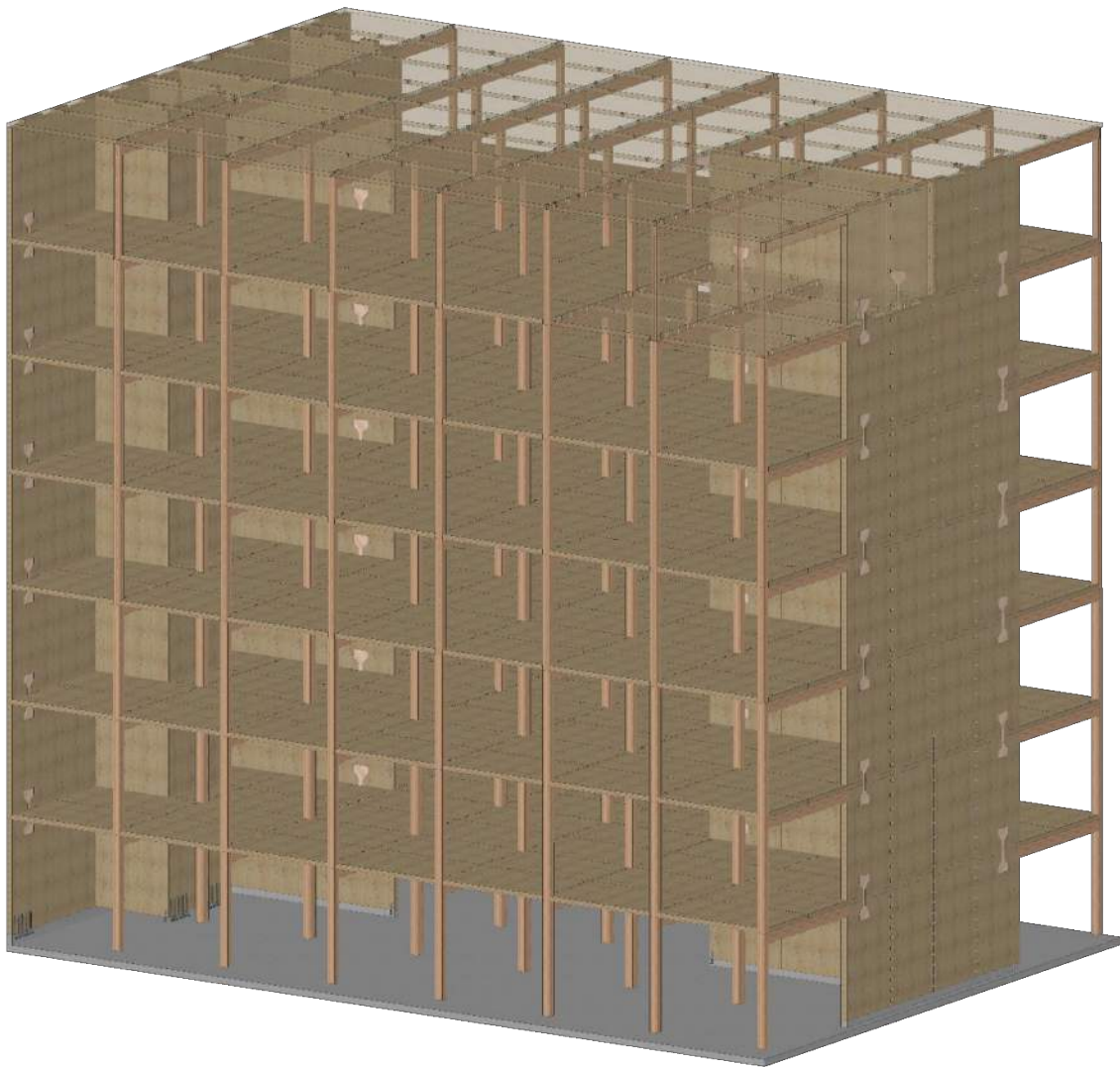


LaubÖkoLet

Entwicklung einer wirtschaftlichen, ökologischen
und ressourcenschonenden Holzskelettbauweise
mit Laubholz



Abschlussbericht

Stuttgart, 18.12.2024

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
Förderprogramm „Upscale Holz – Forschung, Holzbauoffensive Baden-Württemberg“

Aktenzeichen: 54-8654.00 LaubÖkoLet
Bewilligungszeitraum: 01.07.2022 bis 30.06.2024
Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2024



Fast + Epp GmbH, Darmstadt/ Stuttgart

Fast + Epp

Forschungsteam: Dr.-Ing. Jochen Stahl; Christian Rosenkranz, M.Sc.; Lukas Krone, M.Eng.; Til Waschkowitz, M.Sc.; Hanna Beerenwinkel, M.Sc.; Peter Zengerle

Ansprechpartner: Dr.-Ing. Jochen Stahl

Zuarbeit von/ mit Unterstützung von:

blrm Architekt*innen GmbH

blrm

Autoren/Bearbeiter: Jannes Wurps, Dipl.-Ing. Architekt BDA; Tobias Bor, M.Sc. Architekt

Ingenieurbüro Blödt (Bauphysik)

Autoren/Bearbeiter: Adrian Blödt, Dipl. Wirtschaftsingenieur, Bauphysiker M.B.P.



Kurzbeschreibung

Die Bausubstanz zu erhalten und umzunutzen, anstatt abzureißen und neuzubauen, muss zukünftig zur praktizierten Regel werden und nicht die Ausnahme sein. Insbesondere bei Wohnbauten unterliegen die Anforderungen dem gesellschaftlichen Wandel, so dass eine flexible und ökonomische Umnutzung bereits bei der Planung des Tragwerks berücksichtigt werden sollte. Durch eine Holz-Skelettbauweise in Laubholz kann nicht nur die Grundrissflexibilität gewährleistet, sondern auch der klimaangepasste Waldumbau zu Mischwäldern unterstützt werden. Es entsteht ein zukunftsfähiges Tragwerkskonzept zur Schaffung von bezahlbarem Wohnraum, der kostengünstig und dennoch qualitativ hochwertig ist. Zur innerstädtischen Verdichtung wird die Konzeption auf Basis nachwachsender Rohstoffe bis zur Gebäudeklasse 5 erarbeitet. Im Sinne des zirkulären Bauens werden dabei fast ausschließlich Holz-Holz-Verbindungen gewählt, um durch eine einfache Demontage und Wiederverwendung von Bauteilen Ressourcen zu schonen und Abfall zu reduzieren.

In einem ersten Schritt werden die Schwierigkeiten, aber auch Chancen beim Bauen mit Laubholz und beim Bau von Holz-Skelettbauten herausgearbeitet. Hierbei werden die Unterschiede zu dem weit verbreiteten Baustoff Nadelholz berücksichtigt. Außerdem werden die Situation auf dem deutschen Wohnungsmarkt gesichtet und Erfahrungen von Planenden und Investoren in Experteninterviews gesammelt. Die entwickelten Konzepte sollen durch die kurze Bauzeit mithilfe von vorgefertigten Holzbauteilen sowohl eine Antwort auf die aktuell angespannte Lage des Wohnungsmarktes liefern als auch durch die flexible Umnutzung und Rückbaubarkeit den Lebenszyklus der Gebäude und ihrer Bauteile verlängern.

Aus den Erkenntnissen werden zwei Konzepte für unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten entwickelt, welche neben dem Tragwerk auch architektonische, bauphysikalische und gebäudetechnische Rahmenbedingungen mitberücksichtigen. Die Holzprodukte werden entsprechend ihrer Stärken bei den Konzepten eingesetzt. Hierbei werden nicht nur materialspezifische Parameter, wie Festigkeiten und Abbrandraten berücksichtigt, sondern auch ein Kostenvergleich und eine Ökobilanzierung durchgeführt.

Als erstes Konzept wird eine kombinierte Wohn- und Büronutzung betrachtet. Mit Hilfe einer parametrischen Bemessung werden unterschiedliche Materialien und Raster variiert, die Ergebnisse analysiert und daraus ein möglichst materialeffizientes Stützenraster gewählt. Es entsteht ein schlankes, platzsparendes Primärtragwerk, das mit verschiedenen Laubholzarten (Buche, Esche oder Eiche) und verschiedenen Laubholzprodukten (Brettschichtholz, Stabschichtholz und Furnierschichtholz) umgesetzt werden kann. Hierdurch kann auf den dynamischen Holzmarkt reagiert, regionale Verfügbarkeiten berücksichtigt und das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis je nach Markt- und Ortslage ausgewählt werden.

Das zweite Konzept zielt auf eine effiziente, multifunktionale Nutzung urbaner Flächen zur Nachverdichtung. Die Idee ist das Stützenraster über Parkplatzflächen ohne aufwendige Abfangebene bis zum Dachgeschoss des Holzgebäudes fortzuführen. Es entsteht ein Raster, welches eine Nutzung von Wohnen, Büro, Einzelhandel, Kindertagesstätten und PKW-Stellplätzen ermöglicht. Hierzu wird ein innovativer Anschluss entwickelt, der eine geringe Konstruktionshöhe mit Hilfe von deckengleichen Unterzügen aus Laubholz erreicht.

Inhalt

ABKÜRZUNGEN	8
1 EINLEITUNG	9
1.1 Zuwendungszweck und Projektziele	9
1.2 Projektstufen und Erfolgskriterien	11
1.3 Definitionen	12
1.3.1 Gebäudeklassen	12
1.3.2 Nachhaltigkeit	13
1.3.3 Ökobilanzierung/ Lebenszyklusanalyse	14
1.3.4 Rückbaubarkeit	17
2 GRUNDLAGEN	18
2.1 Laubholz	18
2.1.1 Unterschiede zu Nadelholz	18
2.1.2 Unterschiedliche Arten	21
2.1.3 Vorkommen	22
2.1.4 Nutzung	23
2.1.5 Zukünftige Forschung und Normung	24
2.2 Urbaner Wohnungsbau	26
2.2.1 Allgemeines	26
2.2.2 Flexibilität	27
2.2.3 Anspruch der Branche und aktuelle Lage	29
2.2.4 Nachverdichtung	30
2.2.5 Multifunktionale Nutzung (Mischnutzung)	33
2.2.6 Anforderungen aus Architektur und Gesetzgebung	35
2.2.7 Anforderungen aus Brandschutz	38
2.2.8 Anforderungen aus technischer Gebäudeausrüstung	39
2.3 Anforderungen an die Bauakustik	42
2.3.1 Exkurs: Mindestschallschutz und vertragliche Vereinbarung	43
2.3.2 Normauswertung vs. wahrnehmbare Verbesserung	44
2.3.3 Hinweis zu erhöhten Standards	47
2.4 Skelettbau	48
2.4.1 Beschreibung	48
2.4.2 Vor- und Nachteile	48
2.4.3 Typische Stützenraster	50
2.5 Anschlüsse und statische Details	51
2.5.1 Zimmermannsmäßige Verbindungen	52
2.5.2 Stahlformteile	55
2.5.3 Stabförmige Verbindungsmittel	56
2.6 Deckensysteme	57
2.6.1 Holzbalkendecke	57
2.6.2 Brettsperrholzdecke (BSP-Decke)	57

2.6.3	Leimfreie Brettstapeldecken	58
2.6.4	Holz-Beton-Verbund-Decke	59
2.6.5	Hohlkastendecke	60
2.7	Erschließung- und Aussteifungskonzepte	61
2.7.1	Allgemeines	61
2.7.2	Stahlbeton-Kerne	62
2.7.3	Brettsperrholz-Wandscheiben	63
2.7.4	Fachwerk-Systeme aus Holz	64
2.7.5	Fachwerk-Systeme aus Stahl	66
2.7.6	Kombinierte Fachwerk-Systeme aus Holz und Stahl	67
3	EXPERTENINTERVIEWS	68
3.1	Beschreibung der Methode „Experteninterviews“	68
3.2	Hindernisse	70
3.2.1	Bauphysik	70
3.2.2	Brandschutz und Richtlinien	70
3.2.3	Branchenstruktur und Kosten	71
3.2.4	Tragwerk	72
3.3	Potenziale	73
3.3.1	Holzbauweise	73
3.3.2	Holzskelettbauweise	74
3.3.3	Wohnungsbau	74
3.4	Zwischenfazit	76
4	KONZEPTENTWICKLUNG	78
4.1	Geschosshöhen und Aufbauten	78
4.1.1	Bodenaufbauten Variantenuntersuchung	78
4.1.2	Bauakustische Bewertung der Bodenaufbauten	81
4.2	Statische Anschlüsse/Details	87
4.2.1	Untersuchte Anschlussmöglichkeiten	87
4.2.2	Rückbaubarkeit der Anschlüsse	91
4.2.3	Brandschutz bei Anschlüssen	92
4.2.4	Kosten der Anschlüsse	93
4.2.5	Tragfähigkeit der Anschlüsse	95
4.2.6	Montage der Anschlüsse	96
4.2.7	Bewertung Anschlüsse	97
4.3	Deckensysteme	99
4.3.1	Nachhaltigkeit der Deckensysteme	99
4.3.2	Höhe der Deckensysteme	99
4.3.3	Verfügbarkeit der Deckensysteme	99
4.3.4	Schallschutz der Deckensysteme	99
4.3.5	Brandschutz der Deckensysteme	99
4.3.6	Bewertung der Deckensysteme	100
4.4	Aussteifungssysteme	102

4.4.1	Tragfähigkeit der Aussteifungssysteme	102
4.4.2	Brandschutz bei den Aussteifungssystemen	102
4.4.3	Kosten der Aussteifungssysteme	103
4.4.4	Nachhaltigkeit der Aussteifungssysteme	103
4.4.5	Bauablauf bei den Aussteifungssystemen	104
4.4.6	Bewertung der Aussteifungssysteme	104
4.5	Brandschutz	106
4.6	Schallschutz	108
4.6.1	Vertikale Übertragung im Bereich der Wände	108
4.6.2	Vertikale Übertragung im Bereich der Unterzüge und Stützen	109
4.6.3	Horizontale Übertragung bei Decken als flankierendes Bauteil	110
4.7	Erkenntnisse aus Experteninterviews	113
4.8	Zwischenfazit	115
5	KONZEPT 1 – MATERIALEFFIZIENTES STÜTZENRASTER	116
5.1	Gewählte Rahmenbedingungen	117
5.1.1	Nutzung	117
5.1.2	Technische Gebäudeausrüstung	121
5.1.3	Brandschutz	123
5.1.4	Schallschutz	125
5.2	Gewähltes Stützenraster	127
5.2.1	Parametrisches Excel-Tool	127
5.2.2	Ergebnisse der parametrischen Studie	131
5.3	Gewählte Holzarten	137
5.4	Deckensysteme	139
5.5	Aussteifung	145
5.6	Anschlüsse	148
5.6.1	Verbindung der Deckenelemente	150
5.6.2	Verbindung Decke an Unterzug	151
5.6.3	Verbindung Unterzug an Stütze	152
5.6.4	Verbindung Stütze an Stütze	153
5.6.5	Verbindung Decke an Wand	154
5.6.6	Verbindung Wand an Wand	155
5.6.7	Verbindung Aussteifungswand an Gründung	158
5.7	Kosten- und Materialvergleich	161
5.8	Ökobilanzierung	167
5.9	Zusammenfassung	169
6	KONZEPT 2 – MISCHNUTZUNG	170
6.1	Gewählte Rahmenbedingungen	172
6.1.1	Nutzung	172
6.1.2	Geometrie	173
6.1.3	Technische Gebäudeausrüstung	174

6.1.4	Brandschutz	175
6.1.5	Schallschutz	177
6.2	Gewähltes Stützenraster	179
6.3	Gewählte Holzarten	183
6.4	Deckensysteme	184
6.5	Aussteifung	186
6.6	Anschlüsse	188
6.7	Kosten- und Materialvergleich	190
6.8	Ökobilanzierung	193
6.9	Zusammenfassung	195
7	FAZIT	196
8	AUSBLICK	199
	DANKSAGUNG	201
	LITERATUR	202
	ABBILDUNGEN	205
	TABELLEN	208
	ANHANG	209
A 1	Zeichnungen Konzept 1	209
A 2	Zeichnungen Konzept 2	239
A 3	Statische Bemessungen	270
A 4	Experteninterviews Zitate und Kernaussagen	295

Abkürzungen

AP	Versauerungspotenzial
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BSH	Brettschichtholz
BSP	Brettsperrholz
BWI	Bundeswaldinventur
CLT	Cross Laminated Timber
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EP	Eutrophierungspotenzial
EPD	Environmental Product Declaration
EZ	Erdbebenzone
F	Feuerwiderstandsklasse
F90	Feuerwiderstandsklasse 90 Minuten
FEM	Finite-Elemente-Methode
FSH	Furnierschichtholz
GK	Gebäudeklasse
GL	Glulam, glued laminated timber
GWP	Global Warming Potential
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
HBV	Holz-Beton-Verbund
HFH	Hochfeuerhemmend
HolzBauRL BW	Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen [...] in Holzbauweise Baden-Württemberg
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbauten
KG	Kostengruppe
KVH	Konstruktionsvollholz
LBO	Landesbauordnung
LCA	Life Cycle Assessment
LKW	Lastkraftwagen
MBO	Musterbauordnung
ODP	Ozonabbaupotenzial
OKF	Oberkante Fußboden
PE _{NE}	Primärenergie - nicht erneuerbar
PKW	Personenkraftwagen
POCP	Bodennahes Ozonbildungspotenzial
SSH	Stabschichtholz
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
VBA	VisualBasic for Applications
WoFG	Wohnraumförderungsgesetz
WZ	Windzone

1 Einleitung

1.1 Zuwendungszweck und Projektziele

Ziel der Zuwendung ist es ein zukunftsfähiges Tragwerkskonzept zu entwickeln, welches unabhängig einer langfristig absehbaren Verschiebung des Rohholzangebots mindestens den konstruktiven Einsatz von Holzprodukten im Bausektor holzartenübergreifend sicherstellt. Gleichzeitig ist die zu entwickelnde Konzeption durch die Gewährleistung einer kurzfristigen Umnutzungsmöglichkeit darauf ausgelegt, dass die Objekte leicht auf sich ändernde gesellschaftliche Ansprüche angepasst werden können. Um dem Anspruch an einen möglichst geringen Materialeinsatz auch im Hinblick auf den Flächenverbrauch gerecht zu werden, wird die Konzeption auf Basis nachwachsender Holzressourcen bis zur Gebäudeklasse 5 erarbeitet. Die spezielle Berücksichtigung von Laubholz verstärkt diesen Gedanken dahingehend, dass durch die höheren Festigkeiten von Laubholz im Gegensatz zu Nadelholz eine materialeffiziente Minimierung des Tragwerks möglich ist, die gleichzeitig ökonomische Vorteile mit sich bringt. Gleichzeitig wird für das derzeit im Bauwesen noch nicht sehr häufig eingesetzte Laubholz ein weiteres Anwendungsgebiet erschlossen. Langfristig deuten Prognosen darauf hin, dass insbesondere zur Nachverdichtung im urbanen Raum flexible Konstruktionskonzepte benötigt werden. Die Holzskelettbauweise mit Laubholz bietet hierfür eine ideale Möglichkeit zukunftsweisende Wohngebäude zu planen, die flexibel an spätere Nutzungsänderungen angepasst werden können. Durch die Skelettbauweise wird das Material ressourcenschonend eingesetzt. Zur Nachverdichtung im innerstädtischen Bereich lässt sich eine leichte Skelettbauweise auch zur Aufstockung optimal nutzen. Hierzu soll das Forschungsvorhaben möglichen Hindernissen beim Entwurf von Wohngebäuden in Holzskelettbauweise frühzeitig vorbeugen, um die vollumfängliche Anwendbarkeit sicher zu gewährleisten.

Im Rahmen dieses geförderten Forschungsvorhabens werden zukunftsfähige Tragwerkskonzepte für Wohnbauten entwickelt. Unter Zukunftsfähigkeit wird verstanden,

- dass auf der Grundlage dieses Konzeptes Gebäude oder neue Geschosse entstehen, die aufgrund freier Grundrisse flexibel umnutzbar sind und somit auf gesellschaftliche Wandlungsprozesse reagieren können;
- dass insbesondere durch den Bau neuer oder die Erweiterung bestehender Wohnbauten bis zur Gebäudeklasse 5 die städtebauliche Nachverdichtung und die Übertragung der Logik der Abfallvermeidungshierarchie (reduce, reuse, recycle) auf die Architektur gefördert wird;
- dass als Baustoffe nachwachsende Rohstoffe zur Anwendung kommen, die auch in Zukunft verfügbar sind, die zukünftige Verfügbarkeit durch einen ressourcenschonenden Materialeinsatz selbst fördern, wirtschaftlich einsetzbar sind und zudem hinreichende konstruktive Eigenschaften besitzen.

Aus diesen übergeordneten Zielen ergeben sich für die Entwicklung eines wirtschaftlichen, ökologischen und ressourcenschonenden Tragwerkskonzepts folgende Prämissen:

a) Wahl der Konstruktionsart:

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird die Skelettbauweise betrachtet. Sie ist die optimale Tragwerksart zur Realisierung freier Grundrisse infolge des Lastabtrags über Träger und Stützen in zumeist einem Raster unterwerfener Stellung. Der Flächenverbrauch ist dabei im Vergleich zum Massivbau minimal; zudem eignen sich Skelettkonstruktionen für ein breites Spektrum an Tragwerksentwürfen: für Neubauten oder das Bauen mit Bestand, für Gebäude unterschiedlicher Größe, unterschiedlicher Nutzungen und so fort.

b) Wahl des Baumaterials:

Untersucht werden Skelettbauten, bei denen der ökologische und nachwachsende Baustoff Holz zum Einsatz kommt. Hierfür wird zunächst eine holzartübergreifende Perspektive eingenommen, um unabhängig von einer langfristig absehbaren Verschiebung des Rohholzangebots den konstruktiven Einsatz von Holzprodukten im Bausektor sicherzustellen. Dabei rücken Laubhölzer in den Fokus. Denn aufgrund einer veränderten Waldbewirtschaftung infolge des Klimawandels werden Laubhölzer auf dem Baustoffmarkt künftig deutlich höhere Angebotsmengen erreichen und den aktuell vorherrschenden Einsatz von Nadelhölzern im Bausektor relativieren. Diese Entwicklung ist aus tragwerksplanerischer Sicht durchaus zu begrüßen. Denn aufgrund ihrer höheren Rohdichte und der daraus resultierenden höheren Festigkeiten sind Laubhölzer bestens geeignet für materialeffizient minimierte, kurz: schlanke Tragwerke. Insofern werden mit dem Forschungsvorhaben schon heute neue Anwendungsgebiete für Laubhölzer erschlossen.

Mit diesem Forschungsvorhaben wird also durch die Kombination einer Bauweise, die eine flexible Umnutzung ermöglicht, mit einem Werkstoff, der CO₂ bindet, ein klimaschonendes Tragwerkskonzept für die Zukunft entworfen, und zwar für Wohnbauten bis zur Gebäudeklasse 5 in Holzskelettbauweise vom Tragwerksentwurf bis zur Detailplanung. Dabei werden von vornherein mögliche Hindernisse beim Entwurf von Wohngebäuden in Holzskelettbauweise adressiert, so dass mittels der geplanten zielgruppenorientierten Veröffentlichungen Amts- und Mandatsträger, öffentliche wie private Bauherren sowie Architekten und Fachplaner ermutigt und befähigt werden, neue Wege zu gehen.

1.2 Projektstufen und Erfolgskriterien

Das Projekt wird in zwei Stufen durchgeführt, wobei Fast + Epp die Aspekte der Tragwerksplanung bearbeitet und das Architekturbüro blrm Architekt*innen aus Perspektive des Architekten zu gestalterischen und funktionalen Aspekten berät. Zusätzlich werden die bauphysikalischen Aspekte vor allem hinsichtlich des Schallschutzes durch das Ingenieurbüro Blödt untersucht und bewertet.

- 1) Untersuchung von Hindernissen bei der Planung von Holzbauten in Skelettbauweise und von möglichen Gebäuderastern (07/2022–06/2023): Zusammenstellung und Bewertung möglicher Hindernisse; Analyse typischer Grundrisse mit Bezug auf verschiedene Standorte (Erdbebenzone), Gebäudekategorien (Geschosszahl, Gebäudeklasse) und Wohnungstypen; Untersuchung verschiedener Gebäudeformen, Raster und Erschließungskonzepte; Gegenüberstellen von möglichen Deckensystemen in Abhängigkeit von der Spannweite; Optimieren von Stützenanordnungen und der Anordnung von Aussteifungselementen; Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Ausführbarkeit der verschiedenen Optionen; Betrachtung der Anforderungen aus der technischen Gebäudeausstattung und Bauphysik auf die Tragkonstruktion
- 2) Optimierung der Laubholzelemente und deren Verbindungen (07/2023–06/2024): Zusammenstellung und Bewertung von möglichen Verbindungsdetails; Untersuchung von Anwendungsgrenzen der Verbindungsmittel bei Laubholz; Entwicklung von Anschlüssen mit Brandschutzanforderung F90; Betrachtung der sortenreinen Trennung bei der Entwicklung von Anschlüssen; Zuordnung der ermittelten Lösungsansätze zu den unterschiedlichen Gebäudekategorien; Dokumentation in Form einer Toolbox für Verbindungen im mehrgeschossigen Holzbau.

Die Projektstufen wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden in Form eines ausführlichen Berichts, einem Fact-Sheet, einem Leitfaden und einem ausführlichen Detailkatalog dokumentiert. Alle gesetzten Ziele wurden erreicht und dabei die zuvor genannten Kriterien vollumfänglich berücksichtigt.

Der Bericht lässt sich grob in zwei Teile unterteilen. Der erste Teil bis einschließlich Kapitel 3 (bis Seite 78) umfasst die Grundlagen und die Rechercheergebnisse zu den relevanten Oberthemen wie Laubholz, urbaner Wohnungsbau und Skelettbau. Außerdem fließen Erkenntnisse aus Experteninterviews zu den genannten Themen mit ein, die im Rahmen einer parallel bearbeiteten Masterarbeit geführt wurden.

Im zweiten Teil des Berichts ab Kapitel 4 werden mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse aus dem ersten Teil zwei Konzepte für Skelettbauten aus Laubholz für Wohn- und weitere Nutzungen entwickelt. Die Herangehensweise und die berücksichtigten Rahmenbedingungen werden ausführlich erläutert.

Im Anhang des Berichts sind ergänzende Hintergrundinformationen zum ersten Teil des Berichts zu finden. Außerdem werden die wichtigsten Nachweise aus der Konzeptentwicklung dokumentiert. Als Letztes werden beide Konzepte in einem ausführlichen Plankatalog dargestellt. Dieser enthält Grundrisse, Schnitte und Ansichten sowie Detailzeichnungen und Vorschläge für die Einteilung von Wohnungen.

1.3 Definitionen

Nachfolgend werden einzelne Begriffe und Themen, die für das Verständnis des Berichts wichtig sind, kurz erklärt.

1.3.1 Gebäudeklassen

Die Anforderungen an den baulichen Brandschutz in Gebäuden werden in der Musterbauordnung (MBO, [1]) und allen Landesbauordnungen (LBO, [2]) nach den Gebäudeklassen (GK) bemessen, wobei, wie oben bereits erwähnt, die Angaben je nach Bundesland und dementsprechend anzuwendender LBO variieren können. Hierbei werden Gebäude gemäß der MBO [1] in folgenden Gebäudeklassen eingeteilt:

1. Gebäudeklasse 1:

- a) Freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² und
- b) Freistehende land- und forstwirtschaftliche genutzte Gebäude

2. Gebäudeklasse 2:

Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m²

3. Gebäudeklasse 3:

Sonstige Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m

4. Gebäudeklasse 4:

Gebäude mit einer Höhe bis zu 13 m und Nutzungseinheiten mit jeweils nicht mehr als 400 m²

5. Gebäudeklasse 5:

Sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude

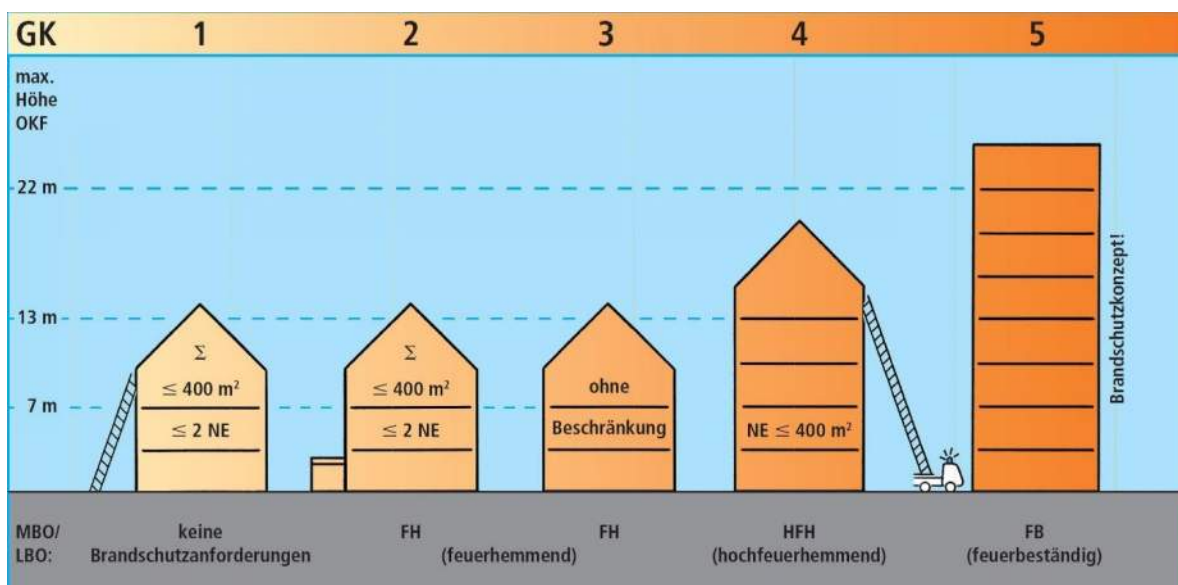


Abbildung 1: Gebäudeklassen nach Musterbauordnung [3]

Gebäude bis zu einer Höhe von 13 m, was einer Geschossanzahl von ca. 4-5 Geschossen entspricht, und mit Nutzungseinheiten von max. 400 m² werden in die Gebäudeklasse 4 eingeordnet. In dieser Gebäudeklasse müssen die tragenden Bauteile der Feuerwiderstandsklasse (F) „hochfeuerhemmend“ (HFH), also einem Feuerwiderstand von mindestens 60 Minuten entsprechen.

Die Gebäudeklasse 5 zeichnet sich dadurch aus, dass die Oberkante des Fußbodens im obersten Geschoss über 13 m über der Geländeoberkante liegt. Auch Gebäude mit Nutzungseinheiten, die größer als 400 m² sind, werden in diese Gebäudeklasse eingeordnet. Als Anforderungen aus der Gebäudeklasse 5 ergibt sich unter anderem, dass die tragenden Bauteile die Feuerwiderstandsklasse „feuerbeständig“ erfüllen müssen.

1.3.2 Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit wird oft als die Fähigkeit definiert, die Probleme und Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation zu befriedigen, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu erfüllen. Hierbei werden drei übergeordnete Aspekte betrachtet: [4]

1. Ökologische Nachhaltigkeit:

Dies bezieht sich auf den Schutz und die Erhaltung der natürlichen Ressourcen und Ökosysteme. Es geht darum, die Umwelt zu schonen, Biodiversität zu erhalten und den ökologischen Fußabdruck zu minimieren.

2. Ökonomische Nachhaltigkeit:

Hierbei geht es um die Schaffung von wirtschaftlichen Systemen, die langfristig intakt sind und Bestand haben. Dies bedeutet, dass wirtschaftliche Aktivitäten so gestaltet werden, dass sie nicht nur kurzfristige Gewinne maximieren, sondern auch langfristige Stabilität und Wohlstand fördern.

3. Soziale Nachhaltigkeit:

Dieser Aspekt befasst sich mit der Schaffung gerechter und inklusiver Gesellschaften. Es geht darum, soziale Gerechtigkeit, Chancengleichheit und die Verbesserung der Lebensqualität für alle Menschen zu fördern.

Im Baugewerbe bezieht sich die Nachhaltigkeit auf die Planung, den Bau und die Nutzung von Gebäuden. Hierbei werden in allen Leistungsphasen die vorangegangenen drei Aspekte betrachtet. Diese können im Baugewerbe noch spezieller definiert werden: [5]

1. Umweltfreundliche Materialien:

Die Verwendung von nachhaltigen, recycelbaren oder nachwachsenden Materialien, die eine geringe Umweltbelastung aufweisen.

2. Energieeffizienz:

Gebäude sollten so entworfen werden, dass sie den Energieverbrauch minimieren, beispielsweise durch gute Isolierung, den Einsatz erneuerbarer Energien und energieeffizienter Systeme.

3. Wasserressourcenschutz:

Strategien zur Reduzierung des Wasserverbrauchs und zur Nutzung von Regenwasser und/ oder Grauwasser.

4. Lebenszyklusbetrachtung:

Berücksichtigung der gesamten Lebensdauer eines Gebäudes, von der Planung über den Bau bis hin zur Nutzung, Umnutzung und dem Rückbau, um die Umweltauswirkungen zu minimieren.

5. Soziale Verantwortung:

Schaffung von Wohn- und Arbeitsräumen, die den Bedürfnissen der Bewohnenden und Nutzenden dienen und soziale Gerechtigkeit fördern.

6. Wirtschaftliche Tragfähigkeit:

Sicherstellung, dass nachhaltige Umsetzungen auch wirtschaftlich sinnvoll sind, um langfristige Investitionen zu fördern.

Insgesamt zielt Nachhaltigkeit im Baugewerbe darauf ab, eine Balance zwischen ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Aspekten zu finden, um eine lebenswerte Zukunft für die nachfolgenden Generationen zu gewährleisten.

1.3.3 Ökobilanzierung/ Lebenszyklusanalyse

Eine Ökobilanzierung, auch bekannt als Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment, LCA), ist ein Verfahren zur Bewertung der Umweltwirkungen von (Bau-) Produkten, Dienstleistungen oder Prozessen über ihren gesamten Lebenszyklus. Dabei werden alle relevanten Umweltauswirkungen von der Rohstoffgewinnung über die Produktion, den Transport, die Nutzung bis hin zur Entsorgung oder dem Recycling betrachtet. [6]

Die Ziele einer Lebenszyklusanalyse bzw. der Bewertung der Nachhaltigkeit eines Bauwerks lassen sich gemäß DIN EN 15643 [7] wie folgt definieren:

- Aspekte und Auswirkungen eines Gegenstandes im Hinblick auf die Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit dem Einflussgebiet zu ermitteln
- Auftraggeber und Planer ermöglichen Entscheidungen zu treffen, die dazu beitragen sich in jeder Phase des Bauprojektes mit der Bewertung der Nachhaltigkeit zu befassen
- Grundlage bieten, die Nachhaltigkeit des Bauwerks gegenüber Dritten darzulegen und zu kommunizieren
- Grundlage für eine kontinuierliche Verbesserung der Nachhaltigkeit als Beitrag zu einer nachhaltigen gebauten Umwelt und Entwicklung zu bieten

Hierbei werden verschiedene Umweltkategorien betrachtet. Es werden die Treibhausgasemissionen, der Ressourcenverbrauch (z. B. Wasser oder Energie) und die Abfallproduktion bzw. Wiederverwertung bewertet. Im Bauwesen werden die Umweltindikatoren Treibhauspotenzial

(engl. Global Warming Potential, GWP), Primärenergie – nicht erneuerbar (PE_{NE}), Ozonabbaupotenzial (ODP), Bodennahes Ozonbildungspotenzial (POCP), Eutrophierungspotenzial (EP) und Versauerungspotenzial (AP) herangezogen. Das GWP ist als Umweltindikator zur Erfassung aller klimawirksamen Emissionen von besonderer Bedeutung. Es wird in eine CO_2 -äquivalente Umweltwirkung umgerechnet und daher mit der Einheit CO_2 -Äq, je kg des Produktsystems angegeben. [6]

Treibhausgasemissionen entstehen über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Der Lebenszyklus von Gebäuden wird gemäß der Norm DIN EN 15643 [7] in fünf Lebenszyklusphasen eingeteilt. Nachfolgende Abbildung 2 stellt diese Lebenszyklusphasen eines Gebäudes dar. Diese werden in die Phasen Herstellung (A1-A3), Errichtung (A4-A5), Nutzung (B1-B8) und Entsorgung (C1-C4) aufgeteilt. Zusätzlich wird eine mögliche Wiederverwendung oder Rückgewinnung (D) berücksichtigt.

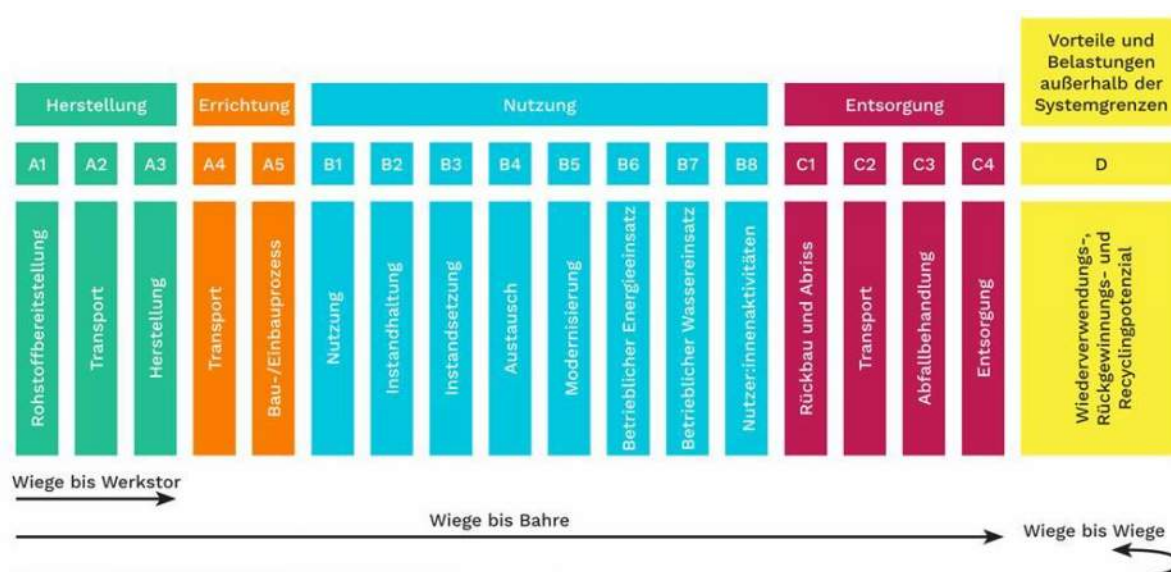


Abbildung 2: Lebenszyklusphasen [6]

In nachfolgender Abbildung 3 sind die Lebenszyklusphasen speziell auf den Rohstoff Holz bezogen. Hierbei sind von der Abholzung über Herstellung, Errichtung und Nutzung bis zur Entsorgung alle Phasen dargestellt. Pflanzen (u. a. Bäume) können durch Photosynthese Kohlenstoff aus dem CO_2 in der Atmosphäre binden. Dies wird als Kohlenstoff-Sequestrierung bezeichnet. In der Ökobilanzierung wird dadurch in der Herstellungsphase von Holz im Modul A1 ein negatives GWP erzeugt. Das verbaute Holz dient also somit als temporärer Kohlenstoffspeicher. Im Herstellungsprozess von Holz entstehen z. B. beim Trocknen des Holzes CO_2 -Emissionen. [6]

Dieser Zyklus kann theoretisch beliebig oft durchlaufen werden. Am Ende des Lebenszyklus kann Holz zusätzlich noch thermisch verwertet werden und kann dadurch fossile Brennstoffe ersetzen. Bei der Entsorgung des Holzes in der Phase C3 wird die Gutschrift des sequestrierten CO_2 wieder abgezogen. Als Summe über den Lebenszyklus resultiert daher ein positives GWP, das rein fossile CO_2 -Emissionen berücksichtigt. [6]

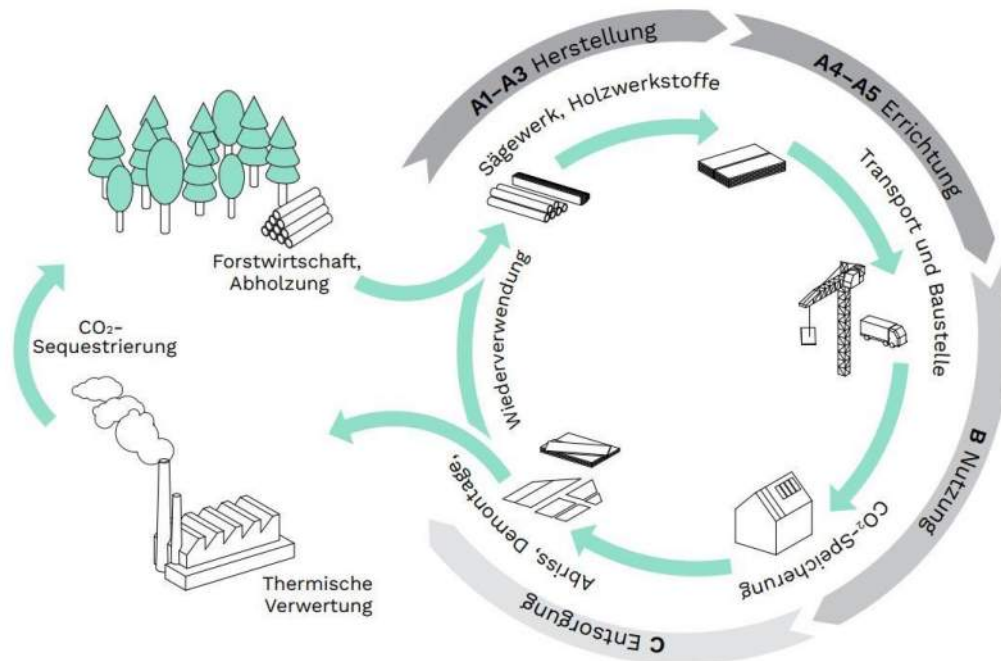


Abbildung 3: Lebenszyklus Holz als Kreislauf [6]

Bauprodukte können mit der sogenannten Umweltproduktdeklaration (engl. Environmental Product Declaration, EPD) hinsichtlich ihrer Umwelteinwirkungen quantifiziert bewertet werden. Diese EPDs werden anhand der DIN EN 15804 [8] erstellt. Die EPDs werden aus Literaturquellen oder realen Produktionsdaten der Hersteller erstellt. Es wird abhängig von der Datenerfassung zwischen vier Datensatztypen unterschieden: [6]

- Spezifisch: Herstellerspezifischer Datensatz für ein konkretes Produkt eines Werkes
- Durchschnitt: Durchschnittliche Datensätze von Industrieverbänden, mehreren Firmen oder Produkten
- Repräsentativ: Datensätze, die repräsentativ für ein Land / eine Region sind (z. B. Durchschnitt DE)
- Generisch: Datensätze, die auf Basis von Literatur und Expertenwissen modelliert werden. Diese enthalten in der ÖKOBAUDAT [9] einen Sicherheitszuschlag von 20 % aufgrund der fehlenden Realdaten.

1.3.4 Rückbaubarkeit

Die Rückbaubarkeit eines Gebäudes bezeichnet die Fähigkeit am Ende seiner Lebensdauer demontiert werden zu können und die Trennbarkeit in einzelne Komponenten zu gewährleisten. Hierbei können die einzelnen Komponenten entweder wiederverwendet oder recycelt werden. Die Auswahl der Materialien und der Fügepunkte spielt hier eine entscheidende Rolle. Für die Rückbaubarkeit eines Gebäudes sind Zugänglichkeit, Demontierbarkeit, Trennbarkeit und Auffindbarkeit zudem von entscheidender Bedeutung (siehe Abbildung 4).

Die Zugänglichkeit bedeutet, wie einfach es ist, einzelne Bauteile bzw. deren Komponenten zu erreichen. Sind z. B. einzelne Anschlüsse eines Bauteils nicht ausreichend zugänglich, so können die Bauteile nicht ohne weitere Maßnahmen voneinander getrennt werden.

Unter Demontierbarkeit versteht sich der möglichst zerstörungsfreie Rückbau von Bauteilen, sodass die Bauteile im gleichen Maße und Verwendungszweck wiederverwendet werden können.

Die Trennbarkeit bedingt eine möglichst zerstörungsfreie Separierung der Bauteile. Hierbei wird die Trennbarkeit auf Material- und auf Bauteilebene unterschieden. Die Trennbarkeit auf Bauteilebene wird durch entsprechende Verbindungsmittel gewährleistet. Auf Materialebene wird die Trennbarkeit durch Sortenreinheit erreicht, indem z. B. auf Beschichtungen oder Verleimungen verzichtet wird.

Durch die Verwendung von standardisierten Verbindungen kann eine einfache Identifikation der einzelnen Komponenten und damit eine schnellere Demontage und Sicherheit beim Rückbauprozess begünstigt werden. Die Auffindbarkeit bezieht sich hierbei auf die Identifizierung und einer langfristig verfügbaren und nachvollziehbaren Dokumentation der Verbindungsmittel einzelner Komponenten.

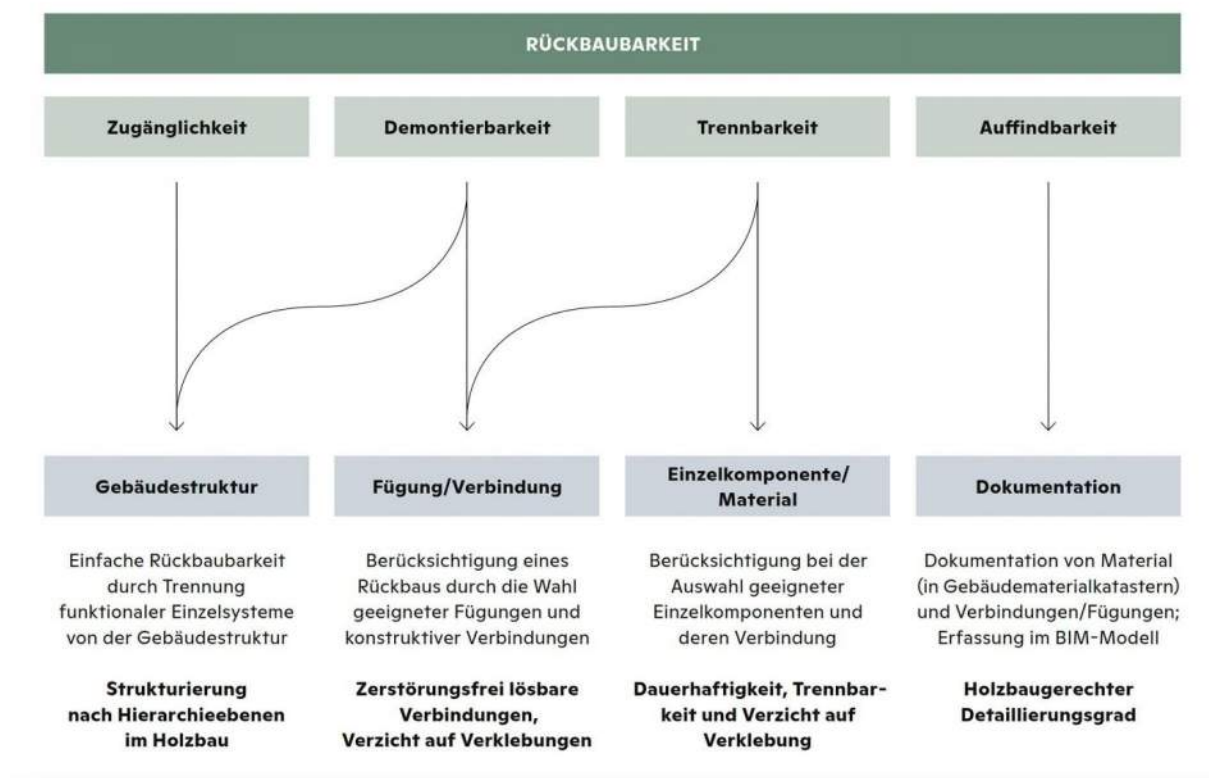


Abbildung 4: Definition Rückbaubarkeit [10]

2 Grundlagen

Nachfolgend werden die Grundlagen, die für das Forschungsprojekt wichtig sind, kurz vorgestellt und erläutert.

2.1 Laubholz

Alle Baumarten in Europa lassen sich in Laub- oder Nadelbäume unterteilen. Sie unterscheiden sich im grundsätzlichen Aufbau auf Zellniveau und auch in einigen wichtigen Eigenschaften. In der Bauwelt hat der Baustoff Holz immer eine Rolle gespielt. Dabei lag der Fokus, wenn es um tragende oder größere Bauteile im moderneren Holzbau ging, stets auf Nadelholz (auch als Weichholz bezeichnet). Laubholz (auch als Hartholz bezeichnet) wird im Baugewerbe bis heute vermehrt im Innenausbau für Treppenstufen, Vertäfelungen oder ähnliches genutzt. Dies änderte sich allerdings in den letzten Jahren. Holz als Baustoff erlebt einen Aufschwung und wird immer gefragter. Dies bezieht sich vor allem auf die ohnehin bereits viel genutzten Nadelholzarten Fichte, Kiefer, Tanne und Lärche. In deutschen Wäldern ist allerdings auch ein hohes Laubholz-Vorkommen aufzufinden, das industriell bisher überwiegend im Möbel- und Ausbau genutzt wird. In den letzten Jahren hat es aber auch immer größere Aufmerksamkeit im Bauwesen erlangt [11]. Die populärsten Laubholzarten in Europa sind in Abbildung 5 dargestellt.



Abbildung 5: Die wichtigsten Laubholzarten in Europa [12]

In diesem Kapitel werden die Charakteristika von Laubholz beschrieben, die Unterschiede zu Nadelholz aufgezeigt und die aktuelle Marktsituation analysiert. Zudem wird auf aktuelle Forschungen, ökologische Vorteile und Herausforderungen eingegangen, die mit der Nutzung von Laubholz verbunden sind.

2.1.1 Unterschiede zu Nadelholz

Nadel- und Laubholz unterscheiden sich wie bereits oben erwähnt auf Zellniveau und im grundsätzlichen Aufbau des Holzes. Dies liegt vor allem daran, dass Laubbäume erst mehrere Millionen Jahre nach Nadelbäumen entstanden sind. Nadelbäume besitzen einen einfacheren Zellenaufbau. Die Tracheiden (verholzte, langgestreckte Zellen) übernehmen beim Nadelholz sowohl die Wasserleitung als auch die Festigung des Holzes. Beim Laubholz wird der Wassertransport hingegen von Tracheen übernommen. Dies sind größere Zellen mit dickeren Wänden. Die Tragfunktion wird von Holzfasern (Libroformfasern, Fasertracheiden) übernommen. Diese Kombination verleiht dem Laubholz eine höhere Festigkeit. [11, 13]

Aus diesem wesentlichen Unterschied resultieren weitere Unterschiede, die für die baupraktische Nutzung relevant sind.

- **Dichte und Festigkeit:**

Laubholz hat im Allgemeinen eine ca. 30 – 70 % höhere Rohdichte als Nadelholz. Als Resultat haben die meisten Laubhölzer deutlich verbesserte mechanische Eigenschaften. Dazu gehören vor allem höhere Druck- und Biegefestigkeiten. Des Weiteren ist auch die Abbrandrate, also das Maß, wieviel vom Holz in einer bestimmten Zeit abbrennt, geringer.

Die erhöhte Dichte macht das Material jedoch auch schwerer und schwieriger zu verarbeiten. Nadelholz, wie Kiefer oder Fichte, ist leichter und einfacher zu bearbeiten. Zusätzlich resultieren aus der erhöhten Dichte höhere Quell- und Schwindmaße als bei Nadelholz. Dies ist bei der Verwendung und Zusammensetzung, insbesondere von großen Bauteilen, unbedingt zu beachten. [11]

- **Wachstum und Verfügbarkeit:**

Laubbäume haben im Vergleich zu Nadelbäumen längere Wachstumszyklen. Außerdem ist der Wuchs nicht so gerade und gleichmäßig wie bei Nadelbäumen. Bei Laubbäumen machen die Baumkrone und das Astwerk außerdem einen größeren Teil aus, der aktuell noch schwierig zu verarbeiten ist. Dies führt zu einem nutzbaren Stammholzanteil von nur 40 % bis 50 %, was deutlich unter den ca. 80 % von Nadelbäumen liegt. [14]

- **Dauerhaftigkeit und Schutz:**

Laubholz ist deutlich anfälliger für Pilze und Feuchteschäden. Bei dem Einsatz in der Nutzungsklasse 2 oder bei Baustellen, bei denen ein dauerhafter Witterungsschutz nicht gewährleistet werden kann, sind daher häufig spezielle Schutzbehandlungen notwendig, um es gegen Insektenbefall und Fäulnis zu schützen. Insbesondere die höhere Feuchtigkeitsempfindlichkeit kann eine Herausforderung darstellen. Nadelholz, insbesondere unbehandeltes, ist zwar auch anfällig für Pilzbefall, aber die Bearbeitung und Imprägnierung sind meist einfacher und kostengünstiger. [14]

Aus den Unterschieden zu Nadelholz ergeben sich sowohl Vor- als auch Nachteile von Laubholz. Die höheren Festigkeiten und die geringere Abbrandrate sind als deutliche Vorteile von Laubholz in Bezug auf die Verwendung als Baumaterial zu nennen. Die beiden Eigenschaften ermöglichen schlankere Querschnitte und somit effizientere Gebäude, was das nötige Holzvolumen angeht.

Für Nadelholz sind in Abhängigkeit vom Produkt und seiner Verleimung Abbrandraten von 0,65 bis 0,70 mm/min zu berücksichtigen. Laubholz brennt hingegen deutlich langsamer ab – mit durchschnittlichen Abbrandraten von 0,55 bis 0,65 mm/min. Dies bietet enorme Vorteile für die brandschutztechnische Bauteilbemessung, da beispielsweise nach 90 Minuten ein deutlich größerer Querschnitt (ca. 18 mm pro beflammete Seite) verbleibt (siehe Abbildung 6). Bauteile aus Laubholz weisen also ein signifikant besseres Tragverhalten bei Brandbeanspruchung auf. [14]

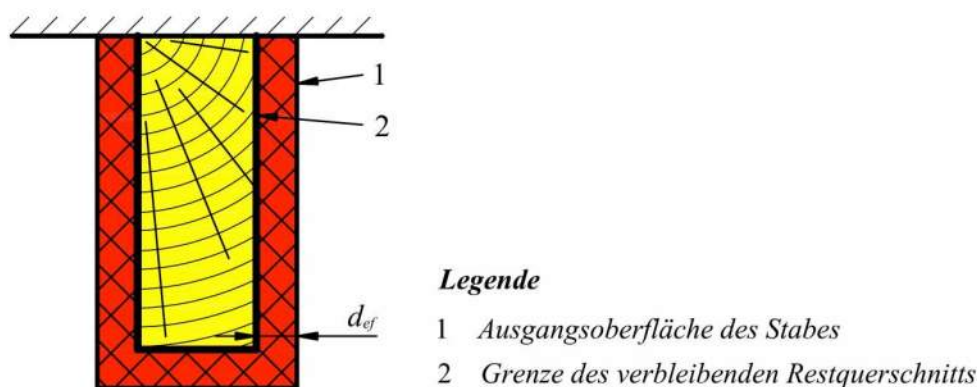


Abbildung 6: Verbleibender Restquerschnitt im Brandfall [15]

Da die erhöhte Dichte auch direkten Einfluss auf die Lochleibungsfestigkeit in Verbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln hat, können außerdem kleinere und effektivere Verbindungsdetails entwickelt und Verbindungsmittel eingespart werden. Es gilt allerdings zu beachten, dass die höheren Festigkeiten und Rohdichten auch eine Herausforderung an die Verarbeitung stellen. Werkzeuge wie Bohrer und Sägen müssen für die höheren Festigkeiten ausgelegt sein. Auch Einschraub- und Vorschubgeschwindigkeiten müssen gesondert für Laubhölzer betrachtet werden. Es hat sich allerdings gezeigt, dass mit diesen Herausforderungen in der Verarbeitung umgegangen werden kann. Spezielle Schrauben und Bohrer sind bereits auf dem Markt erhältlich. [14, 16, 17]

Auch das erhöhte Quell- und Schwindverhalten von Laubholz ist bei der Planung und Verarbeitung besonders zu beachten. Die Schwankungen in der Holzfeuchte der Bauteile sollte z. B. möglichst konstant gehalten werden. Dies ist auch bereits bei der Lieferung und beim Einbau der Bauteile zu überwachen. Zusätzlich ist während der Planung darauf zu achten, dass gerade an Knotenpunkten keine Zwängungen auftreten können. Andernfalls können Risse entstehen, welche nicht nur das äußere Erscheinungsbild beeinflussen, sondern auch die Tragfähigkeit der Bauteile signifikant reduzieren können.

Das höhere Eigengewicht von Laubholz spielt bei der Bemessung von Tragwerken hingegen eine untergeordnete Rolle, da es im Vergleich zu den Gesamtlasten (Ausbaulasten und Nutzlasten) eher gering ausfällt. Zudem wird das angesetzte Eigengewicht von Nadelhölzern bei der Bemessung meist überschätzt, wodurch die Diskrepanz des Eigengewichts von Laub- zu Nadelholz nochmals geringer ist. Im Vergleich zu Beton übertreffen Laubholzprodukte wie Furnierschichtholz aus Buche gewichtsbezogen steifigkeits- und festigkeitsmäßig sogar hochfeste Betonfestigkeitsklassen. [16]

Ein deutlicher Nachteil von Laubholz im Vergleich zu Nadelholz ist die geringere Dauerhaftigkeit und Anfälligkeit für Feuchteschäden. Dieses Problem benötigt besondere Aufmerksamkeit. Baustellenabläufe müssen unter Umständen anders geplant werden, um das Risiko solcher Schäden zu minimieren. Es ist geboten, das unbehandelte Holz auf der Baustelle vor jedweder Bewitterung zu schützen. Andernfalls können sehr schnell lokale Verfärbungen und andere Veränderungen auftreten, die den optischen Eindruck insbesondere bei sichtbaren Tragwerken erheblich beeinträchtigen.

Ein weiterer Nachteil ist der krumme Wuchs von Laubbäumen. Wie oben beschrieben, hat dies einen direkten Einfluss auf den Holzanteil, der effektiv von einem Baum genutzt werden kann. Bei Nadelholz ist dieser Anteil deutlich größer. Es ist allerdings zu beachten, dass Nadelholz auch schon wesentlich länger industriell im Baugewerbe und insbesondere für tragende Zwecke genutzt wird. Es ist davon auszugehen, dass mit steigender Nachfrage nach Laubholz

auch die Effizienz und Wirtschaftlichkeit gesteigert wird. Dies kann z. B. durch verbesserte Ernte- oder Fertigungsprozesse erreicht werden. Auch die Entwicklung von neuen Produkten, die mehr Material aus der Baumkrone nutzen, stellt eine mögliche Weiterentwicklung dar. Die teilweise großen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Laubhölzern sind ein weiterer Punkt, der unbedingt bei der zukünftigen Verarbeitung berücksichtigt werden muss. Ähnliche Unterschiede gibt es zwar auch bei Nadelholz. Diese fallen aber etwas geringer aus und haben weniger Einfluss auf die Verarbeitung und Nutzung des Endprodukts [11].

Ein nicht zu vernachlässigender Vorteil ist, dass Laubholz prozentual mehr CO₂ bindet als Nadelholz. In Kombination mit dem geringeren Holzvolumen, das aus höheren Festigkeiten und geringeren Abbrandraten resultiert, kann also trotzdem eine ähnliche Menge an CO₂ in einem Laubholz-Gebäude gebunden werden [11].

Als letzter Vorteil ist das schönere und gleichmäßigere Erscheinungsbild von Laubholzoberflächen im Vergleich zu Nadelholz zu nennen. Dies liegt vor allem an den engeren Jahrringen und der geringeren Anzahl an Astlöchern. Laubholz wird daher als hochwertiger wahrgenommen. Aus diesem Grund sind Produkte wie Kinderspielzeug, Küchenutensilien und -oberflächen, Treppenstufen, Möbel oder auch Musikinstrumente vornehmlich aus Laubholz hergestellt. Auch wenn diese Eigenschaft für die Verwendung als Baustoff zweitrangig erscheint, kann die hochwertige Oberfläche ein entscheidender Pluspunkt sein.

2.1.2 Unterschiedliche Arten

Zu den populärsten Laubholzarten in unserer Region gehören die Buche, die Eiche und die Birke. Eine untergeordnete Rolle spielen außerdem noch die Kastanie, die Esche und der Ahorn. Die verschiedenen Laubholzarten und ihre spezifischen Eigenschaften werden nachfolgend vorgestellt:

1. Eiche

Bekannt für ihre Festigkeit und Widerstandsfähigkeit wurde Eiche in der Vergangenheit häufig in tragenden Konstruktionen und hochwertigen Möbeln eingesetzt. Wegen der langen Haltbarkeit unter Wasser werden heute immer noch Pfahlgründungen aus Eichenstämmen ausgeführt. [18]

2. Buche

Die Buche ist die am häufigsten in mitteleuropäischen Wäldern vertretene Baumart. In Deutschland ist sie nach den Nadelhölzern Fichte und Kiefer die häufigste Holzart [11]. Sie hat eine hohe Festigkeit von D35 bis D40 und ist relativ resistent gegenüber Baum Schäden. Sie zeichnet sich aber auch durch ein hohes Quell- und Schwindverhalten aus und ist nach dem Einschlagen sehr anfällig gegenüber Feuchtigkeit und holzzerstörenden Organismen. [14]

3. Birke

Die Birke kommt in den deutschen Wäldern deutlich weniger als die Eiche oder die Buche vor. Trotzdem beginnt sie in den letzten Jahren eine zunehmende Rolle im eu-

ropäischen Baugewerbe zu spielen. Dies liegt vor allem daran, dass Birkenholz deutlich leichter als Eiche oder Buche ist, aber dennoch eine sehr gute Tragfähigkeit hat. Die größten Vorkommen, die relevant für Deutschland sind, liegen vor allem in Finnland und Russland. [19]

4. Kastanie

Die Vorkommen in Europa erholen sich langsam, nachdem diese im 19. Jahrhundert durch verschiedene Erkrankungen stark zurück gegangen sind. Das Holz der Kastanien kann sehr gut gebogen werden und ist aufgrund des hohen Anteils an Gerbsäure auch ohne chemische Behandlung sehr witterungsbeständig und weitgehend resistent gegen Insektenfraß und Pilzbefall. Es wird daher vor allem im Freien eingesetzt, z. B. im Schiffsbau, für Eisenbahnschwellen oder Gartenzäune. [20]

5. Esche

Dieses Holz ist zäh und elastisch, wodurch es sich gut für dynamische Belastungen eignet (z. B. Werkzeuggriffe, Sport- und Turnergeräte, Flugzeug- und Bootsbau, etc.). Außerdem hat es ein geringes Quell- und Schwindverhalten, ähnlich wie Eiche und Ahorn. Positiv ist außerdem die gute Verarbeitbarkeit zu nennen. [21]

Seit den 1990er Jahren ist vor allem in Südeuropa das Eschentriebsterben durch einen aus Asien eingeschleppten Pilz zu beobachten. Dieser Befall stellt ein ernstzunehmendes Risiko für den Eschenbestand in Europa dar. Es wird daher empfohlen die gesunden Eschenbestände bestmöglich zu erhalten und auf Neuanpflanzungen so gut wie möglich zu verzichten. [22]

6. Ahorn

Ahornholz zeichnet sich durch seine hohe Festigkeit und Elastizität aus. Es ist nicht so hart wie Eiche oder Buche und lässt sich daher besonders gut verarbeiten. Es wird oftmals im Möbel- und Innenausbau eingesetzt. [23]

2.1.3 Vorkommen

Gemäß der letzten Bundeswaldinventur (BWI) im Jahre 2022 des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) beträgt der Anteil an Laubhölzern in deutschen Wäldern 42 %. Die häufigsten Laubbaumarten sind – nach den beiden Nadelholzarten Kiefer und Fichte – Buche mit 17 % und Eiche mit 12 % Anteil am gesamten Baumvorkommen [24].

Die Fichtenwälder wurden vor allem in den Nachkriegsjahren in Monokulturen angelegt, da der Bedarf nach schnell verfügbarem Bauholz groß war.

Im Zuge einer notwendigen Umstrukturierung der Wälder hin zu einem nachhaltigeren und resistenteren Wald werden die Laubbäume aber immer interessanter. Ein Mischwald mit Laub- und Nadelbäumen bietet dabei die meisten Synergien, weshalb der Anteil an Mischwaldflächen in Deutschland in den letzten 20 Jahren auf 79 % angestiegen ist [24]. Der Anteil an Laubbäumen in deutschen Wäldern wird also in Zukunft noch weiter steigen [14, 25]. Diese Tendenz ist auch in Abbildung 7 zu erkennen.

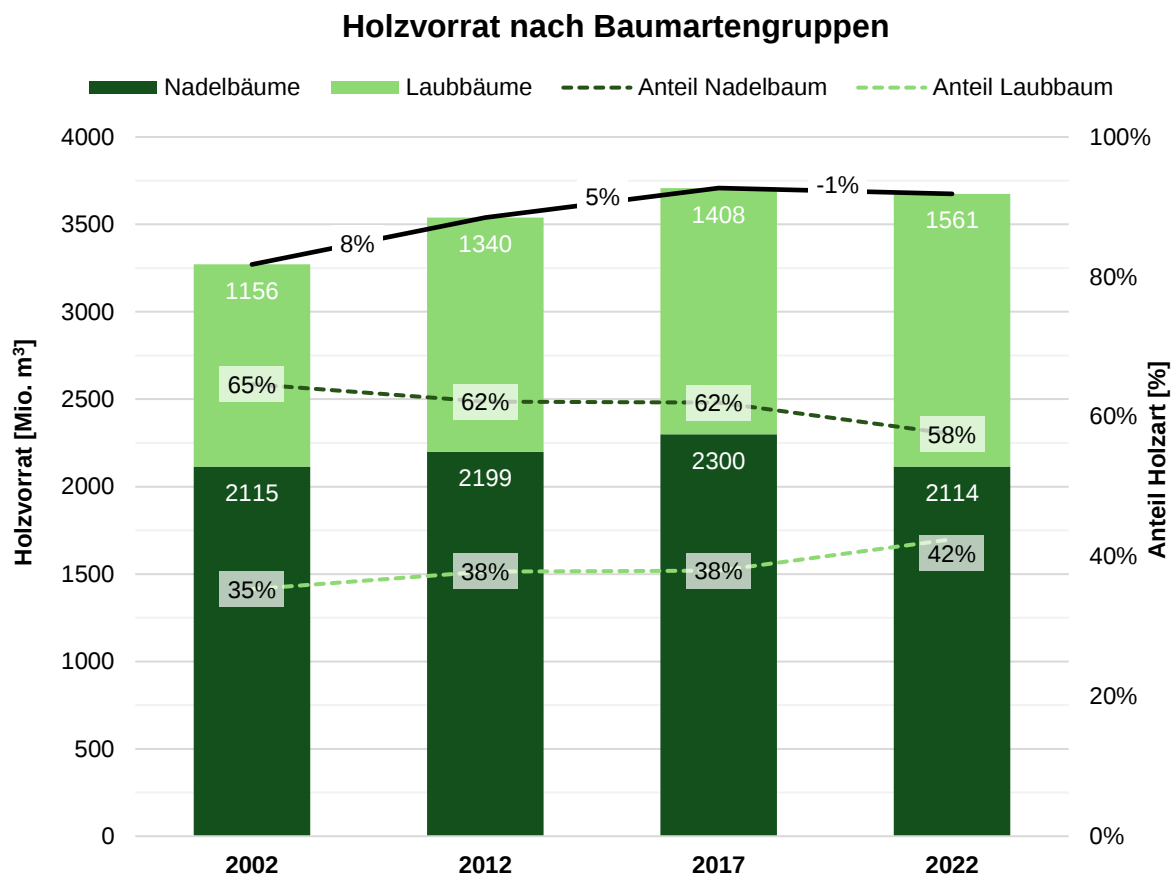


Abbildung 7: Holzvorrat nach Baumartengruppen in Deutschland [26]

Es zeigt sich auch, dass der Vorrat an Nadelbäumen, insbesondere an Fichten (Flächenrückgang von 17 % [24]), in den letzten Jahren stark abgenommen hat. Dies liegt vor allem an dem seit Mitte der 1980er Jahre geförderten Waldumbau und an den Folgen des Klimawandels, dem Befall durch den Borkenkäfer und die verringerte Widerstandsfähigkeit gegenüber Starkwetterereignissen wie Dürreperioden und Stürmen.

Insgesamt ist aber über die letzten 10 Jahre eine geringfügige Zunahme der Waldfläche in Deutschland von ca. 15.000 Hektar zu verzeichnen. [11, 24, 25]

2.1.4 Nutzung

Wie bereits beschrieben lag der bisherige Fokus bei der Nutzung von Holz als tragender Baustoff auf dem Nadelholz. Dies ändert sich allerdings zunehmend. Im Eurocode gibt es bereits Festigkeitsklassen für Laubhölzer. Für eine bessere Formstabilität und die Möglichkeit größere Querschnitte herstellen zu können, hat sich Brettschichtholz mittlerweile als Standard in der Industrie etabliert. Aktuell gibt es nur eine begrenzte Anzahl an Unternehmen, die Brett- oder Stabschichtholz aus Laubholz herstellen. Zu den verfügbaren Produkten im europäischen Raum gehören vor allem Brettschichtholz aus Esche, Buche oder Eiche. Bei Stabschichtholz (SSH) werden einzelne kleinere Stäbe miteinander verleimt. Dieses ist unter anderem aus Birke, Buche, Esche oder Eiche erhältlich. Vereinzelt wurden auch schon Bauwerke aus Brettschichtholz aus Robinie oder Kastanie errichtet. [27–29]

Bereits heute zugelassene Brett- und Stabschichtholzprodukte aus Laubholz sind in die Festigkeitsklassen GL32c bis GL48c einzuordnen. Dies bedeutet eine annähernd doppelt so hohe

Biegefestigkeit wie das typische GL24h bis GL28c aus Nadelholz. Auch die maximale Festigkeitsklasse von Brettschichtholz aus Nadelholz (GL32c) wird deutlich übertroffen.

Zusätzlich sind durch die Norm und europäische Zulassungen verschiedene Laubhölzer und Nadelholz-Laubholz-Kombinationen als Baustoff verwendbar. Je weiter die Verfügbarkeit von Laubholzprodukten für das Baugewerbe gesteigert wird, desto niedriger werden auch die Kosten werden. Diese liegen aktuell noch deutlich über den Kosten von Nadelholz. Im Kapitel 5.7 wird darauf näher eingegangen.

Im Folgenden wird eine Auswahl einiger zugelassener Laubholzarten aufgelistet:

- Schnittholz/KVH: Buche, Esche, Eiche [29]
- Brettschichtholz: Buche, Esche, Eiche und Edelkastanie [29, 30]
- Brettschichtholz-Hybrid: Buche mit Fichte, Kiefer oder Tanne [31]
- Stabschichtholz: Birke [28]
- Stabschichtholz: Buche, Esche und Eiche [32, 33]
- Furnierschichtholz: Buche [34]

Die Verfügbarkeit von Brettspertholz oder anderen flächigen Bauteilen aus Laubholz ist noch sehr gering. Zu diesem Thema gibt es bisher nur Forschungsprojekte und noch keine zugelassenen Produkte. Das Thema ist aber sehr interessant für die Industrie und wird von unterschiedlichsten Seiten nach vorne getrieben.

Auch Schrauben- und Verbindungsmittelhersteller bringen bereits erste Schrauben mit Zulassungen für Laubholz auf den Markt. Diese wurden extra für die Anwendung in den Bauteilen mit höheren Festigkeiten und Rohdichten entwickelt.

2.1.5 Zukünftige Forschung und Normung

Die Verwendung von Laubholz als Bauholz wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Dies liegt zum einen an der gesteigerten Nachfrage nach ökologischen Bauweisen und nachhaltigen Materialien und zum anderen daran, dass deutsche Wälder sich wieder mehr zu Mischwäldern entwickeln. Dies entspricht der natürlichen Vegetation in Deutschland. Die nach dem zweiten Weltkrieg gepflanzten Monokulturen aus Fichte und anderen Nadelbäumen sind stark anfällig für Schädlinge und starke Umweltereignisse. Sie werden sich daher langfristig nicht durchsetzen. Der Anteil an Laubbäumen wird in Deutschland also weiter steigen. Es ist daher unumgänglich, dass auch die Holzverarbeitende Industrie und Wissenschaft sich zunehmend mit diesem Rohstoff auseinandersetzen und Alternativen zum häufig verwendeten Fichtenholz finden. Es ist dadurch eine Preisannäherung der beiden Holzarten als Baustoffe zu erwarten. [25]

Neue Forschungsergebnisse zeigen, dass die Haltbarkeit von Laubholz durch innovative Behandlungsmethoden erheblich verbessert werden kann. Thermisch modifiziertes Holz und andere Techniken zur Holzveredelung erhöhen die Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse und biologische Bedrohungen. Dabei wird besonders darauf geachtet, dass die Sortenreinheit und Kreislauffähigkeit der Bauteile erhalten bleiben.

Außerdem werden innovative Konstruktionstechniken, wie z. B. Brettspertholz (BSP) aus Laubholz, untersucht [31]. Parallel beschäftigen sich immer mehr Sägewerke und Holzverarbeitende Betriebe mit der Verarbeitung von Laubholz. Dies erhöht die Verfügbarkeit und senkt die Preise.

2.2 Urbaner Wohnungsbau

Urbaner Wohnungsbau stellt einen zentralen Aspekt der Stadtplanung und des städtischen Lebens dar. In einer zunehmend urbanisierten Welt gewinnt die Frage nach bezahlbarem, nachhaltigem und lebenswertem Wohnraum immer mehr an Bedeutung. Dieser Abschnitt beleuchtet die wichtigsten Aspekte des urbanen Wohnungsbaus, einschließlich der Herausforderungen und der Ansätze zur Bewältigung ebendieser.

2.2.1 Allgemeines

In urbanen Gebieten ist die Nachfrage nach Wohnraum aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte besonders groß. Diese Nachfrage führt oft zu einem starken Anstieg der Immobilienpreise, was wiederum den Zugang zu Wohnraum für viele Menschen erschwert. Städtische Wohnungen sind in der Regel kleiner und teurer als in ländlichen Gebieten, was auch Auswirkungen auf die Lebensqualität haben kann.

Eine der effektivsten Strategien zur Bewältigung der hohen Bevölkerungsdichte in Städten ist der mehrgeschossige Wohnungsbau. Hochhäuser und große Wohnkomplexe ermöglichen eine effiziente Nutzung des begrenzten städtischen Raums und bieten Platz für viele Menschen auf relativ kleinem Raum. Diese Bauweise ist besonders in Metropolen verbreitet, wo die Bodenpreise hoch sind und der verfügbare Raum knapp ist. [35]

Eine wachsende Tendenz im urbanen Wohnungsbau ist die Mischnutzung von Gebäuden. Dabei werden verschiedene Nutzungen wie Wohnen, Arbeiten, Einkaufen und Freizeit in einem Gebäude oder einem Gebäudekomplex integriert. Diese multifunktionale Nutzung unterstützt eine lebendige Stadtentwicklung, fördert kurze Wege und trägt zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens bei. Mischnutzung kann auch die wirtschaftliche Stabilität von Immobilien erhöhen, da sie verschiedene Einkommensquellen bietet. [35]

Sozialer Wohnungsbau spielt eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung von bezahlbarem Wohnraum für einkommensschwache Haushalte. Städte stehen vor der Herausforderung, ausreichenden und qualitativ angemessenen Wohnraum für alle Einkommensgruppen zu bieten. Sozialer Wohnungsbau wird in Deutschland häufig durch staatliche Förderungen und Regulierungen unterstützt, um den Zugang zu erschwinglichem Wohnraum zu gewährleisten. Eine ausgewogene soziale Durchmischung ist entscheidend, um Segregation und soziale Spannungen zu vermeiden.

Die Verfügbarkeit von PKW-Stellplätzen ist ein wichtiger Faktor im städtischen Wohnungsbau, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten. Da der Parkraum knapp und teuer ist, setzen viele Städte auf alternative Mobilitätskonzepte wie Carsharing, Fahrradinfrastruktur und den öffentlichen Nahverkehr. Eine sorgfältige Planung der Parkmöglichkeiten und Mobilitätsangebote kann dazu beitragen, den Verkehrsfluss zu verbessern und den Bedarf an Stellplätzen zu reduzieren. [35]

Die Entwicklung urbanen Wohnraums wird oft durch eine Zusammenarbeit zwischen privaten Investoren und öffentlichen Auftraggebern realisiert. Während private Investoren häufig die

Finanzierung und den Bau übernehmen, stellen öffentliche Auftraggeber die Rahmenbedingungen und Förderungen bereit. Diese Kooperation ist entscheidend für eine ausgewogene Stadtentwicklung, die sowohl wirtschaftliche als auch soziale Aspekte berücksichtigt.

In der städtischen Entwicklung sind kurze Bauzeiten von großer Bedeutung, um den wachsenden Bedarf an Wohnraum schnell zu decken und Baukosten zu minimieren. Moderne Bauweisen, wie modulares Bauen oder vorgefertigte Bauteile, können die Bauzeit erheblich verkürzen und gleichzeitig die Bauqualität verbessern. Eine effiziente Projektplanung und -ausführung sind daher essenziell für den Erfolg urbaner Bauprojekte.

2.2.2 Flexibilität

*Dieses Kapitel wurde von den Mitautoren von blrm Architekt*innen verfasst.*

Angesichts des steigenden Bedarfs an flexiblen Wohnformen und Anpassungsmöglichkeiten besteht insbesondere im Bereich des Wohnungsbaus ein bedeutender Entwicklungsbedarf hin zu flexibleren Bauformen und adaptiven Bausystemen. Dies ist vor allem auf die fortschreitende gesellschaftliche Diversifizierung und die sich wandelnden Lebensmodelle zurückzuführen. Die starren Grundrisse und Strukturen von Massivbauten erweisen sich zunehmend als hinderlich in einer Gesellschaft, deren Lebensformen immer vielfältiger und weniger statisch werden. So haben traditionelle Familienmodelle in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung verloren, während alternative Wohnformen, darunter Mehrgenerationen-Wohnen, Co-Living und hybride Lebenskonzepte, an Bedeutung gewinnen. Diese Modelle erfordern räumliche Flexibilität, da sie sich oft aus neuen Zusammenschlüssen und wechselnden Bedürfnissen zusammensetzen, die nicht immer durch konventionelle Grundrisslösungen abgedeckt werden können.

Flexibilität ist im Verwaltungsbau seit jeher eine Grundanforderung an die räumliche Struktur, die durch die Reduktion tragender und aussteifender Wände eine variable Geschossaufteilung und Anpassungsfähigkeit ermöglichen. Solche Systeme bieten eine hohe Flexibilität und erleichtern die Reorganisation und Umnutzung der Räume, was vor allem im Kontext sich verändernder Arbeitsstrukturen und organisationsspezifischer Anforderungen von Vorteil ist. Der Wohnungsbau hingegen folgt aktuell weitgehend der konventionellen Massivbauweise, in der tragende und aussteifende Wände verwendet werden, um die strukturelle Stabilität der Gebäude sicherzustellen. Diese Bauweise beschränkt jedoch die Flexibilität der Grundrisse und erschwert oder verunmöglicht oftmals nachträgliche Anpassungen an sich wandelnde Wohnbedarfe.

Darüber hinaus ist die fortschreitende Verschmelzung von Wohn- und Arbeitsbereichen ein maßgeblicher Faktor in dieser Entwicklung. Durch den Einsatz flexibler Bauweisen kann eine multifunktionale Nutzung von Wohnungen gewährleistet werden, sodass bei Bedarf Arbeitsräume integriert oder abgetrennt werden können. Dies ist nicht nur im Hinblick auf den pandemiebedingten Anstieg des Homeoffice von Relevanz, sondern auch vor dem Hintergrund neuer Arbeitsplatzmodelle, die eine flexible Raumgestaltung erfordern. Auch gemeinschaftliche Wohnformen, die in jüngster Zeit eine signifikante Steigerung ihrer Beliebtheit erfahren,

erfordern eine variable Grundrissgestaltung, um sowohl private Rückzugsräume als auch gemeinschaftliche Nutzungsbereiche zu schaffen. Der Bedarf an flexiblen und anpassbaren Grundrissen im Wohnungsbau unterstreicht die Notwendigkeit, traditionelle Bauweisen zu überdenken und alternative, dynamischere Tragstrukturen zu entwickeln.

Grundrissflexibilität beschränkt sich allerdings nicht nur auf die Umwandlung innerhalb der Nutzung als Wohnraum. Es sollte im besten Falle eine grundlegende Umnutzbarkeit möglich sein. Wie müssen Gebäude konzipiert sein, damit ihre Räume flexibel und vielseitig genutzt werden können? Als Wohnungen, dann wieder für Büros, als Kindergärten und später vielleicht als Arztpraxis? Ein Skelettbau ermöglicht es, Gebäude und Wohnungen so zu gestalten, dass sie sich im Laufe der Zeit mit minimalem Aufwand nicht nur an die sich verändernden Bedürfnisse der Nutzer, sondern auch der funktionalen Anforderungen weiterer Nutzungsarten anpassen lassen. Gebäude im Skelettbau senken den Bedarf an umfangreichen baulichen Veränderungen und reduzieren somit den Material- und Energieaufwand, der bei Umbaumaßnahmen üblicherweise anfällt. Beispielsweise können durch flexible Wand- und Raumsysteme Wohn- und Arbeitsbereiche variabel gestaltet oder bestehende Räume einfach in neue Nutzungsformen überführt werden. Dies fördert nicht nur die Lebensdauer von Gebäuden, sondern verbessert auch deren funktionale und soziale Nachhaltigkeit, da der Lebensraum den wechselnden Bedürfnissen seiner Bewohner besser gerecht wird.

In der heutigen Planungsrealität ist der urbane Wohnungsbau in hohem Maße von wirtschaftlichen Parametern geprägt. Diese Entwicklung ist vor dem Hintergrund der Zielsetzung, Wohnraum wieder bezahlbar zu machen, nicht verwunderlich. Die vorherrschende Praxis, Wohnbauten als Massivbau zu errichten, basiert primär auf Kostenvorteilen gegenüber einer Skelettbauweise. In der Konsequenz werden Wohnungsgrundrisse stark auf Flächeneffizienz getrimmt, wobei die Raumstruktur weitestgehend festgeschrieben wird. Dadurch wird eine spätere Veränderung der Raumstruktur nahezu unmöglich. Die Reduzierung der Geschosshöhen erfolgt mit dem Ziel, die Kosten für die Gestaltung der Fassaden- und Innenwandhöhen zu minimieren. Andere Nutzungen, wie beispielsweise die Verwendung als Bürofläche, erfordern jedoch höhere lichte Raumhöhen. Der Großteil unserer jüngeren Wohnbauten kann folglich nicht umgenutzt werden. Fassaden werden in der Regel als tragende Außenwände oder als rigide Lochfassade ausgebildet, die auf die dahinterliegende Raumstruktur fixiert ist und sich nur schwerlich an spätere Nutzungen anpassen lässt.

Daher ist es erforderlich, die ökonomischen Betrachtungszeiträume unserer Gebäude grundsätzlich zu verlängern. Folglich wird eine konsequente Berücksichtigung von Flexibilität und Wandelbarkeit als Reduktion der Baukosten über den Lebenszyklus eines Gebäudes wahrgenommen. Eine Vermeidung von Leerständen kann durch die Möglichkeit der Anpassung von Wohngebäuden ohne große bauliche Eingriffe an neue Nutzungsformen gewährleistet werden. Dies umfasst etwa die Umgestaltung für gemeinschaftliches Wohnen oder hybride Wohn- und Arbeitsmodelle. Des Weiteren ermöglicht eine flexible Nutzung die Integration weiterer Funktionen, was zu einer Verdichtung urbaner Räume und einer Minimierung des Flächenverbrauchs führt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Implementierung flexibler Grundrisskonzepte einen nachhaltigen Beitrag zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs und zur Förderung einer resilienten Baukultur leistet, welche den sich wandelnden Bedürfnissen der Gesellschaft und den Erfordernissen des Umweltschutzes gleichermaßen gerecht wird.

2.2.3 Anspruch der Branche und aktuelle Lage

Die Lage am Wohnungsmarkt ist in den letzten Jahren immer prekärer geworden und bezahlbarer sozialgerechter Wohnraum immer seltener. Die Bundesregierung hat sich deshalb das Ziel von 400.000 neuen Wohnungen pro Jahr gesetzt. Dieses Ziel wurde jedoch in den vergangenen Jahren 2017 bis 2022 (290.000 bis 270.000 Wohnungen) nicht erreicht und wird voraussichtlich in 2023 und 2024 (bis 235.000 Wohnungen) nochmals unterboten [36]. Im gleichen Zeitraum ist jedoch die Baukapazität stets gestiegen bzw. wird auf einem konstant hohen Niveau gehalten (siehe Abbildung 8), sodass theoretisch jährlich über 400.000 Wohnungen umsetzbar wären, wenn die sonstigen Rahmenbedingungen stimmen würden. Ist der Rückgang der Baufertigstellungen im Wohnungsbau jedoch weiterhin andauernd, wird auch zwangsläufig die Baukapazität abgebaut werden müssen, sodass bereits im Jahr 2025 die Baukapazität in Deutschland nur noch für die Errichtung von ca. 275.000 Wohneinheiten ausreichen würde [37].

Es wird jedoch auch sehr wenig Wohnraum abgerissen, so wurden z. B. im Jahr 2021 nur 0,036 % aller Wohnungen in Deutschland abgerissen. Außerdem ist nur ein geringer Anteil von ca. 10 % des Wohnungsbestandes als technisch bzw. wirtschaftlich nicht sanierbar anzusehen [37].

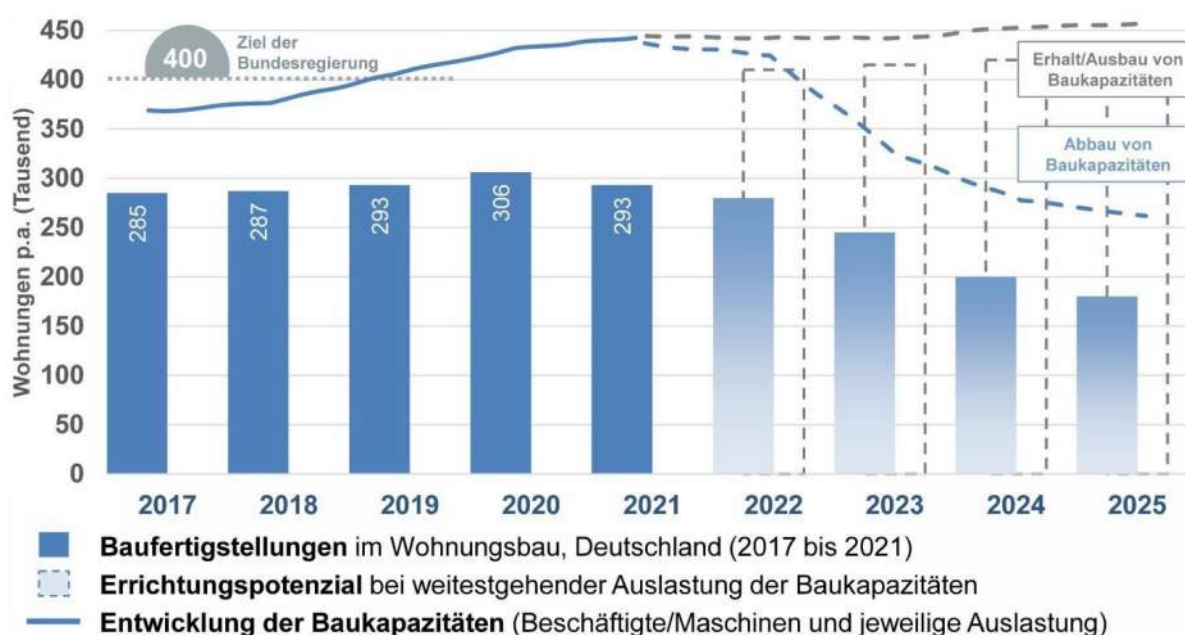


Abbildung 8: Entwicklung der Baufertigstellungen im Wohnungsbau und der Baukapazitäten in D (2017-2021) [37]

Die Rezession des Wohnungsbaus hat verschiedene Gründe, wie z. B. die gestiegenen Zinsen, Baulandpreise und Materialkosten. Der Materialaufwand pro Wohneinheit stieg in den letzten 20 Jahren zudem um ca. 17,5 % aufgrund von größeren Grundrissen, Geschosshöhen und höheren Anforderungen im Schallschutz, Wärmeschutz und der Haustechnik. Insgesamt sind zum Beispiel die Kosten des technischen Ausbaus in den letzten 20 Jahren am drastischsten gestiegen (siehe Abbildung 9). Hier werden Preiserhöhungen von mehr als 330 % erreicht. Die reinen Rohbaukosten sind hingegen in den vergangenen 20 Jahren „nur“ um ca. 100 % angestiegen [37].

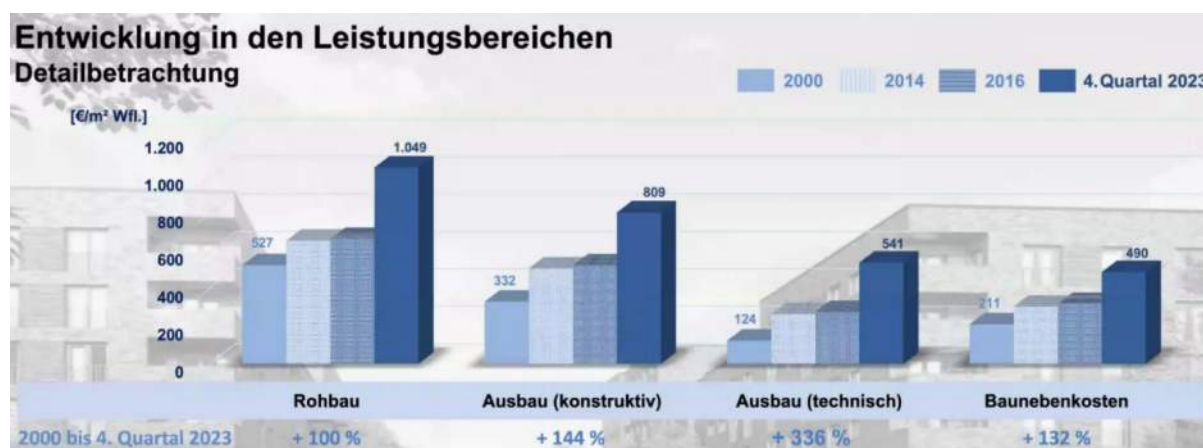


Abbildung 9: Entwicklung der Bauwerkskosten im Wohnungsneubau von 2000 bis 2023 [36]

Aus diesen Gründen werden Baukosten von 3.500 bis zu 5.150 €/m² (in deutschen Großstädten) erreicht, die nur durch hohe Mieten von bis zu 20 €/m² eine kostendeckende Bauweise erlauben [36]. Die Bauwirtschaft fordert dahingehend eine bessere Förderung des Wohnungsbaus durch die Bundesregierung, um das Ziel von 400.000 Wohnungen pro Jahr zu erreichen und bezahlbaren Wohnraum zu schaffen. Die Wohnungsunternehmen haben zudem an einer Umfrage teilgenommen, die abfragt, welche Standards abgesenkt werden müssten, damit eine sinnvolle Kostenreduzierung der Neubauwohnungen erreicht wird. Die wichtigsten Themen, um Baukosten zu reduzieren, sind für die Wohnungsunternehmen: Energetische Standards, Stellplatzanforderungen, Lüftungstechnik [...] und Raumhöhe [37]. Des Weiteren wurden Experten aus verschiedenen Fachbereichen im Zuge einer Masterarbeit zu dem Thema der Kostenreduktion im Wohnungsbau befragt. In Kapitel 3, S.68 werden diese Experteninterviews beschrieben und in Kapitel 3.3.3, S.74 wird genauer auf die von den Experten genannten Möglichkeiten zur Kostenreduktion eingegangen.

Die energetischen Anforderungen zum Erreichen der Klimaneutralität haben im Sektor des Neubaus eine geringere Relevanz im Vergleich zur Bestandssanierung. Im Wohnungsneubau haben die Kosten der CO₂- und Energieeinsparung infolge höherer Effizienzstandards infolge des Gebäudeenergiegesetzes bereits das individuelle und volkswirtschaftliche Optimum erreicht. Weitere ordnungsrechtliche Verschärfungen sind im Hinblick auf die steigenden Mieten nicht zielführend und müssten durch entsprechende Förderungen sozial angemessen ausgeglichen werden. Im Bestandssektor kann hingegen noch viel mehr Potenzial in der CO₂- und Energieeinsparung durch energetische Sanierungen und ggf. Aufstockungen verhältnismäßig kosteneffizient ausgeschöpft werden [37].

2.2.4 Nachverdichtung

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit den Mitautoren von blrm Architekt*innen.*

In den dicht besiedelten Stadträumen ist die Verfügbarkeit von Flächen für Neubauten stark begrenzt. In Anbetracht des großen Bedarfs an (bezahlbarem) Wohnraum, der Verknappung von Freiflächen in urbanen Räumen sowie des Ziels, eine zusätzliche Versiegelung von Freiflächen möglichst gering zu halten, gewinnen Umnutzung und Aufstockung von Bestandsbauten zunehmend an Bedeutung. Anstelle einer weiteren Ausdehnung in die Breite wird sich die Stadtentwicklung in Zukunft verstärkt auf eine Nutzung der Höhe sowie eine Aktivierung von

Restflächen konzentrieren. Das Potenzial zur Nachverdichtung ist insbesondere in bestehenden Gebäuden und Quartieren signifikant.

Die Typologie der Zeilenbauten, wie sie in den 1950er und 1970er Jahren in vielen deutschen Städten realisiert wurde, stellt einen vielfach reproduzierbaren Anwendungsfall dar. In diesen Jahrzehnten war der deutsche Wohnungsmarkt einem hohen Druck ausgesetzt, der zum einen durch die im Krieg zerstörten Wohnungen bedingt war, zum anderen aber auch durch eine hohe Anzahl von Zuzügen in die Stadt verstärkt wurde. Die entstandenen Gebäudestrukturen orientierten sich am jeweiligen städtebaulichen Leitbild, welches für das betreffende Jahrzehnt Gültigkeit besaß. Diesbezüglich ist zunächst das Strukturkonzept der "gegliederten und aufgelockerten Stadt" zu nennen, welches in den 1950er Jahren entwickelt wurde. In den 1970er Jahren wurde das Leitbild "Urbanität durch Dichte" formuliert. [38]

Die genannten Siedlungen sind in der Regel durch eine vergleichsweise geringe Bebauungsdichte, wenig zufriedenstellende Freiräume sowie einen Modernisierungsbedarf der Gebäude gekennzeichnet [38]. Aus heutiger Sicht besteht daher die Notwendigkeit einer Neustrukturierung und Aufwertung. Hinsichtlich einer baulichen Ergänzung, Umgestaltung und Anpassung an die heutigen Bedürfnisse der Bewohner und ihrer Umwelt bieten sich vielfach Potentiale. Unter den genannten Möglichkeiten sind insbesondere Anbau, ergänzender Neubau und Aufstockung zu nennen.

Die Möglichkeit einer Aufstockung mit einem oder mehreren zusätzlichen Geschossen ist dabei von den statischen Reserven der vorhandenen Tragstruktur abhängig. Da diese Reserven bei den Gebäuden aus der betreffenden Bauzeit in der Regel bereits erschöpft sind, stellt eine Aufstockung als Holzkonstruktion mit niedrigem Eigengewicht in vielen Fällen die einzige Option der Nachverdichtung dar.

Die Holzskelettbauweise eröffnet aufgrund ihrer spezifischen Material- und Fertigungseigenschaften vielversprechende Möglichkeiten zur Umsetzung innerstädtischer Verdichtungsstrategien. Das geringere Gewicht des Baumaterials Holz stellt in dicht bebauten urbanen Gebieten einen signifikanten Vorteil dar. Das geringere Gewicht des Holzes reduziert die Anforderungen an die Bestandsstatik und ermöglicht somit Aufstockungen und Erweiterungen bestehender Gebäude, ohne dass erhebliche strukturelle Verstärkungen notwendig sind. Dies ist insbesondere bei Nachverdichtungsmaßnahmen von Vorteil, bei denen Bestandsgebäude in der Regel nicht vollständig entkernt oder abgerissen werden sollen. Das geringe Eigengewicht des Materials ermöglicht ein schonendes Vorgehen und eine Minimierung statischer Risiken für angrenzende Bauten.

Ein weiterer entscheidender Vorteil der Holzskelettbauweise ist der hohe Vorfertigungsgrad, der eine präzise Planung sowie effiziente Bauabläufe begünstigt. Die Herstellung vorgefertigter Bauteile erlaubt eine signifikante Reduktion der Bauzeiten auf der Baustelle, was eine effektive Minimierung der Umweltauswirkungen und der Belastung für die Anwohnerinnen und Anwohner zur Folge hat. Dies ist insbesondere in eng bebauten Stadträumen von Bedeutung, in denen Platzmangel und begrenzte Logistikmöglichkeiten die Durchführung herkömmlicher Baumaßnahmen erschweren. Die effiziente Bauweise mit Holz kann diesen Herausforderungen begegnen, da der Materialtransport und die Montage der Bauelemente zügig und präzise durchgeführt werden können.

Die verkürzten Bauzeiten und die Möglichkeit, Bauarbeiten in bewohntem Zustand durchzuführen, stellen einen weiteren entscheidenden Vorteil der Holzskelettbauweise dar. Da die

Bauarbeiten schnell abgeschlossen werden können und die Lärmemissionen aufgrund der trockenen Bauweise verringert sind, werden die Beeinträchtigungen des Wohnumfelds auf ein Minimum reduziert. Diese Methode bietet daher auch eine nachhaltige und sozialverträgliche Lösung für urbane Verdichtung, da sie Rücksicht auf das Wohnumfeld nimmt und die Aufenthaltsqualität der Anwohner trotz Bauaktivitäten nur geringfügig beeinträchtigt wird.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Holzskelettbauweise aufgrund ihrer Materialeigenschaften, des hohen Vorfertigungsgrads und der logistischen Effizienz eine flexible und umweltschonende Option für die innerstädtische Nachverdichtung darstellt, die sowohl ökonomische als auch soziale Vorteile bietet.

Der Großteil der Wohnungen, die seit 2019 gebaut wurden, sind auf Ackerflächen im Umland von großen Städten gebaut worden. Hier wurden zum Großteil Einfamilienhäuser und Investorenwohnungen gebaut, welche die prekäre Wohnungsnot nicht lindern. Gemäß der „Deutschlandstudie 2019“ der TU-Darmstadt und dem Pestel-Institut Hannover [39] ist zudem nicht ausreichend Baugrund für eine Verlagerung des Wohnungsmarktes in den ländlichen Raum verfügbar. Dies stellt also keinen Lösungsweg für die prekäre Wohnungsnot im urbanen Raum dar.

Infolge der Corona-Pandemie sind immer mehr Unternehmen auf die Home-Office Möglichkeiten umgestiegen und somit wird immer weniger Bürofläche benötigt. Die Bürotätigkeiten werden in den heimischen Wohnraum verlagert, wodurch der Bedarf an größeren Wohnungen zusätzlich noch zunehmen wird, und in künftigen Wohnungsneubauten mitgedacht werden muss. Dahingegen wird die zu mietende Bürofläche pro Mitarbeitende immer kleiner werden. Im Jahr 2020 arbeiteten ca. 14,8 Millionen Menschen in Deutschland im Büro. Aktuelle Analysen gehen davon aus, dass davon ca. 40 % ein Potenzial für Home-Office-Arbeitsplätze haben. So ist auch zum ersten Mal seit ca. 10 Jahren die Leerstandsquote von Büroimmobilien im Jahre 2020 wieder angestiegen [40].

Es existieren zurzeit ca. 350 Millionen m² Nutzfläche in Büro- und Verwaltungsgebäuden in Deutschland. Die Arbeitsgemeinschaft zeitgemäßes Bauen e. V. hat auf Basis durchgeführter Bauvorhaben und Erkenntnissen aktueller Forschungsprojekte Analysen und Auswertungen durchgeführt:

- 20 % (der Büro- und Verwaltungsgebäude) mit mittlerem baulichem Aufwand
- 30 % (der Büro- und Verwaltungsgebäude) mit einfachem/geringem baulichen Aufwand

sind für den Umbau und die Umnutzung zu Wohnungen technisch und funktional geeignet. Eine prinzipiell einfache Formel macht den baulich-konstruktiven, nutzungsspezifischen Zusammenhang klar: Je neuer die bauliche Struktur, desto - i.d.R. - besser für die Umnutzung geeignet. [40]

Die Kosten (KG 200-700, also ohne Grundstückskosten) für eine Voll-Modernisierung, einen Ausbau oder eine Umnutzung (z. B. Büro zu Wohnungen) sind im Vergleich zu einem Neubau deutlich geringer (siehe Abbildung 10). Bei einem Umbau können im Mittel ca. 2/3 der Kosten im Vergleich zu einem Neubau eingespart werden. Hinzukommen noch die eingesparten Kosten für das Grundstück [40].

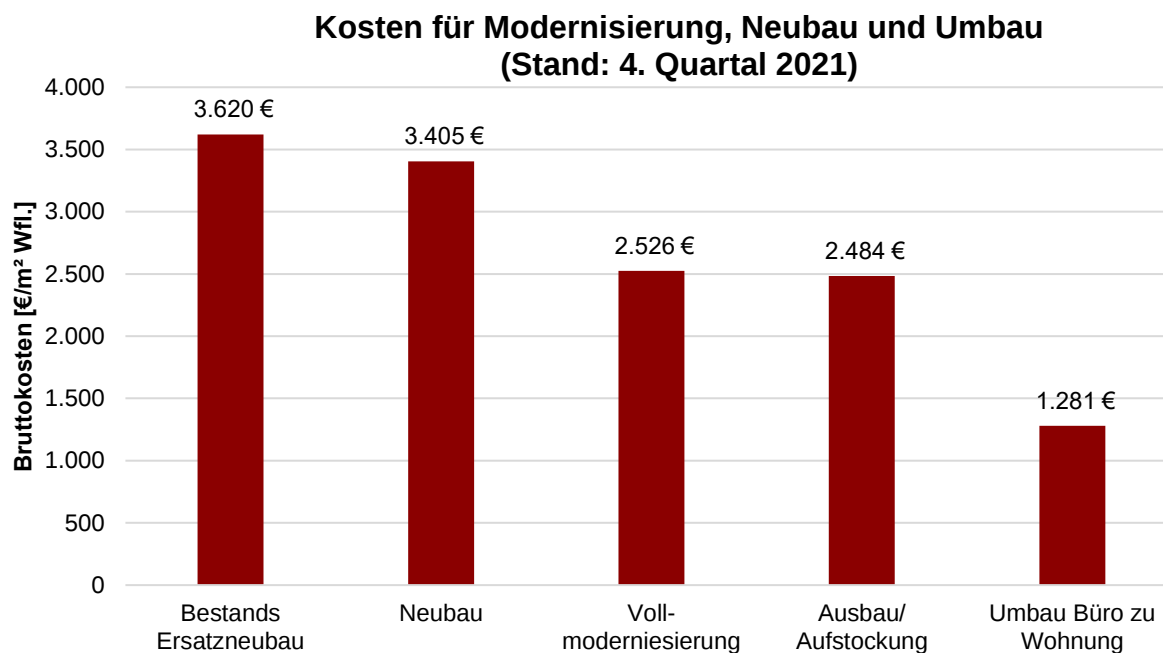


Abbildung 10: Kostenvergleich Modernisierung, Neubau und Umbau [40]

Die Nachverdichtung und vor allem die Umnutzung von bestehenden Gebäuden wird somit in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen, um die prekäre Lage am Wohnungsmarkt zu verbessern.

2.2.5 Multifunktionale Nutzung (Mischnutzung)

*Dieses Kapitel wurde von den Mitautoren von blrm Architekt*innen verfasst.*

Die Attraktivität von Städten ist maßgeblich von einem vielfältigen und multifunktionalen Angebot abhängig. Im Idealfall befinden sich Einzelhandelsbetriebe, Dienstleistungsunternehmen, Wohnraum sowie Einrichtungen für die alltägliche Versorgung in räumlicher Nähe zueinander. Dies resultiert in einer Steigerung der Attraktivität und Nachhaltigkeit der Quartiere, da sie zu einer „Stadt der kurzen Wege“ beitragen. Mixed-Use-Immobilien vereinen verschiedene Funktionen in einem Gebäude. Sie wirken der zunehmenden „Entmischung“ der städtischen Funktionen entgegen, welche dazu führt, dass unterschiedliche städtische Funktionen räumlich voneinander getrennt werden. Die Trennung der verschiedenen städtischen Funktionen führt dazu, dass Wohnen, Arbeiten, Einkaufen und Freizeitgestaltung an unterschiedlichen Orten innerhalb der Stadt stattfinden. Dies bedingt lange Wege zwischen zwei Tätigkeiten. Das Ziel ist die Schaffung attraktiverer Lebensbedingungen für die Stadtgesellschaft, beispielsweise durch eine bessere Nahversorgung oder die Nähe von Arbeits- und Wohnraum. Dies ist sowohl für wachsende als auch für schrumpfende Städte von Bedeutung.

In Gebäuden, die eine multifunktionale Nutzung aufweisen, werden am häufigsten Einzelhandels- mit Büro- und Dienstleistungsflächen kombiniert. Oftmals wird aber auch die Verbindung von Einzelhandel und insbesondere die Kombination mit Wohnraum angestrebt. Im Folgenden wird der besondere Fall des vertikalen Mixed-Use, des Stapelns von Nutzungen, betrachtet, da im Gegensatz zum horizontalen Mixed-Use, dem Nebeneinander von Nutzungen, die Wahl

des geeigneten Konstruktionsrasters eine besondere Herausforderung darstellt. Ein durchdachtes und auf die spezifischen Anforderungen abgestimmtes Konstruktionsraster ist wie in der Betrachtung der Umnutzung im Lebenszyklus des Gebäudes auch in dieser Typologie essenziell, um Flexibilität, Effizienz und langfristige Anpassbarkeit des Gebäudes zu gewährleisten. Das Konstruktionsraster, das den strukturellen Aufbau eines Gebäudes in Form eines regelmäßigen Stützenrasters oder Traggerüstes festlegt, muss in gemischt genutzten Gebäuden den unterschiedlichen funktionalen und statischen Anforderungen der einzelnen Nutzungszonen gerecht werden.

In Gebäuden mit vertikal gestapelten Nutzungen ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Raumanforderungen für Wohn-, Büro- und Gewerbeflächen jeweils spezifische Ansprüche an das Konstruktionsraster. Gewerbe- und Büroflächen, die oft im unteren Bereich eines solchen Gebäudes angesiedelt sind, benötigen in der Regel größere, stützenfreie Spannweiten und flexible Raumaufteilungen, um Ladenflächen und Open-Space-Büros effizient zu nutzen. Dies erfordert ein weiter gefasstes Konstruktionsraster mit entsprechend stabilen Decken- und Stützenstrukturen, um die erforderlichen Spannweiten zu überbrücken.

Demgegenüber werden an Wohnräume, die sich häufig in den oberen Etagen solcher Gebäude befinden, andere Anforderungen hinsichtlich der Raumdimensionierung gestellt, was sich auch auf die Fassade auswirkt. Die Herausforderung besteht darin, unterschiedliche Raumgrößen in die Wohnungsgrundrisse und Fassadengestaltung zu integrieren und gleichzeitig kleinere Räume effizient aufzuteilen. Die Breite von Wohnräumen muss anders dimensioniert werden als die von Schlafräumen oder Sanitärbereichen.

Eine wesentliche Herausforderung bei vertikal gemischten Nutzungen besteht folglich in der Ausbalancierung zwischen Tragfähigkeit und Flexibilität. Die Integration verschiedener Raster in unterschiedlichen Gebäudezonen birgt im Übergang zwischen diesen Rastergrößen zusätzliche Traglasten und statische Herausforderungen. In den Übergangsbereichen (Abfangebene) werden häufig verstärkte Deckenkonstruktionen oder Unterzüge eingesetzt, um die Kräfte aus dem engeren Raster der oberen Wohnetagen in das weitere Raster der Büro- oder Gewerbenutzungen abzuleiten. Dies ist jedoch zu vermeiden, weshalb der Fokus auf der Entwicklung eines modularen Rasters liegt, das möglichst allen Nutzungen gerecht wird und auf dem gesamten Gebäude angewendet werden kann.

Das zu wählende Konstruktionsraster sollte sich in dieser Hinsicht vielfach als geeigneter Kompromiss darstellen, da es sowohl für Büros als auch für Gewerbeflächen hinlänglich flexibel sein sollte und zudem eine angemessene Aufteilung von Wohneinheiten ermöglichen soll. Der Einsatz modularer Stützen und Deckensysteme ermöglicht die Realisierung einer durchgehenden strukturellen Linie, wodurch spätere Umnutzungen und Anpassungen erleichtert werden.

Ein flexibles Konstruktionsraster leistet auch in gemischt genutzten Gebäuden einen wesentlichen Beitrag zur Nachhaltigkeit, da es die Möglichkeit schafft, das Gebäude langfristig an sich wandelnde Nutzungsanforderungen anzupassen. Diese Flexibilität vermeidet Abriss und umfangreiche Umbaumaßnahmen und ermöglicht eine effiziente Ressourcennutzung über die Lebensdauer des Gebäudes hinweg.

2.2.6 Anforderungen aus Architektur und Gesetzgebung

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit den Mitautoren von blrm Architekt*innen.*

ARCHITEKTUR

Architektur wird durch die Sinne erfahren: Gebäude werden gesehen, gehört, ertastet, gerochen und sogar geschmeckt. Insbesondere Holz als Baumaterial trägt durch seine vielfältigen sinnlichen Qualitäten zu einem umfassenden räumlichen Erleben bei. Es vermittelt beim Berühren eine samtige, warme Textur, erzeugt lebendige und mehrdeutige visuelle Eindrücke und kann durch seinen natürlichen Duft das olfaktorische Empfinden bereichern. Auch akustisch wirkt Holz raumprägend, indem es durch seine Resonanz und Klangtiefe das räumliche Erleben intensiviert.

Darüber hinaus hat Holz wesentliche raumklimatische Vorteile. Durch seine Fähigkeit, die Luftfeuchtigkeit in Innenräumen zu regulieren, trägt es entscheidend zu einem behaglichen und gesunden Raumklima bei. Studien weisen darauf hin, dass Holz zudem eine positive Auswirkung auf das menschliche Immunsystem haben kann, da es schädliche Substanzen aus der Raumluft absorbiert und deren Konzentration innerhalb weniger Stunden erheblich reduziert. Die positiven Effekte von Holz auf das Wohlbefinden der Menschen werden sowohl im Wohnungsbau als auch im öffentlichen und gewerblichen Sektor zunehmend anerkannt.

Gerade in großen Wohnungsbauprojekten, die häufig als kühl und unpersönlich wahrgenommen werden, wirkt Holz der oft als unangenehm empfundenen, kalten Atmosphäre entgegen und schafft eine einladende und natürliche Umgebung. Hierbei ist jedoch die sichtbare Präsenz des Materials von zentraler Bedeutung, da nur offenes Holz seine positive Wirkung auf das Raumklima und das subjektive Wohlbefinden der Nutzer voll entfalten kann. Ein Holzbau, in dem das Holz verdeckt bleibt, verfehlt daher wesentliche Aspekte seines Potenzials, ein ganzheitliches und sensorisch ansprechendes Raumgefühl zu vermitteln.

Der Skelettbau ist dadurch gekennzeichnet, dass ein gleichbleibendes Raster in Überlagerung mit den unterschiedlichen Raumgrößen im Wohnungsbau zu einer besonderen Situation in größeren Räumen führt. Dort befinden sich unter Umständen die Stützen nicht in den Wänden, sondern stehen frei im Raum. Dies kann durch eine sorgfältige Grundrissplanung jedoch sinnvoll in die Raumstruktur eingebunden werden, sodass die Nutzbarkeit der Räume nicht oder nur geringfügig eingeschränkt wird.

GESETZGEBUNG

Im Folgenden wird ein Blick auf die bestehende Gesetzgebung und eventuelle Hindernisse hinsichtlich der Zielstellung der Flexibilität und Umnutzbarkeit eines Gebäudes als Holzskelettkonstruktion geworfen. Die gegenwärtige Gesetzeslage schreibt Nutzungen im Gebäudebestand in hohem Maße fest vor und steht somit den Bestrebungen einer flexiblen Gebäudestruktur entgegen. Eine Umnutzung im Sinne des untersuchten Tragwerks ist gegenwärtig baurechtlich äußerst komplex, wenngleich nicht gänzlich unmöglich.

In diesem Kontext ist die Baunutzungsverordnung [41] zu nennen, die auf dem Leitbild der „gegliederten und aufgelockerten Stadt“ fußt. Die Baunutzungsverordnung definiert die Nutzungsarten, die den verschiedenen Baugebietstypen zugeordnet sind. Hierdurch werden Regelungen geschaffen, die für die Nutzungsänderungen entscheidend sind, da sie die Umwand-

lung von Nutzungsarten steuern. Eine Weiterentwicklung in Form weniger starrer Nutzungsfixierungen ist erforderlich, um den notwendigen Wandel im Lebenszyklus unserer Gebäude zu ermöglichen, statt Umnutzungen zu verhindern. Nur so kann die Baunutzungsverordnung auch die angemessene Rechtsgrundlage für die Stadtentwicklung der Zukunft sein, die auf Innenentwicklung und Klimaschutz abzielt.

Dieselbe Problematik zeigt sich bei der kommunalen Bauleitplanung. Die Bebauungspläne enthalten konkrete Festsetzungen zur Nutzung von Flächen und Gebäuden, weshalb sie oftmals den rechtlichen Rahmen für eine Umnutzung darstellen. Für eine Nutzungsänderung oder Nachverdichtung ist folglich eine entsprechende Änderung der besagten Pläne erforderlich. Der genannte Gesetzesrahmen gestaltet Umnutzungen und Nachverdichtungen oftmals langwierig und konfliktbeladen, was eine signifikante Hürde darstellt.

Es ist jedoch zu erwarten, dass in naher Zukunft Anpassungen im Baurecht vorgenommen werden, um die Verfahren zur Genehmigung von Nutzungsänderungen oder Nachverdichtungen im Bestand zu erleichtern. Dabei könnten Einzelfallbetrachtungen von Lösungen im Bestand bei Zielkonflikten mit Anforderungen für den Neubau eine zielführende Maßnahme darstellen.

SOZIAL GEFÖRDERTER WOHNUNGSBAU

Sozial geförderter Wohnraum in Deutschland ist eine staatlich unterstützte Form des Wohnungsmarktes, die darauf abzielt, Menschen mit niedrigem Einkommen Zugang zu bezahlbarem Wohnraum zu ermöglichen. Wohnen ist ein Grundbedürfnis, welches jedem Menschen in Deutschland ermöglicht sein sollte. Die soziale Wohnraumförderung sieht zum einen die Bereitstellung preiswerter Mietwohnungen vor und zum anderen die Unterstützung bei der Bildung von selbst genutztem Wohneigentum. Auch die Schaffung von behindertengerechten Wohnungen und energetische Sanierungen werden von Ländern und Kommunen gefördert. Die Anforderungen an den sozial geförderten Wohnraum sind in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen geregelt, insbesondere im Wohnraumförderungsgesetz (WoFG) [42] und in den jeweiligen Landesgesetzen. Die wichtigsten Anforderungen aus dem WoFG [42] sind:

1. Einkommensgrenzen

Der Anspruch auf sozial geförderten Wohnraum richtet sich in der Regel nach dem Einkommen der Haushalte. Es gibt Einkommensgrenzen, die für den Zugang zu gefördertem Wohnraum relevant sind. Diese Grenzen variieren je nach Bundesland und Haushaltsgröße. Wer über der festgelegten Einkommensgrenze liegt, hat keinen Anspruch auf eine geförderte Wohnung. Das Haushaltseinkommen wird dabei nicht nur durch das Bruttoeinkommen, sondern auch durch andere soziale Leistungen wie Kindergeld, Sozialhilfe oder Arbeitslosen- bzw. Bürgergeld berücksichtigt.

2. Bau- und Ausstattungsanforderungen

Geförderte Wohnungen müssen bestimmte Anforderungen an die Bauqualität und Ausstattung erfüllen. Diese Standards werden durch die Förderprogramme festgelegt und müssen bei Neubauten oder Modernisierungen beachtet werden. Dazu gehören beispielsweise eine gute Energieeffizienz und barrierefreier Zugang für bestimmte

Wohnungen. Auch Nutzungseinschränkungen wie eine Begrenzung der Miethöhe sind häufig Teil der Förderung.

3. Mietpreisbindung

Wohnungen im sozial geförderten Bereich unterliegen einer Mietpreisbindung. Das bedeutet, dass die Miete während einer festgelegten Bindungsdauer nicht unbegrenzt erhöht werden darf. In der Regel liegt die Mietpreisbindung bei 20 bis 30 Jahren, abhängig von der Art der Förderung. Die Miete darf dabei nur in einem festgelegten Rahmen steigen, der an den mietrechtlichen Mietspiegel oder die Inflation angepasst wird.

4. Zweck- und Belegungsbindung

Wohnungen im sozial geförderten Wohnungsbau sind oft an eine Zweckbindung geknüpft, die besagt, dass diese Wohnungen nur für den Zweck des Wohnens genutzt werden dürfen. Eine Umwidmung der Wohnungen, etwa für kommerzielle Zwecke oder Ferienwohnungen, ist in der Regel nicht erlaubt.

Außerdem unterliegt der geförderte Wohnraum einer Belegungsbindung, d. h. die Wohnungen müssen an Haushalte mit einem bestimmten Einkommen vergeben werden. In der Praxis bedeutet dies, dass eine Vermittlung über lokale Wohnungsämter oder Vergabestellen erfolgt. Diese kontrollieren, ob die Interessenten die erforderlichen Voraussetzungen erfüllen.

5. Bau- und Förderbedingungen

Bei Neubauten oder umfassenden Renovierungen müssen die jeweiligen Förderbedingungen beachtet werden. Diese umfassen häufig, dass die Bauweise den aktuellen Standards der Energieeinsparverordnung entsprechen müssen (z. B. Passivhausstandard oder Effizienzhaus). Der Bauherr oder Investor muss zudem bestimmte soziale Kriterien erfüllen, etwa in Bezug auf die Anzahl der geplanten geförderten Wohnungen oder die Berücksichtigung von barrierefreien Wohnungen.

6. Begrenzte Nutzung und Vermietung

Um die Gültigkeit der Förderung aufrechtzuerhalten, dürfen geförderte Wohnungen während der Bindungsfrist nicht frei am Markt vermietet oder verkauft werden. Die Nutzung als Zweitwohnung oder Ferienwohnung ist ausgeschlossen.

7. Förderarten

Sozial geförderter Wohnraum kann durch verschiedene Förderarten entstehen:

- Direkte staatliche Förderung (z. B. über zinsgünstige Darlehen oder Zuschüsse)
- Steuerliche Vergünstigungen für Investoren, die Wohnungen zu niedrigen Mieten anbieten
- Mietpreisbindung in Neubauten oder im Bestand

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sozial geförderter Wohnraum vor allem darauf abzielt, den Mietpreis für Haushalte mit niedrigem Einkommen zu stabilisieren und sicherzustellen, dass die Wohnungen bestimmten Qualitätsstandards entsprechen, um langfristig bezahlbar zu bleiben.

2.2.7 Anforderungen aus Brandschutz

Da die Themen Nachverdichtung und Flexibilität eine immer größere Rolle in der Bebauung des urbanen Raumes spielen, werden Gebäude bis unter die Hochhausgrenze, also bis zur Gebäudeklasse 5 mit maximaler Oberkante Fertigfußboden (OKF) $\leq 22,0$ m betrachtet. Die Holz-Skelettbauweise vor allem mit Laubholz kann durchaus auch eine sinnvolle Anwendung im Bereich über der Gebäudeklasse 5 finden. Im Projektverlauf wurde sich jedoch dazu entschieden unterhalb der Hochhausgrenze zu bleiben. Zum einen werden in dem Bereich darüber nur vereinzelt Projekte umgesetzt und zum anderen sind aktuell die Anforderungen in diesem Bereich hinsichtlich des Brandschutzes und der technischen Gebäudeausrüstung noch zu komplex, um ein allgemein anwendbares Konzept entwickeln zu können. Es wird ein hoher Anteil an mineralischen Baustoffen benötigt, der eine ökonomische und ökologische Materialnutzung erheblich erschwert. Zudem wird durch die hohen und komplexen Anforderungen für den Holzbau im Hochhausbau die Planung deutlich aufwendiger und es bedarf einer umfangreichen Abstimmung und ggf. Zulassungen im Einzelfall.

Standardgebäude bis zur Gebäudeklasse 5 mit einer maximalen Höhe OKF von 22,0 m können gemäß der „Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen [...] in Holzbauweise“ (HolzBauRL BW) Abs. 5.1 mit feuerwiderstandsfähigen Bauteilen in Massivholzbauweise ausgeführt werden, wenn die einzelnen Nutzungseinheiten eine maximale Größe von 200 m² haben bzw. die Nutzungseinheiten mit Hilfe von Trennwänden zu einer maximalen Größe von 200 m² unterteilt werden [43].

Die Holzbaurichtlinie gibt hier jedoch enge Grenzen vor, da freiliegende Holzflächen im Brandfall als zusätzliche Brandlast wirken und die Flammenausbreitung fördern können. So muss bei mehrgeschossigen Holzbauwerken, insbesondere in Bereichen mit hoher Personendichte, die Sichtbarkeit des Holzes oft eingeschränkt oder das Holz mit schwer entflammbaren Materialien beschichtet werden. Zulässig ist, die Decke oder alternativ 25 % der Wandoberflächen (ausgenommen Trennwände, Wände anstelle von Brandwänden sowie Treppenraumwände) sichtbar auszuführen.

Hierbei dürfen auch Bauteile bis zu einer Feuerwiderstandsklasse von F90 in Massivholzbauweise ausgeführt werden. Brandwände und Treppenraumwände in der Gebäudeklasse 4 können ebenfalls in Holzbauweise errichtet werden, müssen jedoch mit einer brandschutztechnischen wirksamen Verkleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen z. B. einer 18 mm dicken Gipsplatte geschützt werden. Für die Gebäudeklasse 5 sind Brandwände und Wände notwendiger Treppenräume nur aus nichtbrennbaren Baustoffen zulässig. Hierbei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass auch in der Gebäudeklasse 5 Brandwände und Treppenraumwände aus brennbaren Baustoffen möglich sind. Dies wurde unter anderem beim „Buggi 52“ einem Gebäude in Holzbauweise in Freiburg in der Bugginger Straße 52 umgesetzt [44]. Es wird in diesem Fall aktuell wie auch beim „Buggi 52“ eine Zustimmung im Einzelfall benötigt, was einen erhöhten Planungs- und Abstimmungsaufwand mit sich zieht.

2.2.8 Anforderungen aus technischer Gebäudeausrüstung

*Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit den Mitautoren von blrm Architekt*innen.*

Die Anforderungen an die technische Gebäudeausrüstung (TGA) im Kontext des Holzskelettbbaus sind vielfältig und erfordern eine detaillierte Planung, welche Aspekte der Flexibilität, Nachhaltigkeit und Sicherheit gleichermaßen berücksichtigt. Die spezifischen Materialeigenschaften und strukturellen Merkmale des Holzskelettbbaus bedingen besondere Anforderungen an die Integration technischer Systeme, wie beispielsweise Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Sanitäranlagen sowie Elektroinstallationen. Eine durchdachte, frühzeitige Planung aller TGA-Komponenten ist eine wesentliche Voraussetzung für die langfristige Sicherstellung der Effizienz des Gebäudebetriebs und zugleich für die Förderung des nachhaltigen Einsatzes von Ressourcen. Die Konzeption der Systeme muss daher so erfolgen, dass zukünftige Nutzungsänderungen oder räumliche Anpassungen ohne umfassende bauliche Eingriffe realisiert werden können. Dies bedingt, dass die Installationen für Lüftung, Heizung, Kühlung, Wasser, WC-Anschlüsse und Elektroversorgung leicht zugänglich und modifizierbar gestaltet werden.

Von entscheidender Relevanz ist die Präferenz modularer Systeme, welche eine nachträgliche Adaption einzelner Komponenten ohne umfangreiche bauliche Maßnahmen gestatten. Die Flexibilität modularer TGA-Elemente erlaubt deren Ergänzung oder Austausch, wodurch sich eine Anpassung an neue Raumkonzepte oder Nutzungsänderungen wesentlich erleichtert. Die Flexibilität modularer Systeme gewährleistet, dass beispielsweise eine Umgestaltung des Raumlayouts durch einfache Anpassungen der TGA begleitet werden kann, ohne dass die Tragstruktur des Holzskelettbbaus angetastet werden muss.

Eine enge Abstimmung zwischen TGA-Planung, Architektur sowie den statischen Anforderungen des Holzbaus ist daher unerlässlich. Diesbezüglich wird ersichtlich, dass eine frühzeitige Kooperation aller involvierten Akteure – Architekten, TGA-Ingenieure und Tragwerksplaner – unabdingbar ist, um eine optimale Integration der TGA-Komponenten in die Holzstruktur zu gewährleisten und potenzielle Folgekosten und Umbauten zu minimieren.

Die Klimatisierung und Lüftung stellen im Holzskelettbau besondere Herausforderungen dar, da Holz als Baustoff ein vergleichsweise geringes Wärmespeichervermögen aufweist. Dies erschwert die passive Temperierung der Innenräume und macht eine sorgfältig durchdachte Klimatisierung erforderlich, um ein angenehmes Raumklima zu erreichen. Insbesondere im Wohngebäudebau empfiehlt sich bei der Holzskelettbauweise eine dezentrale Lüftungsstrategie. Dezentralisierte Lüftungssysteme erlauben eine flexible Reaktion auf unterschiedliche Raumanforderungen und eine bessere Anpassung an veränderte Grundrisse.

Eine zentrale Lüftungsanlage erweist sich in Gebäuden, die für flexible Nutzungskonzepte konzipiert sind, vielfach als nur schwer an geänderte Raumanforderungen anpassbar. Zentrale Systeme bedingen aufwendige bauliche Modifikationen bei einer Änderung der Raumkonfiguration. Dezentrale Systeme hingegen gestatten die separate Versorgung einzelner Räume oder Raumgruppen, wodurch sie eine höhere Flexibilität aufweisen.

Es ist von essenzieller Bedeutung, die Durchdringung tragender Holzelemente durch Wasser- und Abwasserleitungen zu minimieren, um die strukturelle Integrität des Gebäudes zu bewahren und den Schutz vor Feuchtigkeit sicherzustellen. Aufgrund seiner Naturmaterialität ist Holz als Baumaterial empfindlicher gegenüber Feuchtigkeitseinwirkung als Beton oder Stahl. Ein

effektiver Feuchtigkeitsschutz stellt folglich einen integralen Bestandteil der TGA-Planung im Holzskelettbau dar.

Für die Ermittlung eines für Wohnbauten geeigneten Stützenrasters ist es unumgänglich, die Anforderungen zu betrachten, die sich für das Tragwerk infolge der Aufnahme oder Durchführung haustechnischer Leitungen ergeben (siehe Abbildung 11). Hierzu sind Aussparungen wie Schlitz- und Durchbrüche, aber auch vertikale Erschließungen wie Technikschrächte erforderlich. Die Schlitz- und Aussparungen werden üblicherweise dicht unter der Rohbaudecke vorgesehen. Aus tragwerksplanerischer Sicht kann man Schlitz- und Durchbrüche durch tragende Bauteile umgehen, indem man z. B. die Träger mit einer annähernd deckengleichen Höhe vorsieht oder sie oberhalb der Decke als Überzug einplant. Hierdurch bleibt der Bereich unterhalb der Decke frei für technische Leitungen und die TGA-Planer können ihre Leitungen frei verziehen. Die Technik-Schrächte hingegen müssen bereits bei der Grundrissgestaltung mitbedacht werden und sollten eine ausreichende Fläche für die notwendige technische Ausrüstung aufweisen. Eine allgemeingültige Regel für die Anzahl, die Größe und die Lage der herzustellenden Aussparungen und Schrächte lässt sich kaum aufstellen. Typischerweise nehmen solche vertikalen Schrächte ca. 1 – 3 % der Grundrissfläche ein [45]. Auch hier sollte eine mögliche Umnutzung berücksichtigt werden und die Schrächte für jegliche Nutzungsmöglichkeiten ausgelegt sein.

Die TGA-Systeme bringen zusätzliche Lasten mit sich, die in die statischen Berechnungen des Tragwerks einfließen müssen. Diese Lasten werden üblicherweise pauschal als flächige Last angesetzt und müssen so bei einer Umnutzung nicht weiter beachtet werden. Größere Geräte wie Lüftungsanlagen oder Wärmepumpen sollten entweder vermieden werden oder im besten Fall nicht auf dem Dach angeordnet sein. Diese Geräte bringen große Lasten mit sich, die vor allem in Erdbebengebieten nicht auf dem Dach angesiedelt werden sollten.

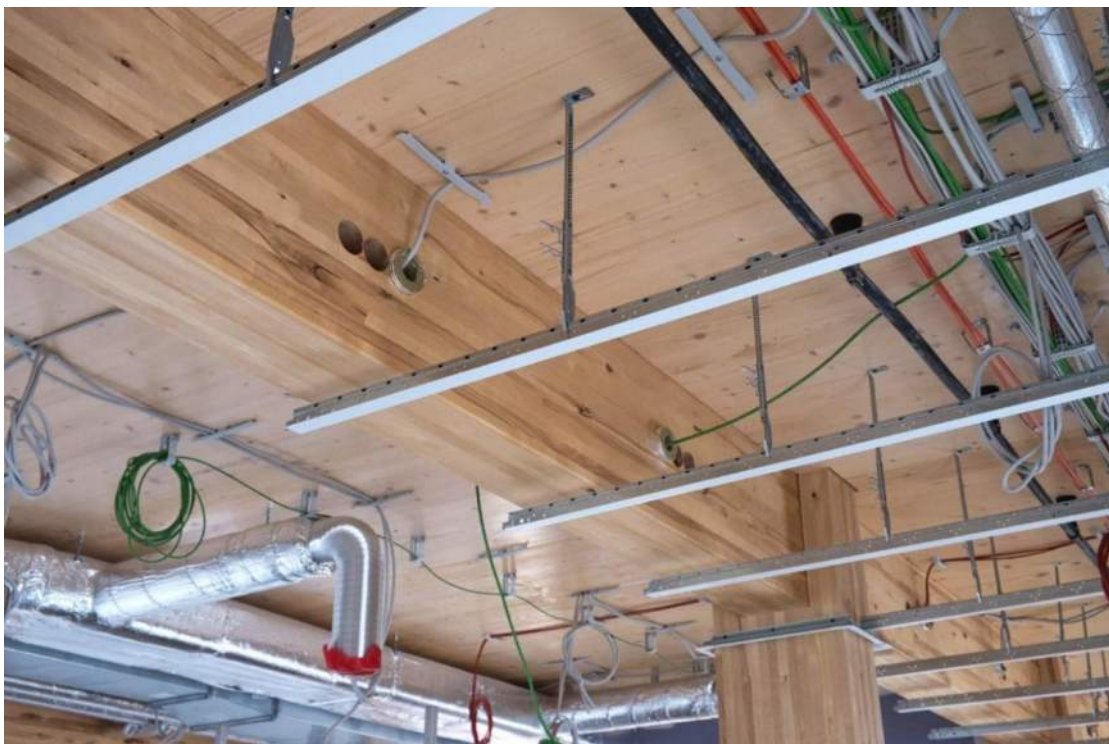


Abbildung 11: TGA-Leitungen in einer Holz-Skelettkonstruktion (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)

Schließlich wurden tragwerksrelevante Einflüsse betrachtet, die aus auf Geschoss- und Dachdecken installierten Technikgeräten oder -zentralen resultieren. Bereits bei aktuell in Planung befindlichen oder kürzlich realisierten Bauvorhaben sind üblicherweise Photovoltaikanlagen vorgesehen – ein Trend, der sich in Zukunft noch verstärken wird. Dabei werden Photovoltaikanlagen heute, wie morgen oftmals mit einer Begrünung des Daches kombiniert. Da hieraus zusätzliche Lasten entstehen, die beim Nachweis der Standsicherheit berücksichtigt werden müssen, werden bei allen relevanten statischen Berechnungen entsprechende Lastannahmen getroffen.

Um die Vorteile wie geringere Kosten und eine saubere Bauausführung der Vorfertigung und Modularität zu nutzen, gibt es vorgefertigte Nasszellen auf dem Markt. Diese Kammern stellen ein vollwertiges Badezimmer dar und werden mit allen nötigen Installationen auf die Baustelle geliefert. Dies wird besonders im seriellen Bau z. B. für Hotels, Krankenhäuser oder Pflegeeinrichtungen genutzt. Auch für dieses Projekt werden vorgefertigte Nasszellen berücksichtigt und die Verwendung entsprechend geprüft.

2.3 Anforderungen an die Bauakustik

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Um ein vollumfängliches Konzept zu entwickeln, ist es unbedingt erforderlich, zusätzlich zu tragwerksplanerischen Aspekten Rahmenbedingungen der Bauphysik zu betrachten. Aufgrund der angedachten Wohnnutzung ist mit erhöhten Anforderungen an den Schallschutz zu rechnen, insbesondere an den Schallschutz zwischen den Wohnungen.

In Deutschland sind die Anforderungen an den Schallschutz nur bei den Mindestanforderungen eindeutig geregelt. Anforderungen, die darüber hinausgehen oder das subjektive Empfinden gegenüber Lärmeinwirkungen sind hingegen nur unzureichend oder diffus geregelt. Häufig wird in diesem Zusammenhang der Begriff der allgemein anerkannten Regeln der Technik verwendet. Diese könnten als mittlere Ausführungsgüte angesehen werden. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass „die“ allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht als Regelwerk existieren. Jedes Gebäude besitzt seine eigene Beschaffenheit, die ein bestimmtes Niveau „verspricht“, welches die Nutzer oder Käufer dann auch erwarten dürfen. Dieses Niveau hängt maßgeblich vom Gesamtstandard des Gebäudes ab.

Daher muss für jedes Gebäude ein individuell angemessenes Niveau entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik gesucht und vereinbart werden. Sollten Mindeststandards für gewerblich genutzte Einheiten oder Wohngebäude gewünscht sein, so erfordert dies eine gesonderte vertragliche Vereinbarung und ist mit hohen Anforderungen an die Aufklärungspflichten verbunden. Dennoch stellen Mindeststandards, die zumindest ein Mindestmaß an Vertraulichkeit und Gesundheitsschutz gewährleisten, insbesondere im Kontext des wirtschaftlichen Bauens, eine wichtige Anforderung dar.

Im Rahmen des Baurechts sind Mindeststandards stets zu wahren. Diese Standards im Bereich des Schallschutzes sind in jedem Bundesland in der Liste der technischen Baubestimmungen aufgeführt. Dazu wird in den meisten Bundesländern die Norm DIN 4109-1:2018 „Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen“ [46] herangezogen. Der hier definierte Standard stellt das unumstößliche Minimum dar, das alle am Bau Beteiligten dem Auftraggeber auch ohne ausdrückliche Vereinbarung schulden. Häufig wird darauf hingewiesen, dass mit bestimmten Bauweisen oder aufgrund der Baukosten die Mindeststandards nicht erreicht werden können, jedoch bietet dieser Hinweis keine Möglichkeit zum Unterschreiten von Mindeststandards. Es handelt sich um einen öffentlich festgelegten Standard, der durch die Parteien nicht verhandelbar ist. Daher muss als erster Schritt im bauakustischen Planungsprozess geprüft werden, welche Standards vereinbart werden und welche angesichts der Planungsbedingungen erreichbar sind. Nur nach dieser Abstimmung mit dem Auftraggeber können weitere Überlegungen zur konstruktiven Umsetzung erfolgen.

Bei der Vereinbarung zum Schallschutz hat sich nachstehendes Vorgehen als effektiv erwiesen.

1. Abstimmung mit dem Investor/Käufer/Nutzer:

Welche Anforderungen an den Schallschutz des Gebäudes werden gestellt und welches Gesamtniveau ist für das Gebäude angestrebt.

2. Abgleich des Umfangs möglicher Schallschutzmaßnahmen:

Wie z. B. Unterdecken mit großen Abhanghöhen oder zusätzliche Lasten (Schüttungen) auf der Decke.

3. Abschätzung des erreichbaren Schallschutzniveaus mit den geplanten Maßnahmen**4. Vereinbarung eines Schallschutzniveaus:**

Verbale Beschreibung und Festlegung, wie z. B. nach den Vorschlägen im Holzbau-Handbuch „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessungen“ [47]. Mindeststandards müssen dabei immer erreicht werden.

5. Abstimmung der akustischen Belange mit den weiteren Planungsbereichen**6. Finale Wahl und Bemessung von trennenden Bauteilen**

Der Prozess sollte stets vom Anforderungsprofil des Kunden ausgehen, über die Auswahl der Bauteile in der spezifischen Einbausituation führen und schließlich zur Ausführung gelangen. Eine umfassende Beratung über die akustische Qualität und die Auswirkungen der Entscheidung für Mindeststandards auf das akustische Wohlbefinden ist hierbei unerlässlich. In den folgenden Abschnitten wird der Schwerpunkt auf den Schutz vor Gehgeräuschen gelegt. Es soll jedoch auch aufgezeigt werden, wie durch ergänzende Kriterien neben den Mindeststandards ein hör- und wahrnehmbar gutes akustisches Niveau für die Nutzer erreicht werden kann.

2.3.1 Exkurs: Mindestschallschutz und vertragliche Vereinbarung

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Wird der Schallschutz auf europäischer Ebene betrachtet, so ist festzustellen, dass weder die Anforderungsgrößen noch deren Anforderungshöhe gleich sind. In Deutschland wird als Anforderungsgröße für den Trittschall $L'_{n,w}$ angewandt. Im Hinblick auf den Mindestschallschutz können die Bundesländer eigene Vorgaben machen. Positiv ist zu bewerten, dass derzeit in allen Bundesländern die DIN 4109-1:2018 [46] eingeführt ist. Somit kann diesbezüglich zumindest von einem einheitlichen Standard ausgegangen werden, was nicht immer so war. Das, was ein Käufer oder Nutzer üblicherweise für ein Gebäude erwarten darf, richtet sich unter anderem nach der Nutzung des Gebäudes und dem was bei anderen Gebäuden gleicher Art üblich ist. Die Mindeststandards der DIN 4109-1 [46] werden für den Geschosswohnungsbau nicht zwangsläufig den üblichen Erwartungen gerecht.

Die DIN 4109-1:2018 legt bei den Mindestanforderungen für den Trittschallschutz bei Wohnungstrenndecken folgendes fest:

$$L'_{n,w} \leq 50 \text{ dB}$$

SONDERFALL HOLZBAU:

„Beim Neubau von Gebäuden mit Deckenkonstruktionen, die DIN 4109-33:2016-07, Schallschutz im Hochbau — Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) — Holz-, Leicht- und Trockenbau, zuzuordnen sind, liegt die Anforderung bei $L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$.“ Fußnote b in DIN 4109-33 [48]

Sollten Vereinbarungen getroffen werden, die lediglich das bauordnungsrechtliche Minimum abdecken, so ist es zwingend erforderlich, dass der Unternehmer klar und deutlich erklärt, was diese Standards tatsächlich bedeuten. Die Erläuterungen müssen in einer für Laien verständlichen Sprache erfolgen. Es wird auch deutlich, dass der Schallschutz eines Gebäudes keine einheitliche Größe ist, die für alle Gebäude einer bestimmten Art gilt. Vielmehr muss das Schallschutzniveau individuell für jedes Gebäude festgelegt werden. Zudem können einzelne Gebäudeteile oder Wohnungen unterschiedliche Anforderungen haben, die von denen des Gesamtgebäudes abweichen. Dieser Tatsache muss bereits in der Planungsphase Rechnung getragen werden, basierend auf intensiven Gesprächen mit dem Käufer oder Investor, um eine Grundlage für die weitere Planung des Schallschutzes zu schaffen.

2.3.2 Normauswertung vs. wahrnehmbare Verbesserung

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Neben dem zu vereinbarenden Schutzniveau ist auch die Frage zu klären, ob die bloße Erfüllung normativer Zielwerte in Bezug auf Gehgeräusche tatsächlich die Zufriedenheit der Nutzer gewährleistet. Es ist anzuzweifeln, ob die normative eingeführte Bewertung des Trittschallschutzes mithilfe von $L'_{n,w}$ und $L_{n,w}$ einen „gehörrechtlichen“, also für den Nutzer wahrnehmbaren, Maßstab darstellt. Die Frage ist, ob das Gemessene auch tatsächlich vom Nutzer akustisch wahrgenommen wird. Besonders in Bezug auf den Trittschallschutz sind Zweifel durchaus berechtigt. Diese werden im Weiteren diskutiert und ausführlicher in Abschnitt 2 im Holzbau-Handbuch „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessungen“ [47] behandelt.

Die Bedeutung tiefer Frequenzen für den Trittschallschutz wird in nachfolgender Abbildung 12 verdeutlicht, hier ist der Laufpegel eines Gehgeräusches über der Frequenz dargestellt.

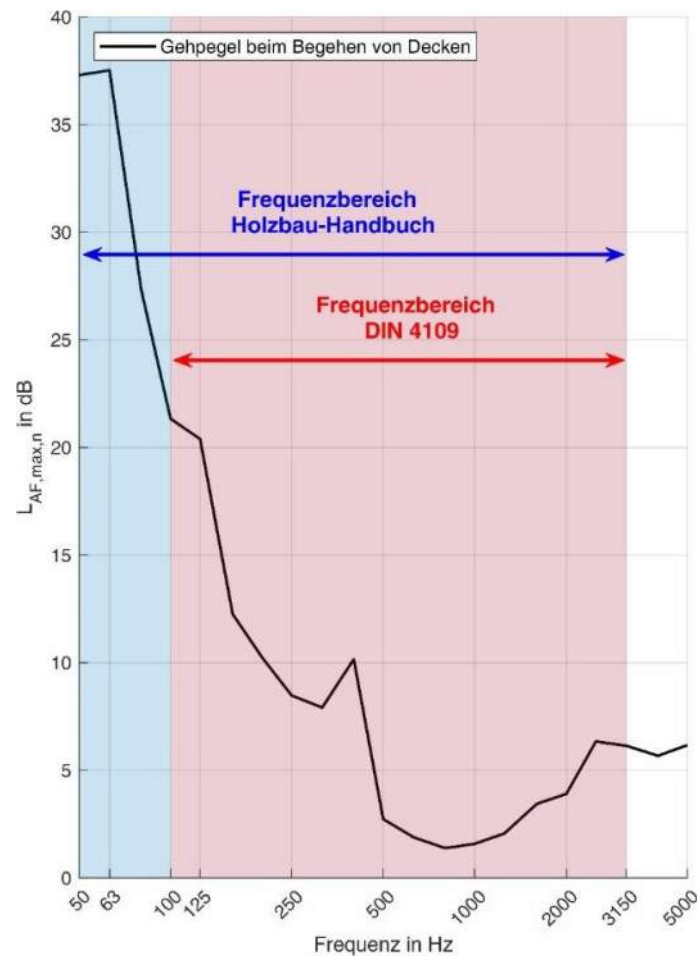


Abbildung 12: A-bewerteter Laufpegel auf einer Holzdecke beim Begehen mit Socken

In Abbildung 12 wird deutlich, dass die höchsten Pegel unterhalb 100 Hz auftreten, wobei diese Pegel bis zu 20 dB höher sein können als beispielsweise bei 500 Hz. Der Bereich für bauakustische Messungen und Bewertungen gemäß den eingeführten Bewertungsnormen wird durch den rot hinterlegten Bereich in Abbildung 12 dargestellt und erstreckt sich von 100 Hz bis 3150 Hz. Dies bedeutet jedoch, dass die Bereiche mit den höchsten Pegeln, die durch das Gehen verursacht werden, nicht berücksichtigt werden. Diese Bereiche werden im blau hinterlegten Bereich in Abbildung 12 angezeigt. Das derzeitige Bewertungsverfahren, das Frequenzen von 100 Hz bis 3150 Hz umfasst, weist gewissermaßen einen „tauben Fleck“ auf, da genau dort, wo die stärkste Schallübertragung durch Gehen stattfindet, normgemäß keine Bewertung erfolgt. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, kann der Bewertungsbereich mit sogenannten Spektrumanpassungswerten nach „unten“ erweitert werden. Für die Trittschallübertragung bei tiefen Frequenzen wird dies durch den Spektrumanpassungswert $C_{I, 50-2500}$ erreicht, der Frequenzen von 50 Hz bis 2500 Hz berücksichtigt. Auf diese Weise kann der „taube Fleck“ ausgeglichen werden, sodass die für das Gehen relevanten tiefen Frequenzen bei der Trittschallbewertung Berücksichtigung finden.

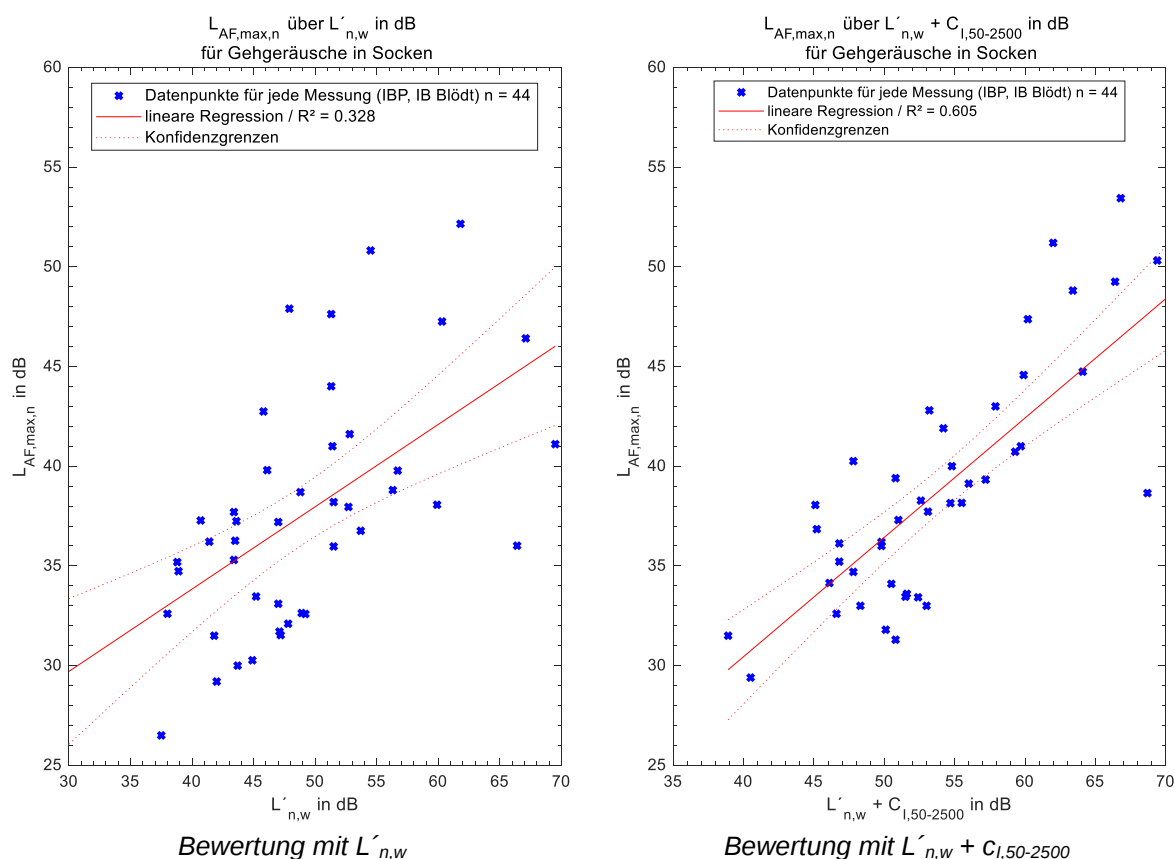


Abbildung 13: Vergleich der Bewertung von $L'_{n,w}$ gegenüber gehörrichtigen Gehpegeln und dem Kennwert $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$ inkl. statistischen Parametern und linearem Regressionsmodell

Abbildung 13 zeigt auf der rechten Seite, dass bei der Bewertung von $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$ im Vergleich zu den A-bewerteten Gehpegeln eine deutlich validere statistische Aussage möglich ist. Daraus lässt sich schließen, dass eine Absenkung von $L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$ in der Regel auch zu einer Reduzierung der Hörwahrnehmung führt. Diese Reduzierung kann bei der Bewertung durch $L'_{n,w}$ – wie in Abbildung 13 links dargestellt – nicht erwartet werden. Hier können Decken mit einem hohen $L'_{n,w}$, dieselbe Hörwahrnehmung hervorrufen wie Decken, die nach Norm besser einzustufen sind. Dies kann zu erheblichen Fehleinschätzungen führen.

Um Decken, sowohl Holz- als auch Massivdecken, hinsichtlich ihrer tatsächlichen Störwirkung auf Nutzer zu beurteilen, sollte der $C_{l,50-2500}$ berücksichtigt werden. Dieser ergänzende, aber äußerst bedeutende Wert sollte zusätzlich zu den bauordnungsrechtlich geforderten Werten für den Trittschall, wie beispielsweise $L'_{n,w}$, geprüft werden. Leider gibt es immer wieder Maßnahmen zur Verbesserung, die zwischen 100 Hz und 3150 Hz eine hohe Wirksamkeit gewährleisten, jedoch unterhalb von 100 Hz das Gegenteil bewirken können. Solche paradoxen Effekte können insbesondere bei Massivholzdecken mit abgehängten Unterdecken verstärkt auftreten, da die erforderlichen Aufbauhöhen für eine Optimierung im tieffrequenten Bereich im Normalfall nicht zur Verfügung stehen.

In Deutschland ist die Berücksichtigung des Frequenzbereichs unter 100 Hz aktuell nicht verbindlich vorgesehen, sollte jedoch stets in Betracht gezogen werden. Unabhängig davon müssen die in den bauordnungsrechtlichen Bestimmungen festgelegten Werte, auch bei möglichen Verbesserungen im tiefen Frequenzbereich ($L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$), stets eingehalten werden. Dieses Kriterium ist daher als ergänzendes und keineswegs als Ersatz für eine bauordnungs-

rechtliche Bewertung zu betrachten. In „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessungen“ [47] wird ein dreistufiges bauakustisches Zielwertsystem zur Bewertung des tiefrequenten Übertragungsverhaltens vorgeschlagen, siehe Abbildung 14. Die Stufe „BASIS“ definiert die minimalen Anforderungen gemäß DIN 4109-1 [46], die ausnahmslos eingehalten werden müssen. Ab der Stufe „BASIS+“ sind zudem Spektrumanpassungswerte für diverse Bauteile, beispielsweise Wohnungstrenndecken und Reihenhaustrennwände, zu berücksichtigen. Bei Einhaltung der beiden letzten Stufen ist anzunehmen, dass die Bauteile den Anforderungen der Nutzer gerecht werden, und zwischen diesen Stufen eine spürbare Verbesserung wahrgenommen wird.

1	Schallschutzniveau		
	2	3	4
Bauteil / Übertragungsweg:	BASIS $\triangleq$ DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT
1 Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53$ dB	$R'_{w} \geq 56$ dB	$R'_{w} \geq 59$ dB
2 Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62$ dB	$R'_{w} \geq 62$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 62$ dB ^{1) 5)}	$R'_{w} \geq 67$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 65$ dB ^{1) 5)}
3 Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54$ dB	$R'_{w} \geq 57$ dB	$R'_{w} \geq 60$ dB
4 Wohnungstrenndecke Trittschallpegel	$L'_{n,w} \leq 53$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 50$ dB $L_{n,w} + C_{150-2500} \leq 50$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 46$ dB $L_{n,w} + C_{150-2500} \leq 47$ dB ²⁾
5 Dachterrassen und Loggien mit darunterliegenden Wohnräumen	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
6 Decken unter Laubengängen (in alle Schallausbreitungsrichtungen)	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
7 Treppenlauf und Treppenpodest	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
8 Außenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109	Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $C_{tr,50-5000}$ für das opake Bauteil ⁴⁾		
9 Weitere Bauteile	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-5:2019 ⁶⁾

¹⁾ ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken

²⁾ ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken

³⁾ Sonderregelung nur für Holzbalkendecken nach DIN 4109-33:2016, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50$ dB

⁴⁾ Für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung

⁵⁾ Anforderung an die Doppelschalenwand, beide Wände

⁶⁾ nach jeweils gültiger Fassung oder E-DIN 4109-5:2018

Abbildung 14: Zielwertsystem für Holzbauten mit der Berücksichtigung tiefer Frequenzen gemäß „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung“ [47]

2.3.3 Hinweis zu erhöhten Standards

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

In der Literatur und in den aktuellen Normen zu den sogenannten erhöhten Standards im Trittschallschutz wird immer wieder, trotz gut abgesicherter psychoakustischer Zusammenhänge, ein ausschließlicher Bezug zum bewerteten Norm-Trittschallpegel am Bau $L'_{n,w}$ hergestellt. Dabei geht man von der Annahme aus, dass eine bloße Reduzierung von $L'_{n,w}$ tatsächlich eine wahrnehmbare Verbesserung im Hinblick auf Gehgeräusche bedeutet. Allerdings kann sich je nach den gewählten Maßnahmen dieser Effekt, wie bereits angedeutet, ins Gegenteil verkehren. Dies tritt insbesondere dann ein, wenn die tieffrequente Übertragung von Gehgeräuschen nicht berücksichtigt wird.

2.4 Skelettbau

In diesem Kapitel wird der Skelettbau kurz erläutert, die Vor- und Nachteile aufgeführt und die typischen Stützenraster dargestellt.

