

Diplomarbeit

Technologische Entwicklungen und Tragwerksmaterialien im Holzbau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Technological developments and structural materials in timber construction

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

Aleksandar Sladojević, BSc

Matr.Nr.: 01428407

Betreuung: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Karl Deix**
Univ.Prof.in **Agathe Robisson**, PhD
Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Baustofflehre und Werkstofftechnologie
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/207-01, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Dezember 2023

Kurzfassung

Moderne und innovative Tragwerksmaterialien haben im Hochbau die Realisierung komplexer Konstruktionen ermöglicht. Diese Entwicklungen sind maßgeblich von technologischen Fortschritten geprägt. Die vorliegende Diplomarbeit konzentriert sich insbesondere auf die Entwicklungen im Deckenbau, wobei ein Schwerpunkt auf den vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten von Holzdecken liegt. Zum Einstieg in die Thematik werden grundlegende Informationen über den Baustoff Holz und die üblichen Bauweisen im Holzbau vorgestellt. Darüber hinaus werden die gängigsten Holzwerkstoffe erläutert, wobei auch auf die Grundlagen und Anforderungen an die Bemessung und Konstruktion sowie an die bauphysikalischen Eigenschaften von Holzdecken eingegangen wird.

Diese Arbeit behandelt die neuesten Entwicklungen im Bereich der Deckensysteme. Dabei wird verdeutlicht, wie Holz und seine vielfältigen Werkstoffe wegweisende Lösungen für moderne Baukonzepte bereitstellen. Die Holzdeckensysteme wurden grob in zwei Systeme eingeteilt. Einerseits in Decken mit massivem Querschnitt und andererseits in Decken mit aufgelösten Tragsystemen. Im Rahmen jeder besprochenen Deckenart wird ein konkretes Produkt vorgestellt, um die aktuelle technologische Entwicklung zu veranschaulichen. Zusätzlich erfolgt eine Analyse der Nachhaltigkeitsaspekte von Holz und es wird ein Emmissionsvergleich von ausgewählten Holzdeckensystem mit Deckensystemen anderer Bauart unternommen. Abschließend soll ein Praxisbeispiel eines Holzhochhauses nochmals die Bandbreite der Möglichkeiten des Bauens mit Holz verdeutlichen.

Abstract

Modern and innovative structural materials have enabled the realization of complex constructions in the field of building construction. These developments are significantly influenced by technological advancements. The present thesis focuses particularly on advancements in the realm of ceiling constructions, with an emphasis on the diverse design possibilities offered by wooden ceilings. To provide an introduction to the topic, fundamental information about the building material wood and common practices in timber construction are presented. Additionally, the most common wood-based materials are explained, covering the basics, requirements for construction, as well as the building physics properties of wooden ceilings.

This thesis explores the latest developments in the field of ceiling systems. It highlights how wood and its various byproducts provide innovative solutions for contemporary architectural concepts. Wooden ceiling systems are broadly categorized into two types: those with solid cross-sections and those with dispersed support structures. Within each type of ceiling, a specific product is introduced to demonstrate current technological advancements. Additionally, an analysis of the sustainability aspects of wood is undertaken, including an emissions comparison of selected wooden ceiling systems with those of other construction types. Finally a practical example of a wooden high-rise building is provided to underscore the extensive range of possibilities inherent in wooden construction.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	6
1.2	Aufbau	7
2	Der Baustoff Holz	8
2.1	Einteilung von Holz und Holzwerkstoffen	8
2.1.1	Konstruktive Vollholzprodukte	8
2.1.2	Lagenwerkstoffe	10
2.1.3	Spanwerkstoffe	11
2.1.4	Übersicht	12
2.2	Holzbausysteme	12
2.2.1	Fachwerkbau	13
2.2.2	Holzskelettbau	14
2.2.3	Holzrahmenbau	16
2.2.4	Blockbau	18
2.2.5	Moderne Holzmassivbauweise	19
2.3	Grundlagen und Anforderungen an die Bemessung und Konstruktion von Holzbauten	20
2.4	Grundlagen und Anforderungen an die Bauphysik von Holzdecken	24
2.4.1	Brandschutz	25
2.4.2	Holzschutz	29
2.4.3	Schallschutz	31
2.4.4	Wärmeschutz	33
3	Deckenbauweisen und Deckensysteme	34
3.1	Decken mit massivem Querschnitt	34
3.1.1	Decken aus Brettsperrholz - CLT	34
3.1.2	Brettstapel- und Dübelholzdecken	43
3.1.3	Decken aus Hohlkastenträgern und Sondersysteme	48
3.2	Decken mit aufgelösten Tragsystemen	60
3.2.1	Decken aus Tragbalken – Holzbalkendecken	60
3.3	Dimensionierung von Holzdecken	65
3.3.1	Holzbalkendecken	65
3.3.2	Massivholzdecken	67
3.3.3	Schwingungsverhalten	67
3.4	Vergleich der untersuchten Deckensysteme	68
3.5	Hybridbauweise	72
3.5.1	Holz-Beton-Verbunddecken	72
3.5.2	Dimensionierung von Holz-Beton-Verbunddecken	75
3.5.3	Berechnungsbeispiel Holzbetonverbunddecke	78
4	Nachhaltigkeit und Ressourcenverfügbarkeit	82
4.1	Allgemein	82

4.2 Emissionsvergleich ausgewählter Bauteile und Konstruktionen	83
4.3 Ökoindex OI3	85
5 Praxisbeispiel	89
6 Fazit	92
A Lasttabelle - Kielsteg Bauteile	101
B Vorbemessungstabellen für Holzbalkenträger	103
C Vergleich $\Delta OI3_{KON}$ Geschoßdecken	106
D Modifikationsbeiwerte k_{mod}	111
E Vorbemessungstabellen für die Nutzung als Dach	112

Kapitel 1

Einleitung

Der Baustoff Holz, als nachhaltiger und regionaler Rohstoff, integriert sich mit einer hohen Geschwindigkeit an die Anforderungen der Baubranche. Mit seinem geringen Gewicht und hoher Funktionalität/Belastbarkeit wird vermehrt auf diesen traditionellen Baustoff zurückgegriffen. Nicht zuletzt wegen den laufenden Fortschritten der Holzbaubranche, vor allem in der Entwicklung neuer Holzwerkstoffe und präziser Fertigungstechniken. Damit können hoch qualitative Bauwerke in kurzen Zeiträumen errichtet werden. Für das Vertrauen in Holz als Baustoff sprechen auch viele internationale, sowie regionale Bauprojekte.

1.1 Motivation

In dieser Diplomarbeit wird das Augenmerk auf derzeitige Entwicklungen von Deckenkonstruktionen im Holzbau gerichtet. Da für tragende Deckenkonstruktionen in der Vergangenheit überwiegend auf Beton bzw. Stahlkonstruktionen gesetzt wurde, soll ein Überblick der Möglichkeiten von Holzkonstruktionen auf diesem Gebiet entstehen. Holzdecken konkurrieren mit den vorwiegend verwendeten Beton- bzw. Stahldecken immer mehr. Natürlich muss beachtet werden, dass die Wahl der richtigen Materialien stark von den spezifischen Anforderungen und Prioritäten des Bauprojekts abhängt, dennoch können Holzprodukte in vielen Gebieten Vorteile mit sich bringen. Die wichtigsten davon wären:

- Geringes Gewicht
- Einfache Verarbeitung
- Hohe Vorfertigungsmöglichkeiten
- Trockene Bauweise
- Flexibilität im Design
- Nachhaltigkeit
- Ästhetik

Diese Eigenschaften machen Holz zu einer ansprechenden Wahl für Deckenkonstruktionen in verschiedenen Anwendungen. In diesem Kontext wird auf die Vorzüge von Holzdeckensystemen eingegangen und die Gründe für dessen Beliebtheit in der Baubranche nähergebracht.

1.2 Aufbau

Zu Beginn wird ein Blick auf Holz als Baustoff und dessen umfangreiche Palette von Holzwerkstoffen geworfen, die eine große Bandbreite an Möglichkeiten und Abmessungen bieten. Darauf aufbauend wird auf die grundlegenden Holzbausysteme eingegangen, welche grob in Holzmassiv- bzw. Holzleichtbauweise eingeteilt werden können. Um ein Fundament für das darauffolgende Kapitel, welches sich hauptsächlich mit der Forschungsfrage dieser Diplomarbeit beschäftigt, zu bilden, werden Grundlagen der Bemessung und Konstruktion sowie bauphysikalische Anforderungen an Holzdecken behandelt.

Das zentrale Kapitel (Kapitel 3) beleuchtet den aktuellen Stand von Deckensystemen und veranschaulicht, wie Holz und seine verschiedenen Werkstoffe innovative Lösungen für Deckensysteme in der modernen Bauwelt bieten. Zu jedem Deckensystem wird ein Produkt vorgestellt, um den gegenwärtigen technologischen Fortschritt festzuhalten (Anmerkung: Produkte werden jeweils in der vierten Unterebene von Kapiteln diskutiert). Abschließend wird kurz auf die Nachhaltigkeit der Holzsysteme eingegangen, sowie ein Praxisbeispiel eines Holzhochhauses dargestellt.

Forschungsfrage:

“Welche technologischen Entwicklungen in Bezug auf moderne und innovative Tragwerkmaterialien und Bauweisen im Holzbau gibt es derzeit und wie werden sie im Bauwesen eingesetzt ?“

Kapitel 2

Der Baustoff Holz

2.1 Einteilung von Holz und Holzwerkstoffen

Holz findet Anwendung im handwerklichen Bereich als Baumaterial, sowie in industriell gefertigter Form als Holzwerkstoff. Aufgrund der Verfügbarkeit innovativer und hochwertiger Produkte auf dem Markt erreicht man einen hohen Grad an Vorfertigung bei gleichzeitig hoher Fertigungsqualität. Das Ergebnis dieser Entwicklung ist eine Vereinfachung der Konstruktionen, die es erlaubt, Herstellungsprozesse an individuelle Bedürfnisse anzupassen. Die Klassifikation von Holz und Holzwerkstoffen lässt sich grundlegend in drei Kategorien unterteilen: Erstens, Produkte, die vorrangig für die Primärkonstruktion bestimmt sind. Zweitens solche, die zur Aussteifung und Beplankung verwendet werden und drittens konstruktive Hybridbaustoffe. [31]

Anmerkung: Im Rahmen dieses Kapitels wird ausschließlich auf Holz und Holzwerkstoffe für die Primärkonstruktion eingegangen.

2.1.1 Konstruktive Vollholzprodukte

Vollholz

Die Bezeichnung “Vollholz“ ist auf entrindetes Rundholz oder Schnittholz zurückzuführen, das sowohl aus Nadel- als auch Laubholz gewonnen wird. [37] Um Vollholz für Bauzwecke zu verwenden, muss es gemäß der ÖNORM EN 14081-1 einem Sortierverfahren unterzogen werden, bei dem die Festigkeitsmerkmale entweder visuell oder maschinell bestimmt werden. Die Verwendung von Vollholz ist für sämtliche tragenden oder aussteifenden Konstruktionen zulässig. Die zur Verfügung stehenden Abmessungen von Vollholz umfassen typischerweise Höhen und Breiten im Bereich von 8 bis 24 cm. Übliche Standardlängen findet man von 4 bis 6 m, wobei auch längere Abmessungen möglich sind. Festigkeitsklassen C24 oder C27 sind im Normalfall am häufigsten vorzufinden. [31]

Keilgezinktes Konstruktionsvollholz

Konstruktionsvollholz (Abb. 2.1) stellt eine veredelte Variante von Bauschnittholz dar, das sich durch eine hohe Formstabilität und eine minimale Rissbildung auszeichnet. Diese Eigenschaften werden durch die sorgfältige Auswahl der Einschnitte und technische Trocknungsverfahren erreicht. Darüber hinaus werden Sortierkriterien angewendet, welche über die Anforderungen der ÖNORM DIN 4074-1 hinausgehen, um sicherzustellen, dass das Holz ein hohes Maß an Qualität aufweist und für die sichtbare Anwendung geeignet ist. Die verfügbaren Abmessungen von Konstruktionsvollholz erstrecken sich typischerweise von 10 bis 28 cm in der Höhe und von 6 bis 24 cm in der Breite, wobei eine Standardlänge von 13 m etabliert ist. In der Regel weisen Konstruktionsvollholzprodukte die Festigkeitsklasse C24 auf und finden Anwendung in sämtlichen tragenden oder aussteifenden Konstruktionen. [31]

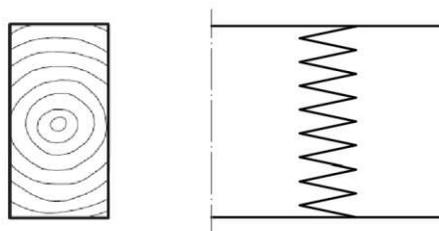


Abb. 2.1: Keilgezinktes Konstruktionsvollholz [37]

Balkenschichtholz (Duobalken, Triobalken)

Balkenschichtholz (Abb. 2.2) setzt sich aus bis zu fünf miteinander verleimten Bohlen zusammen (Dicke 45 bis 85 mm). Die Maximalabmessung des Gesamtquerschnitts darf in der Höhe sowie in der Breite 280 mm nicht überschreiten. Die Bohlen werden durch visuelle Prüfung gemäß den Kriterien für Kantholz oder durch maschinelle Verfahren ausgewählt und den entsprechenden C-Klassen zugeordnet. Die mechanischen Eigenschaften von Balkenschichtholz sind entsprechend der Norm definiert. Dabei ist auf die Anordnung der Teilquerschnitte zu achten, da diese, besonders bei Biegung, einen erheblichen Einfluss auf die Festigkeit haben (Parallel oder-Serienschaltung). In Bezug auf die gängigen Dimensionen umfassen diese typischerweise eine Höhe von 24 cm und eine Breite im Bereich von 8 bis 20 cm. Die verfügbaren Längen erstrecken sich von 3 bis 16 m. In der Regel weist Balkenschichtholz die Festigkeitsklasse C24 oder C27 auf. Es wird in Bereichen eingesetzt, in denen eine hohe Oberflächenqualität gefordert wird, während gleichzeitig das charakteristische Erscheinungsbild von Vollholz beibehalten werden soll. Ein beispielhafter Einsatzbereich dafür sind Sichttramdecken. [31]

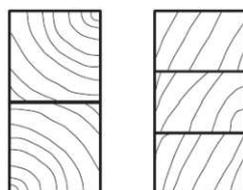


Abb. 2.2: Duobalken, Triobalken in Serienschaltung [37]

Brettschichtholz

Brettschichtholz (Abb. 2.3) setzt sich aus verleimten und getrockneten Brettlamellen aus Nadelholz zusammen. Die Abmessungen weisen eine beträchtliche Bandbreite auf. Die Höhe variiert in Abhängigkeit von der Lamellendicke, wobei sie bis zu 250 cm betragen kann (Lamellendicke i.d.R. 3,2 cm für gekrümmte Bauteile und 4 cm für stabförmige BSH-Träger). Die Breite bewegt sich mit 2 cm Abstufungen im Bereich von 8 bis 20 cm. Die verfügbaren Längen erstrecken sich von 5 bis 40 m (begrenzt durch Transportmöglichkeiten). In Bezug auf die Festigkeitsklasse werden in der Regel GL 24h und GL 28h verwendet. [31]

Brettschichtholz findet vor allem Anwendung in Situationen, in denen herkömmliches Schnittholz aufgrund der Abmessungen keine ausreichende statische Tragfähigkeit bietet. Des Weiteren hat Brettschichtholz eine um etwa 5-10 % höhere zulässige Biegespannung als sortiertes Bauholz gleicher Festigkeitsklasse. [31]



Abb. 2.3: Brettschichtholz [37]

Kreuzbalken

Kreuzbalken werden aus Viertelhölzern gefertigt, die faserparallel miteinander verleimt werden. Die äußere Seite der Rundholzsegmente wird nach innen gedreht, wodurch sich in den Rechteckquerschnitten eine zentrale Röhre bildet, welche sich über die gesamte Länge erstreckt (siehe Abb. 2.4). [37] Es besteht die Möglichkeit, die Balken durch den Einsatz von Keilzinkenverbindungen zu längeren Stangen miteinander zu verbinden. Kreuzbalken sind in Dimensionen von bis zu 200*400 mm und einer Maximallänge von 12 m verfügbar. Die Anwendung dieses Vollholzproduktes ist für alle tragenden und aussteifenden Bauteile geeignet. Weiters zeichnet sich dieses Produkt durch hohe Stabilität und niedrige Holzfeuchte aus. [14]

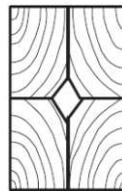


Abb. 2.4: Kreuzbalken [37]

2.1.2 Lagenwerkstoffe

Brettsperrholz (BSP, KLH, Cross laminated timber)

Brettsperrholz (Abb. 2.5) wird durch die Verbindung von mindestens drei zueinander kreuzweise liegenden Schichten hergestellt. Diese Schichten werden miteinander verklebt oder verdübelt. Die Einzelbretter (über Keilzinken in ihrer Längsachse verbunden) können auch seitlich miteinander verleimt werden, wodurch eine geschlossene Decklage entsteht. In Bezug auf Steifigkeit und Festigkeit handelt es sich hierbei um ein hochwertiges Sägeprodukt. Bei der Planung sollte die bevorzugte Spannrichtung von Brettsperrholzplatten beachtet werden, um die statisch-konstruktive Tragwirkung zu optimieren. In der Ausrichtung der Deckschicht gibt es zwei Unterscheidungen: Die Decklage quer zur Plattenrichtung (DQ) und die Decklage längs zur Plattenrichtung (DL). [31] Durch die kreuzweise Anordnung der Schichten und die dadurch erzeugte Sperrwirkung weisen Brettsperrholzplatten bei Änderungen der Feuchtigkeit nur minimale Quell- und Schwindverformungen auf. Diese Eigenschaft gewährleistet, dass Bauteile aus Brettsperrholz bei üblichen Schwankungen der Feuchtigkeit präzise und dimensionstreu bleiben. Aufgrund der Möglichkeit sehr großer Abmessungen eignet es sich besonders für tragende und raumbildende Elemente. [46] Die handelsüblichen Formate und Abmessungen von Brettsperrholz umfassen Breiten von 2,40 m, 2,50 m, 2,73 m und 2,95 m sowie Längen von bis zu 16,50 m. In Abhängigkeit der statischen Anforderungen kann die Plattenstruktur aus 3-, 5-, 7- oder mehr Schichten bestehen. [31]

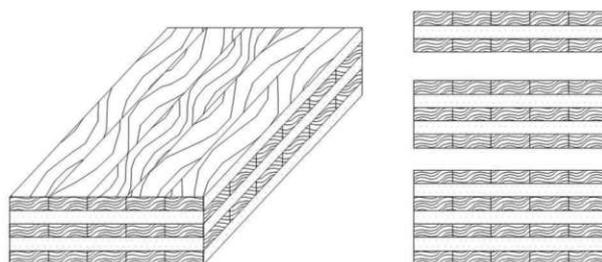


Abb. 2.5: Brettsperrholz [40]

Furnierschichtholz (Laminated veneer lumber)

Furnierschichtholz entsteht durch die Verleimung von Furnieren mit einer Dicke von bis zu 6 mm. Dieser Lagenwerkstoff wird als tragendes als auch aussteifendes Element verwendet und kann in platten- oder stabförmiger Variante hergestellt werden. In Abhängigkeit der statischen Anforderungen wird die Ausrichtung der Furnierschichten gewählt. Platten, die ausschließlich längslaufende Furniere aufweisen, finden vorrangig Anwendung in überspannenden Konstruktionen wie Fachwerken und Hallen. Kreuzweise verleimte Platten hingegen werden hauptsächlich zur Erreichung einer höheren Aussteifung eingesetzt. Darüber hinaus zeichnet sich das Furnierschichtholz durch eine gute Imprägnierbarkeit aus, wodurch es auch in Bereichen mit hohen Belastungen durch holzerstörende Organismen oder bei erhöhter Witterung verwendet werden kann. Übliche Dimensionen umfassen Breiten von bis zu 2,5 m und Längen von bis zu 26,0 m. [31]

2.1.3 Spanwerkstoffe

Furnierstreifenholz (Parallel strand lumber)

Furnierstreifenholz wird durch das Zusammenfügen von Schäl furnierstreifen hergestellt. Diese Streifen sind etwa 2,5 m lang, 16 mm breit und etwa 3 mm dick. Sie werden in paralleler Ausrichtung zur Balkenlängsachse verleimt. In Bezug auf die Abmessungen sind Breiten von 4 bis 28 cm, Dicken von 4 bis 48,3 cm und Längen von bis zu 20 m verfügbar. [31] Das vorwiegend als balkenförmiges Bauteil eingesetzte Furnierstreifenholz ist vielseitig einsetzbar und eignet sich aufgrund der hohen zulässigen Zug- und Druckspannungen für die Verwendung im Ingenieurholzbau. [42]

Spanstreifenholz (Laminated strand lumber)

Spanstreifenholz besteht aus längsorientierten Pappelholzspänen und ist wegen des hohen Anteils an Klebstoff nur begrenzt witterungsbeständig. Die Eignung als stabförmiges oder plattenförmiges Element ist mit der Ausrichtung der Holzspäne verbunden. Stabförmige Bauelemente weisen eine Orientierung der Späne in Längsrichtung auf, während plattenförmige Bauelemente eine Kombination aus Längs- und Querausrichtung der Späne erfordern. [31] Aktuell erfolgt die Produktion von Platten in Größen von 2,44 m * 10,76 m, wobei die Dicke der Platten im Bereich von 32 bis 89 mm variiert. [42]

2.1.4 Übersicht

Tabelle 2.1 fasst die Abmessungen der vorgestellten Holzprodukte zusammen.

Tab. 2.1: übliche Holz- und Holzwerkstoff-Abmessungen für Primärkonstruktionen [14][31][37][42]

	Produkte	Höhe[cm]	Breite[cm]	Länge[m]
Konstruktive Vollholzprodukte	Vollholz	8-24	8-24	4-6
	Konstruktionsvollholz	10-28	6-24	13
	Balkenschichtholz	24	8-20	3-16
	Brettschichtholz	max. 250	8-20	5-40
	Kreuzbalken	max. 20	max. 40	max. 12
Lagenwerkstoffe	Brettsperrholz	6-32	240-295	max. 16.5
	Furnierschichtholz	2,1-7,5	max. 250	max. 26
Spanwerkstoffe	Furnierstreifenholz	4-48.3	4-28	max. 20
	Spanstreifenholz	3.2-8.9	max. 244	max. 10.76

2.2 Holzbausysteme

Die Entstehung verschiedener Bauweisen lässt sich auf vielfältige Einflüsse zurückführen, darunter das Klima, kulturelle Gegebenheiten, die Verfügbarkeit von Materialien, die Entwicklung von Werkzeugen und das handwerkliche Geschick. Der Holzbau in Europa hat sich im 19. und im 20. Jahrhundert erheblich durch neue Technologien und Materialien verändert. Der Ingenieurbau führte hochwertige Verbindungsmittel aus Stahl ein, die den Querschnitt der Hölzer besser ausnutzen. Gegenwärtig entwickelt die Holzindustrie kontinuierlich neue Materialien und Werkstoffe. Für das Konstruieren mit Holz ist das Verständnis der nachfolgenden Holzbausysteme von wesentlicher Bedeutung. [37]

In der Fachliteratur finden sich unterschiedliche Klassifizierungen der verschiedenen Holzbauweisen, die im Wesentlichen auf der Art der Tragstruktur basieren (siehe Abb. 2.6). Grundsätzlich lassen sich zwei Hauptbauweisen unterscheiden: die Holzleichtbauweise und die Holzmassivbauweise. Ein signifikanter Unterschied zeigt sich bei der Betrachtung der Dämm- und Tragschicht. Während sich diese bei der Holzleichtbauweise in derselben Ebene befinden, bestehen bei der Holzmassivbauweise klare Abgrenzungen. Diese Unterschiede beeinflussen die Art und Weise, wie die Lasten abgetragen werden. In der Holzleichtbauweise erfolgt die Lastabtragung hauptsächlich über stabförmige, horizontale und vertikale Tragelemente, die mit dünnwandigen Beplankungen kombiniert sind. Im Gegensatz dazu setzt die Holzmassivbauweise oft auf großformatige, flächenhafte Bauteilelemente, die vorwiegend in Form von Brett-Sperrholz-Konstruktionen Verwendung finden. [31]

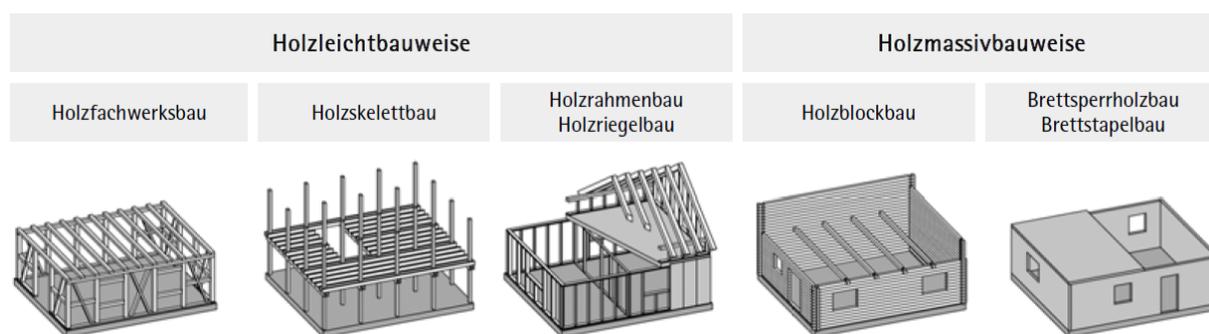


Abb. 2.6: Einteilung der Holzbauweisen [31]

2.2.1 Fachwerkbau

Der Fachwerkbau ist eine Konstruktionsmethode, bei der der Verlauf der Kräfte deutlich erkennbar ist. Die tragende Struktur, bestehend aus Konstruktionshölzern, übernimmt die gesamten anfallenden Kräfte aus Horizontal- und Vertikalbelastung. Eine zusätzliche Stabilisierung gegen Wind erfolgt durch die Verkleidung und das Eigengewicht der Ausbaumaterialien. Die Konstruktionselemente dieser Bauweise sind der Abbildung 2.7 zu entnehmen. Die heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz erfordern, dass die Fachwerkwände mit einer Wärmedämmung ausgefacht werden. Diese Dämmung wird sowohl außen durch eine Verschalung, als auch innen durch eine Verkleidung geschützt. Da die Ausfachtung der Wand keine tragende Funktion hat, können die Fachwerkwände in den Zwischenräumen relativ einfach geöffnet werden. Dies ermöglicht die Anordnung einer größeren Anzahl von Fenstern, die jedoch im Einklang mit dem Strukturraster der Konstruktion platziert werden müssen. [37]

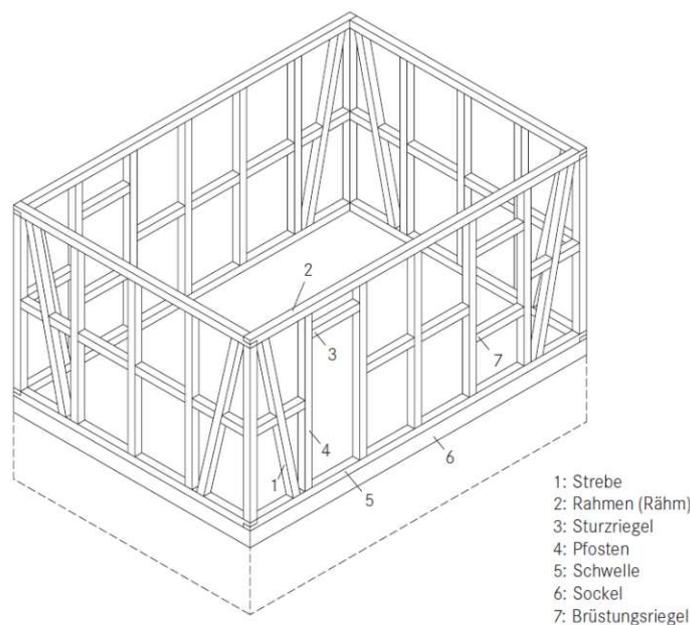


Abb. 2.7: Isometrie Fachwerkbau [37]

Verbindungen

Im Fachwerkbau sind gängige Verbindungsmethoden Schlitz und Zapfen, bei denen die Hölzer flächenbündig miteinander verbunden werden. Oft wird auch ein Versatz hinzugefügt, um eine verbesserte Kraftübertragung zu erreichen. Die Verbindung der horizontalen Schwellen und Rahmen erfolgt auch mit Schlitz und Zapfen oder alternativ durch die Anwendung eines Eckblatts. In Abbildung 2.8 werden die beschriebenen Verbindungsmethoden dargestellt. Der ursprünglich traditionelle Zimmermannsbau, der mit viel Handarbeit verbundene Prozess der Holzverbindungen, wird heutzutage durch maschinelle, computergesteuerte Frästechniken kompensiert. [37]

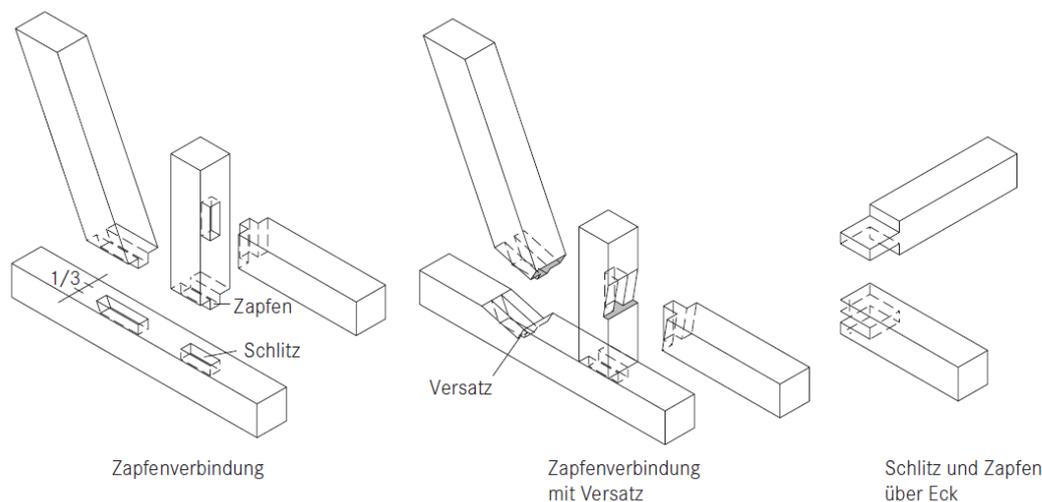


Abb. 2.8: Isometrie der Verbindungen-Fachwerkbau [37]

Raster und Querschnitte

Der charakteristische Aufbau dieser Bauweise zeichnet sich durch die stockwerksweise Anordnung der vertikalen Pfosten, horizontalen Riegeln und diagonalen Streben aus, die unten von einer Schwelle und oben von einem Rahmen (auch als "Rähm" bezeichnet) zusammengehalten werden. Aufgrund der hauptsächlichlichen Druckbeanspruchung der Hölzer sind quadratische Querschnitte mit Abmessungen von 10/10, 12/12 oder 14/14 cm üblich. Der Abstand zwischen den Pfosten beträgt in der Regel zwischen 100 und 120 cm. Trotz der strukturellen Gebundenheit bietet der Fachwerkbau zahlreiche gestalterische Möglichkeiten, die sowohl konstruktiv als auch ästhetisch genutzt werden können. In der modernen Fachwerkbauweise stellt die Vielzahl von Pfosten, Streben und Riegeln jedoch eine Herausforderung hinsichtlich des hohen Anteils an Fugen dar. Dieser Aspekt zieht einen zusätzlichen Aufwand in Bezug auf die Anbringung der Wärmedämmung mit sich. [37]

2.2.2 Holzskelettbau

Die Skelettbauweise ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gebäudestruktur auf linearen Bauelementen wie Stützen und Trägern basiert, welche keine raumabschließende Funktion besitzen. Eine Aussteifung dieser Bauweise wird über hölzerne Verstreben, Zugbänder und Zugstäbe aus Stahl erreicht (Auskreuzungen). Alternativ können Wand- und Deckenscheiben in Holztafelbauweise bzw. Beton oder Mauerwerk für diesen Zweck verwendet werden. [3]

Die raumbildenden Wände werden separat von der tragenden Struktur errichtet. Das ermöglicht nicht nur die Integration großflächiger Fassadenverglasungen, sondern gewährleistet auch eine erweiterte Anpassungsfähigkeit bei der Grundrissgestaltung. [37]

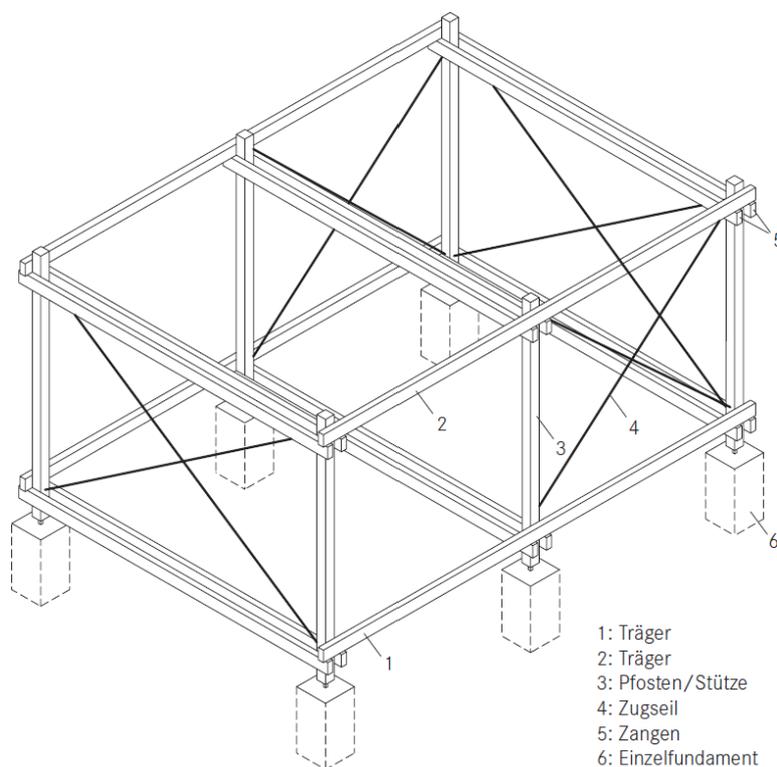


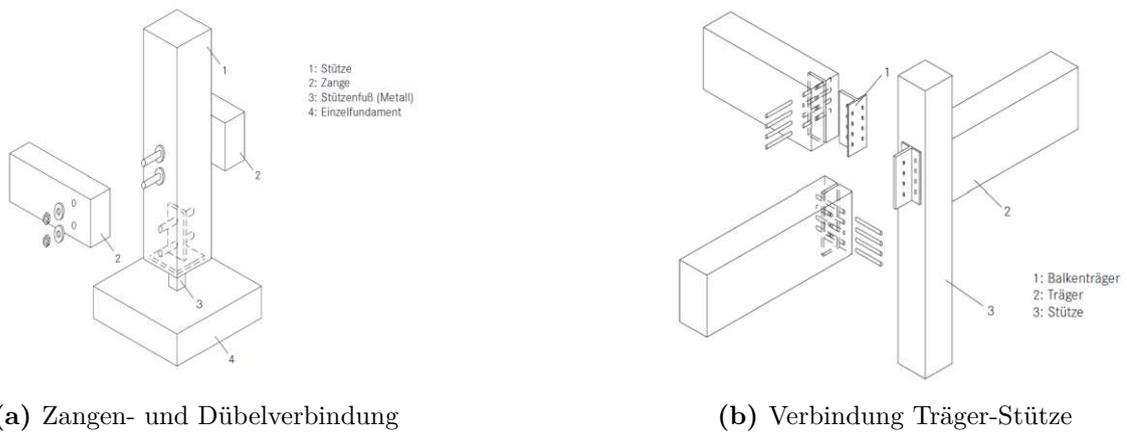
Abb. 2.9: Isometrie-Holzskelettbau [37]

Raster und Stützweiten

Durch die Verwendung eines Rasters kann das Gebäude leicht an sich ändernde Bedingungen angepasst werden. Die Raumaufteilung kann variabel gestaltet und die bauliche Struktur grundsätzlich problemlos erweitert werden. Aufgrund der Unabhängigkeit des Tragwerks von der Gebäudehülle und dem Innenausbau (offenes Bausystem), bietet diese Bauweise hohe Flexibilität. Die typischen Stützweiten erstrecken sich in der Regel von 3 bis 8 m, dennoch besteht die Möglichkeit, Stützweiten von bis zu 12 m zu realisieren. In Abbildung 2.9 wird die Isometrie der Holzskelettbauweise veranschaulicht, wobei die einzelnen Konstruktionselemente in ihrer räumlichen Anordnung gekennzeichnet sind. [3]

Verbindungen

Metallische Verbindungselemente werden für den Anschluss zwischen Stützen und Trägern im Skelettbau eingesetzt, ohne dabei die Holzquerschnitte wesentlich zu schwächen. Um die Kraftübertragung zwischen seitlich aneinander liegenden Holzteilen zu verbessern, werden Dübel besonderer Bauart an den Berührungsflächen eingelassen oder eingepresst. Die Verbindungen werden mithilfe von Schraubbolzen zusammengehalten. Eine alternative Methode zur Herstellung von Verbindungen sind Stabdübel aus Rundstahl, die zusammen mit in das Holz eingeschlizten Stahlblechen die Lastübertragung gewährleisten. [37] In Abbildung 2.10 werden die Verbindungsmethoden dargestellt. Links (a) ist ein Stützenfuß mit Zangen- und Dübelverbindung abgebildet, während die rechte schematische Darstellung (b) den Anschluss zwischen Träger und Stütze zeigt und dabei die alternativ beschriebene Herangehensweise verdeutlicht.



