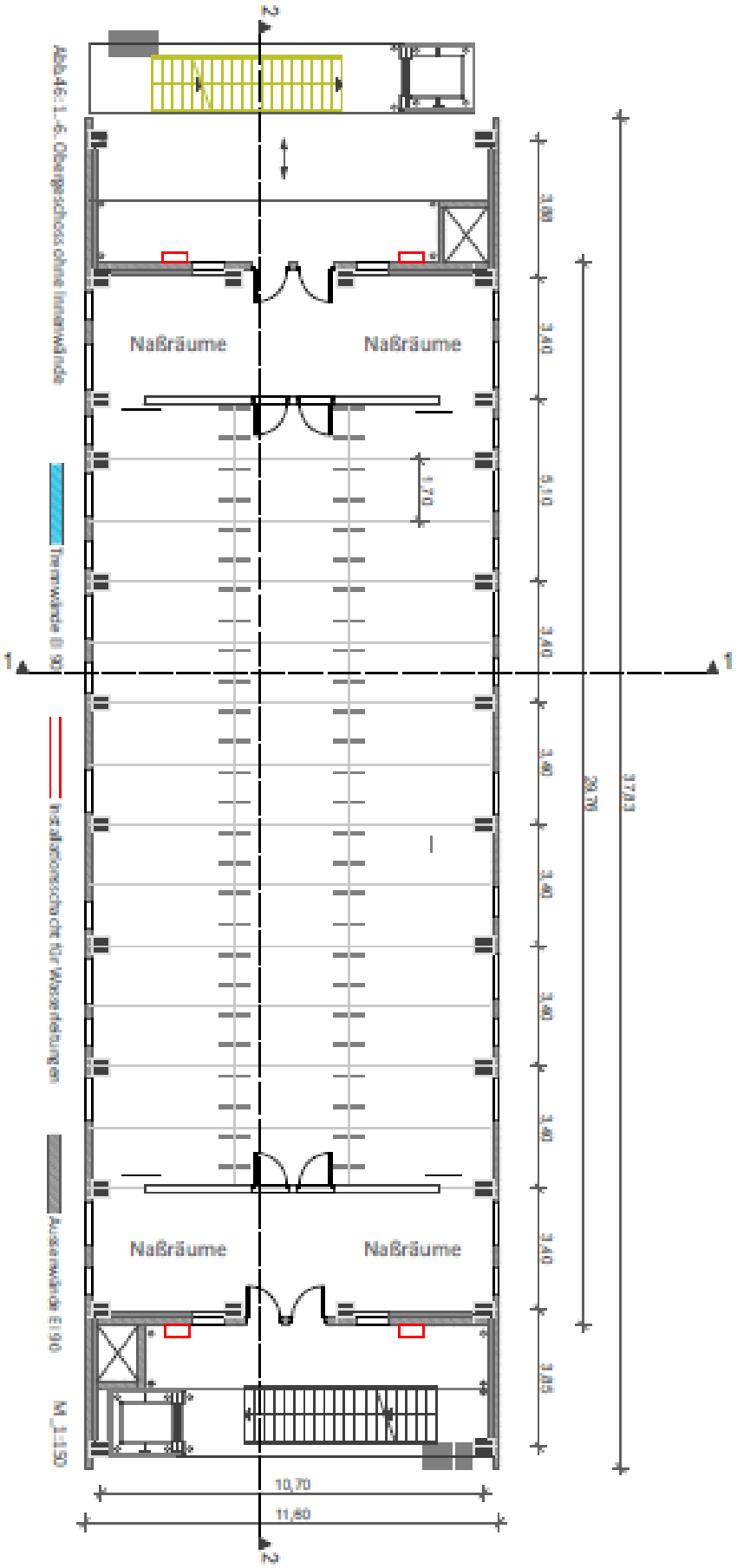


Abb.46: 1.-6. Obergeschoss ohne Innenwände

Trennwände (0,90)

Installationsschacht für Wasserleitungen

Außenwände (0,50)

M_1:150

Abb.47: Schnitt 1-1 M_1:150

Abb.48: Schnitt 2-2 M_1:150

Abb.49: Seitenansicht M_1:150

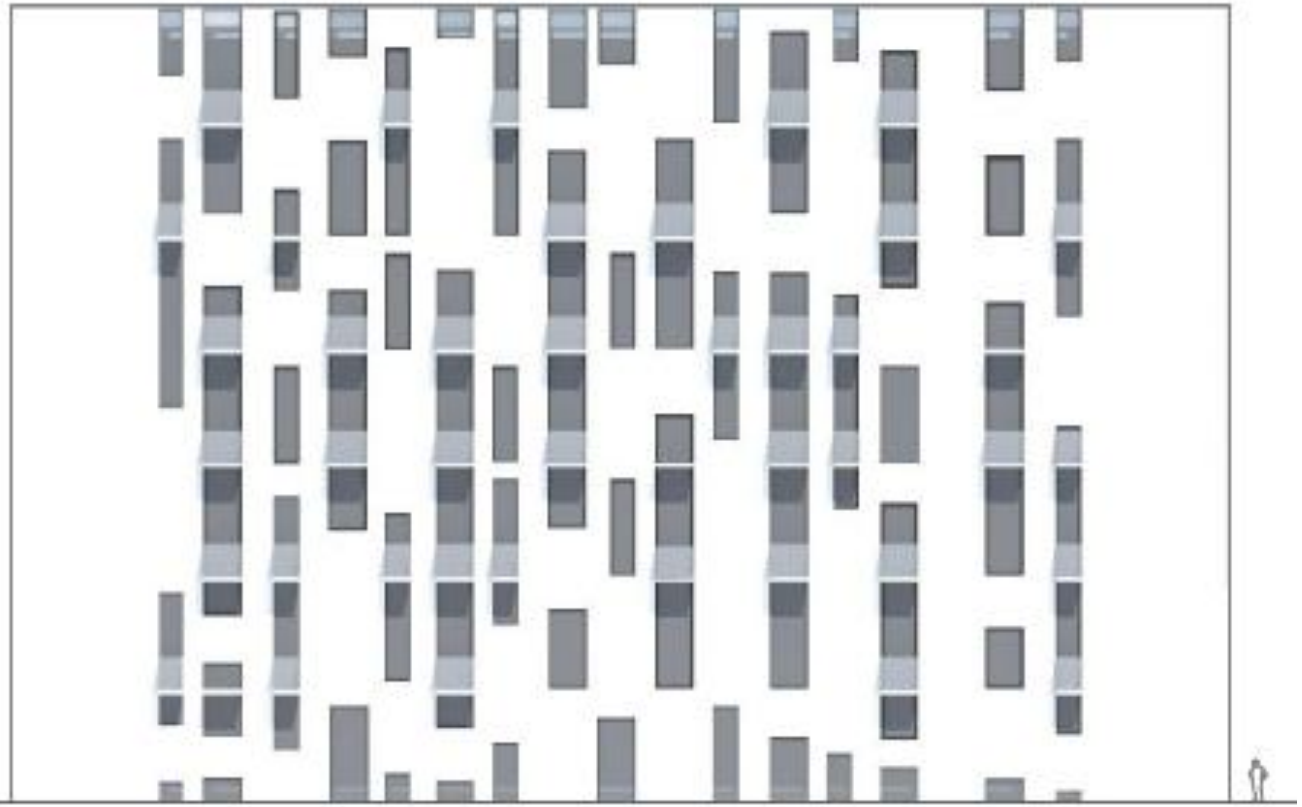


Abb.50: Frontansicht M_1:150

5.3 Einfluss der OIB Brandschutz Richtlinie auf den Entwurf

Ein besonders wichtiger Punkt bei dem Planen von Hochhäusern ist der Brandschutz. Dieser Faktor beeinflusst das Planen bestimmend. Es handelt sich um Anforderungen, die umgesetzt werden müssen. Für dieses Projekt werden die Regeln und gesetzliche Bestimmungen beachtet, was den Entwurf stark begrenzt.

Der Fluchtweg

Beginnend von der Evakuierung ist die Länge des Gebäudes und die Zahl der Erschließungen determiniert. Von jeder Stelle eines Raumes darf der Fluchtweg bis zum Treppenhaus max. 40 m entfernt sein. Für das Gebäude der Bauklasse 5 müssen zwei voneinander unabhängige Fluchtwege in entgegengesetzter Richtung zu den Treppenhäusern bzw. Außentreppen vorhanden sein. *Die Fluchtwege gemäß Punkt 5.1.2 der OIB Richtlinien 2 dürfen innerhalb der Wohnung und auf eine Länge von höchstens 15 m außerhalb der Wohnung gemeinsam verlaufen (Stichgang) (Abb. 51)* [7]. Ein Fluchtweg kann durch Rettungsweg ersetzt werden, wenn

- jede Wohnungs- und Betriebseinheit über die Fassade erreichbar ist,
- die Fassadenöffnungen für die Rettung geeignet sind (Parapethöhe max. 1,2 m hoch und die Öffnungsgröße min. 0,8 m x 1,2 m) oder
- die Anfahrt für Feuerwehr max. 10 km entfernt ist.
- Bei den Verkaufsstätten mit einer Fläche zwischen 600 m² bis 3000 m² und nicht mehr als drei Geschosse in offener Verbindung darf der zweite Fluchtweg nicht durch Rettungsweg ersetzt werden.

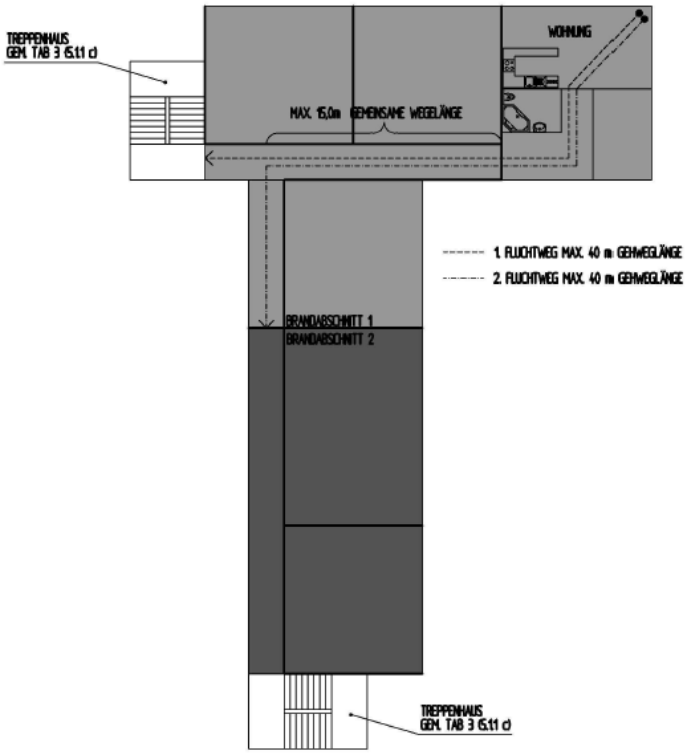


Abb. 51: Die Fluchtwege gemäß Punkt 5.1.2 der OIB Richtlinien 2 [7]

Aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen überschreitet das Holzhaus die Länge von 40 m nicht. Da die Stiegen an die Fassade des Gebäudes als selbsttragendes Element angelehnt sind, kann in Abhängigkeit von der Funktion (Wohnen, Büro, gemischte Funktionen...etc.) auf eine Stiege verzichtet werden, wenn die Fassade einen Rettungsweg darstellt. In dem Fall, dass sich nach einiger Zeit die Funktion des Gebäudes ändert, kann die zweite Stiege einfach zusätzlich montiert werden.

Der Brandabschnitt

Um die Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb eines Gebäudes einzuschränken, müssen Brandabschnitte eingeführt werden: nach 1200 m² für die Wohnnutzung und nach 1600 m² für die Büronutzung. Eine maximale Längsausdehnung von 60 m ist vorgeschrieben. Zusätzlich darf der Brandabschnitt nicht mehr vier oberirdische Geschosse betragen [7]. Die Brandabschnitte können sowohl horizontal als auch vertikal verlaufen.

Wegen des Bedarfs nach der horizontalen Flexibilität im Grundriss verläuft der Brandabschnitt (Brandabschnittbildende Decke) des Projektes horizontal nach dem dritten Geschoss.

Die Fassade

Für Bauten der Gebäudeklasse 5 mit mehr als sechs oberirdischen Geschoßen muss ein deckenübergreifender Außenwandstreifen von mindestens 1,2 m Höhe in der Feuerwiderstandsklasse EI 30-ef bzw. EW 30-ef und aus einem Baustoffen mit dem Brandverhaltens von mindestens A2 vorhanden sein.(*Abb.52) Diese Anforderung gilt nicht, sofern (a) ein mindestens 0,8 m horizontal auskragendes Bauteil in der Feuerwiderstandsklasse REI 90 bzw. EI 90 aus Baustoffen mit dem Brandverhaltens von mindestens A2 oder (b) eine geeignete technische Brandschutzeinrichtung (z. B. automatische Löschhilfeanlage bzw. Sprinkleranlage) vorhanden ist [7].* Aufgrund der festgestellten Richtlinien wird die Fassade durch das Versetzten der Fensteröffnungen gestaltet, wodurch ein Brandüberschlag der Flammen in das nächste Geschoss verhindert wird. Ebenfalls wird eine optische Dynamik der Fassade geschaffen. Die Fensterdimensionen entsprechen der Richtlinie, d. h. sie sind 1,2 m bzw. 0,8 m breit und erfüllen die Öffnungsgröße eines Rettungsweges. Die Parapethöhe überschreitet nicht die 1,2 m und Fenster, die über mehrere Geschosse verlaufen, benötigen horizontale Auskragungen, die kleine Balkone bilden. (Abb.49;50) Diese sollen im Brandfall den Einsatz der Feuerwehr und der Rettung der Personen erleichtern. Die Öffnungen des Holzhauses sind in einem Raster mit dem Achsenabstand von 1,7 m angeordnet. Dabei wechseln sich die Flächen mit und ohne Öffnungen ab. Diese Anordnung macht es möglich, dass unabhängig der Position der Trennwände jeder Raum über ein Fenster verfügt und gleichzeitig den Anforderungen der Richtlinie entspricht.

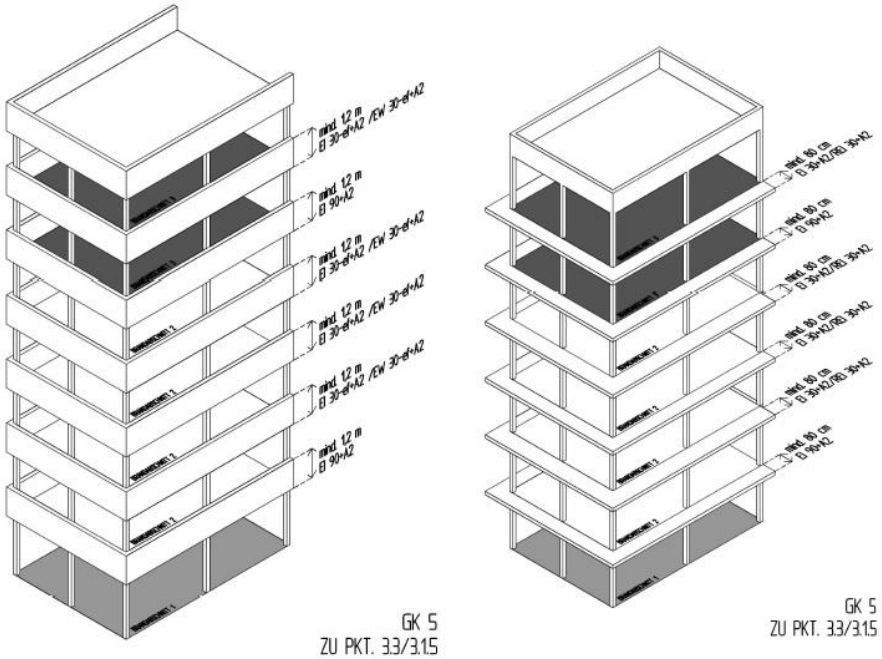


Abb. 52: Notwendige Außenwandstreifen nach der OIB Richtlinie 2 [7]

5.4 Funktionen

Das geplante Gebäude für den urbanen Raum soll Platz für mehrere Funktionen bieten. Der Entwurf ist so geplant, dass die Räumlichkeiten und die Konstruktion den verschiedenen Funktionen entsprechen. Es wird möglich die Funktionen das Gebäude schon während der Lebensdauer ohne großen Aufwand zu ändern. Die vielfältigen Anforderungen werden durch die horizontale und vertikale Flexibilität des Gebäudes erleichtert.

Der Entwurf ist für die folgenden privaten und öffentlichen Funktionen geplant:

- Wohnen;
- Büro;
- Verkauf;
- Bibliothek;
- Ausstellung.

Durch die normativen Anforderungen der vielseitigen Anforderungen ist darauf zu achten, dass das geplante Gebäude diesen Anforderungen entspricht. So sind folgende Punkte zu beachten:

Die Raumhöhe von drei Metern wird der öffentlichen Funktionen angepasst. Nach der OIB Richtlinie 4 für Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit beträgt die Größe des Fahrkorbes vom Lift 120 cm x 140 cm (min. Größe für Rollstuhlfahrer). Es wird bei den Treppen darauf geachtet kein Zwischenpodest zu benötigen, da die Gebäudetiefe nicht groß genug ist. Daher besitzt die Stiege 20 Stufen pro Geschoss, was der maximale. Anzahl für die Zulassung ohne Zwischenpodest entspricht. Mit einem zulässigen Stufenverhältnis von 18 cm/ 27 cm (mit Personenaufzug) ist dies möglich.

5.4.1 Wohnen und Büro

Es werden drei Konzepte für die zwei Funktionen entwickelt. Bei den ersten beiden Konzepten wird das ganze Gebäude entweder als Wohn- oder Bürogebäude geplant und bei dem dritten teilen die beiden Funktionen sich gleichzeitig die zur Verfügung gestellten 7 Geschosse.

Abb.53: 3D Darstellung (Wohnung)

- Wohngebäude (Abb.54)

Bei der Option 1 sind alle Geschosse außer das Erdgeschoss für die Wohnnutzung geplant. Im Erdgeschoss befinden sich Gemeinschaftsräume für Bewohner und die Räumlichkeit für den Verkauf. Für den Fall, dass sich das Gebäude in einer potenziellen Lage dafür befindet. Auf die nächsten sechs Geschosse verteilen sich vier Wohnungen pro Geschoss. Durch die vertikale Flexibilität besteht die Möglichkeit für zwei-geschossige Wohnungen. Es bietet sich eine große Zahl Wohnungstypen an. Die Wohnungen können ein- oder zweiseitig orientiert sein. Die Größe kann in Abhängigkeit der jeweiligen Wohnansprüche zwischen 40 m² und 130 m² betragen. Es wird darauf geachtet, dass jede Wohnung einen Abstellraum hat, da kein Keller existiert. Im Erdgeschoss werden ebenfalls Abstellräume für Fahrräder angeboten. Alle Wohnungen verfügen in den Badezimmern über ein Fenster, das Tageslicht und zusätzliche natürliche Belüftung bietet.