2.4.1 Beschreibung

Der Skelettbau ist ein Tragsystem, das überwiegend aus stabförmigen Elementen besteht (siehe Abbildung 15). Davon ausgenommen sind die Decken, die als flächige Elemente einachsrig zwischen Unterzügen spannen. Diese Unterzüge verlaufen orthogonal zur Deckenspannungsrichtung und liegen wiederum auf Stützen auf. Diese stehen typischerweise in einem festen Raster, das in einer Richtung der Spannweite der Decken und in der anderen der Spannweite der Unterzüge entspricht. Die Stützen stehen über alle Geschosse übereinander. Die Lasten werden so geschossweise in den Stützen gesammelt und bis in den Baugrund nach unten weitergeleitet.

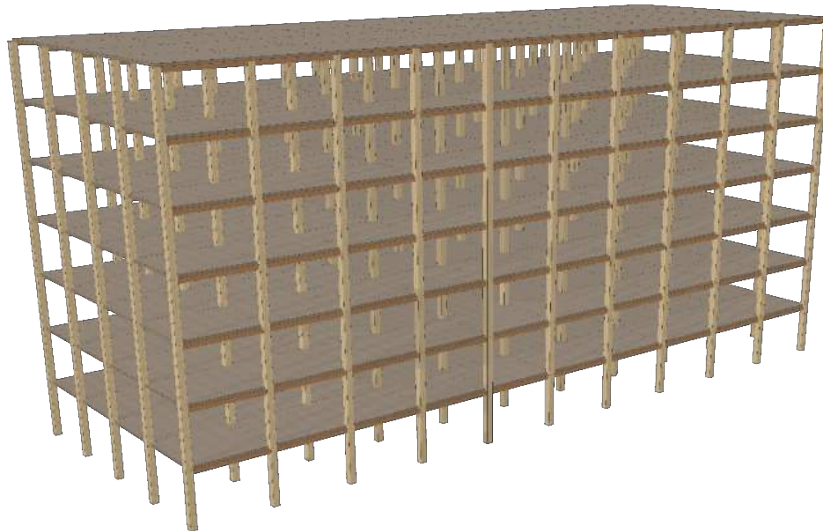


Abbildung 15: Skelettgebäude aus Holz

Ausgesteift wird ein Skelettbau häufig durch Kerne aus Wänden oder einzeln platzierte Wandscheiben, die über alle Stockwerke durchlaufen. Sie stehen normalerweise im selben Raster wie die Stützen und nehmen auch vertikale Lasten aus den Unterzügen auf. Zusätzlich nehmen sie horizontale Lasten aus z. B. Erdbeben und Wind auf. Diese Lasten werden zuvor durch die Decken, welche eine horizontale Scheibe bilden, aufgenommen und an die Aussteifungswände weitergegeben.

2.4.2 Vor- und Nachteile

Der Skelettbau stellt für viele Anwendungszwecke ein sehr optimiertes Tragsystem dar. Der Anteil der tragenden Elemente und vor allem der tragenden, nicht verschiebbaren Wände im Grundriss wird reduziert. Dies bietet viel Flexibilität in der Grundrissgestaltung. Die vertikalen Lasten werden ausschließlich über die Stützen und die wenigen tragenden Kernwände abgetragen. Dadurch können nichttragende Wände sehr frei positioniert werden. Auch eine spätere Änderung der Raumaufteilung als Anpassung an geänderte Bedürfnisse durch den Abriss und Neubau von nichttragenden Wänden ist möglich.

Außerdem werden durch die Reduktion der tragenden Elemente auf ein Minimum großzügige, offene Räume ermöglicht. Zusätzlich sind die Grundrisse je Geschoss voneinander weitgehend unabhängig und können unterschiedlich gestaltet werden.

Durch das einheitliche System bei einem Skelettbau können einzelne Deckenfelder ausgespart werden. Dies bietet Platz für Treppen oder Technikschränke. Diese können nachträglich auch wieder verschoben oder verschlossen werden.

Die TGA muss gut geplant werden und Leitungen sollten möglichst zwischen den Unterzügen unter der Decke verlaufen. Quer zu Unterzügen ist entweder mit statisch möglichen Durchbrüchen zu arbeiten oder die Leitungen sind unter den Unterzügen entlangzuführen. Dies kann negative Auswirkungen auf die Geschosshöhe haben.

Die Skelettbauweise bedingt zudem eine große Variabilität in der Wiederverwendung bzw. Sanierung des Gebäudes, da die Gebäudehülle, die technische Ausrüstung und die innere Bekleidung unabhängig von der Tragstruktur sind und meist eine deutlich geringere Lebensdauer als die Tragstruktur aufweisen. Durch diese gegenseitige Unabhängigkeit kann der Lebenszyklus des Bauwerks deutlich verlängert werden.

Ein weiterer Vorteil ist der hohe Vorfertigungsgrad und der damit verbundene beschleunigte Bauprozess. Auch die Tatsache, dass nur wenig verschiedene Bauteile eingesetzt werden und es viele Wiederholungen gibt, wirkt sich positiv auf den Bauprozess aus. Dies liegt auch an der guten Kompatibilität mit dem vollautomatischen, computergestützten Holz-Abbund, der mittlerweile zum Standard im europäischen Holzbau-Gewerbe gehört. Die Tatsache, dass Maschinen und Roboter schon jetzt einen sehr großen Teil der Arbeit im Werk übernehmen, stellt in Zeiten des Fachkräftemangels eine wichtige Entlastung für Unternehmen dar. Zusätzlich werden die Bauzeit, sowie der Kosten- und Arbeitsaufwand dadurch minimiert. Des Weiteren wird durch den hohen Vorfertigungsgrad ein witterungsfreies Arbeiten ermöglicht und den damit einhergehenden Schadensbildern vorgebeugt.

Als Nachteil des Skelettbaus kann unter Umständen die geringere architektonische Gestaltungsmöglichkeit genannt werden. Dadurch, dass sich das Stützenraster konsequent über alle Geschosse ziehen muss, bleibt weniger Raum für individuelle Gestaltungen. Auch Auskragungen oder individuelle Grundflächen mit anderen als rechtwinkligen Formen stellen eine Herausforderung für einen Skelettbau dar. Nichtsdestotrotz kann über die Gestaltung der Fassade das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes signifikant beeinflusst werden. Im Inneren des Gebäudes bietet außerdem die oben bereits erwähnte freie Grundrissgestaltung viele Möglichkeiten zur Individualisierung der Innenarchitektur.

Die Entkopplung von tragenden und nichttragenden Bauteilen kann wie oben bereits beschrieben Vorteile mit sich bringen. Es kann aber auch negativ gesehen werden, dass Wände, die nötig sind, um Räume und Wohnungen abzutrennen, nicht auch noch genutzt werden können, um Lasten abzutragen. Die Bauteile könnten also mehrere Aufgaben parallel erfüllen. Stattdessen kann es vorkommen, dass Stützen direkt vor nichttragenden Wänden stehen. In der Regel kann allerdings versucht werden, die Stützen in die nichttragenden Wände zu integrieren.

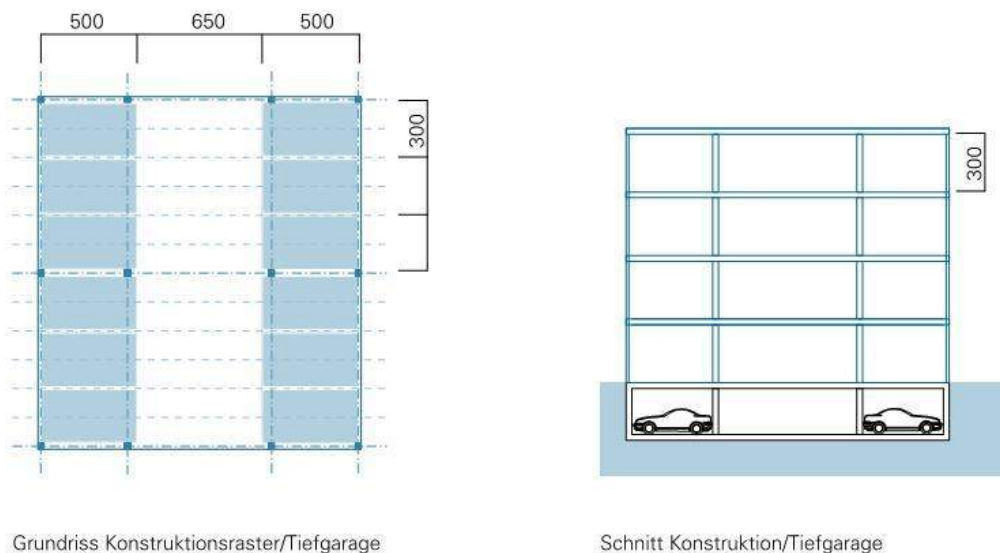
Insgesamt bietet der Skelettbau eine Vielzahl von Vorteilen in Bezug auf Flexibilität, Geschwindigkeit und Ästhetik, kann aber auch Herausforderungen in Bezug auf Designbeschränkungen

und materielle Wirtschaftlichkeit darstellen. Die Wahl dieses Bauprinzips erfordert eine sorgfältige Abwägung der spezifischen Anforderungen eines Projekts und seiner langfristigen Ziele.

2.4.3 Typische Stützenraster

In der Architektur hat es sich bewährt, Rastermaße mit einer Schrittweite von 0,3 m zu verwenden. Dabei haben sich Maße zwischen 3,60 und 6,00 m als besonders geeignet herausgestellt.

Eine andere Begrenzung für das Rastermaß kann aus den Anforderungen in einer Tiefgarage entstehen. Je nachdem wie viele Parkplätze zwischen zwei Stützen angeordnet werden sollen, beträgt das erforderliche Rastermaß ca. 5,50 bis 7,00 m. In die andere Richtung resultiert die Spannweite des Tragwerkes aus der Breite der Fahrspur zwischen den Parkplätzen. Diese hat ein Mindestmaß von 6,00 m. Sollten die Stützen nicht direkt an der Fahrspur stehen, ergibt sich auch hier ein Abstand von bis zu 7,00 m (siehe Abbildung 16).



Grundriss Konstruktionsraster/Tiefgarage

Schnitt Konstruktion/Tiefgarage

Abbildung 16: Beispielhaftes Raster für ein Bürogebäude mit Tiefgarage [49]

Weitere Anforderungen können aus der Büronutzung resultieren. Häufig sind flexible und offene Grundrisse gewünscht und der Abstand der Stützen sollte möglichst groß sein. Für Bürogebäude werden daher häufig Stützenabstände von ca. 8,40 m gewählt.

In den Kapiteln 5.2 und 6.2 wird das Thema geeigneter und optimierter Stützenraster aufgegriffen und intensiv behandelt.

2.5 Anschlüsse und statische Details

Bei der Planung von Skelettkonstruktionen liegt das Augenmerk in besonderer Weise auf der Fügung der Bauelemente. Dort, wo Träger und Stützen aufeinandertreffen, entstehen Knotenpunkte (siehe Abbildung 17). Sie sind für die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks maßgeblich und bilden darüber hinaus oftmals ein gestalterisches Element. Im Holzbau ist es außerdem oft so, dass die notwendige Größe und Querschnitte der einzelnen Bauteile durch die Knotenpunkte bestimmt wird.

Um den Anschluss der Träger an die Stützen zu realisieren, gibt es verschiedenste Möglichkeiten. Dazu gehören unter anderem zimmermannsmäßige Verbindungen, Stahlformteile wie z. B. Schlitzbleche oder herstellerspezifische Einhängeverbinder, aber auch stabförmige Verbindungsmittel aus Stahl wie Nägel, Schrauben, Bolzen oder Stabdübel.

Generell müssen alle Stahlteile in Holzkonstruktionen so geschützt werden, dass sie im Brandfall nicht heiß werden und direktem Feuer ausgesetzt sind. Dies würde zum einen die Tragfähigkeit der Stahlteile selbst beeinträchtigen aber auch die Temperatur im umliegenden Holz so erhöhen, dass der Abbrand beschleunigt wird. Um dies zu verhindern, werden die Stahlbauteile üblicherweise durch eine ausreichend große Überdeckung mit dem umliegenden Holz geschützt, das im Brandfall anfängt zu verkohlen und so eine Schutzschicht bildet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Stahlbauteile durch eine brandschutztechnische Verkleidung z. B. mit Gipskartonplatten geschützt werden. Eine dritte Möglichkeit ist, dass die Stahlbauteile mit einer Brandschutzbeschichtung versehen werden, die im Brandfall das natürliche Brandverhalten von Holz nachbilden und eine Verkohlungs-schicht aus „Kohleschaum“ erzeugen.

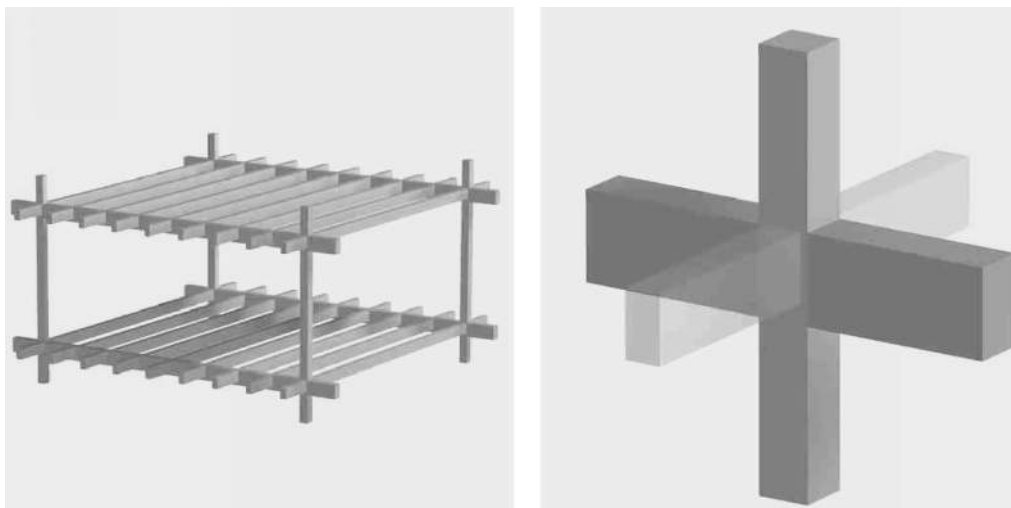


Abbildung 17: Skelettbau mit Knotenpunkt mit Stützen und Trägern [50]

Die Tragfähigkeit der Einhängeverbinder bzw. der Schrauben ist stark abhängig von der Rohdichte des sie umgebenden Holzes. Da die Rohdichte bei Laubholz deutlich höher ist als bei Nadelholz, werden deutlich höhere Widerstände erreicht und es ist ein sparsamerer Einsatz von Verbindungsmitteln möglich. Dies leistet einen spürbaren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit eines Bauvorhabens.

Eine weitere Möglichkeit der Anschlüsse sind zimmermannsmäßige Verbindungen, wo üblicherweise auf Stahlteile verzichtet wird und das Holz so bearbeitet wird, dass die Bauteile ineinandergesteckt oder aufgelegt werden.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Entwicklung der Verbindungsdetails wichtig ist und in Zukunft verstärkt im Fokus stehen wird, ist das Thema der Rückbaubarkeit. Zimmermannsmäßige Verbindungen wie Verblattungen, Versätze, Zapfen und gefräste Schwalbenschwanzverbindungen sind dafür nach jetzigem Erkenntnisstand besonders gut geeignet. Eine vielversprechende Lösung ist die Anordnung einer Gabelstütze (siehe Abbildung 18). Sie ist vergleichsweise einfach herzustellen und besitzt zahlreiche konstruktive Vorteile. Außerdem kann eine Gabelstütze problemlos wieder in ihre einzelnen Elemente zerlegt und dabei die Elemente sortenrein getrennt werden.

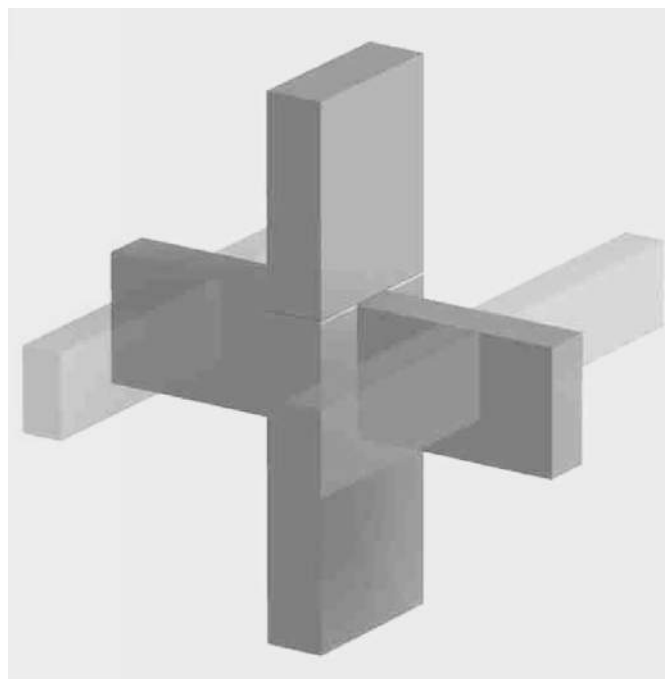


Abbildung 18: Knotenpunkt mit Gabelstütze [50]

2.5.1 Zimmermannsmäßige Verbindungen

Zimmermannsmäßige Verbindungen kommen ohne Stahlteile aus. Sie funktionieren nach dem Prinzip des Formschlusses und haben eine sehr lange Tradition im Holzbau. Die Kraftübertragung erfolgt durch Druckspannungen in den Kontaktflächen zwischen den Bauteilen. Sie werden dadurch geschaffen, dass die zu verbindenden Bauteile entsprechend gefräst oder gesägt werden. Häufige Beispiele sind Zapfen oder Ausklinkungen. Dadurch, dass die Bauteile nur ineinandergelegt werden und anschließend nur wenn nötig konstruktiv durch Schrauben, Bolzen oder Dübel in der Lage gesichert werden, sind zimmermannsmäßige Verbindungen besonders gut zurückzubauen.

In Zeiten der digitalen Planung und fortschreitenden automatisierten Fertigung ist die Herstellung der Verbindungen sehr exakt, schnell und wirtschaftlich. Auch eine Fertigung von Verbindungen in Laubholz ist schon erprobt und kann analog zu Nadelholz ausgeführt werden. Dabei sind lediglich andere Bohrer, Vorschubgeschwindigkeiten usw. zu verwenden. Die aufwendige

und individuelle Herstellung durch einen Zimmermann gehört mittlerweile längst der Vergangenheit an. Die Herstellung der Verbindungen kann im Werk auf der computergesteuerten Abbundmaschine vollautomatisch hergestellt werden, wodurch ein hoher Vorfertigungsgrad und eine wirtschaftliche Herstellung der Bauteile erreicht wird. In der Planung der Anschlüsse und Bauteile müssen nur sehr geringe Toleranzen berücksichtigt werden. Die einzelnen Bauteile werden auf der Baustelle nur noch ineinandergesteckt und in ihrer Lage fixiert (siehe Abbildung 19). Hierdurch kann auf der Baustelle das Personal und auch die Montagezeit deutlich reduziert werden, was einen großen Vorteil mit sich bringt.



Abbildung 19: Unterzug auf ausgeklinkten Stützen (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)

Formschlüssige zimmermannsmäßige Verbindungen weisen ebenso wie Verbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln Nachgiebigkeiten auf. Die Verbindungen verformen sich also unter der Lasteinwirkung. Diese Verformungen können aus Schlupf (herstellungsbedingte Ungenauigkeiten), plastischen Verformungen des Holzes und dem Kriechen und Schwinden des Holzes auftreten. Diese Verformungen können einige Millimeter betragen und sich über die Höhe des Gebäudes aufsummieren [51].

Bei vorgefertigten Verbindungen mit Abbundmaschinen kann der Schlupf auf ein Minimum reduziert werden. Bei Verbindungen mit Laubholz ist zudem das plastische Verhalten des Holzes infolge der Lasteinwirkung deutlich geringer bzw. die Steifigkeit höher im Vergleich zum Nadelholz.

Bei zimmermannsmäßigen Verbindungen, die die Kraftweiterleitung über Druckspannungen gewährleisten, können ohne weitere Maßnahmen keine Zugkräfte übertragen werden. Hierfür werden üblicherweise zusätzliche Dübel, Schrauben oder Bolzen verwendet, die die Lasten über Abscheren übertragen können. Holz hat quer zu seiner Faser eine sehr geringe Druckfestigkeit. Längs zur Faser ist die Druckfestigkeit deutlich höher, weshalb bei Holz-Holz-Verbindungen ein Anschluss mit Querdruck vermieden werden sollte und die Lasten längs zur Faser übertragen werden sollten.

Im Hinblick auf den Brandschutz gibt es im Gegensatz zur Verwendung von Stahlformteilen keine Bauteile, die aufwendig verdeckt werden müssen. Es ist allerdings zu beachten, dass

die Verbindungen ausreichend groß dimensioniert werden müssen, um auch im Brandfall ausreichend Auflagerfläche bzw. eine ausreichend große Fläche für den Lastabtrag gewährleisten zu können. Hierbei werden die Bauteile für den normalen Lastabtrag meist im Querschnitt etwas überdimensioniert, damit der kontrollierte Abbrand gewährleistet werden kann und nach dem Brandfall noch ein ausreichender Querschnitt vorhanden ist.

Nachfolgend werden ausgewählte zimmermannsmäßige Verbindungen für den Einsatz in Skelettbau-Gebäuden beschrieben. Diese werden auch für die späteren Untersuchungen und Analysen berücksichtigt und genauer beschrieben.

GABELSTÜTZE

Die Gabelstütze stellt eine Möglichkeit für die Ausbildung eines Knotenpunktes zwischen Träger und Stütze in einem Holz-Skelettbauwerk dar. An zwei gegenüberliegenden Seiten einer Stütze kommen Unterzüge an und werden auf die Stütze aufgelegt. Alternativ kann es auch nur einen Unterzug geben, der als Durchlaufträger über die Stütze hinweg läuft oder als Randunterzug auf der Stütze endet. Die Stütze muss breiter als der Unterzug sein und hat in der Mitte eine Aussparung, in der die Unterzüge liegen (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Gabelstütze (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)

Neben dem Unterzug läuft die Stütze als Gabel vorbei bis zur Oberkante bzw. leicht über die Oberkante der Unterzüge, damit die Stütze im Geschoss darüber dann auf die beiden Gabeln aufgestellt werden kann. Die Lasten aus dem Geschoss darüber können somit direkt in die darunterliegende Stütze abgegeben werden. Eine Querdruckbelastung des Unterzuges wird vermieden. Die Gabel muss so dimensioniert sein, dass sie auch im Brandfall die Lasten der darüberliegenden Geschosse über den kleineren Querschnitt abtragen kann. Hierbei ist die Gabel jeweils mit einem 3-seitigen Abbrand bemessen.

AUSGEKLINKTE STÜTZE

Die ausgeklinkte Stütze stellt in gewisser Weise das Gegenteil der Gabelstütze dar. Während bei der Gabelstütze der Stützenquerschnitt mittig ausgefräst wird, um dort den Unterzug auflegen zu können, werden bei der ausgeklinkten Stütze zwei „Taschen“ auf den gegenüberliegenden Rändern vorgenommen (siehe Abbildung 21). Die Tiefe des Stützenquerschnitts im Bereich der Unterzüge wird also reduziert. Die Breite des Stützenquerschnitts bleibt dabei konstant. Die Ausklinkung kann einseitig oder zweiseitig auf gegenüberliegenden Seiten angeordnet werden. Im Regelfall wird eine zweiseitige Ausklinkung verwendet, um auf beiden Seiten einen Unterzug auflegen zu können. Wenn die Ausklinkung nur einseitig ausgeführt wird, ist der exzentrische Lastverlauf zu berücksichtigen. Auch hier werden die Lasten aus dem Geschoss darüber direkt in die darunterliegende Stütze abgegeben. Eine Querdruckbelastung des Unterzuges wird vermieden. Der Restquerschnitt der Stütze muss nur mit einem 2-seitigen Abbrand bemessen werden, da die restlichen Seiten durch die anschließenden Unterzüge geschützt sind.



Abbildung 21: Ausgeklinte Stütze (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)

2.5.2 Stahlformteile

Stahlformteile können entweder aus zusammengeschweißten Blechen bestehen oder fertige Verbindungsteile aus der Industrie sein. Beide Varianten haben ihre Vor- und Nachteile. Generell müssen Stahlteile in Holzkonstruktionen so geschützt werden, dass sie im Brandfall nicht heiß werden und direktem Feuer ausgesetzt sind. Dies würde zum einen die Tragfähigkeit der Stahlteile selbst beeinträchtigen aber auch die Temperatur im umliegenden Holz so erhöhen, dass der Abbrand beschleunigt wird.

Bei Stahlteilen aus der Industrie wie Balkenträgern (siehe Abbildung 22) sind vor allem die hohen Kosten zu berücksichtigen. Andererseits bieten die Balkenträger große Vorteile im Hinblick auf Verfügbarkeit und wirtschaftlichen Lastabtrag.



Abbildung 22: Balkenträger als Balken-Stützen-Verbindung [52]

Stahlformteile, die aus zusammengeschweißten Blechen bestehen, sind immer eine projekt-spezifische Sonderlösung. Dies muss entsprechend kalkuliert werden. Dass in einem Skelett-bau allerdings sehr viele gleiche Knotenpunkte vorhanden sind, kann hier als Vorteil genutzt werden. Die Anzahl an verschiedenen Stahlformteilen sinkt und die Anschlüsse können in grö-ßerer Stückzahl produziert werden. Dies senkt die Kosten pro Anschlusspunkt.

2.5.3 Stabförmige Verbindungsmittel

Zu stabförmigen Verbindungsmitteln gehören z. B. Schrauben, Stabdübel oder Bolzen. Typi-scherweise bestehen diese aus Metall. Es gibt allerdings auch Produkte wie Stabdübel aus Buche. Diese werden in entsprechende Bohrlöcher eingeschlagen und bieten große Vorteile in Bezug auf den Brandschutz und die Sortenreinheit, welche einen Einfluss auf die Rückbau-barkeit eines Anschlusses haben (siehe auch Kapitel 4.2.3 und 5.6). Die Buchendübel haben außerdem den Vorteil, dass sie die Restfeuchte aus dem umliegenden Holz aufnehmen kön-nen, sich infolgedessen ausdehnen und in dem Bohrloch verkeilen. Dies sorgt für zusätzliche Tragfähigkeit.

Bei der Bemessung der Tragfähigkeit von stabförmigen Verbindungsmitteln spielt die Roh-dichte der zu verbindenden Hölzer eine große Rolle. Laubhölzer mit einer deutlich höheren Rohdichte als Nadelhölzer haben daher besondere Vorteile bei der Kombination mit stabfö-rmigen Verbindungsmitteln.

Generell ist darauf zu achten, dass auch stabförmige Verbindungsmittel aus Stahl so im Holz platziert werden, dass ein direkter Brandkontakt verhindert wird.

Im Hinblick auf die Rückbaubarkeit sind stabförmige Verbindungsmittel aus Stahl nicht ideal. Eine Schraube kann in der Theorie zwar auch wieder rausgedreht werden. Die Praxis zeigt allerdings, dass nach einer normalen Nutzungsdauer eines Gebäudes von über 10 Jahren dies nicht mehr ohne weiteres möglich ist. Dasselbe gilt für Stabdübel, die eingeschlagen wurden. Minimale Verformungen im Laufe der Zeit machen auch hier ein einfaches „Herausschlagen“ unmöglich.

2.6 Deckensysteme

Nachfolgend werden verschiedene Holz- und Holz-Hybrid-Deckensysteme vorgestellt. Alle davon sind für einachsig gespannte Tragsysteme und besonders für die Anwendung als Einfeldträger geeignet.

Bei Deckensystemen aus Holz spielen vor allem das Schwingungsverhalten und die Gesamthöhe der Decke inklusive Aufbau eine entscheidende Rolle. Dass die Schwingungen gerade bei Holzdecken so eine große Rolle spielen, liegt am geringen Eigengewicht des Holzes. Bei den meisten Systemen wird daher das Eigengewicht der Decke durch Schüttungen aus Kies, Lehm oder anderen mineralischen Rohstoffen erhöht. Dabei ist zu beachten, dass Schüttung, die auf der Decke platziert wird, die gesamte Aufbauhöhe vergrößert. Dies kann bei mehrgeschossigen Gebäuden einen großen Einfluss auf die Kosten haben.

2.6.1 Holzbalkendecke

Die Holzbalkendecke stellt die klassische Form der Deckensysteme aus Holz dar. Dabei spannen Holzbalken in einem regelmäßigen Abstand (z. B. 62,5 cm) zwischen den tragenden Auflagern. Auf und unter den Holzbalken spannen quer dazu Holzfaser- oder Holzwerkstoffplatten. Heutzutage sind dies meistens OSB-Platten. In den Hohlräumen zwischen den Holzbalken kann außerdem noch Dämmung oder eine Schüttung verbaut werden.

Eine innovative Variation der klassischen Holzbalkendecke stellt die Holz-Lehm-Massivdecke von Leipfinger Bader dar (siehe Abbildung 23) [53]. Das Deckensystem besteht ebenfalls aus Holzbalken, die im regelmäßigen Abstand zwischen den Auflagern spannen. Quer zu den Balken spannt darüber eine Holzfaserplatte. Zwischen den Holzbalken ist ein dickes Lehmpaket angeordnet, welches dem System seinen Namen verleiht. Der Lehm sorgt für zusätzliche thermische Masse, welches dem System Vorteile beim sommerlichen Wärmeschutz bringt, da die Struktur durchgehend eine konstantere Temperatur behält. Zusätzlich wirkt sich das zusätzliche Gewicht positiv auf das Schwingungsverhalten der Decken aus.



Abbildung 23: Holz-Lehm Massivdecke [53]

2.6.2 Brettsperrholzdecke (BSP-Decke)

Brettsperrholzdecken bestehen aus verleimten quer zueinander angeordneten Brettlagen (siehe Abbildung 24). Durch diese Anordnung entstehen flächige Elemente, die als Wände oder Decken verwendet werden können. Die Anzahl der Schichten ist typischerweise ungerade und liegt normalerweise zwischen drei und neun. Die äußeren Lagen geben dabei die primäre Spannrichtung des Elements vor. Durch die quer dazu liegenden Schichten haben Brettsperrholzelemente aber auch eine gewisse Steifigkeit und Tragfähigkeit in Querrichtung.

Lastumlagerungen durch Durchbrüche oder ähnliches können dadurch deutlich besser aufgenommen werden. Brettsperrholzelemente sind anders als in Österreich oder der Schweiz aktuell in Deutschland noch nicht einheitlich geregelt. Es gibt allerdings zahlreiche Hersteller, die schon seit Jahren am Markt sind. Brettsperrholzplatten haben sich daher schon länger im Holzmassivbau etabliert. Gemeinsam mit Brettschichtholzbindern, bei denen die Bretter parallel verleimt werden, stellen sie die zwei wichtigsten Grundelemente für den modernen Holzmassivbau dar.

Durch die Variation der Schichtenanzahl und Stärke der einzelnen Bretterlagen sind Bauteilhöhen zwischen 60 und 320 mm möglich. Ähnlich wie Brettschichtholzbinder (BSH) können auch BSP-Elemente auf Abbrand bemessen werden. Solange auch im Brandfall genügend Restquerschnitt des Holzes stehen bleibt, können problemlos Feuerwiderstände von 90 Minuten oder mehr erreicht werden.

Brettsperrholz ist ein industriell gefertigtes Produkt. Von dem Platzieren und Verleimen der Brettlagen bis zum Zurechtsägen und Abbund der fertigen Elemente wird alles computergestützt von Maschinen und Robotern übernommen. Dadurch können Fräsungen, Bohrungen und Aussparungen sehr effizient direkt im Werk in die Bauteile integriert werden.



Abbildung 24: 5-lagiges Brettsperrholz-Element

2.6.3 Leimfreie Brettstapeldecken

Bei der Ökobilanzierung von Brettsperrholzdecken hat der Leimanteil einen großen Einfluss und wirkt sich meist negativ aus. Es gibt daher Bestrebungen den Leim umweltfreundlicher zu entwickeln. Gleichzeitig gibt es auch Bemühungen ganz auf den Leim zu verzichten und die Bretterlagen über andere Methoden miteinander zu verbinden. Es gibt verschiedene Hersteller, die mittlerweile Produkte anbieten, die in diese Richtung gehen. Meistens werden dabei Holzbalken oder -bretter nebeneinander gelegt und mit Holzdübeln oder anderen mechanischen Verbindungsmitteln aus Holz kraftschlüssig miteinander verbunden (siehe Abbildung 25). Durch eine Verzahnung der Balken können auch Schubkräfte übertragen werden. Die möglichen Stärken der Produkte reichen von ca. 120 bis ca. 240 mm. [54, 55]

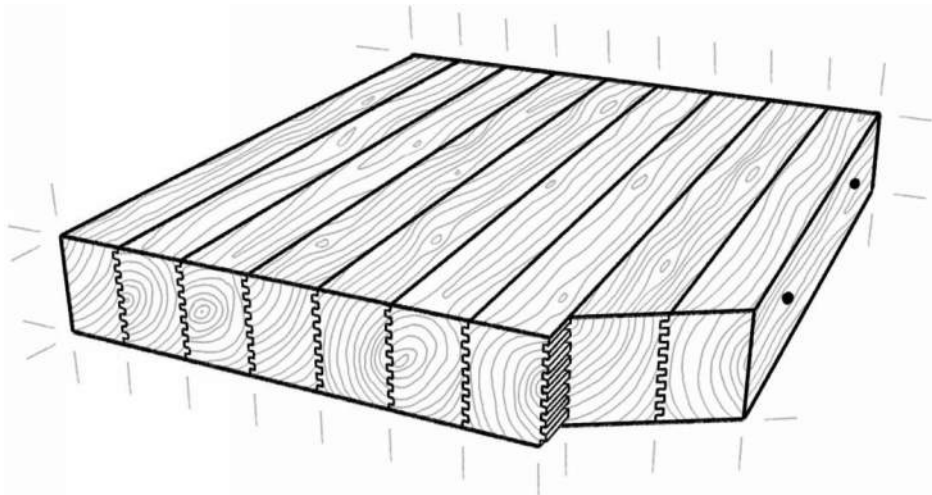


Abbildung 25: Leimfreies, massives Deckenelement [55]

2.6.4 Holz-Beton-Verbund-Decke

Holz-Beton-Verbund-Decken (HBV-Decken) bestehen aus einer Holzschicht und einer darüberliegenden Betonschicht. Die Holzschicht kann dabei entweder aus einer Platte (z. B. Brettsperrholz- oder Brettstapelelemente) oder aus mehreren Brettschichtholzrippen bestehen. Auf diese untere Schicht wird dann eine Betonschicht aufgebracht. Das Prinzip der HBV-Decke ist dann, dass die untere Holzschicht die Zugkräfte aufnimmt, während die obere Betonschicht die Druckkräfte aufnimmt. Dadurch werden die Stärken der Materialien ausgenutzt und die Schwächen umgangen. Gleichzeitig dient die Holzschicht als verlorene Schalung, was die Ausführungszeit beschleunigt. Allerdings ist zu beachten, dass der Beton meistens als Ort beton aufgebracht wird und so Feuchtigkeit in das Gebäude gebracht wird, was ansonsten in Holzgebäuden nicht der Fall ist. Zusätzlich benötigt der Beton Zeit zum Aushärten, was bei der Bauablaufplanung ebenfalls zu berücksichtigen ist.

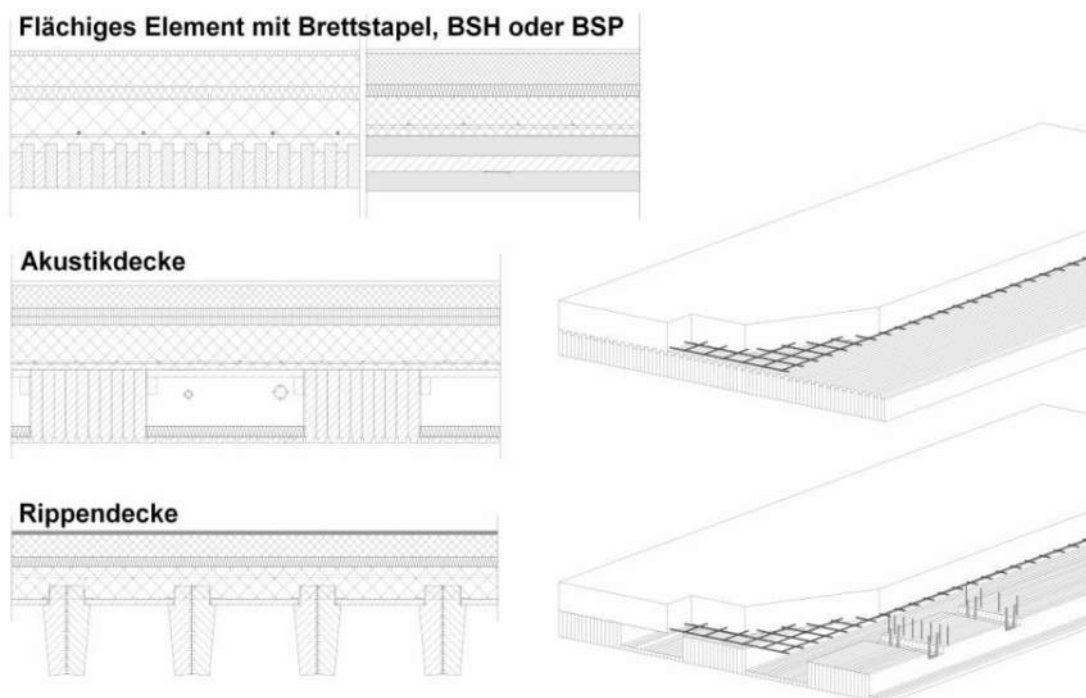


Abbildung 26: Verschiedene HBV-Deckensysteme [56]

Eine wichtige Kenngröße bei HBV-Decken ist die Verbundwirkung zwischen den beiden Schichten. Diese kann entweder durch einbetonierte Schrauben, Kerven im Holz, in die der Beton beim Einbauen reinläuft, oder Stahlformteile gewährleistet werden.

Durch die gesteigerte Masse bieten HBV-Decken vor allem Vorteile im Hinblick auf Schallschutz und Schwingungsanfälligkeit. Die möglichen Spannweiten können durch die geschickte Kombination von Holz und Beton bei gleicher Höhe nochmal gesteigert werden im Vergleich zu reinen Holzdecken. Zusätzlich bringt die Betonschicht Vorteile im Bezug auf den Brandschutz und die Rauchdichtigkeit der Decke.

2.6.5 Hohlkastendecke

Hohlkastendecken sind mit Balken und Platten ähnlich aufgebaut wie Holzbalkendecken. Das statische System unterscheidet sich allerdings darin, dass die Platten über und unter den Balken schubsteif – meist verleimt – mit diesen verbunden sind. Dadurch tragen die Platten als Gurte auch zur Tragfähigkeit in der primären Lastrichtung bei. Zusätzlich bestehen die Balken bei Hohlkastenelementen aus Brettschichtholz und der Abstand zwischen den Rippen ist in der Regel deutlich geringer als bei Holzbalkendecken. Dadurch sind größere Spannweiten von über 15 Meter möglich.



Abbildung 27: Hohlkastenelement mit BSH-Rippen und BSP-Platten [57]

Hohlkastendecken werden als vorgefertigte Elemente auf die Baustelle geliefert. Im Werk können bereits unterseitige Akustikpaneele und Schüttung in den Hohlräumen installiert werden. Dies beschleunigt die Bauzeit signifikant.

Im Brandfall schützen die ober- und unterseitig angebrachten Holzwerkstoffplatten die Rippen vor direkter Brandeinwirkung. Die Hohlräume im Inneren der Hohlkastenelemente müssen aus brandschutztechnischen Gründen meistens mit Dämmung oder Schüttung ausgefüllt werden. Zusätzlich können Leitungen und Rohre darin verlegt werden.

2.7 Erschließungs- und Aussteifungskonzepte

Nachfolgend werden verschiedene Erschließungs- und Aussteifungskonzepte erläutert und die allgemeine Notwendigkeit und Wirkung dieser erklärt.

2.7.1 Allgemeines

Die Konstruktion von Gebäuden erfolgt so, dass sie allen vorhersehbaren Einwirkungen standhalten können. Hierfür ist insbesondere die räumliche Aussteifung der Konstruktion gegenüber horizontalen Lasten aus z. B. Wind- oder Erdbebeneinwirkungen wichtig. Diese Lasten müssen über die gesamte Gebäudestruktur bis in die Gründung bzw. Fundamente geführt und dort in den Baugrund abgeleitet werden. Für die Abtragung dieser Lasten müssen Gebäude durch geeignete Bauteile wie Scheiben, Verbände und Rahmen sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ebene ausgesteift werden.

Für die Betrachtung von mehrgeschossigen Wohngebäuden hat es sich als sinnvoll erwiesen, Erschließungskerne zur Aussteifung heranzuziehen, also jene vertikalen Elemente eines Baukörpers, die der verkehrlichen (etwa Treppenhäuser oder Aufzüge) und der technischen Erschließung dienen (z. B. Versorgungsschächte oder Leitungen und Schächte der technischen Gebäudeausrüstung). Sie werden regelmäßig in Stahlbetonbauweise erstellt, wobei die übrige Holzkonstruktion über geeignete Verbindungsmittel an die Erschließungskerne angeschlossen wird. Als Alternativen zu diesen konventionellen Lösungen sind weitere Systeme für die Aussteifung von Holzbauten in Skelettbauweise geeignet (siehe Abbildung 28). Dazu zählen zum Beispiel Erschließungskerne in Stahlbauweise oder in massiver Holzbauweise.

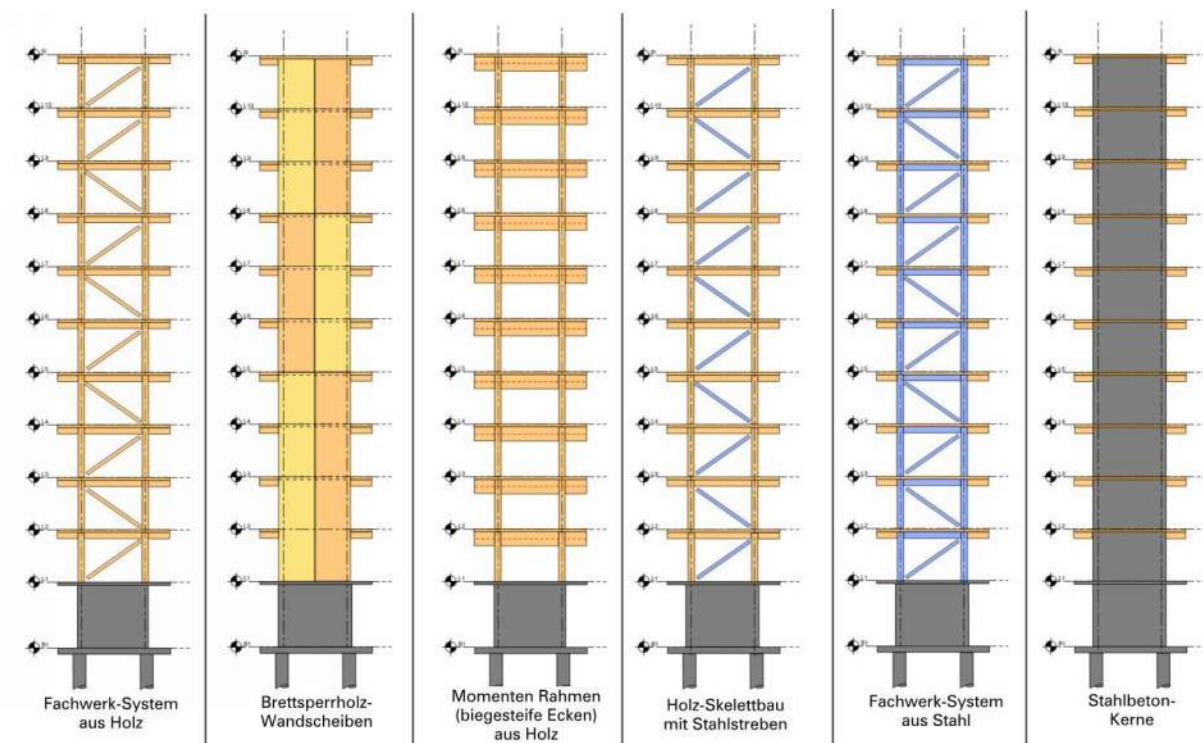


Abbildung 28: Mögliche Aussteifungssysteme zur Anwendung bei mehrgeschossigen Holz- und Holzhybridbauten

Die Wahl des Aussteifungssystems muss stets bauvorhabenbezogen geschehen, da hier verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. So müssen neben architektonischen und gestalterischen Anforderungen beispielsweise Brandschutzanforderungen, die von Bundesland zu Bundesland variieren können, und statische Anforderungen berücksichtigt werden. Letztere ergeben sich aus der Gebäudegeometrie und -größe, aber auch aus ebenfalls standortabhängigen Lastwerten aus Schnee und Wind oder dem Lastfall Erdbeben.

2.7.2 Stahlbeton-Kerne

Kerne aus Stahlbeton bieten eine große Steifigkeit und bringen ein hohes Eigengewicht mit sich. Die große Steifigkeit ist im Lastfall Erdbeben jedoch nachteilig, da dann höhere Lasten abgetragen werden müssen. Die auftretenden Zuglasten infolge der horizontalen Einwirkungen in den Wänden können hingegen durch das hohe Eigengewicht überdrückt sein und werden andernfalls durch zusätzliche Zugbewehrung in den Wandecken und Wandenden bis in die Gründung abgetragen. Außerdem sind sie durch die nichtbrennbaren Eigenschaften gut für die notwendigen Treppenträume und Fluchtwege geeignet.



Abbildung 29: Freistehender Stahlbetonkern (Astrid-Lindgren-Schule Weiterstadt, TWP: Fast+Epp)

Eines der Probleme bei der Kombination mit Holztragwerken sind die Toleranzen zwischen dem Beton- und dem Holzbau. Der Betonbau wird meist in Ortbetonbauweise ausgeführt, so dass Toleranzen von einigen Zentimetern auftreten können. Der Holzbau wird dann nach Fertigstellung des Betonbaus aufgerichtet und hat aufgrund der Vorfertigung im Werk Toleranzen von wenigen Millimetern. Diese Diskrepanz bei den Toleranzen der verschiedenen Materialien

und ausführenden Gewerke ist unbedingt bei dem Entwurf von Anschlussdetails zwischen den beiden Baustoffen zu berücksichtigen und frühzeitig einzuplanen.

Ein weiteres Problem der Hybrid-Bauweise mit Stahlbeton-Kernen und Holz-Scheiben sind die unterschiedlichen Steifigkeiten der beiden Materialien. Da Stahlbeton deutlich steifer ist als Holz, werden die Lasten von dem Stahlbeton-Kern angezogen und die Holz-Wände tragen nur in geringem Maße die Lasten mit ab. Diese hohen Lasten müssen dann über eine kleine Schnittfläche zwischen Betonkern und Holzscheiben mit Hilfe von Anschlüssen (meist Stahlwinkel o. Ä.) abgetragen werden. Es müssen also die gesamten horizontalen Lasten des Gebäudes komprimiert am Stahlbeton-Kern an wenigen Anschlüssen übertragen werden. Dies führt oft zu aufwendigen und großen Anschlussdetails.

Typischerweise geschieht der Anschluss der Holzscheiben über Schubwinkel oder -bleche und Zugwinkel an die aussteifende Stahlbetonkerne. Es ist aber auch möglich mit vermörtelten Schubknaggen hohe Schubkräfte zwischen einer aussteifenden Holz-Deckenscheibe und den aussteifenden Kernwänden zu übertragen.

Im Bauablauf wird es häufig so gehandhabt, dass die Kerne als erstes errichtet werden. Sie müssen dann so lange freistehen (siehe Abbildung 29) bis der umliegende Holzbau ebenfalls ausreichend in die Höhe gewachsen ist.

2.7.3 Brettsperrholz-Wandscheiben

Aussteifungskerne können auch mit Brettsperrholzwänden ausgebildet werden. Während dies in Deutschland aufgrund von Brandschutzbestimmungen noch nicht häufig verwendet wurde, kann man in anderen Ländern bereits sehr erfolgreiche Beispiele sehen. Die Brandschutzbestimmungen werden in Deutschland jedoch sukzessive hinsichtlich des Holzbaus angepasst. So können z. B. in Baden-Württemberg mit der neuen Holzbau Richtlinie [43] Brandwände und notwendige Treppenträume bis zur Gebäudeklasse 4 aus Holz hergestellt werden (siehe auch Kapitel 2.2.6, S.35). Außerdem wurden auch schon Bauwerke der Gebäudeklasse 5 mit Treppenträumen aus Brettsperrholz wie z. B. das Buggi 52 in Freiburg [44] umgesetzt.

Das Tragsystem ist dabei identisch wie bei aussteifenden Stahlbetonkernen. Brettsperrholzwände sind allerdings deutlich weicher und weisen ein geringeres Eigengewicht als Stahlbetonwände auf. Es ist daher mit größeren Verformungen und anderen Steifigkeiten zu rechnen. Die Lasten können aber aufgrund des geringeren Eigengewichtes reduziert werden, was vor allem bei hohen mehrgeschossigen Gebäuden einen entscheidenden Einfluss haben kann.

Die Kombination aus Holz-Wänden und nachgiebigen Verbindungen (siehe Abbildung 30) können zudem auch genutzt werden, um im Erdbebenfall Energie abzubauen und die gesamte Belastung auf das Tragwerk zu reduzieren. Energie wird durch nachgiebige Verbindungen abgebaut, wenn die Verformung in den plastischen Bereich geht. Bei geringer Steifigkeit bei reinen Holzbauwerken kann das Gebäude mitschwingen, daher sind die auftretenden Kräfte nicht so groß.

Ein besonderes Augenmerk sollte bei höheren BSP-Kernen auf die Zuganker am Fuß der Wände gelegt werden. Diese Zuganker werden üblicherweise als Stahlwinkel mit Schrauben oder Nägeln ausgeführt. Diese müssen die gesamte Last, welche sich über die Gebäudehöhe

aufsummiert, an die Gründung abgeben können. Diese Zuglasten können in Erdbebengebieten sehr hoch werden, wohingegen es bei reiner Windbeanspruchung auch zu einer Überdrückung der Zuglasten infolge des Eigengewichts kommen kann.



Abbildung 30: Brettspertholz-Wandscheiben beim Neubau Grundschule Raunheim, TWP: Fast+Epp

Der größte Vorteil im Vergleich zu Kernen aus Stahlbeton besteht neben der deutlichen besseren Nachhaltigkeit darin, dass für die aufgehenden Bauwerke nur noch ein Gewerk benötigt wird. Die Toleranzen im Stahlbeton-Rohbau sind im Vergleich zum Holzbau deutlich höher, weshalb es bei einer kombinierten Bauweise oft zu Schwierigkeiten bei der Montage der Anschlüsse zwischen Stahlbeton-Rohbau und Holzbau kommt. Beim reinen Holzbau hingegen sind die Toleranzen sehr gering und die ausführende Firma muss ihre Planung und Ausführung nicht mit einer weiteren Firma abstimmen. Außerdem kann bei einem reinen Holzbau bei den Anschlüssen für die Aussteifung auf Stahlteile und Dübeltechniken weitestgehend verzichtet werden. Die Anschlüsse können z. B. mit Hilfe von Verzahnungen zwischen den Bauteilen, schwalbenschwanzförmigen Verbindern wie dem X-Fix®-Verbinder [58] oder weiteren zimmermannsmäßigen Verbindungen ausgeführt werden.

2.7.4 Fachwerk-Systeme aus Holz

Auch ein Fachwerk-System aus Holz kann für die Aussteifung von Skelettbauten aus Holz verwendet werden. Hierbei kann das Volumen der aussteifenden Bauteile im Vergleich zu flächigen Bauteilen wie Wandscheiben und Kernen um ein Vielfaches (bis zu 75% Materialersparnis) reduziert werden. Im Vergleich zu Fachwerksystemen aus Stahl ist zudem das Eigengewicht der Holzkonstruktion deutlich geringer, was vor allem bei Bauwerken über der Hochhausgrenze einen Vorteil mit sich bringt. Außerdem müssen die Holz-Bauteile aus statischer Sicht in der Regel für den Brandschutz nicht aufwendig verkleidet oder beschichtet werden.

Diese Fachwerk-Systeme können dabei entweder als Kern an einer zentralen Stelle angeordnet werden oder dezentral z. B. in der Außenfassade. Sollen Fachwerksysteme zur Anwen-

dung kommen, müssen diese im architektonischen Entwurf mitgedacht werden. Durch die diagonalen Verstrebungen werden übliche quadratische oder rechteckige Raster und Muster unterbrochen, sodass die Verstrebungen oftmals als freistehende und sichtbare zusätzliche Ebene angewendet werden.



Abbildung 31: Fachwerksystem aus Furnierschichtholz, Scion Innovation Hub [59]

Das Material kann effizienter genutzt werden und dort eingesetzt werden, wo es für die Aussteifung wirklich benötigt wird und sinnvoll ist. Durch die offene Struktur nehmen die einzelnen Streben nicht so viel Platz und Sicht weg wie flächige Wände. Hierdurch können aussteifende Elemente besser in der Fassadenfläche angeordnet werden (siehe Abbildung 31). Die Anordnung von aussteifenden Wandscheiben in der Fassadenfläche hingegen ist eher unüblich, da in diesen Wänden meist keine Öffnungen angeordnet werden können.

Die aussteifenden Elemente in den äußeren Fassadenflächen zu integrieren, kommt dem Lastabtrag der auftretenden horizontalen Lasten sehr entgegen, da ein maximal großer Hebelarm zwischen den aussteifenden Bauteilen angesetzt werden kann, um Torsionsbeanspruchungen abzutragen.

Es ist allerdings zu beachten, dass Fachwerksysteme deutlich weicher im Vergleich zu aussteifenden Wandscheiben sind. Auch die Anschlüsse der Bauteile untereinander sind besonders zu beachten und müssen detailliert geplant und umgesetzt werden. Im Erdbebenfall können dort große Kräfte auftreten. Die Anschlüsse werden üblicherweise mit Hilfe von Stahlbauteilen wie Schlitzblechen und Stabdübeln ausgeführt.

2.7.5 Fachwerk-Systeme aus Stahl

Fachwerksysteme aus Stahl sind steifer und haben eine höhere Festigkeit als vergleichbare Systeme aus Holz. Sie sind daher vor allem bei großen und hohen Gebäuden effektiv. Auch der Anschluss untereinander und an das vertikale Tragsystem ist starrer und hat eine höhere Steifigkeit als bei einem Fachwerkssystem aus Holz. Umgekehrt ist allerdings der Brandschutz ganz besonders zu beachten. Auch wenn es zwar Anstriche für 90 Minuten Feuerwiderstand gibt, sind diese regelmäßig zu prüfen und dadurch in der Praxis eher ungeeignet. Es ist daher meistens notwendig den gesamten Stahlbau brandschutzwirksam zu verkleiden, was einen sehr hohen Aufwand mit sich bringt.

Außerdem müssen Stahlbauteile auch im Innenbereich gegen Korrosion geschützt werden. Dies ist einer der Gründe, warum Fachwerk-Systeme aus Stahl im deutschsprachigen Raum eher ungewöhnlich sind. Hinzu kommt, dass die Montage auf der Baustelle im Vergleich zu einem Stahlbetonbau und auch einem Holzbau aufwendiger ist und es wenige ausführende Firmen gibt, die eine solche Expertise mit sich bringen. Ein Beispiel aus Kanada ist in Abbildung 32 dargestellt.



Abbildung 32: Fachwerk-System aus Stahl, BCIT Tall Timber Student Housing in Burnaby, TWP: Fast+Epp CAN

Im Hinblick auf das Thema der Nachhaltigkeit ist ein Fachwerk-System aus Stahl deutlich schlechter als ein Fachwerk-System aus Holz. Für die Produktion von Stahl muss sehr viel Energie aufgewendet werden, die Verkleidung der Stahlbauteile wird mit mineralischen Baustoffen gewährleistet und das höhere Eigengewicht erhöht die CO₂-Bilanz beim Transport. Die Toleranzen im Stahlbau sind deutlich geringer im Vergleich zum Stahlbetonbau, jedoch müssen sich auch hier zwei unterschiedliche Gewerke (Schlosser und Holzbauer) in der Planung und Ausführung abstimmen. Der Anschluss des Holzbaus an die aussteifenden Bauteile aus Stahl ist nicht so aufwendig wie beim Stahlbetonbau. Die Toleranzen im Stahlbau sind kleiner und befinden sich in einem ähnlichen Bereich wie der Holzbau. Es müssen jedoch auch Anschlüsse aus Stahlteilen verwendet werden, was bei einem reinen Holzbau vermieden werden kann.

2.7.6 Kombinierte Fachwerk-Systeme aus Holz und Stahl

Kombinierte Fachwerk-Systeme aus Holz und Stahl nutzen die Vorteile beider Materialien zur Aussteifung und Stabilisierung von Bauwerken, womit ein materialeffizientes Tragsystem geschaffen werden kann. Hierbei wird der vertikale Lastabtrag mit Stützen und Unterzügen aus Holz ausgeführt und der horizontale Lastabtrag hauptsächlich mit Verbänden aus Stahl (siehe Abbildung 33). Hierbei werden die Stahlträger als Druckstäbe und die Stahlseile als Zugstabsystemverband ausgebildet.

Der Stahl bietet eine hohe Zug- und Druckfestigkeit gegenüber den horizontalen Einwirkungen. Außerdem kann feuerverzinkter Stahl bei Konstruktionen in freier Bewitterung gut verbaut werden. Das Holz hat den Vorteil des geringen Eigengewichts und des besseren Brandschutzes. Bei kombinierten Systemen ist immer ein besonderes Augenmerk auf die Steifigkeiten der Verbindungen und Bauteile zu legen. Nur so kann der genaue Kraftfluss bestimmt und auch garantiert werden. Generell können durch die Kombination von Holz und Stahl aber sehr schlanke Konstruktionen entworfen werden.

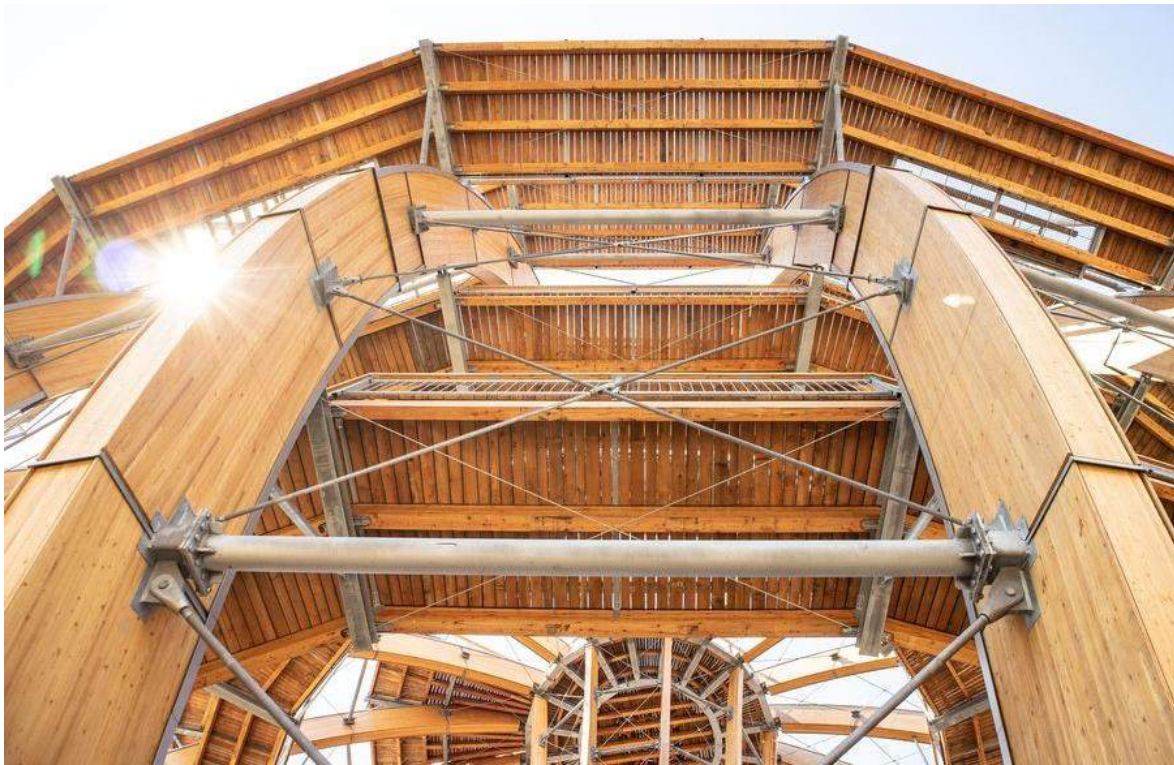


Abbildung 33: kombiniertes Aussteifungssystem, Erlebnisholzkugel Steinberger See [60]

Mit der Kombination der Baustoffe kann zudem auf verschiedene architektonische Anforderungen reagiert werden. Die Holzbauteile können in den restlichen Entwurf des Holzbaus integriert werden. Die schlanken Stahlbauteile liefern zudem einen guten Kontrast zum Holzbau und können eine größere Flexibilität in der Fassadengestaltung ermöglichen.

3 Experteninterviews

Im Rahmen der Master-Abschlussarbeit von Hanna Beerenwinkel mit dem Titel „Untersuchung der Hindernisse und des Potenzials bei der Planung von Holzbauten in Skelettbauweise zur Schaffung bezahlbaren Wohnraums“ wurden verschiedene Experteninterviews zu den Potenzialen und Hindernissen der Holz- und Holzskelettbauweise geführt. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse sind anschließend in die Bearbeitung dieses Projektes eingeflossen.

Einige der Aussagen weichen teilweise von der Faktenlage ab. Dennoch bieten sie wertvolle Einblicke in die verschiedenen Aspekte des Holz- und Holzskelettbaus, die für die unterschiedlichen Akteure am Bau von besonderer Bedeutung sind. Die identifizierten Herausforderungen und Bedenken stellen eine wertvolle Ergänzung zur Grundlagenrecherche aus Kapitel 2 dar. In den nachfolgenden Kapiteln werden die zentralen Aussagen analysiert und eingeordnet.

3.1 Beschreibung der Methode „Experteninterviews“

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine Masterarbeit mit leitfadengestützten Experteninterviews durchgeführt. Ziel dieser Interviews war es, Erkenntnisse über Potenziale und Hindernisse der Holz- und Holzskelettbauweise zu gewinnen. Leitfadengestützte Experteninterviews stellen eine qualitative Forschungsmethode dar, bei der eine Reihe vorgegebener, jedoch flexibel handhabbarer Fragen als Orientierung dienen. Durch diesen Ansatz können Experten aus unterschiedlichen Bereichen ihre Perspektiven frei äußern, während gleichzeitig eine strukturierte Vergleichbarkeit der Antworten sichergestellt wird. Diese Methode erlaubt es, sowohl spezifische Fachkenntnisse als auch individuelle Einschätzungen der Befragten zu berücksichtigen.

Insgesamt wurden 30 Personen ausgewählt und kontaktiert. Jede der ausgewählten Personen verfügt über besonderes Wissen, was diese zu einem Experten auf dem jeweiligen Gebiet macht. Meistens ist dieses Wissen mit einer bestimmten Position oder dem Beruf der Person verbunden. Ausgewählt wurden die Interviewpartner aufgrund ihrer Expertenrolle wie Investoren, Baufirmen, Planer und Nutzer, wobei sowohl Experten aus dem Bereich Holzbau als auch Experten aus dem konventionellen Massivbau ausgewählt wurden. Zwölf der ausgewählten Personen reagierten positiv auf die Anfrage und stimmten einem Interview zu. Tabelle 1 bietet eine Übersicht der befragten Experten, wobei die anonymisierte Bezeichnung der Experten sowie ihre Rolle und ihre Erfahrung mit dem Holzbau dargestellt sind. Im Schnitt verfügen die befragten Personen über ca. 10 Jahre Erfahrung im Holzbau.

Tabelle 1: Übersicht der Experten

Experte	Rolle	Erfahrung mit dem Holzbau
Experte I	Baufirma	Über 10 Jahre
Experte P	Architekt	Ein Projekt
Experte Z	Baufirma	Wenig Erfahrung
Experte H	Investor	Über 5 Jahre
Experte C	Investor	Über 5 Jahre
Experte R	Wohnungsbaugesellschaft	Wenig Erfahrung
Experte T	Holzbauexperte	Über 10 Jahre
Experte N	Nutzer	Über 20 Jahre
Experte E	Planer	Über 5 Jahre
Experte F	Architekt	Über 35 Jahre
Experte M	Baufirma	Über 25 Jahre
Experte D	Architekt	Mehrere Jahre

Ziel eines Experteninterviews ist es, die Informationen zu gewinnen, die nur durch ein Interview mit dem Experten zu erhalten sind. Spezifisch wurden die Interviews nach folgenden Kriterien untersucht:

- Anforderungen an den Wohnungsbau
- Hindernisse der Holzbauweise
- Hindernisse der Holzskelettbauweise
- Überwinden der Hindernisse
- Potenziale der Holzbauweise
- Potenziale der Holzskelettbauweise
- Grundrissoptimierung
- Kostenreduktion im Wohnungsbau
- Realisierung des bezahlbaren Wohnraums

Zu den aus den Experteninterviews hervorgehenden Hindernissen wurden zudem mögliche Lösungsansätze zum Überwinden dieser genannt. In Kapitel 4.7, S.113 sind die aus den vorgeschlagenen Lösungsansätzen gewonnenen Erkenntnisse zur Nutzung der Potenziale der Holzskelettbauweise dargestellt.

3.2 Hindernisse

Im Folgenden werden die von den Experten genannten Hindernisse geordnet aufgeführt. Eine Übersicht der Aussagen und Kernaussagen bezüglich der Hindernisse (Kapitel 3.2, S.70) und der Potenziale (Kapitel 3.3, S.73) ist in Anhang A 4, S.295 dargestellt.

3.2.1 Bauphysik

Aufgrund seiner geringen Dichte habe Holz schlechte Schallschutzeigenschaften, meint Experte I von einer Baufirma. Auch Experte Z sieht die Umsetzung des Schallschutzes im Holzbau als sehr aufwendig. Die Problematik des Schallschutzes könne im Holzbau in Kombination mit mineralischen Baustoffen gelöst werden. So werden als mögliche Lösungen Schüttungen oder Unterdecken vorgeschlagen.

Ein weiteres Problem von Holz, was aus dessen Eigenschaften resultiert, sei der Kontakt mit Wasser. Holz dürfe laut Experte I nicht nass werden und muss gegen eindringende Feuchtigkeit geschützt werden. Zum Überwinden des Feuchteschutzes wird eine turmartige Bauweise vorgeschlagen, damit eine möglichst kleine Fläche auf einmal geschützt werden muss. Dennoch sehen die Experten der Wohnungsbaugesellschaft ein Hindernis darin, da insbesondere im Wohnungsbau die Bewohner meist kein Verständnis für die Konstruktion hätten und ein Verletzen der Konstruktion, zum Beispiel der Dampfsperre, zu großen Schäden führen könnte. Der Holzbauexperte T und Architekt P erwähnen zusätzlich, dass Holz nicht für erdberührte Bauteile eingesetzt werden könne.

Die Hindernisse in der Holzbauplanung seien durch eine frühzeitige Integration der Bauphysik und der TGA zu lösen, so Experte D. Die Integration der TGA im Holzbau könne über eine Versorgung im Flur erfolgen. Bei geringen Spannweiten seien keine Unterzüge im Flur notwendig und daher könne die TGA an der Stelle problemlos installiert werden.

3.2.2 Brandschutz und Richtlinien

Experte H, D und R sehen ein Hindernis im Brandschutz. Experte F sieht den Brandschutz abhängig von der Gebäudeklasse im Holzbau als Problem. Insbesondere im vielgeschossigen Holzbau sei der Brandschutz schwierig und kostenintensiv umzusetzen. Der Einsatz von Gips-Baustoffen sei zur Sicherstellung des Brandschutzes unumgänglich. Laut Experte H seien auch die Vorgaben der Feuerwehr meistens ein Problem bei der Planung, da diese insbesondere bei hinterlüfteten Fassaden aus Holz eine Gefahr für den Brandschutz sehen würde. Der Brandschutz könne im Holzbau laut Experte F mit Sprinklern gelöst werden. In Ländern mit mehr Holzbau-Tradition sei dies eine standardisierte Lösung.

Die Experten der Wohnbaugesellschaftsgruppe sehen eine Notwendigkeit in mehr Standard-details und mehr Beispielprojekten, um die Probleme im Holzbau lösen zu können. Experte H betont, dass Holzbaurichtlinien noch nicht ausgereift sind und erst nach und nach entwickelt werden.

3.2.3 Branchenstruktur und Kosten

Der Holzbau sei in der Planung komplizierter als andere Bauweisen, so Experte P, der als Architekt erst wenig Holzbauerfahrung hat. Beim Planen mit Holz sei darüber hinaus ein Umdenken im Planungsprozess notwendig, so der Holzbauexperte T. Experte E meint, dass eine frühe Integration der Hersteller notwendig sei, was ein Umdenken der Planungsbeteiligten und insbesondere der Bauherren erfordere. Experte M meint, dass Planer und Ausführende umdenken müssen, da im Holzbau bereits in den frühen Leistungsphasen detailliert geplant würde. Dies sei eine notwendige Voraussetzung für eine wirtschaftliche Auslastung, da mit der Produktion der Bauteile frühzeitig begonnen werden müsse. Eine baubegleitende Planung sei im Holzbau daher nicht möglich. Auch Experte I sieht diesen Punkt als Hindernis im Holzbau. Das Zusammensetzen der Bauteile auf der Baustelle müsse schon in der Planung berücksichtigt werden und die Produktion der vorgefertigten Bauteile benötige eine Vorlaufzeit von ungefähr sechs Monaten. Insbesondere die Baulträger müssten sich an den veränderten Planungsablauf im Vergleich zum konventionellen Bauen erstmal gewöhnen. Da die Planung im Holzbau oft auf einen Hersteller zugeschnitten werden würde, sei der Wettbewerb eingeschränkt.

Die Experten Z und R sehen die höheren Kosten im Holzbau als ein Hindernis. Ihrer Ansicht nach gäbe es zu wenige Hersteller im Holzbau und daher könnten diese über den Preis bestimmen. Dieser Meinung stimmt auch Experte M zu. Experte Z nennt Holzbalkendecken als teure Elemente im Holzbau und vor allem die Holzmassivbauweise sei eine teure Bauweise. Außerdem würde beim Holzbau mehr Personal verbraucht als bei anderen Bauweisen. Experte H betont, dass der Holzpreis sehr sprunghaft sei und dies ein Problem bei der Planung darstelle. Auch die Verfügbarkeit von Holz sieht Experte P als Problem.

Einige Experten sehen ein Hindernis im Mangel von Holzbauunternehmen, Zimmerern und Produzenten. Die Vorfertigung im Holzbau sei laut Experte I ein gutes Mittel, um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Denn die Produktion findet in einer Halle unter guten, vorhersehbaren Arbeitsbedingungen statt. Auch bei den Herstellern von Abbund-Maschinen herrsche ein Mangel.

Aus Investorensicht würde im Holzbau laut Experte H die Innovation fehlen, da aufgrund der hohen Nachfrage bereits einfache Produkte verkauft würden. Somit gäbe es keinen Bedarf neuartige Produkte zu entwickeln, da man bereits mit dem Verkauf von einfachem Brettsperrholz viel Geld verdienen könne.

Der Holzbauexperte T und der Experte C sehen die fehlende Struktur in der Baubranche als ein Hindernis für den Holzbau. Ein weiteres Problem sei die fehlende Holz-Lobby, so Experte M. Laut Experte I sei die Stahlbeton- und Ziegel-Lobby viel stärker im Vergleich zum Holzbau. Auch die Regelwerke würden laut Experte C auf den mineralischen Baustoffen basieren und der Holzbau würde zu wenig gefördert. Die Holzbau-Richtlinien seien laut Experte H noch nicht ausgereift. Auch die widersprüchlichen Anforderungen an die Realisierung von Holzfassaden sowie begrünten Fassaden seien laut dem Experten R ein Hindernis.

Ein großes Hindernis im Holzbau sieht Experte I in der fehlenden Erfahrung. Damit meint er sowohl die fehlenden Referenzgebäude als auch die fehlende Erfahrung der Planer. Insbesondere im höhergeschossigen Bereich fehle die Übung und daher würden sich die Planungsbeteiligten meist risikoavers verhalten. Laut Experte I sei das Hindernis durch eine frühzeitige integrale Planung mit den Holzbauexperten zu lösen. Sie würden die Architekten unterstützen,

indem sie eine Checkliste für den Holzbau abarbeiten würden. Experte C und Experte T sehen fehlendes Fachwissen in der Baubranche, auch bei den Behörden und Prüfsingenieuren, als Hindernis. Dabei sieht Experte T ein Potenzial in der Bildungsoffensive, um die fehlende Erfahrung zu überwinden. Auch die Ansätze des einfachen Bauens gemäß Florian Nagler, könnten im Holzbau helfen die Anforderungen zu erfüllen. Dabei sollten nur die notwendigen Anforderungen erfüllt werden und der hohe Komfortstandard hinterfragt werden.

Des Weiteren können Bauteilkataloge neu erstellt, oder die schon bestehenden weiterentwickelt werden.

3.2.4 Tragwerk

Bei der Holzskelettbauweise sieht Experte P insbesondere den hohen Detaillierungsgrad als Hindernis. Ein weiteres Problem sieht Experte M in den Anforderungen an die Stabilität und Qualität des Holzes. Dem Holzskelettbau seien auch statische Grenzen gesetzt. Das sieht auch Experte E so, daher sei die sinnvolle Wahl der Bauweise abhängig von der Gebäudehöhe. Die materialbedingte Schwäche könne man durch eine Kombination mit mineralischen Baustoffen eliminieren.

Experte H, der bereits ein Projekt in Holzskelettbauweise geplant hat, meint, dass bei drei oder mehr Geschossen ein Hartholz oder sehr dicke Stützen notwendig seien. Als mögliche Lösung dieses Problems wird der Einsatz von Laubholz vorgeschlagen. Dies könne auch die Ungewissheit über die Verfügbarkeit von Holz lösen.

3.3 Potenziale

Nachfolgend werden die aus den Experteninterviews hervorgehenden Potenziale bezüglich der Holz- und Holzskelettbauweise allgemein und bezüglich des Wohnungsbaus dargestellt.

3.3.1 Holzbauweise

Als Potenziale für die Holzbauweise werden von den befragten Experten das Einsparen von CO₂, die Digitalisierung, die kurze Bauzeit und die frühzeitige Planung genannt. Außerdem ist die trockene Bauweise im Holzbau von Vorteil. Des Weiteren wird positiv erwähnt, dass schlanke Wandkonstruktionen mehr bewohnbare Fläche ermöglichen.

Die Holzbauweise ist grundsätzlich auch für Aufstockungen und Nachverdichtungen geeignet, wobei sich die Holzrahmenbauweise aus Sicht der Experten am besten für Aufstockungen eignet. Ein weiterer Vorteil der Holzbauweise ist außerdem der hohe Vorfertigungsgrad.

Des Weiteren sehen die Experten die emissionsarme Bauweise als Stärke und identifizieren die Vorfertigung als Potenzial dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Außerdem führe die Produktion in einer wettergeschützten Halle, frei von Witterungseinflüssen, zu einer hohen Qualität der Bauteile. Einige Experten weisen auf das steigende Interesse von Investoren im Hinblick auf die EU-Taxonomie als Potenzial für den Holzbau hin.

Tabelle 2 stellt dar, welche Expertengruppe welche Potenziale im Holzbau sehen und wie groß die Überschneidung der einzelnen Befragten ist.

Tabelle 2: Potenziale Holzbauweise

Potenziale Holzbauweise	Planer	Nutzer	Investoren	Baufirma	Holzbau-experte
Kurze Bauzeit	X	X	X	X	X
Hohe Vorfertigung	X	X	X	X	X
Ökologische Bauweise	X		X	X	X
EU-Taxonomie, hohe Bewertung	X			X	X
Witterungsunabhängige Vorfertigung in der Halle → hohe Qualität, gute Arbeitsbedingungen			X	X	X
Raumklima	X	X			
Serielles Bauen → günstige, wirtschaftliche Bauweise	X				X
Schnelle Montage			X	X	
Optimierte Wandsysteme	X		X		
Emmissionsarme Bauweise	X				X
Städtebauliche Nachverdichtung			X	X	

3.3.2 Holzskelettbauweise

In Tabelle 3 werden die von den Experten genannten Potenziale bezogen auf die Holzskelettbauweise dargestellt. Die größten Potenziale aus Sicht der Experten sind die Flexibilität und die effiziente Bauweise. Außerdem kann die Gebäudetechnik direkt in die Holzskelettbauweise integriert werden. Des Weiteren ist es einfacher als bei anderen Holzbauweisen Möglichkeiten zur Rückbaubarkeit und sortenreinen Trennung der verwendeten Bauteile umzusetzen.

Auch die klimabedingten Entwicklungen des deutschen Waldes zu mehr Laubholz sehen die Experten als Möglichkeit für den Einsatz der Holzskelettbauweise, da diese den Einsatz eines Hartholzes erfordere und insbesondere an den Knotenpunkten mit härteren Hölzern gearbeitet werden solle. Die Planer und Investoren betonen, dass die Holzskelettbauweise im Wohnungsbau eingesetzt werden kann, aber insbesondere im Bürobau noch besser geeignet ist. Des Weiteren führen die Experten auf, dass es sich um eine nachhaltige Bauweise handelt und mit einem gewissen Maß an Vorfertigung kurze Bauzeiten erreicht werden können. Auch komplizierte Grundstücksschnitte seien mit einer Holzskelettbauweise realisierbar. Zudem werden Punkte aufgeführt, wie die verständliche Konstruktion oder die einfache Durchführbarkeit von Sanierungsmaßnahmen.

Tabelle 3: Potenziale Holzskelettbauweise

Potenziale Holzskelettbauweise	Planer	Nutzer	Investoren	Baufirma	Holzbau-experte
Flexibilität	X		X		X
Geringes Holzvolumen	X			X	X
Wohnungsbau geeignet, Büroarbeit noch besser	X		X		
Ermöglichung von bezahlbarem Wohnraum	X		X		
Rückbaubarkeit/ sortenreine Trennung				X	
Verwendung von Laubholz					X
Kurze Bauzeit			X		
Verständliche Konstruktion	X				

3.3.3 Wohnungsbau

Die Experten wurden zudem nach den wichtigsten Anforderungen an den Wohnungsbau befragt. In Tabelle 4 sind die wichtigsten Anforderungen, die aus den Interviews hervorgingen, aufgeführt. Als allgemeine Anforderung an den Wohnungsbau nennen die Planer und die Nutzer das Wohlbefinden. Aus den Richtlinien für sozial geförderten Wohnraum (Kap. 2.2.6, S.35) und aus den Vorschriften für den Schallschutz, Brandschutz und Wärmeschutz ergeben sich hohe Anforderungen an den Wohnraum, die dieser erfüllen muss. Weitere Anforderungen sind die freie Grundrissgestaltung und die optimierte Wohnfläche sowie die Bezahlbarkeit des Wohnraums.

Tabelle 4: Anforderungen Wohnungsbau

Anforderungen Wohnungsbau	Planer	Nutzer	Investoren	Baufirma	Holzbau-experte
Wenige Baulücken und Wohnraum insbesondere in der Stadt bei steigendem Flächenbedarf	X			X	
Wohlbefinden	X	X			
Richtlinien und Normen → hohe Anforderungen	X		X		
Freie Grundrissgestaltung, optimierte Wohnfläche		X	X		
Bezahlbarer Wohnraum	X		X		

Des Weiteren wurden die Experten nach möglichen Gebieten befragt, in denen Kosten zur Realisierung von bezahlbarem Wohnraum eingespart werden können. Dabei wurden insbesondere Garagen und PKW-Stellplätze als hohe Kostenpunkte genannt, da sie viel Fläche verbrauchen ohne weiteren Wohnraum hervorzubringen. Auch bei den Erschließungsflächen und in den Wohnungen sollte laut der Experten an Fläche gespart werden, um Kosten zu sparen. Experte P nennt diesbezüglich die barrierefreien Erschließungsflächen als besondere Kostentreiber. Hier würden Flächen entstehen, die nicht verkaufbar wären. Auch für größer werdende Bäder und Flure bestünde kein echter Bedarf. Einige Vorschläge der Experten zum Einsparen von Fläche sind das Errichten von Gemeinschaftsflächen und das Gestalten von Fassaden in Holzbauweise, da diese durch die Dämmung zwischen den Holzelementen einen höheren Dämmwert bei gleicher Wandstärke erreichen. Die Experten sehen auch ein Einsparpotenzial bei den Dämmstärken. Für einige Experten ist der aus der Kreditanstalt für Wiederaufbau hervorgehende KfW 55-Standard aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoller als der KfW 40-Standard. Die möglichen Bereiche, in denen Kosten gespart werden können, um bezahlbaren Wohnraum zu realisieren, sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Einsparen von Kosten im Wohnungsbau

Kosteneinsparung	Planer	Nutzer	Investoren	Baufirma	Holzbauexperte
Garage + Stellplätze	X			X	
Fläche (evtl. wg. Barrierefreiheit)	X		X		
Unwirtschaftliche Dämmung	X		X		
Gebäudetechnik	X			X	
Kellerräume	X	X			
Schallschutz			X	X	
Grundstück			X	X	
Brandschutz			X	X	

3.4 Zwischenfazit

Nachfolgend werden die aus den Experteninterviews hervorgehenden Erkenntnisse über Potenziale und Hindernisse von Holz- und Holzskelettbauweisen zusammengefasst. Diesbezüglich muss klargestellt werden, dass das Wissen bzw. die Meinung der befragten Personen auf deren Branchenherkunft fundiert. Teilweise verfügen die Experten über großes Fachwissen im Bereich des Holzbaus, teilweise stammt ihr angesammeltes Wissen aus anderen Bereichen, wie zum Beispiel dem Massivbau oder es wird sich aus der Rolle eines Wohnungsbaugesellschafters geäußert. In Kapitel 4.7, S.113 folgt eine Erläuterung, wie die gewonnenen Erkenntnisse in Holz- und Holzskelettbauweisen genutzt bzw. die Hindernisse überwunden werden können.

Die größten Potenziale der Holzbauweise seien die kurze Bauzeit, die hohe Vorfertigung und die ökologische Bauweise im Vergleich zum Bauen mit mineralischen Baustoffen. Jedoch dürfe Holz nicht nass werden und das würde sowohl in der Montage als auch in der Nutzung ein Hindernis darstellen.

Außerdem fehle den Planern und den anderen Beteiligten noch die Erfahrung im Holzbau, was teilweise zu unwirtschaftlichen Planungen führen und die Innovation in der Branche einschränken würde. Im Holzbau sei zudem die Sicherstellung des Brandschutzes und Schallschutzes aufwendig und kostenintensiv.

Bezogen auf die Holzskelettbauweise würden die Potenziale in der großen Flexibilität und dem geringen Holzverbrauch liegen. Einige Experten finden, dass sich die Holzskelettbauweise für den Wohnungsbau eignet. Dem gegenüber steht, dass die Holzskelettbauweise einen hohen Detaillierungsgrad habe, hochfestes Holz benötigt werden würde und andere Bauweisen schneller in der Montage seien.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Holzskelettbauweise zwar einige Potenziale aufzuweisen hat, diese aber, laut einigen Experten, im Wohnungsbau nicht alle genutzt werden können. Insbesondere die Flexibilität könne bedingt durch die Schallschutz-Anforderungen nicht ohne weitere Kosten umgesetzt werden. Außerdem sei die Holzskelettbauweise aufwendiger und teurer in der Konstruktion als andere Holzbauweisen. Dem könne mit einer zunehmenden Standardisierung entgegengewirkt werden. Daher sollten Standarddetails der Konstruktion entwickelt werden, die den Schallschutz möglichst wirtschaftlich erfüllen.

Die Holzskelettbauweise habe das Potenzial höhergeschossig mit Holz zu bauen. Durch den zunehmenden Flächenbedarf der Menschen, aber weniger zur Verfügung stehender Fläche in den Städten, entstehe die Notwendigkeit in Zukunft höhergeschossig zu bauen. Das Potenzial der Holzskelettbauweise weniger Holz als andere Holzbauweisen zu verbrauchen, sei weiter zu untersuchen, da es dazu nur wenige Anhaltspunkte gäbe. Jedoch sei der sparsame Einsatz von Holz und anderen Baustoffen unabdingbar, da die Rohstoffe begrenzt wären. Das Potenzial des geringen Holzverbrauches könne in der Zukunft noch bedeutender werden und den Nutzen der Holzskelettbauweise stärken.

Damit mehr Holzskelettbau-Projekte im großen Stil umgesetzt werden können, seien zunächst weitere Beispielprojekte notwendig. Außerdem solle der Zugang zu Informationen zu vorhandenen Beispielprojekten erleichtert werden. Ziel weiterer Bau- und Forschungsprojekte solle ein öffentlicher Bauteilkatalog für Anschlussdetails sein. Daraufhin würden sich mehr Planer und Baufirmen mit der Konstruktionsart bekannt machen können und die Probleme in der praktischen Umsetzung weiter untersuchen.

Um die Hindernisse des hohen Detaillierungsgrades und der mangelnden Geschwindigkeit zu verbessern, sollten im Holzskelettbau möglichst vorgefertigte Bauteile eingesetzt werden. Da die Holzskelettbauweise noch mit einem höheren Aufwand verbunden ist und es bisher zu wenige Hersteller gäbe, insbesondere für Harthölzer, sei diese Bauweise heute noch nicht die Lösung, um bezahlbaren Wohnraum zu realisieren. Dies könne sich unter Beachtung der genannten Punkte jedoch in den nächsten Jahren ändern.

Aus den Aussagen der Experten lässt sich schließen, dass mehr Aufklärungsarbeit im Bereich des Holzbaus geleistet werden muss und zukünftig Leitfäden für Planer und Architekten erstellt werden sollten. Diese können den bestehenden Wissenslücken und der fehlenden Erfahrung entgegenwirken. Aus vereinzelten Negativerfahrungen lässt sich keine begründete Aussage über ein belegtes Problem treffen. Beispielsweise können im Holzbau auch große Spannweiten überbrückt werden. Hier würde eine gezielte Aufklärung dafür sorgen, dass mehr Planende und Architekten die Möglichkeiten und Entwicklungen im Holzbau erkennen und anwenden könnten. Ein anderes Beispiel ist der konstruktive Holzschutz. Holzbauteile im Sockelbereich sind keine Seltenheit und können durch ein gewisses Maß an Planung bedenkenlos eingesetzt werden. Auch im Innenbereich sind Dampfbremsen meist von einer Konstruktionsebene geschützt und die Gefahr der Beschädigung dieser wird auf ein Minimum reduziert.

Im Rahmen der Masterarbeit sind bereits einige Experten zu Potentialen und Hindernissen befragt worden, jedoch wäre auch eine empirische Studie und die Befragung weiterer Experten interessant. Anhand zukünftiger Befragungen kann untersucht werden, ob sich Wissenslücken aufgrund von Aufklärungsarbeit schließen und ob sich der allgemeine Grundtonus der Baubranche in Richtung Holzbau bewegt. Mit der zunehmenden Entstehung von Gebäuden in Holzskelettbauweise könnte man auch die Nutzer dieser Gebäude in diese Befragungen mit einbeziehen.

4 Konzeptentwicklung

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse aus den vorherigen Kapiteln und der Recherchearbeit ausgewertet. Es werden die Erkenntnisse der einzelnen Thematiken, die für die weitere Erarbeitung der Konzepte relevant und wichtig sind, kurz zusammengefasst. Insbesondere werden die Anforderungen und Rahmenbedingungen aus den Themen urbaner Wohnungsbau, Nachhaltigkeit und Laubholz berücksichtigt. Das folgende Kapitel dient als wichtige Grundlage für die weiteren Untersuchungen.

In den nachfolgenden Kapiteln 5 und 6 werden zwei Konzepte für Skelettgebäude mit Laubholz erarbeitet und vorgestellt, die die gewonnen Erkenntnisse optimal umsetzen.

4.1 Geschosshöhen und Aufbauten

Die Geschosshöhen ergeben sich vor allem durch die erforderlichen lichten Höhen. Diese sind vorgegeben durch verschiedene Richtlinien. Für die Büronutzung gibt die Arbeitsstättenverordnung z. B. eine lichte Höhe von 3,00 m für Flächen zwischen 100 und 2.000 m² vor [49]. Für Wohnungen gibt die Musterbauordnung eine lichte Höhe von 2,40 m als Mindestmaß vor. Es hat sich allerdings gezeigt, dass in der Praxis 2,50 m als Mindestmaß sinnvoll ist.

Die Geschosshöhe ergibt sich dann als Summe aus der Deckenstärke, dem Bodenaufbau und einer eventuellen Unterdecke sowie der lichten Höhe.

4.1.1 Bodenaufbauten Variantenuntersuchung

Dieses Kapitel entstand in Zusammenarbeit mit dem Mitautor Adrian Blödt.

Für den Bodenaufbau wurden verschiedene Varianten untersucht. Die größten Unterschiede ergeben sich aus den Fragen, ob ein Nass- oder ein Trockenstrich verwendet wird, und ob die Decke abgehängt wird.

In Tabelle 6 bis Tabelle 9 sind die verschiedenen Varianten der Bodenaufbauten aufgeführt. Diese sind der Plattform „dataholz.eu“ [61] entnommen. Sowohl die erforderlichen Schichten als auch deren jeweils minimal erforderlichen akustischen Eigenschaften werden dort aufgeführt. Dabei ist zu beachten, dass die Angaben zur Steifigkeit in der Regel als Maximalwerte und die Angaben zur flächenbezogenen Masse als Minimalangabe verstanden werden sollten. Die für die verschiedenen Schichten zu berücksichtigenden Parameter und deren Einfluss auf die Trittschallübertragung werden im nächsten Kapitel 4.1.2 ausführlich erläutert.

Tabelle 6: Aufbau 1 mit Trockenestrich ohne Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmtn01-00 [61]

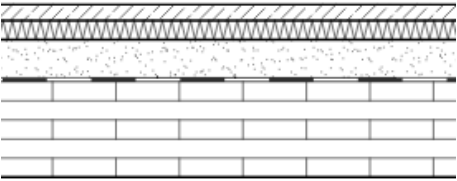
Schemaskizze Aufbau 1	d in mm	Baustoff
	45 mm	Trockenestrich
	30 mm	Trittschalldämmung Mineralfaser $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$
	60 mm	Schüttung ungebunden oder in Pappwaben $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$
	1 mm	Rieselschutz
	140 mm	Brettsperrholz/ Massivholz
$L_{n,w}$	51 dB	Prüfzeugnis Hersteller
$C_{l,50-2500}$	3 dB	Prüfzeugnis Hersteller
R_w	66 dB	Prüfzeugnis Hersteller

Tabelle 7: Aufbau 2 mit mineralischen Estrichen ohne Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmn02-03 [61]

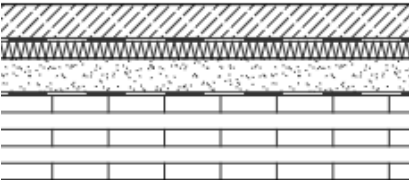
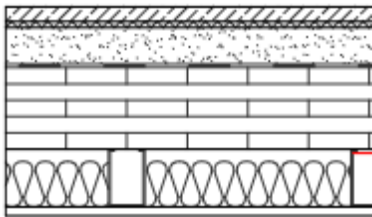
Schemaskizze Aufbau 2	d in mm	Baustoff
	60 mm	Mineralischer Estrich Zement
	30 mm	Trittschalldämmung Mineralfaser $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$
	60 mm	Schüttung ungebunden oder in Pappwaben $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$
	1 mm	Rieselschutz
	140 mm	Brettsperrholz/ Massivholz
$L_{n,w}$	44 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
$C_{l,50-2500}$	6 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
R_w	72 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]

Tabelle 8: Aufbau 3 mit Trockenestrich mit Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmtn01a-02 [61]

Schemaskizze Aufbau 3	d in mm	Baustoff
	25 mm	Trockenestrich
	30 mm	Trittschalldämmung Mineralfaser $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$
	60 mm	Schüttung ungebunden oder in Pappwaben $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$
	1 mm	Rieselschutz
	140 mm	Brettsperrholz/ Massivholz
	95 mm ¹	Abhänger 95 mm + 75 mm fasriger Dämmstoff
	2 x 15 mm	Brettsperrholz / Massivholz
$L_{n,w}$	36 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
$C_{l,50-2500}$	23 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
R_w	78 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]

¹ Bei 180 mm Abhängehöhe $L_{n,w} = 33 \text{ dB}$; $C_{l,50-2500} = 20 \text{ dB}$

Tabelle 9: Aufbau 4 mit mineralischen Estrichen mit Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmnxa03b-01 [61]

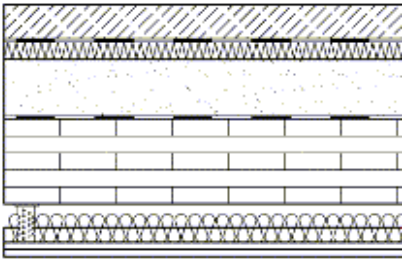
Schemaskizze Aufbau 4	d in mm	Baustoff
	60 mm	Mineralischer Estrich Zement
	30 mm	Trittschalldämmung Mineralfaser $s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$
	60 mm	Schüttung ungebunden oder in Pappwaben $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$
	1 mm	Rieselschutz
	140 mm	Brettsperrholz/ Massivholz
	90 mm ²	Abhängung 90 mm mit 75 mm fasrigem Dämmstoff
	12,5 mm	Gipskartonfeuerschutz oder Gipsfaserplatte
	24 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
$L_{n,w}$	24 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
$C_{l,50-2500}$	29 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]
R_w	82 dB	„Schallschutz im Holzbau - Grundlagen“ [47]

Tabelle 10: Bodenaufbauten und Geschosshöhen

Aufbau	Nutzung	Geschosshöhe (OK _{Rohdecke} bis OK _{Rohdecke}) [m]	Lichte Höhe [m]	Höhe BSP [mm]	Höhe unter Decke [mm]	Höhe über Decke [mm]
1 Trockenestrich gdmtn01-00 [1,40 kN/m ²]	Wohnen	3,26	2,50	140	0	116
	Büro		3,00		0	116
2 Nassestrich gdmnxa02-03 [2,26 kN/m ²]	Wohnen	3,29	2,50	140	0	150
	Büro		3,00		0	150
3 Trockenestrich mit Abhängung gdmtna01a-02 [1,54 kN/m ²]	Wohnen	3,26	2,50	140	110	100
	Büro		3,00		0	100
4 Nassestrich mit Abhängung gdmnxa03b-01 [2,70 kN/m ²]	Wohnen	3,31	2,50	140	120	150
	Büro		3,00		0	150

Die Varianten mit Trockenestrich sind im Hinblick auf die Rückbaubarkeit und die Ausbaulasten zu bevorzugen. Aufgrund der geringeren Ausbaulasten können die Querschnitte der tragenden Bauteile leicht reduziert werden. Die einzelnen Geschosslasten werden zudem kleiner, wodurch die Aussteifung und auch die Gründung etwas einfacher und kostengünstiger

² Bei 180 mm Abhängehöhe $L_{n,w} = 23 \text{ dB}$; $C_{l,50-2500} = 26 \text{ dB}$

ausgeführt werden können. Außerdem bieten Trockenestrich-Varianten Vorteile für den Bauablauf, da kein zusätzliches Wasser in das Gebäude eingebracht wird und das Konzept des trockenen Holz-Rohbaus fortgesetzt wird.

4.1.2 Bauakustische Bewertung der Bodenaufbauten

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

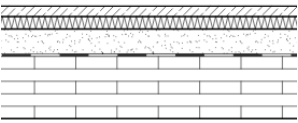
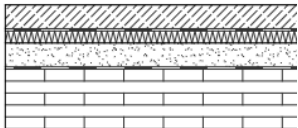
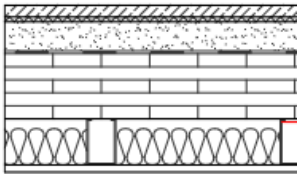
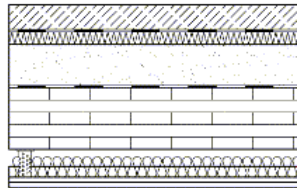
In diesem Abschnitt werden, die im Rahmen dieses Projekts untersuchten Deckenvarianten, bauakustisch beleuchtet. Untersucht werden ausschließlich Massivholzdecken, die mit einer Rohdeckenbeschwerung (z. B. elastisch gebundenen Schüttungen) ausgestattet sind. Die Varianten bestehen darin, ob eine Unterdecke vorhanden ist oder nicht, sowie im Unterschied zwischen Nass- und Trockenestrichsystemen. Die Tabelle 6 bis Tabelle 9 zeigen unter anderem die bauakustischen Werte der Decken.

Nachfolgend werden diese einer vergleichenden Betrachtung unter Berücksichtigung der tief-frequenten Übertragung unterzogen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Übertragung von Trittschallgeräuschen, da die Luftschalldämmung der Deckentypen bereits auf einem außer-gewöhnlich hohen Niveau angesiedelt ist.

Decken, deren Unterdecken einen lichten Hohlraum von weniger als 180 mm aufweisen – gemessen von der Unterkante der Rohdecke bis zur Oberkante der Unterdecke – sind im Hinblick auf das Übertragungsverhalten tieffrequenter Geräusche als ungünstig einzustufen. Zur Min-derung der Übertragung tieffrequenter Gehgeräusche, wie bereits in Kapitel 2.3 erläutert, sind Hohlräume erforderlich, die eine Höhe von mehr als 180 mm aufweisen. Dies gilt selbst dann, wenn der Hohlraum mit fasrigem Dämmstoff vollständig oder teilweise gefüllt ist.

In nachfolgender Tabelle 11 werden die Decken einer vergleichenden Betrachtung unterzo-gen, um deren Eignung für den Einsatz zur akustischen Trennung von fremden Wohn- und Nutzungseinheiten zu bewerten. Diese Bewertung stellt jedoch lediglich eine erste Einschät-zung dar, da für jede Raumpaareung noch die flankierende Übertragung individuell betrachtet werden muss. Aus diesem Grund sollte die Bewertung der Decken als eine „Vorauswahl“ an-gesehen werden.

Tabelle 11: Vergleich der Bodenaufbauten in Bezug auf die Leistungsfähigkeit im Hinblick auf den Trittschall

Aufbau	Einzahlwerte	[dB]	Bewertung
Aufbau 1 	$L_{n,w}$ $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ Minimales Anforde- rungsniveau	51 dB 54 dB Keines	Der Aufbau ist zur Erreichung der Mindestanforderungen nur mit Modifikationen an der Beschwerung oder am Trittschalldämmstoff geeignet. Ebenfalls ungünstig ist das tieffrequente Übertragungsverhalten
Aufbau 2 	$L_{n,w}$ $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ Minimales Anforde- rungsniveau	44 dB 50 dB BASIS+	Der Aufbau eignet sich für den Mindestschallschutz und erreicht die erste Stufe im Hinblick auf das tieffrequente Übertragungsverhalten
Aufbau 3 	$L_{n,w}$ $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ Minimales Anforde- rungsniveau	36 dB 59 dB DIN 4109- 5 möglich, tieffre- quent un- günstig	Im normativen Kontext kann der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109-5 bei entsprechender flankierender Übertragung erreicht werden. Die tieffrequente Übertragung, und damit die subjektive Wahrnehmung von Gehgeräuschen, wird als äußerst ungünstig eingestuft.
Aufbau 4 	$L_{n,w}$ $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ Minimales Anforde- rungsniveau	24 dB 53 dB DIN 4109- 5 möglich, tieffre- quent be- dingt ge- eignet	Im normativen Kontext kann der erhöhte Schallschutz nach DIN 4109-5 bei entsprechender flankierender Übertragung erreicht werden. Die tieffrequente Übertragung, und damit die subjektive Wahrnehmung von Gehgeräuschen, wird als ungünstig eingestuft

Um die Übertragung tieffrequenter Trittschallübertragung bei Decken mit einer Unterdecke zu optimieren, ist es erforderlich, die Abhanghöhe auf min. 180 mm zu vergrößern.

EINFLUSSGRÖßEN AUF DIE SCHALLDÄMMUNG UND TRITTSCHALLSCHUTZ VON MASSIVHOLZDECKEN

Im Folgenden werden die Einflussfaktoren auf die direkte Trittschallübertragung über Decken anhand von Trittschallpegelspektren erläutert. Diese Analyse dient der Optimierung und Berücksichtigung, um die Übertragung auf einem niedrigen Niveau zu halten. Zudem werden die wichtigsten Stellschrauben für die Auslegung der Materialkennwerte dargestellt.

1. Art und Ausführung der Schüttungen

Wie bereits erörtert, müssen Massivholzdecken mit einer Rohdeckenbeschwerung ausgestattet werden. Neben der flächenbezogenen Masse sind dabei zusätzliche Parameter, wie die Steifigkeit dieser Schicht, zu berücksichtigen. Bei Massivholzdecken gilt eine Rohdeckenbeschwerung von mindestens 100 kg/m² als bauakustisch erforderliche Mindestmaßnahme. Bisher stellte die flächenbezogene

Masse das entscheidende Kriterium bei der Auswahl der Rohdeckenbeschwerung dar. Neue Untersuchungen zeigen jedoch auf, dass neben der Masse auch die Steifigkeit der Beschwerungsschicht von wesentlicher Bedeutung ist [62]. Üblicherweise werden Rohdeckenbeschwerungen mittels Schüttungen aus Splitt realisiert. Um die Gebrauchstauglichkeit sicherzustellen (Walkbewegungen in der Schüttung beim Begehen), wird diese Schüttung in ihrer Lage gesichert.

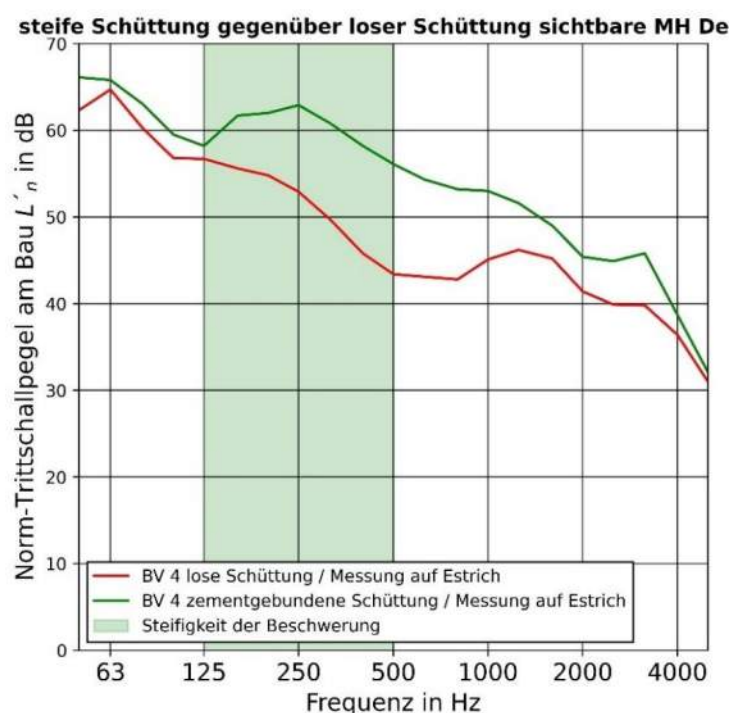


Abbildung 34: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit unterschiedlichen Bindemitteln für die Schüttung

Zur Fixierung von Schüttungen können entweder mechanische Systeme wie Lattenroste oder Pappwaben, sowie chemische Bindemittel wie Zement oder Latexmilch verwendet werden. Besonders bei der Anwendung chemischer Bindemittel ist es wichtig, die daraus resultierende Steifigkeit in der Schüttungsebene zu beachten. Die Dosierung und Art des Bindemittels spielen dabei eine erhebliche Rolle für die Gesamtsteifigkeit der Schicht. Abbildung 34 zeigt den Vergleich des Norm-Trittschallpegels zwischen einer Massivholzdecke mit Rohdeckenbeschwerung in einem Lattenraster und einer mit zementgebundener Schüttung. Hier wird deutlich, dass die hohe Steifigkeit der Zementbindung die Trittschallpegel bei Frequenzen ab etwa 250 Hz signifikant erhöht. Während der Planungsphase kann die Wahl des Bindemittels festgelegt werden. Die korrekte, möglichst minimale Dosierung erfolgt jedoch erst während der Ausführung auf der Baustelle. Bei mechanisch gebundenen Systemen entfällt der Dosierungsschritt vollständig, wodurch das Risiko einer unbeabsichtigten Erhöhung der Steifigkeit und der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Trittschallübertragung vermieden wird. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, bei der Planung der Deckenaufbauten die Schüttung auf den Decken entweder in einem Lattenraster oder in Pappwaben, ohne den Einsatz chemischer Bindemittel zu berücksichtigen.

2. Art- und Ausführung der Trittschalldämmung

Ein wesentlicher Faktor, der die Minderung des Trittschalls erheblich beeinflusst, ist die dynamische Steifigkeit der verwendeten Trittschalldämmplatten. Im Bereich des Geschosswohnungsbaus haben sich Mineralfaserdämmplatten als Standardlösung für Massivholzdecken sowohl unter Trocken- als auch unter Nassestrichen bewährt. Dabei muss sowohl der Typ des Dämmstoffs als auch die dynamische Steifigkeit gemäß den Herstellerangaben dem im Bauteilkatalog gewählten Deckenaufbau entsprechen. Werden die bei mineralischen Massivdecken gängigen EPS-Dämmsysteme mit einer dynamischen Steifigkeit von $s' \geq 20 \text{ MN/m}^3$ eingesetzt, können die angestrebten Ziele nicht erreicht werden. Für Systeme mit schwimmendem Nassestrich ist diese Anforderung relevant. Ebenso wird empfohlen, bei Trockenestrichen Trittschalldämmstoffe aus Mineralfaser zu verwenden und die dynamische Steifigkeit auf ein absolutes Minimum zu reduzieren.

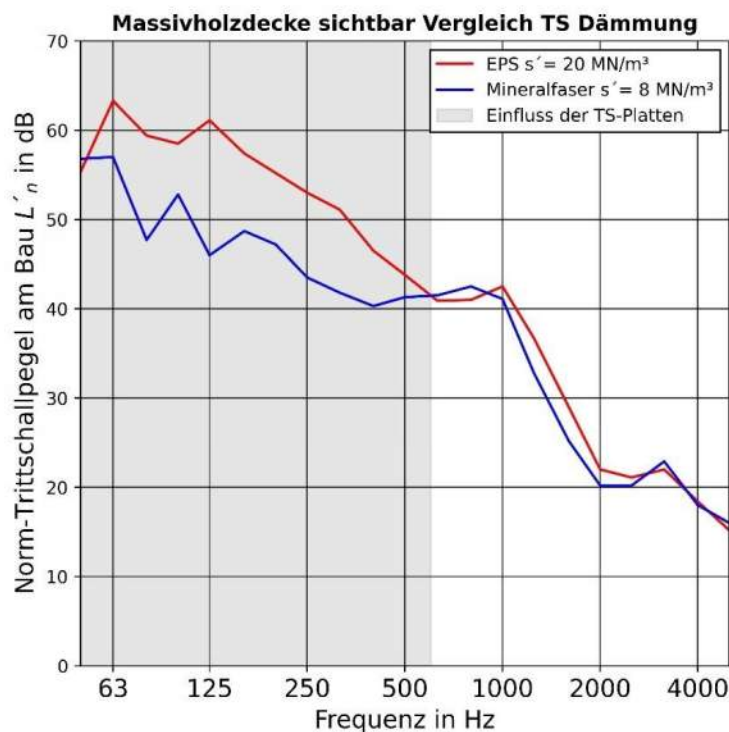


Abbildung 35: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten

Wie aus Abbildung 35 klar hervorgeht, wird bei Massivholzdecken ein signifikanter Anstieg des Normtrittschallpegels beobachtet, wenn zu steife Trittschalldämmplatten verwendet werden.

3. Art- und Ausführung der Abhängungen

Mehrfach wurde der erhebliche Einfluss der Abhanghöhe bei Massivholzdecken mit Unterdecken thematisiert. Diese Unterdecken verbessern die akustischen Eigenschaften der Decke insbesondere im Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz signifikant. Allerdings führt eine Hohlraumtiefe von weniger als 150 mm zu einer merklichen Verschlechterung im Vergleich zu einer sichtbaren Holzoberfläche. Dieser Effekt ist auf die steif abgestimmte Luftfeder zurückzuführen, die sich bei geringen Hohlraumtiefen bildet. Das Luftpolster zwischen der schallharten Unterkante des Massivholzes und der Oberkante der Unterdecke bestimmt maßgeblich die Resonanzfrequenz des Feder-Masse-Systems. Eine zu geringe Abhanghöhe resultiert dadurch in einer verstärkten Schallübertragung im kritischen Bereich um 50 bis 63 Hz im Trittschallpegelspektrum.

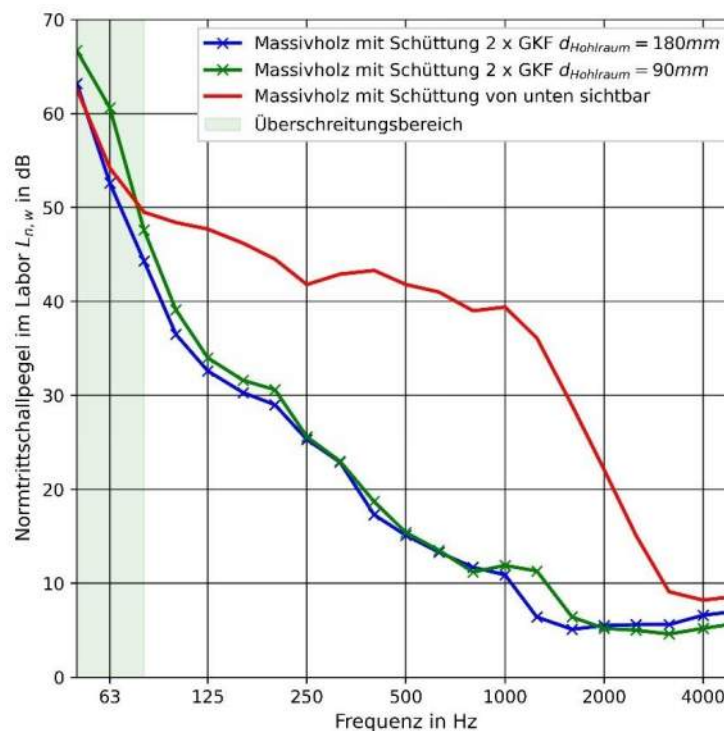


Abbildung 36: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit abgehängten Unterdecken im Vergleich zu einer sichtbaren Unterdecke

Abbildung 36 verdeutlicht diesen beeindruckenden, jedoch hinsichtlich der Gehgeräusche kritischen Effekt. Es ist dabei zu beachten, dass dieser Effekt alle Bauweisen (Holz- oder Massivbau) betrifft, unabhängig davon, ob es sich um Trocken- oder Nassstrich handelt. Daher sollten die Aufbauten in Tabelle 8 und Tabelle 9 um eine Variante mit einer Abhanghöhe von 180 mm ergänzt werden.

4. Art- und Ausführung der Estrichschichten

Der in der Praxis häufig eingesetzte schwimmende Estrich kann als ein Masse-Feder-Masse-System beschrieben werden. Dabei sind die Eigenschaften der Feder, insbesondere die Trittschalldämmung, bereits weiter oben erläutert worden. Neben der Feder spielen auch Eigenschaften der Masse, also des Estrichs selbst, eine wichtige Rolle. Untersuchungen auf Baustellen haben gezeigt, dass eine Erhöhung der Oberflächenhärte und der Kontaktsteifigkeit des Estrichs zu einer Zunahme des Trittschallpegels bei hohen Frequenzen führt. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, auf Zusätze zu verzichten, die die Festigkeit und/oder Oberflächenhärte des Estrichs erhöhen. Es besteht weiterhin Bedarf an Forschung, um präzise mechanische Grenzwerte festzulegen. Abbildung 37 zeigt deutlich, dass die Erhöhung des Normtrittschallpegels bei Systemen mit Trockenestrichen weniger stark ausgeprägt ist. Es ist jedoch zu beachten, dass Aufbauten mit Trockenestrichen generell auf einem höheren Pegelniveau liegen, weshalb ein direkter Vergleich mit mineralischen Estrichsystemen nicht möglich ist.

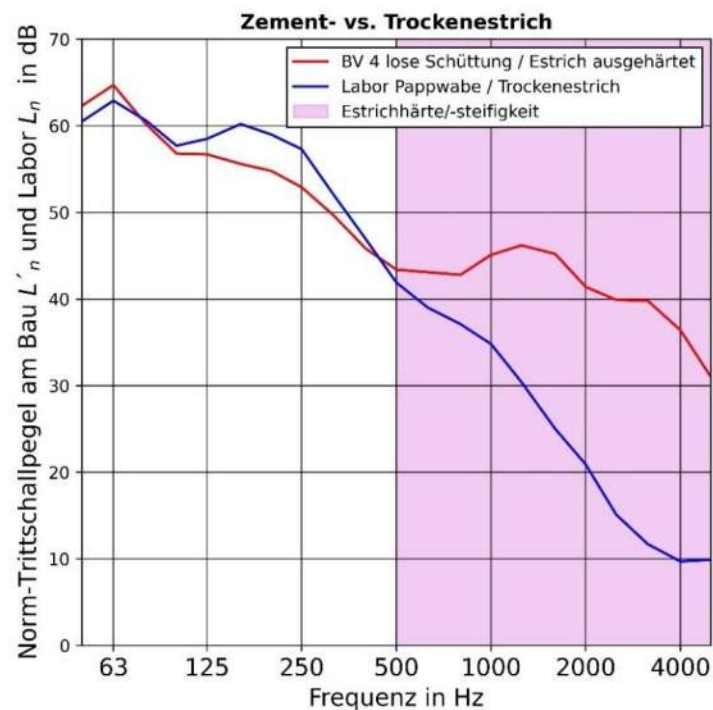


Abbildung 37: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit mineralischen schwimmenden Estrichen im Vergleich zu Aufbauten Trockenestrich

4.2 Statische Anschlüsse/Details

In diesem Kapitel werden die untersuchten Anschlussmöglichkeiten kurz erläutert und in den nachfolgenden Kapiteln hinsichtlich der wichtigsten Eigenschaften bewertet.

4.2.1 Untersuchte Anschlussmöglichkeiten

Die Anschlüsse wurden so ausgewählt, dass die geringe Querdruck-Festigkeit des Holzes im Vorhinein bereits umgangen wird und die Bauteile so aufgelagert und angeschlossen werden, dass keine Querdruckbelastung entsteht. Es werden somit keine Stützen auf Decken oder Unterzüge gestellt, sondern die Stützen immer direkt übereinander angeordnet.

Folgende Anschlussmöglichkeiten wurden für das Projekt im Vorhinein als zielführend angesehen und für die Auswahl und Beurteilung herangezogen:

- Ausgeklinte Stütze
- Gabelstütze
- Holz-Konsole angeschraubt
- Holz-Konsole aufgelegt
- Balkenträger

AUSGEKLINTE STÜTZE

Wie unter Kapitel 2.5.1 S.52 erläutert, werden ausgeklinte Stützen so hergestellt, dass am Stützenkopf links und rechts Ausklinkungen entstehen, wo die Unterzüge aufgelegt werden können.

Die ausgeklinte Stütze hat im Gegensatz zur Gabelstütze den Vorteil, dass der mittlere Restquerschnitt nur mit einem 2-seitigen Abbrand bemessen werden muss, wodurch der resultierende Querschnitt der Stütze kleiner ist im Vergleich zur Gabelstütze. Ein Nachteil besteht darin, dass die Unterzüge nur als 1-Feld Träger ausgeführt werden können und keine Durchlaufwirkung erzeugt werden kann.

GABELSTÜTZE

Der größte Unterschied zwischen Gabelstütze und ausgeklinker Stütze besteht darin, dass der Restquerschnitt der Stütze am Stützenkopf nicht in der Mitte der Stütze ist, sondern an zwei gegenüberliegenden Rändern. Der Unterzug kann daher durch die Stütze zwischen die beiden Gabeln gelegt werden und auch als Mehrfeldträger ausgeführt werden. Der Restquerschnitt bzw. die Gabeln sind somit aber auch dem 3-seitigen Abbrand ausgesetzt, wodurch die Stütze im Vergleich zur ausgeklinten Stütze einen größeren Querschnitt aufweisen muss. Da das Projekt eine materialeffiziente Nutzung und einfache und rückbaubare Bauteile vorsieht, wurde die Gabelstütze im weiteren Projektverlauf nicht weiter betrachtet. Die Unterzüge werden aufgrund der kurzen Spannweiten lediglich als 1-Feld Träger ausgeführt. Dies und das höhere Holzvolumen im Vergleich zur ausgeklinten Stütze sind hierbei die Hauptargumente für die nicht weitergeführte Betrachtung.

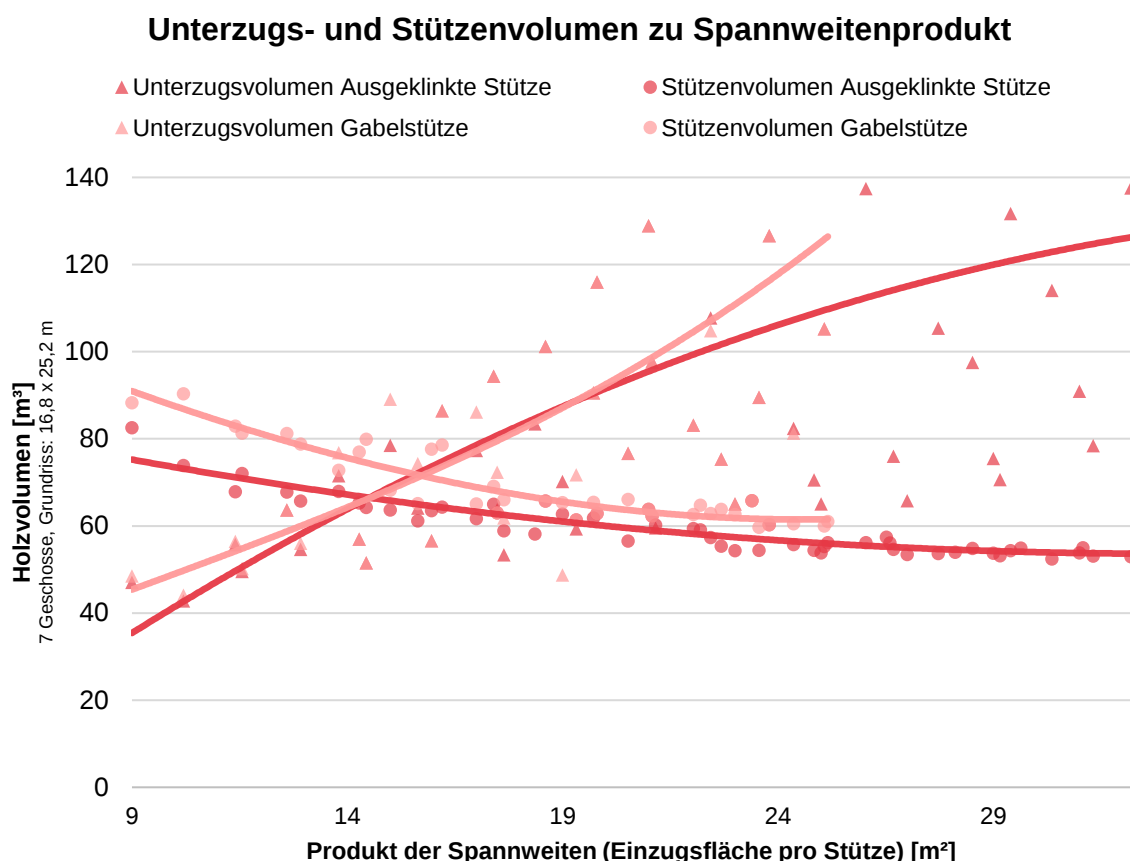


Abbildung 38: Diagramm "Unterzugs- und Stützenvolumen zu Spannweitenprodukt nach Anschlussart

Abbildung 38 verdeutlicht die oben beschriebenen Unterschiede zwischen dem Anschluss mittels Gabelstützen und ausgeklinten Stützen. Es gilt zu beachten, dass lediglich 1-Feldträger berücksichtigt wurden. Dadurch, dass die Unterzüge bei den Gabelstützen zwischen die Gabeln der Stützen gelegt werden, müssen diese möglichst schmal ausgeführt werden. Dadurch entstehen sehr schlanke, hohe Unterzugsquerschnitte. Diese haben ein höheres Volumen als vergleichbare, niedrigere Querschnitte. Auch die Stützen haben durch die mittige Aussparung und die vergrößerte Abbrandfläche ein minimal höheres Volumen als am Kopf ausgeklinte Stützen.

Zusätzlich ist gut zu erkennen, dass ab einer Lasteinzugsfläche von ca. 25 m² keine Lösungen mehr für die Variante mit Gabelstützen gefunden werden. Dies liegt daran, dass die gesetzte maximale Unterzugshöhe von 60 cm erreicht wurde. Folglich müssten die Unterzüge immer breiter werden. Da dadurch die Gabeln der Stützen aber immer schmaler werden, kann unter den gesetzten Rahmenbedingungen aber keine Lösung mehr gefunden werden.

Weitere Informationen zur Ermittlung der dargestellten Ergebnisse sind dem Kapitel 5.2.1, S. 127 zu entnehmen.

ANGESCHRAUBTE HOLZ-KONSOLE

Eine Möglichkeit der indirekten Auflagerung der Unterzüge, die man üblicherweise aus dem Beton- oder Stahlbau kennt, ist die der Konsolen. Hierbei werden am Stützenkopf zusätzliche kleinere Querschnitte angebracht, die eine seitliche Auflagerung der Balken ermöglichen. Die Stütze kann hierbei durchlaufen oder die darüberliegende Stütze kann flächig aufgestellt werden. Die Stütze wird bei einer nur einseitigen Konsole stark exzentrisch belastet. Oft werden die Konsolen gegenüberliegend angeordnet, um diese Exzentrizität auszuschließen. Bei einer

Konsolenkonstruktion wird zudem üblicherweise eine Ausklinkung des Balkens vorgesehen, damit die lichte Raumhöhe nicht zusätzlich reduziert werden muss.

Im Holzbau ist die Ausbildung von Konsolen bisher eher unüblich. Dies liegt hauptsächlich daran, dass kein monolithischer Verbund zwischen Stütze und Konsole wie beim Betonbau hergestellt werden kann. Der Anschluss der Konsole muss nachträglich erfolgen oder aus einem Vollquerschnitt ausgefräst werden. Die Ausfräsung stellt sich als sehr unwirtschaftlich dar, da ein Großteil (über 2/3) der Stütze wegfallen würde. Der nachträgliche Anschluss kann entweder mit Vollgewindeschrauben oder als geleimter Anschluss erfolgen. Die Verleimung müsste bereits im Werk erfolgen, da eine Baustellenleimung im Holzbau nur unter bestimmten Maßnahmen (staubfrei und trocken) und mit einer notwendigen Leim-Lizenz möglich ist. Außerdem entsteht durch den seitlichen Anschluss Querzug in der Stütze, weshalb zusätzliche Querkzugsschrauben angeordnet werden müssen.

Beim angeschraubten Anschluss mit einer Ausklinkung des Unterzuges muss das richtige Höhenverhältnis der Konsole und der Ausklinkung gefunden werden (siehe Abbildung 39). Die Konsole muss so hoch sein, dass genügend Schrauben für den Lastabtrag eingeschraubt werden können und die Ausklinkung des Unterzuges darf nur so hoch sein, dass der Unterzug weiterhin ohne aufwendige Verstärkung tragfähig ist.

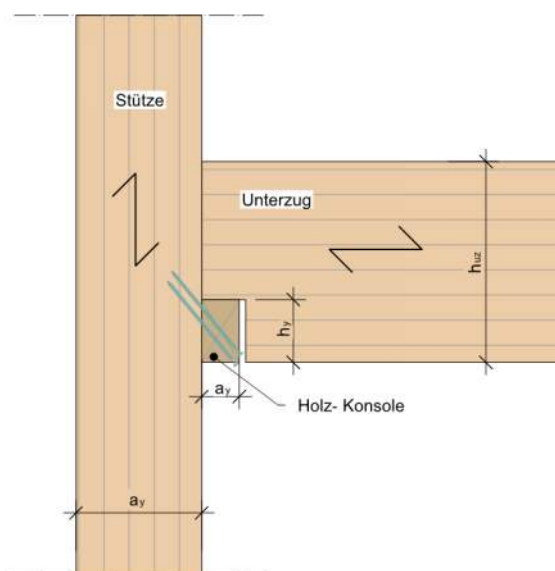


Abbildung 39: Angeschraubte Holz-Konsole

Im Projektverlauf konnte festgestellt werden, dass diese ausgeglichene Höhe der Konsole nur schwer zu erreichen ist und dass für die auftretenden Lasten eine große Anzahl an Schrauben notwendig wird. Der Anschluss wäre somit in der Montage recht aufwendig und teuer geworden. Die Rückbaubarkeit wäre nur bedingt möglich gewesen. Die angeschraubte Konsole wird somit nicht weiter betrachtet.

AUFGELEGTE HOLZ-KONSOLE

Aufgrund der oben beschriebenen Probleme bei einer angeschraubten Konsole wurde sich überlegt, die Holz-Konsole nicht seitlich anzuschließen, sondern auf den Stützenkopf aufzulegen (siehe Abbildung 40). Die Konsole wird auf den gesamten Stützenkopf aufgelegt und kräftet an den seitlichen Rändern so weit über den Stützenkopf hervor, dass eine ausreichend große Auflagerfläche für die Unterzüge gegeben ist. Die Unterzüge werden auch hier aufgrund der

lichten Raumhöhe im Bereich der Konsole ausgeklinkt. Die Ausklinkung des Unterzuges kann im Normalfall jedoch nicht ohne weitere Querzugverstärkungen ausgeführt werden. Es müssen im Bereich der Ausklinkung lange Vollgewindeschrauben in den Unterzug eingeschraubt werden. Die Montage wird somit wieder etwas aufwendiger und die Rückbaubarkeit ist nicht optimal. Außerdem wird der Querschnitt des Unterzuges an den Auflagern durch die Ausklinkungen geschwächt und es kann kein vollwertiger Wiedereinbau mit vollem Querschnitt nach der Demontage des Unterzuges gewährleistet werden.

Die darüberliegende Stütze wird auf die Konsole aufgestellt, sodass die Konsole auf Querdruck belastet wird. Die Konsole muss somit aus einer hochfesten Holzart bestehen, die eine höhere Querdruckfestigkeit aufweist. Dies beschränkt die Auswahl der Materialität enorm, da es wenig Holzmaterialien gibt, die eine hohe Querdruckfestigkeit aufweisen.

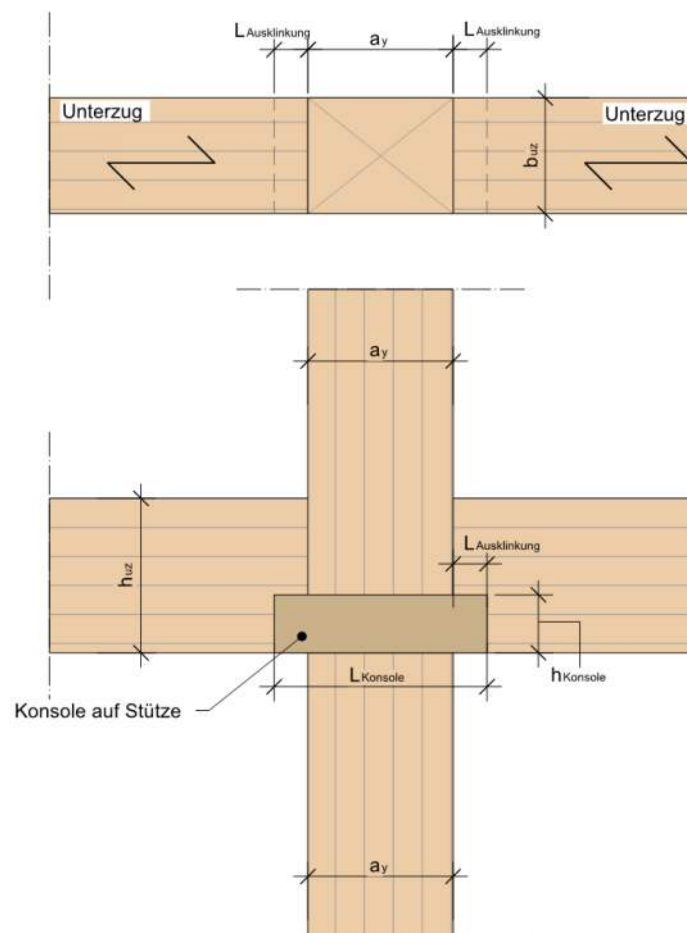


Abbildung 40: Aufgelegte Holz-Konsole

Die aufgelegte Holz-Konsole zeigt somit auch keine optimale Anschlussvariante auf und muss je nach Einsatzgebiet und Lasten gesondert betrachtet werden. Die Holz-Konsole wurde im Projektverlauf weiter optimiert und wird in einer abgewandelten Art im Konzept 2 angewendet (siehe Kapitel 6.6, S.188).

BALKENTRÄGER

Im Laufe des Forschungsprojektes wurden viele verschiedene Balkenträger von verschiedenen Herstellern untersucht und analysiert. Auch ihre Kompatibilität mit Laubholz und dem Skelettbau wurde teilweise direkt in Absprache mit dem Hersteller geprüft und entsprechend be-

urteilt. Es hat sich gezeigt, dass die meisten Balkenträger auch mit Laubholz verwendet werden können. Es ist somit eine Vielzahl von verschiedenen Verbindern auf dem Markt, die mit Laubholz angewendet werden können. Hierbei können die herstellerbedingten Widerstände, die auf Nadelholz bezogen sind, auf die höhere Rohdichte des entsprechenden Laubholzes angepasst werden. Es ergeben sich hierdurch höhere Widerstände des Balkenträgers im Laubholz, wodurch kleinere und somit auch kostengünstigere Balkenträger im Vergleich zum Nadelholz gewählt werden können.

Außerdem muss bei der Anwendung von Balkenträgern mit Laubholz darauf geachtet werden, dass die Schrauben für Laubholz bzw. für eine höhere Rohdichte zugelassen sind und ob diese zusätzlich vorgebohrt werden müssen. Es gibt einige Hersteller, die spezielle Schrauben für Hartholz anbieten. Diese Hartholz-Schrauben müssen im Regelfall nicht zusätzlich vorgebohrt werden, was bei der Montage eine deutliche Zeitersparnis mit sich bringt.

Zum aktuellen Zeitpunkt fangen bereits die ersten Hersteller an Formeln und Tabellenwerte für die Verwendung mit Laubholz in ihren Produkt-Datenblättern zu hinterlegen. Dies macht es für die Planer einfacher einen passenden Verbinder mit den richtigen (höheren) Widerständen zu finden.

4.2.2 Rückbaubarkeit der Anschlüsse

Das Thema der Rückbaubarkeit und der zirkulären Verwendung von Materialien spielt eine immer wichtigere Rolle. Die Rückbaubarkeit eines Gebäudes und der einzelnen Bauteile wird entscheidend von den Fügungspunkten geprägt. Die Anschlüsse sind also entscheidend für die Rückbaubarkeit der Bauteile. Die Anschlüsse sollten für eine gute Rückbaubarkeit dafür Sorge tragen, dass die einzelnen Bauteile einfach voneinander getrennt werden können.

Hierbei muss zwischen der Rückbaubarkeit der einzelnen Bauteile und der zusätzlichen Rückbaubarkeit der Anschlüsse unterschieden werden. Für eine gute Rückbaubarkeit ist es von Vorteil, dass man so wenig unterschiedliche Materialien wie nötig verwendet. Außerdem sollten gesteckte und aufgelegte Verbindungen bevorzugt werden. Die jeweiligen Anschlussdetails sollten so von den Bauteilen rückgebaut werden können, dass am Ende ein unbeschädigtes und komplett wiederverwendbares Bauteil übrigbleibt. Im besten Fall können die einzelnen Bauteile und auch das Anschlussdetail selbst unbeschädigt zurückgebaut werden und einer analogen Wiederverwendung zurückgeführt werden.

Schrauben und Nägel lassen sich theoretisch aus einem Bauteil wieder herausziehen, jedoch zeigt sich in der Praxis oftmals, dass sich nach einer langen Nutzung (ca. 50 Jahre) durch verschiedenste thermische Einwirkungen und Verformungen die Schrauben nicht mehr ausschrauben lassen. Bei Balkenträgern wird eine Vielzahl von Schrauben nötig, die am Balkenende und am Stützenkopf eingeschraubt werden. Lassen sich diese Schrauben nach der Nutzung nicht wieder ausschrauben, kann das Bauteil trotzdem wiederverwendet werden. Hierfür müssen jedoch die Balken am Rand und die Stützen am Kopf so gekürzt werden, dass der Querschnitt ohne Schrauben übrigbleibt. Je nach Schraubenlänge kann somit ein größerer Teil der Bauteile nicht mehr genutzt werden und eine gleichwertige Nutzung der Bauteile durch die Kürzung ist unter Umständen nicht mehr gegeben. Gleiches gilt bei Stahlformteilen, die meist an die Stütze geschraubt werden. Bei Stahlformteilen, die mit Hilfe von Stabdübeln an den Balken angeschlossen werden, können die Stabdübel bei der Demontage ausgeschlagen werden. Hierdurch können zumindest die Balken vollumfänglich zurückgebaut werden.

Bei den zimmermannsmäßigen Verbindungen hingegen werden die Bauteile lediglich in ihrer Lage gesichert. Diese Lagesicherung kann man entweder mit Hilfe von Schrauben und Winkeln vornehmen. Es können aber auch Holzdübel und Laschen bzw. „Bleche“ aus Holz verwendet werden. Diese Holzdübel können dann bei der Demontage ausgeschlagen oder ausgebohrt werden. Die Laschen können ebenfalls ausgeschlagen oder ausgesägt werden. Hier lassen sich somit die Bauteile relativ einfach im Ganzen voneinander trennen und sie müssen nicht gekürzt werden.

Die Rückbaubarkeit bei reinen Holzverbindungen ist somit deutlich einfacher im Vergleich zu Balkenträgern und Stahlformteilen. Die Bauteile können theoretisch einer gleichwertigen Nutzung mit gleicher Länge zurückgeführt werden.

4.2.3 Brandschutz bei Anschlüssen

Der Brandschutz bei Anschlüssen ist ein entscheidender Faktor für die Dimensionierung der anzuschließenden Bauteile und sorgt bei der Auswahl der Anschlussdetails oft dafür, dass die Bauteilquerschnitte größer dimensioniert werden müssen. Die Bauteile werden somit aufgrund der Anschlussdetails und deren Einhaltung des Brandschutzes überdimensioniert. Dabei werden Aspekte wie die Entflammbarkeit der Materialien, der Hitzeübertragung und der Kapselung berücksichtigt.

Bei Anschlüssen mit Stahlformteilen oder Balkenträgern wird der Brandschutz meist über die Holzüberdeckung eingehalten. Die Stahlteile werden also durch das umliegende Holz vor dem Feuer geschützt (siehe Abbildung 41). Bei der Dimensionierung der Bauteile muss also auf eine ausreichende Holzüberdeckung der Stahlteile geachtet werden.

Bei Schlitzblechen ist dies meist kein Problem, da diese in der Mitte des Holzbauteils liegen und sehr dünn sind. Hier müssen lediglich die Stabdübel oder Bolzen nachträglich mit Querholzplättchen überdeckt werden.

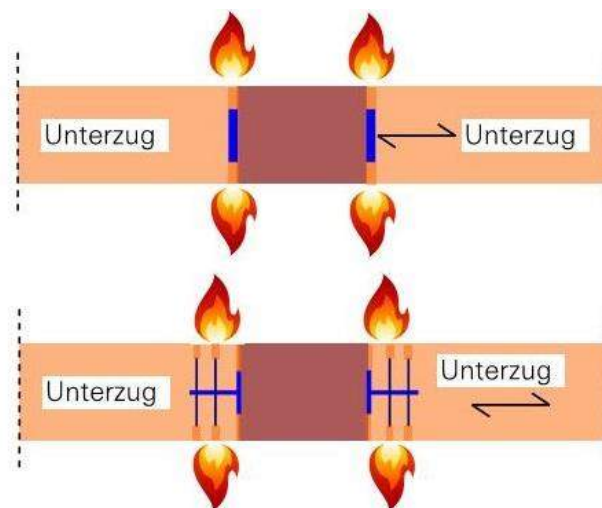


Abbildung 41: Stahl-Anschlüsse mit Abbrand

Die Balkenträger hingegen sind oftmals so breit und hoch, dass durch die zusätzliche Holzüberdeckung der Querschnitt der Balken erhöht werden muss. Es muss also der passende Balkenträger mit einer ausreichend hohen Tragfähigkeit und den passenden Abmessungen inkl. Holzüberdeckung für den Querschnitt der Balken gefunden werden. Dies muss frühzeitig

in der Planung berücksichtigt werden, da ggf. die Querschnitte aufgrund zu großer Balkenträger bzw. zu großer Holzüberdeckung vergrößert werden müssen.

Die zimmermannsmäßigen Verbindungen werden ebenfalls durch einen ausreichend großen Querschnitt gegen das Feuer geschützt. Die Anschlüsse müssen so dimensioniert werden, dass der Querschnitt nach dem Abbrand noch groß genug ist, um die Lasten übertragen zu können. Bei den ausgeklinkten Stützen ist nur ein 2-seitiger Abbrand des Anschlusses zu berücksichtigen, da die restlichen Seiten des verbleibenden Stützenkopfes durch die angrenzenden Balken vor dem Feuer geschützt sind. Hier wird also nur die Breite der Stütze durch den Brandschutz des Anschlusses beeinflusst. Der Anschluss der Gabelstütze hingegen wird 3-seitig beflammt, da der Balken zwischen den beiden Gabeln liegt (siehe Abbildung 42). Hier wird also die Breite und Höhe der Stütze beeinflusst, jedoch kann ein doppelter Querschnitt (zwei ausliegende Gabeln) zur Lastweiterleitung angesetzt werden.

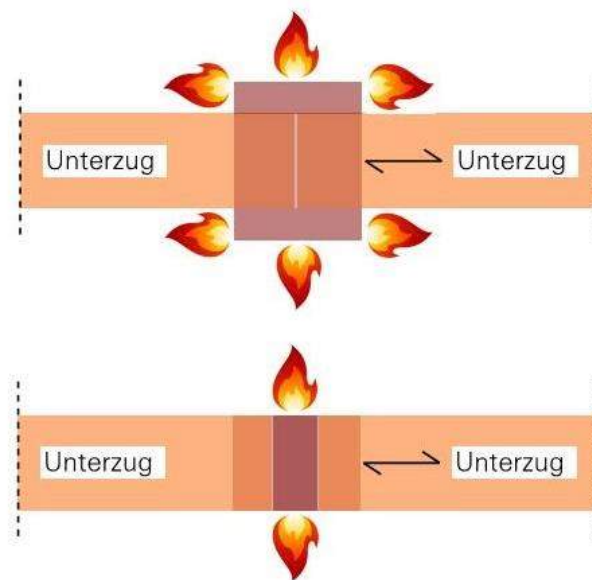


Abbildung 42: Holz-Anschlüsse mit Abbrand

4.2.4 Kosten der Anschlüsse

Bei der Auswertung der statischen Anschlüsse wurden stets auch die Kosten mit betrachtet. Kosteneffiziente Bauweisen sind vor allem im Wohnungsbau entscheidend. Auch wenn die Kosten der einzelnen Anschlüsse erstmal gering erscheinen, sind die Vielzahl der Anschlüsse und somit die Gesamtkosten bei einem Gebäude nicht außer Acht zu lassen. Die Skelettbauweise zeichnet sich durch einen hohen Wiederholungsgrad der Bauteile und somit auch der Anschlüsse aus, wodurch nur wenige verschiedene Anschlussdetails benötigt werden. Bei der Auswahl der Anschlussdetails sind im Hinblick auf die Kosten nicht nur die reinen Materialkosten zu berücksichtigen, sondern auch die Kosten der Montage und der Vorfertigungsgrad des Details.

Es wurden unter anderem die Kosten der Balkenträger bei den jeweiligen Herstellern angefragt und in der parametrischen Bemessung hinterlegt (siehe Kapitel 5.2.1, S.127). Es zeigte sich, dass die reinen Materialkosten von Balkenträgern einer großen Schwankung zwischen den Herstellern, aber auch zwischen kleineren und größeren Balkenträgern unterliegen.

Es wurde eine Analyse des Verhältnisses von Kosten/ Tragfähigkeit vollzogen (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44).

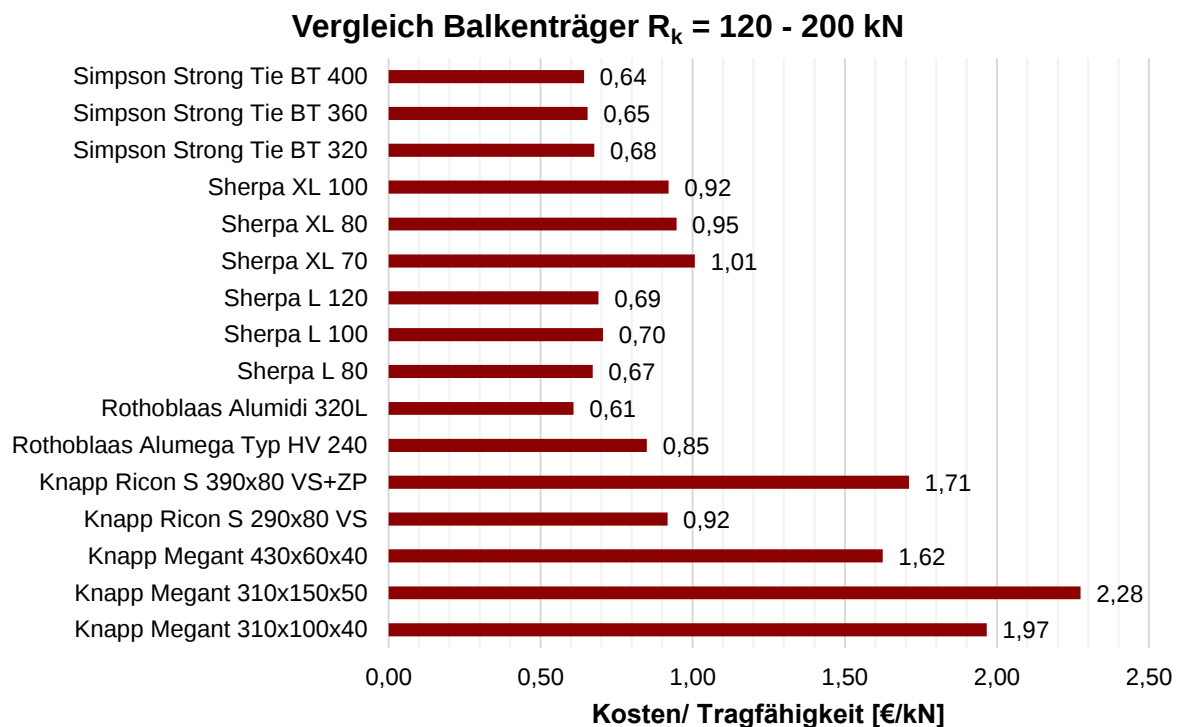


Abbildung 43: Vergleich Balkenträger $R_k=120-200 \text{ kN}$ (Kosten/Tragfähigkeit)

Hierbei konnte festgestellt werden, dass bei diesem Verhältnis von Kosten/ Tragfähigkeit ein großer Unterschied von 0,61 bis 2,28 €/kN bei einem Mittelwert von 0,99 €/kN zwischen den Herstellern liegt. Die Tendenz, dass größere und tragfähigere Balkenträger im Verhältnis zu ihrer Tragfähigkeit teurer sind, konnte ebenfalls bestätigt werden. So liegt der Durchschnitt der Balkenträger bis zu einem Widerstand von 120 kN bei 0,88 €/kN und bei den tragfähigeren Balkenträgern bei 1,05 €/kN.

Durch diese Analyse konnte festgestellt werden, dass es im Hinblick auf die Kosten empfehlenswert ist, kleinere Balkenträger, anstatt größerer tragfähigerer Balkenträger zu wählen. Dies ist nur möglich, wenn das Stützenraster ebenfalls kleiner gewählt wird und die Balken eine kleinere Spannweite aufweisen.

Außerdem wurden die Kosten für zimmermannsmäßige Verbindungen betrachtet. Diese lassen sich jedoch nicht so exakt wie bei Balkenträgern ermitteln, da z. B. keine zusätzlichen Materialkosten entstehen. Es werden die vorhandenen Stützen und Balken im Werk durch computergesteuerte Maschinen (Abbundanlagen) bearbeitet. Hierbei ist entscheidend wie viele Arbeitsschritte im Abbund für die Verbindung notwendig sind. Da diese Arbeitsschritte aufgrund der fortschreitenden Technologisierung nicht mehr von Hand ausgeführt werden, sondern durch Maschinen sind die Kosten hierfür sehr gering anzusehen (ca. 1-2 €/ Sägechnitt). Außerdem sind bei Stahlformteilen und Balkenträgern ähnlich viele Sägechnitte vorzunehmen wie bei den zimmermannsmäßigen Verbindungen. Dieser Kostenpunkt neutralisiert sich somit im Vergleich der verschiedenen Anschlüsse.

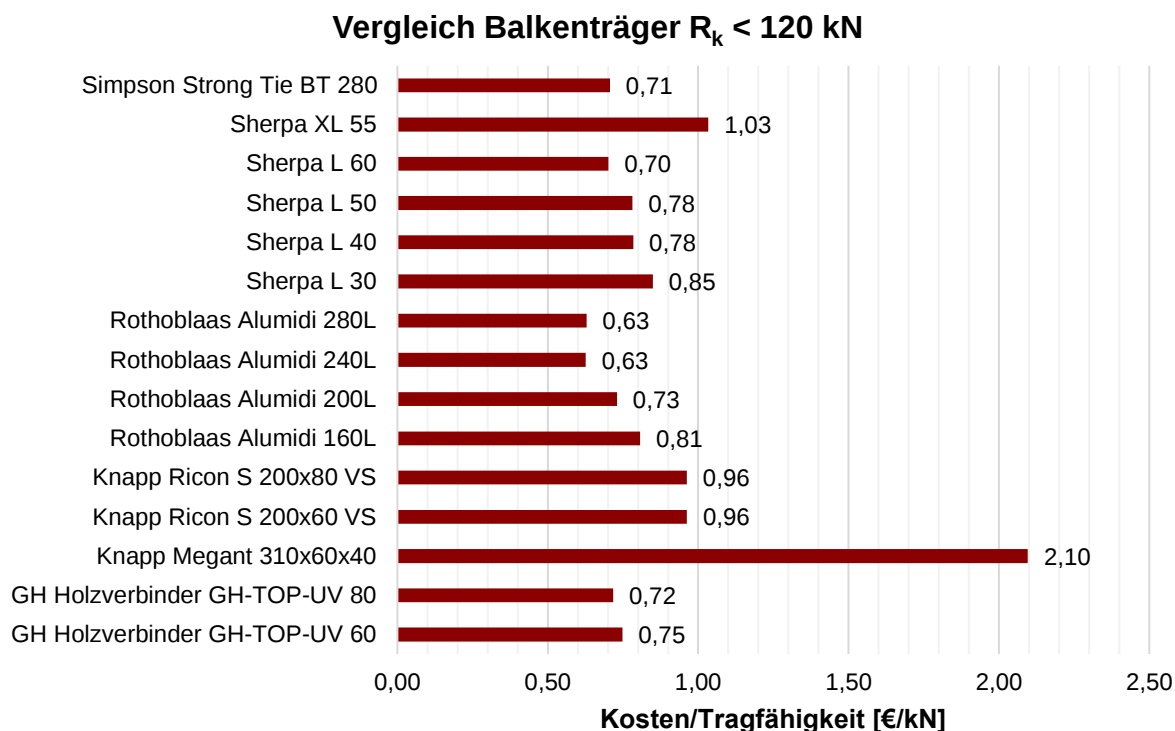


Abbildung 44: Vergleich Balkenträger $R_k < 120$ kN (Kosten/Tragfähigkeit)

Die Kosten für die Montage im Werk und auf der Baustelle wurden ebenfalls in die Bewertung mit einbezogen. Hierbei wurde angenommen, dass die Montage auf der Baustelle bei allen betrachteten Anschlüssen in einem ähnlichen geringen Rahmen ist. Die Bauteile werden sowohl bei den Balkenträgern als auch bei den Stahlformteilen und zimmermannsmäßigen Verbindungen auf der Baustelle nur zusammengesteckt oder aufgelegt und danach in ihrer Lage gesichert. Die angesetzten Kosten hierfür neutralisieren sich somit ebenfalls und wurden im Vergleich der Anschlüsse nicht weiter betrachtet.

Die Montage im Werk hingegen ist bei den Balkenträgern und Stahlformteilen im Gegensatz zu den zimmermannsmäßigen Verbindungen noch zum Großteil von Hand auszuführen. So müssen bei den Balkenträgern eine große Anzahl an Schrauben (zwischen 30 – 80 Stk.) per Hand eingeschraubt werden. Dies bringt einen höheren Zeitaufwand und somit auch höhere Personalkosten im Vergleich zu den zimmermannsmäßigen Verbindungen mit sich.

Zusammenfassend lässt sich zum Thema Kosten sagen, dass bei Balkenträgern und Stahlformteilen nicht nur zusätzliche Materialkosten hinzukommen, sondern auch die Montage im Werk teilweise deutlich aufwendiger ist. Bei zimmermannsmäßigen Holz-Holz-Verbindungen hingegen wird kein zusätzliches Material benötigt und die Vormontage im Werk kann durch computergesteuerte Abbundanlagen ausgeführt werden.

4.2.5 Tragfähigkeit der Anschlüsse

Die Tragfähigkeit der Anschlussdetails ist ein entscheidender Faktor für die Auswahl des Anschlusses. Ein Anschluss muss eine hohe Tragfähigkeit bezogen auf den Querschnitt der anzuschließenden Bauteile aufweisen. Kann ein Anschluss aufgrund seiner Tragfähigkeit und des Brandschutzes so ausgeführt werden, dass der Querschnitt der anzuschließenden Bauteile nicht vergrößert werden muss, ist dieser als effektiver Anschluss anzusehen. Außerdem kann der Indikator Kosten/Tragfähigkeit [€/kN] herangezogen werden, sodass auch teurere

Anschlussdetails bei einer hohen Lastweiterleitung effizient sein können. Bei geringeren Lasten sollten wiederum günstigere und simplere Anschlussdetails genutzt werden.

Je nach architektonischem Entwurf und statischem System werden Bauteile direkt oder indirekt gelagert. Bei einer direkten Lagerung können die Lasten von dem lastbringenden Bauteil (Balken) direkt in das lastaufnehmende Bauteil (Stütze) ohne weiteres Anschlussbauteil abgegeben werden. Bei einer indirekten Lagerung werden die Bauteile meist seitlich miteinander verbunden und es muss ein zusätzliches Anschlussbauteil verwendet werden.

Außerdem ist beim Skelettbau in Holzbauweise stets auf die geringe Querdruckfestigkeit von Holz zu achten. Es sollten die Lasten vom obenliegenden Geschoss zum darunterliegenden Geschoss möglichst nicht über Querdruck (z. B. Stütze auf Balken) abgetragen werden, sondern über Längsdruck (z. B. Stütze auf Stütze). Die Lasten summieren sich über die einzelnen Geschosse bis zum untersten Geschoss auf. Dies muss bei der Auswahl des Anschlusses und der Bemessung der Bauteile berücksichtigt werden. Es kann eine Abstufung des Anschlusses über die Geschosse und somit über die reduzierten Lasten erfolgen.

Balkenträger gibt es mittlerweile in diversen Laststufen, sodass je nach Last und Querschnitt ein passender Balkenträger ausgewählt werden kann. Die Tragfähigkeit bezogen auf den Querschnitt der Balkenträger ist meist so hoch, dass der Querschnitt der Balken nicht angepasst werden muss. Es muss jedoch immer auch der Brandschutz berücksichtigt werden, der je nach Gebäudeklasse eine größere Holzüberdeckung erfordert. Ein weiterer Vorteil der Balkenträger ist, dass die Balken seitlich angeschlossen werden können und der gesamte Querschnitt einer Stütze auf die darunterliegende Stütze aufgestellt werden kann. Die Stützen können hierdurch im Vergleich zu zimmermannsmäßigen Holz-Holz-Verbindungen etwas kleiner ausgeführt werden.

Anschlüsse bei Holz-Holz-Verbindungen sollten immer so ausgeführt werden, dass die Lasten nicht über Querdruck übertragen werden. Hierfür müssen Stützenfuß und Stützenkopf immer eine direkte Kontaktfläche haben. Diese Fläche muss so groß sein, dass die Lasten aufsummiert über alle Geschosse über den Längsdruck des Holzes übertragen werden können. Beim Nadelholz ist der Längsdruckwiderstand nicht so groß wie beim Laubholz, weshalb diese Fläche bei Laubholzstützen kleiner sein kann und somit die gesamte Stütze kleiner wird. Der Unterschied zwischen Gabelstütze und ausgeklinkter Stütze ist vor allem durch den Restquerschnitt nach Abbrand auszumachen. Bei einer ausgeklinkten Stütze ist nach dem Abbrand ein etwas größerer Restquerschnitt vorhanden, weshalb die ausgeklinkte Stütze eine etwas höhere Tragfähigkeit mit sich bringt.