(a) Zangen- und Dübelverbindung

(b) Verbindung Träger-Stütze

Abb. 2.10: Verbindungen-Skelettbau [37]

2.2.3 Holzrahmenbau

Im Gegensatz zur Skelett- und Fachwerksbauweise, bei denen die Lasten über stabförmige Tragelemente abgetragen werden, beschreibt der Holzrahmenbau eine Scheibenbauweise. Charakteristisch für diese Bauweise ist, dass zwischen tragenden und raumabschließenden Elementen keine Trennung besteht. Der Holzrahmen wird flächig mit Plattenwerkstoffen beplankt, um eine steife Scheibe zu bilden. Bei dieser Methode verwendet man Querschnitte mit Standardabmessungen und Beplankungen, die mithilfe einfacher Verbindungselemente (Nägeln oder Schrauben) miteinander zusammengeschlossen werden. In Abbildung 2.11 sind die Konstruktionselemente des Holzrahmenbaus anschaulich dargestellt und bieten somit eine Übersicht über die Struktur dieser Bauweise. [31]

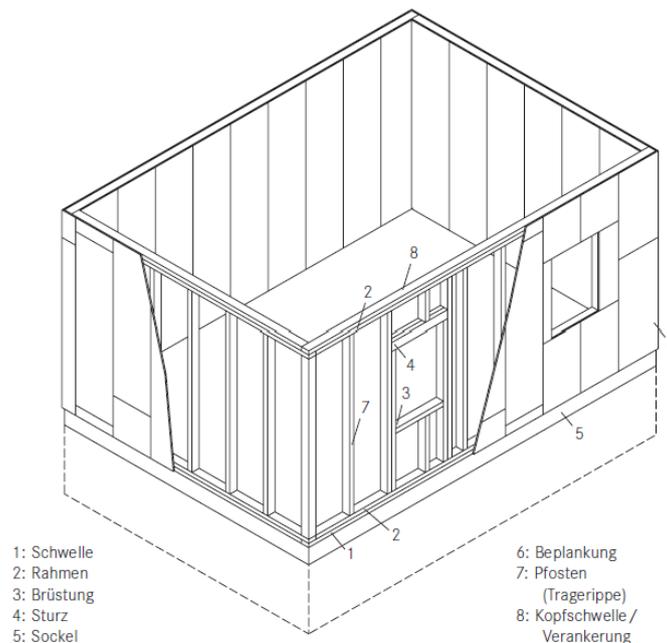


Abb. 2.11: Isometrie Holzrahmenbau [37]

Verbindungen

Im Holzrahmenbau wird zur Holzverbindung der stumpfe Stoß der Hölzer angewandt (siehe Abb. 2.12). Der Verbund wird durch Nagelung realisiert. Das schräge Einbringen der Nägel beim Querstoß zielt darauf ab, einen möglichst hohen Verbund quer zur Faserrichtung zu schaffen. Die Steifigkeit dieser Verbindung wird erst durch die Anbringung von Werkstoffplatten erreicht. [37]

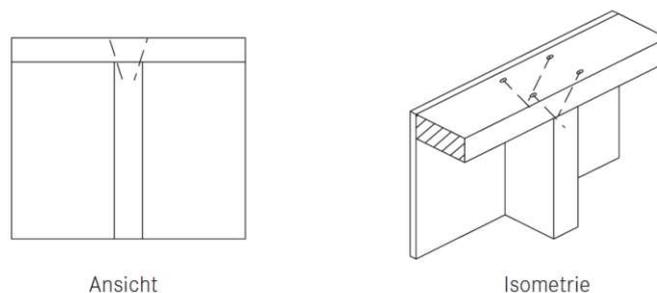


Abb. 2.12: Nagelung-stumpfer Stoß [37]

Raster und Montage

Diese Bauweise zeichnet sich durch eine enge Rippenstellung mit einem Kleinraster aus (gebräuchliches Achsmaß 62,5 cm), abgestimmt auf die Plattenbreite der Beplankung. Die Auswahl des Konstruktionsrasters kann auch von den verfügbaren Breiten der Dämmstoffe beeinflusst werden. Im Holzrahmenbau ist es nicht zwingend erforderlich, dass die Gesamtlänge eines Gebäudes auf ein Vielfaches des Achsmaßes ausgerichtet ist. Der Raster kann verlassen und am Ende einer Wand mit einem speziellen Achsmaß abgeschlossen werden. Ebenso flexibel gestaltet sich die Anordnung von Fenstern und Trennwänden, deren Position allein durch den Entwurf und nicht durch den Konstruktionsraster festgelegt wird. In Bezug auf die Gestaltung von Grundriss und Baukörper gibt es im Vergleich zu anderen Bausystemen nur wenige Beschränkungen. Anhand der Darstellung in Abbildung 2.13 wird die Flexibilität des Konstruktionsrasters und der Öffnungsanordnung verdeutlicht. [37]

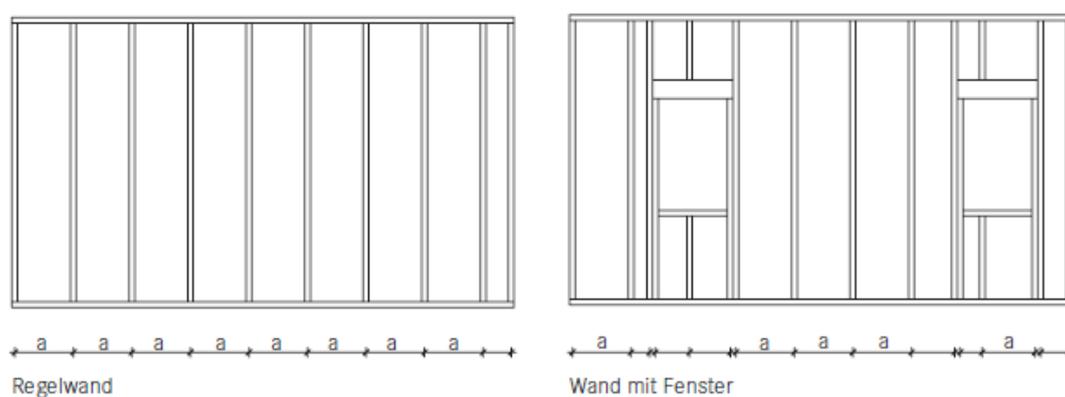


Abb. 2.13: Ansicht-Regelwand [37]

Die Konstruktionshölzer werden liegend zu einem Rahmen zusammengefügt, bevor sie aufgerichtet und durch Nagelung fixiert werden. Die Verankerung der Wände miteinander erfolgt mithilfe eines zusätzlich aufgenagelten Rahmenholzes, welches auf den oberen Rahmen der Wände genagelt wird. Das zusätzliche Rahmenholz dient als Kopfschwelle und die oberen Rahmen der

Wände werden dadurch zugfest miteinander verbunden. (siehe Abb. 2.14 rechts) Dieses Prinzip der Verankerung wiederholt sich bei allen aufgestellten Wänden. [37]

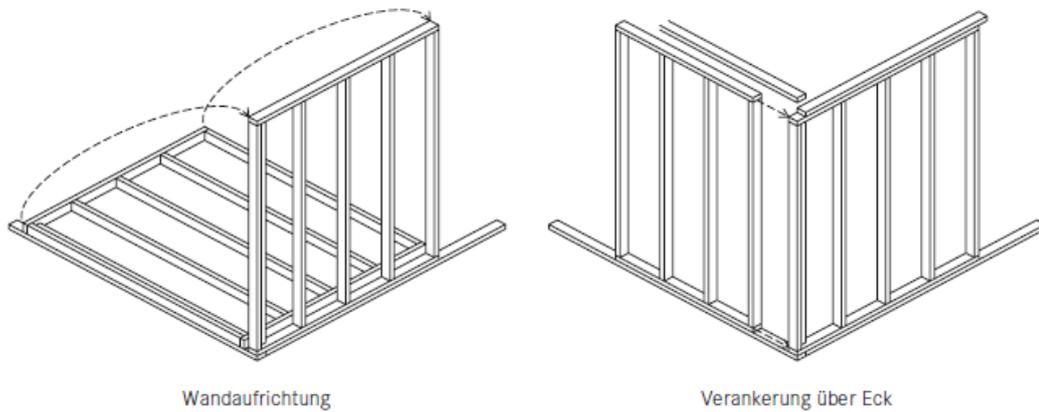


Abb. 2.14: Isometrie-Wandaufrichtung [37]

2.2.4 Blockbau

Die Blockbauweise repräsentiert eine der ältesten Bauweisen. Bei dieser Methode werden Kant- oder Rundhölzer in horizontalen Schichten gestapelt und an den Ecken durch kraftschlüssige Verbindungen miteinander verbunden (siehe Abb. 2.15). Die Eckverbindungen werden typischerweise durch Verkämmung, Verzahnung oder Verblattung (siehe Abb. 2.16) realisiert, wobei die überkreuzten Bohlen in der Regel über die Verbindung hinausragen (konstruktiver Holzschutz). [2]

Moderne Blockbaukonstruktionen müssen den heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz gerecht werden, was mit einem einfachen Wandquerschnitt aus Balken allein nicht mehr möglich ist. Aus diesem Grund erhalten moderne Blockgebäude eine zusätzliche Wärmedämmung, die idealerweise außenseitig angebracht wird, um die Bildung von Tauwasser zu verhindern. Die charakteristische Optik horizontal ausgerichteter Hölzer, die für den Blockbau typisch ist, wird in solchen Fällen durch eine zusätzliche Schicht aus Bohlen erzielt, die gleichzeitig als Schutz vor den äußeren Witterungseinflüssen dient. Für diesen Zweck stellt die Holzindustrie mehrschichtige Blockbauwände (Sandwichkonstruktionen) bereit, die aus Bohlen und Dämmlagen zusammengesetzt sind. [37]

Setzung

Hohe Druckbelastungen, denen die Balken quer zur Faser ausgesetzt sind, führen zu einem deutlichen Setzmaß in der Blockbauweise, das pro Geschoss zwischen 2 und 4 cm betragen kann. Die Dimensionierung von Fenstern und Türen sollte unter Berücksichtigung des Setzmaßes erfolgen. Die vertikalen Zargen oder Pfosten, die in die Wandöffnungen eingebaut werden, um die Balken zu stabilisieren, werden soweit ausgespart, damit die Setzung der Wand ohne Zwang aufgenommen werden kann. Aus dieser Überlegung heraus, sollten sämtliche vertikalen Strukturen (Kamine oder Installationsschächte) beweglich an das Gebäude angeschlossen werden. [37]

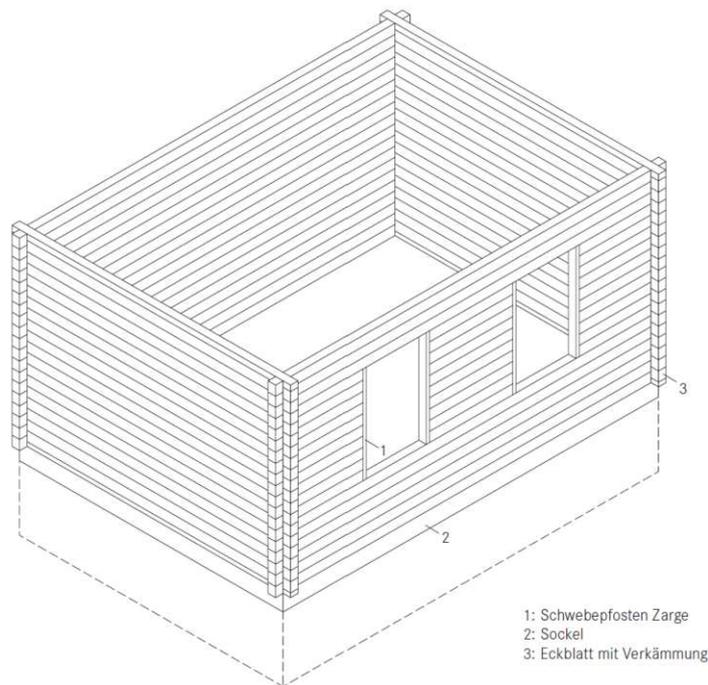


Abb. 2.15: Isometrie Blockbau [37]

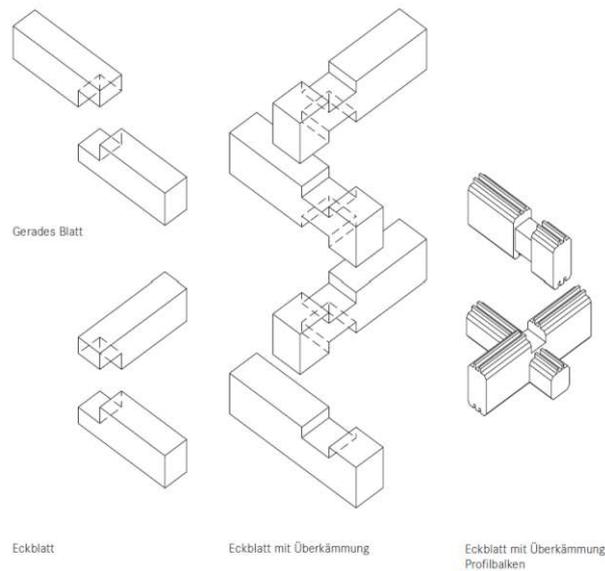


Abb. 2.16: Isometrie der Verbindungen-Blockbau [37]

2.2.5 Moderne Holzmassivbauweise

Über Jahrhunderte hinweg war der Holzmassivbau charakterisiert durch den Blockbau. Die Definition dieser Bauweise hat sich seit der Entstehung der Brettstapelbauweise und des Brettspertholzes verändert. Beide Bauweisen bieten die Möglichkeit, sie als Platten- und Scheibentragwerke einzusetzen. [46]

Anmerkung: für weiterführende Details siehe Kapitel 3.1

Brettstapelbauweise

Die Brettstapelbauweise zeichnet sich durch die Verwendung einzelner Brettstapelelemente aus, die die Grundlage für massive, flächige Bauteile bilden. Die Dicke dieser Elemente variiert, wobei sie für Wände im Bereich von 8 bis 12 cm und für Deckenplatten zwischen 12 bis 20 cm liegt. Die Bestimmung der genauen Dimension hängt von Faktoren wie der Spannweite und der Belastung ab. Die einzelnen Elemente werden durch Nagelung, Verleimung oder durch die Verwendung von Hartholzstabdübeln miteinander verbunden. Diese Verbindungselemente dienen dazu, Schubkräfte sowohl horizontal, um eine Scheibenwirkung zu erzielen, als auch vertikal, zur gleichmäßigen Verteilung von Einzellasten, zu übertragen. [31]

Brettsperrholz-Bauweise

Die charakteristische Eigenschaft dieser Bauweise besteht darin, dass massive, mehrschichtige Brettsperrholzelemente zur Lastabtragung verwendet werden, die im Verhältnis zur Dicke des Bauteils beträchtliche Abmessungen in der Hauptachse aufweisen. Diese Elemente können sowohl als Platten- als auch Scheibenelemente eingesetzt werden. Die Aussteifung wird durch die Wände erreicht, die im Zusammenspiel mit den Deckenelementen ein steifes, dreidimensionales Tragwerk formen. [31]

2.3 Grundlagen und Anforderungen an die Bemessung und Konstruktion von Holzbauten

Die Bemessung von Holzkonstruktionen im Hochbau oder Ingenieurbau die aus Vollholz oder Holzwerkstoffen (Verbund durch Verleimung oder mechanische Verbindungsmittel) bestehen, findet in der ÖNORM EN 1995-1-1 und dem dazugehörigen Nationale Anhang Anwendung. Dabei sind Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit sowie die Dauerhaftigkeit zu erfüllen. [30] Die Bemessung ist in Übereinstimmung mit der ÖNORM EN 1990 durchzuführen. Anforderungen an den Wärme- und Schallschutz sowie an die Tragfähigkeit im Brandfall werden im Zuge des Kapitels 2.4 behandelt.

Grundlagen für die Bemessung

Die Beurteilung des Gesamtverhaltens der Konstruktion sollte mittels einer Berechnung unter Anwendung eines linearen Modells (lineares Baustoffverhalten) erfolgen. Die Anwendung elastisch-plastischer Methoden für die Berechnung innerer Kräfte darf angewendet werden, sofern die Konstruktionen die Umverteilung dieser Kräfte durch entsprechende Duktilität der Verbindungen erlauben. Bei der Erstellung des Berechnungsmodells sind die Auswirkungen der Nachgiebigkeit von Verbindungen zu beachten (durch Steifigkeit oder festgelegte Verschiebungsgrößen). [30]

Anmerkung: Die Dimensionierung und das Nachweisverfahren für Holzdecken und Holz-Beton-Verbunddecken werden in Kapitel 3 Deckenbauweisen und Deckensysteme näher erläutert. (3.3 und 3.5.2)

Als Nachweisverfahren gilt die Bemessung für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mit Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten. Die Rechenmodelle müssen für die verschiedenen Grenzzustände folgende Aspekte berücksichtigen [30]:

- Baustoffeigenschaften
- zeitabhängiges Baustoffverhalten
- Klimabedingungen
- Bemessungssituationen

Nachweis durch die Methode der Teilsicherheitsbeiwerte

Die Bemessungswerte der Festigkeitseigenschaften stehen im Zusammenhang mit der charakteristischen Festigkeit, der Faserrichtung, der Beanspruchung und dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert. Darüber hinaus erfahren sie Einflüsse durch das Umgebungsklima und die Dauer der Lastbeanspruchung. [32]

$$X_d = X_k \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \quad (2.1)$$

X_k	...	charakteristischer Wert einer Festigkeitseigenschaft
γ_M	...	Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft
k_{mod}	...	Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt

Tab. 2.2: Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften und Beanspruchbarkeit [30]

Grundkombinationen	
Vollholz	1,3
Brettschichtholz	1,25
LVL, Sperrholz, OSB	1,2
Spanplatten	1,3
Harte Faserplatten	1,3
Mittelharte Faserplatten	1,3
MDF-Faserplatten	1,3
Weiche Faserplatten	1,3
Verbindungen	1,3
Nagelplatten (Stahleigenschaften)	1,25
Außergewöhnliche Kombinationen	1,0

Für den Modifikationsbeiwert k_{mod} (siehe Anhang D [30]) sind die Kenntnisse über die Klassen der Lasteinwirkungsdauer sowie der Nutzungsklasse von Relevanz. Die Einteilung der Lasteinwirkungsdauer in Klassen erfolgt anhand einer konstanten Last, die für eine bestimmte Zeit während der gesamten Lebensdauer auf die Tragstruktur einwirkt (siehe Tab. 2.3). [30]

Tab. 2.3: Klassen Lasteinwirkungsdauer [30]

Klassen der Lasteinwirkungsdauer	Größenordnung der akkumulierten Dauer der charakteristischen Lasteinwirkung
ständig	länger als 10 Jahre
lang	6 Monate - 10 Jahre
mittel	1 Woche - 6 Monate
kurz	kürzer als eine Woche
sehr kurz	

Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Einwirkung
ständig	Eigengewichte
lang	Nutzlasten der Kategorie E
mittel	Nutzlasten der Kategorien A, B, D, F und G Schnee- und Eislasten bei Geländehöhe des Bauwerkstandortes > 1 000 m über NN
kurz	Nutzlasten der Kategorien C und H Zufahrtsrampen zu Flächen der Kategorie F Schnee- und Eislasten bei Geländehöhe des Bauwerksstandortes ≤ 1 000 m über NN Horizontale Nutzlasten infolge Personeneinwirkung z. B. auf Brüstungen und Geländer Horizontallasten aus Kran- und Maschinenbetrieb
kurz / sehr kurz ^a	Windlasten
sehr kurz	Außergewöhnliche Lasten (Anprall, Explosion) ^b Erdbebenlasten ^c
^a Für Wind darf für k_{mod} das Mittel aus den Einwirkungsdauern kurz und sehr kurz verwendet werden. ^b Außergewöhnliche Lasten gemäß ÖNORM EN 1991-1-7. ^c Erdbebenlasten gemäß ÖNORM EN 1998 (alle Teile).	

Tab. 2.4: Beispiele für die Zuordnung von Einwirkungen zu Klassen der Lasteinwirkungsdauer [27]

Die angeführten Nutzlasten der unterschiedlichen Kategorien aus Tabelle 2.4 werden in dieser Arbeit für die Kategorien von A bis D mit ihren charakteristischen Größen der Einwirkung in der nachstehenden Tabellen 2.5 und 2.6 angeführt.

Kategorien	Nutzungsmerkmal	Beispiele
A	Wohnflächen	A1: Räume in Wohngebäuden und -häusern, Stations- und Krankenzimmer in Krankenhäusern ^a , Zimmer in Hotels und Herbergen, Küchen, Toiletten sowie Räume mit wohnaffiner Nutzung in bestehenden Gebäuden
		A2: Flächen von nicht ausbaubaren, begehbaren Dachböden ^b
B	Büroflächen	B1: Büroflächen in bestehenden Gebäuden
		B2: Büroflächen in Bürogebäuden
C	Flächen mit Personenansammlungen (außer Kategorien A, B und D)	C1: Flächen mit Tischen u. dgl. ^d , z. B. in Cafés, Restaurants, Speisesälen, Lesezimmern ^e , Empfangsräumen ^f und Unterrichtsräumen von Schulen
		C2: Flächen mit fester Bestuhlung ^{g,h} , z. B. in Kirchen, Theatern, Kinos, Konferenzräumen, Vorlesungssälen, Versammlungshallen, Wartezimmern und Bahnhofswartesälen
		C3.1: Flächen mit mäßiger Personenfrequenz ohne Hindernisse für die Beweglichkeit von Personen, z. B. in Museen, Ausstellungsräumen u. dgl. sowie Zugangsflächen in Bürogebäuden
		C3.2: Flächen mit möglicher hoher Personenfrequenz ohne Hindernisse für die Beweglichkeit von Personen, z. B. Zugangsflächen in öffentlichen Gebäuden, Schulen und Verwaltungsgebäuden, Hotels, Krankenhäusern und Bahnhofshallen
		C4: Flächen mit möglichen körperlichen Aktivitäten, z. B. Tanzsäle, Turnsäle, Bühnen
D	Verkaufsflächen	C5: Flächen mit möglichem Menschengedränge, z. B. in Gebäuden mit öffentlichen Veranstaltungen, wie Konzertsälen, Sporthallen mit Tribünen, Vorplätze und Zugangsbereiche sowie Bahnsteige
		D1: Flächen in Einzelhandelsgeschäften
		D2: Flächen in Kaufhäusern

Tab. 2.5: Nutzungskategorien [26]

Nutzungskategorien		q_k^a kN/m ²	Q_k^b kN
Kategorie A	A1	2,0	2,0
	A2	1,5	2,0
Kategorie B	B1	2,0	2,0
	B2	3,0	3,0
Kategorie C	C1	3,0	3,0
	C2	4,0	4,0
	C3.1	4,0	4,0
	C3.2	5,0	5,0
	C4	5,0	4,0
Kategorie D	C5	5,0	4,0
	D1	4,0	4,0
	D2	5,0	5,0

^a Für die nachfolgend definierten Bereiche ist die Nutzlast q_k um einen Zuschlag Δq_k zu erhöhen, wobei gilt:
 $q_k + \Delta q_k \leq 6 \text{ kN/m}^2$
 $\Delta q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ für Balkone,
 $\Delta q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ für Loggien,
 $\Delta q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$ für Treppen und Gänge als Fluchtwege,
 $\Delta q_k = 0 \text{ kN/m}^2$ für Terrassen als widmungsgemäß begehbare Dächer.

^b Die Einzellast Q_k ist gemäß ÖNORM EN 1991-1-1:2011, Abschnitt 6.3.1.2(5) auf eine quadratische Aufstandsfläche mit 50 mm Kantenlänge bezogen. Sie ist in der Regel auf die Fußbodenoberfläche anzusetzen.

Tab. 2.6: Nutzlasten im Hochbau [26]

Weiters sind den Tragwerken und Tragwerksteilen Nutzungsklassen zuzuweisen (siehe Tab. 2.7). Nutzungsklassen werden hauptsächlich für die Festlegung von Festigkeitskennwerten und die Berechnung von Verformungen unter festgelegten Umgebungsbedingungen verwendet. [30]

Nutzungs- klasse	Umgebungsklima		Gleichgewichts- feuchte der meisten Nadelhölzer	Tragwerks- bzw. Gebäudetyp
	Temperatur	relative Luftfeuchte ^a		
1	20 °C	≤ 65 %	≤ 12 %	Innenräume von Wohn-, Schul- und Verwaltungsbauten
2	20 °C	≤ 85 %	≤ 20 %	Innenräume von Nutzbauten wie Lagerhallen, Reithallen und Industriehallen sowie überdachte Konstruktionen im Freien, deren Bauteile nicht der freien Bewitterung ausgesetzt sind (Regeneinfallswinkel ≤ 30°) ^b
3	-	> 85 %	> 20 %	Bauteile im Freien mit konstruktivem Holzschutz

Tab. 2.7: Zuordnung von Tragwerkstypen in Nutzungsklassen [27]

2.4 Grundlagen und Anforderungen an die Bauphysik von Holzdecken

In den letzten Jahren werden vermehrt Holzgeschossdecken im mehrgeschossigen Wohnbau verwendet. Die Anwendung ist jedoch heute immer noch nicht uneingeschränkt erlaubt, trotz der verstärkten Diskussionen über Ressourcenschonung, erneuerbaren Rohstoffen, biologischen Bauweisen und die Adaptierung der Brandschutzvorschriften an den heutigen Wissensstand. Trotzdem bietet die Verwendung von Holzdecken eine Reihe von Vorteilen. Der trockene Einbau von Deckenkonstruktionen mit geringem Gewicht und eine einfache Fügetechnik, sowie gute Wärme- als auch eine meistens effiziente Luftschalldämmung sprechen für den Einsatz von Holzdecken. Ein geringer Primärenergieeinsatz und auch hohe Erdbebensicherheit aufgrund der geringen Masse tragen positiv bei. Auch die Auseinandersetzung mit negativen Aspekten dieses Baumaterials ist von grundlegender Bedeutung, um die Verwendung im Einzelfall sorgfältig abzuwägen und geeignete Maßnahmen zur Minimierung von Schwächen zu ergreifen. Eine dieser Schwächen betrifft die Schwingungsanfälligkeit. Ein weiterer bedeutender Nachteil ist der Brandschutz, da Holz brennbar ist und daher besondere Maßnahmen erforderlich sind, um die Brandsicherheit zu gewährleisten. Des Weiteren verfügen Holzdecken über eine geringe Wärmespeicherkapazität. Das Bauen mit Holz zeigt auch eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeitsbeanspruchung, was langfristig zu Schäden führen kann. Zudem sind Holzdecken anfällig für Fäulnis, Pilzbefall und den Befall durch Holzschädlinge. [32]

2.4.1 Brandschutz

Holzdecken sind im Bereich des Wohnbaus tief in der Geschichte des Bauwesens verankert. Allerdings waren sie wie sämtliche Holzkonstruktionen über viele Jahrzehnte hinweg von den strengen Brandschutzbestimmungen in den unterschiedlichen Baugesetzen betroffen. Diese Bestimmungen wurden entwickelt, um großen Bränden mit verheerenden Auswirkungen vorzubeugen. [32]

Brandphasen

Die Entwicklung eines Brandereignisses kann grundlegend in zwei primäre Phasen eingeteilt werden (siehe Abb. 2.17). Die erste dieser Phasen wird als Entstehungsbrandphase bezeichnet und ist durch einen schwachen Anstieg der Temperaturen gekennzeichnet. In dieser Phase wird zwischen Zünd- und Schwellbrandphase unterschieden. Das Verhalten der eingesetzten Bekleidungen und Beläge spielt während dieser Phase eine entscheidende Rolle, da es dazu beitragen kann, dass sich das Feuer weiter ausbreitet. Der Zeitpunkt des sogenannten "flash overs" markiert einen plötzlichen Temperaturanstieg. Ab diesem Zeitpunkt wird ein Stadium erreicht, das als "voll entwickelter Brand" bezeichnet wird und in Phasen der Erwärmung und Abkühlung gegliedert werden kann. Dabei wird vom Bauteilverhalten im Brandfall gesprochen und spezifische Anforderungen an den Feuerwiderstand werden gestellt. [33]

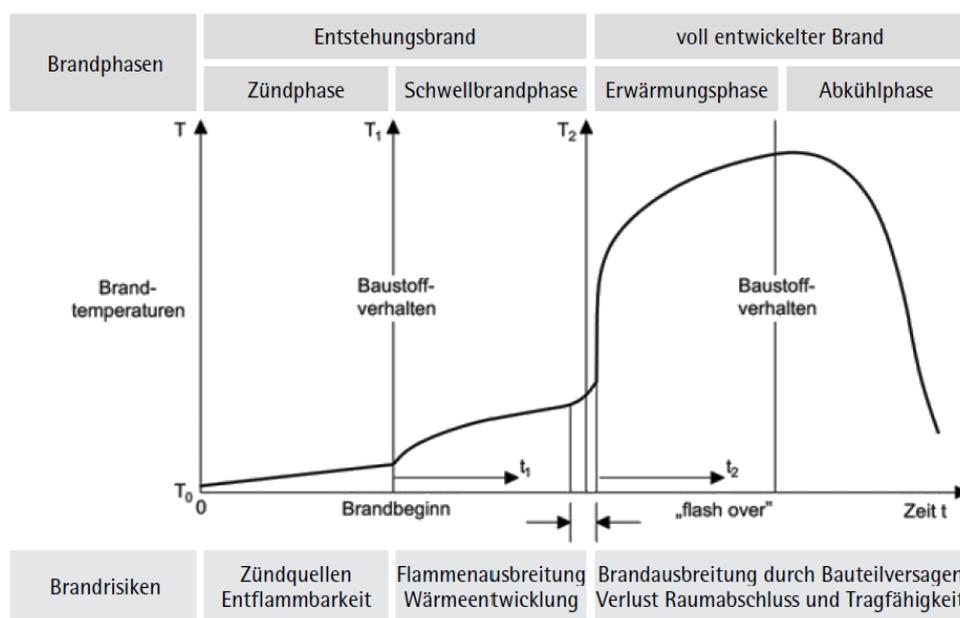


Abb. 2.17: Brandphasen [33]

Brandverhalten von Holz

Um das Brandverhalten zu bewerten, werden Merkmale wie die Entzündbarkeit, Brennbarkeit, Flammenausbreitung, Rauchentwicklung und die Abbrandgeschwindigkeit in Betracht gezogen. Aufgrund der Vielzahl an Faktoren werden standardisierte Prüfverfahren durchgeführt, um die Vergleichbarkeit einzelner Baustoffe zu quantifizieren. Die aktuelle Prüfnorm für die Klassifizierung von Materialien in unterschiedliche Brennbarkeitsklassen und die Bewertung von Brandnebenscheinungen ist in Österreich die ÖNORM EN 13501-1 (Tab. 2.8). Erwähnenswert dabei ist, dass nach wie vor in verschiedenen Bundesgesetzen auf die Brennbarkeitsklassen gemäß der zurückgezogenen ÖNORM B 3800-1 verwiesen wird (Tab. 2.9). Es ist hervorzuheben, dass aufgrund verschiedener Prüfverfahren die gegenseitige Zuordnung nicht gestattet ist. [31]

Tab. 2.8: Brennbarkeitsklassen und Brandnebenerscheinungen gemäß ÖNORM EN 13501-1 [31]

ÖNORM EN13501-1		
Brennbarkeit	A1,A2	nicht brennbar
	B,C,D,E,F	brennbar
Rauchentwicklung	S1	Rauchentwicklungsrate gering
	S2	Rauchentwicklungsrate normal
	S3	Rauchentwicklungsrate hoch
brennendes Abtropfen/Abfallen	d0	kein brennendes Abtropfen
	d1	kein fortdauerndes Abtropfen
	d2	brennendes Abtropfen

Tab. 2.9: Einteilung der Brennbarkeit gemäß ÖNORM B 3800-1 [31]

ÖNORM B3800-1		
Brennbarkeit	A	nicht brennbar
	B (B1,B2,B3)	brennbar
Qualmbildung	Q1	schwach qualmend
	Q2	normal qualmend
	Q3	stark qualmend
Tropfverhalten	Tr1	nicht tropfend
	Tr2	tropfend
	Tr3	zündend tropfend

Weiters ist für die Anforderungen an das Brandverhalten die Einteilung in Gebäudeklassen von Bedeutung (siehe Abb. 2.10). Mittels dieser Klassifizierung werden spezifische Gebäudetypen definiert, die in der Praxis häufig anzutreffen sind. Die Einteilung in Gebäudeklassen erfolgt anhand von Kriterien wie dem Fluchtniveau, der Brutto-Grundfläche, der Anzahl der oberirdischen Geschosse und deren Wohnungsanzahl bzw. Anzahl der Betriebseinheiten. Dadurch werden konkrete Voraussetzungen und Randbedingungen festgelegt, womit klare brandschutztechnische Regelungen abgeleitet werden können. [22] Tabelle 2.11 klassifiziert diese für ausgewählte Querschnitte hinsichtlich ihrer Brennbarkeitsklassen und Brandnebenerscheinungen. Die Anforderungen sind in der OIB-Richtlinie 2 [23] festgehalten.

Tab. 2.10: Gebäudeklassen [22]

GK	Anzahl der oberirdischen Geschoße	Fluchtniveau (m)	Anzahl Wohnungen bzw. Betriebseinheiten	Brutto-Grundfläche der oberirdischen Geschoße (m)
1	≤ 3	≤ 7	≤ 2 Wohnungen 1 Betriebseinheit	≤ 400 (freistehend)
2	≤ 3	≤ 7	–	≤ 400 (Reihenhäuser) ≤ 800 (Wohngebäude freistehend)
3	≤ 3	≤ 7	–	–
4	≤ 4	≤ 11	1 –	– je ≤ 400
5	–	≤ 22	–	–

Tab. 2.11: Anforderungen an das Brandverhalten ausgewählter Querschnitte [23]

Gebäudeklassen (GK)	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5	
					<6 oberi. Geschoße	>6 oberi. Geschoße
2. Gänge und Treppen, ausgenommen innerhalb von Wohnungen						
2.2 abgehängte Decken	-	D-d0	D-d0	C-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
2.3 Wand- und Deckenbeläge	-	D-d0	D-d0	C-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
2.4 Bodenbeläge	-	Dfl	Dfl	Cfl-s1	Cfl-s1	Cfl-s1
3. Treppenhäuser						
3.2 abgehängte Decken	-	D-s1,d0	C-s1,d0	B-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0
3.3 Wand- und Deckenbeläge	-	D-s1,d0	C-s1,d0	B-s1,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0
5. nicht ausgebaute Dachräume						
5.1 Bekleidungen						
5.1.1 Gesamtsystem oder	-	E	D	D	B	B
5.1.2 Einzelkomponenten						
-Außenschicht	-	C	C	B	B	B
-Dämmschicht	-	E	E	B	B	B
5.2 Bodenbeläge	-	Efl	Dfl	Cfl-s1	Bfl-s1	Bfl-s1

Feuerwiderstand

Es ist von essenzieller Bedeutung, eine klare Unterscheidung zwischen der Brennbarkeit der Baustoffe und dem Feuerwiderstand der Bauteile zu treffen. Das Ausbreiten eines Brandes wird vor allem von der Brennbarkeit beeinflusst, sowohl direkt nach dessen Entstehung als auch während seiner Entwicklung. Im Unterschied dazu beschreibt der Feuerwiderstand eines Bauteils das Vermögen der Standsicherheit, sowie bei raumabschließenden Bauteilen den Durchgang von Rauchgasen und Wärme für die geforderte Dauer des Feuerwiderstandes. [45] Die nachfolgende Auflistung beschreibt Funktionen der Feuerwiderstandsklassen gemäß ÖNORM EN 13501-2. [28]

- R ... Tragfähigkeit
 E ... Raumabschluss
 I ... Wärmedämmung

W	... Strahlung
M	... Widerstand gegen mechanische Beanspruchung
C	... Selbstschließende Eigenschaften
S	... Rauchdichtheit

Weiters ist anzumerken, dass die notwendigen unterstützenden und aussteifenden Elemente über eine Zeit wirksam sein müssen, der der geforderten Feuerwiderstandsdauer für die betreffenden Decken entspricht, um deren Standsicherheit im Brandfall zu gewährleisten. Die Anforderungen lt. OIB-Richtlinie 2 werden in der nachstehenden Tabelle 2.12 dargestellt. [23]

Tab. 2.12: Anforderungen an den Feuerwiderstand [23]

Gebäudeklassen (GK)	GK1	GK2	GK3	GK4	GK5	
					<6 oberi. Geschoße	>6 oberi. Geschoße
3. brandabschnittbildende Wände und Decken						
3.2 Decken	trifft n. zu	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
4. Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60						
4.1 Decken über dem obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60	R 60
4.2 Trenndecken über dem obersten Geschoß	-	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60	REI 60
4.3 Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	-	REI 30	REI 60	REI 60	REI 90	REI 90 und A2
4.4 Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30	R 30	R 30	R 30	R 60	R 90 und A2
4.5 Decken über unterirdischen Geschoßen	R 60	REI 60	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
5 Balkonplatten	-	-	-	R 30 oder A2	R 30 oder A2	R 30 oder A2

Dimensionierung und Abbrandraten

Zwei Verfahren stehen lt. ÖNORM EN 1995-1-2 für die Bemessung der mechanischen Eigenschaften zur Auswahl: die Methode der reduzierten Eigenschaften und die Methode mit reduziertem Querschnitt. Das vorgeschriebene Nachweisverfahren im nationalen Anhang (ÖNORM B 1995-1-2) ist die Methode mit reduziertem Querschnitt. Der wirksame Restquerschnitt wird durch die Reduzierung des ideellen Restquerschnitts entsprechend der Abbrandrate ermittelt. In der Grenzschicht wird angenommen, dass keine Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften vorhanden sind, während unverminderte Eigenschaften für den wirksamen Restholzquerschnitt angenommen werden. [31]

Im Rahmen der ÖNORM EN 1995-1-2 erfolgt eine differenzierte Betrachtung zwischen Bemessungswert β_0 (eindimensionale Abbrandrate) und β_n (ideelle Abbrandrate). Massivholzdecken weisen einen einseitigen Abbrand auf und es kommt β_0 zur Anwendung. Hingegen erfolgt bei Balken und Stützen durch die Anwendung von β_n eine Erhöhung der Abbrandrate, wodurch Effekte der Eckausrundung und Einflüsse von Rissen berücksichtigt werden. [31] Die Bemessungswerte der Abbrandraten sind aus der Tabelle 2.13 zu entnehmen.

Tab. 2.13: Bemessungswerte der Abbrandraten gemäß ÖNORM EN 1995-1-2 [31]

Material	β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
Nadelholz und Buche		
Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.70
Vollholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.80
Laubholz		
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.70
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0.50	0.55
Furnierschichtholz		
mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.70
Platten		
Holzbekleidung	0.90	-
Sperrholz	1.00	-
Holzwerkstoffplatten außer Sperrholz	0.90	-

2.4.2 Holzschutz

In Bezug auf das Thema Holzschutz gilt der Grundsatz primär bauliche Maßnahmen in Betracht zu ziehen, wohingegen chemische Maßnahmen auf das notwendige Minimum zu begrenzen sind. Unterschieden wird zwischen vorbeugendem und bekämpfendem Holzschutz. Vorbeugende Maßnahmen, die bereits in der Gestaltung und Konstruktion berücksichtigt werden, dienen der Risikoreduzierung. Obwohl Decken im Innenbereich in der Regel nicht als gefährdete Bauelemente gelten, werden nach den Bestimmungen der Norm tragende Holzbauteile in die Gebrauchsklasse GK 1 eingestuft. [32] Die Übersicht der Gebrauchsklassen und die damit verbundene Gefährdung des Holzes kann aus den Tabellen 2.14 und 2.15 entnommen werden.

Aktuell wird die Ansicht vertreten, dass Hölzer, die dem Insektenbefall und einer Beanspruchung durch Feuchte ausgesetzt sind, durch rein bauliche Maßnahmen langfristig und ausreichend geschützt werden können. In der baulichen Ausführung muss sichergestellt werden, dass eine Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts von Holz und Holzwerkstoffen effektiv verhindert wird, da dies die Grundvoraussetzung für schädlichen Pilzbefall darstellt. Daher ist es in Bereichen mit intensiver direkter Feuchtigkeitsbelastung der Oberfläche notwendig, entsprechende Abdichtungsmaßnahmen zu ergreifen. Diese sind bei Holzdecken stets an der Oberfläche des Rohfußbodens

vorzusehen. Über Nassräumen könnte an der Deckenunterseite eine zusätzliche Anbringung einer Dampfbremse notwendig sein, sofern im darüberliegenden Aufbau eine diffusionsperrende Schicht vorhanden ist. Sollten jedoch tragende oder aussteifende Bauteile von Pilzbefall oder holzzerstörenden Insekten betroffen sein, ist eine Bekämpfung der Holzschädlinge erforderlich. Allerdings ist diese Maßnahme normalerweise auf alte Deckenkonstruktionen im Bestand beschränkt. [32]

Tab. 2.14: Gebrauchsklassen Holzschutz [32]

GK	Beanspruchung des Holzes
0	Holzfeuchtigkeit ständig maximal 20%; mittlere relative Luftfeuchtigkeit maximal 85%; relative Luftfeuchtigkeit nur kurzfristig über 85%
1	Holzfeuchtigkeit ständig maximal 20%; mittlere relative Luftfeuchtigkeit maximal 85%; relative Luftfeuchtigkeit nur kurzfristig über 85%
2	Holzfeuchtigkeit gelegentlich kurzfristig über 20%; mittlere relative Luftfeuchtigkeit über 85%
3.1	Holzfeuchtigkeit gelegentlich über 20%
3.2	Holzfeuchtigkeit häufig über 20%; keine langfristige/ständige Durchfeuchtung
4	Holzfeuchtigkeit vorwiegend bis ständig über 20%

Tab. 2.15: Gefährdungen des Holzes abhängig von den Gebrauchsklassen [32]

GK	Gefährdung durch	Einbausituation
0	-	Holz in Räumen mit üblichem Wohnklima oder vergleichbaren Räumen verbaut
1	Insekten	Holz unter Dach, nicht der Bewitterung und keiner Befeuchtung ausgesetzt
2	Insekten und Pilze	Holz unter Dach, nicht der Bewitterung ausgesetzt; eine hohe Umgebungsfeuchtigkeit oder Feuchteintrag, z.B. aus Kondensation, kann zu gelegentlicher Befeuchtung führen
3.1	Insekten und Pilze	Holz nicht unter Dach, der Bewitterung ausgesetzt; ohne ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt; rasche Wasserableitung sowie eine gute Belüftung und somit eine rasche Rücktrocknung sichergestellt
3.2	Insekten und Pilze	Holz nicht unter Dach, der Bewitterung ausgesetzt; ohne ständigen Erd- und/oder Wasserkontakt; rasche Wasserableitung bzw. eine rasche Rücktrocknung, z.B. konstruktionsbedingt, nicht sichergestellt
4	Insekten, Pilze, Moderfäule	Holz im freien ohne Wetterschutz-Balkone, Fassaden, Zaunlatten

2.4.3 Schallschutz

Die Bedeutung des Schallschutzes gewinnt zunehmend an Bedeutung und betrifft bei Deckenkonstruktionen sowohl den Schutz vor Luftschall als auch den Schutz vor Trittschallübertragung. Zur Vorhersage der Schalldämmung in Holzbauten ist es wichtig das Wissen über die Schalldämmfähigkeiten der einzelnen Bauteile und deren Wechselwirkung zu kennen. Dies wird normalerweise mithilfe von Schallprüfungen im Labor ermittelt. [46]

Mit einem höheren Aufwand bei der Konstruktion und dem Hinzufügen von zusätzlichen Schichten lassen sich üblicherweise die geforderten Standards erreichen (Beispiel Rohdeckenbeschwerung, siehe Abb. 2.18). In der Regel wird durch die erfolgreiche Umsetzung des erforderlichen Trittschallschutzes auch der notwendige Luftschallschutz gewährleistet. [32]

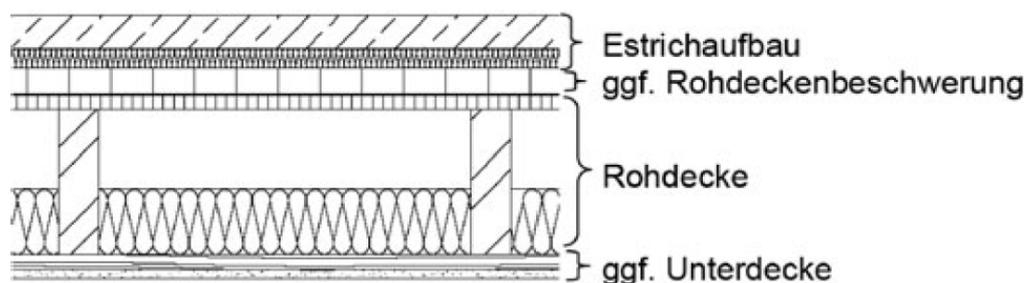


Abb. 2.18: Bauteilschichten - Decke aus Tragbalken [46]

Nachfolgende Konstruktionsregeln, um den erforderlichen Trittschallschutz zu gewährleisten, sollten bei der Ausführung beachtet werden:

Um einen optimalen Schallschutz zu erreichen, sollte ein schwimmender Estrich mit einer hohen flächenbezogenen Masse eingebaut werden. Weiters kann durch das Aufbringen von Schüttungen oder Betonplatten die Grundkonstruktion zusätzlich beschwert werden. Es empfiehlt sich die Untersicht zu entkoppeln, indem die Beplankung mit Federschienен befestigt wird. Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des Schallschutzes wird durch mehrlagige Beplankung erreicht (Erhöhung der flächenbezogenen Masse). Auch die Dichtigkeit von Stoß- und Anschlussfugen trägt zur Verbesserung der Trittschallübertragung bei. [32]

In Bezug auf den Luftschallschutz darf nach OIB-Richtlinie 5 bei der Bemessung der Deckenkonstruktionen die Schallübertragung über das Trennbauteil sowie die Schalllängsleitung (Bsp. über flankierende Bauteile) folgende Werte (siehe Tab. 2.16) der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ nicht unterschreiten. [24]

Mindest erforderliche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ in Gebäuden			
zu	aus	$D_{nT,w}$ [dB] ohne / mit Verbindung der Räume durch eine Türe oder durch ein sonstiges öffnerbares Bauteil	
1	Aufenthaltsräumen in Wohngebäuden	anderen Nutzungseinheiten	55 / 50
		allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	55 / 50
2	<ul style="list-style-type: none"> - Unterrichtsräumen in Bildungseinrichtungen (z.B. Klassenzimmer und Gruppenräume in Kindergärten) - Hotel- und Krankenzimmern - Wohnräumen in Heimen - Aufenthaltsräume in Bürogebäuden - Aufenthaltsräumen in vergleichbaren Gebäuden. 	anderen Nutzungseinheiten	50 / 45
		allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	50 / 35
3	akustisch abgeschlossenen Nebenräumen in Wohngebäuden	anderen Nutzungseinheiten	50 / 35
		allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	50 / 35
4	akustisch abgeschlossenen Nebenräumen in <ul style="list-style-type: none"> - Bildungseinrichtungen, - Hotels, - Krankenhäusern, - Wohnheimen, - Bürogebäuden - vergleichbaren Gebäuden. 	anderen Nutzungseinheiten	45 / 30
		allgemein zugänglichen Treppenhäusern, Gängen, Kellerbereichen u. dgl.	45 / 30

Tab. 2.16: Anforderungen an den Luftschallschutz [24]

Weiters darf der bewertete Standard-Trittschallpegel $L_{nT,w}$ nach Tabelle 2.17 in Räumen folgende Werte nicht überschreiten. [24]

Höchst zulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ in Gebäuden			
zu	aus	$L'_{nT,w}$ [dB] ohne / mit Verbindung der Räume durch eine Türe oder sonstiges öffnerbares Bauteil	
1	Aufenthaltsräumen	Räumen anderer Nutzungseinheiten	48 / 50
		allgemein zugänglichen Terrassen, Dachgärten, Balkonen, Loggien	48 / ---
		allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Laubengänge)	48 / 50
		nutzbaren Terrassen, Dachgärten, Loggien	53 / ---
		jeweils anderer Nutzungseinheiten	53 / ---
2	Nebenräumen	Balkonen anderer Nutzungseinheiten, Dachböden	55 / ---
		Räumen anderer Nutzungseinheiten	53 / 55
		allgemein zugänglichen Terrassen, Dachgärten, Balkonen, Loggien	53 / ---
		allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Laubengänge)	53 / 55
		nutzbaren Terrassen, Dachgärten, Loggien	58 / ---
jeweils anderer Nutzungseinheiten	58 / ---		
Balkonen anderer Nutzungseinheiten, Dachböden	60 / ---		

Tab. 2.17: Anforderungen an den Trittschallschutz [24]

2.4.4 Wärmeschutz

Gemäß Tabelle 2.18 dürfen folgende Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) ,nach der OIB-Richtlinie 6, bei Neubauten mit Gebäudekategorie 1 bis 12 (Einteilung siehe Tab. 2.19) nicht unterschritten werden (gilt für konditionierte Räume). [25]

Tab. 2.18: Anforderungen an den U-Wert [25]

	Bauteil	U-Wert [W/m²K]
18	DECKEN und DACHSCHRÄGEN jeweils gegen Außenluft und gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt)	0,2
19	DECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,4
20	DECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,9
21	DECKEN innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	–
22	DECKEN über Außenluft (z.B. über Durchfahrten, Parkdecks)	0,2
23	DECKEN gegen Garagen	0,3

Tab. 2.19: Gebäudekategorien [25]

Gebäudekategorien	
Wohngebäude (WG)	
1.	Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten
2.	Wohngebäude mit drei bis neun Nutzungseinheiten
3.	Wohngebäude mit zehn und mehr Nutzungseinheiten
Nicht-Wohngebäude (NWG)	
4.	Bürogebäude
5.	Bildungseinrichtungen
6.	Krankenhäuser
7.	Heime
8.	Beherbergungsbetriebe
9.	Gaststätten
10.	Veranstaltungsstätten und Mehrzweckgebäude
11.	Sportstätten
12.	Verkaufsstätten

Kapitel 3

Deckenbauweisen und Deckensysteme

Verschiedene Deckensysteme können aus einer breiten Palette von Materialien, wie sie im Kapitel 2.1 (Einteilung von Holz und Holzwerkstoffen) beschrieben sind, entwickelt werden. Dennoch lehnen sich die am häufigsten verwendeten Systeme an historische Vorbilder an. Jede Gliederung von Holzdeckensystemen gestaltet sich herausfordernd und weist Schwächen auf. Dies liegt daran, dass dicht angeordnete Balkenträgersysteme zu Vollquerschnitten übergehen und Deckensysteme mit eingeschlossenen Hohlräumen wieder Charakteristiken aufgelöster Systeme aufweisen. [32] Kategorisiert wird in diesem Kapitel zwischen Decken mit massivem Querschnitt und Decken mit vollständig aufgelösten Tragsystemen.