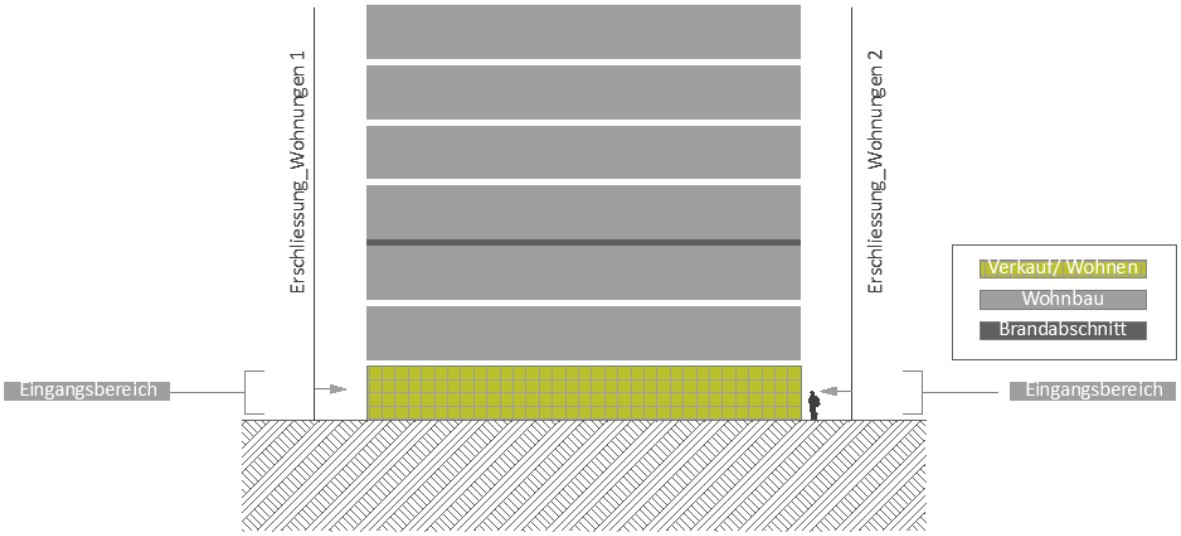


Abb.54: Schnittschema(Wohngebäude)

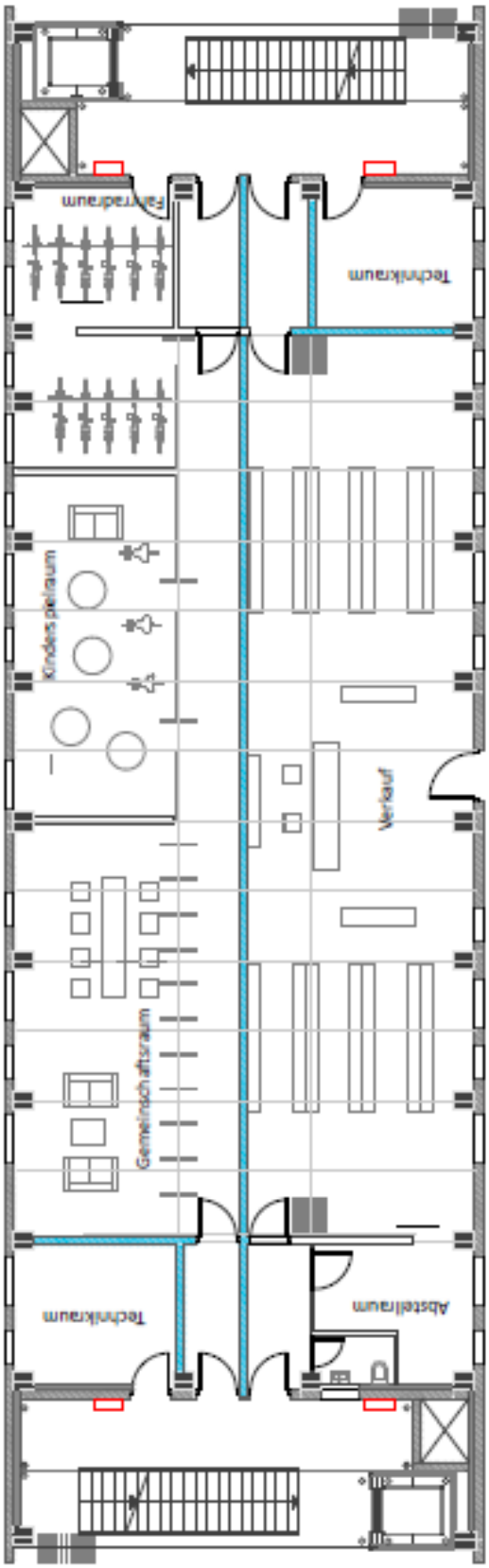


Abb.55: Erdgeschoss WOHNEN / VERKAUF

M_1:150

Abb.56: WOHNEN (TYP 1)

M_1:150

Aussenwände EI90

Installationsschacht für Wasserleitungen

Trennwände EI90

Abb.37: WOHNEN (TYP 2)

Abb.58: WOHNEN
(TYP 3 - zweigeschossige Wohnung)

M_1:150

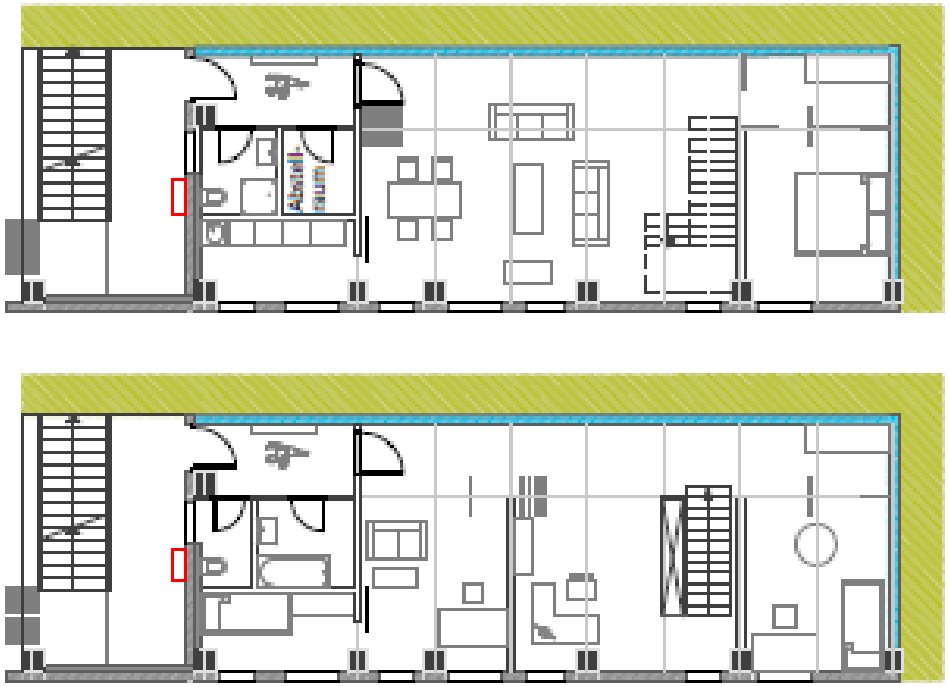


Abb59: WOHNEN
(TYP 3 - zweigeschossige Wohnung)

M_1:150

Trennwände EI 90

Installationsschacht für Wasserleitungen

Aussenwände EI 90

- Bürogebäude (Abb.60)

Wenn das ganze Gebäude nur die Funktion einnimmt, kann auf eine Erschließung verzichten werden. Für das ganze Gebäude wären nur eine Haupttreppe und ein Aufzug ausreichend.

Im Gegensatz zu dem Wohngebäude kann das gesamte Erdgeschoss für den Verkauf geplant werden. Zusätzliche Abstellräume sind für die Funktion nicht notwendig. Das Bürogebäude bietet die Möglichkeit für mehrere Mieter. Die Büros können entweder ein- oder mehrgeschossig mit einer internen Erschließung gemietet werden (max. vier Geschosse wegen des Brandabschnittes). Es werden Beispiele für zwei Bürotypen dargestellt (Typ 2 und Typ 4). Die Büros können als Zellen- oder Großraumbüros genutzt werden.

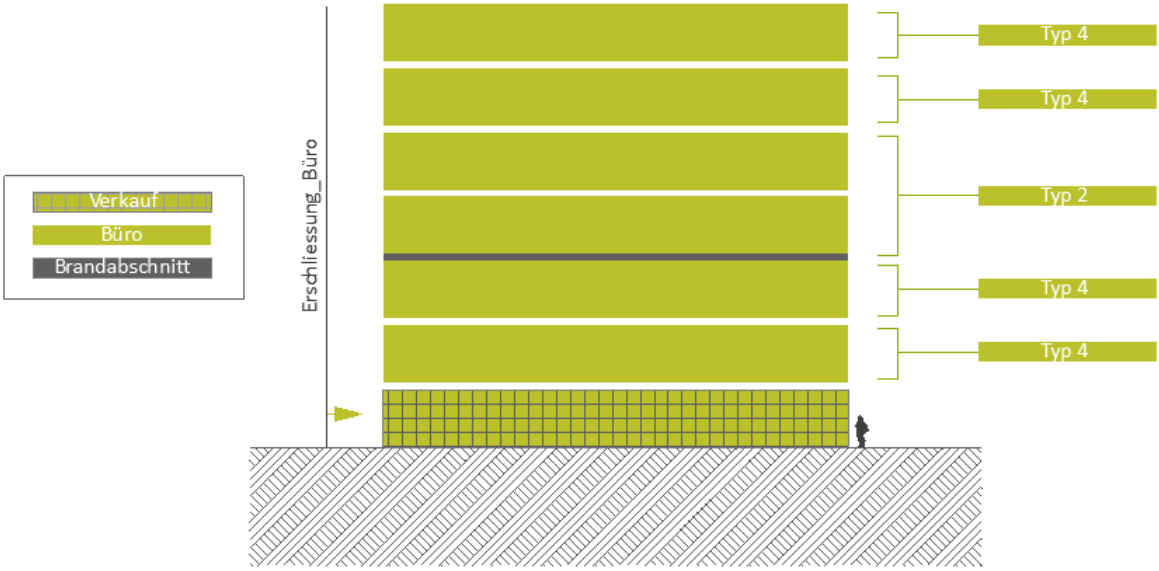


Abb.60: Schnittschema(Bürogebäude)

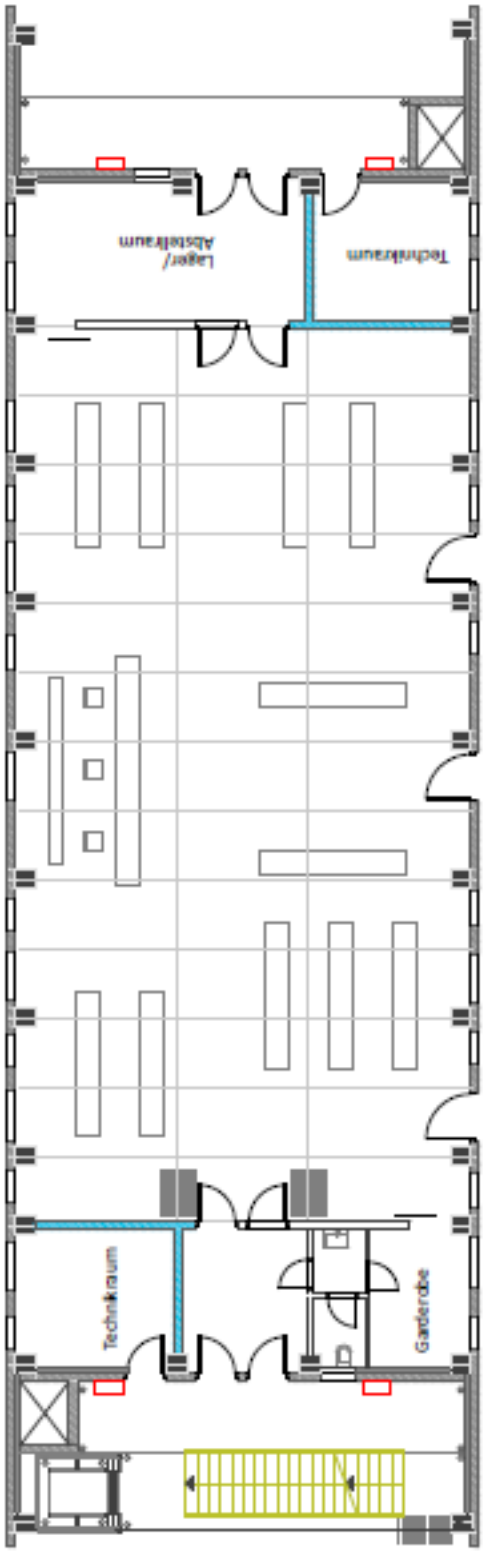


Abb.61: Erdgeschoss VERKAUF

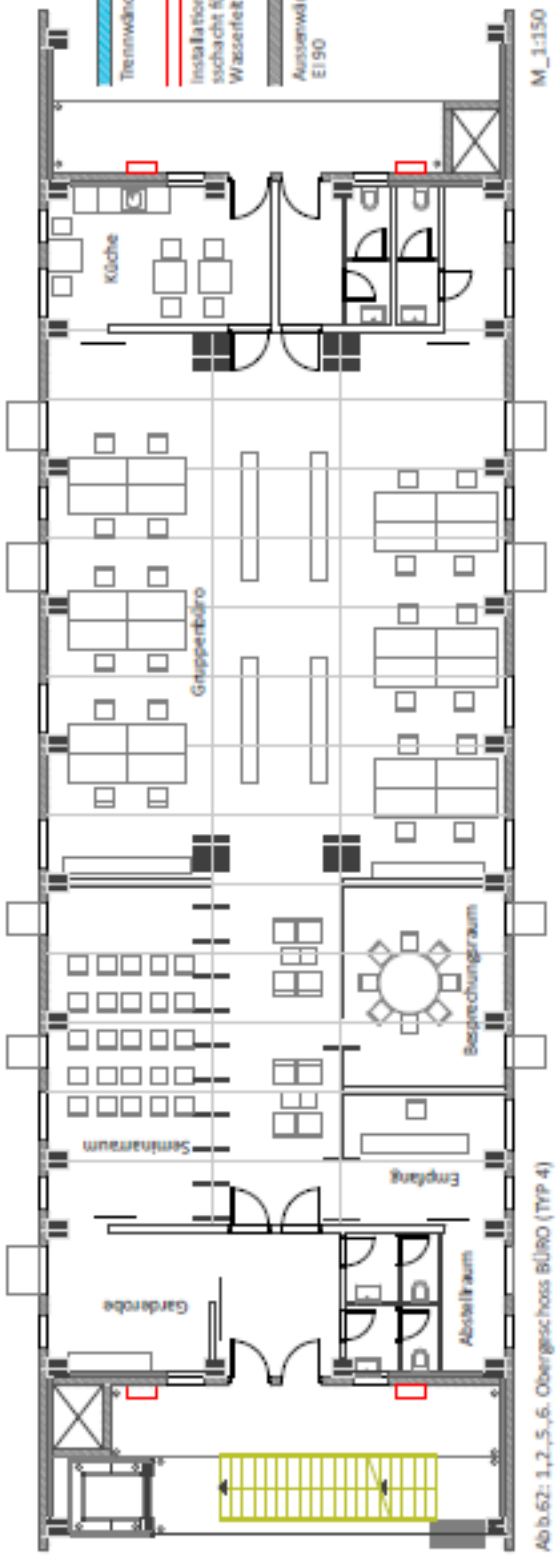


Abb.62: 1.,2.,5.,6. Obergeschoss BÜRO (TYP 4)

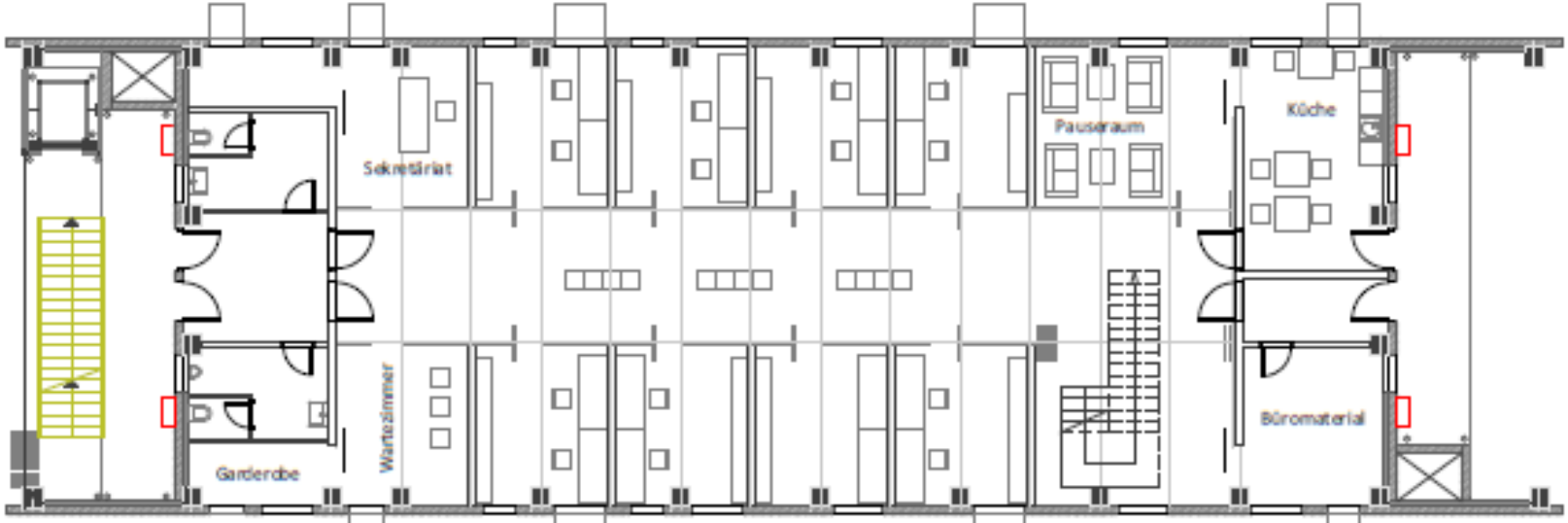


Abb.63: 3. Obergeschoss BÜRO (TYP 2)