4.2.6 Montage der Anschlüsse

Eine schnelle und einfache Montage von Bauteilen wird, ähnlich wie die Rückbaubarkeit, von den Fügungspunkten geprägt. Hierbei ist zwischen Vormontage (im Werk) und der Montage auf der Baustelle zu unterscheiden. Umso mehr Arbeitsschritte der Montage im Werk durchgeführt werden können, desto schneller, exakter und einfacher ist die Montage auf der Baustelle. Ein Anschlussdetail, welches zum Großteil im Werk vorgefertigt werden kann, ist somit hinsichtlich der Montage ein sehr gutes Anschlussdetail. Die Montage auf der Baustelle sollte möglichst einfach sein und wenig Möglichkeiten für einen falschen Einbau bieten. Im besten

Fall besteht die Montage auf der Baustelle nur noch darin, dass die einzelnen Bauteile ineinandergesteckt oder aufgelegt werden und lediglich in ihrer Lage gesichert werden.

Bei der Planung der Anschlussdetails müssen Toleranzen für die Montage eingeplant werden. Je nachdem wie groß der Grad der Vorfertigung ist, können diese Toleranzen minimiert werden.

Die Auswertung der Montage der verschiedenen Anschlüsse ist im Zuge der Kostenbewertung mit eingeflossen. Der Aufwand der Montage auf der Baustelle ist bei allen untersuchten Anschlüssen in einem ähnlichen Rahmen anzusehen. Bei den Balkenträgern ist zusätzlich zu beachten, dass Zwängungspunkte entstehen. Die Balken werden zwischen zwei Stützen eingehängt, weshalb hier nur wenige Toleranzen möglich sind und exakt gearbeitet werden muss. Bei den zimmermannsmäßigen Holz-Holz-Verbindungen hingegen werden die Balken auf die Stützen aufgelegt, wodurch eine gewisse Montagetoleranz vorhanden ist.

Auch hier zeigt sich also ein deutlicher Vorteil bei den zimmermannsmäßigen Holz-Holz-Verbindungen.

4.2.7 Bewertung Anschlüsse

Nachfolgend werden die vorgestellten Anschlüsse hinsichtlich der vorangegangenen Kriterien verglichen und bewertet. Diese Kriterien sind aus Aufsteller-Sicht entscheidend für die Auswahl des optimalen Anschlusses bei einem Skelettbau in Holzbauweise. Die Bewertung der Anschlüsse wird in einer Matrix zusammengefasst.

Das Kriterium der Rückbaubarkeit ist mit reinen Holz-Holz-Verbindungen, wie der Gabelstütze und ausgeklinkten Stütze am höchsten zu bewerten. Sobald weitere Verbindungsmittel hinzukommen, wird die Rückbaubarkeit immer schwieriger. So ist bei Balkenträgern eine hohe Anzahl von Schrauben nötig, sodass die Rückbaubarkeit eher schlechter zu bewerten ist.

Der Brandschutz kann bei Schlitzblechen einfach durch das umliegende Holz gewährleistet werden. Die Holz-Holz-Verbindungen werden mit einer Abbrandschicht bemessen, wodurch der Querschnitt evtl. vergrößert werden muss. Hier gibt es noch Unterschiede zwischen der Anzahl an Abbrandseiten.

Beim Kriterium Kosten schneiden die Holz-Holz-Verbindungen am besten ab, da dort keine zusätzlichen Bauteile benötigt werden. Außerdem ist die Fertigung sehr günstig, da lediglich der Abbund im Werk in einer Maschine nötig ist. Die Balkenträger hingegen sind je nach Größe und Montageaufwand sehr kostspielig.

Die Tragfähigkeit der Balkenträger wird am höchsten bewertet, da diese in beliebigen Höhen und Breiten mit einer beliebigen Anzahl an Schrauben auf dem Markt verfügbar sind. Hierdurch können bei großen Balken auch große Balkenträger mit hohen Tragfähigkeiten verbaut werden. Die Holz-Holz-Verbindungen sind in der Tragfähigkeit stark von dem gewählten Holzmaterial und den Querschnitten abhängig und deshalb eher begrenzt.

Beim Kriterium der Montage muss sowohl die Montage auf der Baustelle als auch die Montage im Werk berücksichtigt werden. Der Montageaufwand auf der Baustelle liegt bei allen Anschlüssen in einem ähnlichen Bereich, da die Bauteile meist schon mit fertigen Anschlüssen auf die Baustelle kommen und nur noch eingeschwenkt und lagegesichert werden müssen. Die Montage im Werk ist beim Balkenträger sehr aufwendig, da sowohl ein Abbund erfolgen muss als auch eine große Anzahl an Schrauben eingeschraubt werden muss. Beim Schlitz-

blech sind weniger Verbindungsmittel nötig. Die Holz-Holz-Verbindungen werden im Werk hingegen lediglich in die Abbundmaschine gegeben und kommen als fertiges Bauteil wieder heraus.

Es zeigt sich, dass die ausgeklinkte Stütze mit den beschriebenen Kriterien, die beste Anschlussvariante für eine Holz-Skelettbauweise ist.

Tabelle 12: Bewertungsmatrix Anschlüsse

Anschlüsse	Rückbaubarkeit	Brandschutz	Kosten	Tragfähigkeit	Montage
Balkenträger (Schwalbenschwanz)	-	-	--	++	O
Schlitzblech	O	++	-	+	-
Gabelstütze	++	O	++	O	++
Ausgeklinkte Stütze	++	+	++	O	++

Die Bewertung der Anschlüsse erfolgt anhand folgender Legende. Die einzelnen Anschlüsse werden immer im Bezug zu den anderen Anschlüssen in dem Bereich von -- bis ++ bewertet. Ist ein Anschluss genauso gut oder schlecht wie ein anderer Anschluss, wird er mit dem gleichen Wert bewertet. Ist ein kleiner Vorteil gegenüber einem anderen Anschluss zu sehen, erhält der jeweilige Anschluss eine leicht bessere Bewertung usw.

Legende:

--	Sehr schlecht
-	Schlecht
O	Neutral
+	Gut
++	Sehr gut

4.3 Deckensysteme

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 2.6, S.57ff vorgestellten Deckensysteme hinsichtlich mehrerer entscheidender Kriterien verglichen. Die Bewertung erfolgt anhand einer Matrix, die die folgenden Aspekte berücksichtigt: Nachhaltigkeit, Höhe, Verfügbarkeit, Schallschutz und Brandschutz. Diese Kriterien sind essenziell für die Auswahl des optimalen Deckensystems und werden im Folgenden näher erläutert.

4.3.1 Nachhaltigkeit der Deckensysteme

Nachhaltigkeit bezieht sich auf die Umweltverträglichkeit und Ressourceneffizienz der verwendeten Materialien und Konstruktionen. Bei Holzdeckensystemen wird insbesondere die Herkunft des Holzes (z. B. zertifizierte Forstwirtschaft), die CO₂-Bilanz sowie die Möglichkeit der Wiederverwendung oder des Recyclings der Materialien betrachtet. Ein nachhaltiges Deckensystem trägt zu einer positiven ökologischen Gesamtbilanz des Gebäudes bei.

4.3.2 Höhe der Deckensysteme

Die Bauhöhe eines Deckensystems ist ein wesentlicher Faktor, der die Gesamthöhe des Gebäudes und vor allem die Kosten beeinflusst. Flache Deckensysteme ermöglichen es, mehr Geschosse innerhalb einer vorgegebenen Bauhöhe unterzubringen oder die Raumhöhe zu maximieren. Die Kosten für Wände und Fassaden pro Geschoss werden dadurch auch reduziert. Eine geringe Bauhöhe kann insbesondere bei innerstädtischen Projekten oder bei Anforderungen aus bestehenden Bauvorschriften von Vorteil sein.

4.3.3 Verfügbarkeit der Deckensysteme

Die Verfügbarkeit der Materialien und Komponenten spielt eine entscheidende Rolle für die Planung und Realisierung von Bauprojekten. Ein Deckensystem, das aus weit verbreiteten und leicht zugänglichen Materialien besteht, ermöglicht eine schnellere und kosteneffizientere Bauausführung. Auch die lokale Verfügbarkeit von spezialisierten Handwerkern und Betrieben für die Herstellung und den Einbau der Deckenelemente ist hierbei von Bedeutung.

4.3.4 Schallschutz der Deckensysteme

Ein effektiver Schallschutz ist unerlässlich, um den Wohn- und Arbeitskomfort in Gebäuden zu gewährleisten. Die Bewertung des Schallschutzes von Deckensystemen umfasst die Fähigkeit, Luft- und Trittschall zu dämmen. Dabei spielen die Masse der Decke, die Konstruktion und die verwendeten Materialien eine entscheidende Rolle. Ein gutes Schallschutzsystem verhindert die Übertragung von Lärm zwischen den Geschossen und sorgt so für eine angenehme Akustik.

4.3.5 Brandschutz der Deckensysteme

Der Brandschutz ist ein kritischer Faktor in der Tragwerksplanung, insbesondere bei Holzkonstruktionen. Ein wirksames Brandschutzkonzept stellt sicher, dass die Deckensysteme eine

bestimmte Feuerwiderstandsdauer aufweisen und im Brandfall die Tragfähigkeit erhalten bleibt. Dabei werden Aspekte wie die Entflammbarkeit der Materialien, der Rauchschutz und die Fluchtwegsicherung berücksichtigt. Die meisten Holzdeckensysteme können unverkleidet über die Abbrandrate des Holzes oder verkleidet mit einer feuerfesten Bekleidung nachgewiesen werden.

4.3.6 Bewertung der Deckensysteme

Die vorgestellten Deckensysteme wurden anhand verschiedener Kriterien verglichen und bewertet. In Tabelle 13 sind die Ergebnisse in einer Matrix zusammengefasst.

Beim Kriterium Rückbaubarkeit schneidet die leimfreie Brettstapeldecke besonders gut ab. Es wird ohnehin ausschließlich Holz verwendet und dieses lässt sich durch zusammengesteckte Lösungen auch sortenrein wieder trennen. Das schlechteste Ergebnis erzielt die HBV-Decke, da hier der Baustoff Beton in der Regel erst auf der Baustelle eingebracht wird. Je nach Verbindungsart kann es sehr schwierig werden die beiden Hauptkomponenten der HBV-Elemente sortenrein zurückzubauen.

Beim Kriterium Höhe schneiden die HBV- und BSP-Decke am besten ab. Die schlanken, massiven Bauteile haben keine Hohlkörper. Dadurch kann Höhe eingespart werden. Die klassische Holzbalken-Decke weist die größte Höhe auf, da hier, anders als bei Hohlkastenelementen kein direkter Verbund aus Platten und Balken genutzt wird.

Bei der Verfügbarkeit liegt die Holzbalken-Decke hingegen ganz vorne. Die notwendigen Balken und OSB-Platten sind überall in Deutschland erhältlich. Auch BSP-Elemente gehören mittlerweile zum Standardrepertoire großer Holzhandelsunternehmen. Die Verfügbarkeit von HBV-Decken und Hohlkastenelemente steigt immer weiter an. Sie sind allerdings noch nicht so weit verbreitet – auch in der Handhabung nicht – wie einfache BSP-Elemente. Auch für leimfreie Brettstapeldecken steigt die Verfügbarkeit. Aktuell ist diese aber auf 3 – 4 Hersteller in Deutschland begrenzt.

HBV-Decken haben durch ihre Masse sehr gute Eigenschaften im Bezug auf Schallschutz. Durch die Hohlräume, die mit Schüttung gefüllt werden, gilt dasselbe für Hohlkastenelemente. Klassische BSP- und leimfreie BSP-Elemente benötigen hingegen zusätzliche Schüttung auf den Elementen, um die üblichen Schallschutz-Anforderungen zu erfüllen.

Tabelle 13: Bewertungsmatrix Deckensysteme

Systeme	Rückbau- barkeit	Höhe	Verfügbarkeit	Schall- schutz	Brand- schutz
Holzbalken- Decke	+	--	++	-	--
HBV-Decke	-	++	O	++	++
Hohlkasten- decke	O	+	O	++	-
BSP-Decke	+	++	++	O	+
Leimfreie Brettstapel- decken	++	O	--	O	+

Beim Brandschutz schneiden HBV-, BSP- und leimfreie BSP-Decken ähnlich ab. Hohlkastenelemente haben den Nachteil, dass die Hohlräume zwischen den Rippen aus normativen Gründen aktuell noch komplett mit Dämmung oder Schüttung gefüllt sein müssen. Dies kann unpraktisch sein. Bei Holzbalken-Decken sind die Balken verhältnismäßig ungeschützt im Vergleich zu Hohlkastenelementen. Zusätzlich können OSB-Platten bei zu großem Feuereinfluss herunterfallen.

Die Bewertung der Deckensysteme erfolgt anhand folgender Legende. Die einzelnen Deckensysteme werden immer im Bezug zu den anderen Systemen in dem Bereich von -- bis ++ bewertet. Ist ein Deckensystem genauso gut oder schlecht wie ein anderes Deckensystem, wird es mit dem gleichen Wert bewertet. Ist ein kleiner Vorteil gegenüber einem anderen Deckensystem zu sehen, erhält das jeweilige System eine leicht bessere Bewertung, usw.

Legende:

--	Sehr schlecht
-	Schlecht
O	Neutral
+	Gut
++	Sehr gut

4.4 Aussteifungssysteme

Nachfolgend werden, die in Kapitel 2.7, S.61ff vorgestellten Aussteifungssysteme, hinsichtlich mehrerer entscheidenden Kriterien verglichen und bewertet. Die Bewertung erfolgt anhand einer Matrix, die die folgenden Aspekte berücksichtigt: Tragfähigkeit, Brandschutz, Kosten, Nachhaltigkeit und Bauablauf. Diese Kriterien werden im Folgenden näher erläutert.

4.4.1 Tragfähigkeit der Aussteifungssysteme

Die Tragfähigkeit des Aussteifungssystems spielt eine entscheidende Rolle, da es für die Aussteifung und somit auch die Standhaftigkeit und Sicherheit eines Bauwerks verantwortlich ist. Ein Aussteifungskonzept muss so gewählt werden, dass alle auftretenden horizontalen Einwirkungen (Wind, Erdbeben, Schiefstellungen) innerhalb des architektonischen Entwurfs aufgenommen und bis zur Gründung abgetragen werden können. Je größer und vor allem höher ein Gebäude ist, desto größer werden auch die Lasten, die vom Aussteifungssystem abgetragen werden müssen. In Erdbebenzonen können die horizontalen Einwirkungen zusätzlich deutlich ansteigen, was im Aussteifungskonzept unbedingt zu beachten ist.

Im Holzbau ist die Tragfähigkeit im Vergleich zu anderen Materialien am geringsten anzusehen, jedoch kann die Tragfähigkeit im Erdbebenfall durch duktile Anschlussdetails erhöht werden. Hierbei ist auf die richtige Duktilitätsklasse und zulässigen Anschlüsse für Erdbebenlasten zu achten.

Aussteifungskerne aus Beton haben sich in der Vergangenheit in Deutschland bewährt. Sie haben eine hohe Steifigkeit, sodass auch hohe Erdbebenlasten ohne Probleme aufgenommen werden können.

Aussteifungskonzepte mit BSP-Wandscheiben bringen den Vorteil mit sich, dass weniger Eigengewicht generiert wird und somit im Erdbebenfall weniger schwingende Masse vorhanden ist. Die horizontalen Lasten sind somit geringer als bei einem Massivbau aus Beton oder einem Hybridbau.

Fachwerksysteme aus Stahl sind steifer und haben eine höhere Tragfähigkeit als vergleichbare Systeme aus Holz. Sie sind daher vor allem bei großen und hohen Gebäuden effektiv.

4.4.2 Brandschutz bei den Aussteifungssystemen

Der Brandschutz der notwendigen Fluchtwege und Treppenräume ist immer hoch anzusehen, da diese Bauteile im Brandfall am längsten bestehen bleiben müssen. Der notwendige Fluchtweg bzw. Treppenraum wird meist auch mit zur Aussteifung herangezogen, da dieser aufgrund des Brandschutzes wenig Öffnungen aufweisen darf und ein großer Querschnitt mit mindestens drei zusammenhängenden Wandscheiben gewählt wird. Somit sind diese Wände, die sowohl den Treppenraum bilden als auch zur Aussteifung dienen einem höheren Brandschutz zuzuordnen. Der Lastfall aus Erdbeben muss jedoch nicht mit dem Lastfall Brand überlagert werden.

Auch hier haben sich in der Vergangenheit Aussteifungskerne aus Beton in Deutschland bewährt. Der erforderliche Brandschutz für notwendige Treppenräume und den Aufzugschacht kann einfach eingehalten werden. Es müssen lediglich Mindestabmessungen der Wände und Decken eingehalten werden und eine ausreichende Betonüberdeckung der Bewehrung vorgesehen werden.

Im Holzbau werden für den Brandschutz besondere Anforderungen verlangt, da Holz ein brennbares Material ist. Eine übliche Vorgehensweise für den Brandschutz ist es die Brettsperrholzwände im Inneren des Treppenhauses mit nichtbrennbaren Materialien so zu verkleiden, dass kein Abbrand entsteht und eine nichtbrennbare Oberfläche vorhanden ist. Die Wände können aber auch auf Abbrand bemessen werden und mit einem vergrößerten Querschnitt ausgebildet werden. Es sind also aussteifende Wände aus Holz bis zur GK 5 ohne größeren Aufwand umsetzbar.

Stahl ist hinsichtlich des Brandschutzes kritischer anzusehen, da es bei einer bestimmten Temperatur schlagartig versagt. Die meisten Bauteile aus Stahl werden deshalb durch eine Beschichtung geschützt oder ebenfalls mit einem nichtbrennbaren Material verkleidet.

4.4.3 Kosten der Aussteifungssysteme

Kosteneffiziente Bauweisen sind vor allem im Wohnungsbau entscheidend. Hier sind auch die Kosten des Aussteifungssystems besonders zu beachten, da bei diesem besondere Gesichtspunkte wie ein erhöhter Brandschutz, höhere Tragfähigkeiten und Steifigkeiten zu beachten sind. Die Bauteile und Anschlüsse des Aussteifungssystems sind somit oftmals teurer und komplexer als das restliche Tragwerk.

Ein kosteneffizientes Aussteifungssystem zeichnet sich durch ein gutes Materialverhalten bzw. eine hohe Tragfähigkeit gegenüber den horizontalen Lasten und einfachen und effizienten Anschlusspunkten an das Gesamtsystem (Deckenscheiben, Wandscheiben) aus. Außerdem müssen bei den Kosten auch die Montage und ein schneller Bauablauf berücksichtigt werden, da die Personalkosten meist höher sind als die Materialkosten.

4.4.4 Nachhaltigkeit der Aussteifungssysteme

Nachhaltigkeit bezieht sich auf die Umweltverträglichkeit und Ressourceneffizienz der verwendeten Materialien und Konstruktionen. Bei Aussteifungssystemen hat dieses Kriterium derzeit noch einen eher untergeordneten Stellenwert und so werden auch bei Holzbauten die Aussteifungselemente oftmals aus Beton gebaut.

Im Sinne der Nachhaltigkeit sollten aber geeignete Alternativen gefunden werden. Dies kann vor allem mit aussteifenden Brettsperrholzwänden gelingen. Auch Fachwerk-Systeme aus Holz können zukünftig vermehrt zum Einsatz kommen, da diese Systeme sehr ressourceneffizient sind und eine hohe Umweltverträglichkeit aufweisen.

Die Stahlproduktion befindet sich derzeit genauso wie die Zementproduktion in einem Wandel. Es wird versucht den sehr hohen Energiebedarf bei der Produktion der Materialien durch erneuerbare Energien abzudecken. Außerdem werden die Produktionsprozesse immer weiter optimiert und Ressourcen eingespart.

Nichtsdestotrotz ist und bleibt Holz das nachhaltigste der drei Materialien. Es ist ein nachwachsender Rohstoff, der keine produzierte Energie zur Entwicklung des Ausgangsmaterials benötigt.

4.4.5 Bauablauf bei den Aussteifungssystemen

Eine gute und effiziente Baustelle zeichnet sich durch einen zügigen und einfachen Bauablauf aus. Hierbei kann es von Vorteil sein, wenn der Rohbau nur von einem Gewerk ausgeführt werden muss. Kombinationen des Materials beim Rohbau bewirken gewisse Abhängigkeiten von mehreren Gewerken und somit auch einen höheren Abstimmungsbedarf und Planungsaufwand. Ein besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Materialien, also den Anschlusspunkten, zu legen.

Für die Aussteifung werden einige zusätzliche Anschlüsse benötigt, die die lastbringenden mit den lastaufnehmenden Bauteilen verbinden. Die Anschlüsse zwischen Decken- und Wandscheiben aus einem Material lassen sich hierbei einfacher ausführen und der Bauablauf wird durch den Wegfall des Betonbaus (keine Vorfertigung möglich und Trocknungsprozesse) erleichtert.

Außerdem sollte auf einfache und sich wiederholende Anschlüsse geachtet werden. Es sollten möglichst wenig Verbindungsmittel zum Einsatz kommen und steckbare Anschlüsse bevorzugt werden.

4.4.6 Bewertung der Aussteifungssysteme

Nachfolgend werden die vorgestellten Aussteifungssysteme hinsichtlich der vorangegangenen Kriterien verglichen und bewertet.

Aussteifungssysteme aus Stahlbeton können durch ihre hohe Tragfähigkeit und dem einfach umzusetzenden Brandschutz überzeugen. Die Gesamttragfähigkeit bei einer hohen Geschosszahl ist bei Holz-Fachwerk-Systemen begrenzt, jedoch ist die Tragfähigkeit geschossweise bezogen auf den Materialeinsatz besser zu bewerten.

Der Brandschutz bei Stahlbauteilen kann nur durch aufwendige zusätzliche Maßnahmen, wie Anstriche oder Verkleidungen gewährleistet werden. Holzbauteile hingegen können mit einem Abbrand berechnet werden und die Querschnitte dementsprechend größer dimensioniert werden.

Beim Kriterium der Kosten müssen sowohl die Materialkosten als auch die Montagekosten und Anschlüsse berücksichtigt werden. Aussteifungssysteme mit einfachen Anschlüssen, wie z.B. bei BSP-Wandscheiben sind bei der Montage günstiger, jedoch ist das Material an sich teurer. Stahlbeton ist günstiger als Holz und Stahl, jedoch sind hier die Anschlüsse zwischen Holz und Stahlbeton teilweise komplexer. Fachwerksysteme sind zwar materialeffizient und somit bei den Materialkosten günstiger, jedoch sind auch dort aufwendige Anschlüsse mit verschiedenen Materialien notwendig.

Das Kriterium der Nachhaltigkeit wird im Zusammenhang mit der Materialeffizienz und dem GWP (siehe Kapitel 1.3.3) bewertet. Hierbei ist der Stahlbeton aufgrund seiner großen Materialmenge und eines höheren GWP und der Stahl aufgrund des höchsten GWP schlecht zu bewerten. Holz hingegen hat ein sehr geringes GWP und bindet zusätzlich noch CO₂. Fachwerk-Systeme sind zudem noch sehr materialeffizient.

Beim Bauablauf ist eine Vermischung von verschiedenen Gewerken aufgrund der unterschiedlichen Toleranzen kritisch anzusehen. Im Betonbau wird zudem meist auf Ortbeton gesetzt, der eine lange Trocknungszeit und eine aufwendige Schalungsarbeit mit sich bringt. Holzbauteile hingegen weisen einen hohen Vorfertigungsgrad und einen exakten Abbund auf, weshalb die Bauteile auf der Baustelle meist nur noch ineinandergesteckt oder aufgelegt werden.

Die vorherige Bewertung der Aussteifung wird in einer Matrix zusammengefasst. Die einzelnen Systeme werden immer im Bezug zu den anderen Systemen in dem Bereich von -- bis ++ bewertet. Ist ein System genauso gut oder schlecht wie ein anderes System, wird es mit dem gleichen Wert bewertet. Ist ein kleiner Vorteil gegenüber einem anderen System zu sehen, erhält das jeweilige System eine leicht bessere Bewertung usw.

Tabelle 14: Bewertungsmatrix Aussteifungssysteme

Anschlüsse	Tragfähigkeit	Brandschutz	Kosten	Nachhaltigkeit	Bauablauf
Stahlbeton-Kerne	++	++	+	--	--
BSP-Wand-scheiben	O	+	O	+	++
Holz-Fachwerk-System	-	+	--	++	+
Stahl-Fachwerk-System	+	--	-	--	O
Komb. Fachwerk-System	O	-	-	O	-

Legende:

--	Sehr schlecht
-	Schlecht
O	Neutral
+	Gut
++	Sehr gut

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass derzeit in Deutschland die Aussteifungssysteme im Holzbau weitestgehend mit einem Stahlbeton-Kern ausgeführt werden. Dieses System bringt gewisse Vorteile, aber auch deutliche Nachteile mit sich (siehe Tabelle 14).

Zukünftig sollten vermehrt Aussteifungssysteme aus Holz ausgeführt werden, damit mehr Erfahrungswerte entstehen und die Vorteile der breiten Masse sichtbar werden. Die vermeintlichen Nachteile des Holzbaus lassen sich technisch ohne größeren Aufwand lösen. Die Vorgaben und Richtlinien werden bereits angepasst und gelockert, sollten jedoch noch weiter auf einen modernen Holzbau angepasst werden.

4.5 Brandschutz

Wie eingangs im Kap. 2.2.6 (S. 35) erwähnt, wurde sich aufgrund des vermehrten Aufwandes im Brandschutz und der technischen Gebäudeausrüstung für die zu entwickelnden Konzepte für eine Geschossigkeit bis unter die Hochhausgrenze entschieden. Für eine optimale Flächen- und auch Materialausnutzung sollen zudem mindestens 6 Geschosse angestrebt werden. Hieraus resultiert für beide Konzepte eine Einordnung der Gebäude in die Gebäudeklasse 5 (GK5).

Nach der HolzBauRL BW [43] sind in der GK5 feuerwiderstandsfähige Bauteile in Massivholzbauweise zulässig. Hierfür werden die tragenden Bauteile (BSP-Decken, Unterzüge und Stützen) mit Hilfe eines erhöhten Querschnittes gegen Abbrand bemessen. Da das Laubholz eine geringere Abbrandrate im Vergleich zu Nadelholz aufweist, müssen die Querschnitte für den Abbrand nicht so stark überdimensioniert werden. Es können beim Bau mit Laubholz ca. 20 % der zusätzlichen Holzüberdeckung für den Abbrand im Vergleich zum Nadelholz eingespart werden. Hier entsteht ein enormes Einsparpotential beim Material des Rohbaus, wenn man berücksichtigt, dass alle Stützen mit einem 4-seitigen und alle Unterzüge mit einem 3-seitigen Abbrand bemessen werden.

Die Anschlüsse innerhalb des Holzbaus, wie z. B. Unterzug an Stütze oder Stütze an Stütze sind entweder mit einer ausreichenden Holzüberdeckung oder ebenfalls mit einem erhöhten Querschnitt für den Abbrand versehen. Bei reinen Holz-Holz-Verbindungen müssen keine zusätzlichen Verkleidungen der Anschlüsse aus mineralischen Baustoffen (wie z. B. Gipsplatten) verwendet werden. Auch hier kann bei der Holzüberdeckung mit Laubholz im Vergleich zu Nadelholz 20 % des Materials eingespart werden.

Anschlüsse mit Stahlbauteilen oder Balkenträgern hingegen müssen verkleidet bzw. angestrichen werden oder mit einer ausreichenden Holzüberdeckung eingeplant werden. Brandschutztechnische Verkleidungen und Anstriche müssen in regelmäßigen Abständen gewartet und geprüft werden. Hierfür muss schon in der Planung eine Zugänglichkeit im eingebauten Zustand berücksichtigt werden. Alle durchgeführten Brandschutzmaßnahmen und -prüfungen sollten dokumentiert werden, um die Einhaltung der Vorschriften nachweisen zu können. Außerdem bringt dies einen erhöhten Wartungsaufwand mit sich, der bei einem Brandschutz mit Abbrand oder einer Holzüberdeckung nicht nötig ist.

Die aktuelle Richtlinie sieht in der GK5 keine Brandwände und Wände in nötigen Treppenträumen in brennbaren Materialien vor, jedoch wurden schon Projekte besonders auch in Baden-Württemberg (z. B. Buggi 52 [44]) in der GK5 mit Treppenträumen aus Massivholz errichtet. Bei diesen Projekten erfolgte eine enge Abstimmung mit allen Planungsbeteiligten, sowie einzelne Brandversuche und weitere technische oder bauliche Maßnahmen, sodass diese Projekte eine Zulassung im Einzelfall erhalten haben.

Zukünftige Projekte können aus den Erfahrungen dieser bereits umgesetzten Projekte profitieren und eine einfachere und schnellere Genehmigung erhalten. Die Erfahrungen können auch bei der Planung hilfreich sein, da man sich auf die Erkenntnisse und Erfolge der umgesetzten Projekte berufen kann. Außerdem können mit Hilfe dieser Projekte die Richtlinien und Vorgaben im Hinblick auf den Brandschutz im Holzbau stets weiter optimiert und vereinfacht werden.

Für einen Holzbau in Skelettbauweise werden nur wenige Wände vorgesehen, die hauptsächlich für die Aussteifung des Gebäudes und die Trennung der Brandabschnitte benötigt werden. Hierbei ist eine Ausführung der Wände in Massivholzbauweise zu favorisieren, da diese vor allem hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Rückbaubarkeit einen sehr großen Vorteil im Vergleich zu Wänden aus Stahlbeton aufweisen. Auch die Aussteifung eines reinen Holzbaus ist im Vergleich zu einem Hybrid-Bau deutlich einfacher. Ein Holzbau bringt deutlich weniger Eigengewicht mit sich, wodurch die entstehenden horizontalen Lasten durch Erdbeben oder auch Schiefstellungen im Vergleich zum Hybridbau geringer sind. So können z. B. diverse Stahlwinkel entfallen, die die Schublasten der BSP-Deckenscheibe in die Stb.-Wände übertragen würden. Im Holzbau könnten diese Lasten durch eine simple Fräsung und Ausklinkung übertragen werden. Somit können wiederum aufwendige brandschutztechnische Verkleidungen der Stahlwinkel entfallen.

Der Brandschutz im Holzbau ist weiterhin ein wichtiges und entscheidendes Thema, jedoch zeigen die Anpassungen der Richtlinien und Vorschriften der letzten Jahre, dass es immer weniger Hürden und mehr Lösungen geben wird. Die umgesetzten Projekte der jüngsten Vergangenheit zeigen zudem eindrucksvoll, dass dem Holzbau hinsichtlich des Brandschutzes keine Grenzen gesetzt sind und es für alle Anforderungen Lösungswege geben kann.

Eine Ergänzung des Holzbaus durch andere Materialien muss je nach Einsatzgebiet und Aufwand abgewogen werden. Hier ist hinsichtlich des Brandschutzes eine reine Holzbauweise ohne weitere Stahlteile zu favorisieren. Der Einsatz von Stahlbeton für notwendige Fluchtwege und Brandwände ist prinzipiell nicht mehr unumgänglich, jedoch kann hier die Wahl auf Stahlbeton mehr Vor- als Nachteile mit sich bringen.

4.6 Schallschutz

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Bauakustisch betrachtet, weisen die beiden entwickelten Konzepte keine wesentlichen Unterschiede auf. In beiden Fällen erfolgt die Schallübertragung über starre, durchgehende Stützen, die Unterzüge ihrerseits tragen. Die aktuelle Planung sieht keine elastischen Zwischenlagen vor. In Anbetracht dessen und angesichts fehlender Untersuchungen zum Übertragungsverhalten einzelner Tragglieder können lediglich allgemeine Angaben gemacht und der Bedarf für weitere Forschung identifiziert werden. Fast alle bauakustischen Prüfzeugnisse im Holzbau beziehen sich aufgrund des nahezu ausschließlichen Marktanteils auf Nadelholz. Die Bewertung von hochfesten Laubhölzern ist aufgrund ihres geringen Marktanteils bislang nicht oder nicht ausreichend untersucht worden. Gleiches gilt für Skelettbauweisen in Bezug auf die Bauakustik. Diese Bauweisen zeichnen sich hauptsächlich durch eine linienförmige Lagerung auf Balken und in ausgewählten Rastern auf Stützen aus. Nahezu alle bauakustischen Prognosemodelle wurden für die Fügung von flächigen Bauteilen entwickelt. Vor diesem Hintergrund basieren die nachfolgenden Einschätzungen auf Messerfahrungen und noch in der Forschung befindlichen Erkenntnissen.

4.6.1 Vertikale Übertragung im Bereich der Wände

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Eine schallharte Verbindung stellt stets die bauakustisch kritischste Situation dar. Die Berechnung der Situation mit flankierenden Massivholzwänden ist derzeit nach den in „Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung“ [63] und in „Neue Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung“ [64] dargestellten Verfahren möglich. Für die flankierenden Massivholzwände ergibt sich bei einer Flankenlänge von etwa 5 m je Raum und einer Trennbauteilfläche von 15 m² sowie ohne zusätzliche Entkopplung ein Trittschallpegel für die flankierende Übertragung von $L_{n,f,ij,w} \approx 43$ dB.

Wird die derzeit in DIN 4109-2 [65] geforderte Prognoseunsicherheit von 3 dB berücksichtigt und addiert man die Decke sowie weitere flankierende Bauteile hinzu, so kann in Räumen mit flankierenden Massivholzwänden die Klasse BASIS+ oder der Mindestschallschutz erreicht werden. Ohne zusätzliche Maßnahmen lassen sich jedoch höhere Anforderungen nicht darstellen. Normativ erhöhte Anforderungen oder die Anforderungen der Klasse KOMFORT gemäß „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen“ [47] sind in solchen Räumen ohne zusätzliche Verbesserungsmaßnahmen nicht zu erfüllen.

Bezüglich der flankierenden Übertragung von Trittschall ist festzuhalten, dass linienförmige Wände im Hinblick auf die flankierende vertikale Trittschallübertragung bewertet werden können.

4.6.2 Vertikale Übertragung im Bereich der Unterzüge und Stützen

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Im Gegensatz dazu gestaltet sich der Sachverhalt bei punktförmiger Lagerung auf im Prinzip durchgehende Stützen ganz anders. In Abbildung 45 wird deutlich, wie die Anschlüsse um die Stützen und Unterzüge ausgeführt werden können. Für diese Lagermethode liegen bislang lediglich erste vereinfachte, jedoch noch nicht abgeschlossene Untersuchungen vor.

Bei Balkenkonstruktionen mit Unterdecken wurde bei einer Stütze mit einem Querschnitt bis 160/160 mm ein Normflanken-Trittschallpegel $L_{n,f,ij,w}$ von etwa 40 bis 42 dB gemessen. Massivholzdecken mit hochwertigen Deckenkonstruktionen wie Aufbau 2 und Aufbau 4 könnten leicht geringere Pegel aufweisen. Hierbei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Messungen an Stützen aus Nadelholz durchgeführt wurden. Bei der Verwendung von Stützen und Unterzügen mit deutlich höheren Festigkeitswerten ist mit vergleichsweise höheren Pegeln zu rechnen.

Derzeit können zu dieser Art der Übertragung keine gesicherten Erkenntnisse präsentiert werden. In Fach- und Verkehrskreisen besteht jedoch großes Interesse an der Durchführung weiterer Untersuchungen zu diesem Thema. Aus ersten Voruntersuchungen lassen sich folgende approximative Empfehlungen für das Unterzug-Stützen-System formulieren:

- Bei einer sichtbaren Stütze im Raum sind die Mindestanforderungen sowie die Klasse BASIS+ zu erreichen. Dies gilt für die Aufbauten 2 und 4 gemäß Tabelle 7 und Tabelle 9.
- Wenn eine zusätzliche Massivholzwand ohne weitere Verbesserungen im Raum vorliegt, sind die Stützen mit einer freistehenden Vorsatzkonstruktion zu versehen.
- Erhöhte Anforderungen wie die nach DIN 4109-5 oder KOMFORT nach „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen“ [47] sind nur mit Zusatzmaßnahmen erreichbar. Dies gilt insbesondere für den Aufbau 3 (gemäß Tabelle 8) aber auch die Aufbauten 2 und 4 (gemäß Tabelle 7 und Tabelle 9).

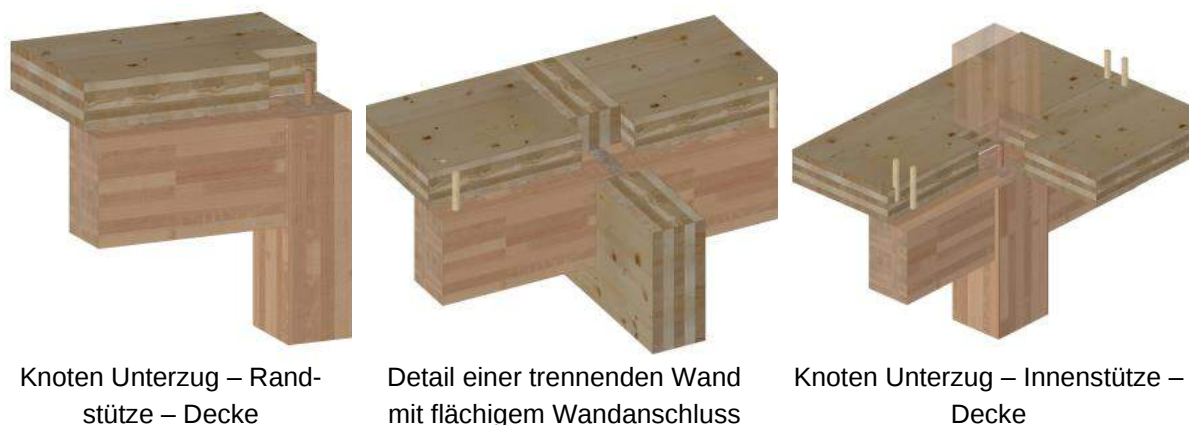


Abbildung 45: Unterschiedliche Anschlusssituationen für Knotenpunkte

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im bauakustischen Kontext die Skelettbauweise derzeit nur unzureichend bewertet werden kann. Erste Ansätze, die allerdings noch nicht ausreichend sind, wurden in „Fassadenelemente für Hybridbauweisen“ [66] und „Schallschutz im Hybridbau am Beispiel eines MFH mit Massivholzwänden und Stahlbetondecken“ [67] vorgestellt. Weiterhin hat der Autor eine noch nicht veröffentlichte Messserie zur Einschätzung der Situation herangezogen. Die bisher begrenzten Ergebnisse beziehen sich vornehmlich auf Tragglieder, die aus Nadelholz gefertigt sind. In Bezug auf die Verwendung von Traggliedern aus steiferen und festeren Laubhölzern fehlen bislang jegliche Erfahrungswerte, was auf einen erheblichen Forschungsbedarf in diesem Bereich hinweist.

4.6.3 Horizontale Übertragung bei Decken als flankierendes Bauteil

Dieses Kapitel wurde von dem Mitautor Adrian Blödt vom Ingenieurbüro Blödt verfasst.

Für eine flexible Nutzung von Grundrissen ist es entscheidend, die Möglichkeit zur beliebigen Anordnung von Trennwänden innerhalb eines Grundrisses zu gewährleisten. Im vorhergehenden Abschnitt wurde die Decke stets als trennendes Bauteil betrachtet. Jedoch ändert sich diese Rolle bei einer flexiblen Platzierung von Trennwänden: Die Decke fungiert dann als flankierendes Bauteil an der Trennwand. Der Fall flankierende Decke in Massivholzbauweise erfordert eine besondere Betrachtung, insbesondere dann, wenn über den nichttragenden leichten Trennwänden keine Trennschnitte ausgeführt werden können.

Ähnlich kritisch ist die Situation am Boden, wenn der Estrich durchgängig verlegt ist. Hier müsste im Falle einer Umnutzung entweder der Estrich geöffnet werden, sodass die Wand bis zur Rohdecke geführt wird, oder es ist ein vollständiger Trennschnitt im Estrich vorzusehen. In diesem Abschnitt soll jedoch ausschließlich der Fall der Decke betrachtet werden, da nachträgliche Trennschnitte in der Deckenkonstruktion nicht realisierbar sind, siehe Abbildung 46.

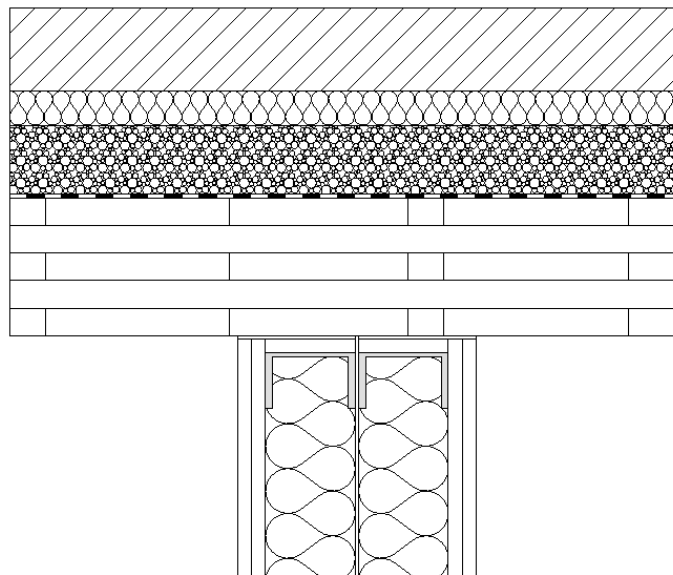


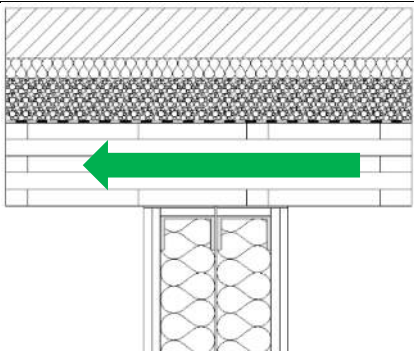
Abbildung 46: Beispielhafte Übertragungssituation an einer flankierenden Decke mit trennender Leichtbauwand ohne Trennschnitt in der Decke

Bei Gebäuden, die mit Decken in Massivholzbauweise errichtet sind, hat sich die Deckenflanke als kritischer Punkt herausgestellt. Normalerweise sind hier Trennschnitte erforderlich. Wenn jedoch aus statischen oder konstruktiven Gründen, oder wie in diesem Fall aufgrund der erforderlichen Nutzungsflexibilität, keine Trennschnitte möglich sind, können bei den Trennwänden lediglich Mindeststandards erreicht werden. Für Trennwände zwischen fremden Wohn- und Nutzungseinheiten muss gemäß DIN 4109-1 [46] ein Schalldämm-Maß von $R'_{w} \geq 53$ dB garantiert werden. Die in Abbildung 46 gezeigte Leichtbauwand erzielt ein Schalldämm-Maß von $R_w \geq 62$ dB und spielt daher bei der Bewertung der Schallübertragung nur eine untergeordnete Rolle. In der Regel stellt die flanierende Decke ohne Trennschnitt den dominierenden Übertragungspfad dar. Die Schallübertragung entlang der Flanke setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Schalldämm-Maß der Rohdecke ohne Estrichaufbau $R_{i,w}$
- Verbesserung an der Decke z. B. durch Unterdecken ΔR_w
- Stoßstellendämm-Maß an der Fügestelle K_{ij} (Das Stoßstellendämm-Maß beschreibt das Vermögen an einer „Störung“ Bauteilfügung die Übertragung von Körperschall zu mindern. Die Messung des Stoßstellendämm-Maßes erfolgt nach DIN EN ISO 10848-1. Anhaltswerte für das Stoßstellendämm-Maß verschiedener Ausführungen befinden sich u.a. in „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen“ [47].)
- Geometrie an der Flanke Verhältnis aus Trennbauteilfläche zu Kantenlänge

In Tabelle 15 sollen die Berechnungen des Flankenschalldämm-Maßes für den Fall der Decke dargestellt werden, wobei sowohl Brettsper Holz als auch Rohdeckenbeschwerung bei allen Deckentypen einheitlich ausgeführt werden. Im Anschluss daran erfolgt eine Bewertung dieser Ergebnisse.

Tabelle 15: beispielhafte Berechnung des Flanken-Schalldämm-Maßes an der Deckenstoßstelle ohne Trennschnitt bei der nachträglichen Anordnung leichter Trennwände

Stoßstelle	Ein-gangs-daten	Zahlenwert / Berechnungsergebnis	Bewertung / Kommentar
	$R_{i,w}$	53,8 dB	Schalldämm-Maß Sendeseite
	$R_{j,w}$	53,8 dB	Schalldämm-Maß Empfangsseite
	ΔR_w	0 dB	Verbesserung durch Unterdecken nicht vorhanden
	K_{ij}	3 dB	Für Decken ohne Trennschnitt
	l_{ij}	4,16 m	Kopplungslänge
	S_s	10 m ²	Trennbauteilfläche 2,40 x 4,16 m
	$R_{Ff,w}$	60,8 dB	

In Tabelle 15 wird die Berechnung des Flankenschalldämm-Maßes erläutert. Bei der Bestimmung von R'_w sind in der Regel drei weitere flankierende Bauteile sowie das Schalldämm-Maß der Wand zu berücksichtigen. Beispielrechnungen haben gezeigt, dass bei typischer Flankenführung und einem $D_{n,f,w}$ von mindestens 62 dB sowie der Einbindung der Wand in den Estrich am Boden der Mindestschallschutz gewährleistet ist. Erhöhte Anforderungen können lediglich erfüllt werden, wenn an den flankierenden Bauteilen sehr hochwertige Vorsatzkonstruktionen installiert und die Rohdeckenbeschwerung der Decke auf 140 kg/m² erhöht wird.

Besondere Beachtung ist auch den Stoßfugen der Massivholzelemente zu schenken. Es ist zu beachten, dass Fugen (durch die endliche Elementbreite verursacht) nicht ohne zusätzliche luftdichtende Maßnahmen über eine nachträglich eingebrachte Trennwand verlaufen dürfen. Die zuvor genannten Ausführungen gelten für Decken ohne zusätzliche Unterdecke. Im Falle einer Unterdecke unter der Massivholzoberfläche besteht die Möglichkeit, Trennwände flexibel anzuordnen. Dabei ist jedoch sicherzustellen, dass eine Einbindung in die Unterdecke erfolgt. Zudem müssen eventuell verbleibende Hohlräume mit einem Absorberschott aus faserigem Dämmstoff geschlossen werden.

Der Sonderfall an der Dachflanke im letzten Geschoss bei einem Flachdachaufbau erfordert stets eine gesonderte Betrachtung. In der Regel ist es hier nicht möglich, die Rohdeckenbeschwerung direkt auf der Decke auszuführen. Daher hat es sich als vorteilhaft erwiesen, eine Unterdecke zu installieren. Eine Ausführung ohne zusätzliche Maßnahmen wie Trennschnitte ist aufgrund des fehlenden Gewichts der Rohdeckenbeschwerung nicht möglich.

4.7 Erkenntnisse aus Experteninterviews

Im Folgenden werden die aus den in Kapitel 3, S.68ff erläuterten Experteninterviews gewonnenen Erkenntnisse über Potenziale und Hindernisse der Holz- und Holzskelettbauweise dargestellt. Zusätzlich werden die Erkenntnisse bewertet und Vorschläge erläutert, wie diese in Holzbauweisen genutzt werden können.

Tabelle 16 führt die Nutzungsmöglichkeiten der Potenziale von Holzskelettbauweisen auf.

Tabelle 16: Potenzialnutzung

Potenzial	Nutzung
Nachverdichtung	Erweitern von eingeschossigen Einzelhandelsmärkten mit großen Stellplatzflächen durch multifunktionale Gebäude. Kombination von Wohnungen, Büros, Einzelhandelsmärkten und Stellplätzen.
Optimale Grundflächennutzung durch schlanke Bauweise	Optimiertes Stützenraster und passende Materialauswahl für Tragwerke können schlankere Stützen generieren. So kann die Grundfläche optimal ausgenutzt werden.
Vorfertigung	Holz-Konstruktionen bieten ein hohes Maß an Vorfertigung. Einzelbauteilfertigung in witterungsgeschützten Hallen schützt das Holz präventiv gegen wetterabhängige Schäden auf der Baustelle.
Verkürzte Bauzeit	Durch die Vorfertigung wird Zeit auf der Baustelle für Rohbau minimiert. Einfachheit der Konstruktion mit steckbaren Bauteilen spart zusätzliche Montagezeit. Gewerke werden nicht vermischt und Wartezeiten werden reduziert.
Baukosten	Gesamtkosten für Rohbau aus Holz können minimal höher ausfallen als bei einer Konstruktion aus Beton. Dies wird in Kapitel 5.7, S.161 und Kapitel 6.7, S.190 detailliert erläutert.
Rückbaubarkeit	Holzbaukonstruktionen unter Verwendung von zimmermannsmäßigen Verbindungen ermöglichen ein hohes Maß an Rückbaubarkeit und eine sortenreine Trennung der Baustoffe.
Optimale Nutzung des Baustoffes	Durch optimale Auswahl und Anordnung verschiedener Holzbauprodukte kann der Baustoff Holz effizient eingesetzt werden.

Vergleicht man die Lösungsansätze der befragten Experten mit den Herangehensweisen in diesem Forschungsprojekt, stellt man fest, dass diese in den meisten Fällen übereinstimmen. So werden markante Hindernisse wie Schall- und Brandschutz ausführlich betrachtet oder frühzeitig Rücksprache mit externen Fachleuten gehalten. In Kapitel 4.5, S.106 und Kapitel 4.6, S.108 wird die Herangehensweise bezüglich des Schall- und Brandschutzes genauer erläutert.

Die Experten schlagen vor, Bauteilkataloge zu pflegen, diese weiter auszuarbeiten und weitere Beispielprojekte zu realisieren. Dieses Forschungsprojekt bringt Details hervor, welche zukünftig als Standarddetails verwendet und in Bauteilkataloge integriert werden können. So werden Wissenslücken geschlossen und Planungshilfen geschaffen.

Um statische Grenzen des Holzbaus zu überwinden oder die Umstrukturierung des deutschen Waldes nutzen zu können, führen die Experten die Verwendung von Laubholz auf. Um die Verfügbarkeit des Baustoffes Holz sicher zu stellen, ist die Weiterentwicklung des Einsatzes von Laubholz notwendig. So sollten Konzepte entwickelt werden, in denen Laubholz möglichst effizient einsetzbar ist. In Kapitel 2.1, S.18 wird näher auf das Thema Laubholz und in Kapitel 2.1.4, S.23 spezifisch auf die Nutzung eingegangen.

Aus dem von den Experten aufgeführten Thema der Rückbaubarkeit von Gebäuden, kann man wichtige Erkenntnisse bezüglich zukünftiger Projekte gewinnen. Die Bearbeitung der einzelnen Bauteile sollte möglichst einfach und ohne größere Anpassungen ausgeführt werden. So kann nach einem möglichen Rückbau des Objektes ein Großteil der verwendeten Bauteile mit vollem Querschnitt wiederverwendet werden. Zudem fällt während der Produktion wenig Verschnitt an. Das Forschungsprojekt bedient diese Erkenntnisse. Zusätzlich wurde auf die Verwendung von Stahlbauteilen und Schraubverbindungen verzichtet, um die Rückbaubarkeit weiter zu erleichtern.

In Kapitel 3.4, S.76 wird Holz von einzelnen Experten als begrenzter Rohstoff betitelt. Der deutsche Wald ist allerdings per Gesetz so konzipiert, dass nie mehr Holz aus dem Wald geerntet werden darf als nachwächst. Durch die parametrische Betrachtung (Kapitel 5.2.1, S.127) kann gewährleistet werden, dass der Rohstoff Holz effizient eingesetzt wird und keine Überdimensionierung zu einem verschwenderischen Verbrauch führt.

Einige Experten sind der Meinung, dass sich der Holzskelettbau im Wohnungsbau nicht eignen würde. In Kapitel 5.2, S.127 und Kapitel 6.2, S.179 wird allerdings deutlich, dass durch eine sinnvolle Auswahl des Stützenrasters sowohl Wohn- als auch Bürobauten umsetzbar sind. Besonders das Potenzial der flexiblen Grundrissgestaltung spielt dabei eine wichtige Rolle. Ebenso wirkt sich die Tatsache, dass sich eine Holzskelettbauweise sehr gut für Aufstockungen handelt und das geringe Gewicht von Holz höhergeschossige Bauwerke bei niedrig bleibenden Eigengewichten ermöglicht, positiv auf die Schaffung von Wohnraum und Bürogebäuden aus.

Ebenso war sich der Großteil der befragten Experten einig, dass Holzbauweisen im Allgemeinen teurer als konventionelle Bauweisen sind. Der Vergleich des Forschungsprojektes in Holzskelettbauweise mit derselben Rohbau-Konstruktion aus Beton zeigt, dass die Gesamtkosten des Rohbaus der Holzskelettbauweise nur 1-3 % teurer sind als die aus Beton. Genauer wird darauf in Kapitel 5.7, S.161 und Kapitel 6.7, S.190 eingegangen.

Zusammenfassend lässt sich darstellen, dass die von den Experten als Hindernisse aufgeführten Punkte durch eine sinnvolle und frühzeitige Betrachtung ebendieser gelöst werden können. So ist zum Beispiel der effiziente Einsatz von Laubholz sinnvoll um gewisse Hindernisse wie die beschränkte Tragfähigkeit und den sich wandelnden deutschen Wald zu überwinden. Unter Berücksichtigung der aufgeführten Lösungsvorschläge lassen sich die Potenziale der Holz- und Holzskelettbauweise gut nutzen.

4.8 Zwischenfazit

Durch die Erkenntnisse aus der Recherche und der Auswertung der Grundlagen, wurde sich im Zuge des Projektverlaufs für zwei verschiedene Konzepte entschieden. Diese unterscheiden sich hauptsächlich in den Anwendungsgebieten bzw. in den vorgesehenen Nutzungen und in der Herangehensweise der Materialauswahl und Bemessung.

Für beide Konzepte werden die Materialien entsprechend ihrer Vor- und Nachteile angewendet, sodass eine optimale Materialnutzung angestrebt wird. Außerdem werden die Bauteile und Anschlüsse beider Konzepte so entwickelt, dass eine hohe Rückbaubarkeit und Wiederverwendung der Bauteile erreicht wird. Die Bauteile werden möglichst simpel gehalten und ein hoher Wiederholungsgrad angestrebt, sodass die Montage und Fertigung schnell und kosteneffizient sind.

Das Konzept 1 wird auf eine Nutzung von Wohn- und Büroflächen ausgelegt. Diese Kombination von den zwei wichtigsten Nutzungen eines Bauwerks bringt großes Potenzial für eine breite Anwendung insbesondere im urbanen Raum mit sich.

Hierbei wurde ein parametrisches Excel-Tool entwickelt, welches in Kapitel 5.2.1 ab Seite 127 genauer erklärt wird. Es wurde ein Stützenraster entwickelt, welches eine bestmögliche Materialausnutzung anstrebt und trotzdem die architektonischen Belange einer Wohn- und Büronutzung berücksichtigt.

Die Anschlüsse beim Konzept 1 werden nach den Erkenntnissen der vorangegangenen Kapitel als zimmermannsmäßige Holz-Holz-Verbindungen vorgesehen. Die Aussteifung wird ebenfalls aus Holz und mit zimmermannsmäßigen Verbindungen geplant.

Beim Konzept 2 wird eine Mischnutzung aus Wohnen, Büro, Einzelhandel und Parken berücksichtigt. Das Konzept wurde auf Grundlage der Nachverdichtung im urbanen Raum entwickelt. Zukünftig sollten Flächen im städtischen Raum bestmöglich genutzt werden und eine flexible Umgestaltung über einen sehr langen Zeitraum möglich sein. Das multifunktionale Konzept kann so z. B. eingeschossige Einzelhandelsflächen und deren PKW-Stellplatzflächen ersetzen und bietet auf dem gleichen Raum mehr Nutzungsmöglichkeiten. Es geht von etagenweisen unterschiedlichen Nutzungen aus, die über einer Tiefgarage oder ebenerdiger Parkebene angeordnet sind. Das Stützenraster wurde so ausgelegt, dass die Stützen bis zur Parkebene durchgezogen werden können und keine zusätzliche Abfangebene aus Stahlbeton oder Stahl nötig wird.

Aufgrund der hohen Spannweite wurde sich als Träger zwischen den Stützen für einen liegenden Holz-Unterzug entschieden, der eine große lichte Raumhöhe zulässt. Dieser Unterzug wird auf einen neu entwickelten „Waagebalken“ aus Furnierschichtholz aufgelegt, sodass weiterhin ein steckbares System möglich ist.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Konzepte vertieft beschrieben und erläutert.

5 Konzept 1 – Materialeffizientes Stützenraster

Das erste Konzept stellt ein innovatives Tragwerkskonzept für moderne Wohngebäude in urbanen Räumen dar. Es umfasst Regeln für die Stützenabstände, die Materialwahl für Stützen, Unterzüge und Decken und bietet einen Detailkatalog zur optimierten Auswahl der Anschlussdetails.

Um die Nutzungszeit zu verlängern und ein Gebäude entsprechend nachhaltiger zu planen, wurde dafür der gesamte Lebenszyklus eines solchen Wohngebäudes betrachtet. Es hat sich gezeigt, dass mehrere Nutzungen gemeinsam berücksichtigt werden müssen. Dies liegt daran, dass die Nutzungszeit eines Gebäudes über 50 Jahre beträgt. In dieser Zeit können sich am Standort und im Umfeld des Gebäudes diverse Änderungen ergeben, die Einfluss auf das Gebäude haben. Dies betrifft die gebaute Umwelt, die städtebaulichen Rahmenbedingungen, aber auch gesellschaftliche Entwicklungen. Um zu vermeiden, dass ein Gebäude leer stehen muss, weil es nicht an die geänderten Anforderungen angepasst werden kann, wurde das Konzept 1 entwickelt. Das Konzept berücksichtigt sowohl eine Wohn- als auch eine Büronutzung. Die Idee ist, das Tragwerk möglichst effizient und kostengünstig zu gestalten und trotzdem maximale Flexibilität und Umnutzungsmöglichkeiten im Gebäude zu garantieren. Auf eine Tiefgarage und eine Unterkellerung sollte im Zuge der Nachhaltigkeit verzichtet werden. Hierfür ist es die Aufgabe der Politik die Weichen zu stellen, indem die nachzuweisende Anzahl an Stellplätzen reduziert wird und Quartiere mit zukunftsweisenden Mobilitätskonzepten geplant werden. Notwendige Quartiersgaragen können sich unter Gebäuden befinden, die mit dem Konzept 2 umgesetzt werden. Dort wurde eine Lösung entwickelt die Anforderungen einer Parkgarage in das Tragwerk zu integrieren und gleichzeitig auf eine aufwendige Abfangebene zu verzichten.

Der Materialverbrauch der Tragkonstruktion spielt bei der Findung des Stützenrasters für das Konzept 1 eine entscheidende Rolle. Dazu wurden mit einem parametrischen Modell Hunderttausende Lösungen verglichen und bewertet (siehe Kapitel 5.2.1, S. 127). Die Lösungen unterscheiden sich in den Spannweiten, Materialien bzw. Festigkeitsklassen und Art der Anschlüsse voneinander. Jede Lösung stellt dabei eine mögliche Kombination der genannten Parameter dar. In die Bewertung der Lösungen fließen der Materialverbrauch, die Nachhaltigkeit und Rückbaubarkeit und die Kosten mit ein. So können am Ende die relevantesten und wirtschaftlich besten Lösungen aus der Masse an möglichen Kombinationen herausgefiltert werden.

Die gewählte Lösung ist in Tabelle 17 dargestellt. Die Rahmenbedingungen und Details werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert.

Ausführliche Pläne und Detailzeichnungen des Konzeptes sind im Anhang des Berichts zu finden.

Tabelle 17: Konzept 1

Beschreibung	Wert
Spannweite der Unterzüge (L_x)	4,20 m
Spannweite der Decken (L_y)	3,60 m
Material der Unterzüge	SSH GL40 Buche
Material der Stützen	SSH GL40 Buche
Material der Decken	C24 Nadelholz
Querschnitt der Regelgeschossunterzüge	b/h = 20/32 cm
Querschnitt der Dachunterzüge	b/h = 18/32 cm
Querschnitt der Regelgeschosdecken	BSP_140_L5s_40l-20w-20l-20w-40l
Querschnitt der Dachdecken	BSP_110_L3s_40l-30w-40l
Querschnitt der Stützen im EG bis 1.OG	b/h = 24/28 cm
Querschnitt der Stützen im 2.OG bis 6 OG	b/h = 24/24 cm
Querschnitt der Stützen im 7.OG	b/h = 20/20 cm
Querschnitt der Randstützen im EG bis 7.OG	b/h = 20/24 cm
Brandschutzanforderungen tragender Bauteile	REI 90
Gewählte Ausbaulast	$\Delta g_k = 2,70 \text{ kN/m}^2$
Gewählte Nutzlast	$q_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$

5.1 Gewählte Rahmenbedingungen

Um mittels eines parametrischen Modells ein optimales Stützenraster zu finden, müssen gewisse Rahmenbedingungen gesteckt werden. Diese Bedingungen ergeben sich vor allem aus konstruktiven, architektonischen, statischen und normativen Anforderungen. Es wurden aber zusätzlich auch architektonische, haustechnische, bauphysikalische und städtebauliche Randbedingungen berücksichtigt. Dadurch kann gewährleistet werden, dass eine Lösung gefunden wird, die alle Disziplinen und Kriterien gleichermaßen abdeckt und befriedigt.

Zusätzlich wurde untersucht, wo Kompromisse eingegangen werden können und welche Anforderungen wichtiger und weniger wichtig sind.

Nachfolgend werden die gewählten Rahmenbedingungen erläutert und begründet.

5.1.1 Nutzung

Im Kapitel 2.2 wird der Begriff des „urbanen Wohnungsbaus“ erläutert. Es zeigt sich, dass der urbane Wohnungsbau der Zukunft flexibel und wandelbar sein muss. Das bedeutet, dass sich Wohnungsgrößen und -aufteilungen an veränderte Bedürfnisse anpassen können. Darüber hinaus ist eine wachsende Tendenz zur Umnutzung von Gebäuden zu beobachten. Dabei wird ein Gebäude so umgebaut, dass es einer neuen Nutzung zugeführt wird. Diese Möglichkeit sollte bei urbanen Wohnbauten unbedingt berücksichtigt werden, da innerstädtische Flächen äußerst wertvoll sind und zukünftige Entwicklungen der folgenden 50 bis 100 Jahre innerhalb eines Quartiers oder Stadtviertels schwer vorhersehbar sind.

Ein zentrales Ziel im Sinne der Nachhaltigkeit ist es, den Lebenszyklus eines Gebäudes, das nach dem Konzept 1 gebaut wird, so lange wie möglich zu gestalten. Ein langer Lebenszyklus trägt zur Ressourcenschonung bei und reduziert die Notwendigkeit für Abriss und Neubau.

Dies spart Kosten und reduziert den ökologischen Einfluss über die benötigte graue Energie eines Gebäudes signifikant. Um dies zu erreichen, muss das Gebäude in seiner Nutzung flexibel sein. Aus diesem Grund wurde eine Skelettkonstruktion gewählt, bei der keine tragenden Innenwände vorhanden sind. Dies bietet den Vorteil, dass die Fläche jedes Stockwerks, die durch tragende Bauteile blockiert wird, auf ein Minimum reduziert wird. Alle Innenwände, mit Ausnahme derer, die Teil des aussteifenden Kerns sind, werden nichttragend ausgeführt und können dadurch leicht entfernt oder verschoben werden. Dadurch wird die Anzahl an festen Strukturelementen, die die architektonische Raumaufteilung einschränken könnten, drastisch verringert.

Ein derartiges Gebäude wäre jedoch nicht flexibel genug, wenn nicht auch bestimmte Rahmenbedingungen, die sich aus den Nutzungskonzepten ergeben, berücksichtigt würden. Das Ziel ist nicht nur, flexibles Wohnen zu ermöglichen, sondern auch eine effektive Nutzung als Bürofläche zu gewährleisten. In dieser Hinsicht ist die Reduzierung des Tragwerks auf das Wesentliche besonders vorteilhaft. Nicht ohne Grund werden die meisten Bürogebäude als Skelettbauten ausgeführt [49]. Büronutzungen erfordern oft eine noch höhere Flexibilität als Wohnungsgrundrisse, da sich Arbeitsumgebungen und Bürostrukturen oft schneller ändern als Wohnbedarfe. Unterschiedliche Bürotypen – von Einzel- und Zweierbüros bis hin zu Großraumbüros und Konferenz- und Pausenräume – müssen flexibel umgesetzt werden können (siehe Abbildung 47). Da sich Firmenstrukturen oder Mieter in Bürogebäuden oft ändern, ist es wichtig, ohne großen Aufwand zwischen diesen Bürotypen wechseln zu können. Dies wird durch die Minimierung von Fixpunkten wie tragenden Wänden und festen Sanitärbereichen ermöglicht.

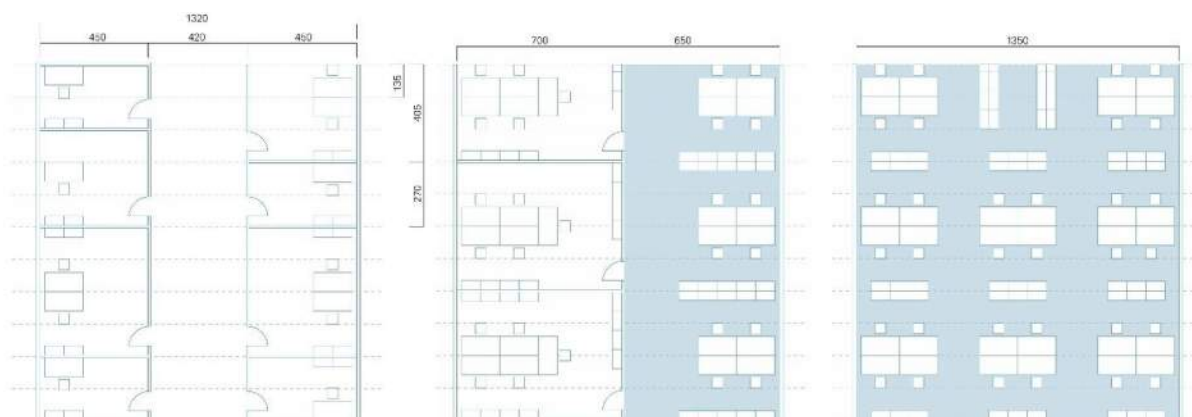


Abbildung 47: Grundrissbeispiele für Zellen-, Gruppen- und Großraumbüros [49]

Die unterschiedlichen Nutzungen von Wohn- und Büroflächen bringen jedoch auch verschiedene Anforderungen mit sich. Zum Beispiel muss die Deckenhöhe bei der Büronutzung in der Regel größer sein als bei Wohngebäuden, um eine angenehme Arbeitsumgebung zu schaffen. Zudem müssen bestimmte Rastermaße eingehalten werden, um eine effiziente Platzierung von Einzel- und Gruppenbüros sowie von Konferenzräumen mit Mobiliar zu ermöglichen. Aus der Wohnnutzung ergeben sich dagegen andere Anforderungen, wie etwa an den Stützenabstand, der durch typische Möbelkonfigurationen wie Betten, Küchen und Bäder vorgegeben wird. Die Tiefe eines Gebäudes beeinflusst außerdem maßgeblich die prozentual zur Grundrissfläche zur Verfügung stehende Fensterfläche. Dies ist sowohl für Büro- als auch Wohngebäude sehr wichtig.

Die Bedingungen, die sich aus der Wohn- und Büronutzung ergeben, sind nachfolgend aufgelistet erläutert. Abschließend werden die konkreten Werte in Tabelle 18 auf Seite 121 zusammengefasst.

BÜRO

Anforderungen aus der Büronutzung [49]:

- Eine Mindest-Raumhöhe von 3,00 m bei einer Fläche von mehr als 100 m²
- Eine Grundrisstiefe von ca. 13,50 m (Gebäudebreite) für zweibündige (1 Flur) und dreibündige (2 parallele Flure) Büroanordnungen
- Berücksichtigung der Büroachsmaße (Ausbauraster) von 110 cm, 120 cm, 135 cm oder 150 cm (siehe Abbildung 48)

Das kleinste Ausbauraster von 110 cm wurde aufgrund der damit verbundenen Kleinteiligkeit und der höheren Kosten nicht weiter berücksichtigt. Stattdessen wurden für die Spannweiten der Decken und Unterzüge Vielfache der Rastermaße von 120 cm, 135 cm und 150 cm berücksichtigt. Diese Spannweiten sind vor allem für die Längsrichtung des Gebäudes entscheidend. Also die Seiten, die auch am meisten Fassadenflächen generieren.

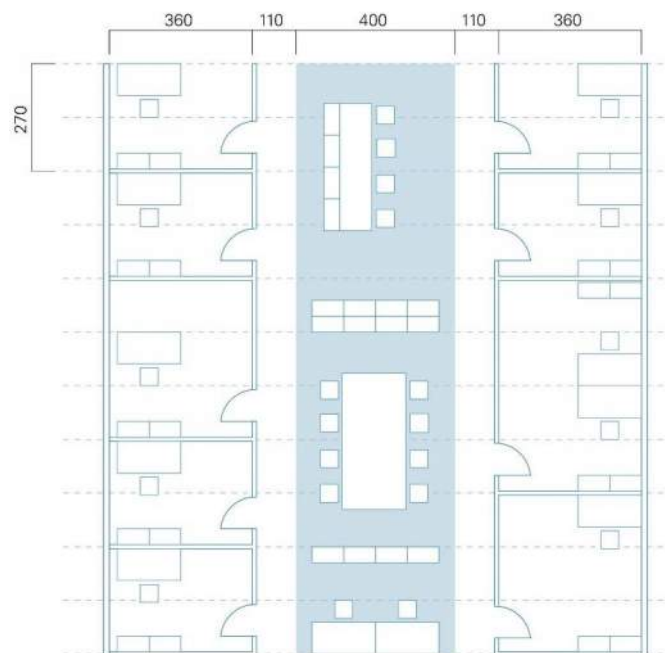


Abbildung 48: Beispiel für dreibündige Büroanordnung [49]

Für das Rastermaß in der Gebäudebreite spielen andere Faktoren eine Rolle, insbesondere die Raumlänge, die den Einfall von natürlichem Licht beeinflusst. Aus Gesprächen mit den Architekten der blrm Architekt*innen GmbH wurde deutlich, dass eine Raumtiefe von maximal 3,80 m praktikabel ist, um ausreichend Tageslicht in die Räume zu lassen [68].

WOHNEN

Viele Anforderungen aus der Wohnnutzung leiten sich von den typischen Raumgrößen ab, die selbst kleine Wohnungen umfassen. Dazu gehören etwa das Schlafzimmer, eine Küchenzeile, ein Sofa mit Beistelltisch sowie ein Badezimmer (siehe Abbildung 49). Diese Räume stellen spezifische Anforderungen an die Raumgröße und -tiefe, aber auch an ihre Platzierung innerhalb des Gebäudes. Es ist entscheidend, dass die meisten Räume ausreichend belichtet werden und genügend Platz für die Möblierung bieten.

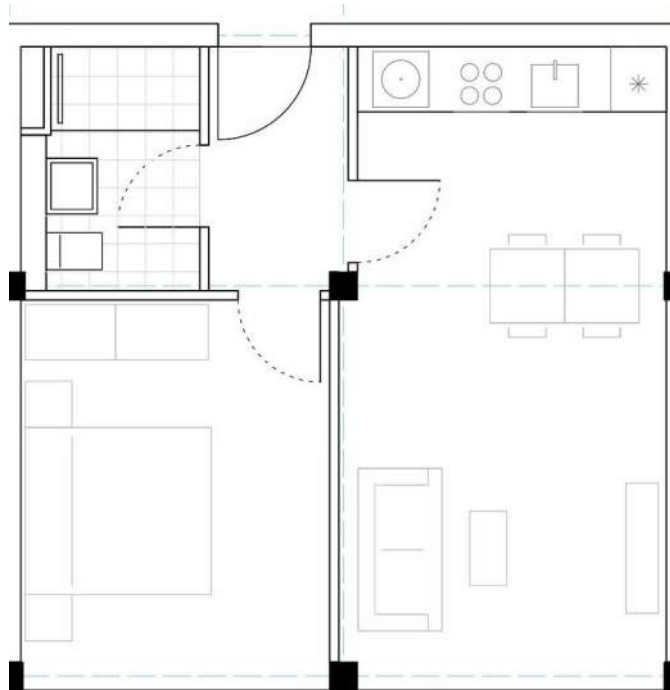


Abbildung 49: Beispiel für einen Wohnungsgrundriss mit 2 Zimmern [68]

Anforderungen aus der Wohnnutzung [49]:

- Tiefe einer Küchenzeile inklusive Bewegungsraumes: ca. 180 cm
- Breite eines Esstischs inklusive Stühle und Bewegungsraum: ca. 190–230 cm
- Tiefe eines Sofas: ca. 85 cm
- Breite eines Doppelbettes inklusive Nachttische: mindestens ca. 280 cm
- Länge eines Doppelbettes inklusive Bewegungsraumes und Schrank: ca. 360–370 cm

Es ist wichtig zu beachten, dass die raumbegrenzenden Wände auch frei zwischen den Stützen verlaufen können und nicht zwingend dem Rastermaß folgen müssen. Dies führt jedoch zu der Situation, dass Stützen möglicherweise in den Räumen stehen oder einzelne Wände breiter ausgeführt werden müssen, um die Stützen zu verdecken. Daher wurde versucht, alle nichttragenden Trennwände im Raster der Stützen zu platzieren.

Tabelle 18: Ausbauraster für Büro- und Wohnnutzung

Nutzung	Stützenabstand Gebäudebreite (X)	Stützenabstand Gebäudelänge (Y)
Wohnen	$\geq 3,90 \text{ m}$	$\geq 3,00 \text{ m}$
Büro	$\geq 3,90 \text{ m}$	Vielfaches von Ausbaurastern; halbe Schritte sind möglich, aber nicht bevorzugt $3,00 = 1,50 \text{ m} * 2$ $(3,37 = 1,35 \text{ m} * 2,5)$ $3,60 = 1,20 \text{ m} * 3$ $(3,75 = 1,50 \text{ m} * 2,5)$ $4,05 = 1,35 \text{ m} * 3$ $(4,20 = 1,2 \text{ m} * 3,5)$ $4,50 = 1,50 \text{ m} * 3$ $(4,725 = 1,35 \text{ m} * 3,5)$ $4,80 = 1,20 \text{ m} * 4$

5.1.2 Technische Gebäudeausrüstung

Das Konzept sieht vor, klassische Brettschichtholz-Unterzüge (BSH) als Einfeldträger zu verwenden, die unterhalb der Decke angeordnet sind. Diese Unterzüge können mit regelmäßigen, kleineren Durchbrüchen vorgefertigt werden, um die Installation von Elektroleitungen und kleineren Wasserleitungen zu ermöglichen. Dies ist insbesondere für die Wohnnutzung ausreichend, da diese Installationen entlang der Decke verlegt werden können. Eine alternative Option besteht darin, diese Leitungen in der Schüttung oberhalb der Decke zu verlegen. Allerdings ist zu beachten, dass diese Verlegeweise spätere Wartungs- und Reparaturarbeiten deutlich aufwendiger gestalten kann, da die Leitungen schwerer zugänglich sind.

Für alle vertikalen Leitungsführungen, wie z. B. für Abwasser- oder Lüftungsrohre, sind Schächte vorgesehen. Diese können standardisiert und gleichmäßig im Gebäude verteilt sein. Da die Brettspertholzdecken (BSP) eine zweiachsige Tragwirkung besitzen, stellen Deckendurchbrüche in der Regel kein Problem für die statische Integrität dar. Bei größeren Durchbrüchen, die eine Kantenlänge von mehr als ca. 1,0 m aufweisen, sollte jedoch die Lage und Orientierung der Deckendurchbrüche im Vorfeld geprüft werden, um potenzielle statische Einflüsse zu vermeiden. Eine mögliche Lösung für größere Öffnungen besteht darin, einen großen Durchbruch in mehrere kleinere zu unterteilen, um die Tragfähigkeit der Decke nicht zu gefährden. Eine andere Variante, mit größeren Öffnungen umzugehen, sind Abfangungen, also zusätzliche Bauteile. Diese werden typischerweise in Stahlbauweise ausgeführt, um sie möglichst schlank zu halten. Solche Abfangungen für Decken und Unterzüge stellen aber in jedem Fall Sondersituationen dar und sollten nach Möglichkeit vermieden werden.

Bei der Wohnnutzung wird in der Regel auf Fensterlüftung gesetzt, sodass große Lüftungsgeräte und -kanäle nur selten zum Einsatz kommen. In Bürogebäuden wird dieser Trend auch zunehmend umgesetzt. Trotzdem werden viele Bürogebäude immer noch standardmäßig mit einer Lüftungsanlagen geplant. Die technikreduzierten Lösungen mit z. B. einer Zwangsbelüftung über Fenster bieten im Hinblick auf die Nachhaltigkeit aber einige Vorteile [69]. Sollten trotzdem größere Lüftungsleitungen erforderlich sein, sollten diese sinnvoll in das Tragwerk

des Gebäudes integriert werden. Dafür bietet sich die Verlegung der Kanäle im Flur, der sich in der Mitte des Gebäudes befindet, an. Da die Deckenhöhe in Flurbereichen geringer sein kann als in den eigentlichen Büroräumen, entsteht hier zusätzlicher Raum, um die Lüftungsleitungen zu verlegen (siehe Abbildung 50). Ob die Decke anschließend abgehängt wird, kann flexibel entschieden werden. Sollte die Decke nicht abgehängt werden, könnten Lüftungsleitungen auch in den Büroräumen unterhalb der Unterzüge verlaufen. In diesem Fall würde die lichte Deckenhöhe nur an wenigen Stellen lokal reduziert, was in Büroräumen zulässig sein kann und die Funktionalität des Raums nicht beeinträchtigt.

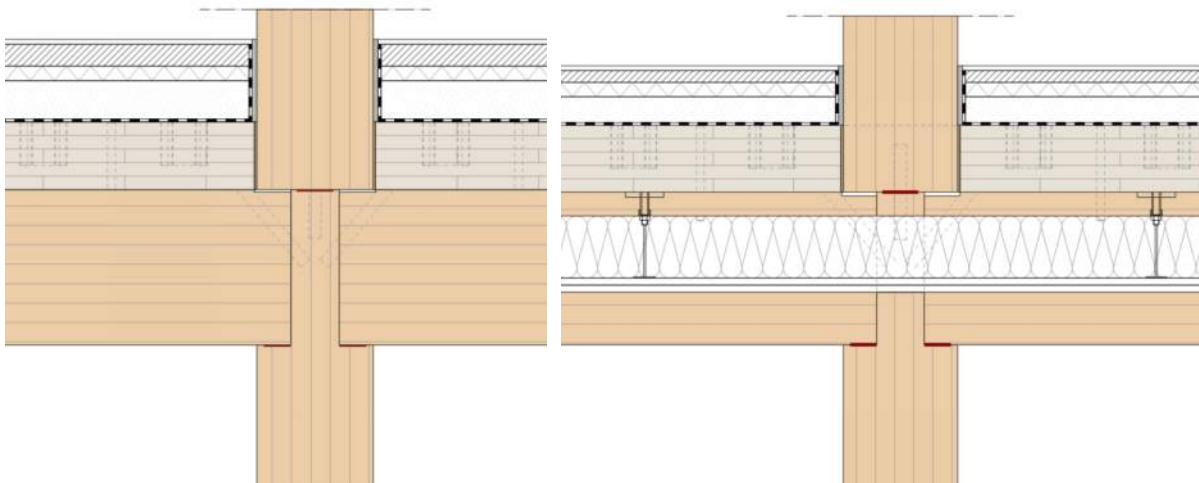


Abbildung 50: Bodenaufbauten für Büronutzung (links, ohne Unterdecke) und Flur oder Wohnnutzung (rechts, mit Unterdecke)

Eine weitere Option, die untersucht wurde, ist der mögliche Einsatz von vorgefertigten Nasszellen (siehe Abbildung 51), die auf der Baustelle per LKW angeliefert und anschließend in das Gebäude gehoben werden. Diese Zellen enthalten alle wesentlichen Sanitäreinrichtungen wie Waschbecken, Toilette und Dusche, die bereits vorinstalliert sind. Auch die Fliesen und Spiegel sind bereits angebracht, sodass die Nasszellen nach dem Einheben lediglich an die Gebäudetechnik angeschlossen werden müssen. Diese vorgefertigten Module bieten den Vorteil einer schnellen und effizienten Installation.



Abbildung 51: Beispiel für eine vorgefertigte Nasszelle [70]

Nach eingehender Prüfung dieser Option wurde jedoch entschieden, keine vorgefertigten Nasszellen einzusetzen. Der Hauptnachteil besteht in der fehlenden Flexibilität, die ein zentrales Element dieses Baukonzepts darstellt. Einmal installiert, lassen sich vorgefertigte Nasszellen nur schwer umplatzieren oder demontieren, da sie in der Regel von oben eingebaut werden, bevor die darüberliegenden Decken montiert werden. Neue Nasszellen nachträglich einzubauen ist ausgeschlossen. Dies würde daher zusätzliche Fixpunkte im Gebäude schaffen und die Möglichkeit, Wohnungsgrundrisse flexibel anzupassen oder das Gebäude von Wohn- auf Büronutzung umzustellen, stark einschränken. Da das Konzept auf maximale Anpassungsfähigkeit ausgelegt ist, um zukünftige Nutzungsänderungen zu ermöglichen, wurde der Einsatz vorgefertigter Nasszellen als nicht zielführend betrachtet.

5.1.3 Brandschutz

Nachfolgend werden die gewählten Maßnahmen für den baulichen Brandschutz kurz erläutert.

GEBÄUDEHÖHE

Die maximale Gebäudehöhe geht auf die Normung für Brandschutz und die entsprechenden Gebäudeklassen zurück. Ziel war es unter der Hochhausgrenze (bis GK 5) zu bleiben. Der Fußboden des obersten Stockwerks darf daher auf höchstens 22,0 m liegen. Daraus ergeben sich sieben bis acht Geschosse. Bei sieben Geschossen kann für jedes Geschoss die für Büroräume erforderliche lichte Deckenhöhe von 3,00 m eingehalten werden. Bei acht Geschossen sind mindestens vier Geschosse mit einer niedrigeren Deckenhöhe auszuführen.

BRANDABSCHNITTSBILDUNG

Das Konzept ist auf Nutzungseinheiten von max. 400 m² ausgelegt und kann flexibel um weitere Nutzungseinheiten vergrößert werden. Die einzelnen Nutzungseinheiten werden mit Hilfe

von Brandwänden voneinander getrennt. Die Brandwände werden gemäß den regionalen Vorgaben und Richtlinien aus nichtbrennbaren Baustoffen (GK5) oder aus Massivholz mit einer brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung (GK4) vorgesehen [43]. Außerdem müssen die Brandwände mindestens 30 cm über das Dach geführt werden.

TRAGENDE UND AUSSTEIFENDE BAUTEILE

Die statisch tragenden Bauteile Decken, Unterzüge und Stützen und aussteifenden Wände aus Massivholz werden über den Abbrand des Querschnittes (Heißbemessung) bemessen. Die Decken werden zusätzlich noch raumabschließend ausgeführt und bei den Durchdringungen mit Abschottungen oder Dichtbändern versehen. Für alle Bauteile und Anschlüsse wurde gemäß der Gebäudeklasse 5 eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten (feuerbeständig) angenommen.

Die Stützen wurden mit einer vierseitigen, die Unterzüge mit einer dreiseitigen und die Deckenelemente mit einer einseitigen Beflammung bemessen. Die tragenden Holzbauteile müssen somit nicht zusätzlich mit mineralischen Baustoffen abgekapselt werden.

Die Anschlüsse werden zum größten Teil als Holz-Holz-Verbindungen geplant und ebenfalls über den Abbrand des Querschnittes bemessen. Die wenigen Stahlblech- und Stahlwinkel-Anschlüsse werden entweder im Fußbodenaufbau angeordnet und somit vor einer direkten Beflammung geschützt oder mit einer zusätzlichen brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung aus nichtbrennbarem Baustoff z. B. einer 18 mm dicken Gipsplatte versehen.

RETTUNGSWEGE UND TREPPENRÄUME

Alle Rettungswege und notwendigen Treppenräume werden gemäß den jeweiligen Vorgaben und Richtlinien aus nichtbrennbaren Baustoffen (GK 5) oder aus Massivholz mit einer brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung (GK 4) vorgesehen [43]. Die notwendige Breite der Rettungswege und notwendigen Treppen von 1,20 m wird durch den architektonischen Entwurf berücksichtigt und eingehalten.

AUßENWÄNDE

Die Außenwände werden als nichttragende vorgesetzte Fassadenkonstruktion aus Holz-Rahmenwänden vorgesehen. Gemäß der HolzBauRL BW dürfen Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen hergestellt werden. Hierfür müssen geeignete Maßnahmen zur Begrenzung der Brandausbreitung getroffen werden. Es müssen nichtbrennbare Dämmstoffe, ein begrenzter Lüftungsspalt der Unterkonstruktion, eine nichtbrennbare Trägerplatte und horizontale und vertikale Brandsperren ausgeführt werden [43].

DÄCHER

Alle Dachflächen sollen als begrüntes Dach mit einer Photovoltaikanlage ausgeführt werden. Die Bedachung muss als harte Bedachung ausgeführt werden. Dächer mit intensiver Begrünung gelten generell als harte Bedachung und Dächer mit extensiver Begrünung, wenn weitere Anforderungen erfüllt sind. Es muss eine Vegetationsschicht mit max. 20 % organischen Bestandteilen und eine Vegetationstragschicht mit einer Schichtdicke von mindestens 30 mm vorhanden sein [71].

INNEN- UND TRENNWÄNDE

Die Trennwände werden als nichttragende Konstruktion aus Holz-Rahmenwänden geplant. Die Trennwände können die gleiche Feuerwiderstandsfähigkeit wie die tragenden Bauteile erreichen. Teilweise sind für nichttragende Wände aber auch geringere Anforderungen notwendig als für tragende Bauteile. Die Innen- und Trennwände können mit einer zusätzlichen brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung versehen werden.

5.1.4 Schallschutz

Das Konzept 1 zielt unter anderem auf den Markt des sozialen Wohnungsbaus (siehe Kapitel 2.2.6, S.35) ab. Hier sollten die Kosten möglichst gering gehalten werden und die Mindeststandards trotzdem erreicht werden. Dies soll auch beim Schallschutz so umgesetzt werden, weshalb die Mindestanforderungen gemäß der Norm DIN 4109-1 [46], auch als „BASIS“ bezeichnet, als Standard für das Konzept herangezogen werden. Diese Anforderungen sind im Kapitel 2.3 ab S.42 genauer erläutert.

Die Schallübertragung erfolgt beim Konzept 1 über die starren Stützen, die geschossweise übereinanderstehen und die Unterzüge tragen. Eine schallharte Verbindung stellt stets die bauakustisch kritischste Situation dar. Bei sichtbaren Stützen lässt sich jedoch gemäß Kapitel 4.6.2, S.109 ein Schallschutzniveau von „BASIS+“ erreichen.

Um diese schallharten Verbindungen und den Schallübertrag weiter zu reduzieren, werden die Auflagerpunkte der Unterzüge auf die Stützen mit elastischen Zwischenlagern versehen (siehe Abbildung 52). Auch die Stützen werden bei ihren Kontaktflächen mit der nächsten Stütze mit elastischen Zwischenlagern versehen. Hierdurch können die schallharten Verbindungen deutlich reduziert werden und der Schallübertrag über die Geschosse abgemindert werden.

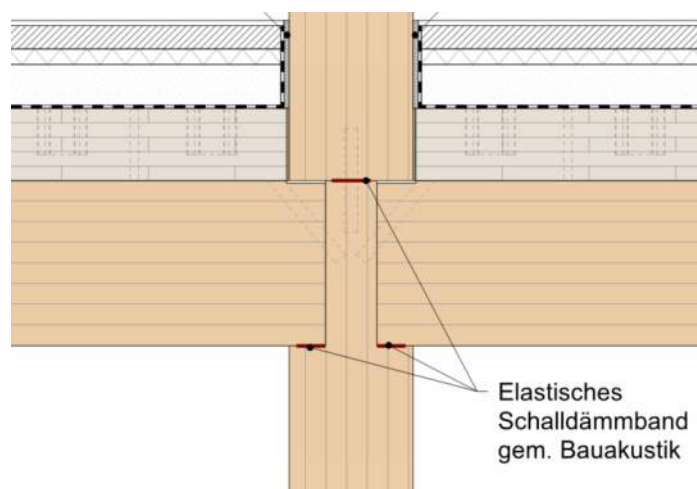


Abbildung 52: Anordnung von Schalldämmbändern bei Unterzügen und Stützen

Für Räume mit flankierenden Massivholzwänden ergibt sich ohne zusätzliche Entkopplung ein Schallschutzniveau von „BASIS+“ (siehe Kapitel 4.6.1, S.108) und somit kann hier der Mindestschallschutz ohne weitere Maßnahmen eingehalten werden. Sollte das Schallschutzniveau auch hier verbessert werden, könnten zusätzliche Schalldämmbänder am Wandfuß angeordnet werden (siehe Abbildung 53).

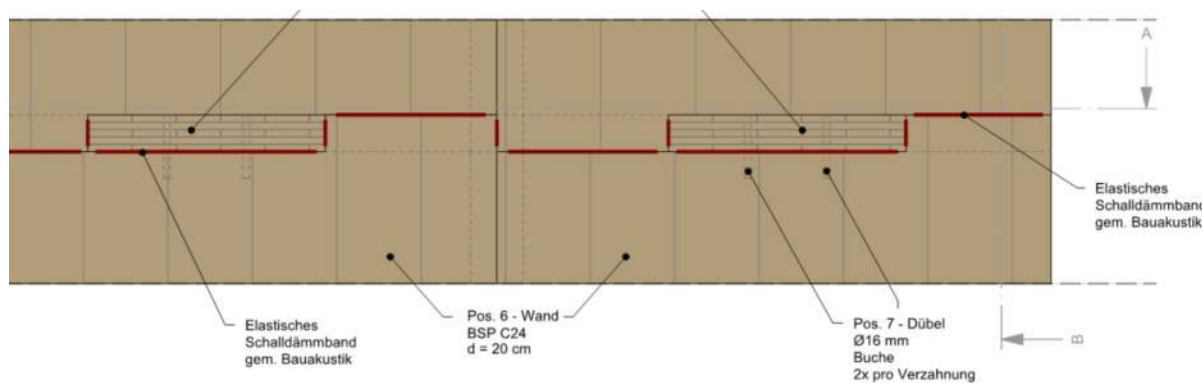


Abbildung 53: Anordnung von Schalldämmbändern bei Wänden

In Kapitel 4.1.2, S.81 werden Bodenaufbauten vorgeschlagen und im Hinblick auf ihre bauakustischen Eigenschaften bewertet. Es zeigt sich, dass der Aufbau 2 mit Nassestrich und ohne Unterdecke für das Konzept 1 aus schallschutztechnischer Sicht die beste Variante ist. Dieser Aufbau eignet sich für den Mindestschallschutz und erreicht die erste Stufe im Hinblick auf das tieffrequente Übertragungsverhalten, die für die subjektive Wahrnehmung von Gehgeräuschen entscheidend ist. Ein Aufbau mit einem Trockenestrich bringt jedoch einen besseren Bauablauf, eine flexiblere Umnutzung und eine bessere Rückbaubarkeit mit sich. Hier ist aber aus Sicht des Schallschutzes eine zusätzliche Unterdecke notwendig.

Sollte eine Variante mit Trockenestrich bevorzugt werden, ist der Aufbau 3 zu wählen. Dieser Aufbau erreicht die erhöhten Schallschutzanforderungen, ist jedoch für die tieffrequente Übertragung als ungünstig einzustufen. Um die subjektive Wahrnehmung der Gehgeräusche zu verbessern, ist eine Unterdecke mit einer Höhe von mindestens 180 mm vorzusehen.

Die Variante mit einer Unterdecke ist in den Flächen mit Büronutzung besonders zu hinterfragen, da dort eine größere lichte Raumhöhe benötigt wird und stets die möglichst geringste Aufbauhöhe anzustreben ist. Hier kann eine modifizierte Variante des Aufbaus 1 (gemäß Tabelle 6) gewählt werden. Der Aufbau 1 wird mit Trockenestrich und ohne Unterdecke ausgeführt, jedoch muss die Schüttung auf ca. 140 kg/m^2 erhöht werden und eine weichere Trittschalldämmung vorgesehen werden. Mit Hilfe der größeren Schüttung können die Mindestanforderungen des Schallschutzes erreicht werden.

Als weitere Alternative zum modifizierten Aufbau 1 können auch Hohlbodensysteme für die Büroflächen verwendet werden.

Das Konzept sieht eine flexible Raumgestaltung und Umnutzung vor. Dies kann durch eine flexible Anordnung der Trennwände innerhalb des Grundrisses erreicht werden. Aus schallschutztechnischer Sicht ist hierbei die Decke als flankierendes Bauteil an der Trennwand anzusehen. Der Fall „flankierende Decke in Massivholzbauweise“ erfordert eine besondere Betrachtung, insbesondere dann, wenn über den nichttragenden leichten Trennwänden keine Trennschnitte ausgeführt werden können.

Für die Trennwände (gem. Abbildung 46, S.110) können ohne Trennschnitte in der Decke die Mindeststandards trotzdem erreicht werden. Erhöhte Anforderungen können lediglich erfüllt werden, wenn an den flankierenden Bauteilen sehr hochwertige Vorsatzkonstruktionen installiert und die Rohdeckenbeschwerung der Decke auf 140 kg/m^2 erhöht wird.

Die zuvor genannten Ausführungen gelten für Decken ohne zusätzliche Unterdecke (analog zu Aufbau 2). Im Falle einer Unterdecke (Aufbau 3) unter der Massivholzoberfläche besteht die Möglichkeit, Trennwände flexibel anzuordnen. Dabei ist jedoch sicherzustellen, dass eine Einbindung in die Unterdecke erfolgt.

5.2 Gewähltes Stützenraster

Im Rahmen des Konzepts wurde beschlossen, ein einheitliches Raster über das gesamte Gebäude hinweg zu verwenden. Zuvor wurden auch Kombinationen aus unterschiedlichen Spannweiten untersucht, wie beispielsweise die Abwechslung von langen und kurzen Feldern. Diese Variante wurde jedoch verworfen, da sie voraussichtlich zu höheren Kosten führen würde – hauptsächlich aufgrund der größeren Anzahl unterschiedlicher Bauteile. Zudem wäre mit einer Reduktion der Flexibilität zu rechnen, da das Tragwerk im Gebäude nicht mehr überall gleich wäre und dadurch zusätzliche Fixpunkte entstehen würden.

Mithilfe eines parametrischen Tools konnten zahlreiche Rasterkombinationen analysiert werden. Dabei wurden sowohl die Spannweiten der Decken als auch die der Unterzüge variiert. Wie bereits zuvor erwähnt, mussten dabei auch architektonische Randbedingungen und Anforderungen berücksichtigt werden.

5.2.1 Parametrisches Excel-Tool

Um eine belastbare Aussage über den Materialverbrauch eines Rasters für ein Skelettgebäude tätigen zu können, ist es notwendig wirklich alle tragenden Bauteile und Anschlüsse zu dimensionieren. Um dabei wiederum effizient zu sein, ist es zusätzlich notwendig alle statischen Nachweise und andere Minimal- und Maximalwerte, die sich aus Brandschutz oder Schallschutz ergeben, zu berücksichtigen. Es benötigt daher ein Tool mit dem sowohl die Decken-, Träger- und Stützennachweise, als auch die notwendigen Anschlussnachweise betrachtet werden können.

Wählt man ein sehr kleines Raster, reichen kleine Querschnitte für Unterzüge und Decken. Auch die Stützen benötigen eher kleine Querschnitte. Durch die geringen Abstände werden aber sehr viele Stützen benötigt, was das Gesamtvolumen des Holzes wiederum steigert. Der andere Extremfall ist ein sehr großes Raster. Dabei gibt es sehr wenige Stützen. Der Querschnitt dieser Stützen ist zwar größer als bei dem kleinen Raster, allerdings im Verhältnis nicht so viel größer. Was das sehr große Raster unwirtschaftlich macht, ist, dass die Unterzugs- und Deckenquerschnitte unverhältnismäßig groß werden müssen.

Das Ziel für das parametrische Tool war es also den perfekten Punkt zwischen den beiden Extremfällen zu finden, an dem das gesamte benötigte Holzvolumen oder aber die Kosten für den Rohbau so gering wie möglich sind.

Zu Beginn der Untersuchung hat sich allerdings schnell gezeigt, dass es nicht reicht, nur die Querschnittsnachweise für die Holzdecken, -balken und -stützen zu führen. Im Holzbau kommt es nicht selten vor, dass die Bauteile durch die Anschlusspunkte dimensioniert werden müssen. Es ist also nötig auch die Detailnachweise vollumfänglich in der Analyse zu berücksichtigen. Ein weiterer Anspruch, der die Analyse der verschiedenen Stützenraster komplexer gemacht hat, ist der Brandschutz. Es wäre nicht ausreichend ein Stützenraster nach dem Materialverbrauch zu optimieren und anschließend alle Bauteile so zu vergrößern, dass der Brandschutz über die Abbrandrate eingehalten ist. Dies würde zu unwirtschaftlichen Lösungen führen und das material- oder kosteneffizienteste Stützenraster würde nicht gefunden werden.

Weitere Nachweise, die wichtig für die Dimensionierung von Holzbauteilen sind, sind die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit, insbesondere der Schwingungsanfälligkeit. Diese Nachweise wurden daher auch in die Analyse inkludiert.

Um verschiedene Varianten für die Ausbildung der Knotenpunkte zu berücksichtigen, wurden in einem ersten Schritt verschiedene Anschlussdetails klassifiziert und bewertet. Die Kriterien waren Rückbaubarkeit, Kosten, Tragfähigkeit, Brandschutz und Montagefreundlichkeit (siehe Kapitel 4.2, S. 87). Es hat sich herausgestellt, dass metallische Verbinder deutlich höhere Kosten pro Anschluss ergeben als zimmermannsmäßige Verbindungen mit gefrästen Bauteilen. Es gilt allerdings zu beachten, dass häufig die Holzbauteile schlanker dimensioniert werden können, wenn sie mit metallischen Verbindern kombiniert werden. Der geringere Holzquerschnitt könnte die erhöhten Kosten für einen Verbinder also unter Umständen wieder ausgleichen.

Es gibt sehr viele verschiedene Ausführungsmöglichkeiten für einen Skelettbau aus Holz und sehr viele Parameter, die eine Rolle spielen und sich gegenseitig beeinflussen. Um alle diese Möglichkeiten berücksichtigen zu können und am Ende eine belastbare Aussage über die materialeffizientesten und kostengünstigsten Lösungen treffen zu können, wurde ein parametrisches Excel-Tool für die Bemessung erstellt. In diesem Excel-Tool können verschiedenste Eingangsparameter gesetzt werden. Anschließend werden alle relevanten statischen Nachweise für das Tragwerk geführt. Dies beinhaltet die Decken, Unterzüge, Stützen und Anschlussdetails. Für alle Nachweise wird zusätzlich der erforderliche Brandschutz berücksichtigt. Als Ergebnis erhält man bis zu mehrere Hunderttausend Varianten, die alle eine Kombination aus Stützenraster, Materialien bzw. Festigkeitsklassen und Anschlussdetails darstellen.

Geometrie			
Grundstückslänge	$l_{g,grundstück}$		m
Grundstücksbreite	$l_{g,grundstück}$		m
Minimaler Abstand X (Spannweite UZ)	$l_{u,min}$	4,2	m
Maximaler Abstand X (Spannweite UZ)	$l_{u,max}$	4,2	m
Minimaler Abstand Y (Spannweite Decken)	$l_{d,min}$	3,6	m
Maximaler Abstand Y (Spannweite Decken)	$l_{d,max}$	3,6	m
Schrittweite X	$l_{x,schritt}$	0,25	m
Schrittweite Y	$l_{y,schritt}$	1	m
Mögliche Abstände in X (Spannweite UZ)	$l_{u,kaster}$	4,2	m
Mögliche Abstände in Y (Spannweite Decken)	$l_{d,kaster}$	3,6	m
Anzahl Geschosse	$n_{geschosse}$	7	-
Stützenlänge	$h_{stütze}$	3,3	m
Alle Listen (Abstände,Breiten,Höhen) werden berechnet, wenn sich eine der Zellen ändert.			
Decken			
Berechnung oder Auswahl über Tabelle		Berechnung	-
Minimale Höhe Dachdecke	$h_{dach,min}$	8	cm
Minimale Höhe Geschossdecke	$h_{decke,min}$	14	cm
Ausbaulast Dach	$s_{l,dach}$	3,5	kN/m²
Schneelast Dach	$s_{l,dach}$	1	kN/m²
Ausbaulast Decke	$s_{l,decke}$	1,6; 2,7	kN/m²
Nutzlast Decke (Kategorie A oder B)	$q_{l,decke}$	2,8	kN/m²
Maximale Ausnutzung GZT	$\eta_{decken,gnz,gzt}$	1,02	-
Maximale Ausnutzung GZG	$\eta_{decken,gnz,gzg}$	1,02	-
Alle Listen (Abstände,Breiten,Höhen) werden berechnet, wenn sich eine der Zellen ändert.			
Unterzüge			
Minimale Breite	$b_{uz,min}$	12	cm
Maximale Breite	$b_{uz,max}$	26	cm
Schrittweite Breite	$b_{uz,schritt}$	2	cm
Minimale Höhe	$h_{uz,min}$	16	cm
Maximale Höhe	$h_{uz,max}$	60	cm

Abbildung 54: Eingabemaske für Excel-Tool

Das Excel-Tool funktioniert so, dass im ersten Tabellenblatt „Eingabe“ die gewünschten Parameter für die Analyse ausgewählt werden können. Dazu zählen mögliche Stützenabstände in X und Y, Materialien für Stützen und Unterzüge, konstruktive Grenzwerte für die Querschnitte von Stützen, Unterzügen und Decken, Anschlussdetails, die berücksichtigt werden sollen, usw. (siehe Abbildung 54).

Sobald die Berechnung per Knopfdruck gestartet wird, wird die interne Programmiersprache in Excel VisualBasic for Applications (VBA) genutzt, um die verschiedenen Tabellenblätter mit Eingabedaten zu füllen. Jedes Tabellenblatt ist dabei für ein Bauteil z. B. Stütze, Decke oder Unterzug oder ein Anschlussdetail z. B. ausgeklinkte Stütze, Gabelstütze, metallischer Balkenträger ausgelegt (siehe Abbildung 55).

Nachweise GZG Durchbiegungen			Nachweise GZG Durchbiegungen		
LK3 Grenzwert Elastische Anfangsdurchbiegung (L/300)	$u_{1,elast}$	14,00 mm	LK3 Grenzwert Elastische Anfangsdurchbiegung (L/300)	$u_{1,elast}$	14,00 mm
LK3 Ausnutzung Durchbiegung	$u_{1,elast}/u_{1,elast}$	0,67 -	LK3 Ausnutzung Durchbiegung	$u_{1,elast}/u_{1,elast}$	0,81 -
LK4 Grenzwert Enddurchbiegung (L/200)	$u_{2,elast}$	21,00 mm	LK4 Grenzwert Enddurchbiegung (L/200)	$u_{2,elast}$	21,00 mm
LK4 Ausnutzung Durchbiegung	$u_{2,elast}/u_{2,elast}$	0,66 -	LK4 Ausnutzung Durchbiegung	$u_{2,elast}/u_{2,elast}$	0,77 -
LK5 Grenzwert "Netto"-Enddurchbiegung (L/300)	$u_{3,elast}$	14,00 mm	LK5 Grenzwert "Netto"-Enddurchbiegung (L/300)	$u_{3,elast}$	14,00 mm
LK5 Ausnutzung Durchbiegung	$u_{3,elast}/u_{3,elast}$	0,86 -	LK5 Ausnutzung Durchbiegung	$u_{3,elast}/u_{3,elast}$	0,89 -
Schwingung			Schwingung		
Frequenz (nach Schneider Auflage 20)	f_{12}	6,53 Hz	Frequenz (ohne mitwirkende Decke)	f_{12}	7,14 Hz
Grenzfrequenz	$f_{12,elast}$	8 Hz	Grenzfrequenz	$f_{12,elast}$	7 Hz
Ausnutzung Frequenzkriterium	$f_{12}/f_{12,elast}$	1,22 -	Ausnutzung Frequenzkriterium	$f_{12}/f_{12,elast}$	0,98 -
Steifigkeitskriterium - Durchbiegung unter Einzellast	$u_{1,elast}$	0,19 mm	Steifigkeitskriterium - Durchbiegung unter Einzellast	$u_{1,elast}$	0,19 mm
Steifigkeitskriterium - Grenzdurchbiegung	$u_{1,elast}/u_{1,elast}$	0,25 mm	Steifigkeitskriterium - Grenzdurchbiegung	$u_{1,elast}/u_{1,elast}$	0,25 mm
Ausnutzung Steifigkeitskriterium	$u_{1,elast}/u_{1,elast}$	0,77 -	Ausnutzung Steifigkeitskriterium	$u_{1,elast}/u_{1,elast}$	0,77 -
Ausnutzung GZT	η_{GZT}	0,65 -	Ausnutzung GZT	η_{GZT}	0,78 -
Ausnutzung GZG (ohne Schwingung)	η_{GZG}	0,86 -	Ausnutzung GZG	η_{GZG}	0,98 -

Brandnachweis (Methode mit reduziertem Querschnitt)			Brandnachweis (Methode mit reduziertem Querschnitt)		
Branddauer (dreiseitiger Abbrand)	t	90 min	Branddauer (dreiseitiger Abbrand)	t	90 min
Lastkombination Brand			Lastkombination Brand		
LK6 Brandfall	$1,0 \cdot g_k$	14,85 kN/m	LK6 Brandfall	$1,0 \cdot g_k + 0,3 \cdot q_k$	15,44 kN/m
Schnittgrößen Brandfall			Schnittgrößen Brandfall		
LK6 Moment	$M_{y,el}$	32,73 kNm	LK6 Moment	$M_{y,el}$	34,05 kNm
LK6 Querkraft	$V_{y,el}$	31,18 kN	LK6 Querkraft	$V_{y,el}$	32,43 kN
LK6 Reduzierte Querkraft (Abstand h vom Auflager)	$V_{y,el,red}$	27,86 kN	LK6 Reduzierte Querkraft (Abstand h vom Auflager)	$V_{y,el,red}$	28,98 kN
Querschnittswerte und Festigkeiten			Querschnittswerte und Festigkeiten		
Beiwert Ermittlung 20%-Fraktilwerte	k_{α}	1,1 -	Beiwert Ermittlung 20%-Fraktilwerte	k_{α}	1,1 -
Abbrandrate	β_a	0,55 mm/min	Abbrandrate	β_a	0,55 mm/min
Abbrandtiefe	$d_{char,t}$	49,5 mm	Abbrandtiefe	$d_{char,t}$	49,5 mm

Abbildung 55: Ausschnitt aus der Bemessung der Unterzüge

Mittels VBA wird anschließend geprüft, ob die Nachweise funktioniert haben, also die Ausnutzung unter dem Grenzwert (typischerweise 100%) liegen. Ist dies der Fall wurde eine legitime Lösung gefunden, die in die Ergebnistabelle aufgenommen wird. Ist einer der Nachweise allerdings nicht aufgegangen, werden die Eingangswerte z. B. die Breite des Unterzuges sukzessive erhöht bis entweder der Nachweis aufgeht oder die Obergrenze für den jeweiligen Eingangswert erreicht ist. Diese Prozedur findet automatisch mehrmals pro Sekunde statt. Der Algorithmus durchläuft dabei mehrere Schleifen (siehe Abbildung 56), um jede mögliche Kombination zu überprüfen.

```

For Each yDistance In yDistances
    Debug.Print "Starting with yDistance: " & yDistance

    StartTimeLocal = Timer

    If slabCalculation Then
        Call calculate_slabs(deadLoadRoofs, deadLoadFloors)
    Else:
        Call find_slabRows(roofTypesSelected, floorTypesSelected)
    End If

    SlabTime = SlabTime + Timer - StartTimeLocal

    For i = 0 To roofSlabs.heights.Count - 1

        Worksheets("Unterzüge").Cells(28, 4).Value = (roofSlabs.selfWeight.Item(i) + roofSlabs.deadLoads.Item(i)) * yDistance
        Worksheets("Unterzüge").Cells(31, 4).Value = roofSlabs.snowLoads.Item(i) * yDistance

        For j = 0 To floorSlabs.heights.Count - 1

            Worksheets("Unterzüge").Cells(28, 10).Value = (floorSlabs.selfWeight.Item(j) + floorSlabs.deadLoads.Item(j)) * yDistance
            Worksheets("Unterzüge").Cells(30, 10).Value = floorSlabs.liveLoads.Item(j) * yDistance

        For Each xDistance In xDistances

            Debug.Print "Starting with xDistance: " & xDistance

            For Each beamsMaterial In beamsMaterials

                Debug.Print "Starting with beamMaterial: " & beamsMaterial
                StartTimeLocal = Timer

                roofBeams = calculate_beams("roof", CDbl(xDistance), CStr(beamsMaterial))
                floorBeams = calculate_beams("floor", CDbl(xDistance), CStr(beamsMaterial))

                'Set material for detail checks where required
                Worksheets("Balkenträger").Range("K8").Value = beamsMaterial
                Worksheets("Konsole").Range("D18").Value = beamsMaterial

                'Set Live and Snow Load for Columns and Detail Checks
                columnDeadLoad1 = ((floorSlabs.selfWeight.Item(j) + floorSlabs.deadLoads.Item(j)) * (nStories - 1) + roofSlabs.selfWeight.Item(
                columnLiveLoad = floorSlabs.liveLoads.Item(j) * (nStories - 1) * xDistance * yDistance
                Worksheets("Stütze").Range("D27") = columnLiveLoad
                Worksheets("Gabelstütze").Range("D34") = columnLiveLoad

```

Abbildung 56: Schleifen/Wiederholungen im VBA-Code des Excel-Tools

Alle Lösungen, die während der Analyse gefunden werden, stellen Kombinationen aus den genannten Eingangsparametern dar, bei denen alle notwendigen Nachweise eingehalten sind. Diese Lösungen werden in einer großen Tabelle aufgelistet (siehe Abbildung 57). Um die Ergebnisse besser auszunutzen zu können, werden neben den Querschnitts- und Materialwerten auch Ausnutzungen der einzelnen Nachweise und weitere wichtige Informationen in der Tabelle dokumentiert. Die Ergebnistabelle kann anschließend gefiltert und sortiert werden.

Lösung (V)	Agg. n ₁ , n ₂	Querschnitt Decke	Agg. n ₁ , n ₂	Querschnitt Decke	L ₁ , L ₂	Material	Querschnitt Stütze	n ₁ max	n ₂ max	Real max n ₁	Querschnitt Stütze	n ₁ max	n ₂ max	Real max n ₁	Mittelpunktschnitt	Max
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 16/32	0,89	0,84	0,93 16/32	GLT B1			0,93 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 16/32	0,89	0,84	0,93 16/32	GLT B1			0,93 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 16/32	0,79	0,79	0,81 20/48	GLT B1			0,81 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 16/32	0,79	0,79	0,81 22/40	GLT B1			0,81 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 20/28	0,84	1,00	0,57 20/48	GLT B1			0,57 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 20/28	0,84	1,00	0,57 22/40	GLT B1			0,57 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 22/28	0,76	0,91	0,47 20/48	GLT B1			0,47 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 22/28	0,76	0,91	0,47 22/40	GLT B1			0,47 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 24/28	0,70	0,84	0,40 20/48	GLT B1			0,40 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 24/28	0,70	0,84	0,40 22/40	GLT B1			0,40 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 26/28	0,65	0,81	0,35 20/48	GLT B1			0,35 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	16/40	0,69	0,48	0,95 26/28	0,65	0,81	0,35 22/40	GLT B1			0,35 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 16/32	0,89	0,84	0,93 22/40	GLT B1			0,93 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 16/32	0,79	0,79	0,81 20/48	GLT B1			0,81 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 16/32	0,79	0,79	0,81 22/40	GLT B1			0,81 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 20/28	0,84	1,00	0,57 20/48	GLT B1			0,57 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 20/28	0,84	1,00	0,57 22/40	GLT B1			0,57 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 22/28	0,76	0,91	0,47 20/48	GLT B1			0,47 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 22/28	0,76	0,91	0,47 22/40	GLT B1			0,47 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 24/28	0,70	0,84	0,40 20/48	GLT B1			0,40 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 24/28	0,70	0,84	0,40 22/40	GLT B1			0,40 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 26/28	0,65	0,81	0,35 20/48	GLT B1			0,35 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	18/32	0,80	0,83	0,78 26/28	0,65	0,81	0,35 22/40	GLT B1			0,35 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 16/32	0,89	0,84	0,93 20/48	GLT B1			0,93 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 16/32	0,89	0,84	0,93 22/40	GLT B1			0,93 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 18/32	0,79	0,79	0,81 20/48	GLT B1			0,81 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 18/32	0,79	0,79	0,81 22/40	GLT B1			0,81 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 20/28	0,84	1,00	0,57 20/48	GLT B1			0,57 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 20/28	0,84	1,00	0,57 22/40	GLT B1			0,57 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 22/28	0,76	0,91	0,47 20/48	GLT B1			0,47 20/48		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 22/28	0,76	0,91	0,47 22/40	GLT B1			0,47 22/40		GLT B1
3,60 3,5:1:0,462	BSP 110_13x_400-30x1,6; 2,8:0,588	BSP 140_15x_400-20x	4,20 GLT5	20/32	0,72	0,75	0,61 24/28	0,70	0,84	0,40 20/48	GLT B1			0,40 20/48		GLT B1

Abbildung 57: Ausschnitt aus Ergebnistabelle des Excel-Tools

In einem letzten Schritt können für die gefundenen Ergebnisse die Kosten berechnet werden. Dazu wurden vorher in einem gesonderten Tabellenblatt Einheitspreise verschiedener Hersteller gesammelt, verifiziert und angegeben. Für jede Lösung werden dann die Volumina der verschiedenen Festigkeitsklassen/ Materialien und die Anzahl der Verbindungsmittel ausgerechnet. Diese Werte werden mit den Einheitspreisen verrechnet und man erhält einen Ansatz für die Kosten jeder Lösung. Diese können daraufhin wieder entsprechend sortiert und ausgewertet werden.

Auf einem weiteren Tabellenblatt werden außerdem mehrere Diagramme automatisch erstellt, die dazu dienen die Lösungen grafisch darzustellen und entsprechend interpretieren zu können. Verschiedene Bewertungskriterien sind z. B. Kosten und Materialverbrauch.

Auch wenn das Ziel der Untersuchung war, ein möglichst material- und kosteneffizientes Stützenraster zu finden, ist es nicht möglich architektonische und baupraktische Anforderungen gänzlich außen vor zu lassen. Da das Gebäude sowohl für die Büro- als auch Wohnnutzung geeignet sein soll, mussten gewisse Regeln und Bedürfnisse an Stützweiten und Rasterschritten in der Analyse berücksichtigt werden. Die Ergebnisse konnten anschließend nach den gewünschten Kriterien Kosten und Materialverbrauch sortiert werden. Raster, die nicht die architektonischen Anforderungen erfüllen, wurden anschließend herausgefiltert und nicht weiter betrachtet.

5.2.2 Ergebnisse der parametrischen Studie

Die Untersuchung verschiedener Rasterkombinationen mithilfe des parametrischen Excel-Tools lieferte einige interessante Erkenntnisse. Die in Tabelle 18 (S. 121) genannten Stützenabstände wurden in beide Richtungen berücksichtigt und mit allen möglichen Querschnitts- und Anschlusskombinationen für Decken, Unterzüge und Stützen kombiniert. Außerdem wurden verschiedene Laubhölzer und Festigkeitsklassen berücksichtigt.

Es zeigte sich, dass Lösungen mit metallischen Verbindern zwar teilweise geringere Holzquerschnitte erfordern, jedoch teurer sind als Lösungen mit reinen Holz-Holz-Anschlüssen (z. B. ausgeklinkte Stützen oder Gabelstützen). Daher wurde der Fokus auf Holz-Holz-Verbindungen gelegt, um die Kosten zu optimieren und gleichzeitig die ästhetischen und ökologischen Vorteile von reinen Holzverbindungen zu nutzen.

Eine weitere Erkenntnis der Untersuchung war, dass die Deckenstärke bei den gewählten Bodenaufbauten und den Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit im Hinblick auf Schwingungen und Durchbiegungen ab einer Spannweite von ca. 3,75 m von 140 mm auf 160 mm erhöht werden muss (siehe Kapitel 5.4). Dies hat erhebliche Auswirkungen auf das gesamte Holzvolumen des Rohbaus. Daher wurde entschieden, dass die Decken parallel zur Längsachse des Gebäudes spannen und ein mögliches Ausbauraster aus der Büronutzung übernommen wird.

Die Unterzüge verlaufen in Querrichtung und erfüllen die Anforderungen sowohl der Wohn- als auch der Büronutzung, insbesondere im Hinblick auf die erforderliche Raumtiefe von mindestens 3,90 m.

Das gewählte Raster von 3,60 x 4,20 m erfüllt alle oben genannten Anforderungen. Zusätzlich passt es in die 3M-Regel nach der im Skelettbau Raster mit einem Vielfachen von 0,3 m bzw. 30 cm zu bevorzugen sind.

Für die Ermittlung des Stützenrasters wurde ein Datensatz mit ca. einer Millionen Lösungen verwendet. Zur übersichtlicheren Darstellung wurde der Datensatz angepasst und größere Schrittweiten verwendet. Im Gegenzug wurden teilweise im oberen und unteren Bereich der Parameter Werte ergänzt, um den Trend besser darzustellen.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Analyse der verschiedenen Lösungskombinationen anhand von Diagrammen erläutert. Die verwendeten Eingangswerte können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 19: Eingangswerte für Diagramme

Beschreibung	Variable	Wert	
Mögliche Abstände in X (Unterzugspannweite)	L_x	3; 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5; 5,4; 5,8; 6,2; 6,6; 7; 7,4; 7,8	m
Mögliche Abstände in Y (Deckenspannweite)	L_y	3; 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5; 5,4; 5,8; 6,2; 6,6; 7; 7,4; 7,8	m
Anzahl Geschosse	$n_{\text{Geschosse}}$	7	-
Stützenlänge pro Geschoss	h_{Geschoss}	3,30	m
Ausbaulast Dach	$g_{k,\text{Dach}}$	3,50	kN/m ²
Schnee-/Montagelast Dach	$s_{k,\text{Dach}}$	1,00	kN/m ²
Ausbaulast Decke	$g_{k,\text{Decke}}$	2,70	kN/m ²
Nutzlast Decke	$q_{k,\text{Decke}}$	2,80	kN/m ²
Maximale Deckenstärke	$h_{\text{Decke,max}}$	280	mm
Erforderliche Feuerwiderstandsdauer	t_{Brand}	90	Min
Maximal zulässige Frequenz der Decken	$f_{\text{Decken,max}}$	8	Hz

Die nachfolgenden Diagramme zeigen vor allem den Einfluss von Spannweiten und Festigkeitsklassen auf das benötigte Rohbauvolumen. Für jedes Material und jede Spannweite wurden immer die geringsten Querschnittswerte berücksichtigt, bei denen alle Querschnitts- und Detailnachweise eingehalten sind.

Abbildung 58 zeigt das Verhältnis des erforderlichen Rohbauvolumens über dem Produkt der Spannweiten an. Das Produkt der Spannweiten wurde gewählt, um eine sinnvolle Kombination aus der Decken- und Unterzugsspannweite zu berücksichtigen. Da ausschließlich Einfeldträger verwendet wurden, stellt der Wert auch gleichzeitig die Einzugsfläche für jede Stütze dar. Die Last pro Stütze ergibt sich also ungefähr aus dem Produkt der Spannweiten multipliziert mit dem Eigengewicht der Konstruktion und den entsprechenden Ausbau- und Nutzlasten.

Es lässt sich gut erkennen wie das benötigte Rohbauvolumen exponentiell ansteigt. Gleichzeitig kann man aber auch sehen, dass dies nicht für relativ kurze Spannweiten gilt. Im Bereich zwischen 9 und ca. 12 m² fällt das benötigte Volumen noch ab. Dies ist auf die Mindeststärke der Decken und Unterzüge zurückzuführen. Solange diese ein konstantes Volumen aufweisen, sinkt das Gesamtvolumen infolge der kleiner werdenden Anzahl an Stützen. Erst sobald die Mindeststärken der Decken und sehr kleinen Unterzugsquerschnitte nicht mehr ausreichen, fängt das Gesamtvolumen an exponentiell anzusteigen. Dies unterstreicht die Wahl des gewählten Rasters von 3,60 x 4,20 m. Das entsprechende Produkt der Spannweiten liegt mit 15,12 m² noch im unteren Bereich der dargestellten Werte. Der Unterschied zum absoluten Minimum bei ca. 12 m² ist vergleichsweise gering. Es wurde damit eine gute Balance zwischen Praktikabilität, also der Einhaltung der architektonischen Vorgaben, und der Materialeffizienz gefunden.

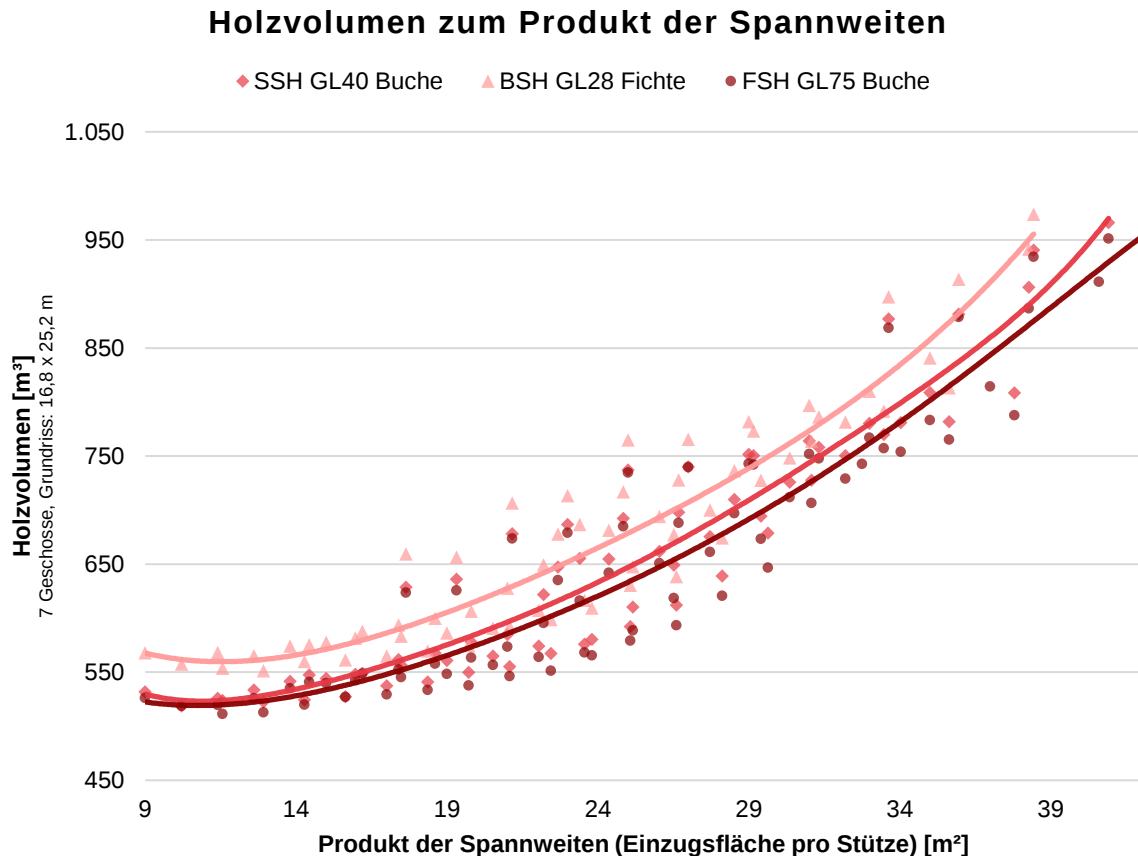


Abbildung 58: Diagramm "Holzvolumen zum Produkt der Spannweiten"

Das Diagramm zeigt außerdem sehr eindrücklich, dass das Volumen mit einer steigenden Materialfestigkeit der Holzbauteile sinkt. Dies ist entsprechend auch zu erwarten. Es gilt zu beachten, dass für die Decken in jeder der drei Varianten Brettsperrholz-Elemente aus C24-Nadelholz verwendet wurden. Da die Decken den größten Einfluss auf das Gesamtvolumen haben, ist es nicht überraschend, dass die Kurven trotz der großen Festigkeitsunterschiede eng beieinander liegen. Es fällt allerdings auf, dass die Differenz zwischen der Kurve für *FSH GL75 Buche* und der von *SSH GL40 Buche* nicht genauso groß ist wie zwischen *BSH GL28 Fichte* und *SSH GL40 Buche*. Dies wäre anders zu erwarten, wenn man sich die reinen Festigkeitswerte anschaut, die bei *GL75 Buche* fast doppelt so hoch wie bei *SSH GL 40 Buche* liegen. Die Begründung für die unterschiedlichen Differenzen liegt allerdings im Brandverhalten. Für alle berücksichtigten Laubhölzer wurde eine Abbrandrate von $\beta_n = 0,55 \text{ mm/min}$ verwendet. Die Abbrandrate für Nadelhölzer liegt hingegen bei $\beta_n = 0,70 \text{ mm/min}$. Schaut man sich zusätzlich Abbildung 60 auf Seite 135 an, wird deutlich woher der Unterschied kommt. Bis zu einer Lasteinzugsfläche von ca. 37 m^2 ist der Brandnachweis der Stütze maßgebend. Erst bei einer größeren Fläche, also größeren Lasten für die Stützen, wird der Knicknachweis im GZT maßgebend. Vorher hat also die geringere Abbrandrate der Laubhölzer einen maßgeblichen Einfluss als die Festigkeit des Holzes.

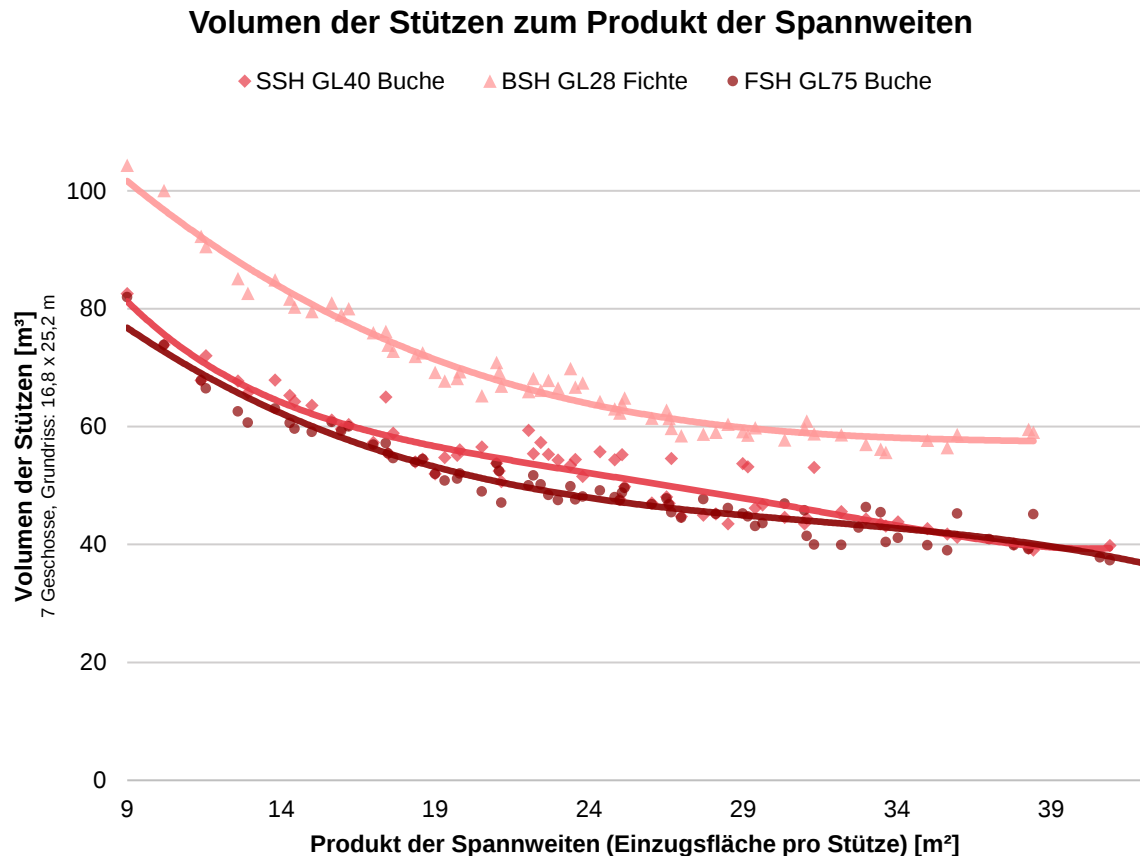


Abbildung 59: Diagramm "Volumen der Stützen zum Produkt der Spannweiten"

Abbildung 59 stellt ausschließlich das Volumen der Stützen ins Verhältnis zum Produkt der Spannweiten dar. Auch hier ist erkennbar, dass der Unterschied zwischen den Festigkeitsklassen einen geringeren Einfluss hat als der Unterschied zwischen den Abbrandraten von Laubholz zu Nadelholz. Das Diagramm veranschaulicht außerdem, dass das Volumen der Stützen mit einer größeren Einzugsfläche kontinuierlich sinkt. Während das Volumen für jede Stütze durch die höheren Lasten steigt, wird der Abstand zwischen den Stützen immer größer. Auf eine Grundrissfläche runtergebrochen ergibt ein größerer Stützenabstand also weniger, aber dafür größere Stützen. Der erforderliche Querschnitt pro Stütze steigt allerdings in einem geringeren Verhältnis als der Stützenabstand. Dadurch wird bei größeren Abständen verhältnismäßig weniger Querschnittsfläche benötigt. Dass die Kurven im Verlauf abflachen, deutet allerdings darauf hin, dass sich dieses Verhältnis kontinuierlich annähert.

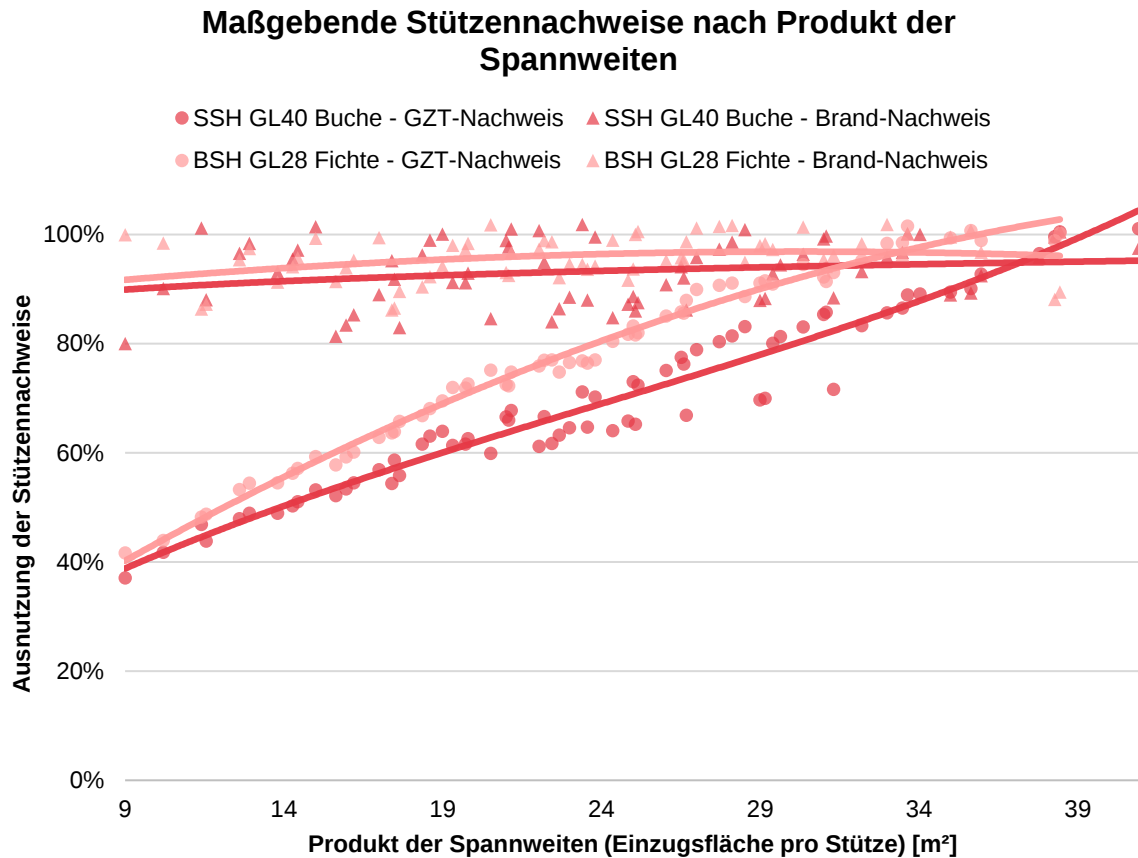


Abbildung 60: Diagramm "Maßgebende Stützennachweise nach Produkt der Spannweiten"

Durch die Wahl von Einfeldträgern als statisches System sind viele Grundrissvariationen möglich. Unregelmäßige Grundrisse mit Ausbuchtungen, L-Formen oder Innenlöchern können problemlos umgesetzt werden, solange die Rastermaße beibehalten werden und Gebäudeteile nicht zu schlank werden oder mit zusätzlichen Aussteifungswänden ausgesteift werden. Ein paar mögliche Grundrissformen sind beispielhaft in Abbildung 61 dargestellt. Es gilt allerdings zu beachten, dass Wohnungen und Büroflächen unter Umständen durch den Wegfall von Fensterflächen neu angeordnet werden müssen.

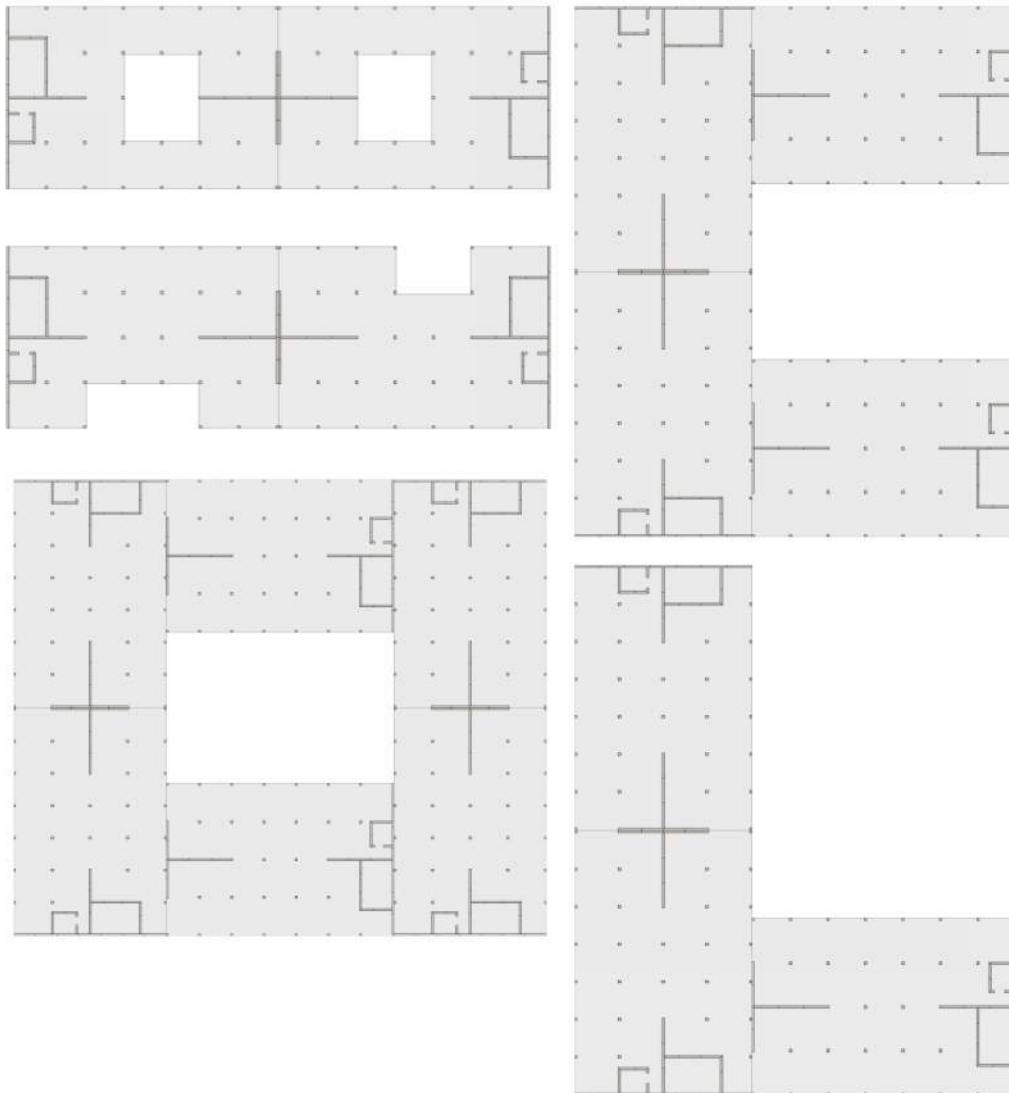


Abbildung 61: Mögliche Grundrissvarianten für Konzept 1

5.3 Gewählte Holzarten

Für das Konzept 1 kann ein Stabschichtholz (SSH) aus Buche, Esche oder Eiche der Festigkeitsklassen SSH40 bzw. SSH48 verwendet werden, was einem Brettschichtholz (BSH, engl. GL) der Festigkeitsklassen von GL40 bzw. GL48 entspricht. Dies liegt im mittleren Segment, der Festigkeitsklassen (bis GL75), die aus Laubholz verfügbar sind. Das Stabschichtholz ist etwas kostengünstiger im Vergleich zu einem gleichwertigen Brettschichtholz. Stabschichtholz kann zudem ohne erhöhten Aufwand in größeren Querschnitten produziert werden. Die Optik des Stabschichtholzes ist zu allen vier Seiten hin sehr homogen, was bei einem Brettschichtholz oder Furnierschichtholz nicht der Fall ist (zwei glatte und zwei gestreifte Seiten). Der Leimanteil bei einem Stabschichtholz ist mit maximal 1,5 % ebenso deutlich geringer im Vergleich zu einem Furnierschichtholz mit 6-8 % [27] und ungefähr genauso groß wie bei einem vergleichbaren BSH aus Nadelholz.



Abbildung 62: Stabschichtholz Stütze und Rippendecke aus Buche, Zwhatt Regensdorf [72]

Außerdem ist der Holzvorrat an Buche in Deutschland der größte Vorrat unter allen Laubhölzern mit steigender Tendenz [25]. Dies ist auch ein Grund dafür, weshalb ein BSH oder SSH aus Buche im Vergleich zu gleichwertigen Produkten aus Esche oder Eiche am günstigsten ist. Das Esche-Vorkommen hingegen ist, wie bereits unter Kapitel 2.1.3, S. 22 beschrieben, in den letzten Jahren durch das Eschetriebsterben etwas rückläufig. Stabschichtholz und auch Brettschichtholz aus Eiche sind im Vergleich zu gleichwertigen Produkten aus Buche oder Esche am teuersten.

Die Vorteile der geringeren Abbrandrate sind über alle Festigkeitsklassen und der verschiedenen Holzarten aus Laubholz gleich und können daher voll genutzt werden. Die Festigkeitsklassen SSH40 und SSH48 bzw. GL40 und GL48 können ebenfalls mit den drei Holzarten Buche, Esche und Eiche erreicht werden.

In der parametrischen Bemessung konnte festgestellt werden, dass die günstigste Lösung mit der Festigkeitsklasse SSH48 erreicht wird. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass diese Festigkeitsklasse aktuell nur von wenigen Herstellern verfügbar ist.

Die Unterschiede im Querschnitt und auch in den Kosten zu einer Festigkeitsklasse SSH40 sind sehr gering, weshalb das Konzept mit dieser Festigkeitsklasse bemessen wurde.

Ein weiterer Ansatz zur Optimierung des Materialvolumens besteht in der Schrittweite der Querschnitte. Ein Großteil der Hersteller setzt auf eine Schrittweite von 4 cm in der Breite, aber auch in der Höhe des Querschnitts. Falls ein Querschnitt aus tragwerksplanerischer Sicht auch mit einer kleineren Schrittweite möglich ist, kann dieser angeboten werden, jedoch wird hierfür der größere Querschnitt produziert und das überschüssige Holz abgehobelt. Dies ist nicht nachhaltig, da das Holz zunächst für die Produktion aufgebracht werden muss, dann aber nicht sinnvoll verwendet werden kann. Für das Konzept wurde sich deshalb dafür entschieden, die Schrittweite der Hersteller von 4 cm für die Querschnitte der Bauteile anzusetzen, auch wenn teilweise rein rechnerisch eine minimal wirtschaftlichere Lösung mit kleineren Querschnitten möglich ist.

5.4 Deckensysteme

Zum Zeitpunkt des Forschungsvorhabens gibt es noch keine geeigneten Deckensysteme aus Laubholz auf dem Markt. Es gibt allerdings bereits Forschungsvorhaben in diese Richtung. Besonders zu erwähnen ist das Forschungsprojekt LaNaSys [31], das sich mit material- und energieeffizientem, hybridem Brettsperrholz aus Laub- und Nadelholz beschäftigt.

Aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit wurde sich, daher entschieden ein Deckensystem aus Nadelholz zu wählen. Nachdem verschiedene Systeme untersucht und bewertet wurden, zeigte sich, dass Brettsperrholzelemente die beste Wahl sind. Ein großer Vorteil ist die breite Verfügbarkeit von Brettsperrholz. Auch wenn das Produkt in Deutschland noch nicht genormt ist und lediglich über herstellerspezifische technische Zulassungen geregelt ist, haben sich annähernd standardisierte Aufbauten herauskristallisiert, die von jedem größeren Hersteller produziert werden. Ein weiterer Vorteil ist das effektive Tragverhalten im Bereich der anvisierten Spannweiten von ca. 3,0 bis 4,50 m.

Tabelle 20 zeigt typische BSP-Querschnitte und eine Auswahl der entsprechenden Hersteller. Für die weitere Analyse wurden lediglich Querschnitte berücksichtigt, die bei mindestens drei der fünf berücksichtigten Hersteller verfügbar sind.

Tabelle 20: Typische BSP-Querschnitte in Deutschland [73–77]

Bezeichnung	Stärke [mm]	Anzahl Schichten	Schichten	Hersteller (Auswahl)
BSP_80_L3s_30l-20w-30l	80	3	30l-20w-30l	Derix, Binderholz, Pfeifer
BSP_80_L3s_20l-40w-20l	80	3	20l-40w-20l	Hasslacher, Stora Enso
BSP_90_L3s_30l-30w-30l	90	3	30l-30w-30l	Derix, Hasslacher, Stora Enso, Binderholz, Pfeifer
BSP_100_L3s_30l-40w-30l	100	3	30l-40w-30l	Hasslacher, Stora Enso, Binderholz, Pfeifer
BSP_100_L3s_40l-20w-40l	100	3	40l-20w-40l	Derix, Hasslacher
BSP_110_L3s_40l-30w-40l	110	3	40l-30w-40l	Derix, Stora Enso, Pfeifer
BSP_120_L3s_40l-40w-40l	120	3	40l-40w-40l	Derix, Hasslacher, Stora Enso, Binderholz, Pfeifer
BSP_120_L5s_20l-30w-20l-30w-20l	120	5	20l-30w-20l-30w-20l	Derix
BSP_120_L5s_30l-20w-20l-20w-30l	120	5	30l-20w-20l-20w-30l	Hasslacher, Stora Enso, Binderholz, Pfeifer
BSP_130_L5s_30l-20w-30l-20w-30l	130	5	30l-20w-30l-20w-30l	Derix
BSP_140_L5s_40l-20w-20l-20w-40l	140	5	40l-20w-20l-20w-40l	Derix, Hasslacher, Stora Enso, Binderholz, Pfeifer
BSP_150_L5s_30l-30w-30l-30w-30l	150	5	30l-30w-30l-30w-30l	Derix
BSP_150_L5s_40l-20w-30l-20w-40l	150	5	40l-20w-30l-20w-40l	Stora Enso, Pfeifer
BSP_160_L5s_40l-20w-40l-20w-40l	160	5	40l-20w-40l-20w-40l	Derix, Hasslacher, Stora Enso, Binderholz, Pfeifer
BSP_170_L5s_40l-30w-30l-30w-40l	170	5	40l-30w-30l-30w-40l	Derix
BSP_180_L5s_40l-30w-40l-30w-40l	180	5	40l-30w-40l-30w-40l	Derix, Hasslacher, Stora Enso, Pfeifer
BSP_180_L5s_60l-20w-20l-20w-60l	180	5	60l-20w-20l-20w-60l	Binderholz
BSP_200_L5s_40l-40w-40l-40w-40l	200	5	40l-40w-40l-40w-40l	Derix, Hasslacher, Stora Enso, Pfeifer

Bezeichnung	Stärke [mm]	Anzahl Schichten	Schichten	Hersteller (Auswahl)
BSP_200_L5s_60l-20w-40l-20w-60l	200	5	60l-20w-40l-20w-60l	Binderholz
BSP_220_L5s_60l-30w-40l-30w-60l	220	5	60l-30w-40l-30w-60l	Binderholz

Für die Bemessung der Deckenelemente wurde ausschließlich das statische System des Einfeldträgers gewählt. Dadurch können alle Bauteile gleich ausgeführt werden. Dies gilt sowohl für die Stützen als auch für die Unterzüge und Decken. Zweifeldträger wurden trotzdem zwischenzeitlich untersucht. Es hat sich aber herausgestellt, dass die Vorteile im Hinblick auf das Durchbiegungs- und Schwingungsverhalten nicht überwiegen. Die Tatsache, dass alle Innenstützen, alle Innenunterzüge und alle Innendecken gleich beansprucht werden und dadurch exakt identisch bemessen und ausgeführt werden können, stellen einen enormen Vorteil der Einfeldträger dar. Zusätzlich bieten die Einfeldträger eine größere Flexibilität. Es können dadurch einzelne Felder freigelassen werden, die Platz für Innenhöfe oder Balkone und Loggien bilden. Auch die Platzierung der Treppenhaukerne und weiteren aussteifenden Wände gestaltet sich deutlich einfacher und kann besser auf individuelle Gegebenheiten und Wünsche angepasst werden.

Hohlkastenelemente wurden bei der Auswahl der Deckensysteme ausgeschlossen, da die Höhen zu groß sind und die Vorteile im Hinblick auf die Tragfähigkeit bei den geringen Spannweiten nicht ausreichend genutzt werden können.

Die Brettsperreholzelemente haben standardmäßig eine Breite von ca. 2,50 m. Dies wurde bei der Planung berücksichtigt. Durch die einachsige Tragwirkung und das regelmäßige System kann die Breite der Platten aber auch geändert werden. Die Fugen der Brettsperreholzelemente müssen dabei nicht zwangsläufig mit dem Stützenraster zusammenfallen.

Nachfolgend werden ausgewählte Ergebnisse der Analysen in Diagrammen dargestellt. Die Eingangswerte wurden bereits im Kapitel 5.2 beschrieben.

Abbildung 63 zeigt wie sich das Deckenvolumen mit zunehmender Spannweite erhöht. Da sowohl das Volumen aus den Geschossdecken als auch aus der Dachdecke berücksichtigt wird, gibt es kleinere und größere Sprünge. Zwischen $L_y = 3,40\text{ m}$ und $L_y = 3,80\text{ m}$ beispielsweise steigt lediglich die Deckenstärke der Dachdecke an. Die größeren Sprünge resultieren aus einer Erhöhung der Stärke der Regelgeschossdecken. Die berücksichtigten Aufbauten der BSP-Decken werden im Kapitel 5.4 erläutert. Im Normalfall steigen die Deckenstärken in Schritten von 20 mm an.

Die Decken haben den größten Anteil am Gesamtvolumen der Konstruktion. Es ist daher eindrucksvoll zu sehen, wie schnell sich das Deckenvolumen von 400 auf 600 (Faktor 1,5) und sogar auf 800 m³ verdoppelt.

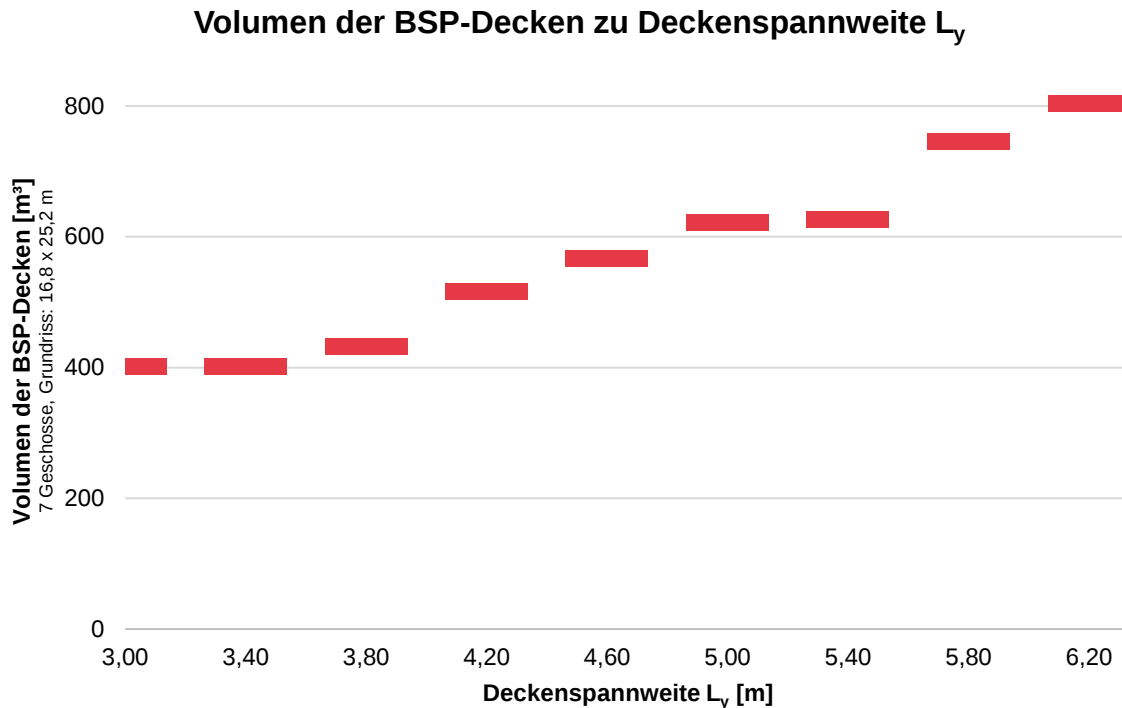


Abbildung 63: Diagramm "Volumen der BSP-Decken zur Deckenspannweite L_y "

Abbildung 64 zeigt die Ausnutzung der verschiedenen statischen Nachweise, die für die Dimensionierung der Decken relevant sind. Man kann deutlich sehen, dass die Ausnutzungen der jeweiligen Nachweise annähernd konstant sind. Dass am Anfang keiner der Nachweise bei annähernd 100 % liegt, ist damit zu erklären, dass die Mindeststärke der Decken auf $h_{min} = 140 \text{ mm}$ gesetzt wurde. Dies hat vor allem bauphysikalische Gründe (siehe auch Kapitel 4.1).

Die Aussage, dass im vergleichsweise leichten Holzbau die Gebrauchstauglichkeitsnachweise und insbesondere der Schwingungsnachweis maßgebend werden, kann außerdem bestätigt werden. Der maßgebende Nachweis „GZG-Schwingungen“ liegt konstant bei ca. 80 – 100 % Ausnutzung. Danach folgt der Durchbiegungsnachweis mit ca. 50 % Ausnutzung. Die Nachweise für die Tragfähigkeit des Deckenelementes spielen mit einer maximalen Ausnutzung von ca. 30 % nur eine sehr untergeordnete Rolle. Je größer die Spannweiten werden, desto irrelevanter werden außerdem die Nachweise im Brandfall.

Dass der maßgebende Nachweis teilweise nur bei ca. 85 % liegt, ist dadurch zu erklären, dass die Brettsperrholzquerschnitte nur in 20 mm Schritten ansteigen. Sobald ein nächsthöherer Querschnitt erforderlich ist, sinkt die Ausnutzung also erstmal.