3.1 Decken mit massivem Querschnitt

Besonders im Wohnbau gewinnen heutzutage Massivholzdecken an zunehmender Bedeutung, da sie technisch und wirtschaftlich optimierte Systeme repräsentieren. Diese flächigen massiven Deckenplatten bieten eine Vielzahl von Vorteilen, zu denen ein verbessertes Tragverhalten bei Einzellasten, eine erhöhte Elementsteifigkeit (reduzierte Anfälligkeit für Schwingungen), die Schaffung einer aussteifenden Scheibenwirkung und das Vorhandensein einer höheren speicherwirksamen Masse gehören. [32]

3.1.1 Decken aus Brettsperrholz - CLT

Die Verwendung von Brettsperrholz-Massivholzelementen im modernen Holzbau hat sich aufgrund ihrer universellen Einsatzmöglichkeiten, Formstabilität, Passgenauigkeit und des hohen Vorfertigungsgrades bewährt. Die kreuzweise Anordnung von Längs- und Querlamellen in einem Holzwerkstoff führt zu einer Verbesserung der statischen Belastbarkeit und Formbeständigkeit. Weiters wird das Quellen und Schwinden auf ein minimales Maß verringert. CLT-Massivholzelemente finden in einer Vielzahl von Anwendungen ihren Einsatz, sowohl als tragende und aussteifende Bauteile, als auch nichttragende Bauteile. Sie sind geeignet für Auskragungen und punktgestützte Konstruktionen und können auch zur Errichtung von Raumzellen und Modulen verwendet werden. [18]

Durch definierte bauphysikalische und mechanische Eigenschaften wird die Planung und der Bau erleichtert. Die Vorteile von CLT sind vielfältig. Aufgrund der freien Formen und vielfältigen Dimensionen sind große Spannweiten und flexible Gestaltungsmöglichkeiten ohne Rasterbindung möglich. Der hohe Vorfertigungsgrad führt zu kurzen Bauzeiten und einer einfachen Montage vor Ort. Die Rohplatte wird automatisiert mit CNC-gesteuerten Anlagen bearbeitet und bietet verschiedene Oberflächenqualitäten, wie beispielsweise geschliffene Sichtflächen, an. [41] CLT ist nicht nur wirtschaftlich, sondern auch umweltfreundlich. Neben der ökologischen Nachhaltigkeit als nachwachsender Rohstoff und somit einer positiven Ökobilanz, bietet Brettsperrholz ein gesundes und behagliches Raumklima. [18]

Brettsperrholzelemente bestehen aus Brettern, die nach ihrer Festigkeit sortiert sind. Diese weisen eine Breite von 80 bis 240 mm und eine Dicke von 19 bis 45 mm auf. Hauptsächlich kommen dabei die Holzarten Fichte oder Tanne zum Einsatz. Die einzelnen Lagen werden flächenhaft mit für tragende Zwecke zugelassenen Klebstoffen (meist Polyurethanschaum) verklebt und 90° versetzt. Dies gewährleistet ein homogenes Trag- und Quell-Schwind-Verhalten der Elemente. In der Regel werden für Decken Elemente mit einer Dicke zwischen 140 und 200 mm verwendet, die aus 5 bis 7 Lagen bestehen. Die Abmessungen der Elemente hängen von den Produktionsmöglichkeiten der Hersteller und den Transportbedingungen ab. Üblicherweise bieten Hersteller von großformatigen Platten, Breiten im Bereich von 2,40 bis 3 m sowie Längen von 12 bis 20 m an. [41]

3.1.1.1 KLH Massivholz - Deckenelemente aus Kreuzlagenholz (CLT)

Im massiven Holzbau sind KLH-Massivholzelemente aus Kreuzlagenholz äußerst vielseitig einsetzbar. Sie finden nicht nur Verwendung als konstruktive Deckenelemente, sondern auch als Wand- und Dachelemente. Dank ihrer allseitigen Lastabtragung sind sie in der architektonischen Gestaltung äußerst flexibel und lassen sich problemlos mit anderen Baumaterialien und Werkstoffen kombinieren. Der verwendete Pressdruck bei der Verklebung von KLH-Massivholzplatten beträgt $0,6 \text{ N/mm}^2$, was etwa das Sechsfache im Vergleich zur Produktion mit Vakuumtechnologie ausmacht. Dies führt zu einer hochwertigen Verklebung und einer entsprechend höheren statischen Belastbarkeit der hergestellten Massivholzplatten. Eine Produktübersicht und die entsprechenden Abmessungen der Platten sind der Abbildung 3.1 zu entnehmen. [18]

Decklage in Plattenlängsrichtung (DL)	Nennstärke	Lagen	Typ	Lamellenstärke in mm										
				L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L		
KLH 60 mm	60 mm	3s	DL	20	20	20								
KLH 70 mm	70 mm	3s	DL	20	30	20								
KLH 80 mm	80 mm	3s	DL	30	20	30								
KLH 90 mm	90 mm	3s	DL	30	30	30								
KLH 100 mm	100 mm	3s	DL	40	20	40								
KLH 110 mm	110 mm	3s	DL	40	30	40								
KLH 120 mm	120 mm	3s	DL	40	40	40								
KLH 100 mm	100 mm	5s	DL	20	20	20	20	20						
KLH 110 mm	110 mm	5s	DL	20	20	30	20	20						
KLH 120 mm	120 mm	5s	DL	30	20	20	20	30						
KLH 130 mm	130 mm	5s	DL	30	20	30	20	30						
KLH 140 mm	140 mm	5s	DL	40	20	20	20	40						
KLH 150 mm	150 mm	5s	DL	40	20	30	20	40						
KLH 160 mm	160 mm	5s	DL	40	20	40	20	40						
KLH 170 mm	170 mm	5s	DL	40	30	30	30	40						
KLH 180 mm	180 mm	5s	DL	40	30	40	30	40						
KLH 190 mm	190 mm	5s	DL	40	40	30	40	40						
KLH 200 mm	200 mm	5s	DL	40	40	40	40	40						
KLH 160 mm	160 mm	5ss	DL	30+30	40	30+30								
KLH 180 mm	180 mm	7s	DL	20	40	20	20	20	40	20				
KLH 200 mm	200 mm	7s	DL	20	40	20	40	20	40	20				
KLH 220 mm	220 mm	7s	DL	30	40	30	20	30	40	30				
KLH 240 mm	240 mm	7s	DL	30	40	30	40	30	40	30				
KLH 180 mm	180 mm	7ss	DL	30+30	20	20	20	30+30						
KLH 200 mm	200 mm	7ss	DL	30+30	20	40	20	30+30						
KLH 220 mm	220 mm	7ss	DL	40+40	20	20	20	40+40						
KLH 240 mm	240 mm	7ss	DL	40+40	20	40	20	40+40						
KLH 260 mm	260 mm	7ss	DL	40+40	30	40	30	40+40						
KLH 280 mm	280 mm	7ss	DL	40+40	40	40	40	40+40						
KLH 300 mm	300 mm	8ss	DL	40+40	30	40+40	30	40+40						
KLH 320 mm	320 mm	8ss	DL	40+40	40	40+40	40	40+40						

Abb. 3.1: Standarddeckenplatten [18]

Konstruktion

Um die Lastabtragung zu gewährleisten, müssen Anschlüsse zwischen den Bauelementen hergestellt werden, die bestimmten Anforderungen genügen müssen. Im nachfolgenden werden Beispiele für Verbindungen von Deckenkonstruktionen dargestellt [17]:

- Anschluss Decke-Wand

Für die Schubübertragung längs der Fuge und die Zugverankerung der Wände werden Winkelverbinder verwendet. Der Typ und Abstand sowohl der Winkelverbinder als auch der Verschraubung der Decke (unter Verwendung von selbstbohrenden Holzschrauben) sind nach statischen Erfordernissen zu wählen. Weiters werden Fugenbänder bei allen Plattenstößen eingelegt, sofern die Außenseite keine Dampfsperre oder Winddichtigkeitsebene aufweist. Abbildung 3.2 illustriert den beschriebenen Anschluss zwischen Decke und Wand.

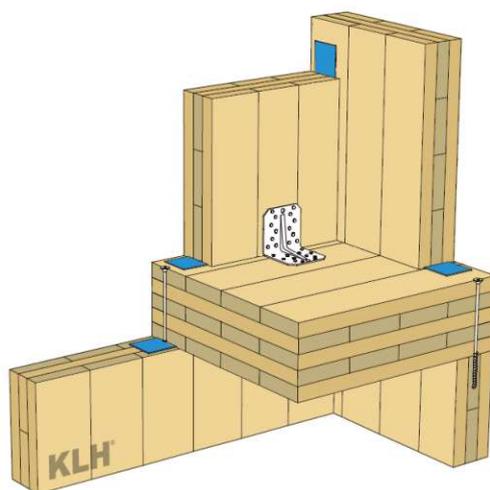


Abb. 3.2: Anschluss Decke-Wand [17]

- Deckenstoß auf der Wand

Zur Konstruktion von Deckenstößen in Kombination mit dünnen Wänden sind verschiedene Aspekte von Bedeutung. Eine ausreichende Auflagerbreite (mind. 4 cm) und die Pressung quer zur Faser müssen gewährleistet sein. Besonders bei Brandbeanspruchung ist es wichtig sicherzustellen, dass die Auflager auch nach dem Abbrand der Wand noch ausreichend breit sind, wobei eine Breite von 3 cm empfohlen wird. Plattenstöße auf einer Wand sollten nur dann ausgeführt werden, wenn geringe Horizontalkräfte in der Fuge zwischen Platte und Wand auftreten. Schrägverbindungen (siehe Abb. 3.3-oben) sind nur bedingt berechenbar und daher nur bei geringer Beanspruchung empfehlenswert. Um eine sichere Lastabtragung zu gewährleisten, empfiehlt es sich daher, die Platten auszuklinken (siehe Abb. 3.3-links). Dies ermöglicht in der Regel die Einhaltung der Randabstände der Schrauben. Eine weitere Möglichkeit einer sicheren Lastabtragung kann durch eine alternierende Anordnung von Nischen erfolgen (siehe Abb. 3.3-rechts). Die Breite dieser Nischen hängt vom Plattentyp ab, wobei bei dünnen Querlagen engere Abstände erforderlich sind. Die Auflager in den Nischen sind sowohl für die Platte als auch für die Verschraubung voll wirksam.

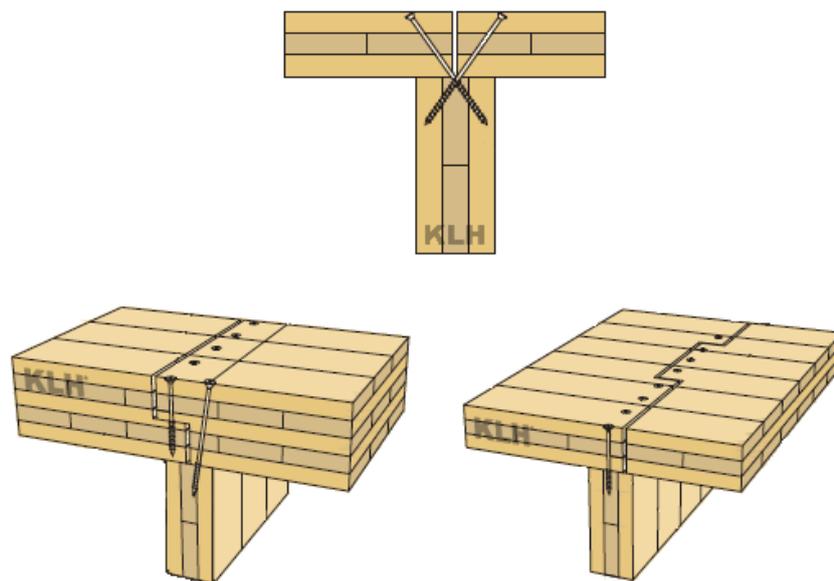


Abb. 3.3: Deckenstoß auf der Wand [17]

- Biegesteifer Deckenquerstoß

Der Einsatz dieser Verbindungsmethode ist nur in Situationen sinnvoll, in denen eine Quersteifigkeit unbedingt erforderlich ist. Die Verbindung kann durch das Aufleimen von Verbindungslaschen (mittels Schraubpressleimung) oder durch rein mechanische Verbindungen, wie Nägel oder Schrauben, erreicht werden. Es ist zu beachten, dass das Verleimen der Verbindung unter kontrollierten Bedingungen und durch qualifiziertes Personal erfolgen sollte, einschließlich der Berücksichtigung von Klima und Oberflächenbeschaffenheit. Dieser Prozess kann daher kostspielig sein. Als Materialien eignen sich Furnierschichtholz oder 3s-Platten, wobei die Auswahl entsprechend den statischen Anforderungen zu erfolgen hat. Verbindungen, die durch die Verwendung von Vollgewindeschrauben realisiert werden, können sowohl Querkräfte als auch Zugkräfte übertragen (die Schraubendarstellung in Abbildung 3.4 dient lediglich der Veranschaulichung, diese müssen mit Abstand zueinander angebracht werden).

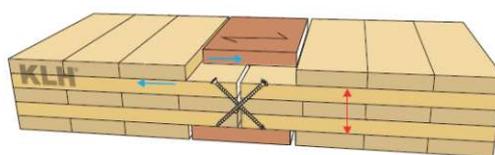


Abb. 3.4: biegesteifer Deckenquerstoß [17]

- Biegesteifer Längsstoß bei dünnen Platten

Der biegesteife Längsstoß bei dünnen Platten (Abb. 3.5) stellt eine kostengünstige Möglichkeit dar, eine hohe Tragfähigkeit zu erzielen, selbst ohne Verwendung von Klebstoff. Ein wichtiger Faktor bei der Verschraubung ist der geeignete Schraubenabstand, der idealerweise das Dreifache der Plattenstärke betragen sollte. Der Stoß ist in der Lage Biegemomente, Querkräfte sowie Zug- und Druckkräfte zu übertragen. Dabei können Vollgewindeschrauben für eine effektive Verbindung verwendet werden. Das statische System zur Ermittlung der Schraubenkräfte ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Für den Fall, dass es sich um Dachplatten handelt, sollte die Dampfsperre zwischen der Platte und dem Verbindungselement positioniert werden, um eine optimale Abdichtung zu gewährleisten.

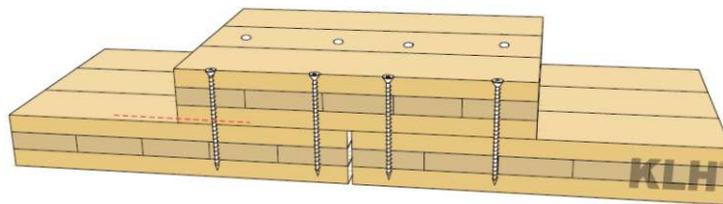


Abb. 3.5: Biegesteifer Längsstoß [17]

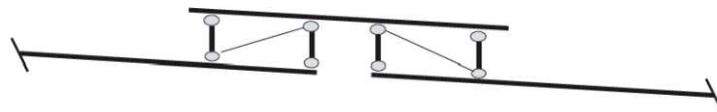


Abb. 3.6: statisches System - Schraubenkraftermittlung [17]

Luftdichtheit

Es bestehen grundsätzlich zwei Methoden, um eine luftdichte Ausführung von KLH - Massivholzkonstruktionen zu gewährleisten. Eine Möglichkeit besteht darin, die Dichtheit der Konstruktion durch den Einbau einer strömungsdichten Schicht zu erreichen. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung einer Dampfbremse erfolgen, die gleichzeitig als Konvektionssperre fungiert und auf den weiteren Wandaufbau abgestimmt ist. Die komplette Konstruktion wird durch eine Membran umhüllt, die an den Oberflächen angebracht und verklebt wird. Die zweite Methode besteht darin, die Konstruktion selbst als Dichtebene im Gebäude zu nutzen. Hierbei werden die Kanten der Bauteile sowie alle Fugen zwischen den Bauteilen und zu benachbarten Bauteilen mithilfe von Dichtbändern abgedichtet (siehe Abb. 3.7). In Erwägung gezogen werden sollte auch die Überprüfung der Luftdichtheit mithilfe einer Blower-Door-Messung, vorzugsweise noch vor der Baufertigstellung. In dieser Phase können Undichtigkeiten in der Regel noch unkompliziert behoben werden. [16]

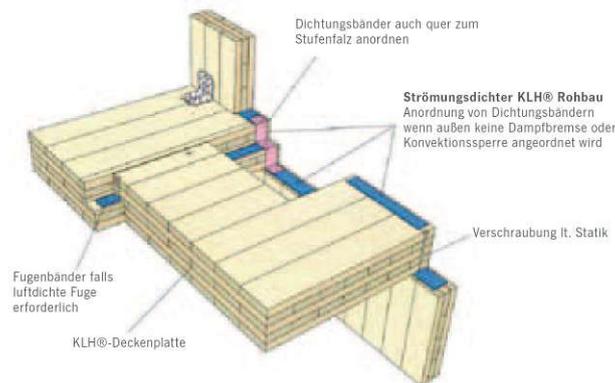


Abb. 3.7: Strömungsdichter Anschluss - Dichtbänder [16]

Wärmeschutz

Der Vorteil von Massivholzkonstruktionen besteht darin, dass im Vergleich zu Leichtbauweisen der Bau überwiegend in homogenen Schichten erfolgen kann. Das Resultat ist eine gleichmäßige Verteilung der Temperatur über die gesamte Fläche, was wiederum positive Auswirkungen auf das hygrothermische Verhalten der Konstruktion hat. Die Wärmeleitfähigkeit wird hauptsächlich durch die Rohdichte und den Feuchtegehalt der Deckenplatte beeinflusst. [16] Die Abbildung 3.8 zeigt den Wärmedurchgangskoeffizient von unbedeckten KLH-Platten in Abhängigkeit der Plattendicke.

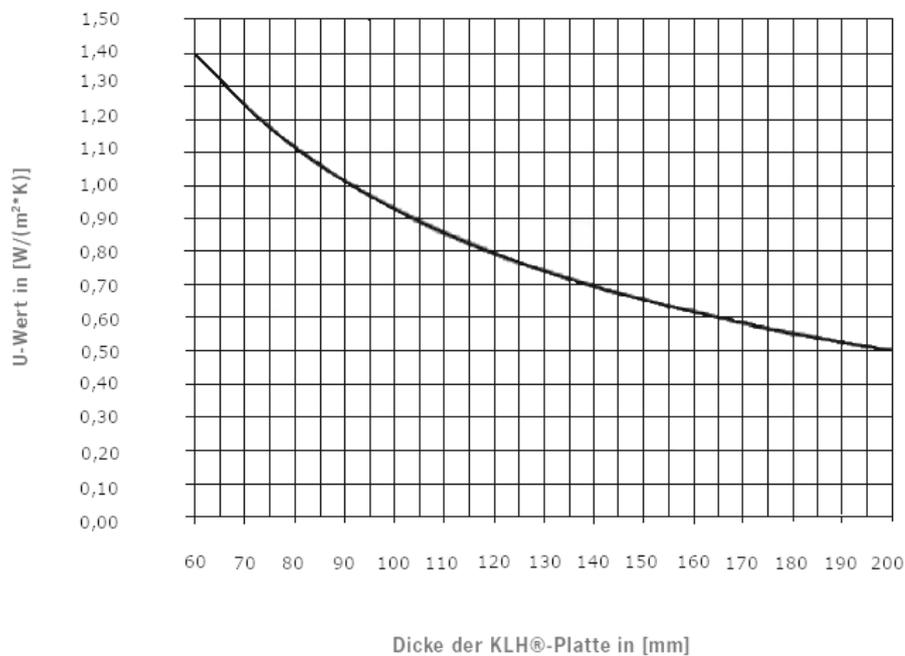


Abb. 3.8: Wärmedurchgangskoeffizient [16]

Feuchteschutz

Bodenbeläge in Feuchträumen, bei denen Keramik und Stein verwendet werden, weisen Schwachstellen im Bereich der Fugen auf. Obwohl sich CLT-Platten aufgrund ihrer hohen Formstabilität auszeichnen, wäre es mangelhaft, diese Beläge direkt auf die Holzoberfläche zu verlegen. Daher ist die Verwendung von Gipswerkstoffplatten und zementgebundenen Spanplatten möglich (+ Alternativabdichtung), um bedeutende Zug- und Biegebeanspruchungen aufgrund von Formveränderungen zu verhindern. Diese Platten, die sich durch geringe Quell- und Schwindeigenschaften auszeichnen, dienen als Ausgleichsschicht zwischen der Decke und der Nutzschicht. [16] Abbildung 3.9 stellt die feuchtigkeitsbedingte Längenänderung unterschiedlicher Bauplatten dar, die in der Regel verwendet werden.

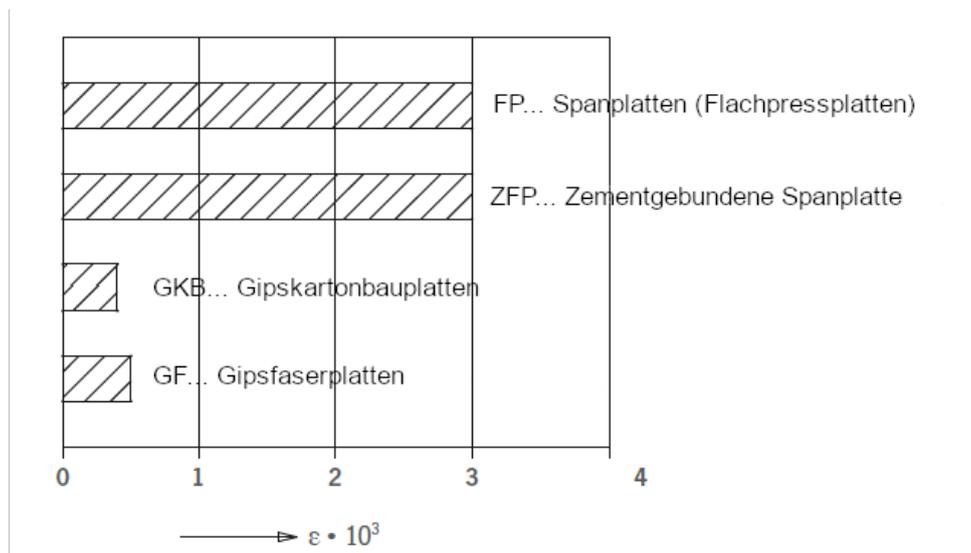


Abb. 3.9: Quell- und Schwindverhalten von Plattenwerkstoffen - modifiziert übernommen aus: [16]

Vorbemessung

Die Berechnung von KLH- Massivholzplatten wird unter dem Aspekt nachgiebig verbundener Querschnitte durchgeführt. Durch schubweiche Querlagen erfolgt die Verbindung der Längslagen, wodurch die Durchbiegung aufgrund von Querkraft nicht mehr außer Acht gelassen werden kann (Rollschub - Schubverformungen der Querlagen). Die relevanten Bemessungsnormen sind dem Eurocodes 5 unter Berücksichtigung der nationalen Anhänge zu entnehmen. Die vorliegenden Vorbemessungstabellen (siehe Abb. 3.10 - 3.13) bieten eine Grundlage für die Planung. Es sei festzuhalten, dass die Tabellen bereits das Eigengewicht der Deckenplatte einbeziehen. Darüber hinaus ist eine Brandbemessung unter der Annahme eines einseitigen Brandangriffs mitberücksichtigt worden. [20]

Vorbemessungstabelle 1

- Statisches System: Einfeldträger
- Schwingungsnachweis: Deckenklasse I – z.B Wohnungstrenndecke
- Estrichstärke 6cm: Nassestrich schwimmend auf Schüttung
- Begrenzung der Verformungen:
 - charakteristische Bemessungssituation - $w_{inst} \leq l/300$
 - Quasi-ständige Bemessungssituation - $w_{net,fin} \leq l/250$

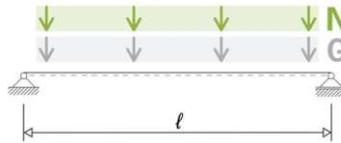


Abb. 3.10: Statisches System Einfeldträger [20]

Ständige Auflast	Nutzlast		Spannweite Einfeldträger l								
	$G_{2,k}$ [kN/m ²]	N_k KAT [kN/m ²]	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
1,50	A	2,80	5s 100 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 200 DL	7ss 220 DL	7ss 250 DL	7ss 280 DL
	B	3,80				5s 150 DL					
	C	4,00	5s 110 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 170 DL	5s 200 DL				
		5,00			5s 180 DL						
2,00	A	2,80	5s 100 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	7ss 210 DL	7ss 230 DL	7ss 260 DL	7ss 280 DL
	B	3,80	5s 110 DL									5s 140 DL
	C	4,00	5s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 160 DL					
		5,00										5s 130 DL
2,50	A	2,80	5s 100 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 160 DL	5s 200 DL	7ss 220 DL	7ss 240 DL	7ss 260 DL	7ss 280 DL
	B	3,80	5s 110 DL			5s 140 DL					
	C	4,00	5s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 170 DL				
		5,00										5s 120 DL	5s 150 DL	5s 200 DL
3,00	A	2,80	5s 100 DL	5s 120 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL	7ss 230 DL	7ss 250 DL	7ss 280 DL	7ss 280 DL
	B	3,80	5s 110 DL									5s 150 DL
	C	4,00	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL				
		5,00										5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL
3,50	A	2,80	5s 110 DL	5s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	7ss 210 DL	7ss 240 DL	7ss 250 DL	7ss 280 DL	7ss 280 DL
	B	3,80	5s 110 DL									5s 130 DL
	C	4,00	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	7ss 210 DL				
		5,00										5s 120 DL	5s 140 DL
			R 0	R 30	R 60	R 90	R 120				

Abb. 3.11: Vorbemessungstabelle 1 [20]

Vorbemessungstabelle 2

- Statisches System: Zweifeldträger
- Schwingungsnachweis: Deckenklasse I – z.B Wohnungstrenndecke
- Estrichstärke 6cm: Nassestrich schwimmend auf Schüttung
- Begrenzung der Verformungen:
 - charakteristische Bemessungssituation - $w_{inst} \leq l/300$
 - Quasi-ständige Bemessungssituation - $w_{net,fin} \leq l/250$

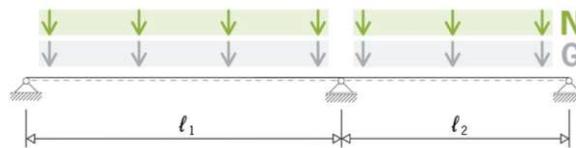


Abb. 3.12: Statisches System Zweifeldträger [20]

Ständige Auflast	Nutzlast		Spannweite Zweifeldträger ℓ_1 $\ell_2 = 0,8 \cdot \ell_1$ bis $1,0 \cdot \ell_1$									
	$G_{z,k}$ [kN/m ²]	KAT N_k [kN/m ²]	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m	
1,50	A	2,80	5s 110 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	5s 200 DL	7s 210 DL	7s 220 DL	
	B	3,80					5s 150 DL					7s 230 DL
	C	4,00					5s 150 DL					
		5,00										
2,00	A	2,80	5s 110 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 190 DL	5s 200 DL	7s 210 DL	7s 220 DL	
	B	3,80					5s 160 DL					7s 230 DL
	C	4,00					5s 160 DL					
		5,00										
2,50	A	2,80	5s 110 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	5s 190 DL	5s 200 DL	7s 220 DL	7s 230 DL	
	B	3,80					5s 170 DL					7s 240 DL
	C	4,00					5s 170 DL					
		5,00										
3,00	A	2,80	5s 110 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	5s 190 DL	7s 200 DL	7s 220 DL	7s 230 DL	
	B	3,80				5s 150 DL			7s 240 DL			
	C	4,00				5s 150 DL						
		5,00										
3,50	A	2,80	5s 110 DL	5s 120 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7s 200 DL	7s 220 DL	7s 230 DL	
	B	3,80				5s 150 DL			7s 230 DL			
	C	4,00				5s 150 DL						
		5,00										

R 0
R 30
R 60
R 90
R 120

Abb. 3.13: Vorbemessungstabelle 2 [20]

3.1.2 Brettstapel- und Dübelholzdecken

Die Gestaltung von Brettstapeldecken umfasst eine Vielzahl an unterschiedlichen Möglichkeiten. Darunter scharfkantige und gefaste Varianten, Ausführungen mit Nut und Feder sowie Decken mit Akustikprofilierung. Diese Deckenformen setzen sich aus Brettern, Bohlen oder Kanthölzern zusammen, die hochkant nebeneinander liegen und Abmessungen zwischen 24 und 60 mm aufweisen. Dabei laufen sie ungestoßen über die gesamte Länge oder werden durch Keilzinkung zu Lamellen miteinander verbunden. Weiters werden die Lamellen vor Ort nachgiebig durch Nagelung oder bereits im Werk durch das Verleimen bzw. Verdübeln zu vorgefertigten Elementen vorbereitet. Die Nachweisführung der Scheibenwirkung ist in jedem Einzelfall erforderlich und hängt von den verwendeten Verbindungsmitteln ab. Um das Quell- und Schwindverhalten der Elemente zu berücksichtigen, sollten Dehnfugen vorgesehen werden. Es ist ebenfalls wichtig zu beachten, dass die Elemente während der Montage, der Lagerung oder des Transports keinen Witterungseinflüssen ausgesetzt sein dürfen. [32]

3.1.2.1 Haaslacher Norica Timber - Brettstapelsystemdecke

Die Brettstapeldecke ist äußerst vielseitig und findet Anwendung in Ein- und Mehrfamilienhäusern, mehrgeschossigen Wohnbauten, sowie im Industrie- und Hallenbau. Ihre Verwendung bietet zahlreiche Vorteile, darunter die schnelle und unkomplizierte Verlegung, sofortige Belastbarkeit nach der Montage und eine hohe Formstabilität. Die verfügbaren Querschnitte erstrecken sich über einen Bereich von 60 bis 280 mm in der Höhe und von 400 bis 1280 mm in der Breite (Lamellenstärke bis zu 45 mm). Zusätzlich sind Längen bis zu 27 m realisierbar. Die Holzfeuchte liegt bei etwa 12 % mit einer Toleranz von ± 2 %. [9] In den Abbildungen 3.14 bis 3.18 wird die Konstruktion verschiedener Stoßausbildungen detailliert dargestellt. Die entsprechenden Informationen zu diesen Abbildungen sind in den Tabellen 3.1 bis 3.5 angeführt.

Konstruktion-Stoßausbildungen

Nut-Feder	
Elementstärke	60-280mm (20mm Schritte)
Elementbreite	400-1280mm (40mm Schritte)
Länge	bis 27m

Tab. 3.1: Nut-Feder-Abmessungen [9]

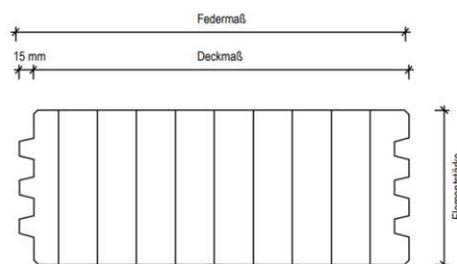


Abb. 3.14: Nut-Feder-Verbindung [9]

Nut-Feder inkl. doppelter Ausfaltung	
Elementstärke	60-280mm (20mm Schritte)
Elementbreite	400-1280mm (40mm Schritte)
Länge	bis 27m
Falz	Tiefe:60 mm, Breite:20 mm

Tab. 3.2: Nut-Feder,doppelte Ausfaltung -Abmessungen [9]

Doppelte Ausfaltung	
Elementstärke	60-280mm (20mm Schritte)
Elementbreite	400-1280mm (40mm Schritte)
Länge	bis 27m
Falz	Tiefe:50 mm, Breite:20 mm

Tab. 3.3: Doppelte Ausfaltung -Abmessungen [9]

Nut mit fremder Feder	
Elementstärke	60-280mm (20mm Schritte)
Elementbreite	400-1280mm (40mm Schritte)
Länge	bis 27m
Nut	Tiefe:40 mm, Breite:20 mm

Tab. 3.4: Nut mit fremder Feder -Abmessungen [9]

Nut mit fremder Feder inkl. doppelter Ausfaltung	
Elementstärke	60-280mm (20mm Schritte)
Elementbreite	400-1280mm (40mm Schritte)
Länge	bis 27m
Falz	Tiefe:50 mm, Breite:20 mm
Nut	Tiefe:40 mm, Breite:20 mm

Tab. 3.5: Nut mit fremder Feder inkl. doppelter Ausfaltung-Abmessungen [9]

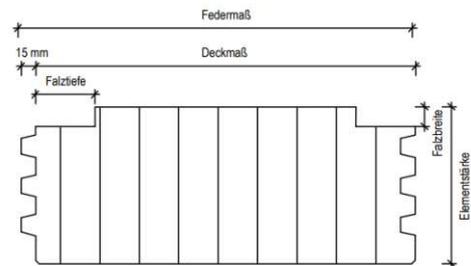


Abb. 3.15: Nut-Feder, doppelte Ausfaltung -Verbindung [9]

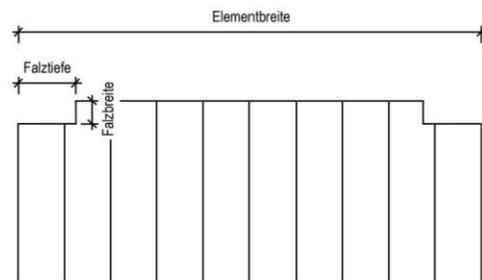


Abb. 3.16: Doppelte Ausfaltung -Verbindung [9]

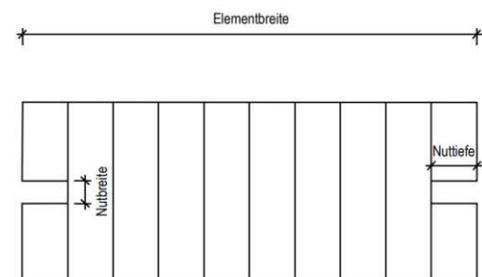


Abb. 3.17: Nut mit fremder Feder-Verbindung [9]

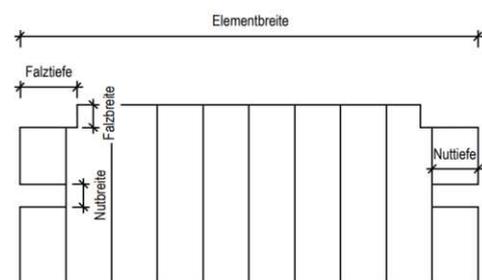
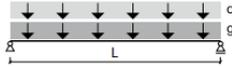


Abb. 3.18: Nut mit fremder Feder inkl. doppelter Ausfaltung -Verbindung [9]

Vorbemessung

Die Vorbemessungstabellen stellen eine Richtlinie für die Beurteilung der statischen Erfordernisse dar, ersetzen jedoch keine statische Berechnung. Die nachfolgenden Tabellen (Abb. 3.19 - 3.20) sind auf die Nutzungsklasse 1 und Deckenklasse 3 ausgerichtet. Es ist wichtig zu beachten, dass Schwingungen in dieser Vorbemessung unberücksichtigt bleiben. Dennoch bietet sich die Möglichkeit, den Einfluss der Schwingungen abzuschätzen, indem die Lasten um etwa 35% erhöht werden. Ausgelegt sind die Werte für das stat. System Einfeld- und Zweifeldträger mit Spannweiten im Bereich von 3 bis 7,5 m. Das Eigengewicht der Brettstapелеlemente wurde in die Berechnungen miteinbezogen. [9]

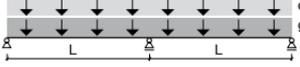
Einfeldträger



g + q = p	Spannweite L									
	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m	7,50 m
2,0 kN/m ²	80 mm	80 mm	100 mm	100 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	180 mm	180 mm
3,0 kN/m ²	80 mm	100 mm	100 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	180 mm	180 mm	200 mm
4,0 kN/m ²	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	180 mm	180 mm	200 mm	220 mm
5,0 kN/m ²	100 mm	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm	160 mm	180 mm	200 mm	220 mm	220 mm
6,0 kN/m ²	100 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	180 mm	200 mm	200 mm	220 mm	240 mm
7,0 kN/m ²	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm	160 mm	180 mm	200 mm	220 mm	240 mm	a. Anfrage
8,0 kN/m ²	100 mm	120 mm	140 mm	160 mm	180 mm	200 mm	200 mm	220 mm	240 mm	a. Anfrage

Abb. 3.19: Brettstapeldecken – Vorbemessung Einfeldträger [9]

Zweifeldträger



g + q = p	Spannweite L									
	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m	7,50 m
2,0 kN/m ²	80 mm	80 mm	80 mm	80 mm	100 mm	100 mm	100 mm	120 mm	120 mm	140 mm
3,0 kN/m ²	80 mm	80 mm	80 mm	100 mm	100 mm	100 mm	120 mm	120 mm	140 mm	140 mm
4,0 kN/m ²	80 mm	80 mm	80 mm	100 mm	100 mm	120 mm	120 mm	140 mm	160 mm	160 mm
5,0 kN/m ²	80 mm	80 mm	100 mm	100 mm	120 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	180 mm
6,0 kN/m ²	80 mm	80 mm	100 mm	120 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	160 mm	180 mm
7,0 kN/m ²	80 mm	100 mm	100 mm	120 mm	120 mm	140 mm	160 mm	160 mm	180 mm	180 mm
8,0 kN/m ²	80 mm	100 mm	100 mm	120 mm	140 mm	140 mm	160 mm	180 mm	180 mm	200 mm

Abb. 3.20: Brettstapeldecken – Vorbemessung Zweifeldträger [9]

3.1.2.2 Sohm Holzbautechnik -Diagonal-Dübelholz-Decken

Die Diagonal-Dübelholz-Deckenelemente stellen flächige Massivholzelemente dar, die nicht nur als Decken-, sondern auch als Wand- und Dachelemente eingesetzt werden können. Im Gegensatz zu herkömmlichen Dübelholzkonstruktionen werden die Verbindungselemente nicht parallel, sondern diagonal eingepresst (siehe Abb. 3.21). Diese Verbindung erfolgt durch Hartholzdübel, zusätzlich werden die Lamellen durch ein Wellenprofil untereinander verbunden, was zu einer zusätzlichen Formstabilität des DD-Elements führt. Bei der Herstellung sind keine metallischen Verbindungsmittel erforderlich. [11]

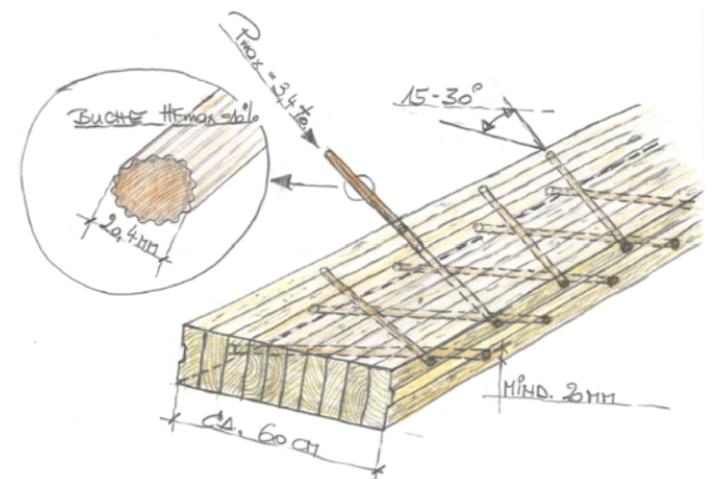


Abb. 3.21: DD-Element [11]

Abmessungen und Konstruktion

Die verwendeten Hartholzdübel werden in einem Winkel zwischen 15° und 30° in die Vollholzlammellen eingepresst. Das Aufquellen der trockenen Hartholzdübel infolge der Aufnahme von Umgebungsfeuchtigkeit führt zu einer Verfestigung der Dübel im Element. Dadurch wird eine erhöhte Formstabilität und ein reduziertes Schwindverhalten erreicht. Die Palette der DD-Deckenelemente beinhaltet eine vielfältige Bandbreite von Elementstärken, die in 20 mm-Schritten zwischen 80 und 240 mm variiert. Die Standardbreite der Elemente beläuft sich auf 600 mm. Aufgrund der CNC-Abbundtechnologie ergibt sich jedoch die Möglichkeit einer flexiblen Anpassung der Abmessungen, um den Vorgaben spezifischer Projekte zu entsprechen. Die maximale Elementlänge erstreckt sich bis zu 15 m und wird mit einer Toleranz von ± 5 mm zugeschnitten. [11]

