

Bewertung von Decken aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen beim Einsatz im Wohnungsbau unter Berücksichtigung des Kostenaspektes

Von der Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung der Brandenburgischen
Technischen Universität Cottbus zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Architekt
Lars Keppler
aus Mittweida / Sa.

Gutachter: Prof. Dipl.-Ing. Bernd Huckriede, Architekt
Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak, Architekt

Tag der Disputation: 24.10.2008

Inhaltsverzeichnis

Abstract	8
Vorwort	9
Einleitung	10
Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit.....	11
Vorgehensweise.....	12
1 Die Entwicklung vorgefertigter Holzkonstruktionen im 19. und frühen 20. Jahrhundert.....	15
1.1 Zielstellung und Eingrenzung	15
1.2 Die Konstruktionen der Firma Stephan	15
1.3 Otto Hetzer – Der Pionier des Holzleimbaus.....	17
1.4 Industrialisierung der Vorfertigung des Holzhausbaus unter Konrad Wachsmann	20
1.5 Bauweisen von vorgefertigten Holzkonstruktionen.....	24
1.5.1 Vorgefertigte Holzhauskonstruktionen in Nordamerika.....	24
1.5.2 Tafel- oder Plattenbauweise.....	24
1.6 Auswertung von Veröffentlichungen über vorgefertigte Holzkonstruktionen	26
1.6.1 Die Entwicklung neuer Verbindungsmethoden und Verbindungsmitte.....	26
1.6.2 Die Entwicklung flächiger, zur Vorfertigung geeigneter Wand-, Dach- und Deckenelemente	30
1.7 Zusammenfassung.....	33
2 Der heutige Stand der Entwicklung von vorgefertigten flächigen Holzbausystemen	35
2.1 Produktübersicht einiger bedeutender Hersteller vorgefertigter flächiger Holzbausysteme.....	35
2.1.1 Einleitung mit Begriffsdefinitionen	35
2.1.2 Leimholz-Elemente	36
2.1.2.1 K.Profidecke	36
2.1.2.2 KLIMAPLAN-Wand	37
2.1.2.3 Pius Blockholz	38

2.1.2.4	PUR-Massivholzplatten	39
2.1.2.5	Ladenburger-Leimholz-Element.....	39
2.1.2.6	Schaffitzel-SHD	41
2.1.3	Brettstapel- und Dübelholzelemente	41
2.1.3.1	Kaufmann Dübelholzelemente.....	41
2.1.4	Brettsperrholt-Elemente	44
2.1.4.1	Holz 100.....	44
2.1.4.2	KLH Kreuzlagenholz	45
2.1.4.3	LenoTec / LenoPlan	45
2.1.4.4	Santner HolzBauElement.....	46
2.1.5	Zusammengesetzte Flächenelemente	47
2.1.5.1	Lignotrend.....	47
2.1.5.2	Lignatur.....	47
2.1.5.3	Ligu	50
2.1.5.4	Multibox / Multisteg	50
2.1.5.5	Celltec	51
2.1.6	Elemente aus Holzwerkstoffen	51
2.1.6.1	Homogen80.....	51
2.1.6.2	LenoStrand	52
2.1.7	Holz-Beton-Verbundbauweise	52
2.1.7.1	Holuton W und Holuton B Decken.....	52
2.2	Konstruktive Lösungen bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzbausystemen	56
2.2.1	Aufbauten und Verbindungsmöglichkeiten von Wandsystemen	57
2.2.1.1	Aufbauten bei Wänden aus Leimholz-, Brettstapel- und Brettsperrholtz.....	57
2.2.1.2	Verbindungsmöglichkeiten bei Wänden aus Leimholz-, Brettstapel- und Brettsperrholzelementen	58
2.2.1.3	Aufbauten bei Wänden aus Holzwerkstoffelementen.....	59
2.2.1.4	Verbindungsmöglichkeiten bei Wänden aus Holzwerkstoffelementen	59
2.2.2	Fußbodenaufbauten und Verbindungsmöglichkeiten von Deckensystemen	60
2.2.2.1	Fußbodenaufbauten bei Decken aus Leimholz-, Brettstapel-, Brettsperrholzelementen	60