M_1:150

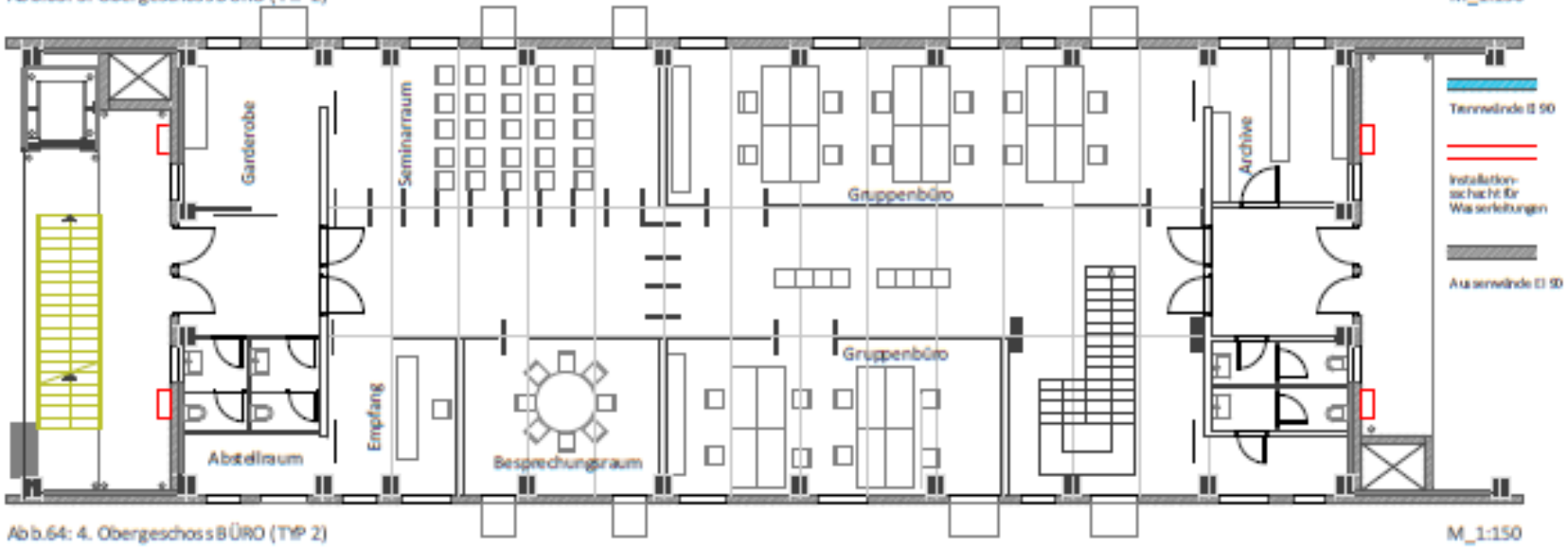


Abb.64: 4. Obergeschoss BÜRO (TYP 2)

M_1:150

- Wohn-Büro-Gebäude (Abb.65)

Es besteht auch die Möglichkeit, dass sich zwei Funktionen gleichzeitig im Gebäude abspielen, ohne dass sie negative Auswirkung auf Privatsphäre des anderen haben. Jede Funktion hat eine eigene Erschließung und das Gebäude wird vertikal in zwei Funktionsbereiche geteilt. Für jedes Geschoss sind die Räumlichkeiten so ausgelegt, dass beide koexistieren können. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass sich Büroräumlichkeiten auf einem ganzen Geschoss erstrecken. In diesem Fall können die Mitarbeite im Brandfall die Erschließung für die Wohnungen als Fluchtweg nutzen. Auf diese Art bietet das Gebäude den Platz für kleine Büros, die sich nur über ca. 50% eines Geschosses verteilt bis zu vier-geschossigen Büros.

Im Erdgeschoss können ein Büro und Gemeinschaftsräume für Bewohner geplant werden, wobei man den Raum des Büros durch einen Verkauf ersetzt kann.

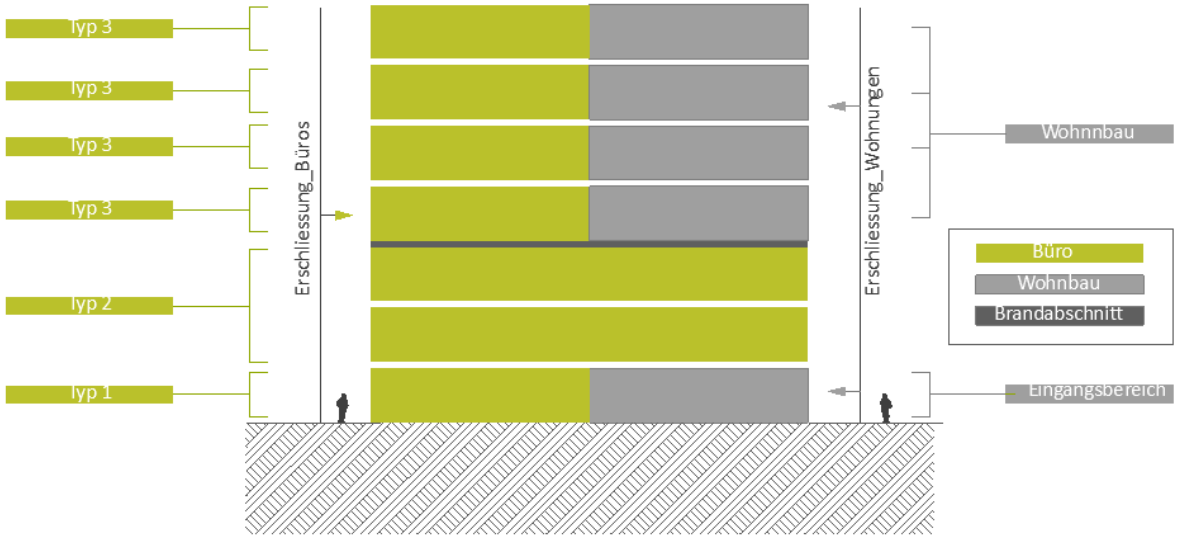


Abb.65: Schnittschema(Wohn-Büro-Gebäude)

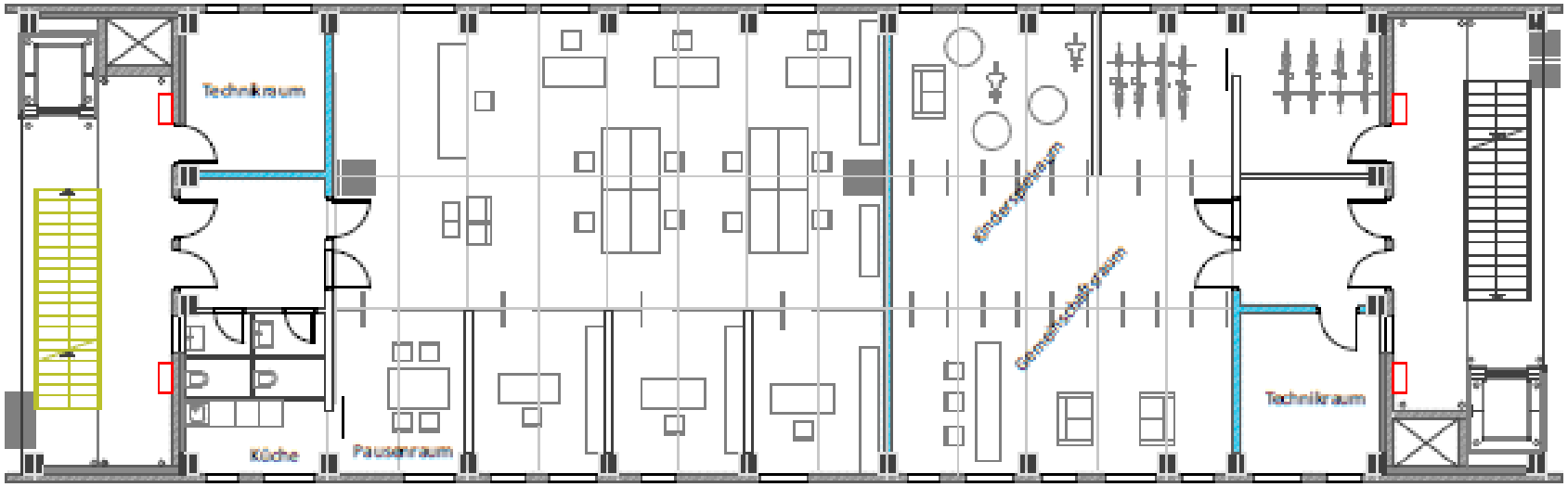


Abb.66: Erdgeschoss WOHNEN / BÜRO (TYP 1) M_1:150

Abb.67: 3.,4.,5.,6.. Obergeschoss BÜRO (TYP 3) / WOHNEN Trennwände EI 90 Installationsschacht für Wasserleitungen Aussenwände EI 90 M_1:150

5.4.2 Bibliothek und Ausstellung

Ähnlich dem vorherigem Abschnitt Wohnen und Büro kann das gesamte Gebäude als Bibliothek oder als Ausstellung und Bibliothek geplant werden.

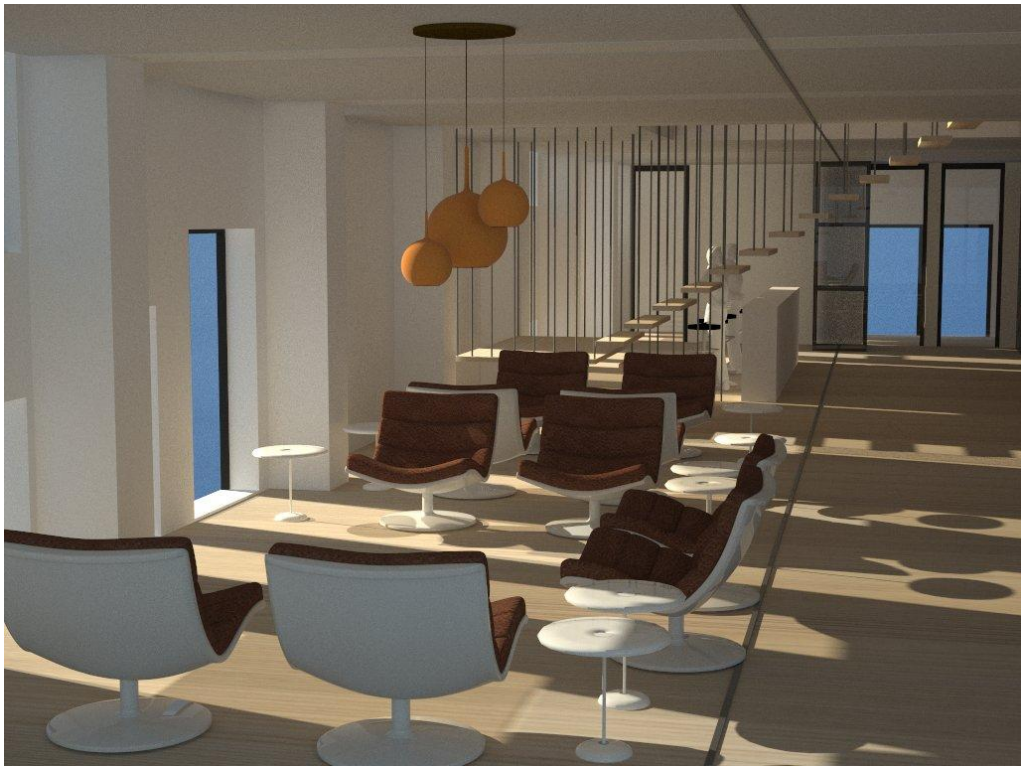


Abb. 68: 3D Darstellung (Bibliothek_Foyer)

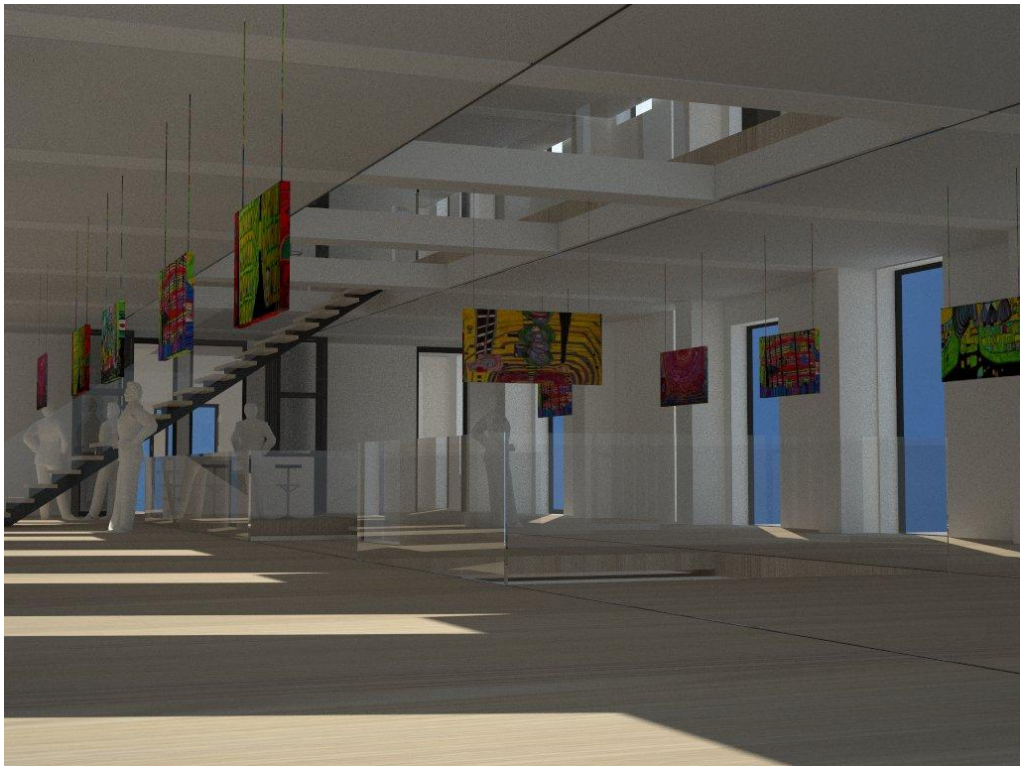


Abb. 69: 3D Darstellung (Ausstellung)

1. Bibliothek (Abb.70)

Für dieses Konzept wird das ganze Gebäude als Bibliothek geplant. Hierfür reicht eine Haupterschließung an der Fassadenseite. Damit der Weg zwischen den Geschossen für Besucher angenehm ist, wird zusätzlich eine Treppe im Innenraum eingesetzt. Diese verbindet max. vier Geschosse aufgrund des Brandabschnittes zwischen dem dritten und vierten Geschoss. Im Brandfall bleibt der Zugang zu den Balkonen, wo die zweite Stiegen sein sollten, frei. Im Notfall können die Kunden den Rettungsbalkon verwenden, bis die Rettungskraft kommt.

Im Erdgeschoss befindet sich Empfang, Buchausgabe, Foyer und Veranstaltungsraum. Der Veranstaltungsraum hat zwei Zugänge, wodurch sich die Bibliotheks- und Veranstaltungsbesucher nicht gegenseitig stören. Wenn die Bibliothek geschlossen ist, können auch der Veranstaltungsraum und der Vorbereich genutzt werden. Durch die Glaslamellen können Empfang, Foyer und der Zugang zu der Treppe geschlossen werden. Die oberen Geschosse sind nach Fachthemen organisiert. Das letzte Geschoss wird als Lagerraum für gelieferte Waren, Archiv und für Verwaltung genutzt. Alle Obergeschosse verfügen über einen kleinen Buchausgabebereich und können als eine Einheit funktionieren.

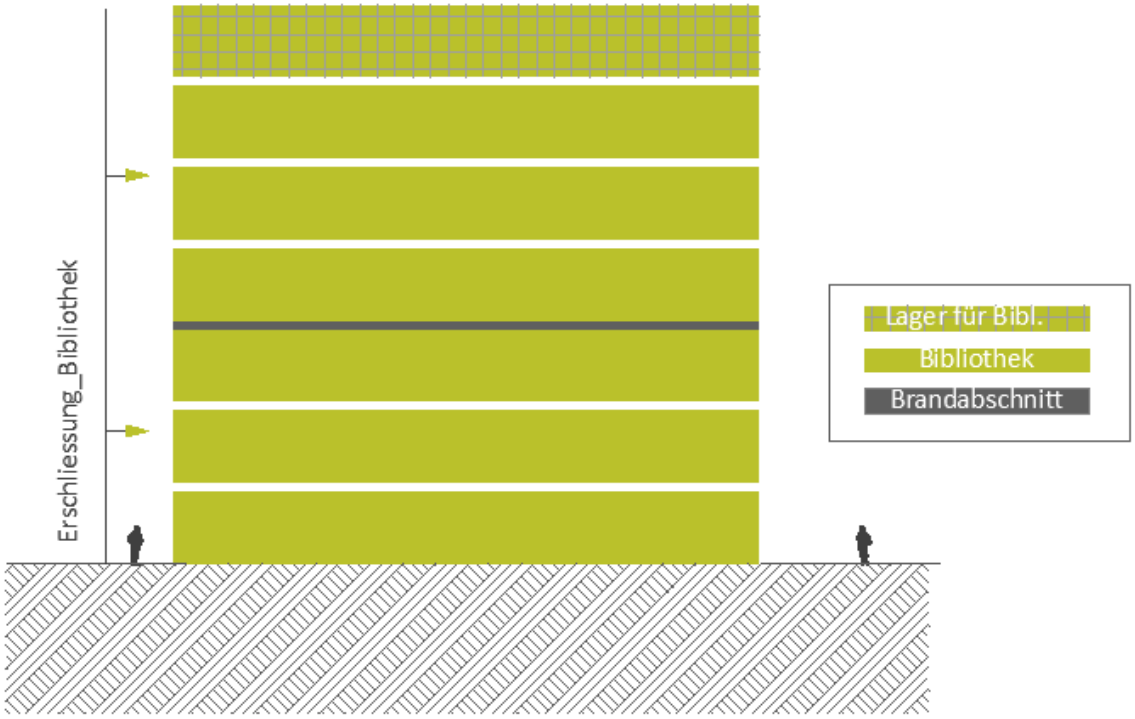


Abb. 70: Schnittschema (Bibliothek)