Vorbemessung

Die angeführten Spannweiten in den nachfolgenden Vorbemessungstabellen (Abb. 3.22) dienen ausschließlich als Orientierung und ersetzen in keinem Fall eine statische Berechnung. Das Eigengewicht der DD-Deckenelemente ist in den Tabellen nicht berücksichtigt. Weiters ist wichtig zu beachten, dass keine Dimensionserhöhungen infolge Brandbemessung berücksichtigt wurden. Auch für das Schwingungsverhalten der Elemente sind separate Nachweise zu erstellen. Die Verformung ist auf $l/300$ begrenzt. [11]

Anmerkung: Der nachgestellte Buchstabe bei jeder Kennzahl gibt an, welche Bemessung für die jeweilige Situation maßgebend ist.

f ... Durchbiegung

M ... Moment

Q ... Querkraft

Belastung (ohne DD-Eigen- gewicht)	Elementstärke								
	8 cm			10 cm			12 cm		
	1-Feld	2-Feld	3-Feld	1-Feld	2-Feld	3-Feld	1-Feld	2-Feld	3-Feld
1 kN/m ²	3,58 f	4,41 f	4,19 f	4,39 f	5,42 f	5,14 f	5,17 f	6,40 f	6,07 f
2 kN/m ²	2,96 f	3,63 f	3,45 f	3,67 f	4,49 f	4,27 f	4,35 f	5,34 f	5,08 f
3 kN/m ²	2,63 f	3,21 f	3,06 f	3,26 f	3,99 f	3,79 f	3,89 f	4,75 f	4,52 f
4 kN/m ²	2,41 f	2,93 f	2,80 f	2,99 f	3,65 f	3,48 f	3,57 f	4,36 f	4,15 f
5 kN/m ²	2,25 f	2,73 f	2,61 f	2,79 f	3,41 f	3,24 f	3,34 f	4,07 f	3,88 f
6 kN/m ²	2,12 f	2,58 f	2,46 f	2,64 f	3,22 f	3,06 f	3,16 f	3,85 f	3,66 f
7 kN/m ²	2,02 f	2,43 M	2,34 f	2,51 f	3,03 M	2,92 f	3,01 f	3,63 M	3,49 f
8 kN/m ²	1,93 f	2,28 M	2,24 f	2,41 f	2,84 M	2,80 f	2,88 f	3,40 M	3,35 f
9 kN/m ²	1,86 f	2,15 M	2,16 f	2,32 f	2,68 M	2,69 f	2,78 f	3,21 M	3,22 f
10 kN/m ²	1,80 f	2,05 M	2,09 f	2,24 f	2,55 M	2,60 f	2,69 f	3,05 M	3,12 f

Belastung (ohne DD-Eigen- gewicht)	Elementstärke								
	14 cm			16 cm			18 cm		
	1-Feld	2-Feld	3-Feld	1-Feld	2-Feld	3-Feld	1-Feld	2-Feld	3-Feld
1 kN/m ²	5,92 f	7,35 f	6,96 f	6,65 f	8,28 f	7,84 f	7,36 f	9,18 f	8,68 f
2 kN/m ²	5,02 f	6,18 f	5,87 f	5,68 f	7,00 f	6,65 f	6,33 f	7,81 f	7,41 f
3 kN/m ²	4,50 f	5,51 f	5,24 f	5,10 f	6,26 f	5,95 f	5,70 f	7,00 f	6,65 f
4 kN/m ²	4,14 f	5,06 f	4,82 f	4,71 f	5,76 f	5,48 f	5,27 f	6,45 f	6,13 f
5 kN/m ²	3,88 f	4,73 f	4,50 f	4,41 f	5,39 f	5,13 f	4,94 f	6,04 f	5,74 f
6 kN/m ²	3,67 f	4,47 f	4,26 f	4,17 f	5,09 f	4,85 f	4,68 f	5,71 f	5,44 f
7 kN/m ²	3,50 f	4,22 M	4,06 f	3,98 f	4,80 M	4,63 f	4,47 f	5,38 M	5,19 f
8 kN/m ²	3,35 f	3,96 M	3,89 f	3,82 f	4,51 M	4,44 f	4,29 f	5,06 M	4,98 f
9 kN/m ²	3,23 f	3,74 M	3,75 f	3,69 f	4,26 M	4,28 f	4,13 f	4,78 M	4,80 f
10 kN/m ²	3,13 f	3,55 M	3,63 f	3,57 f	4,05 M	4,14 f	4,00 f	4,55 M	4,64 f

Belastung (ohne DD-Eigen- gewicht)	Elementstärke								
	20 cm			22 cm			24 cm		
	1-Feld	2-Feld	3-Feld	1-Feld	2-Feld	3-Feld	1-Feld	2-Feld	3-Feld
1 kN/m ²	8,05 f	10,06 f	9,51 f	8,72 f	10,92 f	10,32 f	9,37 f	11,77 f	11,11 f
2 kN/m ²	6,97 f	8,60 f	8,16 f	7,59 f	9,39 f	8,90 f	8,20 f	10,16 f	9,63 f
3 kN/m ²	6,29 f	7,73 f	7,35 f	6,87 f	8,46 f	8,03 f	7,45 f	9,17 f	8,71 f
4 kN/m ²	5,82 f	7,13 f	6,78 f	6,37 f	7,81 f	7,42 f	6,91 f	8,48 f	8,06 f
5 kN/m ²	5,46 f	6,68 f	6,36 f	5,98 f	7,32 f	6,96 f	6,50 f	7,96 f	7,57 f
6 kN/m ²	5,18 f	6,33 f	6,02 f	5,67 f	6,94 f	6,60 f	6,17 f	7,54 f	7,18 f
7 kN/m ²	4,95 f	5,96 M	5,75 f	5,42 f	6,54 M	6,30 f	5,90 f	7,11 M	6,86 f
8 kN/m ²	4,75 f	5,60 M	5,52 f	5,21 f	6,14 M	6,05 f	5,67 f	6,68 M	6,59 f
9 kN/m ²	4,58 f	5,30 M	5,32 f	5,03 f	5,81 M	5,84 f	5,47 f	6,32 M	6,36 f
10 kN/m ²	4,44 f	5,04 M	5,15 f	4,87 f	5,53 M	5,65 f	5,30 f	6,02 M	6,15 f

Abb. 3.22: Vorbemessungstabellen DD-Deckenelemente

3.1.3 Decken aus Hohlkastenträgern und Sondersysteme

Die Verbindung von Brettsperrholzplatten mit Brettschichtholzträgern schafft Rippen- und Kastenquerschnitte, die die Überbrückung großer Spannweiten bis zu 12 m ermöglichen, während gleichzeitig die Vorteile von Vollholzdecken erhalten bleiben. [32]

3.1.3.1 KLH Massivholz – Rippenelemente

Das Zusammenwirken zwischen Rippe und Platte als Verbundquerschnitt führt in der Regel ab einer Spannweite von ungefähr 6 m zu einem Lösungsansatz, der sowohl effektiv als auch wirtschaftlich ist. Darüber hinaus zeichnet sich diese Bauweise durch ihre schlanke Konstruktion aus, die praktisch keine zusätzliche Belastung auf das Bauwerk ausübt. Die Dimensionen der KLH-Rippenelemente können nach Belieben gewählt werden und sind weder in Bezug auf Abmessung noch Dicke der Elemente beschränkt. Zur Gestaltung des Querschnitts stehen zwei bevorzugte Varianten zur Verfügung. Die erste Option beinhaltet Rippenelemente mit schmalen Randrippen und einem Stoß innerhalb des Rippenbereichs (siehe Abb. 3.23). Die zweite Möglichkeit besteht aus T-Elementen, bei denen der Stoß zwischen den Rippen versetzt angeordnet ist (siehe Abb. 3.24). Der Zwischenraum kann sowohl für die Verlegung von Installationen als auch für die Integration von Akustiklösungen genutzt werden. [19]

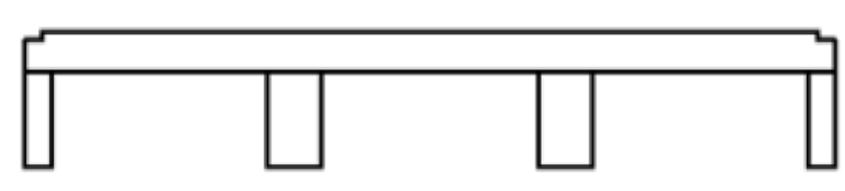


Abb. 3.23: Querschnittsform - Stoß im Rippenbereich [19]

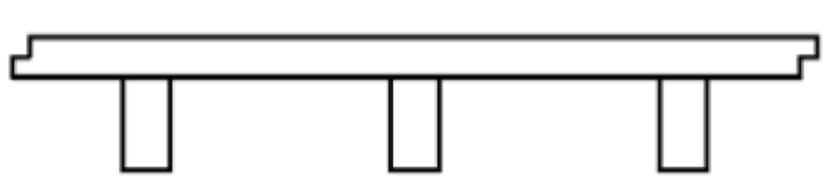


Abb. 3.24: Querschnittsform - Stoß zwischen den Rippen (T-Elementen) [19]

Konstruktion

Die starre Verbindung zwischen der Rippe und der Platte wird durch Verklebung erreicht, dabei ist die Decklage der Massivholzplatte in Richtung der Brettschichtholzrippen auszulegen. Die Rippenelemente werden in ihrer statischen Analyse unter Einbeziehung der Schubnachgiebigkeit von den Querlagen der Massivholzplatte gemäß der Verbundtheorie berechnet. Als Grundlage für die Bemessung liegt ein Nettoquerschnitt vor, der sowohl den Querschnitt der Rippen als auch den Querschnitt der Längslagen der Platte umfasst. Die Bestimmung der mitwirkenden Plattenbreite (Abmessung b_{eff} in Abb. 3.25) hängt von Faktoren wie dem Rippenabstand (Abmessung a in Abb. 3.25) und dessen Verhältnis zur Spannweite sowie der Belastungsart ab. Um die Rippenelemente wirtschaftlich auszulegen, empfiehlt es sich den Achsabstand der Rippen im Bereich von 40 bis 60 cm zu wählen. [19]

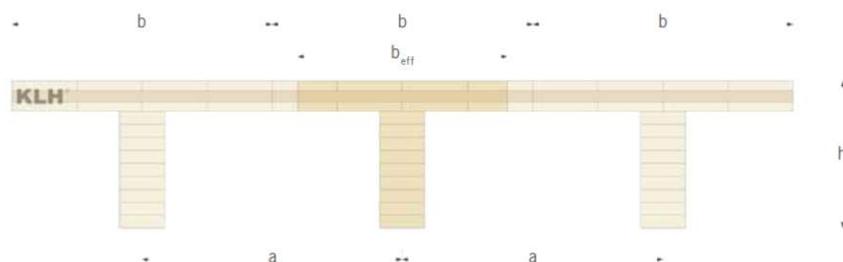


Abb. 3.25: Plattenbalkenquerschnitt [19]

- Querverbindungen

Die Art der Querverbindung der Elemente ist so zu gestalten, dass diese vor Ort unkompliziert miteinander durch Verschraubungen zusammengeführt werden können. Die Elemente werden mithilfe schubfester Verbindungen zu einer statisch wirksamen Deckenscheibe. Dabei kann zwischen verschiedenen Optionen wie der Stufenfalzausbildung (Abb. 3.26) oder der Deckbrettverbindung (Abb. 3.27) gewählt werden. [19]

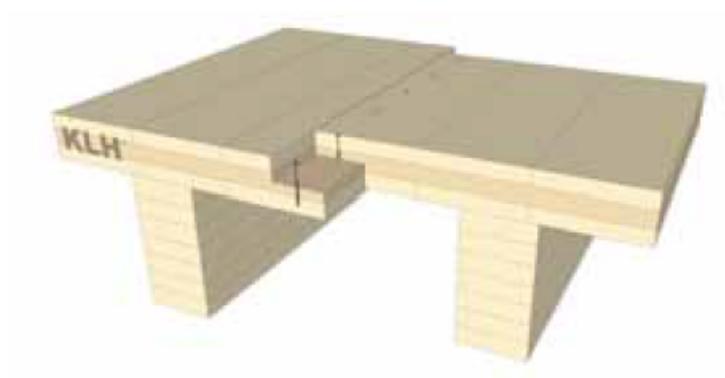


Abb. 3.26: Querverbindung mit verschraubtem Stufenfalz [19]



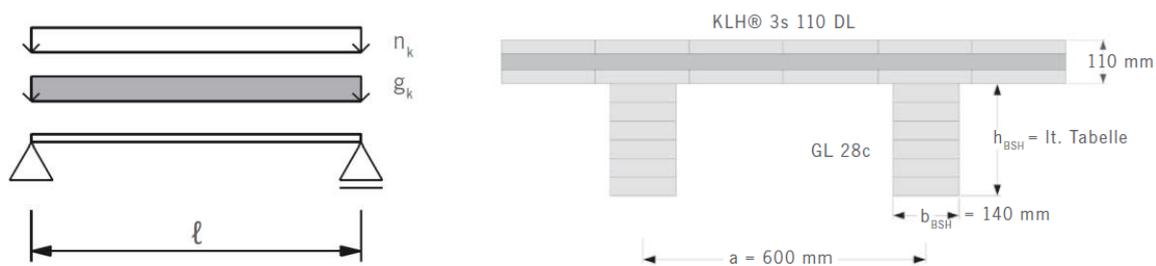
Abb. 3.27: Querverbindung mit verschraubtem Deckbrett [19]

- Auflagerausbildung

Die größten Querkräfte und somit die höchsten Schubspannungen treten im Auflagerbereich auf. Diese Belastung wird im Wesentlichen von den Rippen getragen. Daher werden diese Bereiche so konstruiert, dass die Auflagerung der Elemente (z.B darüberliegende Wände) über den Rippen erfolgen sollte. Jedoch kann es unter bestimmten Umständen notwendig sein die Massivholzplatte entsprechend der Dicke anzupassen, um diese Belastung direkt von der Platte auf das Auflager zu übertragen. Dies ist beispielsweise dann relevant, wenn der Platzbedarf für quer verlaufende Installationsleitungen entlang der Wand berücksichtigt werden muss, und die Rippen daher vor dem Auflager enden. [19]

Vorbemessung

Die vorliegende Vorbemessungstabelle (siehe Abb. 3.28) ist für einen Einfeldträger erstellt, bei dem das Eigengewicht der Rippenelemente bereits in die Berechnungen einbezogen wurde. Diese Tabellen sind für die Anwendung in Nutzungsklasse 2 konzipiert, sowie für Deckenklasse I ausgelegt (beispielsweise Wohnungstrenndecken). Die Tragfähigkeitsbemessung in diesen Tabellen umfasst den Nachweis der Biegespannungen und den Nachweis der Schubspannungen. Es ist wichtig zu betonen, dass die Brandbemessung in den aktuellen Vorbemessungstabellen nicht berücksichtigt wurde. Erfahrungsgemäß geht man davon aus, dass die Elemente einen Brandwiderstand von mindestens REI 30 haben. Zusätzliche Maßnahmen sind erforderlich, um höhere Brandwiderstände zu erreichen. Dazu gehört die Vergrößerung der Abmessungen von Platten und Rippen, sowie die Beplankung der maßgebenden Bauteile. [19]



Ständige Auflast g_k^* [kN/m ²]	Nutzlast		ERFORDERLICHE RIPPENHÖHE [mm]												
	KAT	n_k [kN/m ²]	FÜR EINE SPANNWEITE l												
			6,00 m		7,00 m		8,00 m		9,00 m		10,00 m				
1,00	A	1,50	240	280	360	400	480	240	200	280	360	400	480	520	480
		2,00													
		2,80													
	B	3,00													
		3,50													
		4,00													
1,50	A	1,50	240	200	280	240	360	320	400	400	520	480	520	480	480
		2,00													
		2,80													
	B	3,00													
		3,50													
		4,00													
2,00	A	1,50	240	200	280	280	360	360	440	440	560	520	520	520	520
		2,00													
		2,80													
	B	3,00													
		3,50													
		4,00													
2,50	A	1,50	240	240	320	320	400	400	480	440	560	520	520	520	520
		2,00													
		2,80													
	B	3,00													
		3,50													
		4,00													
3,00	A	1,50	240	240	320	320	400	400	520	440	600	520	520	520	520
		2,00													
		2,80													
	B	3,00													
		3,50													
		4,00													
3,00	C	5,00	240	240	320	320	400	400	520	440	600	520	520	520	520

Trockenestrich
Nassestrich

Abb. 3.28: Vorbemessungstabelle Rippenelemente [19]

3.1.3.2 Lignatur

Lignatur-Elemente sind industriell gefertigte Strukturelemente die in Kasten-, Flächen- oder Schalenelemente (siehe Abb. 3.29 - 3.31) eingeteilt werden. Sie erfüllen neben tragenden auch bauphysikalische und flächenbildende Funktionen. Die besondere Stärke der Elemente liegt in ihrem optimierten Querschnitt, der sie besonders geeignet macht, große Spannweiten mit hohen Belastungen zu überbrücken. Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit können in Form von verklebten Verbundbauteilen gemäß den Bemessungsnormen durchgeführt werden. Die Lastübertragung der Deckenplatten erfolgt hauptsächlich einachsrig. In Bezug auf Wärme und Feuchteschutz sind die Lignatur-Elemente als dampfdiffusionsoffene, als auch dampfdiffusionsdichte Konstruktionen möglich. [5] Die Konstruktionsweisen, sowie die Abmessungen und die Werte der Grenzwiderstände unterschiedlicher Elementtypen werden in den nachfolgenden Tabellen 3.6 - 3.8 dargestellt.

Konstruktion und Vorbemessung

- Kastenelement (LKE)

LKE Bauelemente sind für den Einsatz im Sanierungs- und Neubau konzipiert und können mit einer maximalen Länge von 12 m geliefert werden. Die Deckbreite der Kastenelemente beträgt 200 mm und ist mit einer doppelten Nut und Feder versehen. Weiters bieten sie die Möglichkeit als dämmende Konstruktionsbauteile eingesetzt zu werden. [21]

Tab. 3.6: Eigenschaften Lignatur-Kastenelement [21]

Abmessungen		Grenzwiderstände		
Typ-Höhe[mm]	Elementbreite[mm]	$N_{t,x,Rd}$ [KN/m]	$V_{z,Rd}$ [KN/m]	$M_{y,Rd}$ [KNm/m]
80	200	689	89	15,8
100	200	862	111	24,6
120	200	669	40	25,6
140	200	716	47	31,6
160	200	762	55	37,9
180	200	809	62	44,6
200	200	855	70	51,7
220	200	902	77	59,0
240	200	948	84	66,7
280	200	1154	98	96,4
320	200	1248	112	116,3

Bezugsbreite: 1m

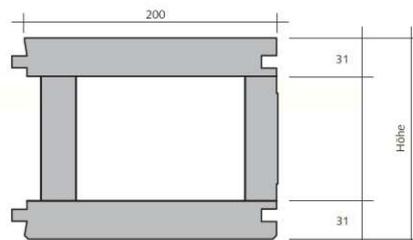


Abb. 3.29: Lignatur-Kastenelement [21]

- Flächenelement (LFE)

LFE Bauelemente sind für den Einsatz im Industrie- und Neubau ausgelegt und können mit einer maximalen Länge von 16 m geliefert werden. [21] Die Flächenelemente sind in Breiten von 514 mm oder 1000 mm erhältlich. Die Art der Verbindung dieser Flächenelemente hängt von den spezifischen statischen Anforderungen ab und kann mithilfe von Nut und Feder oder durch die Verwendung von Schubdübeln erfolgen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit vorkomprimierte Dichtungsbänder in den Fugen einzulegen, um eine luft- und dampfdichte Ausbildung zu gewährleisten. [5]

Tab. 3.7: Eigenschaften Lignatur-Flächenelement [21]

Abmessungen		Grenzquerschnittswiderstände		
Typ-Höhe[mm]	Elementbreite[mm]	$N_{t,x,Rd}$ [kN/m]	$V_{z,Rd}$ [kN/m]	$M_{y,Rd}$ [kNm/m]
120	514	625	27	25,3
	1000	612	23	25,2
140	514	656	23	31,0
	1000	638	28	30,9
160	514	687	38	37,0
	1000	665	32	36,7
180	514	718	43	43,2
	1000	692	37	42,8
200	514	749	48	49,7
	1000	718	42	49,1
220	514	780	53	56,4
	1000	745	46	55,6
240	514	812	58	63,2
	1000	772	50	62,2
280	514	874	68	77,7
	1000	825	59	76,1
320	514	936	78	92,9
	1000	879	68	90,7

Bezugsbreite: 1m

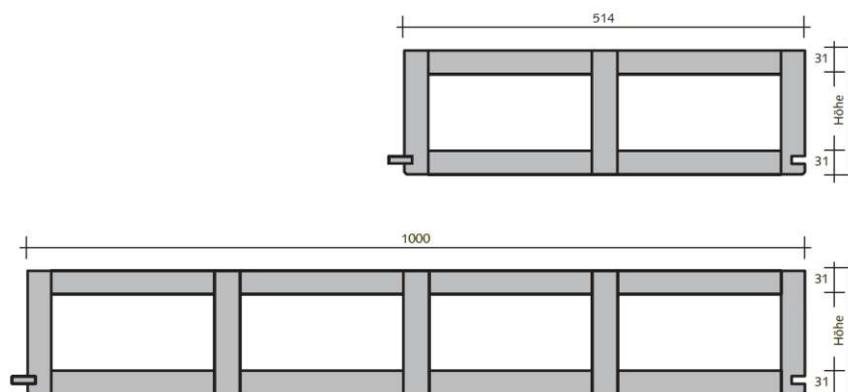


Abb. 3.30: Lignatur-Flächenelement [21]

- Schalenelement(LSE)

LSE Bauelemente werden als dämmende Dachelemente im Industrie- und Neubau eingesetzt und können mit einer maximalen Länge von 12 m geliefert werden. [21] Die Verbindung der Schalenelemente, die eine Breite von 514 oder 1000 mm aufweisen, erfolgt ebenfalls durch Nut und Feder. [5]

Tab. 3.8: Eigenschaften Lignatur-Schalenelement [21]

Abmessungen		Grenzquerschnittswiderstände		
Typ-Höhe[mm]	Elementbreite[mm]	$N_{t,x,Rd}$ [KN/m]	$V_{z,Rd}$ [KN/m]	$M_{gt,Rd}$ [KNm/m]
160	514	468	33	16,1
	1000	439	28	14,1
180	514	499	37	20,4
	1000	466	32	17,9
200	514	531	42	25,1
	1000	493	36	22,0
220	514	562	46	30,3
	1000	519	40	26,6
240	514	593	51	35,9
	1000	546	43	31,5

Bezugsbreite: 1m

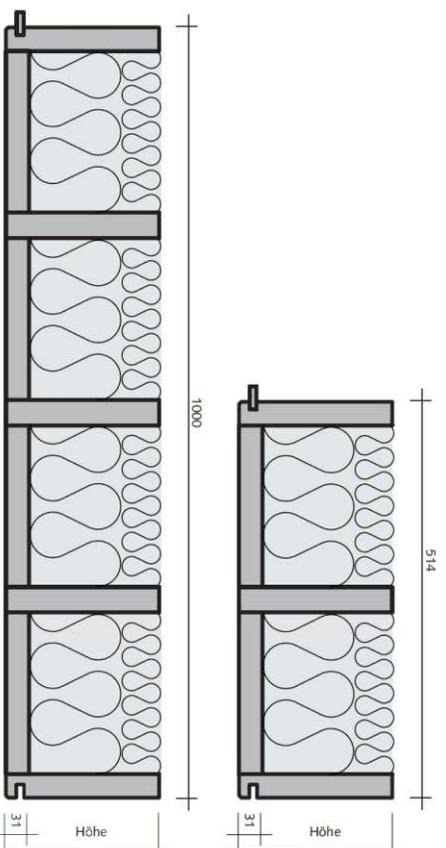


Abb. 3.31: Lignatur-Schalenelement [21]

Das Vorbemessungsdiagramm (statisches System - Einfeldträger) gibt den erforderlichen Querschnitt in Abhängigkeit von der Spannweite und der aufgetragenen Belastung an (siehe Abb. 3.32). Das Eigengewicht wurde bereits inkludiert und ist für die Belastungsannahme nicht mehr relevant. Erstellt wurde das Diagramm für LKE- und LFE-Bauelemente unter Berücksichtigung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, wobei die Durchbiegung auf $l/600$ begrenzt wurde. [21]

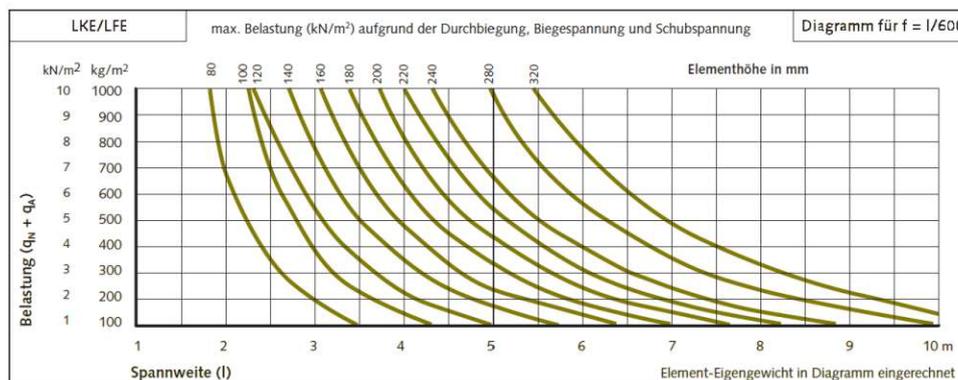


Abb. 3.32: Vorbemessungsdiagramm-Lignatur [21]

3.1.3.3 Kielsteg

Die Kielsteg Bauelemente sind einachsig gespannte Tragsysteme, die aufgrund ihrer charakteristischen Zellenbauweise mit hoher Tragfähigkeit und geringem Gewicht eine besondere Anwendungsfreundlichkeit in biegebeanspruchten Tragwerken bieten. Die Konstruktionselemente setzen sich aus einem Ober- und Untergurt zusammen, welche aus Schnittholz hergestellt sind, während die Stege aus Sperrholz oder OSB-Platten bestehen. Kielsteg bietet zwei Hauptvarianten an, Kielsteg-Basic-Elemente, die für Dachkonstruktionen mit Spannweiten bis zu 12 m entwickelt wurden und Kielsteg-Select-Elemente, die für Decken- und Dachkonstruktionen mit Spannweiten über 27 m geeignet sind. Die unterschiedlichen Varianten der Kielsteg-Elemente und deren Eigenschaften sind den Abbildungen 3.33 und 3.34 bzw. Tabellen 3.9 und 3.10 zu entnehmen. [15]

Tab. 3.9: Kielsteg.select [15]

Kielsteg.select		
KSE 280	280/40/102	Eigengewicht: 44,83 kg/m ²
	280/40/93	Eigengewicht: 46,20 kg/m ²
	280/40/85	Eigengewicht: 47,42 kg/m ²
	280/50/93	Eigengewicht: 53,69 kg/m ²
	280/60/85	Eigengewicht: 62,30 kg/m ²
KSE 330	330/40/102	Eigengewicht: 47,39 kg/m ²
	330/40/93	Eigengewicht: 49,01 kg/m ²
	330/40/85	Eigengewicht: 50,47 kg/m ²
	330/50/93	Eigengewicht: 56,49 kg/m ²
	330/60/85	Eigengewicht: 65,34 kg/m ²

Kielsteg.select reichen bis zu einer Höhe von 800mm(bis KSE 800)

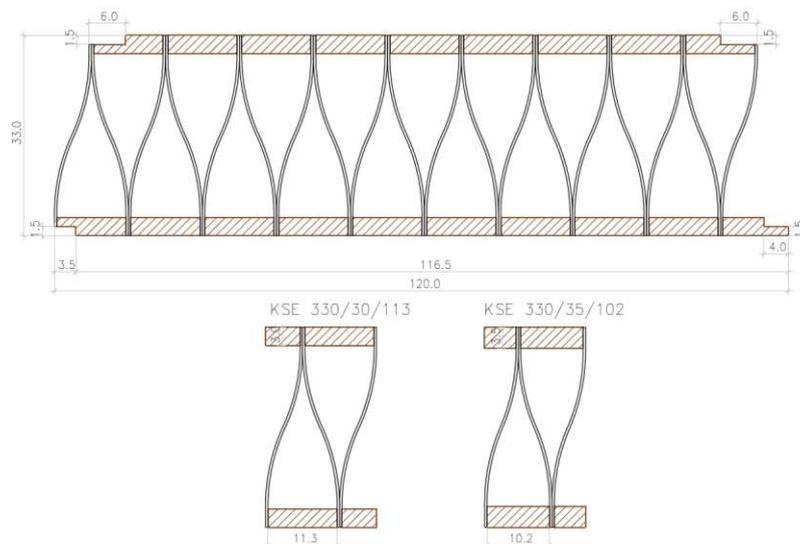


Abb. 3.33: Kielsteg.select KSE 330 Querschnitt [15]

Tab. 3.10: Kielsteg.basic [15]

Kielsteg.basic		
KSE 280	280/30/113	Eigengewicht: 35,97 kg/m ²
	280/35/113	Eigengewicht: 39,73 kg/m ²
KSE 330	330/30/113	Eigengewicht: 38,29 kg/m ²
	330/35/102	Eigengewicht: 43,64 kg/m ²

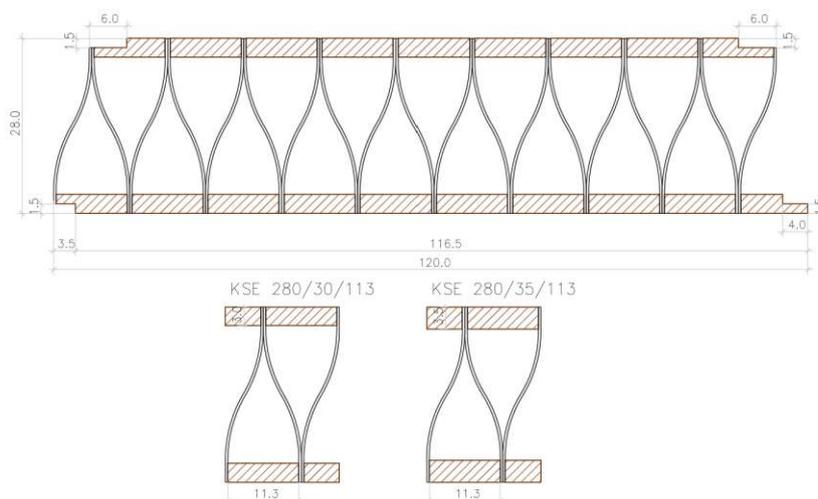


Abb. 3.34: Kielsteg.basic KSE 280 Querschnitt [15]

Konstruktion

Die Bauteilhöhe variiert zwischen 280 und 800 mm und ist gemäß den statischen Anforderung auszuwählen. Die Breite des Regelelements beträgt 120 cm, jedoch ist aufgrund der Überfällung mit einer Breite von 116,5 cm zuzüglich dem Maß der Fuge zu rechnen (Verlegebreite). Die Realisierung von individuellen Planmaßen wird durch die Kombination von Anslusselementen mit den entsprechenden Passelementen gewährleistet (siehe Abb. 3.35 - 3.36). [15]

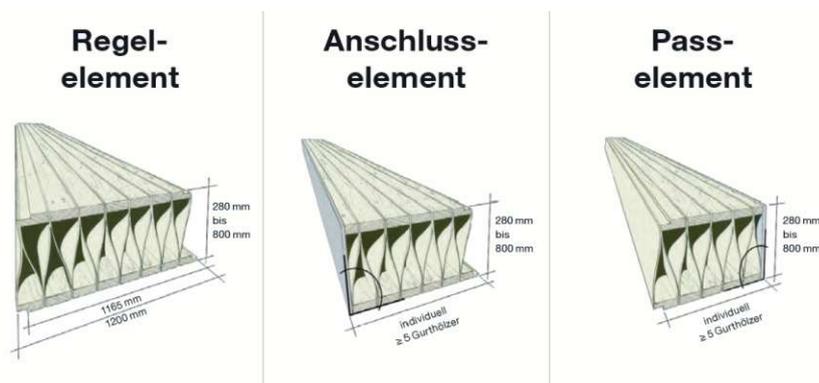


Abb. 3.35: Elemente Kielsteg [15]

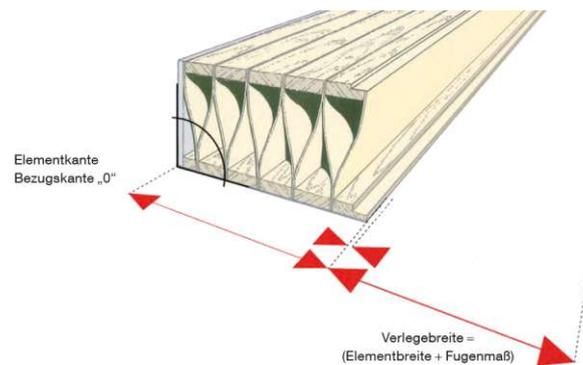


Abb. 3.36: Verlegebreite [15]

- Auflagerausbildung und Scheibenwirkung

Um Spannungen zu vermeiden erfolgt die Befestigung der Kielsteg-Konstruktion mit besonderer Beachtung des Schwind- und Quellverhaltens. Die Verankerung an den Auflagern der einzelnen Elemente wird in der Mitte der Elemente durchgeführt. Darüber hinaus wird die horizontale Stabilisierung von Decken- oder Dachscheiben durch das Verschrauben entlang der Elementkante mit Falzbrettern erreicht. Das einseitige, abwechselnde Verschrauben (siehe Abb. 3.37) der Laschenplatten schafft eine bewegliche Schubverbindung hinsichtlich der Elementbreite, die nach dem Prinzip einer Verzahnung funktioniert. [15]

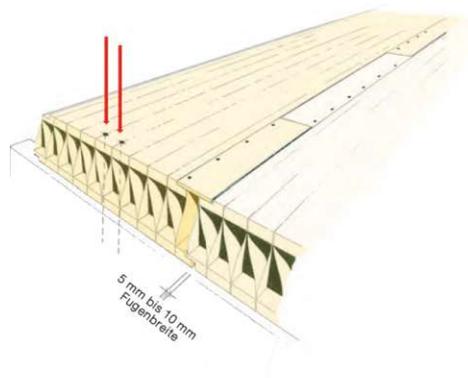


Abb. 3.37: Auflagermontage und Schubverbindung der Elemente [15]

- Brandschutz

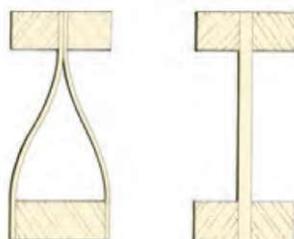
Elemente die für die Brandwiderstandsdauer REI 30 und REI 60 ausgelegt sind (siehe Tab. 3.11), erfordern bei entsprechender Dimensionierung keine zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen. Aufgrund der oberen und unteren Gurtschichten aus Vollholz ist die Bemessung hinsichtlich der Brandwiderstandsdauer und der Resttragfähigkeit unter Berücksichtigung eines einseitigen Abbrandes zulässig. Der Aufbau der Elemente gewährleistet im Brandfall eine thermische Entkopplung zwischen der dem Feuer zugewandten und der abgewandten Oberfläche des Elements. [15]

Tab. 3.11: Kielsteg Typen-Verfügbarkeit [15]

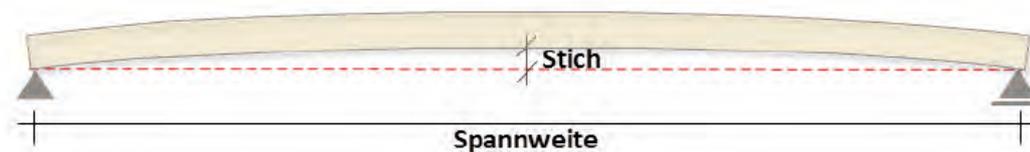
Verfügbarkeit der KIELSTEG Typen hinsichtlich ihrer Brandwiderstandsdauer							
KSE 280	KSE 330	KSE 370	KSE 485	KSE 560	KSE 610	KSE 730	KSE 800
REI 0	REI 0	REI 0	REI 0	REI 0	REI 0	REI 0	REI 0
REI 30	REI 30	REI 30	REI 30	REI 30	REI 30	REI 30	REI 30
REI 60	REI 60	REI 60	REI 60	REI 60	REI 60	REI 60	REI 60

Statik und Vorbemessung

Durch die Verwendung von keilgezinkten Vollholzquerschnitten in den Gurtzonen können große Biegespannungen in Faserlängsrichtung übertragen werden. Zur Schubübertragung innerhalb der Elemente dienen hingegen die Stege, welche aus Sperrholz oder OSB-Platten gefertigt sind. Die Bemessung der Biegebeanspruchung erfolgt gemäß den Vorgaben der EN 1995-1-1 unter dem Abschnitt "Biegestäbe mit schmalen Stegen". Den Unterschied zwischen der tatsächlichen Geometrie eines Kielsteg-Elements und dem idealisierten Querschnitt, der für die Berechnung herangezogen wird, stellt die Abbildung 3.38 dar. Zu berücksichtigen ist, dass die Auswirkungen der Krümmung und Schlankheit des Stegs auf die Schubtragfähigkeit durch eine reduzierte Schubfestigkeit der idealisierten Querschnitte berechnet wird. [15]

**Abb. 3.38:** links:Kielsteg Querschnitt; rechts:idealisierter Querschnitt [15]

Um die Anforderungen des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit effektiver zu erreichen, können Decken- und Dachkonstruktionen mit großen Spannweiten überhöht werden (Abb. 3.39). Die Herstellung überhöhter Elemente erfolgt unter Verwendung eines gleichbleibenden Radius von 950m [15]. Die Tabelle 3.12 veranschaulicht die Beziehung zwischen dem Stichmaß und der Spannweite.

**Abb. 3.39:** Element mit Überhöhung [15]

Tab. 3.12: Überhöhung [15]

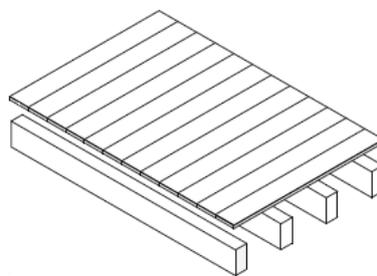
Spannweite [m]	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Stich [cm]	0,47	0,64	0,84	1,06	1,31	1,59	1,89	2,22	2,57	2,96	3,36
Spannweite [m]	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Stich [cm]	3,80	4,26	4,75	5,26	5,80	6,36	6,96	7,57	8,22	8,89	9,57

Anmerkung: Die ausführliche Lasttabelle mit den angegebenen Grenzspannweiten für Deckenkonstruktionen für die Nutzungsklasse 1 wurden dem Anhang A beigelegt. [48]

3.2 Decken mit aufgelösten Tragsystemen

3.2.1 Decken aus Tragbalken – Holzbalkendecken

Die Balkendecke stellt eine äußerst simple und wirtschaftliche Deckenkonstruktion dar. Sie besteht aus einer Reihe von Balken, welche über die Spannweite der Decke verlaufen. Darauf liegt eine Schalung aus Holzwerkstoffplatten oder Brettern auf, die den Zwischenraum der Balken überbrücken. Die Stärke der Schalung hängt mit dem Balkenabstand zusammen. [1] Die Balken bestehen in der Regel aus Vollholz oder Brettschichtholz. Die Verwendung von Vollholzbalken ermöglicht eine leimfreie Konstruktion (klassische Balkendecke, siehe Abb. 3.40), wobei bei diesem Deckensystem mit einem mehrschichtigen Aufbau und größerer Konstruktionshöhe zu rechnen ist. [34]

**Abb. 3.40:** Tragsystem-klassische Balkendecke [34]

In modernen Systemen sind die Holzbalken im Gegensatz zu historischen Konstruktionen enger angeordnet (Balkenraster 40 oder 62,5 cm), was zu kleineren und wirtschaftlicheren Abmessungen führt und gleichzeitig das Schwingungsverhalten verbessert. Ein weiterer Vorteil dieser schmälere Querschnitte liegt darin, dass das Holz schneller auf die vorgeschriebene Einbauholzfeuchte von maximal 18 Massenprozent trocknet. Dennoch empfiehlt es sich eine noch niedrigere Einbaufeuchte anzustreben, um optimale Bedingungen sicherzustellen. In der Regel werden über diese Balken Flachpressspanplatten oder OSB-Platten mit einer Mindeststärke von 16 mm verklammert oder verschraubt. Zu beachten ist, dass die flächenbezogene Masse aufgrund der Hohlräume zwischen den Balken eine Herausforderung darstellt, wenn es darum geht, die vorgeschriebenen Standards für Trittschallschutz und Luftschallschutz einzuhalten. Um diese Hohlräume zu dämpfen und gleichzeitig den Wärmeschutz zu erhöhen, empfiehlt es

sich Faserdämmstoffe wie Mineral- oder Steinwolle zu verwenden. Der Fußbodenaufbau sollte in Übereinstimmung mit den Deckenanforderungen gewählt werden, wobei dies hauptsächlich im Hinblick auf den Schallschutz erfolgt. Daher ist es erforderlich, entweder eine Beschüttung oder Beschüttung in Kombination mit Betonestrich zu verwenden. Auf diese Weise wird auch automatisch ein ausreichender Brandschutz gewährleistet. Wichtig ist dabei zu beachten, dass potenzielle feuchtigkeitstechnische Auswirkungen berücksichtigt werden müssen. Die Bildung von Kondensat an der Unterseite des Estrichs kann die Effizienz der Faserfüllung gefährden und langfristig auch die Tragfähigkeit der Holzbauteile beeinträchtigen. Weiters ist es in Feuchträumen wichtig, die Holzdecke abzudichten oder feuchtigkeitsbeständige Platten zu verwenden, um potenzielle Schäden zu vermeiden. [32] Die Abbildung 3.41 veranschaulicht eine Holzbalkendecke mit sichtbarer Untersicht und einem heute üblichen Fußbodenaufbau.