2.2.2.2	Verbindungs möglichkeiten bei Decken aus Leimholz-, Brettstapel- und Bretts perrholzelementen	61
2.2.2.3	Fußboden aufbauten bei Decken aus zusammengesetzten Flächen elementen	64
2.2.2.4	Verbindungs möglichkeiten bei Decken aus zusammengesetzten Flächen elementen	64
2.2.2.5	Fußboden aufbauten bei Decken in Holz-Beton-Verbundbauweise.....	65
2.2.2.6	Verbindungs möglichkeiten bei Decken in Holz-Beton- Verbundbauweise.....	65
2.2.3	Aufbauten und Verbindungs möglichkeiten von Dachsystemen.....	66
2.2.3.1	Aufbauten bei Dächern aus Leimholz-, Brettstapel-, Bretts perrholzelementen	66
2.2.3.2	Verbindungs möglichkeiten bei Dächern aus Leimholz-, Brettstapel-, Bretts perrholzelementen.....	66
2.2.3.3	Aufbauten bei Dächern aus zusammengesetzten Flächen elementen.....	67
2.2.3.4	Verbindungs möglichkeiten bei Dächern aus zusammengesetzten Flächen elementen	67
2.3	Exkurs: Fassaden an vorgefertigten flächigen Holzbau systemen.....	68
2.3.1	Fassadenbekleidungen aus massivem Holz	68
2.3.2	Fassadenbekleidungen aus Holzwerkstoffen und Schichtstoffplatten	71
2.3.3	Fassadenbekleidungen aus Wärmedämmverbundsystemen	76
2.4	Vorfertigung - Transport - Montage.....	77
2.4.1	Vorfertigung von flächigen Holzbau elementen	77
2.4.2	Transport der vorgefertigten Elemente	79
2.4.3	Montage von flächigen Holzbau systemen	80
3	Bewertung von Deckensystemen aus vorgefertigten flächigen Holzbau elementen	83
3.1	Übersicht der Bewertungskriterien	83
3.1.1	Erläuterungen zum Schallschutz	86
3.1.2	Beschreibung des Trittschall - Berechnungsverfahrens für Holzbalken- und Brettstapeldecken [18]	89
3.1.3	Erläuterungen zum Brandschutz	96
3.2	Ermittlung der Gesamtdeckenaufbauten und der Kosten der zu bewertenden Deckensysteme.....	99

3.2.1	Decke aus Leimholz-Elementen	99
3.2.1.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	100
3.2.1.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	103
3.2.1.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	106
3.2.1.4	Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung	107
3.2.1.5	Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung	109
3.2.2	Decke aus Brettstapel-Elementen	111
3.2.2.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	112
3.2.2.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	114
3.2.2.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	115
3.2.2.4	Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung	117
3.2.2.5	Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung	118
3.2.3	Decke aus LenoTec Elementen.....	120
3.2.3.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	121
3.2.3.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	123
3.2.3.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	125

3.2.3.4	Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung	126
3.2.3.5	Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung	128
3.2.4	Decke aus Lignotrend-Elementen (Decke 4)	130
3.2.4.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	131
3.2.4.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	133
3.2.4.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	135
3.2.5	Decke aus Lignatur-Elementen	136
3.2.5.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	137
3.2.5.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	139
3.2.5.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	141
3.2.6	Decke aus Holz-Beton-Elementen mit werkseitig aufgebrachtem Druckbeton.....	143
3.2.6.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	144
3.2.6.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	146
3.2.6.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	147
3.2.6.4	Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung	147

3.2.6.5	Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung	149
3.2.7	Zum Vergleich: Decke aus Stahlbeton-Fertigteilen.....	150
3.2.7.1	Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	150
3.2.7.2	Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung.....	152
3.2.7.3	Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung.....	153
3.2.7.4	Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung	154
3.2.7.5	Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung	154
3.3	Vergleich der untersuchten Deckensysteme anhand der Kosten für die Gesamtdeckenaufbauten	155
3.3.1	Typ 1 - Decke im Einfamilienhaus mit Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2	155
3.3.2	Typ 2 - Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 Muster-Bauordnung	157
3.3.3	Typ 3 - Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 Muster-Bauordnung	159
3.3.4	Typ 4 - Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 Muster-Bauordnung	161
3.3.5	Typ 5 - Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 Muster-Bauordnung	163
3.4	Erkenntnisse zu den untersuchten Deckensystemen	165
3.5	Bewertung der untersuchten Systeme nach technischen, wirtschaftlichen und gestalterischen Aspekten	170
3.5.1	Bewertungskriterien	170
3.5.2	Bewertung	171

3.5.3	Ergebnis	172
3.6	Zusammenfassung.....	172
3.7	Ausblick - Vorschläge zur Weiterentwicklung.....	174
Anlage 1 – Kosten Fußbodenaufbau – Estrichleger.....		178
Anlage 2 – Kosten Fußbodenaufbau – Trockenbau.....		182
Anlage 3 - Kosten Leimholz-Elemente		184
Anlage 4 - Kosten Brettstapel-Elemente		185
Anlage 5 - Kosten Leno Tec Elemente.....		186
Anlage 6 - Kosten Lignotrend-Elemente		187
Anlage 7 - Kosten Lignatur-Flächenelemente		188
Anlage 8 – Kosten Holz-Beton Elemente.....		189
Anlage 9 – Kosten Dennert DX-Vollplatten-Betonelemente		190
Anlage 10 - Ausführungsbeispiele geprüfter Gesamtdeckenaufbauten		191
Anlage 11 – Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1052 (4/88)		195
(siehe Anlageband)		195
Literaturliste		196
Abbildungsverzeichnis		198
Tabellenverzeichnis		203
Quellenverzeichnis		205