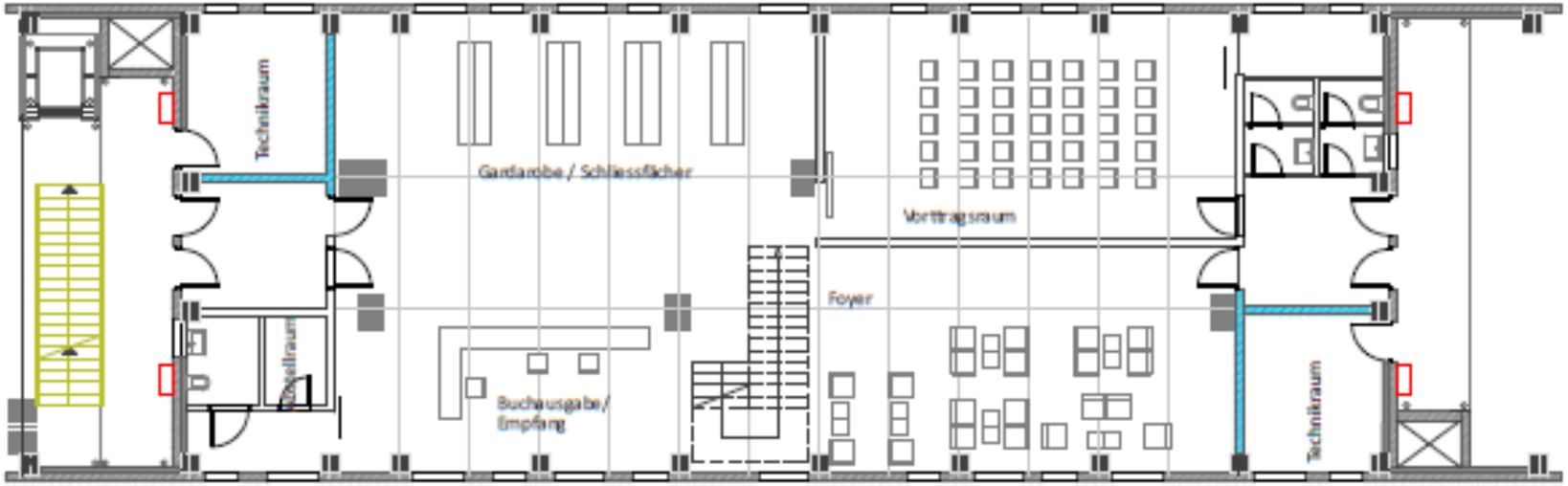


Abb.71: Erdgeschoss BIBLIOTHEK

M_1:150

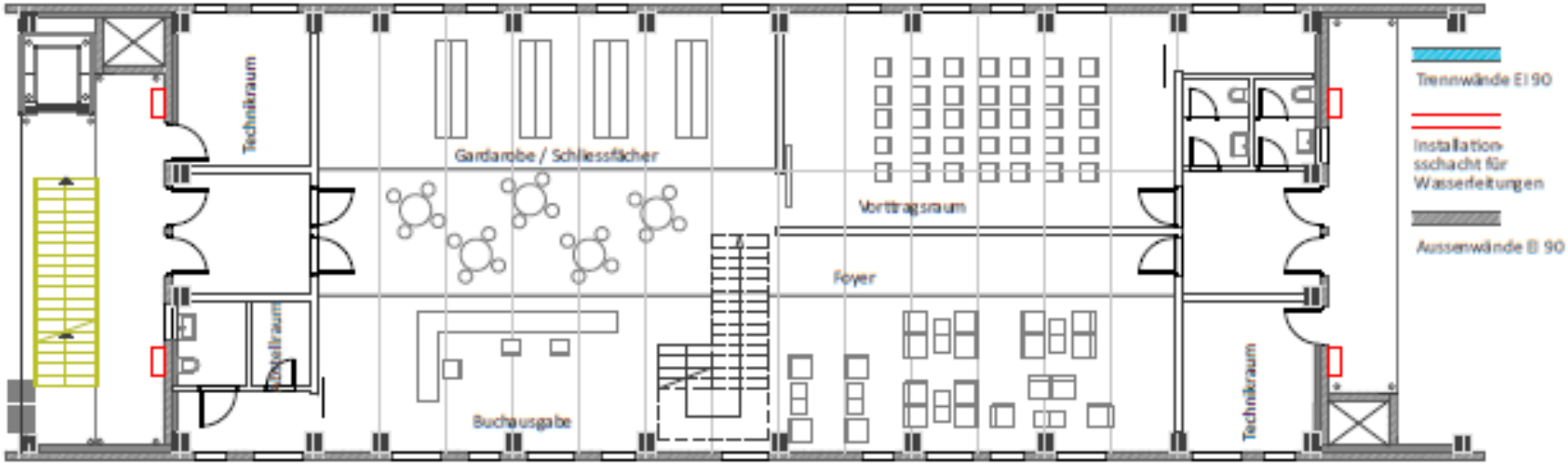


Abb.72: Erdgeschoss BIBLIOTHEK (ausser Öffnungszeiten)

M_1:150

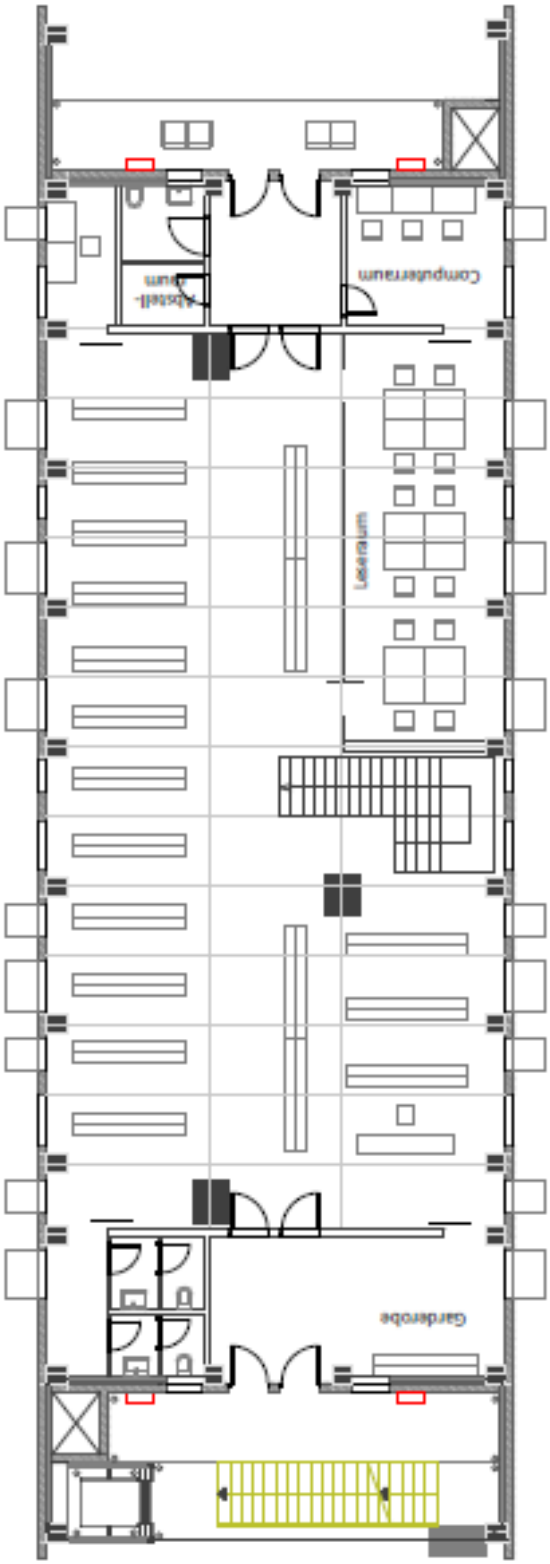


Abb.73: 2.- 5. Obergeschoss BIBLIOTHEK

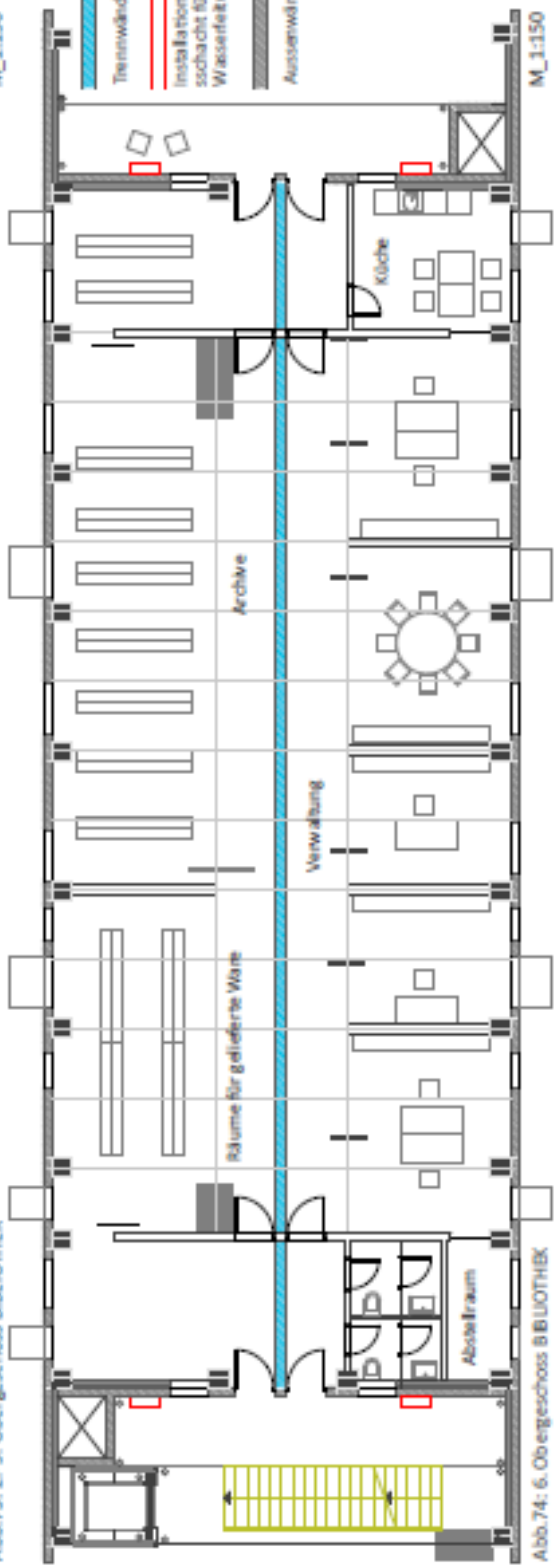


Abb.74: 6. Obergeschoss BIBLIOTHEK

2. Bibliothek und Ausstellung

Das 7-geschossige Holzhaus bietet auch den Platz für zwei verschiedene öffentliche Funktionen. Es wird gibt ein Konzept, indem die Bibliothek mit der Ausstellung kombiniert werden kann. In den ersten drei Geschossen befinden sich die Räumlichkeiten für die Bibliothek und in den letzten drei für die Ausstellung. Da die beiden Funktionen viel Platz für die gelieferte Waren und das Archiv benötigen, wird das dritte Geschoss als gemeinsamer Bereich genutzt. Jede Funktion hat eine eigene Erschließung, wobei die beiden Haupterschließungen im Brandfall als die Fluchtwege der beiden Funktionen verwendet werden können.

Die drei Ausstellungsgeschosse können durch eine interne Treppe als eine gesamte Ausstellung funktionieren oder nach dem Themen in den einzelnen Geschossen verteilt werden. Durch die großen Deckendurchbrüche entsteht eine interessante Wegführung und der ganze Ausstellungbereich wirkt als ein Raum.

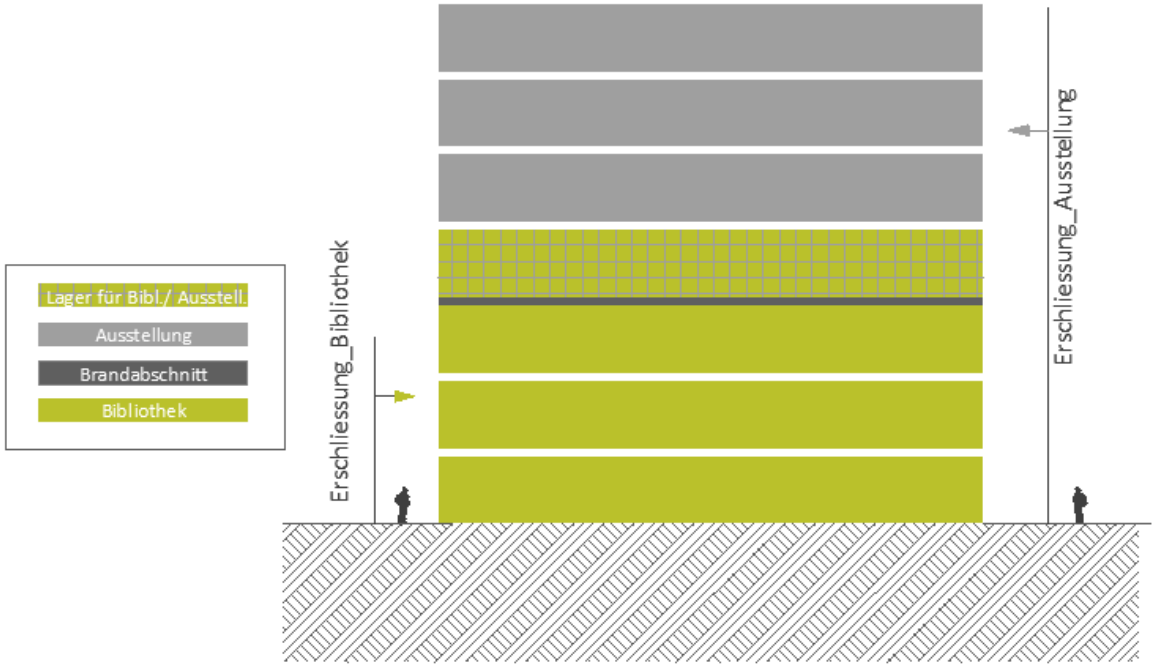


Abb. 75: Schnittschema (Bibliothek und Ausstellung)