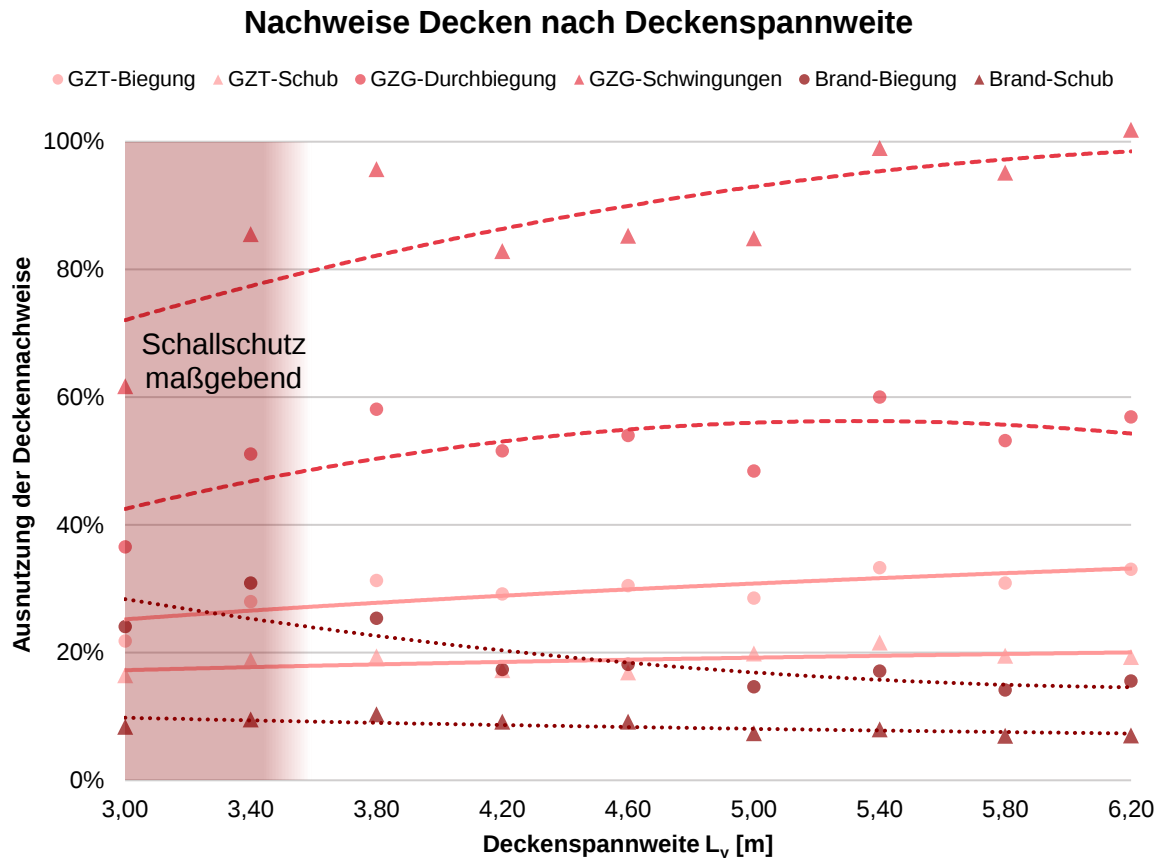
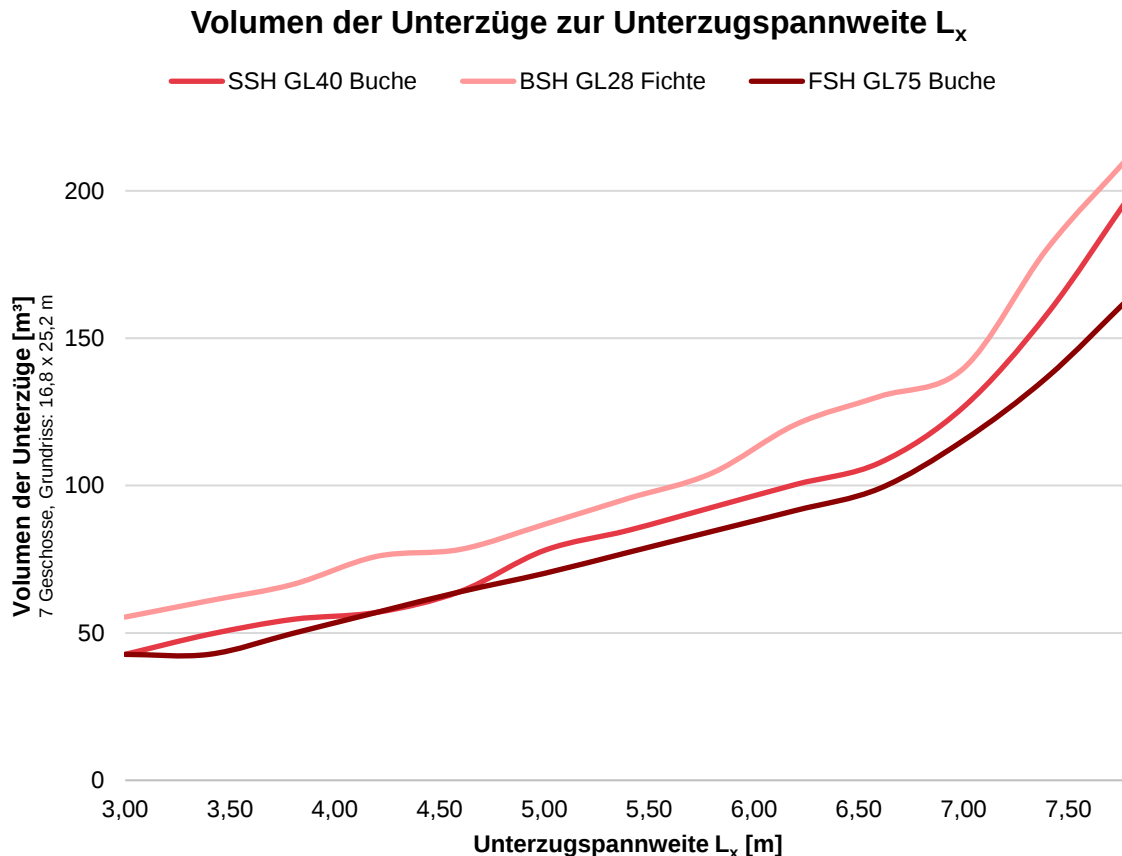


Abbildung 64: Diagramm "Statische Nachweise der Decken nach Deckenspannweite"

Genau wie für die Decken, werden in den Diagrammen in Abbildung 65 und Abbildung 66 jeweils die Volumina und maßgebenden Nachweise für die Unterzüge dargestellt. Für das Volumen der Unterzüge lässt sich bis zu einer Spannweite von ca. 7 m ein annähernd linearer Verlauf erkennen. Sieht man sich zusätzlich die maßgebenden Nachweise an, ergibt dies Sinn. Wie auch bei den Decken bleibt der Nachweis der Schwingungen konstant maßgebend und ist hoch ausgenutzt. Anders als bei den Decken ist dies über die kleinteiligeren Schritte bei den Querschnittsabmessungen der Unterzüge zu erklären. Die Höhe kann dabei in 4 cm Schritten und die Breite sogar in 2 cm Schritten verändert werden. Dadurch ergeben sich für jede Spannweite mehrere mögliche Querschnitte, von denen stets der mit der kleinsten Fläche berücksichtigt wurde. Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass bei jeder Spannweite passende Auflagerlösungen gefunden wurden. Sowohl für die Holz-Holz-Verbindungen als auch für die Balkenträger-Varianten hat das System passende Lösungen gefunden. Die Anschlussnachweise sind demnach zu keiner Zeit maßgebend geworden.

Abbildung 65: Diagramm "Volumen der Unterzüge zur Unterzugspannweite L_x "

Genau wie bei den Stützen ist auch hier zu erkennen, dass das Volumen der Unterzüge mit steigender Festigkeitsklasse sinkt. Allerdings ist auch hier die Volumendifferenz nicht proportional zur Festigkeitsdifferenz. Die Kurve für *BSH GL28 Fichte* liegt mit einem annähernd konstanten Abstand über den beiden anderen Kurven. Der Abstand zwischen den Kurven *SSH GL40 Buche* und *FSH GL75 Buche* ist allerdings geringer, obwohl die Festigkeit fast doppelt so hoch ist. Teilweise überschneiden sich die Kurven sogar. Während dieses Phänomen bei den Stützen auf den Einfluss der unterschiedlichen Abbrandraten auf die maßgebenden Brandnachweise zurückzuführen war, ist der Grund bei den Unterzügen ein anderer. Wie bereits oben beschrieben, ist bei den Unterzügen im Bereich der betrachteten Spannweiten immer der Schwingungsnachweis maßgebend. Dieser Nachweis wird signifikant durch die Rohdichte der Elemente beeinflusst. Diese liegt bei Laubholz deutlich höher als bei Nadelholz, was den Abstand der beiden Laubholzkurven erklärt. Dass der Abstand zwischen den Laubhölzern geringer ist, liegt daran, dass die Rohdichte nicht proportional zur Festigkeit steigt.

Gut zu erkennen, ist außerdem, dass alle Kurven bei ca. 6,50 bis 7,00 m einen Knick haben. Dies liegt nicht etwa daran, dass ein anderer Nachweis maßgebend wird. Auch der Detailnachweis mit der Auswahl eines geeigneten Auflagers oder eines geeigneten Balkenträgers wird weiterhin nicht maßgebend. Aus praktischen Gründen wurde allerdings die Höhe der Unterzüge auf $h_{max} = 60 \text{ cm}$ begrenzt. Diese ist bei dem entsprechenden Knick erreicht. Danach werden die Unterzüge mit wachsender Spannweite nur breiter. Das Volumen steigt demnach in einem anderen Verhältnis als vorher. Zusätzlich ist zu sehen, dass bei sehr großen Spannweiten der Unterschied zwischen den beiden Laubholzvarianten größer wird. Die hohe Rohdichte und Festigkeit des Furnierschichtholzes kommen dann besser zum Tragen.

In Abbildung 66 ist außerdem zu erkennen, dass bei sehr kleinen Spannweiten die Nachweise der Anschlüsse maßgebend werden. Dies erklärt warum die Ausnutzungen, auch die des Schwingungsnachweises bei unter 3,80 m Spannweite nur zu maximal ca. 85 % ausgenutzt sind.

Nachweise Unterzüge nach Unterzugspannweite

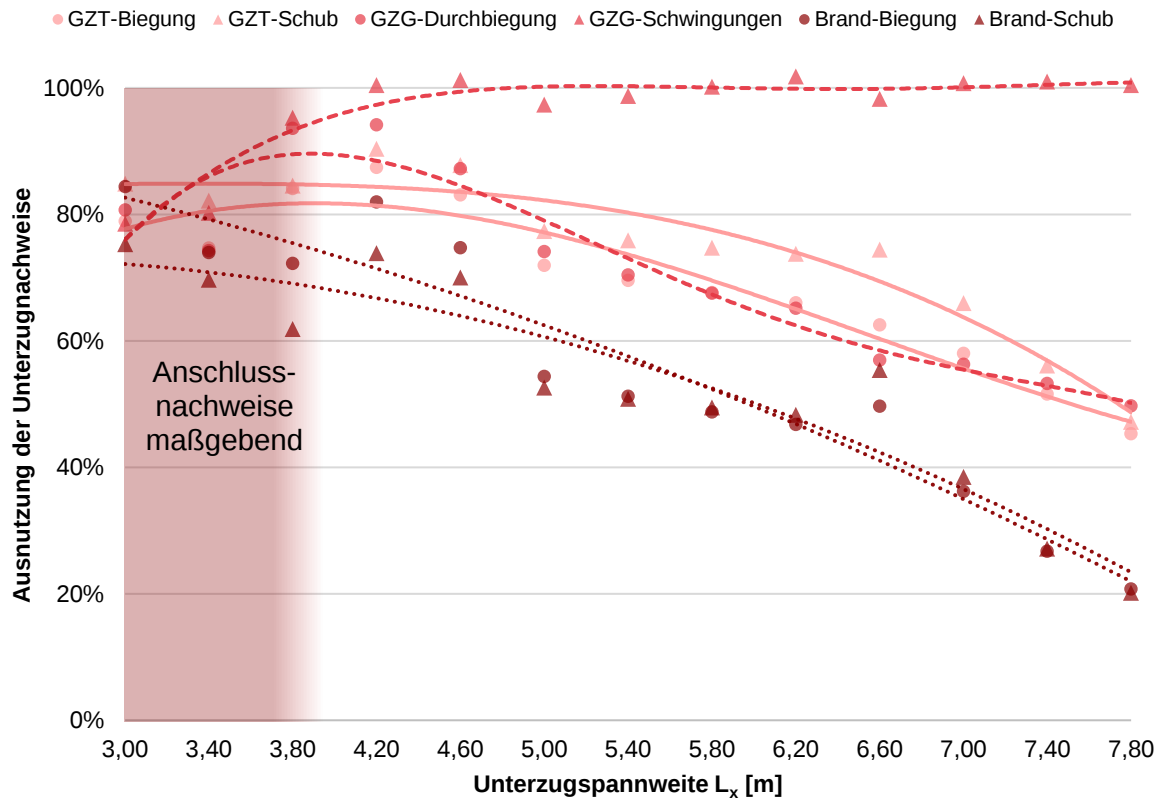


Abbildung 66: Diagramm "Nachweise der Unterzüge nach Unterzugspannweite"

5.5 Aussteifung

Für die Aussteifung des Konzeptes 1 wurde eine Vergleichsberechnung mit einem beispielhaften Grundriss geführt. Hierbei wurde sich für aussteifende Elemente aus Holz entschieden. Die Funktionsweise der Aussteifung mit Brettsperrholz-Elementen ist unter Kapitel 2.7.3, ab S.63 erläutert.

Es wurden aussteifende Wände aus Brettsperrholz (BSP) so in dem Stützenraster angeordnet, dass weiterhin eine größtmögliche freie Grundrissgestaltung möglich ist. Es wurden größtenteils Wände, die unabhängig von der Nutzung ohnehin notwendig sind, für die Aussteifung herangezogen (siehe Abbildung 67). Die Treppenhauswände, die Wände des Aufzugschachtes, der Technikräume und notwendige Brandwände zur Abschottung der einzelnen Nutzungseinheiten sind solche zwingend erforderlichen Wände, die in mehrgeschossigen Bauwerken notwendig sind. Zusätzlich zu diesen Wänden wurden die notwendigen Erschließungsflächen teilweise mit weiteren aussteifenden Wänden von den normalen Nutzungsflächen abgegrenzt. Für die Aussteifungsberechnung sind aufgrund der höheren Steifigkeit eine geringe Anzahl längerer Wände besser als eine höhere Anzahl an kürzeren Wandabschnitten. Dies wurde ebenfalls umgesetzt, um ein möglichst optimiertes Aussteifungssystem zu generieren.

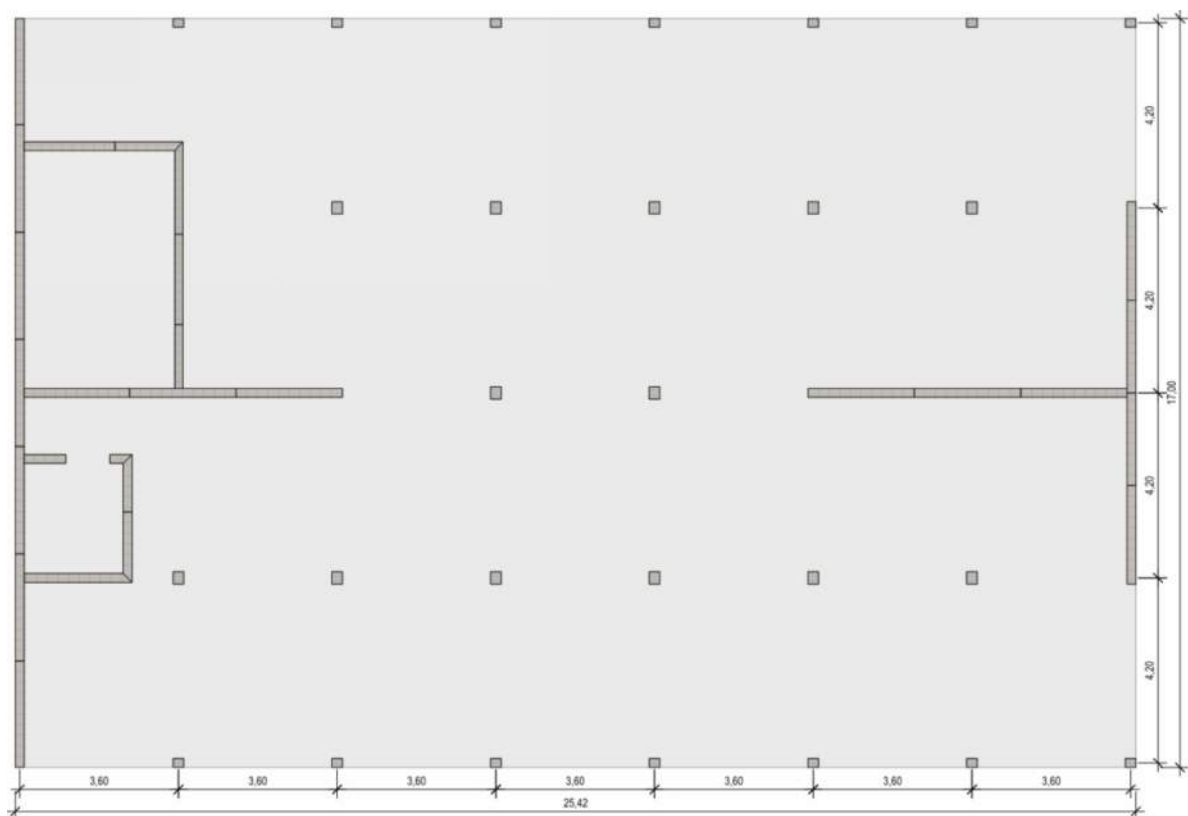


Abbildung 67: Anordnung der aussteifenden Wände im Grundriss für Konzept 1

Für das Referenzgebäude wurden die aussteifenden Wände und die dazugehörigen Anschlüsse in Erdbebenzone 1 (EZ 1) und Windzone 2 (WZ 2) beispielhaft bemessen. Die Windzone 2 deckt über 90 % der Fläche von Deutschland ab (siehe Abbildung 68, S.146). Durch die Betrachtung der Erdbebenzone 1 werden ca. 95 % der Fläche Deutschlands abgedeckt (siehe Abbildung 69). Hierbei resultiert für das beispielhafte Gebäude die maßgebende Einwirkung aus Wind. Diese Kombination der Zonen deckt somit einen Großteil der in Deutschland möglichen Variationen ab und stellt trotzdem noch eine wirtschaftliche und realitätsnahe Herangehensweise dar.



Abbildung 68: Windzonenkarte Deutschland mit schraffierter Zone 1 + 2 [78]

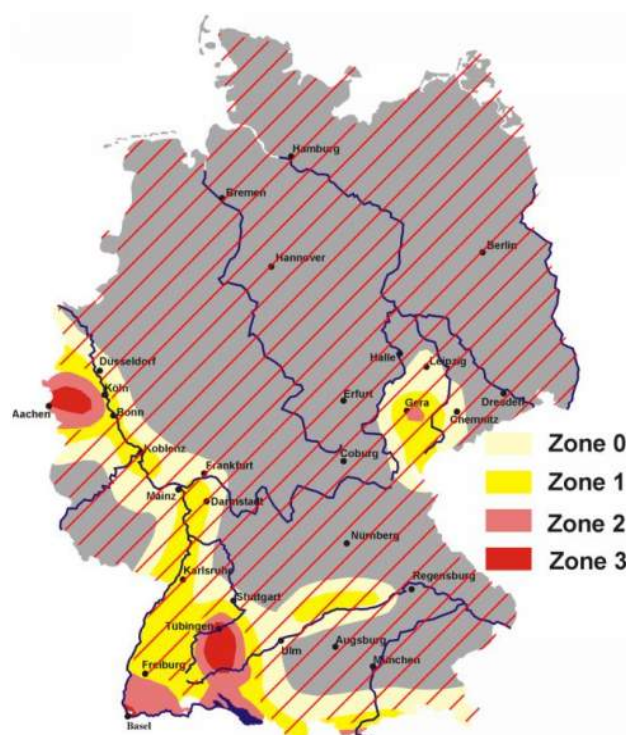


Abbildung 69: Erdbebenzonenkarte Deutschland mit schraffierter Zone 0+1 [78]

Die nachfolgende Tabelle 21 zeigt die jeweils maßgebende horizontale Einwirkung für verschiedene Kombinationen von Erdbeben- und Windzonen. Es wurde ein Lastvergleich zwischen Erdbeben- und Windlasten für das oben beschriebene beispielhafte Gebäude geführt. Hierbei wurden die vertikalen Lasten aus allen tragenden Elementen (Decken, Unterzüge, Stützen und Wände), Ausbaulasten aus den Decken- und Dachaufbauten und Nutzlasten inkl. einem Zuschlag für nichttragende Wände berücksichtigt.

Tabelle 21: Vergleich der maßgebenden Einwirkung - Wind & Erdbeben

Maßgebende Einwirkung	Wind	Erdbeben
EZ 1 & WZ 1	X	
EZ 1 & WZ 2	X	
EZ 2 & WZ 1		X
EZ 2 & WZ 2	X	
EZ 3 & WZ 1		X
EZ 3 & WZ 2		X

Es zeigte sich, dass in Erdbebenzone 1 immer Wind als maßgebende Einwirkung angesehen werden kann. Bei Erdbebenzone 3 hingegen wird immer die horizontale Einwirkung aus Erdbeben maßgebend. Für die Erdbebenzone 2 ist in Windzone 1 noch das Erdbeben maßgebend und ab Windzone 2 die Last aus Windeinwirkung.

Diese Betrachtung zeigt, dass bei einer reinen Holzbauweise für das Referenzgebäude in Erdbebenzone 1 aufgrund des geringen Eigengewichts der tragenden Bauteile keine Erdbebenebemessung erfolgen muss. Hierbei sind zum größten Anteil die flächigen Bauteile, also Decken und Wände ein entscheidender Faktor. Umso dicker und schwerer die flächigen Bauteile

sind, desto mehr Masse wird durch auftretende Erdbeben angeregt und eine höhere horizontale Einwirkung auf das Gebäude wird hervorgerufen.

Die leichte Konstruktion des Referenzgebäudes mit dünnen Massivholzdecken wird im Erdbebenfall nicht so stark angeregt, wie die resultierende Einwirkung über 8 Geschosse aus Windkräften ist. Hierdurch können die Anschlüsse, die zur Aussteifung des Gebäudes dienen, einfacher konstruiert und wirtschaftlicher umgesetzt werden.

Die Aussteifung eines Gebäudes erfordert meistens die Ausbildung von Decken- und Wandscheiben. In der Holzbauweise resultieren aufgrund der Vorfertigung und der maximalen Transportabmessungen immer Elementfugen zwischen den einzelnen Massivholz-Elementen. Die Lasten der einzelnen Elemente müssen für die Scheibenausbildung über diese Fugen in das nächste Element übertragen werden. Außerdem müssen die Lasten aus den Deckenscheiben in die Wandscheiben übertragen werden und diese wiederum über die Geschosse von Wandscheibe zu Wandscheibe bis in die Gründung abgetragen werden.

Im nachfolgenden Kapitel werden alle Anschlüsse, die auch zur Aussteifung und Elementierung benötigt werden, genauer beschrieben.

5.6 Anschlüsse

Für das vorgesehene Konzept werden nachfolgend die einzelnen Anschlusspunkte beschrieben. Eine große Herausforderung stellt hierbei die Montagetoleranz der einzelnen zu verbindenden Bauteile dar. Hierbei sind besonders die Anschlüsse der stabförmigen Bauteile (Unterzüge und Stützen) an die flächigen Bauteile (Decken und Wände) exakt zu planen.

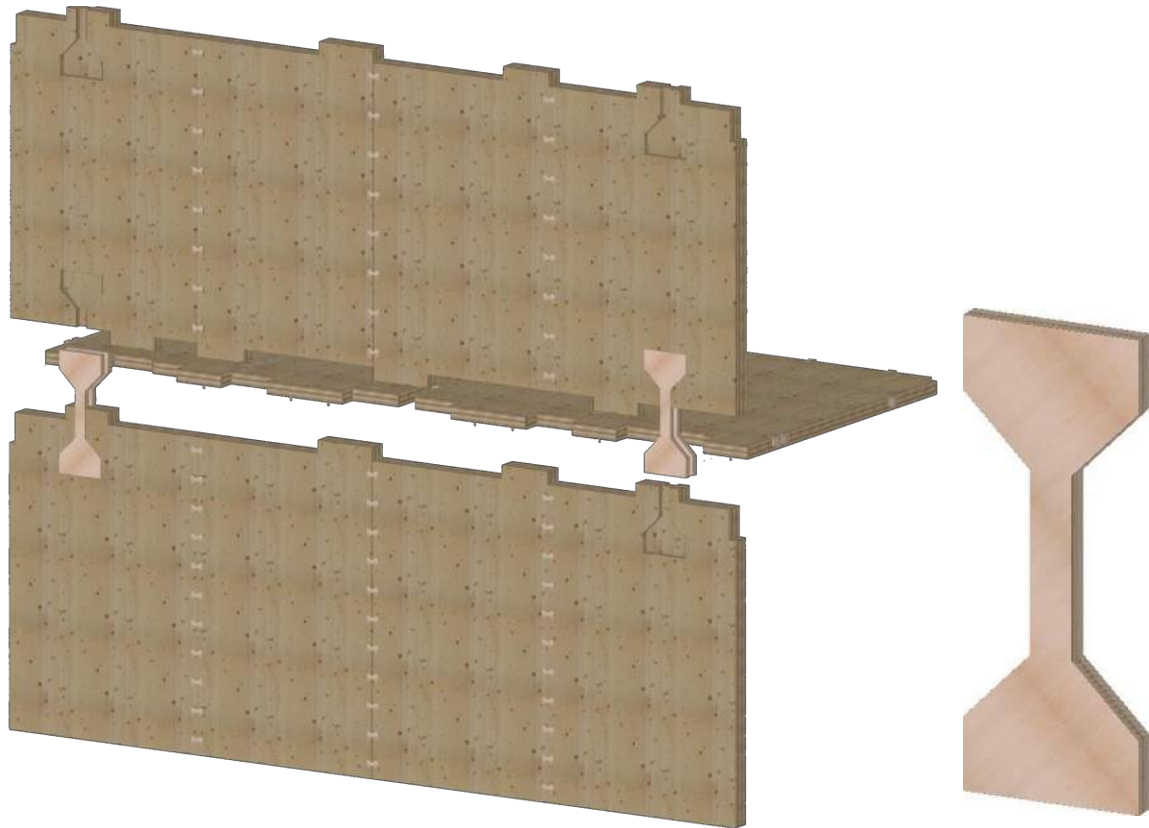


Abbildung 70: Schub- und Zugverbindung aus Holz der aussteifenden Wände (links);
Detailansicht des Zugverbinders „Knochen“ Wand an Wand (rechts)

Häufig werden die Anschlüsse in Gebäuden in Holzbauweise durch Verschraubungen und Stahlwinkel oder -bleche umgesetzt. Da die Rückbaubarkeit und Nachhaltigkeit bei diesem Konzept eine wichtige Rolle spielen, wurden diese auch bei der Konstruktion der Anschlüsse mitbedacht. Daraus resultierend wurden Anschlüsse ohne jegliche Stahlformteile konzipiert und vormessen. Teilweise wurden klassische zimmermannsmäßige Verbindungen wie Verzahnungen oder schwalbenschwanzähnliche Verbindungen (vgl. Abbildung 70) konstruiert.

Es wurden aber auch Verbindungen gewählt, die schon auf dem freien Markt erhältlich sind und sich bereits etabliert haben, wie z. B. der X-Fix®-Verbinder aus einem Buchen Furnierschichtholz des österreichischen Unternehmens Schilcher Trading & Engineering GmbH [58]. Der X-Fix®-Verbinder ist ein schwalbenschwanzförmiger Verbinder, der aus zwei keilförmigen Einzelteilen besteht (siehe Abbildung 71). Die beiden Teile werden in vorgefräste Negativformen mit dem Hammer eingeschlagen. Durch das Einschlagen werden die beiden angrenzenden Bauteile passgenau aneinander gezogen und miteinander verbunden.

Ein kleiner Nachteil der X-Fix®-Verbinder ist, dass dieser nur mit einem Spezialwerkzeug ausgehebelt werden kann und somit der Rückbau etwas aufwendiger ist.



Abbildung 71: X-Fix®-Verbinder der Schilcher Trading & Engineering GmbH [79]

Nachfolgende Tabelle 22 zeigt verschiedene Anschlussmöglichkeiten aus Stahl bzw. mit Stahl oder nur aus Holz, die für das Konzept angewendet werden können. Die Tabelle wurde nach den Anschlusssituationen bzw. dem geplanten Einbaubereich und dem vorgesehen Lastabtrag aufgeteilt. Es werden aktuell übliche Anschlüsse mit Stahlteilen und Anschlüsse ohne Stahl aufgelistet. Die bevorzugten Anschlüsse ohne Stahl wurden für die maßgebenden Lasten aus der Aussteifungsberechnung und den vertikalen Lastabtrag vorbemessen und auf geometrische Umsetzbarkeit geprüft. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer beschrieben.

Tabelle 22: Vergleich Anschlüsse für Aussteifung

Anschluss	Lastabtrag	Mit Stahl	Ohne Stahl
<i>Decken- scheibe an Wand</i>	Zug	Zugwinkel oder -blech	Über Schub in Querwänden
	Schub	Schubwinkel oder -blech, Verschraubung	Verzahnung in der Wand und Decke
<i>Ausbildung Decken- scheibe</i>	Zuggurt	Windrispenband, Zugblech, Verschraubung	X-Fix und bei Stoß mit Wän- den mit Verzahnung
	Druckgurt	-	Kontaktfläche
	Schub	Verschraubung oder Koppelbrett	X-Fix
<i>Wandscheibe an Wand (ge- schossüber- greifend)</i>	Zug	Zugwinkel oder -blech, Gewindestangen	Zimmermannsmäßiger Zug- anschluss, tlw. durch Auflast überdrückt
	Schub	Schubwinkel oder -blech, Verschraubung	Verzahnung in den Wänden
<i>Elementstoß Wand</i>	Schub	Verschraubung oder Koppelbrett	X-Fix
<i>Wandscheibe an Gründung</i>	Zug	Zugwinkel oder -bleche	-
	Schub	Schubwinkel oder -bleche, Verschraubung	Verzahnung in den Wänden und Bodenplatte/ Aufkantung

Aus der Tabelle ist zu entnehmen, dass prinzipiell fast alle Anschlüsse eines Gebäudes in Holzbauweise als reine Holz-Konstruktion möglich sind. Hierbei bietet vor allem die Verzahnung der einzelnen Bauteile eine einfache Möglichkeit, sowohl vertikale als auch horizontale Lasten von einem in das andere Bauteil zu übertragen (siehe Abbildung 70 und Abbildung 77).

Diese Verzahnungen können mit geringem Aufwand bereits im Werk exakt vorgefertigt werden, wodurch die Bauteile auf der Baustelle nur noch zusammengesteckt und lagegesichert werden müssen. Die Lagesicherung kann hier ebenfalls mit Verbindungsmitteln aus Holz, wie z. B. Holzdübeln oder kleinen Furnierschichtholz-Platten aus Buche ausgeführt werden. Lediglich für den Anschluss der Zuglasten aus den Wandscheiben an die Gründung wird ein Zugwinkel o. Ä. benötigt.

Alle Anschlüsse werden nochmals detaillierter in einem Detailkatalog mit Ansichten, Schnitten und Isometrien im Anhang unter Kapitel A 1, S.209 dargestellt und beschrieben.

5.6.1 Verbindung der Deckenelemente

Die einzelnen Deckenelemente aus BSP müssen, um als aussteifende Scheibe wirken zu können, schubsteif miteinander verbunden werden. Hierbei müssen am Rand der Scheibe Zug- und Druckkräfte aus dem Gurt übertragen werden. Im Feld entlang der Elementfugen müssen zudem noch Schubkräfte von einem Element in das andere Element abgegeben werden.

Üblicherweise werden hierfür die Elemente an den Elementfugen oberseitig einige Millimeter ausgefräst und anschließend auf der Baustelle mit einem schmalen OSB-Streifen und stiftförmigen Verbindungsmitteln, wie z. B. Nägeln oder Klammern, miteinander verbunden.

Da diese Variante keinen zerstörungsfreien Rückbau erlaubt und einen Einsatz von metallischen Verbindungsmitteln mit sich bringt, wird sich für dieses Konzept für eine Alternative mit X-Fix®-Verbindern entschieden (siehe Abbildung 72).

Diese Verbindung ermöglicht eine bessere Rückbaubarkeit und größere Einbautoleranzen. Wie auf S.149 beschrieben, besteht dieser aus zwei keilförmigen Einzelteilen, die in vorgefräste Taschen eingeschlagen werden. Die Taschen können in einem BSP-Element bereits im Werk vorgefertigt werden und im anzuschließenden BSP-Element mit Hilfe einer Frässhablone vor Ort ausgeführt werden. Hierdurch können die Toleranzen aufgenommen werden. Außerdem werden durch das Einschlagen die beiden Bauteile aneinander gezogen und eine mögliche Fuge geschlossen.

Der X-Fix® Verbinder ermöglicht die Lastübertragung der Schub- und Zuglasten. Falls im Zuggurt die Lasten die Tragfähigkeit von einem X-Fix®-Verbinder übersteigen, können am Rand der BSP-Elemente komprimiert mehrere X-Fix®-Verbinder nebeneinander angeordnet werden (siehe Abbildung 72). Die Drucklasten werden über die Kontaktflächen der einzelnen Elemente übertragen.

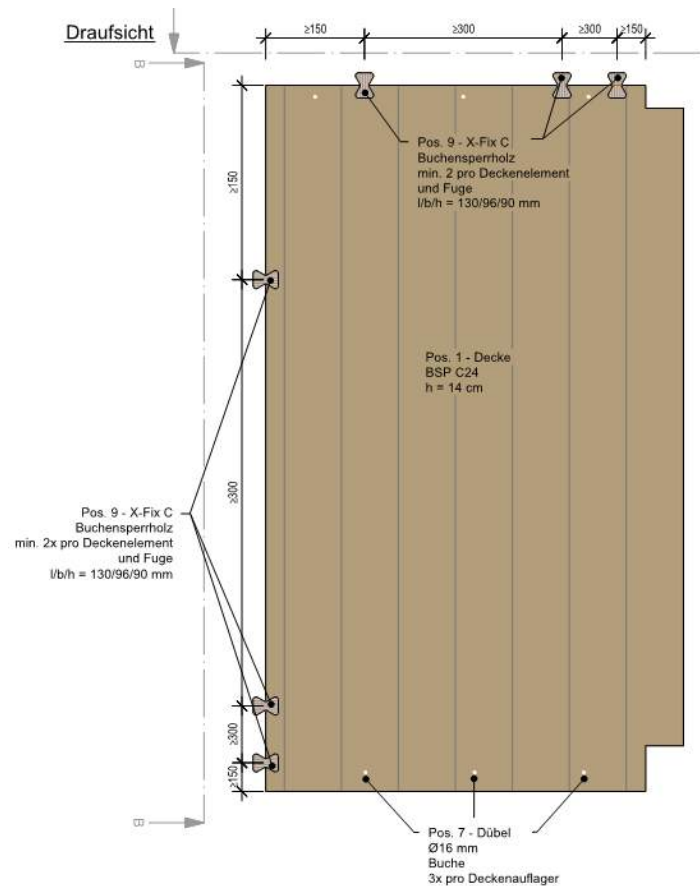


Abbildung 72: Elementfugen Deckenscheibe mit X-Fix®-Verbinder

5.6.2 Verbindung Decke an Unterzug

Die BSP-Decken sollen auf die Unterzüge aufgelegt werden und müssen lagegesichert werden. Beim konventionellen Holzbau würde man auf Voll- oder Teilgewindeschrauben zurückgreifen, die man von oben durch die BSP-Elemente in den Unterzug schrauben würde.



Abbildung 73: Anschluss Decke an Unterzug mit Holzdübeln

Eine einfache und alte zimmermannsmäßige Variante besteht aus sogenannten Holznägeln oder Holzdübeln aus Buche. Diese werden in einem regelmäßigen Abstand je nach statischer Erfordernis ebenfalls von oben durch die BSP-Elemente in den Unterzug geschlagen (siehe Abbildung 73). Um eine hohe Maßgenauigkeit zu erreichen, werden die Löcher lediglich in

einem Bauteil (BSP-Decke) bereits im Werk vorgebohrt. Bei dem anzuschließenden Bauteil (Unterzug) werden die Löcher dann erst auf der Baustelle gebohrt, nachdem die Decke bereits aufliegt. Hierbei dienen die vorgebohrten Löcher in der Decke als Führung.

Da diese Holzdübel auf Abscheren eine hohe statische Tragfähigkeit haben, können zusätzlich zur Lagesicherung noch die Scheibenkräfte von einem Deckenfeld über den Unterzug in das nächste Deckenfeld übertragen werden. Hierdurch können zusätzliche Verbindungen, die die Scheibenkräfte von einem Deckenfeld in das nächste Feld übertragen, eingespart werden. Außerdem werden die Unterzüge am Obergurt noch gegen seitliches Kippen gehalten.

Mit Hilfe der Holzdübel oder Holznägel ist eine gute Rückbaubarkeit ebenfalls gewährleistet. Die Holzdübel können im Falle eines Rückbaus einfach mit einem Holz-Schlangenbohrer rausgebohrt werden und die einzelnen Elemente voneinander gelöst werden. Das Durchschneiden der Dübel in der Fuge stellt eine andere Möglichkeit dar. Da die Dübel dasselbe Material wie die umliegenden Bauteile haben, können sie darin verbleiben, ohne die mögliche Weiterverwendung der Bauteile einzuschränken.

5.6.3 Verbindung Unterzug an Stütze

Die Unterzüge werden als Einfeld-Träger ausgebildet und spannen zwischen zwei Stützenachsen. Die parametrischen Bemessungen haben gezeigt, dass der Anschluss der Unterzüge an Stützen mit Hilfe von Einhängeverbindern oder Schlitzblechen höhere Kosten für den gesamten Rohbau als das einfache Auflegen der Unterzüge auf ausgeklinkte Stützen hervorruft (siehe Abbildung 83, S.162). Außerdem sind die Material- und Montagekosten durch die metallischen Verbindungen deutlich höher als reine Holz-Holz-Verbindungen, wo lediglich die Ausklinkungen der Stützen im Werk durch automatisierte Abbundmaschinen hergestellt werden müssen.

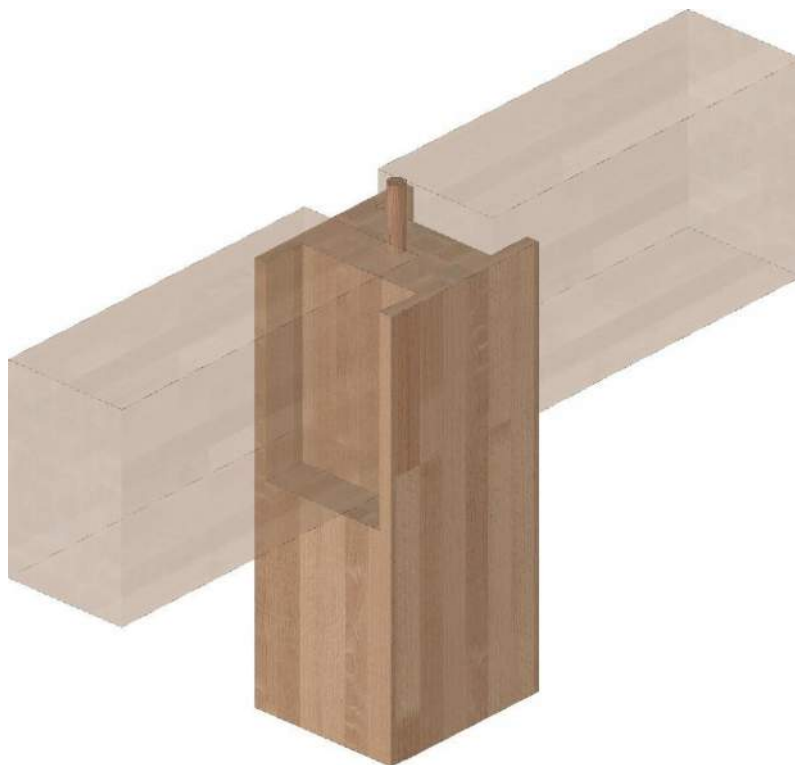


Abbildung 74: Stützenkopf Auflagertasche für Unterzug

Für das Konzept wurde sich aufgrund dieser deutlichen Vorteile für eine Holz-Holz-Verbindung mit Hilfe von ausgeklinkten Stützen entschieden. Die Unterzüge werden hierbei auf die Stützenköpfe aufgelegt und übertragen die vertikalen Lasten über Druck. Der Anschluss muss hierbei nur eine Lagesicherung gewährleisten, die z. B. mit Hilfe von schräg eingeschlagenen Holzdübeln erfolgen kann.

Die Ausklinkung des Stützenkopfes kann alternativ dazu so ausgeführt werden, dass eine Art Tasche im Stützenkopf stehen bleibt (siehe Abbildung 74), wo die Unterzüge eingelegt werden. Hierdurch sind die Unterzüge in ihrer Lage gesichert und zusätzlich ist eine durchgehende optische Kante der Stütze vorhanden (siehe Abbildung 75).



Abbildung 75: Modell des Stützenknotens Konzept 1

5.6.4 Verbindung Stütze an Stütze

Die Übertragung der vertikalen Kräfte aus den Stützen der oberen Geschosse in die darunterliegenden Geschosse soll möglichst ohne Querdruck erfolgen, da Holz eine sehr geringe Querdruckfestigkeit aufweist. Es muss also gewährleistet werden, dass die Stützen die Lasten nicht auf die Unterzüge oder die BSP-Decken abtragen. Dies kann mit Hilfe der ausgeklinkten Stützenköpfe gewährleistet werden.

Es wird ein statisch notwendiger Restquerschnitt der Stützenköpfe bis zum nächsten Stützenfuß geführt, sodass die darüberliegende Stütze direkt auf dem Stützenkopf aufsteht und die Lasten über Längsdruck abtragen kann.

Die Stützen müssen lediglich zur Lagesicherung miteinander verbunden werden. Es können auch hier Holzdübel als eine Art Schubdorn in der Mitte der Unterseite der Stütze vorgesehen werden. Die Löcher für die Dübel können zusätzlich für den Transport und die Montage als Anschlagspunkt für den Kran verwendet werden (siehe Abbildung 76).

Alternativ dazu können die Holzdübel schräg durch die Stützenfüße in die Stützenköpfe eingeschlagen werden.



Abbildung 76: Stützenkopf mit Loch für Schubdorn und Anschlagpunkt für Montage

5.6.5 Verbindung Decke an Wand

Der Anschluss der BSP-Decken an die Wände muss nicht nur die vertikalen Lasten aus den Deckenlasten (Nutzlast und Ausbaulast), sondern auch die horizontalen Lasten aus der Deckenscheibe übertragen können.

Hierbei kann zwischen einem seitlichen indirekten Anschluss und einem direkten Anschluss der Decke unterschieden werden. Bei einem indirekten Anschluss wird die Decke mit Hilfe eines Auflagerholzes oder eines Stahlwinkels seitlich an die Wand angeschlossen. Dies bringt den Vorteil mit sich, dass es weniger Bauteilfugen in den Wänden gibt. Die Wand kann über 2-3 Geschosse durchlaufen, was weniger Montagezeit bedeutet. Es werden jedoch zusätzliche Schrauben und Stahlbauteile nötig. Die Schrauben und Stahlwinkel können hierbei sowohl die horizontalen als auch die vertikalen Lasten abtragen.

Der direkte Anschluss wird durch ein Auflegen der Decke auf die Wand erreicht. Die Decke wird im Normalfall auf die gesamte Stirnfläche der Wand aufgelegt und dort nur noch in der Lage gesichert. Die vertikalen Lasten werden durch die Kontaktpressung abgegeben und die horizontalen Lasten mit Schrauben, Stahlwinkeln oder Holzdübeln. Es werden jedoch in jedem Fall zusätzliche Verbindungsmittel nötig.

Für dieses Konzept wurde sich deshalb überlegt, die Decke mit Hilfe einer Verzahnung in kleine Öffnungen in der Wand einzulegen (siehe Abbildung 77). Die Zähne können die vertikalen Lasten über ihre Fläche über Kontaktpressung an die Wand abgeben und zusätzlich über einen Formschluss mit der Wand die horizontalen Lasten aus Schub ebenfalls über Kontaktpressung abgeben (siehe auch Bemessung im Anhang A 3).

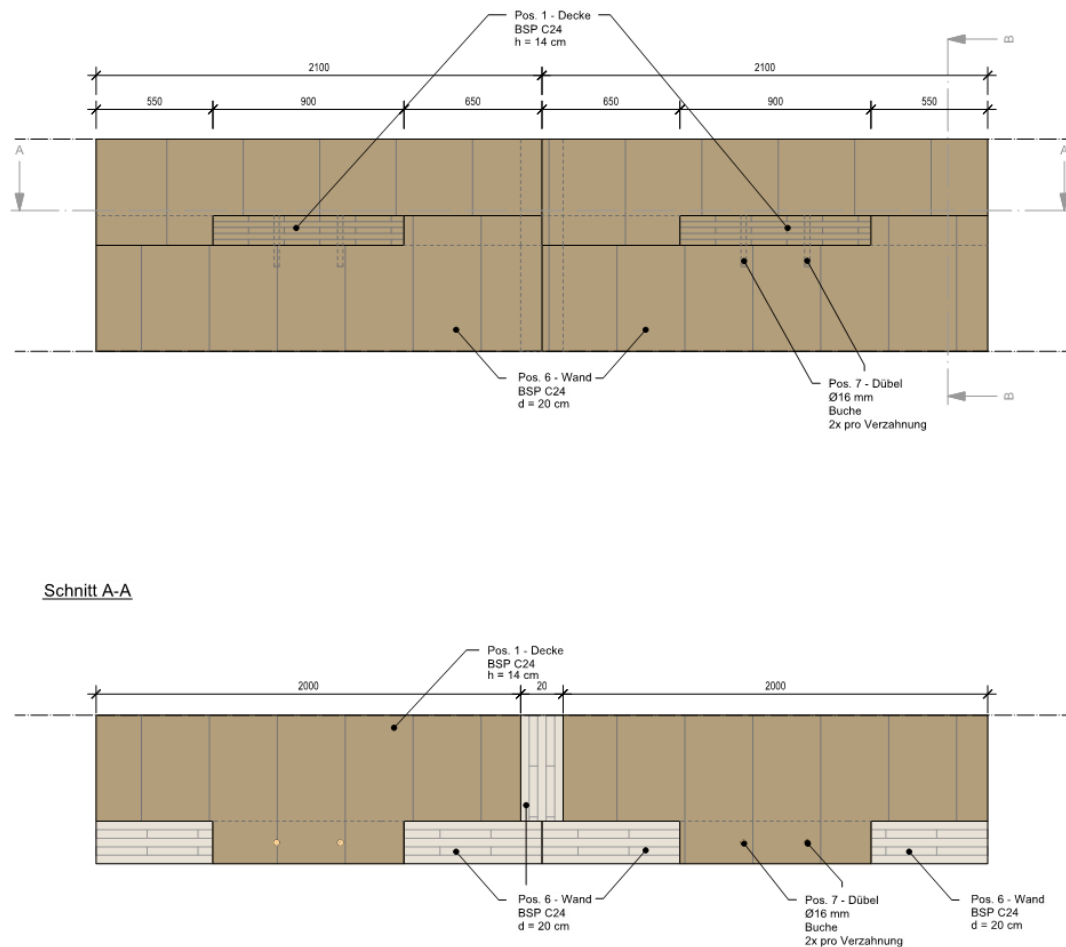


Abbildung 77: Ansicht und Schnitt der Verzahnung der Deckenscheibe mit der Wandscheibe

Die Bauteilfugen der Wände können je nach Erfordernis auf Höhe der Oberkante der Holzdecke oder auch erst nach 2-3 Geschossen angeordnet werden. Falls die Wände über mehrere Geschosse durchlaufen sollen, muss bei der Montage der Decke darauf geachtet werden, dass nur noch ein seitliches Einführen in die Öffnungen der Wand möglich ist. Aufgrund der wenigen Wände bei diesem Skelettbau werden die Decken immer nur an maximal einem Ende oder über Eck bei einer Querwand an eine Wand angeschlossen, wodurch das seitliche Einfädeln prinzipiell immer möglich ist.

Durch diesen Anschluss müssen keine zusätzlichen Auflager, oder Scherwinkel angeordnet werden und es kann eine einfache Rückbaubarkeit gewährleistet werden.

5.6.6 Verbindung Wand an Wand

Eine Verbindung zwischen Brettspertholz-Wänden wird nötig, wenn diese aufgrund einer zu großen Höhe z. B. bei einer Mehrgeschossigkeit oder einer zu großen Länge die maximalen Fertigungs- und Lieferabmessungen von ca. 3,00 m x 15,00 m überschreiten und in einzelne Elemente unterteilt werden müssen. Die BSP-Wände werden dann im Werk vorelementiert und entsprechend mit den passenden Lieferabmessungen produziert. Die einzelnen Elemente müssen dann auf der Baustelle in ihren Elementfugen miteinander verbunden werden, um als eine durchgehende Scheibe wirken zu können.

Die Verbindung wird unterschieden in Verbindungen bei horizontalen Elementfugen (geschossübergreifend) und Verbindungen bei vertikalen Elementfugen (geschossweise). Die

Verbindung in den horizontalen Fugen muss sowohl Schub- als auch Zuglasten übertragen können. Die Verbindungen in den vertikalen Fugen müssen lediglich die Schubkräfte von einem in das nächste Element übertragen.

Für die horizontale Verbindung wurden neuartige Holz-Holz-Verbindungen wie Verzahnungen und schwalbenschwanzähnliche Verbindungen konstruiert.

Im Laufe des Projektes wurde hierfür ein sogenannter „Knochen“ (siehe Abbildung 78) entwickelt, der die Zugkräfte zwischen zwei Wandelementen übertragen kann. Dieser „Knochen“ besteht aus einem Furnierschichtholz aus Buche. Das Material wurde ausgewählt, da die Zugfestigkeit parallel zur Faser sehr hoch ist im Vergleich zu anderen Holzmaterialien. Er kann aufgrund seiner Formgebung die Zugkräfte von einer Wand in die nächste Wand über Kontaktpressung übertragen (siehe Bemessung im Anhang A 3).

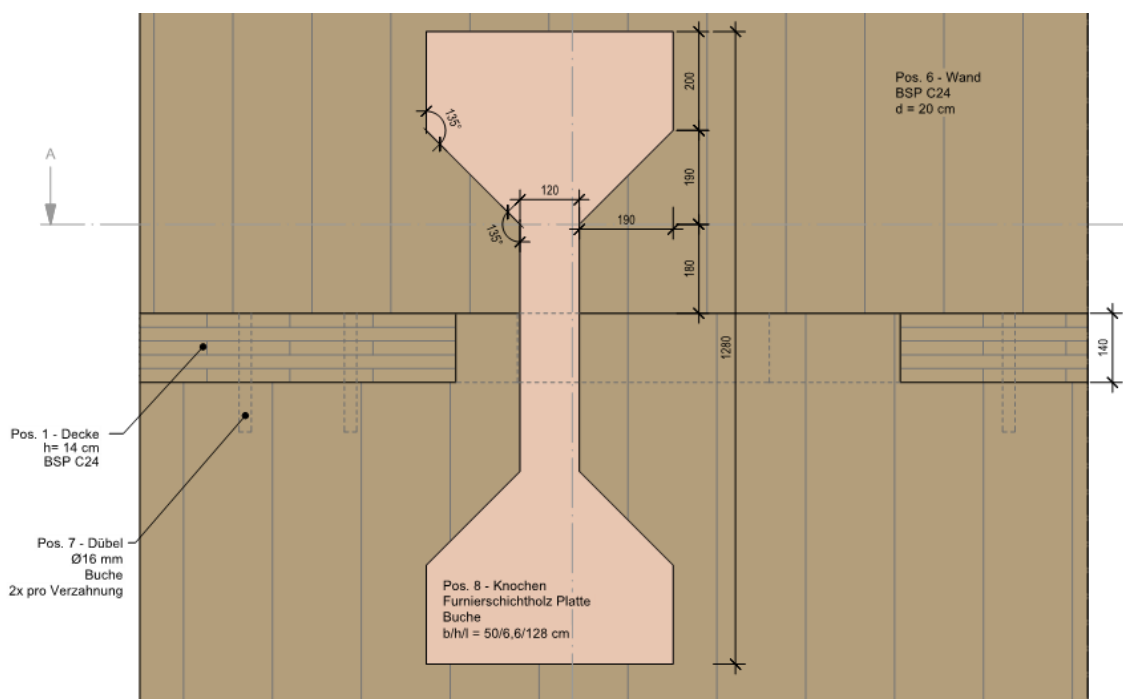


Abbildung 78: Zug-Anschluss Wand an Wand mit „Knochen“

Hierfür wird in die eine BSP-Wand eine Aussparung eingefräst, die der Größe des halben Knochens entspricht und in die darüberliegende BSP-Wand wird die andere Hälfte des Knochens eingefräst. Auf der Baustelle kann der Knochen dann nach Aufrichten der Wände in die Aussparungen eingebaut werden. Der Knochen hängt sich bei einer Belastung in die Kontaktfläche der Wandscheibe ein und kann dadurch die Lasten aufnehmen bzw. an die nächste Wandscheibe abgeben. Hierbei ist auf eine exakte und formschlüssige Montage zu achten. Da die BSP-Wände normalerweise im selben Werk und mit einer computergesteuerten Ab- und Maschinengesteuerten Herstellung hergestellt werden, ist davon auszugehen, dass die Toleranzen eingehalten werden können. In einem ersten Modellbau (siehe Abbildung 79) konnte mit kleineren Anpassungen ein reibungsloser Einbau des Knochens umgesetzt werden. Der Knochen ist formschlüssig eingebaut und die maßgebenden Kontaktflächen sind hergestellt. Ist dies jedoch auf der Baustelle nicht der Fall, können die entstehenden Fugen im Nachhinein verklebt bzw. verkeilt werden, sodass kraftschlüssige Verbindungen ohne Schlupf hergestellt werden.



Abbildung 79: Modell des Knochens

Die Schubkräfte in den horizontalen Fugen der Wandscheiben sollen analog zu dem Anschluss der Deckenscheiben an die Wandscheiben mit Verzahnungen übertragen werden (siehe Abbildung 80). Hierfür werden die Wände am Wandfuß bzw. Wandkopf abwechselnd ausgefräst, wodurch Verzahnungen zwischen den einzelnen Wandelementen entstehen. Die Lasten werden dann über die Kontaktflächen der Verzahnungen über Längsdruck in den horizontalen Lamellen der BSP-Wände abgetragen (siehe auch Bemessung im Anhang A 3). Hierbei ist auf eine ausreichende Anzahl an Verzahnungen bzw. ausreichend große Kontaktflächen der Wandelemente zu achten, damit die Lasten aus beiden horizontalen Richtungen aufgenommen werden können.

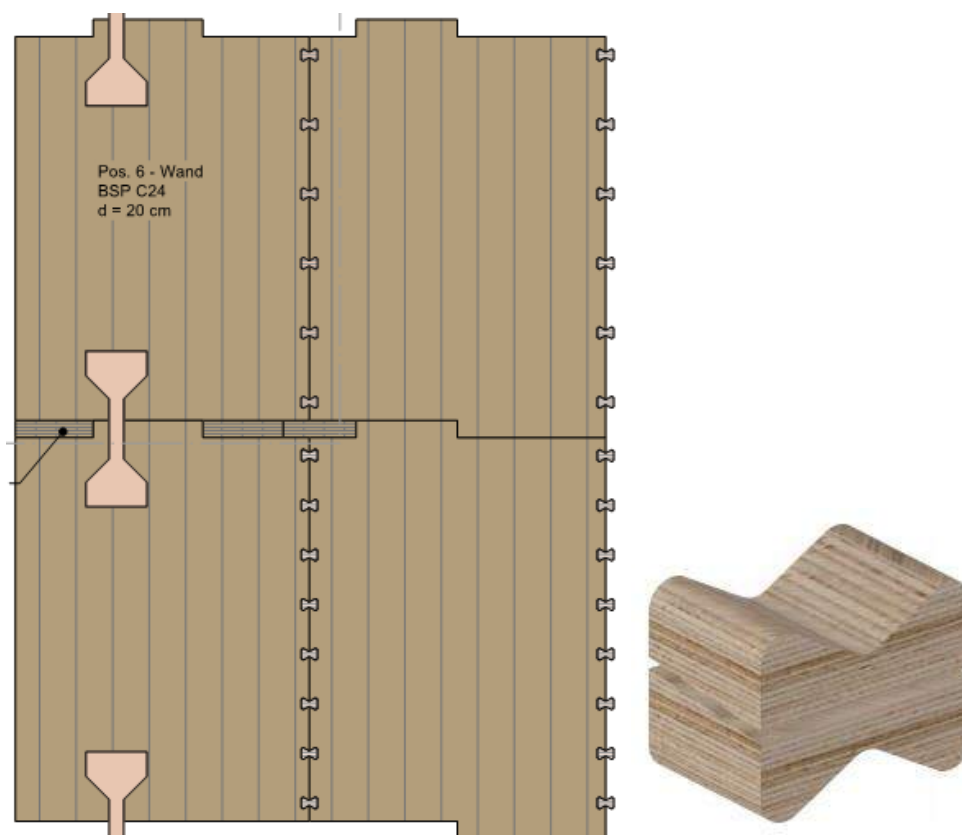


Abbildung 80: Elementfuge mit X-Fix® und Verzahnungen Wand an Wand

Alternativ zu den Verzahnungen können die Schubkräfte auch mit einem X-Fix®-Verbinder übertragen werden (siehe Abbildung 80). Die Zugkräfte können ebenfalls mit einem X-Fix®-Verbinder übertragen werden. Hierbei ist jedoch auf den maximalen Widerstand pro Verbinder von $R_{t,k} = 28,0 \text{ kN}$ zu achten [79]. Die Lastübertragung mit Hilfe der X-Fix®-Verbinder ist deutlich geringer als mit den Verzahnungen und dem Knochen, weshalb diese nicht weiterverfolgt werden.

Die vertikalen Elementfugen können ebenfalls mit einem X-Fix®-Verbinder ausgeführt werden (siehe Abbildung 80). Hierbei ist der Lastfluss auf die Höhe der Wand verteilt nicht allzu groß, weshalb die Anordnung der X-Fix®-Verbinder hier eine gute Lösung darstellt. Alternativ kann auch ein Stufenfalz mit Schrauben, Nägeln oder Holzdübeln ausgeführt werden, wobei hier die nicht gegebene Rückbaubarkeit einen großen Nachteil mit sich bringt.

5.6.7 Verbindung Aussteifungswand an Gründung

Die Lasten, die sich über die Anzahl der Geschosse in den Wandscheiben aufsummieren, müssen am Schluss an die Gründung abgegeben werden. Es entstehen entsprechend größere Zug- und Schublasten als in den oberen Geschossen.

Die Gründung wird üblicherweise aus Stahlbeton mit Fundamenten und/oder einer tragenden Bodenplatte ausgeführt. Im Einfamilienhausbau werden vereinzelt schon Bodenplatten aus Holz hergestellt, jedoch stellt dies im mehrgeschossigen Bau aktuell noch keine Alternative dar. Im Holzbau muss aufgrund des Feuchteschutzes des Holzes dafür Sorge getragen werden, dass das Holz keine Berührung mit dem Erdreich hat. Üblicherweise werden im Bereich

der Außenwandelemente Aufkantungungen aus Beton vorgesehen, damit die Holzwände leicht erhöht stehen können. Hierdurch wird ein Anschluss von Holz an Beton nötig.

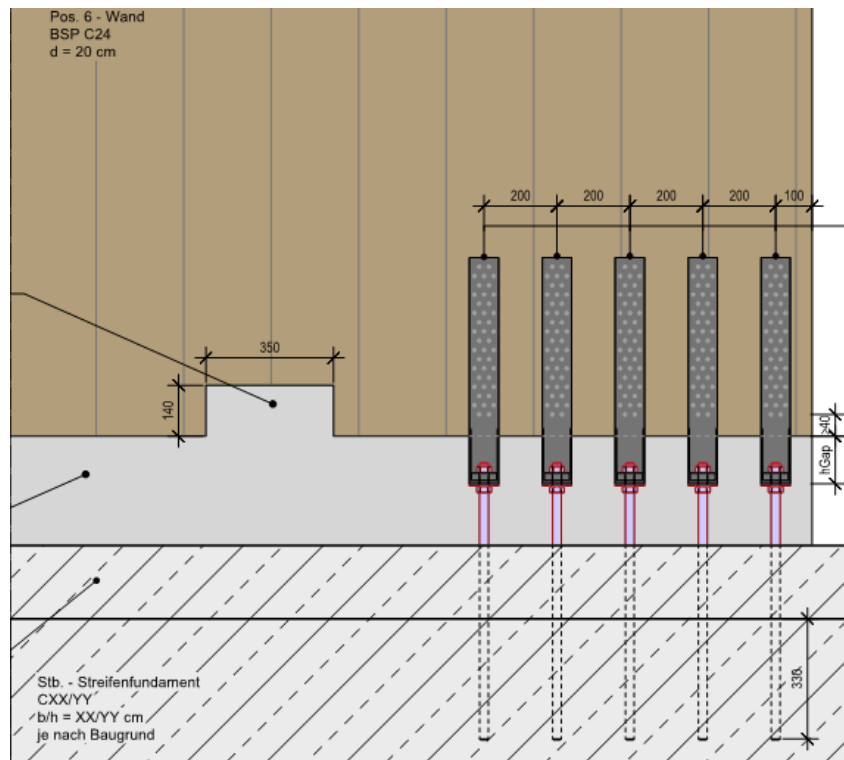


Abbildung 81: Schub- und Zugverankerung der BSP-Wand an Gründung

Die Schublasten am Wandfuß können mit Hilfe einer Verzahnung zwischen Betonaufkantung und BSP-Wand übertragen werden (siehe Abbildung 81). Hierfür werden in der BSP-Wand werkseitig Aussparungen und auf den Stahlbeton-Aufkantungungen zusätzliche Stahlbeton-„Zähne“ (punktueller Erhöhung der Aufkantung) vorgesehen. Die Zähne werden so gefertigt, dass die notwendige Bewehrung in den Zähnen zusammen mit der Aufkantung eingelegt wird. Die Betonage der Zähne erfolgt dann erst im Nachhinein, nachdem die BSP-Wand auf die Aufkantung gestellt wurde. So kann ein kraftschlüssiger Verbund zwischen Holz und Beton hergestellt werden und die Rohbautoleranzen ausgeglichen werden (siehe auch Bemessung im Anhang A 3). Es müssen keine zusätzlichen Verbindungsmittel oder Stahlbauteile verwendet werden und es kann ein Anschluss über einen reinen Formschluss erreicht werden.

Die Zuglasten sind stark abhängig von der Anzahl und Anordnung der Wandscheiben, sowie von der Anzahl der Geschosse und den auftretenden horizontalen Lasten aus Erdbeben und Wind. Für das oben beschriebene Referenzgebäude mit den unter Abbildung 67 auf S.145 dargestellten Wandscheiben können nicht alle Wände überdrückt werden, sodass sich Zuglasten am Wandfuß ergeben. Die Zuglasten müssen an die Bodenplatte oder die Fundamente übergeben werden. Der Anschluss von BSP-Wand an Stahlbeton-Bodenplatte wird mit Hilfe von Zugwinkeln (siehe Abbildung 81) hergestellt. Diese können auch bei einer möglichen Betonaufkantung mit einem Abstand montiert werden.

Diese Zugwinkel sind in der Lage sehr hohe Lasten zu übertragen und können zudem bei Lastspitzen eng nebeneinander angeordnet werden. Sie sind somit sehr effektiv und flexibel auf die auftretenden Lasten anzupassen.

Der Anschluss an den Beton erfolgt mit Hilfe einer eingeklebten Gewindestange und einer Mutter. Die Mutter kann bei der Demontage einfach gelöst und abgeschraubt werden. Der Anschluss an das Holz kann mit Hilfe von Vollgewindeschrauben erfolgen.

Die Rückbaubarkeit des Verbinders von der Holz-Wand ist theoretisch möglich, da sich Schrauben laut Herstellerangaben grundsätzlich zurückbauen lassen. Hierbei sind jedoch aktuell noch wenig Erfahrungswerte vorhanden, ob sich bei einem Rückbau des Gebäudes nach 100-200 Jahren die Schrauben ausdrehen lassen. Es ist eher davon auszugehen, dass die Schraubenköpfe nach der langen Einbauzeit mit diversen dynamischen Lastwechseln und thermischen Schwankungen abreißen und ein zerstörungsfreier Rückbau nicht möglich ist. Da dieser Anschluss der einzige metallische Anschluss des Konzeptes ist und es keine adäquate wirtschaftliche und baupraktische Alternative gibt, wird hier der Nachteil der evtl. nicht zerstörungsfreien Rückbaubarkeit in Kauf genommen. Im schlimmsten Fall muss die BSP-Wand am Wandfuß um die Höhe des Zugwinkels (max. 0,47 m) gekürzt werden.

5.7 Kosten- und Materialvergleich

Das Konzept wurde unter mehreren relevanten Gesichtspunkten entwickelt. Ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung des Konzeptes ist der der Kosten. Hierbei wurde das Konzept unter den gewählten Rahmenbedingungen hinsichtlich der Kosten bewertet. Es wurden die gesamten Rohbaukosten der tragenden Elemente (Decken, Unterzüge und Stützen) inklusive ihrer Anschlüsse betrachtet.

Die Kosten der weiteren Kostengruppen wie z. B. der Erschließung und des Grundstücks, der technische Anlagen oder der Außenanlagen wurden nicht weiter untersucht, da sie weitestgehend unabhängig von der tragenden Konstruktion sind. Auch das Aussteifungskonzept ist unabhängig von den verschiedenen Holzvarianten und identisch für alle Stützenraster. Es ist lediglich abhängig von dem Standort (Erdbeben- und Windzone) und der Gebäudegeometrie (Grundriss und Gebäudehöhe) und wurde daher nicht berücksichtigt.

Hierbei wurde sich unter anderem die Kostenentwicklung der einzelnen Bauteile unter Anpassung des Achsrasters angeschaut. In nachfolgender Abbildung 82 sind die Kostenanteile der tragenden Bauteile Decken, Unterzüge und Stützen in Abhängigkeit des Produktes der Spannweite, also der Einzugsfläche einer Stütze, dargestellt.

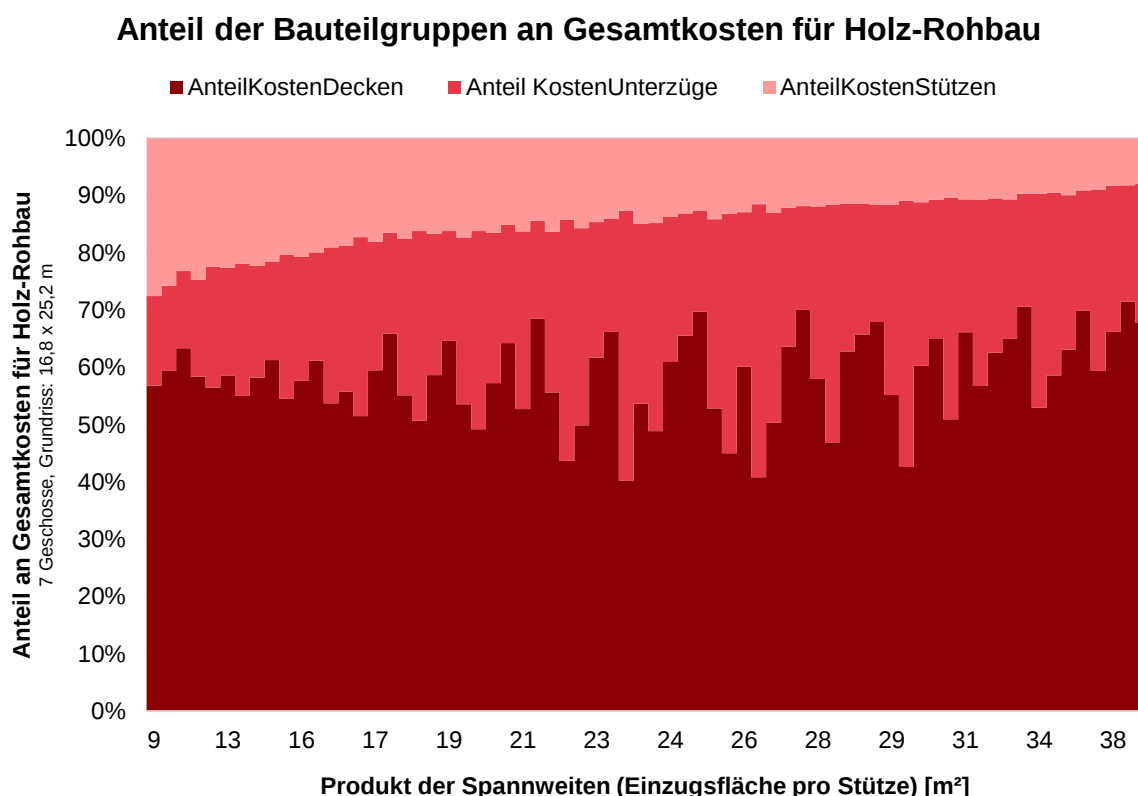


Abbildung 82: Anteil der Bauteilgruppen an Gesamtkosten des Holz-Rohbaus über die Einzugsfläche pro Stütze

Es zeigt sich, dass der Anteil der Kosten der Stützen mit steigender Einzugsfläche immer kleiner wird und die der Decken und Unterzüge immer größer. Dies ist zum einen auf die Decken zurückzuführen, die bei steigender Spannweite dicker ausgeführt werden müssen und als flächige Bauteile einen großen Anteil des Materialvolumens und somit auch der Kosten ausmachen. Zum anderen ist bei der Bemessung der Stützen für kleinere Einzugsflächen immer der Brandfall bei einem 4-seitigen Abbrand maßgebend (siehe Abbildung 60, S.135). Die Stützen müssen somit bei einer kleinen Einzugsfläche einen gewissen Mindestquerschnitt aufgrund des Abbrandes aufweisen und können nicht beliebig gemäß der kleiner werdenden Lasten

verkleinert werden. Wohingegen die Stützen bei einer größeren Einzugsfläche nicht linear in ihrem Querschnitt vergrößert werden müssen. Die Kosten der Unterzüge haben je nach Verhältnis zwischen Unterzugspannweite und Deckenspannweite einen kleineren oder größeren Anteil an den Gesamtkosten. Zusätzlich steigt der Deckenquerschnitt bei steigender Spannweite sprunghaft an (siehe Abbildung 63, S.141). Diese beiden Umstände erklären die Sprünge bei den Anteilen der Decken- und Unterzugskosten.

Zusätzlich zu den verschiedenen Bauteilen wurden auch die unterschiedlichen Anschlussmöglichkeiten betrachtet. In Kapitel 4.2, S. 87ff sind die unterschiedlichen Anschlüsse beschrieben und bereits eine Vorauswahl hinsichtlich des Materialvolumens getroffen worden. Es konnte festgelegt werden, dass die beste Holz-Holz-Verbindung aus der ausgeklinkten Stütze besteht und die beste Stahl-Holz-Verbindung mit Balkenträgern umgesetzt werden kann.

In nachfolgender Abbildung 83 wird daher als Holz-Holz-Verbindung die ausgeklinkte Stütze betrachtet. Es wird ein Vergleich der Gesamtkosten für den Holz-Rohbau mit Holz-Holz-Verbindung und Stahl-Holz-Verbindungen (Balkenträgern) geführt.

Im Bereich von größeren Einzugsflächen der Stützen ab ca. 30 m² sind die Gesamtkosten des Rohbaus mit Balkenträgern in einem ähnlichen Bereich wie die Holz-Holz-Verbindungen. Ab einer Einzugsfläche von ca. 32 m² können aufgrund der zu hohen Lasten innerhalb der gesetzten Querschnittsbegrenzungen keine Lösungen mit einer ausgeklinkten Stütze generiert werden.

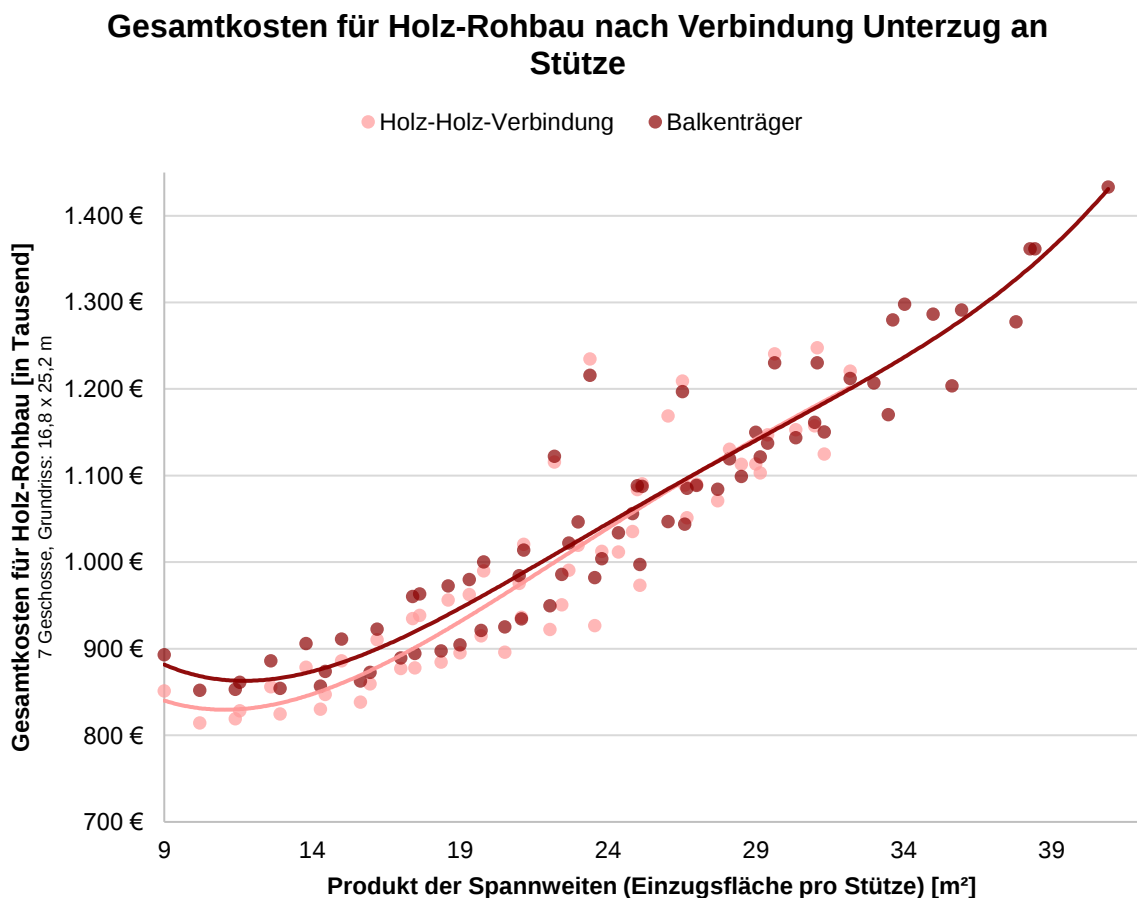


Abbildung 83: Gesamtkosten des Holz-Rohbaus nach Verbindungen Unterzug an Stütze über die Einzugsfläche pro Stütze

Unterhalb der Einzugsfläche pro Stütze von 30 m² bzw. bis zu einem Achsraster von z. B. 4,5 m x 6,6 m sind die Gesamtkosten des Holz-Rohbaus mit Holz-Holz-Verbindungen im Mittel immer günstiger als die Gesamtkosten mit Balkenträgern. In dem Bereich unterhalb von 20 m² Einzugsfläche sind die Materialkosten mit Holz-Holz-Verbindungen teilweise deutlich günstiger.

Es wird gezeigt, dass reine Holz-Holz-Verbindungen hinsichtlich der Gesamtkosten des Rohbaus mindestens gleichwertig zu Balkenträgern anzusehen sind. Im Bereich von kleineren und mittleren Einzugsflächen bis zu 30 m² pro Stütze sind die Gesamtkosten mit Holz-Holz-Verbindungen sogar günstiger als Balkenträger.

Zusätzlich zu den Anteilen der Bauteilgruppen und der Anschlussvarianten werden in nachfolgender Abbildung 84 die Gesamtkosten des Holz-Rohbaus verschiedener Holz-Materialien in Bezug zur Einzugsfläche pro Stütze dargestellt. Die Auswahl beschränkt sich auf drei repräsentative Holz-Varianten, die gleichzeitig auch die günstigsten Holz-Varianten darstellen. Hierbei wurden die Kosten für die Decken, Unterzüge und Stützen betrachtet.

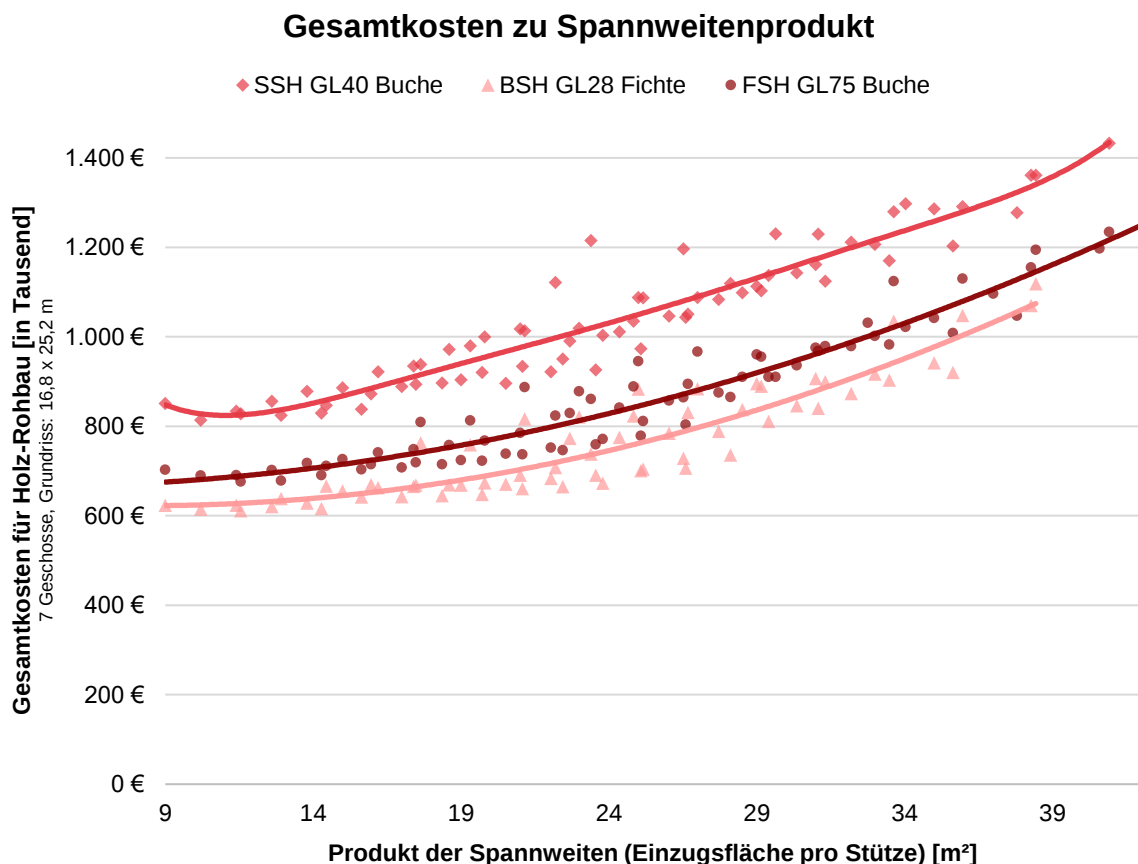


Abbildung 84: Diagramm "Gesamtkosten zu Spannweitenprodukt"

Es zeigt sich, dass die Gesamtkosten des Holz-Rohbaus mit der Nadelholz-Variante im Vergleich zum Laubholz aktuell immer günstiger sind. Der Unterschied zwischen den Materialien ist über die Variation der Einzugsfläche bzw. des Spannweitenprodukts ungefähr gleichbleibend und beträgt beim Furnierschichtholz aus Buche (FSH GL75 Buche) zum Nadelholz (BSH GL28 Fichte) nur ca. 80.000 € bei einer Gesamtsumme des Rohbaus im Mittel von knapp einer Millionen Euro. Beim zweitgünstigsten Laubholz (SSH GL40 Buche) zum Nadelholz liegt der

Unterschied bei ca. 250.000 €. Das Achsraster der Stützen hat somit keinen signifikanten Einfluss auf die Auswahl der Holzmaterialien bezüglich der reinen Holz-Rohbaukosten. Das Volumen des Rohbaus und auch die reale Grundrissfläche (Stützenquerschnitt) sind jedoch stark abhängig von der Auswahl des Materials (siehe nachfolgende Seiten).

Bei allen Materialien ist zu erkennen, dass die Gesamtkosten des Holz-Rohbaus, umso höher die Einzugsfläche pro Stütze wird, stärker ansteigen. Die Trendlinien verlaufen bis zu einer Einzugsfläche von ca. 15 m² relativ flach und steigen danach stetig an. Das beste Kosten/Fläche-Verhältnis ist somit bis zu einer Einzugsfläche von 15 m² zu erreichen.

Bei den nachfolgenden Diagrammen werden verschiedene Materialien für den Rohbau hinsichtlich der Gesamtkosten inkl. Fundamentierung und Anschlüssen untersucht und miteinander verglichen. Der Vergleich wird teilweise mit einem reinen Beton-Rohbau (Decken, Stützen und Unterzügen), einem reinen Nadelholz-Rohbau und verschiedenen Laubholz Materialien (Unterzüge und Stützen) geführt, wobei bei allen Laubholz-Varianten die Decken in einem Brettspertholz aus Nadelholz vorgesehen sind. Außerdem werden in den letzten beiden Diagrammen noch zwei Varianten untersucht, bei denen die Unterzüge aus Nadelholz und die Stützen aus Laubholz bemessen sind.

Die nachfolgenden Diagramme wurden speziell auf das Referenzgebäude des Konzepts 1 mit sieben Geschossen und dem Grundriss, wie in Abbildung 67 auf S.145 dargestellt, bezogen.

Materialmenge Rohbau (inkl. Fundamentierung)

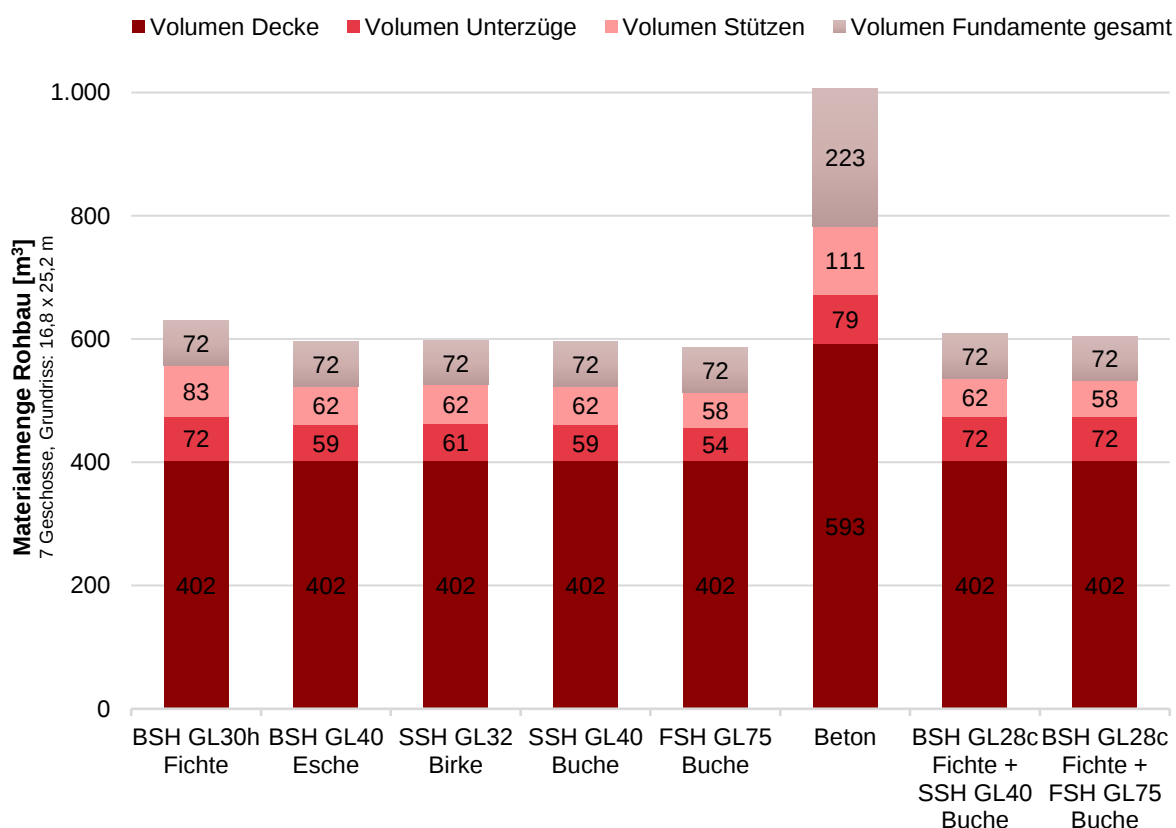


Abbildung 85: Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der Bauteilmenge für Konzept 1

In Abbildung 85 ist ein Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der gesamten Materialmenge des Rohbaus dargestellt.

Es zeigt sich, dass bei einem Betonbau deutlich mehr Material (160 %) nötig ist im Vergleich zu einem Holzbau. Alle Bauteile des Betonbaus benötigen mehr Material als beim Holzbau, wobei der größte Unterschied bei der Fundamentierung mit einem Faktor von 3,1 auszumachen ist. Dies ist auf das deutlich höhere Eigengewicht des Betons im Vergleich zum Holz zurückzuführen, wodurch sich die Lasten über die sieben Geschosse deutlich erhöhen und die Fundamente größer ausgeführt werden müssen.

Beim Vergleich der Materialmenge der verschiedenen Holzmaterialien zeigt sich ein geringerer Unterschied. Die Materialmenge mit einem Rohbau nur aus Nadelholz ist im Vergleich zu einem Rohbau mit Laubholz ca. 6 % höher. Hierbei ist der Unterschied gleichermaßen auf die Stützen und Unterzüge zurückzuführen. Dies liegt auch daran, dass die Decken bei allen Holzvarianten gleich und mit Nadelholz konstruiert wurden. Die geringste gesamte Materialmenge wird mit einem Gebäude mit Stützen und Unterzügen aus Furnierschichtholz Buche (FSH GL75 Buche) erreicht. Hier kann eine Materialmenge von 7 % im Vergleich zum Nadelholz eingespart werden, wobei der größere Anteil der Ersparnis auf die Stützen zurückzuführen ist. Bei den kombinierten Varianten wurde sich deshalb dazu entschieden, die Unterzüge aus Nadelholz und die Stützen aus Laubholz zu bemessen.

Alle weiteren Laubholz-Varianten liegen in einem ähnlichen Bereich mit einer Materialersparnis von 5 % im Vergleich zum Nadelholz. Die Varianten mit einer Kombination aus Laub- und Nadelholz liegen bei einer Ersparnis von 3-4 %.

Zusätzlich zu dem Bedarf der Materialmengen werden die reinen Kosten des gesamten Rohbaus inklusive der Fundamente betrachtet. In Abbildung 86 werden hierfür die verschiedenen Materialien hinsichtlich ihrer Kosten miteinander verglichen. Auch hier wird die Variante aus reinem Nadelholz als Richtwert festgelegt und die Kosten dieser Variante auf 100 % normiert. Bei der Kostenbetrachtung wurden alle relevanten Bauteile und deren Anschlüsse für das Tragwerk herangezogen. Es werden die Decken, Unterzüge, Stützen und die Gründung betrachtet. Die Kosten werden mit Hilfe von Richtpreisen [€/m³] verschiedener Hersteller ermittelt. Zusätzlich zu den reinen Materialkosten werden auch die Kosten für die Montage und den Abbund der Holzbauteile berücksichtigt.

Für das Referenzgebäude zeigt sich, dass ein Rohbau aus Beton nur geringfügig günstiger (3 %) als ein reiner Rohbau aus Nadelholz ist. Der größte Unterschied zwischen Holz- und Betonbau liegt bei den Kosten auch bei der Gründung. Die Fundamente für einen Betonbau sind deutlich teurer als die Fundamente für einen Holzbau. Da die Fundamente in allen Varianten aus Beton hergestellt werden, kann dies auch dem reinen Materialvergleich in Abbildung 85 entnommen werden. Dahingegen sind die Kosten für die Decken bei einem reinen Holzbau mit Nadelholz höher als bei dem Betonbau.

Da das Buchevorkommen in Deutschland und den angrenzenden Ländern das größte Laubbaumvorkommen ist, kann das Bauholz aus Buche entsprechend günstiger angeboten werden, als gleichwertige Produkte aus Esche oder Birke. Dies zeigt sich bei den günstigsten Laubholz-Varianten, welche beide aus Buchenholz bestehen. Die günstigste Laubholz-Variante kann durch Stützen und Unterzüge aus einem Buchen-Furnierschichtholz (FSH GL75 Buche) hergestellt werden. Diese Variante ist lediglich 11 % teurer als die Nadelholz-Variante, was in absoluten Zahlen nur einen Unterschied von ca. 70.000 € für das Referenzgebäude bedeutet. Betrachtet man diese Differenz von 70.000 € unter dem Gesichtspunkt der

Gesamtkosten eines solchen Bauwerks von mehreren Millionen Euro ist der Unterschied prozentual gesehen deutlich geringer und beläuft sich unterhalb von 1 %.

Vergleich Kosten Rohbau (inkl. Fundamentierung)

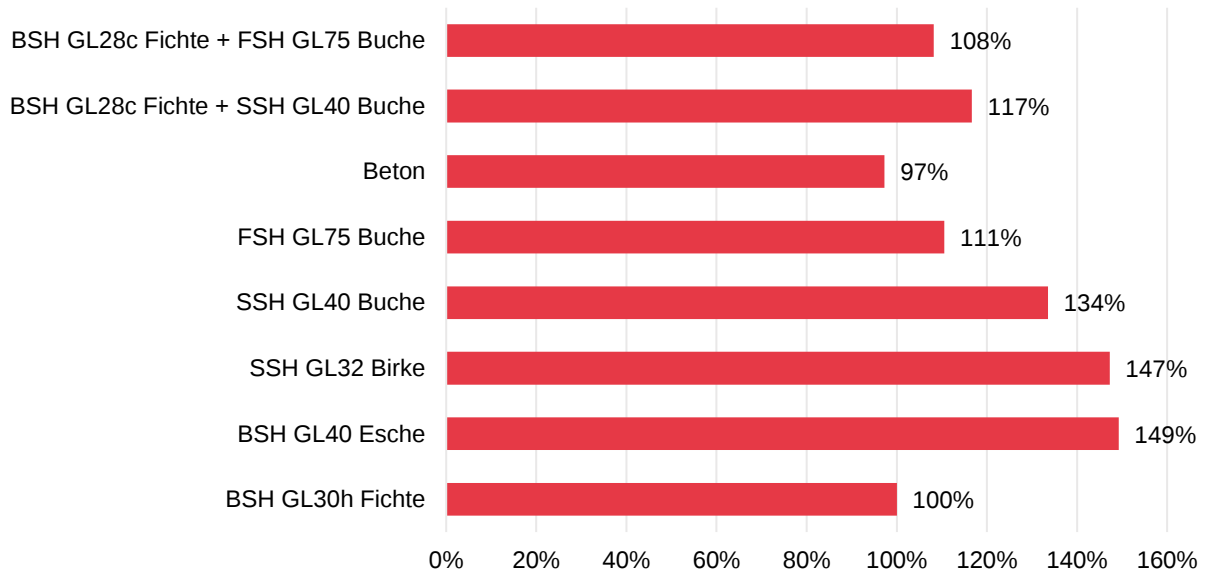


Abbildung 86: Vergleich Materialien hinsichtlich der gesamten Kosten des Rohbaus für Konzept 1

Das zweitgünstigste Laubholz-Material stellt das Stabschichtholz GL40 (SSH GL40 Buche) dar, welches ebenfalls aus Buche hergestellt wird. Die Rohbaukosten dieses Materials sind jedoch schon 34 % teurer als die des Nadelholzes. Hierbei sind die Unterzüge ca. 2,8 mal so teuer und die Stützen ca. 2,5 mal so teuer wie die aus Nadelholz. Wird die Differenz der Rohbaukosten jedoch wieder auf die Gesamtkosten des Gebäudes bezogen, kann auch hier von einem geringen Unterschied zwischen ca. 1-3 % ausgegangen werden.

Die beiden Varianten mit einer Kombination aus Laub- (Stützen) und Nadelholz (Unterzüge) sind 8 % bzw. 17 % teurer als die reine Nadelholz-Variante. Sie liegen somit in einem vergleichbaren Bereich wie die günstigste reine Laubholz-Variante und stellen eine kostengünstige Alternative zu einer reinen Laubholz-Variante dar.

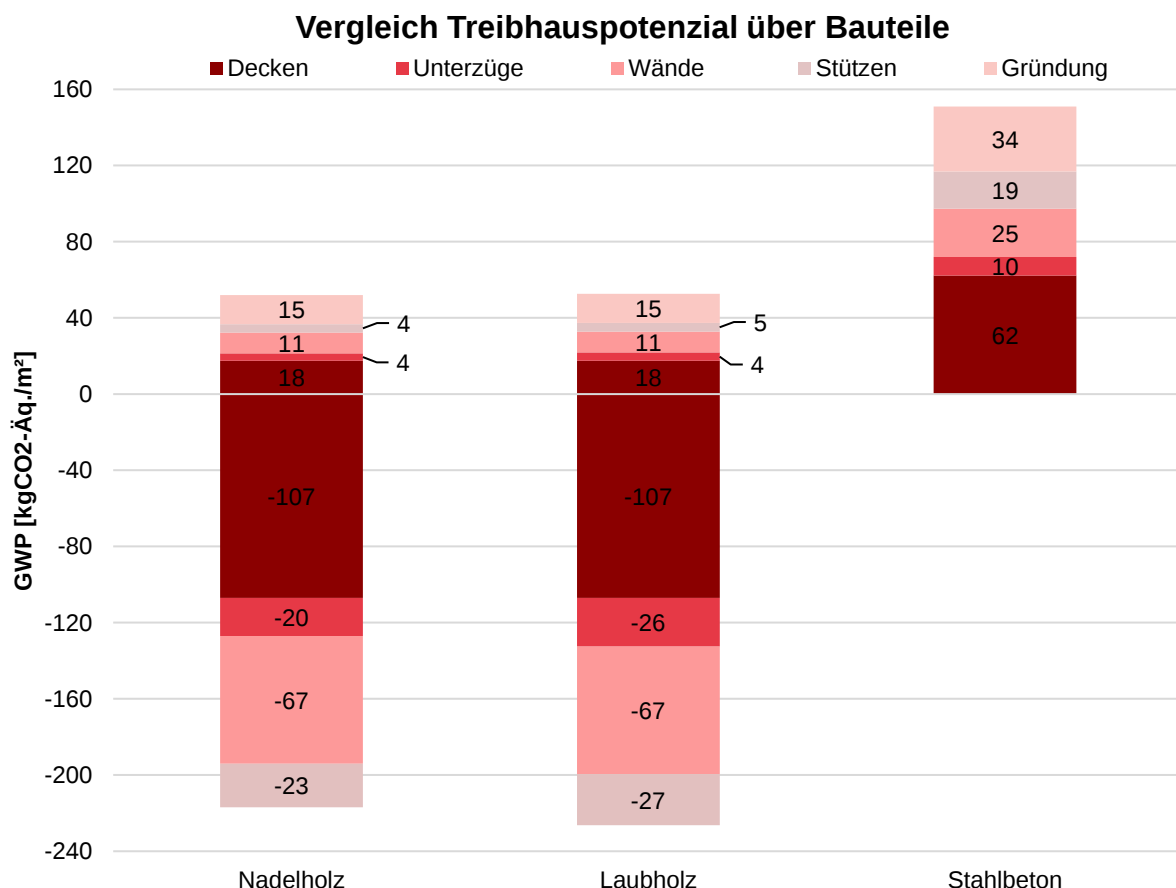
Abschließend ist zum Kostenvergleich anzumerken, dass die Materialkosten im Herbst 2024 betrachtet worden sind und dass der Holz-Markt ein sehr dynamischer Markt ist. Die Preise variieren ständig und können je nach Marktlage erheblich schwanken. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass aufgrund des steigenden Angebotes an Laubholz (Zuwachs an Laubbäumen, siehe Abbildung 7, S. 23) die Kosten für Laubholz fallen werden. Außerdem wird aufgrund der Umstrukturierung der Wälder der Anteil an Nadelholz eher zurückgehen und der Anteil an Laubholz weiter steigen. Die Preise von Nadel- und Laubholz werden sich somit immer weiter annähern.

5.8 Ökobilanzierung

Für die Ökobilanzierung wird ausschließlich das Global Warming Potential (GWP) betrachtet. Dabei werden lediglich die Module A1-A3 und C3-C4 berücksichtigt (siehe Abbildung 2, S.15). Die Nutzung des Gebäudes wird nicht weiter betrachtet, da sie von vielen Faktoren abhängig ist und sie trotzdem unabhängig vom Tragwerk ist.

Die Sequestrierung bei den Holzbauteilen wird separat mitgeführt. Die Grundlage für die Bilanzierung bildet der aktuell gültige Datensatz OBD 2023 I A2 der ÖKOBAUDAT [9]. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Baustoffen zuzulassen, wurde zur Datenerfassung der repräsentative Datensatztyp (Durchschnitt DE) verwendet. Die ÖKOBAUDAT sieht derzeit noch keine Daten für ein SSH oder BSH aus Laubholz vor. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde sich dieser Wert näherungsweise ermittelt. Es wurde die Differenz des GWP von „Nadel-schnittholz - getrocknet (Durchschnitt DE)“ und des GWP von „Brettschichtholz – Standardformen (Durchschnitt DE)“ gebildet. Hierdurch kann das GWP für die reine Herstellung von BSH näherungsweise ermittelt werden. Das GWP für die reine Herstellung von BSH wurde dann auf das GWP von „Laubschnittholz – getrocknet (Durchschnitt DE)“ dazu addiert. Somit konnte der GWP-Wert für BSH aus Laubholz näherungsweise ermittelt werden.

In nachfolgender Abbildung 87 ist das Treibhauspotenzial (GWP) aller tragenden und aussteifenden Bauteile über drei verschiedene Varianten (Nadelholz, Laubholz und Stahlbeton) inkl. der Sequestrierung dargestellt. Es werden alle tragenden Bauteile des Referenzgebäudes betrachtet und durch die gesamte Bruttogrundfläche dividiert. Es wird das GWP pro m² dargestellt.



Es wird gezeigt, dass beide Holz-Varianten ein deutlich geringeres GWP im Vergleich zur Variante aus Stahlbeton aufweisen. Es wird bei den Holz-Varianten ca. 2/3 des GWP eingespart, ohne die Sequestrierung zu berücksichtigen. Die Holz-Varianten verbrauchen also in der Herstellung deutlich weniger CO₂ als der Stahlbeton.

Für das Referenzgebäude betrachtet, wird für die beiden Holz-Varianten ein sehr ähnliches GWP erreicht. Das Laubholz liegt hier mit ca. 156 tCO₂-Äq. leicht höher (ca. 1 %) als das Nadelholz mit 154 tCO₂-Äq. Bei der Variante aus Stahlbeton ist das GWP deutlich höher mit 448 tCO₂-Äq. Es können bei den Holz-Varianten im Vergleich bei der Variante aus Stahlbeton somit ca. 300 tCO₂-Äq. eingespart werden. Dies entspricht ungefähr 190 Economy-Flügen von London nach New York und zurück [6].

Der größte Anteil des GWP ist bei allen Varianten auf die Decken (33-41 %) zurückzuführen. Danach folgt die Gründung (23-29 %) und die Wände (17-21 %). Die Stützen und Unterzüge machen nur einen geringeren Anteil von 6-13 % aus. Dies ist auf das Volumen der Bauteiltypen zurückzuführen.

Zusätzlich zu dem CO₂-Ausstoß bei der Herstellung und dem Bau der Bauteile darf beim Holz noch die Sequestrierung berücksichtigt werden. Für das Gebäude darf eine CO₂-Gutschrift angesetzt werden, die aus der CO₂-Speicherung des Holzes resultiert. Umso mehr Holz verbaut wird, desto höher ist diese Gutschrift. Die Sequestrierung ist beim Laubholz ca. 8 % höher als beim Nadelholz. Für das Referenzgebäude kann bei der Laubholz-Variante somit ca. 671 tCO₂-Äq. eingespeichert werden. Bei der Nadelholz-Variante sind es ca. 643 tCO₂-Äq. Das CO₂ ist über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes gespeichert und der Atmosphäre entzogen. Mit Hilfe des flexiblen Konzeptes soll der Lebenszyklus des Primärtragwerk möglichst lange aufrechterhalten werden und der Lebenszyklus von gängigen Bauwerken deutlich übertreffen. Zusätzlich zu der deutlichen Verlängerung des Lebenszyklus wird beim Konzept eine hohe Rückbaubarkeit der einzelnen Bauteile berücksichtigt. Hierdurch kann nach Ablauf des Lebenszyklus des Gebäudes das einzelne Bauteil einer Wiederverwendung zugeführt werden. Der Lebenszyklus des Bauteils ist somit nochmal höher anzusehen als des Gebäudes selbst. Die CO₂-Gutschrift bei dem Gebäude wird nach dem Rückbau der Holz-Bauteile wieder freigesetzt, jedoch darf die Sequestrierung dann bei dem neuen Gebäude erneut angesetzt werden. Das gebundene CO₂ wird weiterhin in dem Bauteil gebunden bleiben und erst bei einer thermischen Verwertung freigesetzt. Bei der thermischen Verwertung von Holz darf zusätzlich noch als positive Bilanz eine Vermeidung von fossilen Brennstoffen angenommen werden. Das Holz ersetzt also bei der thermischen Verwertung fossile Brennstoffe.

5.9 Zusammenfassung

Das Konzept 1 zielt auf eine materialeffiziente Umsetzung des Primärtragwerks ab. Es wird die übliche Herangehensweise, dass der architektonische Entwurf das Primärtragwerk maßgebend vorgibt, verworfen und das Primärtragwerk mit Hilfe eines parametrischen Modells so weit optimiert, dass das Stützenraster aus der materialeffizientesten Lösung von hunderttausenden Lösungen resultiert. Hierfür wurden im Vorhinein Rahmenbedingungen festgelegt, die die Variationen des Rasters begrenzen.

Die Nutzungsmöglichkeiten werden auf die Wohn- und Büronutzung beschränkt. Das Raster wird so ausgewählt, dass beide Nutzungen unabhängig voneinander möglich sind und eine Umnutzung leicht umsetzbar ist. Die Grundrissgestaltung wird unter den architektonischen Anforderungen flexibel und offen gehalten, sodass innerhalb des Rasters eine gewisse architektonische Freiheit besteht. Es können verschiedene Grundrissvarianten wie z. B. L- und U-förmige Grundrisse, aber auch Innenhöfe, Rück- oder Vorsprünge umgesetzt werden. Die Geschossigkeit wird bis zur Hochhausgrenze betrachtet, wodurch Gebäude bis zu 8 Geschossen realisiert werden können. Es wird eine hohe Flächennutzung bzw. eine Nachverdichtung im urbanen Raum angestrebt.

Der Brandschutz wird bis zur Gebäudeklasse 5 berücksichtigt und umgesetzt.

Die bauphysikalischen Anforderungen und Hindernisse werden definiert und Lösungsansätze dargestellt, die auf den Holz-Skelettbau angepasst und optimiert sind. Gleichzeitig wird auch die flexible Umnutzbarkeit des Gebäudes und dessen Auswirkungen und Hindernisse für den Schall- und Wärmeschutz berücksichtigt.

Die Vorteile des Laubholzes werden hinsichtlich des Tragwerks und des Brandschutzes ausgenutzt und die Nachteile weitestgehend umgangen und begrenzt.

Das Konzept kann mit verschiedenen Laubholzarten (Buche, Esche oder Eiche) und verschiedenen Laubholzprodukten (Brettschichtholz, Stabschichtholz und Furnierschichtholz) umgesetzt werden. Hierdurch kann auf den dynamischen Holzmarkt reagiert werden, regionale Verfügbarkeiten berücksichtigt werden und das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis je nach Markt- und Ortslage ausgewählt werden.

Das Konzept kann als vollumfänglicher Holzbau angesehen werden. Die Anschlüsse und Details sind so konzipiert, dass sie bis auf die Anschlüsse an die Gründung als reine Holz-Holz-Verbindungen gebaut werden können. Hierbei wird großer Wert auf eine gute Rückbaubarkeit und eine einfache und effiziente Montage gelegt. Es werden Anschlüsse verwendet, die weitestgehend im Werk vorgefertigt werden und auf der Baustelle nur noch zusammengesteckt werden müssen.

Die Aussteifung wird mit Hilfe von Wand- und Deckenscheiben aus Brettspertholz gewährleistet. Auch hier werden die Anschlüsse als Holz-Holz-Verbindungen ausgebildet, sodass der Anteil an Stahlbauteilen sehr gering ist und nur die Gründung aus Stahlbeton hergestellt werden muss.

6 Konzept 2 – Mischnutzung

Das Konzept 2 unterscheidet sich grundlegend vom Konzept 1, insbesondere durch die starke Fokussierung auf die Nutzung „Parken“. Diese Nutzung hat einen maßgeblichen Einfluss auf das gewählte Stützenraster, das im Vergleich zu Konzept 1 deutlich größer ausfällt. Dadurch ergeben sich auch größere Bauteilabmessungen, da die Querschnitte für die größeren Abstände zwischen den Stützen entsprechend angepasst werden müssen.

In herkömmlichen Skelettgebäuden mit einer darunterliegenden Parkgarage werden häufig zwei unterschiedliche Stützenraster verwendet: Ein größeres Raster für die Parkgeschosse und ein kleineres Raster für die darüberliegenden Büro- oder Wohngeschosse. Um den Übergang zwischen dem kleineren Raster der oberen Geschosse und dem größeren Raster der Parkplatzflächen zu realisieren, ist eine sogenannte Abfangebene notwendig. Diese Ebene dient dazu, die Lasten aus den enger beieinanderstehenden Stützen der oberen Geschosse aufzunehmen und an die weiter auseinander liegenden Stützen der Parkgarage weiterzuleiten. Diese Lösung kann jedoch sehr unwirtschaftlich sein, insbesondere wenn mehrere Geschosse auf der Abfangebene lasten. Die Stützenlasten können dabei stark ansteigen, was dazu führt, dass die Elemente für hohe Momenten- und Querkraftbeanspruchungen dimensioniert werden müssen. Dies erfordert große, höhere Unterzüge und Deckenpakete, was sowohl die Materialkosten als auch den CO₂-Fußabdruck erheblich erhöhen kann.

Obwohl die Lasten aus den oberen Geschossen bei Gebäuden in Holzbauweise aufgrund des geringeren Eigengewichts des Materials reduziert sind, bleiben sie dennoch hoch genug, so dass der Einsatz von Stahl und Beton in der Abfangebene oftmals unvermeidbar ist.

Das Ziel von Konzept 2 besteht darin, eine alternative Lösung zu bieten, bei der das größere Stützenraster der Parkplatzflächen auch in den darüberliegenden Geschossen in Holzbauweise fortgeführt werden kann. Dies würde nicht nur die wirtschaftliche Effizienz verbessern, sondern auch die Nachhaltigkeit des gesamten Gebäudes fördern, da auf zusätzliche Materialien wie Stahl und Beton weitgehend verzichtet werden könnte.

Ein weiterer Vorteil dieser Herangehensweise ist die Möglichkeit, das gesamte Gebäude – einschließlich der unteren Parkgeschosse – in Holzbauweise auszuführen, sofern die bauphysikalischen und brandschutztechnischen Anforderungen sowie die statischen Erfordernisse, wie etwa der Schutz vor Fahrzeuganprall, erfüllt werden. Dies stellt ein völlig neues Konzept für mehrgeschossige Gebäude mit Parknutzung dar, das sowohl funktional als auch nachhaltig ist.

Um ein so großes Stützenraster in Holzskelettbauweise realisieren zu können, wurde ein innovatives Konzept entwickelt. Dabei werden die großen Spannweiten mit sehr breiten, statt hohen, Unterzügen überspannt. Um diese breiten Unterzüge an den Auflagern mit den Stützen zu verbinden, wurde der so genannte Waagebalken als Bauteil eingeführt. Dieser liegt auf den Stützen auf und krägt zu beiden Seiten aus. Die Länge des Balkens entspricht der Breite der Unterzüge. Diese können so auf ganzer Breite aufgelagert werden. Der Anschluss ist in Abbildung 88 dargestellt. Eine genaue Erläuterung erfolgt im Kapitel 6.6 ab Seite 188.



Abbildung 88: Modell des Stützenknotens Konzept 2

Die gewählten Werte für Konzept 2 sind in Tabelle 23 dargestellt. Die Herangehensweise, Rahmenbedingungen und Details werden in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert.

Tabelle 23: Konzept 2

Beschreibung	Wert
Spannweite der Unterzüge (L_x)	5,30 m
Spannweite der Decken (L_y)	4,10 & 7,50 m (Reale Spannweite durch breite Unterzüge 1 m weniger)
Material der Unterzüge	SSH GL40 Buche
Material der Stützen	SSH GL40 - GL48 Buche
Material der Decken	C24 Nadelholz
Material der Waagebalken	BauBuche GL75
Querschnitt der liegenden Unterzüge	b/h = 100/28 cm
Querschnitt der BSP-Elemente	BSP_280_L7s_40l-40w-40l-40w-40l-40w-40l
Querschnitt der Stützen	b/h = 28/36 cm
Querschnitt der Randstützen	b/h = 24/24 cm
Querschnitt der Waagebalken	b/h = 50/20 cm
Querschnitt der Randunterzüge	b/h = 24/32 cm
Brandschutzanforderungen tragender Bauteile	REI 90
Gewählte Ausbaulast	$\Delta g_k = 1,80 \text{ kN/m}^2$
Gewählte Nutzlast	$q_k = 2,80 \text{ kN/m}^2$

6.1 Gewählte Rahmenbedingungen

Die Rahmbedingungen, die bei der Entwicklung des Konzepts 2 berücksichtigt wurden, werden nachfolgend erläutert.

6.1.1 Nutzung

Wie bereits erwähnt, wird das Konzept 2 maßgeblich durch die Nutzung „Parken“ beeinflusst. Dies hat mehrere Gründe: Für Bürogebäude, gelegentlich auch für Wohngebäude, wird häufig eine Tiefgarage im Untergeschoss eingeplant. In manchen Fällen sind sogar mehrere Geschosse für Stellplätze vorgesehen. Dies hat den simplen Grund, dass ab einer bestimmten Größe der Nutzfläche bzw. Anzahl an Wohnungen Stellplätze für Fahrzeuge zur Verfügung gestellt werden müssen. Diese können dann zum Beispiel neben, also außerhalb des Gebäudes, geplant werden. Bei urbanen Lagen nehmen die Parkplätze dann aber wertvollen Platz ein, der nicht für das Gebäude und seine entsprechende Nutzung verwendet werden kann und zusätzliche Flächen versiegelt. Meistens ist es daher wirtschaftlich sinnvoller Stellplätze in die Grundfläche des Gebäudes zu integrieren. Aus praktischen Gründen werden dafür dann ein oder mehrere Untergeschosse oder auch das Erdgeschoss verwendet. In seltenen Fällen werden auch die Obergeschosse für eine Parkplatznutzung ausgewählt. Es ist dann allerdings notwendig Rampen oder Fahrzeugaufzüge vom Straßenniveau bis auf die entsprechenden Obergeschosse zu berücksichtigen. Dies lohnt sich normalerweise nur bei sehr großen Flächen wie zum Beispiel bei Einkaufszentren. Bei kleineren Gebäuden werden die Parkplatzflächen vermehrt in den Untergrund also in Form von Tiefgaragen realisiert. Bei schwierigen Bodenverhältnissen oder einer komplizierten Nachbarbebauung werden auch teilweise die Flächen auf Straßenniveau also im Erdgeschoss als Parkplätze genutzt. Das eigentliche Gebäude mit Wohn- oder Büroflächen beginnt dann darüber im 1. Obergeschoss. Ziel ist es in jedem Fall den wertvollen Raum in urbanen Lagen durch die Integration der Parkplatzflächen in die Grundfläche des Gebäudes optimal auszunutzen.

Um die Flächen effizient als Parkplatz nutzen zu können, gibt es spezifische Anforderungen an die Stützenstellung. Diese müssen so gewählt werden, dass eine ausreichende Fahrspurweite gewährleistet ist und genügend Platz zum Ein- und Ausparken sowie zum Öffnen der Fahrzeurtüren zur Verfügung steht.

Neben der Berücksichtigung der aktuellen Nutzungsanforderungen wurden auch die Potenziale für eine spätere Umnutzung von Flächen und Gebäuden untersucht. Die in der Deutschland-Studie von 2019 unter der Leitung von Univ. Prof. Karsten Ulrich Tichelmann [39] vorgestellten Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen spielen hierbei eine wichtige Rolle. In dieser Studie wird insbesondere die Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden, wie zum Beispiel Supermärkten, betrachtet. Im Kapitel 2.2.4 wird detailliert beschrieben wie viel Potential in solchen Flächen steckt.

In neuen, urbanen Quartieren ist es immer häufiger der Fall, dass Supermärkte und Einzelhandelsflächen in mehrstöckige Gebäude integriert werden. Trotzdem findet man immer noch einstöckige Supermärkte und die dazugehörigen Parkplatzflächen in sehr zentralen, urbanen Lagen. Auch wenn sie derzeit einen wichtigen Zweck erfüllen, stellt die aktuelle Nutzung keine effiziente Raumnutzung dar. Eine Nachverdichtung durch eine mehrstöckige Mischnutzung

wäre deutlich sinnvoller. In diesem Szenario könnten die Parkplatzflächen im Untergeschoss untergebracht werden, während die darüberliegenden Geschosse für Einzelhandel, Büros und Wohnungen genutzt werden könnten. Eine mögliche Nutzungsverteilung wäre Parken im Untergeschoss, Einzelhandel im Erdgeschoss und Wohn- oder Büronutzung in den darüberliegenden Etagen.

Auch die Nutzung für gemeinschaftliche oder öffentliche Einrichtungen wie Kindertagesstätten oder kulturelle Einrichtungen könnte in einem solchen Gebäudetyp berücksichtigt werden. Diese flexible Mischnutzung erlaubt eine optimale Raumausnutzung in dicht besiedelten urbanen Gebieten und entspricht den aktuellen Trends zur Nachverdichtung in Städten.

Das Konzept 2 bietet durch die reduzierte Stützenanordnung im Holzskelettbau die Möglichkeit, derart unterschiedliche Nutzungen problemlos zu integrieren. Dies macht die Lösung sowohl für aktuelle als auch für zukünftige Anforderungen im Bereich der nachhaltigen Stadtentwicklung und Flächennutzung attraktiv.

6.1.2 Geometrie

Der größte Vorteil von Konzept 2 liegt darin, dass keine Abfangebene erforderlich ist, um von einem großen Raster für die Parkplatznutzung auf ein kleineres Raster für die oberen Geschosse zu wechseln. Bei Konzept 2 entfällt diese Notwendigkeit, da das Stützenraster von der Gründung bis zum obersten Geschoss einheitlich bleibt.

Dieser Ansatz spart nicht nur Bauhöhe, sondern senkt auch die Kosten für die Fassade und die inneren Trennwände, da die Gesamthöhe des Gebäudes reduziert wird. Außerdem reduziert es die Kosten für eine mögliche Baugrube enorm, da eine hohe Abfangebene über dem Untergeschoss häufig durch ein Tiefersetzen der Sohle im Baugrund ausgeglichen wird. Ein weiterer möglicher Vorteil ist, dass je nach örtlichen Bauvorschriften und Gegebenheiten ein zusätzliches Geschoss realisiert werden könnte, da die insgesamt benötigte Bauhöhe geringer ausfällt.

Ähnlich wie bei Konzept 1 bietet auch Konzept 2 die Flexibilität, das Gebäude theoretisch unendlich in seiner Länge zu erweitern. Darüber hinaus sind verschiedene Grundrisskombinationen möglich, wie L-, U- oder O-förmige Anordnungen (siehe Abbildung 89). Das Raster kann auch zwei- oder dreimal nebeneinander ausgeführt werden, wodurch großflächige Gebäude realisierbar sind. In allen Varianten ist jedoch darauf zu achten, dass ausreichende Aussteifungselemente wie Kerne oder tragende Wände vorgesehen werden, um die Stabilität des Gebäudes zu gewährleisten.

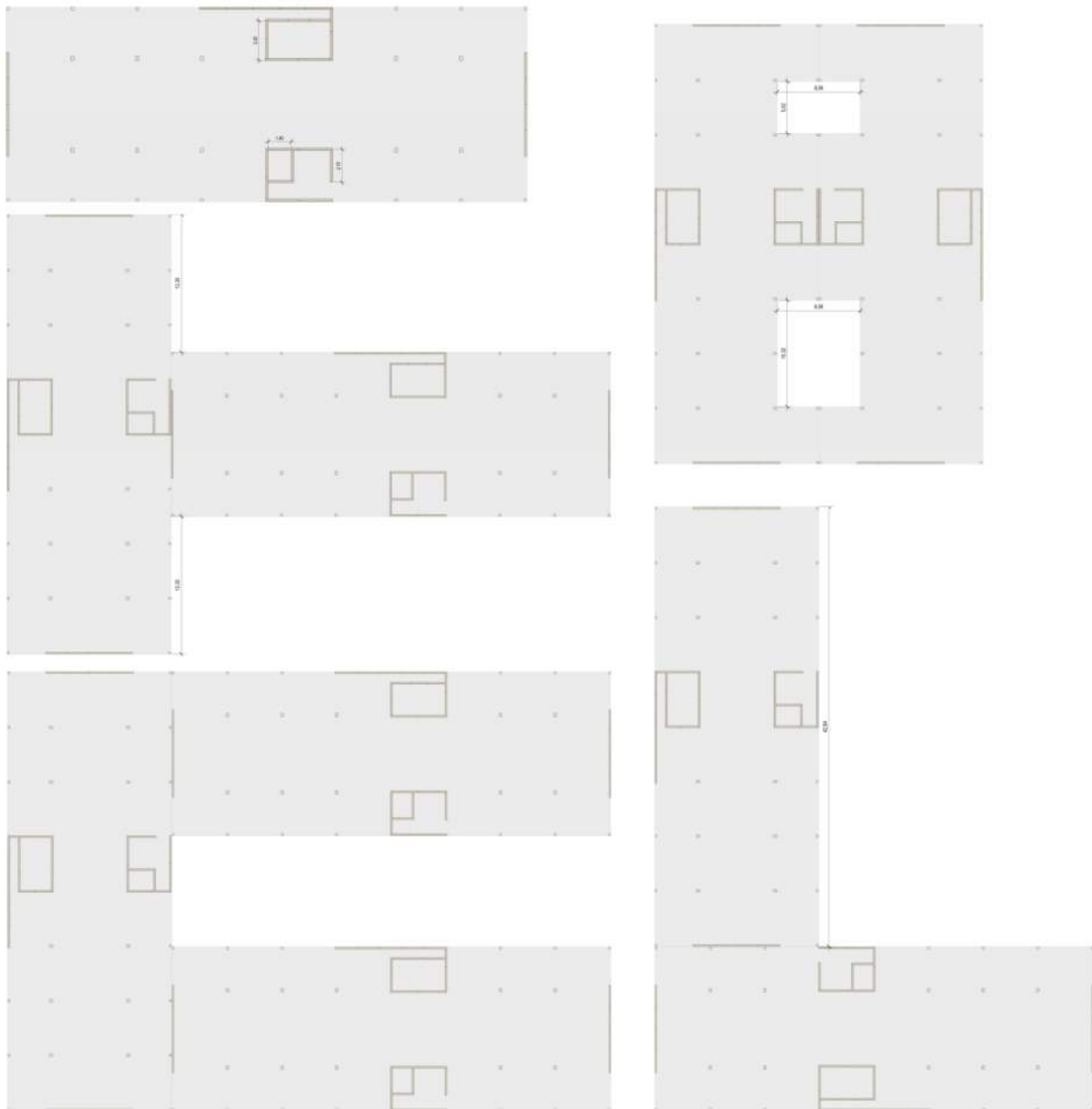


Abbildung 89: Mögliche Grundrissvarianten für Konzept 2

Durch die Berücksichtigung der Parkplatznutzung im Grundkonzept ergeben sich zudem Möglichkeiten zur Aufstockung bestehender Parkhäuser oder Parkplatzflächen. Das typische Raster kann dabei übernommen und zusätzliche Geschosse für Wohn- oder Büronutzungen geschaffen werden. Dieser Ansatz wird insbesondere durch den Gewichtsvorteil der leichten Holzbauweise ermöglicht, da die zusätzliche Last durch die neuen Geschosse deutlich geringer ausfällt als bei herkömmlichen Bauweisen.

6.1.3 Technische Gebäudeausrüstung

Beim Konzept 2 werden die tragenden Unterzüge als breite und flache Brettstapel- bzw. Stabschichtholzelemente deckengleich vorgesehen (siehe Abbildung 90). Der Bereich unterhalb der Decke bleibt somit frei für technische Leitungen und die TGA-Planung hat viele Möglichkeiten Leitungen zu verziehen. Hierdurch können Schlitze und Durchbrüche durch tragende Bauteile vermieden werden.

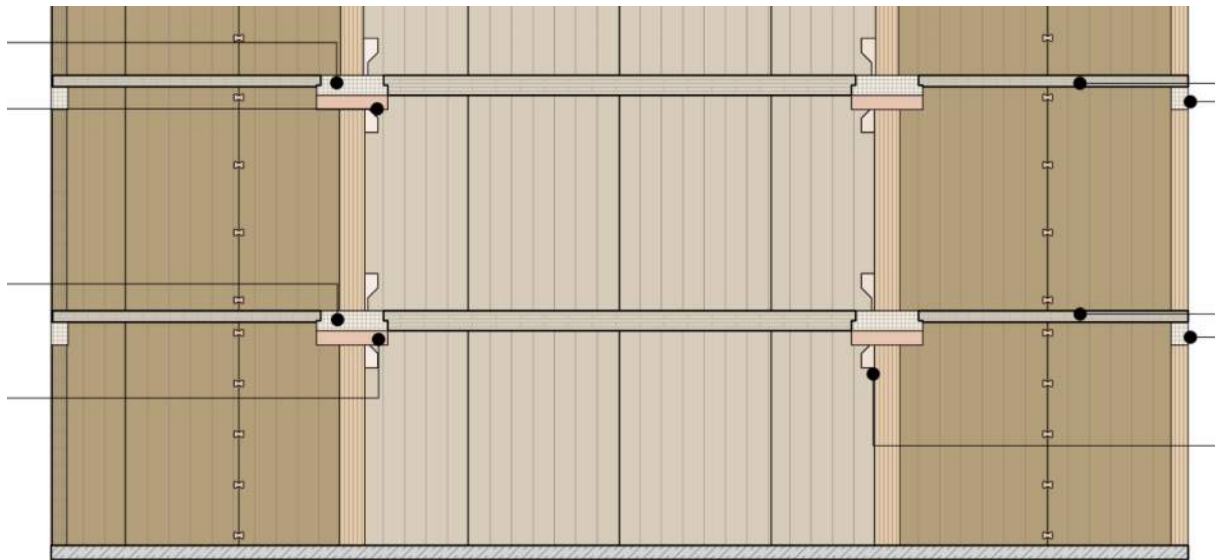


Abbildung 90: Ausschnitt Gebäudeschnitt Konzept 2

Der Bereich um die Stützen ist frei von vertikalen Leitungen und entsprechenden Durchbrüchen zu halten, da dort die Waagebalken angeordnet sind.

Vertikale Schächte werden neben den Kernen angeordnet. Die Leitungen können dann von dort unter jeder Geschossdecke durch das Gebäude verteilt werden. Der Ansatz unterscheidet sich damit zum Ansatz aus Konzept 1.

6.1.4 Brandschutz

Nachfolgend werden die gewählten Maßnahmen für den baulichen Brandschutz kurz erläutert. Wie bereits beim Konzept 1 wurde für alle Bauteile eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten berücksichtigt. Die Maßnahmen sind zum Großteil wie in Konzept 1 gewählt worden.

GEBÄUDEHÖHE

Beim Konzept 2 ist die maximale Gebäudehöhe analog zum Konzept 1 aufgrund des aufwendigeren Brandschutzes bis unter die Hochhausgrenze (bis GK 5) gewählt worden. Der Fußboden des obersten Stockwerks darf daher auf höchstens 22,0 m liegen. Daraus ergeben sich sieben bis acht Geschosse. Wie auch beim Konzept 1 können bei acht Geschossen nicht alle Geschosse mit der für Büroräume erforderlichen lichten Raumhöhe von 3,00 m ausgeführt werden. Mindestens fünf Geschosse müssten dann mit einer niedrigeren, für Wohnräume aber problemlos ausreichenden, Deckenhöhe ausgeführt werden.

BRAND- UND RAUCHABSCHNITTSBILDUNG

Das Konzept ist auf Nutzungseinheiten von max. 400 m² ausgelegt und kann flexibel um weitere Nutzungseinheiten vergrößert werden. Nach der Garagenverordnung des Landes Baden-Württemberg [80] sind Garagen mit einer Nutzfläche zwischen 100 m² bis 1.000 m² als Mittelgarage anzusehen. Garagen mit einer Nutzfläche über 1.000 m² werden als Großgarage definiert. Geschlossene unterirdische Garagen müssen in Rauchabschnitte unterteilt werden und dürfen eine Fläche von max. 2.500 m² aufweisen.

Die einzelnen Nutzungseinheiten werden mit Hilfe von Brandwänden voneinander getrennt. Im Bereich der Tiefgarage müssen bis zu einer Fläche von max. 2.500 m² keine Brand- bzw. Rauchwände angeordnet werden [80]. Die Brandwände werden gemäß den jeweiligen Vorgaben und Richtlinien aus nichtbrennbaren Baustoffen (GK5) oder aus Massivholz mit einer brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung (GK4) vorgesehen [43]. Außerdem müssen die Brandwände min. 30 cm über das Dach geführt werden.

TRAGENDE UND AUSSTEIFENDE BAUTEILE

Die statisch tragenden Bauteile Decken, Unterzüge und Stützen und aussteifenden Wände aus Massivholz werden über den Abbrand des Querschnittes (Heißbemessung) bemessen. Die Decken werden zusätzlich noch raumabschließend ausgeführt und bei den Durchdringungen mit Abschottungen oder Dichtbändern versehen. Für alle Bauteile und Anschlüsse wurde gemäß der Gebäudeklasse 5 eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten (feuerbeständig) angenommen.

Die Stützen und Waagebalken wurden mit einer vierseitigen Beflammung bemessen. Die Unterzüge und die Deckenelemente werden mit einer einseitigen Beflammung bemessen. Die tragenden Holzbauteile müssen somit nicht zusätzlich mit mineralischen Baustoffen abgekapst werden.

Die Anschlüsse werden zum größten Teil als Holz-Holz-Verbindungen geplant und ebenfalls über den Abbrand des Querschnittes bemessen. Die wenigen Stahlblech- und Stahlwinkel-Anschlüsse werden entweder im Fußbodenaufbau angeordnet und somit vor einer direkten Beflammung geschützt oder mit einer zusätzlichen brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung aus nichtbrennbarem Baustoff z. B. einer 18 mm dicken Gipsplatte versehen.

RETTUNGSWEGE UND TREPPENRÄUME

Alle Rettungswege und notwendigen Treppenräume werden gemäß den jeweiligen Vorgaben und Richtlinien aus nichtbrennbaren Baustoffen (GK 5) oder aus Massivholz mit einer brandschutztechnisch wirksamen Verkleidung (GK 4) vorgesehen [43]. Die Flure, Treppenräume und Aufzüge der Garage werden gemäß der Garagenverordnung mit feuerbeständigen Wänden und Decken ausgeführt [80]. Die notwendige Breite der Rettungswege und notwendigen Treppen von 1,20 m wird durch den architektonischen Entwurf berücksichtigt und eingehalten. Die Garage muss zudem einen zweiten unabhängigen baulichen Rettungsweg aufweisen. Der zweite Rettungsweg kann über die Rampe gewährleistet werden. Der Rettungsweg muss von jeder Stelle in der Garage mit einer maximalen Entfernung von 30 m erreicht werden können [80].

AUßENWÄNDE

Die Außenwände werden als nichttragende vorgesetzte Fassadenkonstruktion aus Holz-Rahmenwänden vorgesehen. Gemäß der HolzBauRL BW dürfen Außenwandbekleidungen aus Holz und Holzwerkstoffen hergestellt werden. Hierfür müssen geeignete Maßnahmen zur Begrenzung der Brandausbreitung getroffen werden. Es müssen nichtbrennbare Dämmstoffe, ein begrenzter Lüftungsspalt der Unterkonstruktion, eine nichtbrennbare Trägerplatte und horizontale und vertikale Brandsperren ausgeführt werden [43].

DÄCHER

Alle Dachflächen sollen als begrüntes Dach mit einer Photovoltaikanlage ausgeführt werden. Die Bedachung muss als harte Bedachung ausgeführt werden. Dächer mit intensiver Begrünung gelten generell als harte Bedachung und Dächer mit extensiver Begrünung, wenn weitere Anforderungen erfüllt sind. Es muss eine Vegetationsschicht mit maximal 20 % organischen Bestandteilen und eine Vegetationstragschicht mit einer Schichtdicke von minimal 30 mm vorhanden sein [71].

6.1.5 Schallschutz

Bauakustisch betrachtet, weisen Konzept 1 und Konzept 2 keine wesentlichen Unterschiede auf. In beiden Fällen erfolgt die Schallübertragung über starre, durchgehende Stützen, die ihrerseits Unterzüge tragen. Außerdem sollen auch hier die Kosten möglichst gering gehalten werden und die Mindeststandards trotzdem erreicht werden. Somit werden auch beim Konzept 2 für den Schallschutz die Mindestanforderungen gemäß der Norm DIN 4109-1 [46], auch als „BASIS“ bezeichnet, als Standard für das Konzept herangezogen.

Analog zum Konzept 1 können die schallharten Verbindungen zwischen Stütze-Stütze, Unterzug-Stütze und Wand-Wand (siehe Abbildung 53, S.126 und Abbildung 91) mit einem Schalldämmband abgemindert werden und somit das Schallschutzniveau verbessert werden.

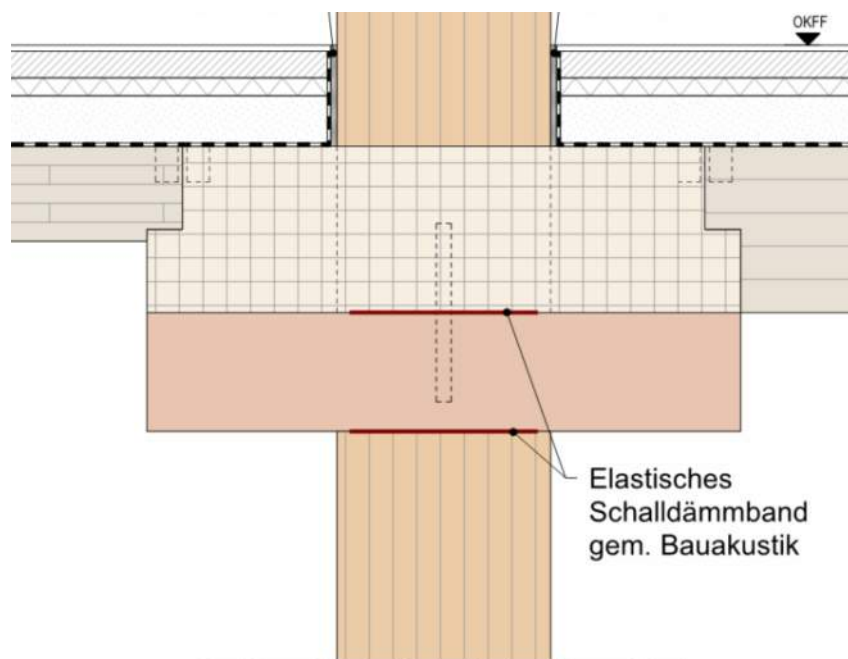


Abbildung 91: Anordnung von Schalldämmbändern bei Waagebalken und Stütze

Die Spannweiten der Decken und Unterzüge sind beim Konzept 2 deutlich höher als beim Konzept 1. Unter der Bedingung, dass trotzdem ein möglichst materialeffizientes Konzept entwickelt werden soll, wurden die Ausbaulasten beim Konzept 2 möglichst gering gewählt. Die in Kapitel 4.1.2, S.81 vorgeschlagenen Bodenaufbauten unterscheiden sich hinsichtlich des Eigengewichts hauptsächlich bei der Auswahl des Estrichs. Die Aufbauten mit einem Trockenestrich (Aufbau 1 und 3) sind deutlich leichter als die mit einem Nassestrich (Aufbau 2 und 4). Für das Konzept 2 sind aus Sicht der Materialeffizienz somit nur der Aufbau 1 oder Aufbau 3 möglich.

Aus der Tabelle 11 auf S.82 geht hervor, dass der Aufbau 1 hinsichtlich des Schallschutzes nicht ohne weitere Modifikationen die Mindestanforderungen erreicht. Für das Konzept 2 wird somit der Aufbau 3 empfohlen, da dieser den erhöhten Schallschutz erreicht. Mit einer Unterdecke von min. 180 mm kann zudem die tieffrequente Übertragung, und damit die subjektive Wahrnehmung von Gehgeräuschen deutlich reduziert werden.

Die Variante mit einer Unterdecke ist in den Flächen mit Büronutzung besonders zu hinterfragen, da dort eine größere lichte Raumhöhe benötigt wird und stets die möglichst geringste Deckenhöhe anzustreben ist.

Sollte eine Variante ohne Unterdecke bevorzugt werden, ist der Aufbau 1 (gemäß Tabelle 6) zu wählen. Dieser Aufbau erreicht das minimale Schallschutzniveau jedoch nur, wenn der Trittschalldämmstoff und die Beschwerungen optimiert werden. Die tieffrequente Übertragung des Schalles ist weiterhin als ungünstig einzustufen.

Die Schüttung muss auf ca. 140 kg/m^2 erhöht werden und eine weichere Trittschalldämmung vorgesehen werden. Mit Hilfe der größeren Schüttung können die Mindestanforderungen des Schallschutzes erreicht werden. Durch die Erhöhung der Schüttung müssen die Ausbaulasten im Vergleich zum Aufbau 3 von $1,6 \text{ kN/m}^2$ auf $1,8 \text{ kN/m}^2$ erhöht werden. Dies ist aus statischer Sicht ohne weitere Querschnittserhöhungen möglich.

Als weitere Alternative zum modifizierten Aufbau 1 können auch Hohlbodensysteme für die Büroflächen verwendet werden.

Die Kombination mit Trockenestrich sorgt unter anderem für eine Reduktion der Ausbaulasten. Zusätzlich hat Trockenestrich eine bessere CO_2 -Bilanz als herkömmlicher Nassestrich. Auch die Möglichkeiten zum sortenreinen Rückbau sind bei Trockenestrich mehr gegeben als bei Nassestrich. Dies bedeutet weitere Vorteile in Bezug auf die Nachhaltigkeit.

Die Trennwände können analog zum Konzept 1 flexibel angeordnet werden. Die Trennwände (gem. Abbildung 46, S.110) können ohne Trennschnitte in der Decke die Mindeststandards des Schallschutzes erreichen. Erhöhte Anforderungen können lediglich erfüllt werden, wenn an den flankierenden Bauteilen sehr hochwertige Vorsatzkonstruktionen installiert werden.

6.2 Gewähltes Stützenraster

Das Raster des zweiten Konzepts ist maßgeblich durch die Platzanforderungen der Nutzung als (Tief-) Garage bestimmt. Um die optimale Lösung zu finden, wurden verschiedene Anordnungen von Fahrspuren und Parkplätzen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass sich eine Fahrspur mit um 90° gedrehten Parkplätzen auf beiden Seiten am wirtschaftlichsten ausbilden lässt. Eine schräge Anordnung (bis zu 45°) der Parkplätze würde zwar die notwendigen Spannweiten für die tragenden Bauteile verringern, der Platzverbrauch pro Stellplatz würde aber unverhältnismäßig stark steigen (siehe Abbildung 92).

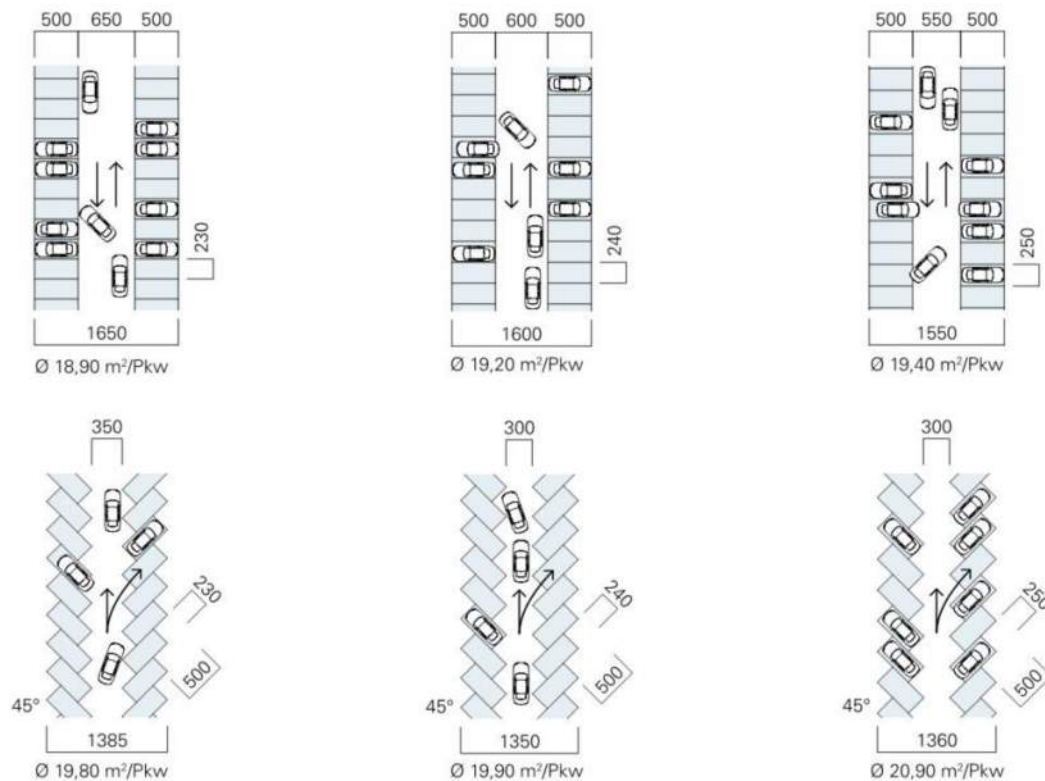


Abbildung 92: Flächenbedarf pro PKW-Stellplatz [49]

Beim Konzept 2 spannen die Unterzüge parallel zur Länge des Gebäudes als Ein- oder Zweifeldträger. Die Stützen stehen dabei jeweils an der Außenseite des Gebäudes am Ende der Parkplätze und auf beiden Seiten der Fahrspur. Die Decken spannen entsprechend quer zu der Längsachse des Gebäudes.

Die Fahrspur zwischen den Parkplätzen muss mindestens 5,60 m breit sein, wenn die Stellplätze 90° zu der Fahrspur stehen und die Breite der Stellplätze mindestens 2,65 m beträgt und ein Vorwärts-Einparken möglich sein soll. Falls eine Längsseite durch ein aufgehendes Bauteil begrenzt ist, muss die Stellplatzbreite auf 3,00 m erhöht werden. Dies ist bei Stützen jedoch nur der Fall, wenn diese auf halber Stellplatzlänge stehen und das Öffnen der Fahrzeugaufbauten blockieren würden, was bei diesem Konzept nicht der Fall ist. [81]

Die Stellplätze müssen mindestens 5,20 m lang sein (siehe Abbildung 93). Zusätzlich müssen die Stützen auf beiden Seiten der Fahrspur ca. 0,75 m von der Fahrspur weggerückt angeordnet werden, um ein problemloses Ein- und Ausparken zu ermöglichen [81].

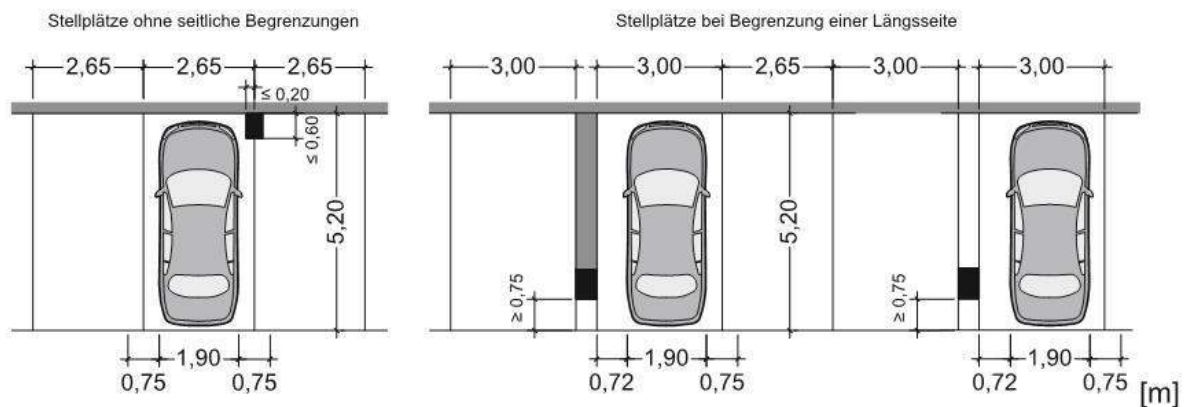


Abbildung 93: Abmessungen für PKW-Stellplätze bei Aufstellwinkel von 90° [81]

Daraus ergibt sich eine Spannweite über den Fahrspuren von 6,50 m (bei einem Achsraster von 7,50 m und einer Unterzugsbreite von 1,00 m) für das mittlere Feld der Decke. Die äußeren beiden Spannweiten ergeben sich aus der verbleibenden Länge der Parkplätze dann zu jeweils 4,10 m.

Der Abstand der Stützen und die daraus resultierende Spannweite der Unterzüge ergeben sich aus der Breite der Parkplätze. Um wirtschaftliche Unterzüge und Stützen garantieren zu können, werden immer zwei Parkplätze nebeneinander zwischen zwei Stützenachsen angeordnet. Der Abstand beträgt somit 5,30 m bei Stellplätzen ohne seitliche Begrenzungen (siehe Abbildung 94).



Abbildung 94: Grundrissvariante Garagenfläche für Konzept 2

Um eine wirtschaftliche und effiziente Lösung zu ermöglichen, wird das Stützenraster der Garagenflächen in allen Geschossen angewendet. Es kann auf eine aufwendige und teure Abfangkonstruktion infolge von Stützenverschiebungen verzichtet werden, die eine deutliche Steigerung des Materialverbrauchs für den Rohbau mit sich bringen würde. Die Lasten werden über die gesamte Gebäudehöhe immer von einer Stütze zur darunterliegenden Stütze abgegeben. Hierdurch wird eine einfache und klare Lastführung bis in die Gründung gewährleistet. Die Positionierung des Erschließungskerns und der aussteifenden Wände wird ebenfalls an der Anordnung der Stellplätze und der Fahrspur orientiert [49]. Es werden daher nur aussteifende Wände im Bereich der Stellplätze und nicht im Bereich der Fahrspur vorgesehen. Der Aufzugschacht und das Treppenhaus werden jeweils an den äußeren Achsen der Fahrspur angeordnet. Zudem werden weitere Wände an den beiden kürzeren Fassadenseiten bzw. den Giebelseiten vorgesehen.

Das gewählte Raster ermöglicht eine Gesamtgebäudetiefe von 15,70 m, die sich vielen Fällen harmonisch in die Strukturen urbaner Räume einfügt. Dieses Raster resultiert aus dem Bestreben, die erforderlichen Geometrien für die Realisierung von Parkplätzen in Tiefgaragen möglichst ohne Lastversprünge vertikal durchlaufend zu organisieren. Dadurch entsteht ein deutlich stützenfreier Grundriss im Erdgeschoss, der über die Garagennutzung für Pkw-Stellplätze hinaus eine vielseitige Nutzung und Aneignung der Flächen für Gewerbe, Kindertagesstätten oder dem kleinen Lebensmitteleinzelhandel ermöglicht.

Das Raster erlaubt eine Bürostruktur mit Einzel- und Kombibüros, die in die Organisation eines Dreibund-Büros münden (siehe Abbildung 95). Die schmale Mittelzone fungiert dabei als Schnittstelle für die vertikale Leitungsführung der technischen Gebäudeausstattung (TGA) aus den Wohngeschossen, um die Anzahl der horizontalen Verzüge zu minimieren. Die Einzel- und Kombibüros an der Fassade orientieren sich an einer Rasterstruktur von 132,5 cm, was eine ideale Ausnutzung gewährleistet.

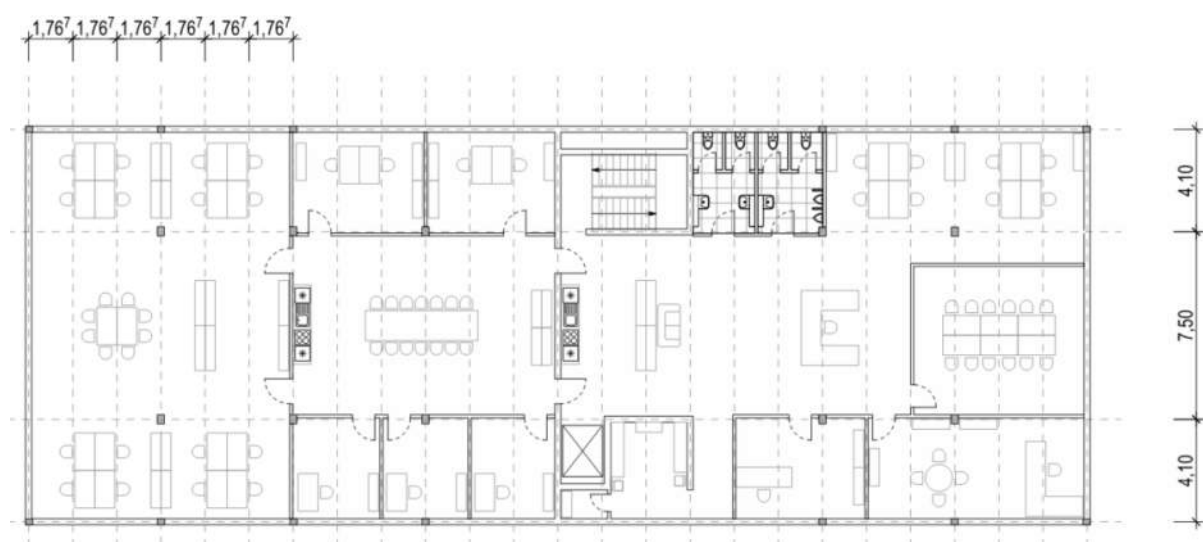


Abbildung 95: Grundrissvariante Büronutzung für Konzept 2

Für die Wohngeschosse stellt das Raster jedoch eine kleine Herausforderung dar. Die resultierenden Grundrissflächen sind tendenziell für 1-Zimmerwohnungen etwas zu groß, während die Fassadenfläche zur natürlichen Belichtung begrenzt ist. Um eine Symbiose aus Büro- und Wohnstrukturen zu ermöglichen, wird auch im Wohn-Raster eine Mittelflurerschließung zu Grunde gelegt. Dabei werden etwas größere 1-Zimmer- oder 1,5-Zimmer-, aber auch 2-Zimmerwohnungen erschlossen. Der Zusammenschluss größerer Wohnungen ist nur bei einer zweiseitigen Ausrichtung mit zwei Fassadenseiten wirtschaftlich sinnvoll und beschränkt sich daher auf die Stirnseiten des Gebäudes. Das Raster ermöglicht jedoch eine sinnvolle Anordnung von 1-Zimmer bis 4-Zimmerwohnungen, die je nach Bedarf flexibel angeordnet werden können (siehe Abbildung 96).

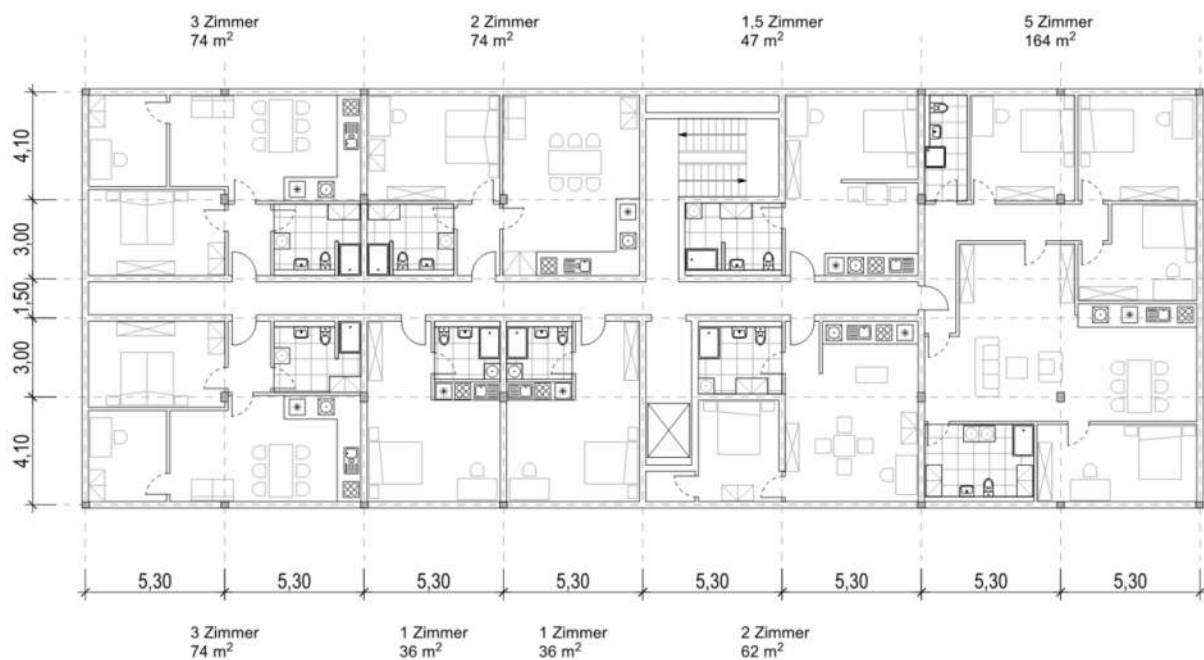


Abbildung 96: Grundrissvariante Wohnnutzung für Konzept 2

6.3 Gewählte Holzarten

Für das Konzept 2 werden verschiedene Holzarten kombiniert. Je nach Einsatzgebiet wird die passende Holzart mit den besten Eigenschaften ausgewählt.

Die Decken werden aus einem Brettspertholz aus Nadelholz hergestellt, da dieses ein geringeres Eigengewicht im Vergleich zu Laubholz aufweist. Das geringere Eigengewicht ist für die Deckenbemessung aufgrund der maßgebenden Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) von Vorteil. Die höheren Festigkeiten des Laubholzes bewirken keine größeren Vorteile, da die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) nicht ausschlaggebend sind und die höheren Festigkeiten nicht ausgenutzt werden. Laubholz ist zudem aktuell noch teurer als Nadelholz und würde bei den flächigen Bauteilen keine wirtschaftliche und effiziente Lösung darstellen.

Für die Unterzüge kann ein Stabschichtholz (SSH) aus Buche, Esche oder Eiche der Festigkeitsklassen SSH40 verwendet werden, was einem Brettschichtholz (BSH, engl. GL) der Festigkeitsklassen von GL40 entspricht.

Die Stützen in den unteren Geschossen werden aufgrund der höheren Belastung in einer höheren Festigkeitsklasse SSH48 oder GL48 ebenfalls aus Buche, Esche oder Eiche ausgeführt. In den oberen Geschossen können die Stützen in den Festigkeitsklassen heruntergestuft oder der Querschnitt verkleinert werden. Je nach architektonischer Erfordernis kann sich für eine der beiden Abminderungen entschieden werden.

Die Vorteile des Stabschichtholzes im Vergleich zu Brettschichtholz und die Vorteile von Buche im Vergleich zu anderen Baumarten wurden bereits im Kapitel 5.3 auf S.137 erläutert.

Der Anschluss der liegenden Unterzüge an die Stützen erfolgt mit Hilfe eines Waagebalkens, welcher unter Kap. 6.6 auf S.188 noch näher erläutert wird. Aufgrund der komprimierten und hohen Belastung im Knotenpunkt wurde sich bei dem Anschluss für ein hochfestes Laubholz der Festigkeitsklasse GL75 entschieden. Es wird aus einem Buchenurnierschichtholz hergestellt (siehe Abbildung 97).



Abbildung 97: BauBuche Träger GL75 [34]

6.4 Deckensysteme

Eine Besonderheit des Konzept 2 sind die liegenden Unterzüge, die als Einfeld- oder Zweifeldträger zwischen den Stützen spannen. Im Gegensatz zur herkömmlichen Bauweise wurden diese Unterzüge sehr breit und dafür niedriger ausgeführt. Dieser Ansatz wurde gewählt, weil bei den großen Spannweiten sonst sehr hohe Querschnitte erforderlich wären. Dies wäre aus verschiedenen Gründen für ein Skelettbauwerk mit flexibler Nutzung unpraktisch. Hohe Querschnitte führen zu einem dickeren Deckenpaket, größeren Geschosshöhen und damit zu höheren Kosten für die Fassade, nichttragende Wände und andere Bauelemente. Darüber hinaus könnte es dazu führen, dass aufgrund der maximal zulässigen Gebäudehöhe ein ganzes Geschoss weniger realisiert werden kann. Außerdem erschweren hohe Unterzüge die Verlegung von Leitungen, da entweder viele Durchbrüche erforderlich sind oder die Leitungen unter den Unterzügen hindurchgeführt werden müssen, was das Deckenpaket weiter verdickt.

Liegende bzw. breitere Unterzüge sind aus statischer Sicht zwar nicht optimal, da die Höhe eines Trägers einen quadratischen Einfluss auf das Widerstandsmoment hat, die Breite hingegen nur einen linearen. Dennoch wurden die Unterzüge in diesem Konzept sehr breit ausgeführt (ca. 1,0 m), während ihre Höhe der der Deckenelemente entspricht (ca. 28 cm). Dies führt zu einer fast flachen Deckenstruktur. Im Kapitel 6.6 wird erläutert, wie diese breiten Unterzüge mittels eines innovativen Waagebalkens mit den Stützen verbunden werden. Nur durch diese Kombination können wirtschaftliche Stützenquerschnitte beibehalten werden.