Abstract

Im Hauptteil dieser Arbeit sind Deckenelemente einiger namhafter Hersteller von vorgefertigten flächigen Holzbausystemen beschrieben und bewertet. Aufgrund der Vielzahl der Anbieter und der zahlreichen konstruktiven Parallelen werden sechs Systeme unterschiedlicher Konstruktion in die Bewertung einbezogen, zu Vergleichszwecken außerdem ein System aus vorgefertigten Betondeckenelementen. Die Bewertung erfolgt an fünf festgelegten Deckentypen, die im Wohnungsbau Anwendung finden. Dabei werden die Kosten der vorgefertigten Holzelemente für zehn Spannweiten zwischen 3,00 und 7,50 m mit den Kosten der Fußbodenaufläufen, die jeweils zur Erfüllung der geforderten Trittschalldämmung erforderlich sind, addiert. Um von der gleichen Basis auszugehen, sind als Elementkosten die Preise ab Werk ohne Transport und Montage herangezogen. Die Preise für die Fußbodenaufläufen resultieren aus Angeboten von Fachunternehmen, eingeholt auf Basis von Leistungsverzeichnissen. Auf Grundlage dieser ausgewerteten Daten kann die Arbeit als Leitfaden bei Planungsentscheidungen im Wohnungsbau herangezogen werden. Ziel ist es außerdem, durch eine Erleichterung bei der Auswahl von flächigen Holzbausystemen den Einsatz im Wohnungsbau zu erhöhen und damit insgesamt den Baustoff Holz im Wohnungsbau stärker zu etablieren.

This thesis describes prefabricated plane timber construction for slabs of some important suppliers. There are many providers in the market and each of them offers relatively similar solutions. The purpose of this study is to benchmark six selected slab systems. A look at an example of reinforced concrete slabs allows a comparison with other systems. Five different slab-types - used for domestic buildings - will be evaluated. The floor construction takes care of subsonic noise. The total costs will be compared in consideration of widths varying from 3.00 to 7.50 metres and their floor constructions. To compare the slabs from the same level, it is useful to take prices which quoted ex works for assembly and without transport to the building site. The costs of floor construction are a mean value of quotations from local firms based on a special tender. Based on these evaluated results it is possible to choose the most economical system for the each specific construction projects. This thesis is a useful tool to support architects in implementing prefabricated plane timber construction. The goal of this study is to increase the use of it in domestic buildings. The results of this dissertation are help to reintroducing wood as an standard material of construction.

Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus auf Anregung von Herrn Prof. Dipl.-Ing. Bernd Huckriede, Leiter des Lehrstuhles Wohn- und Sozialbauten der Fakultät 2, Architektur, Bauingenieurwesen und Städtebau, entstanden.

Auf diesem Wege bedanke ich mich, als externer Promovend, für die besondere Unterstützung durch Herrn Prof. Huckriede.

Ebenso möchte ich ganz herzlich Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Franz für seine ständige Gesprächsbereitschaft und die zahlreichen Anregungen danken.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Bertram Melber bedanke ich mich für die fachlichen Anregungen zum Trittschall sowie für die Konsultation zum dritten Teil der Arbeit.

Danken möchte ich ebenfalls Herrn Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak für die kritische Durchsicht der Dissertation.

Mein Dank gilt auch den Herstellern der bewerteten Systeme, ohne deren Zuarbeit diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Sörnzig, im Mai 2007

Einleitung

In den letzten 15 Jahren wurde sehr intensiv an der Entwicklung neuer Holzbausysteme gearbeitet. Diese Entwicklung fand besonders in Deutschland, Österreich und der Schweiz statt. Dabei entstand eine Vielzahl von Bausystemen, die teilweise auf ähnlichen, teilweise aber auch auf völlig unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien beruhen.

Holz zum Bauen ist in der Vergangenheit in verschiedenen **Bauweisen** angewendet worden. Für die heute gängigen Bauweisen, die mittlerweile bis zu Bausystemen herangereift sind, war zweifelsohne der Fachwerkbau maßgebender Vorreiter.

Bei der vergleichenden Betrachtung der heute angewendeten **Holzbausysteme** reicht das Spektrum von filigranen, stabförmigen bis hin zu massiven und flächigen Querschnitten.

Die Entwicklung der Systeme geht vom europäischen Fachwerkbau, der in Amerika im 19. Jahrhundert zu den ‚Frame - Constructions‘ weiterentwickelt bzw. abgewandelt wurde, bis hin zu den ersten Systemen von Wachsmann, Gropius und Wright.