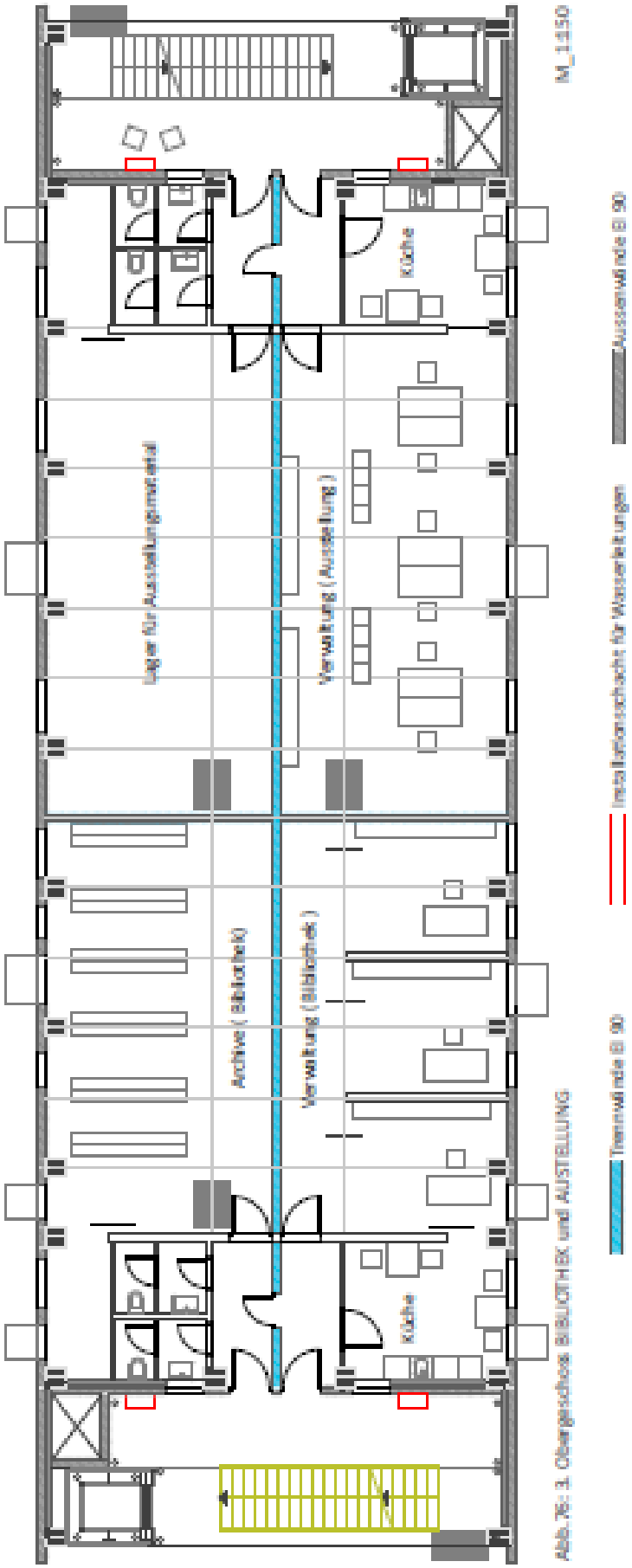


Abb. 76: 3. Obergeschoss BIBLIOTHEK und AUSTELLUNG

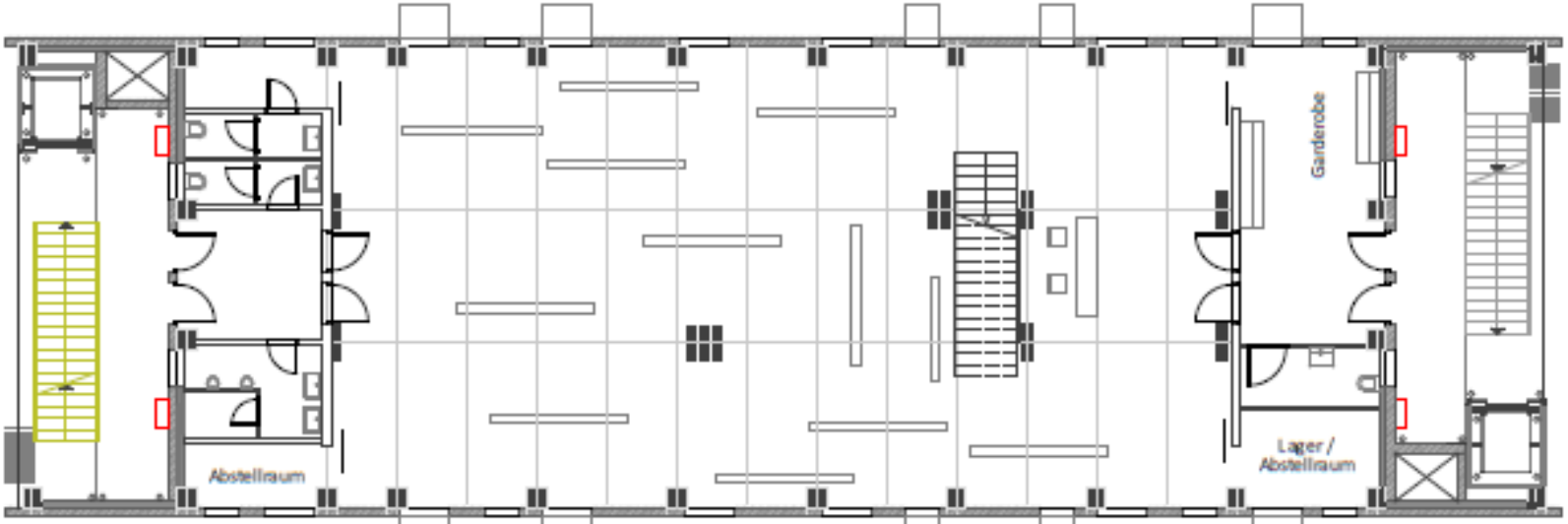


Abb. 77: 4. Obergeschoss AUSSTELLUNG

M_1:150

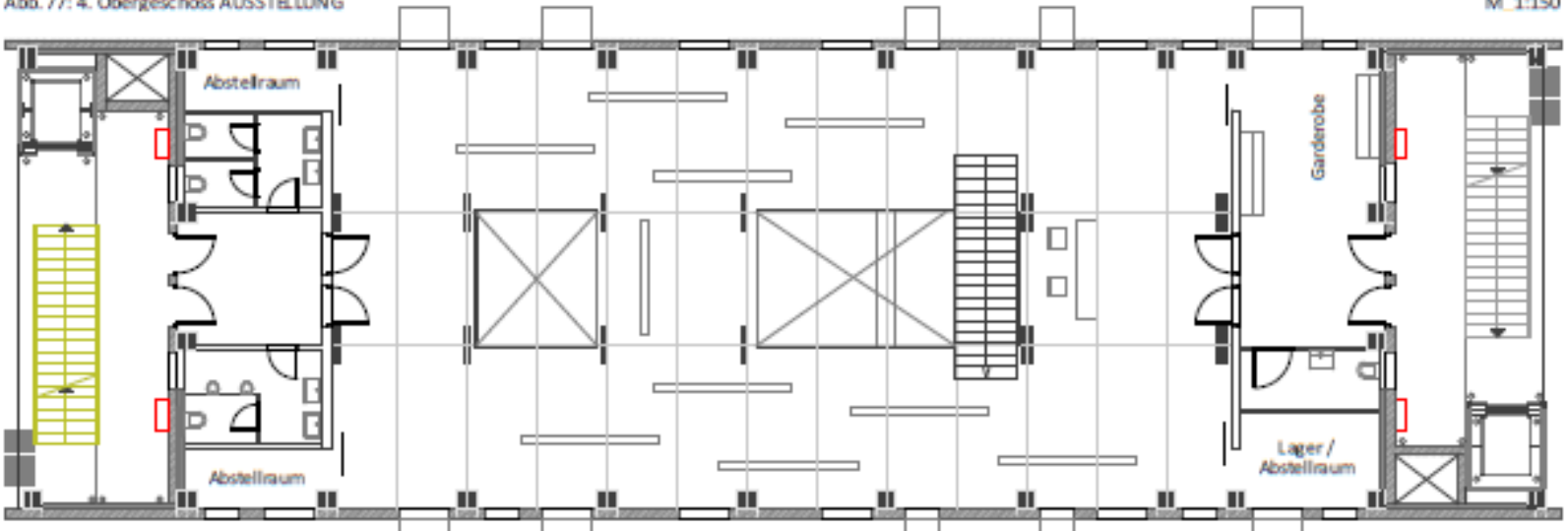


Abb. 78: 5. Obergeschoss AUSSTELLUNG

Trennwände EI 90

Installationsschacht für Wasserleitungen

Aussenwände EI 90

M_1:150

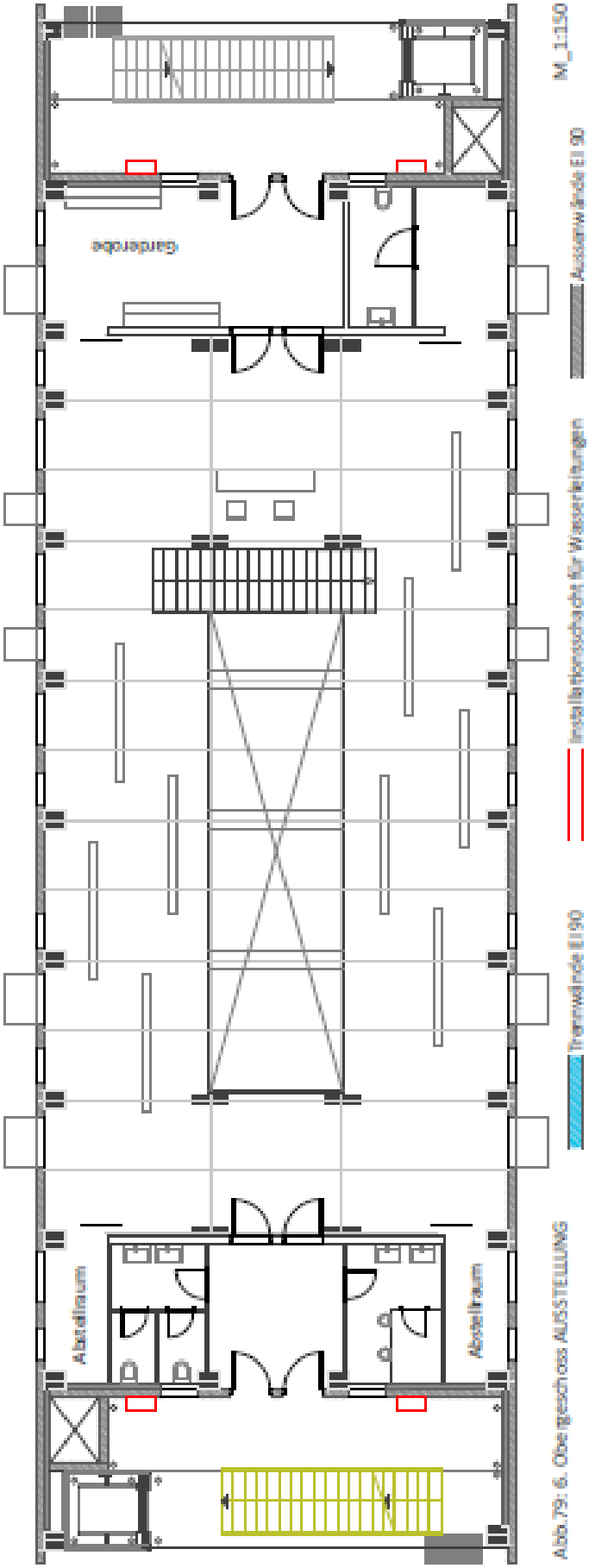


Abb. 79: 6. Obergeschoss AUSSTELLUNG

5.4.3 Verkauf

Diese Funktion ist immer in einer Kombination mit anderen Funktionen wie Wohnen oder Büro zu planen. Der Verkaufsbereich befindet sich nur im Erdgeschoss aus den folgenden Gründen:

Diese Funktion braucht immer aus Sicherheitsgründen zwei Fluchtwege, wobei der zweite Fluchtweg nicht durch den Rettungsweg ersetzt werden kann. Es dürfen max. nur drei Geschosse in einer offenen Verbindung stehen. Wenn die Verkaufsstätte größer als 600 m² ist, steigen die normativen Anforderungen wie Treppenbreite, Aufzugsgröße…etc.

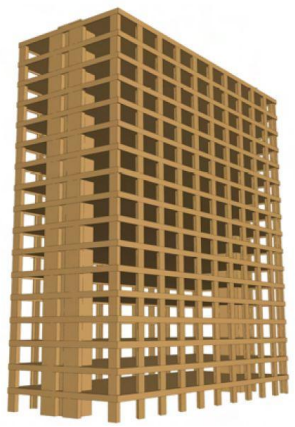
Wenn der Verkauf in der Kombination mit Büros drei-geschossig geplant wird, sind zwei Haupterschließungen notwendig, damit die beiden Funktionen ungestört benutzt werden können. Das Einsetzten der zweiten Stiege und des Aufzuges für drei Geschosse des Verkaufsbereiches ist nicht wirtschaftlich. Wird das gleiche Konzept aber mit Wohnen kombiniert, können eine Erschließung für die Wohnungen in den oberen Geschossen mit dem Verkauf geteilt werden (min. den Aufzug).

Auf der Basis dieser Gründe wird Verkaufsbereich nur auf die Erdgeschosszone begrenzt.

5.5 Das Tragsystem

5.5.1 Ziele und Recherche

Der Ausgangspunkt für das Tragsystem ist der optimale Ressourcenverbrauch. Es wurde ermittelt, welche Tragwerksysteme einen minimalen Bedarf an Holz benötigen und gleichzeitig optimale statische Leistungen mit einem hohen Vorfertigungsgrad bieten. Als Grundlage dienen die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt 8+. In dem Forschungsprojekt wurden fünf Konstruktionssysteme für ein Hochhaus mit quadratischem Grundriss miteinander verglichen und analysiert:

	1. Rahmen-Scheiben-Gitter System Der Vorteil des Systems ist der geringe Holzverbrauch wie die geringen und homogenen Knoten, die auf die jeweiligen Laststufen ausgelegen sind. Der Nachteil liegt jedoch in der aufwendigen Knotenausbildung.
	2. Netz 1 - Kurbelviereck System Das System ist durch einen hohen Holzverbrauch gekennzeichnet. Da die ganze Aussteifung in der Fassade liegt, werden die zahlreichen Knoten stark beansprucht. Mit der hohen Anzahl der Knoten steigen die Verbindungskosten. Der Vorteil der Konstruktion ist die Austauschbarkeit einzelner Stäbe nach einem Schadensfall.

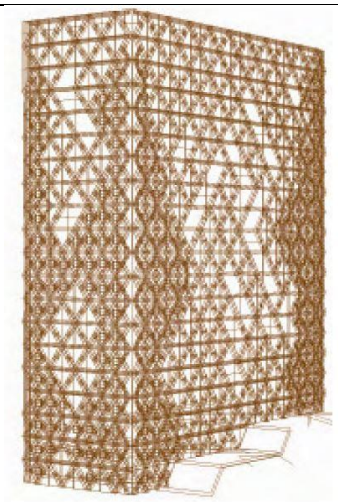
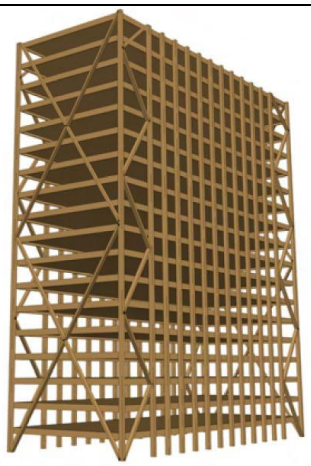
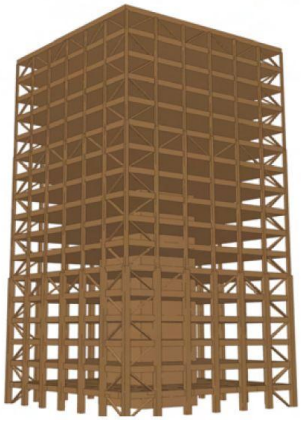
	3. Netz 2 - Auermann System Der Holzverbrauch dieses Systems ist höher als beim Netz 1 - Kurbelviereck Tragwerk, aber mit geringerer Knotenzahl.
	4. Diagonales System Dies ist das Modell mit dem geringsten Holzverbrauch und der einfachsten Struktur für das geringste Ausführungsrisiko. In der statischen Hinsicht ist das Tragsystem am besten optimiert.
	5. Kern System Der Materialverbrauch für dieses Tragsystem ist am höchsten. Der massive Kern (CLT-Platte) verlangt viel Material und trägt sehr wenig für die Aussteifung bei.

Abb. 80: Vorteile und Nachteile von den verschiedenen Holzsysteme [8]

)

Variante / Daten	RSG	NETZ 1 - Kurbelviereck	NETZ 2 - Prinzip Auermann	DIAGONALE	KERN
Geschoßzahl in Stahlbeton	3	3	3	3	3
Geschoßzahl in Holz	17	17	17	17	17
Geschoßflächenzahl Holzbau ∑	13900	13900	13900	13900	11016
Nutzfläche	742.5	742.5	742.5	742.5	729
Geschoßhöhe	3.25	3.3	3.3	3.3	3.25
Gesamthöhe	65	66	66	66	65
Fassade - ∑					
Fläche	7060	7168	7168	7168	6060
m3 Holz Fassade	694	1822	1378	767	598
m3 Holz /m2 Geschoßfläche	0.055	0.144	0.109	0.061	0.083
Decke&Mittelstütze - ∑					
Fläche	12622.5	12622.5	12622.5	12622.5	12393
m3 Holz Decke, Stützen	2306	1868	1868	1868	2781
m3 Holz /m2 Geschoßfläche	0.183	0.148	0.148	0.148	0.224
m³ Holz total	3000	3690	3246	2635	3381
€/m²	423.48	595.22	637	397.32	581

Abb.81: Vergleich der Holzsysteme [8]

5.5.2 Tragsystem des Entwurfes

Anhand der Analyse der optimalsten Konstruktion aus dem Forschungsprojekt 8 + ist das Tragsystem für das hier vorliegende Projekt entwickelt worden. (Abb. 82-85) Die gesamte Holzkonstruktion wird als Skelettbau ausgeführt werden. Nach dem funktionalen Raster sind die Abstände von 1,7 m x 2m zwischen den tragenden Stützen definiert. Die vertikalen Kräfte werden durch Holzbalken mit einer Spannweite von ca. 10 m auf die Stützen geleitet. Die Aussteifung des Gebäudes bilden KLH -Platte in der Fassade und in den Geschossdecken. Da das Gebäude vertikale Flexibilität bietet, besitzt nur ein Teil der Decke eine aussteifende Funktion. Somit kann ein Teil der Decken entnommen werden ohne das statische System zu beeinträchtigen. Es wird eine Arte „Rahmen“ in der horizontalen Ebene ausgeführt. Die flexiblen Deckenelemente bestehen aus KLH–Platten wegen der Anforderungen an den Brandschutz. Die Decken müssen einen Feuerwiederstand von REI 90 aufweisen und dürfen keine Hohlräume besitzen. Die Konstruktion der Erschließung besteht aus einem unabhängigen Tragsystem und wird aus einer Stallkonstruktion hergestellt. Für diesen Bereich werden keine statischen Berechnungen durchgeführt.

- Die Problematik der Deckenhöhe

Wie schon am Anfang erwähnt, wird das Holzgebäude als multifunktionales Gebäude geplant. Dem entsprechend soll die Raumhöhe des Projektes die Anforderungen der öffentlichen Gebäude (Büro, Bibliothek...etc.) erfüllen und 3 m nicht unterschreiten. Da das Gebäude 7-geschossig ist und das Fluchtniveau ≤ 22 m sein soll, kommt man auf eine zulässige Deckenhöhe von 66 cm. Die Spannweite des Gebäudes von 10 m beeinflusst stark den Querschnitt des Holzbalkens. Bei der Verwendung eines Balkens aus Vollholz, kommt man bei der Vordimensionierung zu einer Balkenhohe von 60 cm. Erhält dieser noch einen Bodenaufbau, wird die zulässige Deckenhöhe überschritten. Aus dem Grund werden die Holzbalken als Doppelbalken aus Brettschichtholz geplant.*(Abb.85)* Durch eine höhere Festigkeitsklasse und einer stärkeren Trägerdimensionierung sinkt die notwendige Balkenhöhe, was anhand der statischen Berechnungen dargestellt wird.

- Die Statische Berechnungen

Um die Möglichkeit des Tragsystems genauer zu überprüfen, werden statische Berechnungen für das Projekt mit Hilfe des FEM-Programms (Finite Elemente Programm) durchgeführt. Für den Fall, dass das Gebäude eine öffentliche Funktion mit einer hohen Belastung wie Bibliothek annimmt, wird die Nutzlast mit einer Belastung von 5 kN / m² als maßgebend genommen. Für den Aufbau und das Eigengewicht wird eine Last von 3 kN / m² angesetzt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der statischen Berechnungen dargestellt:

Tabelle 12: Ergebnisse der statischen Berechnungen der Holzkonstruktion

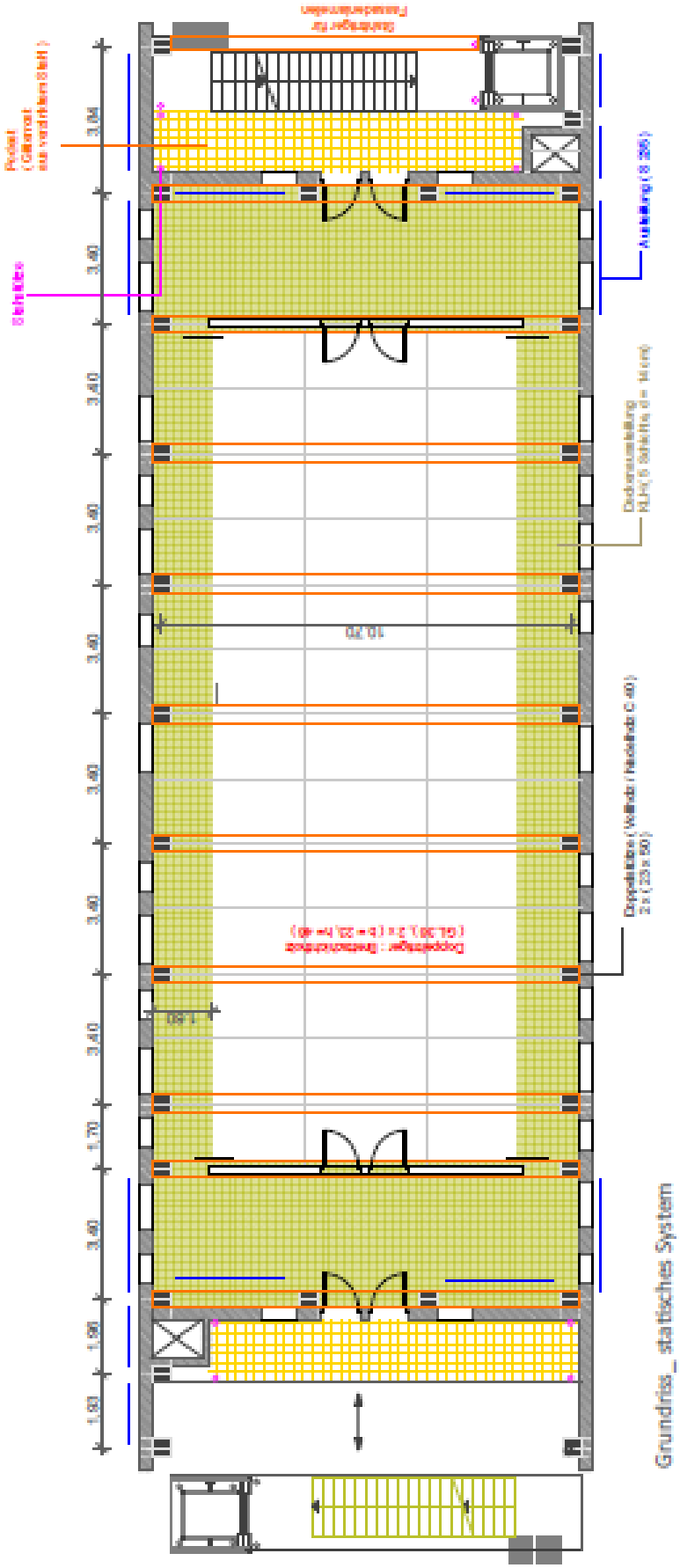
Elemente	*Material*	*Dimensionen [cm]*
Doppelträger	Brettschichtholz (GL 36)	2x 23 x 46
Doppelstützen	Vollholz (Nadelholz C 40)	2 x 50 x 23
Wandaussteifung	KLH –Platte (5 Schichten)	D= 14 cm
Deckenaussteifung	KLH –Platte (5 Schichten)	d= 14 cm

Nach den statischen Berechnungen sind die Doppelträger von 46 cm aus Brettschichtholz

ausreichend für die Aufnahme vertikale Belastung .Mi den Dimensionen wurde auch die maximale Deckenhöhe von 66 cm (inklusiv Bodenaufbau und Installationen) nicht überschritten. Statt Vollholz wurden die Brettschichtholzträger ausgewählt, da die größere Festigkeit haben. Für die Stützen von den 2x (50x23 cm) ist Einsatz des Brettschichtholzes nicht notwendig. Mit den Vollholz (Nadelholz C 40) und Ausführung als Doppelstütze wurde die Sicherheit des statischen Systems erreicht.