Die Unterzüge wurden als Zweifeldträger ausgeführt, um Durchbiegungen und Schwingungen zu minimieren. Diese Lösung bietet eine höhere Steifigkeit und verbessert somit das dynamische Verhalten der Konstruktion. Da die großen Spannweiten nur mit einem leichten Bodenaufbau realisierbar sind, wurde ein Trockenestrich als Bodenbelag gewählt.

Die liegenden Unterzüge bestehen aus Brettschichtholz (BSH) oder Stabschichtholz (SSH), das um 90° gedreht eingebaut wird, sodass es einem 1 m breiten Brettstapelelement entspricht. Um die Verfügbarkeit und wirtschaftliche Fertigung zu gewährleisten, wurde darauf geachtet, dass die Höhe der Unterzüge 28 cm nicht überschreitet, da dies die maximale Breite ist, in der Brett- und Stabschichtholz ohne Blockverleimung hergestellt werden kann. Dabei können die Vorteile der höheren Festigkeiten und Rohdichte von Laubhölzern optimal genutzt werden. Mit den geringeren Werten von Nadelholz wäre es nämlich nicht möglich die maximale Höhe von 28 cm einzuhalten.

Für die Gebrauchstauglichkeitsnachweise hinsichtlich Schwingungen und Durchbiegungen wurden die Decken- und Unterzugselemente gemeinsam betrachtet. Mithilfe eines 2D-Modells im FEM-Programm wurde das Gesamtsystem analysiert und optimiert. Eine Herausforderung bei den breiten Unterzügen ist die Torsionsbeanspruchung durch einseitige Belastungen. Diese wurde jedoch eingehend untersucht, und es hat sich gezeigt, dass die Bauteile und die Verbindungen auf dem Waagebalken (siehe Kapitel 6.6, S.188) die Belastungen sicher aufnehmen können. Mit wenigen Schrauben können auch die auftretenden Zugkräfte effektiv aufgenommen werden.

Zwischen den Unterzügen spannen die Decken einachsig, ähnlich wie bei Konzept 1. Für Konzept 2 wurden ebenfalls verschiedene Deckensysteme untersucht. Die Spannweiten betragen

3,60 m für die kurzen Randfelder und 6,50 m für die breiteren Innenfelder. Diese Spannweiten sind zwar an der Obergrenze für Brettsperrholz, aber noch wirtschaftlich umsetzbar.

Die Vorteile von Brettsperrholz, wie die geringe Bauhöhe und breite Verfügbarkeit, wurden bereits erläutert. Sollten höhere Anforderungen, beispielsweise durch eine Mischnutzung aus Wohn- und Gewerbeflächen, notwendig sein, könnten auch Hohlkastenelemente in Betracht gezogen werden (z. B. BestWood Schneider CLT Box FS). Alternativ wäre auch eine klassische Holzbalkendecke denkbar, wobei der geringere Vorfertigungsgrad ein Nachteil wäre. In beiden Fällen müsste geprüft werden, wie gut diese Systeme mit den breiten Unterzügen harmonisieren und ob eine annähernd deckengleiche Ausführung wie bei der Brettsperrholz-Variante möglich ist.

6.5 Aussteifung

Die Aussteifung des Konzeptes 2 wurde analog zu Konzept 1 betrachtet. Es wurde eine Vergleichsberechnung mit einem beispielhaften Grundriss geführt. Hierbei wurde sich für aussteifende Elemente aus Holz entschieden. Es wurden aussteifende Wände aus Brettsperrholz (BSP) so in dem Stützenraster angeordnet, dass weiterhin eine größtmögliche freie Grundrissgestaltung möglich ist (siehe Abbildung 98). Die Treppenhausewände, der Aufzugschacht, Technikräume und notwendige Brandwände zur Einhaltung der einzelnen Nutzungseinheiten sind unabdingbare Wände, die in mehrgeschossigen Bauwerken notwendig sind und somit zur Aussteifung herangezogen werden. Zudem wurde bei der Anordnung der Wände auf dem Grundriss auf die Stellplatzflächen und Fahrspuren geachtet, sodass keine aussteifenden Wände im mittleren Bereich des Gebäudes in der Fahrspur angeordnet wurden.

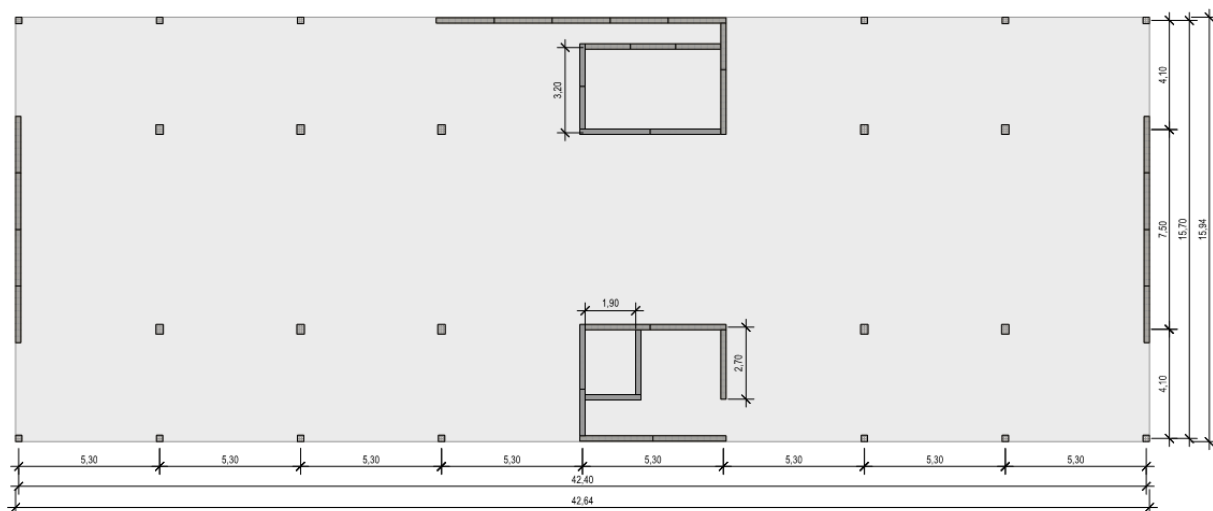


Abbildung 98: Anordnung der aussteifenden Wände im Grundriss für Konzept 2

Für das Referenzgebäude wurden die aussteifenden Wände und die dazugehörigen Anschlüsse analog zum Konzept 1 in Erdbebenzone 1 und Windzone 2 beispielhaft bemessen. Wie bereits unter Konzept 1 beschrieben, wird durch diese Kombination der größte Teil Deutschlands abgedeckt. Die Windzone 2 deckt über 90 % der Fläche von Deutschland ab (siehe Abbildung 68, S.146). Durch die Betrachtung der Erdbebenzone 1 werden ca. 95 % der Fläche Deutschlands abgedeckt (siehe Abbildung 69, S.146).

Es zeigte sich, dass für das Referenzgebäude die maßgebende Einwirkung immer aus der Erdbebenlast resultiert (siehe nachfolgende Tabelle 24). Die gewählte Kombination der Zonen deckt somit einen Großteil der in Deutschland möglichen Variationen ab und stellt trotzdem noch eine wirtschaftliche und realitätsnahe Herangehensweise dar. Hierbei sind zum größten Anteil die flächigen Bauteile, also Decken und Wände ein entscheidender Faktor. Umso dicker und schwerer die flächigen Bauteile, desto mehr Masse wird durch das auftretende Erdbeben angeregt und eine höhere horizontale Einwirkung auf das Gebäude wird hervorgerufen. Die Deckenelemente machen mit einer Stärke von 28 cm den größten Teil des Gewichtes aus und sind im Vergleich zum Konzept 1 ($d = 14 \text{ cm}$) auch doppelt so stark bzw. doppelt so schwer.

Nachfolgende Tabelle zeigt die jeweilige maßgebende horizontale Einwirkung für einen Vergleich der verschiedenen Erdbeben- und Windzonen. Es wurde ein Lastvergleich zwischen Erdbeben- und Windlasten für das beispielhafte Gebäude geführt. Hierbei wurden die vertikalen Lasten aus allen tragenden Elementen (Decken, Unterzüge, Stützen und Wände) berücksichtigt. Im Bereich der Wandenden wurden keine zusätzlichen Stützen angeordnet, damit die vertikalen Lasten aus den Unterzügen oder Decken direkt in die Wände eingeleitet werden. Hierdurch werden die abhebenden Lasten in den Wänden teilweise überdrückt oder zumindest reduziert. Außerdem müssen keine doppelten Tragebenen angeordnet werden und es wird Material eingespart.

Tabelle 24: Vergleich der maßgebenden Einwirkung - Wind & Erdbeben

Maßgebende Einwirkung	Wind	Erdbeben
EZ 1 & WZ 1		X
EZ 1 & WZ 2		X
EZ 2 & WZ 1		X
EZ 2 & WZ 2		X
EZ 3 & WZ 1		X
EZ 3 & WZ 2		X

Die Decken- und Wandscheiben, die zur Aussteifung des Gebäudes benötigt werden, können aufgrund der Vorfertigung und der maximalen Transportabmessungen nur mit Elementfugen zwischen den einzelnen Massivholz-Elementen hergestellt werden. Die Lasten der einzelnen Elemente müssen für die Scheibenausbildung über diese Fugen in das nächste Element übertragen werden. Außerdem müssen die Lasten aus den Deckenscheiben in die Wandscheiben übertragen werden und diese wiederum über die Geschosse von Wandscheibe zu Wandscheibe bis in die Gründung abgetragen werden.

Die Anschlüsse, die zur Aussteifung des Gebäudes dienen, müssen für die außergewöhnliche Lasteinwirkung Erdbeben ausgelegt werden.

Die Anschlüsse für die Aussteifung werden analog zu Konzept 1 ausgeführt und werden daher nicht mehr weiter erläutert. In nachfolgendem Kapitel werden alle weiteren Anschlüsse, die für das Konzept 2 entwickelt wurden, genauer beschrieben.

6.6 Anschlüsse

Das Konzept 2 zeichnet sich durch große Spannweiten in der Holzbau-Konstruktion aus, was in der Regel zu sehr hohen Unterzügen führt. Diese erhöhen wiederum die Gesamthöhe des Deckenpakets, was Herausforderungen für die technische Gebäudeausrüstung (TGA) mit sich bringt und zu zusätzlichen Kostensteigerungen führen kann. Um dieses Problem zu lösen, wurde beschlossen, mit liegenden Unterzügen zu arbeiten. Diese Unterzüge sind in der Höhe geringer, haben dafür jedoch eine überdimensional größere Breite.

Die breiteren Unterzüge erfordern jedoch auch entsprechend breitere Auflager. Da die Stützen jedoch nicht über ihre gesamte Länge in dieser Breite ausgeführt werden sollen, wurde eine spezielle Lösung entwickelt: Am Kopf der Stützen wird ein vergleichsweise kurzer Querträger, auch Waagebalken genannt, aufgelegt, der beidseitig auskragt. Dies verleiht der Konstruktion eine Optik, die an eine Pilzkopfstütze erinnert (siehe Abbildung 99 links). Der Waagebalken übernimmt die Lasten aus den breiten Unterzügen und leitet diese über Druck in die Stütze ein. Der Stützenkopf ist so ausgeklinkt, dass der Waagebalken einfach aufgelegt werden kann (siehe Abbildung 99 rechts). In der Mitte des Waagebalkens befindet sich eine Öffnung, durch die der Restquerschnitt der Stütze hindurchgeführt wird. Dies ermöglicht es, die nächste Stütze direkt auf dem Restquerschnitt zu platzieren, ohne dass Querdruck durch den Querträger oder den Unterzug geleitet werden muss.

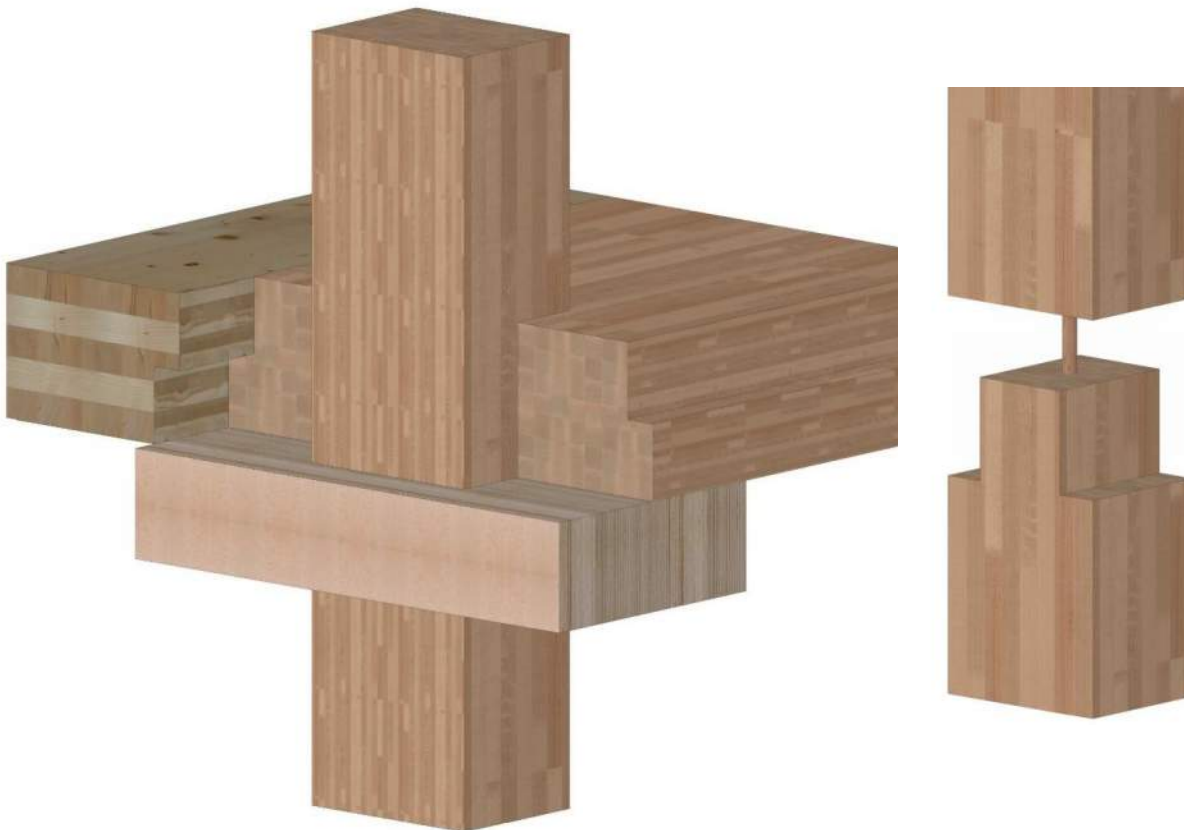


Abbildung 99: Konzept 2 Stützendetail mit und ohne eingblendeten weiteren Bauteilen

Da der Waagebalken ein kompaktes Bauteil ist, das hohen Querkräften, Momenten und vor allem Querdruck ausgesetzt ist, fiel die Wahl auf das Produkt BauBuche [34]. Das Buchenfurnierschichtholz zeichnet sich durch seine hohe Festigkeit und die präzise Fertigung aus, was es zu einer idealen Lösung für diese Anwendung macht.

Ähnlich wie die breiten Unterzüge, ist auch dieser Anschluss anfällig für eine einseitige Belastung. Dies kann durch die unregelmäßige Verteilung von Menschen oder auch bei Sondersituationen an Endpunkten der Konstruktion vorkommen. Das Problem wurde allerdings eingehend untersucht. Durch die Verwendung von einzelnen Schrauben, die auch zur Lagesicherung notwendig sind, kann der Waagebalken für eine einseitige bzw. unregelmäßige Belastung ausgelegt werden.

Die Brettsperrholzelemente der Decke spannen zwischen den breiten Brettstapelunterzügen. Das Ziel war es, die Konstruktionshöhe so gering wie möglich zu halten und gleichzeitig einen einfachen Anschluss der Brettsperrholzelemente an die Unterzüge zu gewährleisten. Deshalb wurde entschieden, beide Bauteile auszuklinken, sodass das ausgeklinkte Brettsperrholzelement auf den ebenfalls ausgeklinkten Unterzug aufgelegt werden kann. Dadurch wird die Gesamthöhe der Konstruktion minimiert.

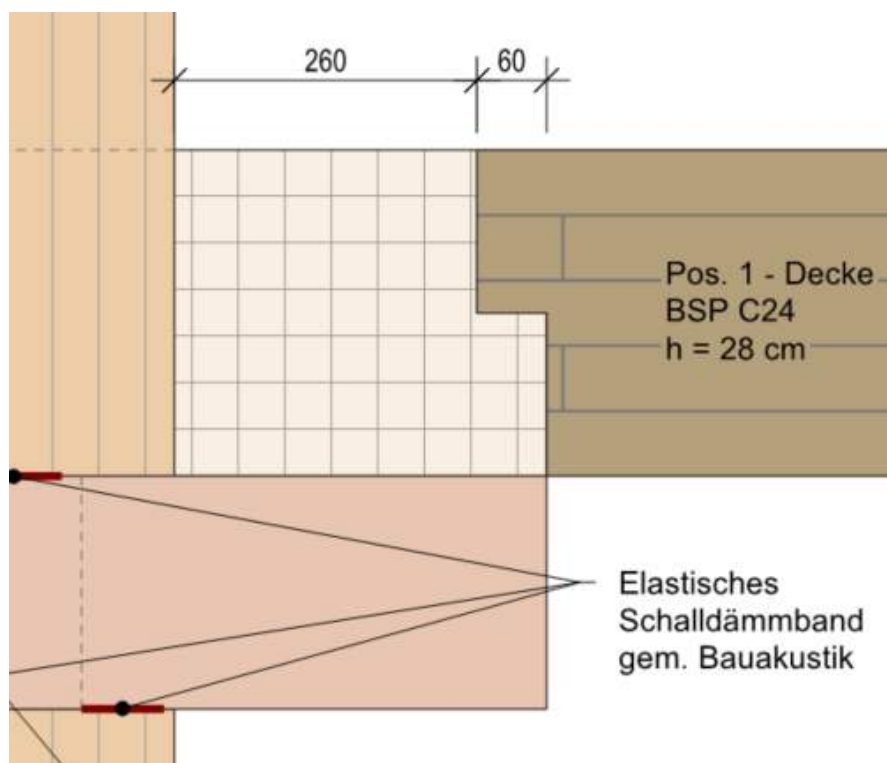


Abbildung 100: Ausklinkung der Decken und Unterzüge

Für alle weiteren Anschlüsse der Bauteile können gängige Verbindungen im Holzbau verwendet werden (siehe auch Bemessung im Anhang A 3). Einige dieser Verbindungen wurden bereits im Konzept 1 vorgestellt. Da das Deckensystem ebenfalls aus Brettsperrholzelementen besteht, können dieselben Anschlüsse genutzt werden. Auch die Kerne können beim Konzept 2 sowohl in Stahlbeton als auch in Brettsperrholz ausgeführt werden, wobei die Anschlüsse in beiden Fällen identisch zum Konzept 1 sind.

Alle Anschlüsse werden nochmals detaillierter in einem Detailkatalog mit Ansichten, Schnitten und Isometrien im Anhang unter A 2, S.239 dargestellt und beschrieben.

6.7 Kosten- und Materialvergleich

Das Konzept 2 wurde genauso wie das Konzept 1 hinsichtlich der Kosten und des Materialverbrauchs bewertet. Das Konzept wurde unter den gewählten Rahmenbedingungen bewertet. Es wurden verschiedene Materialien und die gesamten Rohbaukosten der tragenden Elemente (Decken, Unterzüge, Waagebalken und Stützen) betrachtet.

Die Kosten der weiteren Kostengruppen wie z. B. der Erschließung und des Grundstücks, der technische Anlagen oder der Außenanlagen wurden nicht weiter untersucht, da sie weitestgehend unabhängig von der tragenden Konstruktion sind.

Im Gegensatz zum Konzept 1 ist beim Konzept 2 das Raster durch die Nutzung mit Garagen Stellplätzen nicht flexibel und es fand keine Variation des Rasters statt.

Die nachfolgenden Diagramme wurden auf das Referenzgebäude des Konzepts 2 mit sieben Geschossen und dem Grundriss, wie in Abbildung 98, S.186 dargestellt, bezogen. Es werden verschiedene Materialien für den Rohbau hinsichtlich der Gesamtkosten inklusive Fundamentierung und Anschlüssen untersucht und miteinander verglichen.

Der Vergleich wird mit einem reinen Beton-Rohbau (Decken, Stützen und Unterzügen), einem reinen Nadelholz-Rohbau und verschiedenen Laubholz-Produkten (Unterzüge und Stützen) geführt. Beim Vergleich der verschiedenen Holz-Festigkeitsklassen sind aufgrund der hohen Lasten bei den Knotenpunkten „Unterzüge an Stützen“ die Waagebalken immer aus einem Furnierschichtholz aus Buche (FSH GL75 Buche) gewählt worden und variieren somit nicht im Material. Die Decken bei den Holz-Varianten sind zudem immer mit einem Brettspertholz aus Nadelholz gewählt worden.

Bei der Variante mit Nadelholz mussten die liegenden Unterzüge aufgrund des Schwingungsnachweises und der Durchbiegung in der Querschnittshöhe so weit erhöht werden, dass diese nicht mehr deckengleich ausgeführt werden können. Dies eliminiert einen großen Vorteil des Konzepts, sodass die TGA-Leitungen nicht mehr frei unter der Decke geführt werden können und mit den Unterzügen kollidieren könnten. Außerdem müssen die Nadelholz-Unterzüge aus produktionstechnischen Gründen bei dieser Stärke blockverleimt werden, was einen erhöhten Aufwand darstellt. Die Nadelholz-Variante wird deshalb für den weiteren Vergleich beim Konzept 2 nicht herangezogen.

In Abbildung 101 werden die verschiedenen Materialien hinsichtlich ihrer Kosten miteinander verglichen. Die Variante aus Beton wird als Richtwert festgelegt und die Kosten dieser Variante auf 100 % normiert. Bei der Kostenbetrachtung wurden alle relevanten Bauteile und deren Anschlüsse für das Tragwerk herangezogen. Die Kosten werden mit Hilfe von Richtpreisen [€/m³] verschiedener Hersteller ermittelt. Zusätzlich zu den reinen Materialkosten werden auch die Kosten für die Montage und den Abbund der Holzbauteile berücksichtigt.

Für das Referenzgebäude zeigt sich, dass ein Rohbau aus Nadelholz theoretisch am günstigsten ist, jedoch, wie oben beschrieben für das Projekt nicht ohne weiteres ausführbar ist. Die zweitgünstigste Variante ist ein Massivbau aus Beton, gefolgt von der Laubholz-Variante mit Furnierschichtholz aus Buche. Der größte Unterschied zwischen Laubholz- und Betonbau liegt bei den Kosten bei den Stützen und der Gründung. Die Schal- und Bewehrungsarbeiten bei Stahlbetonstützen sind sehr aufwendig und benötigen eine größere Montage- und Fertigungszeit, wohingegen die Holzstützen relativ einfach im Werk vorgefertigt werden können.

Die Fundamente für einen Betonbau sind mit einem Faktor von ca. 3,6 deutlich teurer als die Fundamente für einen Holzbau. Dies ist weitestgehend auf das deutlich höhere Eigengewicht des Betons im Vergleich zum Laubholz (Faktor 4,0) zurückzuführen, weshalb die Lasten für die Gründung auch deutlich höher sind und die Fundamente in ihrem Querschnitt erhöht werden müssen. Dahingegen sind die Kosten für die Decken bei einem reinen Holzbau mit Nadelholz-Decken ca. 1,7 mal so hoch wie bei dem Betonbau.

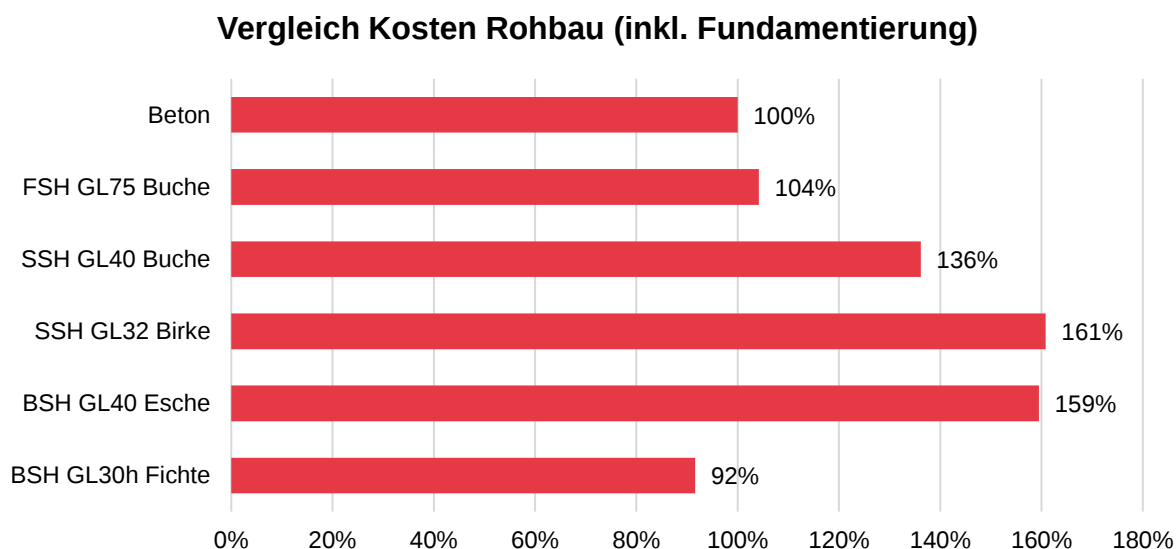


Abbildung 101: Vergleich der Materialien hinsichtlich der gesamten Kosten des Rohbaus für Konzept 2

Beim Konzept 2 ist analog zum Konzept 1 das Furnierschichtholz aus Buche die günstigste Laubholz-Variante. Dies ist, wie schon unter Konzept 1 beschrieben, auf das große Buchevorkommen und die langjährige und große Produktion des Produktes FSH GL75 Buche zurückzuführen. Diese Variante ist lediglich 4 % teurer als die Beton-Variante.

Das zweitgünstigste Laubholz-Lösung besteht aus dem Stabschichtholz GL40 (SSH GL40 Buche), welches ebenfalls aus Buche hergestellt wird. Die Rohbaukosten dieses Materials sind jedoch schon 36 % teurer als die des Betonbaus. Hierbei sind die Unterzüge ca. 3,0 mal so teuer und die Stützen ca. 0,25-mal so teuer wie die aus Beton.

Auch hier gilt wieder, dass lediglich die Kosten des Rohbaus betrachtet werden und nicht die Gesamtkosten des Gebäudes. Der Unterschied zwischen den Varianten ist auf die Gesamtkosten gesehen nochmals deutlich geringer zu erwarten.

In Abbildung 102 ist ein Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der gesamten Materialmenge des Rohbaus dargestellt.

Es zeigt sich, dass bei einem Betonbau deutlich mehr Material (135 %) nötig ist im Vergleich zu einem Laubholzbau. Alle Bauteile bis auf die Unterzüge des Betonbaus benötigen mehr Material als beim Holzbau. Der größte Unterschied ist genauso wie beim Konzept 1 bei der Fundamentierung mit einem Faktor von 3,6 auszumachen. Der Unterschied zwischen dem Betonbau und dem Holzbau bei den flächigen Bauteilen, also der Decke ist nur ca. 1,2-mal so hoch. Dies ist durch die hohe Spannweite des mittleren Bereichs (Fahrspur) zu begründen. Hierdurch müssen sowohl im Betonbau als auch im Holzbau die Decken einen größeren und fast identischen Querschnitt aufweisen, um die Verformungs- und Schwingungsnachweise einzuhalten.

Beim Vergleich der Materialmenge der verschiedenen Laub-Holzmaterialien zeigt sich ein geringerer Unterschied. Die geringste gesamte Materialmenge wird mit einem Gebäude mit Stützen und Unterzügen aus Furnierschichtholz Buche (FSH GL75 Buche) erreicht.

Die Materialmenge mit einem Rohbau mit Buchen Furnierschichtholz ist im Vergleich zu einem Rohbau mit Buchen Stabschichtholz ca. 4 % höher. Hierbei ist der Unterschied zum größeren Teil auf die Unterzüge zurückzuführen.

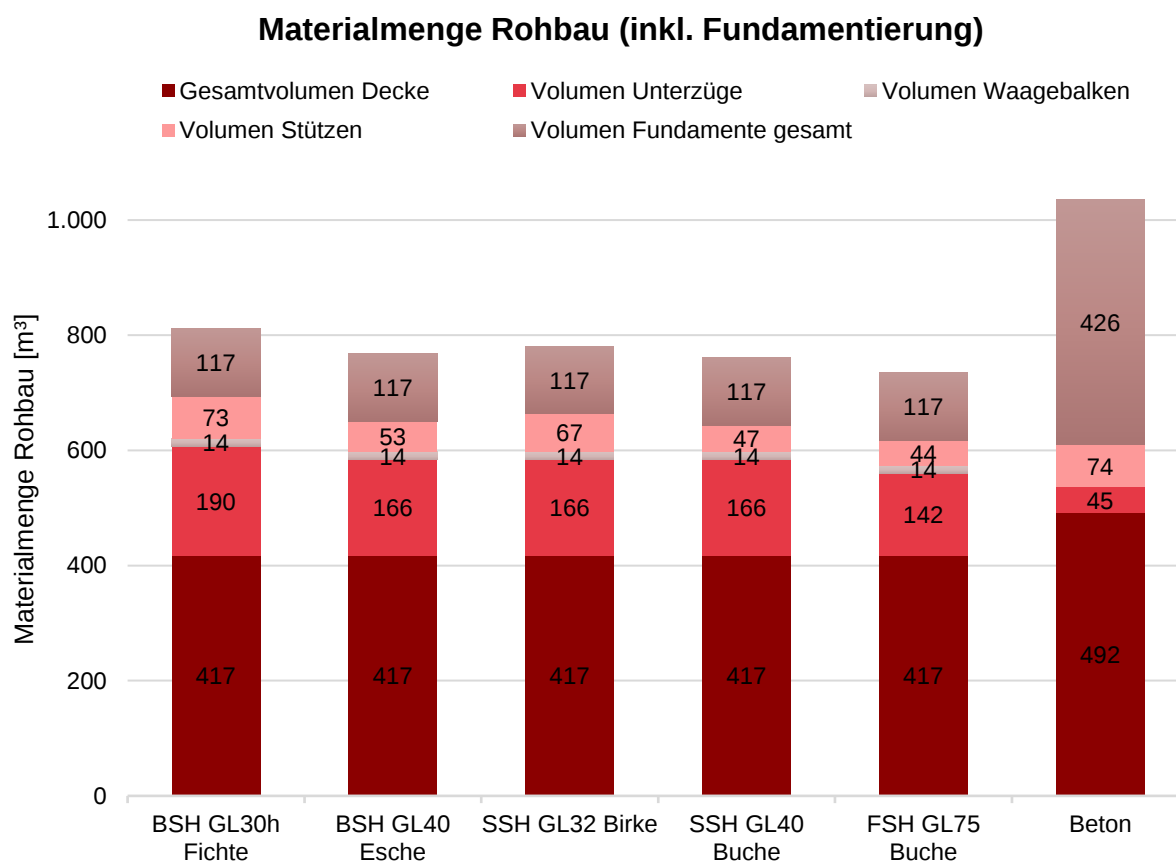


Abbildung 102: Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der Bauteilmenge für Konzept 2

Beim Konzept 2 zeigt sich also, dass von Beton zu Laubholz zwar die Materialmenge deutlich reduziert werden kann, die Kosten vom Laubholz-Rohbau jedoch leicht über dem Betonbau liegen. Dies ist weitestgehend auf das große Volumen und damit auch den großen Kostenanteil (36-56 % je nach Materialvariante) der Decken zurückzuführen. Das größte Optimierungspotential zwischen Beton und Laubholzbau ist bei den Stützen und der Fundamentierung zu sehen. Die Stützen machen hierbei jedoch nur einen relativ kleinen Anteil an der gesamten Materialmenge von 6-9 % aus. Die Fundamente hingegen machen einen größeren Anteil des Materialvolumens mit bis zu 16 % beim Laubholz bzw. 41 % beim Betonbau aus, jedoch sind hier die Herstellungskosten eher gering einzuordnen, weshalb die Kostenreduktion nicht so stark ist.

Analog zum Konzept 1 ist auch hier anzumerken, dass die Preise der Materialien im Herbst 2024 betrachtet worden sind. Der Holzmarkt unterliegt starken Schwankungen, sodass sich die Preise jederzeit ändern können. Tendenziell ist jedoch damit zu rechnen, dass aufgrund der klimabedingten Umstrukturierung der Wälder die Preise für Laubholz fallen und die Preise für Nadelholz eher steigen werden. Die Preise von Nadel- und Laubholz werden sich somit immer weiter annähern.

6.8 Ökobilanzierung

Für das Konzept 2 wird analog zum Konzept 1 eine Ökobilanzierung vollzogen. Die Grundlagen und die Vorgehensweise werden analog zum Konzept 1 ausgeführt und können dem Kapitel 5.8, S.166 entnommen werden.

In nachfolgender Abbildung 103 ist das Treibhauspotenzial (GWP) aller tragenden und aussteifenden Bauteile über drei verschiedene Varianten (Nadelholz, Laubholz und Stahlbeton) inkl. der Sequestrierung dargestellt. Es werden alle tragenden Bauteile des Referenzgebäudes betrachtet und durch die gesamte Bruttogrundfläche dividiert. Es wird das GWP pro m² dargestellt.

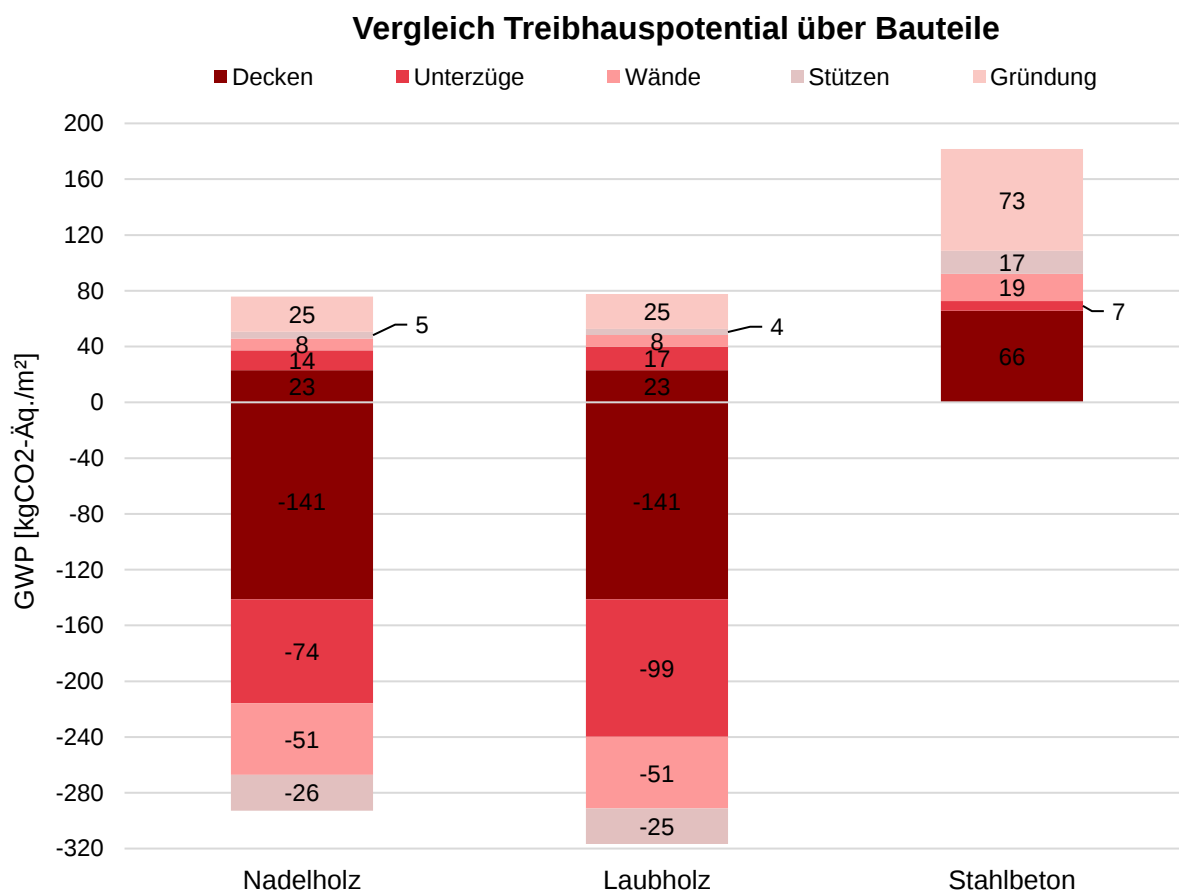


Abbildung 103: Vergleich Treibhauspotential der Bauteile über verschiedene Materialien für Konzept 2

Es wird gezeigt, dass beide Holzvarianten ein deutlich geringeres GWP im Vergleich zur Variante aus Stahlbeton aufweisen. Es wird bei den Holz-Varianten ca. 60 % des GWP eingespart, ohne die Sequestrierung zu berücksichtigen. Die Holz-Varianten verbrauchen ähnlich wie bei Konzept 1 in der Herstellung deutlich weniger CO₂ als der Stahlbeton.

Für das Referenzgebäude betrachtet wird für die beiden Holz-Varianten ein sehr ähnliches GWP erreicht. Das Laubholz liegt hier mit ca. 362 tCO₂-Äq. leicht höher (ca. 3 %) als das Nadelholz mit 353 tCO₂-Äq. Bei der Variante aus Stahlbeton ist das GWP deutlich höher mit 846 tCO₂-Äq. Es können bei den Holz-Varianten im Vergleich zur Stahlbeton-Variante somit ca. 500 tCO₂-Äq. eingespart werden. Dies entspricht ungefähr 320 Economy-Flügen von London nach New York und zurück [6].

Der größte Anteil des GWP ist bei den Holz-Varianten auf die Decke (30-36 %) zurückzuführen. Danach folgen die Gründung mit 32-40 % und bei den Holz-Varianten die Unterzüge mit 19-22 %. Die Stützen machen bei den Holz-Varianten nur einen geringeren Anteil von 6-7 % aus. Dies ist auf das Volumen der Bauteiltypen zurückzuführen. Bei der Stahlbeton-Variante ist der größte Anteil des GWP auf die Gründung (40 %) zurückzuführen. Die Stahlbeton-Decke macht mit 36 % einen weiteren großen Teil aus. Die Stützen und Unterzüge spielen mit nur 9 % und 4 % eine untergeordnete Rolle.

Zusätzlich zu dem CO₂-Ausstoß bei der Herstellung und dem Bau der Bauteile darf beim Holz noch die Sequestrierung berücksichtigt werden. Die Sequestrierung ist beim Laubholz ca. 8 % höher als beim Nadelholz. Für das Referenzgebäude kann bei der Laubholz-Variante ca. 1.476 tCO₂-Äq eingespeichert werden. Bei der Nadelholz-Variante sind es ca. 1.364 tCO₂-Äq.

Das CO₂ ist über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes gespeichert und der Atmosphäre entzogen. Auch beim Konzept 2 wird mit Hilfe der multifunktionalen Nutzung der Lebenszyklus des Primärtragwerks möglichst lange aufrechterhalten.

Zusätzlich zu der deutlichen Verlängerung des Lebenszyklus des Primärtragwerks wird beim Konzept 2 eine hohe Rückbaubarkeit der einzelnen Bauteile berücksichtigt. Hierdurch kann nach Ablauf des Lebenszyklus des Gebäudes jedes einzelne Bauteil einer Wiederverwendung zugeführt werden. Der Lebenszyklus des Bauteils ist somit nochmal höher anzusehen als der des Gebäudes selbst. Das gebundene CO₂ wird weiterhin in dem Bauteil gebunden bleiben und erst bei einer thermischen Verwertung freigesetzt. Bei der thermischen Verwertung von Holz darf zusätzlich noch als positive Bilanz eine Vermeidung von fossilen Brennstoffen angenommen werden. Das Holz ersetzt also bei der thermischen Verwertung fossile Brennstoffe.

6.9 Zusammenfassung

Das Konzept 2 bietet eine ideale Lösung, um große Stützenraster von Parkgaragen mit einer darüberliegenden Bebauung und der entsprechenden Nutzung zu kombinieren. Es stellt eine wirtschaftlichere und nachhaltigere Alternative zur herkömmlichen Bauweise in Stahlbeton oder Stahl dar. Auch im Vergleich zu einer Holzkonstruktion mit einem kleineren Raster, die auf eine Abfangebene aus Beton gestellt werden muss, bietet sie entscheidende Vorteile. Die größere Spannweite im Vergleich zum Konzept 1 lässt eine größere Variabilität der Nutzung zu. Es können zusätzlich zu der Wohn- und Büronutzung auch Parkgaragen, Einzelhandelsflächen oder Versammlungsräume wie z. B. Kindertagesstätten im Raumkonzept berücksichtigt werden. Gleichzeitig sind der Materialverbrauch und die Kosten aber auch höher als beim Konzept 1.

Neben Neubauten auf ungenutzten Flächen ist das Konzept besonders für die Überbauung von Parkplätzen oder die Aufstockung von Parkhäusern geeignet. Es stellt auch eine attraktive Option für innerstädtisch gelegene Supermarktfächen mit großen Parkplätzen dar. Die nur einstöckig genutzten Flächen in attraktiven Lagen können mit dem vorgestellten Tragwerk deutlich effizienter überbaut werden. Die Nutzfläche kann damit signifikant erhöht und eine neue Versiegelung von Flächen vermieden werden.

Durch die Reduktion der Konstruktionshöhe der tragenden Bauteile Decken und Unterzüge wird dafür gesorgt, die Kosten für Fassaden und aufgehende nichttragende Bauteile so gering wie möglich zu halten. Zusätzlich kann die TGA aufgrund der deckengleichen liegenden Unterzüge gut unter den Decken integriert und auf Durchbrüche in Unterzügen verzichtet werden. Außerdem kann je nach Nutzungskonzept und lichter Raumhöhe der Etagen ein zusätzliches Geschoss bei annähernd gleichbleibender Gebäudehöhe generiert werden. Es konnte somit ein System aus Holz entwickelt werden, welches eine Ausführung von deckengleichen Unterzügen ohne zusätzlichen Stahl oder Beton ermöglicht.

Wie auch beim Konzept 1 wird der Brandschutz bis zur Gebäudeklasse 5 eingehalten. Auch alle notwendigen Schallschutzanforderungen werden erfüllt.

Der Einsatz von Bauteilen aus Laubholz bietet entscheidende Vorteile und macht das Konzept erst in dieser Form wirtschaftlich. Die Unterzüge können durch die höhere Rohdichte und die geringere Abbrandrate trotz der großen Spannweiten ohne Blockverleimungen und deckengleich ausgeführt werden. Die verwendeten Waagebalken an den Stützen müssen hohe Querdrukkräfte übertragen. Dies stellt im Holzbau häufig ein Problem dar. Durch die Wahl von Buchen-Furnierschichtholz für diese Bauteile kann das Problem aber gelöst werden und es müssen keine aufwendigen Anschlussdetails aus Stahl verwendet werden.

Wie bereits beim Konzept 1 wurde bei den Anschlussdetails und der Aussteifung ebenfalls auf eine hohe Rückbaubarkeit und einfache Montage geachtet. Dies konnte konsequent umgesetzt werden.

7 Fazit

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein zukunftsfähiges Tragwerkskonzept für Wohnbauten zu entwickeln. Es soll der klimaangepasste Waldumbau zu Mischwäldern unterstützt werden und der Anteil an Laubholz in der Baubranche gesteigert werden. Das Tragwerkskonzept soll durch die Gewährleistung einer kurzfristigen Umnutzungsmöglichkeit leicht auf sich ändernde gesellschaftliche Ansprüche angepasst werden können. Um dem Anspruch an einen möglichst geringen Materialeinsatz auch im Hinblick auf den Flächenverbrauch gerecht zu werden, wird die Konzeption auf Basis nachwachsender Rohstoffe bis zur Gebäudeklasse 5 erarbeitet.

Hierbei wurden zwei Konzepte entwickelt, die eine flexible Nutzung und stetige Umnutzung in der Grundrissgestaltung ermöglichen und somit auf gesellschaftliche Wandlungsprozesse reagieren können. Es wurden Konzepte in Holz-Skelettbauweise entworfen, die eine materialeffiziente Auswahl der verschiedenen Holzarten und Holzprodukte berücksichtigen. Hierdurch werden effiziente und platzsparende Primärtragwerke geschaffen. Es wurden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Laubholzarten untersucht und bewertet. Die Holzprodukte wurden entsprechend ihrer Stärken bei den Konzepten eingesetzt. Hierbei wurden nicht nur materialspezifische Parameter, wie Festigkeiten und Abbrandraten berücksichtigt, sondern auch ein Kostenvergleich und eine Ökobilanzierung durchgeführt. Gleichzeitig wurden bei allen Schritten auch die architektonischen, bauphysikalischen und gebäudetechnischen Rahmenbedingungen mitberücksichtigt.

Die Konzepte können auch im Rahmen der städtebaulichen Nachverdichtung durch Aufstockung als nachhaltige Alternative zum konventionellen Skelett-Neubau herangezogen werden.

Das zirkuläre Bauen wurde nicht nur bei der flexiblen Nutzung bedacht, sondern auch bei der Ausgestaltung der Bauteile und deren Anschlüsse. Der größte Teil der Anschlüsse und der Aussteifung ist mit Holz-Holz-Verbindungen geplant. Die Bauteile werden mit einem sehr hohen Vorfertigungsgrad im Werk produziert. Alle Bauteile können hierdurch auf der Baustelle einfach montiert und zusammengesteckt werden. Es wird eine sehr hohe Rückbaubarkeit erzielt, wodurch die einzelnen Bauteile nach dem Lebenszyklus des Gebäudes einfach demontiert und einer gleichwertigen Wiederverwendung zugeführt werden können ohne entscheidend an Wert zu verlieren. Die Anschlussdetails und Bauteile wurden detailliert dargestellt, erläutert und in einem Detailkatalog gesammelt.

Das erste Konzept für eine kombinierte Wohn- und Büronutzung wurde unter dem Gesichtspunkt des optimalen Materialverbrauchs entworfen. Es wurde eine parametrische Bemessung durchgeführt mit dem Ziel eines möglichst materialeffizienten Stützenrasters. Hierbei wurden weitere Gesichtspunkte, wie z. B. architektonische und bauphysikalische Randbedingungen berücksichtigt, sodass ein optimiertes Raster für eine kombinierte Nutzung aus Wohn- und Büroflächen entstanden ist.

Die größten ineffizient genutzten urbanen Flächen resultieren aus Parkplätzen, die neben Einzelhandelsflächen angeordnet sind. Diese Flächen sollen mit Hilfe des zweiten Konzeptes einer multifunktionalen Nutzung zugeführt werden. Das zweite Konzept sieht ein Stützenraster vor, welches Parkplatzflächen und Holzgebäude ohne aufwendige Abfangebenen vereinbar macht. Die vertikalen Bauteile werden vom Dachgeschoss bis zur Gründung im selben Raster

durch das Gebäude geführt. Es entsteht ein Raster, welches eine Nutzung von Wohnen, Büro, Einzelhandel, Kindertagesstätten und PKW-Stellplätzen ermöglicht. Die größeren Spannweiten werden mit liegenden Unterzügen aus Laubholz überspannt, sodass eine deckengleiche Ebene entsteht. Mit Hilfe der liegenden Unterzüge wird Raumhöhe eingespart und somit die Kosten für den umbauten Raum reduziert. Die Lasten der Unterzüge werden konzentriert an den Stützenköpfen mit einem speziell für dieses Konzept entwickelten Bauteil aus Laubholz abgefangen und an die Stützen abgegeben.

Im Vergleich zu einem Betonbau werden bei den betrachteten Referenzgebäuden durch die Holzbauweise bei Konzept 1 etwa 38 % Material und bei Konzept 2 etwa 26 % Material eingespart. Der größte Unterschied ergibt sich dabei bei der Fundamentierung, da durch das hohe Eigengewicht des Betons beim Betonbau wesentlich höhere Lasten auf den Baugrund abgetragen werden müssen und damit größere Fundamente benötigt werden.

Für die Referenzgebäude zeigt sich, dass ein Rohbau aus Beton nur geringfügig günstiger als ein Rohbau aus Holz ist. Bezogen auf die Gesamtkosten des Bauwerks beträgt der Kostenunterschied zur günstigsten Laubholz-Variante mit Stützen und Unterzügen aus Buchen-Furnierschichtholz und Brettspertholz-Decken aus Nadelholz bei Konzept 1 weniger als 1 % der Baukosten. Beim Konzept 2 sind die Rohbaukosten der Variante mit Furnierschichtholz aus Buche trotz des größeren auf die Parkgarage abgestimmten Rasters lediglich 4 % höher als die der Beton-Variante. Bei den Kosten ist zu beachten, dass diese den Marktschwankungen unterliegen und nur eine Momentaufnahme darstellen. Wenn klimapolitisch die richtigen Weichen gestellt werden, kann durch eine positive Entwicklung der Holzpreise die Holzskelettbauweise deutliche Kostenvorteile gegenüber einer Stahlbetonbauweise erzielen.

In der Ökobilanzierung können bei Konzept 1 durch die Holz-Varianten ca. 2/3 des GWP im Vergleich zu einer Variante aus Stahlbeton eingespart werden, ohne die Sequestrierung zu berücksichtigen. Bei Konzept 2 beträgt die Ersparnis ca. 60 %. Die Holz-Varianten verbrauchen also in der Herstellung deutlich weniger CO₂ als der Stahlbeton. Zusätzlich zu dem CO₂-Ausstoß bei der Herstellung und dem Bau der Bauteile darf beim Holz noch die Sequestrierung berücksichtigt werden. Für das Gebäude darf eine CO₂-Gutschrift angesetzt werden, die aus der CO₂-Speicherung des Holzes resultiert. Das CO₂ ist über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes gespeichert und der Atmosphäre entzogen. Mit Hilfe des flexiblen Konzeptes soll der Lebenszyklus des Primärtragwerks möglichst lange aufrechterhalten und der Lebenszyklus von gängigen Bauwerken deutlich übertroffen werden. Zusätzlich zu der deutlichen Verlängerung des Lebenszyklus wird eine hohe Rückbaubarkeit der einzelnen Bauteile berücksichtigt. Hierdurch kann nach Ablauf des Lebenszyklus des Gebäudes das einzelne Bauteil einer Wiederverwendung zugeführt werden. Der Lebenszyklus des Bauteils ist somit nochmal höher anzusehen als der des Gebäudes selbst.

Die beiden entwickelten Konzepte zeichnen sich nicht nur durch ihre materialeffiziente, wirtschaftliche und ökologische Bauweise aus. Die hohe Vorfertigung der Holzskelettbauweise führt zu kürzeren Bauzeiten im Vergleich zum Bauen mit mineralischen Baustoffen. Dies bietet das Potenzial den hohen Bedarf im Wohnungsbau durch die Errichtung von Wohnbauten in Holzskelettbauweise zügig zu decken. Vorbehalte im Brandschutz und Schallschutz wurden im Forschungsvorhaben adressiert. Die Konzepte können brandschutztechnisch bis zur Gebäudeklasse 5 umgesetzt werden.

Auch ohne die Ausführung von Trennschnitten in den Decken über Wohnungstrennwänden kann der Schallschutz bis zum Schallschutzniveau „BASIS+“ sichergestellt werden, ohne die

Flexibilität zu reduzieren. Weitere Forschung zum Schallschutz in Bezug auf Laubholz und die Skelettbauweise ist allerdings notwendig, um den Einsatz in der Praxis zu fördern. Hierauf wird im Ausblick weiter eingegangen.

Die erarbeitete Detailsammlung zum Holzskelettbau soll Planenden erleichtern, Projekte in Holzskelettbauweise zu planen und umzusetzen. Obwohl die Holzbauweise einen tieferen Detaillierungsgrad verlangt, soll damit die Hemmschwelle gesenkt werden.

Mit den entwickelten Konzepten stehen flexible Konstruktionswerkzeuge zur Verfügung, um in der Holzskelettbauweise mit Laubholz zukunftsweisende Wohn-, Büro- und Multifunktionsgebäude zu planen, die flexibel an spätere Nutzungsänderungen angepasst werden können.

8 Ausblick

Im Anschluss an das Forschungsprojekt sollen die Erkenntnisse und Ergebnisse Planenden bekannt gemacht werden. Die Konzepte sollen bei passenden Bauvorhaben vorgeschlagen, in der Planung berücksichtigt und so zur Ausführung gebracht werden. Die Detailpläne sollen Architektur- und Tragwerksplanungsbüros zur Verfügung gestellt werden und als Ansatzpunkte für die Entwicklung von rückbaubaren Anschlüssen als Holz-Holz-Verbindungen dienen.

Die bauakustische Bewertung von Holz-Skelettbauten ist derzeit noch nicht tiefgründig genug untersucht. Häufig müssen Messungen vor Ort durchgeführt werden oder durch konservative rechnerische Ansätze Näherungswerte bestimmt werden.

Auch bei der Verwendung von Laubholz sind keine großformatigen Messserien vorhanden. Fast alle bauakustischen Prüfzeugnisse im Holzbau beziehen sich aufgrund des nahezu ausschließlichen Marktanteils auf Nadelholz. Die Bewertung von hochfesten Laubhölzern ist aufgrund ihres geringen Marktanteils bislang nicht oder nicht ausreichend untersucht worden. Bei der Verwendung von Stützen und Unterzügen mit deutlich höheren Festigkeitswerten ist mit vergleichsweise höheren Pegeln zu rechnen. Gleiches gilt für Skelettbauweisen in Bezug auf die Bauakustik. Nahezu alle bauakustischen Prognosemodelle wurden für die Fügung von flächigen Bauteilen entwickelt. Derzeit können zu dieser Art der Übertragung keine gesicherten Erkenntnisse präsentiert werden. In Fach- und Verkehrskreisen besteht jedoch großes Interesse an der Durchführung weiterer Untersuchungen zu diesem Thema. Somit ist ein erheblicher Forschungsbedarf in diesem Bereich identifiziert.

Die parametrische Studie hat erneut gezeigt, wie groß der Einfluss der Schwingungsanforderungen auf den modernen Holzbau ist. Nicht selten sind alle anderen Kriterien vergleichsweise gering ausgenutzt, während der Schwingungsnachweis mit an die 100 % Ausnutzung maßgebend wird. Im internationalen Vergleich zeigt sich, dass diese Anforderungen in anderen Ländern weniger streng gehandhabt werden. Gleichzeitig zeigen Gespräche, dass die Menschen nicht negativ durch das erhöhte Schwingungsverhalten beeinflusst werden oder dieses als störend empfinden. Teilweise wird das Gehen auf einer leichten Decke sogar als angenehm empfunden. Es gilt demnach zu prüfen, ob die hohen Anforderungen an das Schwingungsverhalten von Decken für das Behaglichkeitsgefühl der Menschen wirklich notwendig sind.

Bei der Entwicklung der Konzepte konnten beinahe alle Anschlüsse aus Holz und ohne weitere Stahlteile oder Schrauben entworfen werden. Lediglich der Zug-Anschluss der aussteifenden Brettsperrholz-Wände an die Gründung ist nach aktuellem Stand nur mit zusätzlichen Stahlwinkeln oder Gewindestangen und Stahlteilen umsetzbar. Eine erste Idee zur Vermeidung der Stahlwinkel ist die Umsetzung des in diesem Vorhaben entwickelten Knochens im Bereich der Gründung. Der Knochen müsste hierfür in der BSP-Wand eingebaut werden und auf der Baustelle mit Frisch-Beton vergossen werden. Da das Verhalten von Buchenholz im frischen Beton als kritisch anzusehen ist, bedarf es hier weiteren Untersuchungen und Testläufen. Das erhöhte Quellverhalten der Buche könnte hierbei einen positiven Nebeneffekt erzeugen, da hierdurch ein formschlüssiger Verbund zwischen Beton und Buchenholz gewährleistet werden könnte.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass es bereits heute möglich ist, Holzgebäude nahezu komplett aus Laubholzprodukten zu planen. Obwohl die Kosten pro Kubikmeter höher als für vergleichbare Nadelholzprodukte sind, fällt der Unterschied bei den Gesamtkosten deutlich geringer aus. Durch den notwendigen, klimabedingten Waldumbau in Deutschland hin zu einem natürlicheren Mischwald ist damit zu rechnen, dass die Verfügbarkeit von Bauprodukten aus Laubholz weiter steigen wird. Infolgedessen ist auch mit einer weiteren Angleichung der Preise von Laub- und Nadelholzprodukten zu rechnen.

Gleichzeitig beschäftigen sich immer mehr Akteure aus Forschung und Industrie mit dem Thema Laubholz. Dadurch werden neue Produkte entwickelt und vorhandene Nadelholz-Lösungen für Laubhölzer angepasst und optimiert.

Es ist damit zu rechnen, dass Laubholz in der Zukunft des Holzbaus in Deutschland und auch Europa eine zunehmend größere Rolle spielen wird.

Danksagung

Dieser Bericht ist die Schlusssdokumentation der Forschungsergebnisse des Projektes LaubÖkoLet, welches im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg unter dem Förderprogramm „Upscale Holz – Forschung, Holzbauoffensive Baden-Württemberg“ entstand.

Der Dank des gesamten Fast + Epp Forschungsteams gilt dem **MLR und der Holzbauoffensive Baden-Württemberg**, welche dieses Projekt durch ihre Förderung erst möglich gemacht haben.

Ein weiterer großer Dank gilt den Mitautoren des Architekturbüros blrm Architekt*innen GmbH Jannes Wurps (Dipl.-Ing. Architekt BDA) und Tobias Bor (M. Sc. Architekt) sowie dem Ingenieurbüro Blödt mit Adrian Blödt (Dipl. Wirtschaftsingenieur, Bauphysiker M. BP.) für den wertvollen Austausch und der Unterstützung bei der Berichterstellung.

Zusätzlich möchte das Forschungsteam für den engen Dialog mit der Praxis und die Unterstützung beim Bau der Mock-ups folgenden Unternehmen, Institutionen und Personen für den wertvollen Beitrag danken:

- Keck GmbH: Markus Rathke und Steffen Rathke (Geschäftsführung)
- W. u. J. Derix GmbH & Co.: Stephan Thielen (Projektvertrieb)
- Fagus Suisse SA: Jerome Cattin und Alex Bennet (Technischer Verkauf)
- X-fix, Schilcher Trading & Engineering GmbH: Sonja Thaler (Vertrieb)
- Pollmeier Massivholz GmbH & Co. KG: Nathalie Rommel (Vertrieb)
- n'H International AG: Reto Schneider (Verkauf International)
- Grupo Gamiz S.A.: Achim Wallmeier (Verkaufsbüro Deutschland)
- Makerspace Darmstadt e.V.: Karl-Peter Kutz (Werkstattleitung)

Literatur

- [1] *Bauministerkonferenz: MUSTERBAUORDNUNG – MBO*. Bauministerkonferenz, 2022.
- [2] *Land Baden-Württemberg: Landesbauordnung für Baden-Württemberg – LBO_BW*. Land Baden-Württemberg, 2010.
- [3] *Bundesbildungszentrum des Zimmerer- und Ausbaugewerbes: brandschutz* [David WIKI], 2022, <https://wiki.bubiza.de/doku.php?id=brandschutz> [Zugriff am: 06.08.2024].
- [4] *Enquete-Kommission: Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung – Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“* Ausgabe Juni 1998.
- [5] *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Bauen für eine bessere Welt – Wie Gebäude einen Beitrag zu globalen Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen leisten* (2020), S. 1-28.
- [6] *Attitude Building Collective e.V.: Ökobilanzierung in der Tragwerksplanung - Entwurfstafeln* Ausgabe Oktober 2024.
- [7] DIN EN 15643. Ausgabe Dezember 2021.
- [8] DIN EN 15804. Ausgabe März 2022.
- [9] *Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: ÖKOBAUDAT – Sustainable Construction Information Portal*, 2024, https://www.oekobaudat.de/no_cache/en/database/search.html [Zugriff am: 01.11.2024].
- [10] *Schuster, S.; Geier, S.: circularWOOD – Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau*, Bonn Ausgabe 15/2023.
- [11] *BauNetz. Holzarten und ihre Verbreitung | Holz | Grundlagen | Baunetz_Wissen* [online]. In: BauNetz [Zugriff am: 29.05.2024], <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/werkstoff-holz/holzarten-und-ihre-verbreitung-6967706>.
- [12] *Laubholz Plus - Laubholzinitiative des DeSH: Laubholz Plus - Laubholzinitiative des DeSH | Laubholz in Deutschland*, 2022, <https://laubholz.plus/> [Zugriff am: 06.08.2024].
- [13] *Demanega, M.: Strukturelle Unterschiede zwischen Nadelholz und Laubholz*, 2022, <https://demanega.com/2022/12/27/strukturelle-unterschiede-zwischen-nadelholz-und-laubholz/> [Zugriff am: 13.08.2024].
- [14] *Merz, K.; Niemann, A.; Torno, S.: Bauen mit Laubholz* (2020). <https://doi.org/10.11129/9783955535056>.
- [15] *Lißner, K. Dr.-Ing.; Rug, W. Prof. Dr.-Ing.: Brandschutztechnische Ertüchtigung von Holz durch Oberflächenbekleidung*. In: Hanseatische Sanierungstage (2010), Heft 21.
- [16] *Aicher, S.: Laubholzprodukte und -anwendungen / Anschlüsse* Ausgabe 2016.
- [17] *Ehlbeck, J.; Werner, H.: Tragfähigkeit von Laubholzverbindungen mit stabförmigen Verbindungsmitteln*. Forschungsbericht.
- [18] *Grosser, D.; Teetz, W.: Eiche*. In: Holzabsatzfonds - Absatzförderungsfonds der deutschen Forstwirtschaft (Hrsg.): Informationsdienst Holz – Einheimische Nutzhölzer. Loseblattsammlung, Bonn, 1998.
- [19] *Grosser, D.; Teetz, W.: Birke*. In: Holzabsatzfonds - Absatzförderungsfonds der deutschen Forstwirtschaft (Hrsg.): Informationsdienst Holz – Einheimische Nutzhölzer. Loseblattsammlung, Bonn, 1998.
- [20] *Insam, A.: Kastanienholz: Eigenschaften, Verwendung*. Lignoma, Italien, 2024, <https://www.lignoma.com/de/magazin/kastanienholz/> [Zugriff am: 08.11.2024].
- [21] *Grosser, D.; Teetz, W.: Esche*. In: Holzabsatzfonds - Absatzförderungsfonds der deutschen Forstwirtschaft (Hrsg.): Informationsdienst Holz – Einheimische Nutzhölzer. Loseblattsammlung, Bonn, 1998.
- [22] *Rigling, D.; Hilfiker, S.; Schöbel, C. et al.: Das Eschentriebsterben – Biologie, Krankheitssymptome und Handlungsempfehlungen*. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf Ausgabe 2016.
- [23] *Jeske, H.; Grosser, D.: Das Holz des Bergahorns - Eigenschaften und Verwendung*. In: LWF Wissen (2009), Heft 62, S. 55-61.
- [24] *Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Bundeswaldinventur – Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur*, Bonn Ausgabe Oktober 2024.
- [25] *Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Bundeswaldinventur – Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*, Berlin, 3 Ausgabe 2018.
- [26] *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.: Kennzahlenbericht 2022/2023*.
- [27] *Fagus Suisse SA: Produktvergleich Buche* Ausgabe Oktober 2023.
- [28] ETA-19/0031. Erfinder: Hasslacher Holding GmbH, ETA-19/0031.
- [29] *Schäpel, R.: VIGAM Brettschichtholz aus Eiche – Z-9.1-704*.

-
- [30] Maurer, B.: BSH Laubholz, Lungern Ausgabe 2014.
 - [31] Bienert, L.; Schuhmacher, N.; Winter, S. et al. (Hrsg.): Development of Disintegrated Hybrid Cross Laminated Timber. Technical University of Munich, Heft 19907,, 2023.
 - [32] Fagus Suisse SA: FAGUS STABSCHICHTHOLZ BEMESSUNGSWERTE FÜR ESCHE Ausgabe August 2023.
 - [33] Fagus Suisse SA: FAGUS STABSCHICHTHOLZ BEMESSUNGSWERTE FÜR BUCHE Ausgabe August 2023.
 - [34] Pollmeier Massivholz GmbH & Co.KG: Träger BauBuche GL75 - Pollmeier, 2023, <https://www.pollmeier.com/de/product/beam-baubuche-gl75/> [Zugriff am: 18.09.2024].
 - [35] Walberg, D.; Eisoldt, F.; Menzl, M. et al.: Zukunft Wohnen, Bauen, Arbeiten - Lernen aus der Krise – 684. Baugespräch. In: Mitteilungsblatt (2022), Heft 262.
 - [36] Walberg, D.; Gniechwitz, T.; Paare, K. et al.: Wohnungsbau 2024 in Deutschland_Kosten-Bedarf-Standards – Die Krise als Einbahnstraße? In: Bauforschungsbericht (2024), Heft 88.
 - [37] Walberg, D.; Gniechwitz, T.; Paare, K. et al.: Status und Prognose: So baut Deutschland - so wohnt Deutschland – Der Chancen-Check für den Wohnungsbau. In: Bauforschungsbericht (2023), Heft 86.
 - [38] FrankfurtRheinMain, R.: Potenziale für zusätzlichen Wohnraum im Siedlungsbestand 50er- bis 70er-Jahre – Ergebnisse eines Modellprojektes für ein klimagerechtes Flächenmanagement (2016).
 - [39] Tichelmann, K.U.; Blome, D.; Ringwald, T.: Deutschlandstudie 2019 – Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden, Darmstadt Ausgabe Februar 2019.
 - [40] Walberg, D.; Gniechwitz, T.; Paare, K. et al.: Wohnungsbau: Die Zukunft des Bestandes. In: Bauforschungsbericht (2022), Heft 82.
 - [41] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: Baunutzungsverordnung - Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke – BauNVO. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2023.
 - [42] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: Wohnraumförderungsgesetz - Gesetz über die soziale Wohnraumförderung – WoFG. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2022.
 - [43] Land Baden-Württemberg: Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise Baden-Württemberg (HolzBauRL) – HolzBauRL BW. Land Baden-Württemberg, 2022.
 - [44] Ingenieur Holzbau: "Buggi 52" FSC-zertifizierter Achtgeschoss in Freiburg – Holzrahmenbau kombiniert mit Brettsperrholz-Rippenelement-Bauweise, 2024, <https://www.ingenieurholzbau.de/projekte/wohngebaeude/achtgeschoss-buggy-52-in-holzbauweise-freiburg> [Zugriff am: 29.04.2024].
 - [45] BauNetz. Gebäudetechnikplanung: Anordnung und Platzbedarf [online] – Einfluss auf Gestaltung und Konstruktion eines Gebäudes. In: BauNetz [Zugriff am: 17.10.2024], <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/planungsgrundlagen/gebaeudetechnikplanung-anordnung-und-platzbedarf-2488163>.
 - [46] DIN 4109-1. Ausgabe Januar 2018.
 - [47] Blödt, A.; Rabold, A.; Halstenberg, M.: Schallschutz im Holzbau – Grundlagen Vorbemessung, 1 Ausgabe März 2019.
 - [48] DIN 4109-33. Ausgabe Juli 2016.
 - [49] Raumpilot – Grundlagen, Arbeiten, Lernen, Wohnen. Wüstenrot Stiftung. Kraemerverlag; Wüstenrot Stiftung, Stuttgart, 2012.
 - [50] Kolb, J.: Holzbau mit System – Tragkonstruktion und Schichtaufbau der Bauteile. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung; Lignum, H.S. Birkhäuser, Basel, 2007.
 - [51] Seim, W.: Ingenieurholzbau – Vertiefung : Tragwerke und Berechnungsmethoden, Bauingenieur-Praxis Ser, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag für Architektur und Technische, Berlin, 2022.
 - [52] ROTHO BLAAS SRL: ALUMEGA – Scharnierverbinder für Pfosten und Balken, 2024, <https://buildtheimpossible.rothoblaas.com/de> [Zugriff am: 15.08.2024].
 - [53] Leipfinger-Bader Lehm GmbH: Holz-Lehm Massivdecke, 2024, <https://www.lehm-orange.de/de/shops/deckensysteme/holz-lehm-massivdecke> [Zugriff am: 30.07.2024].
 - [54] Thoma Holz GmbH. Holz100 - Die überlegene Massivholzbauweise [online]. In: Thoma Holz GmbH, 2016 [Zugriff am: 26.08.2024], <https://www.thoma.at/holzhaus/holz100/>.
 - [55] Holzius: holzius - Dach- und Deckenelemente aus Holz ohne Leim, 2023, <https://www.holzius.com/de/produkte/vollholz-dach-und-deckenelemente/> [Zugriff am: 26.08.2024].
 - [56] Jung, P.: Holz-Beton-Verbund Systeme Praxis und Tendenzen Ausgabe 2015.
-

-
- [57] *best wood SCHNEIDER*: CLT BOX – DECKE FS | best wood SCHNEIDER, 2024, <https://www.schneider-holz.com/de/produkte/holz/hohlkastenelement/clt-box-decke-fs/> [Zugriff am: 06.08.2024].
 - [58] *X-fix Holzverbinder*: X-fix metallfreie hochbelastbare selbst spannende Holzverbinder, 2024, <https://x-fix.at/> [Zugriff am: 03.05.2024].
 - [59] *RTA Studio*: Scion Innovation Hub, 2024, <https://rtastudio.co.nz/portfolio/scion-innovation-hub-te-whare-nui-o-tuteata> [Zugriff am: 16.08.2024].
 - [60] Erlebnisholzkugel Steinberg am See, 2024, <https://www.hess-timber.com/referenzen/detail/erlebnisholzkugel-steinberg-am-see/> [Zugriff am: 19.08.2024].
 - [61] *Holzforschung Austria – Österreichische Gesellschaft für Holzforschung*: dataholz.eu – Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile, 2024, <https://www.dataholz.eu/> [Zugriff am: 11.11.2024].
 - [62] *Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Hrsg.)*: Kenngrößen zur Beschreibung elastisch gebundener Schüttungen auf Decken in Holzbauweisen, 2022.
 - [63] *Blödt, A.*: Schallschutz im Holzbau – Differenzierte Flankenbewertung bei der Trittschallübertragung, Berlin Ausgabe Dezember 2020.
 - [64] *Rabold, A.; Schneider, M.; Fischer, H.-M. et al.*: Neue Berechnungsverfahren zur Trittschallübertragung. In: Bauphysik 42 (2020), Heft 4, S. 160-172. <https://doi.org/10.1002/bapi.202000013>.
 - [65] DIN 4109-2. Ausgabe Januar 2018.
 - [66] *Kleinhenz, M.; Schneider-Marin, P.; Meier-Dotzler, C. et al. (Hrsg.)*: Fassadenelemente für Hybridbauweisen – vorgefertigte integrale Fassadenelemente in Holzbauweise zur Anwendung im Neubau hybrider Stahlbeton-Hochbauwerke, 2016.
 - [67] *Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Hrsg.)*: Schallschutz im Hybridbau am Beispiel eines MFH mit Massivholzwänden und Stahlbetondecken, 2021.
 - [68] *Bor, T.; Wurps, J.*: Skelettbauweise für Büros und Wohnungen, 2024.
 - [69] *Heye, H.-G.; Klotz, K.*: Bürogebäude ohne Heizung und Klimaanlage (2022).
 - [70] *Modeco Construction*: Modular Pods - Modeco Construction, 2023, <https://modecoconstruction.com/modular-pods/> [Zugriff am: 17.10.2024].
 - [71] DIN 4102-4. Ausgabe Mai 2016.
 - [72] *Fagus Suisse SA*: Fagus Suisse | ZWAHTT, Regensdorf, 2024, <https://fagussuisse.ch/angebot/realisierte-projekte/?ref=zwhatt-6-neubau-holzhochhaus> [Zugriff am: 26.08.2024].
 - [73] *Hasslacher Holding GmbH*: Brettspertholz – Der Baustoff der Zukunft, Sachsenburg Ausgabe 2023.
 - [74] *Pfeifer Timber GmbH*: CLT – Cross Laminated Timber, Imst Ausgabe 2024.
 - [75] *Stora Enso Wood Products GmbH*: CLT by Stora Enso – Technische Broschüre, Helsinki Ausgabe Oktober 2017.
 - [76] *W. u. J. Derix GmbH & Co*: X-LAM - Brettspertholz – Großformatige Bauelemente für Dach, Decke und Wand, Niederkrüchten Ausgabe Juli 2019.
 - [77] *Binderholz Bausysteme GmbH*: Binderholz Brettspertholz BBS, Fügen Ausgabe Juli 2022.
 - [78] *Dlubal Software GmbH*: Windzonen von Deutschland, 2024, <https://www.dlubal.com/de/img/009016> [Zugriff am: 21.10.2024].
 - [79] ETA-18/0254. Erfinder: SCHILCHER Trading & Engineering GmbH.
 - [80] *Ministeriums für Landesentwicklung und Wohnen*: Verordnung des Ministeriums für Landesentwicklung und Wohnen über Garagen und Stellplätze (Garagenverordnung - GaVO) – GaVO. Ministeriums für Landesentwicklung und Wohnen, 2021.
 - [81] *Verkehrswesen, F.f.S.*: Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs – EAR 23, FGSV R2 - Regelwerke Heft 283, FGSV, Verlag, Köln, 2023.
-

Abbildungen

Abbildung 1: Gebäudeklassen nach Musterbauordnung [3]	12
Abbildung 2: Lebenszyklusphasen [6]	15
Abbildung 3: Lebenszyklus Holz als Kreislauf [6]	16
Abbildung 4: Definition Rückbaubarkeit [10]	17
Abbildung 5: Die wichtigsten Laubholzarten in Europa [12]	18
Abbildung 6: Verbleibender Restquerschnitt im Brandfall [15]	20
Abbildung 7: Holzvorrat nach Baumartengruppen in Deutschland [26]	23
Abbildung 8: Entwicklung der Baufertigstellungen im Wohnungsbau und der Baukapazitäten in D (2017-2021) [37]	29
Abbildung 9: Entwicklung der Bauwerkskosten im Wohnungsneubau von 2000 bis 2023 [36]	30
Abbildung 10: Kostenvergleich Modernisierung, Neubau und Umbau [40]	33
Abbildung 11: TGA-Leitungen in einer Holz-Skelettkonstruktion (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)	40
Abbildung 12: A-bewerteter Laufpegel auf einer Holzdecke beim Begehen mit Socken	45
Abbildung 13: Vergleich der Bewertung von $L'_{n,w}$ gegenüber gehörrichtigen Gehpegeln und dem Kennwert $L'_{n,w} + c_{l,50-2500}$ inkl. statistischen Parametern und linearem Regressionsmodell	46
Abbildung 14: Zielwertsystem für Holzbauten mit der Berücksichtigung tiefer Frequenzen gemäß „Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung“ [47]	47
Abbildung 15: Skelettgebäude aus Holz	48
Abbildung 16: Beispielhaftes Raster für ein Bürogebäude mit Tiefgarage [49]	50
Abbildung 17: Skelettbau mit Knotenpunkt mit Stützen und Trägern [50]	51
Abbildung 18: Knotenpunkt mit Gabelstütze [50]	52
Abbildung 19: Unterzug auf ausgeklinkten Stützen (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)	53
Abbildung 20: Gabelstütze (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)	54
Abbildung 21: Ausgeklinte Stütze (Neubau Kreisverwaltung Ingelheim, TWP: Fast+Epp)	55
Abbildung 22: Balkenträger als Balken-Stützen-Verbindung [52]	56
Abbildung 23: Holz-Lehm Massivdecke [53]	57
Abbildung 24: 5-lagiges Brettsperholz-Element	58
Abbildung 25: Leimfreies, massives Deckenelement [55]	59
Abbildung 26: Verschiedene HBV-Deckensysteme [56]	59
Abbildung 27: Hohlkastenelement mit BSH-Rippen und BSP-Platten [57]	60
Abbildung 28: Mögliche Aussteifungssysteme zur Anwendung bei mehrgeschossigen Holz- und Holzhybridbauten	61
Abbildung 29: Freistehender Stahlbetonkern (Astrid-Lindgren-Schule Weiterstadt, TWP: Fast+Epp)	62
Abbildung 30: Brettsperholz-Wandscheiben beim Neubau Grundschule Raunheim, TWP: Fast+Epp	64
Abbildung 31: Fachwerkssystem aus Furnierschichtholz, Scion Innovation Hub [59]	65
Abbildung 32: Fachwerkssystem aus Stahl, BCIT Tall Timber Student Housing in Burnaby, TWP: Fast+Epp CAN	66
Abbildung 33: kombiniertes Aussteifungssystem, Erlebnisholzkugel Steinberger See [60]	67

Abbildung 34: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit unterschiedlichen Bindemitteln für die Schüttung	83
Abbildung 35: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit unterschiedlichen Trittschalldämmplatten	84
Abbildung 36: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit abgehängten Unterdecken im Vergleich zu einer sichtbaren Unterdecke	85
Abbildung 37: Norm-Trittschallpegelspektren von Massivholzdecken mit mineralischen schwimmenden Estrichen im Vergleich zu Aufbauten Trockenestrich	86
Abbildung 38: Diagramm "Unterzugs- und Stützenvolumen zu Spannweitenprodukt nach Anschlussart	88
Abbildung 39: Angeschraubte Holz-Konsole	89
Abbildung 40: Aufgelegte Holz-Konsole	90
Abbildung 41: Stahl-Anschlüsse mit Abbrand	92
Abbildung 42: Holz-Anschlüsse mit Abbrand	93
Abbildung 43: Vergleich Balkenträger $R_k=120-200$ kN (Kosten/Tragfähigkeit)	94
Abbildung 44: Vergleich Balkenträger $R_k < 120$ kN (Kosten/Tragfähigkeit)	95
Abbildung 45: Unterschiedliche Anschlusssituationen für Knotenpunkte	109
Abbildung 46: Beispielhafte Übertragungssituation an einer flankierenden Decke mit trennender Leichtbauwand ohne Trennschnitt in der Decke	110
Abbildung 47: Grundrissbeispiele für Zellen-, Gruppen- und Großraumbüros [49]	118
Abbildung 48: Beispiel für dreibündige Büroanordnung [49]	119
Abbildung 49: Beispiel für einen Wohnungsgrundriss mit 2 Zimmern [68]	120
Abbildung 50: Bodenaufbauten für Büronutzung (links, ohne Unterdecke) und Flur oder Wohnnutzung (rechts, mit Unterdecke)	122
Abbildung 51: Beispiel für eine vorgefertigte Nasszelle [70]	123
Abbildung 52: Anordnung von Schalldämmbändern bei Unterzügen und Stützen	125
Abbildung 53: Anordnung von Schalldämmbändern bei Wänden	126
Abbildung 54: Eingabemaske für Excel-Tool	128
Abbildung 55: Ausschnitt aus der Bemessung der Unterzüge	129
Abbildung 56: Schleifen/Wiederholungen im VBA-Code des Excel-Tools	130
Abbildung 57: Ausschnitt aus Ergebnistabelle des Excel-Tools	130
Abbildung 58: Diagramm "Holzvolumen zum Produkt der Spannweiten"	133
Abbildung 59: Diagramm "Volumen der Stützen zum Produkt der Spannweiten"	134
Abbildung 60: Diagramm "Maßgebende Stützennachweise nach Produkt der Spannweiten"	135
Abbildung 61: Mögliche Grundrissvarianten für Konzept 1	136
Abbildung 62: Stabschichtholz Stütze und Rippendecke aus Buche, Zwhatt Regensburg [72]	137
Abbildung 63: Diagramm "Volumen der BSP-Decken zur Deckenspannweite L_y "	141
Abbildung 64: Diagramm "Statische Nachweise der Decken nach Deckenspannweite"	142
Abbildung 65: Diagramm "Volumen der Unterzüge zur Unterzugspannweite L_x "	143
Abbildung 66: Diagramm "Nachweise der Unterzüge nach Unterzugspannweite"	144
Abbildung 67: Anordnung der aussteifenden Wände im Grundriss für Konzept 1	145
Abbildung 68: Windzonenkarte Deutschland mit schraffierter Zone 1 + 2 [78]	146
Abbildung 69: Erdbebenzonenkarte Deutschland mit schraffierter Zone 0+1 [78]	146

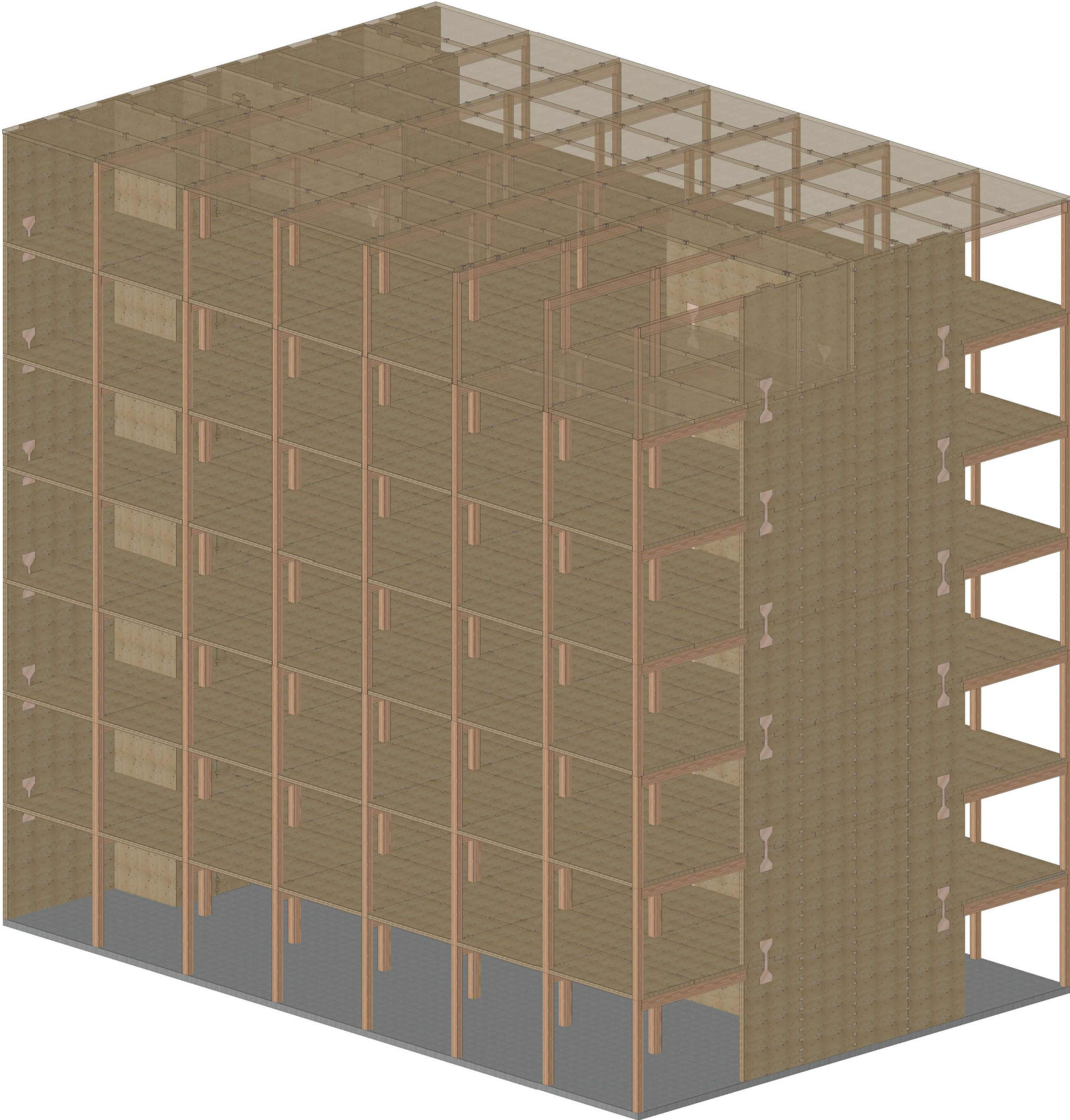
Abbildung 70: Schub- und Zugverbindung aus Holz der aussteifenden Wände (links); Detailansicht des Zugverbinders „Knochen“ Wand an Wand (rechts)	148
Abbildung 71: X-Fix®-Verbinder der Schilcher Trading & Engineering GmbH [79]	149
Abbildung 72: Elementfugen Deckenscheibe mit X-Fix®-Verbinder	151
Abbildung 73: Anschluss Decke an Unterzug mit Holzdübeln	151
Abbildung 74: Stützenkopf Auflagertasche für Unterzug	152
Abbildung 75: Modell des Stützenknotens Konzept 1	153
Abbildung 76: Stützenkopf mit Loch für Schubdorn und Anschlagpunkt für Montage	154
Abbildung 77: Ansicht und Schnitt der Verzahnung der Deckenscheibe mit der Wandscheibe	155
Abbildung 78: Zug-Anschluss Wand an Wand mit „Knochen“	156
Abbildung 79: Modell des Knochens	157
Abbildung 80: Elementfuge mit X-Fix ® und Verzahnungen Wand an Wand	158
Abbildung 81: Schub- und Zugverankerung der BSP-Wand an Gründung	159
Abbildung 82: Anteil der Bauteilgruppen an Gesamtkosten des Holz-Rohbaus über die Einzugsfläche pro Stütze	161
Abbildung 83: Gesamtkosten des Holz-Rohbaus nach Verbindungen Unterzug an Stütze über die Einzugsfläche pro Stütze	162
Abbildung 84: Diagramm "Gesamtkosten zu Spannweitenprodukt"	163
Abbildung 85: Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der Bauteilmenge für Konzept 1	164
Abbildung 86: Vergleich Materialien hinsichtlich der gesamten Kosten des Rohbaus für Konzept 1	166
Abbildung 87: Vergleich Treibhauspotential der Bauteile über verschiedene Materialien für Konzept 1	167
Abbildung 88: Modell des Stützenknotens Konzept 2	171
Abbildung 89: Mögliche Grundrissvarianten für Konzept 2	174
Abbildung 90: Ausschnitt Gebäudeschnitt Konzept 2	175
Abbildung 91: Anordnung von Schalldämmbändern bei Waagebalken und Stütze	177
Abbildung 92: Flächenbedarf pro PKW-Stellplatz [49]	179
Abbildung 93: Abmessungen für PKW-Stellplätze bei Aufstellwinkel von 90° [81]	180
Abbildung 94: Grundrissvariante Garagenfläche für Konzept 2	180
Abbildung 95: Grundrissvariante Büronutzung für Konzept 2	181
Abbildung 96: Grundrissvariante Wohnnutzung für Konzept 2	182
Abbildung 97: BauBuche Träger GL75 [34]	183
Abbildung 98: Anordnung der aussteifenden Wände im Grundriss für Konzept 2	186
Abbildung 99: Konzept 2 Stützendetail mit und ohne eingeblendeten weiteren Bauteilen	188
Abbildung 100: Ausklinkung der Decken und Unterzüge	189
Abbildung 101: Vergleich der Materialien hinsichtlich der gesamten Kosten des Rohbaus für Konzept 2	191
Abbildung 102: Vergleich unterschiedlicher Materialien hinsichtlich der Bauteilmenge für Konzept 2	192
Abbildung 103: Vergleich Treibhauspotential der Bauteile über verschiedene Materialien für Konzept 2	193

Tabellen

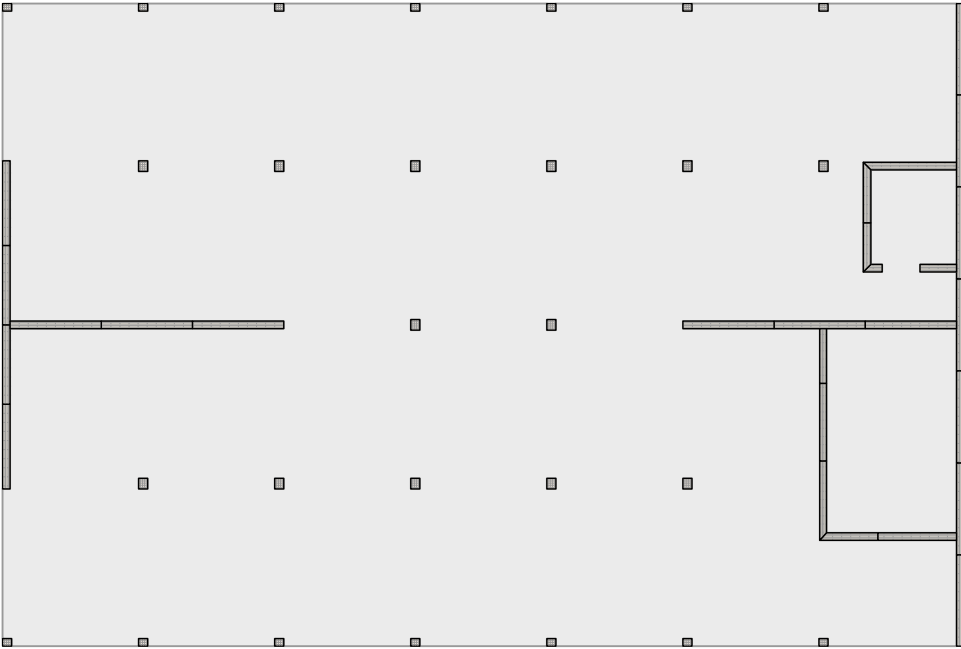
Tabelle 1: Übersicht der Experten	69
Tabelle 2: Potenziale Holzbauweise	73
Tabelle 3: Potenziale Holzskelettbauweise	74
Tabelle 4: Anforderungen Wohnungsbau	75
Tabelle 5: Einsparen von Kosten im Wohnungsbau	75
Tabelle 6: Aufbau 1 mit Trockenestrich ohne Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmtn01-00 [61]	79
Tabelle 7: Aufbau 2 mit mineralischen Estrichen ohne Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmtn02-03 [61]	79
Tabelle 8: Aufbau 3 mit Trockenestrich mit Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmtn01a-02 [61]	79
Tabelle 9: Aufbau 4 mit mineralischen Estrichen mit Abhängung Anlehnung an dataholz.eu gdmtn03b-01 [61]	80
Tabelle 10: Bodenaufbauten und Geschosshöhen	80
Tabelle 11: Vergleich der Bodenaufbauten in Bezug auf die Leistungsfähigkeit im Hinblick auf den Trittschall	82
Tabelle 12: Bewertungsmatrix Anschlüsse	98
Tabelle 13: Bewertungsmatrix Deckensysteme	100
Tabelle 14: Bewertungsmatrix Aussteifungssysteme	105
Tabelle 15: beispielhafte Berechnung des Flanken-Schalldämm-Maßes an der Deckenstoßstelle ohne Trennschnitt bei der nachträglichen Anordnung leichter Trennwände	111
Tabelle 16: Potenzialnutzung	113
Tabelle 17: Konzept 1	117
Tabelle 18: Ausbauraster für Büro- und Wohnnutzung	121
Tabelle 19: Eingangswerte für Diagramme	132
Tabelle 20: Typische BSP-Querschnitte in Deutschland [73–77]	139
Tabelle 21: Vergleich der maßgebenden Einwirkung - Wind & Erdbeben	146
Tabelle 22: Vergleich Anschlüsse für Aussteifung	149
Tabelle 23: Konzept 2	171
Tabelle 24: Vergleich der maßgebenden Einwirkung - Wind & Erdbeben	187

Anhang

A 1 Zeichnungen Konzept 1



Grundriss
M 1:200



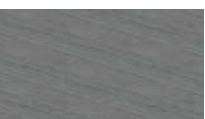
Brettsperrholz



Stabschichtholz Buche



Furnierschichtholz Buche



Stahlbeton

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

Bauherr



MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

Tragwerksplaner / Planersteller

Fast + Epp

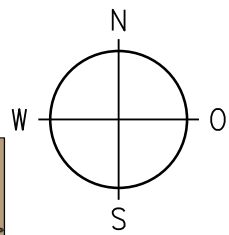
Fast + Epp GmbH
D - 64295 Darmstadt
Rosa-Parks-Straße 4
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

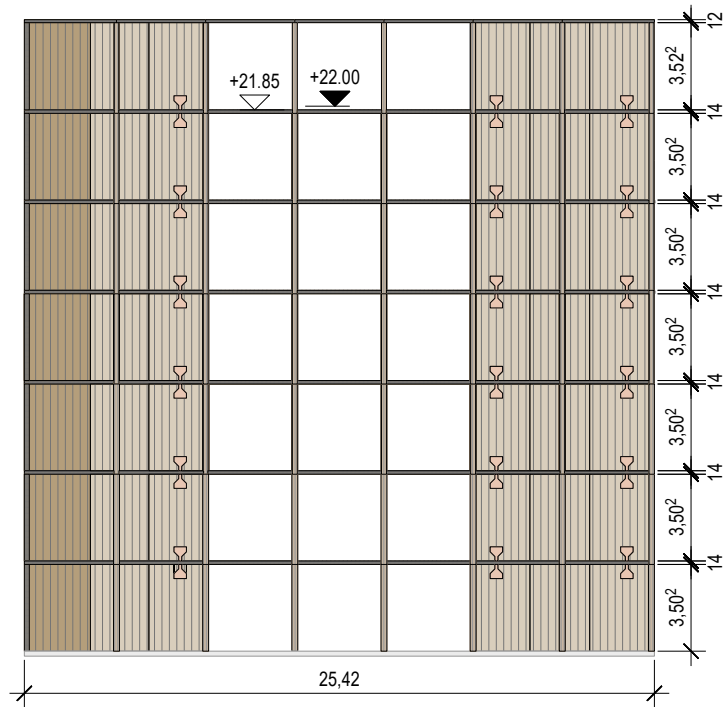
Planinhalt

3D-Isometrie der Tragenden Elemente des Referenzgebäudes

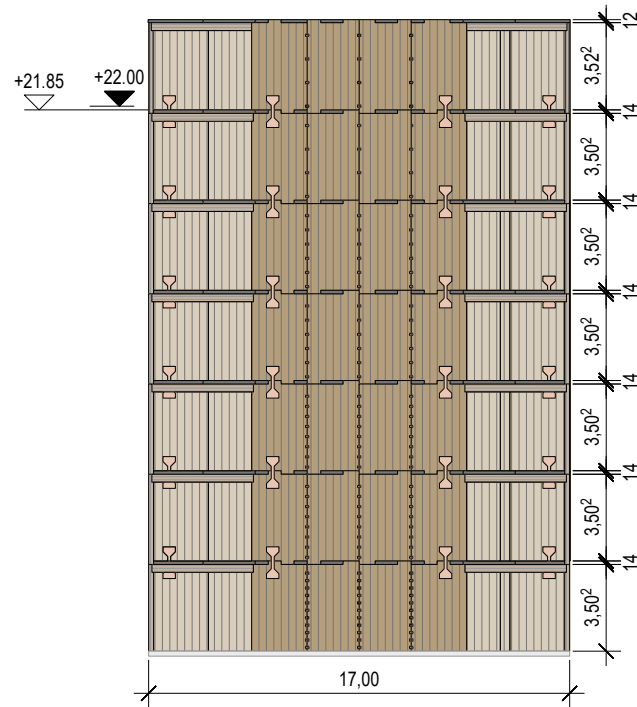
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F + E Projektnummer	
PZ	TW	21.10.2024	1:~	RD001	RD001-TWP-1-ÜS-XX-01



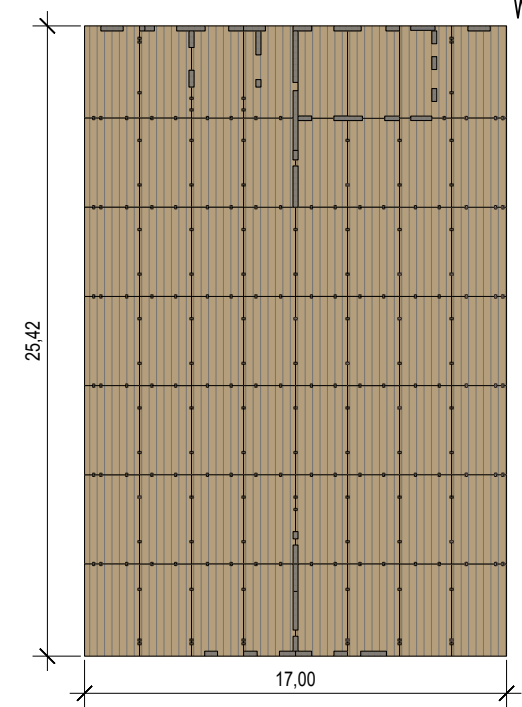
Ansicht West



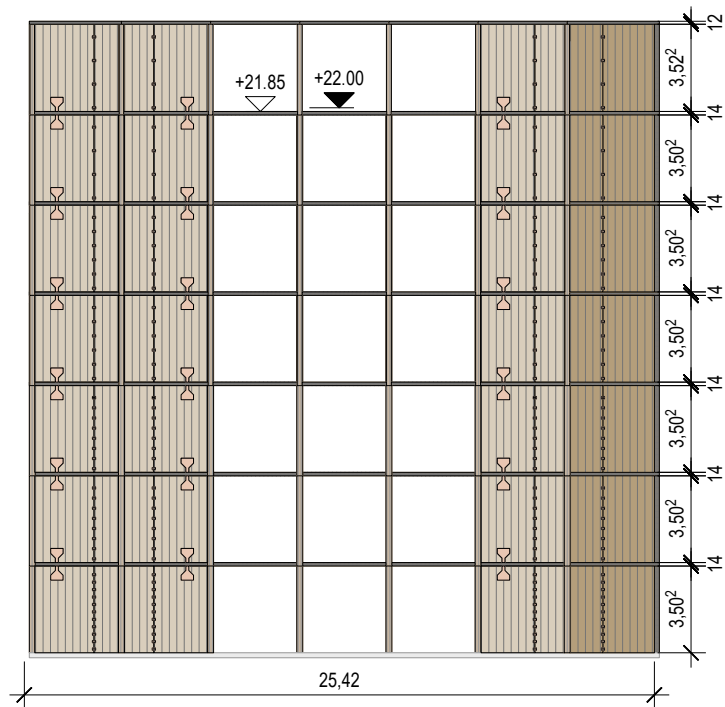
Ansicht Süd



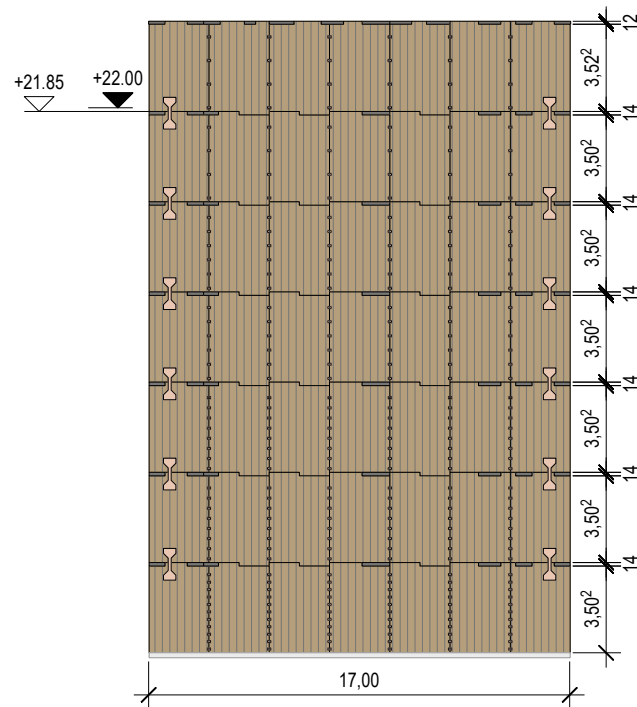
Draufsicht



Ansicht Ost



Ansicht Nord



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettsper Holz

Furnierschichholz Buche

Stabschichholz Buche

Stahlbeton

Brettsper Holz Geschnitten

Furnierschichholz Buche Geschn.

Stabschichholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

BADEN WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLÄNERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

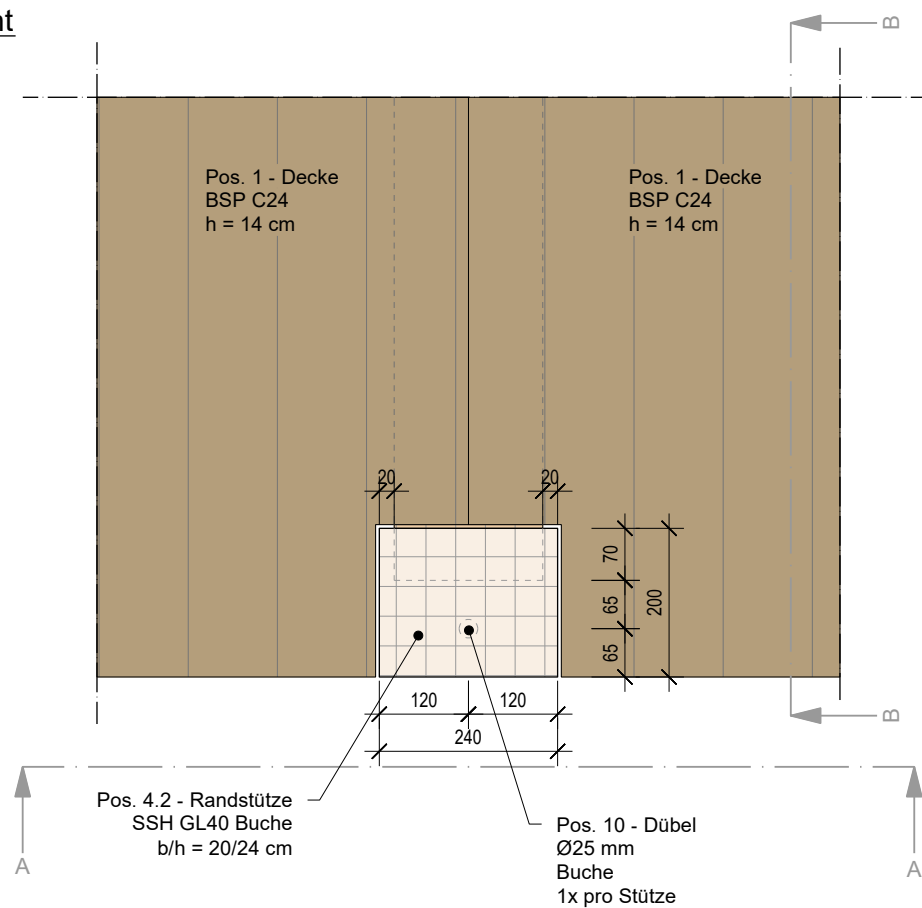
ÜBERSICHT

PLANINHALT

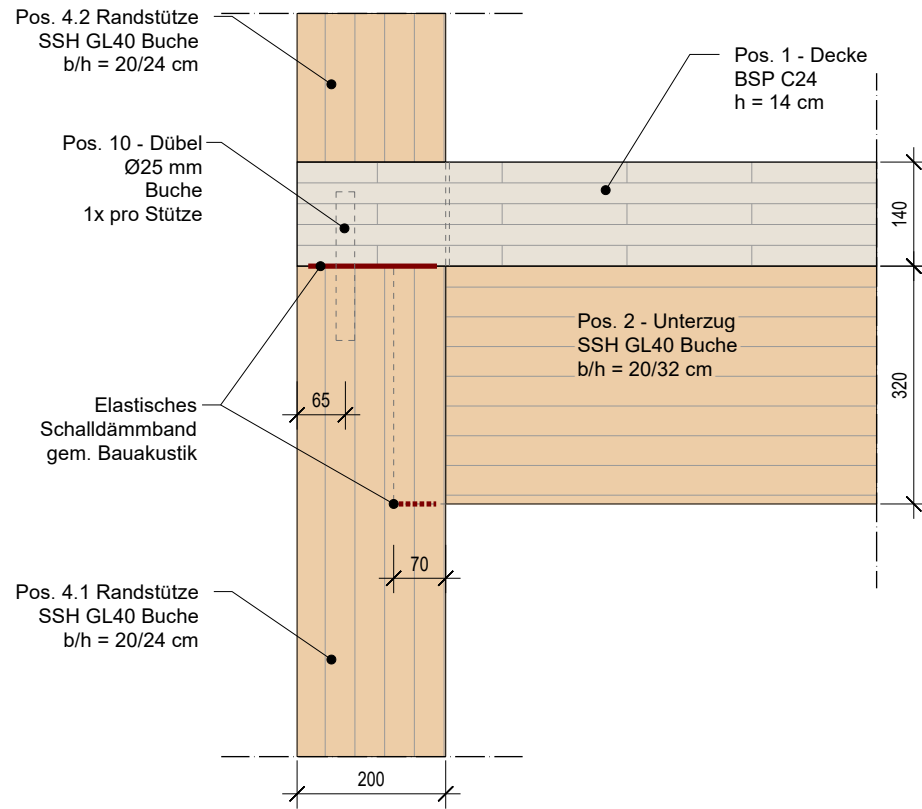
Ansichten

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	18.10.2024	1:300	RD001	RD001-TWP-1-AS-XX-01

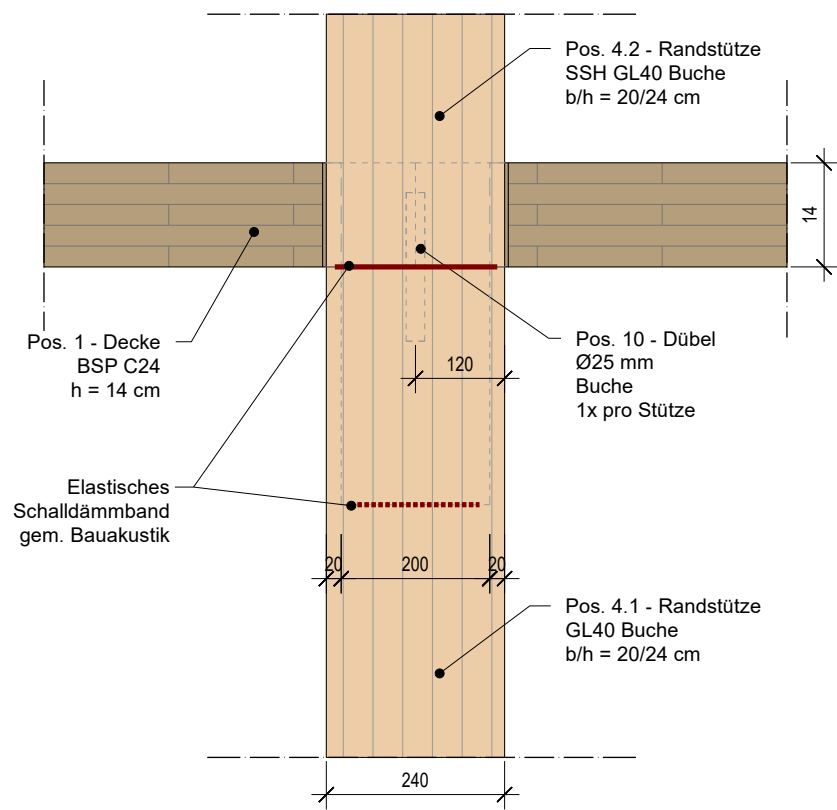
Draufsicht



Schnitt B-B



Ansicht A-A



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR



MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

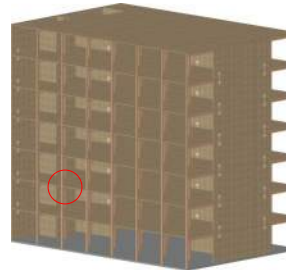
TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER



Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

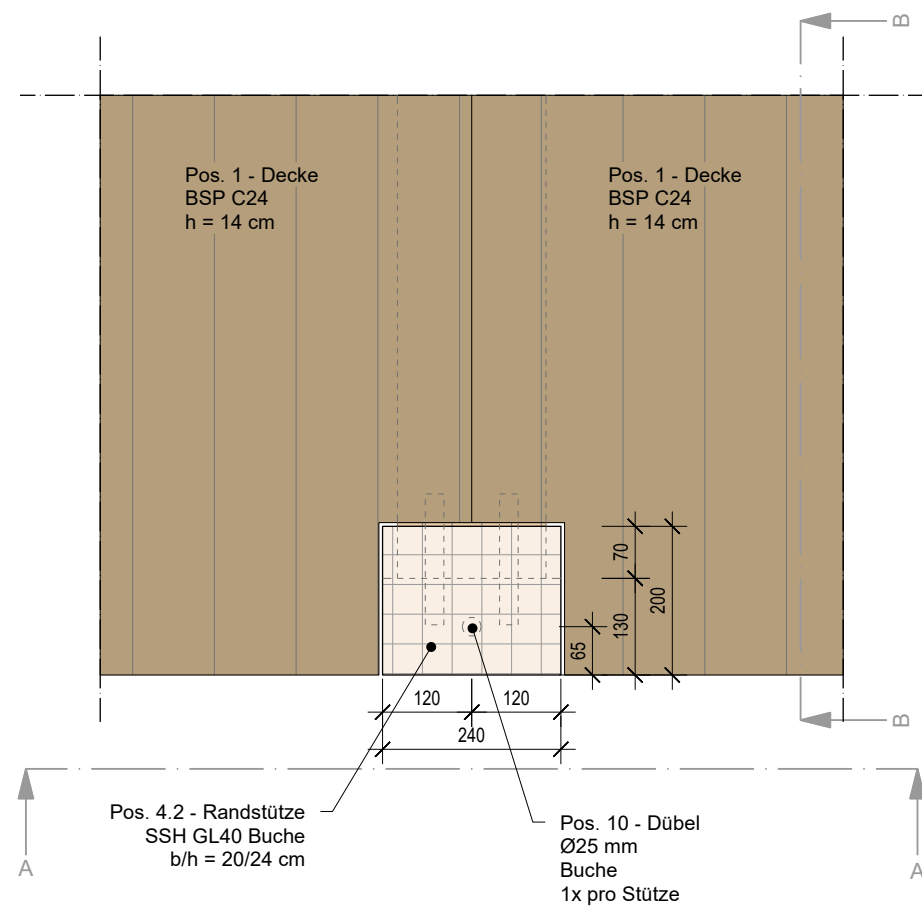


PLANINHALT

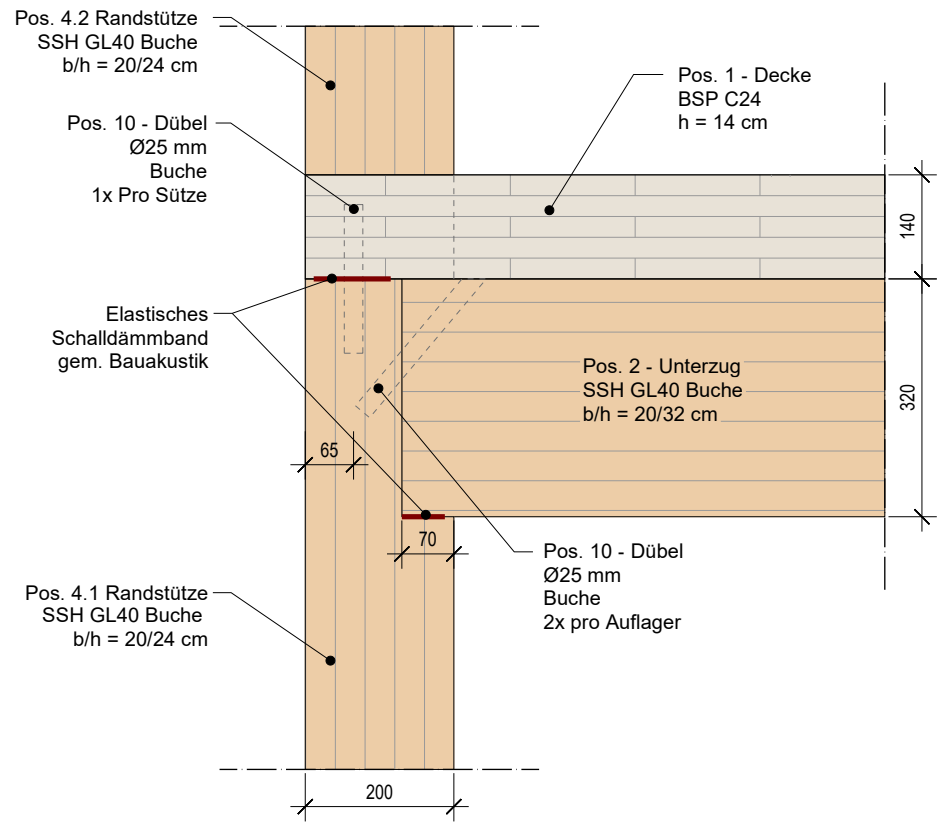
Anschluss Unterzug an Stütze: Auflagertasche

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	11.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-01-01

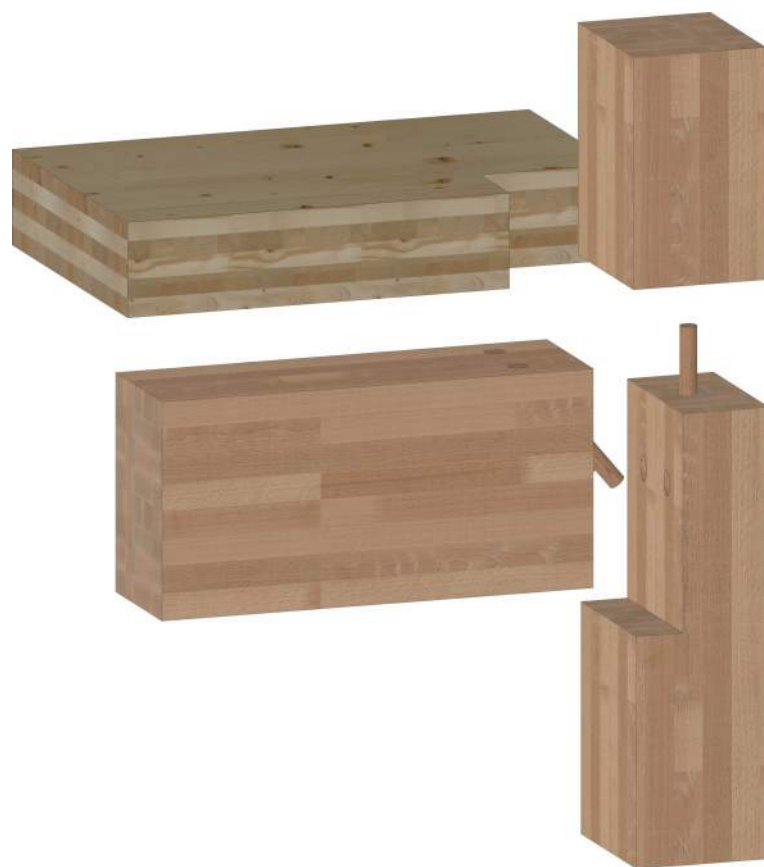
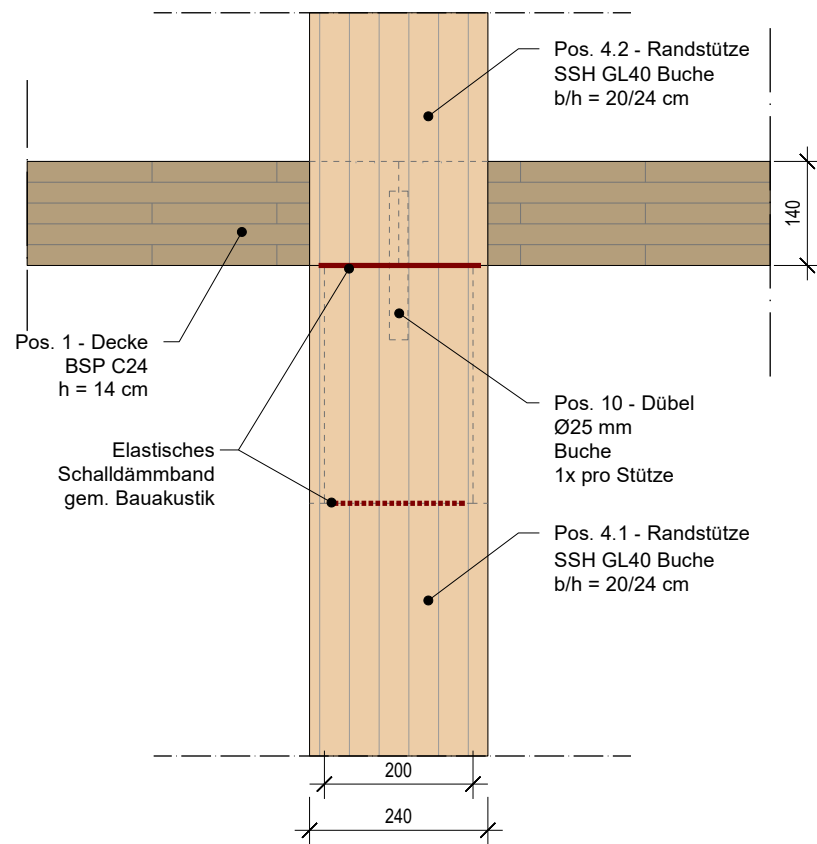
Draufsicht



Schnitt B-B



Ansicht A-A



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp GmbH

Rosa-Parks-Straße 4

D - 64295 Darmstadt

www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0

F +49 6151 660 86 20

germany@fastepp.com

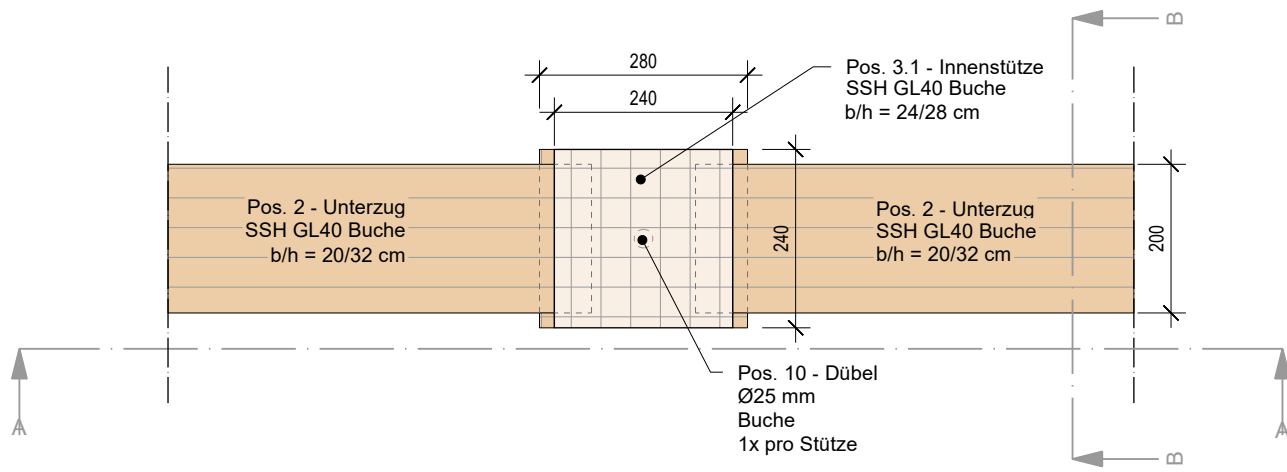
ÜBERSICHT

PLANINHALT

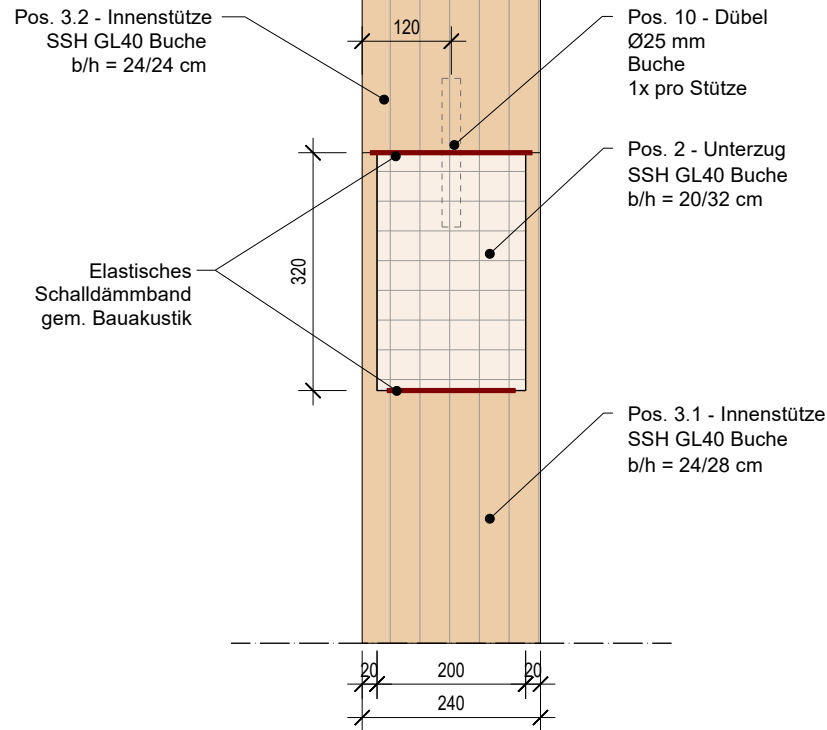
Anschluss Unterzug an Stütze: Ausgeklinte Stütze

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	11.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-01-02

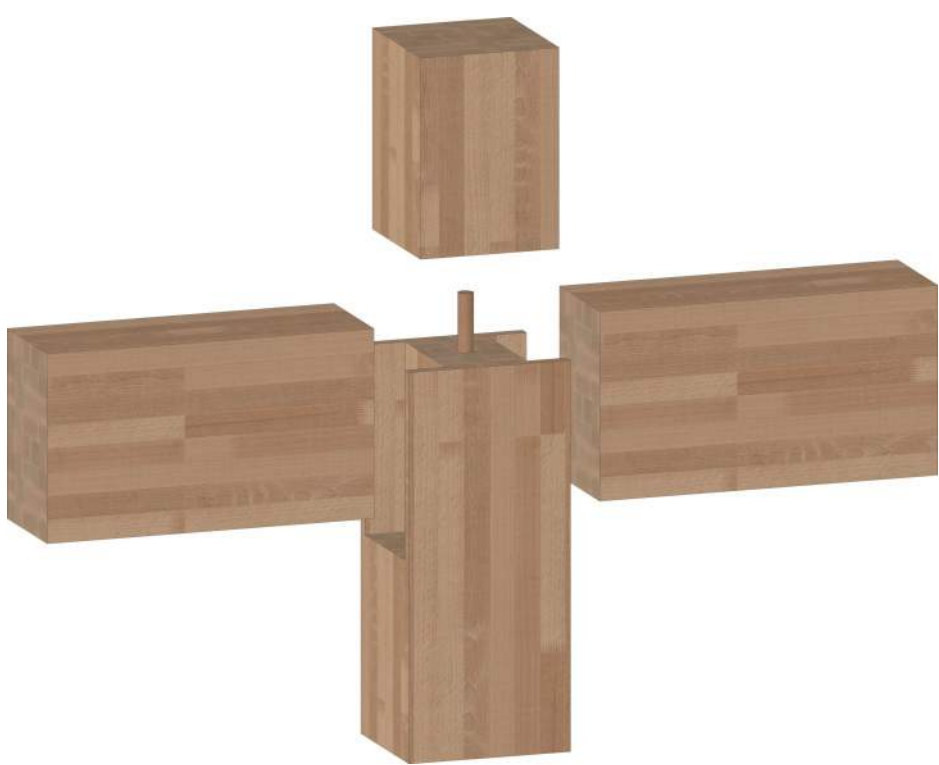
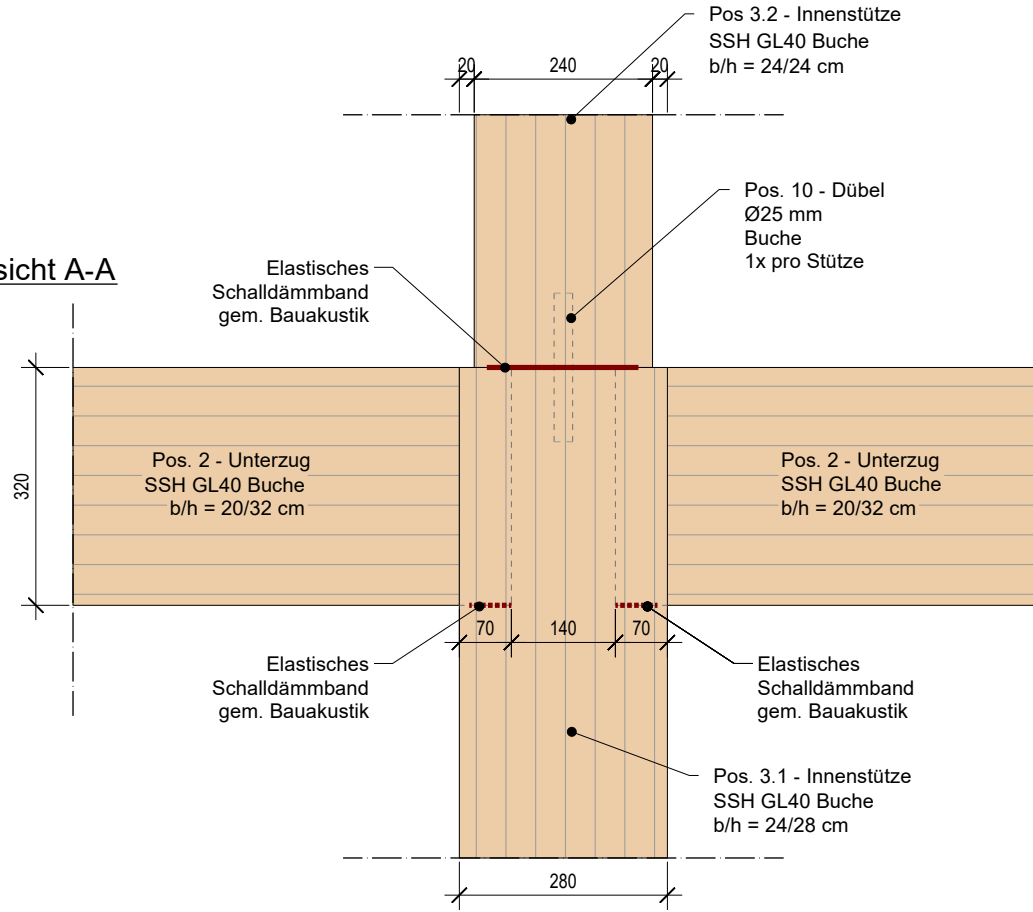
Draufsicht



Schnitt B-B



Ansicht A-A



- Ansichtskante
- geschnittene Kante
- verdeckte Kante

- Brettsper Holz
- Brettsper Holz Geschnitten
- Furnierschichtholz Buche
- Furnierschichtholz Buche Geschn.
- Stabschichtholz Buche
- Stabschichtholz Buche Geschnitten
- Buchendübel

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

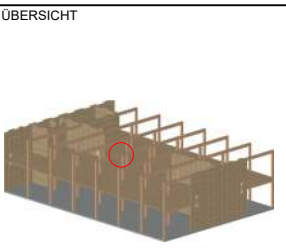
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

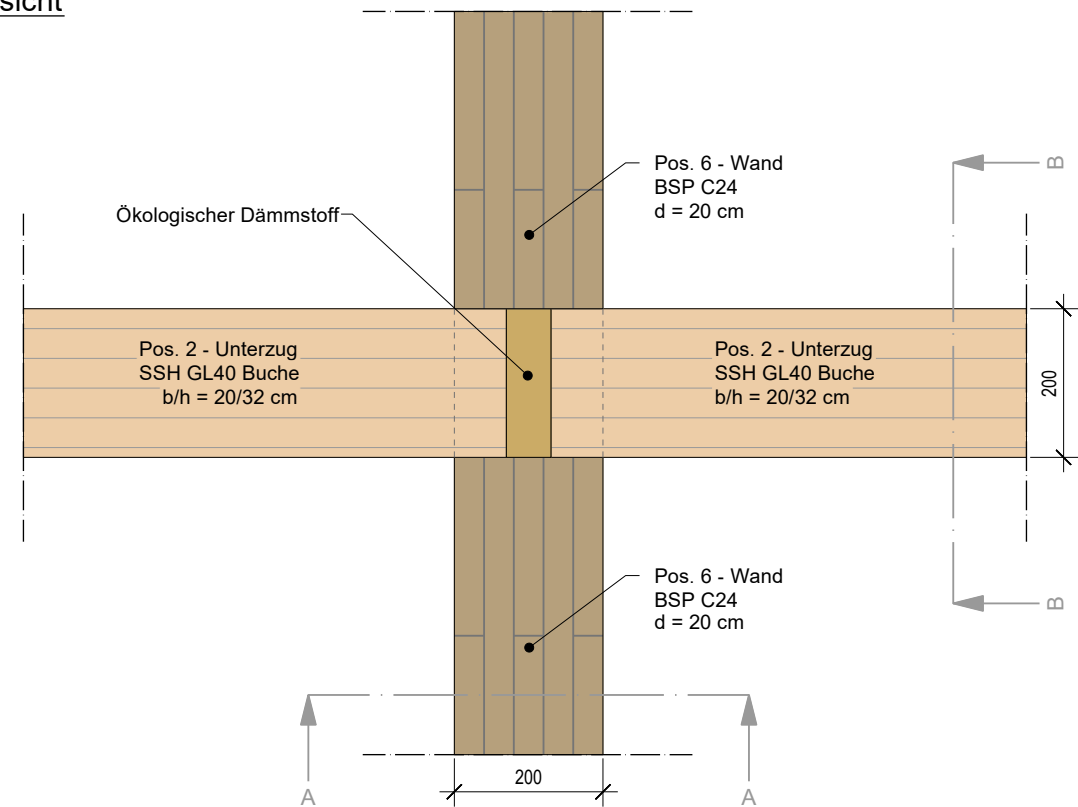


PLANINHALT

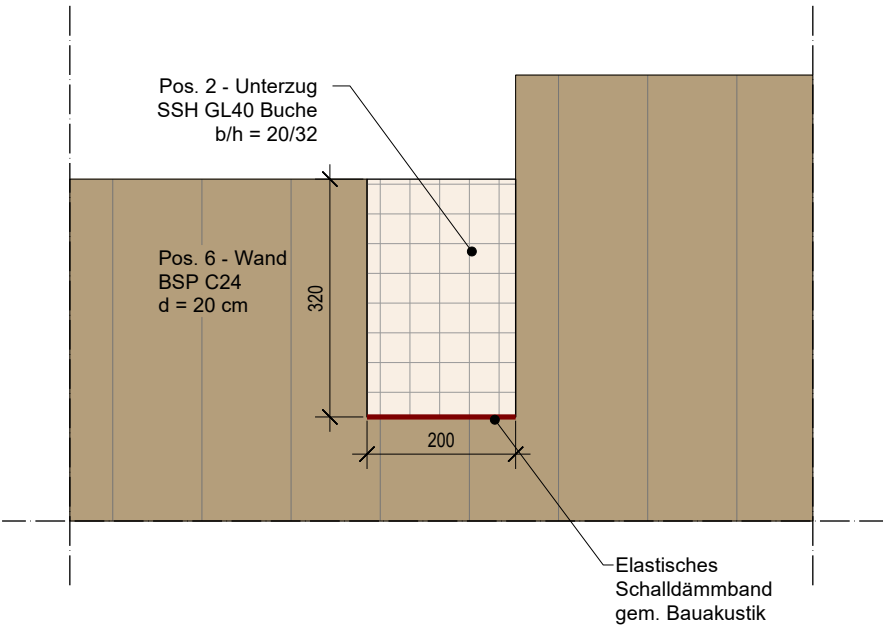
Anschluss Unterzug an Mittelstütze : Auflagertasche

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	11.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-01-03

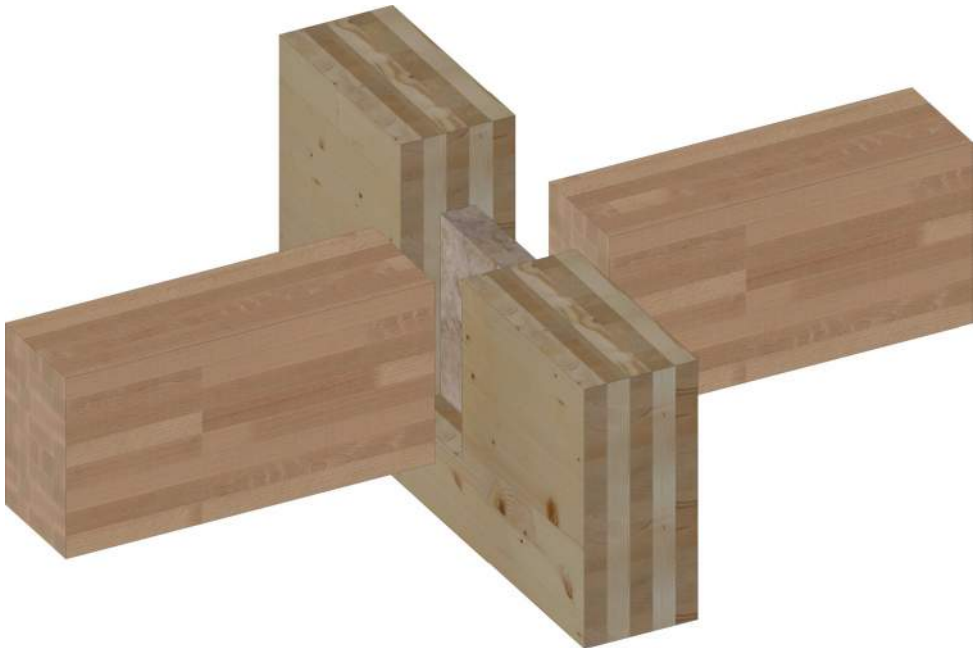
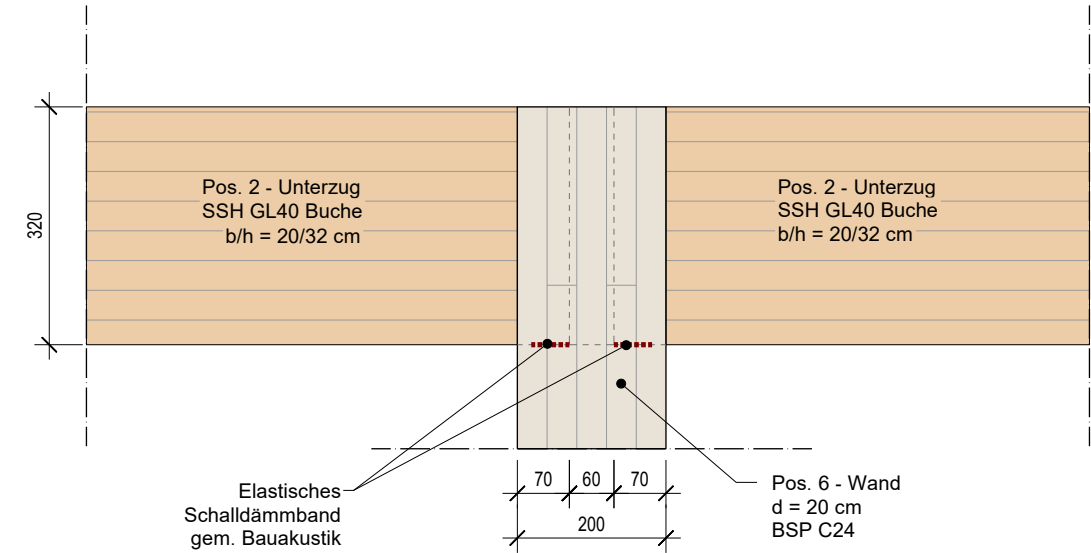
Draufsicht



Schnitt B-B



Schnitt A-A



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettsper Holz
Furnierschichholz Buche
Stabschichholz Buche
Ökologische Dämmung

Brettsper Holz Geschnitten
Furnierschichholz Buche Geschn.
Stabschichholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

Baden-Württemberg

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

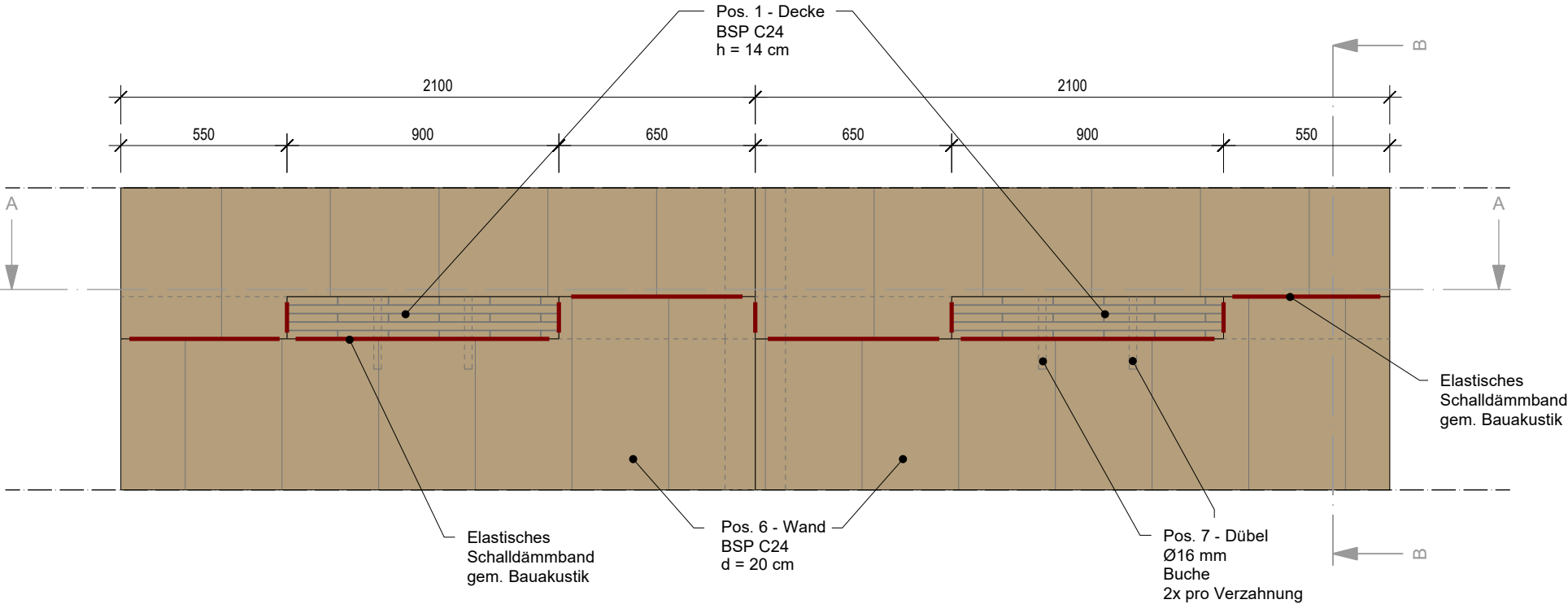
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT

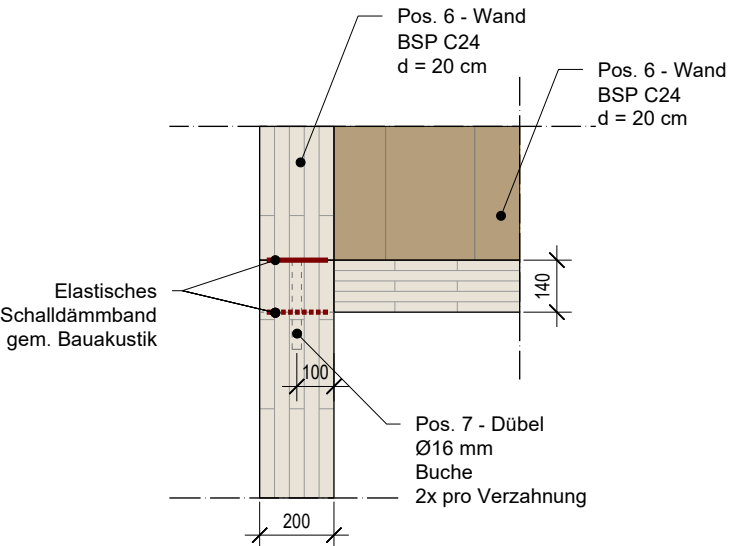
Unterzug an Wand mit Auflagertasche

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	11.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-01-04

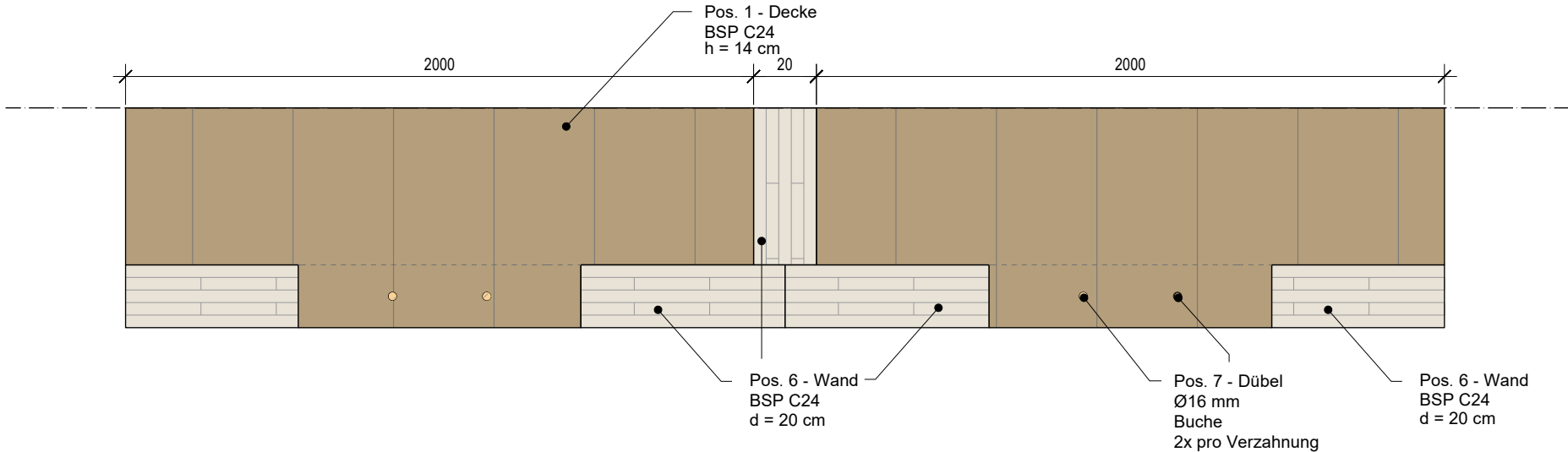
Ansicht



Schnitt B-B



Schnitt A-A



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Buchendübel

Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

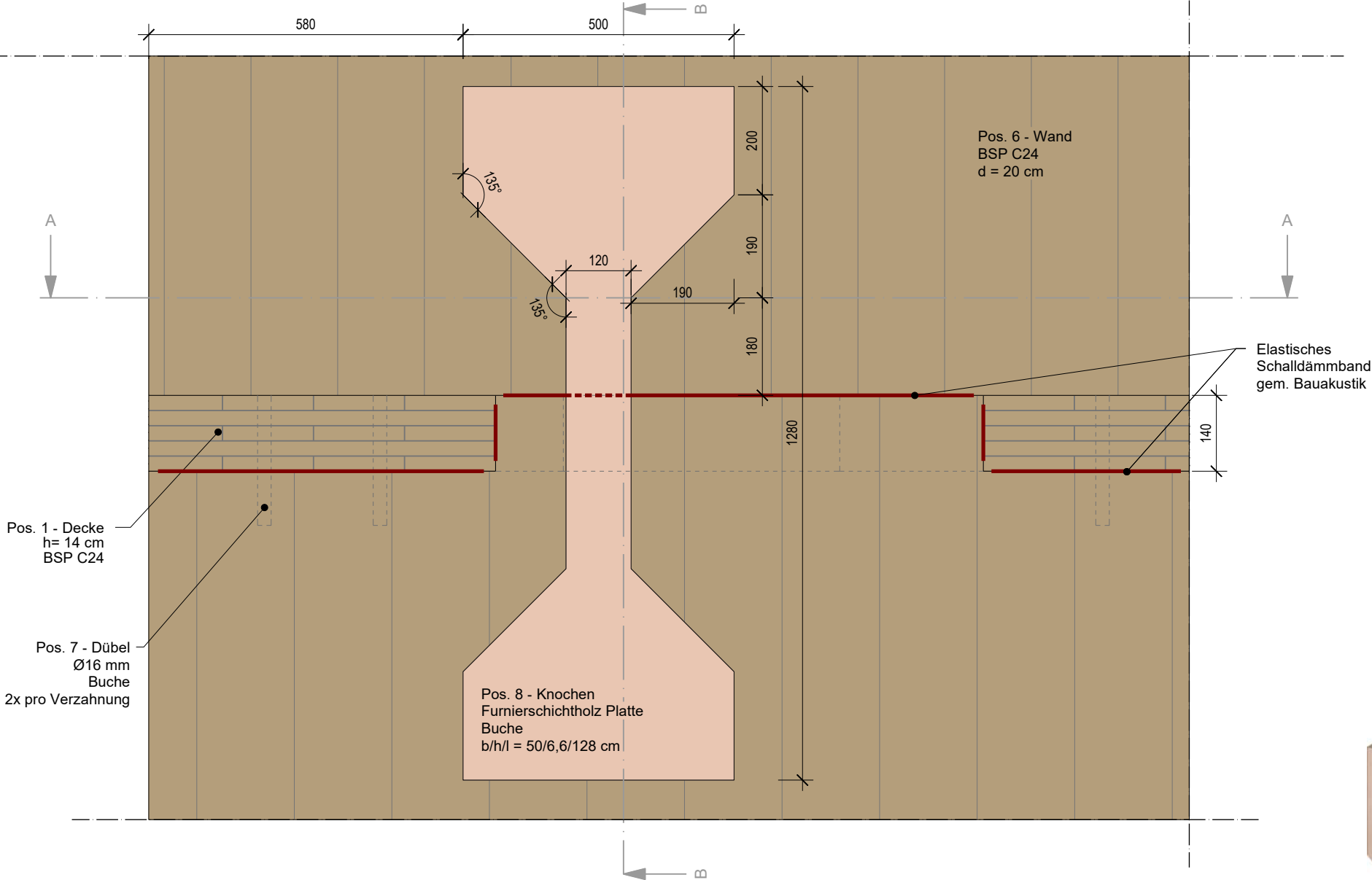
ÜBERSICHT

PLANINHALT

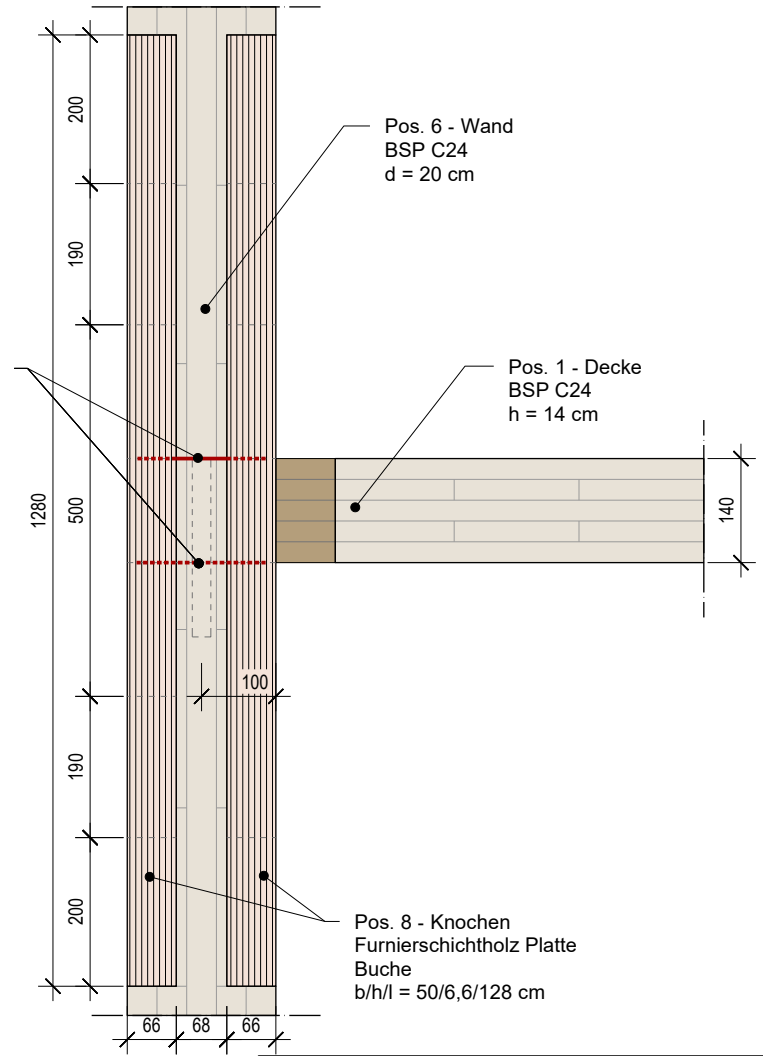
Anschluss Decke an Wand mit Verzahnung

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:20	RD001	RD001-TWP-1-DT-01-05

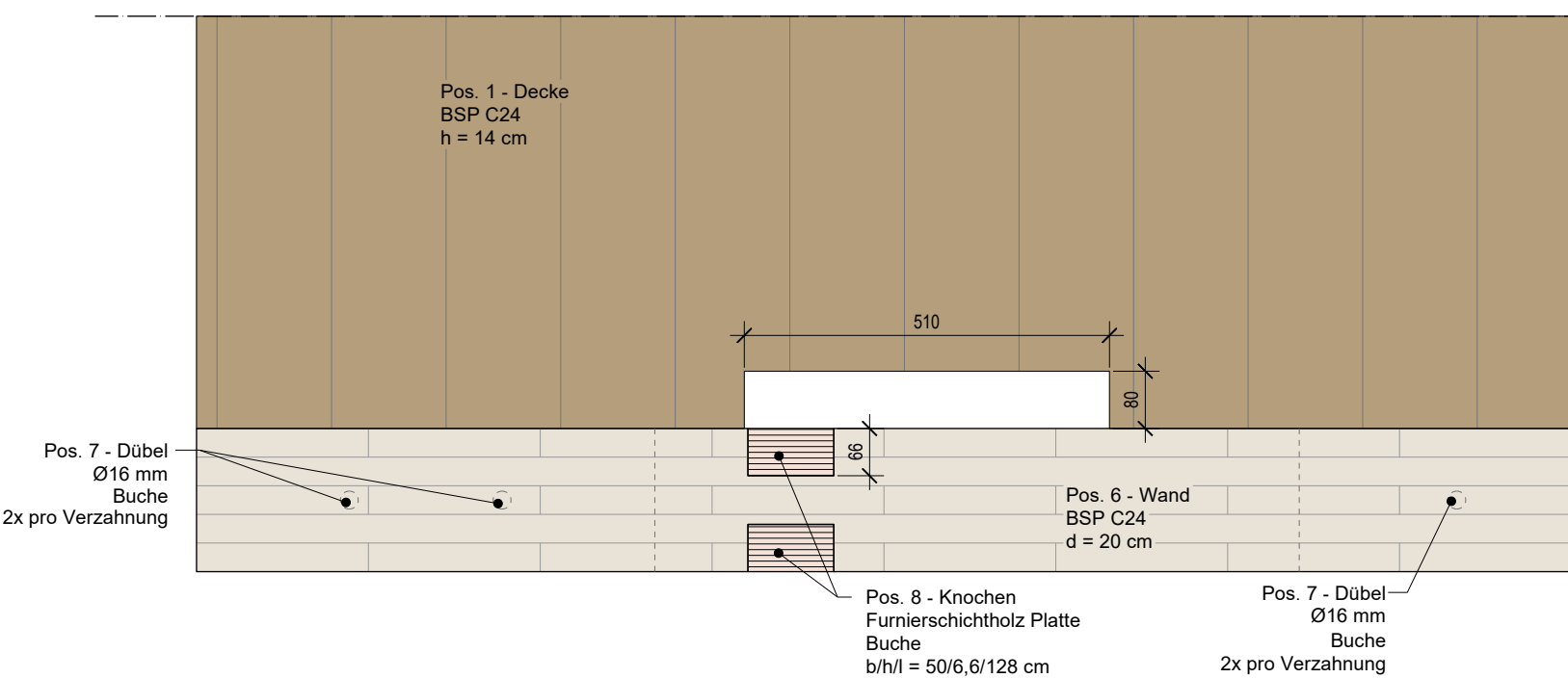
Ansicht



Schnitt B-B



Schnitt A-A



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

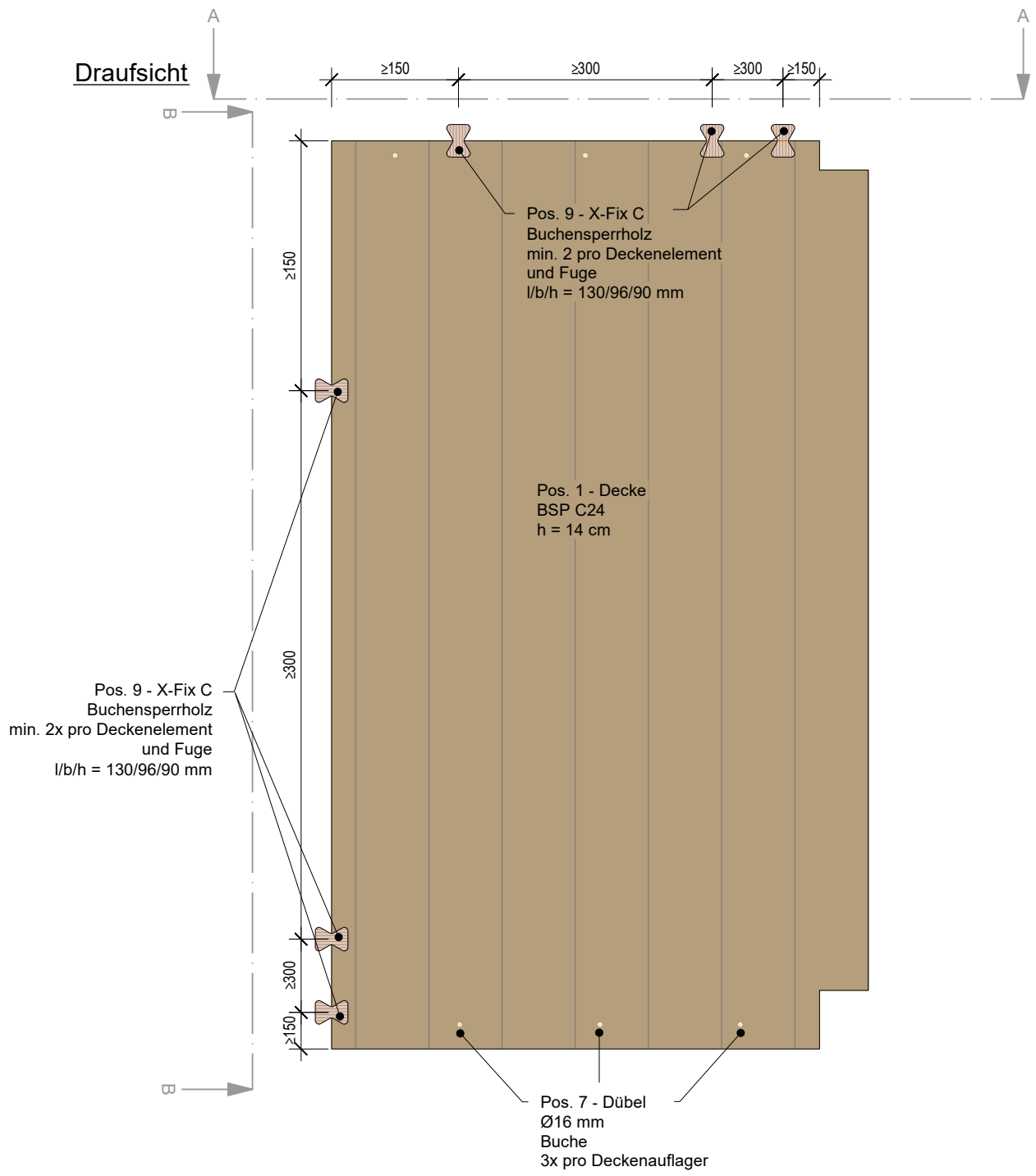
ÜBERSICHT

PLANINHALT

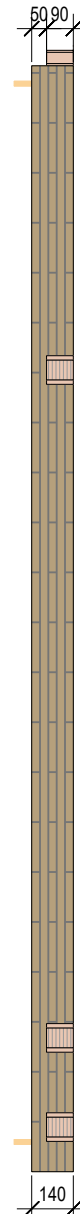
Zug-Anschluss Wand an Wand mit Knochen

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-00-06

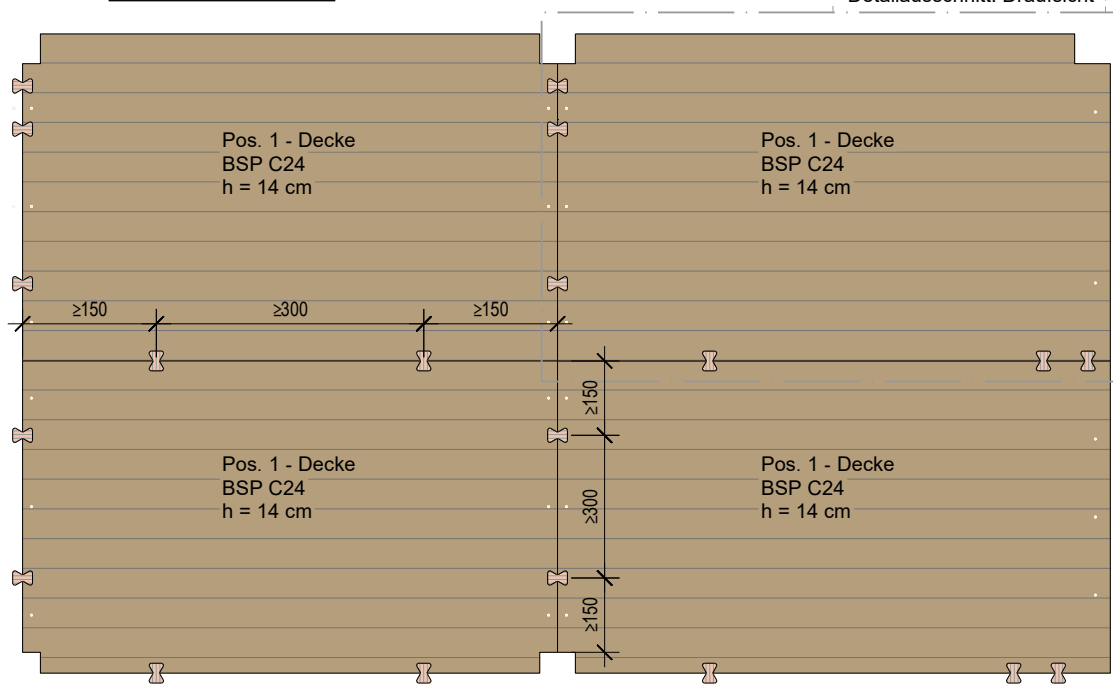
Draufsicht



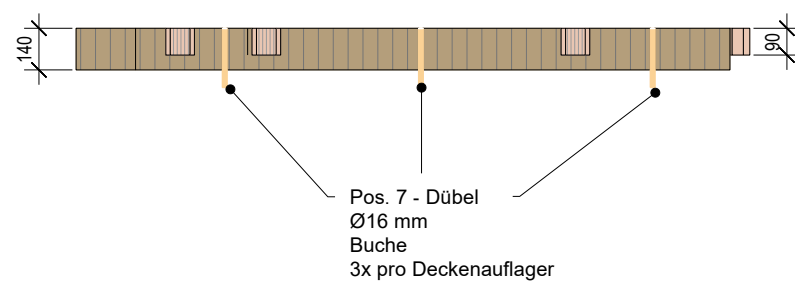
Schnitt B-B



Übersicht M1:50



Schnitt A-A



XFix C



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Buchendübel

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

Baden-Württemberg

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

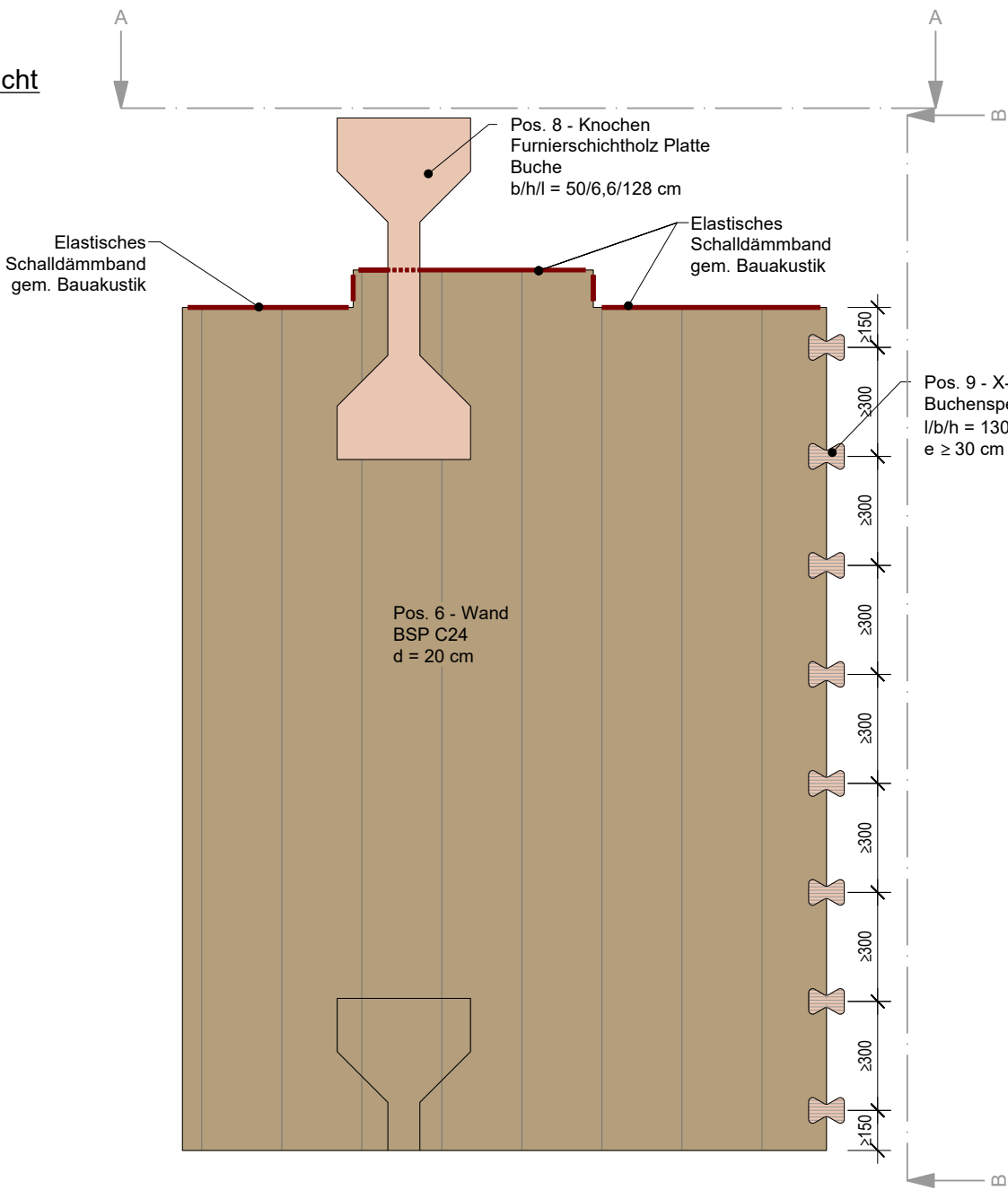
ÜBERSICHT

PLANINHALT

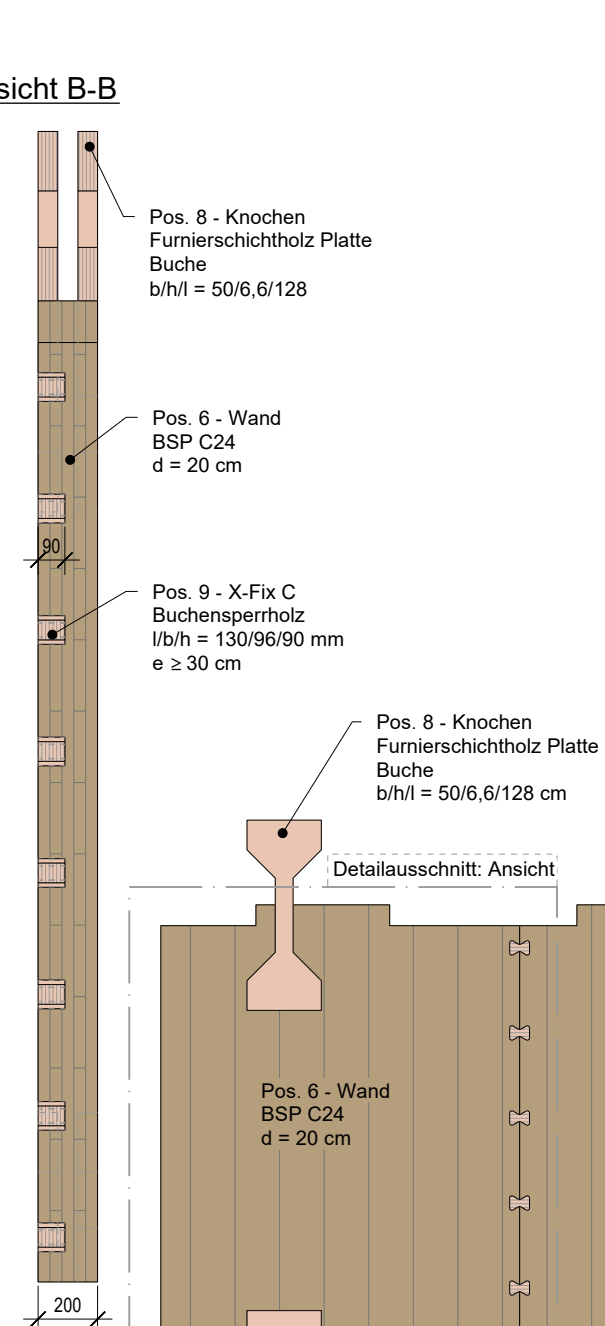
Elementfuge Decke-Decke mit XFix

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	15.10.2024	1:25	RD001	RD001-TWP-1-DT-XX-07

Ansicht



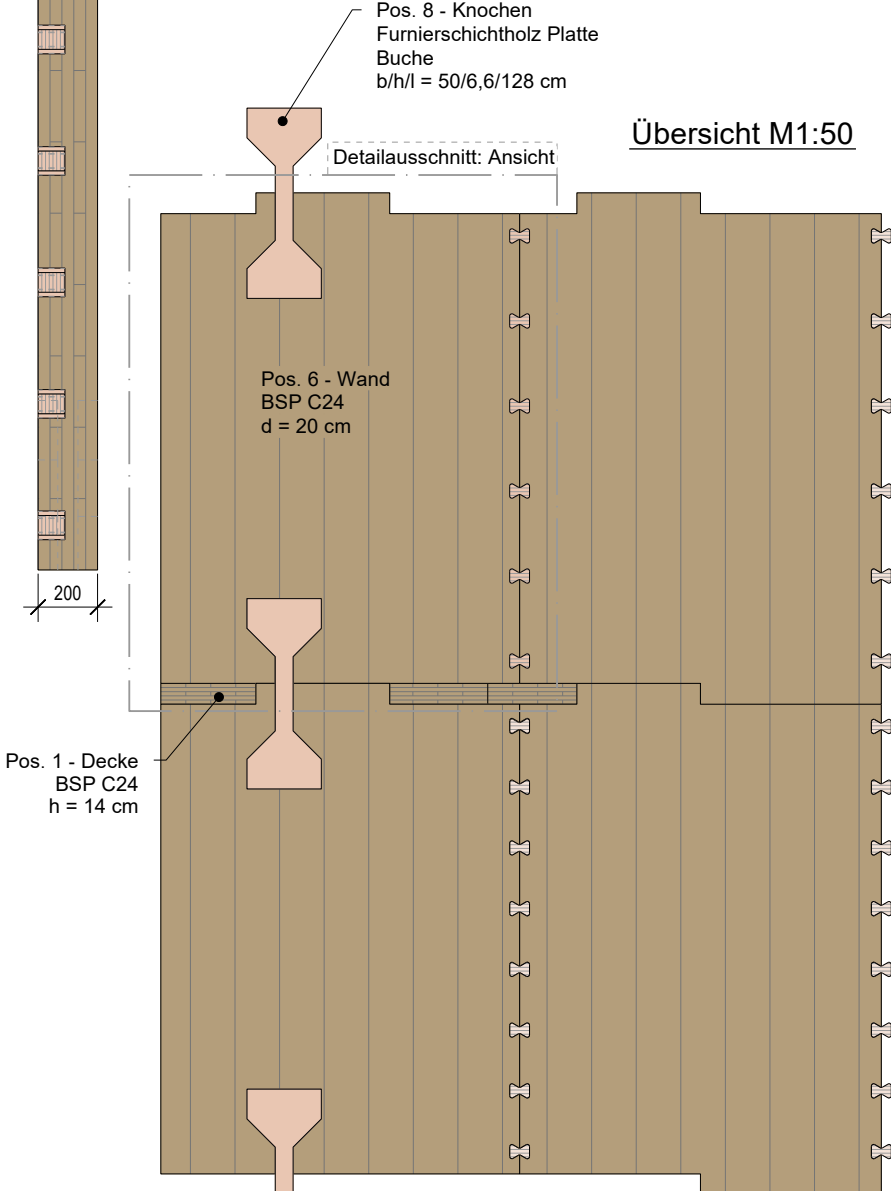
Ansicht B-B



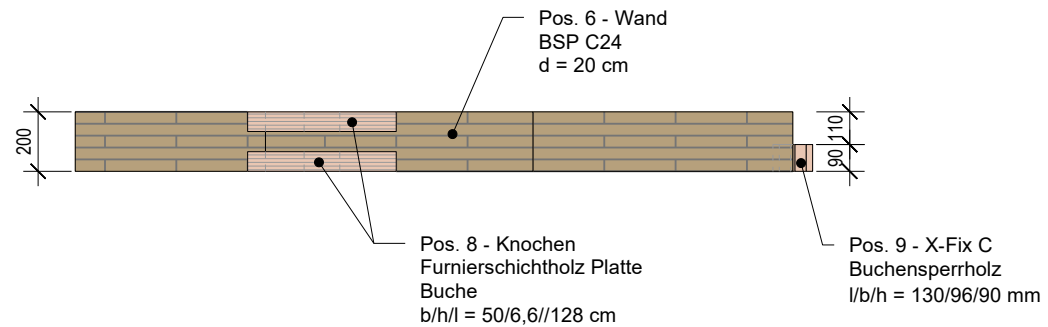
XFix C



Übersicht M1:50



Ansicht A-A



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT
LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR
HOLZBAU OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER
Fast + Epp
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT
Elementfuge Wand-Wand mit XFix

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	15.10.2024	1:25	RD001	RD001-TWP-1-DT-XX-08

Pos. 6 - Wand
BSP C24
d = 20 cm

Pos. 13 - Zuganker Rothoblaas WHT55 (o.glw)
n = 5x pro Wandende
Anschluss an Stb.-Bodenplatte in Abstandsmontage mit

Pos. 15 - n.t.
C20/25
d = 20 cm

Pos. 16 - n.t.
C20/25
d = 20 cm

A

B

Pos. 6 - Wand
BSP C24
d = 20 cm

Pos. 13 - Zuganker Rot
n = 5x pro Wandende
Anschluss an Stb.-Bodenplatte
1x Gewindestange M24
EPO-FIX 5.8 M24x330
Anschluss an BSP-Wand
LBA Ø4,0x60 mm (o.glw)

Pos. 16 - Schubverankerung
mit Verzahnung zwischen
BSP-Wand und Gründung
C20/25
b/h = 35/14 cm
2x pro EG-Wand

Pos. 14 - Aufkantung
C20/25
h ≥ 30 cm

Pos. 15 - n.t. Bodenplatte
C20/25
d = 20 cm

Stb. - Streifenfundament
CXX/YY
b/h = XX/YY cm
je nach Baugrund

Schnitt B-B

Stb. - Streifenfundament
CXX/YY
b/h = XX/YY cm
je nach Baugrund

Pos. 13 - Zuganker Rothoblaas WHT55 (o.glw)
n = 5x pro Wandende
Anschluss an Stb.-Bodenplatte in Abstandsmontage mit
1x Gewindestange M24
EPO-FIX 5.8 M24x330 mm mit Unterlegscheibe WHTW8024L
Anschluss an BSP-Wand mit Ankernägeln
LBA Ø4,0x60 mm (o.glw) n = 55 stk.