Die folgende Darstellung gibt einen Überblick über diese Entwicklung:

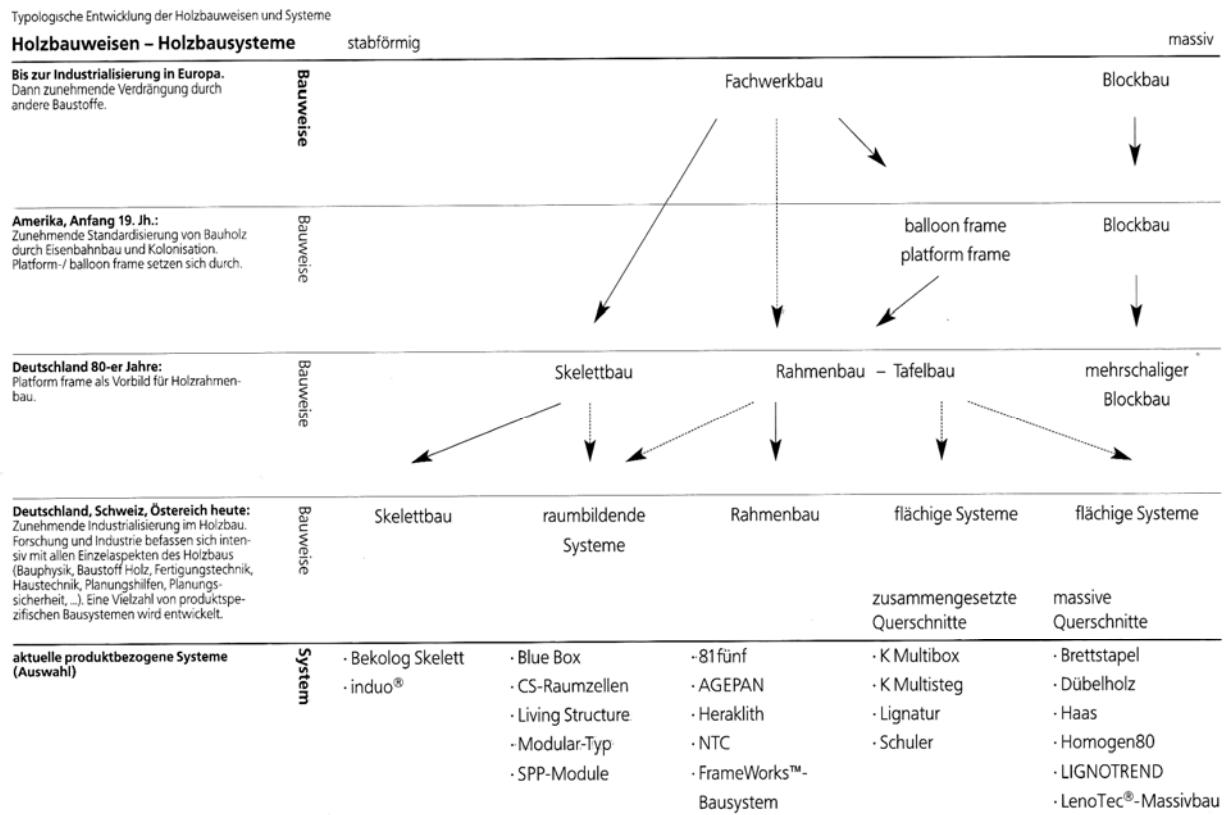


Abb. 1 Holzbauweisen – Holzbausysteme aus [5], S. 3

Hieraus ist zu erkennen, dass mittlerweile eine Vielzahl von Systemen am Markt Anwendung finden. Dem Planer ist es nur schwer möglich, ein optimales System für seine zu planende Bauaufgabe auszuwählen. Die folgende Arbeit setzt sich mit diesem Problem auseinander, und zwar speziell für die flächigen Holzbausysteme aus massiven und zusammengesetzten Querschnitten.

Aufgabenstellung und Ziel der Arbeit

Diese Arbeit analysiert die wesentlichsten Systeme einiger namhafter Hersteller von vorgefertigten flächigen Holzbausystemen und vergleicht diese miteinander. Ziel ist es, einen Leitfaden zu erstellen, der es dem Planer erleichtert, für die jeweilige Anwendung und die einzuhaltenden Parameter (Schallschutz, Brandschutz, Spannweite) das optimale Produkt aus der Vielzahl der angebotenen Systeme auszuwählen.

Ebenso ist als Ergebnis der Arbeit nachzuweisen, dass vorgefertigte, flächige Holzelemente als Deckenkonstruktionen im Wohnungsbau eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Konstruktionen und Baustoffen auf hohem konstruktiv-gestalterischem Niveau darstellen.

Im Besonderen klärt die Arbeit im Ergebnis folgende Fragen:

1. Erfüllen Deckenkonstruktionen aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen alle im Wohnungsbau einzuhaltenden Parameter?
2. Sind Deckenkonstruktionen aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Konstruktionen aus Beton?
3. Bieten Decken aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen gestalterischen Spielraum?