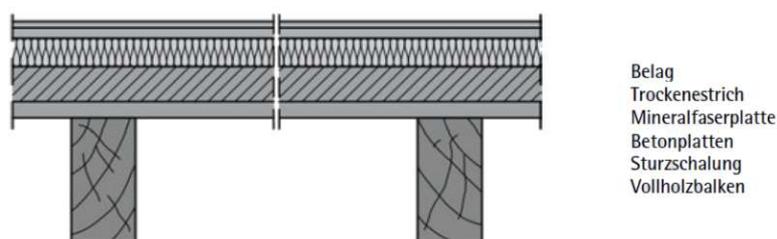


Abb. 3.41: Holzbalkendecke mit sichtbarer Untersicht [32]

Konstruktion-Auflager

Beim Einsatz von Holzdecken in Holzskelettbauweise ist die Lagerung von Holz auf Holz eine unkomplizierte Methode. Der Zusammenschluss des Gebäudes wird in der Regel durch Ringanker, die auch durch verbundene Holzbalken realisiert werden können, sichergestellt. Hingegen erfordert der Einsatz von Holzbalken in Mauerwerksbauten die Ausbildung eines Ringbalkens aus Beton unterhalb des Deckenaufagers (Mindestauflagertiefe 15cm). Die Auflagerung der einzelnen Balken wird so ausgeführt, dass sämtliche Zug-, Druck- und Schubkräfte effektiv übertragen werden. Dies wird durch die Anwendung von Stahlschließen mit etwa 60 cm langen Quersplinten erreicht, die in den Stahlbetonringbalken durch Schraubbolzen und Ankerplatten integriert werden oder alternativ in die Wände verankert werden. (siehe Abb. 3.42). [32]

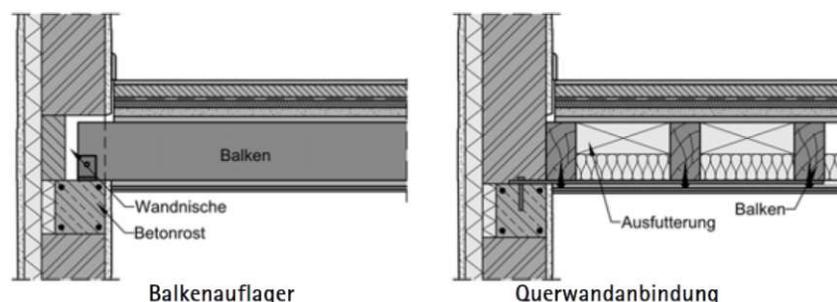


Abb. 3.42: Auflager und Verschließung [34]

Vorbemessungstabellen für Holzbalkenträger aus Konstruktionsvollholz C24 und Brettschichtholz GL24h wurden dem Anhang B beigelegt. Die Tabellen sind für das statische System Einfeldträger ausgelegt und unter Berücksichtigung der maximalen Querkraft am Auflager, der zulässigen Biegespannung sowie einer Beschränkung der Durchbiegung auf $l/300$ erstellt. [10] [8]

3.2.1.1 STEICO – Deckenbalken und Stegträger aus Furnierschichtholz (LVL)

Stabförmige LVL-Bauteile bestehen aus verklebten 3 mm starken Nadelholzfurnierlagen. Im Vergleich zu Vollholz oder Brettschichtholz ermöglicht die Verwendung von Furnierschichtholz schlankere und leistungstärkere Konstruktionen bei gleichbleibenden Querschnitten. LVL zeigt auch im Bereich des Quell- und Schwindverhaltens eine Überlegenheit im Vergleich zu üblichen Konstruktionshölzern. Zudem ist aufgrund einer Produktionsfeuchte von 9 % kein Trocknungsschwind der Bauteile zu erwarten. In Abbildung 3.43 werden die Eigenschaften verschiedener Konstruktionshölzer verglichen. Das Ausgangsmaterial für diesen Vergleich stellt das Vollholz der Klasse C24 und es erfolgt ein Gegenüberstellen mit Brettschichtholz GL 24c und LVL. Die Grundlage bildet eine gleichbleibende Höhe von 240 mm. [35]

	Vollholz C24			BSH GL 24c			STEICO LVL R		
	Eigenschaft	Breite	Material-einsparung	Eigenschaft	Breite	Material-einsparung	Eigenschaft	Breite	Material-einsparung
Biegung $f_{m,0,edge,k}$	24,0 N/mm ²	140 mm	0%	24,0 N/mm ²	128 mm*	9%	44,0 N/ mm ²	74 mm*	47%
Schub $f_{v,0,edge,k}$	4,0 N/mm ²	140 mm	0%	3,5 N/mm ²	112 mm*	20%	4,6 N/mm ²	61 mm*	57%
Druck II $f_{c,0,k}$	21,0 N/mm ²	140 mm	0%	21,5 N/mm ²	137 mm	2%	40,0 N/mm ²	74 mm	48%
Druck ⊥ $f_{c,90,edge,k}$	2,5 N/mm ²	140 mm	0%	2,5 N/mm ²	140 mm	0%	7,5 N/mm ²	47 mm	67%
Zug II $f_{t,0,k}$	14,0 N/mm ²	140 mm	0%	17,0 N/mm ²	105 mm*	25%	36,0 N/mm ²	54 mm	61%
E-Modul $E_{0,mean}$	11.000 N/mm ²	140 mm	0%	11.000 N/mm ²	140 mm	0%	14.000 N/mm ²	110 mm	21%
Rohdichte ca. ρ_k	350 kg/m ³	–	–	365 kg/m ³	–	–	480 kg/m ³	–	–

Randbedingungen

$k_{c,90} = 1,0$

* Korrekturfaktoren berücksichtigt

Abb. 3.43: Vergleich Balkenträger Vollholz-BSH-LVL [35]

Variante Stegträger

Der STEICO Stegträger (siehe Abb. 3.44 - 3.45) besteht aus Furnierschichtholzgurten und einem Hartfasersteg. Eingesetzt wird der Träger für Decken-, Wand- und Dachkonstruktionen. Die schlanke Doppel-T-Form der Stegträger vereint hohe Tragfähigkeit mit minimalem Materialeinsatz. Zusätzlich ermöglicht die schlanke Bauweise eine Erhöhung des Dämmstoffanteils. Die Verwendung von Stegträgern kann dadurch den U-Wert eines Bauteils erheblich verbessern. [36]

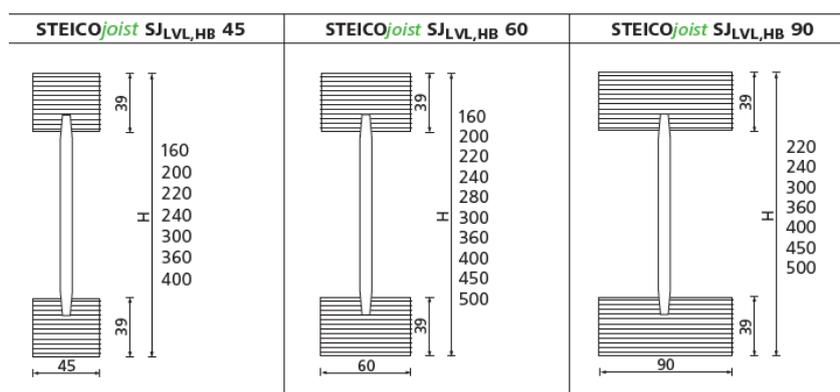


Abb. 3.44: Abmessungen Stegträger [36]

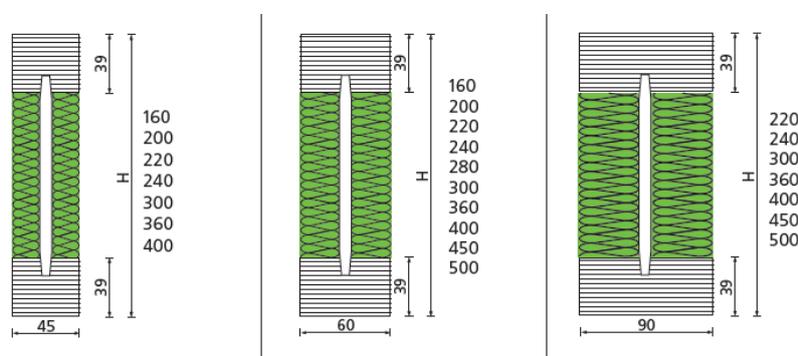


Abb. 3.45: Abmessungen Dämmträger [36]

Vorbemessung

In den Vorbemessungstabellen (siehe Tab. 3.13 - 3.14) sind die maximalen Stützweiten für einen Einfeldträger dargestellt. Es werden verschiedene Varianten für den Bodenaufbau der Zwischendecke analysiert.

- Für ein System mit LVL Balkenträger [35]:
 - Nassestrichsystem $g_k = 2,00 \text{ KN/m}^2$
 - Nassestrichsystem und Schüttung $g_k = 2,75 \text{ KN/m}^2$
- Für ein System mit LVL Stegträger [36]:
 - Trockenstrichsystem $g_k = 1,20 \text{ KN/m}^2$

Die Berechnungen basieren auf der Annahme einer Verkehrslast von $q_k = 2,8 \text{ kN/m}^2$ (für den Stegträger $q_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$) und sind für die Nutzungsklasse 1 ausgelegt. Dabei wurden der Schwingungsnachweis, die Begrenzung der Durchbiegung auf $1/300$ sowie die Nachweise für einachsige Biegung und Schub berücksichtigt. [35][36]

Dicke [mm]	Höhe H [mm]	Eigengewicht $g_k=2,00 \text{ kN/m}^2$ 1			Eigengewicht $g_k=2,75 \text{ kN/m}^2$ 2		
		Trägerabstand in [cm]			Trägerabstand in [cm]		
		41,7	50,0	62,5	41,7	50,0	62,5
STEICO LVL R 45	200	3,75	3,55	3,25	3,50	3,30	3,05
	220	4,05	3,85	3,60	3,75	3,60	3,35
	240	4,30	4,15	3,90	4,00	3,80	3,60
	280	4,85	4,65	4,40	4,45	4,30	4,05
	300	5,10	4,85	4,60	4,70	4,50	4,25
	360	5,85	5,55	5,25	5,40	5,15	4,90
	400	6,30	6,05	5,70	5,85	5,55	5,25
STEICO LVL R 57	200	4,00	3,80	3,55	3,70	3,55	3,35
	220	4,30	4,10	3,90	3,95	3,80	3,60
	240	4,60	4,40	4,15	4,25	4,05	3,85
	280	5,15	4,90	4,65	4,75	4,55	4,30
	300	5,40	5,15	4,90	5,00	4,75	4,50
	360	6,20	5,90	5,60	5,70	5,45	5,15
	400	6,70	6,40	6,05	6,20	5,90	5,60
STEICO LVL R 75	200	4,30	4,10	3,85	3,95	3,80	3,60
	220	4,60	4,40	4,15	4,25	4,05	3,85
	240	4,90	4,70	4,45	4,55	4,35	4,10
	280	5,50	5,25	4,95	5,05	4,85	4,60
	300	5,80	5,50	5,25	5,35	5,10	4,85
	360	6,60	6,35	6,00	6,10	5,85	5,50
	400	7,15	6,85	6,45	6,60	6,30	6,00

Tab. 3.13: Vorbemessungstabelle Deckenbalken [35]

Typ	Trägerhöhe [mm]	Achsabstand der Träger [cm]		
		41,7	50	62,5
SJ _{LVL,HB} 45	200	3,81	3,63	3,43
	220	4,04	3,85	3,63
	240	4,26	4,06	3,83
	300	4,87	4,64	4,38
	360	5,42	5,16	4,87
	400	5,76	5,49	5,18
SJ _{LVL,HB} 60	200	4,07	3,88	3,66
	220	4,32	4,12	3,88
	240	4,55	4,34	4,09
	280	5,01	4,77	4,50
	300	5,20	4,96	4,67
	360	5,78	5,51	5,20
SJ _{LVL,HB} 90	200	4,48	4,27	4,02
	220	4,75	4,53	4,26
	240	5,00	4,77	4,49
	280	5,50	5,24	4,93
	300	5,71	5,44	5,13
	360	6,34	6,04	5,69
	400	6,73	6,41	6,04

Tab. 3.14: Vorbemessungstabelle Stegträger [36]

3.3 Dimensionierung von Holzdecken

Die Bemessung von Holzdecken erfolgt gemäß der ÖNORM EN 1995-1-1 und dem nationalen Anhang ÖNORM B 1995-1-1. Als Nachweisverfahren gilt die Bemessung für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mit Berücksichtigung von Teilsicherheitsbeiwerten. Die Bemessungswerte der Festigkeitseigenschaften stehen im Zusammenhang mit der charakteristischen Festigkeit, der Faserrichtung, der Belastung und dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert. Darüber hinaus erfahren sie Einflüsse durch das Umgebungsklima und die Dauer der Belastung (Berücksichtigung durch k_{mod}). [32]

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \quad (3.1)$$

$f_{m,k}$	...	charakteristischer Wert der Biegesteifigkeit	[kN/cm ²]
$f_{m,d}$	...	Bemessungswert der Biegesteifigkeit	[kN/cm ²]
γ_M	...	Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft (siehe Tab. 2.2)	[-]
k_{mod}	...	Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer und Feuchtegehalt (siehe Anhang D)	[-]

3.3.1 Holzbalkendecken

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Die Biegebemessung basiert auf dem Grundsatz der linear-elastischen Spannungs-Dehnungs-Beziehung im Hook'schen Bereich. Die meist auftretende Bemessungssituation in Form der einachsigen Biegung erfordert eine vertikale Lastebene als Voraussetzung, wobei den maßgebenden Querschnittswert das Widerstandsmoment darstellt. Zur Beurteilung der Biegefestigkeit wird der Bemessungswert mit der Spannung in der Randfaser verglichen. [32]

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} \leq f_{m,d} \quad W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (3.2)$$

$\sigma_{m,d}$	...	Bemessungswert der Biegebeanspruchung	[kN/cm ²]
$f_{m,d}$	...	Bemessungswert der Biegesteifigkeit	[kN/cm ²]
W_y	...	Widerstandsmoment	[cm ³]
b, h	...	Balkenbreite, Balkenhöhe	[cm]

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Bei konventionellen Decken ohne Überhöhung erfolgt eine Begrenzung der Anfangsverformung unter Belastung auf $l/300$ und für den Endzustand auf $l/250$ der Spannweite (für die Anteile der Durchbiegung, siehe Abb. 3.46). Die für die Berechnung erforderlichen Kombinationsbeiwerte sind der Tabelle 3.15 zu entnehmen. Des Weiteren sind diese beiden Nachweise mit der Einhaltung der Anforderungen an das Schwingungsverhalten zu ergänzen (siehe Kapitel 3.3.3). [32]

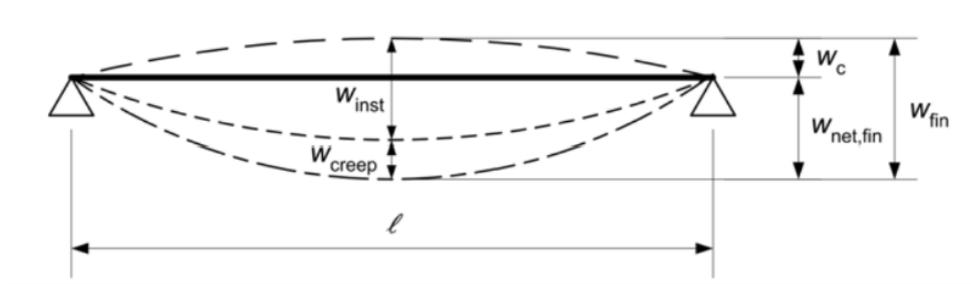


Abb. 3.46: Anteile der Durchbiegung [30]

Einwirkung	1/6	1/4	1/2
Nutzlasten im Hochbau (siehe EN 1991-1-1)			
Kategorie A: Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: Bürogebäude	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: Versammlungsbereiche	0,7	0,7	0,6
Kategorie D: Verkaufsflächen	0,7	0,7	0,6

Tab. 3.15: Kombinationsbeiwerte [29]

$$w = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (3.3)$$

w ...	Durchbiegung in Feldmitte eines Einfeldträgers	[-]
E ...	Elastizitätsmodul	[kN/cm ²]
I ...	Trägheitsmoment	[cm ⁴]
l ...	Stützweite Einfeldträger	[cm]
b, h ...	Balkenbreite, Balkenhöhe	[cm]

Die Anfangsdurchbiegung w_{inst} ist mit der charakteristischen Kombination der Einwirkungen zu berechnen.

$$w_{inst} = \sum_{j \geq 1} (w_{G,j}) + w_{Q,1} + \sum_{i > 1} (\psi_{0,i} \cdot w_{Q,i}) \leq \frac{l}{300} \quad (3.4)$$

w_{inst} ...	elastische Anfangsdurchbiegung	[cm]
$\sum_{j \geq 1} (w_{G,j})$...	Durchbiegung zufolge aller ständigen Einwirkungen	[cm]
$w_{Q,1}$...	Durchbiegung zufolge der führenden veränderlichen Einwirkung	[cm]
$w_{Q,i}$...	Durchbiegung zufolge weiterer veränderlicher Einwirkungen	[cm]
$\psi_{0,i}$...	Kombinationsbeiwert einer veränderlichen Einwirkung	[-]
l ...	Deckenstützweite	[cm]

Die Enddurchbiegung $w_{net,fin}$ ist mit der quasi-ständigen Kombination der Einwirkungen zu ermitteln. Anteile: w_{inst} , w_{creep} , w_c

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c \leq \frac{l}{250} \quad (3.5)$$

$$w_{net,fin} = \left[\sum_{j \geq 1} (w_{G,j}) + \sum_{i > 1} (\psi_{2,i} \cdot w_{Q,i}) \right] \cdot (1 + k_{def}) - w_c \leq \frac{l}{250}$$

$w_{net,fin}$	...	Enddurchbiegung	[cm]
w_{inst}	...	elastische Anfangsdurchbiegung	[cm]
w_{creep}	...	Durchbiegung in Folge Kriechen	[cm]
w_c	...	spannungslose Überhöhung	[cm]
$\psi_{2,i}$	...	Kombinationsbeiwert einer quasi ständigen Einwirkung	[-]
k_{def}	...	Verformungsbeiwert	[-]

3.3.2 Massivholzdecken

Die Dimensionierung von Massivholzdecken variiert in Abhängigkeit von ihrer Tragwirkung. Im Gegensatz zu verleimten Brettstapeldecken, die eine weitergehende Querverteilung ermöglichen, kann für eine unverleimte Ausführung die Plattenwirkung nur bedingt angenommen werden. In Bezug auf Brettspertholzplatten kann eine allseitige Lastabtragung angenommen werden, unter der Bedingung, dass durch konstruktive Maßnahmen eine kraftschlüssige Verbindung der einzelnen Plattenelemente sichergestellt ist. Weiters sind für die Berechnung von Brettspertholzplatten folgende Aspekte zu berücksichtigen [32]:

- Festigkeitswerte quer zur Faserrichtung sind wesentlich kleiner im Vergleich zur Längsrichtung → nachgiebiger Verbund zwischen einzelnen Längslagen muss berücksichtigt werden (Schubverformung)
- Tragfähigkeit ist durch Brüche in den Querlagen beschränkt
- Schubmodul G der Querlagen (Rollschub) wird als wesentlicher Kennwert verwendet
- es werden Nettoquerschnittswerte (Anteile der in jeweiliger Richtung längsorientierten Holzquerschnitte) zur Ermittlung der auftretenden Spannungen herangezogen

Anmerkung: Die meisten Hersteller stellen eine Bemessungssoftware zur Verfügung, die speziell auf ihre Produkte zugeschnitten ist. Diese basiert auf der Theorie der schubnachgiebigen Platte und bildet den Verbundquerschnitt in Übereinstimmung mit den realen Eigenschaften ab.

3.3.3 Schwingungsverhalten

Aufgrund der Anfälligkeit leichter Deckensysteme für Schwingungen, erweist sich die Begrenzung der Durchbiegung oft als unzureichendes Kriterium. Bei der Überprüfung des Schwingungsverhaltens (es werden nur personeninduzierte Schwingungen in Betracht gezogen) wird auf drei Deckenklasse zurückgegriffen [32]:

- Deckenklasse I: hohe Schwingungsanforderungen
Zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten: Bsp. Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienwohnhäusern.
- Deckenklasse II: übliche Schwingungsanforderungen
Innerhalb einer Nutzungseinheit: Bsp. Decken in Einfamilienhäusern.
- Deckenklasse III: geringe Schwingungsanforderungen
Decken unter nicht genutzten Räumen oder nicht ausgebauten Dächern.

Um störende Schwingungen zu vermeiden, sollen Decken Eigenfrequenzen von über 8 Hz aufzeigen. Werte unter 7 Hz werden als besonders störend wahrgenommen (zusätzlich besteht die Gefahr von Resonanzschwingungen). Nicht zulässig sind Frequenzen unter 4,5 Hz. In der Regel wird die erste Eigenfrequenz f_1 des betrachteten Bauteils für die Überprüfung des Frequenzkriteriums herangezogen. Ersatzweise darf der Nachweis bei Holzdeckenkonstruktionen auch durch Messung erfolgen. [32]

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(E \cdot I)_y}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{(E \cdot I)_z}{(E \cdot I)_y}} \geq f_{min} \geq f_{grenz} \quad (3.6)$$

$$m = \frac{E_d}{g} = \frac{E_d}{10}$$

f_1	...	elastische erste Eigenfrequenz	[Hz]
f_{min}	...	minimale Eigenfrequenz $f_{min} = 4,5$ Hz	[Hz]
f_{grenz}	...	Grenzfrequenz	
		Deckenklasse I: $f_{grenz} = 4,5$ Hz	[Hz]
		Deckenklasse II: $f_{grenz} = 6,0$ Hz	
		Deckenklasse III: $f_{grenz} = f_{min}$	
l	...	Spannweite der Decke in Hauptrichtung	[m]
b	...	Deckenbreite	[m]
m	...	Masse pro Flächeneinheit (quasiständig)	[kg/m ²]
E_d	...	Belastung für die quasiständige Belastungssituation	[N/m ²]
g	...	Erdbeschleunigung ~ 10 m/s ²	[m/s ²]
$(E \cdot I)_y$	...	Plattenbiegesteifigkeit in der y-Achse (Haupttragrichtung)	[Nm ² /m]
$(E \cdot I)_z$	...	Plattenbiegesteifigkeit in der z-Achse (Quertragrichtung)	[Nm ² /m]
I_y, I_z	...	Trägheitsmoment um die y-,z-Achse	[m ⁴]
E	...	Elastizitätsmodul Holz ($E_{Holz} = 10^{10}$ N/m ²)	[N/m ²]

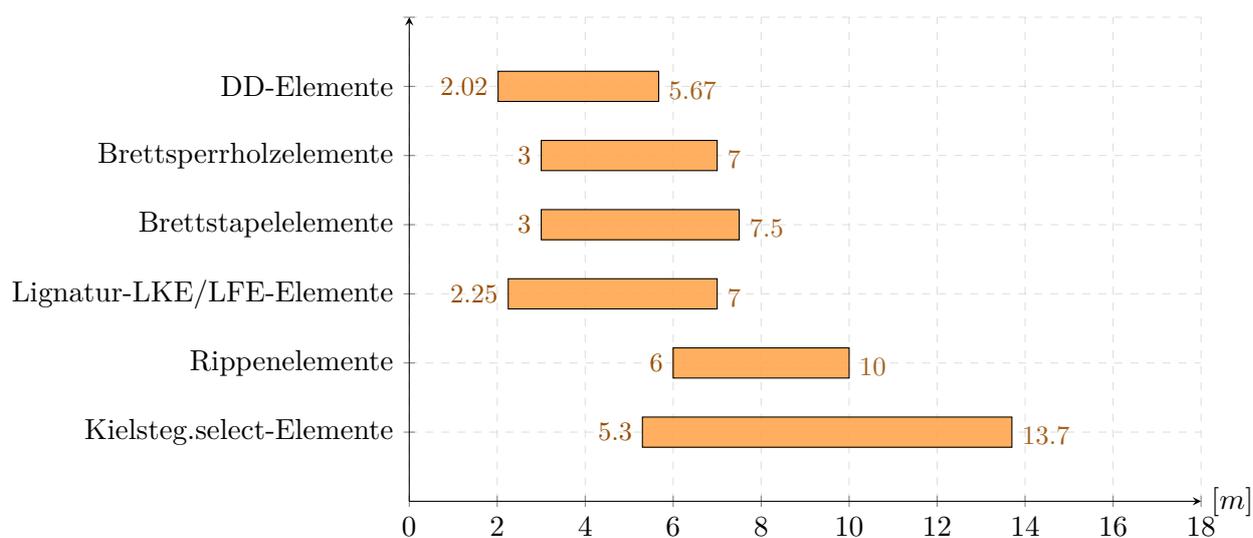
3.4 Vergleich der untersuchten Deckensysteme

Dieser Abschnitt legt den Fokus auf einen direkten Vergleich vorgestellter Holzdeckensysteme hinsichtlich ihrer Spannweiten (statisches System: Einfeldträger). Dabei werden einheitliche Lastannahmen für sämtliche betrachteten Systeme getroffen: eine Ausbaulast von 2,0 kN/m² und

eine Nutzlast von $3,0 \text{ kN/m}^2$ (Tab. 3.16) bzw. $2,8 \text{ kN/m}^2$ (Tab. 3.17). Diese Lastannahmen umfassen die Nutzungskategorien A und B und sind repräsentative Größen für gängige Belastungen von Geschossdecken für Wohnungen und Büros. Das zentrale Ziel dieser Analyse besteht darin, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, welches der untersuchten Holzdeckensysteme die optimalen Leistungseigenschaften unter standardisierten Belastungen aufweist.

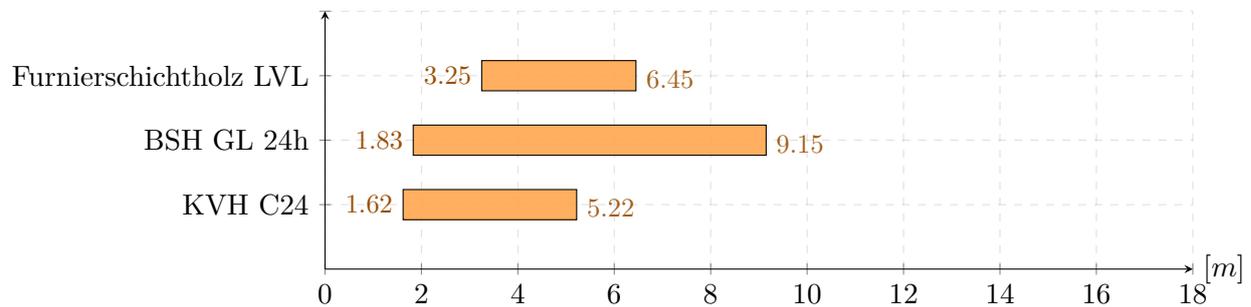
Anmerkung: Um eine vergleichbare Grundlage zu schaffen, wurde eine Lasterhöhung um 35 % für DD-Elemente und Brettstapeldecken vorgenommen, da die vorgestellten Vorbemessungstabellen für diese Systeme das Schwingungskriterium nicht berücksichtigen.

Tab. 3.16: Stützweiten ausgewählter Geschossdecken- Massivbauweise bei 5 kN/m^2 Belastung



Holzwerkstoffe	Abmessungen [mm]	Stützweiten [m]	Flächengewicht [kg/m ²]
DD-Elemente	max. h = 240	5.67	112.8
	min. h = 80	2.02	37.6
Brettsperrholzelemente	max. h = 280	7	131.6
	min. h = 100	3	47
Brettstapelemente	max. h = 280	7.5	131.6
	min. h = 100	3	47
Lignatur-LKE/LFE-Elemente	max. h = 320	7	48 - 68
	min. h = 80	2.25	38
Rippelemente Plattenstärke: 110 mm	max. h/b = 560/140	10	88.55
	min. h/b = 240/140	6	67.49
Kielsteg.select-Elemente	max. h = 800	13.7	159.89
	min. h = 280	5.3	44.83

Tab. 3.17: Stützweiten ausgewählter Geschoßdecken- aufgelöste Tragsysteme bei 4,8 KN/m² Belastung und Achsabstand 62,5cm

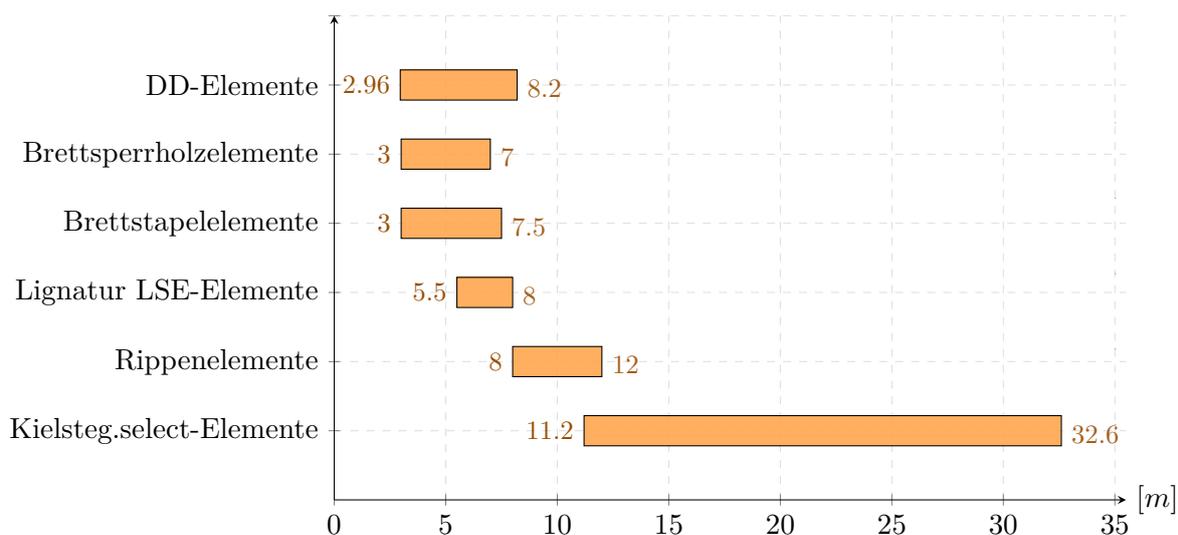


Holz- und Holzwerkstoffe	Abmessungen [mm]	Stützweiten [m]	Flächengewicht [kg/m ²]
Furnierschichtholz LVL	max. h/b = 400/75	6.45	14.1
	min. h/b = 200/45	3.25	4.23
Brettschichtholz BSH GL 24h	max. h/b = 360/240	9.15	40.61
	min. h/b = 100/80	1.83	3.76
Konstruktionsvollholz KVH C24	max. h/b = 240/140	5.22	15.79
	min. h/b = 100/60	1.62	2.82

Die vergleichende Analyse der Stützweiten bei Geschossdecken bezieht sich auf die vorgestellten Dimensionen und Vorbemessungen der in dieser Arbeit beschriebenen Produkte. Zwei grundlegende Bauweisen werden dabei betrachtet: die Massivbauweise (siehe Tab. 3.16) und aufgelöste Tragsysteme (siehe Tab. 3.17). In beiden Untersuchungen wird zur Ermittlung des Flächengewichts die Holzart Fichte mit einer Rohdichte von 470 kg/m³ herangezogen. Um eine vergleichende Basis zu schaffen, wird das Flächengewicht für jeden Holz- und Holzwerkstoff sowohl bei maximalen als auch bei minimalen verfügbaren Dimensionen berechnet. Damit eine effiziente Auswahl in Bezug auf den optimalen Holzwerkstoff getroffen wird und somit die Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten, sind zusätzlich die maximalen Stützweiten bei minimalen Abmessungen als Anfangswert angegeben.

Im abschließenden Abschnitt dieses Kapitels erfolgt eine Untersuchung der Holzmassivbausysteme, eingesetzt als Dachkonstruktion. Der Schwerpunkt liegt auf einem Vergleich der maximalen Spannweiten unter einer Gesamtbelastung von 1-1,5 kN/m². Für diese Konstruktion ist das Schwingungskriterium in der Regel nicht maßgebend. Dies hat zur Folge, dass größere oder gleichwertige Spannweiten mit geringeren Abmessungen realisiert werden können. Vorbemessungstabellen für Dachkonstruktionen, die für die Tab 3.18 verwendet wurden, sind dem Anhang E zu entnehmen. [19][20][21][48] (Ausnahme: Angesichts der unberücksichtigten Schwingungen in den Vorbemessungstabellen für DD-Elemente und Brettstapelelemente dienen für diese beiden Systeme die Abbildungen 3.20 bzw. 3.22 als Basis für den vorliegenden Vergleich.)

Tab. 3.18: Stützweiten für die Nutzung als Dach bei 1-1,5 kN/m²



Holzwerkstoffe	Abmessungen [mm]	Stützweiten [m]	Flächengewicht [kg/m ²]
DD-Elemente	max. h = 240	8.2	112.8
	min. h = 80	2.96	37.6
Brettsperrholzelemente	max. h = 150	7	70.5
	min. h = 60	3	28.2
Brettstapelelemente	max. h = 180	7.5	84.6
	min. h = 80	3	37.6
Lignatur LSE-Elemente	max. h = 240	8	30-32
	min. h = 160	5.5	24-26
Rippenelemente Plattenstärke: 100 mm	max. h/b = 240/140	12	62.79
	min. h/b = 160/140	8	57.53
Kielsteg.select-Elemente	max. h = 800	32.6	159.89
	min. h = 280	11.2	44.83

3.5 Hybridbauweise

3.5.1 Holz-Beton-Verbunddecken

Hybriddeckenkonstruktionen setzen sich im Wesentlichen aus drei Hauptkomponenten zusammen: Holzbauteil, Betonbauteil und Verbindungsmittel. Ein entscheidender Vorteil dieser Bauweise ist die optimale Nutzung der jeweiligen Festigkeitseigenschaften von Beton und Holz. Während Beton als Druckelement eingesetzt wird, übernimmt Holz die Zugbelastungen. Dies ermöglicht größere Spannweiten und eröffnet Freiraumgestaltungsmöglichkeiten. Die aufbetonierte Betonplatte sorgt zudem für eine ideale Querverteilung der Lasten und erhöht die horizontale Aussteifung. Die höhere Masse führt zu einer geringeren Schwingungsanfälligkeit und zur Verbesserung des Schallschutzes im Vergleich zu herkömmlichen Holzdecken. Weiters weisen Hybriddecken gute Brandschutzeigenschaften auf, da Beton ein nicht brennbares Baumaterial ist. Es existieren zahlreiche Varianten von Holzbetonverbunddecken, die sich in ihren konstruktiven Merkmalen und bauphysikalischen Eigenschaften unterscheiden. Eine grundlegende Unterscheidung kann in Bezug auf drei verschiedene Aspekte getroffen werden [31]:

- Holzbauteilart

Derzeit werden zwei gängige Varianten verwendet. Das erste System besteht aus Rippendeckenelementen. Die Rippen bestehen aus Holzbalken, wobei darauf die flächige Betondecke aufliegt (Abb. 3.47). Beim zweiten System werden flächige Holzelemente in Form von Brettsperrholzplatten oder Brettstapelelementen verwendet, die im Verbund mit der darüberliegenden Betonplatte hergestellt werden (Abb. 3.48).

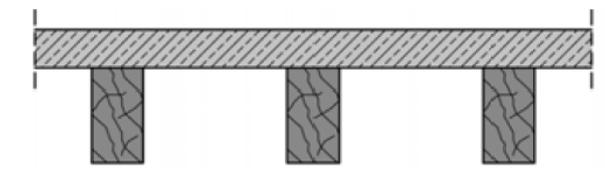


Abb. 3.47: Rippendecke [31]

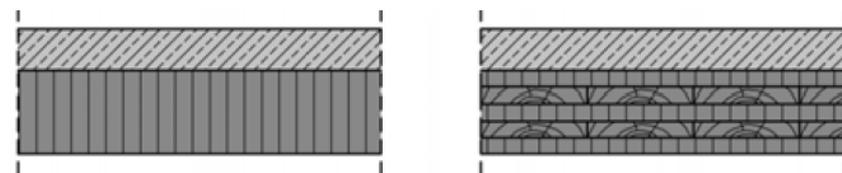


Abb. 3.48: li: HBV-Brettstapeldecke re: HBV-Brettsperrholzdecke [31]

- Art des Verbindungsmittels

Die Scherkräfte zwischen dem Holzbauteil und der Betonplatte werden mithilfe von Verbindungsmitteln weitergeleitet. Es stehen verschiedene Systeme zur Verfügung, die als punkt- oder linienförmige mechanische Verbindungen wirken. Die Kategorisierung erfolgt in zwei Gruppen. Unterschiedliche Schraubentypen (Holzbetonverbundschubverbinder) und Verbindungselemente wie Kerven, Kopfbolzen, Dübel, eingeklebte Stahlstäbe oder Haftverbinder (Abb. 3.49).

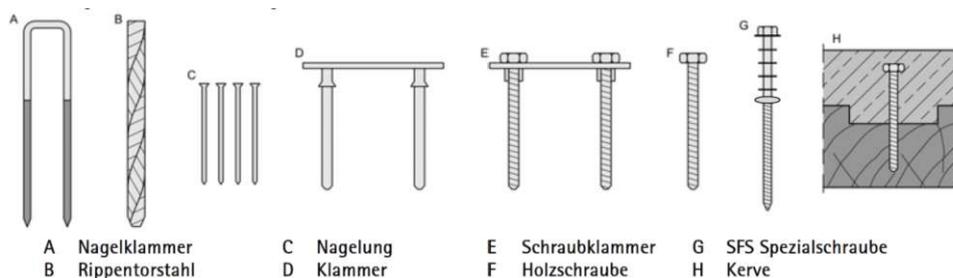


Abb. 3.49: Verbindungsmittel Holz-Beton-Verbundsysteme [32]

- Herstellungsmethode

In Betracht der wirtschaftlichen Abwicklung und des baubetrieblich sinnvollen Einsatzes sind vor allem die verschiedenen Herstellungsmöglichkeiten der Verbunddecken relevant. Es gibt vier verschiedene Herstellungsmethoden (siehe Abb. 3.50), die je nach dem Grad der Vorfertigung variieren. Diese reichen von vollständig vorgefertigten Produkten bis zur vollständigen Herstellung auf der Baustelle.

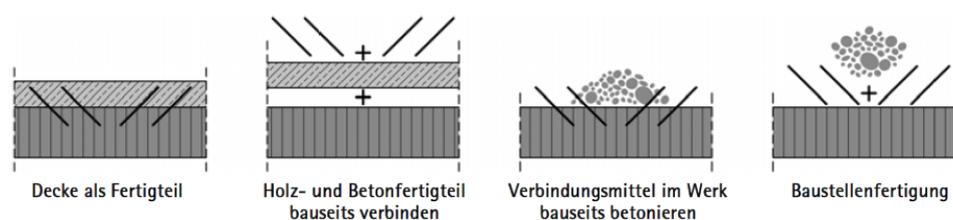


Abb. 3.50: Herstellungsmethoden [32]

3.5.1.1 Elascor Holz-Beton-Verbundsysteme

Die Einsatzgebiete der Holz-Beton-Verbunddecken sind vielfältig und umfassen die Optimierung bestehender Holzbalkendecken und die Verwendung bei Neubauprojekten. [7]

Konstruktion

Die Wahl der Holzwerkstoffe für Holz-Beton-Verbunddecken ist abhängig von den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Anwendungsgebiets. Dabei kommen verschiedene Materialien zum Einsatz, wie Vollholz, das vorwiegend im Bestandsbau verwendet wird, Brettschichtholz, das sowohl im Bestandsbau als auch in Neubauprojekten Verwendung findet, sowie Brettspertholz, das insbesondere in Neubauprojekten eingesetzt wird. Die Ausführungsvarianten werden im nachfolgenden beschrieben und in Abbildung 3.51 veranschaulicht [7]:

- Standarddecke

Die Standardausführung der Holz-Beton-Verbunddecke zeichnet sich dadurch aus, dass die Betonschicht über den Holzbalken angeordnet ist. Diese am häufigsten verwendete Variante erfordert als Voraussetzung die Möglichkeit, dass der Deckenaufbau erhöht werden darf. Die zum Einsatz kommenden Schubverbinder (Elascor SFix-Typ 1 und -Typ 2, siehe Abb. 3.52), werden in Abhängigkeit der Belastung in einreihiger, zweireihiger oder mehrreihiger Anordnung verwendet.

- Flachdecke

Flachdecken werden dort eingesetzt, wo es nicht möglich ist, den Deckenaufbau zu erhöhen. In dieser Konstruktionsweise erfolgt die Integration der Betonschicht zwischen den Holzbalken. Die Schubverbinder werden in den seitlichen Flächen der Holzbalken angebracht.

- Kombidecke

Bei höheren Tragfähigkeitsanforderungen und gleichzeitiger Beschränkung der Höhe für den Fußbodenaufbau, kommen sogenannte Kombidecken zum Einsatz.

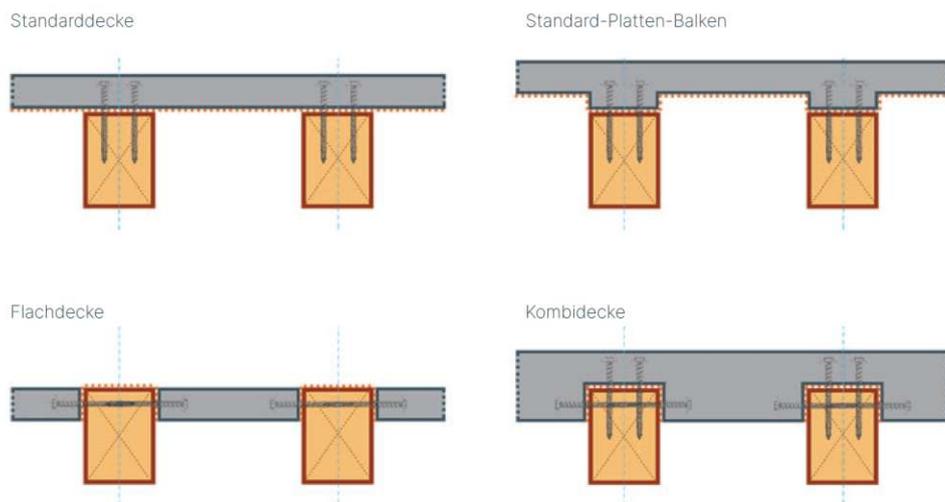


Abb. 3.51: Ausführungsvarianten [7]

Verbindung

Die Schubverbinder dienen als Verbindungselemente zwischen den beiden Materialien und werden dabei auf Schub beansprucht. Der Grad des Verbunds hängt von der Anordnung der Verbindungen in der Spannrichtung sowie deren Abständen voneinander ab. Diese werden in einem Winkel von 45 Grad zum Auflager hin in die Decke geschraubt. In der Regel liegt der durchschnittliche Bedarf an Schubverbindern für Spannweiten von 5 - 7 m bei ungefähr 15-20/m² (bestimmt durch die Belastung). Hierbei ist zu beachten, dass die Anzahl der Verbinder zum Auflager hin (maximale Querkraft) am größten ist. [7]

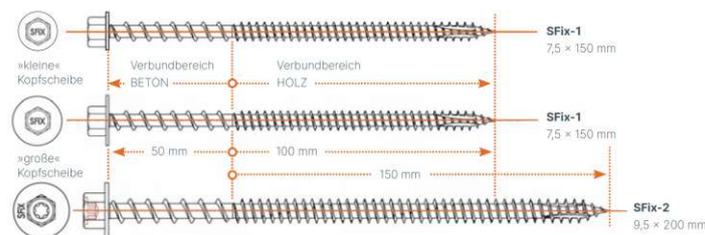


Abb. 3.52: Schubverbinder [7]

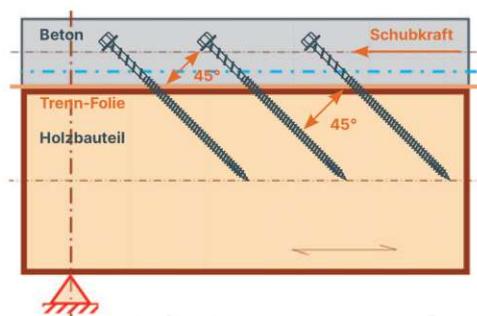


Abb. 3.53: Methode der Verschraubung [7]

Bemessung

Für die Bemessung (stat. System Einfeldträger) der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit von Elascor HBV Systemen werden herstellerspezifische FEM-Programme zur Verfügung gestellt. Die Bemessung umfasst Spannungsnachweise und dazugehörige Ausnutzungsgrade. Das Holz wird auf die höchste Schubspannung und die Verbindungsmittel auf den höchsten Schubfluss (beide im Lagerbereich vorzufinden) untersucht. Ebenso werden die höchsten Biegespannungen für Beton und Holz in der Feldmitte geprüft. In Abhängigkeit vom Grad des Verbunds und der auf die Decke wirkenden Belastung sind für größere Spannweiten folgende Nachweise maßgebend [7]:

- Durchbiegung (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bei maximalem Moment)
- Biegezugspannung an der Unterseite der Balken (Grenzzustand der Tragfähigkeit bei maximalem Moment)
- Schubspannung am Auflager (Grenzzustand der Tragfähigkeit bei maximaler Querkraft)

3.5.2 Dimensionierung von Holz-Beton-Verbunddecken

Es wurden verschiedene Ansätze zur Analyse des Lang- und Kurzzeitverhaltens von Holz-Beton-Verbunddecken entwickelt. Da man sich anfangs auf das Kurzzeitverhalten fokussierte, richtet die Forschung in letzter Zeit verstärkt ihr Augenmerk auf das Langzeitverhalten dieser Systeme. Die heutigen verwendeten Methoden für die Bemessung der Verbunddecken unterscheiden sich hinsichtlich starrer und nachgiebiger Verbindung zwischen der Holz- und Betonkomponente. [31] Einen Überblick über diese stellt die Tabelle 3.19 dar.