- Montage

Der Montageablauf des Gebäudes soll praktisch und schnell sein. Als erstes werden die Aussteifungswände gemeinsam mit der Aussteifung(KLH) aufgerichtet, damit die ausreichende Stabilität für die weiteren Montageschritte gewährleistet wird. Die mehrere Stützen werden mit Hilfe eines aussteifenden Brettes aufgerichtet. Wenn die Deckenkonstruktion montiert wird und das Geschoss seine Stabilität erreich werden die aussteifende Bretter weggenommen. So wird geschossweise das ganze Haus montiert. Die Konstruktionen mit durchgehenden stützen (die reichen über mehrere Geschossen) bieten viel schnellere Montage. Aber bei dem Projekt wurde darauf aus der Brandschutzsicherheit verzichtet. Es ist im Brandfall günstiger wenn die Stützen der verschiedenen Geschosse durch Decken getrennt sind. *(Abb. 86: Montageablauf)*


Grundriss_ statisches System

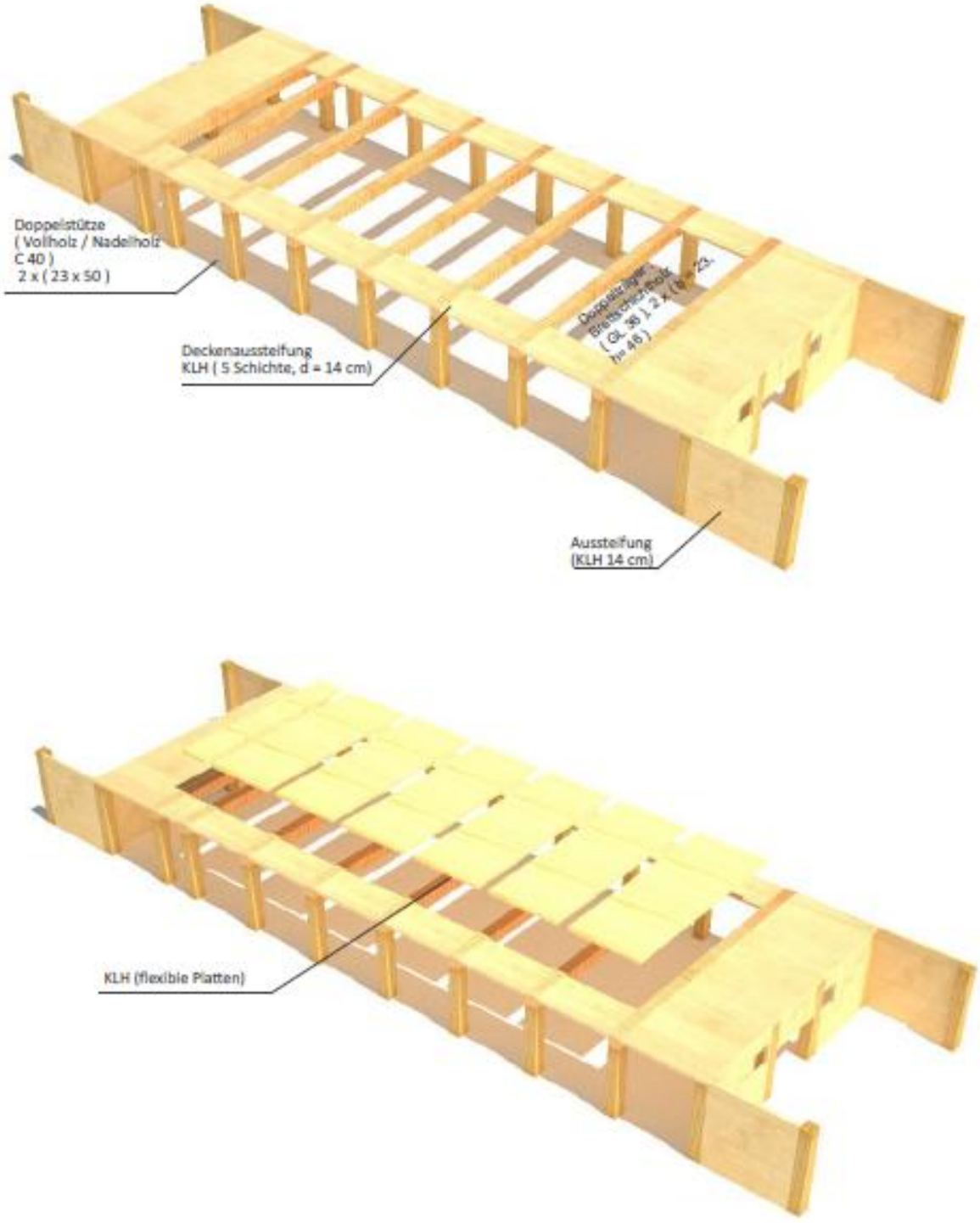


Abb.83: statisches System am Beispiel eines Geschosses

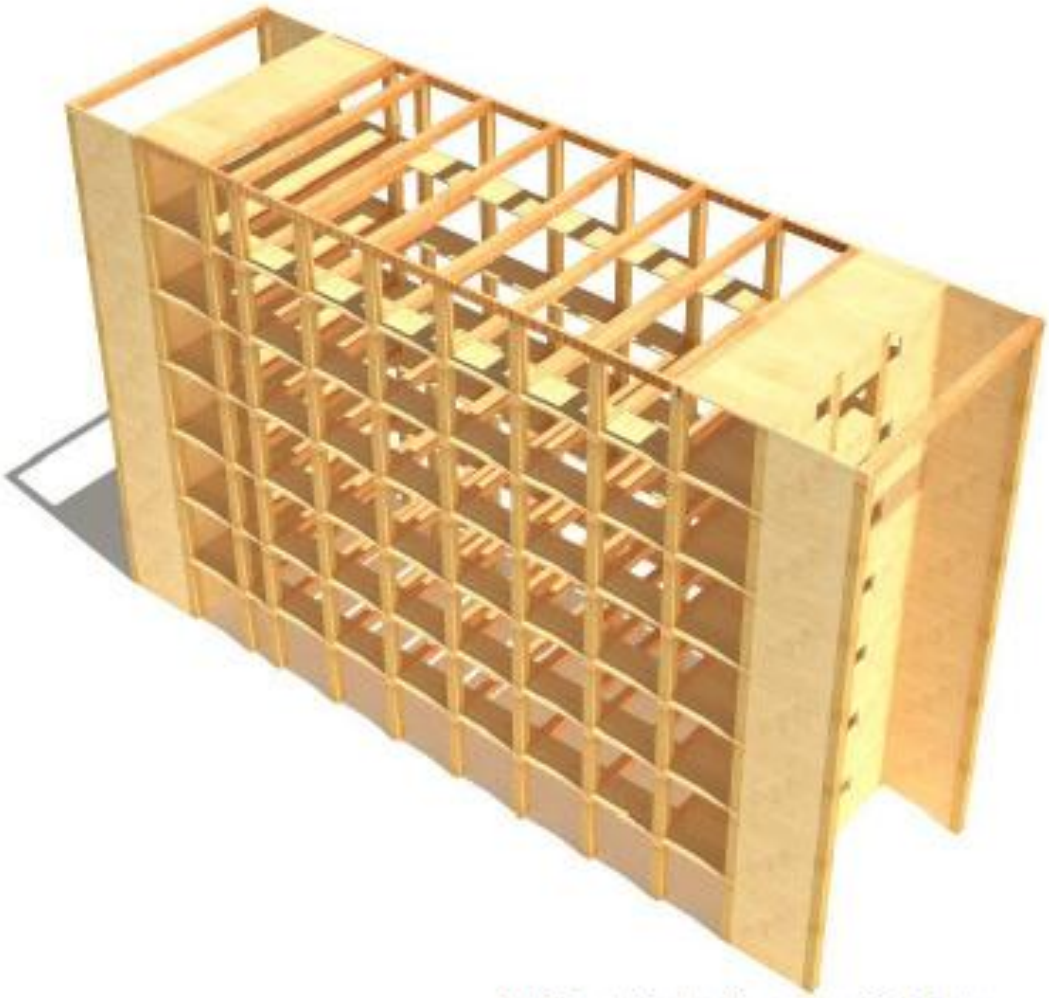


Abb.84: statisches System des Gebäudes

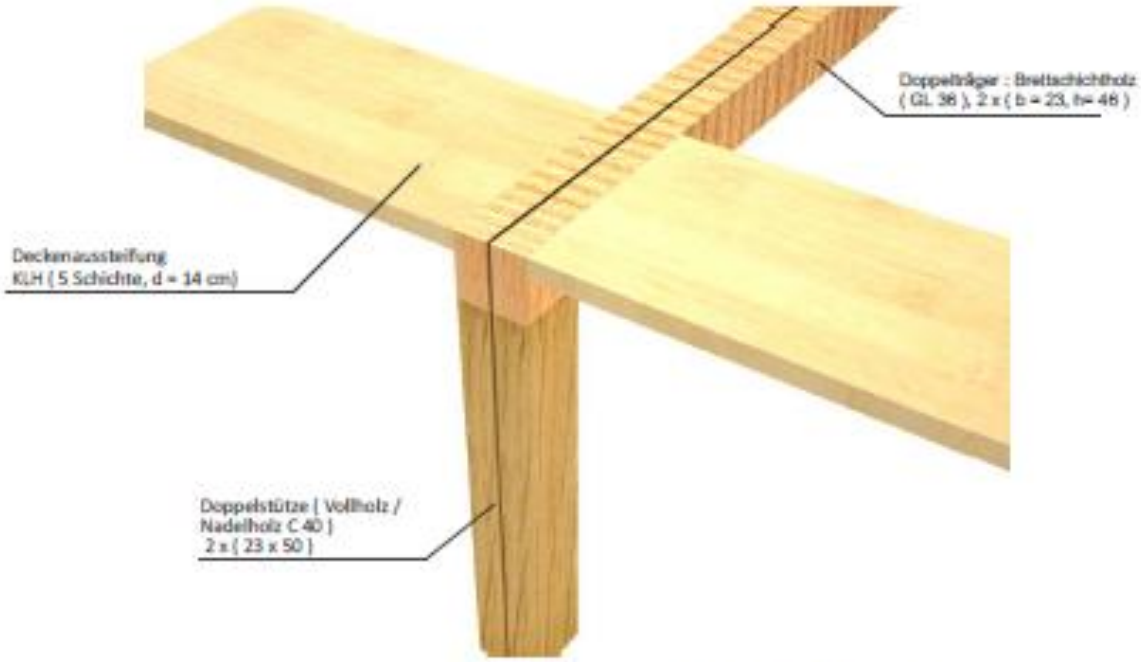


Abb.85: Konstruktionselemente

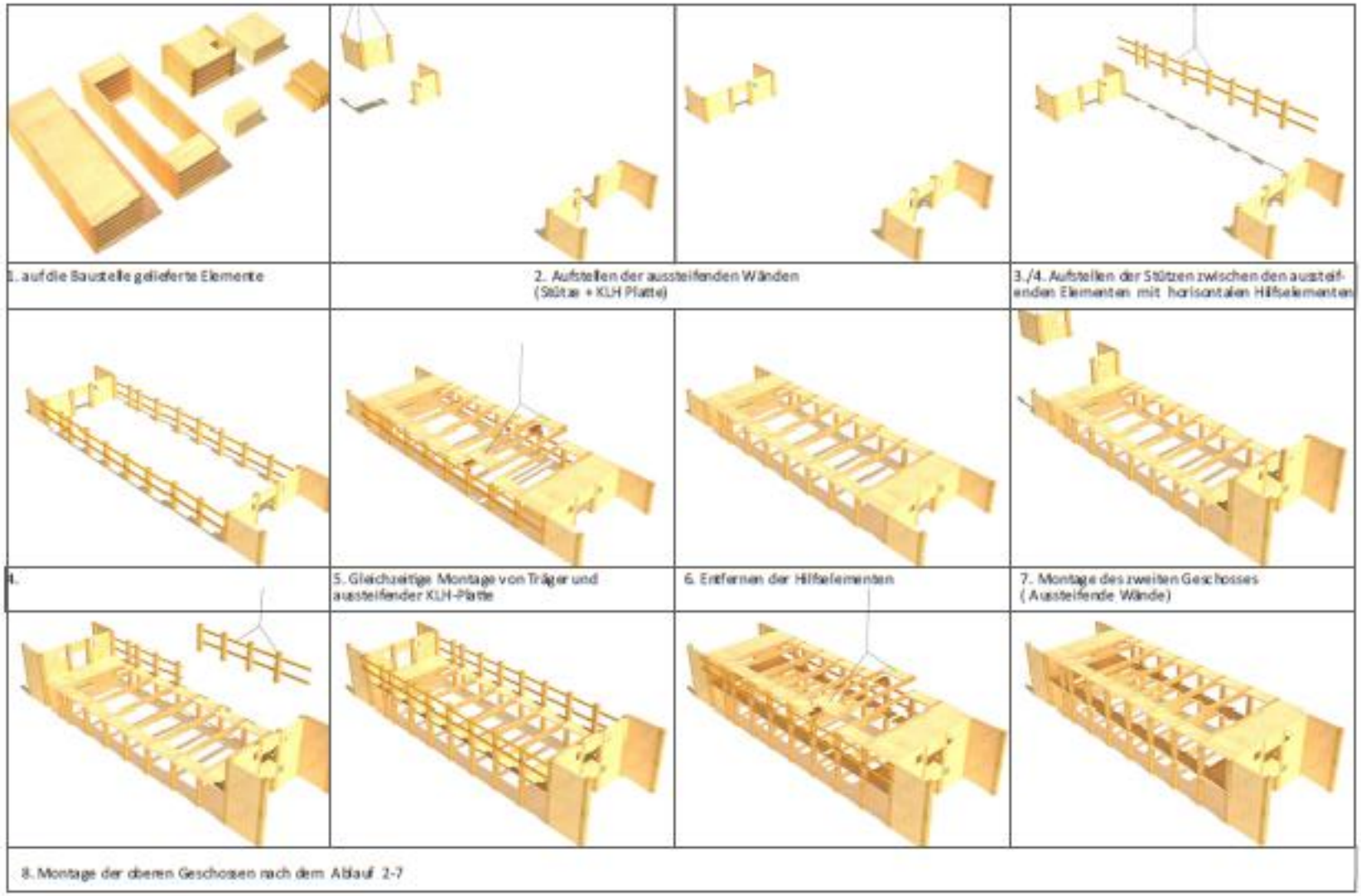


Abb.86: Montageablauf

5.6 Materialien

In der Problemstellung wird schon die Bedeutung des kontrollierten Ressourcenverbrauches erwähnt. Für die Baubranche gilt eine hohe Notwendigkeit diesen zu überprüfen, da sie den größten Ressourcenverbraucher darstellt. Daher ist es wichtig die Materialien für die Baubranche zu verwenden, die:

- erneuerbar sind,
- wenig Energie für ihre Herstellung brauchen und
- nach dem Lebensende des Gebäudes wieder verwertbar oder recycelbar sind.

Bei der Entwicklung des 7-geschossigen Hauses wurde auf die Verwendung von umweltfreundlichen Ressourcen großen Wert gelegt.

5.6.1 Holz

Die zwei wichtigsten Vorteile des Holzes im Vergleich zu den meisten anderen Baumaterialien sind das nachwachsende Potential und die CO2 Speicherfunktion. Demgemäß werden die verwendeten Bauteile aus Holz geplant, solange es rechtlich möglich ist und im Rahmen der Baueffizienz erfolgt. Die tragenden und aussteifenden Elemente wie Stützen, Balken, Geschossdecken und Wandelemente sind aus Holz. Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen der OIB können bestimmte Bauteile aus Holz errichtet werden, doch müssen einer brandschutztechnischen Ertüchtigung unterzogen werden – einer Kapselung. Ein zusätzlicher Ressourcenverbrauch findet statt. Das herkömmliche Material für diesen Zweck ist die Gipskartonplatte. Für die brandschutztechnische Ertüchtigung von Holzbauteilen eines 7-geschossigen Hauses ist eine hohe Menge an Gipskartonplatten notwendig. Diese werden weitestgehend durch umweltfreundlichere Materialien zu ersetzen.

5.6.2 Lehm

Lehm ist ein sehr ökologisches Baumaterial. Für die Verwendung als Baumaterial wird Lehm von der Erde genommen. Wird es nicht mehr gebraucht, kann es wieder als Ausgangsmaterial für neue Projekte verwendet werden, ohne zusätzliche Energie zu verbrauchen. Lehm erhärtet durch Lufttrocknung und bindet nicht chemisch ab wie Kalk oder Zement. Es hat die einzigartige Eigenschaft, bei erneuter Wasserzugabe wieder plastisch und formbar zu sein. Doch es ist auch empfindlich gegen eindringendes Wasser, so dass bei erhöhtem Wasserkontakt die Bauelemente aus Lehm wieder Teil der Natur werden. Die Anwendung des Lehms im Innenbereich haben viele Vorteile. Ebenfalls ist das Material auch im Außenbereich verwendbar. Wichtig hierbei sind die baulichen Maßnahmen wie:

- Schutz des Lehms - Anwendung von wasserabweissende Putze und Anstriche;
- Stabilisierung des Lehms durch Zusätze;
- Fernhalten der Nässe durch Wetterschutz .

In Jemen befinden sich z.B. 400 Jahre alte Hochhäuser aus Lehm, die bis zu 30 m hoch sind.

Die umweltfreundlichen Eigenschaften sind nicht die einzigen Vorteile dieses Materials. Es bestehen viele weitere Gründe, warum dieses Material als Baustoff eingesetzt werden sollte. Im Gegensatz zu Holz ist Lehm nicht brennbar, hat ein gutes Wärmespeichervermögen und ist schalldämmend (Abb.87). Es kann sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen (bis zu neuen mal mehr als Gips) und wirkt dadurch als Klimapuffer, der Feuchtigkeit aufnimmt und sie nach und nach wieder abgibt gleich wie Holz. Dank dieser Eigenschaft bleiben die alten Fachwerkhäuser über Jahrhunderte erhalten, da Lehm in einer Fachwerkwand Wasser vom Holz abzieht und die Wand trocken hält. In der letzten Zeit entdecken immer mehr Architekten und private Bauherren den Baustoff Lehm. Es werden auf dem Markt immer mehr Lehmprodukte angeboten wie Lehmplatten, Lehmputze, Lehmfarben, Lehmestriche oder Lehmwandheizsysteme.