Im Vergleich der untersuchten Deckensysteme werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme herausgearbeitet. Mit diesen Erkenntnissen und in Auswertung des aktuellen Standes der Forschung werden Vorschläge zur Verbesserung und ggf. Weiterentwicklung von vorgefertigten flächigen Holzbau-Deckensystemen gemacht.

Vorgehensweise

Die Dissertation setzt sich aus drei Teilen zusammen. Im ersten Teil sind einleitend Entwicklungen von vorgefertigten Holzkonstruktionen im 19. und frühen 20. Jahrhundert beschrieben. Auf Parallelen heutiger Anwendungen mit Konstruktionen und Bauweisen aus dieser Zeit wird eingegangen. Außerdem zeigt ein kurzer Überblick die Entwicklung und Neuerungen von vorgefertigten Holzkonstruktionen im 19. und frühen 20. Jahrhundert. Dabei werden auch Verbindungsmitte behandelt.

Im zweiten Teil der Arbeit folgt die Beschreibung der Wand- und Deckensysteme aus vorgefertigten flächigen Holzbauelementen, die momentan am Markt Anwendung finden. Dabei erfolgt ein tabellarisches Ordnen nach ihren Konstruktionsmerkmalen. Hierbei werden vor allem konstruktive Lösungen der einzelnen Systemhersteller näher beleuchtet. Beachtung finden ebenfalls in einem Exkurs Fassaden aus Holz, Holzwerkstoffen und Wärmedämmverbundsystemen, die an Gebäuden in Holzbauweise einsetzbar sind. Eine besondere Rolle spielt in diesem zweiten Teil das Thema der Vorfertigung und der Montage.

Im dritten Teil der Arbeit werden einige der im zweiten Teil betrachteten Holzbausysteme bewertet. Ein Vergleich der Deckensysteme einiger wichtiger Hersteller für vorgegebene Randbedingungen unter dem Aspekt der Kosten wird durchgeführt.

Dazu gilt die folgende Vorgehensweise:

Es werden fünf Deckentypen mit Parametern, die für den Wohnungsbau typisch sind, festgelegt. Die Deckensysteme erhalten einen für ihr System geprüften Fußbodenauflauf, um die erforderlichen Parameter zu erfüllen.

Als typische Vertreter von Decken, die in Holzbauweise in Wohngebäuden geplant und gebaut werden, sind bewusst Decken für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) mit einer Fußbodenhöhe des obersten Geschosses bis 7,00 m (Gebäudeklassen 2 und 3) bzw. bis 13,00 m (Gebäudeklasse 4) im Mittel über Gelände nach Muster-Bauordnung (MBO) ausgewählt worden.

Da diese Arbeit in ihrer praktischen Anwendung als Leitfaden für Planer dienen soll, sind ausschließlich Deckentypen zur vergleichenden Betrachtung herangezogen worden, die für den Holzbau in der Anwendung im Wohnungsbau von Bedeutung sind. Das heißt, dass der Planer unter dem Aspekt der Kosten verschiedene vorgefertigte, flächige Deckensysteme miteinander vergleichen kann. Je nach Gebäudeklasse und schalltechnischen Randbedingungen, die unter Umständen aus erhöhten Komfortansprüchen der Bauherren bzw. Nutzer resultieren, trägt diese Arbeit zur Entscheidungsfindung bei. Mit den beschriebenen Vor- und Nachteilen der verschiedenen Deckensysteme kann so für die jeweilige Bauaufgabe eine optimale Lösung gefunden werden.

Insgesamt sieben Systeme, darunter fünf flächige Holzbausysteme, eine Holz-Beton-Verbundkonstruktion und zum Vergleich ein System aus vorgefertigten Stahlbetonplatten kommen zur Bewertung. Bei Letzterem ist zu beachten, dass diese Elemente ein wesentlich

höheres Eigengewicht als die Holzelemente haben und sich somit andere, unter Umständen teurere lastabtragende Konstruktionen erforderlich machen.

Die Elementbetrachtung erfolgt jeweils für zehn Spannweiten zwischen drei und siebeneinhalb Metern. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Elementhöhen und somit unterschiedliche Kosten für die Elemente, die zusammen mit den jeweiligen Kosten für die Fußbodenaufbauten und ggf. Unterdecken vergleichend ausgewertet werden. Dieses Spannweitenspektrum ist charakteristisch für den Wohnungsbau.

1 Die Entwicklung vorgefertigter Holzkonstruktionen im 19. und frühen 20. Jahrhundert

1.1 Zielstellung und Eingrenzung

Die folgende Ausarbeitung gibt einen Überblick über die wichtigsten Entwicklungen und Anwendungen von vorgefertigten Holzkonstruktionen im 19. und frühen 20. Jahrhundert. Dabei werden die Anwendungstechnologien der im 2. und 3. Teil behandelten Systeme besonders betrachtet. Der Bezug der historischen Entwicklung und Anwendung flächiger Elemente auf den heutigen Einsatz der ingenieurmäßigen Holzbausysteme gibt u. a. Aufschluss über deren Entwicklung und deren Wirtschaftlichkeit. Außerdem sind weitere Aspekte der Anwendung vorgefertigter Holzbausysteme aufgezeigt. Zu Beginn dieser Entwicklung lagen die Neuerungen im Holzbau vor allem bei den stabförmigen Bauteilen. Flächige Konstruktionen bauten später darauf auf. Dieser Beitrag erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und zeigt nur einige wichtige Entwicklungsströmungen.