Tab. 3.19: Berechnungsmethoden [31]

Bemessung von Holzbetonverbunddecken	
γ-Verfahren	Reduzierung der Biegesteifigkeit des Verbundquerschnitts
Schubanalogie	Transformation des Verbundquerschnitts in einen ideellen Rechenquerschnitt
Stabwerksmodell	Simulation des Holz- und Betonquerschnitts mit gekoppelten Verformungen
FiniteElemente-Methode	numerische Lösung der von endlich vielen Elementen der abgeleiteten Differenzialgleichungen

Nachweiskonzept-Gamma Verfahren

Die Verbunddecken werden in der statischen Modellbildung als zwei über Verbundschrauben miteinander gekoppelte Biegeelemente betrachtet. Die Nachgiebigkeit der Verbundfuge führt zu Relativverschiebungen zwischen Beton und Holz. Daher ist die Betrachtung des Systems als Vollbalken nicht mehr zulässig. Stattdessen handelt es sich um ein zweiteiliges Tragwerk mit Teilschnittgrößen in Holz und Beton, sowie einer Schubbeanspruchung in der Kontaktfuge. [31] Dieses Verfahren ist im Eurocode 5 [30] vorgesehen.

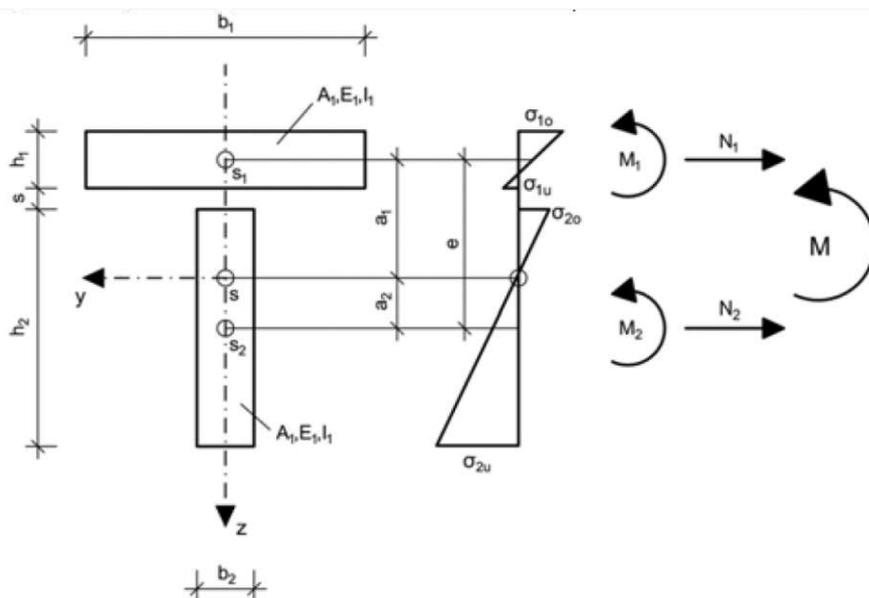


Abb. 3.54: Spannungen und Kräfte in Verbundsystemen [31]

Das γ -Verfahren nach Heimeshoff bildet die Grundlage für die Berechnung der Teilschnittgrößen. Dieses Verfahren ist grundsätzlich eine Näherungslösung für einen Einfeldträger mit gleichförmiger Belastung. Dieser Ansatz berücksichtigt die Auswirkungen der Nachgiebigkeit der Verbundfuge auf die Teilschnittgrößen mithilfe eines charakteristischen Gesamt-Trägheitsmoments I_{eff} . Die Teilschnittgrößen N_i , M_i und der Schubfluss t_{ef} in der Kontaktfuge werden anhand dieser Kenngröße berechnet. [31]

$$I_{eff} = \frac{E_1}{E_v} \cdot I_1 + \frac{E_2}{E_v} \cdot I_2 + \gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot A_1 \cdot a_1^2 + \frac{E_2}{E_v} \cdot A_2 \cdot a_2^2 \quad (3.7)$$

I_{eff}	...	effektives Trägheitsmoment	$[\text{mm}^4]$
E_1	...	Elastizitätsmodul Beton	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
E_2	...	Elastizitätsmodul Holz	$[\text{N}/\text{mm}^2]$
E_v	...	beliebiges Vergleichselastizitätsmodul	$[\text{N}/\text{mm}^2]$

Die Berechnung erfordert die Verwendung folgender Hilfwerte:

$$f = \frac{\pi \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot K} \quad \gamma = \frac{1}{1 + f} \quad (3.8)$$

$$a_1 = \frac{1}{2} \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot s) - a_2 \quad a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot s)}{(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)}$$

K	...	Nachgiebigkeitszahl/Verschiebungsmodul der Schraubverbinder	[kN/cm ²]
$A_{1,2}$	...	Querschnittsflächen	[cm ²]
$A_{1,2}$	...	Querschnittsflächen	[cm ²]
$h_{1,2}$	...	Bauteihöhen	[cm]
$a_{1,2}$	...	Schwerpunktsabstände vom Gesamtschwerpunkt	[cm]
e'	...	Verbindungsmittelabstand	[cm]
l	...	Stützweite der Decke	[cm]
s	...	Schalungsschicht zwischen Holz und Beton	[cm]

Durch die Ermittlung des Gesamt-Trägheitsmoments I_{eff} können die Teilschnittgrößen und der Schubfluss in der Kontaktfuge ermittelt werden:

$$M_1 = \frac{M}{E_v \cdot I_{eff}} \cdot E_1 \cdot I_1 \quad M_2 = \frac{M}{E_v \cdot I_{eff}} \cdot E_2 \cdot I_2 \quad (3.9)$$

$$N_1 = -N_2 \quad N_2 = \frac{M}{E_v \cdot I_{eff}} \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_2$$

$$t_{ef} = \frac{Q}{I_{eff}} \cdot \gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot S_1 \quad S_1 = b_1 \cdot h_1$$

Mit den ermittelten Teilschnittgrößen für die vorliegende Lastsituation können die Normalspannungen in den Grenzschichten berechnet werden:

$$\sigma_{1,o} = \frac{N_1}{A_1} - \frac{M_1}{W_1} \quad \sigma_{1,u} = \frac{N_1}{A_1} + \frac{M_1}{W_1} \quad (3.10)$$

$$\sigma_{2,o} = \frac{N_2}{A_2} - \frac{M_2}{W_2} \quad \sigma_{2,u} = \frac{N_2}{A_2} + \frac{M_2}{W_2}$$

Der Verbundträger darf für die Berechnung der Durchbiegungen als Vollbalken mit der zugehörigen Gesamtbiegesteifigkeit $E_v \cdot I_{eff}$ angenommen werden. Somit berücksichtigt dieser Ansatz den Einfluss der Nachgiebigkeit der Verbundfuge auf die Verformungsgrößen. [31]

3.5.3 Berechnungsbeispiel Holzbetonverbunddecke

- Aufbau: Verbundestrich 5,5 cm
- Nutzlast 4,00 kN/m²
- C20/25
- Gewählte Schraube: VB-48-47,5 x 165
- $l_{eff} \approx 135$ mm

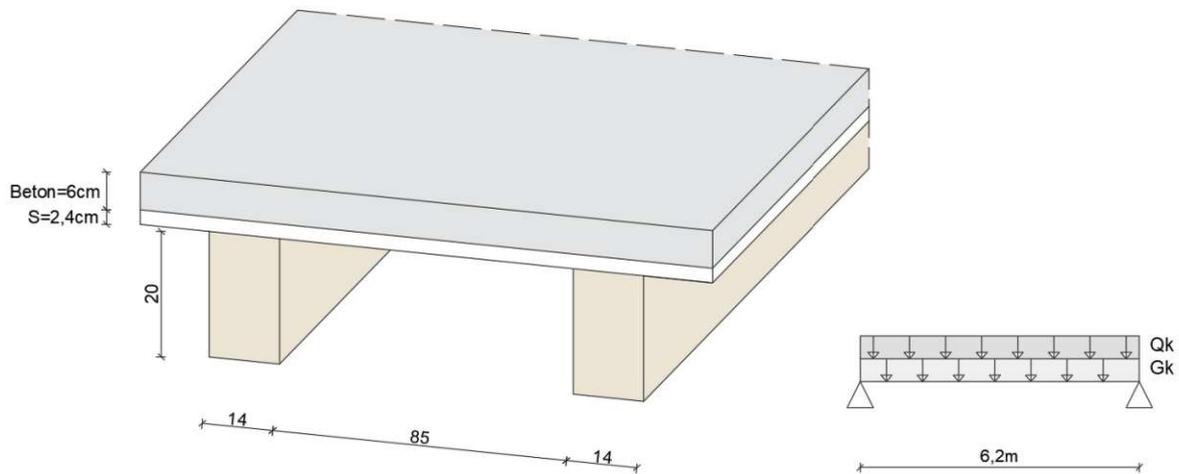


Abb. 3.55: Systemskizze und stat. System

Lastaufstellung

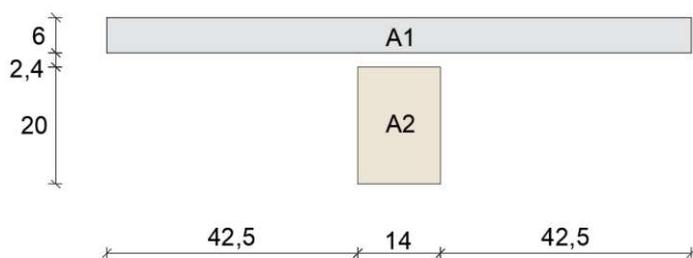
Beton	$1 \cdot 0,99 \cdot 0,06 \cdot 24$	$= 1,43$	kN/m
Estrich	$1 \cdot 0,99 \cdot 0,055 \cdot 21$	$= 1,143$	kN/m
Schalung	$1 \cdot 0,99 \cdot 0,024 \cdot 6$	$= 0,143$	kN/m
Holz balken	$1 \cdot 0,14 \cdot 0,20 \cdot 4,1$	$= 0,115$	kN/m
ΣG_k		$= 2,826$	kN/m

$$G_d = G_k \cdot 1,35 = 2,82 \cdot 1,35 = 3,815 \text{ kN/m}$$

$$Q_d = 4 \cdot 1,5 \cdot 0,99 = 5,94 \text{ kN/m}$$

$$\underline{\underline{G_d + Q_d = 9,775 \text{ kN/m}}}$$

$$M_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{9,755 \cdot 6,2^2}{8} = 46,89 \text{ kNm}$$



$$E_{\text{Beton}} = 3000 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{\text{Holz}} = 1260 \text{ kN/cm}^2$$

Abb. 3.56: Querschnitt

$$a_1 = \frac{1}{2} \cdot (6 + 20 + 2 \cdot 2,4) - 12,34 = 3,06 \text{ cm}$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot s)}{(\gamma \cdot E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,797 \cdot 3000 \cdot (6 \cdot 99) \cdot (6 + 20 + 2 \cdot 2,4)}{(0,797 \cdot 3000 \cdot (6 \cdot 99) + 1260 \cdot (14 \cdot 20))} = 12,34 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + f} = \frac{1}{1 + 0,254} = 0,254$$

$$f = \frac{\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot e'}{l^2 \cdot K} = \frac{\pi^2 \cdot 3000 \cdot (6 \cdot 99) \cdot 12}{620^2 \cdot 1260} = 0,254$$

mit $K_{\text{ser}} = 240 \cdot 135 = 32400$ (lt. technischer Zulassung ETA-13/0699 für SFS VB Schrauben)

$$K = 32400 \cdot \frac{2}{3} = 21600$$

$$I_1 = \frac{99 \cdot 6^3}{12} = 1782 \text{ cm}^4 \quad I_2 = \frac{14 \cdot 20^3}{12} = 9333,33 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{E_1}{E_v} \cdot I_1 + \frac{E_2}{E_v} \cdot I_2 + \gamma \cdot \frac{E_1}{E_v} \cdot A_1 \cdot a_1^2 + \frac{E_2}{E_v} \cdot A_2 \cdot a_2^2 =$$

$$= \frac{3000}{1260} \cdot 1782 + \frac{1260}{1260} \cdot 9333 + 0,797 \cdot \frac{3000}{1260} \cdot (6 \cdot 99) \cdot 3,06^2 + \frac{1260}{1260} \cdot (14 \cdot 20) \cdot 12,34^2$$

$$= 66767,5 \text{ cm}^4$$

$$M_1 = \frac{M}{E_v \cdot I_{eff}} \cdot E_1 \cdot I_1 = \frac{46,87}{1260 \cdot 66767,5} \cdot 3000 \cdot 1782 = 297,888 \text{ kNcm}$$

$$M_2 = \frac{M}{E_v \cdot I_{eff}} \cdot E_2 \cdot I_2 = \frac{46,87}{1260 \cdot 66767,5} \cdot 1260 \cdot 9333 = 655,264 \text{ kNcm}$$

$$N_2 = \frac{M}{E_v \cdot I_{eff}} \cdot E_2 \cdot A_2 \cdot a_2 = \frac{46,87}{1260 \cdot 66767,5} \cdot 1260 \cdot (14 \cdot 20) \cdot 12,34 = 242,587 \text{ kN}$$

$$N_1 = -242,587 \text{ kN}$$

$$M = M_1 + M_2 + N_2 \cdot e = 297,888 + 655,264 + 242,587 \cdot (12,34 + 3,06) = 4688,99 \text{ kNcm}$$

$$\sigma_{M1} = \frac{297,888}{\frac{99 \cdot 6^2}{6}} = 0,501 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1u} = \sigma_{N1} + \sigma_{M1} = 0,093 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{M2} = \frac{655,2264}{\frac{914 \cdot 20^2}{6}} = 0,702 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{1o} = \sigma_{N1} - \sigma_{M1} = -0,909 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{N1} = -\frac{242,587}{(99 \cdot 6)} = -0,408 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2u} = \sigma_{N2} + \sigma_{M2} = 1,568 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{N2} = \frac{242,587}{(14 \cdot 20)} = 0,866 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{2o} = \sigma_{N2} - \sigma_{M2} = 0,164 \text{ kN/cm}^2$$

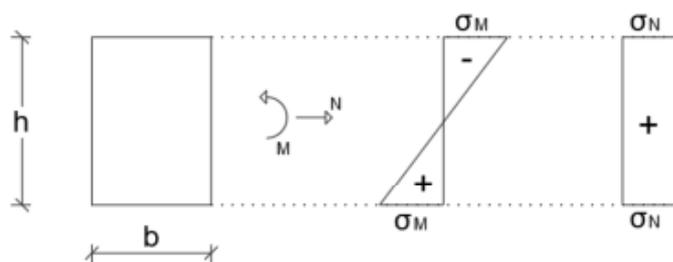


Abb. 3.57: Spannungsverlauf

Bei Holz extra

$$\sigma_{NH} = \frac{N_H}{A_H} = \frac{242,705}{(20 \cdot 14)} = 0,867 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_M = \frac{M_H}{W_H} = \frac{655,60}{\frac{14 \cdot 20^2}{6}} = 0,703 \text{ kN/cm}^2$$



$$\sigma_N = \frac{N}{A}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W}$$

Abb. 3.58: Spannungsverlauf-Teilquerschnitt

$$\frac{\sigma_N}{f_t} + \frac{\sigma_M}{f_M} = \frac{0,867}{1,95} + \frac{0,703}{2,8} = 0,695 \leq 1 \checkmark$$

Von Beton

$$\sigma_u = 0,093 \text{ kN/cm}^2 < 0,25 \text{ kN/cm}^2 = f_t \checkmark$$

$$\sigma_o = -0,909 \text{ kN/cm}^2 < 2,5 \text{ kN/cm}^2 = f_c \checkmark$$

$$\text{C25/30} \rightarrow f_c = 2,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\rightarrow f_t = \frac{1}{10} \cdot f_c = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$w = \frac{5 \cdot Q_k + G_k \cdot l^4}{384 \cdot E_v \cdot I_{eff}} = \frac{5 \cdot 6,826 \cdot 620^4}{384 \cdot 1260 \cdot 66767,5} = 1,56 \text{ cm}$$

$$w_{zul} = \frac{620}{300} = 2,06 \text{ cm}$$

$$\underline{\underline{w < w_{zul} \rightarrow 1,56 < 2,06 \checkmark}}$$

Kapitel 4

Nachhaltigkeit und Ressourcenverfügbarkeit

4.1 Allgemein

Im 21. Jahrhundert hat der Holzbau eine bemerkenswerte Renaissance erlebt. Dieser Auftrieb beruht auf umfassenden nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen, wobei insbesondere die Fortschritte im Bereich des Ingenieurholzbaus sowie die Vertiefung des Wissens im Brandschutz und in der Bauphysik eine entscheidende Rolle spielen. Ebenso ist die verstärkte Nutzung von CAD-basierten Fertigungsmethoden von Bedeutung. Einen Meilenstein setzten das Kyoto-Protokoll und das Pariser Klimaabkommen von 2016. Diese internationalen Verpflichtungen haben die Erkenntnis gefördert, dass die vermehrte Verwendung des nachhaltigen Baumaterials Holz erheblich dazu beitragen kann, den Energieverbrauch im Bauwesen zu reduzieren. Gleichzeitig kann Holz als Kohlenstoffspeicher dienen und somit zur Senkung des CO₂-Gehalts beitragen. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass diese Funktionen nur dann wirksam werden können, wenn das Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft gewonnen wird. Dies erfordert, dass die Entnahme von Holz die jährlich nachwachsende Menge nicht überschreitet. [46]

In Bezug auf Nachhaltigkeit ist derzeit die Situation in Mitteleuropa, insbesondere in Österreich, weitgehend unproblematisch. Die kontinuierlichen Untersuchungen, beispielsweise im Rahmen der österreichischen Waldinventur, verdeutlichen ein anhaltendes Wachstum sowohl des Holzvorrats als auch der Waldfläche (siehe Abb. 4.1). Seit dem Beginn flächendeckender Erhebungen im Jahr 1961 hat sich die Waldfläche um mehr als 300.000 Hektar ausgedehnt, was etwa der gemeinsamen Fläche von Vorarlberg und Wien entspricht. Auch bei jährlichem Zuwachs des Holzvorrats von 30 Millionen Festmetern und einem Bestand von 1.173 Festmetern fällt die Holzernte im Vergleich dazu bedeutend geringer aus. Das neu gewonnene Holz findet vielfältige Anwendungsbereiche. Ein beachtlicher Anteil dieses verarbeiteten Holzes wird für diverse stoffliche Zwecke verwendet. 80 Prozent des Frischholzaufkommens, sei es aus dem einheimischen Holzeinschlag oder aus importiertem Holz, findet Verwendung als Säge- oder Industrierundholz. [4]

Die Holznutzung stellt eine wirksame Strategie zur Bewältigung der Klimakrise dar. Parallel sind jedoch sowohl die Forstwirtschaft als auch die Wälder selbst vermehrt den nachteiligen Folgen des Klimawandels ausgesetzt. Dies zeigt sich besonders in Form von Trockenheit und steigenden Temperaturen, wobei verschiedene Baumarten unterschiedlich darauf reagieren. Vor allem in tieferen Lagen geraten Nadelwaldbestände an ihre Grenzen. Auch wenn früher Laub- und Mischwälder vorherrschend waren und diese im Zuge der Forstwirtschaft durch schnellwachsende Nadelhölzer ersetzt wurden, zeigen die jüngsten Erhebungen eine erneute Tendenz in Richtung Laub- und Mischwald. Es wird vermehrt auf die Schaffung eines klimaresistenten Waldes gesetzt, der die jeweiligen Standortbedingungen berücksichtigt. Jedoch sind Veränderungen in der Waldzusammensetzung nur über einen längeren Zeitraum hinweg realisierbar. [4] Die wachsende Zugänglichkeit von Hartholz führte zu einem neuen Aufschwung in der Anwendung von Laubholz im Holzbau und fördert die Entstehung innovativer Werkstoffe. Die Entwicklung im Bereich der Hartholzprodukte ist zweifellos noch am Anfang. Aufgrund der Vorteile beim Schalen und



Abb. 4.1: Waldanteil Bundesländer [4]

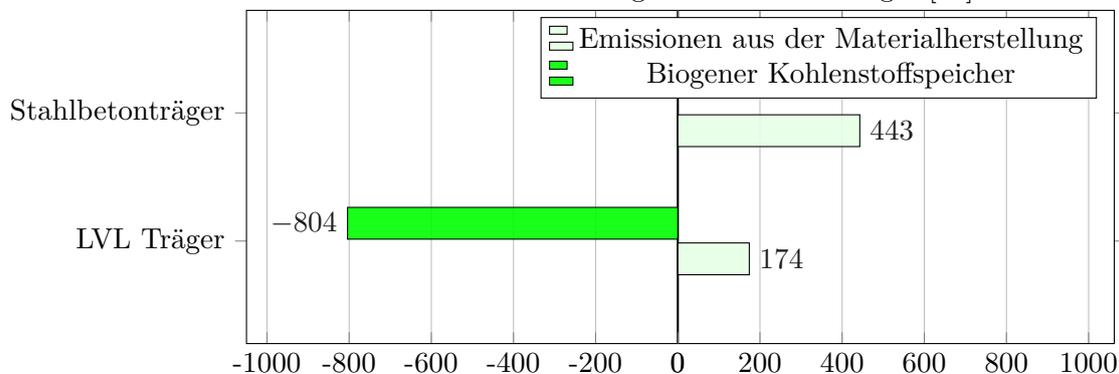
Spanen von Harthölzern im Vergleich zum Sägen, ist davon auszugehen, dass insbesondere bei Sperrholz und Furnierschichtholz weitere innovative Fortschritte erzielt werden. Dabei ist immer zu beachten, dass bei der planerischen Entscheidung, welcher Werkstoff verwendet werden sollte, die ökologische und ökonomische Bewertung in Lebenszyklusanalysen und Lebenszykluskostenanalysen eine wichtige Rolle spielt. Die Durchführung dieser Berechnungen verfolgt das Ziel, objektiv festzustellen, welche Bauprodukte mit vertretbaren Kosten den geringsten ökologischen Fußabdruck hinterlassen. Dabei werden entscheidende Kriterien wie der Primärenergieverbrauch aus erneuerbaren und nicht erneuerbaren Quellen sowie die CO₂-äquivalenten Emissionen berücksichtigt. [46]

4.2 Emissionsvergleich ausgewählter Bauteile und Konstruktionen

Emissionsvergleich Träger (LVL) und Stahlbetonträger

Die nachstehende Untersuchung zielt darauf ab, die Emissionswerte im Zusammenhang mit der Herstellung von Furnierschichtholzträgern im Vergleich zu äquivalenten Stahlbetonträgern zu analysieren. Gemäß den im nachfolgenden Diagramm (siehe Tab. 4.1) dargestellten Daten wird ersichtlich, dass LVL-Träger einen erheblich geringeren CO₂-Fußabdruck aufweisen (gemessen in CO₂-Äquivalenten [kg CO₂-e/m²]). [38]

Tab. 4.1: CO₂ Fußabdruck LVL Träger – Stahlbetonträger [38]



Emissionsvergleich Rippendecken (CLT) und Beton

Die folgenden Strukturen (Abb. 4.2 - 4.3) wurden analysiert und miteinander verglichen [39]:

- Aufbau: Beton-Hohlkörperboden

Estrich	2cm
Isolierung aus Glaswolle	2,5cm
Beton	5cm
Bewehrungsstahl	
Beton – Hohlkörperplatte	26,5cm

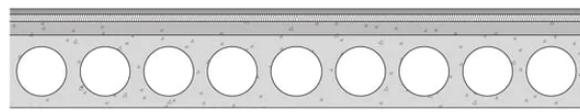


Abb. 4.2: Beton Hohlkörperboden [39]

- Aufbau: Rippendecke (CLT)

Estrich	5cm
Isolierung aus Steinwolle	5cm
Rippendecke (CLT)	36cm
Gips	1,25cm

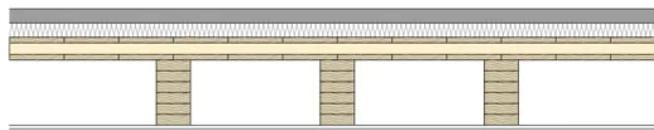
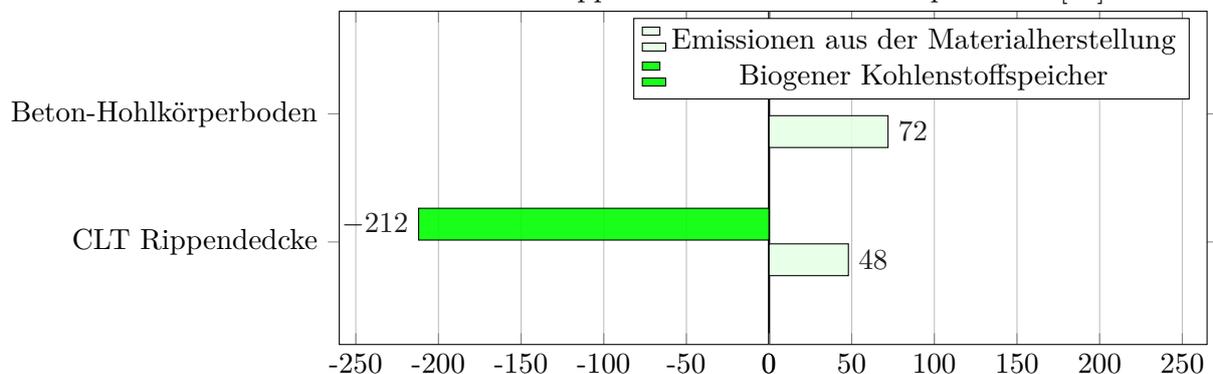


Abb. 4.3: Rippendecke (CLT) [39]

Das nachfolgende Diagramm (siehe Tab. 4.2) veranschaulicht einen Emissionsvergleich zwischen der Herstellung eines Beton-Hohlkörperbodens und einer Rippendecke aus Brettsperrholz. Die Daten verdeutlichen, dass die Brettsperrholz-Rippendecke einen erheblich geringeren CO₂-Fußabdruck aufweist, gemessen in CO₂-Äquivalenten [kg CO₂-e/m²]. Des Weiteren dienen Decken in Holzbauart als Kohlenstoffspeicher. [39]

Tab. 4.2: CO₂ Fußabdruck CLT-Rippendecke – Beton-Hohlkörperboden [39]



4.3 Ökoindex OI3

Im Jahr 2003 entwickelte das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie (IBO) den Öko-Indikator (OI3). Der OI3 soll das Beurteilen von Konstruktionen, Baustoffen und Gebäuden auf Basis von Ökokennzahlen und Ökobilanzen ermöglichen. Dieser berücksichtigt dabei das Versauerungspotenzial, das Treibhauspotenzial und den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie. Diese Bewertung wird sowohl für einzelne Baustoffe als auch für gesamte Gebäude durchgeführt. Die erforderlichen Ökokennwerte für die OI3-Berechnung werden kostenlos vom IBO, den Herstellern von Bauphysik-Software und der Internetdatenbank *baubook* bereitgestellt und regelmäßig angepasst. Vorrangiges Ziel der OI3-Berechnung ist die Schaffung eines Bewusstseins für ökologische Zusammenhänge. Dadurch sollen Umweltauswirkungen sowohl bei der Herstellung, als auch bei der Instandhaltung von Gebäuden minimiert werden. [13]

Grundlagen der Bewertung

Die nachfolgend aufgeführten OI3 Basisindikatoren bilden die Grundlage für die Bewertung. Die absoluten Werte dieser Kennzahlen werden in ein Punktesystem umgewandelt. Eine höhere Punktzahl deutet auf eine stärkere Umweltauswirkung der Konstruktion oder des Gebäudes hin [13]:

- $\Delta OI3_{BS}$ Öko-Indikator einer Baustoffschicht

Der $\Delta OI3_{BS}$ gibt an, um wie viel sich der $\Delta OI3_{KON}$ Wert innerhalb einer Konstruktion, in Abhängigkeit der Baustoffschicht, ändert (in OI3-Punkten). Dieser Indikator ist besonders nützlich bei der Optimierung von Konstruktionen, da er es ermöglicht, die ökologischen Schwerpunkte einer Konstruktion anhand der höchsten $\Delta OI3_{BS}$ Werte zu identifizieren.

- $\Delta OI3_{KON}$ Öko-Indikator eines Quadratmeters einer Konstruktion

Mittels des Ökoindikators $\Delta OI3_{KON}$ wird die ökologische Qualität von gängigen Konstruktionen bewertet.

- Öko-Indikator OI3 für Gebäude

Die Evaluierung des Umwelteinflusses von Gebäuden erfordert eine umfassende Erfassung sämtlicher Bestandteile aller Konstruktionen und die Einbeziehung dieser Informationen in die Bewertung. Aufgrund des damit verbundenen unverhältnismäßig hohen Berechnungsaufwands greift man auf das Konzept flexibler Bilanzgrenzen zurück (siehe Abb. 4.4). Dieses Konzept legt fest, welche Bauteile oder Bauteilschichten berücksichtigt werden sollen und ob die Nutzungsdauer von Konstruktionen in die Berechnung einfließen muss.

	Ersterrichtung		Ersterrichtung + Instandhaltungszyklen				
	BG0	BG1	BG2	BG3	BG4	BG5	BG6
Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle (TGH vereinfacht), Zwischendecken	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle (TGH vollständig), inkl. Dacheindeckungen, Feuchtigkeitsabdichtungen, hinterlüftete Fassaden, Zwischendecken		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Trennwände (nur bauphysikalisch relevante Trennbauteile)			✓	✓	✓	✓	✓
Innenwände (gesamt), Keller, unbeheizte Pufferräume (Baukörper komplett), innenliegende Stiegenhäuser, Verkehrsflächen				✓	✓	✓	✓
Offene Erschließungszonen (offene Stiegenhäuser, Laubengänge, Loggien)					✓	✓	✓
Haustechnik						✓	✓
Außenanlagen, Nebengebäude							✓

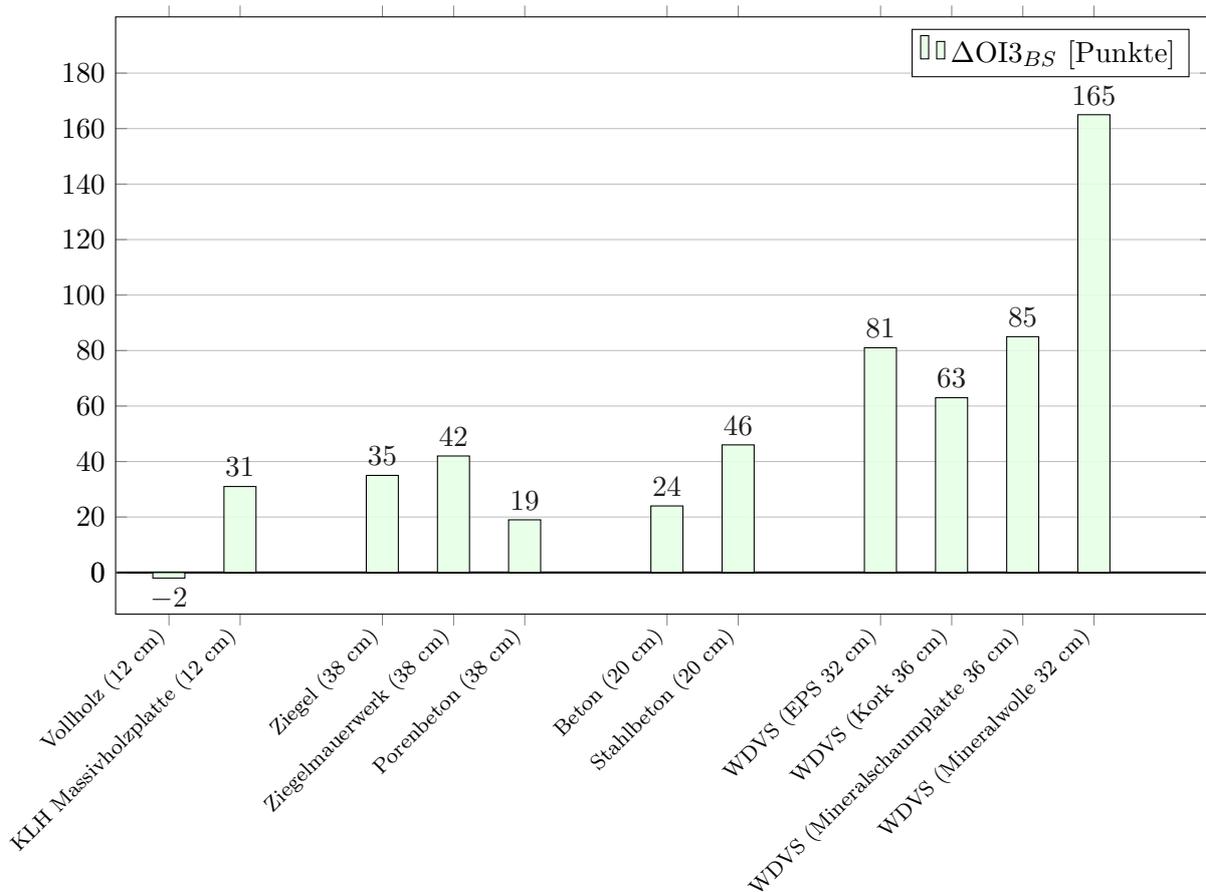
Abb. 4.4: Bilanzgrenzenkonzept [13]

Veranschaulichung von OI3-Baustoffkennwerten

Nachfolgend sind $\Delta OI3_{BS}$ Werte einiger passivhaustauglicher Konstruktionen aufgeführt. Dabei wurden gängige Dicken berücksichtigt [13]:

- 12 cm für Holz- und Holzwerkstoffe
- 18 cm für die Beton-, Porenbeton- und Stahlbetonschicht
- Stärken der WDVS so angesetzt um einen U-Wert von $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen

Abb. 4.5: $\Delta OI3_{BS}$ Vergleich von Baustoffen [13]



Veranschaulichung von OI3-Konstruktionskennwerten

Die Abbildung 4.6 ist in zwei Abschnitte unterteilt: Geschossdecken in Leichtbauweise (GDh 01 und GDI 01) und Geschossdecken in Massivbauweise (GDm 01, GDm 03, KDI 01 und KDu 01). Dabei zeigt die optimierte Brettstapel-Geschossdecke mit 32 OI3-Punkten die geringste ökologische Auswirkung auf. [13]

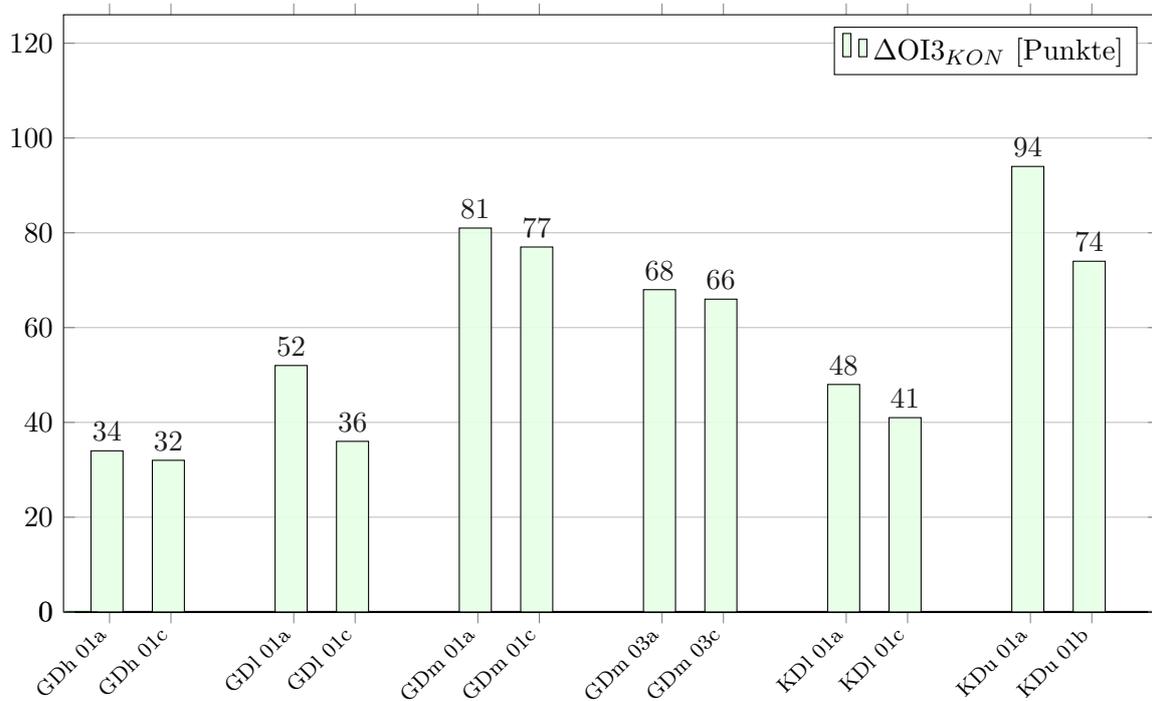


Abb. 4.6: $\Delta OI3_{KON}$ Vergleich von Geschossdecken [13]

- GDh 01a : Brettstapel-Geschossdecke, Nassestrich, gängig
- GDh 01c : Brettstapel-Geschossdecke, Nassestrich, optimiert
- GDI 01a : Leichtbau- oder (Tram-) Geschossdecke Nassestrich, gängig
- GDI 01c : Leichtbau- oder (Tram-) Geschossdecke Nassestrich, optimiert
- GDm 01a : Stahlbeton-Geschossdecke, Nassestrich, gängig
- GDm 01c : Stahlbeton-Geschossdecke, Nassestrich, optimiert
- GDm 03a : Ziegel-Geschossdecke ohne Aufbeton, gängig
- GDm 03c : Ziegel-Geschossdecke ohne Aufbeton, optimiert
- KDI 01a : Leichtbau Kellerdecke, gängig
- KDI 01c : Leichtbau Kellerdecke, optimiert
- KDu 01a : Kellerdecke massiv, unterseitig gedämmt, gängig
- KDu 01b : Kellerdecke massiv, unterseitig gedämmt, optimiert

Tab. 4.3: Zuordnung der verwendeten Geschossdecken [13]

Anmerkung: Die Aufbauten der Geschossdecken, die für den Vergleich herangezogen wurden sind dem Anhang C beigelegt. [12]

Kapitel 5

Praxisbeispiel

Das HoHo Wien, als Österreichs derzeit höchstes Holzhochhaus mit einer Gesamthöhe von 84 m, stellt ein herausragendes Beispiel für den Holz-Hybridbau dar. Neben der beachtlichen Höhe zeichnet sich das Gebäude insbesondere durch hohe Ausführungsqualität und ein einfaches Grundkonzept aus. Das Projekt wurde durch eine enge Kooperation zwischen der Stadt Wien und Fachexperten, darunter Architekten, Tragwerksplaner und spezialisierten Fachplanern, insbesondere im Bereich des Brandschutzes, erfolgreich realisiert. [44] Es besteht aus drei miteinander verbundenen Bauteilen mit unterschiedlicher Anzahl an Stockwerken: 9, 15 und 23 Etagen. Das Gebäude besitzt zusätzlich zwei Untergeschosse und wurde auf einer Pfahl-Platten-Gründung errichtet.