Wanddicke s[1] =	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35 m
Rohdichte kg/m³	Schalldämm-Maße R'w (dB)[2]					
1800	47	51	54	56		
1600	46	50	52	55	57	
1400	45	48	51	53	55	57
1200	44	47	50	52	54	55
1000	43	46	48	50	52	53
800	41	44	46	48	50	51
600	40	42	44	46	47	49

Abb.87 Bewertete Schalldämm-Maße R w einschaliger, verputzter Lehmwand

Bauteil	Klassifizierung
Massive Wände Massive gemauerte oder gestampfte Lehmwände (der Baustoffklasse A) einer Dicke von 24 cm[1]	F 90 A
Fachwerkwände mit ausgefüllten Gefachen Bedingungen: Holzquerschnitte mind. 100 × 100 mm bei einseitiger, mind. 120 ×120 mm bei zweiseitiger Brandbeanspruchung, Ausfüllung mit Lehmschlag (Strohlehmausfachung), mindestens einseitige Bekleidung, z. B. mit 15 mm Putz[2]	F 30 B

1 Nach DIN V 18954: 1956
2 Vgl. DIN 4102-4 4.11: 1994-03, Abschnitt 4.11, Bedingungen im Einzelnen siehe dort.

Abb.88 Feuerwiderstandsklasse von Wänden mit Lehmbaustoffen

Flächenbezogene Masse der Massivwand	Bewertetes Schalldämmmaß	
	Ohne Vorsatzschale	Mit Vorsatzschale
100 kg/m²	36 dB	49 dB
200 kg/m²	44 dB	50 dB
300 kg/m²	49 dB	54 dB
400 kg/m²	52 dB	56 dB

Abb.89: Beispiel der Verbesserung der Schalldämmung einer massiven Wand durch eine biegeweiche Vorsatzschale

BIOPAN – Lehmbauplatten

Abmessungen:	1500 mm x 1250 mm und 2500 mm x 1250 mm
Dicke:	15 mm
Gewicht:	ca. 12 kg/m^2
Rohdichte:	800 kg/m3 ± 10 %
Wärmeleitfähigkeit [λ]:	0,18 W/mK
Spezifische Wärmekapazität [c]:	1.233 kJ/kgK
Dampfdiffusionswiderstand [μ]:	30
Druckfestigkeit:	> 5,0 N/mm^2
Unterkonstruktion:	Holz oder Metallprofile, Abstand ≤ 625 mm
Befestigung:	Schrauben, Dübel
Bauseitige Voraussetzungen:	Nässe vermeiden
Biegefestigkeit:	5,5 N/mm^2
Zug- und Abscherbelastung:	≤ 25 kg
Baustoffklasse:	A1, nichtbrennbar, geprüft nach DIN 4102, Teil 1
Standfestigkeit:	geprüft nach DIN 4103, Teil 1 und Teil 4
Konstruktion:	EI30 / F30, geprüft nach DIN EN 1364-1

Abb.90 Lehmbauplatten für Kapselung der Holzkonstruktion

Lehmeinsatz im vorliegenden Projekt

In DIN 18951 von 1951 ist Lehm als nicht brennbar eingestuft, auch wenn pflanzliche Faserstoffe beigemengt sind, jedoch nur ab einem Raumgewicht 1700kg/m³ .Leichtlehmsteine sind also über 1700kg/m³ nicht brennbar.

Aufgrund der ökologischen Eigenschaften und der Nichtbrennbarkeit des Lehms werden statt Gipskartonplatten die modernen Lehmplatten für die Kapselung der Holzkonstruktion eingesetzt (Abb. 90)

Für die Trennwände zwischen den verschiedenen Einheiten werden statt Holzwände Massivlehmwände geplant. Die massive Wand hat gute Schalldämmwerte, muss nicht gekapselt werden und ist nicht brennbar. Eine massive Lehmwand mit einer Dicke von 24 cm hat eine Feuerwiderstandsklasse von 90 Minuten nach der DIN V18954: 1956. Der Massivlehm ist nur auf die Trennwände beschränkt, wegen der großen Rohdichte von 1700 kg/m³. Der Beton hat zum Vergleich eine Rohdichte von 1500-2500 kg/m³. Für die leichte Holzkonstruktion wäre der Einsatz von Lehm für alle Innenwände aus statischem Grund nicht geeignet. Um die Dicke der Wand von 24 cm zu optimieren und dabei keine Schalldämm- und Brandeigenschaften negativ zu beeinflussen, wurde die Dicke der Wand auf 15 cm reduziert und mit den leichten Lehmplatten (nicht brennbar, F30) als Vorsatzschalen beidseitig umhüllt Durch Vorsatzschale werden die Schalldämmwerte verbessert und der geforderte Feuerwiderstand erreicht (Abb.89)

Der Lehm kommt außerdem bei dem Bodenaufbau zum Einsatz. Typischer Zementestrich wurde durch Lehmestrich ersetzt.

5.6.3 Glas

Die Herstellung von Glas braucht viel Energie. Jedoch ist es zu 100% wiederverwertbar und hat eine lange Lebensdauer. Die Herstellung von Glas aus alten Scherben spart Rohstoffe und vor allem Energie. Das Einschmelzen von sortenreinem Altglas ist sinnvoll, da der Altwerkstoff zu 100% in das Produkt eingeht. Zum Einschmelzen von Glas aus neuen Rohstoffen würde bis zu 25% mehr Energie benötigt. Dank Glasrecycling und dem Einsatz moderner Technologien sank der Energieeinsatz bei der Glasherstellung seit 1970 um 77 [I24].

In dem vorliegenden Projekt wird Glas aus altem, recyceltem Glas hergestellt, neben den Fenstern wird es zusätzlich für zwei große verschiebbare Glaswände eingesetzt. Da der Mittelbereich des Hauses über Tageslicht verfügt, kann man zusätzliche Fläche gewinnen, da die Tiefe des Gebäudes wird größer.

5.6.4 Stahl und Beton

Aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen und der Personensicherheit im Brandfall ist das Planen mit Holz und Lehm nicht immer durchführbar. In dem hier vorliegendem Projekt gibt es Bereiche für die andere, wenig ökologischen, Materialien verwendet werden müssen. Die offene Fluchtstiege darf nicht aus brennbaren Materialien hergestellt werden. Die Treppen werden als typische Stahlgitterosttreppen geplant und statisch unterstützt durch die brandgeschützten Stahlstützen. Die ganze Konstruktion ist unabhängig von der Hauskonstruktion. Auf dieser Art kann der gesamte Stiegenbereich leicht montiert und demontiert werden. Im Gegensatz zu der Betonkonstruktion kann der Stahl durch das Einschmelzen recycelt werden.

- *Eine Tonne Stahl, die aus Schrott erzeugt wird, spart 1,5 Tonnen Eisenerz, 0,65 Tonnen Kohle, 0,3 Tonnen Kalkstein und vermeidet rund 1 Tonne CO_2. Im Jahr 2011 wurden weltweit rund 570 Mio. Tonnen Stahlschrott Wiederverwertet [I25].*

Die horizontal auskragenden Elemente an der Fassade, die die Ausbreitung des Feuers in das obere Geschoss verhindern, müssen aus nicht brennbaren Materialien bestehen. Da diese gleichzeitig den Balkone bilden und 0,8 m lang und 1,2 m breite sind, wurden nur die vorgefertigten Hohldielen aus Stahlbeton (d/b/l= 10 cm/ 33 cm/ 80 cm) an der Fassade befestigt (ohne Aufbau). Wenn man die gleichen aus Holz ausführen wollte, würde eine zusätzliche Kapselung und Witterungsschutz notwendig.

5.6.5 Mineralische Wärmedämmung

Wenn die tragende Konstruktion eines Gebäudes der Bauklasse 5 aus einem brennenden Material wie Holz gebaut wird, dürfen die eingesetzten Wärmedämmungen nicht brennbar sein. Die meisten ökologischen Wärmedämmungen sind jedoch brennbare, organische Materialien wie Cellulose-, Hanf-, Baumwolle-, Flachsfaser-, Holzfaser-, Schafwolle-, Hobelspann-, Kork- oder Schilfdämmung. Aufgrund der gesetzlichen Anforderungen wurde als Wärmedämmung nicht brennbare mineralische Dämmungen eingesetzt.

5.7 Details

Bei der Ausführung von den Details wurde auf folgende Punkte geachtet:

- Vorfertigungsgrad soll möglichst hoch sein,
- Schnelle Montage und
- Änderungen sind leicht durchführbar.

Sowohl vertikale als auch horizontale Flexibilität sollten ohne großen Aufwand durchführbare sein. (Abb. 91 – 93)

5.7.1 Decken

Die Decke besteht aus tragender KLH Platte. Bodenaufbau und Unterkonstruktion der Decken wurden so geplant, dass die bei der Demontage der Decke keinen großen Aufwand entsteht. Durch die Trennung des Bodenaufbaus (Aussparung für Wände) kann Estrich leichter entfernt werden. Die KLH- Platte wurde anstatt der weichen Wärmedämmung mit starrer Glaswolle-Dämmplatte in Verbindung mit Lehmplatten(2- Komponenten Dämmplate) von dem Brand geschützt, d.h. das ganze System kann als ein Element schnell montiert werden.

Die Installationen werden in dafür vorgesehene Installationsboxen zwischen den Balken platziert. Die Entfernung der Elemente ist leicht und im Vergleich zu den durchgehend abgehängten Decken müssen keine Platten abgerissen werden. (Abb. 92)

5.7.2 Außen- und Innenwände

Analog zu den Decken ist die Flexibilität der Innenwände optimiert. Der Bodenaufbau ist immer in einem Abstand von 1,7 m durch Aussparungen für das Einsetzten von ausführbaren Innenwänden gedacht. Dadurch muss der Bodenaufbau mit Estrich und Bodenbelag bei dem Aufstellen der Wand nicht zerstört werde. (Abb. 92; 93)

Für die Außenwand wird ein hocheffizientes System vom *Gap Solution* verwendet. (Abb. 91) Seine Vorteile sind schnelle Bauzeit und das Erreichen der guten Dämmwerte trotz geringer Wandstärke. Es handelt sich um eine spezielle Zellulosewabe, die umlaufend in ein Holzrahmensystem integriert ist und das Sonnenlicht in Wärme umwandelt. Eine hinterlüftete Verglasung schützt die Waben vor Witterung und mechanischen Beschädigungen.

Die tief stehende Wintersonne dringt in die Solarwabe ein. An der Außenseite der Wand bildet sich eine warme Zone – das Gebäude wird sozusagen in eine warme Klimazone versetzt, der Temperaturunterschied zwischen Wohnraum und Außenklima ausgeglichen. Im Sommer verschattet die Struktur der Solarwaben durch den hohen Sonnenstand, die Hinterlüftung verhindert eine Überhitzung, auf Abschattungsmaßnahmen kann verzichtet werden. Die Waben können in jedem Farbton lackiert werden, darunter befindet sich eine brandhemmende Schutzschicht.

Für die Entwickler stehen neben höchster Energieeffizienz der Einsatz von ökologisch unbedenklichen Komponenten und nachwachsenden Rohstoffen sowie minimale Instandhaltungskosten, leichte Austausch- und Recycelbarkeit und komfortable Innenwand-Temperaturen im Vordergrund.

Die Fassade wird vorgefertigt und verglast auf die Baustelle geliefert, wobei der Vorfertigungsgrad je nach Anforderung bis hin zum fertig eingebauten Fenster reichen kann. Die maximale Elementhöhe beträgt 3,2 Meter, die Länge 12 bis 14 Meter.

Die Fassaden sind witterungsfest und wartungsfrei, ihr Einsatzbereich geht aufgrund der herrschenden Brandschutzbestimmungen bis zur Hochhausgrenze.

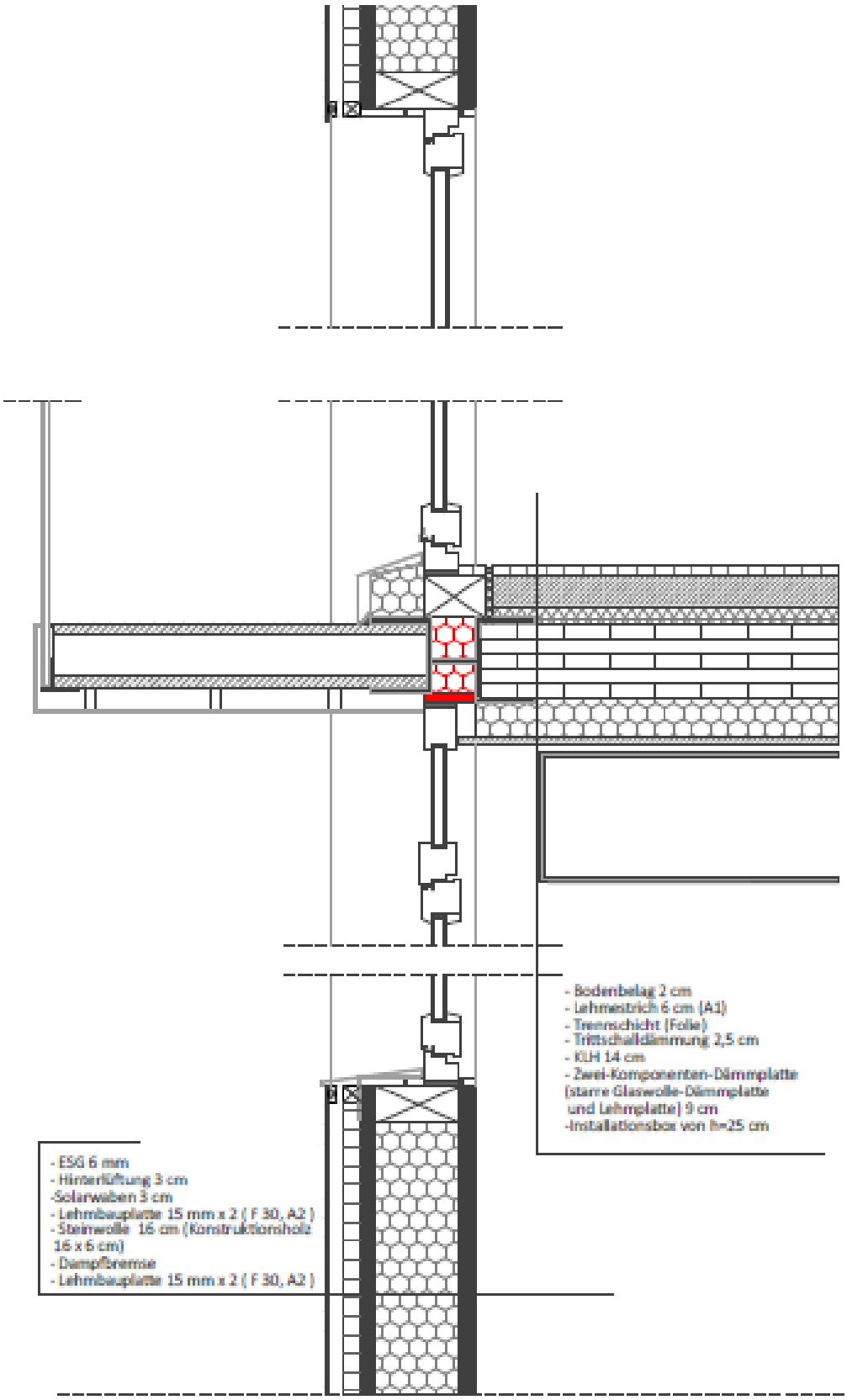
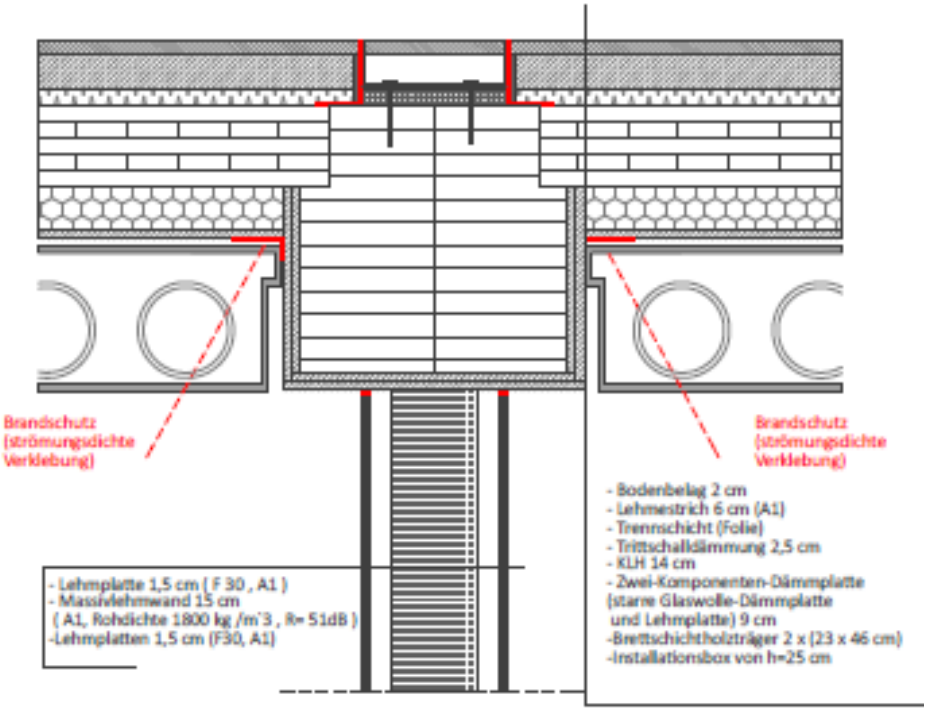