1.2 Die Konstruktionen der Firma Stephan

Die Fa. Paul Stephan wurde 1855 in Stuttgart gegründet und besteht noch heute unter dem Namen Paul Stephan GmbH & Co. KG in 74401 Gaildorf.

Die damalige Bauweise des Systems Stephan bestand aus vorgefertigten Bogenbindern, bei denen die Horizontalkräfte durch die Anordnung von Zugstangen bzw. die Schaffung von aufnahmefähigen Widerlagern aufgenommen werden mussten. Der Vorteil gegenüber den bisher zur Anwendung gekommenen Bogenkonstruktionen nach de l'Orme bestand darin, dass das Holz nicht schräg zur Faserrichtung durchschnitten wurde, sondern die Fasern in der ganzen Länge der verwendeten Holzstücke zum Tragen kamen. [3]

Bei diesem Bogenbinder handelt es sich um eine Konstruktion, dessen Unter- und Obergurt durch Fachwerkstreben miteinander verbunden sind. Im Auflagerbereich wurden die Gitterstreben durch eine Vollschalung, die kreuzweise aufgebracht wurde, ersetzt. Diese vorgefertigten Bogenbinder nach der Bauweise Stephan wurden als Dachtragwerke zur Überspannung großer Räume in verschiedenen Ausführungen eingesetzt. Die Binderhöhe variierte entsprechend der Spannweite. Die Dachhaut, meist aus Teerpappe, lag auf einer Brettschalungslage. Diese verlief quer zur Binderspannrichtung. Dazu wurden Sparren 6/9 an flach auf die im Untergurt eingehängten bzw. auf dem Obergurt aufgelegten Pfetten eingebaut. (Abb. 3)