Abb. 5.1: HoHo Außenansicht [6]



Abb. 5.2: HoHo Innenansicht [43]

Die Abbildung 5.3 zeigt das grundlegende Konzept für die Tragstruktur des Gebäudes, welches aus einer Kombination aus einem Aussteifungskern in Ortbeton und einem daran angeschlossenen vorgefertigten Holzbau basiert. Eine parallele Herstellung und somit ein effizienter Bauprozess wurden durch die Trennung des vorausgehenden Massivbaus vom nachfolgend versetzten Holzbau ermöglicht. Diese klare Tragstruktur erleichterte die Logistik der Montage und trägt somit zur Wirtschaftlichkeit des Projekts bei. [47]

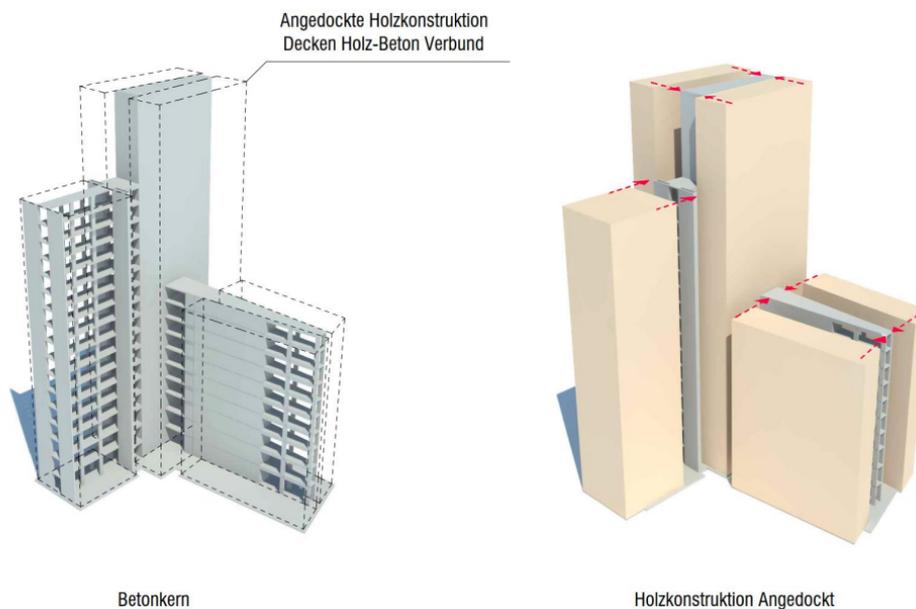


Abb. 5.3: Grundkonzept der Tragstruktur [47]

Schubsteife Holz-Beton-Verbunddecken aus Brettsper Holz mit Schubkernen bilden das Deckentragsystem. Für die Vertikallastabtragung kamen blockverleimte Stützen aus Brettschichtholz zum Einsatz. Ein hoher Vorfertigungsgrad wurde durch die Vorfertigung der Holzkomponenten

und der bereits im Werk betonierten HBV-Elemente und FT-Randträger erzielt. Abbildung 5.4 zeigt das Montageablaufkonzept der Einzelementen. [47]

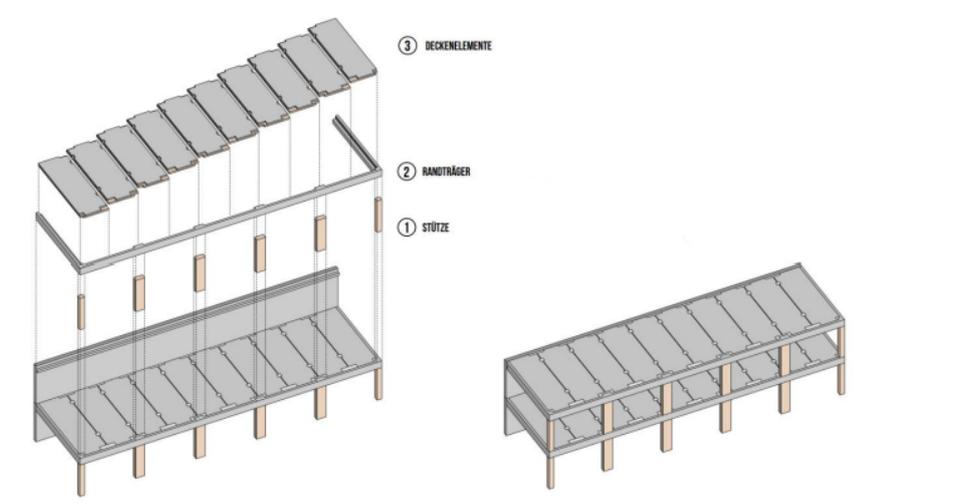


Abb. 5.4: Konzept der Baustellenmontage [47]

Durch das nachträgliche Auffüllen von Aussparungen im Aufbeton der Verbundelemente und der Verwendung von Rückbiegebewehrungsanschlüssen wurde die schubsteife Scheibenwirkung der Decke erreicht. Eine kraftschlüssige Verbindung der Stützen, Decken und Fertigteilträger erfolgte durch Bewehrungsstäbe und durch lokale Vergussbereiche. Die Abbildung 5.5 stellt das Montageprinzip eines Systemknotens dar. [47]

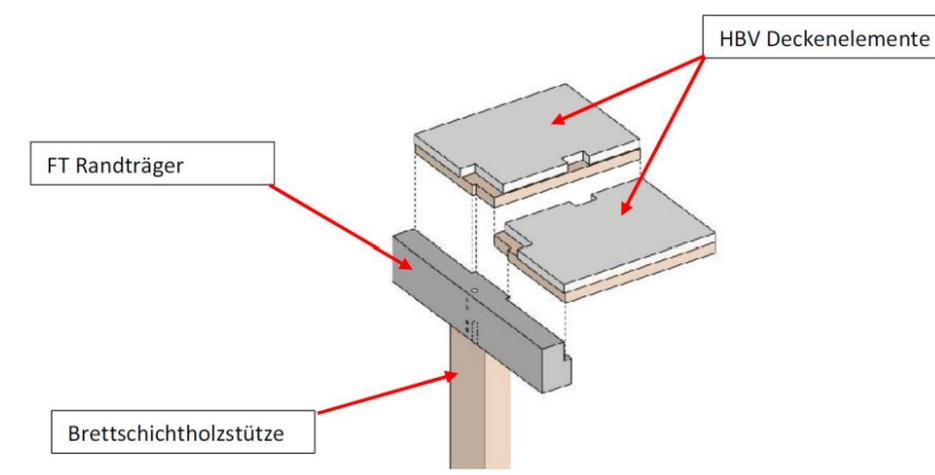


Abb. 5.5: Systemknoten [47]

Dieses Praxisbeispiel eines Holzhochhauses veranschaulicht vorbildlich die Verwendung von Holz für ein funktionales Gebäude. Es zeigt auf, welche Möglichkeiten dieser Baustoff aufweist und überzeugt auf ganzer Linie. Dieses Hochhaus vereint modernes Design, Nachhaltigkeit und Funktionalität. Eine Kombination, welche ohne Zweifel die Baubranche für die Zukunft prägen wird.

Kapitel 6

Fazit

Von den einfachen, funktionalen Holzdecken der Vergangenheit bis hin zu den heutigen, technisch anspruchsvollen Konstruktionen hat Holz seine Rolle als unverzichtbarer Baustoff immer wieder neu definiert. Holzdecken haben sich in der modernen Bauwelt als eine attraktive und vielseitige Lösung erwiesen, die eine breite Palette von Vorteilen bietet. Diese Systeme können flexibel angewendet werden und sind in zahlreichen Varianten verfügbar. Daraus kann man schließen, dass Holz ein weit verbreitetes und respektiertes Baumaterial ist. Seine Vielschichtigkeit und die Möglichkeiten zur leichten Anpassung an individuelle Gegebenheiten stechen dabei besonders hervor. Es kann in nahezu allen Aufgabenbereichen des Hochbaus Anwendung finden. Dadurch beweist sich Holz als starker Konkurrent gegenüber den herkömmlich verwendeten Materialien im Bauwesen (Beton, Stahl). Auch wenn die Verwendung in manchen Fällen einen Mehraufwand im Bereich der Planung bedeutet (beispielsweise für den Holzschutz), kann davon ausgegangen werden, dass Holzdeckensysteme heutzutage auf einem sehr guten technischen Stand sind. Besonders wenn von ökologischer Verträglichkeit die Rede ist, werden weitere wichtige Vorzüge dieses Materials deutlich. Mit fortschreitender Technologie und dem wachsenden Bewusstsein für Nachhaltigkeit bleibt der Einsatz von Holz eine vielversprechende Wahl für die Zukunft. Der nachwachsende Rohstoff bindet Kohlenstoff, besitzt einen geringen Energieverbrauch bei der Verarbeitung und kann nach Ende der Lebensdauer energetisch weiter verwendet werden. Die Fähigkeit, alte Traditionen mit den heutigen Anforderungen in Einklang zu bringen, zeigt die zeitlose Relevanz von Holz in der Baubranche. Insgesamt ist Holz somit als Baumaterial für Deckensysteme eine zukunftsweisende Wahl, die die Anforderungen an Nachhaltigkeit, Ästhetik, Komfort und Funktionalität erfüllt.

Literatur

- [1] BaunetzWissen. *Balkendecke Stabförmiges System*. URL: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/bauteile/balkendecke--stabfoermiges-system-6979331> (Zugriff am 12.08.2023).
- [2] BaunetzWissen. *Blockbauweise:Eigenschaften einst und heute*. URL: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/holzbausysteme/blockbauweise-7713765> (Zugriff am 28.07.2023).
- [3] BaunetzWissen. *Skelettbauweise:Eigenschaften und Möglichkeiten*. URL: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/holzbausysteme/skelettbauweise-7769501> (Zugriff am 30.07.2023).
- [4] BMK. *Moderner Holzbau- Nachhaltig bauen mit innovativen Holzbaustoffen*. 2021. URL: https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:d9d31916-7a0b-4ada-80b9-ba9e2359e36d/Brosch_A4_Moderner%20Holzbau_FINAL_UA.pdf (Zugriff am 20.08.2023).
- [5] P. Cheret, G. Grohe und andere. *Holzbausysteme*. 2000. URL: <https://www.holzbauschmidtke.de/wp-content/uploads/2020/05/IDH-Holzbausysteme.pdf> (Zugriff am 06.08.2023).
- [6] DERFRITZ-Grafik-und-Fotografie. 2020. URL: <https://derfritz.at/arbeiten/hohowien/> (Zugriff am 22.08.2023).
- [7] Elascon-GmbH. *Das Holz Beton Verbund System*. 2022. URL: <https://www.elascon.de/sites/default/files/pdf/HBV-fibel-pv.pdf> (Zugriff am 14.08.2023).
- [8] Hasslacher-Gruppe. *Brettschichtholz*. 2023. URL: https://www.hasslacher.com/data/_dateimanager/broschuere/HNT-Brettschichtholz-DE.pdf (Zugriff am 01.10.2023).
- [9] Hasslacher-Gruppe. *Brettstapelsystemdecke*. 2023. URL: https://www.hasslacher.com/data/_dateimanager/broschuere/HNT-Brettstapelsystemdecke-DE.pdf (Zugriff am 01.10.2023).
- [10] Hasslacher-Gruppe. *Konstruktionsvollholz*. 2023. URL: https://www.hasslacher.com/data/_dateimanager/broschuere/HNT-Konstruktionsvollholz-DE.pdf (Zugriff am 01.10.2023).
- [11] HolzBautechnik-Sohm. *Produktbroschüre Diagonal-Dübelholz*. URL: <https://www.sohm-holzbau.at/diagonalduebelholz> (Zugriff am 03.08.2023).
- [12] IBO-Österreichisches-Institut-für-Baubiologie/ökologie. *Oekoindex 3-Anhang*. 2017. URL: https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3%20bzw.%20https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/oi3_broschure_anwendung_2017_anhang.pdf (Zugriff am 14.11.2023).
- [13] IBO-Österreichisches-Institut-für-Baubiologie/ökologie. *Oekoindex 3-Anwendung*. 2017. URL: https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3%20bzw.%20https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/oi3_broschure_anwendung_2017.pdf (Zugriff am 14.11.2023).

- [14] Informationsdienst-Holz. *Holz als konstruktiver Baustoff*. 2008. URL: https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R04_T01_F01_Holz_als_konstruktiver_Baustoff.pdf (Zugriff am 30.07.2023).
- [15] Kielsteg-GmbH. *Leicht und weit gespannt-Das Handbuch der innovativen Dach- und Deckenelemente aus Holz für Bauwerke mit besonderen Anforderungen*. 2018. URL: <https://www.kielsteg.de/technik-handbuch> (Zugriff am 09.08.2023).
- [16] KLH-Massivholz-GmbH. *Broschüre-Bauphysik*. 2012. URL: <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/07/klh-bauphysik.pdf> (Zugriff am 05.08.2023).
- [17] KLH-Massivholz-GmbH. *Broschüre-Konstruktion*. 2019. URL: <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/07/bauteilkatalog-konstruktion-1.pdf> (Zugriff am 05.08.2023).
- [18] KLH-Massivholz-GmbH. *Broschüre-Kreuzlagenholz*. 2021. URL: <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/07/klh-kreuzlagenholz.pdf> (Zugriff am 05.08.2023).
- [19] KLH-Massivholz-GmbH. *Broschüre-Rippenelemente*. 2019. URL: <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/07/klh-rippenelemente.pdf> (Zugriff am 05.08.2023).
- [20] KLH-Massivholz-GmbH. *Broschüre-Vorbemessungstabellen*. 2023. URL: <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/07/klh-vorbemessungstabellen.pdf> (Zugriff am 05.08.2023).
- [21] Lignatur-AG. *Lignatur-Handbuch*. 2003. URL: http://raphaelbruns.de/_html/pdf/Lignatur/handbuch_03.pdf (Zugriff am 14.11.2023).
- [22] *OIB-Richtlinie 2-Erläuternde Bemerkungen: 2023 05: Brandschutz OIB-330.2-034/23*. Deutsch. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, Mai 2023.
- [23] *OIB-Richtlinie 2: 2023 05: Brandschutz OIB-330.2-029/23*. Deutsch. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, Mai 2023.
- [24] *OIB-Richtlinie 5: 2023 05: Schallschutz OIB-330.5-004/23*. Deutsch. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, Mai 2023.
- [25] *OIB-Richtlinie 6: 2023 05: Energieeinsparung und Wärmeschutz OIB-330.6-036/23*. Deutsch. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik, Mai 2023.
- [26] *ÖNORM B 1991-1-1: 2020 12 01: Einwirkung auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Dez. 2020.
- [27] *ÖNORM B 1995-1-1: 2023 08 15: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Aug. 2023.
- [28] *ÖNORM EN 13501-2: 2016 11 01: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen*. Deutsch. Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Nov. 2016.
- [29] *ÖNORM EN 1990: 2021 10 01: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Okt. 2021.
- [30] *ÖNORM EN 1995-1-1: 2019 06 01: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau*. Deutsch. Wien: Austrian Standards, Juni 2019.

- [31] A. Pech. *Holz im Hochbau: Theorie und Praxis*. 1., Auflage. Basel: Birkhäuser, 2016. ISBN: 978-3-0356-0936-3.
- [32] A. Pech, A. Kolbitsch und F. Zach. *Decken*. 2., aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser, 2021. ISBN: 978-3-0356-2135-8.
- [33] C. Pöhn und A. Pech. *Bauphysik*. 2., aktualisierte Auflage. Basel: Birkhäuser, 2018. ISBN: 978-3-0356-0573-0.
- [34] R. Ring. „zuschnitt54-Holzdecken“. In: *Balkendecke*. Wien: proHolz Austria, 2014, S. 22–23. ISBN: 978-3-902926-05-0.
- [35] STEICO-Gruppe. *Konstruktionsheft LVL/Furnierschichtholz*. 2023. URL: https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/planungs-_und_konstruktionshefte/STEICO_Konstruktionsheft_Furnierschichtholz_de_i.pdf (Zugriff am 12.08.2023).
- [36] STEICO-Gruppe. *Konstruktionsheft Stegträger*. 2023. URL: https://www.steico.com/fileadmin/user_upload/importer/downloads/planungs-_und_konstruktionshefte/STEICO_Konstruktionsheft_Stegtraeger_de_i.pdf (Zugriff am 12.08.2023).
- [37] L. Steiger. *Basics Konstruktion Holzbau*. Basel: Birkhäuser, 2013. ISBN: 978-3-0346-1329-3.
- [38] Stora-Enso-Wood-Products-GmbH. *Furnierschichtholz (LVL) - Wunderwerk Holz-Über die bisher angenommenen Grenzen hinausgehen*. URL: <https://www.storaenso.com/de-de/products/massive-wood-construction/building-products/lvl> (Zugriff am 20.08.2023).
- [39] Stora-Enso-Wood-Products-GmbH. *Rippendecken - Neue Visionen beim bau mit Rippendecken*. URL: <https://www.storaenso.com/de-de/products/mass-timber-construction/building-products/rib-panels> (Zugriff am 20.08.2023).
- [40] T. Tannert. *Experimental and finite element analysis of cross laminated timber (CLT) panel*. 2015. URL: https://www.researchgate.net/publication/309159725_EXPERIMENTAL_AND_FINITE_ELEMENT_ANALYSIS_OF_CROSS_LAMINATED_TIMBER_CLT_PANELS (Zugriff am 30.07.2023).
- [41] M. Teibinger, I. Matzinger und F. Dolezal. *Bauen mit Brettsperrholz im Geschößbau - Fokus Bauphysik: Planungsbroschüre*. 3., überarb. Auflage. Wien: Holzforschung Austria, 2018. ISBN: 978-3-9504488-2-5.
- [42] Universität-Hamburg. *Eigenschaften und einsetzpotentiale neuer Holzwerkstoffe im Bauwesen*. 2001. URL: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk040239.pdf (Zugriff am 30.07.2023).
- [43] ViennaEstate-Immobilien-AG. URL: <https://www.hoho-wien.at/> (Zugriff am 22.08.2023).
- [44] wienwood21. *HoHO Wien*. 2021. URL: <https://www.wienwood.at/objekte2021/projekt/hoho-wien-wienwood> (Zugriff am 22.08.2023).
- [45] S. Winter. „zuschnitt77-Allgemeine Ziele des Brandschutzes“. In: *Brandrede für Holz*. Wien: proHolz Austria, 2020, S. 6. ISBN: 978-3-902926-35-7.
- [46] S. Winter und M. Peter. *Holzbau-Taschenbuch: Grundlagen*. 10., Auflage. Berlin: Ernst und Sohn, 2021. ISBN: 978-3-433-01805-7.
- [47] R. Woschitz. *HoHo Wien - Leuchtturmprojekt für den HolzHybridBau*. 2019. URL: https://www.forum-holzbau.com/pdf/35_IHF2019_Woschitz.pdf (Zugriff am 22.08.2023).
- [48] ZMP-Holzbausysteme. *Lasttabelle Dach/Lasttabelle Decke*. URL: <https://www.massivholzsystem.at/produkte/kielsteg/statik-2/> (Zugriff am 12.08.2023).

Abbildungsverzeichnis

2.1	Keilgezinktes Konstruktionsvollholz [37]	9
2.2	Duobalken, Triobalken in Serienschaltung [37]	9
2.3	Brettschichtholz [37]	10
2.4	Kreuzbalken [37]	10
2.5	Brettsperrholz [40]	11
2.6	Einteilung der Holzbauweisen [31]	13
2.7	Isometrie Fachwerkbau [37]	13
2.8	Isometrie der Verbindungen-Fachwerkbau [37]	14
2.9	Isometrie-Holzskelettbau [37]	15
2.10	Verbindungen-Skelettbau [37]	16
	a Zangen- und Dübelverbindung	16
	b Verbindung Träger-Stütze	16
2.11	Isometrie Holzrahmenbau [37]	16
2.12	Nagelung-stumpfer Stoß [37]	17
2.13	Ansicht-Regelwand [37]	17
2.14	Isometrie-Wandaufriechung [37]	18
2.15	Isometrie Blockbau [37]	19
2.16	Isometrie der Verbindungen-Blockbau [37]	19
2.17	Brandphasen [33]	25
2.18	Bauteilschichten - Decke aus Tragbalken [46]	31
3.1	Standarddeckenplatten [18]	35
3.2	Anschluss Decke-Wand [17]	36
3.3	Deckenstoß auf der Wand [17]	37
3.4	biegesteifer Deckenquerstoß [17]	37
3.5	Biegesteifer Längsstoß [17]	38
3.6	statisches System - Schraubenkraftermittlung [17]	38
3.7	Strömungsdichter Anschluss - Dichtbänder [16]	39
3.8	Wärmedurchgangskoeffizient [16]	39
3.9	Quell- und Schwindverhalten von Plattenwerkstoffen - modifiziert übernommen aus: [16]	40
3.10	Statisches System Einfeldträger [20]	41
3.11	Vorbemessungstabelle 1 [20]	41
3.12	Statisches System Zweifeldträger [20]	42
3.13	Vorbemessungstabelle 2 [20]	42
3.14	Nut-Feder-Verbindung [9]	43
3.15	Nut-Feder, doppelte Ausfällung -Verbindung [9]	44
3.16	Doppelte Ausfällung - Verbindung [9]	44
3.17	Nut mit fremder Feder-Verbindung [9]	44
3.18	Nut mit fremder Feder inkl. doppelter Ausfällung -Verbindung [9]	44
3.19	Brettstapeldecken – Vorbemessung Einfeldträger [9]	45
3.20	Brettstapeldecken – Vorbemessung Zweifeldträger [9]	45

3.21	DD-Element [11]	46
3.22	Vorbemessungstabellen DD-Deckenelemente	47
3.23	Querschnittsform - Stoß im Rippenbereich [19]	48
3.24	Querschnittsform - Stoß zwischen den Rippen (T-Elementen) [19]	48
3.25	Plattenbalkenquerschnitt [19]	49
3.26	Querverbindung mit verschraubtem Stufenfalz [19]	49
3.27	Querverbindung mit verschraubtem Deckbrett [19]	49
3.28	Vorbemessungstabelle Rippenelemente [19]	51
3.29	Lignatur-Kastenelement [21]	52
3.30	Lignatur-Flächenelement [21]	53
3.31	Lignatur-Schalenelement [21]	54
3.32	Vorbemessungsdiagramm-Lignatur [21]	55
3.33	Kielsteg.select KSE 330 Querschnitt [15]	56
3.34	Kielsteg.basic KSE 280 Querschnitt [15]	57
3.35	Elemente Kielsteg [15]	57
3.36	Verlegebreite [15]	58
3.37	Auflagermontage und Schubverbindung der Elemente [15]	58
3.38	links:Kielsteg Querschnitt; rechts:idealisierter Querschnitt [15]	59
3.39	Element mit Überhöhung [15]	59
3.40	Tragsystem-klassische Balkendecke [34]	60
3.41	Holzbalkendecke mit sichtbarer Untersicht [32]	61
3.42	Auflager und Verschleißung [34]	61
3.43	Vergleich Balkenträger Vollholz-BSH-LVL [35]	62
3.44	Abmessungen Stegträger [36]	63
3.45	Abmessungen Dämmträger [36]	63
3.46	Anteile der Durchbiegung [30]	66
3.47	Rippendecke [31]	72
3.48	li: HBV-Brettstapeldecke re: HBV-Brettsperrholzdecke [31]	72
3.49	Verbindungsmittel Holz-Beton-Verbundsysteme [32]	73
3.50	Herstellungsmethoden [32]	73
3.51	Ausführungsvarianten [7]	74
3.52	Schubverbinder [7]	74
3.53	Methode der Verschraubung [7]	75
3.54	Spannungen und Kräfte in Verbundsystemen [31]	76
3.55	Systemskizze und stat. System	78
3.56	Querschnitt	79
3.57	Spannungsverlauf	80
3.58	Spannungsverlauf-Teilquerschnitt	81
4.1	Waldanteil Bundesländer [4]	83
4.2	Beton Hohlkörperboden [39]	84
4.3	Rippendecke (CLT) [39]	84
4.4	Bilanzgrenzenkonzept [13]	86
4.5	$\Delta OI3_{BS}$ Vergleich von Baustoffen [13]	87
4.6	$\Delta OI3_{KON}$ Vergleich von Geschossdecken [13]	88
5.1	HoHo Außenansicht [6]	89
5.2	HoHo Innenansicht [43]	90
5.3	Grundkonzept der Tragstruktur [47]	90

5.4	Konzept der Baustellenmontage [47]	91
5.5	Systemknoten [47]	91

Tabellenverzeichnis

2.1	übliche Holz- und Holzwerkstoff-Abmessungen für Primärkonstruktionen [14][31][37][42]	12
2.2	Teilsicherheitsbeiwerte γ_M für Baustoffeigenschaften und Beanspruchbarkeit [30]	21
2.3	Klassen Lasteinwirkungsdauer [30]	22
2.4	Beispiele für die Zuordnung von Einwirkungen zu Klassen der Lasteinwirkungsdauer [27]	22
2.5	Nutzungskategorien [26]	23
2.6	Nutzlasten im Hochbau [26]	23
2.7	Zuordnung von Tragwerkstypen in Nutzungsklassen [27]	24
2.8	Brennbarkeitsklassen und Brandnebenscheinungen gemäß ÖNORM EN 13501-1 [31]	26
2.9	Einteilung der Brennbarkeit gemäß ÖNORM B 3800-1 [31]	26
2.10	Gebäudeklassen [22]	27
2.11	Anforderungen an das Brandverhalten ausgewählter Querschnitte [23]	27
2.12	Anforderungen an den Feuerwiderstand [23]	28
2.13	Bemessungswerte der Abbrandraten gemäß ÖNORM EN 1995-1-2 [31]	29
2.14	Gebrauchsklassen Holzschutz [32]	30
2.15	Gefährdungen des Holzes abhängig von den Gebrauchsklassen [32]	30
2.16	Anforderungen an den Luftschallschutz [24]	32
2.17	Anforderungen an den Trittschallschutz [24]	32
2.18	Anforderungen an den U-Wert [25]	33
2.19	Gebäudekategorien [25]	33
3.1	Nut-Feder-Abmessungen [9]	43
3.2	Nut-Feder,doppelte Ausfällung -Abmessungen [9]	44
3.3	Doppelte Ausfällung -Abmessungen [9]	44
3.4	Nut mit fremder Feder -Abmessungen [9]	44
3.5	Nut mit fremder Feder inkl. doppelter Ausfällung-Abmessungen [9]	44
3.6	Eigenschaften Lignatur-Kastenelement [21]	52
3.7	Eigenschaften Lignatur-Flächenelement [21]	53
3.8	Eigenschaften Lignatur-Schalenelement [21]	54
3.9	Kielsteg.select [15]	56
3.10	Kielsteg.basic [15]	57
3.11	Kielsteg Typen-Verfügbarkeit [15]	59
3.12	Überhöhung [15]	60
3.13	Vorbemessungstabelle Deckenbalken [35]	64
3.14	Vorbemessungstabelle Stegträger [36]	64
3.15	Kombinationsbeiwerte [29]	66
3.16	Stützweiten ausgewählter Geschoßdecken- Massivbauweise bei 5 KN/m ² Belastung	69
3.17	Stützweiten ausgewählter Geschoßdecken- aufgelöste Tragsysteme bei 4,8 KN/m ² Belastung und Achsabstand 62,5cm	70
3.18	Stützweiten für die Nutzung als Dach bei 1-1,5 KN/m ²	71
3.19	Berechnungsmethoden [31]	75

4.1	CO ₂ Fußabdruck LVL Träger – Stahlbetonträger [38]	83
4.2	CO ₂ Fußabdruck CLT-Rippendecke – Beton-Hohlkörperboden [39]	84
4.3	Zuordnung der verwendeten Geschossdecken [13]	88

Anhang A

Lasttabelle - Kielsteg Bauteile

A.1 Lasttabelle Kielsteg-Decke, Grenzspannweiten für Einfeldträger

Lasttabelle Decke, Grenzspanweiten für Einfeldträger

Nutzung als Decke für Wohnungen und Büros, Nutzungsklasse 1, Klasse der Lasteinwirkungsdauer: mittel

gk (kN/m)	2		2,5		3		3,5		4		4,5		5		5,5		6		6,5		7		7,5		8		gk (kN/m)
Typ	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	6 Hz	8 Hz	Typ
KSE_280-30-113	8,2	7,1	7,8	6,8	7,6	6,5	7,3	6,3	6,5	6,2	5,8	5,8	5,3	5,3	4,8	4,8	4,4	4,4	4,1	4,1	3,8	3,8	3,6	3,6	3,4	3,4	KSE_280-30-113
KSE_280-35-113	8,4	7,2	8,0	6,9	7,7	6,7	7,5	6,5	6,7	6,3	6,0	6,0	5,5	5,5	5,0	5,0	4,6	4,6	4,3	4,3	4,0	4,0	3,7	3,7	3,5	3,5	KSE_280-35-113
KSE_280-40-102	8,5	7,4	8,1	7,1	7,9	6,8	7,6	6,6	7,4	6,4	7,2	6,3	6,8	6,1	6,2	6,0	5,7	5,7	5,3	5,3	5,0	5,0	4,6	4,6	4,4	4,4	KSE_280-40-102
KSE_280-40-93	8,5	7,3	8,1	7,0	7,8	6,8	7,6	6,6	7,4	6,4	7,2	6,2	7,0	6,1	6,8	6,0	6,7	5,9	6,3	5,8	5,9	5,7	5,5	5,5	5,2	5,2	KSE_280-40-93
KSE_280-40-85	8,5	7,3	8,1	7,0	7,8	6,8	7,6	6,6	7,4	6,4	7,2	6,2	7,0	6,1	6,8	6,0	6,7	5,9	6,5	5,8	6,3	5,7	6,2	5,6	6,0	5,5	KSE_280-40-85
KSE_280-50-93	8,7	7,5	8,3	7,2	8,0	7,0	7,8	6,8	7,6	6,6	7,4	6,4	7,3	6,3	7,1	6,2	6,7	6,0	6,3	5,9	5,8	5,8	5,5	5,5	5,1	5,1	KSE_280-50-93
KSE_280-60-85	8,8	7,6	8,4	7,3	8,2	7,1	7,9	6,9	7,7	6,7	7,5	6,5	7,4	6,4	7,2	6,3	7,1	6,1	7,0	6,0	6,5	5,9	6,1	5,9	5,8	5,8	KSE_280-60-85
KSE_330-30-113	9,0	7,8	8,6	7,4	8,0	7,2	6,9	6,9	6,1	6,1	5,5	5,5	5,0	5,0	4,6	4,6	4,2	4,2	3,9	3,9	3,6	3,6	3,4	3,4	3,2	3,2	KSE_330-30-113
KSE_330-35-102	9,2	7,9	8,8	7,6	8,5	7,3	8,2	7,1	7,6	6,9	6,8	6,7	6,1	6,1	5,6	5,6	5,2	5,2	4,8	4,8	4,5	4,5	4,2	4,2	3,9	3,9	KSE_330-35-102
KSE_330-40-102	9,3	8,1	8,9	7,7	8,6	7,5	8,4	7,2	7,8	7,0	7,0	6,9	6,3	6,3	5,8	5,8	5,3	5,3	5,0	5,0	4,6	4,6	4,3	4,3	4,1	4,1	KSE_330-40-102
KSE_330-40-93	9,3	8,1	8,9	7,7	8,6	7,5	8,3	7,2	8,1	7,0	7,9	6,9	7,4	6,7	6,8	6,6	6,2	6,2	5,8	5,8	5,4	5,4	5,1	5,1	4,8	4,8	KSE_330-40-93
KSE_330-40-85	9,3	8,0	8,9	7,7	8,6	7,4	8,3	7,2	8,1	7,0	7,9	6,9	7,7	6,7	7,6	6,6	7,3	6,4	6,7	6,3	6,3	6,2	5,9	5,9	5,5	5,5	KSE_330-40-85
KSE_330-50-93	9,5	8,3	9,2	7,9	8,9	7,7	8,6	7,4	8,4	7,2	8,2	7,1	7,9	6,9	7,2	6,8	6,7	6,7	6,2	6,2	5,8	5,8	5,4	5,4	5,1	5,1	KSE_330-50-93
KSE_330-60-85	9,7	8,4	9,3	8,1	9,0	7,8	8,8	7,6	8,5	7,4	8,3	7,2	8,2	7,1	8,0	6,9	7,8	6,8	7,7	6,7	7,2	6,6	6,8	6,5	6,4	6,4	KSE_330-60-85
KSE_380-43-113	10,2	8,8	9,3	8,5	8,0	8,0	7,0	7,0	6,2	6,2	5,6	5,6	5,1	5,1	4,6	4,6	4,3	4,3	4,0	4,0	3,7	3,7	3,5	3,5	3,3	3,3	KSE_380-43-113
KSE_380-43-102	10,2	8,8	9,8	8,5	9,4	8,2	8,3	7,9	7,4	7,4	6,6	6,6	6,0	6,0	5,5	5,5	5,1	5,1	4,7	4,7	4,4	4,4	4,1	4,1	3,9	3,9	KSE_380-43-102
KSE_380-43-93	10,1	8,8	9,7	8,4	9,4	8,2	9,1	7,9	8,6	7,7	7,7	7,5	7,0	7,0	6,4	6,4	5,9	5,9	5,5	5,5	5,1	5,1	4,8	4,8	4,5	4,5	KSE_380-43-93
KSE_380-43-85	10,1	8,8	9,7	8,4	9,4	8,1	9,1	7,9	8,9	7,7	8,7	7,5	8,1	7,3	7,4	7,2	6,9	6,9	6,4	6,4	5,9	5,9	5,6	5,6	5,2	5,2	KSE_380-43-85
KSE_380-50-93	10,3	8,9	9,9	8,6	9,6	8,3	9,3	8,1	8,9	7,9	8,0	7,7	7,3	7,3	6,7	6,7	6,2	6,2	5,7	5,7	5,3	5,3	5,0	5,0	4,7	4,7	KSE_380-50-93
KSE_380-60-85	10,5	9,1	10,1	8,8	9,8	8,5	9,5	8,2	9,3	8,0	9,1	7,8	8,9	7,7	8,2	7,5	7,6	7,4	7,1	7,1	6,6	6,6	6,2	6,2	5,8	5,8	KSE_380-60-85
KSE_485-40-107	11,2	9,7	10,7	9,3	10,4	9,0	10,1	8,8	9,9	8,5	9,6	8,3	9,4	8,2	9,3	8,0	9,1	7,9	8,9	7,7	8,8	7,6	8,7	7,5	8,5	7,4	KSE_485-40-107
KSE_485-40-96	11,1	9,6	10,7	9,3	10,4	9,0	10,1	8,7	9,8	8,5	9,6	8,3	9,4	8,1	9,2	8,0	9,1	7,9	8,9	7,7	8,8	7,6	8,6	7,5	8,5	7,4	KSE_485-40-96
KSE_485-50-96	11,4	9,9	11,0	9,6	10,7	9,3	10,4	9,0	10,2	8,8	9,9	8,6	9,7	8,4	9,6	8,3	9,4	8,1	9,2	8,0	9,1	7,9	9,0	7,8	8,8	7,7	KSE_485-50-96
KSE_485-60-86	11,6	10,1	11,2	9,7	10,9	9,5	10,6	9,2	10,4	9,0	10,2	8,8	10,0	8,6	9,8	8,5	9,6	8,3	9,5	8,2	9,3	8,1	9,2	8,0	9,1	7,8	KSE_485-60-86
KSE_560-50-138	12,5	10,8	12,1	10,5	11,7	10,1	11,4	9,9	11,1	9,6	10,9	9,4	10,4	9,2	9,6	9,0	8,9	8,9	8,2	8,2	7,7	7,7	7,2	7,2	6,8	6,8	KSE_560-50-138
KSE_560-50-121	12,5	10,8	12,0	10,4	11,7	10,1	11,3	9,8	11,1	9,6	10,8	9,4	10,6	9,2	10,4	9,0	10,2	8,9	10,1	8,7	9,9	8,6	9,4	8,4	8,8	8,3	KSE_560-50-121
KSE_560-60-121	12,7	11,0	12,3	10,7	12,0	10,4	11,6	10,1	11,4	9,8	11,1	9,6	10,9	9,4	10,7	9,3	10,5	9,1	10,3	9,0	9,7	8,8	9,1	8,7	8,6	8,6	KSE_560-60-121
KSE_560-70-107	12,9	11,2	12,5	10,8	12,1	10,5	11,8	10,2	11,6	10,0	11,3	9,8	11,1	9,6	10,9	9,4	10,7	9,3	10,5	9,1	10,4	9,0	10,2	8,9	10,1	8,8	KSE_560-70-107
KSE_610-50-116	12,8	11,1	12,4	10,8	12,1	10,5	11,8	10,2	11,5	9,9	11,2	9,7	11,0	9,5	10,8	9,4	10,6	9,2	10,5	9,1	10,3	8,9	10,2	8,8	10,0	8,7	KSE_610-50-116
KSE_610-50-103	12,8	11,1	12,4	10,7	12,0	10,4	11,7	10,1	11,4	9,9	11,2	9,7	11,0	9,5	10,8	9,3	10,6	9,2	10,4	9,0	10,3	8,9	10,1	8,8	10,0	8,7	KSE_610-50-103
KSE_610-60-103	13,1	11,3	12,7	11,0	12,3	10,7	12,0	10,4	11,7	10,2	11,5	10,0	11,3	9,8	11,1	9,6	10,9	9,4	10,7	9,3	10,6	9,2	10,4	9,0	10,3	8,9	KSE_610-60-103
KSE_610-80-92	13,4	11,6	13,0	11,3	12,7	11,0	12,4	10,7	12,1	10,5	11,9	10,3	11,7	10,1	11,5	9,9	11,3	9,8	11,1	9,6	11,0	9,5	10,8	9,4	10,7	9,3	KSE_610-80-92
KSE_730-70-155	14,9	12,9	14,5	12,5	14,1	12,2	13,7	11,9	13,4	11,6	13,1	11,4	12,7	11,2	11,7	11,0	10,9	10,8	10,1	10,1	9,5	9,5	8,9	8,9	8,4	8,4	KSE_730-70-155
KSE_730-70-134	14,8	12,8	14,4	12,4	14,0	12,1	13,6	11,8	13,3	11,6	13,1	11,3	12,8	11,1	12,6	10,9	12,4	10,7	12,2	10,6	12,0	10,4	11,9	10,3	11,3	10,1	KSE_730-70-134
KSE_730-80-134	15,0	13,0	14,6	12,6	14,2	12,3	13,9	12,0	13,6	11,8	13,3	11,5	13,1	11,3	12,8	11,1	12,6	10,9	12,4	10,8	12,3	10,6	11,6	10,5	11,0	10,4	KSE_730-80-134
KSE_730-90-116	15,1	13,1	14,7	12,7	14,3	12,4	14,0	12,1	13,7	11,9	13,4	11,6	13,2	11,4	13,0	11,2	12,8	11,1	12,6	10,9	12,4	10,8	12,3	10,6	12,1	10,5	KSE_730-90-116
KSE_800-70-130	15,3	13,3	14,9	12,9	14,5	12,6	14,2	12,3	13,9	12,0	13,6	11,8	13,4	11,6	13,1	11,4	12,9	11,2	12,7	11,0	12,6	10,9	12,4	10,7	12,2	10,6	KSE_800-70-130
KSE_800-80-113	15,4	13,4	15,0	13,0	14,6	12,7	14,3	12,4	14,0	12,2	13,8	11,9	13,5	11,7	13,3	11,5	13,1	11,4	12,9	11,2	12,8	11,0	12,6	10,9	12,4	10,8	KSE_800-80-113
KSE_800-90-100	15,5	13,4	15,1	13,1	14,8	12,8	14,4	12,5	14,2	12,3	13,9	12,0	13,7	11,8	13,5	11,7	13,3	11,5	13,1	11,3	12,9	11,2	12,7	11,0	12,6	10,9	KSE_800-90-100

Anhang B

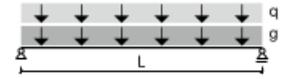
Vorbemessungstabellen für Holzbalkenträger

B.1 Vorbemessungstabelle Konstruktionsvollholz C24, Einfeldträger

B.2 Vorbemessungstabelle Brettschichtholz GL24h, Einfeldträger

B.1

Konstruktionsvollholz C24, Einfeldträger

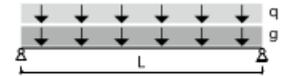


Maximale Spannweite L in m für Einfeldträger		Ständige Lasten q inkl. Nutzlast p in kN/m																
Höhe in mm	Breite in mm	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10	15	20	25
240	140	7,23	6,44	5,91	5,52	5,22	4,97	4,76	4,59	4,44	4,16	3,86	3,62	3,42	3,25	2,65	2,00	1,6
200		6,08	5,40	4,95	4,62	4,36	4,15	3,98	3,83	3,70	3,48	3,23	3,02	2,85	2,71	2,22	1,67	1,34
140		4,32	3,82	3,49	3,25	3,07	2,92	2,8	2,69	2,6	2,45	2,27	2,12	2,00	1,90	1,56	1,17	0,94
240	120	6,92	6,15	5,64	5,26	4,97	4,73	4,54	4,37	4,22	3,86	3,58	3,36	3,17	3,01	2,28	1,71	1,37
200		5,82	5,16	4,72	4,40	4,15	3,95	3,79	3,65	3,52	3,23	2,99	2,80	2,65	2,51	1,90	1,43	1,15
160		4,69	4,15	3,79	3,53	3,33	3,17	3,04	2,92	2,83	2,59	2,40	2,25	2,12	2,01	1,52	1,15	0,92
120		3,55	3,13	2,86	2,66	2,51	2,39	2,28	2,20	2,12	1,95	1,80	1,69	1,59	1,51	1,15	0,86	0,69
280	100	7,61	6,76	6,19	5,78	5,46	5,20	4,98	4,73	4,50	4,12	3,82	3,58	3,38	3,21	2,22	1,67	1,34
240		6,57	5,82	5,33	4,97	4,69	4,47	4,28	4,07	3,86	3,54	3,28	3,07	2,90	2,75	1,90	1,43	1,15
200		5,51	4,88	4,46	4,15	3,92	3,73	3,57	3,40	3,23	2,95	2,74	2,56	2,42	2,30	1,59	1,19	0,96
160		4,44	3,92	3,58	3,33	3,14	2,99	2,86	2,73	2,59	2,37	2,19	2,05	1,94	1,84	1,27	0,96	0,77
140		3,90	3,44	3,14	2,92	2,75	2,62	2,51	2,39	2,27	2,07	1,92	1,80	1,70	1,61	1,11	0,84	0,67
120		3,36	2,95	2,69	2,51	2,36	2,25	2,15	2,05	1,95	1,78	1,65	1,54	1,45	1,38	0,96	0,72	0,57
280		80	7,14	6,32	5,78	5,39	5,08	4,80	4,50	4,25	4,04	3,69	3,42	3,21	2,94	2,65	1,78	1,34	1,07
240	6,15		5,44	4,97	4,63	4,37	4,12	3,86	3,65	3,47	3,17	2,94	2,75	2,53	2,28	1,52	1,15	0,92
200	5,16		4,55	4,15	3,87	3,65	3,44	3,23	3,05	2,89	2,65	2,45	2,30	2,11	1,90	1,27	0,96	0,77
160	4,15		3,65	3,33	3,10	2,92	2,76	2,59	2,44	2,32	2,12	1,96	1,84	1,69	1,52	1,02	0,77	0,61
140	3,64		3,20	2,92	2,72	2,56	2,42	2,27	2,14	2,03	1,86	1,72	1,61	1,48	1,34	0,89	0,67	0,54
120	3,13		2,75	2,51	2,33	2,20	2,08	1,95	1,84	1,74	1,59	1,48	1,38	1,27	1,15	0,77	0,57	0,46
280	60	6,55	5,78	5,28	4,91	4,50	4,17	3,91	3,69	3,51	3,21	2,84	2,49	2,22	2,00	1,34	1,00	0,80
240		5,64	4,97	4,54	4,22	3,86	3,58	3,36	3,17	3,01	2,75	2,44	2,14	1,90	1,71	1,15	0,86	0,69
200		4,72	4,15	3,79	3,52	3,23	2,99	2,80	2,65	2,51	2,30	2,04	1,78	1,59	1,43	0,96	0,72	0,57
160		3,79	3,33	3,04	2,83	2,59	2,40	2,25	2,12	2,01	1,84	1,63	1,43	1,27	1,15	0,77	0,57	0,46
140		3,33	2,92	2,66	2,47	2,27	2,10	1,97	1,86	1,76	1,61	1,43	1,25	1,11	1,00	0,67	0,50	0,40
120		2,86	2,51	2,28	2,12	1,95	1,80	1,69	1,59	1,51	1,38	1,23	1,07	0,96	0,86	0,57	0,43	0,35
100		2,39	2,09	1,91	1,77	1,62	1,50	1,41	1,33	1,26	1,15	1,02	0,90	0,80	0,72	0,48	0,36	0,29

Die Tabelle stellt nur eine Vordimensionierung dar und ersetzt keinen statischen Nachweis.