Pos. 14 - Aufkantung
C20/25
h ≥ 30 cm

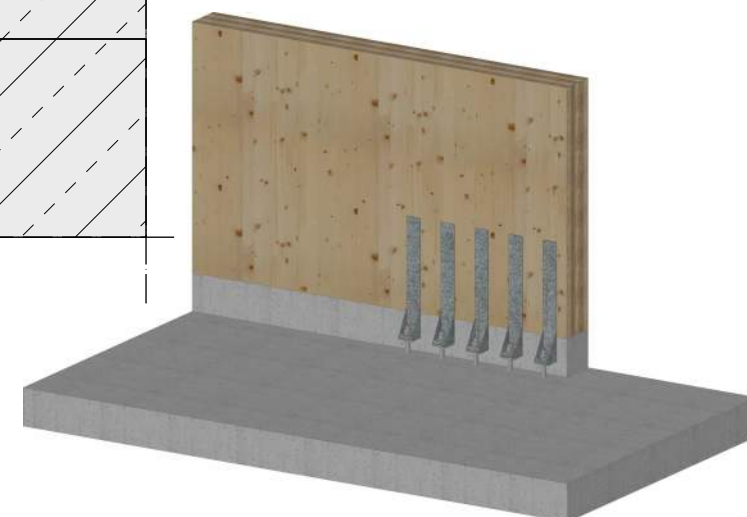
Pos. 15 - n.t. Bodenplatte
C20/25
h = 20 cm

200

330

200

30



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettsperrholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettsperrholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

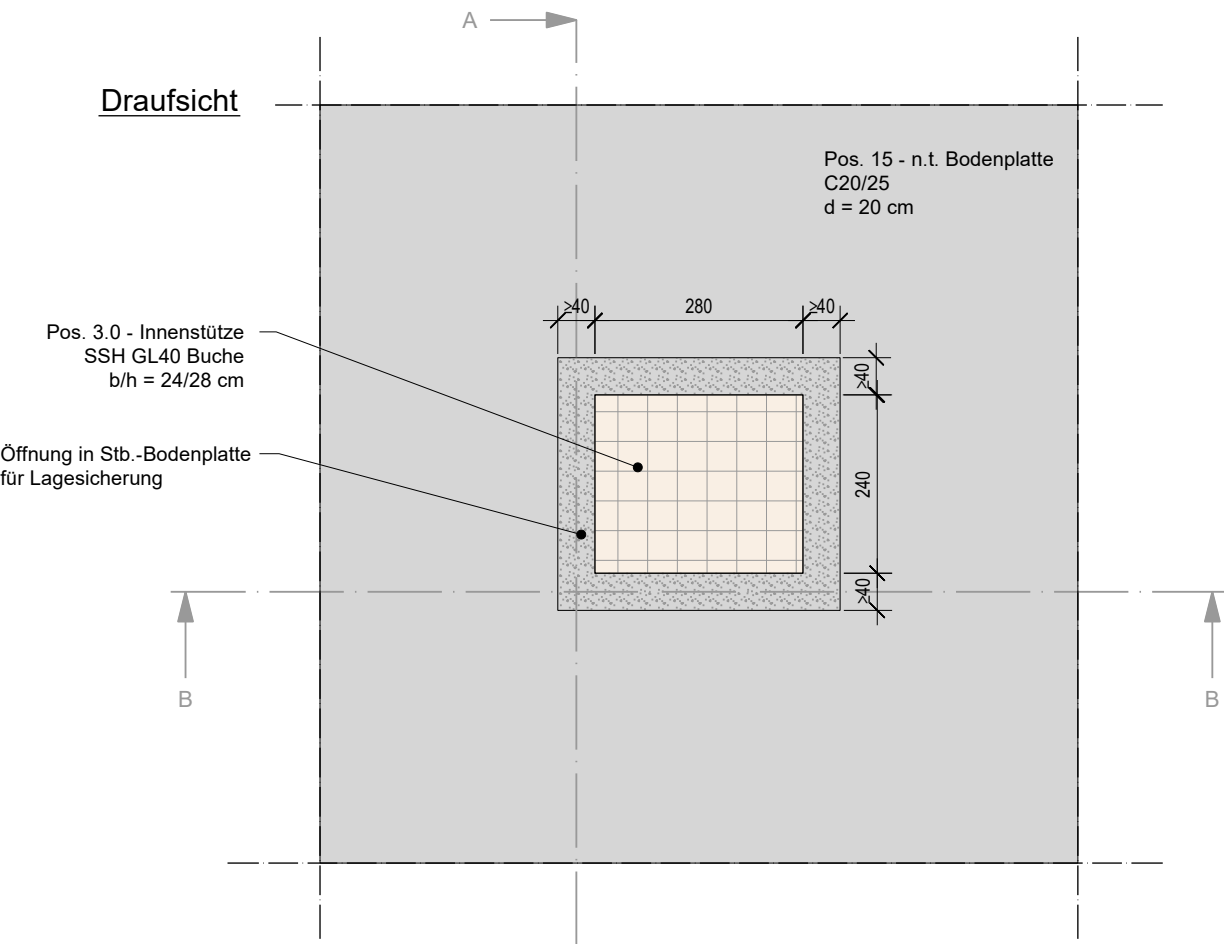
Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

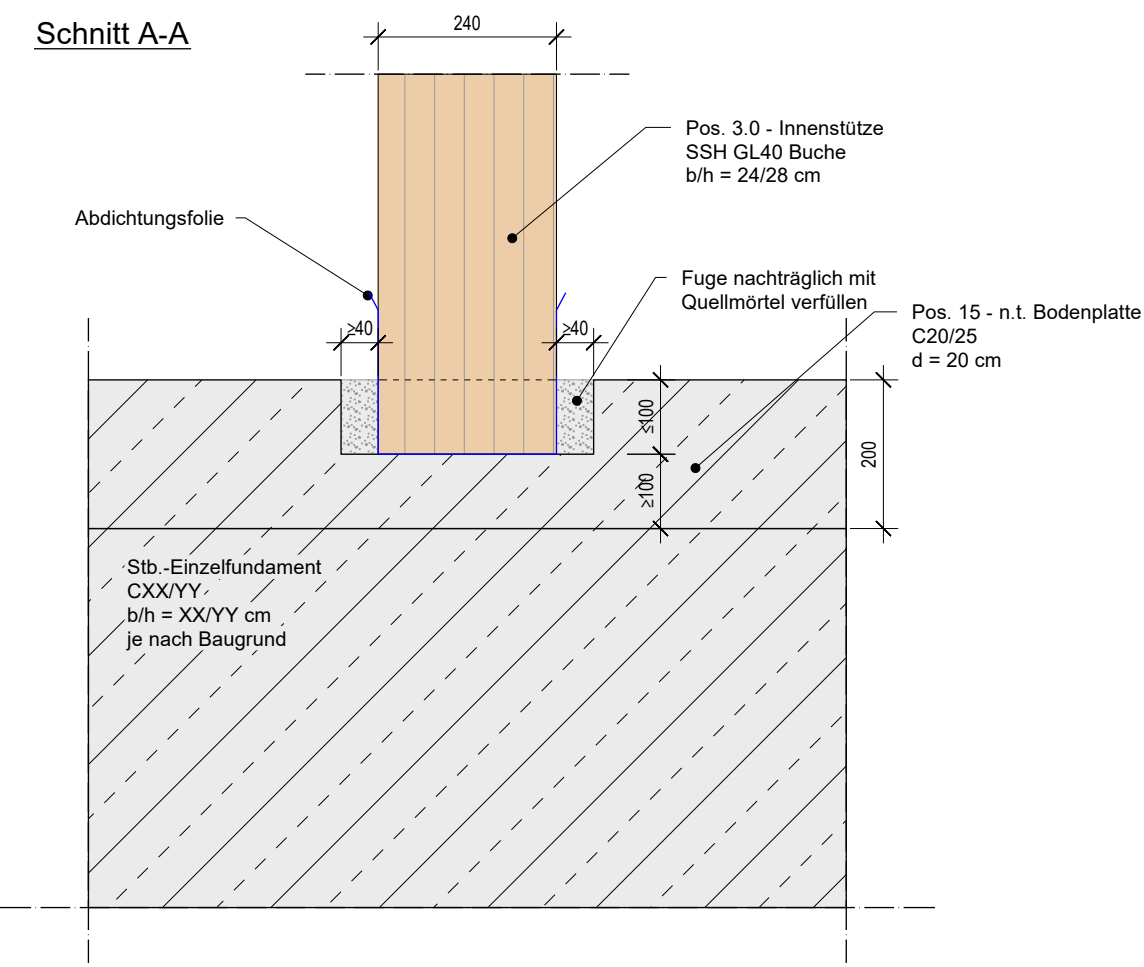
PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

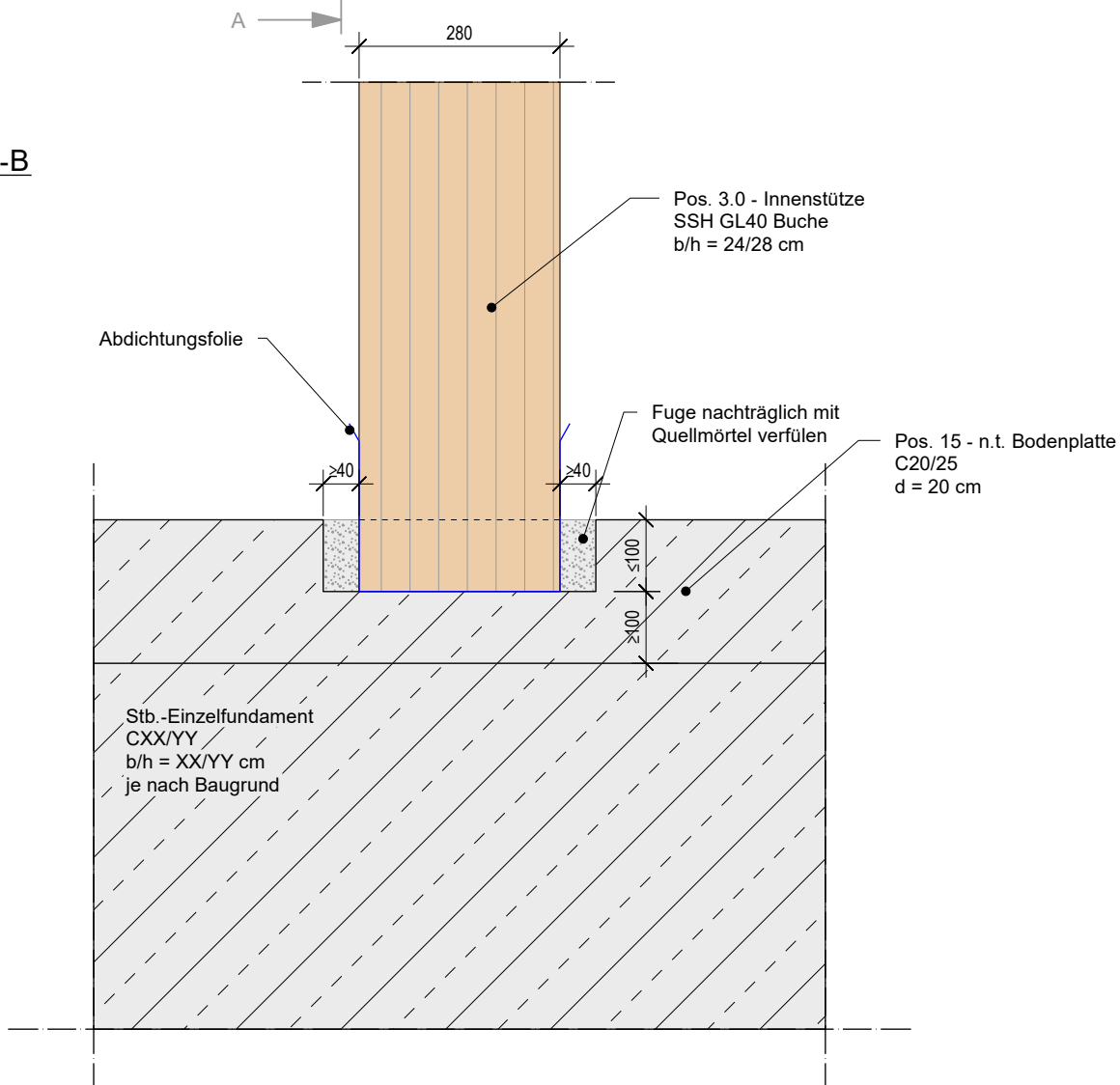
Draufsicht



Schnitt A-A



Schnitt B-B



	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante

	Brettspertholz		Brettspertholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche		Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche		Stabschichtholz Buche Geschnitten
	Stahlbeton		Stahlbeton Geschnitten
			Quellschutt Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

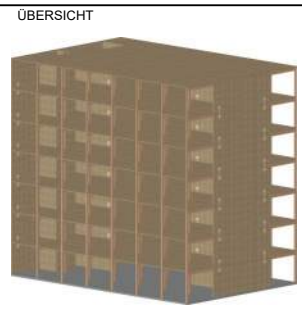
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

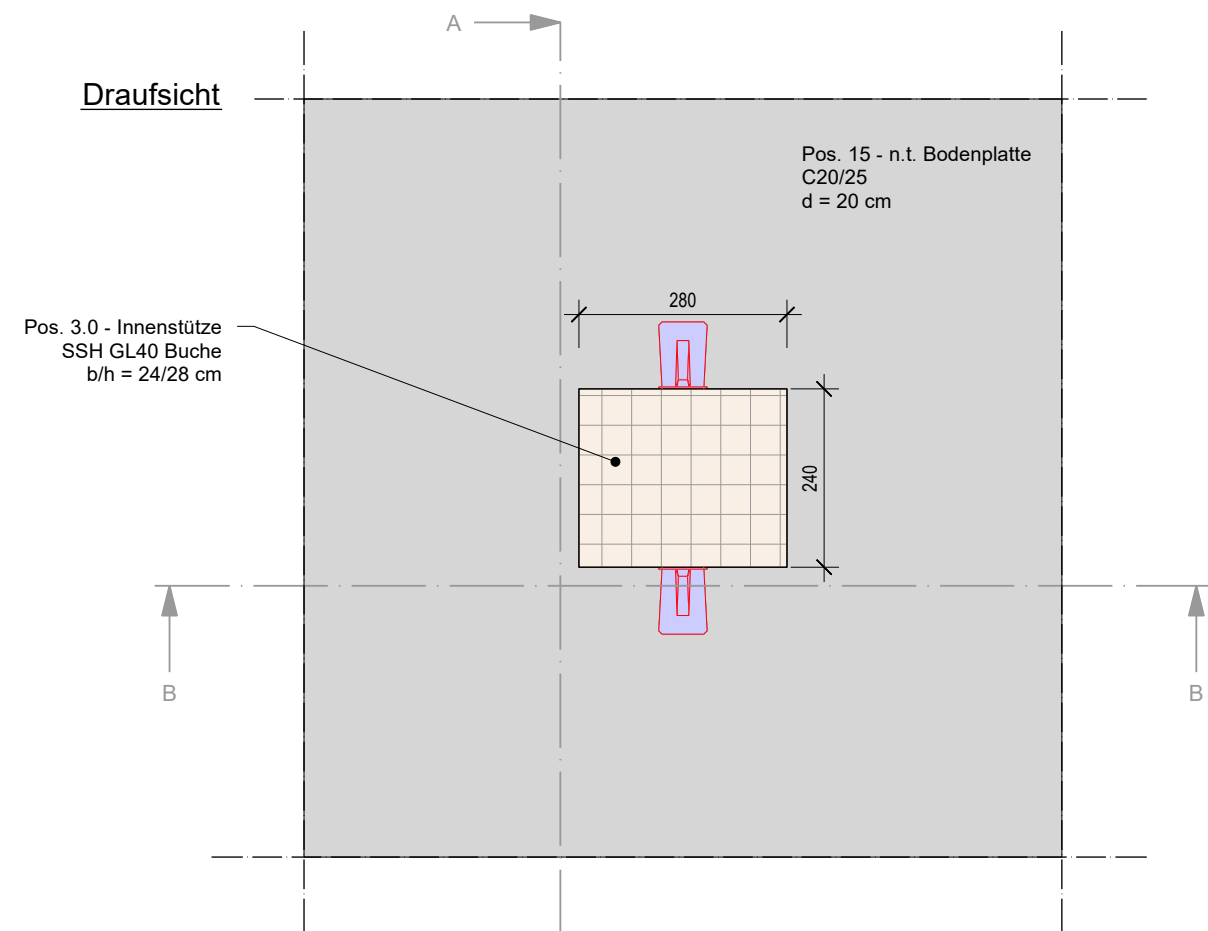


PLANINHALT

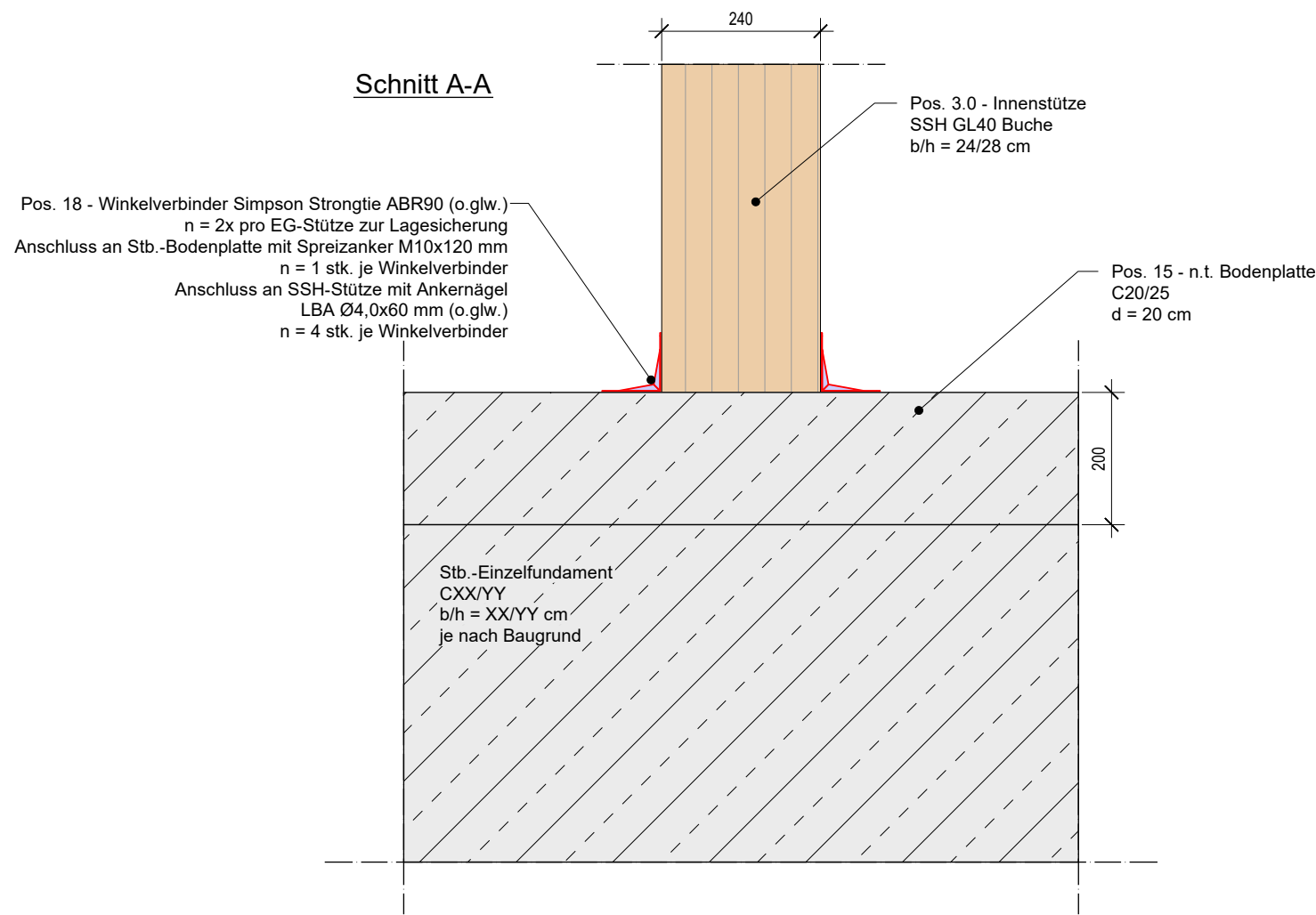
Stütze an Gründung in St.b.-Tasche

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	04.11.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-00-11

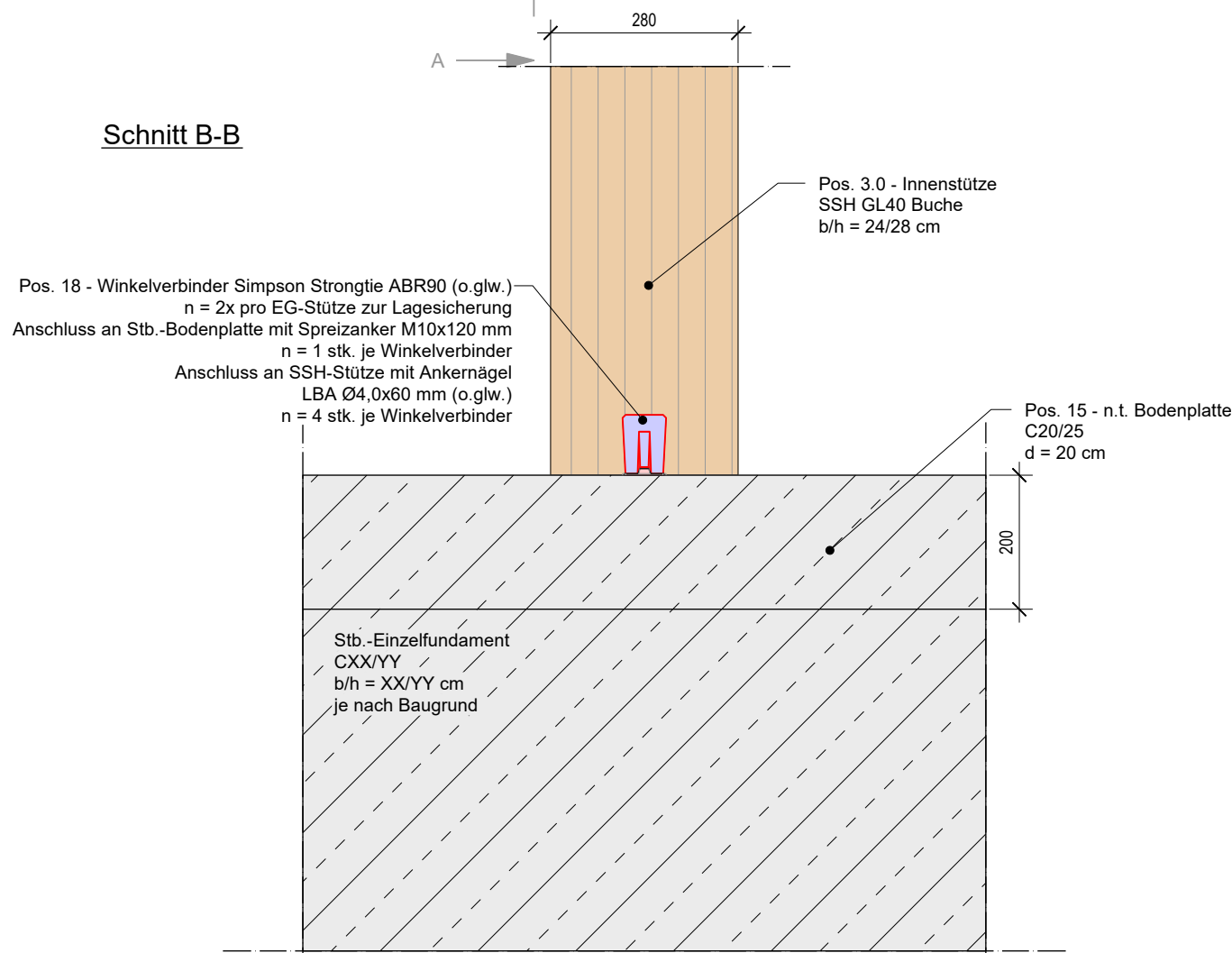
Draufsicht



Schnitt A-A



Schnitt B-B



	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante
	Brettspertholz
	Brettspertholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche
	Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche
	Stabschichtholz Buche Geschnitten
	Stahlbeton
	Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

ÜBERSICHT

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

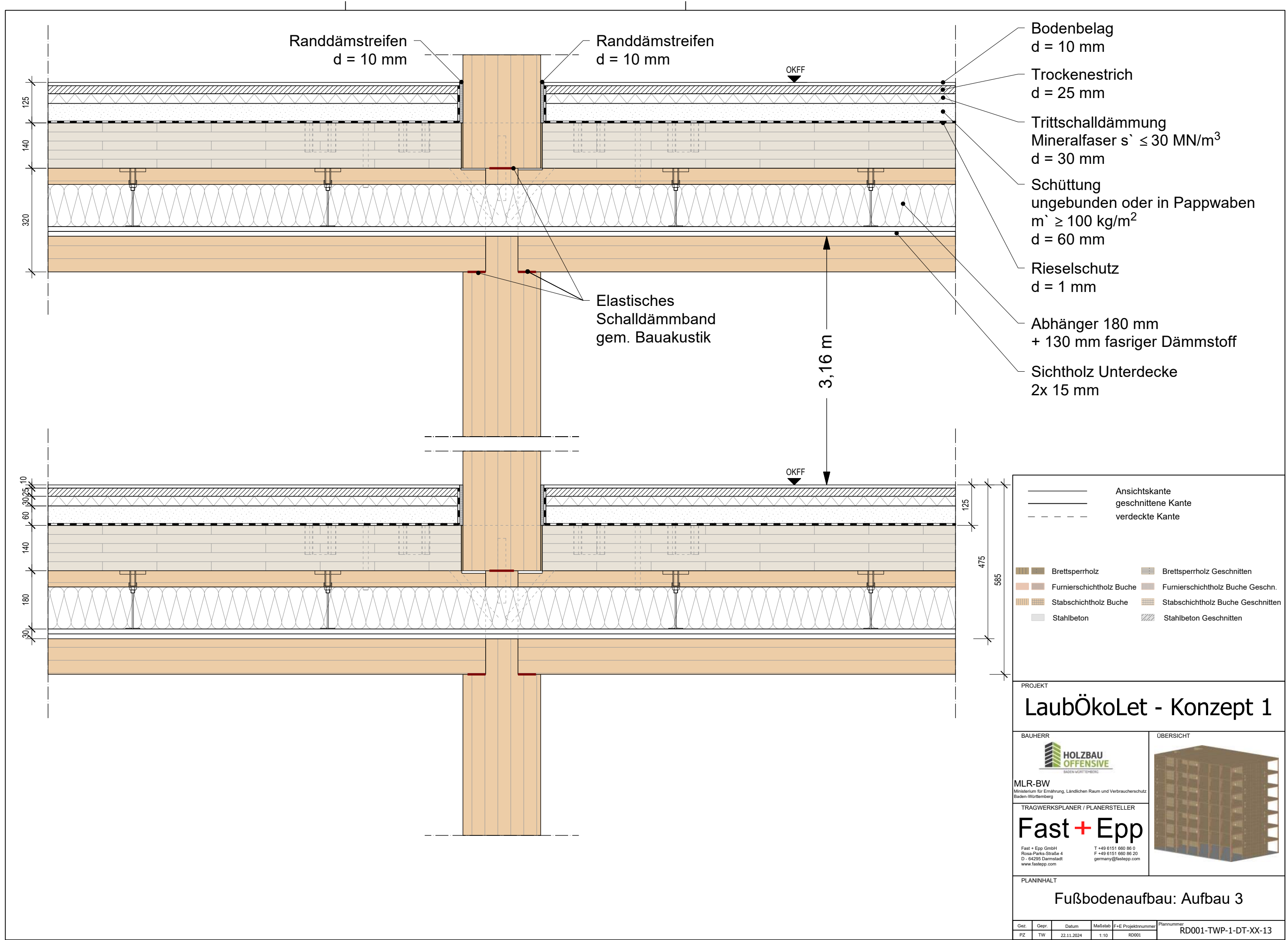
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

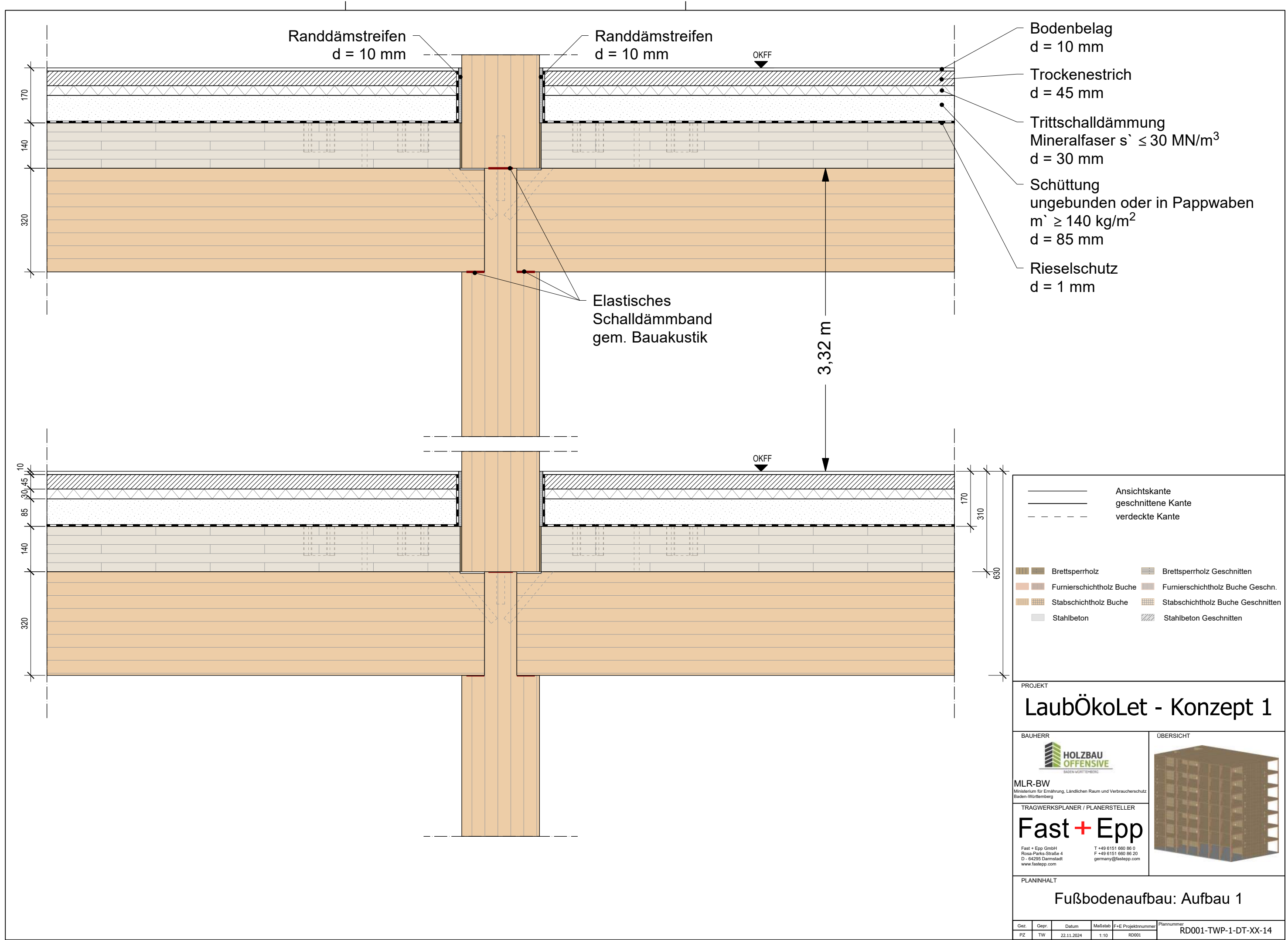
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT

Stütze an Gründung mit Winkelverbinder

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	04.11.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-00-12





PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

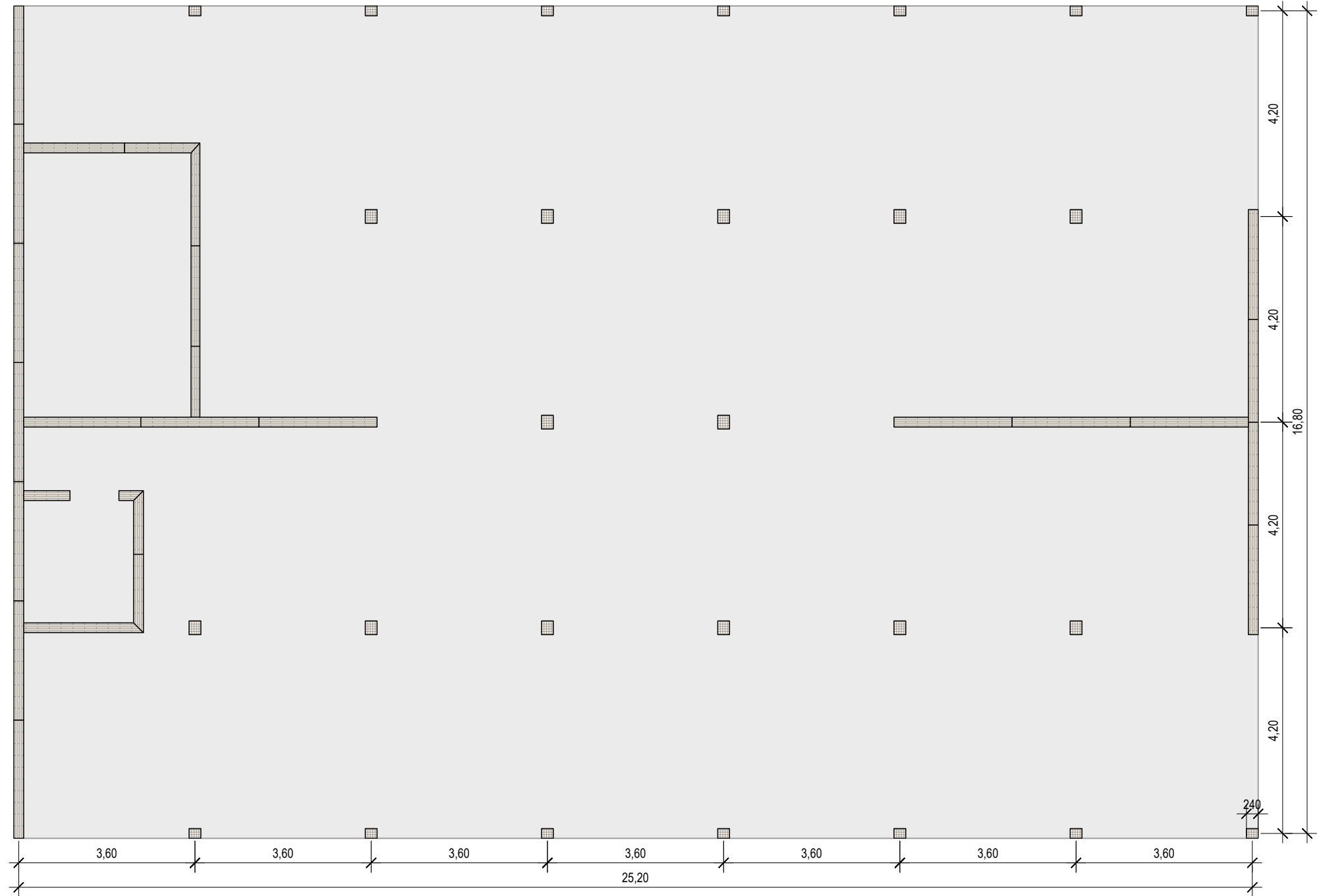
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Fußbodenaufbau: Aufbau 1

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	22.11.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-1-DT-XX-14



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

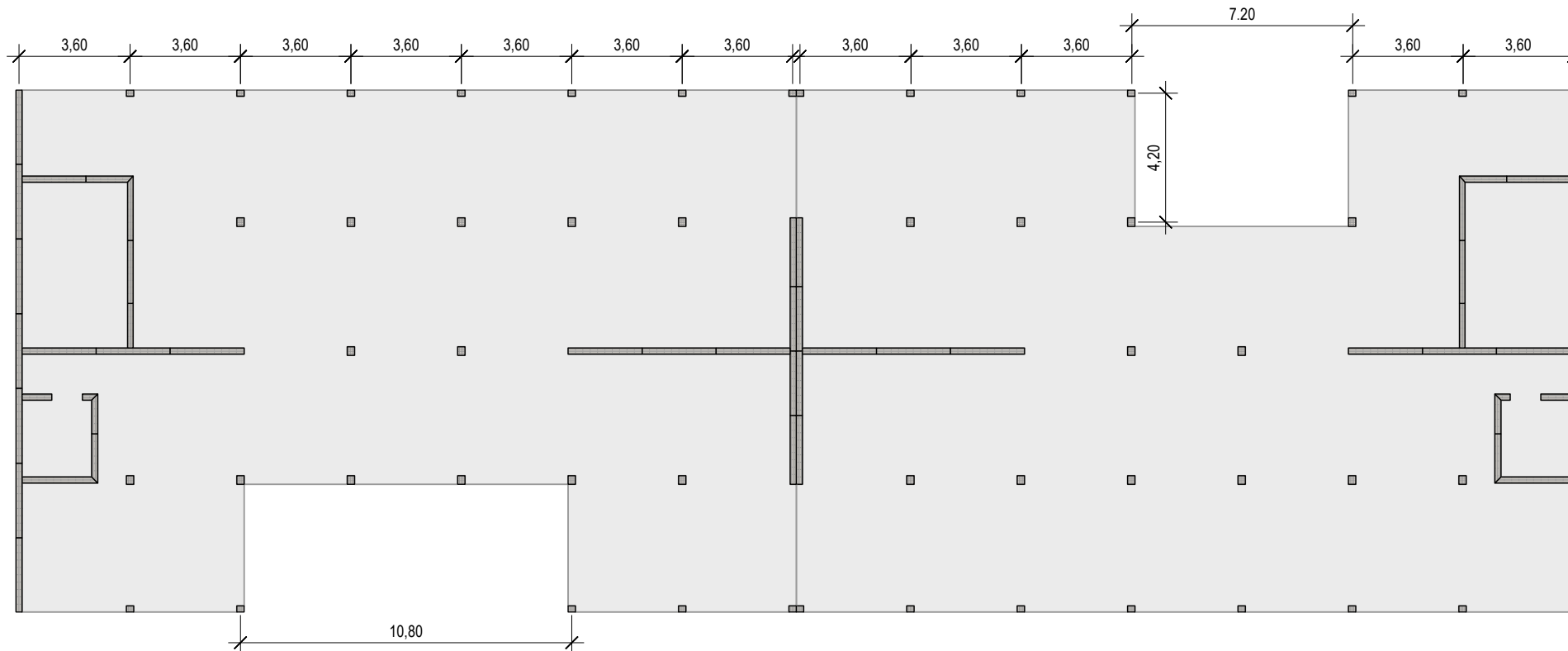
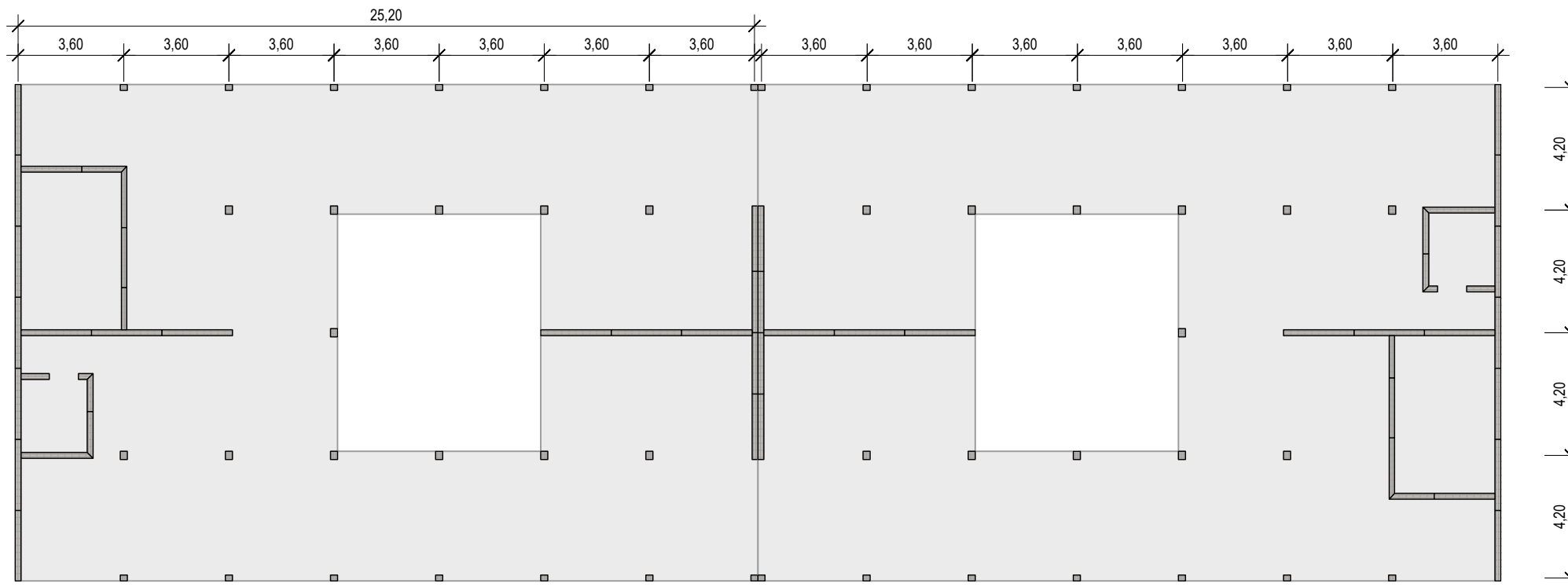
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Grundrissvariation: Standard

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:100	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-01



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten
Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

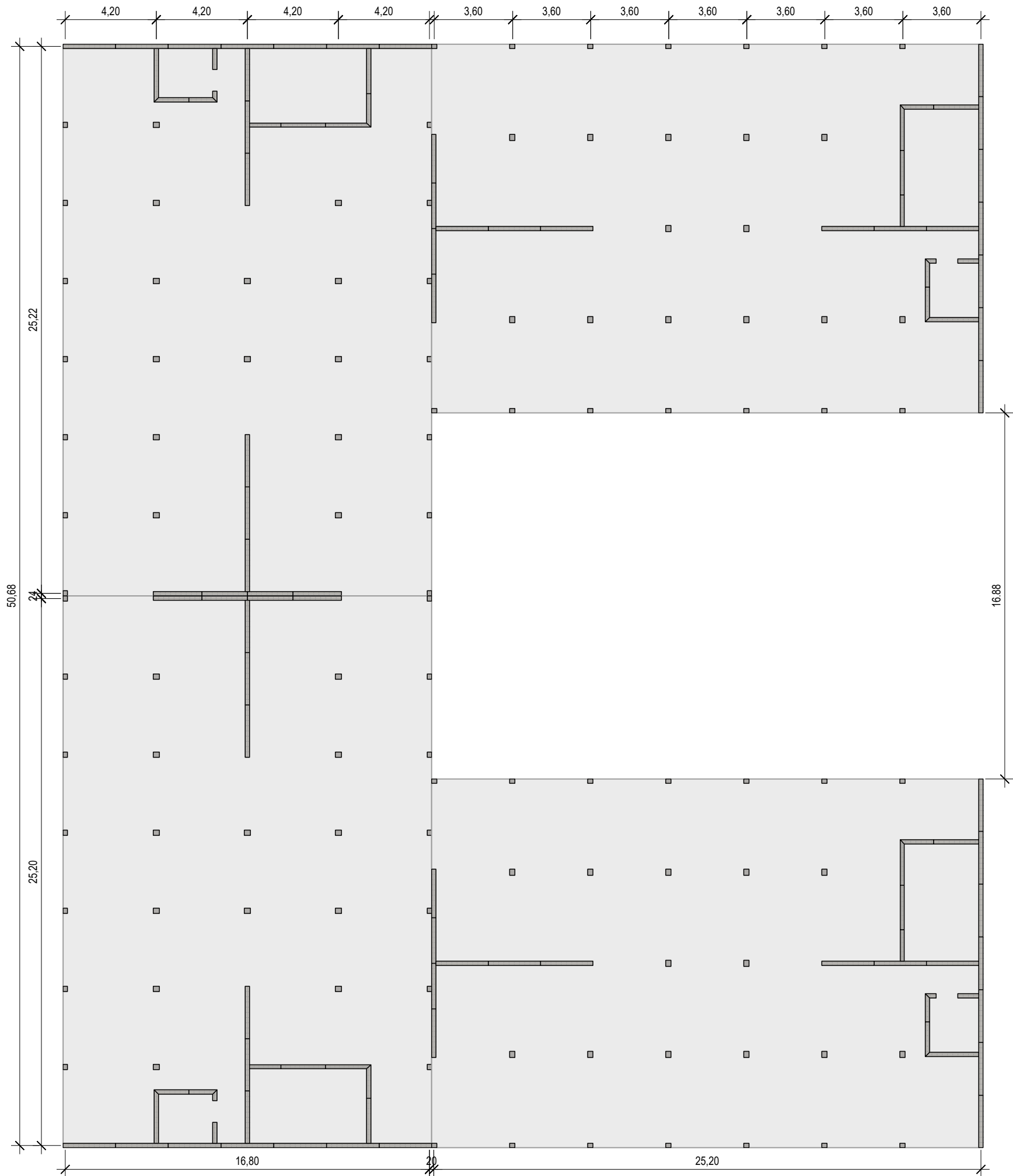
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Grundrissvariationen: Lichthof + Loggia

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:205	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-02



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

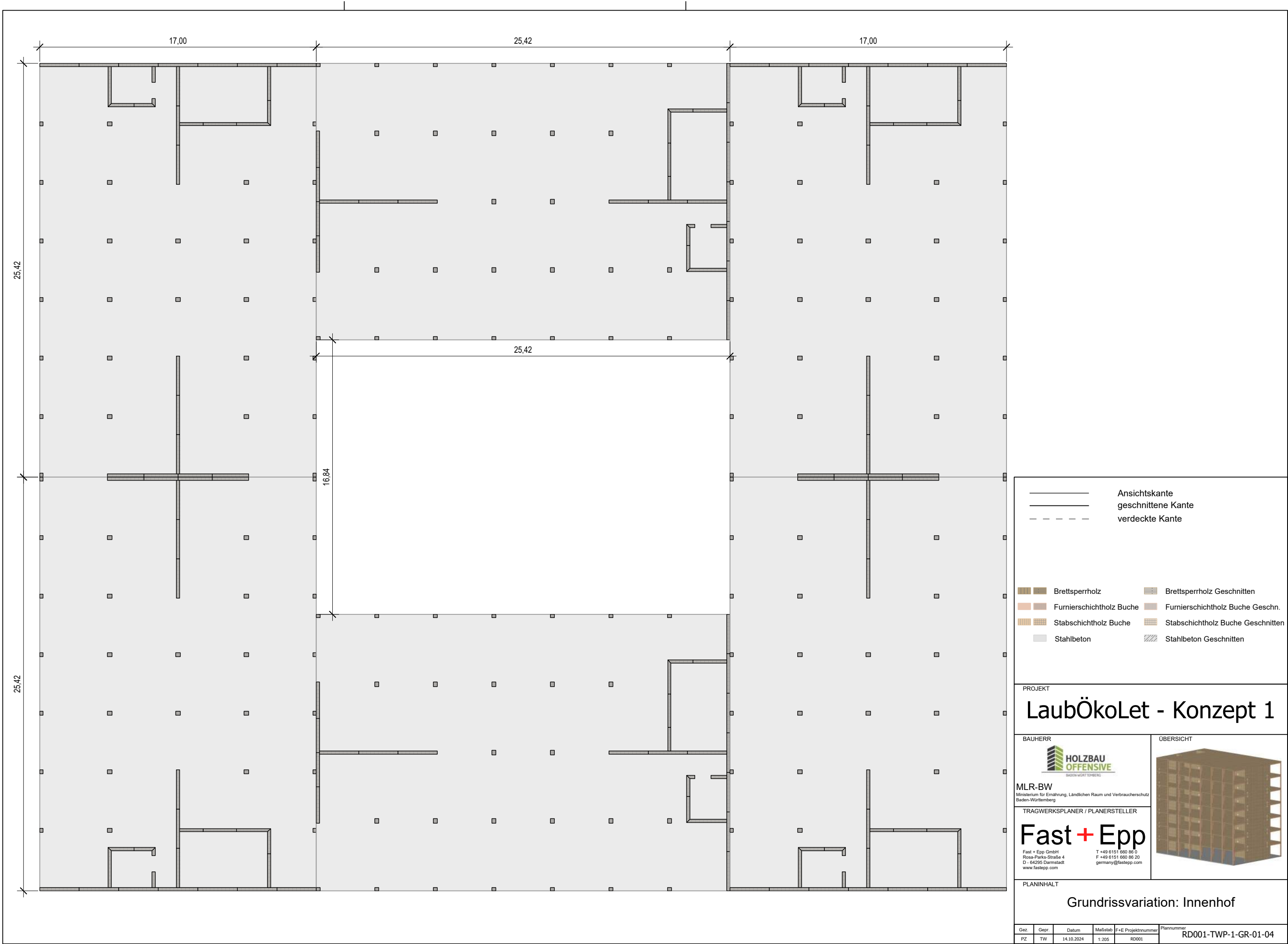
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

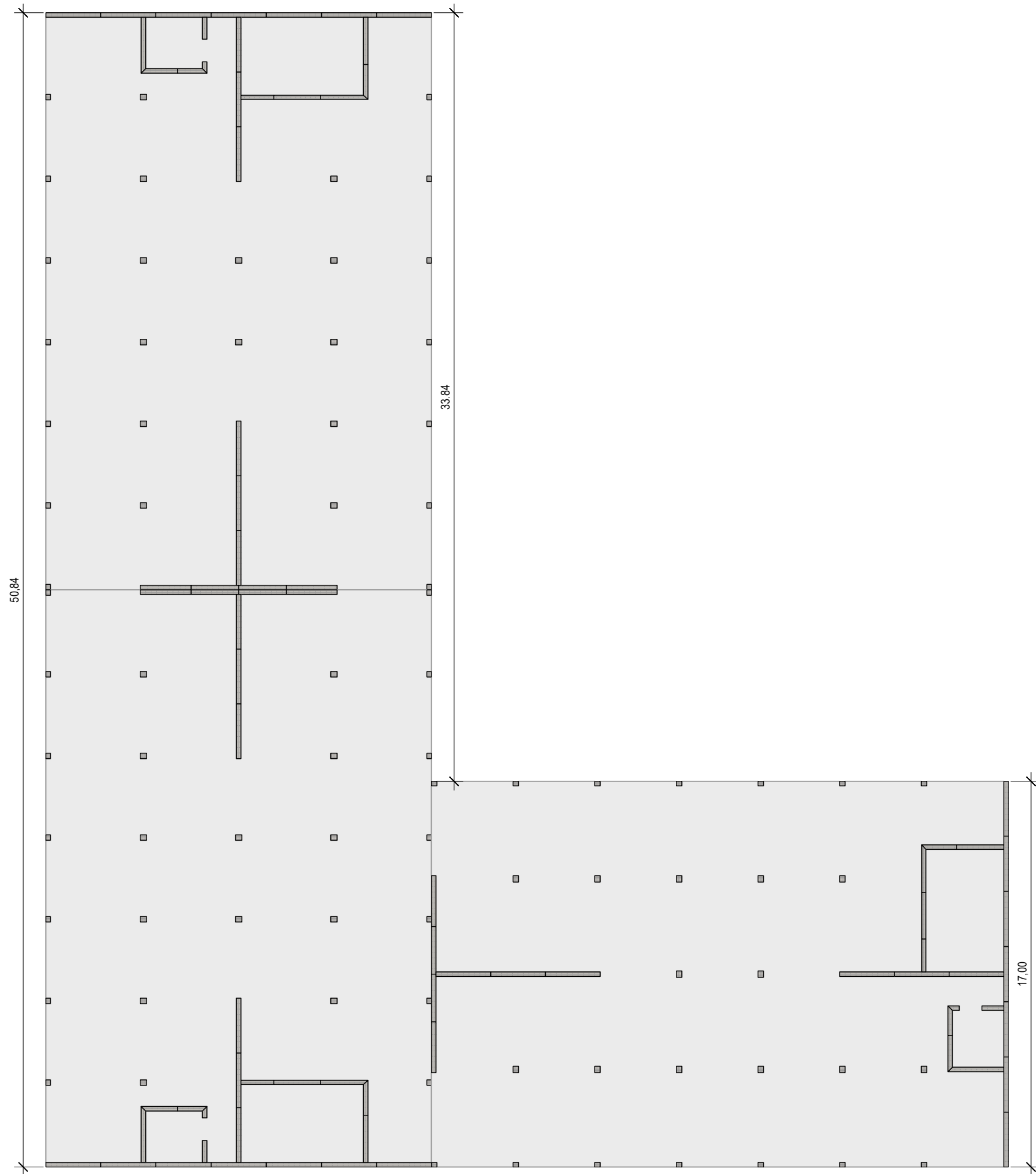
ÜBERSICHT

PLANINHALT

Grundrissvariation: U-Förmig

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:205	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-03





Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten
Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

Baden-Württemberg

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLÄNERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

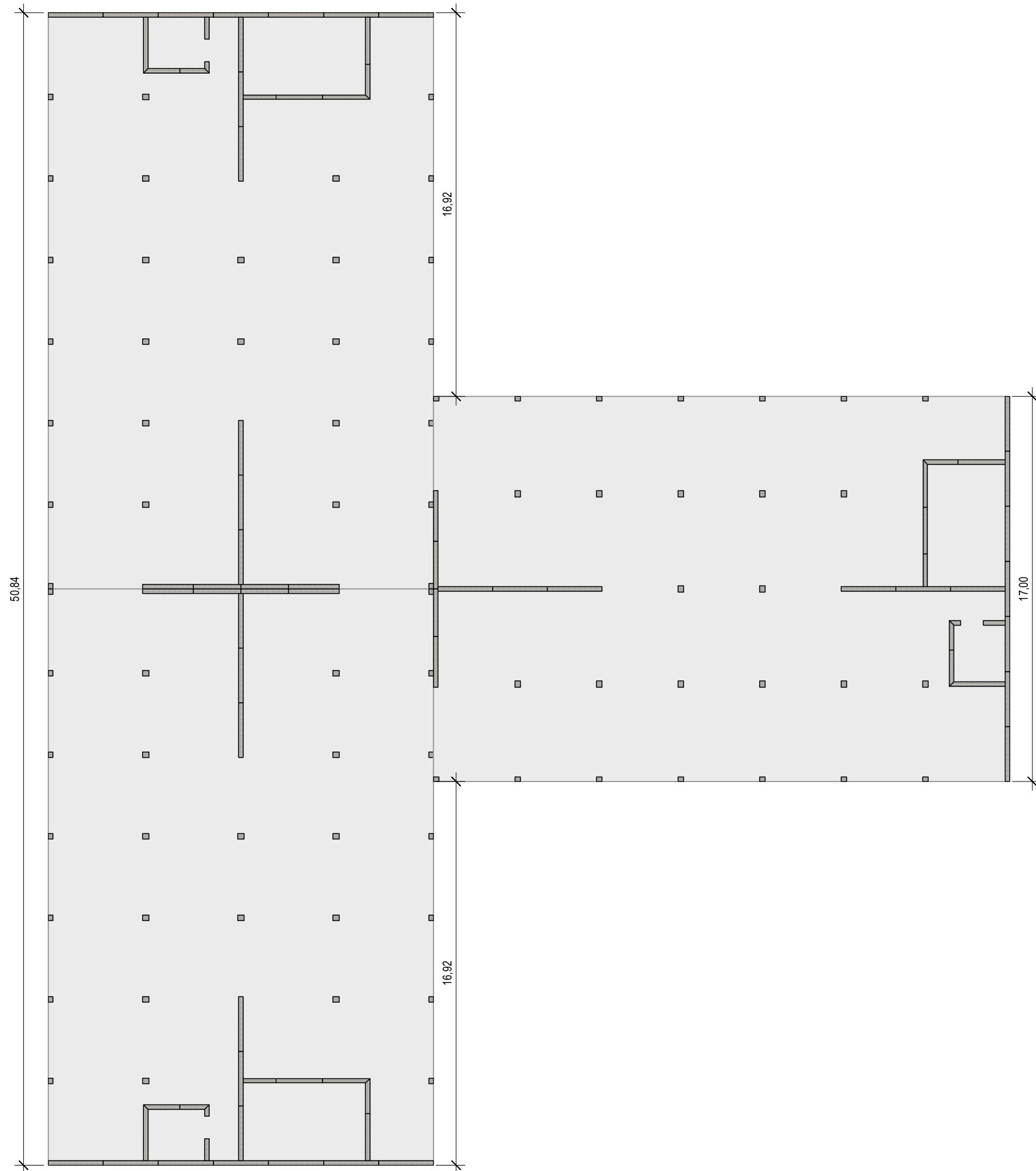
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Grundrissvariation: L-Förmig

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:205	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-05



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten
Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR



MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

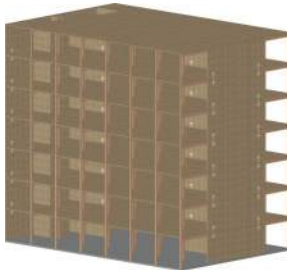
TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

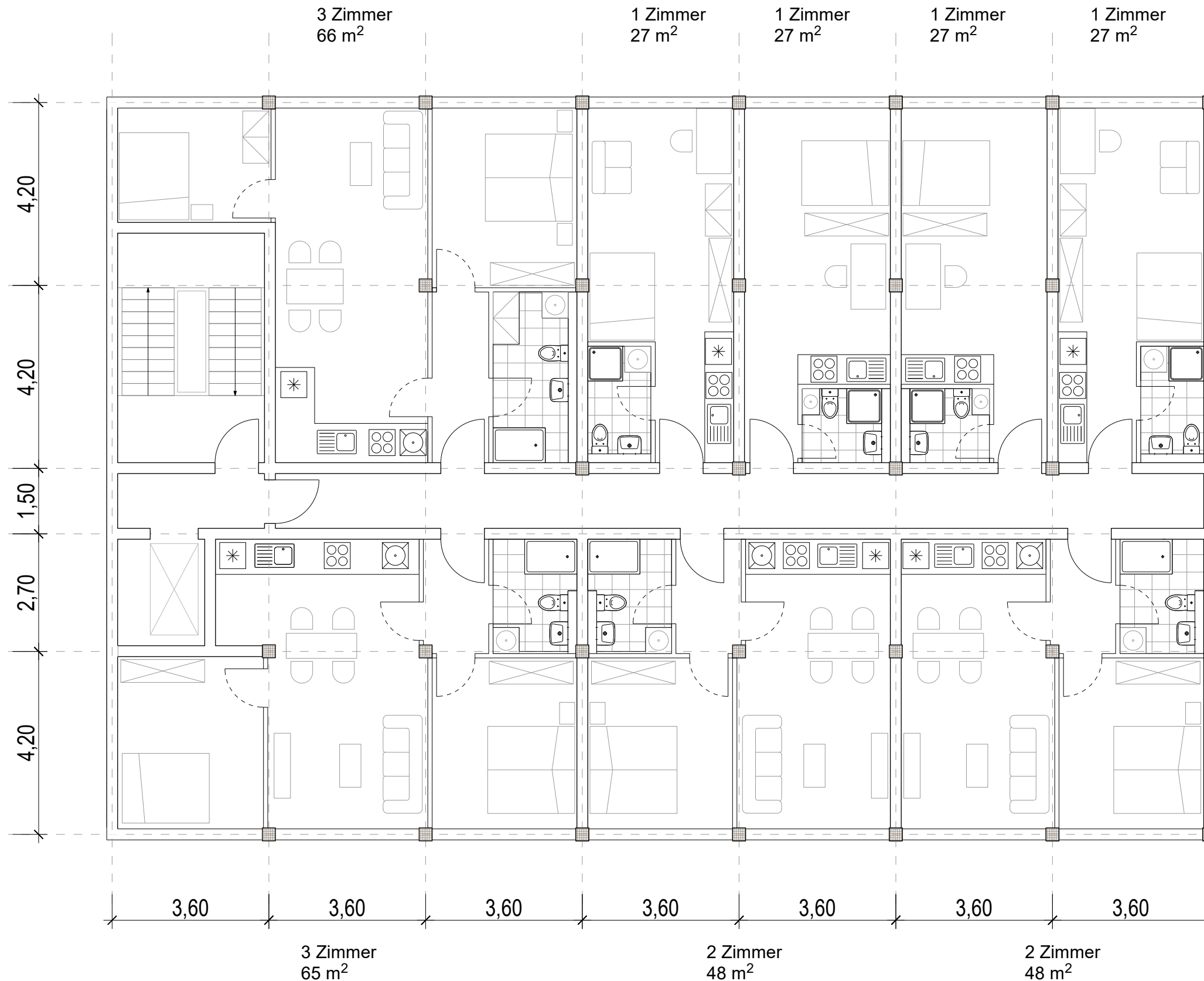
ÜBERSICHT



PLANINHALT

Grundrissvariation: T-Förmig

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:205	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-06



PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR


HOLZBAU
OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

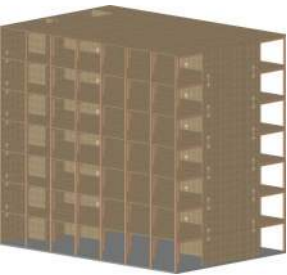
Fast + Epp
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

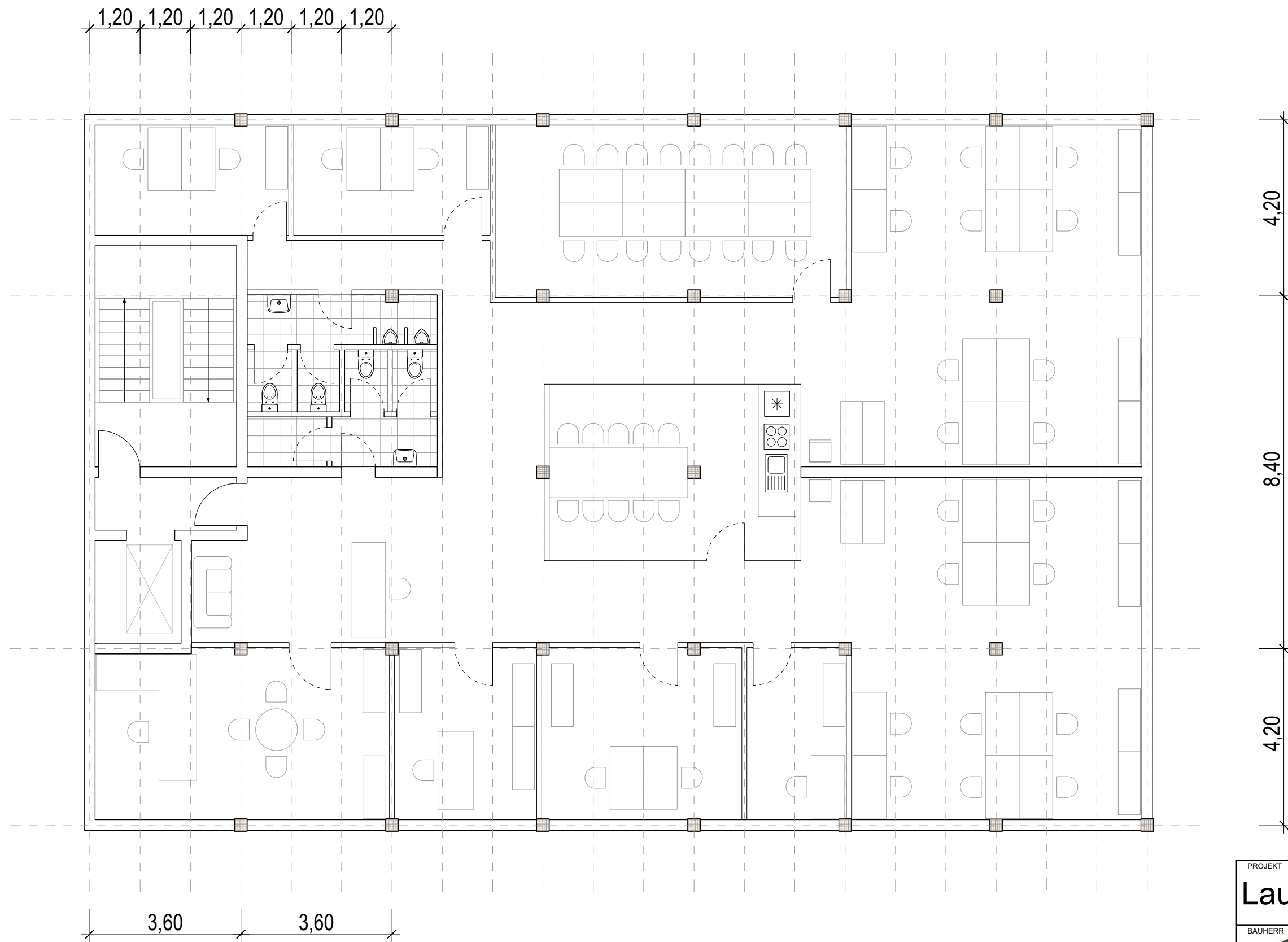
PLANINHALT

Grundrissvariation: Wohnnutzung

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	20.11.2024	1:100	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-07

ÜBERSICHT





PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR



HOLZBAU
OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

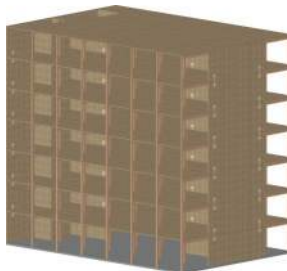
TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

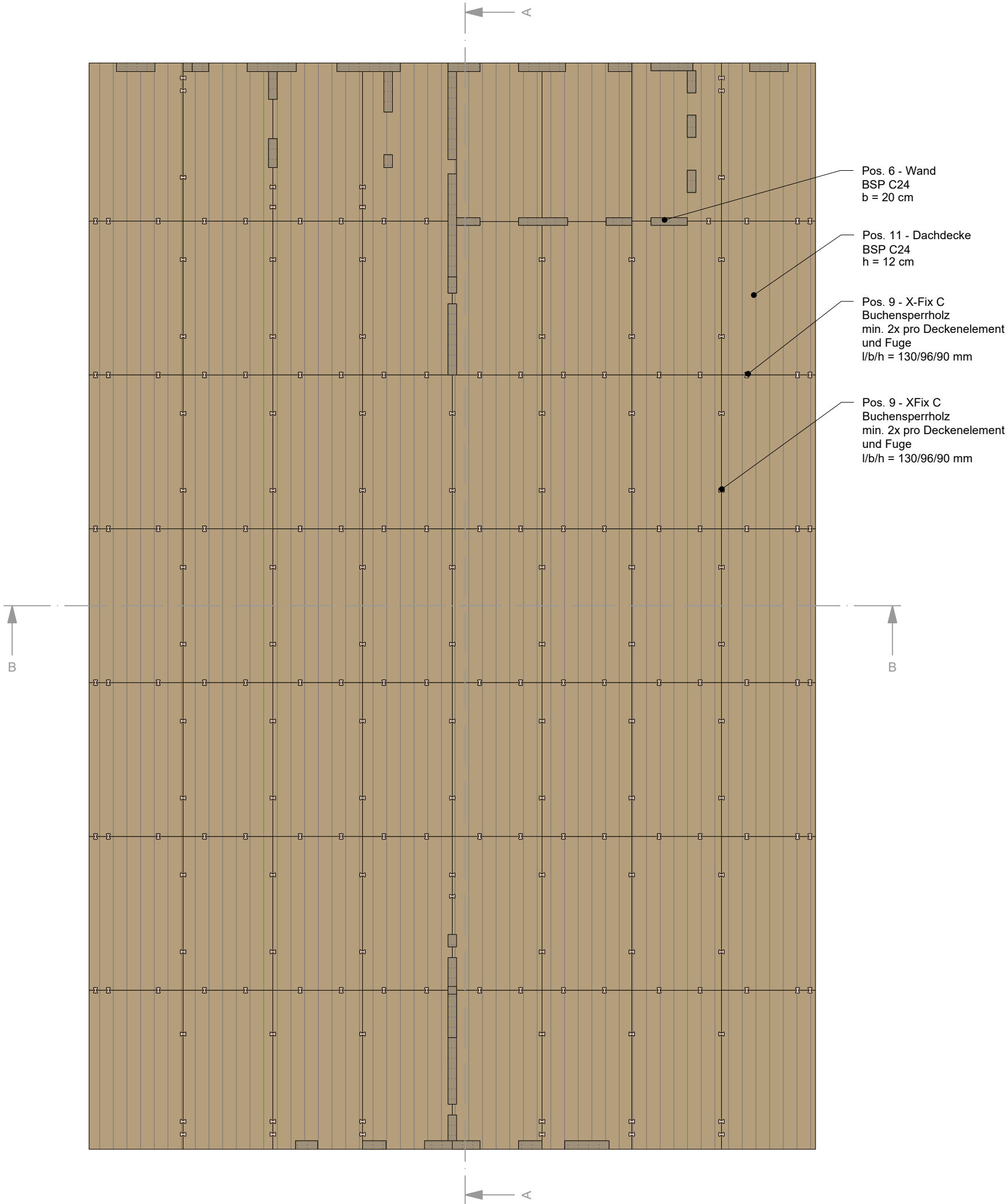
ÜBERSICHT



PLANINHALT

Grundrissvariation Büronutzung

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	20.11.2024	1:100	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-08



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

HOLZBAU
OFFENSIVE
BADEN WÜRTTEMBERG

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

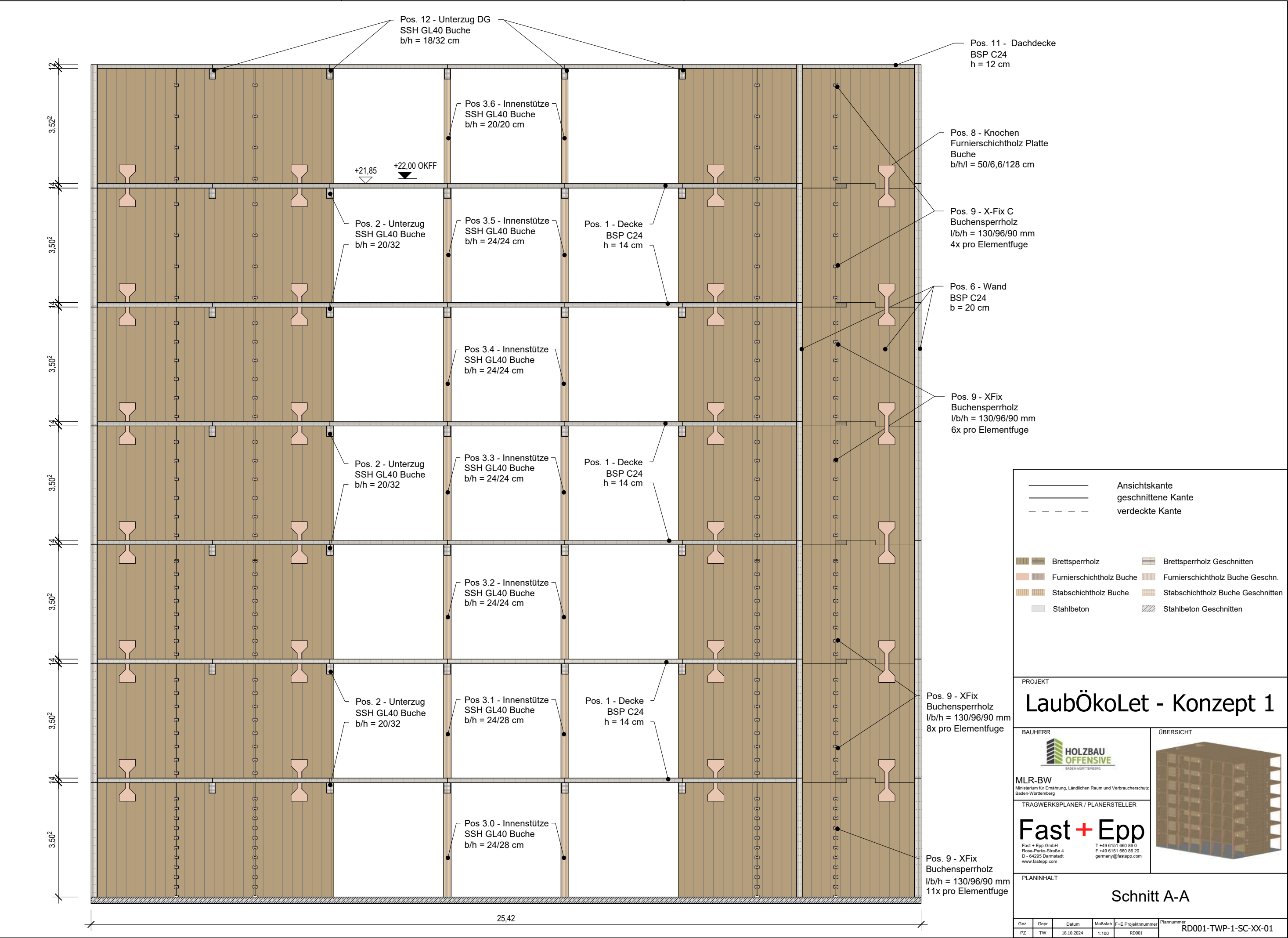
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Dachaufsicht

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	17.10.2024	1:100	RD001	RD001-TWP-1-DA-XX-01



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettsperrholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettsperrholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR



MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

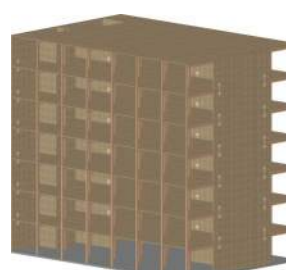
TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

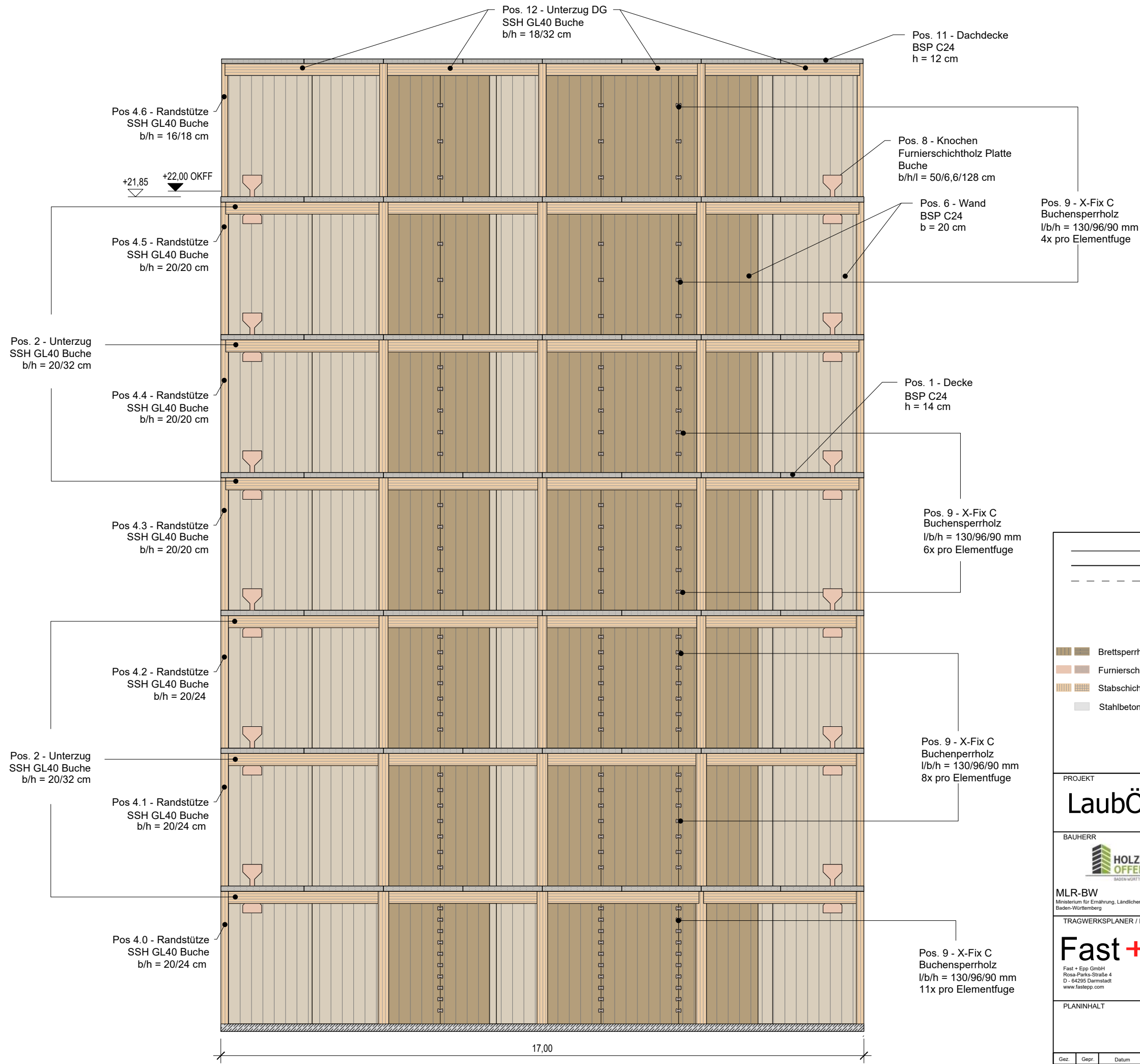
ÜBERSICHT



PLANINHALT

Schnitt A-A

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	18.10.2024	1:100	RD001	RD001-TWP-1-SC-XX-01



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettsperrholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettsperrholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

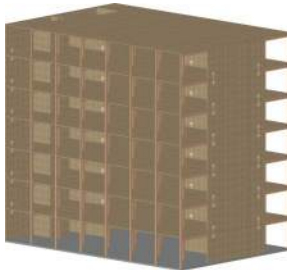


MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

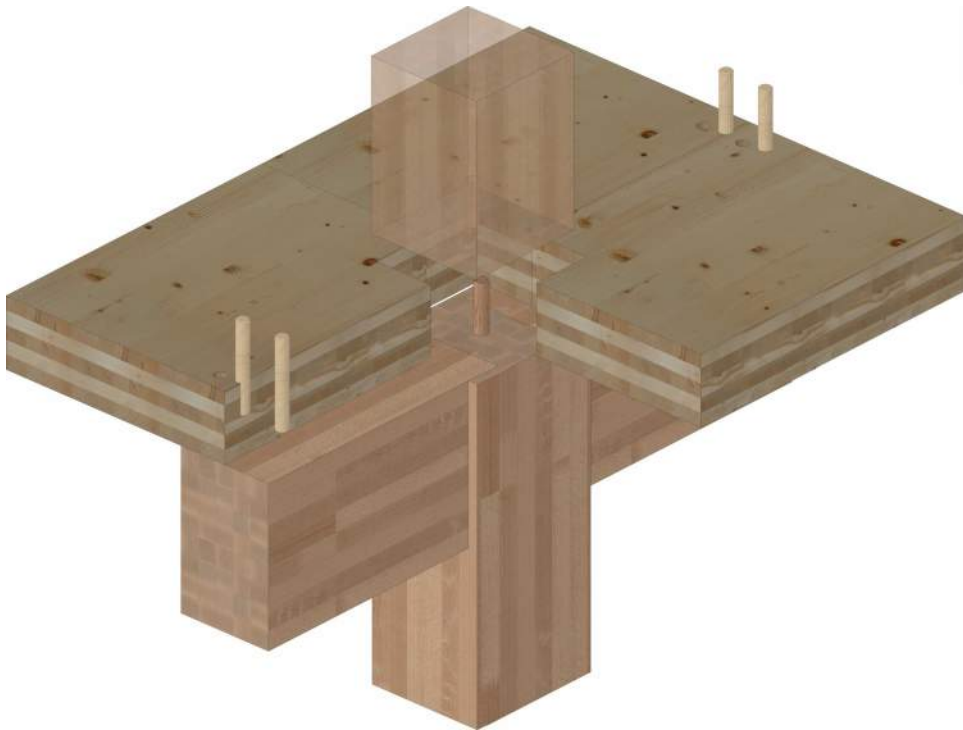
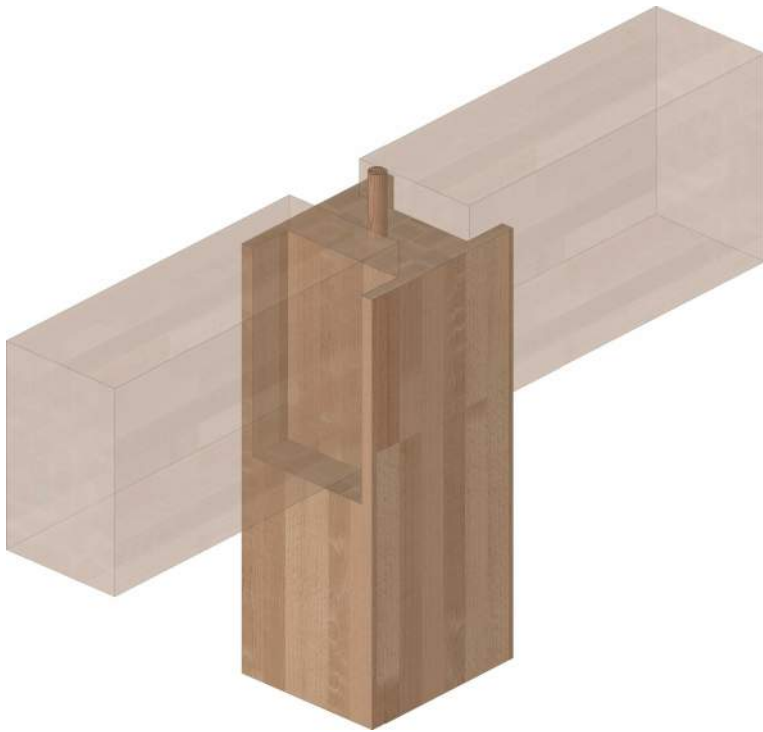
ÜBERSICHT



PLANINHALT

Schnitt B-B

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	18.10.2024	1:100	RD001	RD001-TWP-1-SC-XX-02



—— Ansichtskante
—— geschnittene Kante
- - - - verdeckte Kante

- Brettsper Holz
- BauBuche GL75
- Stabschichtholz Buche

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

**HOLZBAU
OFFENSIVE**
BADEN-WÜRTTEMBERG

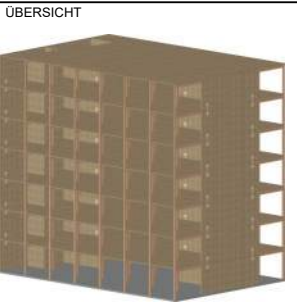
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

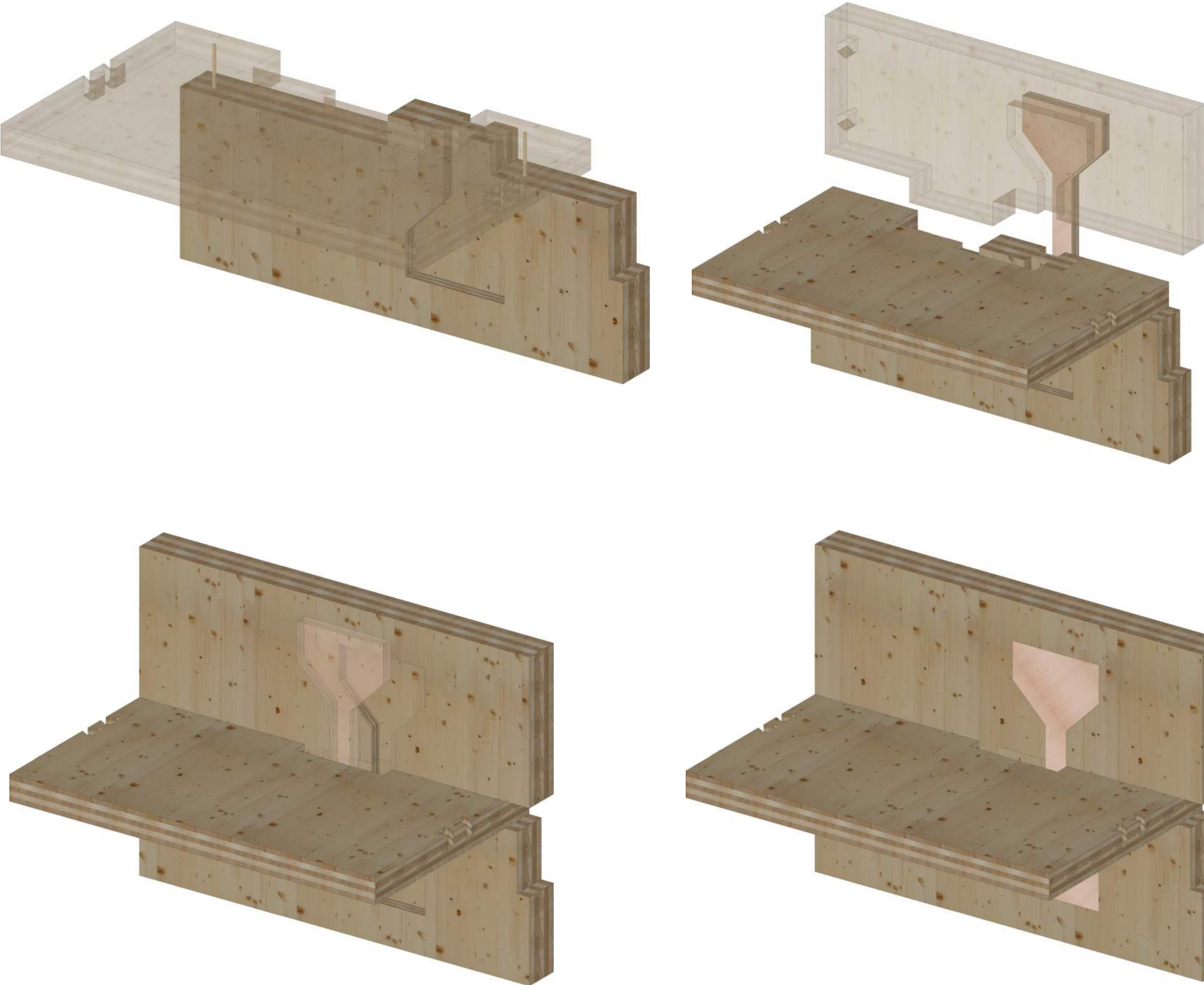
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



Montageablauf Mittelstütze

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	14.10.2024	1:~	RD001	RD001-TWP-1-MA-XX-01



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

Baden-Württemberg

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

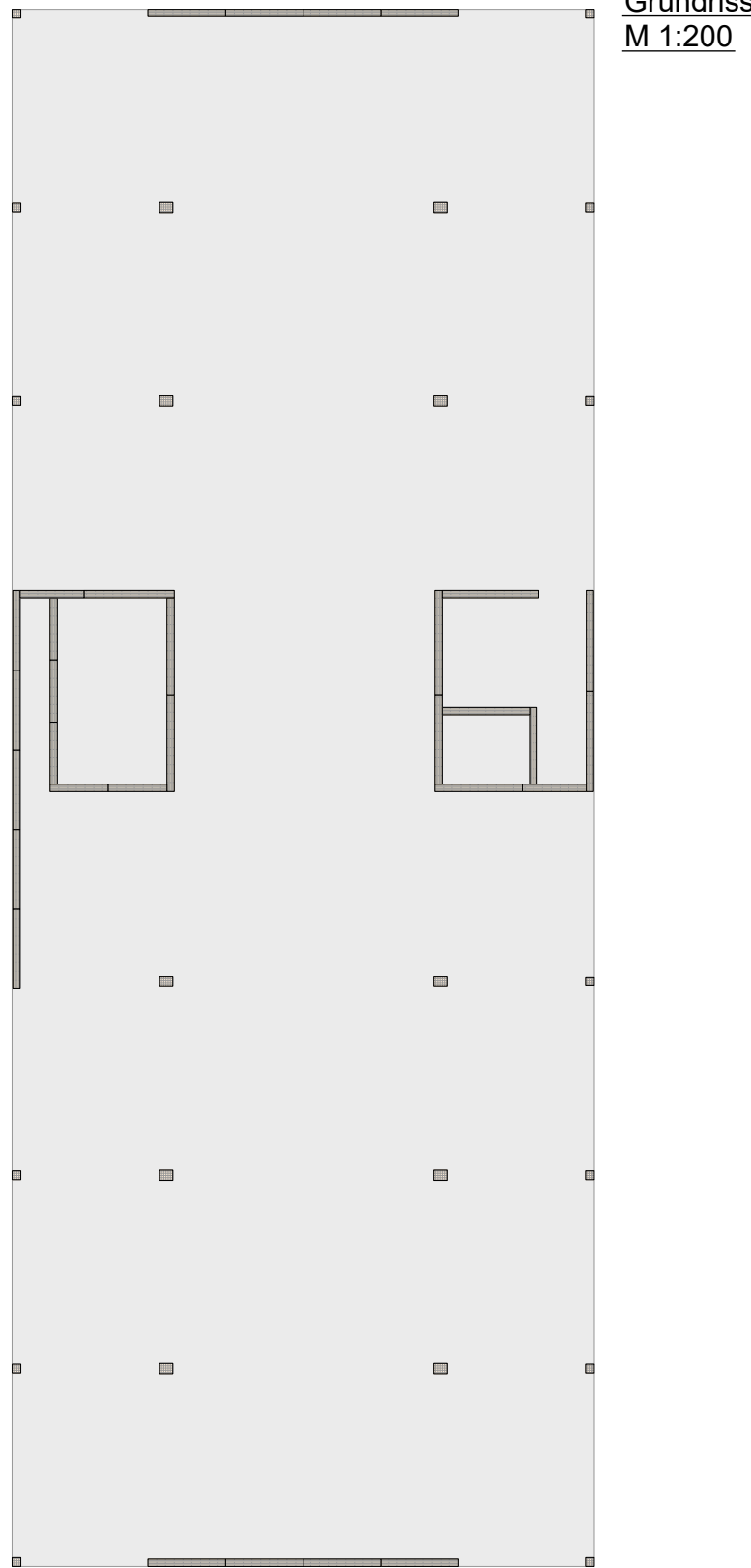
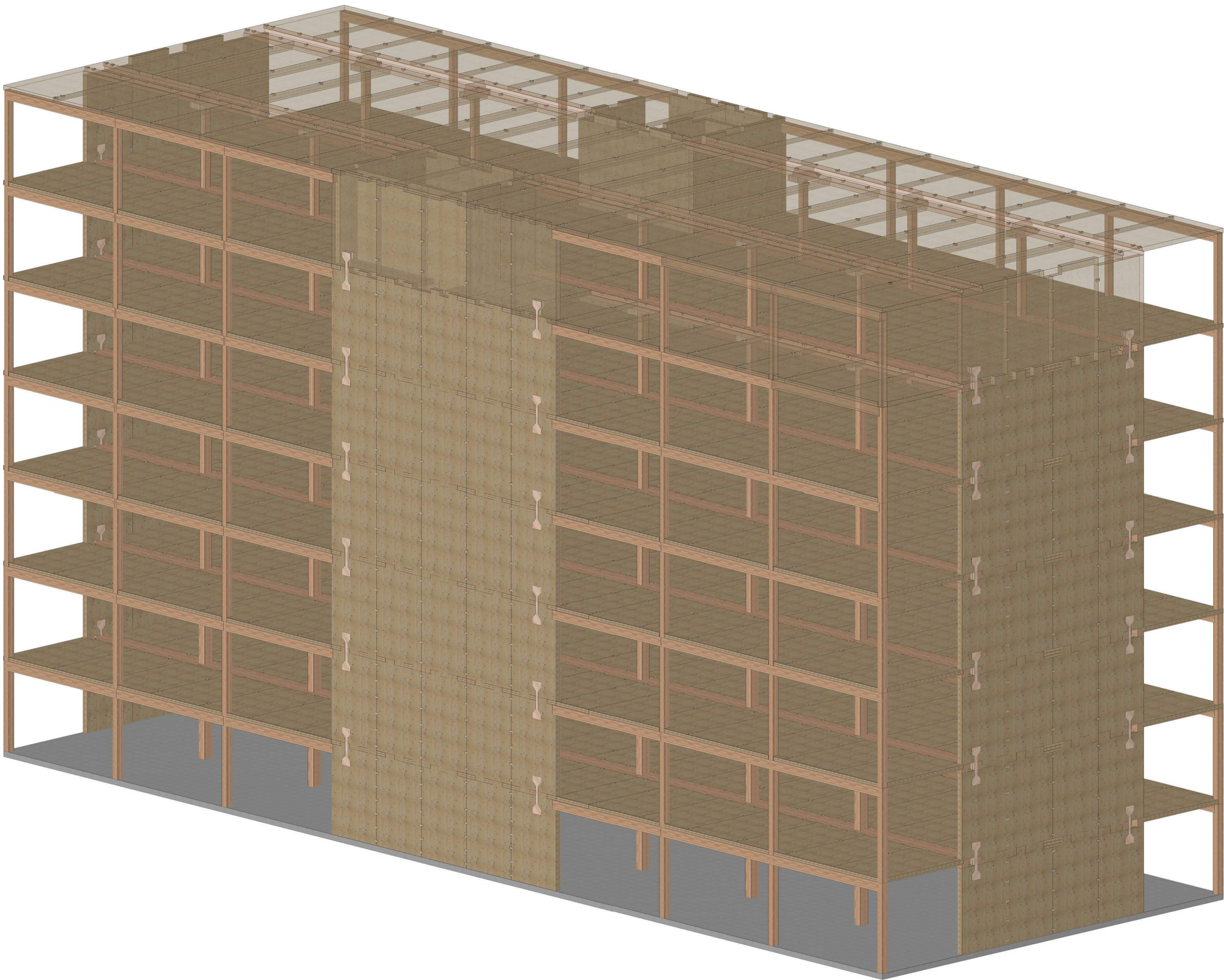
ÜBERSICHT

PLANINHALT

Montageablauf Außenwand
Knochen und Verzahnung

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	30.10.2024	1:~	RD001	RD001-TWP-1-MA-XX-02

A 2 Zeichnungen Konzept 2



-  Brettsper Holz
-  Stabschich Holz Buche
-  Furnierschich Holz Buche
-  Stahlbeton

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2



MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
D - 64295 Darmstadt
Rosa-Parks-Straße 4
www.fastepp.com

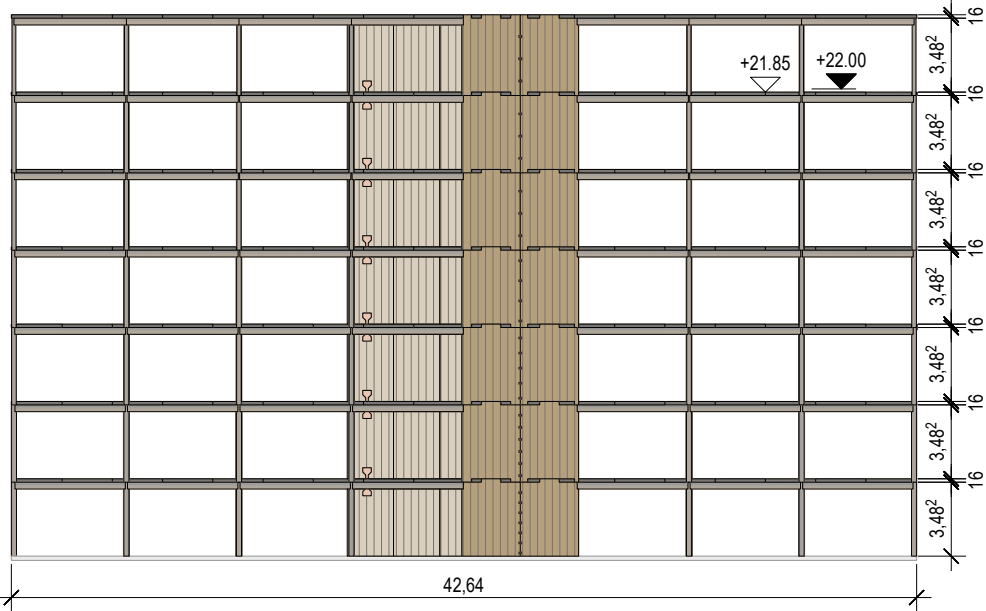
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT

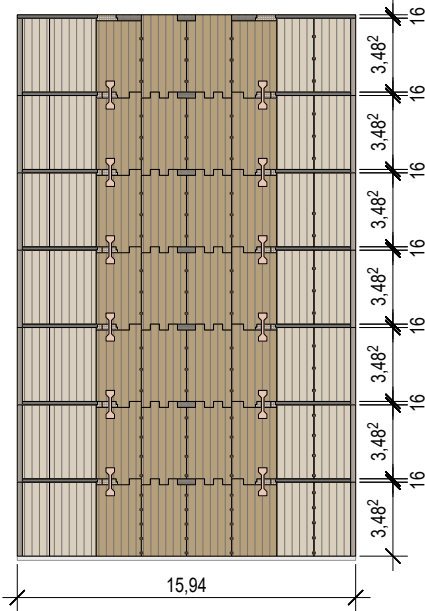
3D-Isometrie der Tragenden Elemente des Referenzgebäudes

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F + E Projektnummer	RD001-TWP-2-ÜS-XX-01
PZ	TW	25.10.2024	1:~	RD001	

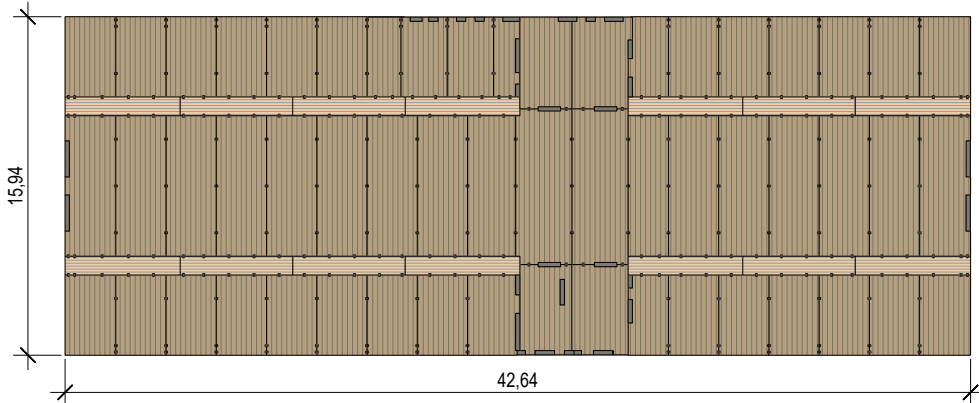
Ansicht Süd



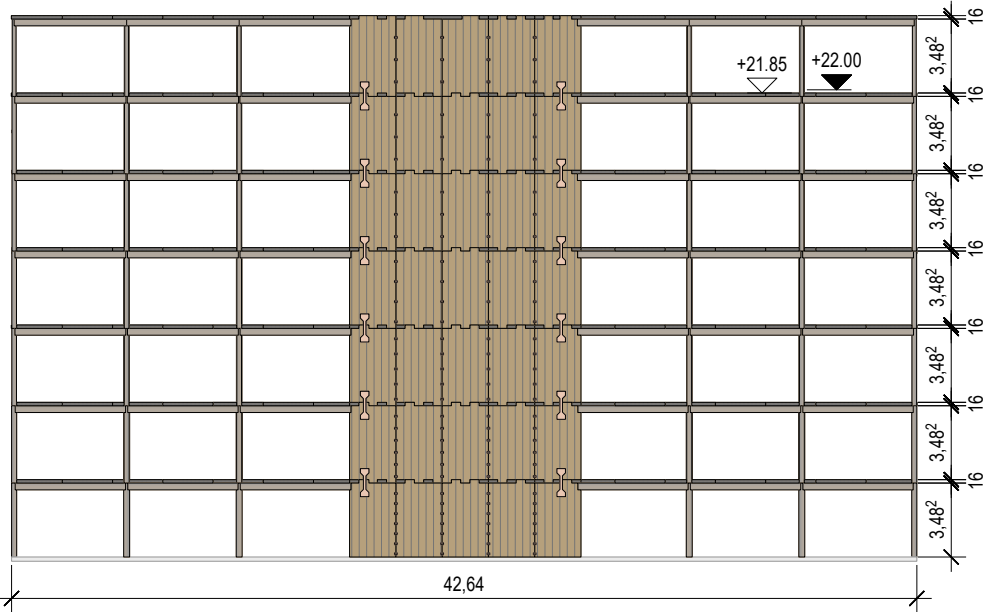
Ansicht Ost



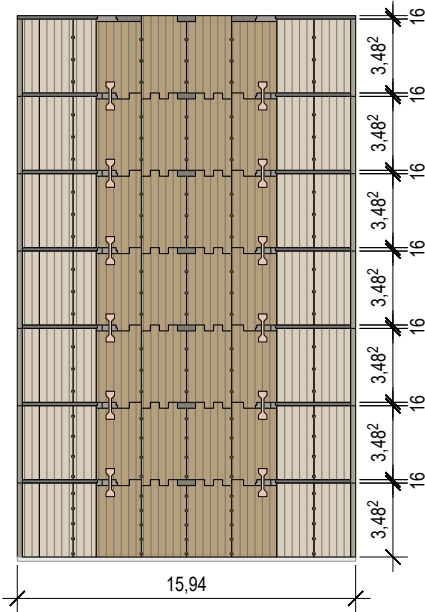
Draufsicht



Ansicht Nord



Ansicht West



- Ansichtskante
— geschnittene Kante
- - - verdeckte Kante

- Brettsper Holz
Furnierschichholz Buche
Stabschichholz Buche
Stahlbeton
- Brettsper Holz Geschnitten
Furnierschichholz Buche Geschn.
Stabschichholz Buche Geschnitten
Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

**HOLZBAU
OFFENSIVE**
BADEN WÜRTTEMBERG

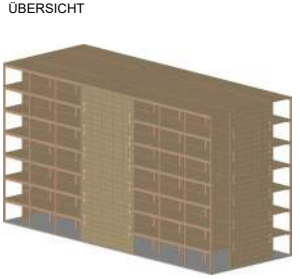
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

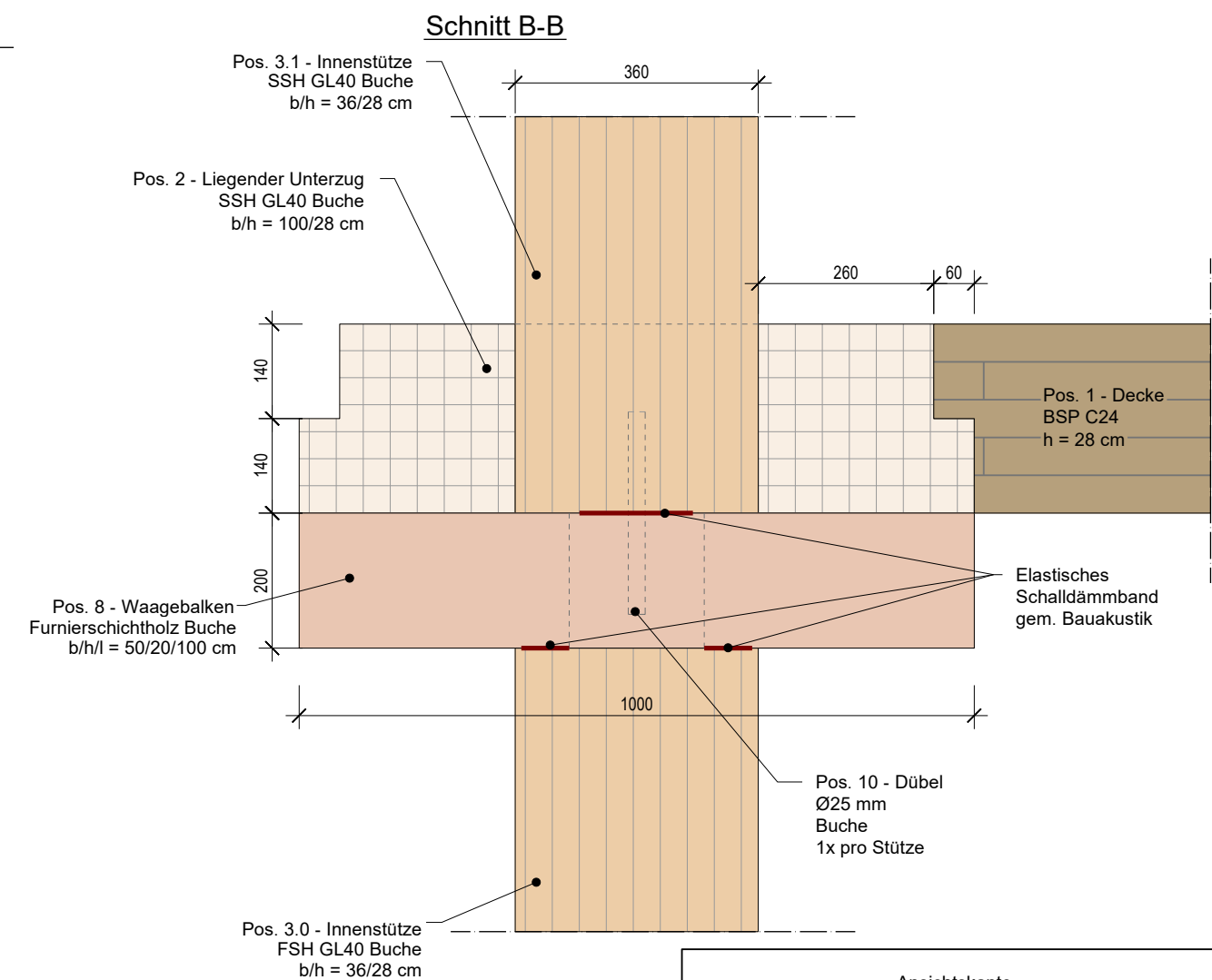
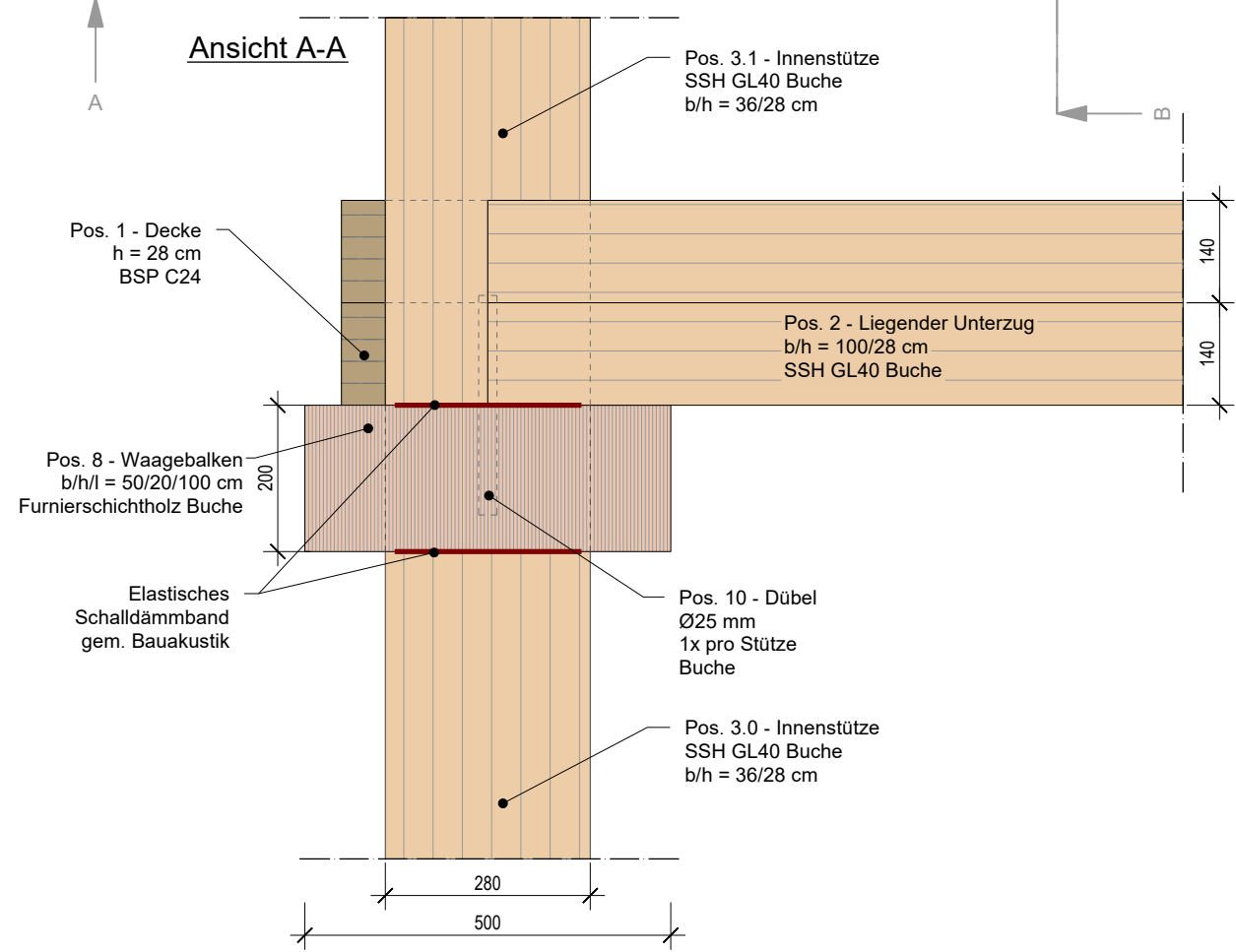
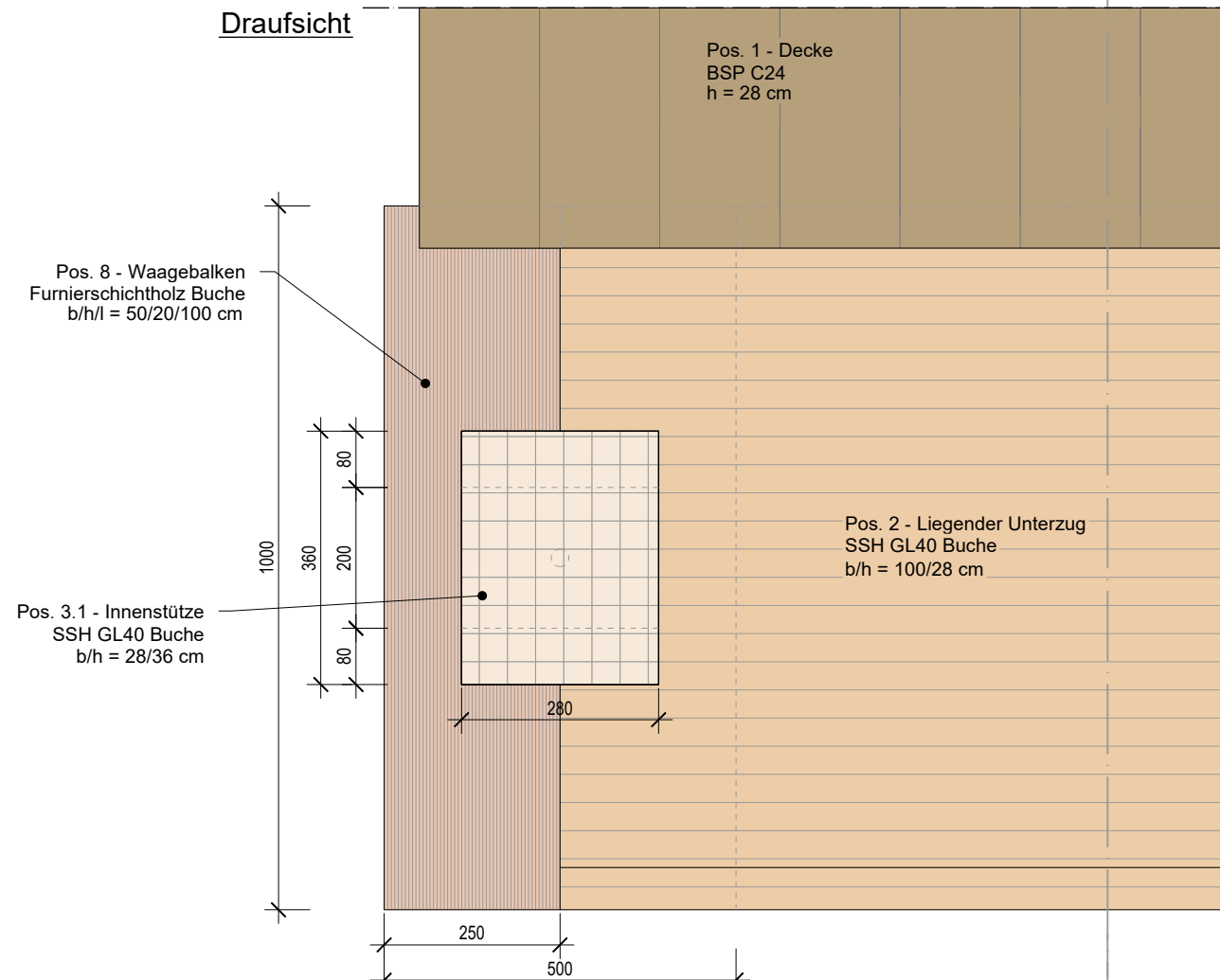
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT

Ansichten

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:350	RD001	RD001-TWP-2-AS-XX-01



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche

Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

HOLZBAU OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

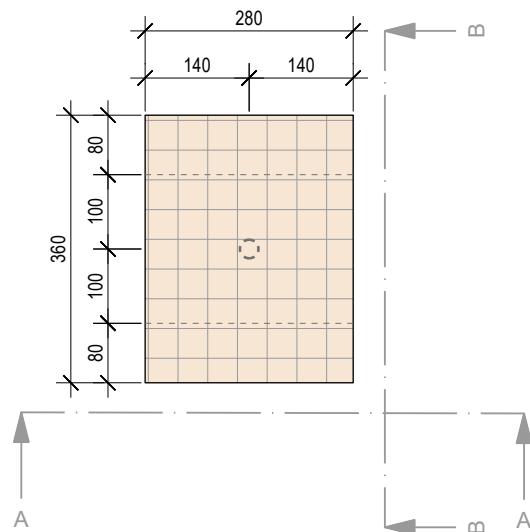
ÜBERSICHT

PLANINHALT

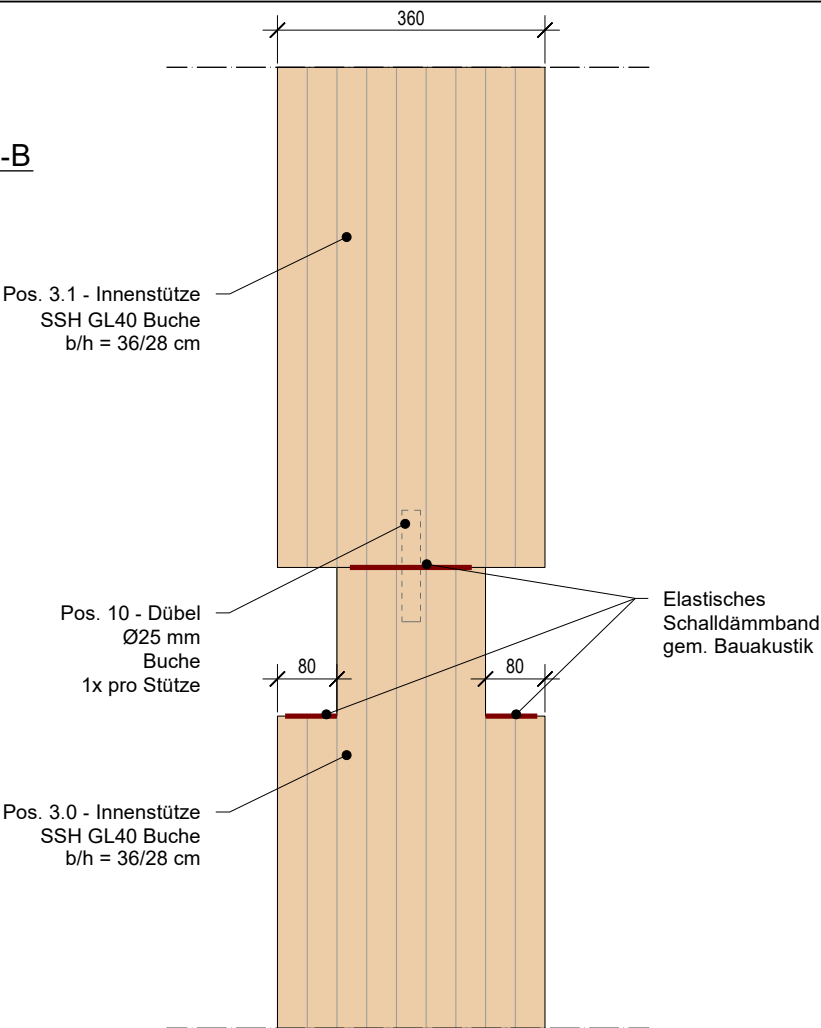
Anschluss Unterzug an Stütze: Waagebalken

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	25.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-2-DT-01-01

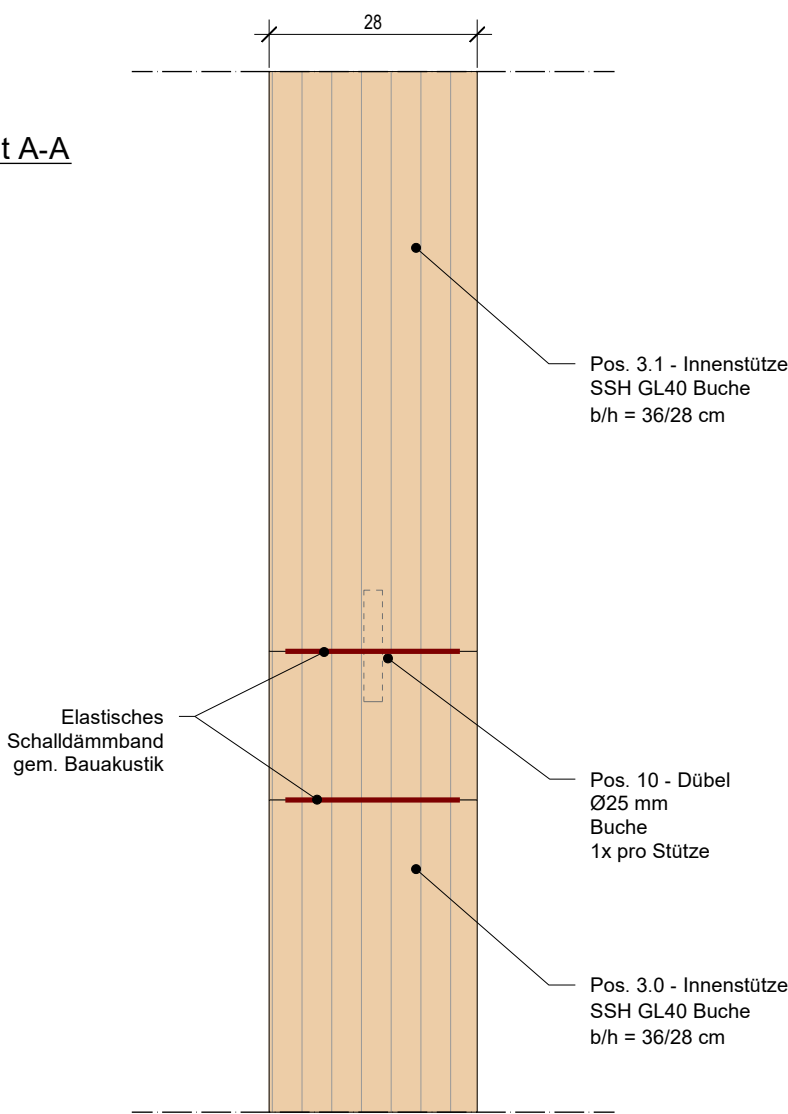
Draufsicht



Ansicht B-B



Ansicht A-A



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettsper Holz

Furnierschichholz Buche

Stabschichholz Buche

Brettsper Holz Geschnitten

Furnierschichholz Buche Geschn.

Stabschichholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

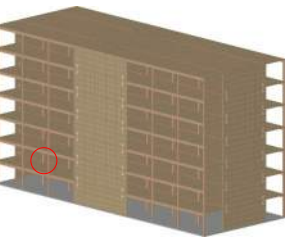


MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

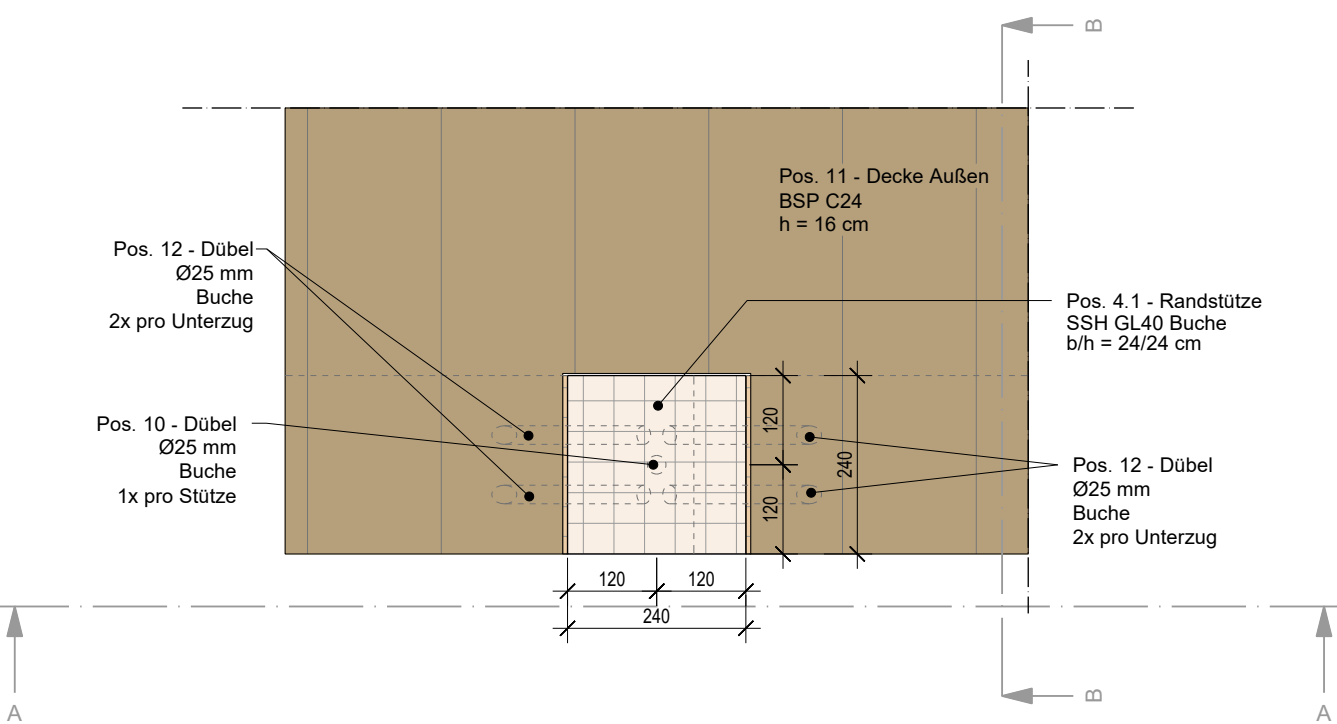


PLANINHALT

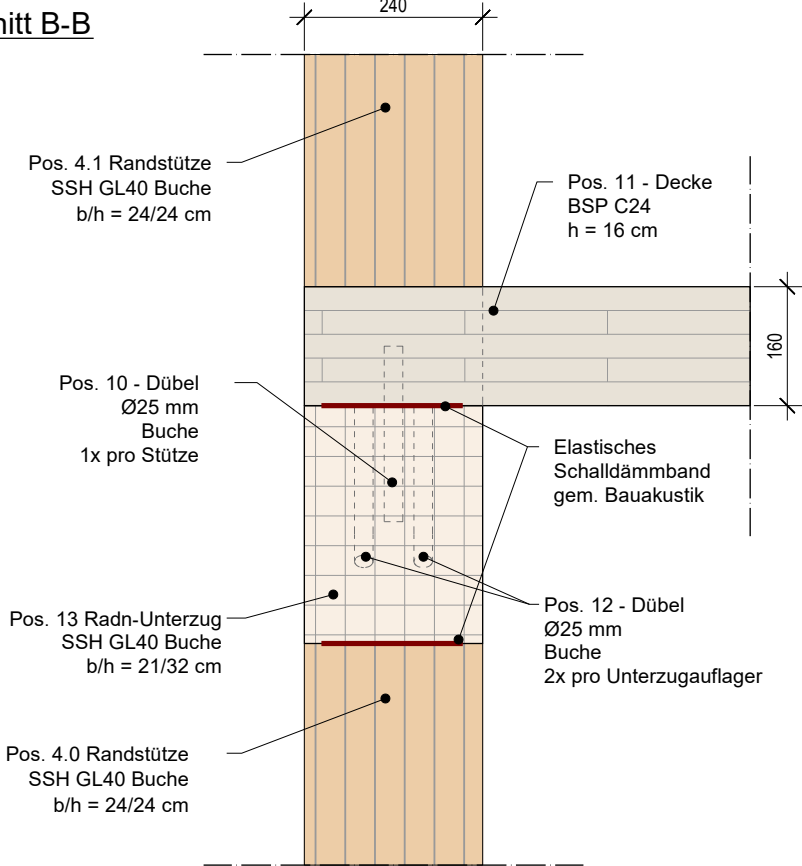
Anschluss Stütze an Stütze

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	25.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-2-DT-01-02

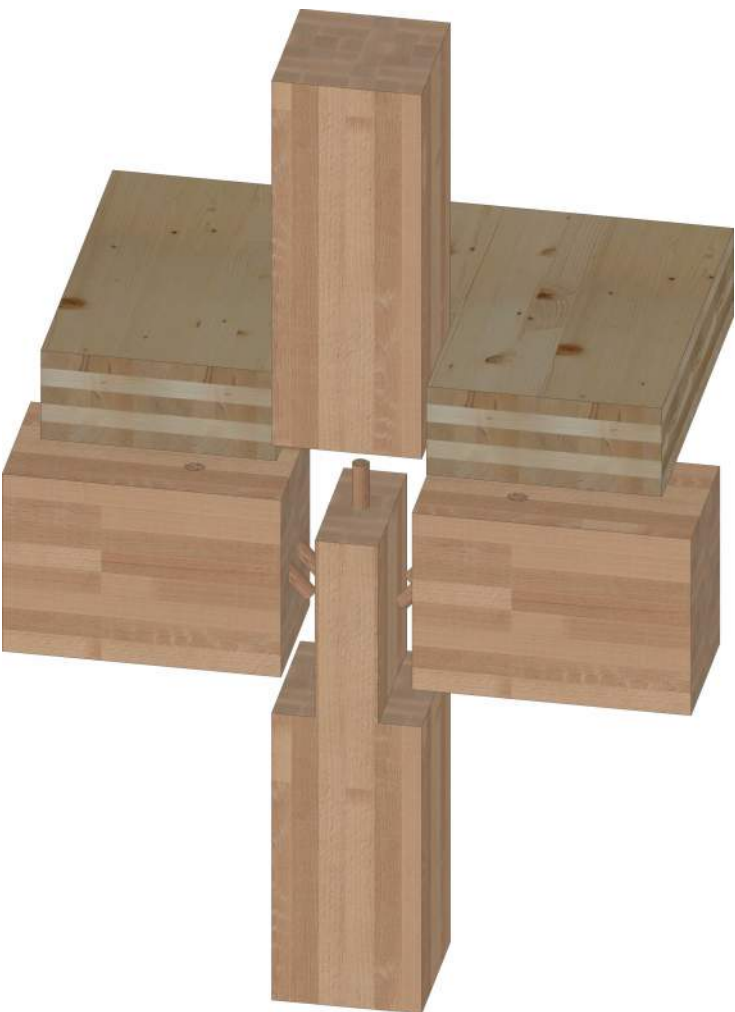
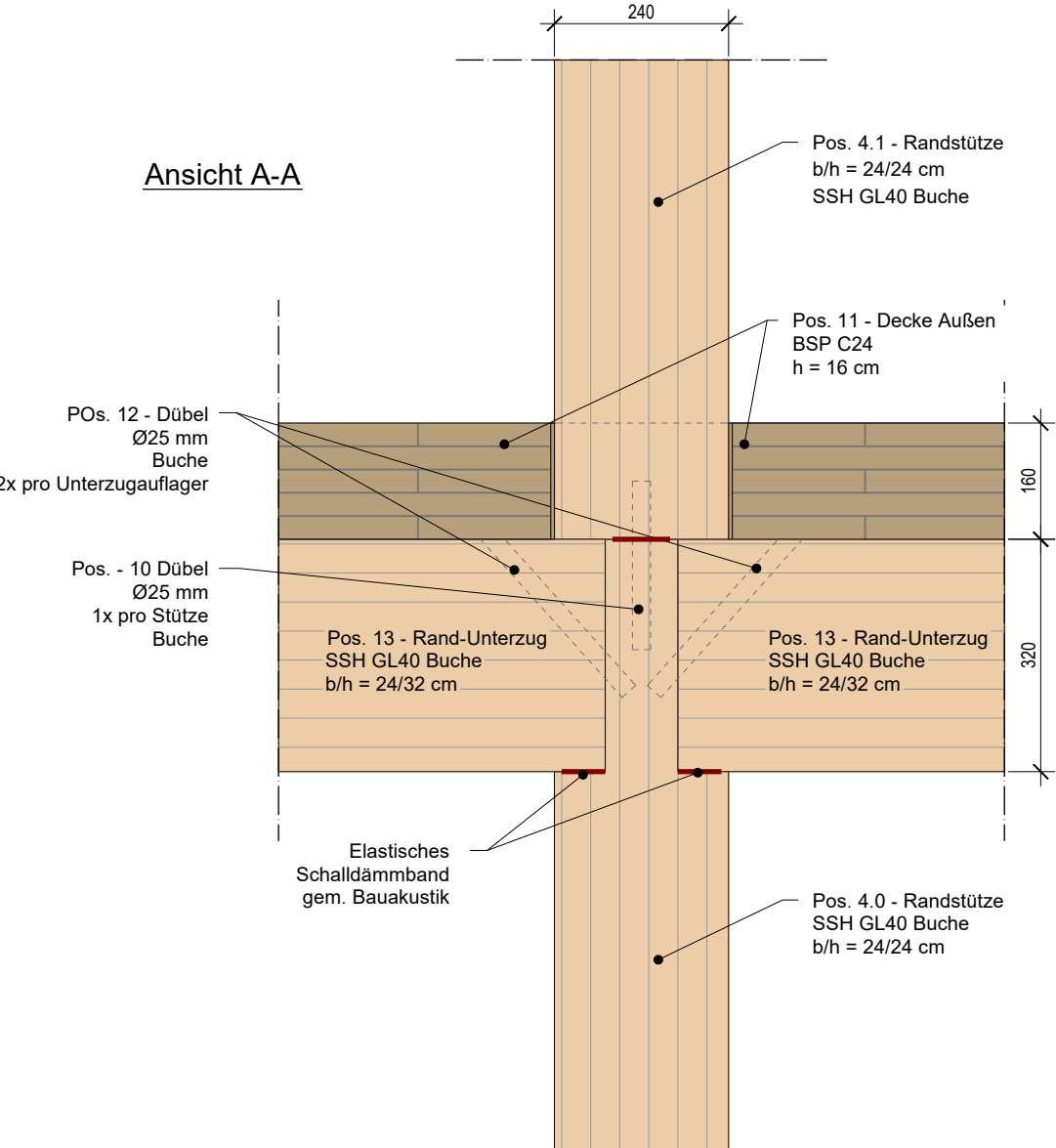
Draufsicht



Schnitt B-B



Ansicht A-A



—	Ansichtskante
—	geschnittene Kante
- - -	verdeckte Kante
	Brettspertholz
	Brettspertholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche
	Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche
	Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR



MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

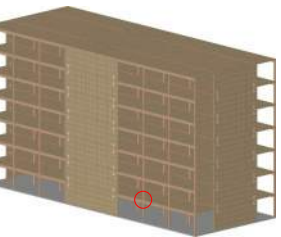
TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

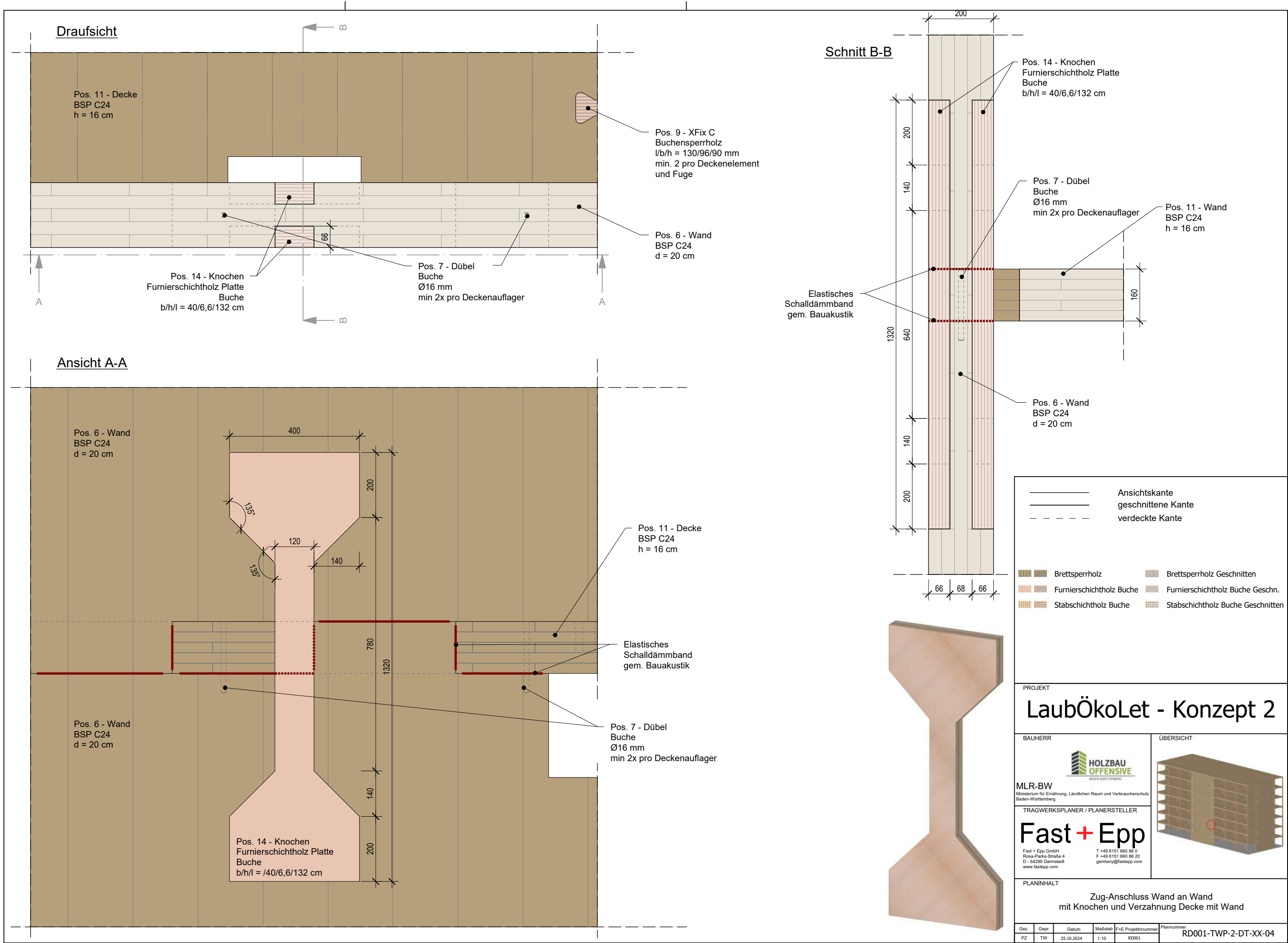
ÜBERSICHT



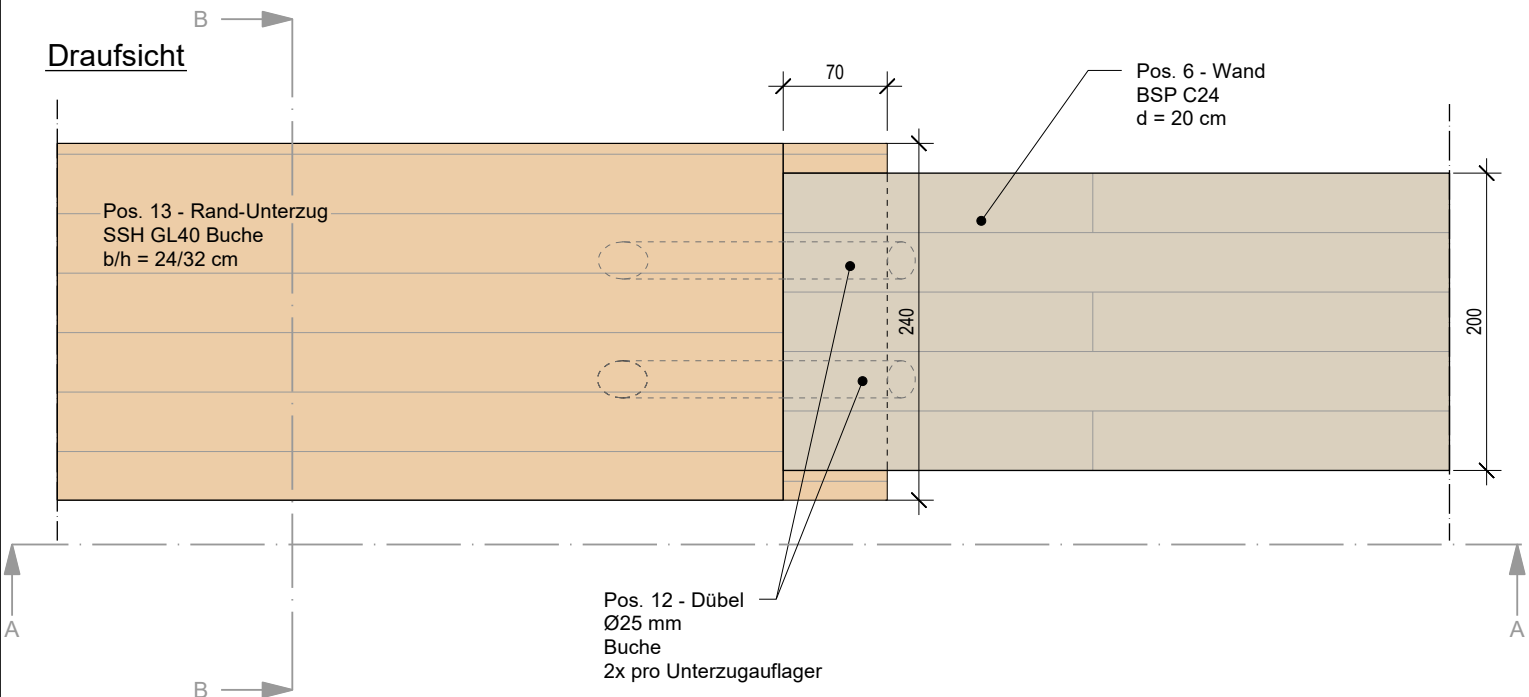
PLANINHALT

Anschluss Unterzug an Außenstütze

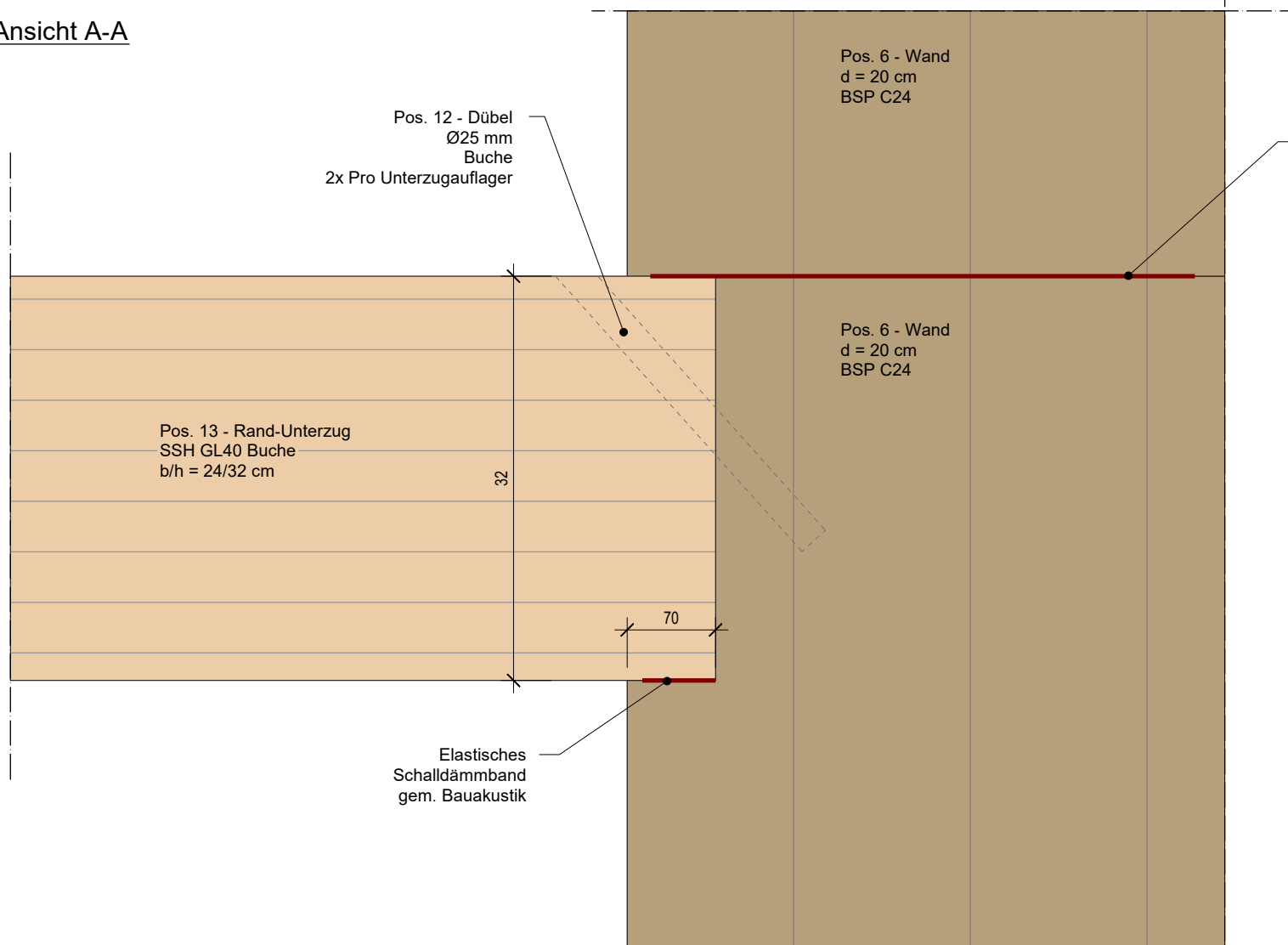
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	25.10.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-2-DT-01-03



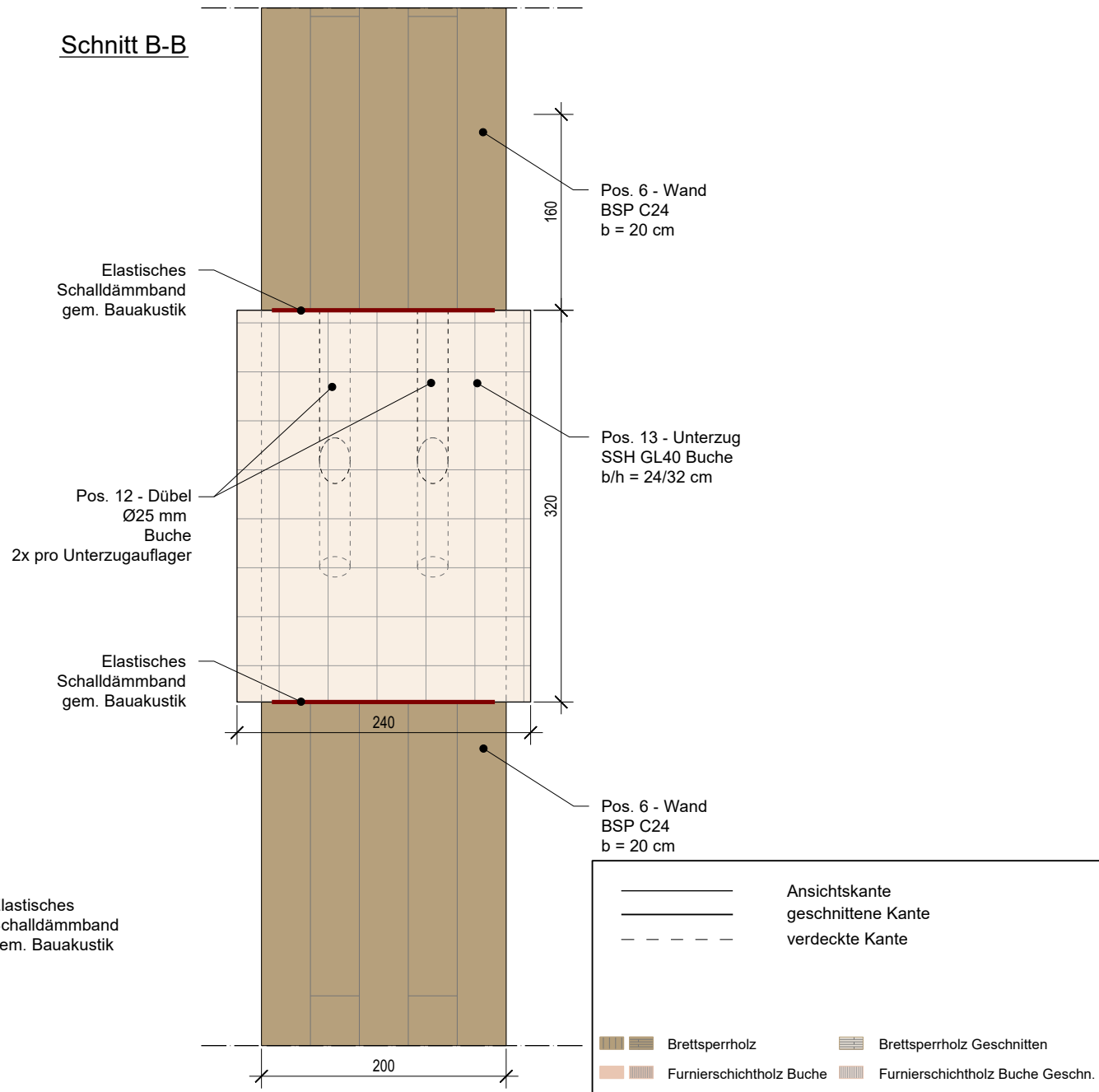
Draufsicht



Ansicht A-A



Schnitt B-B



	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante

	Brettsperrholz		Brettsperrholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche		Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche		Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

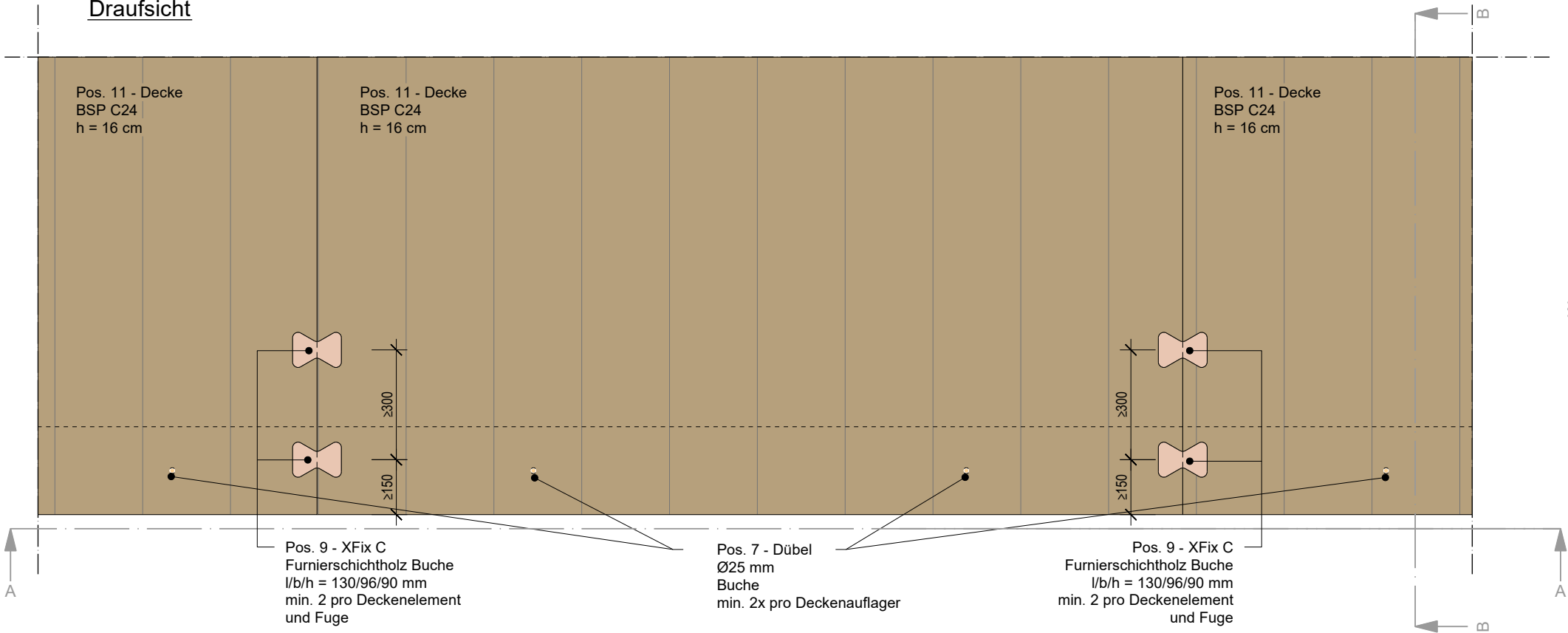
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

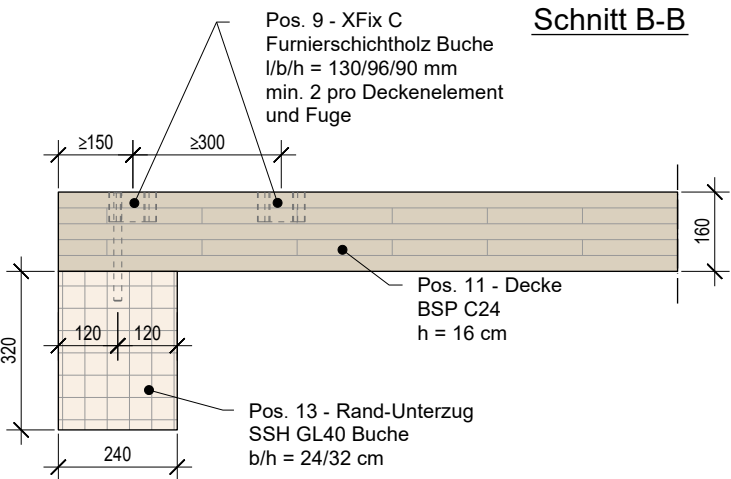
ÜBERSICHT

PLANINHALT					
Anschluss Randunterzug an Wand					
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:5	RD001	RD001-TWP-2-DT-XX-06

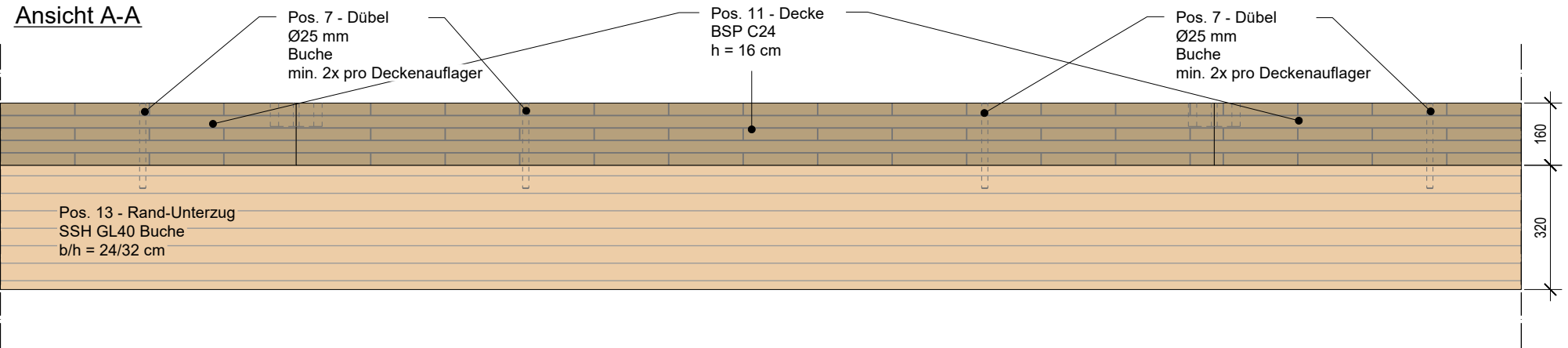
Draufsicht



Schnitt B-B



Ansicht A-A



—	Ansichtskante
—	geschnittene Kante
- - -	verdeckte Kante
	Brettsperrholz
	Brettsperrholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche
	Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche
	Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

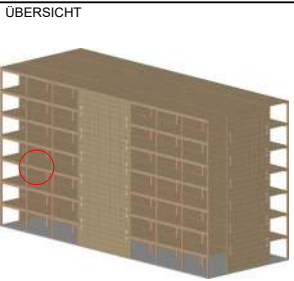
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

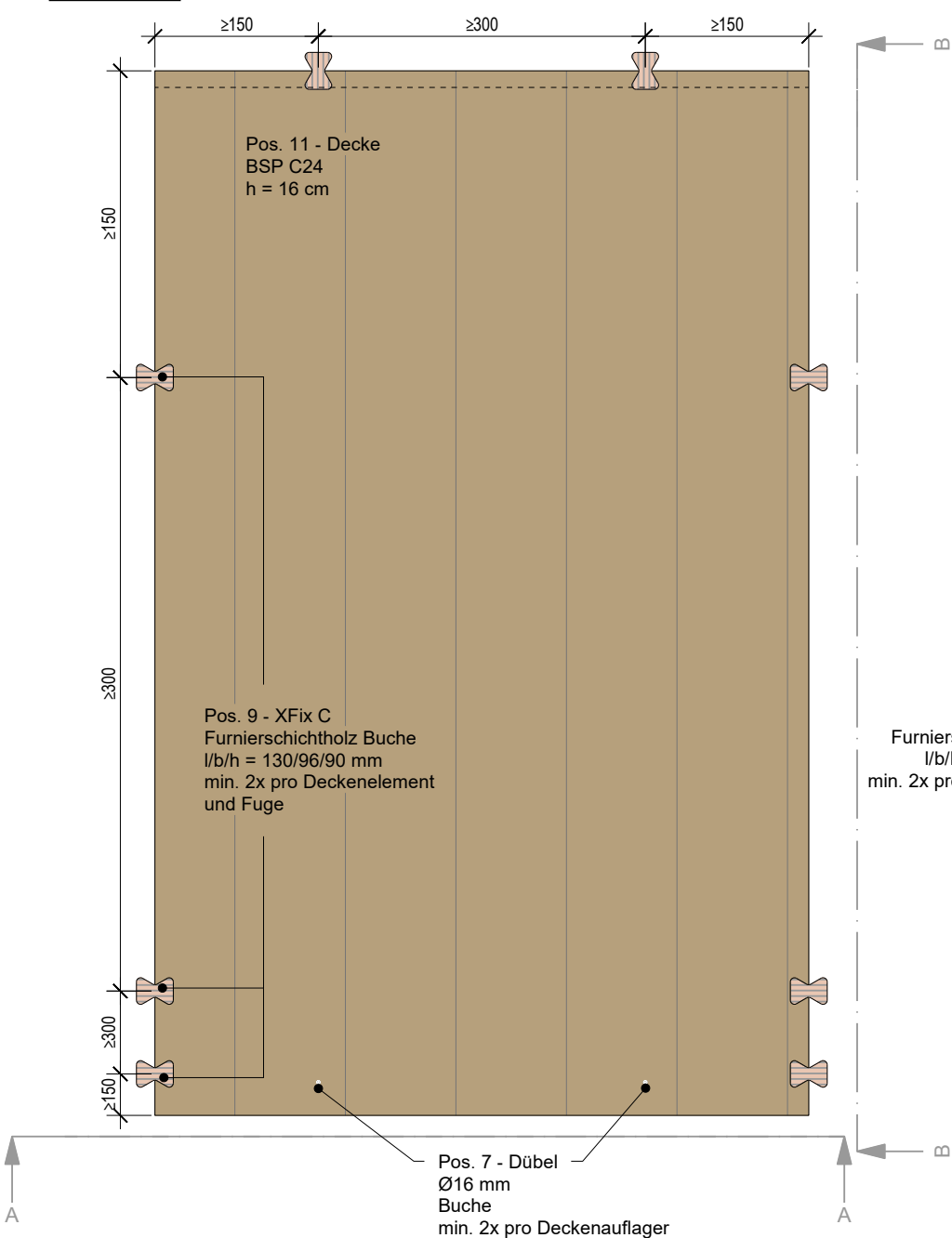
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

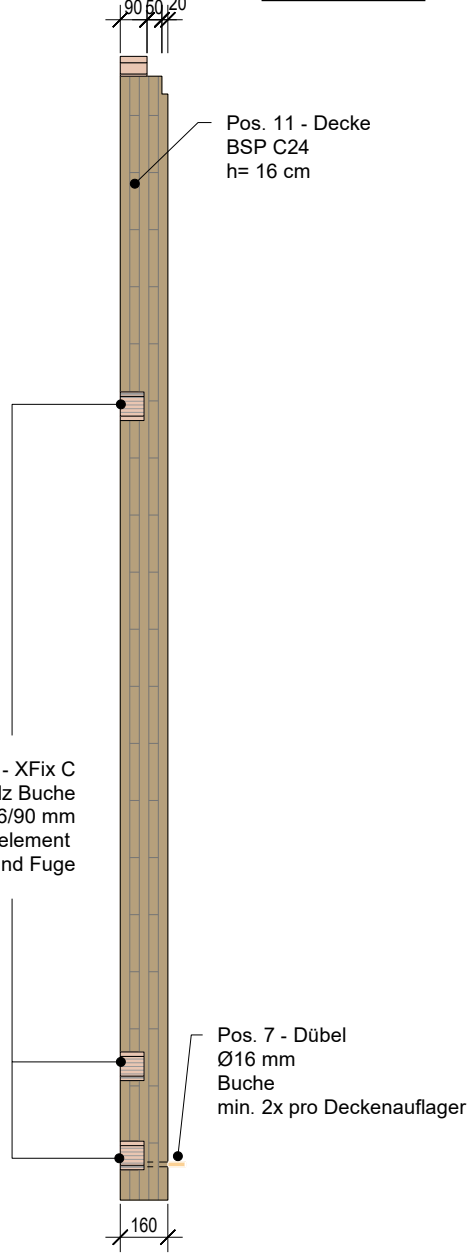


PLANINHALT					
Anschluss Decke an Unterzug					
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:15	RD001	RD001-TWP-2-DT-XX-07

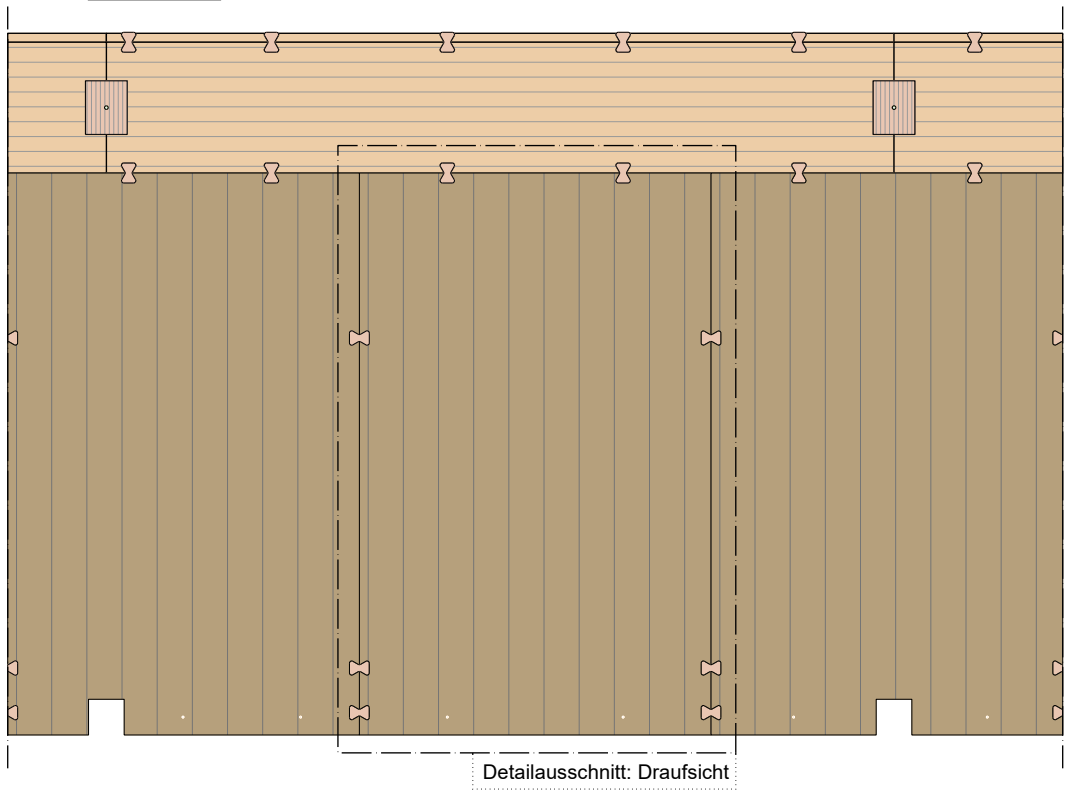
Draufsicht



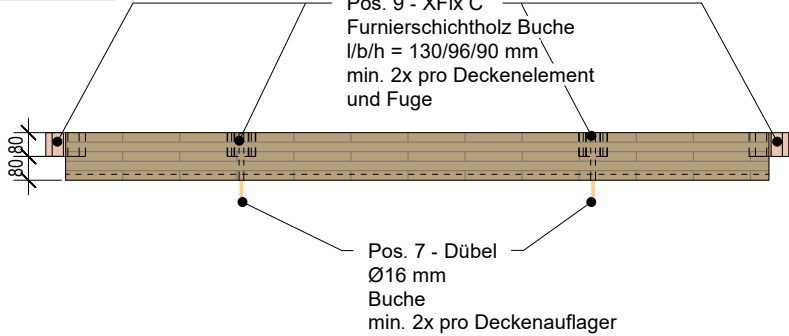
Ansicht B-B



Übersicht



Ansicht A-A



XFix C



—	Ansichtskante
—	geschnittene Kante
- - -	verdeckte Kante
■	Brettspertholz
■	Brettspertholz Geschnitten
■	Furnierschichtholz Buche
■	Furnierschichtholz Buche Geschn.
■	Stabschichtholz Buche
■	Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

HOLZBAU OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

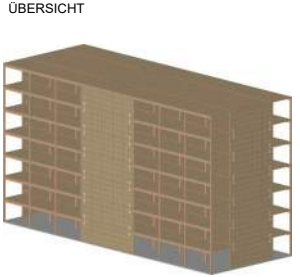
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

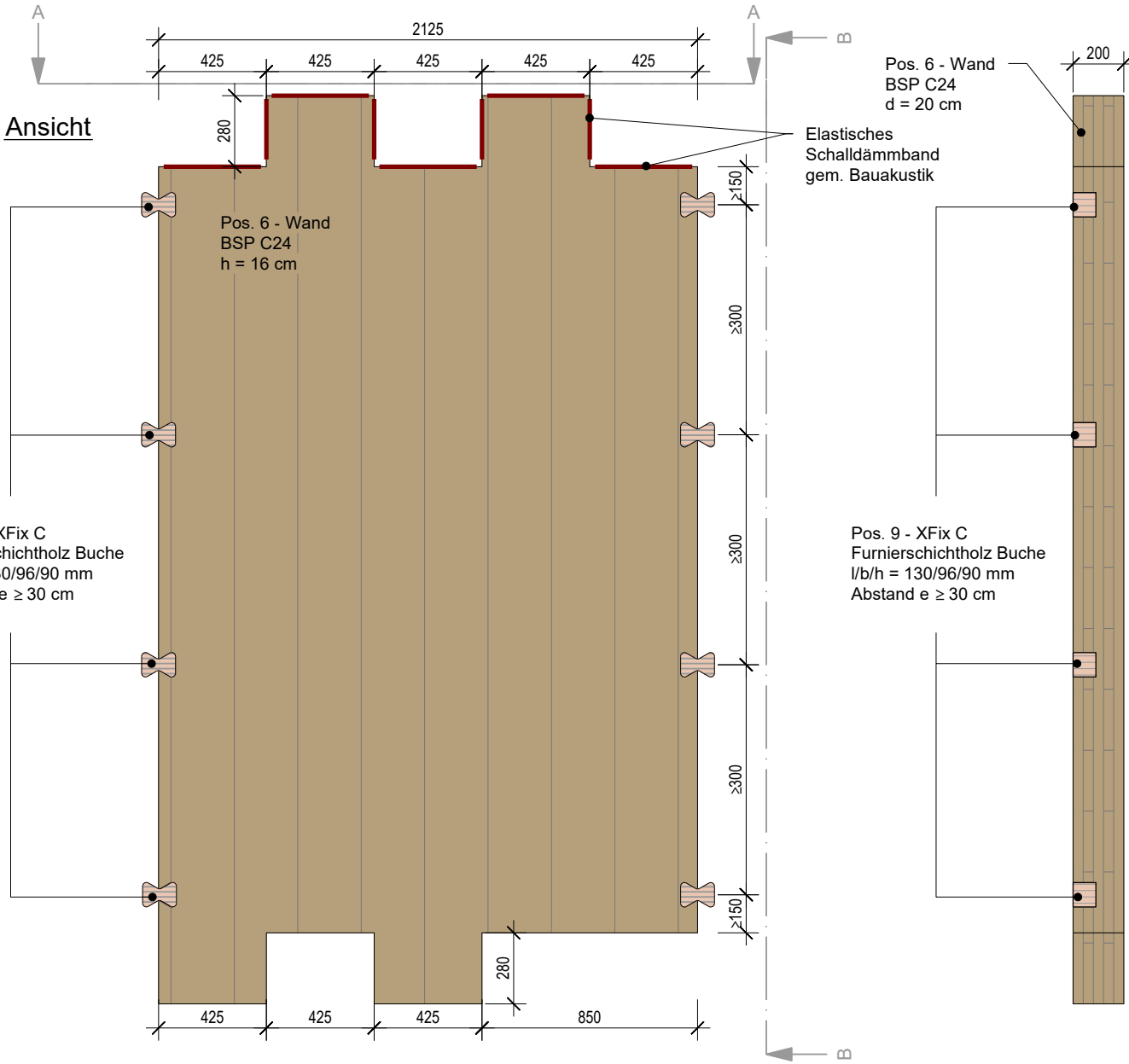
Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT					
Elementfuge Decke - Decke mit XFix					
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:25	RD001	RD001-TWP-2-DT-XX-08



- Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante
- Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

**HOLZBAU
OFFENSIVE**
BADEN-WÜRTTEMBERG

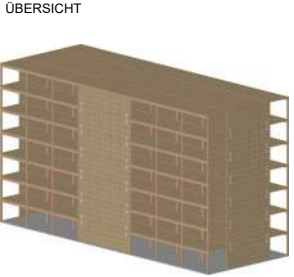
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT

Elementfuge Wand - Wand mit XFix

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:25	RD001	RD001-TWP-2-DT-XX-09

Draufsicht

Pos. 15 - Zuganker Rothoblaas WHT30 (o.glw)
n = 10x pro Wandende
Anschluss an Stb.-Bodenplatte in Abstandsmontage mit
1x Gewindestange M24
EPO-FIX 8.8 M24x330 mm mit Unterlegscheibe WHT8024L
Anschluss an BSP-Wand mit Ankernägeln
LBA Ø4,0x60 mm (o.glw) n= 30 stk.

Pos. 16 - n.t. Bodenplatte
C30/37
d = 20 cm

Schnitt A-A

Pos. 18 - Zuganker Rothoblaas WHT30 (o.glw)
 n = 10x pro Wandende
 Anschluss an Stb.-Bodenplatte in Abstandsmontage und mit 1x Gewindestange M24
 EPO-FIX 8.8 M24x330 mm mit Unterlegscheibe WHT8024L
 Anschluss an BSP-Wand mit Ankernägeln
 LBA Ø4,0x60 mm (o.glw) n= 30 stk.

Stb.-Streifenfundament
 CXX/YY
 b/h = XX/YY cm,
 Je nach Baugrund

Pos. 15 - Zuganker Rothoblaas WHT30 (o.glw)
 n = 10x pro Wandende
 Anschluss an Stb.-Bodenplatte in Abstandsmontage und mit 1x Gewindestange M24
 EPO-FIX 8.8 M24x330 mm mit Unterlegscheibe WHT8024L
 Anschluss an BSP-Wand mit Ankernägeln
 LBA Ø4,0x60 mm (o.glw) n= 30 stk.

Schnitt B-B

200

Pos. 6 - Wand
BSP C24
d = 20 cm

Pos. 15 - Zuganker Rothoblaas WHT30 (o.glw)
n = 10x pro Wandende
Anschluss an Stb.-Bodenplatte in Abstandsmontage mit
1x Gewindestange M24
EPO-FIX 8.8 M24x330 mm mit Unterlegscheibe WHT8024L
Anschluss an BSP-Wand mit Ankernägeln
LBA Ø4,0x60 mm (o.glw) n= 30 stk.

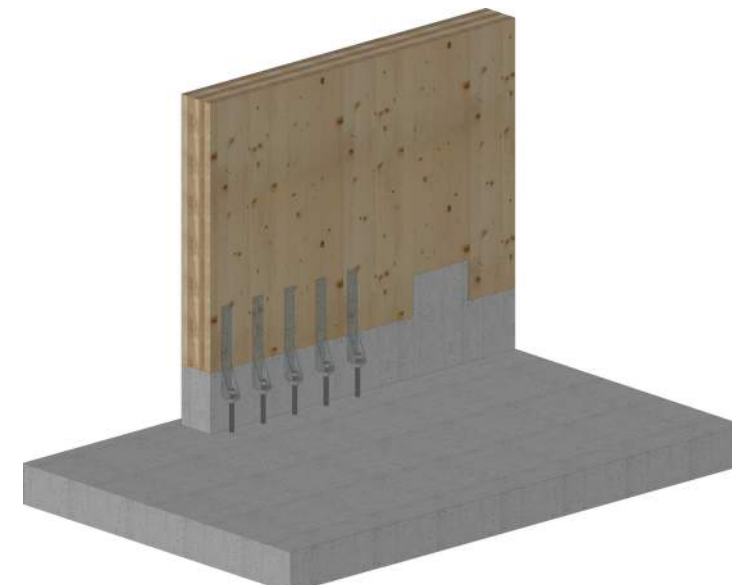
Pos. 17 - Aufkantung
C30/37
h = 30 cm

330

200

Pos. 16 - n.t. Bodenplatte
C30/37
d = 20 cm

Stb.-Streifenfundament
CXX/YY
b/h = XX/YY cm
Je nach Baugrund



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

HOLZBAU
OFFENSIVE

BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Wand an Gründung mit Zuganker und Verzahnung

Gez.

Gepr.

Datum

Maßstab

F+E Projektnummer

Planummer

PZ

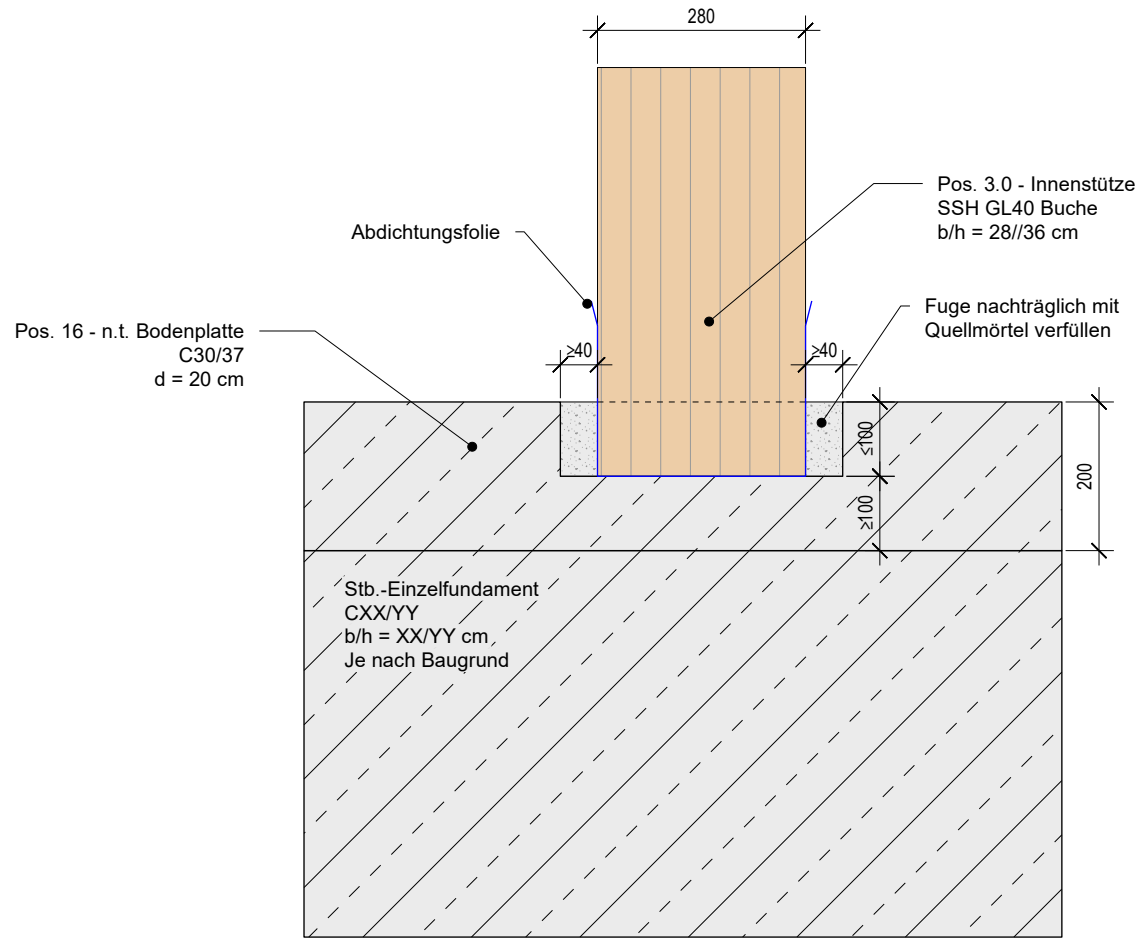
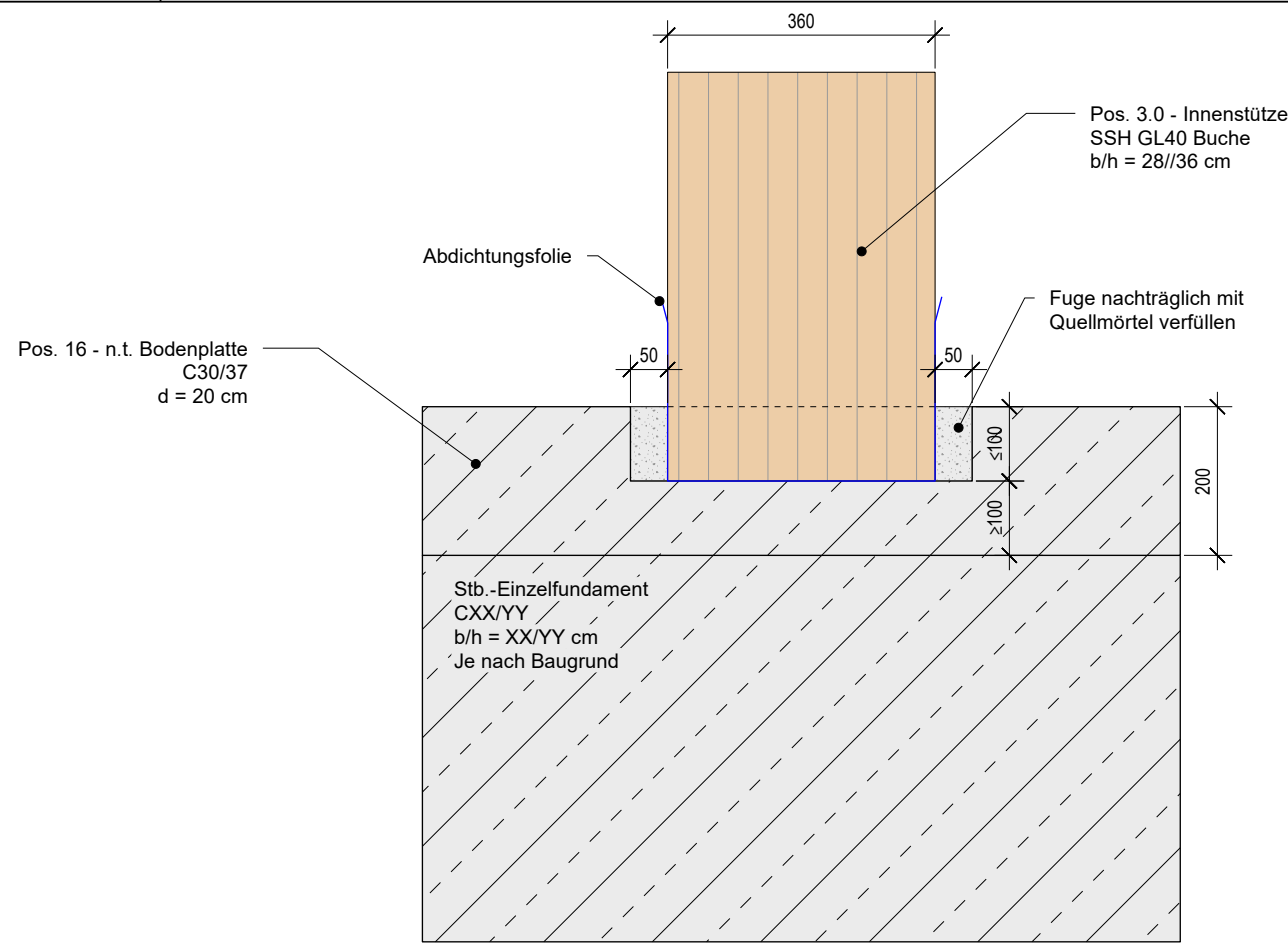
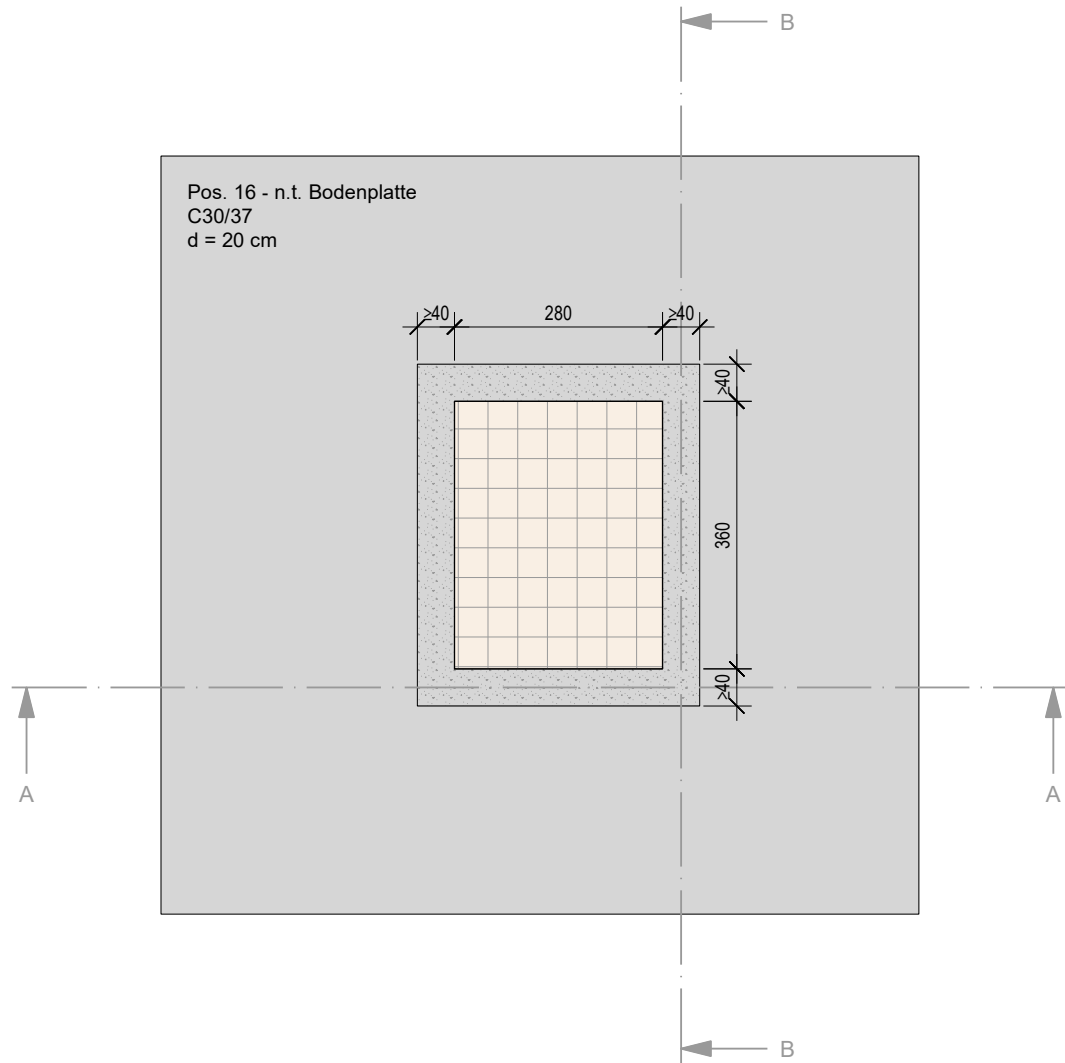
TW

01.11.2024

1:15

RD001

RD001-TWP-2-DT-XX-10



Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Quellschutt

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

Quellschutt Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

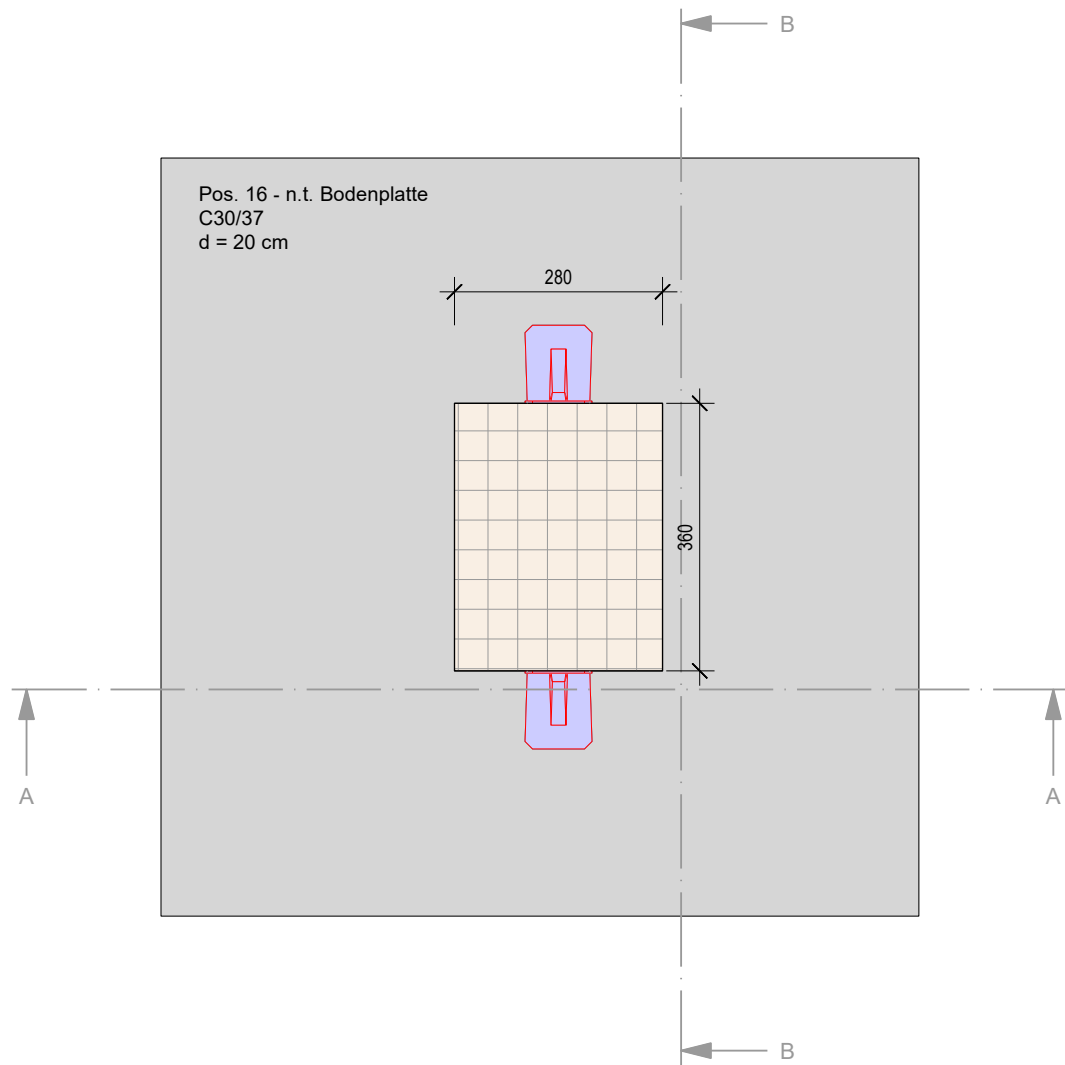
Fast + Epp
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

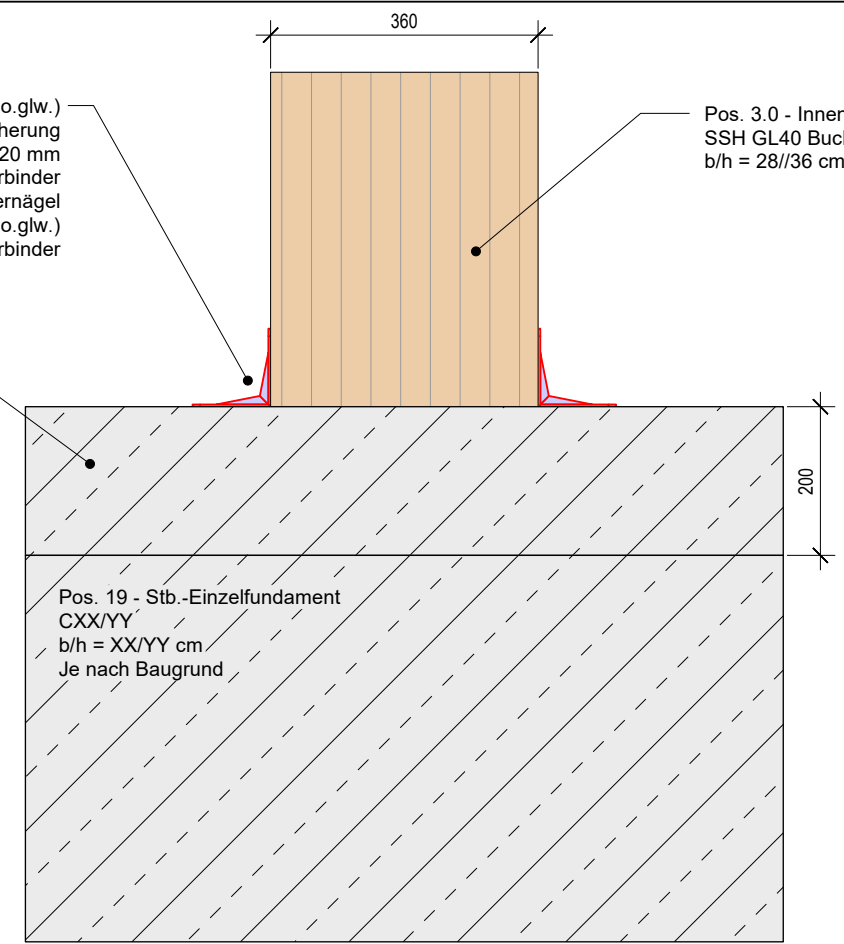
Stütze an Gründung in Stb.-Tasche

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	04.11.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-2-DT-00-11



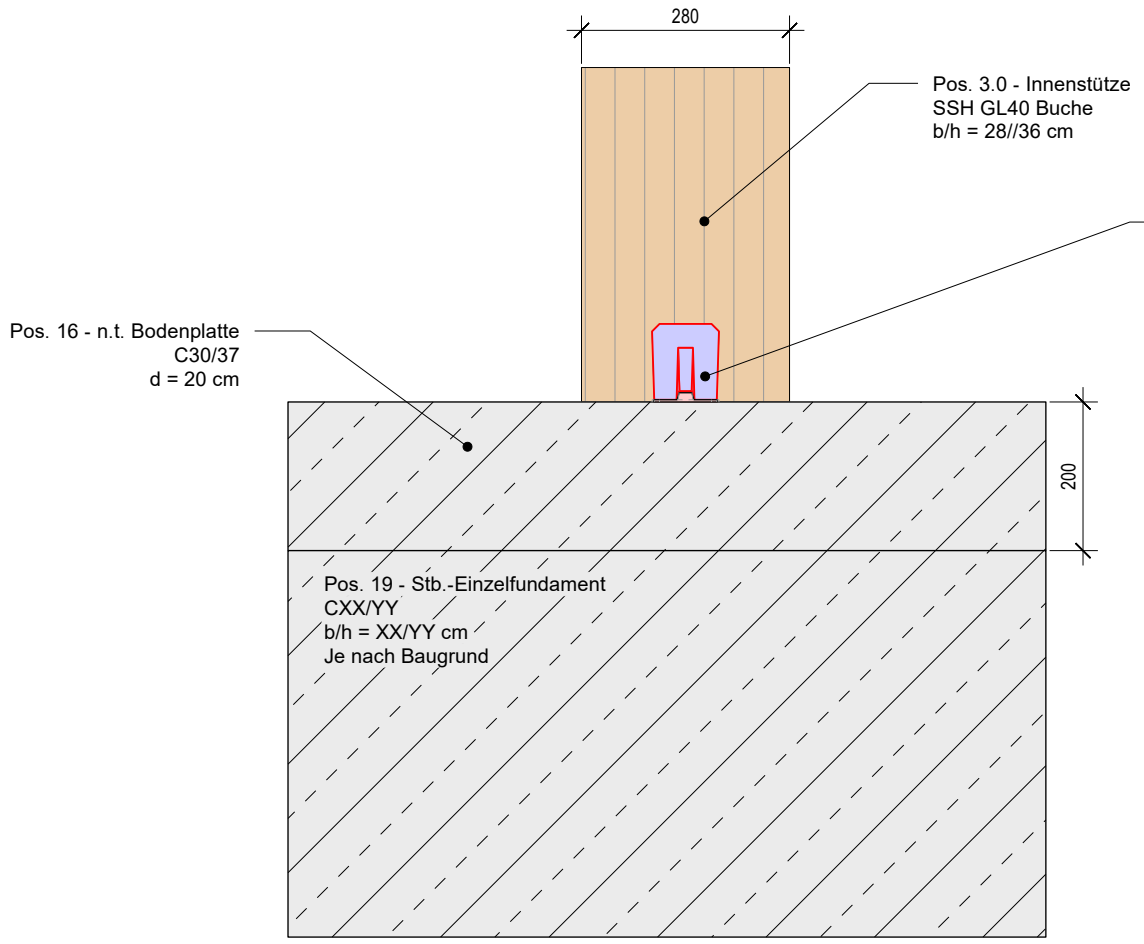
Pos. 20 - Winkelverbinder Simpson Strongtie ABR90 (o.glw.)
n = 2x pro EG-Stütze zur Lagesicherung
Anschluss an Stb.-Bodenplatte mit Spreizanker M10x120 mm
n = 1 Stk je Winkelverbinder
Anschluss an SSH-Stütze mit Ankernägeln
LBA Ø4,0x60 mm (o.glw.)
n = 4 stk. je Winkelverbinder

Pos. 16 - n.t. Bodenplatte
C30/37
d = 20 cm



Pos. 3.0 - Innenstütze
SSH GL40 Buche
b/h = 28//36 cm

Pos. 19 - Stb.-Einzelfundament
CXX/YY
b/h = XX/YY cm
Je nach Baugrund



Pos. 3.0 - Innenstütze
SSH GL40 Buche
b/h = 28//36 cm

Pos. 20 - Winkelverbinder Simpson Strongtie ABR90 (o.glw.)
n = 2x pro EG-Stütze zur Lagesicherung
Anschluss an Stb.-Bodenplatte mit Spreizanker M10x120 mm
n = 1 stk. je Winkelverbinder
Anschluss an SSH-Stütze mit Ankernägeln
LBA Ø4,0x60 mm (o.glw.)
n = 4 stk. je Winkelverbinder

Pos. 16 - n.t. Bodenplatte
C30/37
d = 20 cm

Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Quellmörtel

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

Quellmörtel Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 1

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

Baden-Württemberg

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

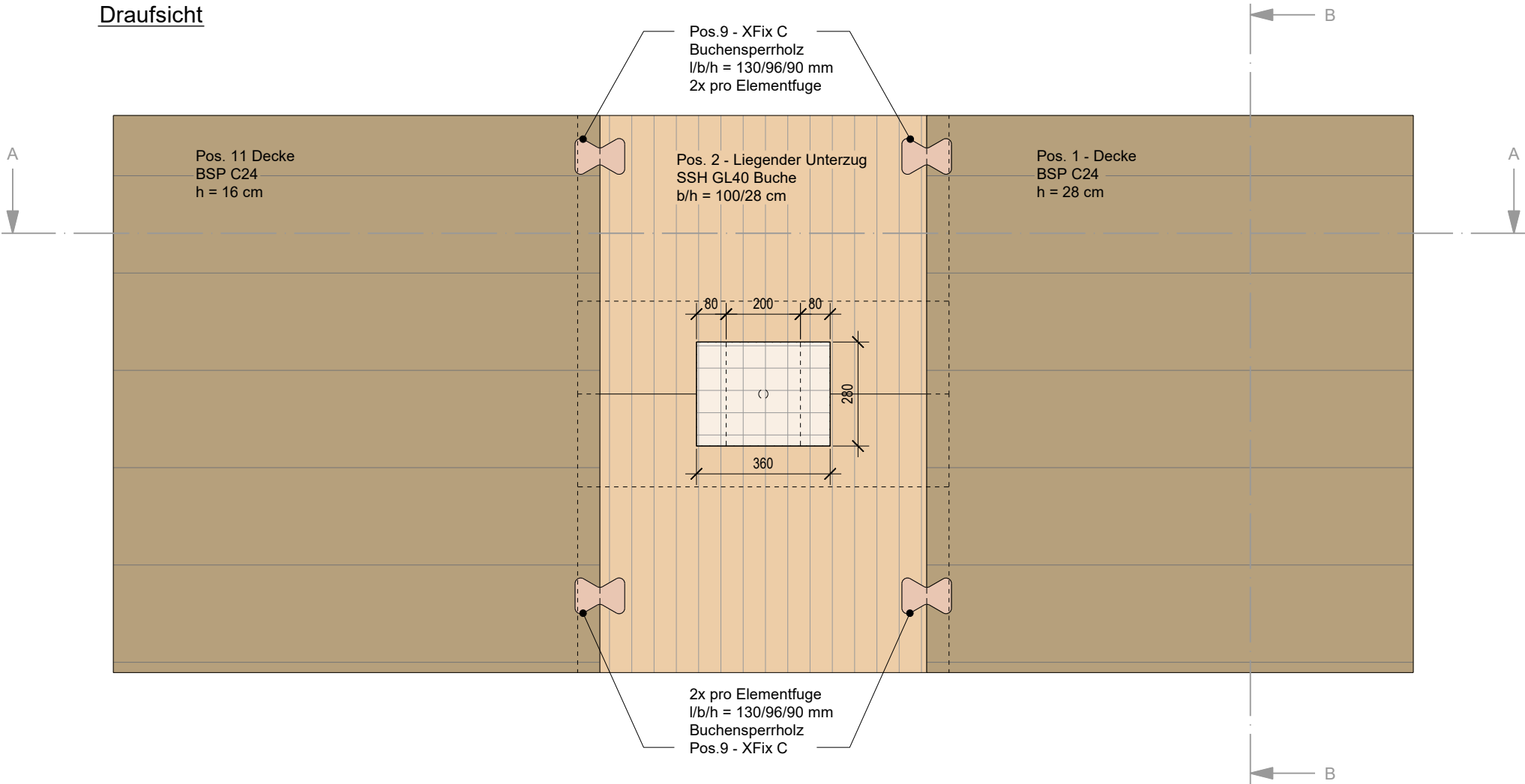
ÜBERSICHT

PLANINHALT

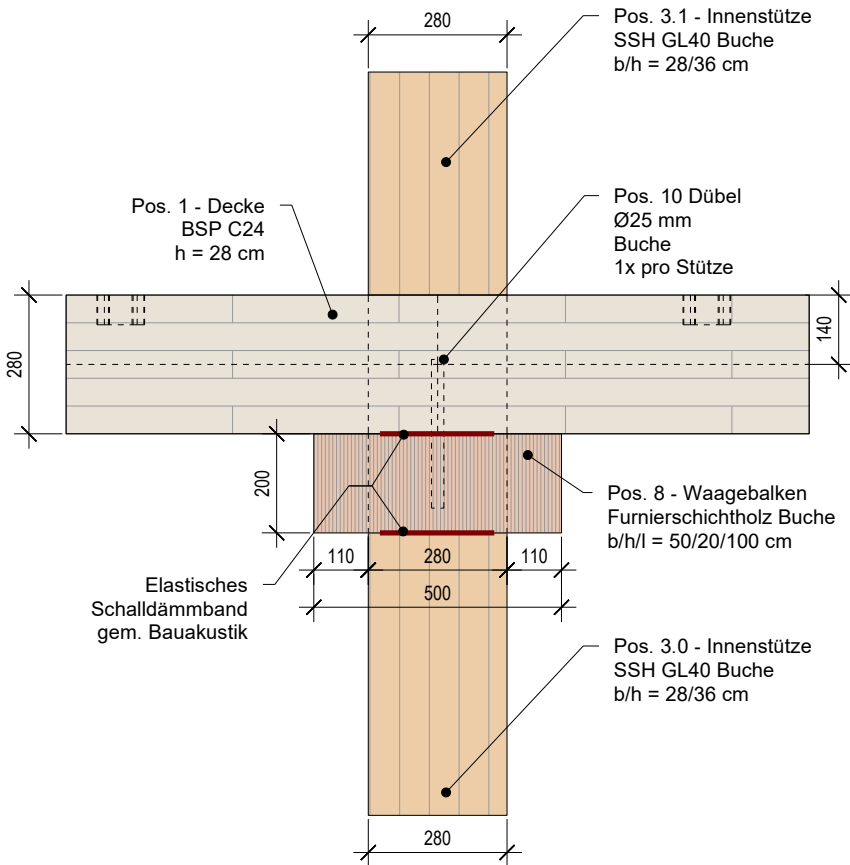
Stütze an Gründung mit Winkelverbinder

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	04.11.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-2-DT-00-12

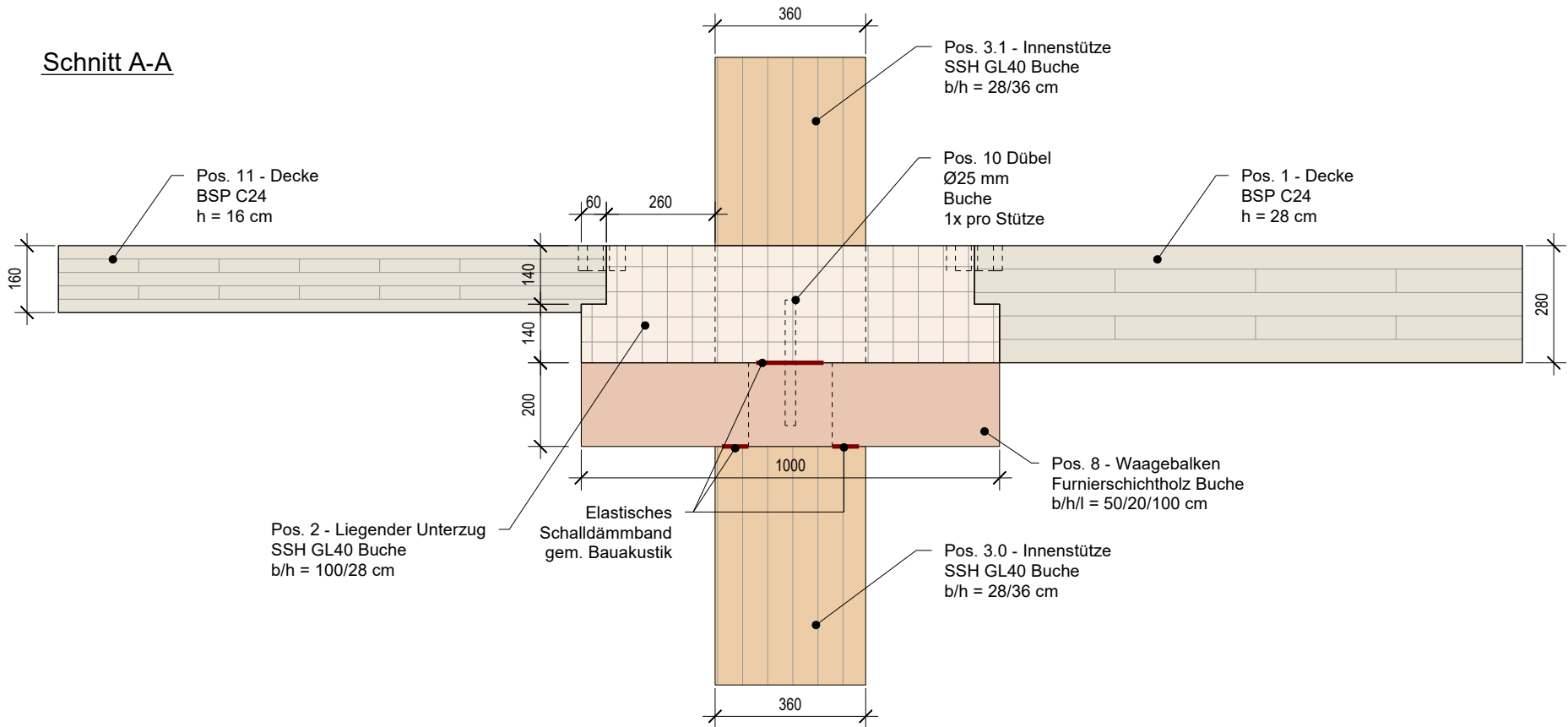
Draufsicht



Schnitt B-B



Schnitt A-A



	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante
	Brettspertholz
	Brettspertholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche
	Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche
	Stabschichtholz Buche Geschnitten
	Stahlbeton
	Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

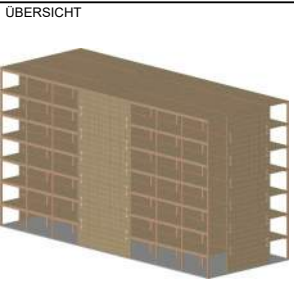
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

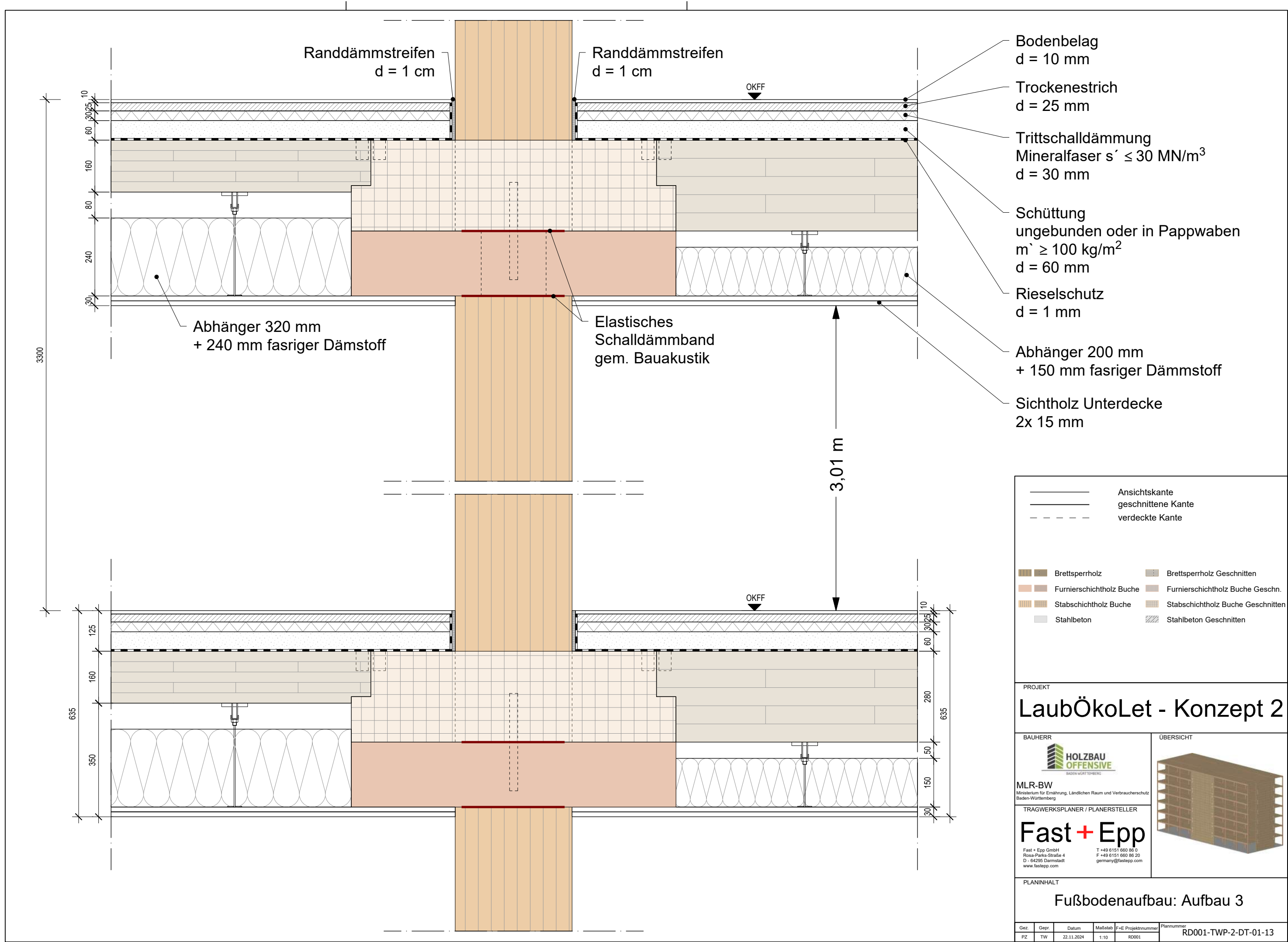
Fast + Epp

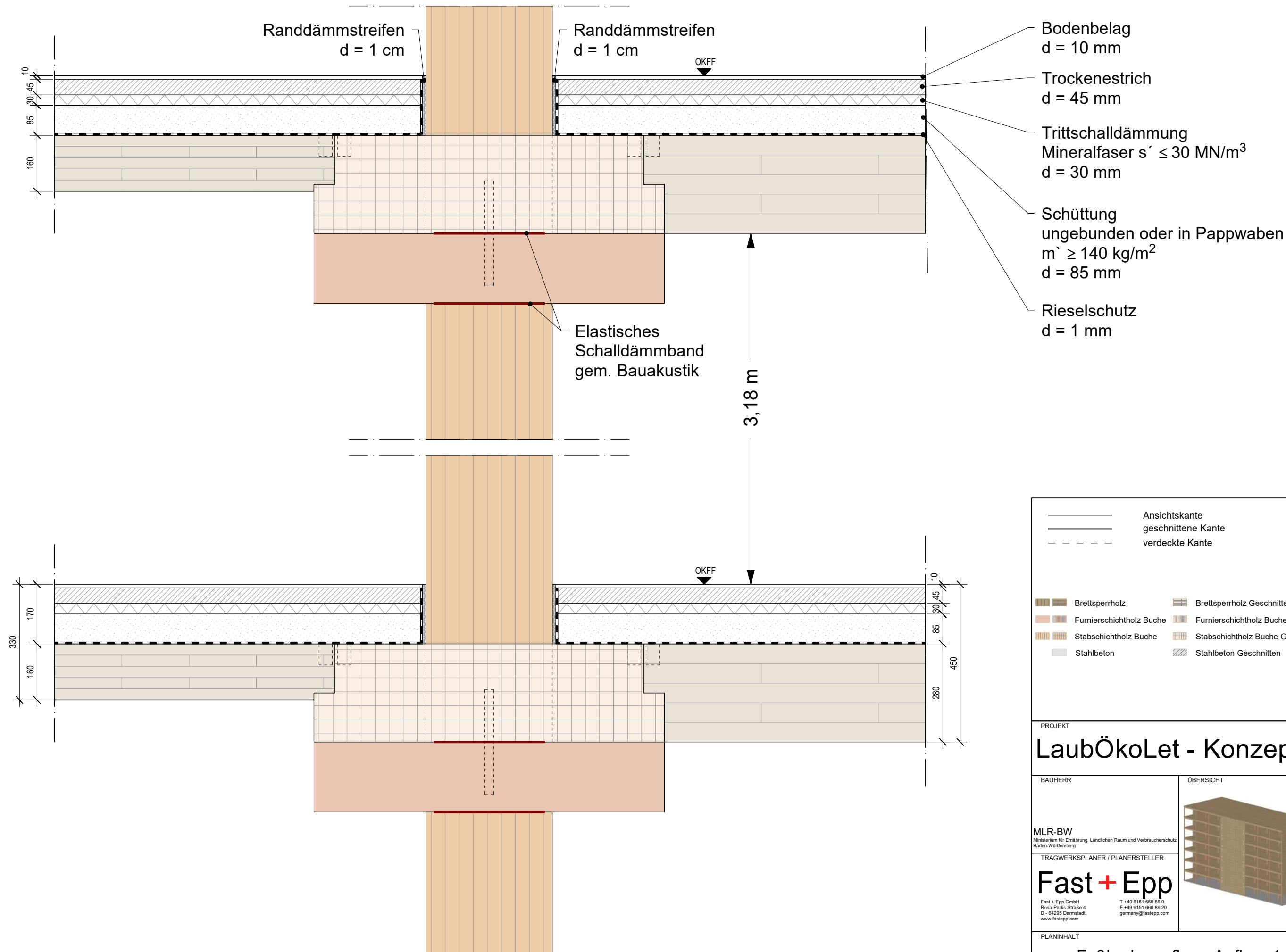
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT						Decken
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer	
PZ.	TW	22.11.2024	1:15	RD001		RD001-TWP-2-DT-01-13





Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettsper Holz

Furnierschichholz Buche

Stabschichholz Buche

Stahlbeton

Brettsper Holz Geschnitten

Furnierschichholz Buche Geschn.

Stabschichholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

ÜBERSICHT

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

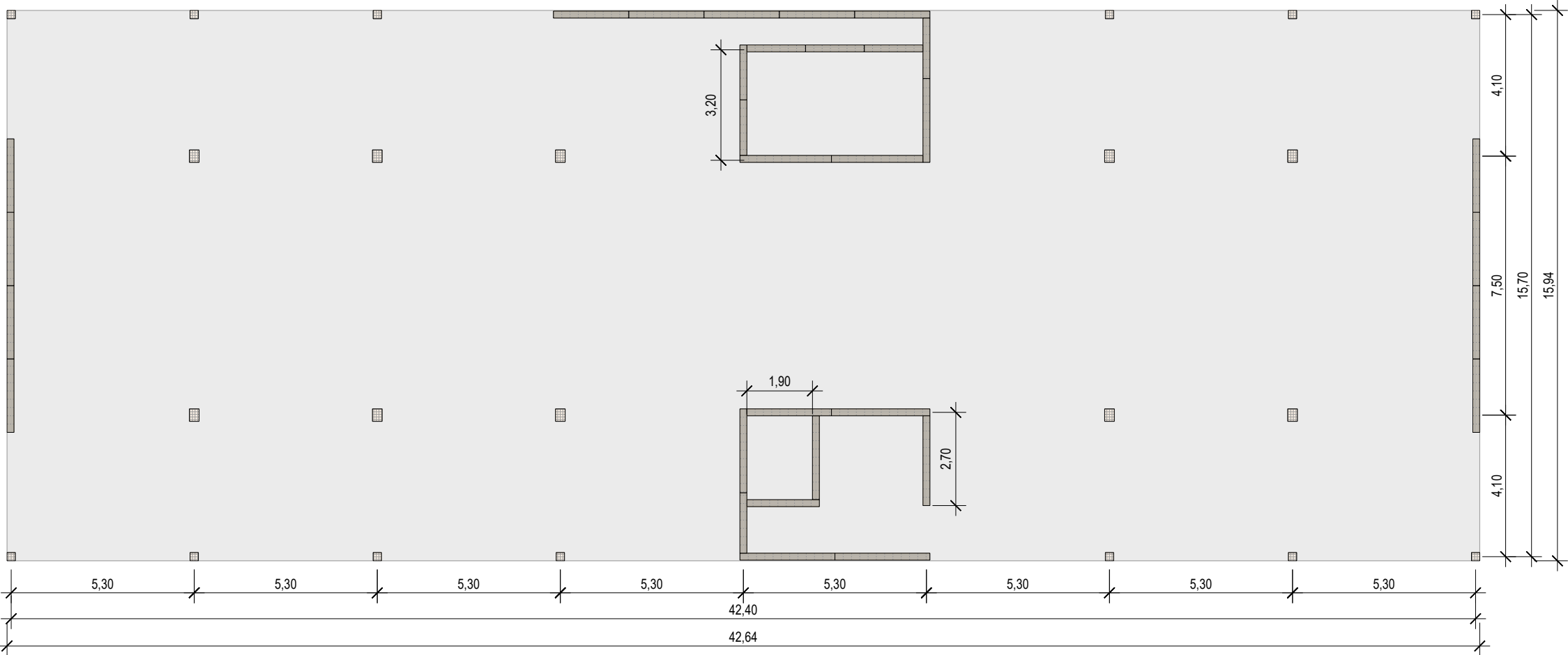
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fast+epp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fast+epp.com

PLANINHALT

Fußbodenaufbau: Aufbau 1

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	22.11.2024	1:10	RD001	RD001-TWP-2-DT-01-14



	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante
	Brettsperrholz
	Brettsperrholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche
	Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche
	Stabschichtholz Buche Geschnitten
	Stahlbeton
	Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

HOLZBAU OFFENSIVE
BADEN WÜRTTEMBERG

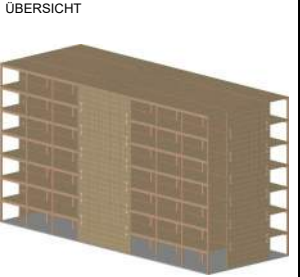
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

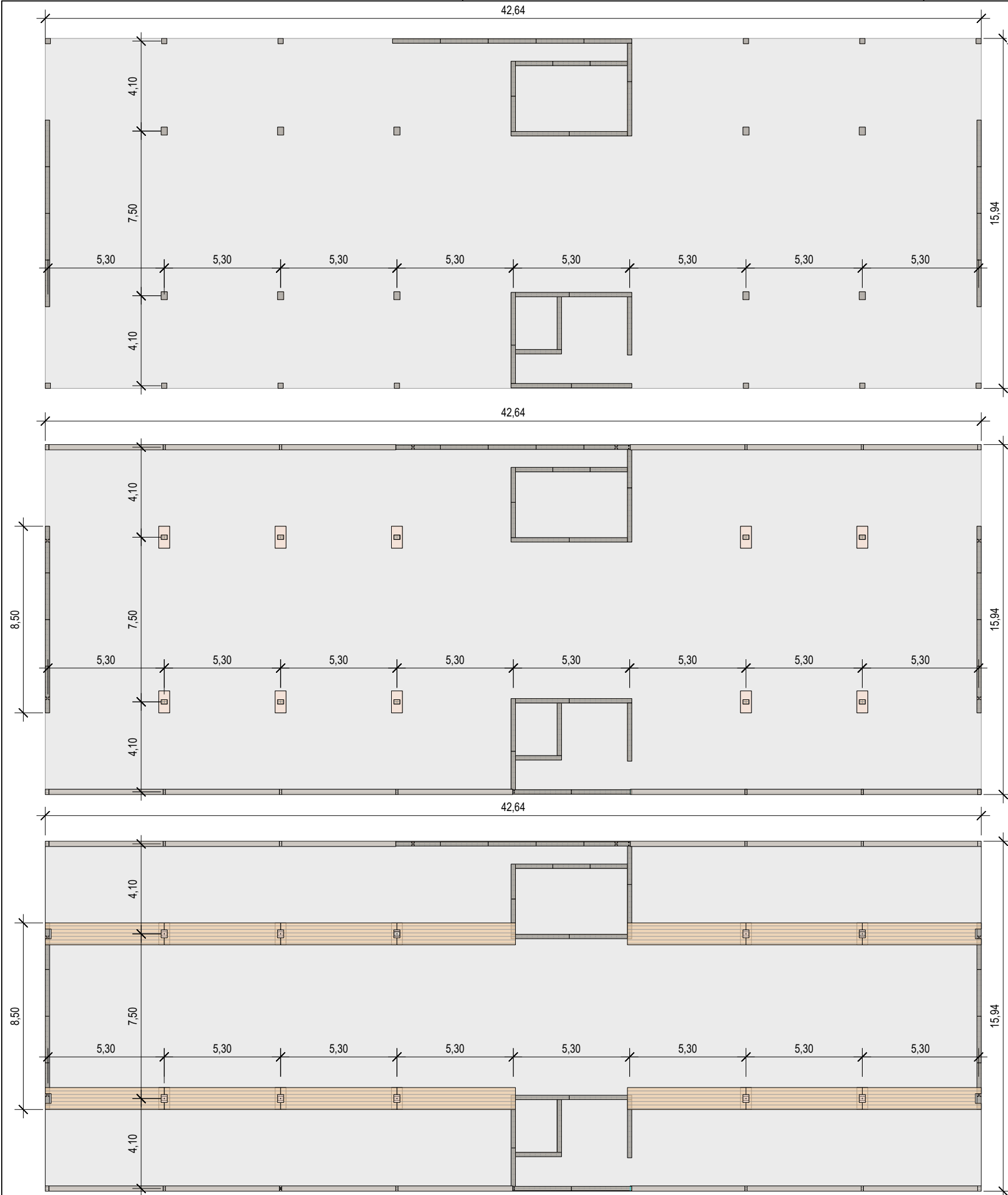
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT

Grundrissvariation: Standard

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:150	RD001	RD001-TWP-2-GR-01-01

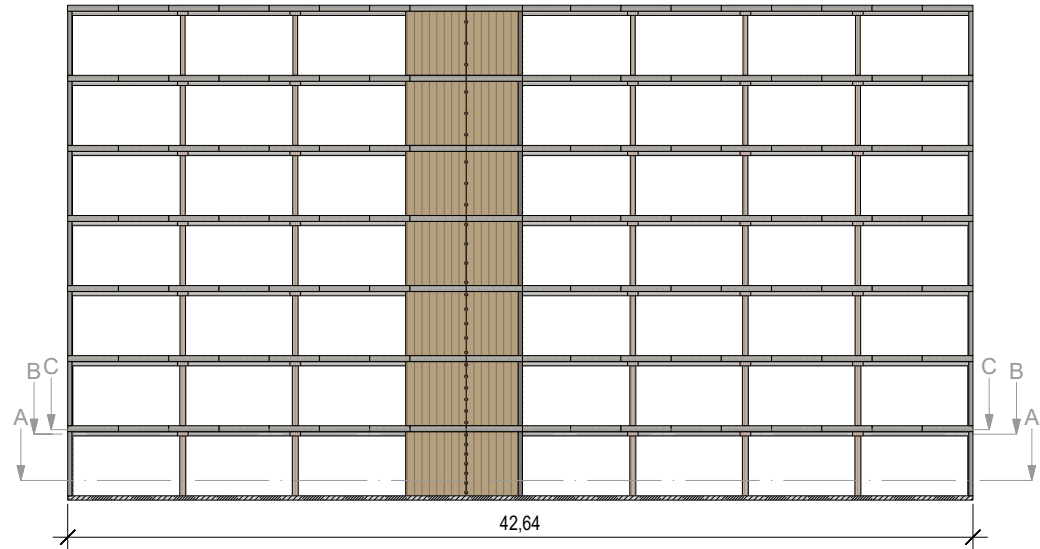


Schnitt A-A

Schnitt B-B
Waagebalken

Schnitt B-B
Liegender Unterzug

Ansicht Süd



	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante

	Brettspertholz		Brettspertholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche		Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche		Stabschichtholz Buche Geschnitten
	Stahlbeton		Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

ÜBERSICHT

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

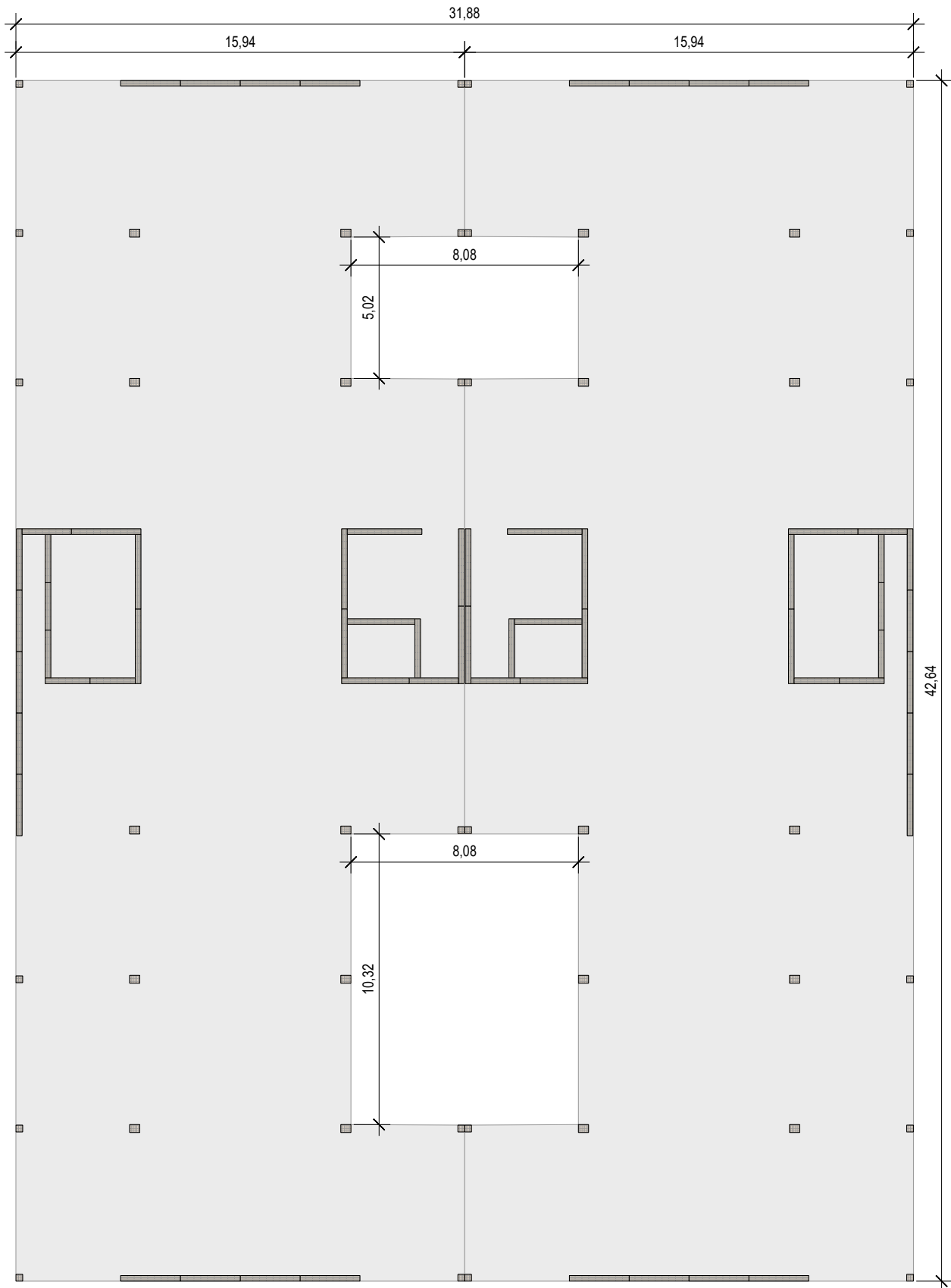
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT

Horizontalschnitte

Gez.	Gedr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ.	TW	29.10.2024	1:200	RD001	RD001-TWP-2-GR-01-02



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettspertholz

Furnierschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche

Stahlbeton

Brettspertholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

HOLZBAU
OFFENSIVE

Baden-Württemberg

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

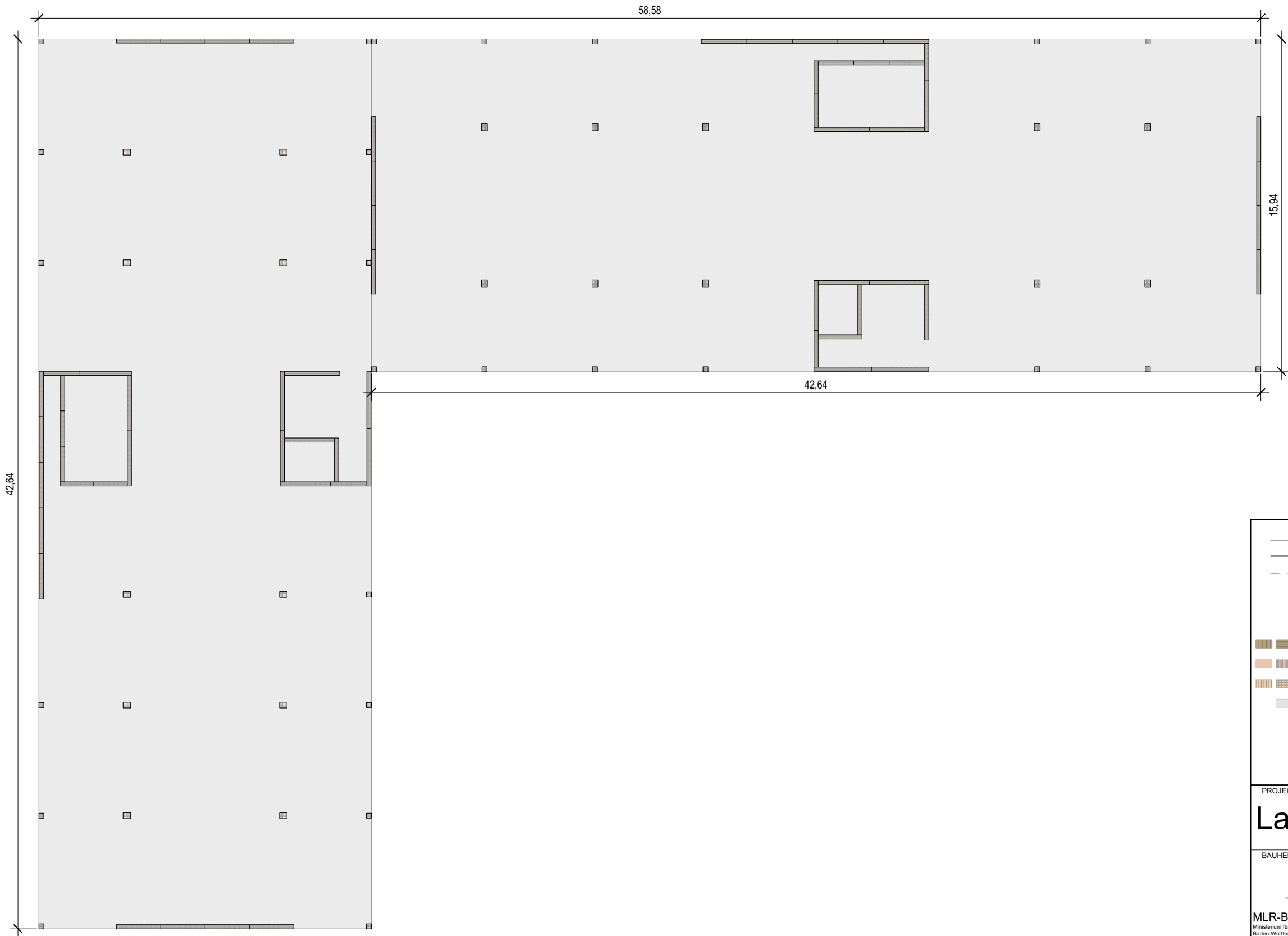
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT

Grundrissvariation: Lichthof

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	29.10.2024	1:200	RD001	RD001-TWP-2-GR-01-03



Ansichtskante

geschnittene Kante

verdeckte Kante

Brettsperrholz

Brettsperrholz Geschnitten

Furnierschichtholz Buche

Furnierschichtholz Buche Geschn.

Stabschichtholz Buche

Stabschichtholz Buche Geschnitten

Stahlbeton

Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

HOLZBAU
OFFENSIVE

BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

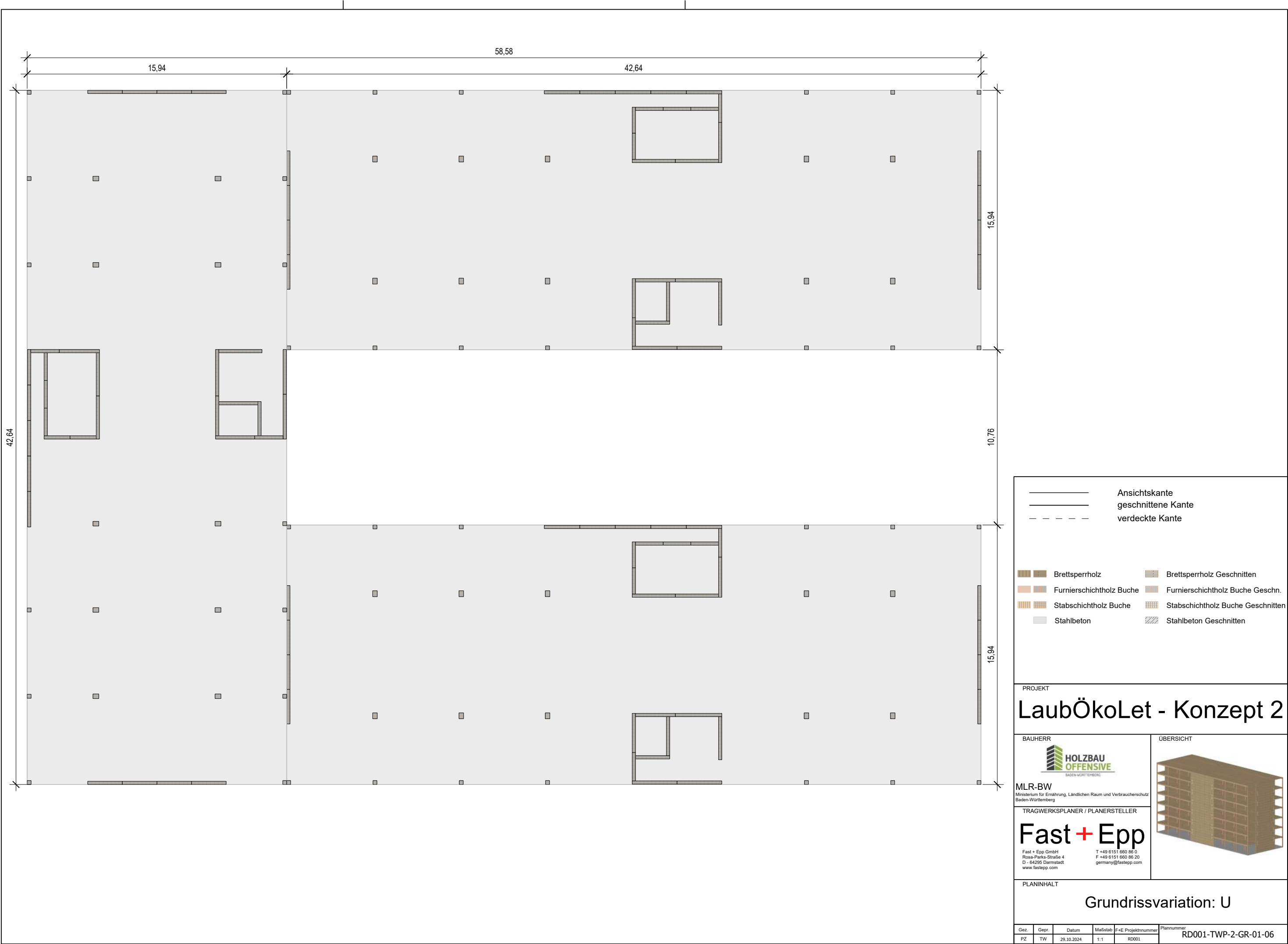
Fast + Epp

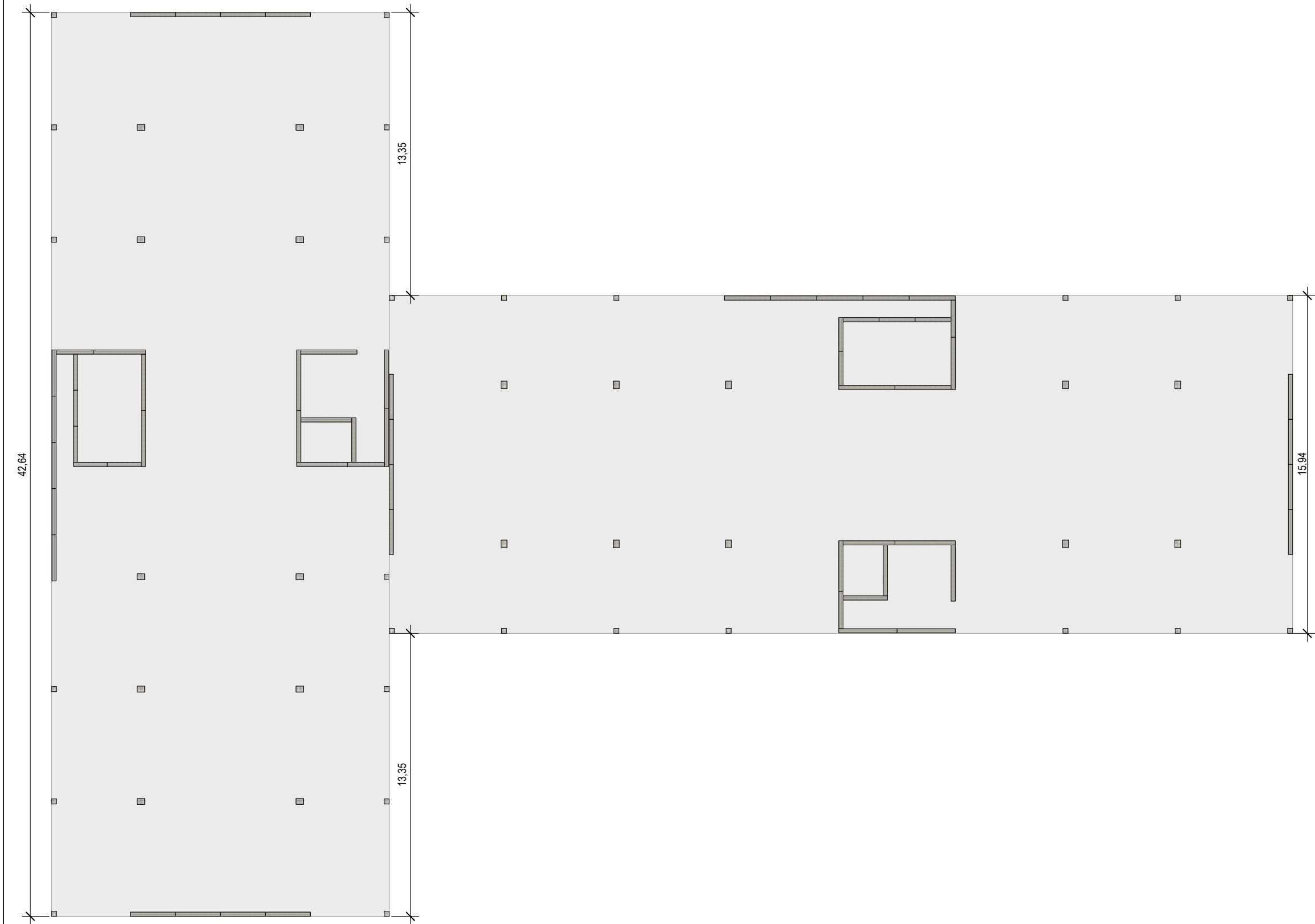
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

ÜBERSICHT

PLANINHALT						Grundrisvariation: L
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer	
PZ	TW	29.10.2024	1:200	RD001		RD001-TWP-2-GR-01-04





	Ansichtskante
	geschnittene Kante
	verdeckte Kante
	Brettsperrholz
	Brettsperrholz Geschnitten
	Furnierschichtholz Buche
	Furnierschichtholz Buche Geschn.
	Stabschichtholz Buche
	Stabschichtholz Buche Geschnitten
	Stahlbeton
	Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

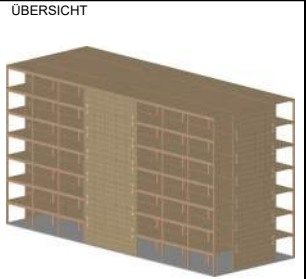
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

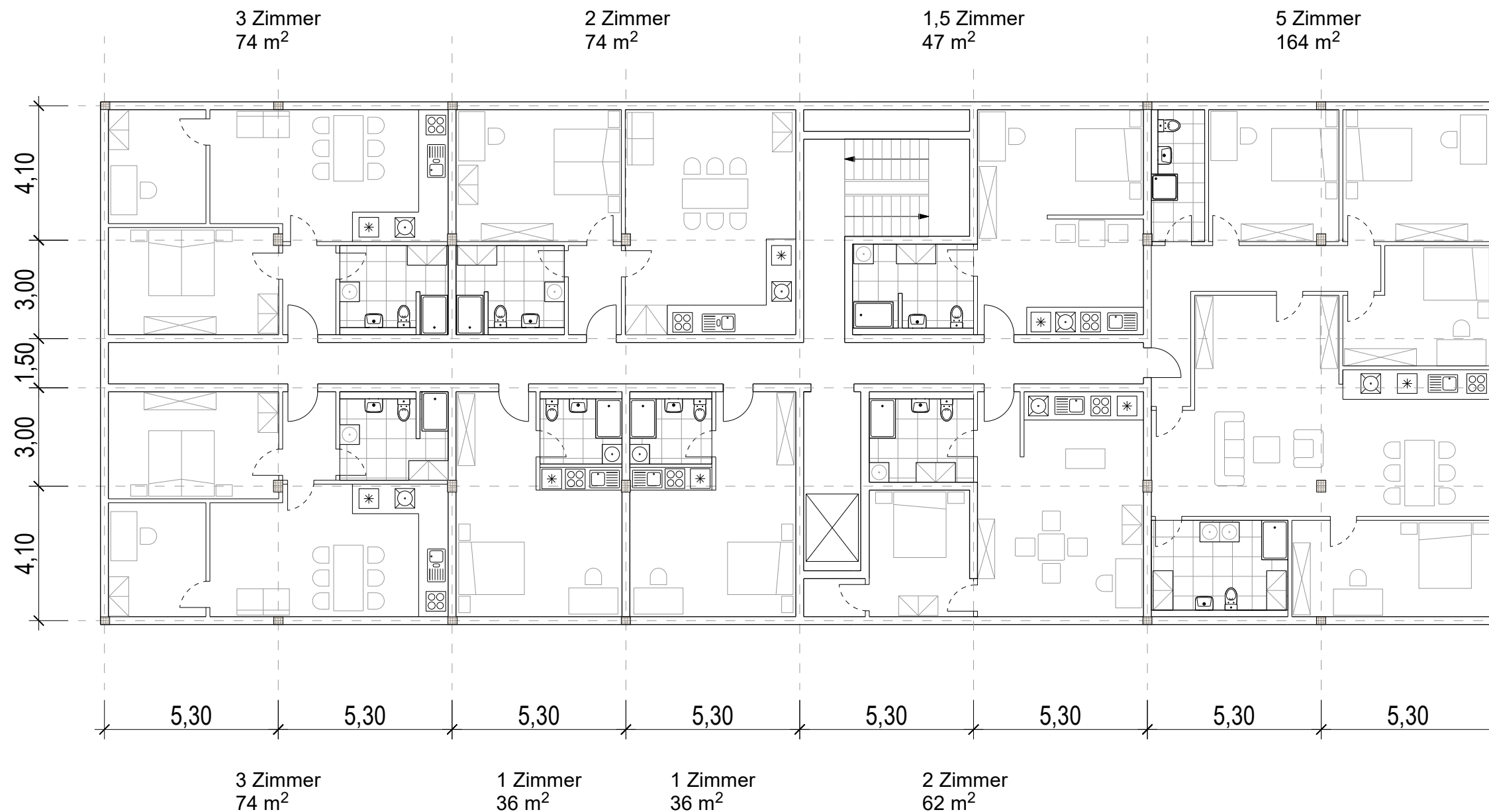
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT

Grundrissvariation: T

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	29.10.2024	1:200	RD001	RD001-TWP-2-GR-01-05



PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR



HOLZBAU
OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

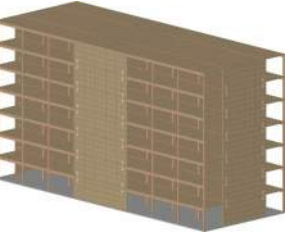
TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

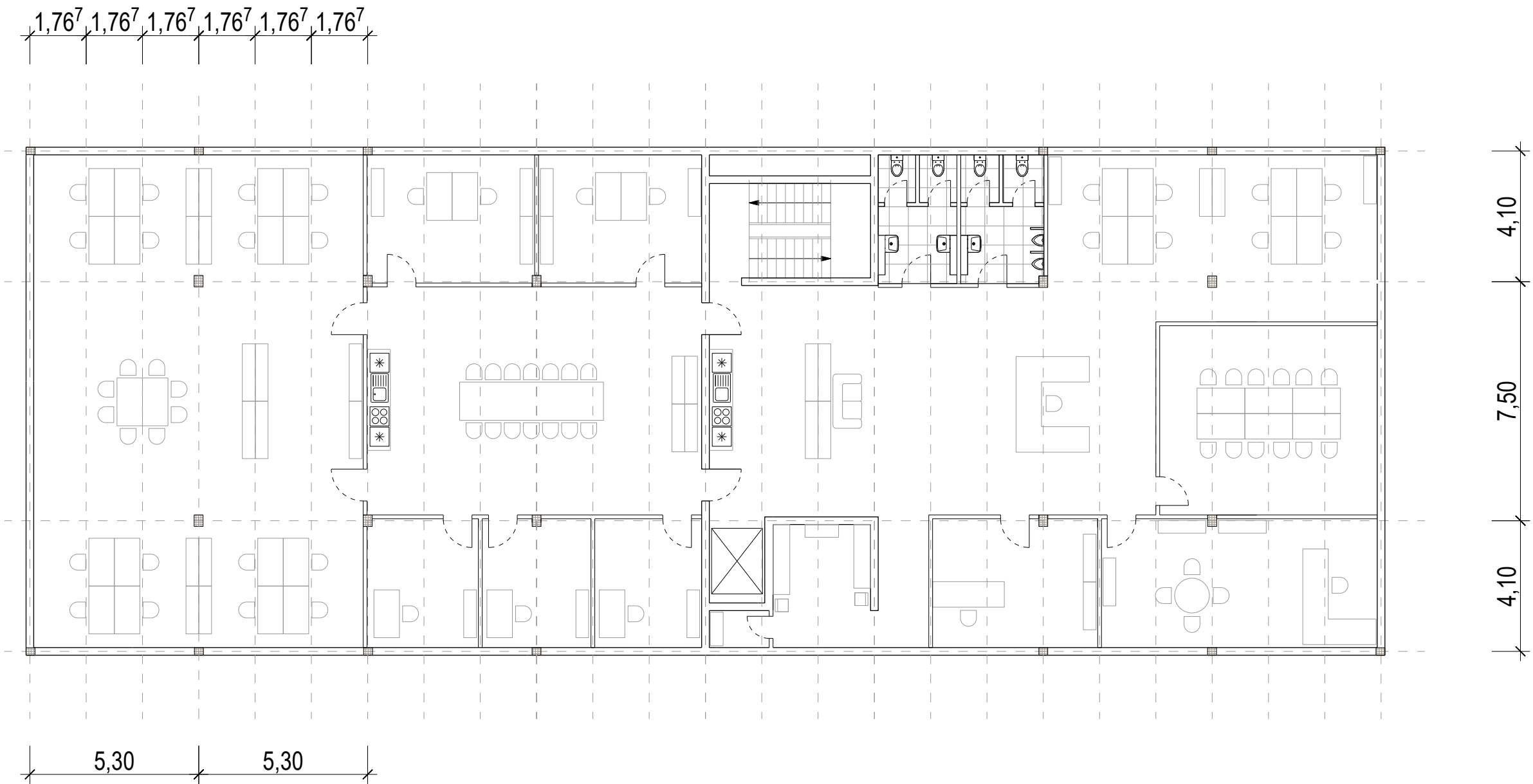
ÜBERSICHT



PLANINHALT

Grundrissvariation: Wohnnutzung

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	20.11.2024	1:150	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-07



PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

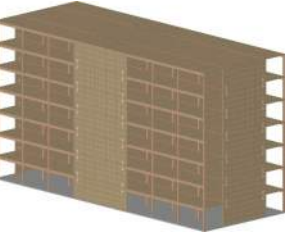


HOLZBAU
OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG

MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

ÜBERSICHT



TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT

Grundrissvariation: Büronutzung

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	20.11.2024	1:150	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-08



PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR



MLR-BW

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

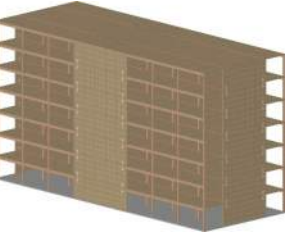
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

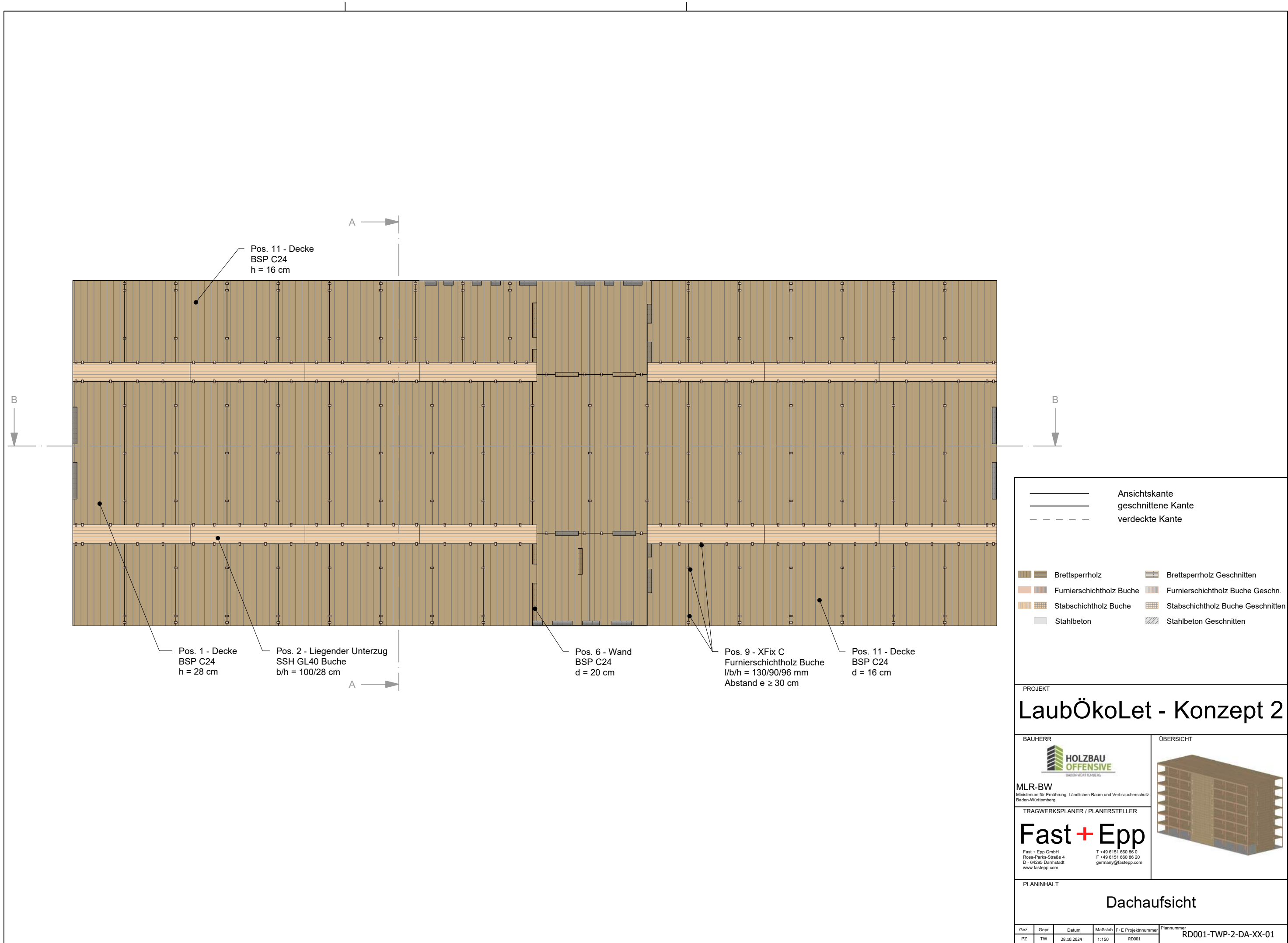
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

PLANINHALT

Grundrissvariation: Garage

Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	20.11.2024	1:150	RD001	RD001-TWP-1-GR-01-09





- Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante
- Brettsperrholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Stahlbeton
- Brettsperrholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten
Stahlbeton Geschnitten

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR

**HOLZBAU
OFFENSIVE**
BADEN-WÜRTTEMBERG

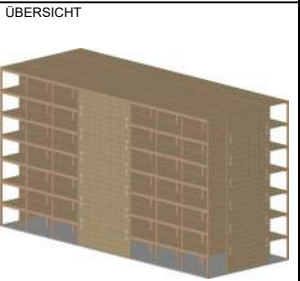
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLANER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

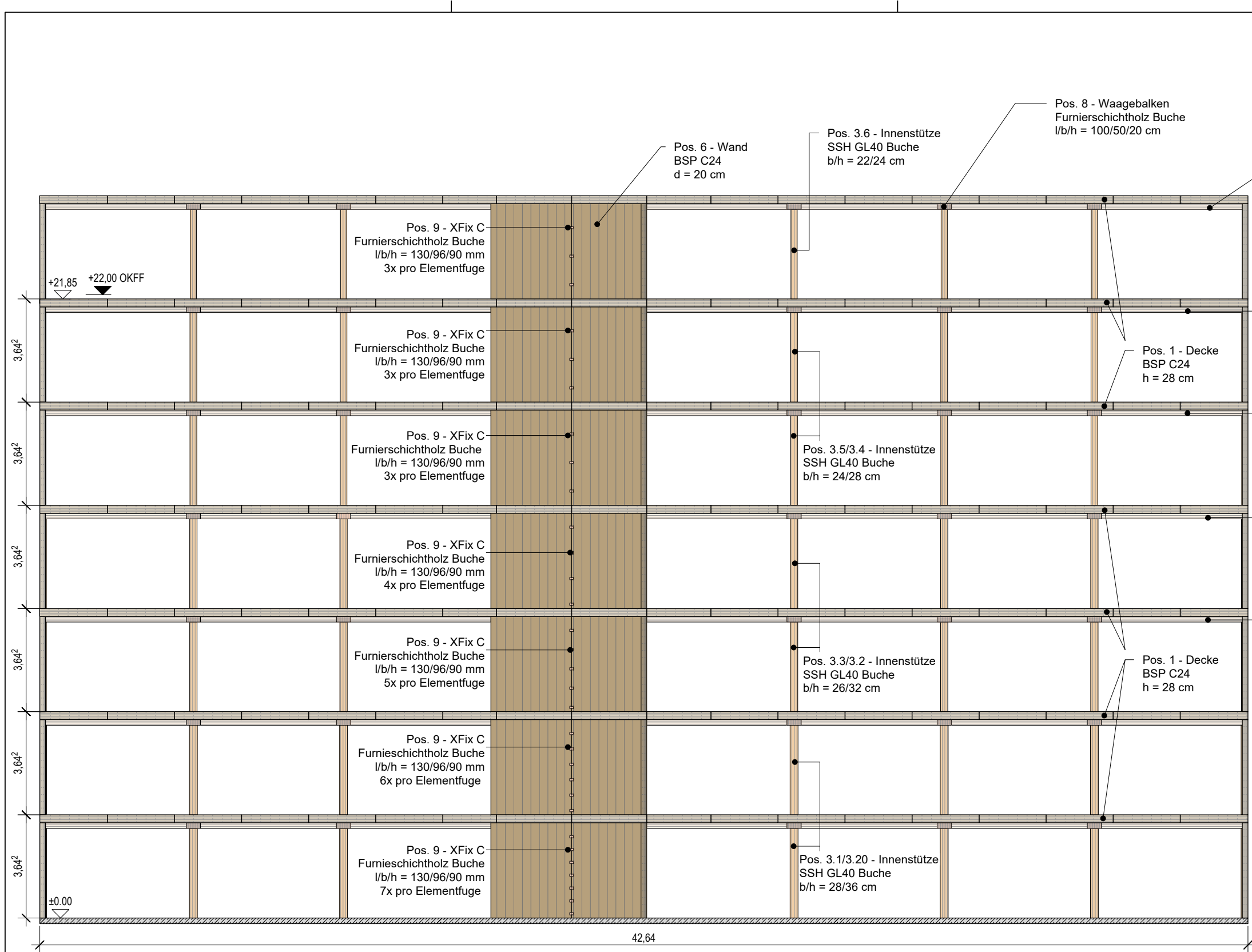
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT

Dachaufsicht					
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:150	RD001	RD001-TWP-2-DA-XX-01





Pos. 13 - Rand-Unterzug
SSH GL40 Buche
b/h = 24/32 cm

Pos. 8 - Waagebalken
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 100/50/20 cm

Pos. 3.6 - Innenstütze
SSH GL40 Buche
b/h = 22/24 cm

Pos. 6 - Wand
BSP C24
d = 20 cm

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
3x pro Elementfuge

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
3x pro Elementfuge

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
3x pro Elementfuge

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
4x pro Elementfuge

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
5x pro Elementfuge

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
6x pro Elementfuge

Pos. 9 - XFix C
Furnierschichtholz Buche
l/b/h = 130/96/90 mm
7x pro Elementfuge

Pos. 3.5/3.4 - Innenstütze
SSH GL40 Buche
b/h = 24/28 cm

Pos. 3.3/3.2 - Innenstütze
SSH GL40 Buche
b/h = 26/32 cm

Pos. 3.1/3.20 - Innenstütze
SSH GL40 Buche
b/h = 28/36 cm

Pos. 1 - Decke
BSP C24
h = 28 cm

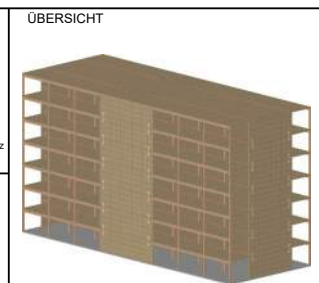
Pos. 1 - Decke
BSP C24
h = 28 cm

Ansichtskante
geschnittene Kante
verdeckte Kante

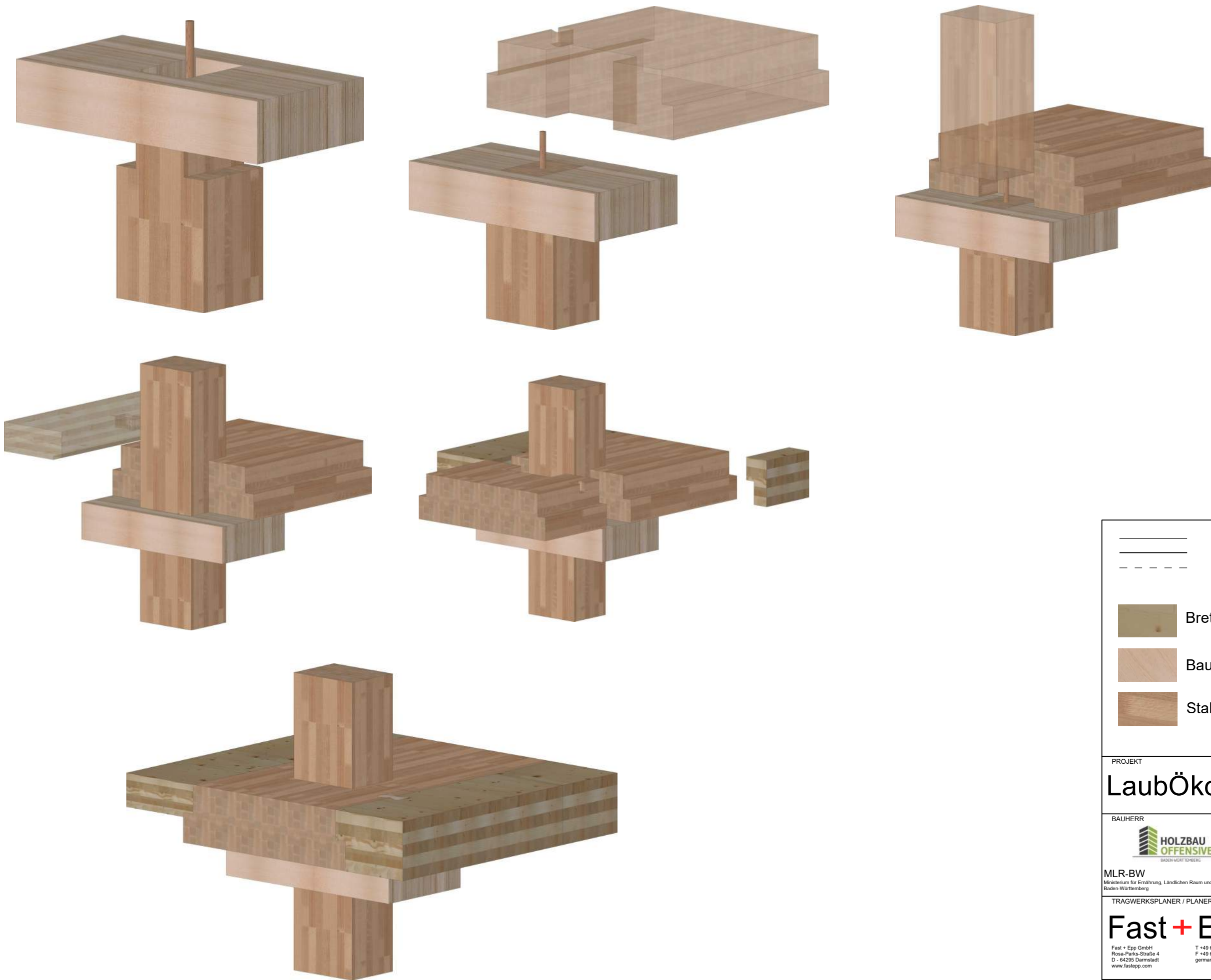
Brettspertholz
Furnierschichtholz Buche
Stabschichtholz Buche
Stahlbeton
Brettspertholz Geschnitten
Furnierschichtholz Buche Geschn.
Stabschichtholz Buche Geschnitten
Stahlbeton Geschnitten

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR
HOLZBAU OFFENSIVE
BADEN-WÜRTTEMBERG
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg
TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER
Fast + Epp
Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com
T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com



PLANINHALT					
Schnitt B-B					
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:150	RD001	RD001-TWP-2-SC-XX-02



———— Ansichtskante
———— geschnittene Kante
- - - - - verdeckte Kante

-  Brettsperrholz
-  BauBuche GL75
-  Stabschichtholz Buche

PROJEKT

LaubÖkoLet - Konzept 2

BAUHERR



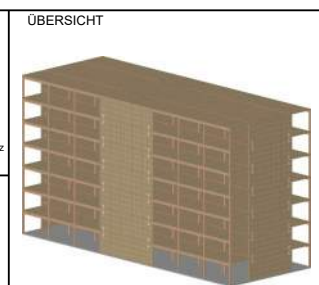
MLR-BW
Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Baden-Württemberg

TRAGWERKSPLÄNER / PLANERSTELLER

Fast + Epp

Fast + Epp GmbH
Rosa-Parks-Straße 4
D - 64295 Darmstadt
www.fastepp.com

T +49 6151 660 86 0
F +49 6151 660 86 20
germany@fastepp.com

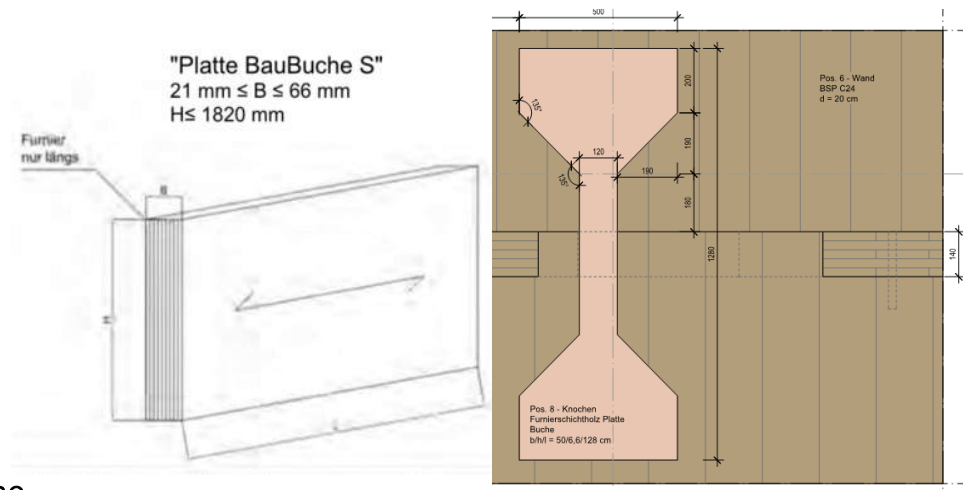


PLANINHALT					
Montageanweisung Waagebalken					
Gez.	Gepr.	Datum	Maßstab	F+E Projektnummer	Plannummer
PZ	TW	28.10.2024	1:~	RD001	RD001-TWP-2-MA-XX-01

A 3 Statische Bemessungen

Nachweis Zug BauBuche aus Zuganschluss "Knochen" Wand-Wand

Platte BauBuche gewählt:



Zugnachweis BauBuche

Einwirkungen

$F_{t,d}$ 647,0 kN

Geometrie

b_{Steg}	0,12 m	Breite Steg Knochen
n	2 Stk.	Anzahl "Knochen" (Platten)
d_{Knochen}	0,06 m	Dicke Knochen
d_{Auflager}	0,12 m	Dicke Kontaktfläche ($n \cdot d_{\text{Knochen}}$)

Zug im Holz

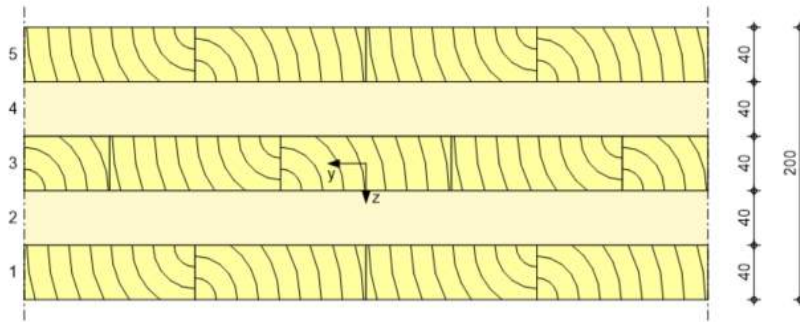
$f_{t,0,k}$	6,0 kN/cm ²	Zulassung Pollmeier Platte BauBuche S
$k_{\text{mod,Wind}}$	1,0 -	
γ_M	1,3 -	
$f_{t,0,d,Wind}$	4,62 kN/cm ²	$f_d = f_k \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_M$
$A_{\text{erf,Wind}}$	141 cm ²	$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$
A_{vorh}	144 cm ²	$A_{\text{vorh}} = d_{\text{Auflager}} \cdot b_{\text{Steg}}$

Nachweis

$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$ 0,98 Nachweis erfüllt

Nachweis Längsdruck BSP aus Zuganschluss "Knochen" Wand-Wand

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$F_{t,d}$ 647,0 kN

Geometrie

α	45 °	Winkel Strebe
b_{Strebe}	0,38 m	Breite Strebe
$b_{\text{Oberkante}}$	0,50 m	Breite Kontaktfläche
d_{Auflager}	0,08 m	Dicke Kontaktfläche (nur äußere vertikale Lamellen)
A_{strebe}	429,92 cm ²	$A_{\text{Strebe}} = d_{\text{Auflager}} * b_{\text{Strebe}} / \cos(\alpha)$
$A_{\text{oberkante}}$	400,00 cm ²	$A_{\text{Oberkante}} = d_{\text{Auflager}} * b_{\text{Oberkante}}$

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{\text{mod,Wind}}$	1,0 -	
γ_M	1,3 -	
$f_{c,0,d,Wind}$	1,85 kN/cm ²	
$A_{\text{erf,Wind}}$	351 cm ²	$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$
A_{vorh}	400,00 cm ²	$A_{\text{vorh}} = \min. (A_{\text{Strebe}} ; A_{\text{oberkante}})$

Nachweis

$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$ 0,88 Nachweis erfüllt

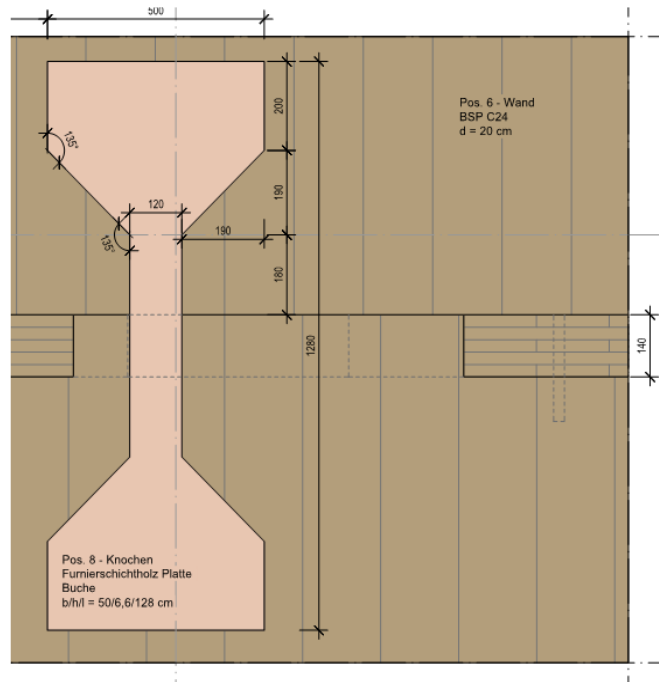
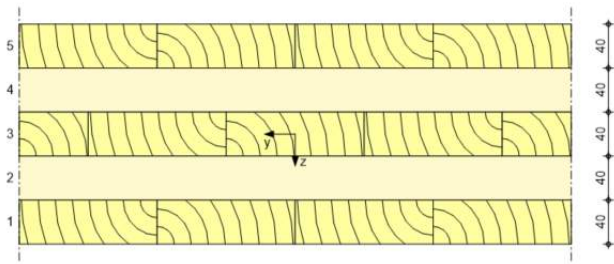
Hinweis: Es wurden nur die äußeren vertikalen Lagen im Nachweis angesetzt.