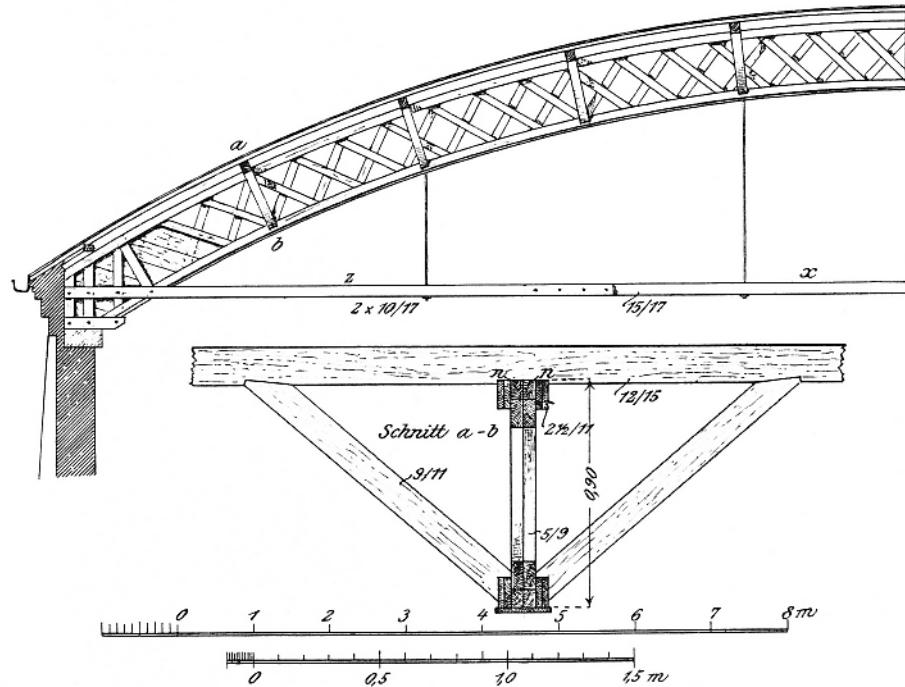


Abb. 2 Bogenbinder System Stephan aus [3], S.391

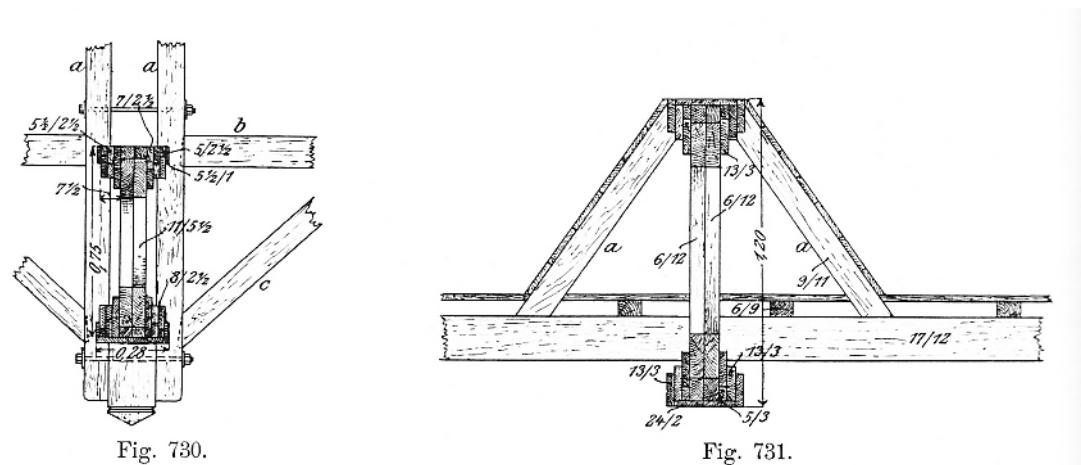


Abb. 3 Bogenbinder System Stephan, Detail Dachebene auf dem Obergurt aufgelegt bzw. im Untergurt eingehangen aus [3], S. 392

Diese Sparren spannten von Pfette zu Pfette und waren entsprechend dem Binderradius leicht gebogen.

Die Stephanschen Bogenbinder verwendete man auch als tragendes Element für Dächer mit ebenen Dachflächen. Dazu wurden zusätzlich Stützen axial über den Bogenbindern stehend angeordnet. Auf diesen Stützen lagen Pfetten quer zur Binderspannrichtung, auf denen dann die Sparren eines Satteldaches lagen.

Der Vorteil dieses Systems lag darin, dass mit relativ geringem Materialverbrauch große Spannweiten überbrückt werden konnten und dass das eingesetzte Holz nicht aus großen, preisintensiven Querschnitten bestand. In diesem Punkt ist eine Analogie zu den heute angewendeten Brettstapel- und Kastenkonstruktionen erkennbar. Die kurzen Montagezeiten der vorgefertigten Binder trugen zu einem raschen Bauablauf, im Besonderen zu einer schnellen Herstellung einer regelwidrigen Bedachung bei, die den Fortgang der Folgegewerke positiv beeinflusste.



Abb. 4 33 m Spannweite mit vorgefertigten Bogenbindern des Systems Stephan bei der 1907 erbauten Breslauer Sängerbundeshalle aus [3], S. 393

1.3 Otto Hetzer – Der Pionier des Holzleimbaus

Als eine der bedeutendsten Erfindungen im Bereich des ingenieurmäßigen Holzbau ist das von Otto Hetzer eingeführte Zusammenfügen dünner Holzquerschnitte mittels Verleimung zu hohen tragfähigen, in der Natur nicht vorkommenden Querschnitten zu sehen.

Ein entscheidender Vorteil dieser Methode, so schrieb bereits 1911 der Dresdner Baukonstruktionsprofessor Theodor Böhm, lag darin begründet, dass „....an der obersten und untersten Schicht der auf Biegung zu beanspruchenden Balken, die bei Verwendung von gewöhnlichem Ganzholz dort die weicheren splintigen Holzteile aufweisen, bestes und widerstandsfähigstes Holz anzutragen, in der Mitte dagegen, wo die Festigkeit des Kernholzes bei gebogenem Vollbalken nicht ausgenutzt werden kann, diese durch geringeres Holz zu ersetzen“. [4]

Ein weiterer entscheidender Vorteil der verleimten Balken ist die wesentlich geringere Rissbildung in Folge von Trocknung und das damit einhergehende Verwerfen großer Vollholzquerschnitte.