B.2

Brettschichtholz Festigkeitsklasse GL24h



Höhe in mm	Breite in mm	ständige Lasten q inkl. Nutzlast p in kN/m																
		2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,0	11,0	12,0	15,0	20,0	25,0	30,0
360	240	9,64	9,15	8,74	8,40	8,11	7,85	7,42	7,07	6,78	6,53	6,32	6,13	5,96	5,44	4,73	4,24	3,87
	220	9,40	8,92	8,52	8,18	7,89	7,64	7,22	6,88	6,60	6,35	6,14	5,96	5,79	5,21	4,53	4,06	3,71
	200	9,15	8,67	8,28	7,95	7,67	7,42	7,01	6,68	6,40	6,16	5,96	5,78	5,55	4,97	4,32	3,87	3,54
	180	8,87	8,40	8,02	7,70	7,42	7,18	6,78	6,46	6,19	5,96	5,76	5,50	5,27	4,73	4,10	3,68	3,36
	160	8,57	8,11	7,73	7,42	7,15	6,92	6,53	6,22	5,96	5,72	5,44	5,19	4,97	4,46	3,87	3,47	3,04
	140	8,23	7,78	7,42	7,12	6,86	6,63	6,26	5,96	5,68	5,36	5,09	4,86	4,66	4,18	3,62	3,19	2,67
320	200	8,17	7,74	7,38	7,09	6,83	6,61	6,24	5,94	5,70	5,48	5,30	5,14	4,94	4,43	3,84	3,44	3,15
	180	7,92	7,49	7,15	6,86	6,61	6,40	6,04	5,75	5,51	5,30	5,12	4,89	4,69	4,21	3,65	3,27	2,99
	160	7,64	7,23	6,89	6,61	6,37	6,16	5,82	5,53	5,30	5,10	4,84	4,62	4,43	3,97	3,44	3,08	2,71
	140	7,34	6,94	6,61	6,34	6,11	5,91	5,57	5,30	5,06	4,77	4,53	4,33	4,15	3,72	3,22	2,84	2,37
	120	7,00	6,61	6,30	6,04	5,82	5,62	5,30	5,01	4,69	4,43	4,21	4,01	3,84	3,44	2,99	2,44	2,03
280	200	7,18	6,80	6,48	6,22	6,00	5,80	5,47	5,21	4,99	4,81	4,65	4,50	4,33	3,88	3,37	3,02	2,76
	180	6,96	6,58	6,28	6,02	5,80	5,61	5,29	5,04	4,83	4,65	4,49	4,29	4,11	3,68	3,20	2,86	2,62
	160	6,71	6,35	6,05	5,80	5,59	5,40	5,10	4,85	4,65	4,47	4,24	4,05	3,88	3,48	3,02	2,70	2,37
	140	6,44	6,09	5,80	5,56	5,36	5,18	4,88	4,65	4,43	4,18	3,97	3,79	3,63	3,25	2,82	2,49	2,08
	120	6,14	5,80	5,52	5,29	5,10	4,93	4,65	4,39	4,11	3,88	3,68	3,52	3,37	3,02	2,62	2,14	1,78
	100	5,80	5,47	5,21	4,99	4,81	4,65	4,33	4,01	3,76	3,55	3,37	3,21	3,08	2,76	2,22	1,78	1,49
240	200	6,19	5,85	5,58	5,35	5,15	4,98	4,70	4,47	4,29	4,13	3,99	3,86	3,72	3,33	2,89	2,59	2,36
	180	5,99	5,66	5,40	5,17	4,98	4,82	4,55	4,33	4,14	3,99	3,85	3,68	3,53	3,16	2,74	2,46	2,24
	160	5,78	5,46	5,20	4,98	4,80	4,64	4,38	4,16	3,99	3,83	3,64	3,48	3,33	2,98	2,59	2,32	2,03
	140	5,54	5,23	4,98	4,78	4,60	4,45	4,19	3,99	3,81	3,59	3,41	3,25	3,12	2,79	2,42	2,14	1,78
	120	5,28	4,98	4,74	4,55	4,38	4,23	3,99	3,77	3,53	3,33	3,16	3,02	2,89	2,59	2,24	1,83	1,53
	100	4,98	4,70	4,47	4,29	4,13	3,99	3,72	3,44	3,23	3,04	2,89	2,76	2,64	2,36	1,91	1,53	1,27
200	160	4,83	4,56	4,35	4,16	4,01	3,88	3,65	3,47	3,33	3,20	3,04	2,90	2,78	2,49	2,16	1,93	1,70
	140	4,63	4,37	4,16	3,99	3,84	3,71	3,50	3,33	3,18	3,00	2,85	2,72	2,60	2,33	2,02	1,78	1,49
	120	4,41	4,16	3,96	3,80	3,65	3,53	3,33	3,14	2,94	2,78	2,64	2,52	2,41	2,16	1,87	1,53	1,27
	100	4,16	3,93	3,74	3,58	3,44	3,33	3,10	2,87	2,69	2,54	2,41	2,30	2,20	1,97	1,59	1,27	1,06
160	120	3,54	3,34	3,18	3,04	2,93	2,83	2,66	2,52	2,36	2,23	2,11	2,02	1,93	1,73	1,50	1,22	1,02
	100	3,34	3,15	2,99	2,87	2,76	2,66	2,49	2,30	2,16	2,03	1,93	1,84	1,76	1,58	1,27	1,02	0,85
	80	3,11	2,93	2,78	2,66	2,56	2,44	2,23	2,06	1,93	1,82	1,73	1,65	1,58	1,36	1,02	0,82	0,68
120	100	2,51	2,37	2,25	2,15	2,07	2,00	1,87	1,73	1,62	1,53	1,45	1,38	1,32	1,18	0,96	0,77	0,64
	80	2,34	2,20	2,09	2,00	1,92	1,83	1,67	1,55	1,45	1,37	1,30	1,24	1,18	1,02	0,77	0,61	0,51
100	100	2,10	1,97	1,88	1,80	1,73	1,67	1,56	1,44	1,35	1,27	1,21	1,15	1,10	0,99	0,80	0,64	0,53
	80	1,95	1,83	1,74	1,67	1,61	1,53	1,39	1,29	1,21	1,14	1,08	1,03	0,99	0,85	0,64	0,51	0,43

Die Tabelle stellt nur eine Vordimensionierung dar und ersetzt keinen statischen Nachweis.

Anhang C

Vergleich $\Delta OI3_{KON}$ Geschoßdecken

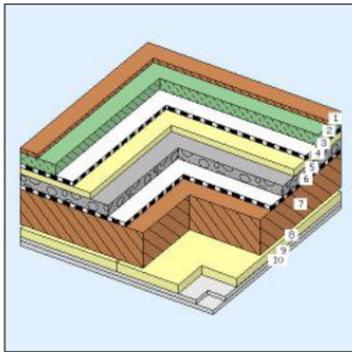
**C.1 GDh 01a/GDh 01c Brettstapel-Geschoßdecke,
Nassestrich**

**C.2 GDI 01a/GDI 01c Leichtbau- (oder Tram-) Geschoßdecke,
Nassestrich**

**C.3 GDm 01a/GDm 01c Stahlbeton-Geschoßdecke,
Nassestrich (Nassräume)**

C.4 GDm 03a/GDm 03c Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton

GDh 01a Brettstapel-Geschoßdecke, Nassestrich



0,287 W/m²K U-Wert²



A OI-Klasse (BG1)³

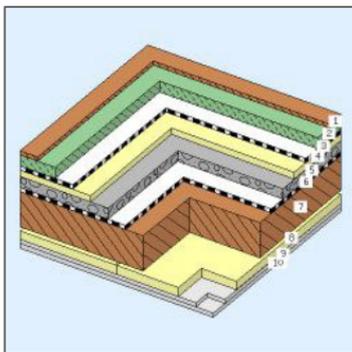


Masse	293,1 kg/m ²	
E _{KON}	0,55 Punkte/m ²	
PENRT	683 MJ/m ²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
GWP100 Summe	-89,0 kg CO ₂ /m ²	
AP	0,196 kg SO ₂ /m ²	

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)

Nr. Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Massivparkett	1,00	0,160	0,06	10
2 Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m ³)	5,00	1,100	0,05	8
3 Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,02	0,500	0,00	1
4 Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	3,00	0,035	0,86	4
5 Splittschüttung (leicht zementgebunden)	5,00	0,700	0,07	1
6 Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,02	0,500	0,00	1
7 Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getro	16,00	0,120	1,33	-3
8 Mineralwolle zw. Schwingbügel	5,00			
62,4 cm (20%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	1,00	0,071	0,14	0
62,4 cm (80%) Glaswolle MW(GW)-W (18 kg/m ³)	4,00	0,038	1,05	3
0,1 cm (0%) Stahlblech, verzinkt	5,00	50,000	0,00	2
9 Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,50	0,250	0,06	4
10 Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,50	0,250	0,06	4
$R_{si} / R_{se} =$			0,100 / 0,100	
R' / R'' (max. relativer Fehler: 11,3%) =			3,881 / 3,096	
Bauteil	38,040	3,489	34	

GDh 01c Brettstapel-Geschoßdecke, Nassestrich



0,289 W/m²K U-Wert²



A OI-Klasse (BG1)³



Masse	293,5 kg/m ²	
E _{KON}	0,52 Punkte/m ²	
PENRT	650 MJ/m ²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
GWP100 Summe	-91,3 kg CO ₂ /m ²	
AP	0,188 kg SO ₂ /m ²	

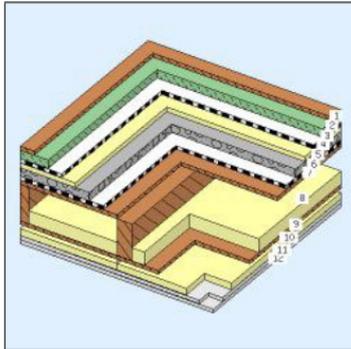
Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)

Nr. Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Massivparkett	1,00	0,160	0,06	10
2 Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m ³)	5,00	1,100	0,05	8
3 Baupapier	0,03	0,170	0,00	0
4 Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	3,00	0,035	0,86	4
5 Splittschüttung (leicht zementgebunden)	5,00	0,700	0,07	1
6 Baupapier	0,03	0,170	0,00	0
7 Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getro	16,00	0,120	1,33	-3
8 Schafwolle zw. Schwingbügel	5,00			
62,4 cm (20%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	1,00	0,071	0,14	0
62,4 cm (80%) Schafwolle-Dämmfilz (30 kg/m ³)	4,00	0,040	1,00	2
0,1 cm (0%) Stahlblech, verzinkt	5,00	50,000	0,00	2
9 Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,50	0,250	0,06	4
10 Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,50	0,250	0,06	4
$R_{si} / R_{se} =$			0,100 / 0,100	
R' / R'' (max. relativer Fehler: 10,7%) =			3,832 / 3,093	
Bauteil	38,060	3,462	32	

¹ nicht relevant für OI3 BG0 ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,12 W/m²K) sind notw. endig, um derartige Gebäude zu

GDI 01a Leichtbau- (oder Tram-) Geschoßdecke, Nassestrich

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)



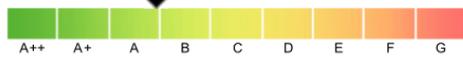
0,223 W/m²K

U-Wert²



A

OI-Klasse (BG1)³

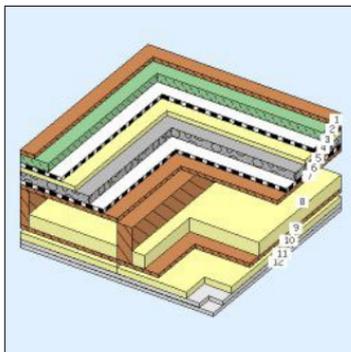


Masse	262,1 kg/m ²	
El_{KON}	0,74 Punkte/m ²	
PENRT	831 MJ/m ²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
GWP100 Summe	-27,5 kg CO ₂ /m ²	
AP	0,217 kg SO ₂ /m ²	

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²	
1	■	Massivparkett	1,00	0,160	0,06	10	
2	■	Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m³)	5,00	1,100	0,05	8	
3	■	Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,02	0,500	0,00	1	
4	■	Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³)	3,00	0,035	0,86	4	
5	■	Splittschüttung (leicht zementgebunden)	5,00	0,700	0,07	1	
6	■	Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,02	0,500	0,00	1	
7	■	OSB-Platten (650 kg/m³)	2,20	0,130	0,17	5	
8	■	<i>Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)</i>	22,00				
		53,5 cm (54%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	13	14,00	0,875	0,16	0
		53,5 cm (31%) Glaswolle MW(GW)-W (18 kg/m³)	8,00	0,038	2,11	5	
		9 cm (14%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tecl	22,00	0,120	1,83	-1	
9	■	OSB-Platten (650 kg/m³)	2,20	0,130	0,17	5	
10	■	<i>Mineralwolle zw. Schwingbügel</i>	5,00				
		62,4 cm (20%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	6	1,00	0,071	0,14	0
		62,4 cm (80%) Glaswolle MW(GW)-W (18 kg/m³)	4,00	0,038	1,05	3	
		0,1 cm (0%) Stahlblech, verzinkt	5,00	50,000	0,00	12	
11	■	Gipskartonplatte (900 kg/m³)	1,50	0,250	0,06	4	
12	■	Gipskartonplatte (900 kg/m³)	1,50	0,250	0,06	4	
				$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,100		
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 13,3%) =	5,085 / 3,890		
Bauteil			48,440	4,487	52		

GDI 01c Leichtbau- (oder Tram-) Geschoßdecke, Nassestrich

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)



0,225 W/m²K

U-Wert²



A

OI-Klasse (BG1)³



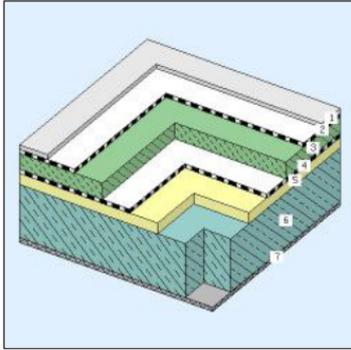
Masse	257,5 kg/m ²	
El_{KON}	0,65 Punkte/m ²	
PENRT	595 MJ/m ²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
GWP100 Summe	-32,9 kg CO ₂ /m ²	
AP	0,161 kg SO ₂ /m ²	

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²	
1	■	Massivparkett	1,00	0,160	0,06	10	
2	■	Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m³)	5,00	1,100	0,05	8	
3	■	Baupapier	0,03	0,170	0,00	10	
4	■	Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m³)	3,00	0,035	0,86	4	
5	■	Splittschüttung (leicht zementgebunden)	5,00	0,700	0,07	1	
6	■	Baupapier	0,03	0,170	0,00	10	
7	■	Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getro	2,40	0,120	0,20	-0	
8	■	<i>Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)</i>	22,00				
		53,5 cm (54%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	13	14,00	0,875	0,16	0
		53,5 cm (31%) Schafwolle-Dämmfilz (30 kg/m³)	8,00	0,040	2,00	3	
		9 cm (14%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, tecl	22,00	0,120	1,83	-1	
9	■	Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getro	2,40	0,120	0,20	-0	
10	■	<i>Schafwolle zw. Schwingbügel</i>	5,00				
		62,4 cm (20%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	6	1,00	0,071	0,14	0
		62,4 cm (80%) Schafwolle-Dämmfilz (30 kg/m³)	4,00	0,040	1,00	2	
		0,1 cm (0%) Stahlblech, verzinkt	5,00	50,000	0,00	12	
11	■	Gipskartonplatte (900 kg/m³)	1,50	0,250	0,06	4	
12	■	Gipskartonplatte (900 kg/m³)	1,50	0,250	0,06	4	
				$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,100		
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 12,5%) =	5,008 / 3,895		
Bauteil			48,860	4,452	36		

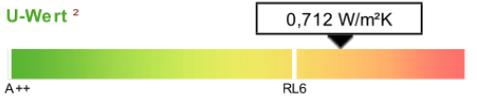
¹ nicht relevant für OI3 BG0 ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,12 W/m²K) sind notw. endig, um derartige Gebäude zu

GDM 01a Stahlbeton-Geschoßdecke, Nassestrich (Nassräume)

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)



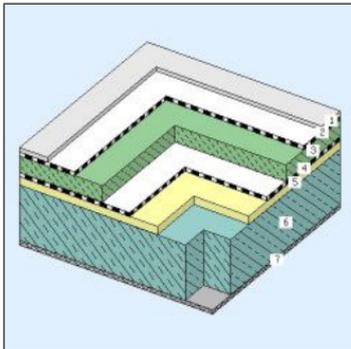
Nr.	Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	Fliesen (2300 kg/m³)	0,80	1,300	0,01	18
2	Flüssige Folie	0,02	0,500	0,00	1
3	Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m³)	6,00	1,100	0,05	10
4	Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,02	0,500	0,00	1
5	EPS-T 1000 (17 kg/m³)	4,00	0,038	1,05	4
6	Normalbeton mit Bewehrung 1 % (2300 kg/m³)	20,00	2,300	0,09	46
7	Spachtel - Gipsputz	0,30	0,800	0,00	1
				$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,100
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	1,405 / 1,405
Bauteil		31,140	1,405	81	



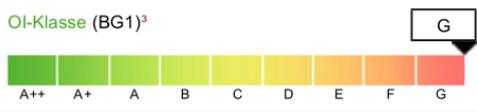
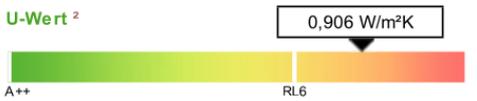
Masse	591,4 kg/m²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
E_{KON}	0,50 Punkte/m²	
PENRT	999 MJ/m²	
GWP100 Summe	91,6 kg CO ₂ /m²	
AP	0,240 kg SO ₂ /m²	

GDM 01c Stahlbeton-Geschoßdecke, Nassestrich (Nassräume)

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)



Nr.	Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	Fliesen (2300 kg/m³)	0,80	1,300	0,01	18
2	Flüssige Folie	0,02	0,500	0,00	1
3	Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m³)	6,00	1,100	0,05	10
4	Baupapier	0,03	0,170	0,00	0
5	Schafwolle-Dämmfilz (30 kg/m³)	3,00	0,040	0,75	1
6	Normalbeton mit Bewehrung 1 % (2300 kg/m³)	20,00	2,300	0,09	46
7	Spachtel - Gipsputz	0,30	0,800	0,00	1
				$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,100
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	1,104 / 1,104
Bauteil		30,150	1,104	77	

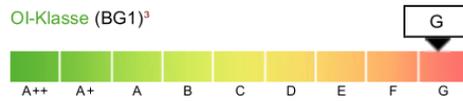
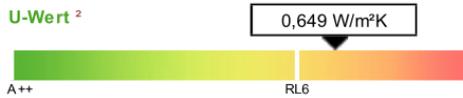
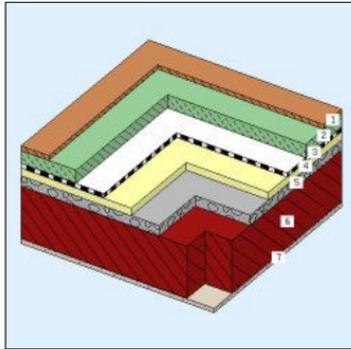


Masse	591,6 kg/m²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
E_{KON}	0,48 Punkte/m²	
PENRT	938 MJ/m²	
GWP100 Summe	88,7 kg CO ₂ /m²	
AP	0,232 kg SO ₂ /m²	

¹ nicht relevant für OI3 BG0 ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,12 W/m²K) sind notw. endig, um derartige Gebäude zu

GDM 03a Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)

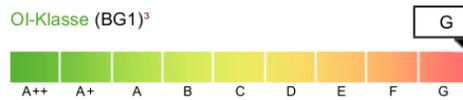
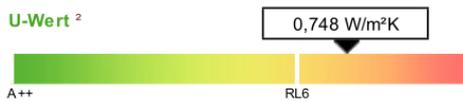
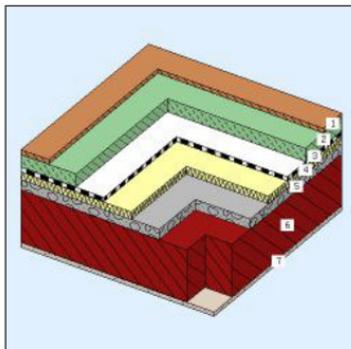


Masse	421,5 kg/m ²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
El_{KON}	0,42 Punkte/m ²	
PENRT	870 MJ/m ²	
GWP100 Summe	62,3 kg CO ₂ /m ²	
AP	0,217 kg SO ₂ /m ²	

Nr. Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Massivparkett	1,00	0,160	0,06	10
2 Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m ³)	5,00	1,100	0,05	8
3 Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,01	0,500	0,00	10
4 Glaswolle MW(GW)-W (32 kg/m ³)	3,00	0,035	0,86	4
5 Splittschüttung (leicht zementgebunden)	4,00	0,700	0,06	1
6 Ziegelhohlkörper ohne Aufbeton (Decke)	20,00	0,670	0,30	42
7 Edelputzmörtel CR Kalkzement (1600 kg/m ³)	1,50	0,780	0,02	3
			$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,100
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	1,540 / 1,540
Bauteil	34,510	1,540	68	

GDM 03c Ziegel-Geschoßdecke ohne Aufbeton

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben (BG1)



Masse	426,0 kg/m ²	Nutzungsd.: nein Art: Neubau
El_{KON}	0,51 Punkte/m ²	
PENRT	855 MJ/m ²	
GWP100 Summe	52,7 kg CO ₂ /m ²	
AP	0,212 kg SO ₂ /m ²	

Nr. Typ Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 Pkt/m ²
1 Massivparkett	1,00	0,160	0,06	10
2 Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m ³)	5,00	1,100	0,05	8
3 Baupapier	0,03	0,170	0,00	10
4 Holzfaser WF-W (130 kg/m ³)	3,00	0,046	0,65	3
5 Splittschüttung (leicht zementgebunden)	4,00	0,700	0,06	1
6 Ziegelhohlkörper ohne Aufbeton (Decke)	20,00	0,670	0,30	42
7 Lehmputz	1,50	0,810	0,02	1
			$R_{si} / R_{se} =$	0,100 / 0,100
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	1,336 / 1,336
Bauteil	34,530	1,336	66	

¹ nicht relevant für OI3 BG0 ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++: U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,12 W/m²K) sind noch niedrig, um derartige Gebäude zu errichten. **RL6:** OIB Richtlinie 6 (April 2007): In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,40 W/m²K) für alle Neubauten sowie in standgesetzte bzw. erneuerte Bauteile. ³ Für die OI-Klasse wird neben den ökologischen Kennzahlen auch der U-Wert des Bauteils berücksichtigt

Anhang D

Modifikationsbeiwerte k_{mod}

Baustoff	Norm	Nutzungs- klasse	Klasse der Lasteinwirkungsdauer				
			ständige Einwir- kung	lange Einwir- kung	mittlere Einwir- kung	kurze Einwir- kung	sehr kurze Einwir- kung
Vollholz	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Brettschicht- holz	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Furnier- schichtholz (LVL)	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Sperrholz	EN 636 Typ EN 636-1 Typ EN 636-2 Typ EN 636-3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Spanplatten	EN 312 Typ P4, Typ P5 Typ P5 Typ P6, Typ P7 Typ P7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Holzfaser- platten, hart	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA1 oder 2 HB.HLA1 oder 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Holzfaser- platten, mittelhart	EN 622-3 MBH.LA1 oder 2 MBH.HLS1 oder 2 MBH.HLS1 oder 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
Holzfaser- platten, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80

Anhang E

Vorbemessungstabellen für die Nutzung als Dach

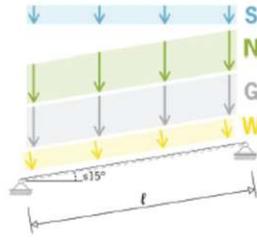
E.1 Vorbemessungstabelle Brettsperrholz

E.2 Vorbemessungstabelle Lignatur LSE-Elemente

E.3 Vorbemessungstabelle KLH-Rippenelemente

E.4 Vorbemessungstabelle Kielsteg

E.1



Ständige Auflast	Schnee auf dem Dach	Spannweite Einfeldträger ℓ										
		$G_{2,k}$ [kN/m ²]	$S_2 = \mu^r S_{2,k}$ [kN/m ²]	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
0,50	0,5											
	1,0	3s 60 DL	3s 70 DL	3s 80 DL	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	3s 120 DL		5s 140 DL	5s 150 DL	
	1,5											5s 160 DL
	2,0	3s 70 DL	3s 80 DL	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	3s 120 DL	3s 120 DL	5s 140 DL		5s 160 DL	5s 170 DL
	3,0	3s 80 DL	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	
	4,0	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 120 DL		5s 140 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	
	5,0	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL		5s 140 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL	
1,00	0,5											
	1,0	3s 70 DL	3s 80 DL	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL		5s 140 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	
	1,5						5s 120 DL			5s 160 DL		
	2,0	3s 80 DL	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL		5s 150 DL	5s 170 DL	5s 180 DL	
	3,0	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 170 DL	5s 190 DL	7ss 200 DL	7ss 210 DL	
	4,0	3s 90 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	5s 190 DL	7ss 200 DL	7ss 210 DL	7ss 220 DL	
	5,0	3s 100 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 210 DL	7ss 220 DL			
1,50	0,5											
	1,0	3s 70 DL	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	5s 190 DL		
	1,5											
	2,0	3s 80 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL
	3,0	3s 90 DL	3s 100 DL	3s 120 DL		5s 140 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL
	4,0	3s 90 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL	7ss 230 DL
	5,0	3s 100 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	5s 190 DL	7ss 200 DL	7ss 210 DL	7ss 230 DL		
2,00	0,5											
	1,0	3s 80 DL	3s 90 DL	3s 110 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL		5s 170 DL	5s 190 DL	7ss 200 DL	
	1,5											
	2,0	3s 80 DL	3s 100 DL		5s 130 DL		5s 160 DL					
	3,0	3s 90 DL	3s 110 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	5s 190 DL	7ss 200 DL	7ss 210 DL	7ss 220 DL	
	4,0	3s 90 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 210 DL	7ss 220 DL	7ss 230 DL	
	5,0	3s 100 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL	7ss 230 DL		
2,50	0,5											
	1,0	3s 80 DL	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL		5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	
	1,5											
	2,0	3s 90 DL		3s 120 DL	5s 140 DL	5s 150 DL						
	3,0	3s 90 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL	7ss 230 DL	
	4,0	3s 100 DL	3s 110 DL	5s 130 DL	5s 150 DL	5s 170 DL	5s 190 DL	7ss 200 DL	7ss 210 DL	7ss 230 DL		
	5,0	3s 100 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 180 DL	5s 200 DL	7ss 210 DL	7ss 220 DL	7ss 240 DL		

R 0

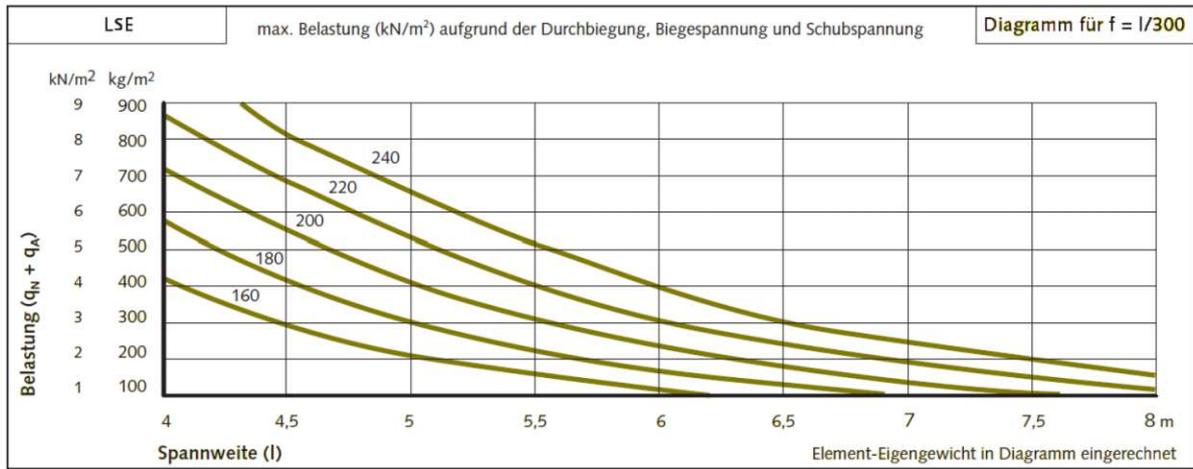
R 30

R 60

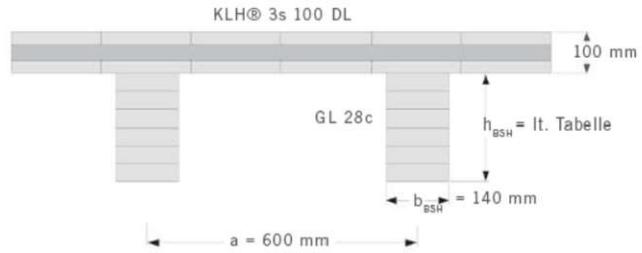
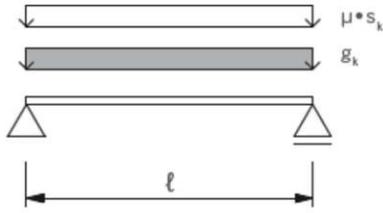
R 90

R 120

E.2



E.3



Ständige Auflast	Schneelast auf dem Dach	ERFORDERLICHE RIPPENHÖHE [mm]				
		FÜR EINE SPANNWEITE l				
g_k^*	$s = \mu \cdot s_k$	8,00 m	9,00 m	10,00 m	11,00 m	12,00 m
[kN/m ²]	[kN/m ²]					
0,50	1,00	160	200	240	240	240
	2,00	200	240	280	280	320
	3,00	240	280	320	320	360
	4,00	280	320	360	360	400
	5,00	320	360	400	400	440
	6,00	360	400	440	440	480
	7,00	400	440	480	480	520
1,00	1,00	200	240	280	280	320
	2,00	240	280	320	320	360
	3,00	280	320	360	360	400
	4,00	320	360	400	400	440
	5,00	360	400	440	440	480
	6,00	400	440	480	480	520
	7,00	440	480	520	520	560
1,50	1,00	240	280	320	320	360
	2,00	280	320	360	360	400
	3,00	320	360	400	400	440
	4,00	360	400	440	440	480
	5,00	400	440	480	480	520
	6,00	440	480	520	520	560
	7,00	480	520	560	560	600
2,00	1,00	280	320	360	360	400
	2,00	320	360	400	400	440
	3,00	360	400	440	440	480
	4,00	400	440	480	480	520
	5,00	440	480	520	520	560
	6,00	480	520	560	560	600
	7,00	520	560	600	600	640
2,50	1,00	320	360	400	400	440
	2,00	360	400	440	440	480
	3,00	400	440	480	480	520
	4,00	440	480	520	520	560
	5,00	480	520	560	560	600
	6,00	520	560	600	600	640
	7,00	560	600	640	640	680

Lasttabelle Dach, Grenzspanweiten für Einfeldträger

Nutzung als Dach, Nutzungsklasse 1, Klasse der Lasteinwirkungsdauer: kurz

gk (kN/m) Typ	1		1,5		2		2,5		3		3,5		4		4,5		5		5,5		6		6,5		7		gk (kN/m) Typ	
	l/200	l/300																										
KSE_280-30-113	14,3	12,5	12,9	11,2	11,9	10,4	11,1	9,7	9,5	9,2	8,3	8,3	7,3	7,3	6,6	6,6	5,9	5,9	5,4	5,4	5,0	5,0	4,6	4,6	4,3	4,3	KSE_280-30-113	
KSE_280-35-113	14,7	12,8	13,2	11,6	12,2	10,7	11,5	10,0	9,8	9,5	8,5	8,5	7,5	7,5	6,8	6,8	6,1	6,1	5,6	5,6	5,2	5,2	4,8	4,8	4,5	4,5	KSE_280-35-113	
KSE_280-40-102	14,9	13,0	13,5	11,8	12,5	10,9	11,8	10,3	11,2	9,7	10,6	9,3	9,4	9,0	8,4	8,4	7,6	7,6	7,0	7,0	6,5	6,5	6,0	6,0	5,6	5,6	KSE_280-40-102	
KSE_280-40-93	14,9	13,0	13,5	11,8	12,5	10,9	11,7	10,3	11,1	9,7	10,7	9,3	10,2	8,9	9,9	8,6	9,0	8,4	8,3	8,1	7,6	7,6	7,1	7,1	6,6	6,6	KSE_280-40-93	
KSE_280-40-85	14,8	13,0	13,4	11,7	12,5	10,9	11,7	10,2	11,1	9,7	10,6	9,3	10,2	8,9	9,9	8,6	9,6	8,3	9,3	8,1	8,9	7,9	8,3	7,7	7,7	7,5	7,5	KSE_280-40-85
KSE_280-50-93	15,3	13,3	13,9	12,1	12,9	11,3	12,2	10,6	11,6	10,1	11,1	9,7	10,6	9,3	9,9	9,0	9,0	8,7	8,2	8,2	7,6	7,6	7,0	7,0	6,6	6,6	KSE_280-50-93	
KSE_280-60-85	15,5	13,5	14,1	12,4	13,2	11,5	12,4	10,9	11,8	10,3	11,3	9,9	10,9	9,5	10,5	9,2	10,0	8,9	9,1	8,7	8,4	8,4	7,9	7,9	7,3	7,3	KSE_280-60-85	
KSE_330-30-113	16,1	14,0	14,5	12,7	12,8	11,7	10,6	10,6	9,0	9,0	7,8	7,8	6,9	6,9	6,2	6,2	5,6	5,6	5,1	5,1	4,7	4,7	4,4	4,4	4,1	4,1	KSE_330-30-113	
KSE_330-35-102	16,5	14,4	14,9	13,0	13,8	12,1	12,9	11,3	11,0	10,8	9,6	9,6	8,5	8,5	7,6	7,6	6,9	6,9	6,3	6,3	5,8	5,8	5,4	5,4	5,0	5,0	KSE_330-35-102	
KSE_330-40-102	16,9	14,7	15,3	13,4	14,2	12,4	13,2	11,6	11,3	11,1	9,9	9,9	8,7	8,7	7,8	7,8	7,1	7,1	6,5	6,5	6,0	6,0	5,6	5,6	5,2	5,2	KSE_330-40-102	
KSE_330-40-93	16,8	14,7	15,3	13,3	14,1	12,4	13,3	11,6	12,6	11,0	11,5	10,6	10,2	10,1	9,2	9,2	8,3	8,3	7,6	7,6	7,0	7,0	6,5	6,5	6,1	6,1	KSE_330-40-93	
KSE_330-40-85	16,8	14,6	15,2	13,3	14,1	12,3	13,3	11,6	12,6	11,0	12,1	10,5	11,6	10,1	10,7	9,8	9,7	9,5	8,9	8,9	8,2	8,2	7,6	7,6	7,1	7,1	KSE_330-40-85	
KSE_330-50-93	17,3	15,2	15,8	13,8	14,7	12,8	13,8	12,1	13,2	11,5	12,2	11,0	10,9	10,6	9,8	9,8	8,9	8,9	8,2	8,2	7,5	7,5	7,0	7,0	6,5	6,5	KSE_330-50-93	
KSE_330-60-85	17,6	15,4	16,1	14,1	15,0	13,1	14,2	12,4	13,5	11,8	13,0	11,3	12,5	10,9	12,1	10,5	11,0	10,2	10,1	9,9	9,3	9,3	8,7	8,7	8,1	8,1	KSE_330-60-85	
KSE_380-43-113	19,0	16,6	15,9	15,1	12,7	12,7	10,5	10,5	9,0	9,0	7,9	7,9	7,0	7,0	6,3	6,3	5,7	5,7	5,2	5,2	4,8	4,8	4,5	4,5	4,2	4,2	KSE_380-43-113	
KSE_380-43-102	18,9	16,5	17,2	15,0	15,0	13,9	12,5	12,5	10,7	10,7	9,3	9,3	8,3	8,3	7,4	7,4	6,8	6,8	6,2	6,2	5,7	5,7	5,3	5,3	4,9	4,9	KSE_380-43-102	
KSE_380-43-93	18,9	16,5	17,2	15,0	15,9	13,9	14,5	13,1	12,4	12,4	10,9	10,9	9,6	9,6	8,7	8,7	7,9	7,9	7,2	7,2	6,7	6,7	6,2	6,2	5,8	5,8	KSE_380-43-93	
KSE_380-43-85	18,8	16,4	17,1	15,0	15,9	13,9	15,0	13,1	14,2	12,4	12,6	11,9	11,2	11,2	10,0	10,0	9,1	9,1	8,4	8,4	7,7	7,7	7,2	7,2	6,7	6,7	KSE_380-43-85	
KSE_380-50-93	19,3	16,8	17,6	15,4	16,4	14,3	15,0	13,5	12,9	12,8	11,3	11,3	10,0	10,0	9,0	9,0	8,2	8,2	7,5	7,5	6,9	6,9	6,4	6,4	6,0	6,0	KSE_380-50-93	
KSE_380-60-85	19,7	17,2	18,0	15,7	16,8	14,7	15,9	13,9	15,1	13,2	13,7	12,7	12,3	12,2	11,1	11,1	10,1	10,1	9,2	9,2	8,5	8,5	7,9	7,9	7,4	7,4	KSE_380-60-85	
KSE_485-40-107	21,3	18,6	19,6	17,1	18,3	16,0	17,3	15,1	16,4	14,4	15,8	13,8	15,0	13,3	14,2	12,8	13,6	12,4	13,0	12,1	12,5	11,8	12,1	11,5	11,7	11,2	11,2	KSE_485-40-107
KSE_485-40-96	21,2	18,5	19,4	17,0	18,2	15,9	17,2	15,0	16,4	14,3	15,7	13,7	14,9	13,2	14,2	12,8	13,5	12,4	13,0	12,1	12,5	11,7	12,0	11,5	11,6	11,2	11,2	KSE_485-40-96
KSE_485-50-96	22,0	19,2	20,3	17,7	19,0	16,6	18,0	15,7	17,2	15,0	16,5	14,4	15,9	13,9	15,4	13,4	14,8	13,0	14,2	12,7	13,6	12,3	13,1	12,1	12,7	11,8	11,8	KSE_485-50-96
KSE_485-60-86	22,4	19,6	20,8	18,1	19,5	17,0	18,5	16,2	17,7	15,4	17,0	14,8	16,4	14,3	15,9	13,9	15,4	13,5	15,0	13,1	14,5	12,8	14,0	12,5	13,6	12,2	12,2	KSE_485-60-86
KSE_560-50-138	24,9	21,7	22,9	20,0	21,4	18,7	20,2	17,7	19,3	16,8	18,2	16,2	16,3	15,6	14,7	14,7	13,4	13,4	12,3	12,3	11,4	11,4	10,6	10,6	9,9	9,9	KSE_560-50-138	
KSE_560-50-121	24,7	21,5	22,7	19,8	21,3	18,6	20,1	17,6	19,2	16,8	18,4	16,1	17,8	15,5	16,9	15,0	16,2	14,6	15,5	14,2	14,8	13,8	13,7	13,5	12,8	12,8	KSE_560-50-121	
KSE_560-60-121	25,4	22,2	23,5	20,5	22,0	19,2	20,9	18,2	19,9	17,4	19,1	16,7	18,5	16,1	17,9	15,6	16,8	15,1	15,5	14,7	14,3	14,3	13,3	13,3	12,5	12,5	KSE_560-60-121	
KSE_560-70-107	25,7	22,5	23,9	20,9	22,5	19,6	21,3	18,6	20,4	17,8	19,6	17,1	18,9	16,5	18,3	16,0	17,8	15,6	17,3	15,2	16,9	14,8	16,3	14,4	15,3	14,1	14,1	KSE_560-70-107
KSE_610-50-116	25,6	22,4	23,7	20,7	22,3	19,5	21,2	18,5	20,2	17,7	19,4	17,0	18,3	16,4	17,4	15,8	16,7	15,4	16,0	15,0	15,4	14,6	14,9	14,3	14,4	14,0	14,0	KSE_610-50-116
KSE_610-50-103	25,4	22,2	23,6	20,6	22,1	19,3	21,0	18,4	20,1	17,6	19,2	16,9	18,2	16,3	17,3	15,8	16,5	15,3	15,9	14,9	15,3	14,6	14,8	14,2	14,3	13,9	13,9	KSE_610-50-103
KSE_610-60-103	26,2	22,9	24,3	21,3	22,9	20,0	21,8	19,0	20,9	18,2	20,1	17,5	19,4	16,9	18,6	16,4	17,8	15,9	17,1	15,5	16,4	15,1	15,9	14,8	15,4	14,5	14,5	KSE_610-60-103
KSE_610-80-92	27,0	23,6	25,3	22,1	23,9	20,9	22,8	19,9	21,8	19,1	21,0	18,4	20,4	17,8	19,7	17,2	19,2	16,8	18,7	16,3	18,2	16,0	17,6	15,6	17,0	15,3	15,3	KSE_610-80-92
KSE_730-70-155	31,2	27,3	29,0	25,4	27,4	23,9	26,0	22,7	24,6	21,8	21,8	20,9	19,6	19,6	17,8	17,8	16,3	16,3	15,1	15,1	14,0	14,0	13,0	13,0	12,2	12,2	KSE_730-70-155	
KSE_730-70-134	30,9	27,0	28,8	25,1	27,2	23,7	25,8	22,6	24,7	21,6	23,8	20,8	23,0	20,1	22,1	19,5	21,1	18,9	20,0	18,5	18,6	18,0	17,4	17,4	16,3	16,3	KSE_730-70-134	
KSE_730-80-134	31,5	27,5	29,4	25,7	27,8	24,3	26,5	23,1	25,4	22,2	24,4	21,4	23,6	20,6	22,9	20,0	21,1	19,5	19,5	19,0	18,1	18,1	16,9	16,9	15,9	15,9	KSE_730-80-134	
KSE_730-90-116	31,6	27,6	29,6	25,9	28,1	24,5	26,8	23,4	25,7	22,5	24,8	21,7	24,0	21,0	23,3	20,4	22,7	19,8	22,1	19,3	21,3	18,9	20,6	18,4	20,0	18,1	18,1	KSE_730-90-116
KSE_800-70-130	32,2	28,2	30,2	26,4	28,6	25,0	27,2	23,8	26,1	22,8	25,1	22,0	23,9	21,3	22,8	20,7	21,8	20,1	21,0	19,6	20,3	19,1	19,6	18,7	19,0	18,3	18,3	KSE_800-70-130
KSE_800-80-113	32,5	28,4	30,5	26,7	29,0	25,3	27,7	24,2	26,6	23,2	25,7	22,4	24,8	21,7	23,7	21,1	22,7	20,5	21,9	20,0	21,1	19,6	20,4	19,1	19,8	18,8	18,8	KSE_800-80-113
KSE_800-90-100	32,6	28,5	30,8	26,9	29,3	25,6	28,0	24,5	27,0	23,5	26,0	22,7	25,2	22,0	24,4	21,4	23,5	20,9	22,6	20,4	21,8	19,9	21,1	19,5	20,5	19,1	19,1	KSE_800-90-100