Konstruktive Querdruckverstärkung

keine

Nachweis Rollschub BSP-Wand aus Zuganschluss "Knochen" Wand-Wand

Querschnitt Wand gewählt:



Rollschubnachweis BSP

Einwirkungen

$F_{t,d}$ 647,0 kN

Geometrie

$b_{\text{Schubfläche}}$	0,19 m	Breite Schubfläche
$n_{\text{Schubflächen}}$	2 Stk.	Anzahl Schubflächen pro Knochen
$h_{\text{Schubfläche}}$	0,18 m	Höhe Schubfläche
$A_{\text{Rollschub}}$	684 cm ²	$A_{\text{Strebe}} = h_{\text{Schub}} \cdot b_{\text{Schub}} \cdot n_{\text{Schub}}$
n_{Knochen}	2 Stk.	Anzahl Knochen pro Wandende

Rollschub

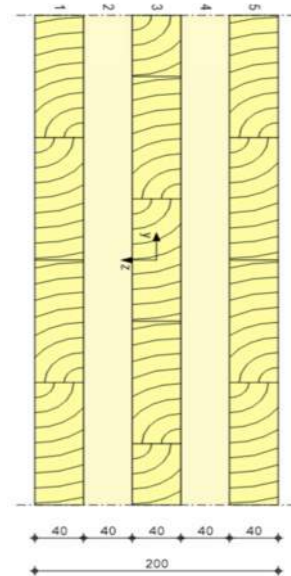
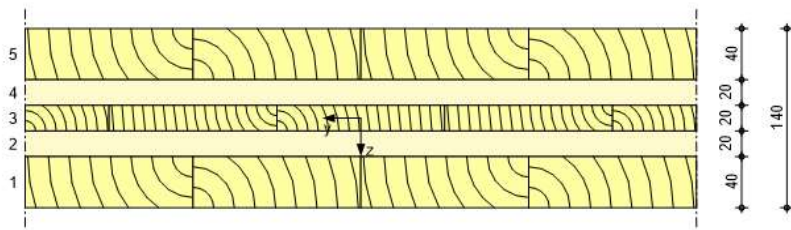
$f_{r,k}$	1,0 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{\text{mod,Wind}}$	1,0 -	
γ_M	1,3 -	
$f_{r,d,Wind}$	0,77 kN/cm ²	
$A_{\text{erf,Wind}}$	842 cm ²	$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$
A_{vorh}	1368 cm ²	$A_{\text{vorh}} = A_{\text{Rollschub}} \cdot n_{\text{Knochen}}$

Nachweis

$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$ 0,62 Nachweis erfüllt

Nachweis für Verzahnung Decke mit Wand

Querschnitt Decke und Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$V_{d,Wind}$ 174,2 kN

Geometrie

$h_{Auflager}$	0,04 m	Höhe Kontaktfläche (nur horiz. Lamellen Decke)
$b_{Auflager}$	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen Wand)
n	4 Stk.	Anzahl Verzahnungen

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{mod,Wind}$	1 -	
γ_M	1,5 -	
$f_{c,0,d,Wind}$	1,60 kN/cm ²	$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
$A_{erf,Wind}$	109 cm ²	$A_{erf} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	128 cm ²	$A_{vorh} = h_{Auflager} * b_{Auflager}$

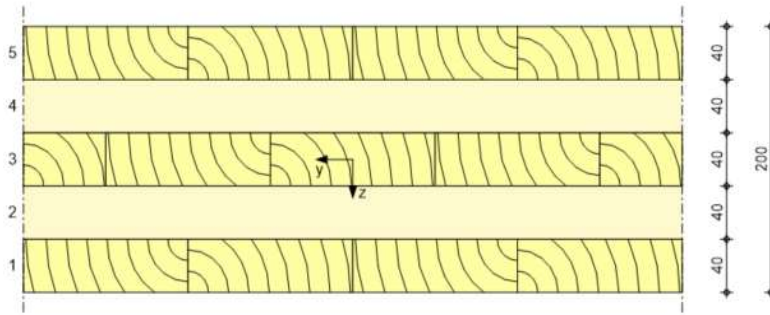
Nachweis

$A_{erf,max} / A_{vorh} \leq 1$ 0,85 Nachweis erfüllt

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Zug-Verankerung Deckenscheibe an Wände:

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$M_{k,Wind}$	=AUS_D-01-X	202 kNm
h_s		3,60 m
$N_{k,Wind}$	= M / h	56,1 kN
$N_{d,Wind}$	= $1,5 * N_k$	84,2 kN

Geometrie

$h_{Auflager}$	0,14 m	Höhe Kontaktfläche (Höhe Decke)
$b_{Auflager}$	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen War)

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{mod,außergewöhnlich}$	1 -	
γ_M	1,5 -	
$f_{c,0,d,außergewöhnlich}$	1,60 kN/cm ²	$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
$A_{erf,außergewöhnlich}$	53 cm ²	$A_{erf} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	112 cm ²	$A_{vorh} = h_{Auflager} * b_{Auflager}$

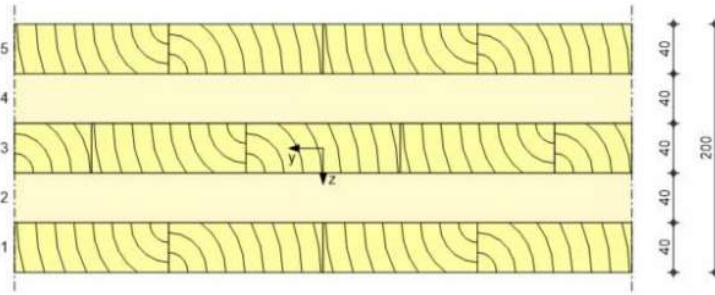
Nachweis

$$A_{erf,max} / A_{vorh} \leq 1 \quad 0,47 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Nachweis für Verzahnung Wand mit Wand

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$F_{x,d,Wind}$ 448,2 kN

Geometrie

$h_{Auflager}$	0,14 m	Höhe Kontaktfläche
$b_{Auflager}$	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen)
l	8,4 m	Wandlänge
$n_{Verzahnung}$	3 Stk.	Anzahl der Verzahnungen

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{mod,Wind}$	1 -	
γ_M	1,3 -	
$f_{c,0,d,Wind}$	1,85 kN/cm ²	$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
$A_{erf,Wind}$	81 cm ²	$A_{erf} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	112 cm ²	$A_{vorh} = h_{Auflager} * b_{Auflager}$

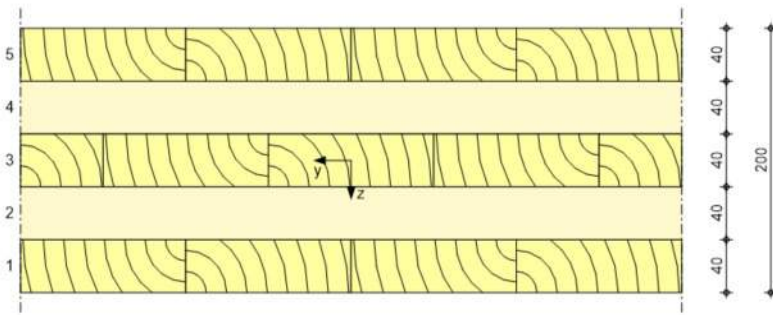
Nachweis

$A_{erf,max} / A_{vorh} \leq 1$ 0,72 Nachweis erfüllt

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Nachweis für Verzahnung Wand mit Bodenplatte

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$F_{x,d,Wind}$ 523,0 kN

Geometrie

$h_{Auflager}$	0,14 m	Höhe Kontaktfläche
$b_{Auflager}$	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen Wand)
l	8,4 m	Wandlänge
$n_{Verzahnung}$	3 Stk.	Anzahl der Verzahnungen

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{mod,Wind}$	1,0 -	
γ_M	1,3 -	
$f_{c,0,d,Wind}$	1,85 kN/cm ²	$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
$A_{erf,Wind}$	95 cm ²	$A_{erf} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	112 cm ²	$A_{vorh} = h_{Auflager} * b_{Auflager}$

Nachweis

$A_{erf,max} / A_{vorh} \leq 1$ 0,85 Nachweis erfüllt

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Konstruktive Querdruckverstärkung

keine

1 Basisobjekte

1.1 MODELL

Farben der gerenderten Objekte

Knoten | Anzeigeeigenschaften

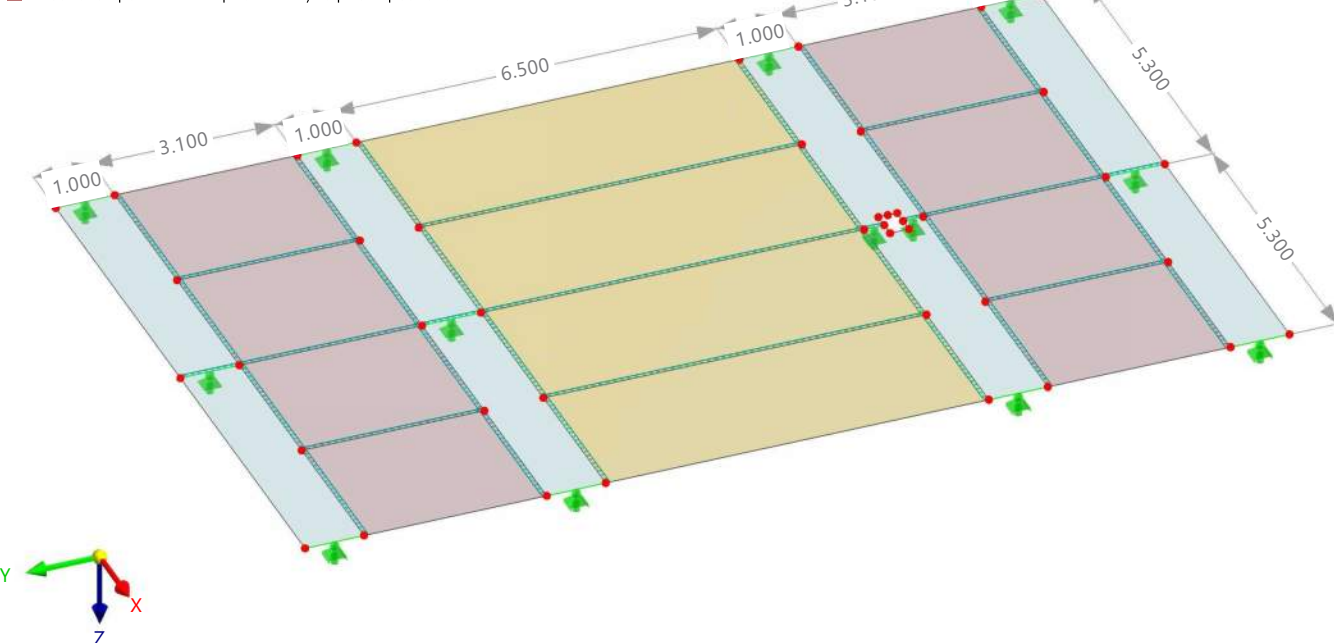
Linie | Anzeigeeigenschaften

Fläche | Dicke

1 - Konstant | d : 280.0 mm | 8 - GL40h Buche | hochkant | NKL 1

2 - Schichten | d : 280.0 mm | Derix L-280/7s | Derix | Schichten: 7

3 - Schichten | d : 160.0 mm | Derix L-160/5s | Derix | Schichten: 5



In axonometrischer Richtung

Abmessungen [m]

1.2

MATERIALIEN

Legende

Benutzerdefiniertes Material

Generiert

Steffigkeitsmodifizierung

Material Nr.	Name des Materials	Material-Typ	Analyse Modell	Optionen
8	GL40h Buche hochkant NKL 1	Holz	Orthotrop Holz Linear elastisch (Flächen)	
9	Derix C24 Orthotrop Linear elastisch (Flächen)	Holz	Orthotrop Linear elastisch (Flächen)	

1.3

DICKEN

Legende

Steffigkeitsreduzierung

Dicke Nr.	Typ	Zugewiesen an Fläche Nr.	Material	Symbol	Wert	Einheit	Knoten	Richtung	Optionen
1	Konstant d : 280.0 mm 8 - GL40h Buche hochkant NKL 1	1-3,6,18-21	8	d	280.0	mm			
2	Schichten d : 280.0 mm Derix L-280/7s Derix Schichten: 7	5,9,14,15							
3	Schichten d : 160.0 mm Derix L-160/5s Derix Schichten: 5	4,7,8,10,12,13,16,17							

1.3.1

DICKEN - SCHICHTEN

Dicke Nr.	Schicht Nr.	Objekt	Material	Dicke t [mm]	Drehung β [°]	Anzahl der Int.-Punkte	Spez. G. g [kN/m³]	Gewicht g [kN/m²]
2	1	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	2	Aus Bibliothek	9	40.0	90.00	9	4.20	0.17
	3	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	4	Aus Bibliothek	9	40.0	90.00	9	4.20	0.17
	5	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	6	Aus Bibliothek	9	40.0	90.00	9	4.20	0.17
	7	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17

1.3.1

DICKEN - SCHICHTEN

Dicke Nr.	Schicht Nr.	Objekt	Material	Dicke t [mm]	Drehung β [°]	Anzahl der Int.-Punkte	Spez. G. g_i [kN/m³]	Gewicht g [kN/m²]
3	1	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	2	Aus Bibliothek	9	20.0	90.00	9	4.20	0.08
	3	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	4	Aus Bibliothek	9	20.0	90.00	9	4.20	0.08
	5	Aus Bibliothek	9	40.0	0.00	9	4.20	0.17

1.3.2

DICKEN - STEIFIGKEITSABMINDERUNG

Dicke Nr.	Symbol	Wert	Einheit	Steifigkeitsabminderungsbeiwerte	Anmerkungen
2	k ₃₃	0.64	--		
	k ₄₄	1.00	--		
	k ₅₅	1.00	--		
	k ₈₈	0.69	--		
3	k ₃₃	0.61	--		
	k ₄₄	1.00	--		
	k ₅₅	1.00	--		
	k ₈₈	0.69	--		

1.3.3

DICKEN - OPTIONEN FÜR BRETTSPERRHOLZ

Dicke Nr.	Name	Symbol	Wert	Einheit
2	Bemessung bei Versagen des Nettoquerschnitts und Versagen der geklebten Kontaktfläche ist aktiviert.		☒	
	Brettbreite	b _x	170.0	mm
	Brettbreite	b _y	170.0	mm
	Brettbreite inklusive Fuge aktivieren		☐	
3	Bemessung bei Versagen des Nettoquerschnitts und Versagen der geklebten Kontaktfläche ist aktiviert.		☒	
	Brettbreite	b _x	170.0	mm
	Brettbreite	b _y	170.0	mm
	Brettbreite inklusive Fuge aktivieren		☐	

2 Typen für Holzbemessung

2.1

NUTZUNGSKLASSEN

Klasse Nr.	Stäbe	Stabsätze	Flächen	Flächensätze	Nutzungsklasse Typ	Kommentar
1	Nutzungsklasse 1 (Flächen : 1-10,12-21)			1-10,12-21	1 - Trocken	

3 Lastfälle und Kombinationen

3.1

LASTFÄLLE

LF Nr.	Einstell.	Wert	Einheit	Zu ber.
1	Eigengewicht			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Statikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Ständig		
	Eigengewicht - Faktor in Richtung X	0.000	--	
	Eigengewicht - Faktor in Richtung Y	0.000	--	
	Eigengewicht - Faktor in Richtung Z	1.000	--	
	Lasteinwirkungsdauer	Ständig		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		
2	Nutzlast 1			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Statikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Nutzlasten - Kategorie A: Wohn-/Aufenthaltsräume		
	Lasteinwirkungsdauer	Mittel		

3.1 LASTFÄLLE

LF Nr.	Einstell.	Wert	Einheit	Zu ber.
	Faktor Phi Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Dächer Normal		
3	AE Eigenformen			
	Analysetyp	Modalanalyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Modalanalyse-Einstellungen	MOS1 - #10 Lanczos		
	Massen importieren aus	LF1		
	Einwirkungskategorie	AE Erdbebeneinwirkungen		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		
4	Ohne Durchbiegung			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Statikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Ohne Ohne		
	Lasteinwirkungsdauer	Ständig		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		
5	Q/A Nutzlast 2			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Statikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Q/A Nutzlasten - Kategorie A: Wohn-/Aufenthaltsräume		
	Lasteinwirkungsdauer	Mittel		
	Faktor Phi	Dächer		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		

4 Lasten

4.1.1 FLÄCHENLASTEN

LF1: Eigengewicht

G

Last Nr.	Flächen Nr.	Last-Typ	Last-Verteilung	Koord.-System	Last-Richtung	Symbol	Parameter Wert	Einheit
1	4,5,7-10,12-17	Kraft	Gleichförmig	1	Z_A	p	1.80	kN/m²
2	1-3,6,18-21	Kraft	Gleichförmig	1	Z_A	p	1.80	kN/m²

4.2.1 FLÄCHENLASTEN

LF2: Nutzlast 1

Q I A

Last Nr.	Flächen Nr.	Last-Typ	Last-Verteilung	Koord.-System	Last-Richtung	Symbol	Parameter Wert	Einheit
1	12-21	Kraft	Gleichförmig	1	Z_A	p	2.80	kN/m²

4.3.1 LINIENLASTEN

LF4: Durchbiegung

Ohne

Last Nr.	Linien	Last-Typ	Last-Verteilung	Koord.-System	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	28	Kraft	Punktuell - 1	1	Z_L	A	50.00	%
						P	2.000	kN

5 Hilfsobjekte

5.1 KOORDINATENSYSTEME

System Nr.	Typ	Symbol	Koordinaten Wert	Einheit	Sequenz	Symbol	Drehung Wert	Einheit	Kommentar
1	Global XYZ								

6 Stückliste

6.1 STÜCKLISTE - ALLE MATERIALWEISE

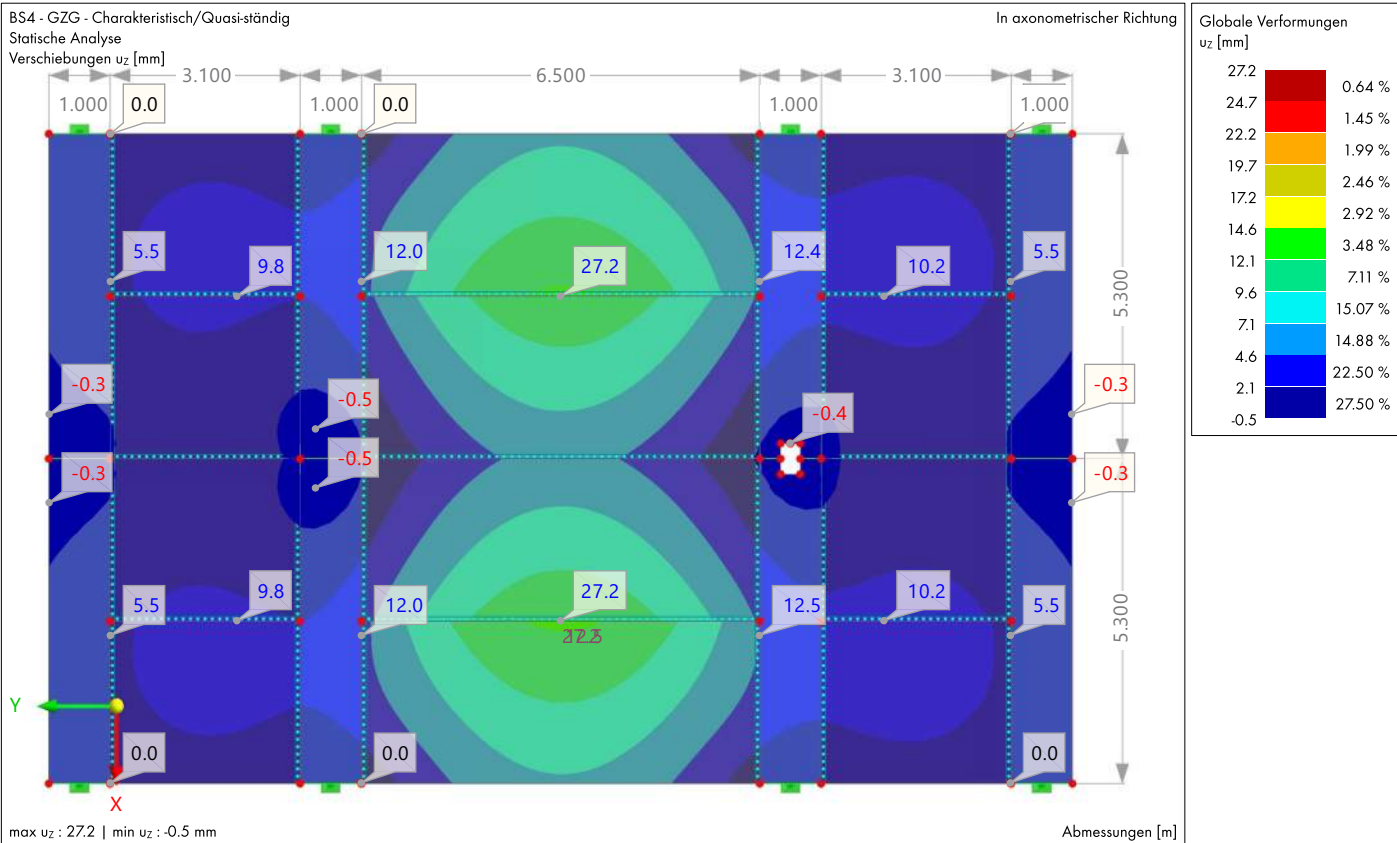
Stücklisten

Material Nr.	Name des Materials	Objektyp	Ges. Ummantelung C _z [m²]	Ges. Volumen V _z [m³]	Gesamtmasse W _z [t]
8	GL40h Buche hochkant NKL 1	Flächen	93.115	11.827	7.806
Gesamt			93.115	11.827	7.806
Σ gesamt			93.115	11.827	7.806

7 Statikanalyse-Ergebnisse

7.1 BS4: ERGEBNISUMHÜLLENDE - MAX- UND MIN-WERTE, GLOBALE VERFORMUNGEN U_z

Statische Analyse



8 Modalanalyse-Ergebnisse

8.1 EIGENFREQUENZEN

Modalanalyse

Form Nr.	Eigenwert λ [1/s²]	Kreisfrequenz ω [rad/s]	Eigenfrequenz f [Hz]	Eigenperiode T [s]
	AE-LF3 - Eigenformen			
1	1317.136	36.292	5.776	0.173
2	1815.985	42.614	6.782	0.147
3	3105.511	55.727	8.869	0.113
4	3356.410	57.935	9.221	0.108
5	3375.520	58.099	9.247	0.108
6	3749.519	61.233	9.746	0.103
7	5231.161	72.327	11.511	0.087
8	5531.071	74.371	11.837	0.084
9	5552.463	74.515	11.859	0.084
10	6064.883	77.877	12.395	0.081

9 Holzbemessung

9.1

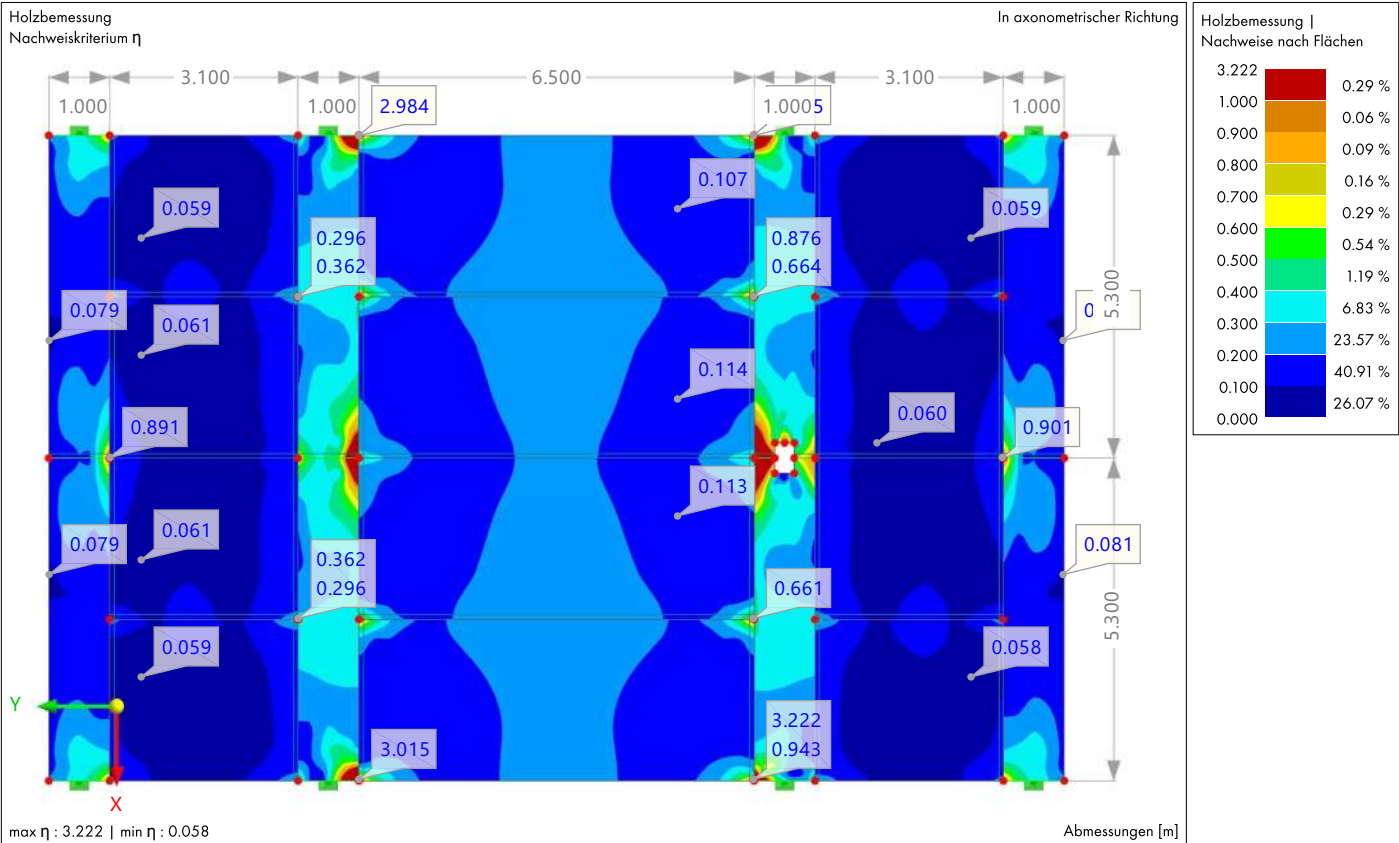
BEMESSUNGSSITUATIONEN

BS Nr.	EN 1990 Holz DIN 2012-08 Bemessungssituationstyp	Zu bemessen	Aktiv	EN 1995 DIN 2014-07 Bemessungssituationstyp	Zu bemessende Kombinationen für Aufzählungsmethode
1	GZT (STR/GEO) - Ständig und vorübergehend - Gl. 6.10	☒	☒	GZT (STR/GEO) - Ständig und vorübergehend	Alle
2	GZG - Charakteristisch	☒	☒	GZG - Charakteristisch	Alle
3	GZG - Quasi-ständig	☒	☒	GZG - Quasi-ständig	Alle
4	GZG - Charakteristisch/Quasi-ständig	☒	☒	GZG - Charakteristisch	Alle
5	Erdbeben-/Massenkombination - psi-E,i		☐	GZT (STR/GEO) - Außergewöhnlich	

9.2.1

MODELL

Holzbemessung



1 Basisobjekte

1.1 MODELL

Farben der gerenderten Objekte

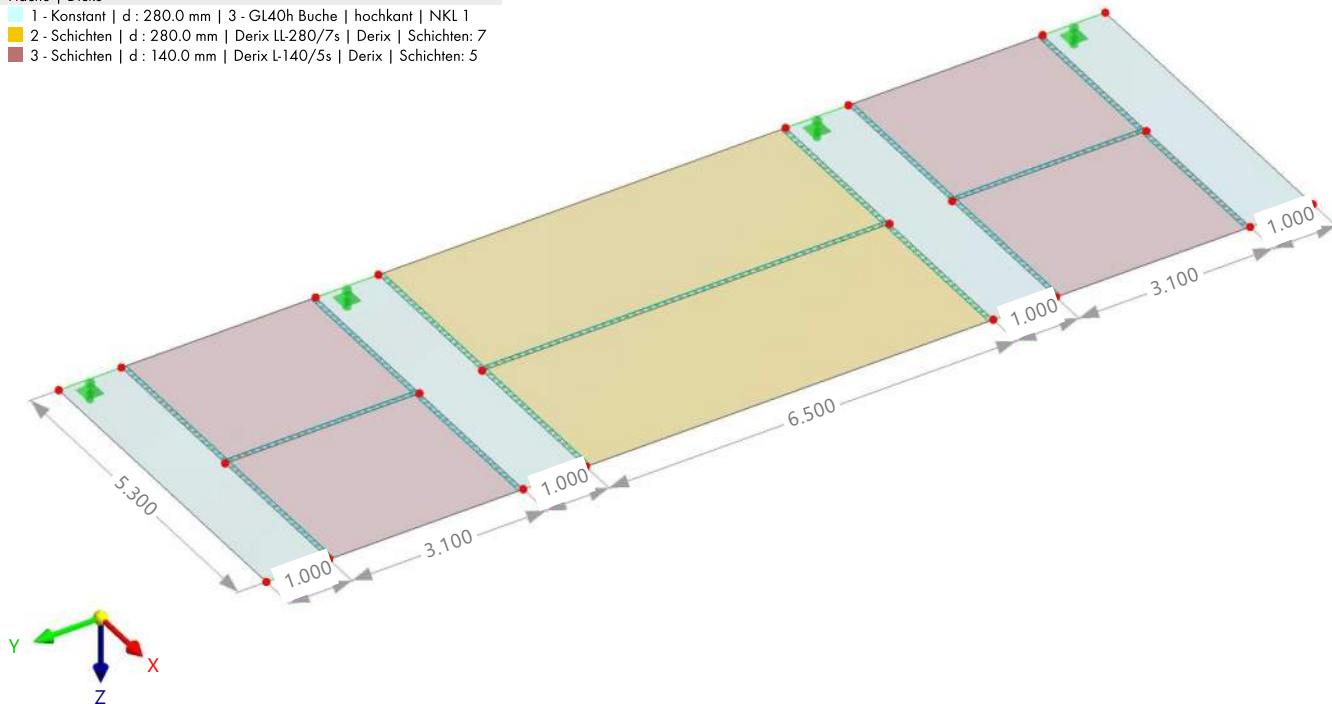
In axonometrischer Richtung

Knoten | Anzeigeeigenschaften

Linie | Anzeigeeigenschaften

Fläche | Dicke

- 1 - Konstant | d : 280.0 mm | 3 - GL40h Buche | hochkant | NKL 1
- 2 - Schichten | d : 280.0 mm | Derix LL-280/7s | Derix | Schichten: 7
- 3 - Schichten | d : 140.0 mm | Derix L-140/5s | Derix | Schichten: 5



Abmessungen [m]

1.2

MATERIALIEN

Legende

- Benutzerdefiniertes Material
- Generiert
- Steifigkeitsmodifizierung

Material Nr.	Name des Materials	Material-Typ	Analyse Modell	Optionen
3	GL40h Buche hochkant NKL 1	Holz	Orthotrop Holz Linear elastisch (Flächen)	
4	Derix C24 Orthotrop Linear elastisch (Flächen)	Holz	Orthotrop Linear elastisch (Flächen)	

1.3

DICKEN

Legende

- Steifigkeitsreduzierung

Dicke Nr.	Typ	Zugewiesen an Fläche Nr.	Material	Symbol	Dicke Wert	Dicke Einheit	Knoten	Richtung	Optionen
1	Konstant d : 280.0 mm 3 - GL40h Buche hochkant NKL 1	1-3,6	3	d	280.0	mm			
2	Schichten d : 280.0 mm Derix LL-280/7s Derix Schichten: 7	5,9							
3	Schichten d : 140.0 mm Derix L-140/5s Derix Schichten: 5	4,7,8,10							

1.3.1

DICKEN - SCHICHTEN

Dicke Nr.	Schicht Nr.	Objekt	Material	Dicke t [mm]	Drehung β [°]	Anzahl der Int.-Punkte	Spez. G. g [kN/m³]	Gewicht g [kN/m²]
2	1	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	2	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	3	Aus Bibliothek	4	40.0	90.00	9	4.20	0.17
	4	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	5	Aus Bibliothek	4	40.0	90.00	9	4.20	0.17
	6	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	7	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17

1.3.1

DICKEN - SCHICHTEN

Dicke Nr.	Schicht Nr.	Objekt	Material	Dicke t [mm]	Drehung β [°]	Anzahl der Int.-Punkte	Spez. G. g_i [kN/m³]	Gewicht g [kN/m²]
3	1	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17
	2	Aus Bibliothek	4	20.0	90.00	9	4.20	0.08
	3	Aus Bibliothek	4	20.0	0.00	9	4.20	0.08
	4	Aus Bibliothek	4	20.0	90.00	9	4.20	0.08
	5	Aus Bibliothek	4	40.0	0.00	9	4.20	0.17

1.3.2

DICKEN - STEIFIGKEITSABMINDERUNG

Dicke Nr.	Symbol	Wert	Einheit	Steifigkeitsabminderungsbeiwerte	Anmerkungen
2	k ₃₃	0.64	--		
	k ₄₄	1.00	--		
	k ₅₅	1.00	--		
	k ₈₈	0.69	--		
3	k ₃₃	0.61	--		
	k ₄₄	1.00	--		
	k ₅₅	1.00	--		
	k ₈₈	0.69	--		

1.3.3

DICKEN - OPTIONEN FÜR BRETTSPERRHOLZ

Dicke Nr.	Name	Symbol	Wert	Einheit
2	Bemessung bei Versagen des Nettoquerschnitts und Versagen der geklebten Kontaktfläche ist aktiviert.		☒	
	Brettbreite	b _x	170.0	mm
	Brettbreite	b _y	170.0	mm
	Brettbreite inklusive Fuge aktivieren		☐	
3	Bemessung bei Versagen des Nettoquerschnitts und Versagen der geklebten Kontaktfläche ist aktiviert.		☒	
	Brettbreite	b _x	170.0	mm
	Brettbreite	b _y	170.0	mm
	Brettbreite inklusive Fuge aktivieren		☐	

2 Typen für Holzbemessung

2.1

NUTZUNGSKLASSEN

Klasse Nr.	Stäbe	Stabsätze	Flächen	Flächensätze	Nutzungsklasse Typ	Kommentar
1	Nutzungsklasse 1 (Flächen : 1-10)			1-10	1 - Trocken	

3 Lastfälle und Kombinationen

3.1

LASTFÄLLE

LF Nr.	Einstell.	Wert	Einheit	Zu ber.
1	Eigengewicht			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Statikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Ständig		
	Eigengewicht - Faktor in Richtung X	0.000	--	
	Eigengewicht - Faktor in Richtung Y	0.000	--	
	Eigengewicht - Faktor in Richtung Z	1.000	--	
	Lasteinwirkungsdauer	Ständig		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		
2	Nutzlast			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Statikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Nutzlasten - Kategorie A: Wohn-/Aufenthaltsräume		
	Lasteinwirkungsdauer	Mittel		

LASTEN

3.1 LASTFÄLLE

LF Nr.	Einstell.	Wert	Einheit	Zu ber.
	Faktor Phi	Dächer		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		
3	AE Eigenformen			
	Analysetyp	Modalanalyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Modalanalyse-Einstellungen	MOS1 - #10 Lanczos		
	Massen importieren aus	LF1		
	Einwirkungskategorie	AE Erdbebeneinwirkungen		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		
4	Ohne Durchbiegung			
	Analysetyp	Statische Analyse		☒
	Zugehörige Norm	EN 1990 Holz DIN 2012-08		
	Stikanalyse-Einstellungen	SA1 - I. Ordnung Newton-Raphson		
	Einwirkungskategorie	Ohne Ohne		
	Lasteinwirkungsdauer	Ständig		
	Eigengewichtsmodus für geotechnische Analyse	Normal		

4 Lasten

4.1.1 FLÄCHENLASTEN

LF1: Eigengewicht

Last Nr.	Flächen Nr.	Last-Typ	Last-Verteilung	Koord.-System	Last-Richtung	Symbol	Parameter Wert	Einheit
1	4,5,7-10	Kraft	Gleichförmig	1	Z _A	p	1.80	kN/m ²
2	1-3,6	Kraft	Gleichförmig	1	Z _A	p	1.80	kN/m ²

4.2.1 FLÄCHENLASTEN

LF2: Nutzlast

Last Nr.	Flächen Nr.	Last-Typ	Last-Verteilung	Koord.-System	Last-Richtung	Symbol	Parameter Wert	Einheit
1	1-10	Kraft	Gleichförmig	1	Z _A	p	2.80	kN/m ²

4.3.1 LINIENLASTEN

LF4: Durchbiegung

Last Nr.	Linien	Last-Typ	Last-Verteilung	Koord.-System	Last-Richtung	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	28	Kraft	Punktuell - 1	1	Z _L	A P	50.00 2.000	% kN

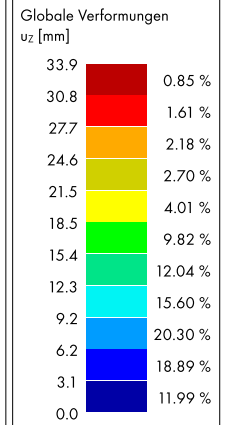
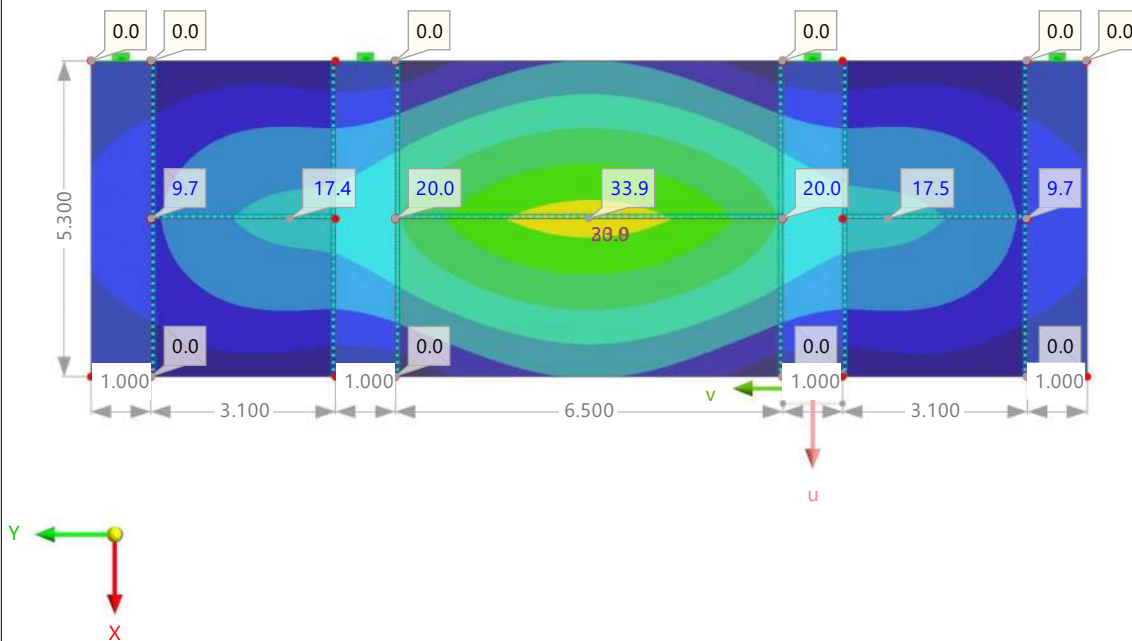
5 Statikanalyse-Ergebnisse

5.1 BS4: ERGEBNISUMHÜLLENDE - MAX- UND MIN-WERTE, GLOBALE VERFORMUNGEN U_z

Statische Analyse

BS4 - GZG - Charakteristisch/Quasi-ständig
Statische Analyse
Verschiebungen u_z [mm]

In axonometrischer Richtung



max u_z : 33.9 | min u_z : 0.0 mm

Abmessungen [m]

6 Modalanalyse-Ergebnisse

6.1 EIGENFREQUENZEN

Modalanalyse

Form Nr.	Eigenwert λ [1/s ²]	Kreisfrequenz ω [rad/s]	Eigenfrequenz f [Hz]	Eigenperiode T [s]
AE LF3 - Eigenformen				
1	1381.652	37.171	5.916	0.169
2	2993.429	54.712	8.708	0.115
3	3670.476	60.584	9.642	0.104
4	4219.332	64.956	10.338	0.097
5	5757.506	75.878	12.076	0.083
6	6203.467	78.762	12.535	0.080
7	9437.044	97.144	15.461	0.065
8	12991.778	113.981	18.141	0.055
9	13037.840	114.183	18.173	0.055
10	14532.649	120.551	19.186	0.052

7 Holzbemessung

7.1 ZU BEMESSENDE OBJEKTE

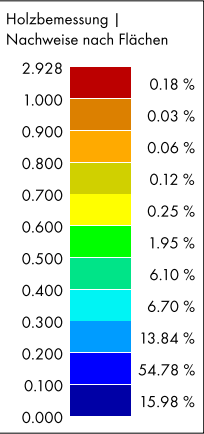
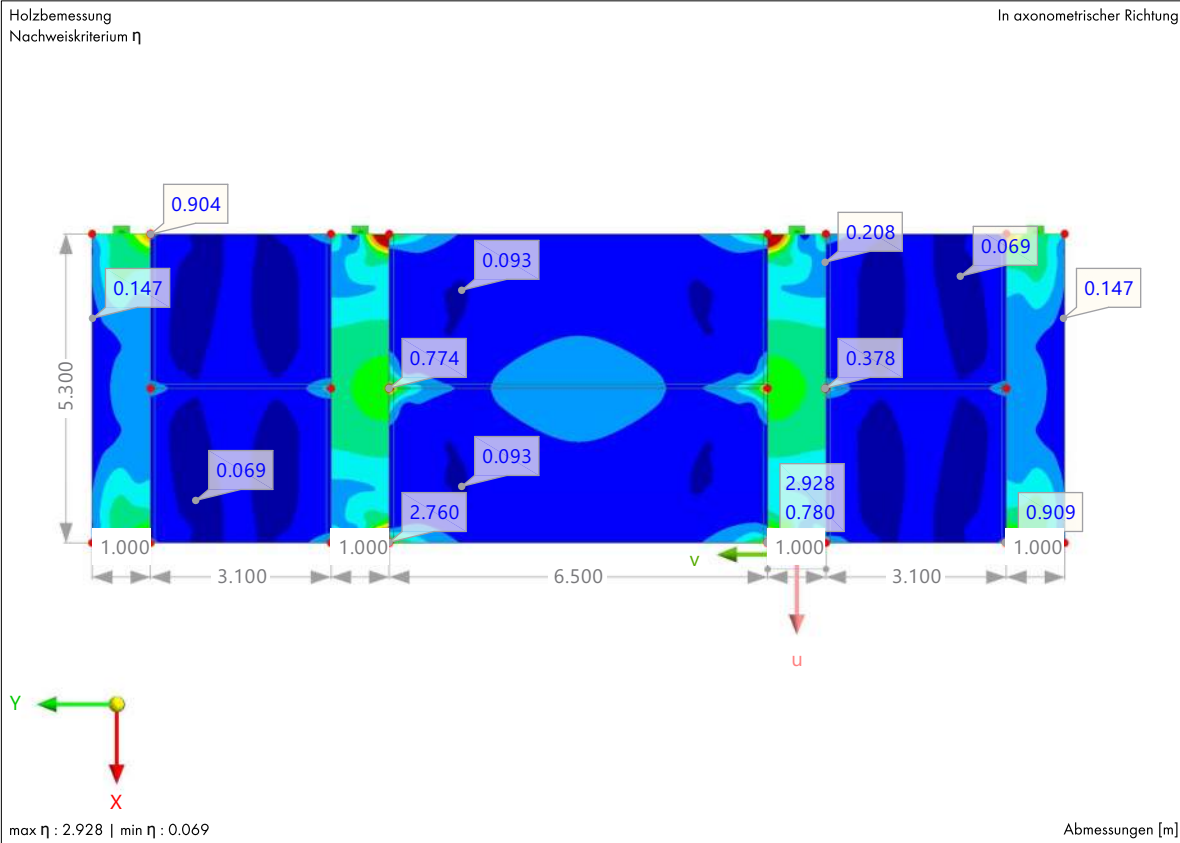
	Objekttyp	Alles bemessen	Ausgewählt	Zu bemessende Objekte	Entfernt	Nicht gültig / deakt.	Kommentar
	Flächen	☒	1-10	1-10			

7.2 BEMESSUNGSSITUATIONEN

BS Nr.	EN 1990 Holz DIN 2012-08 Bemessungssituationstyp	Zu bemessen	Aktiv	EN 1995 DIN 2014-07 Bemessungssituationstyp	Zu bemessende Kombinationen für Aufzählungsmethode
1	GZT (STR/GEO) - Ständig und vorübergehend - Gl. 6.10	☒	☒	GZT (STR/GEO) - Ständig und vorübergehend	Alle
2	GZG - Charakteristisch	☒	☒	GZG - Charakteristisch	Alle
3	GZG - Quasi-ständig	☒	☒	GZG - Quasi-ständig	Alle
4	GZG - Charakteristisch/Quasi-ständig	☒	☒	GZG - Charakteristisch	Alle
5	Erdbeben-/Massenkombination - psi-E,i		☐	GZT (STR/GEO) - Außergewöhnlich	

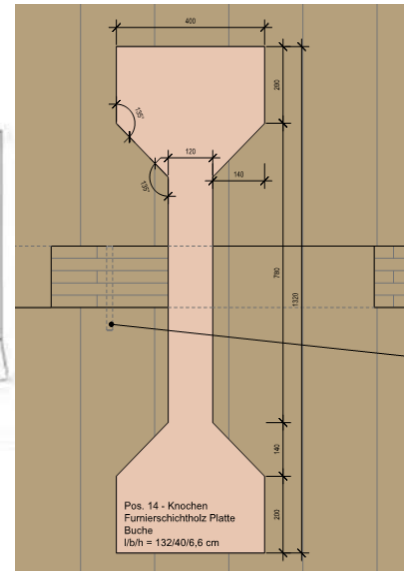
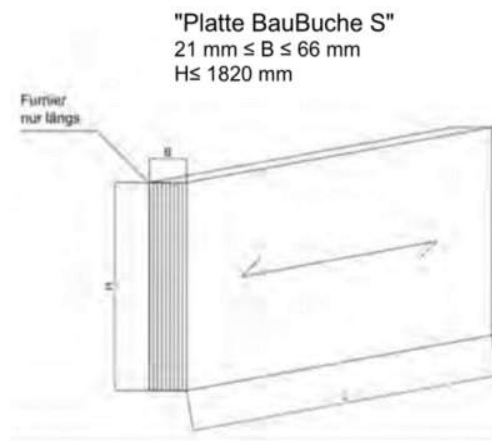
7.3.1 MODELL

Holzbemessung



Nachweis Zug BauBuche aus Zuganschluss "Knochen" Wand-Wand

Platte BauBuche gewählt:



Zugnachweis BauBuche

Einwirkungen

$$F_{t,d}$$

669,5 kN

Geometrie

b_Auflager

0,12 m

Breite Steg Knochen

n

2 Stk.

Anzahl "Knochen" (Platten)

 d_{Knochen}

0,06 m

Dicke Knochen

d_Auflager

0,12 m

Dicke Kontaktfläche ($n \cdot d_{\text{Knochen}}$)

Zug im Holz

 $f_{t,0,k}$

6,0 kN/cm²

Zulassung Pollmeier Platte BauBuche S

 $k_{\text{mod,au\ss{}ergew\u00f6hnlich}}$

1,1 -

$$Y_M$$

1,0 -

 $f_{t,0,d,au\ddot{u}ergew\ddot{o}hnlich}$

6,60 kN/cm²

$$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$$

A_{erf},außergewöhnlich

102 cm²

$$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$$
$$A_{\text{vorh}}$$

144 cm²

$$A_{\text{vorh}} = d_{\text{Auflager}} * b_{\text{Auflager}}$$

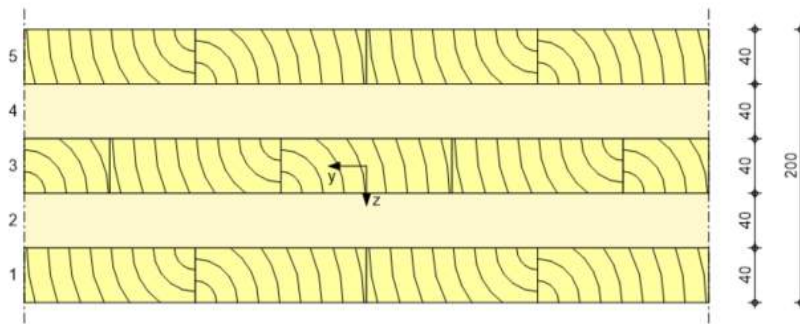
Nachweis

$$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$$

0,71 Nachweis erfüllt

Nachweis Längsdruck aus Zuganschluss "Knochen" Wand-Wand

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$F_{t,d}$ 669,5 kN

Geometrie

α	45 °	Winkel Strebe
b_{Strebe}	0,28 m	Breite Strebe
$b_{\text{Oberkante}}$	0,40 m	Breite Kontaktfläche
d_{Auflager}	0,08 m	Dicke Kontaktfläche (nur äußere vertikale Lamellen)
A_{strebe}	316,78 cm ²	$A_{\text{Strebe}} = d_{\text{Auflager}} \cdot b_{\text{Strebe}} / \cos(\alpha)$
$A_{\text{oberkante}}$	320,00 cm ²	$A_{\text{Oberkante}} = d_{\text{Auflager}} \cdot b_{\text{Oberkante}}$

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{\text{mod,außergewöhnlich}}$	1,1 -	
γ_M	1,0 -	
$f_{c,0,d,außergewöhnlich}$	2,64 kN/cm ²	
$A_{\text{erf,außergewöhnlich}}$	254 cm ²	$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$
A_{vorh}	316,78 cm ²	$A_{\text{vorh}} = \min. (A_{\text{Strebe}} ; A_{\text{oberkante}})$

Nachweis

$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$ 0,80 Nachweis erfüllt

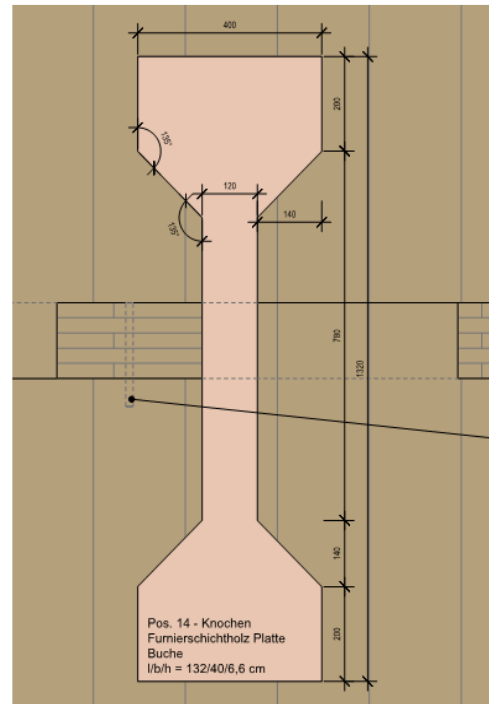
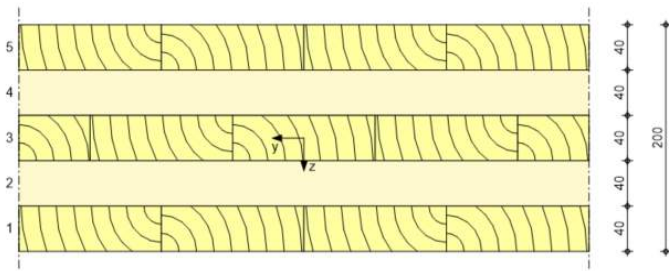
Hinweis: Es wurden nur die äußeren vertikalen Lagen im Nachweis angesetzt.

Konstruktive Querdruckverstärkung

keine

Nachweis Rollschub BSP-Wand aus Zuganschluss "Knochen" Wand-Wand

Querschnitt Wand gewählt:



Rollschubnachweis BSP

Einwirkungen

$F_{t,d}$ 669,5 kN

Geometrie

$b_{\text{Schubfläche}}$	0,14 m	Breite Schubfläche
$n_{\text{Schubflächen}}$	2,0 Stk.	Anzahl Schubflächen pro Knochen
$h_{\text{Schubfläche}}$	0,18 m	Höhe Schubfläche
$A_{\text{Rollschub}}$	504 cm ²	$A_{\text{Strebe}} = h_{\text{Schub}} \cdot b_{\text{Schub}} \cdot n_{\text{Schub}}$
n_{Knochen}	2,0 Stk.	Anzahl Knochen pro Wandende

Rollschub

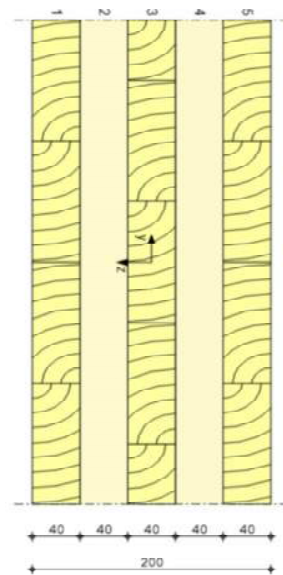
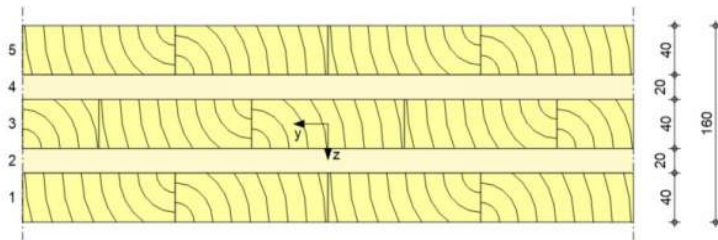
$f_{r,k}$	1,0 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{\text{mod,außergewöhnlich}}$	1,1 -	
γ_M	1,0 -	
$f_{r,d,außergewöhnlich}$	1,10 kN/cm ²	
$A_{\text{erf,Wind}}$	609 cm ²	$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$
A_{vorh}	1008 cm ²	$A_{\text{vorh}} = A_{\text{Rollschub}} \cdot n_{\text{Knochen}}$

Nachweis

$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$ 0,60 Nachweis erfüllt

Nachweis für Verzahnung Decke mit Wand

Querschnitt Decke und Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$V_{d,Seis}$	104,1 kN
Anteil aus anderer Erdbebenrichtung:	
$0,3 * N_{d,Seis}$	31,23 kN

Geometrie

$h_{Auflager}$	0,04 m	Höhe Kontaktfläche (nur horiz. Lamellen Decke)
$b_{Auflager}$	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen Wand)
n	2 Stk.	Anzahl Verzahnungen

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{mod,außergewöhnlich}$	1,1 -	
γ_M	1,0 -	
$f_{c,0,d,außergewöhnlich}$	2,64 kN/cm ²	$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$
$A_{erf,außergewöhnlich}$	52 cm ²	$A_{erf} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	64 cm ²	$A_{vorh} = h_{Auflager} * b_{Auflager}$

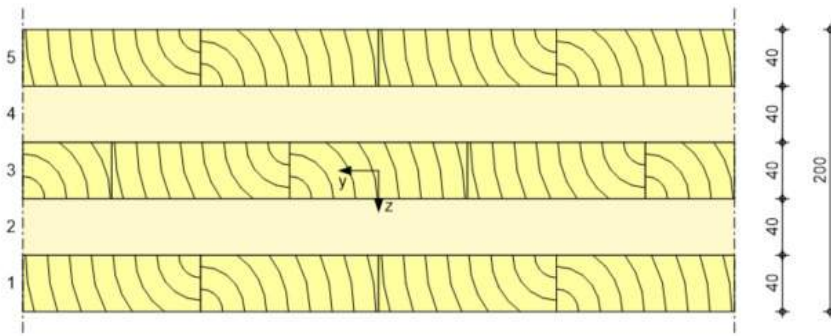
Nachweis

$A_{erf,max} / A_{vorh} \leq 1$	0,81 Nachweis erfüllt
---------------------------------	-----------------------

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Zug-Verankerung Deckenscheibe an Wände:

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$M_{k,Seis}$	=AUS_D-02-Y	198 kNm
h_s		4,10 m
$N_{k,Seis}$	= M / h	48,3 kN
$N_{d,Seis}$	= $1,0 \cdot N_k$	48,3 kN
Anteil aus anderer Erdbebenrichtung:		
$0,3 \cdot V_{d,Seis}$		14,5 kN

Geometrie

$h_{Auflager}$	0,16 m	Höhe Kontaktfläche (Höhe Decke)
$b_{Auflager}$	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen)

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{mod,außergewöhnlich}$	1,1 -	
γ_M	1,0 -	
$f_{c,0,d,außergewöhnlich}$	2,64 kN/cm ²	$f_d = f_k \cdot k_{mod} / \gamma_M$
$A_{erf,außergewöhnlich}$	24 cm ²	$A_{erf} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	128 cm ²	$A_{vorh} = h_{Auflager} \cdot b_{Auflager}$

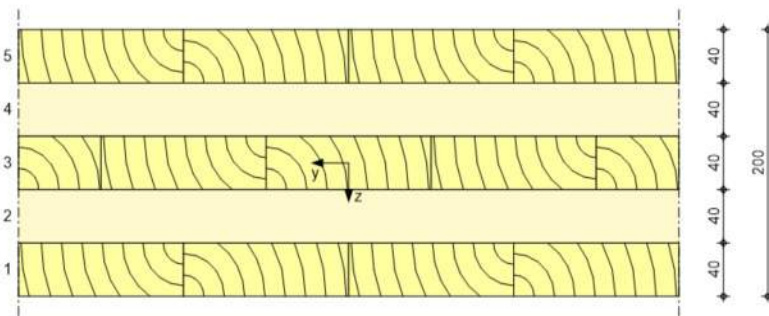
Nachweis

$A_{erf,max} / A_{vorh} \leq 1$	0,19 Nachweis erfüllt
---------------------------------	-----------------------

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Nachweis für Verzahnung Wand mit Wand

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$F_{x,d, \text{außergewöhnlich}}$ 543,4 kN

Anteil aus anderer Erdbebenrichtung:

$0,3 * V_{d, \text{Seis}}$ 163,0 kN

Geometrie

h_{Auflager}	0,16 m	Höhe Kontaktfläche
b_{Auflager}	0,08 m	Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen)
l	10,6 m	Wandlänge
$n_{\text{Verzahnung}}$	3 Stk.	Anzahl der Verzahnungen

Längsdruck im Holz

$f_{c,0,k}$	2,4 kN/cm ²	Zulassung Derix X-LAM
$k_{\text{mod}, \text{außergewöhnlich}}$	1,1 -	
γ_M	1,0 -	
$f_{c,0,d, \text{außergewöhnlich}}$	2,64 kN/cm ²	$f_d = f_k * k_{\text{mod}} / \gamma_M$
$A_{\text{erf}, \text{außergewöhnlich}}$	90 cm ²	$A_{\text{erf}} = V_{Ed} / f_d$
A_{vorh}	128 cm ²	$A_{\text{vorh}} = h_{\text{Auflager}} * b_{\text{Auflager}}$

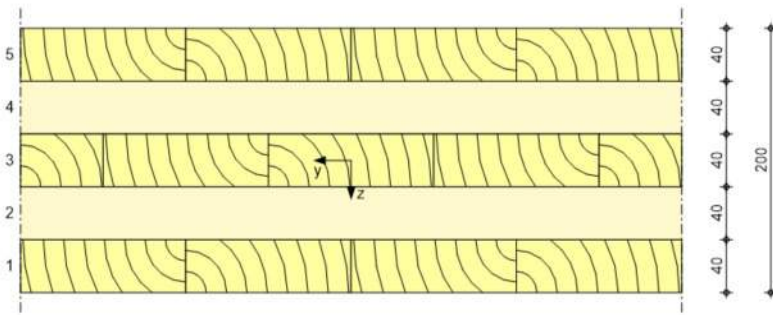
Nachweis

$A_{\text{erf}, \text{max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1$ 0,70 Nachweis erfüllt

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Nachweis für Verzahnung Wand mit Bodenplatte

Querschnitt Wand gewählt:



Längsdrucknachweis BSP

Einwirkungen

$$F_{x,d,Wind} = 559,6 \text{ kN}$$

Anteil aus anderer Erdbebenrichtung:

$$0,3 * V_{d,Seis} \quad 167,9 \text{ kN}$$

Geometrie

h_{Auflager} 0,20 m

Höhe Kontaktfläche

b_{Auflager} 0,08 m

Breite Kontaktfläche (nur horizontale Lamellen Wand)

10,6 m

Wandlänge

n_{Verzahnung} 2 Stk.

Anzahl der Verzahnungen

Längsdruck im Holz

 $f_{c,0,k} \quad 2,4 \text{ kN/cm}^2$

Zulassung Derix X-LAM

 $k_{\text{mod,außergewöhnlich}}$ 1,1 -
$$Y_M \quad 1,0 -$$
 $f_{c,0,d,au\ddot{u}ergew\ddot{o}hnlich} = 2,64 \text{ kN/cm}^2$
$$f_d = f_k * k_{mod} / \gamma_M$$

A_{erf,außergewöhnlich} 138 cm²

$$A_{\text{erf}} = V_{\text{Ed}} / f_d$$
$$A_{\text{vorh}} \quad 160 \text{ cm}^2$$
$$A_{\text{vorh}} = h_{\text{Auflager}} * b_{\text{Auflager}}$$

Nachweis

$$A_{\text{erf,max}} / A_{\text{vorh}} \leq 1 \quad 0,86 \text{ Nachweis erfüllt}$$

Hinweis: Es wurden nur die horizontalen Mittellagen im Nachweis angesetzt.

Konstruktive Querdruckverstärkung

keine

A 4 Experteninterviews Zitate und Kernaussagen

Kategorie	Potenziale Holz	Kernaussagen
Experte I Baufirma	"beim Holz System Bau, ich sage jetzt mal, wir sehen es als Vorteil, viele sehen es als Nachteil, dass man eben diese Planungsleistungen relativ früh erbringen muss, aber wir sind dann hinten raus um einiges schneller, bei Baustart machen wir planungstechnisch gar nichts mehr, da sind wir fertig und können uns voll aufs Bauen konzentrieren" (Z. 125-128) "nahezu keine Fachkräfte benötigt, um so ein Gebäude aufzubauen, das heißt, die Holzbauweise, auch dadurch, dass es ein Systembau ist, es sind alle Bauteile gleich, es funktioniert immer nach dem gleichen Schema, und es werden eigentlich die Bauteile wie ein Lego System zusammengesteckt. Das ist auf der Baustelle eigentlich so unser Ansatz. Großes Thema ist bei Subunternehmen, das heißt, wir müssen natürlich schon Gewerke auch zukaufen, das heißt, Elektriker, Installateure. Schon weniger als normal, also wir haben circa auf der Baustelle Minimum 60% weniger Leistung, Installations- und Elektro-Leistung, als bei einem herkömmlichen Bau, weil einfach unsere Badezimmer, unsere Module kommen fix fertig mit aller Verkabelung, mit allen Installationen. Das heißt es muss keine Elektriker mehr dort vor Ort irgendwas in den in den Badezimmern machen" (Z. 152-161) " Wir arbeiten teilweise mit eigenen Leuten, aber teilweise auch mit Zimmereien, die wir quasi beauftragen, die uns den Holzbau aufstellen und da haben viele gesehen jetzt bei ein paar Projekten, dass die einfach nicht ihre Top ausgebildeten teuren Fachkräfte dorthin bringen müssen, sondern es reicht eine gute Fachkraft und vier, fünf Helfer, Zuarbeiter" (Z. 168-172) "ein Installateur, ein Elektriker muss bei uns nicht auf die Baustelle fahren, der kann von 08:00 Uhr bis 17:00 Uhr in einer geheizten Halle stehen und dort seine Arbeit verrichten und muss nicht auf Montage fahren" (Z. 177-179) "die Potenziale sind natürlich die Zeit. Das ist natürlich auch die Bauzeit, ist ein Riesenpotenzial, haben wir mittlerweile gelernt, dass das auch bei vielen Bauträger nicht mehr so das Argument ist, weil die sagen, ob jetzt ein Gebäude 3 Monate früher oder 3 Monate später vermietet, verkauft wird ist auf 60 Jahre gerechnet quasi egal in dem Fall. Aber Potenziale sind natürlich diese Nachverdichtung ist durch einen Holzbau, durch einen vorgefertigten Holzbau einfach viel einfacher. Wir brauchen durch unser System nicht viel Lagerplatz, ist ein ziemlich ausgeklügeltes Logistik System" (Z. 260-266) "auch in Ballungsgebieten, wo wenig Platz ist, können wir sehr schnell bauen, weil wir einfach keinen Lagerplatz benötigen" (Z. 267-268) "Riesenpotenzial ist auch oder eine Chance ist diese Wohnungsnot, das muss man leider auch dazu sagen. Die Wohnungsnot, bezahlbarer Wohnbau so schnell wie möglich zu kreieren ist zum einen Teil ein Problem, aber auch für uns als Holzbauer ein Riesenpotential" (Z. 276-279) "Und das Potenzial für uns ist auch diese Geschichte des Fachkräftemangels, ist auch eine schlechte Sache, aber für uns auch eine Riesenchance, dass so ein System Bau in Zukunft nix mehr anderes passiert" (Z. 284-286) "diese neuen Architekten, die jetzt kommen, die jetzt das Studium abschließen, die haben ja ganz andere Denkweisen, auch fürs Leben. [...] die wollen bewusst wohnen. Die wollen Materialien, wo man sich wohlfühlt und einfach auch eine Nachhaltigkeit nicht nur für die Materialien, aber auch, dass der Bau in nachhaltiger Form einfach passiert ist. Und eine ganz große Chance wird die Euro Taxonomie" (Z. 292-300)	- Planungsleistungen werden früh erbracht (Z. 125-128) - beim Holzsystembau werden wenig Fachkräfte benötigt (Z. 152-161, Z. 168-172) - Fachkräfte können die meiste Zeit in einer Halle arbeiten (Z. 177-179) - kurze Bauzeit (Z. 260-266) - Nachverdichtung (Z. 260-266) - Bauen in Ballungsgebieten ist möglich, weil wenig Lagerplatz benötigt wird (Z. 267-268) - Holzbau kann gegen Wohnungsnot steuern (Z. 276-279) - Fachkräftemangel bedingt den vermehrten Einsatz von Holzbau in der Zukunft (Z. 284-286) - neue Architekten legen vermehrt Wert auf bewusstes Wohnen und nachhaltige Materialien (Z. 292-300) - EU-Taxonomie (Z. 292-300)

Experte P Architekt	"die Investorenfonds [...] bewerten Holzbauten besser im Ankauf von Objekten" (Z. 63-64) "Wir brauchen natürlich immer dazu einen Bauherrn, der das haben will. Das wird immer mehr der Fall sein, denn das ist auch ein Marketing-Produkt momentan" (Z. 323-324) "Es ist verkaufsfähiger auf dem Markt" (Z. 325-326) "Es gibt aber viele Menschen, die das sehr angenehm empfinden, auch dieses Klima in diesen Wohnungen als sehr angenehm empfinden. Es ist mit Sicherheit angenehmer als in einem Betonbau, der aus reinem Beton ist, zu leben. Das glaube ich schon" (Z. 380-382) "Die Potenziale, das habe ich vorhin gesagt, liegen eigentlich in dem Thema des Seriellen" (Z. 426) "Und dieses Serielle ist automatisch auch preisgünstiger" (Z. 431)	- hohe Bewertung des Gebäudes, verkaufsfähiger (Z. 63-64, Z. 325-326) - zunehmendes Interesse der Bauherren am Holzbau aus Marketing-Gründen (Z. 323-324) - angenehmes Klima im Holzbau (Z. 380-382) - serielles Bauen -> günstiger (Z. 426, Z. 431)
Experte Z Baufirma	"Klar ist das ein höherer Vorfertigungsgrad" (Z. 139) "die Montage an sich ist schnell" (Z. 208) "Ja, also wenn das dann skaliert, sprich wenn die Baustelle groß genug ist und sie komplett in Holz bleiben können und dann nicht irgendwo noch irgendwelche Stahleinbauteile brauchen, dann wird es wirklich schneller" (Z. 218-221) "Carbon Footprint so viel besser wird" (Z. 232) "Wenn ich wirklich richtig diszipliniert vorarbeite, dann spare ich Zeit bei der Gesamtbaustelle, aber das muss wirklich vorher tiptop laufen." (Z. 242-244)	- hoher Vorfertigungsgrad (Z. 139) - schnelle Montage (Z. 208, Z. 218-221) - ökologische Bauweise (Z. 232) - kurze Bauzeit (Z. 242-244)
Experte H Investor	"mit trockenen Wänden zu bauen ist ein Riesenvorteil" (Z. 136) "Aber das Raumklima, das Wohnklima ist auch ein ganz anderes und damit auch die Gefahr, was Schäden angeht. [...] so gut wie keine Schimmelbildung in den neu errichteten Gebäuden, was im Massivbau schon fast der Standard ist und von daher deutlich weniger Probleme und das war uns auch was wert. (Z. 138-141) "Schnelligkeit" (Z. 373) "statt 18 Monate in 11 Monaten, weil einfach die Wände schon mal trocken waren und das bringt einfach deutlich weniger Feuchtigkeit in unser Gebäude hinein, deswegen ist Schnelligkeit definitiv ein Vorteil" (Z. 374-376) "ein Wohlfühlelement, das heißt weniger Trockner, weniger Schimmel also die Fehleranfälligkeit, die Schadensanfälligkeit ist einfach geringer. Das Entscheidende für uns waren aber auch dünnere Außenwände, das heißt die Wandsysteme sind einfach optimierter" (Z. 377-379) "Effizienz Haus 55 Standard etwa mit 28 Zentimeter dicken Wänden, würden wir die mauern und mit Styropor versehen werden die etwa 50 Zentimeter 38 plötzlich Zentimeter dick, das heißt wir haben dünnere Wände und damit mehr Wohnfläche, das ist wieder das Thema von eben Effizienz" (Z. 380-383)	- trockene Bauweise (Z. 136) - keine Schimmelbildung im Neubau (Z. 138-141) - schnelle Montage (Z. 373, Z. 374-376) - geringe Schadensanfälligkeit (Z. 377-379) - optimierte, effiziente Wandsysteme (Z. 377-379, 380-383)

Experte C Investor	"ein wahnsinniger Vorteil gerade in Aufstockungen, Anbauten und sonst was ist das geringe Gewicht" (Z. 80-81) "der Holzbau einfach schneller ist durch die Vorfertigung, also egal welche Art des Holzbaus man macht, beim Modulbau wird es natürlich am Massivsten" (Z. 149-150) "die kürzeren Finanzierungszeiten, die man hat, die wir ja als Entwickler, als Bauherren mit einrechnen, durch die kürzeren Bauzeit, durch die kürzeren Versicherungszeit, durch die kürzeren Finanzierungszeiten sowohl Risikokapital als auch reguläre finanzielle Zeiten, das muss man eigentlich dagegen rechnen, auch wenn jetzt das Angebot A Massivbauer Angebot B Holzbauer, das Angebot A vielleicht billiger ist. Meiner Erfahrung nach ist einfach, weil der Holzbau, wenn er vergeben wird, schon viel weiter durchgeplant ist oder durchgeplant sein sollte, wird auch weniger mit Nachträgen zu rechnen sein, geschweige denn von Mängelbekämpfung, weil eben diese Vorfertigung, in welcher Form auch immer, einfach das bedingt, dass dann die Projekte schneller fertig sind ohne weniger Mängel und weniger Geld hinten raus aufgewandt werden muss. Plus, dass man längere Finanzierungszeiten durch nicht Abnahme hat oder sowas" (Z. 154-164) "beim Holzbau ist, dass man sich nicht mit irgendwelchen großen GUs rumschlägt im Allgemeinen, also ich meine jetzt riesige GUs, sondern immer noch mittelständisch, häufig familiengeführte Unternehmen hat, die einem auch nicht anfangen, solange man, wenn man der erste Strich gezeichnet wird, schon das Claim Management anfangen aufzubauen und dann halt über Nachträge sich die Projekte, wo sie sehr kostengünstig angeboten haben, dann wieder schön zu rechnen" (Z. 279-284)	- Aufstockungen, Anbauten (Z. 80-81) - kurze Bauzeit (Z. 149-150, Z. 154-164) - weniger Nachträge und Mängel wegen Vorfertigung und mehr mittelständischen, familiengeführten Unternehmen (Z. 154-164, Z. 279-284)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"Insofern kann ich mir schon vorstellen, dass der Holzbau eine größere Zukunft hat. Vorteil ist sicherlich die Ökobilanz im Vergleich zu anderen Baustoffen und der andere Vorteil ist wahrscheinlich auch, dass es leichter ist als andere Baustoffe" (Z. 26-29) "Der Holzbau ist mir eben mehr bei Aufstockungen im Sinne von es muss leicht sein und auf als Bestandsaufstockung, da sehe ich auch wirklich ein gutes Potenzial drin" (Z. 34-36) "und die haben tragende Holzfassaden. Und das ist unfassbar, wie schnell die das Ding hochziehen. Und es hat natürlich auch den Vorteil, dass es in der Halle gefertigt ist, dass ich nicht witterungsabhängig bin" (Z. 63-66) "in einer Fertigungshalle ist natürlich die Überwachung der Qualitätsstandard auch einfach höher und gesicherter als jetzt frei auf der Baustelle" (Z. 68-69) "aber es wird belohnt durch das [anonymisiert, Förderprogramm der Stadt]" (Z. 190-191)	- ökologische Bauweise (Z. 26-29) - Aufstockungen (Z. 34-36) - kurze Bauzeit (Z. 63-66) - witterungsunabhängige Vorfertigung in der Halle mit hoher Qualitätssicherung (Z. 63-66, Z. 68-69) - Förderprogramme im Holzbau (Z. 190-191)

Experte T Holzbauexperte	"dieser digitale Zwilling eigentlich bei allen, die mit Holzbau schon zu tun hatten, im Kopf entsteht" (Z. 32-33) "also uns geht es mehr um Qualität. Bestandsnutzung, Sanierung und so weiter und da hat der Holzbau natürlich große Vorteile" (Z. 42-43) "Holz wächst, speichert CO2" (Z. 138) "dass wir sehr schnell durch die hohen Vorfertigungs-Maßnahmen die Zentrums Entwicklung einfach durchführen können. Wir fahren schnell rein, wir bauen das sehr schnell, geräuscharm, ohne große Belastung der Infrastruktur, das ist für mich ein Riesenvorteil, das Gleichgewicht von Holz und Bestandsgebäude auch aufzustocken" (Z. 140-144) "digitales Aufmaß" (Z. 145) "vorgefertigt zu produzieren" (Z. 147) "Dann aber natürlich ländliche Strukturen zu erhalten [anonymisiert], dass wir zukunftsfähige Arbeitsplätze im ländlichen Raum generieren können. Und durch diese Teil-Industrialisierung oder Voll-Industrialisierung von den Arbeitsplätzen, sprich unter besten Bedingungen, klimatisiert, ergonomisch, sagen wir auch über verschiedene Altersstrukturen. Dann einfach gute und zukunftsfähige Jobs schaffen" (Z. 149-153) "Aber wir haben trotzdem sehr stabile regionale Wertschöpfungsketten" (Z. 162) "Also wenn man sich vorstellt, ein Sägewerk, das 150000 Festmeter Holz einschlägt. Das hat ein Einkaufs Radius von 60, 80 Kilometer, das muss man sich einfach nochmal vor Augen halten, dass wir hier sehr regional sind im Gegensatz zu anderen Materialien" (Z. 164-167) "aber auch was jetzt zum Beispiel die Robotik angeht, also wenn wir jetzt zum Beispiel an Co-Robots oder andere Roboter denken oder auch an die serielle Vorfertigung, Maschinen unterstützt, Roboter unterstützt, können wir durch das, dass wir im Vorprozess schon ein sehr homogenes Material haben können wir da sehr einfach damit umgehen. Es ist schlicht und ergreifend einfacher für einen Roboter ein Stück Holz abzusägen als mit diesem schwierigen Beton irgendwo hin zu spritzen" (Z. 169-175) "Digitalisierung, Produktionssteigerungen haben wir da sicherlich auch sehr viele Vorteile im Holzbau" (Z. 181-182) "Dadurch, dass wir so eine trockene Bauweise sind und so eine schnelle Bauweise ist es natürlich zukünftig auch für Investoren interessanter" (Z. 186-187) "wenn man ein gutes Planungsteam am Anfang hat, also wenn man den Holzbau verstanden hat, verstanden hat, wie der funktioniert und von Anfang an die richtigen Leute zusammensetzt, ist Holzbau sehr effizient und kann auch wirtschaftlich sein, mindestens gleichauf wirtschaftlich wie ein mineralisch gebautes Gebäude und wie gesagt, weitergesponnen eben Richtung EU-Taxonomie, Green Investments glaube ich haben wir da schon auch einen großen Vorteil" (Z. 191-196)	- Digitalisierung (Z. 32-33, Z. 145, Z. 181-182) - hohe Qualität (Z. 42-43) - ökologische Bauweise (Z. 138) - kurze Bauzeit (Z. 140-144, Z. 186-187)) - immissionsarme Bauweise (Z. 140-144) - Vorfertigung (Z. 147) - zukunftsfähige Jobs in ländlichen Strukturen sichern (Z. 149-153) - regionale Materialien (Z. 164-167) - Robotik (Z. 169-175) - für Investoren interessant (Z. 186-187) - wirtschaftliche Bauweise mit dem richtigen Planungsteam (Z. 191-196) - EU-Taxonomie (Z. 191-196)
Experten N Nutzer	"Einfach die Randbedingungen durch das Grundstück, dass man hier mit einem Laster mit Baustoff, mit Steinen, wie auch immer einfach nicht vernünftig draufkommt, aufs Grundstück, wir mussten so gut wie alles mit dem Kran einheben" (Z. 192-194) "Alles konnte vorgefertigt werden, und innerhalb von zwei Tagen konnte alles in großen Stücken eingehoben werden" (Z. 195-196) "Bauzeit. Nachdem es dann mal genehmigt war, wollten wir dann doch gerne im gleichen Jahr noch fertig werden und dann wurden hier Fundamente und Bodenplatte und Hausanschlüsse und alles gemacht und parallel dazu hat dann der Holzbauer in seiner Werkstatt schon die ganzen Wandelemente vorfabrizieren können und als wir dann hier mit der Bodenplatte fertig waren, dann kam der eigentlich relativ schnell, dann war der so gut wie fertig und hat dann hier innerhalb von 3 Tagen den Rohbau gestellt." (Z. 197-202) "Grundsätzlich ist es natürlich schon ein angenehmeres Raumklima, das Holz sichtbar und sonst was ist schon eine schöne Sache" (Z. 327-328)	- vorgefertigte Bauweise, die man auch zu Grundstücken im Hinterhof heben kann (Z. 192-194, Z. 195-196) - kurze Bauzeit (Z. 197-202) - angenehmes Raumklima (Z. 327-328)

Experte E Planer	"nachhaltiger zu bauen, nachhaltige Materialien zu verwenden, wachsende, nachwachsende Ressourcen zu verwenden. Ich sehe viele Potenziale in der Vorfertigung" (Z. 178-180) "die Bauzeit so kurz wie möglich gestalten und Emissionen so gering wie möglich zu halten" (Z. 185-186) "Man bekommt zum Beispiel auch für Holz Gebäude höhere Mieteinnahmen, das ist zum Beispiel auch bewiesen. Das heißt, man kann das Gebäude hinterher auch wieder teurer verkaufen." (Z. 231-233)	- ökologische Bauweise (Z. 178-180) - kurze Bauzeit (Z. 185-186) - emissionsarme Bauweise (Z. 185-186) - hohe Bewertung des Holz Gebäudes (Z. 231-233)
Experte F Architekt	"Da ist das Bauen mit Holz nicht die einzige, aber eine sehr effiziente Methode, um eben CO2 zu reduzieren, um zirkular zu bauen, weg von diesen linearen Prozessen, vom Bauen zum Müll, sondern eben eigentlich der Wiederverwertbarkeit, Trennbarkeit" (Z. 20-23) "kein Problem in Holz Wohnungen zu bauen, [...] wenn man das geschickt macht und wirklich aus der Logik der Konstruktion denkt, dann habe ich da auch keine Mehrkosten im Grundsatz" (Z. 111-113) "sozusagen die Idee ich habe eine Planung, ein IFC-Modell und das schicke ich sozusagen auf die Abbund Maschine und dann kommt hinten das Ding raus und das setze ich dann noch Lego artig zusammen" (Z. 231-233) "Das ist natürlich das ökologische Potenzial, also natürlich eben die Frage, wenn ich ressourcenschonend bauen will, dann ist das eben eine Methode. Aber es ist natürlich auch das Potenzial da aus dem Holz heraus" (Z. 253-255) "und diese strukturelle Ordnung" (Z. 264) "Ich habe allein gegenüber dem Massivbau einen wahnsinnigen Gewinn, weil ich weniger Fläche brauche" (Z. 382-383) "wie dick ist eine Wand im Massivbau, wie dick ist eine Wand im Holzbau. Jetzt kann man sagen, ist ja lächerlich, die 20 Zentimeter Unterschied, aber wenn ich gleichzeitig vorher festgestellt habe, was mich der Grund und Boden kostet, dann ist das natürlich überhaupt nicht lächerlich, weil ich natürlich einfach mehr Wohnfläche schaffe" (Z. 386-389)	- ökologische Bauweise (Z. 20-23, Z. 253-255) - Zirkularität (Z. 20-23) - keine Mehrkosten (Z. 111-113) - Vorfertigung (Z. 231-233) - strukturelles Material (Z. 264) - effizienter Wandaufbau (Z. 382-383, Z. 386-389)
Experte M Baufirma	"ist es für mich die Vorfertigung" (Z. 367) "nachwachsende Rohstoff" (Z. 368) "die Vorfertigung und damit verbunden auch die präzise Bauweise mit verbesserter Qualität, die das schnellere Bauen auch aufgrund dieser Vorfertigung, der geringere Aufwand, das baue ich schneller, habe ich weniger Aufwand" (Z. 371-373) "Holz saugt riecht" (Z. 374) "Also der Baustoff an sich ist unglaublich sympathisch, und diese Sympathie hat er nicht von ungefähr, sondern die hat er sich gut verdient oder trägt sie in sich." (Z. 377-379)	- Vorfertigung (Z. 367) - ökologische Bauweise (Z. 368) - hohe Qualität (Z. 371-373) - kurze Bauzeit (Z. 371-373) - sympathischer Baustoff (Z. 377-379)
Experte D Architekt	"auf 3 Metern kann man da absolut arbeiten und das ist was, was der Holzbau nun wirklich schaffen kann" (Z. 117-118)	- Spannweite von 3 Metern im Wohnbau kann mit Holz gebaut werden (Z. 117-118)

Kategorie	Potenzielle Holzskelettbauweise	Kernaussagen
Experte I Baufirma		
Experte P Architekt	"man kann alle Zwischenwände rausnehmen und hat dann nur noch einen Skelettbau übrig. Ganz wichtig, weil der Skelettbau einfach die Möglichkeit gibt, Grundrisse dann neu zu denken. Das heißt, wenn wir sagen, wir haben eine Art von Idee von Nachhaltigkeit, heißt es ja, dass die Dinge lange halten" (Z. 224-227)	- Flexibilität (Z. 224-227) - Nachhaltigkeit (Z. 224-227)
Experte Z Baufirma	"Das hat das Problem, das ist eigentlich ganz nett, weil sie im Skelettbau die Dämmung in die Wand mit reinschieben können, aber wenn sie kein ordentliches System drauf machen, ist dieser Vorteil, dieser Platz Vorteil wieder weg." (Z. 160-163) "Dieser Preisunterschied, den ich eben gesagt habe, das war für Skelettbau zu Massivbau 140 zu 420. Das ist massiv zu Skelett. Wenn ich das in Brettsperrholz mache, wird's noch teurer" (Z. 165-167) "allein von der Verfügbarkeit des Holzes her, sie müssen nicht die ganz großen Bäume kaputt machen dafür. Sie haben viel mehr Potenzial im Skelettbau, als wenn Sie da anfangen Brettsperrholz zu machen. Das ist deutlich günstiger." (Z. 269-271)	- effizientes Wandsystem (Z. 160-163) - günstiger als Massivholz (Z. 165-167) - weniger Holzvolumen als bei massiven Konstruktionen (Z. 269-271)
Experte H Investor	"Was wir aber eher brauchen, ist wirklich eine Diversifizierung der Hersteller. Und da sehe ich durchaus Möglichkeiten" (Z. 310-311) "ich kann ja eventuell auch Holz mit Stahl verbinden, Holz hat sehr gute Brandschutz Eigenschaften, also wenn ich Stahl in Holz einbinde, dann ist der Stahl im Prinzip geschützt, hat aber die hohen Tragfähigkeiten und ich habe dann zumindest mal die haptische Sicherheit eine winzige Holz Stütze in der Wohnung integrieren zu können und habe gleichzeitig den Brandschutz sichergestellt" (Z. 317-321) "Also ich bin von daher in der Tat überzeugt, dass das der sinnvollere Weg ist, weil wir merken, dass diese Betonbauweise uns zu viel Zeit frisst. Also wir brauchen ungefähr 6 Monate bis das Grundgerippe in Beton da steht, das ist viel zu lang, das wollten wir eigentlich reduzieren auf 3 bis dreieinhalb Monate, Bodenplatte muss man einfach machen, führt kein Weg dran vorbei. Vielleicht muss noch das Treppenhaus nach wie vor aus Beton sein, das hängt mit dem Brandschutz zusammen, weniger mit der Statik, aber alles andere würden wir sehr gerne mit anderen Komponenten bauen und natürlich dann sehr gerne auch in Holz" (Z. 398-405)	- bei mehr Herstellern könnte es zu mehr Einsatz kommen (Z. 310-311) - Holz-Stahl Hybrid Konstruktionen möglich (Z. 317-321) - schnelle Konstruktion (Z. 398-405)
Experte C Investor	"beim Holzskelettbau oder bei Tafel Bauweise, was auch immer, hat man ja trotzdem immer einen hohen Vorfertigungsgrad und ist einfach viel schneller dadurch, dass man mit diesen vorgefertigten Elementen arbeitet, es schneidet keiner einen Baumstamm auf einer Baustelle zurecht" (Z. 150-153) "Ich glaube, die Skelettbauweise ist tatsächlich eine Bauweise, wo man relativ flexibel bauen kann, also man kann durch die Konstruktion eine hohe Flexibilität bringen, mit einem, je nachdem wie man es macht, relativ schlanken Querschnitten und einer guten Mischung von Materialien" (Z. 303-306) "die Stahlträger lassen sich sehr gut mit dem Holzskelettbau verbinden" (Z. 309) "Holzskelettbau grundsätzlich einfach eine sehr hohe Flexibilität gibt" (Z. 310) "eine viel größere Geschwindigkeit im Rohbau" (Z. 311-312) "Also ich glaube der Skelettbau ist für den Wohnungsbau sehr gut, ich glaube der Skelettbau ist für Bürobau fantastisch" (Z. 356-358) "Wenn man nicht mehr auf der grünen Wiese plant, was wir nicht mehr wollen, weil wir sonst zu viel versiegeln, wird man immer ein bisschen komisch zugeschnittene Grundstücke haben und irgendwelche Nachbarschaftsbelange oder irgendwie auch eine Brandwand, die irgendwo hinkommt, und dadurch muss man flexibel reagieren und die höchste Flexibilität hat wahrscheinlich der Holzskelettbau" (Z. 366-370)	- hohe Vorfertigung (Z. 150-153) - Flexibilität (Z. 303-306, Z. 310) - mit Stahl kombinierbar (Z. 309) - kurze Bauzeit (Z. 311-312) - im Wohnungsbau geeignet, noch besser im Bürobau (Z. 356-358) - komplizierte Grundstückszuschnitte können im Skelettbau bebaut werden (Z. 366-370)

Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"prinzipiell eignet sich der Wohnungsbau schon für den Holzbau, finde ich, wegen den geringeren Spannweiten" (Z. 144-145) "und der Wohnungsbau mit 4, 5 Metern Spannweite für so einen Raum, das eignet sich schon" (Z. 147-148)	- im Wohnungsbau wegen geringer Spannweite (4-5 m) geeignet (Z. 144-145, Z. 147-148)
Experte T Holzbauexperte	"Und da eignet sich zum Beispiel die Skelettbauweise ganz gut, wenn man an die Knotenpunkte denkt, dass wir eben die Knotenpunkte zum Beispiel in Laubholz ausformen, weil es einfach deutlich mehr Lasten aufnehmen kann, oftmals. Das ist auch nicht generell, aber wenn man zum Beispiel an eine Buche, eine Eiche oder sonst irgendwie denkt, die kann natürlich deutlich stärkere Lasten aufnehmen." (Z. 76-80) "Aber ich kann mir gut vorstellen, den Skelettbau natürlich auch für Gebäudeerweiterungen jetzt nicht unbedingt im Aufstockungsbereich, aber vielleicht in der horizontalen Erweiterung" (Z. 86-87) "Die Skelettbauweise, wie gesagt ist, glaube ich, vom Portfolio her für sehr viele Bauaufgaben das richtige und wir können mit dem Skelettbau sicherlich auch was bezahlbaren Wohnraum, aber sag mal flexibel nutzbaren Wohnraum angeht, kann man sicherlich einen Mehrwert schaffen" (Z. 99-103) "die Skelettbauweise natürlich deutlich individueller ist [...] wenn wir später Gebäudeteile austauschen müssen oder sanieren müssen" (Z. 116-118) "also auch was die Ressourcenfrage angeht, haben der Skelettbau und auch der Tafel Bau deutliche Vorteile" (Z. 126-127) "Es geht nicht darum möglichst viel Holz zu verbauen, sondern das Holz eben sehr ressourceneffizient einzusetzen und da sehe ich natürlich im Skelettbau schon, wie ich vorher gesagt habe, auch im Portfolio was wir in Zukunft haben schon mal eine Bauweise die da sicherlich Vorteile bietet" (Z. 129-132)	- Laubholz an den Knotenpunkten mit hohen Lasten einsetzen (Z. 76-80) - Gebäudeerweiterungen (Z. 86-87) - bezahlbaren, flexibel nutzbaren Wohnraum (Z. 99-103) - Sanierungen einfach durchzuführen (Z. 116-118) - geringer Einsatz von Holzvolumen (Z. 126-127) - ressourceneffizienter Einsatz von verschiedenen Holzarten (Z. 129-132)
Experten N Nutzer		
Experte E Planer		
Experte F Architekt	"reinen Skelettbau, den sehe ich eben an den Stellen, wo man eine hohe Nutzungsflexibilität braucht" (Z. 271-272)"Da [Büro, Schule] sehe ich dann den reinen Skelettbau, würde ich immer versuchen, eigentlich keine Raumbildenden tragenden Elemente auszubilden " (Z. 278-280)	- hohe Nutzungsflexibilität (Z. 271-272)- für Büro und Schule geeignet (Z. 278-280)
Experte M Baufirma	"Also dadurch, dass ich keine Verbundbauteile herstelle, wie zum Beispiel beim Holzrahmenbau, habe ich wahrscheinlich auch weniger Aufwand in der getrennten Entsorgung und Wiederverwendung Baustoffe. Das mag heute vielleicht noch nicht so relevant sein, aber ich halte das schon für einen großen Vorteil, dass ich diese Tragstruktur dann wirklich lösen kann und kann diese wertvollen Bauteile auch wieder weiterverwenden" (Z. 173-178) "Außer vielleicht die sortengetrennte Wiederverwendung von Materialien" (Z. 295-296)	- Rückbaubarkeit (Z.173-178) - sortenreine Trennung möglich (Z.295-296)

Experte D Architekt	"Ich halte das für eine sehr effiziente und sinnvolle Konstruktionsweise, bzw. wenn man einfach Stützen-Riegelsysteme anwendet, und ich halte es auch für sinnvoll, das Holz simpel zu fügen und zu stapeln, so dass man simple Verbindungen hat" (Z. 121-123) "Weil man dadurch ja die Herstellung eben vereinfacht, das Tragwerk auch lesen kann das empfinde ich persönlich als Qualität im Wohnraum, wenn man da durchaus auch Unterzüge sieht, weil das natürlich auch ja dazu beiträgt, dass die Nutzer*innen in dem Fall die Bewohner*innen das Gebäude lesen können und verstehen können und wissen, wie das eine auf dem anderen liegt" (Z. 124-128) "Ein Riesenpotential des Skelettbaus ist, dass, meines Erachtens, auch kleine Firmen in der Lage sind das anzubieten, und zwar auch im größeren Gebäudemaßstab" (Z. 209-210) "die wurde mit 6 Leuten gerichtet also 6 Zimmer haben 6000 Quadratmeter in 9 Wochen errichtet und die Teile waren vorgefertigt" (Z. 214-215) "dann gibt es eigentlich in der Firmenlandschaft, dann müsste es eigentlich ausreichend Kapazität geben das grundsätzlich zu realisieren. Also das ist ein Markt, der ist im großen Stil für den Wohnungsmarkt noch gar nicht aktiviert worden, habe ich immer den Eindruck, sondern man wendet sich immer nur an die gleichen 10 großen Firmen und das macht aber weder für die Firmen noch für die Auftraggeberinnen Sinn" (Z. 221-226) "dass der Skelettbau das so auf diese Weise auch leisten kann, denn das ist auch ein Thema, Integration von Gebäudetechnik, die den Holzbau vor große Herausforderungen stellt" (Z. 296-298)	- effiziente konstruktionsweise (Z. 121-123) - verständliche Konstruktion (Z. 124-128) - kleine Firmen können große Gebäude realisieren (Z. 209-210, Z. 214-215, Z. 221-226) - Integration von Gebäudetechnik möglich (Z. 296-298)
--------------------------------	--	---

Kategorie	Hindernisse Holz	Kernaussagen
Experte I Baufirma	"Die größte Herausforderung, wenn man jetzt Österreich, aber auch Deutschland hernimmt, ist einfach, dass es noch zu wenig in dieser Richtung gibt. Es gibt einfach zu wenig Referenzen und für die Leute, für die Bauträger, die sehr viel Geld investieren und die vielleicht 40 Jahre lang ihr Geld mit herkömmlichem Bauen verdient haben, die zu überzeugen, das ist eigentlich die größte Herausforderung an dieser ganzen Geschichte" (Z. 47-52) "wenn man jetzt keine Erfahrung [...] im Holzbau hat, verbinden sehr viele Leute mit Holzbau, dass es nicht langfristig ein Gebäude standhält, dass es leicht brennt, dass Feuchtigkeit ein Problem ist. Also diese klassischen Klischees eigentlich, mit denen kämpft man tagtäglich" (Z. 52-56) "Im innerstädtischen Bereich ist Brandschutz ein Riesenthema. Das heißt, viele Gemeinden, egal ob das jetzt Wien ist als größte und Hauptstadt von Österreich einfach..., gar keine Erfahrung haben mit Holzbau im höhergeschossigen Bereich und dort einfach eigentlich abblocken. Keiner will ein Risiko eingehen, weil sie einfach keine Erfahrung haben und man muss sehr viel Geld in die Brandschutz Anforderungen beziehungsweise Brandschutz Konzepte stecken, was eigentlich völlig unnötig ist" (Z. 57-62) "es gibt eigentlich sehr wenige Architekten, die einen Holzbau so planen können, dass er auch wirtschaftlich umgesetzt werden kann" (Z. 72-74) "die fehlende Erfahrung in der Architektur, in der Bauphysik, einfach dazu führen, dass Projekte nicht umgesetzt werden können, weil sie schlicht einfach zu teuer werden" (Z. 80-82) "die Lobby, die Betonlobby und Stahlbeton Lobby extrem stark ist, auch Ziegel Lobby ist auch ein großes Thema warum bei öffentlichen Gebäuden oder sozialem Wohnbau, ist einfach die Politik und halt diese Lobby so stark, dass der Holzbau einfach da teilweise keine Chance hat. Also das ist oft wirklich ein politischer Kampf" (Z. 89-93) "Schallschutz ist im Holzbau auch eine große Herausforderung. Fehlt auch einfach die Erfahrung und Holz hat einen Nachteil, dass eben [...] die Dichte, das Gewicht relativ gering ist und dadurch das Schallschutz ganz hohe Anforderungen hat. Das heißt, man muss da wirklich viele Tests machen, man muss aufpassen, wie man Bauteile zusammensetzt und das eben schon in der Planung berücksichtigen und das ist ein großer Punkt" (Z. 103-108) "wir brauchen 6 Monate Planungsvorlauf sozusagen vor einem Baustart, Minimum, bei Baustart muss alles geklärt sein, das heißt eigentlich muss 3 Monate vor Baustart muss alles fixiert und mit dem Kunden eingeschlagen sein. Welche Fliesen kommen dort rein, wie schauen die Wandbeläge aus, wie viele Steckdosen, HKLS-Leitungen, das ganze System, PV-Anlage und so weiter Fassade, Fenster, Türen alles. Und das ist noch ein großes Hindernis, weil das einfach ein Umdenken erfordert und da viele Bauträger nicht bereit sind, weil die arbeiten seit 50 Jahren so" (Z. 116-122) "Das technische Probleme ist natürlich Nässe" (Z. 136) "Spannweiten der Decken, also das ist auch im Holzbau, habe vorher vielleicht kurz vergessen, Spannweiten ist ein Riesenthema. Man muss schauen, dass man, wenn man einen Holzbau halbwegs mit guten Kosten umsetzen will, irgendwo bei 5 Metern frei spannenden Decken arbeiten soll, muss man Unterzüge, Balken, Säulen einsetzen. Das ist oft ein Riesenthema und da fehlt komplett das Verständnis, weil Betondecken kann ich über 12 / 15 Meter spannen und brauche gar nichts. Ist beim Holzbau vielleicht ein Nachteil, dass das nicht geht" (Z. 225-231)	- zu wenig Referenzen (Z. 47-52) - bei wenig Holzbauerfahrung gibt es viele Vorurteile gegen Holz (Z. 52-56) - wenig Erfahrung im höhergeschossigen Bereich -> risikoaverses Verhalten der Beteiligten (Z. 57-62) - wenig Architekten, die Holzbau wirtschaftlich planen können (Z. 72-74) - fehlende Erfahrung in Architektur und Bauphysik -> teuer (Z. 80-82) - starke Stahlbeton und Ziegel Lobby im Vergleich zum Holzbau (Z. 89-93) - Schallschutz (Z. 103-108) - Zusammensetzen der Bauteile muss in der Planung berücksichtigt werden (Z. 103-108) - 6 Monate Vorlaufzeit für Vorfertigung des Holzbaus (Z. 116-122) - Bauträger müssen sich an veränderten Planungsablauf gewöhnen (Z. 116-122) - Holz darf nicht nass werden (Z. 136) - geringe Spannweiten im Holzbau (Z. 225-231)
Experte P Architekt	"für uns als Architekten ist Holzbau viel komplizierter" (Z. 275-276) "haben wir gar keine Detailplanung gemacht. Das können wir gar nicht, weil es so kompliziert ist" (Z. 277-278) "Beim Holzbau muss ich immer auch natürlich den Keller in Beton machen. Das Thema Garage, Tiefgarage geht nicht in Holz" (Z. 287-288) "wo soll das ganze Holz herkommen?" (Z. 331) "wenn wir alles in Holz machen wollen, wo sind denn die Firmen, die das machen können? Haben wir nicht. Wir haben nicht diese Massen von Firmen, die das machen können" (Z. 353-355)	- Holzbau in der Planung komplizierter (Z. 275-278) - erdberührte Bauteile können nicht in Holzgebaut werden (Z. 287-288) - Verfügbarkeit von Holz? (Z. 331) - Mangel an Holzbaufirmen (Z. 353-355)

Experte Z Baufirma	"Und die Schallschutz Themen waren alle sehr aufwändig zu lösen" (Z. 58-60)"Aber klar ist, dass die Konstruktion jetzt als Holz Ständer im Vergleich zu der massiven Konstruktion deutlich teurer ist. Das würde erst günstiger, wenn ich das Thema Schallschutz und das Thema Brandschutz entschärfen würde" (Z. 109-111)"Das Hauptproblem sind fehlende Zimmerleute" (Z. 121)"Mechanisierung, klar, das kann man machen. Ich weiß nicht, ob Sie sich damit schon beschäftigt haben. Also es gibt nicht so viele Abbund Maschinen Hersteller" (Z. 130-131)"Aber wenn ich jetzt den Strich drunter ziehe, durch die Vorarbeit, die ich dann habe, weil ich so viele diese ganzen Anschlussstellen, diesen Winkel anbringen muss, um das zu montieren, bin ich jetzt, wenn ich Wohnungsbau mache, eigentlich auch nicht schneller, weil ich eigentlich im Wohnungsbau, also im Geschosswohnungsbau kann ich eigentlich vergessen, eine Holzbalkendecken zu machen, oder ich gebe sehr, sehr, sehr, sehr viel Geld aus." (Z. 140-145)"Wir machen jetzt in den aktuellen Gebäuden, machen wir eine Skelettbauweise, also im Prinzip Decken und Stützen und dübeln dann hinterher die Fassade, die Holz Fassade von außen dagegen. Damit ich die beiden Gewerke nicht vermische und der eine nicht dauernd auf den anderen warten muss. Das ist supernervig, wenn die Zimmerleute auf die Mauer und die Mauer auf die Zimmerleute warten müssen" (Z. 149-154)"Wenn Sie jetzt Brettspertholz machen, haben Sie keinen Vorteil, der ist genauso dick wie massiv Bau, das ist eh blöd und auch Schweine mäßig teuer, also noch schlimmer als Skelettbau." (Z. 163-165)"aber die Montagevorbereitung, das heißt, bis die ganzen Winkel alle sitzen. In der Zeit habe ich locker gemauert" (Z. 208-210)"Wenn Sie einen Holzbau montieren, brauchen wir mindestens 3 Leute, die herum montieren, einer am Kran, zwei die anhalten und dann können Sie sich vorstellen, ja ist schneller, aber mehr Personal verbrannt" (Z. 216-218)"Das ist ein großes Problem, was die Preisgestaltung im Holzbau angeht. Das zweite große Problem ist, dass die Plattenhersteller auch, sagen wir mal Kartell ähnliche Strukturen aufgebaut haben. Das heißt also, wenn jetzt irgendwelche Platten kaufen wollen, also Holzwerkstoffplatten, dann gibt es auch nicht so fürchterlich viele Hersteller, bei denen sie kaufen können" (Z. 282-287)	- Schallschutz im Holzbau aufwändig (Z. 59-60) - teurer als massive Konstruktion (Z. 109-111) - fehlende Zimmerer (Z. 121) - wenig Abbund Maschinen Hersteller (Z. 130-131) - Holzbalkendecken sehr teuer (Z. 140-145) - wenn man Vorarbeit mit rechnet, ist der Holzbau nicht schneller als andere Bauweisen (Z. 140-145, Z. 208-210) - Vermischen der Gewerke Maurer und Zimmerer (Z. 149-154) - Holzmassivbau sehr teuer (Z. 163-165) - mehr Personaleinsatz (Z. 216-218) - Preisgestaltung im Holzbau abhängig von wenigen Herstellern (Z. 282-287)
Experte H Investor	"Der Holzpreis ist utopisch volatil" (Z. 148) "Riesennachteil des Themas Holz heißt auch wenn die Nachfrage ein bisschen anzieht geht der Preis sofort gigantisch nach oben, also weil es einfach sehr wenige Produzenten gibt in Relation zu Produzenten die im Massivbau tätig sind" (Z. 154-157) "Das zweite ist einfach Holzbau Richtlinien werden erst nach und nach entwickelt" (Z. 157-158) "wir hatten Riesenprobleme mit der Feuerwehr. Also von daher ist genau dieses Thema Brandschutz und Schallschutz sind die ganz zentralen Themen im Holzbau" (Z. 162-164) "keine standardisierten Lösungen gibt, die jetzt Hersteller Zulassung haben, CE-Kennzeichnung oder irgendwas in der Art, müssen sie selbst spezielle Lösungen entwickeln, das durch Gutachter absegnen lassen und sind auf das Wohl und Wehe der Genehmigungsbehörden angewiesen" (Z. 164-167) "das heißt Brandverhalten des Holzes, da haben alle tierische Angst" (Z. 175-176) "Holzfassaden, im Übrigen, die totale Hölle, also das haben wir jetzt mehrfach erlebt, davor hat die Feuerwehr tierische Angst, also Brandverhalten im Bereich einer hinterlüfteten Holzfassade" (Z. 181-183) "Das zweite Thema ist der Schallschutz. Und hier gibt es noch keine wirklich guten Lösungen, die bezahlbar sind." (Z. 186-188) "also keiner entwickelt da etwas Neues und versucht da auch mal sich durch diese Entwicklung einen Vorsprung zu verschaffen, weil einfach allein Brettspertholz aktuell hier eine Mangelware ist, und damit kannst du auch schon Geld verdienen. Daher scheint die Not noch nicht groß genug zu sein, da einfach innovativer zu werden, das ist sehr schade" (Z. 427-430)	- volatiler Holzpreis (Z. 148) - zu wenige Produzenten (Z. 154-157) - Holzbau Richtlinien noch nicht ausgereift (Z. 157-158) - Brandschutz und Schallschutz (Z. 162-164, Z. 186-188) - Einzelzulassungen sind von Genehmigungsbehörden abhängig (Z. 164-167) - Feuerwehr hat Angst vor Brandverhalten, insbesondere bei hinterlüfteten Fassaden (Z. 175-176, Z. 181-183) - zu wenig Innovation im Holzbau, da bereits einfache Produkte abgenommen werden (Z. 427-430)

Experte C Investor	"grundsätzlich hat man beim Holz das Thema Brandschutz Anforderungen einfach als ein großes Thema, ein großes Problem. Muster Holzbau Richtlinie [...] aber die hat dem Holzbau keinen unbedingten Gefallen getan mit der letzten Novellierung" (Z. 59-62) "was ein anderes großes Thema ist, ist das Thema Schallschutz einfach" (Z. 71-72) "hat man natürlich da das Problem, dass es wenig Masse ist sowohl thermisch als auch schallschutztechnisch" (Z. 81-82) "ein ganz großes fehlendes Knowhow in der gesamten Immobilienbranche, da würde ich jetzt die Bauwirtschaft mit einbeziehen und auch die Planungsteams, also die Planenden, also egal von Architekten und Architekten bis hin zu Bauphysikerin, Bauphysiker" (Z. 230-233) "Die Leute gehen ja nicht nur in Planungsbüros, sondern Leute gehen auch in die Bauaufsicht. Leute arbeiten beim DIBt [Deutsches Institut für Bautechnik], bei Vergabestellen des Bundes, bei irgendwelchen Ämtern, Behörden und dadurch, dass die keine Ahnung vom Holzbau haben, lassen die sich sehr schnell von dieser Mythen-Bildung, Holz brennt, wir verbrennen alle im Holz, Holz ist viel zu teuer, Holz ist thermisch, akustisch ein Problem, wir kriegen das überhaupt nicht in den Griff. Und dann ist so ein bisschen Holz keine Option" (Z. 242-248) "gleichzeitig sind die ganzen Regelwerke darauf geschrieben, basieren in der Regel auf den Eigenschaften der mineralischen Baustoffe, und dadurch besteht natürlich das Wissen in Regelwerken auch einfach nur auf mineralischen Baustoffen, das hat natürlich Holz wahnsinnig viel aufzuräumen" (Z. 254-257) "sondern es fehlt auch in den Weiterbildungen" (Z. 261) "Meiner Meinung nach sollte es auch stärker gefördert werden, es gibt keine Förderkulisse, die explizit für Holzbau ist" (Z. 264-266) "So ein bisschen auch die Kapazitäten müssen natürlich da mitwachsen, es muss Bauunternehmen geben, die wachsen" (Z. 277-278) "Gleichzeitig ist das eine Struktur, die sich verbreiten muss" (Z. 284)	- hohe Brandschutzanforderungen (Z. 59-62) - Schallschutz, wegen geringer Masse (Z. 71-72, Z. 81-82) - fehlendes Knowhow in der Baubranche (Z. 230-233) - fehlendes Wissen über Holz führt zu Mythen (Z. 242-248) - Regelwerke basieren auf den mineralischen Baustoffen (Z. 254-257) - fehlende Weiterbildungen (Z. 261) - fehlende Förderung für den Holzbau (Z. 264-266) - fehlende Bauunternehmen (Z. 277-278) - fehlende Struktur (Z. 284)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"es ist teurer als der konventionelle Mauerwerksbau oder WDVS-Bau" (Z. 15-16) "wenn man zum Beispiel einen Wasserschaden oder irgendwas hat, ist es natürlich fatal mit dem Holzbau, weil einen Massivbau den kann ich wieder trocknen, aber wenn ich irgendwo einen verdeckten Schaden habe, irgendwo läuft mir das Wasser rein und ich habe eine Holzdecke oder den Übergang zur Fassade und da fängt es dann an zu gammeln und ich kann nachher die ganze Fassade abnehmen, im schlechtesten Fall trägt die auch noch" (Z. 46-51) "ein extrem großes Thema sind einfach Wasserschäden und Wasser und Holz, das verträgt sich nicht" (Z. 109-110) "dass man sagt man hat auch die Decken in Holz, dann haben wir zum Beispiel auch ein Thema, was Schallschutz angeht, und zwar speziell im Bereich der Bäder" (Z. 164-166) "das wäre einfach zu teuer im Holzbau und da hätten wir ein Riesenthema gehabt" (Z. 171) "im Innenstadtbereich bin und die Fenster haben einen besseren Schallschutzwert als die Wände und ich habe einfach die Masse nicht und wenn da draußen noch in 5 Meter Abstand eine Straßenbahn vorbeikommt, dann habe ich diesen Schallschutz halt nicht" (Z. 180-183) "ob das vom Wasser alles auf lange Zeit so hält. Nicht, dass da irgendwie der Hausschwamm reinkommt, man die ganze Fassade wieder abreißen muss" (Z. 188-190) "und der Holzbau ist noch ein Experimentierfeld" (Z. 191) "da muss nur einer seinen 70 Zoll Bildschirm an der Außenwand aufhängen und nimmt so einen Nagel und dann habe ich ein Loch in der Dampfsperre drin" (Z. 234-236) "im Mauerwerksbau kann ich immer etwas reparieren und beim Holzbau, das ist technisch anspruchsvoller, und das muss dann einfach funktionieren und ob das so wertgeschätzt wird von den Mietern und so gepflegt wird, wie es vielleicht erforderlich ist. Das werden wir nicht wissen" (Z. 241-245) "Was natürlich auch ein Faktor ist beim Holzbau ist der Brandschutz. Und da beißt sich dann zum Beispiel auch die Naturanforderung, ich soll eine Holzfassade machen, aber parallel soll ich das begrünen damit es jetzt noch mehr Öko ist, noch grüner und dann habe ich Brandlast in der Fassade allein durch die Fassadenbegrünung, was dann wieder dazu führt, dass ich dann gar keine Holzfassade habe, sondern dass ich dann irgendwie eine Putzträgerplatte habe" (Z. 299-304) "Jetzt ist es so, dass es aktuell noch relativ wenige Anbieter für diese Holzfassaden gibt. Parallel haben wir einen riesenbreiten Markt von klassischen Massivbauern, was bedeutet, dass, ich sag jetzt mal vom Verhältnis her 10 massiv Bauer bei 2 Also Holzfassadenbauern angerufen haben, also angefragt haben, was natürlich bedeutet, dass sie eine absolute Monopolstellung haben, was natürlich bedeutet, dass der Preis ab durch die Decke gegangen" (Z. 329-334)	- teurer als konventionelles Bauen (Z. 15-16) - Wasserschaden im Holzbau führt zu großen Schäden im Holzbau (Z. 46-51, Z. 109-110, Z. 188-190) - Schallschutz (Z. 164-166, Z. 180-183)- Realisierung des Schallschutzes im Holzbau teuer (Z. 171) - Holzbau ist ein Experimentierfeld (Z. 191) - Bewohner haben kein Verständnis für Konstruktion und könnten aus Versehen Dampfsperre oder andere Konstruktion verletzen (Z. 234-236, Z. 241-245) - Brandschutz (Z. 299-304) - widersprüchliche Anforderungen (Holzfassade vs. begrünte Fassade) (Z. 299-304) - wenige Hersteller -> teuer (Z. 329-334)

Experte T Holzbauexperte	"die Struktur von der HOAI angeht, ist ein Problem und das fehlende Fachwissen" (Z. 26-27) "ich glaube das fehlende Fachwissen, das Nichtwissen der Potenziale und eben die Anforderungen, die an den Holzbau gestellt werden. Und ich glaube schon, auch die Art und Weise, wie wir denken, in unserer Baukultur, Planungskultur aber auch in der städtebaulichen Planung, wo man den Fokus in der Vergangenheit auch gesetzt hat, glaube ich, da müssen einfach sehr viele Gedanken durchbrochen werden" (Z. 35-40) "Holz mit Bodenkontakt wird es auch in 10 Jahren nicht geben, da braucht man Beton, da braucht man auch Mauerwerk und das ist auch gut so" (Z. 179-180) "Also wir haben sicherlich immer noch sehr viele Vorbehalte auf allen Ebenen, was den Holzbau angeht. Holz brennt, Holz hält nicht" (Z. 197-198) "Also die Vorbehalte und das nicht wissen sind glaube ich ein sehr großer Hemmschuh für den Holzbau. Daraus resultieren viele Gesetzesregelungen, dass man Holz nicht das zutraut, was es eigentlich kann, und dadurch auch die Ingenieure und Architekten auch ein bisschen beschränkt" (Z. 204-208) "die Struktur der Branche ist auch aktuell noch ein Problem" (Z. 212) "Und da merkt man schon, dass auf der planerischen Ebene, aber natürlich auch nachher dann, was die Prüfeningenieure angeht und was die Genehmigungsbehörden angeht, da noch super viel Aufklärungsarbeit geleistet werden muss, damit die wissen, wie man mit dem Material richtig umgeht" (Z. 230-234)	- fehlendes Fachwissen (Z. 26-27) - Holzbau erfordert Umdenken der bisherigen Planung (Z. 35-40) - Holz nicht für erdberührte Bauteile zu verwenden (Z. 179-180) - Vorbehalte gegenüber Holz beschränken die Regelungen und die Planer (Z. 197-198, Z. 204-208) - Struktur der Branche (Z. 212) - fehlendes Wissen bei Behörden und Prüfeningenieuren (Z. 230-234)
Experten N Nutzer	"wir schaffen es hier so 3 Tage, 4 Tage die Hitze draußen zu halten, aber irgendwann ist dann Schluss und dann kommt sie rein" (Z. 14-16) "vor allem in der Heizperiode die Luft relativ trocken ist hier drin, dass wir da vor allem als die Kinder klein waren und Atemwegsprobleme hatten, dann noch ein bisschen nachfeuchten mussten" (Z. 32-34) "haben wir im Winter so eine Luftfeuchtigkeit zwischen 30 und 40% hier drin" (Z. 37-38) "Holz hat lange geknackt. Jahrelang gab es häufig so heftige Knack Töne immer wieder mal. Der Holz Bauer war der Meinung, das müsste sich relativ schnell geben, hat es aber nicht. Das haben wir heute noch, dass es irgendwo im Gebälk knackt" (Z. 110-112) "wenn sie so ein größerer Temperatur Unterschied ist von warm zu kalt und sowas nachts dann, aber mir fällt es nicht mehr besonders auf" (Z. 114-115) "Das hat sich jetzt gerade an der Wetterseite nicht so arg bewährt, weil die Lasur auch mit den Farbpigmenten, das wird relativ schnell gewegewaschen, da wo der Regen immer dran schlägt und da drunter vergraut es dann doch und an anderen Stellen vergraut es langsamer, was dazu geführt hat, dass es jetzt scheckig ist" (Z. 125-128) "Der Statiker hat nochmal ein bisschen reingegrätscht, da musste das Tragsystem nochmal ein bisschen verändert werden, aber das fanden wir jetzt auch nicht weiter schlimm." (Z. 209-211) "Ja, bis auf eine Sache, dass einmal mitten im Raum eine Stütze steht, das war ungünstig, aber sonst war das das einzige" (Z. 212-213) "Das war bei der Ausführung, das musste man den Firmen immer wieder sagen, das ist ein Holzbau und sehr viel von dem Holz bleibt sichtbar, also bitte entsprechende Vorsicht, ist trotzdem einiges schiefgegangen" (Z. 218-220) "der hat dann zum Teil gerade auf der falschen Seite das Loch gebohrt, obwohl es wirklich fünfmal abgesprochen war mit dem Architekten, auf welcher Seite er bohren kann" (Z. 221-223) "der eine Balken der da steht da hat dann auch irgend so ein Lehrling im Übermut mal seinen Zimmermannshammer so Zack in den Balken rein" (Z. 224-226) "Auch als sie hier noch gestrichen haben, da hatten wir auch ein bisschen Sorge, wir hätten ein bisschen sorgfältiger abkleben können und so, aber es war am Schluss alles sehr hektisch, also frag mich nicht, wieviel Abende ich dann hier Farbe wieder vom Balkon runter gewaschen habe" (Z. 230-233) "das Negative haben wir schon mal betont ist einfach das Trockene, aber das ist eigentlich auch fast das einzige" (Z. 328-329)	- nicht so hitzeresistent (Z. 14-16) - im Winter Luftfeuchtigkeit 30-40% -> nachfeuchten notwendig (Z. 32-38, Z. 328-329) - Holz knackt mehrere Jahre insbesondere bei Temperaturunterschieden (Z. 110-115) - Holz in der Fassade schnell grau geworden (Z. 125-128) - Statik Anforderungen haben zu einer Stütze im Raum geführt (Z. 209-213) - sichtbar bleibendes Holz wurde in der Ausführung verletzt (Z. 218-233)
Experte E Planer	"bauphysikalisch irgendwann mit Holz an die Grenzen kommt, was den Schallschutz vor allem angeht, dann auch Schwingungen, je nach Spannweite von den Decken kommt man einfach irgendwann an die Grenzen, weil einem die Masse fehlt." (Z. 87-89) "irgendwann an die Grenzen vom Material. Dann brauche ich einfach steifere Materialien oder tragfähige Materialien wie Stahl oder Beton, das mal vielleicht Material technisch als größte Herausforderung" (Z. 91-93) "Also man muss die Hersteller viel früher mit integrieren. Die Planung muss schon vor Bau- oder Produktionsbeginn abgeschlossen sein, also dass man einfach keine baubegleitende Planung macht, das heißt es muss auch ein Umdenken stattfinden bei den Bauherren vor allem" (Z. 94-97)	- Schallschutz (Z. 87-89) - Grenzen in der Tragfähigkeit (Z. 91-93) - frühe Integration der Hersteller notwendig -> Umdenken der Planungs Beteiligten, insbesondere Bauherren (Z. 94-97)

Experte F Architekt	"abhängig ist von Gebäudeklassen" (Z. 114) "Der Brandschutz macht das dann im vielgeschossigen Wohnungsbau schwierig" (Z. 124-125) "weil sie dann eben das Holz überall kapseln müssen. Und das geht dann nur mit gipsbasierten Baustoffen, wir wissen, dass die Gips Vorräte auch endlich sind" (Z. 126-128) "Akustik, das geht gut zu lösen. Schallschutz kriegt man über Schüttung gut hin, aber der Brandschutz ist einfach, wenn ich in hohe Geschossigkeiten gehe, wird er einfach kostenintensiv" (Z. 129-131) "im Holzbau grundsätzlich nicht mit nicht zu großen Spannweiten zu arbeiten. Also die große Spannweite bringt einfach große Bauteildicken und damit auch viel Materialverbrauch mit sich" (Z. 200-202)	- Holzbau abhängig von Gebäudeklasse (Z. 114) - Brandschutz im vielgeschossigen Holzbau schwierig und kostenintensiv (Z. 124-125, Z. 129-131) - Brandschutz im Holzbau nur mit Gips Baustoffen sicherzustellen (Z. 126-128) - keine großen Spannweiten (Z. 200-202)
Experte M Baufirma	"das sind Prototypen, es ist immer eine Mischung aus verschiedenen Holzbauweisen" (Z. 59-60) "Auch beeinflusst durch Hersteller, die jeder ihr eigenes Produkt generiert haben oder System generiert haben" (Z. 60-61) "wenig Standards in der Ausführung" (Z. 64) "Mitarbeiter, die haben ihr Leben lang betoniert, die verstehen nicht, warum ich zu Beginn eines Projektes in der Entwicklung Details lösen will. Die sagen dann, das machen wir im schlimmsten Fall, wenn wir bauen, überlegen wir uns, wie wir es bauen und das funktioniert nicht, also dass dieses Verständnis in allen Köpfen verankert ist, sowohl bei den Ausführenden wie bei den planenden Ingenieuren und auch Architekten, das sind eigentlich die größten Herausforderungen." (Z. 69-75) "das größte Hindernis auch für die Entwicklung dieses Holzhaus ist diese noch nicht vorhandene Standardisierung oder diese Serialität in allen Anschlüssen, also in dem Gefüge eines Systems" (Z. 80-82)"größte Schwierigkeit, die ich habe, ist die, dass niemand versteht, dass wir direkt eine Produktion haben, die überhaupt nicht darauf reagieren kann, wenn man eine Woche vorher den Start des Bauprojektes verschiebt oder einfach dann eine wirklich eine Woche vorher kommt und sagt „Wir brauchen es erst 3 Monate später“, das ist Horror, dann bekomme ich keine wirtschaftliche Auslastung" (Z. 89-93) "Baubegleitende Planung, was in vielen Köpfen drin ist, ist ganz, ganz schwer und da steht man allein da, wenn man versucht mitzuteilen, dass das eben nicht gerade sinnvoll ist. Das sind die größten Hindernisse im Holzbau," (Z. 95-97) "die Holz Bauunternehmen klassisch gesehen ganz, ganz wenig Mitarbeiter haben in der Breite, es gibt wenig Große. Da gibt es keine Lobby, es gibt keine Verbandsarbeit oder nur wenig und insofern auch keine Interessenvertretung" (Z. 109-111)	- Holzbauprojekte sind noch Prototypen (Z. 59-60) - Holzbaumarkt von Herstellern abhängig (Z. 60-61) - fehlende Standardisierung (Z. 64, Z. 80-82) - Planer und Ausführende müssen im Holzbau umdenken und früher detailliert planen (Z. 69-75, Z. 89-93) - wirtschaftliche Auslastung erfordert Einhalten des Zeitplans, um Produktion abzustimmen (Z. 89-93) - baubegleitende Planung im Holzbau nicht möglich (Z. 95-97) - fehlende Holz Lobby (Z. 109-111)
Experte D Architekt	"Die Herausforderungen sehe ich ganz klar einerseits grundsätzlich im Schallschutz. Noch mehr als im Brandschutz, denn der Brandschutz ist oft ein organisatorisches Thema. Natürlich auch die allgemein bauaufsichtlichen Zulassungen für Deckensysteme und sowas" (Z. 135-138) "Wir haben oft mit Zustimmungen im Einzelfall arbeiten müssen, ich persönlich finde das, ich bin ja Architekt und kein Systemhersteller, ich persönlich finde das ehrlich gesagt ein ganz gutes Mittel auch zu arbeiten und sich Sachen genehmigen zu lassen, aber es ist natürlich immer ein bisschen Aufwand" (Z. 139-143) "Und es ist auch eine Herausforderung für den Holzbau die Stofflichkeit genau zu bewerten" (Z. 145-146) "die Fachkenntnis und die Erfahrung ist natürlich planerseite nicht da über die ganze Branche gesprochen oder die ist nicht besonders hoch" (Z. 189-190) "Und da liegt, glaube ich so die Krux, dass man oft Planungen erstellt, die genau auf eine Firma zu gemünzt sind und dann hat man natürlich keinen Wettbewerb und das ist natürlich nicht so, wie das bisher war" (Z. 206-209) "die Leitungsführung untergebracht haben, ohne dass wir Unterzüge queren müssen, weil das [Integration der TGA] natürlich im Holzbau ein Riesenthema ist" (Z. 289-290)	- Schallschutz (Z. 135-138) - Brandschutz (Z. 135-138) - Zulassungen im Einzelfall -> viel Aufwand (Z. 139-143) - Bewertung des Holzbaus schwer (Z. 145-146) - fehlende Erfahrung (Z. 189-190) - fehlender Wettbewerb wenn auf einen Hersteller zugeschnittene Planung (Z. 206-209) - Integration der TGA (Z. 289-290)

Kategorie	Hindernisse Holzskelettbauweise	Kernaussagen
Experte I Baufirma		
Experte P Architekt	"Das ist vielleicht nur die Anfälligkeit gegen Feuchtigkeit oder dergleichen Dinge, der Detaillierungsgrad ist einfach viel höher. Fassadenaufbau, die Abdichtungsebene und dergleichen. Das ist einfach etwas komplizierter, als wenn sie Betonbau haben" (Z. 347-349)	- hoher Detaillierungsgrad -> komplizierter (Z. 347-349)
Experte Z Baufirma		
Experte H Investor	"Bau Buche, Hersteller ist Pollmeier. Er ist der einzige Hersteller" (Z. 231-232) "Und du brauchst einfach ein Hartholz dafür. Beim Einfamilienhaus ist es egal, aber das ist nicht unser Thema, sobald du drei oder mehr Geschosse realisierst, treten sehr hohe Lasten auf, die man dann einfach bis zum Fundament weiterzuleiten hat und ein Weichholz wie die Fichte, die wir hier sehr dominant haben macht diese Lastübertragung einfach nicht mit. Das heißt, die Stützen sind als Fichtenholzstützen entweder gigantisch dick oder wenn sie normale Größen aufweisen einfach zu weich, das heißt, sie verformen sich an den Schnittstellen zwischen Stütze und Unterzug und von daher brauchst du ein Hartholz." (Z. 234-241) "Die Preise sind dann alle zwei, drei Wochen angehoben worden, so im Schnitt um 15%, also utopisch. Preisgarantien wollten sie aber auch keine geben" (Z. 253-254) "Und ob ich dann überhaupt ein Lieferdatum garantiert kriege, konnten sie auch nicht sagen" (Z. 256-257) "wollen wir nur mit Materialien arbeiten, wo es wenigstens zwei, drei oder idealerweise vier Hersteller von gibt" (Z. 269-270) "mit Fichte und den Leimbändern, also Brettspertholz Elementen als Unterzüge natürlich schon gearbeitet, das funktioniert ist gar keine Frage, aber sobald Punktlasten auftreten, das heißt die Last aus der Decke über den Unterzug in eine Stütze geleitet wird, das ist der kritische Punkt, da gibt es auch ganz witzige Details und da gibt es auch verschiedene Lösungen [anonymisiert] aus riesen Stahl Teilen, die dann diese Punktlasten quasi auf ein größeres Deckenfeld erweitern, aber das ist natürlich unbezahlbar die Dinger, die kannst du als Liebhaber einsetzen, in öffentlichen Bauten, wo Geld keine Rolle spielt, aber die können wir im geförderten Wohnungsbau nicht einsetzen. Also von daher ist Fichte einfach keine Alternative, weil sie die statischen Voraussetzungen zumindest bei den Mehrgeschossern, die wir errichten nicht erfüllen" (Z. 274-283) "aber wir haben leider noch keine technische Lösung dafür, was die Lieferantenseite angeht, also auf einen Lieferanten sich zu verlassen ist mir zu risikoreich." (Z. 412-414)	- nur ein Hersteller für BauBuche -> teuer und kein garantiertes Lieferdatum (Z. 231-232, Z. 253-254, Z. 256-257) - bei drei und mehr Geschossen braucht man ein Hartholz oder sehr dicke Stützen (Z. 234-241, Z. 274-283) - mehr Hersteller benötigt -> bis dahin keine Alternative der Holzskelettbau -> technische Lösung benötigt (Z. 269-270, Z. 412-414)
Experte C Investor	"kann der Modulbau dann eben wieder machen mit schon einem Teil des Ausbaus" (Z. 326-327) "meiner in Anführungsstrichen Erfahrung nach wird nochmal im Modulbau nochmal ein bisschen gesteigert, dadurch, dass der Ausbau der Elemente schneller ist" (Z. 334-335) "wobei er wahrscheinlich dann dem Modellbau in der Geschwindigkeit des Ausbaus ein bisschen noch nachsteht." (Z. 370-371)	- Ausbau beim Modulbau schon weiter fortgeschritten als bei Skelettbau (Z. 326-327, Z. 334-335, Z. 370-371)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft		
Experte T Holzbauexperte	"Ich glaube auch da liegt es daran, dass man das vielleicht gar nicht auf dem Schirm hat. Also den Unterschied zwischen Tafel Bau, Skelettbau und so weiter" (Z. 52-54)	- Skelettbau nicht bekannt bisher (Z. 52-54)
Experten N Nutzer		

Experte E Planer	"Ich finde, es kommt auf die Größe vom Gebäude drauf an. Ich werde jetzt nicht eine Holzskelettbauweise für jedes Gebäude hernehmen" (Z. 111-112) "Skelettbauweise, denke ich, kommt irgendwann statisch zu einer Grenze" (Z. 209-210)	- abhängig von Gebäudehöhe (Z. 111-112) - statisch hat die Holzskelettbauweise eine Grenze (Z. 209-210)
Experte F Architekt	"Und insofern glaube ich den reinen punktgestützten Konstruktionen im Wohnungsbau, also wenn ich jetzt ein Bürogebäude habe oder hier so ein Institutsgebäude, dann ist das natürlich was anderes, aber ich habe natürlich im Wohnungsbau immer auch Elemente, die sind unverrückbar, also das sind vielleicht Installationsbereiche, das sind Bäder, das sind Treppen. Und dann macht das vielleicht Sinn, da eher mit einer CLT, Cross Laminated Timber also über Kreuz verleimte Massivbauelemente zu arbeiten und eben vielleicht nur im Inneren punktgestützt zu arbeiten" (Z. 179-185) "diese Lehre der ganz reinen Konstruktion, [...] die durchmischen sich in der Praxis" (Z. 189-191) "und im Wohnungsbau sehe ich das eben ein bisschen anders, weil wir da einfach neben den Erschließungselementen immer Sanitärbereiche haben und das macht Sinn, dass sie durchgehend sind und dass die auch unverrückbar sind und da finde ich, kann man eben eher in eine Mischbauweise gehen, weil es wirtschaftlich ist" (Z. 280-283)	- Skelettbauweise im Wohnungsbau nicht notwendig, höchstens im Innenbereich (Z. 179-185) - in der Praxis Mischbauweise sinnvoller (Z. 189-191)
Experte M Baufirma	"erhöht die Anforderungen an die Fügung der Elemente und auch an die Fugenausbildung. Ich erhöhe diesen Anteil der Fugen natürlich drastisch, den ich gegen Wetter schützen muss." (Z. 128-130) "dichte Fugen schaffen, Luftdichte Gebäudehülle" (Z. 131) "hohe Anforderungen an die gerade wegen dieser Fugen an die Stabilität und Qualität des Holzes." (Z. 137-138) "Nachteil, also dem sind Grenzen gesetzt" (Z. 172) "der Luftdichtheit" (Z. 188) "dass sie nicht den hohen Vorfertigungsgrad hat, wie zum Beispiel Holzrahmenbauweise, das ist für mich, was Aufstockung betrifft, ein deutlicher Nachteil, da geht es um Geschwindigkeit und um das Verhindern der Nässe" (Z. 203-206)	- Skelettbauweise hat viele Fugen, die geschützt werden müssen (Z. 128-130, Z. 203-206) - Luftdichtheit in der Gebäudehülle aufwändiger (Z. 131, Z. 188) - hohe Anforderungen an Stabilität und Qualität des Holzes (Z. 137-138) - Holzskelettbauweise hat Grenzen (Z. 172) - nicht so schnell wie Holzrahmenbauweise (Z. 203-206)
Experte D Architekt	"Also ich glaube, was da immer noch nicht ausreichend ineinandergreift ist die Verzahnung unterschiedlicher Gewerke also der Skelettbau selber wird in der Regel vom Zimmerer erstellt. Bei uns hat sich oft die Frage gestellt, weil wir in den realisierten Projekten immer einen Anteil auch aus Stahlbeton vorgesehen hatten und eben auch dann errichten oder errichten lassen mussten, haben wir nicht selber gemacht und da stellt sich immer die Frage, wer macht genau was und wie ist das verzahnt, weil die Toleranzen die man im Holzbau erreichen kann auch nicht immer erreicht, aber die eigentlich üblich sind, die sind natürlich wesentlich geringer als womit man im Stahlbetonbau zu kämpfen hat" (Z. 171-178) "die Präzision, mit der man vorfertigen kann und mit der man Spitzen zum Beispiel stellen kann und positionieren kann, die ist einfach höher als im Stahlbetonbau" (Z. 180-181) "Die Ausschreibung ist eine Herausforderung" (Z. 182)	- Gewerke (Holzbau und Stahlbetonbau) haben unterschiedliche Toleranzen (Z. 171-178, Z. 180-181) - Ausschreibung (Z. 182)

Kategorie	Überwinden der Hindernisse	Kernaussagen
Experte I Baufirma	"da muss man extrem aufpassen wie setzt man Wände zusammen, wie stößt man die Decken zusammen und so weiter, also da gibt es wirklich viele Punkte, die zu beachten sind. Wenn man das aber weiß, ist es kein Thema, also das muss man immer dazu sagen, es ist sicher am Anfang mehr Planungsaufwand erforderlich" (Z. 109-112) "Wenn man jetzt zum Beispiel ein Gebäude hat, was im Geschoss, sag ich jetzt mal 20 Wohnungen hat, dann bauen wir zum Beispiel nicht immer 20 Wohnungen im Geschoss und fangen dann im nächsten Geschoss an, sondern wir bauen 2 oder 3 Wohnungen und bauen diese im Turm komplett nach oben und bauen uns so quasi Turmbau weise nach oben. Und können so verhindern natürlich, dass wir viel Fläche, die wir haben, wenn es nass wird, abdecken müssen" (Z. 138-144) "Wenn bei [anonymisiert] jemand Zementsäcke, Fliesen oder irgendwas Schweres die Treppe rauf tragen muss, dann haben wir versagt. Das ist so die Grundaussage. Ja, dass wir wirklich versuchen, am Bau für die Leute so angenehm wie es geht auf dem Bau eine Atmosphäre zu schaffen" (Z. 182-185) "wir haben eine Checkliste, die mir auch mit Kunden durchgehen, wo genau diese Themen mit ihm durchgegangen werden, ganz früh im Stadium, wir versuchen wirklich schon eigentlich in der Entwurfsphase eines Gebäudes dabei zu sein" (Z. 231-234) "Deswegen versuchen wir wirklich, so früh wie möglich eingespannt zu werden und versuchen ein bisschen, ich sage jetzt mal, es klingt überspitzt, aber ein bisschen belehrend zu wirken" (Z. 238-240) "Da ist das Raster Maß sehr hilfreich, weil das Raster Maß schon auch ein bisschen eine Vorgabe gibt" (Z. 241-242) "wir haben auch für Architekten einen Planungsleitfaden, das ist eine Anleitung wie man Gebäude optimiert planen kann, wenn man sich danach hält, ist schon mal die halbe Miete" (Z. 244-246)	- mehr Planungsaufwand am Anfang, um Stöße zu entwickeln (Z. 109-112) - zum Feuchteschutz in Turmbauweise bauen (Z. 138-144) - angenehme Atmosphäre auf dem Bau (Z. 182-185) - Checkliste in der Entwurfsphase für optimiertes Planen im Holzbau (Z. 231-234, Z. 244-246) - frühe integrale Planung (Z. 238-240) - Vorgabe durch Raster Maß (Z. 241-242)
Experte P Architekt		
Experte Z Baufirma		
Experte H Investor	"erstmal 20, 25 Zentimeter dicke Holzdecken zu machen, da obendrauf dann 8, 10, 12 Zentimeter Schüttung, die gebunden sein muss, also sprich einen Betonkern nochmal obendrauf zu legen, dann kannst du einen Aufbau machen, der dann Trittschalldämmung und sonst was beinhaltet und dann kommt nochmal Estrich und drauf, also das ist natürlich totaler Schwachsinn. Alternative dazu sind Abhangdecken, aber dagegen wehre ich mich einfach, wenn du Holzbau errichtest und nicht mehr die Decken siehst" (Z. 193-199) "Also die Trockenbauweise ist schallschutztechnisch gesehen die beste Lösung, das ist zumindest aus unserer Sicht der Favorit" (Z. 346-347)	- Schallschutz über Schüttung oder Abhangdecken (Z. 193-199) - Trockenbau löst Schallschutz (Z. 346-347)
Experte C Investor	"Wir haben bei den Modulen festgestellt, dass durch die Schallentkopplung über so „Sylomere“, ich weiß nicht, ob sie die kennen, dadurch ganz viel gelöst werden kann." (Z. 99-101)	- Schallentkopplung über Sylomere (Z. 99-101)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"Beispielprojekte, Standarddetails, die funktionieren, die sich dann bewährt haben. Ich denke da wird es ein paar Hersteller geben, ein paar Produzenten, die haben dann ihr System, die wissen wie es funktioniert" (Z. 202-204)	- Beispielprojekte und Standarddetails treiben die Entwicklung voran (Z. 202-204)
Experte T Holzbauexperte	"wir haben eine sehr große Bildungsoffensive gegründet" (Z. 228) "da finde ich schon die Ansätze auch zum einfachen Bauen Back to the Roots gar nicht so schlecht" (Z. 246-247) "OK, was ist jetzt die Komfortzone, wo muss ich hin, was muss ich denn tatsächlich bauphysikalisch erfüllen, dass es mit einfachen Konstruktionen geht" (Z. 251-253)	- Bildungsoffensive (Z. 228) - einfaches Bauen, um weniger Technik einzubauen (Z. 246-247) - nur die tatsächlichen Anforderungen erfüllen (Z. 251-253)
Experten N Nutzer		
Experte E Planer	"wenn ich jetzt einen Massivholzbau hernehme und die Holzdecke habe, dann muss ich trotzdem noch irgendeine mineralische Schicht obendrauf legen, die jetzt vielleicht nicht statisch angesetzt wird aber, um den Schallschutz hinzubekommen oder um die Schwingungen in den Griff zu bekommen" (Z. 241-244)	- Schallschutz und Schwingungen im Holzbau nur in Kombination mit einem mineralischen Baustoff möglich (Z. 241-244)

Experte F Architekt	"ich war in Amerika und oft auch in Skandinavien verreist im Urlaub, da ist es eine Tradition, da wird einfach gesprinklert und da ist es natürlich eine Möglichkeit, wenn ich hier jemandem erklären würde, wir sprinklern unseren Wohnungsbau, das versteht kein Mensch" (Z. 142-144)	- in Ländern mit mehr Holzbau Tradition wird gesprinklert (Z. 142-144)
Experte M Baufirma	"Also wir haben viele Projekte in der Entwicklung und wir versuchen wirklich in Leistungsphase 2 absolut spätestens Leistungsphase 3 mit einzusteigen, um noch irgendwie vernünftige Lösungen im Holzbau hinzubekommen." (Z. 50-53)	- frühe Integration der Holzbau Planung, ab LP2 oder 3 (Z. 50-53)
Experte D Architekt	"Und das haben wir in der Flur Zone auch angewandt. Da spannen also die Deckenplatten in die eine Richtung 5,40 Meter, in die andere 2,20 Meter über den Flur und da brauchen wir keine Unterzüge und in dem Bereich genau können wir die Leitungen durchs ganze Gebäude immer bis an die Stelle fahren, wo wir sie brauchen." (Z. 292-296) "ich würde mir aber gerne und das machen wir auch zum Beispiel die Energiekonzepte natürlich ganzheitlich angucken. Wir arbeiten in der Regel ganz früh vor allem mit Bauphysik und TGA zusammen, weil zum Beispiel Lüftungskonzepte und so, das wird einfach nur ein gutes Gebäude, wenn das zusammen funktioniert. Ich kann nicht mehr als Architekt hingehen und sagen ich habe das alles im Griff, ich denk mir jetzt aus, wie das Aussehen soll und dann plant ihr da bitte alles rein, das funktioniert einfach heutzutage nicht mehr" (Z. 310-316)	- Integration der TGA über den Flur, da dort keine Unterzüge notwendig sind bei kleiner Spannweite (Z. 292-296) - frühe Integration der Bauphysik und TGA in der Planung (Z. 310-316)

Kategorie	Überwinden der Hindernisse	Kernaussagen
Experte I Baufirma	"Das Problem ist nur diese Baulücken werden immer mehr werden, weil Grundstücke, wo man mehrgeschossigen Wohnbau machen kann, immer weniger werden, das ist auch überall, in den Ballungsgebieten sowieso" (Z. 66-69)	- Baulücken werden weniger (Z. 66-69)
Experte P Architekt	"Wohnungsbau ist nun mal soziale Befriedigung" (Z. 129) "die Voraussetzung zum Leben ist, einfach ein gutes Zuhause zu haben, wo man sich wohlfühlt" (Z. 130-131) "Also die Regularien, diese berühmten Standards und so weiter, Schallschutz, Wärmeschutz, Brandschutz, Barrierefreiheit. Und da entwickeln sich Grundrisse ja schon automatisch aus diesen Anforderungen, wo wir als Architekten kaum Einflussmöglichkeiten haben" (Z. 152-155) "Also bei 2,60m [Raumhöhe] beginnt die Welt, weil es einfach vernünftig ist" (Z. 187-188)	- Wohnungsbau ist soziale Befriedigung (Z. 129) - Wohnraum als Voraussetzung zum Leben (Z. 130-131) - Regularien führen zu Anforderungen an Wohnraum, die kaum beeinflussbar sind (Z. 152-155) - 2,60 m Raumhöhe vernünftig (Z. 187-188)
Experte Z Baufirma		
Experte H Investor	"in jedem Bundesland eine andere Richtlinie, wie eine sozial geförderte Wohnung auszusehen hat" (Z. 92-93) "wollten wir offen sein, das heißt das Thema Grundrissgestaltung, also Freiheit, der Grundrissgestaltung war von daher eines unserer wichtigsten Themen" (Z. 96-97) "zweite war Wohnfläche optimieren, das heißt, in der vorgegebenen Gebäudehöhe" (Z. 98) "in aller Regel über 80%. Das heißt, wir brauchen mehr als 80% Wohnfläche bezogen auf die BGF. Erst dann ist ein halbwegs rentables Projekt und das ist schon eine ziemliche Herausforderung das hinzukriegen also von daher müssen wir ziemlich dran stricken" (Z. 102-105)	- unterschiedliche Richtlinien in den Bundesländern (Z. 92-93) - Freiheit der Grundrissgestaltung (Z. 96-97) - Wohnfläche optimieren (Z. 98) - 80% der BGF müssen Wohnfläche werden (Z. 102-105)
Experte C Investor	"Und das [Schallschutz] ist natürlich im Wohnungsbau nochmal ein bisschen spezifischer." (Z. 72) "aber im bezahlbaren Wohnungsbau unterwegs sind, was ja auch total am Markt fehlt, einfach nur ein normaler Wohnungsbau. Nicht nur den untersten braucht man, nicht nur den höchsten, sondern in der Mitte" (Z.145-148)	- Schallschutz im Wohnungsbau spezifisch (Z. 72) - bezahlbarer Wohnraum für den Mittelstand (Z. 145-148)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"Also was wir bauen, muss wartungsarm sein" (Z. 38-39) "dass es schnell gehen muss" (Z. 58) "Was der Wohnungsbau braucht, ist Schnelligkeit und auch eine serielle Vorfertigung, die einem auch eine Ausfertigungssicherheit gewährleistet, was die Qualitäten angeht" (Z. 70-72) "Kostengünstigen Wohnungsbau, das will jeder haben, glaube ich, also wer will mehr zahlen als er muss? Jeder will eine gute, schöne, warme Wohnung nach neuesten Kriterien, meistens mit gutem Internet, mit einer Heizung, schönem Schallschutz, Wärmeschutz, das will jeder haben von innen jetzt gedacht und natürlich möglichst kostengünstig" (Z. 80-84) "wir müssen in den Wohnungsbau eine industrielle Fertigung reinkriegen. Die Bauzeiten sind zu lang, aber auch dann brauche ich eine Zulassung und es dauert auch wieder und die Ämter sind dann auch nicht immer so ganz offen." (Z. 262-264) "dieser Planungsprozess, den finde ich unendlich lang mittlerweile" (Z. 265-266) "Und Nummer 1 auch vielleicht dann die Musterbauordnung. Warum 16 Bauordnungen, das ist absurd, also da wird seit 30 Jahren darüber mindestens diskutiert und keiner ändert irgendwas" (Z. 277-279) "es gibt inzwischen sagen wir mal sich gegenseitig behindernde Anforderungen und Wünsche" (Z. 308-309) "Man müsste schon wieder gucken, wie man wieder günstiger baut. Und ein bisschen Verordnungen zurücknimmt" (Z. 406-407)	- wartungsarm (Z. 38-39) - Schnelligkeit (Z.58) - industrielle Vorfertigung -> hohe Qualität bei der Ausführung (Z. 70-72, Z. 262-264) - Schallschutz, Wärmeschutz, neueste Kriterien, aber bezahlbar (Z. 80-84) - langer Planungsprozess wegen unterschiedlichen Bauordnungen (Z. 265-266, Z.277-279) - widersprüchliche Anforderungen (Z.308-309) - Bauen muss einfacher werden (Z. 406-407)
Experte T Holzbauperte		
Experten N Nutzer	"dass man sich wohlfühlt, wenn man nach Hause kommt" (Z. 52) "uns war der offene Grundriss eigentlich wichtig" (Z. 57-58)	- Wohlbefinden (Z.52) - offener Grundriss (Z. 57-58)

Experte E Planer	"ordentlich ohne Bauschäden gebaut sein, gesellschaftlich vielleicht mehr leistbaren Wohnbau, aber auch qualitativ hochwertiger Wohnraum geschaffen werden" (Z. 58-60)	- qualitativ hochwertigen Wohnraum bei gleichzeitig bezahlbarem Wohnraum (Z. 58-60)
Experte F Architekt	"bezahlbaren Wohnungsbau zu bauen" (Z. 64-65) "dass das wenig mit dem Bau zu tun hat und viel im Boden liegt" (Z. 66-67) "wie kann man irgendwie typologisch eine Wohnung so organisieren, dass man mit wenig Fläche auskommt, weil das natürlich auch eine erschreckende Erkenntnis ist, wenn man sieht, wie der Flächenanteil pro Kopf in den letzten Jahren gewachsen ist" (Z. 73-76) "Also insofern fragen wir uns so ein bisschen über die Wohnung hinaus, wie kann man da eigentlich das so stricken, dass man irgendwie, nicht zwangsmäßig, aber dass man doch irgendwie auch Begegnungen ermöglicht" (Z. 85-87) "Flut an Anforderungen" (Z. 89) "eigentlich haben wir gar keine Wohnungsraumprobleme, aber die sind alle an falschen Stellen und das kann man jetzt auch keinem erklären, dass wir eine Land-Stadt-Problem haben" (Z. 103-105)	- bezahlbarer Wohnraum (Z. 64-65) - hohe Grundstückskosten (Z. 66-67) - steigender Flächenbedarf (Z. 73-76) - Begegnungen außerhalb der Wohnung (Z. 85-87) - große Menge an Anforderungen (Z. 89) - mangelnde Verteilung von Wohnraum auf Stadt und Land (Z. 103-105)
Experte M Baufirma	"ganz grundsätzlich, was von Kunden kommt, ist das Thema der Nachhaltigkeit in erheblich stärkerem Umfang insbesondere. Also ich kenne es aus der Schweiz, ich kenne es aber auch, beginnend mit Deutschland" (Z. 40-43)	- Interesse an Nachhaltigkeit (Z. 40-43)
Experte D Architekt	"als natürlich auch mobil, Mobilitätsangebote wie Lastenräder oder Autos, das sind so Herausforderungen, denen wir uns im Wohnungsbau stellen müssen und die auch Neubauten gegenüber dem, was wir kennen, hervorheben und das Potenzial einfach erhöhen." (Z. 66-69) "Fahrradstellplätze muss man sehr wohl bauen, aber keine PKW-Stellplätze" (Z. 92) "auch alternative Familienkonstruktionen leben also die „Nesting“-Modelle brauchen, das bedeutet, dass sich die Kinder in Patchworkfamilien, dass die einen festen Sitz haben und die Eltern hin und her ziehen, wenn sie sich getrennt haben oder so. Will sagen der Verbund wird so ein bisschen größer und das braucht natürlich flexiblere Wohnräume und es gibt viele Ansätze mit zuschaltbaren Räumen oder teilweise auch Gemeinschaftsräumen innerhalb mehrerer Wohnungen, sodass man sich da eben ein bisschen Fläche auch wieder teilen kann, jetzt gar nicht Monofunktional belegt ist." (Z. 100-106) "sondern wo es einfach Fläche gibt, die man sich zum Beispiel als Wohnzimmer oder was man auch immer dort machen möchte, teilen kann, mit mehreren Parteien" (Z. 107-109)	- Mobilität -> Fahrrad Stellplätze statt PKW-Stellplätze (Z. 66-69, Z. 92) - alternative Wohnkonzepte über das Zuschalten von Räumen, Räume teilen (Z. 100-106, Z. 107-109)

Kategorie	Bezahlbarer Wohnraum	Kernaussagen
Experte I Baufirma		
Experte P Architekt	"Also Erkenntnis ist die für uns, dass wir mit mehr Vorfertigung auf die Baustelle müssen" (Z. 202-203) "Also Vorbild Autoindustrie. Da sind wir sehr schnell wieder beim Modulbau" (Z. 204-205) "Ob das in Holz oder Beton ist, ist völlig egal." (Z. 206) "über diese große Serie, das heißt, man hat eben ein Modul tausende Male, dann kann man natürlich günstiger werden. Man wird auch günstiger dadurch, dass es schneller geht" (Z. 209-210)	- Vorfertigung (Z. 202-203) - Modulbau (Z. 204-205) - Holz- oder Betonmodule (Z. 206) - serielle Fertigung (Z. 209-210)
Experte Z Baufirma	"Im Moment ist es so, dass selbst beim Einfamilienhausbau, wo Schallschutz und Brandschutz sehr deutlich geringer ist, bin ich auch so 5 bis 10% auf jeden Fall im Holzbau teurer als in Massivbau." (Z. 116-118) "wenn ich wirtschaftlich optimieren will, dann bin ich beim Kalksandstein." (Z. 172-173) "Wenn es bezahlbar sein soll, dann ist es definitiv KS ganz langweilig, ganz klassisch, eine möglichst dünne Stahlbetondecke und fertig" (Z. 176-177)	- Holzbau mind. 5-10% teurer als Massivbau (Z. 116-118) - Mauerwerk KS (Z. 172-173) - dünne Stahlbetondecken (Z. 176-177)
Experte H Investor	"da wir 80, 90% sozial geförderten Wohnungsbau machen, ist die Holz-Hybrid Bauweise bei uns die favorisierte Bauweise." (Z. 70-71) "alle Außenwände sind bei uns in Holzständerbauweise mit Holzweichfaser Platte außen als Holzträgerplatte, innen dann OSB und dann ausgedämmt je nach Erfordernis entweder mit Holzweichfaser beziehungsweise Zellulose oder wenn es dann ein höherer energetischer Standard sein muss, also KFW 40 dann in Mineralwolle, das heißt alle Außenwände sind, wenn man so will, regenerativ und die Decken und die Stützen, je nachdem wie wir es machen, inklusive des Treppenhaus Kerns ist dann noch Beton" (Z. 77-82) "Das heißt, wir wissen zwar unsere Außenwand ist etwas teurer als die Massivwand, aber sie hat einen enormen Vorteil im Hinblick auf den Wohnflächengewinn und die Wohnfläche kostet Geld, also auch im Verkauf bringt sie dann auch Geld, das ist eine Erlös Frage auch und deswegen für uns einer der entscheidenden Vorteile." (Z. 383-387)	- Holz-Hybrid Bauweise (Z. 70-71) - Außenwände in Holzständerbauweise (Z. 77-82) - Decken, Stützen, Treppenhaus in Beton (Z. 77-82) - Außenwand teuer, aber Wohnflächengewinn und hoher Erlös (Z. 383-387)
Experte C Investor	"Ich glaube, der Holzskelettbau ist eine sehr kluge Art und Weise mit Holz umzugehen. Im Wohnungsbau ist es teilweise so, dass man glaube ich einfach noch bei den Mischformen von Wohnungen einfach sicherlich das Sinnvollste ist, aber man muss gucken, wie man noch ein bisschen mehr Ausbau in die Skelettbauweise reinbringt, ob das möglich ist" (Z. 443-447)	- Holzskelettbauweise (Z. 443-447) - so viel Ausbau in der Vorfertigung wie möglich (Z. 443-447)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"Am Ende ist es Mauerwerk, Mauerwerk kostet mich die Hälfte im Vergleich zum Stahlbeton" (Z. 253-254) "Da muss ich auch nicht klassisch hochmauern, sondern ich kann wirklich fertige Elemente auf die Baustelle bringen und die draufsetzen" (Z. 256-257)	- Mauerwerk (Z. 253-254) - Vorfertigung (Z. 256-257)
Experte T Holzbauexperte		
Experten N Nutzer	"Bei uns war es ja eigentlich die günstigere Lösung, dann letzten Endes doch. Also ich sag mal so, das Haus hier ist maßgeschneidert für dieses Grundstück" (Z. 238-239) "Holzständerbauweise" (Z. 353)	- Holzbauweise wegen Grundstücksrandbedingungen (Z. 238-239) - Holzständerbauweise (Z. 353)
Experte E Planer	"Natürlich unser System [...] [Holzhybridsystembauweise] Ich finde das ist abhängig vom Projekt" (Z. 199-200)	- Holzhybridsystembauweise (Z. 199-200) - abhängig vom Projekt (Z. 199-200)

Experte F Architekt	"insofern diskutieren wir über Skelettbau oder Elementbau. Ich glaube, dass man die Systeme nicht mehr so in ihrer Reinheit einsetzen kann" (Z. 174-175) "es ist natürlich klar, dass wir gucken müssen, dass wir möglichst wenig, auch wenig Holz verbrauchen" (Z. 176-177) "Und diese Mittelwand war gleichzeitig die Bad-Wand und so weiter. Das muss man abwägen und Bauteildicken sind eines. Da geht aber natürlich auch mit einher eine Frage der Modularität also, wenn wir über Kosten reden, dann ist es eben interessant zu gucken, dass man möglichst viele gleiche Teile hat. Das geht einher zu Transport, geht aber auch einher zu einem Montagekonzept" (Z. 224-228) "dass man in Holz sehr günstigen Wohnungsbau bauen kann. Wie gesagt, ich würde einfach hinterfragen, ob es so diese Reinheit des Skelettbaus, der wirklich rundum ausschließlich aus Stützen besteht, ob das die günstigste Methode ist. Also die Außenwände im Wohnungsbau, glaube ich, da tut man sich einen gefallen, wenn die im Holzrahmenbau gebaut sind, weil ich dann die sofort zur Aussteifung heranziehen werden kann. Und dann kann ich den Zwischenraum eben füllen, das glaube ich, ist sinnhaft. Und dann glaube ich ist es eher für mich eben eine Mischbauweise und damit glaub ich kann man sehr günstigen Wohnungsbau bauen und im Grunde genommen auch in jeder Geschossigkeit, aber es wird eben anstrengender, je höher ich baue" (Z. 371-380)	- Elementbau und Skelettbau (Z. 174-175) - so wenig Holz wie möglich (Z. 176-177) - Modularität (Z. 224-228) - Transport und Montagekonzept optimieren (Z. 224-228) - Mischbauweisen mit Außenwänden in Holzrahmenbauweise (Z. 371-380)
Experte M Baufirma	"Also ich sehe keinen wirtschaftlichen Vorteil, pauschal zu sagen, die Skelettbauweise ist dafür für bezahlbaren Wohnraum oder überhaupt den anderen Systemen überlegen. Ich überleg grad von der Materialseite, typische Holzbau Aufträge, geschlossene Hülle habe ich 60% Materialkosten, 40% Lohnkosten, wenn nicht sogar das Material noch deutlich höher ist, also ich bräuchte eigentlich in der Hauptsache erstmal Materialeinsparung. Die habe ich nicht. Ich gehe davon aus, ich brauche für alle Bauweisen dieselbe Menge an Materialien, wenn ich sie in der gleichen Qualität umsetzen möchte" (Z. 268-274) "Holzrahmenkonstruktion mit dem hohen Vorfertigungsgrad, die können auch etwas einfacher ausgeführt sein, hoch standardisiert ist, ein seriellles Bausystem, das entwickelt ist. Das kann dann als Modul ausgeführt werden oder eben als serielle Bauelemente auf die Baustelle gehen. Das halte ich für das Wirtschaftlichste" (Z. 307-310) "Ich denke momentan ist die die Schere zum Massivholzbau nicht so groß, aber je teurer das Material wird, umso mehr und umso teurer wird es werden, weil es einfach eine Ressource ist" (Z. 311-313)	- Skelettbauweise nicht wirtschaftlicher als andere Holzbauweisen (Z. 268-274) - Holzrahmenbauweise mit höchstem Vorfertigungsgrad -> wirtschaftlichste Lösung (Z. 307-310) - Holzmassivbauweise insbesondere bei steigendem Holzpreis teuer (Z. 311-313)
Experte D Architekt	"Also man kann auch mit Holztafelbau arbeiten bis Gebäudeklasse 4, sag ich mal, kommt man da ganz gut hin. Das ist, glaube ich, aus strukturellen Gründen oft wirtschaftlich, weil die Einzelteile günstig sind, die Wertschöpfung komplett in kleinen Zimmereien liegen kann. Damit kann man da sehr wirtschaftlich arbeiten, sowohl für Vorfertigung als auch fürs Richten. Wenn es ein bisschen größer wird, dann kommt eigentlich als effiziente Bauweise fast nur noch der Skelettbau in Frage" (Z. 232-237) "insofern eignet sich natürlich meines Erachtens die Skelettbauweise absolut als Bauweise für günstigen Wohnraum" (Z. 240-241)	- Holztafelbauweise bis Gebäudeklasse 4 (Z. 232-237) - bei größeren Gebäuden Holzskelettbauweise (Z. 232-237, Z. 240-241)

Kategorie	Maßnahmen zur Kosteneinsparung im Wohnungsbau	Kernaussagen
Experte I Baufirma	"sehr viele Projekte, die leider kostentechnisch daran scheitern, dass die Garage zu teuer ist" (Z. 340-341) "Wie gesagt, die Planungen generell, man sieht wirklich oft, wenn Architekten planen, die hat wenig Erfahrung im Holzbau haben, ist das Gebäude wirklich meistens zu teuer, um es umzusetzen" (Z. 375-377)	- Garage (Z. 340-341) - fehlende Erfahrung der Architekten im Holzbau (Z. 375-377)
Experte P Architekt	"wo plötzlich das Treppenhaus breiter werden muss mit dem Handlauf, extra vor der Wohnung müssen größere Flächen sein. Und das hat natürlich insgesamt Auswirkungen auf die Gesamtbaukosten, weil die Erschließungsbereiche, die nicht verkaufbar sind, werden plötzlich größer. Die Flure innen drin werden größer, die Bäder werden größer, ohne dass da jetzt auch ein echter Bedarf dazu wäre" (Z. 156-160) "Noch mehr Dämmung, Dämmung, die eigentlich gar nichts mehr bringt, also Dämmstärke, dann noch mehr Technik auch. Wir haben einen Technikanteil jetzt in den Gesamtbaukosten von über 30 Prozent" (Z. 180-183) "wir können uns nicht mehr leisten an einem Treppenhaus zwei Wohnungen oder eine Wohnung sogar zu haben, sondern wir müssen an einem Treppenlauf möglichst viele Wohnungen organisieren, weil man die Aufgabe hat, bei einem großen Block möglichst wenig Treppenhäuser zu machen, weil die Geld kosten, weil sie Platz fressen, weil es Aufzüge sind, die gewartet werden müssen. Also immer versuchen, möglichst viele Wohnungen an einem Treppenhaus zu konzentrieren" (Z. 239-244) "Da wird man neue Systeme entwickeln müssen, die weggehen von dem teuren Auto. Wenn wir überlegen, dass eine Tiefgarage in der Regel 40.000 € kostet, dann ist das nicht mehr tragbar, wenn man jetzt kostengünstigen Wohnungsbau machen sollte. Und das gleiche gilt für die Kellerräume in Beton. Wie gesagt, da wird man dazu kommen. Wir haben so ein Projekt gemacht mit [anonymisiert] außenliegenden Kellerräumen, auch als Gartenhäuser und so weiter" (Z. 440-444)	- Anforderungen an Barrierefreiheit fordern mehr Fläche (Z. 156-160) - unwirtschaftliche Dämmung (Z. 180-183) - Technikkosten über 30% der Gesamtkosten (Z. 180-183) - Erschließungsflächen (Z. 239-244) - Garagen (Z. 440-444) - Kellerräume (Z. 440-444)
Experte Z Baufirma	"Ultra rationeller Grundriss" (Z. 34) "Wir durften uns über den Schallschutz hinwegsetzen" (Z. 35-36) "Die Grundstückskosten waren 0" (Z. 37) "Das heißt, wir waren nicht auf Flächeneffizienz in punkto Grundstückskosten angewiesen, wir mussten also nicht hoch bauen, sondern wir waren mit EG OG fertig. Das heißt das Thema Brandschutz Anforderungen, Fluchtwege war super einfach zu lösen" (Z. 39-42) "beiden kleinen baulichen Kostentreiber, Schallschutz und Brandschutz" (Z. 43-44) "Wenn ich anfangen, dann eine Vorhang Fassade drüber zu machen bin ich wirtschaftlich komplett tot" (Z. 63-64) "alle Fassaden Lösungen überproportional teurer als ein als ein Putz System." (Z. 69) "Installations-Ebenen [...] nochmal 25€ den Quadratmeter weg" (Z. 223-226) "Beim KS geh ich hin und nimm mir meinen Dosen Bohrer, mach meine Elektrodose rein und bin fertig, das ist einfacher." (Z. 227-228) "Wir verlieren in Deutschland das Geld nicht beim Bauen. Wir verlieren das Geld in Deutschland bei den 7 Jahren davor und den ganzen Vorschriften, die wir uns selbst auferlegt haben. Nochmal ein Beispiel diese 7 Jahre, die ich bei diesem Projekt verloren habe, wenn ich die umlege auf Miete, also nur die Zinsen aus den 7 Jahren, wären entsprechend 2€ Miete pro Quadratmeter. Jetzt will ich gefördert für 6€ pro Quadratmeter vermieten, hab 2€ nur für die Zinsen verbraten. Die restlichen 4€ brauche ich für den Grundstückseinkauf und dann klappt es nicht mehr. Dann bleibt genau 0 Geld für das Bauen und Planen" (Z. 256-262) "Eigentlich in der Baurechtschaffung und am schlimmsten ist wirklich diese ganze Phase Baurechtschaffung, die 6 Jahren, 5 Jahre, 7 Jahre, die sie brauchen, um überhaupt mal ein Baurecht zu kriegen, also die ganze politische „wir müssen alle beteiligen“-Vorgang, der dauert unendlich lange und da gibt es die abstrusesten Diskussionen." (Z. 304-307) "das Thema Installations-Ebene wenn sie darauf verzichten können, aus Grundrissgründen haben sie Geld gespart, also wenn sie konsequent verbieten, dass die Nutzer ihre Steckdosen in die Außenwand machen, sondern nur in die nicht Wohnungsabschlussbildenden Innenwände, dann klar, das bringt was" (Z. 320-323)	- einfachen Grundriss (Z. 34) - Schallschutz (Z. 35-36) - Grundstückskosten (Z. 37, Z. 43-44, Z. 256-262) - Brandschutz abhängig von Gebäudeklasse (Z. 39-42, Z. 43-44) - Vorhang Fassaden (Z. 63-64) - Putz System am günstigsten (Z. 69) - Installationsebenen (Z. 223-226, Z. 320-323) - Vorschriften (Z. 265-262) - Baurechtschaffung (Z. 304-307)

Experte H Investor	"Das heißt, wir machen das Spiel einfach nicht mehr mit, das heißt, wir halten zwar 4109 Mindestschallschutz ein, wir sind auch besser als der Mindestschallschutz, aber die neueste Norm für den hochwertigen Wohnungsbau, also diese 4109 Teil 5, nö, machen wir nicht, die kriegst du einfach nicht" (Z. 352-355) "guten energetischen Standard einzuhalten und der gute energetische Standard war seltsamerweise dieser KFW 55 Standard" (Z. 438-439) "wir haben auch gemerkt, dass wir keinen Unterschied haben, was hier Verbrauchskosten angeht zwischen einem KFW 40 und einem KFW 55 Haus" (Z.443-444) "nach dem Kochen wird gelüftet und so weiter, also das Nutzerverhalten ist viel entscheidender als jetzt noch mehr Dämmung draufzupacken" (Z. 445-446) "KFW 40 bauen und haben dadurch 8 bis 10% höhere Baukosten, weil wir einfach plötzlich die Bodenplatte unten drunter dämmen müssen, was sehr aufwendig ist. Die Wände sind jetzt nicht mehr 28 Zentimeter, sondern 36 Zentimeter." (Z. 447-449) "gleich die Preise fürs Fenster [wegen Wärmeschutzanforderungen] auch wieder um 20, 30% erhöht" (Z. 453) "beim Schallschutz gehen wir unseren eigenen Weg, wo wir einfach sagen, egal welche Norm ihr bringt, wir machen unsere eigene" (Z. 464-465)	- keinen erhöhten Schallschutz (Z. 352-355, Z. 464-465) - KFW 55 Standard am wirtschaftlichsten (Z. 438-439, Z. 443-444, Z.445-446) - Wärmeschutzanforderungen immer höher (Z.447-449, Z. 453)
Experte C Investor	"wenn man sich eben nicht sagt, ich muss, ich will den obersten Komfort auswählen, das muss ich ja selbst entscheiden, es gibt ja auch Komfort plus Komfort normal und irgendwie gibt es auch Basic oder so, wie die heißen weiß ich leider nicht genau" (Z. 174-176) "diese Brandschutzanforderungen, die entstehen dadurch, dass man nur noch, also jetzt, gerade wenn man es ganz hart sieht, 25% sichtbare Holzfläche sagt erstmal, dass man die nur noch haben darf durch die Muster Holzbau Richtlinie. Das ist eine unnötige Verteuerung des Ganzen, weil man mit dem Holz einfach eine sehr gute Sichtholz Optik hinbekommt" (Z. 182-186) "in dem untersten sozialen Wohnungsbau, sich mal Gedanken machen müssen, weil da gibt es Anforderungen, wie es ausgestattet sein kann. Und da gibt es dann weiß verputzte Wände einfach, die das zu haben hat. Warum das nicht weglassen und einfach diese Holzwand" (Z. 188-191)	- nicht den höchsten Schallschutz (Z. 174-176) - Brandschutz, Muster Holzbau Richtlinie (Z. 182-186) - Anforderungen im sozialen Wohnungsbau (Z. 188-191)
Experten R Wohnungsbau- gesellschaft	"im besten Falle habe ich innovative Ideen, muss die aber über Zulassungen im Einzelfall immer dann erst mal genehmigen lassen und das ist ein Risiko, sowohl terminlich als auch kostentechnisch und das will natürlich auch keiner tragen" (Z. 97-99) "Die Grundstückskosten sind schon groß, diese ganzen Genehmigungsgebühren. Dann werden Bebauungspläne aufgestellt, die auch nicht einzuhalten sind, da gibt es muss man Befreiungsgebühren dann zahlen für Sachen, die sich jemand ausgedacht hat und da sind oft Widersprüche drin." (Z. 354-357) "Zum Beispiel die Erschließung, Aufzüge, überall ist ein Aufzug drin, es ist gerade egal, wenn dreigeschossig ist Aufzug, die Dinger kosten ein Schweinegeld in der Beschaffung und die kosten ein Schweinegeld im Unterhalt, Wartung, Service und im Strom" (Z. 361-363) "die Anzahl an Bädern und die Größe der Bäder, also manchmal denkt man, wohne ich im Bad? Und Bäder kosten halt einfach ein immenses Geld" (Z. 371-373) "Also der Schallschutz wird vollkommen übertrieben" (Z. 381) "die sind barrierefrei, den Rest kannst du doch ganz normal. Und das kostet auch alles Platz ohne Ende, dann ist es auch diese Übertechnisierung von Gebäuden, das find ich auch, also, wenn ich dann noch Lüftungsanlagen habe, habe ich höhere Geschosse, das wirkt sich wiederum auf die Abstandsflächen aus. Ich habe dann riesige Treppenhäuser wegen den Aufzügen, also die Ausnutzung der Grundstücke wird immer schlechter" (Z. 383-388) "ob ich jetzt 15 Zentimeter oder 35 Zentimeter habe im Verhältnis zu dem Verlust, den ich als Wohnfläche generiere und dann brauche ich irgendwelche Monsterdübel für die es wieder keine Zulassung gibt, weil ich wieder eine fette Dämmung habe" (Z. 390-393) "mit den Dachbegrünungen eigentlich den falschen Weg, also man bringt riesige Gewichte immer da hoch, dass es Konsequenzen bis in die Fundamente hat, kann dann auch ein Statiker mal erklären, dass die Stützen doppelt so viel Eisen brauchen, wenn ich da oben 100 Tonnen jonglieren möchte" (Z. 407-410)	- Zulassungen im Einzelfall hohes Risiko -> verhindert Innovation (Z. 97-99) - Grundstückskosten (Z.354-357) - Baugenehmigung (Z.354-357) - Aufzüge (Z. 361-363) - Bäder (Z.371-373) - Schallschutz (Z.381) - Barrierefreiheit (Z.383-388) - Wärmeschutz (Z.390-393) - Dachbegrünung führt zu hohen Lasten (Z. 407-410)
Experte T Holzbauexperte		

Experten N Nutzer	"das war bei uns der Keller. Da haben wir bewusst darauf verzichtet." (Z. 264) "eigentlich haben wir uns damals sehr intensiv damit auseinandergesetzt und haben die Entscheidungen eigentlich alle während der Planungszeit und zum Teil noch während der Bauphase getroffen. Also da gibt es jetzt wenig zu optimieren im Nachhinein" (Z. 265-267) "wenn Geld keine Rolle gespielt hätte, dann hätten wir da jetzt wahrscheinlich elektronisch gesteuerte Rollläden [...] oder so Lamellen" (Z. 269-272)	- Keller (Z. 264) - Rollläden (Z.265-272)
Experte E Planer	"Also das muss alles sehr clever geplant sein, deshalb würde ich es wirklich abhängig vom Gebäude machen, von der Location. Vielleicht auch, welche Produzenten sind drumherum, gerade wenn ich, wenn ich das jetzt auch von der LCA her optimieren möchte, was habe ich, was habe ich drumherum für Produzenten, wie kann ich Transportwege verkürzen, sowas." (Z. 212-216) "Vorfertigung, Verkürzung von der Bauzeit, frühe Entscheidungen" (Z. 220)	- Kosten auf Gebäude und Standort optimieren -> z.B. regionale Produzenten (Z. 212-216) - Vorfertigung (Z. 220) - frühe Entscheidungen und kurze Bauzeit (Z. 220)
Experte F Architekt	"Parkierung ist ein riesiges Thema" (Z. 334) "also man kann durch Zahlungen an die Kommune, von der Stellplatznachweisverpflichtung runterkommen. Also da liegt, da liegt wahnsinnig viel Geld drin. Da liegt Geld drin und es liegt natürlich auch Geld drin in dem Wunsch der Bürger, Wohnungssuchenden nach viel Fläche" (Z. 351-354) "Also es liegt auch an uns selber, weil wir irgendwie da die Anforderungen haben, dass man viel Raum hat. Wenn man eigentlich gesellschaftlich erkennen, dass weniger eher mehr ist, dass wir uns irgendwie mal wieder so ein bisschen rückbesinnen müssen und Slow, dann ist das eben auch ein Teil der Wahrheit" (Z. 357-361) "Im Massivbau habe ich erstmal 20, 30 Zentimeter tragende Wand und dann klebe ich davor irgendwie meine Dämmung und dann habe ich noch eine Schicht und im Holzbau habe ich einfach in der Tragebene schon die Dämmung drin liegen und damit gewinne ich einfach Fläche und Fläche heißt in dem Fall Geld." (Z. 394-398)	- Garage und Stellplätze (Z. 334, Z. 351-354) - Flächenbedarf (Z. 357-361) - Holzfassade spart Fläche (Z. 394-398)
Experte M Baufirma	"die Wirtschaftlichkeit des Holzbaus hängt maßgeblich davon ab, wie treffe ich die Brandschutzanforderungen und wie schaffe ich eine Konstruktion, die Holz in seinem Leistungsbereich hält, auch was die Spannweiten angeht. Wenn ich das Stützenraster vergrößere, gehe ich oftmals dann auch in unwirtschaftliche Spannweiten" (Z. 168-171) "Für mich ist das die Festlegung einer wirtschaftlichen Dämmdicke eines wirtschaftlichen energetischen Standards. Ich kann fast in Richtung Passivhaus gehen, aber ich habe einen überproportional großen Aufwand an Energie für die Herstellung dieser Dämmstoffe, was auf den gesamten Lebenszyklus des Hauses wertlos ist, unsere Qualitätsstandards insgesamt: Ausführungsdetails, die Schallschutz Vorgaben etc., die haben und erfüllen einen extrem hohen Standard." (Z. 345-350) "Da Abstriche zu machen, das bringt sicherlich am meisten, eine vernünftige Gebäudetechnik zu installieren, die funktioniert" (Z. 354-355)	- Brandschutz (Z. 168-171) - Konstruktion wirtschaftlich ausschöpfen (Z. 168-171) - wirtschaftlicher energetischer Standard (Z.345-350) - Schallschutz (Z.345-350) - Gebäudetechnik (Z.354-355)
Experte D Architekt	"man hat interdisziplinär gearbeitet und das halte ich für wichtig und ich halte auch die Ergebnisse für günstiger in der Gesamtbetrachtung, als wenn man einfach mit der TGA kompensiert, was die Architektur falsch macht" (Z. 319-321) "Dann finde ich ein großes Potenzial, Wohnraum günstig zu machen, ist einfach der sparsame Umgang mit Wohnfläche" (Z. 323-324) "durch so Gemeinschaftseinrichtungen kann man zum Beispiel einen Quadratmeter Fläche für den Drucker, dann den Quadratmeter für eine Waschmaschine, einen Quadratmeter für einen Abstellraum" (Z. 328-331) "Und wenn ich dann in Summe 5 Quadratmeter weniger bezahlen muss, in der Wohnung an Miete, dann ist das auch günstiger und so kann man also auch die Gebäudekosten besser verteilen." (Z. 331-333)	- Gebäudetechnik (Z.319-321) - Flächenbedarf (Z.323-324) - Gemeinschaftseinrichtungen -> Fläche sparen (Z. 328-331, Z. 331-333)