Abb.91 :Aussenwand / Balkonanschluss M_1:10



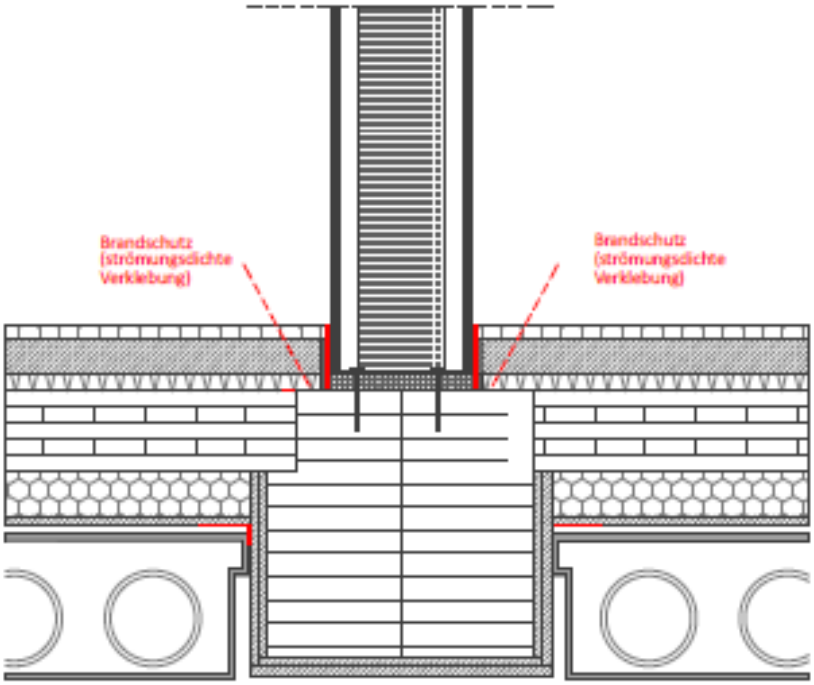
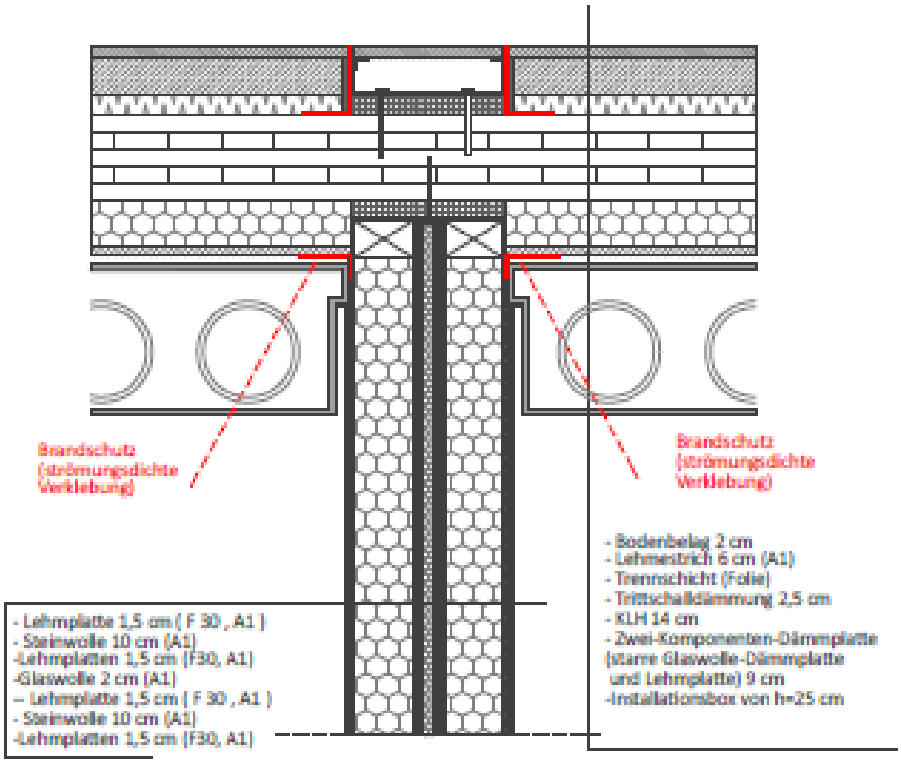


Abb.92 :Trennwände aus Lehm M_1:10



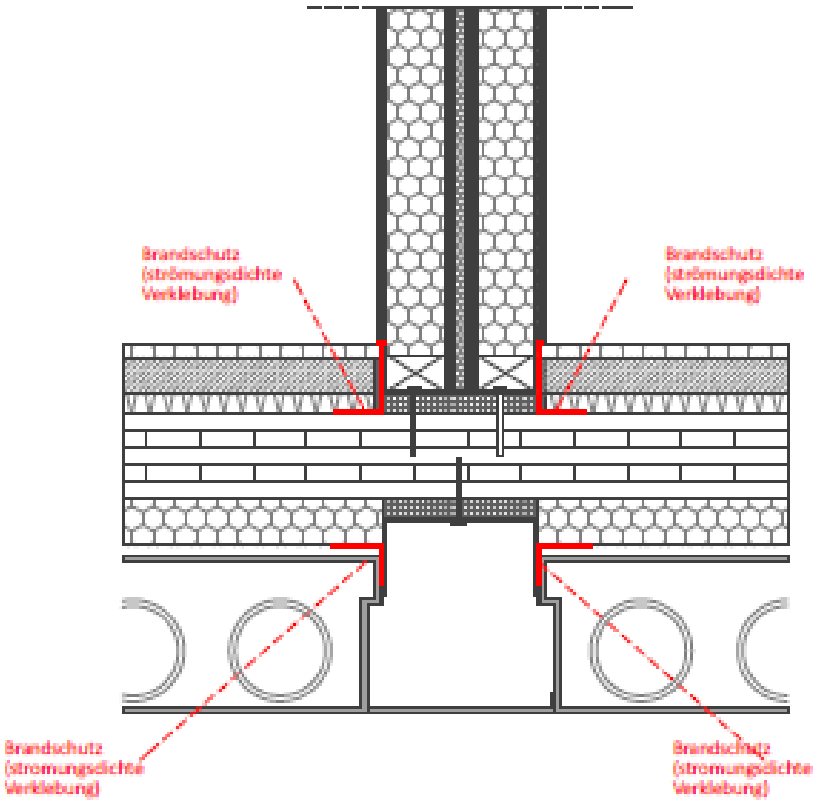


Abb.93: Innenwände mit großen Schallschutzanforderugen (R 58 dB) M_1:10

Zum Schluss dieser Arbeit wird noch einen Überblick über die Qualitäten, Schwierigkeiten und das mögliche Potenzial des Systems gegeben.
Die Anpassungsfähigkeit des Gebäudes an den Stadtraum, die Multifunktionalität und die Flexibilität des Holzsystems sind Hauptvorteile des entwickelten Systems.
Durch die Kombination von Holz und Lehm wird Rücksicht auf den Ressourcenverbrauch und die Umwelt genommen.
Das Heizungssystem und der gesamter Energieverbrauch des Gebäudes sind die Themen, die für die Weiterentwicklung der Arbeit interessant wären.
Die Schwierigkeiten und Nachteile des Projekts sind die gestellten Anforderungen an den Brandschutz, die die gewünschte Reduzierung des Ressourceneinsatzes begrenzt haben. Die Anwendung von nicht brennbaren, mineralischen Materialien (z.B. Mineralwolle) sowie der Einsatz der Massivholzdecke statt einer Hohlholzdecke und die zusätzliche Kapselung der Holzkonstruktion führten zu dem steigenden und weniger umweltfreundlichen Ressourcenverbrauch.

[1] Hollinsky, K.; Wolfsgruber, J.: Bausysteme Holzbau für Architekten. Teil 2/3. Vorlesungsskript der TU-Wien; 2007

[2] Kaufmann, H.; Nerdinger, W.: Bauen mit Holz. Wege in die Zukunft. Prestel-Verlag; 2. Aufl.; 2012

[3] ProHolz; Zuschnitt 14; 2004

[4] Östman, B. et al.: Fire safety in timber buildings: Technical guideline for Europe. SP Report; 2010

[5] Techniknovelle 2007; Erläuterungen zur OIB-Richtlinie 2

[6] Teibinger, M.: Brandschutzvorschrift in Österreich: Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2. proHolz; zuschnitt Magazin; 2. Aufl.; 2012

[7] OIB-Richtlinie 2

[8] Schluder Architektur ZT GmbH; Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum mit Zielrichtung auf acht oder mehr Geschosse;2009

[I1] http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02610531#page-1

[I2] http://www.ostfalia.de/export/sites/default/de/ifvm/download/FoLue/Dokumente_WK/werkstoff_holz.pdf

[I3] http://wecbc.smallboxcms.com/database/rte/files/Tall%20Wood.pdf

[I4] http://de.wikipedia.org/wiki/Geb%C3%A4udeklasse

[I5] http://www.myheimat.de/sondershausen/freizeit/der-possenturm-mit-vierzig-metern-hoehe-der-groesste-turm-europas-der-in-fachwerkbauweise-errichtet-wurde-m1827948,2315344.html

[I6] http://www.proholz-ooe.at/fileadmin/proholz.ooe/media/HandoutPraxisforum13.pdf

[I7] http://www.geo.de/reisen/community/bild/198436/Suzhou-China-Pagode-des-Nordtempels

[I8] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horyu-ji06s3200.jpg

[I9] http://www.stylepark.com/de/news/olzhoc-phinaus/327640

[I10] http://www.dw.de/hochhaus-aus-holz/a-6194471-1

[I11] http://kaden-klingbeil.de/uploads/pdf/bauwelt-08-15-opt-scan3.pdf

[I12] http://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/london/stadthaus_murray_grove_wt160709_wp2.jpg

[I13] http://www.texte-nach-mass.de/pdf/murray_grove_tower_london.pdf

[I14] http://www.holzhelden.de/files/smthumbnaildata/lightboxdetail/8/3/9/0/1/HuberHolzhaus02.jpg

[I15] http://www.architektur-bauforum.at/auf-holz-gebaut-116213.html)

[I16] http://www.huber-sohn.de/bilder/Holzbau/01

[I17] http://www.huber-sohn.de/bilder/Holzbau/01_Holzbau/01_Holzbau_uebergreifend/04_PDFs/H8_Bauen-mit-Holz_12-2011.pdf)

[I18] http://www.architecture.at/index.php?article_id=39&clang=0)

[I19] http://www.bauinfo24.at/projekt/133-lifecycle-tower-bregenz/uebersicht/index.html

[I20] http://derstandard.at/1311802976909/Vorarlberg-Vorarbeiten-fuer-den-90-Meter-Holzturm-starten

[I21] http://www.proholz.at/zuschnitt/45/der-schluessel-zum-hochhaus/

[I22] http://www.v-a-i.at/files/avo%2089%20LifeCycle%20Tower%20ONE(1).pdf

[I23] http://creebyrhomberg.blogspot.co.at/2012/09/endlich-zuhause-cree-im-lct-one.html

[I24] http://de.wikipedia.org/wiki/Glas

[I25] http://www.stahl-info.de/Stahl-Recycling/stahlrecycling.asp

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Holzeinsatz im Bauwesen [Seite 3]

Abb. 2 Zeitlicher Überblick des Zementverbrauches [Seite 3]

Abb. 3 Holz als idealer Kreislaufwerkstoff [Seite 5]

Abb. 4 Zahl der Beschäftigte nach den Branchen in Österreich [Seite 9]

Abb. 5 Holzwirtschaft in EU, Österreich und Deutschland [Seite 9]

Abb. 6 Internationaler Vergleich - Internationaler Vergleich - erlaubte Gebäudehöhe in verschiedenen Ländern, wenn die geforderte Schutzziele erfüllt sind [Seite 16]

Abb. 7 Veränderung der maximalen erlaubten Holzgebäudehöhe in den EU-Ländern von 1990 bis 2010 [Seite 17]

Abb. 8 Gebäude der Bauklasse 5 (7 Geschosse)[Seite 21]

Abb. 9 Gebäude der Bauklasse 5 (6 Geschosse)[Seite 21]

Abb. 10 Gebäudeklasse 5 (Brandschutzkonzept/bauliche Maßnahmen) [Seite 27]

Abb. 11 Gebäudeklasse 5 (Brandschutzkonzept/anlagentechnische Maßnahmen) [Seite 27]

Abb. 12 Der Possenturm [Seite 28]

Abb. 13 Stabkirche Barsana Monastery [Seite 28]

Abb. 14 Nordtempel Pagode [Seite 29]

Abb. 15 Stabkirche Sapanta [Seite 29]

Abb. 16 Der Hōryū-ji-Tempel [Seite 29]

Abb. 17 Wohnhaus Esmarchstrasse [Seite 30]

Abb. 18 Trennung der Stützen durch Stahlelemente[Seite 31]

Abb. 19 Schnitt durch Wand und Decke[Seite 31]

Abb. 20 3. Obergeschoss [Seite 32]

Abb. 21 Murray Gove Tower [Seite 33]

Abb. 22 2 .Obergeschoss [Seite 34]

Abb. 23 Fassadenschnitt [Seite 34]

Abb. 24 Bad Aiblingen – Wohn- und Bürogebäude [Seite 35]

Abb. 25 Vorgefertigte Wandelemente [Seite 36]

Abb. 26 Betonkern [Seite 36]

Abb. 27 Wandaufbau [Seite 36]

Abb. 28 Wohnhaus Wagramerstrasse [Seite 37]

Abb. 29 Betonkerne und Holz [Seite 37]

Abb. 30 Life Cycle Tower ONE [Seite 38]

Abb. 31 Doppelstütze [Seite 39]

Abb. 32 Vorgefertigte Holz-Beton- Deckenelemente[Seite 39]

Abb. 33 Deckenschnitt mit Installation [Seite 39]

Abb. 34 Montageablauf [Seite 40]

Abb. 35 Grundriss: Büro [Seite 40]

Abb. 36 Der Innen-Kern-Typus (Schema) [Seite 42]

Abb. 37 Der Peripherie-Kern-Typus (Schema) [Seite 43]

Abb. 38 Der Außen-Kern-Typus (Schema)[Seite 43]

Abb. 39 Anpassung des Gebäudes im städtischen Blockbebauung (Schema)[Seite 44]

Abb. 40 Räumliche Anordnung im Grundriss (Schema)[Seite 45]

Abb. 41 Unökonomische Grundrissaufteilung (Schema)[Seite 46]

Abb. 42 Grundrissaufteilung des Gebäudes nach dem Raster von 1,7 m (Schema)[Seite 46]

Abb. 43 Verschiebbare Glaswände (Lamellen) [Seite 47]

Abb. 44 3D Darstellung [Seite 48]

Abb. 45 3D Darstellung [Seite 48]

Abb. 46 1.-6. Obergeschoss ohne Innenwände [Seite 49]

Abb. 47 Schnitte 1-1 [Seite 50]

Abb. 48 Schnitt 2-2 [Seite 50]

Abb. 49 Seitenansicht [Seite 51]

Abb. 50 Frontansicht [Seite 51]

Abb. 51 Die Fluchtwege gemäß Punkt 5.1.2 der OIB Richtlinien 2 [Seite 53]

Abb. 52 Notwendige Außenwandstreifen nach der OIB Richtlinie 2 [Seite 54]

Abb. 53 3D Darstellung (Wohnung) [Seite 56]

Abb. 54 Schnittschema(Wohngebäude) [Seite 57]

Abb. 55 Erdgeschoss WOHNEN / VERKAUF [Seite 58]

Abb. 56 Wohnen (Typ 1) [Seite 58]

Abb. 57 Wohnen (Typ 2) [Seite 59]

Abb. 58 W OHNEN (TYP 3 – zweigeschossige Wohnungen)[Seite 60]

Abb. 59 W OHNEN (TYP 3 – zweigeschossige Wohnungen)[Seite 60]

Abb. 60 Schnittschema(Bürogebäude) [Seite 61]

Abb. 61 Erdgeschoss VERKAUF [Seite 62]

Abb. 62 1.,2.,5.,6. Obergeschoss (BÜRO TYP 4) [Seite 62]

Abb. 63 2. Obergeschoss BÜRO(TYP2)[Seite 63]

Abb. 64 4. Obergeschoss BÜRO (TYP 2) [Seite 63]

Abb. 65 Schnittschema(Wohn-Büro-Gebäude) [Seite 64]

Abb. 66 Erdgeschoss WOHNEN/ BÜRO (TYP 1) [Seite 65]

Abb. 67 3.,4.,5.,6. Obergeschoss BÜRO (TYP 3) / WOHNEN [Seite 65]

Abb. 68 3D Darstellung (Bibliothek_Foyer) [Seite 66]

Abb. 69 3D Darstellung (Ausstellung) [Seite 66]

Abb. 70 Schnittschema(Bibliothek) [Seite 67]

Abb. 71 Erdgeschoss BIBLIOTHEK [Seite 68]

Abb. 72 Erdgeschoss BIBLIOTHEK (ausser Öffnungszeiten) [Seite 68]

Abb. 73 2.-5. Obergeschoss BIBLIOTHEK [Seite 69]

Abb. 74 6.Obergeschoss BIBLIOTHEK [Seite 59]

Abb. 75 Schnittschema (Bibliothek und Ausstellung) [Seite 70]

Abb. 76 3.Obergeschoss BIBLIOTHEK und AUSSTELLUNG [Seite 71]

Abb. 77 4.Obergeschoss AUSSTELLUNG [Seite 72]

Abb. 78 5.Obergeschoss AUSSTELLUNG [Seite 72]

Abb. 79 6.Obergeschoss AUSSTELLUNG [Seite73]

Abb. 80 Vorteile und Nachteile von den verschiedenen Holzsysteme [Seite 76]

Abb. 81 Vergleich der Holzsysteme [Seite 77]

Abb. 82 Tragwerk im Grundriss [Seite 80]

Abb. 83 Statisches System am Beispiel eines Geschosses [Seite 81]

Abb. 84 Statisches System des Gebäudes [Seite 82]

Abb. 85 Konstruktionselemente [Seite 82]

Abb. 86 Montagenablauf [Seite 83]

Abb. 87 Bewertete Schalldämm-Maße R weinschaliger, verputzter Lehmwand [Seite 85]

Abb. 88 Feuerwiderstandsklasse von Wänden mit Lehmbaustoffen [Seite 85]

Abb. 89 Beispiel der Verbesserung der Schalldämmung einner Wand durch eine biegeweiche Vorsatzschale [Seite 86]

Abb. 90 Lehmbauplatten für Kapselung der Holzkonstruktion [Seite 86]

Abb. 91 Aussenwand F 90 / Balkonanschluss [Seite 91]

Abb. 92 Trennwände aus Lehm (F 90) [Seite 92]

Abb. 93 Innenwände mit großen Schallschutzanforderungen [Seite 93]

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Holzchemische Marktprodukte [Seite 6]

Tabelle 2 Holzchemische Marktprodukte [Seite 8]

Tabelle 3 Vergleich der Reißfestigkeit von Holz und Stahl [Seite 10]

Tabelle 4 Vergleich der Rohdichte von Holz , Beton und Stahl [Seite 10]

Tabelle 5 Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen [Seite 10]

Tabelle 6 Holzvorräte in Mio. m³ [Seite 12]

Tabelle 7 Der Personenschaden von 1990 bis 1999 in den Wohnbauten des Kantons Zürich nach der Brandursache [Seite 15]

Tabelle 8 Gebäudeklassen 1 bis 5 [Seite 18]

Tabelle 9 Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffe (Bauklasse 5) [Seite 22]

Tabelle 10 Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile 1 [Seite 25]

Tabelle 11 Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile 2 [Seite 26]

Tabelle 12 Ergebnisse der statischen Berechnungen der Holzkonstruktion [Seite 79]

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 Festigkeitsabnahme unterschiedlicher Materialien bei höheren Temperaturen [Seite 14]