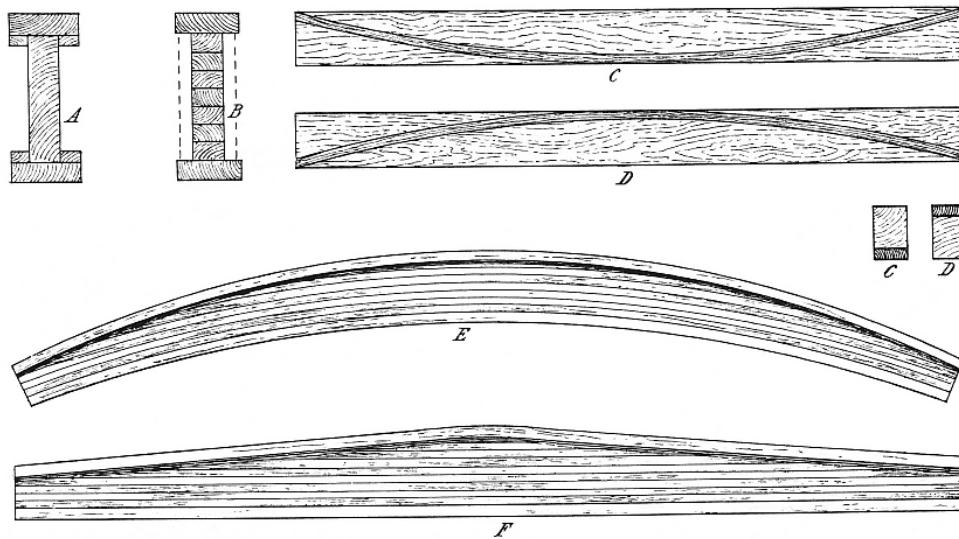


Abb. 5 Beispiele zusammengesetzter Balken nach Hetzer aus [4], S. 395

Die in Abb. 5 angeführten Beispiele zeigen in C und D außergewöhnliche Konstruktionen, die den heute noch angewendeten so genannten Fischbauchträgern ähneln. Hier wurde, dem Momentenverlauf folgend, der hochkantige Träger aufgeschnitten und eine gebogene Bohle eingeklebt. Dies führte zu einer wesentlichen Erhöhung der Tragfähigkeit, wie bei einem Vortrag durch den Regierungs- und Baurat Adams vor dem Berliner Architektenverein am 4.3.1907 beschrieben wurde. Im königlichen Materialprüfamt in Berlin-Lichtenfelde sind 1904 zwei Träger gleicher Dimension untersucht worden. Einem der beiden Träger wurde ein Kiefernholz mit 39 mm Stärke parabolisch eingeklebt. Im Ergebnis haben die Durchbiegungen des verleimten Trägers gegenüber dem Vollholzträger nur ein Drittel betragen. [36]

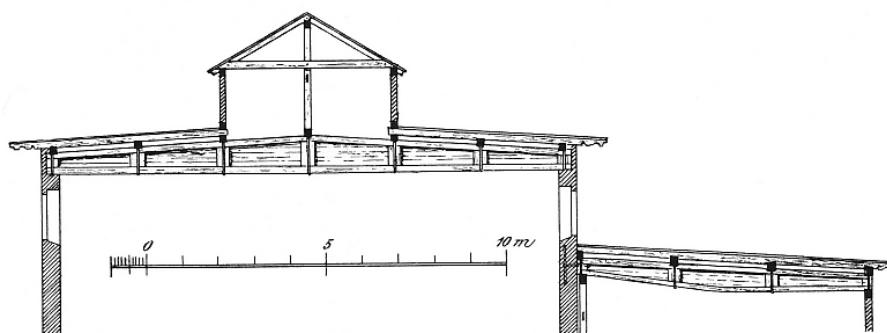


Abb. 6 Darstellung eines verleimten Einfeldträgers nach Hetzer aus [4], S. 395

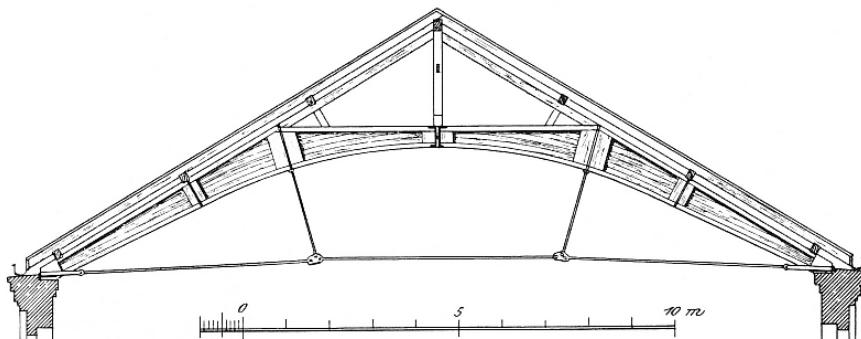


Abb. 7 Darstellung eines verleimten Bogenträgers nach Hetzer aus [4], S. 397



Abb. 8 Darstellung des Dachverbandes während der Montage aus [4], S. 398

Die Hetzersche Bauweise fand auch außerhalb Deutschlands Anwendung. Es entstehen unter anderem Bauten zwischen 1908 und 1925 in der Schweiz. Beispielhaft sind die im Jahre 1918 errichtete Montagehalle der Firma Olma AG in Olten, der Neubau der katholischen Kirche in Romanshorn von 1911 und die Kuppel für den Turm des Hygienischen Instituts in Zürich (heute Hauptgebäude der Universität, Kollegiengebäude 1) von 1912 zu nennen. [39]

Wie in der Abb. 9 zu sehen ist, konnten Querschnitte hergestellt werden, die tragende und formgebende Funktion in sich vereinigten.

Diese prinzipielle Art der Herstellung von hohen Holzquerschnitten und mittlerweile auch flächiger Holzelemente, wie zum Beispiel Brettstapeldecken, wird heute sehr erfolgreich mit der so genannten Leimholzherstellung angewendet.

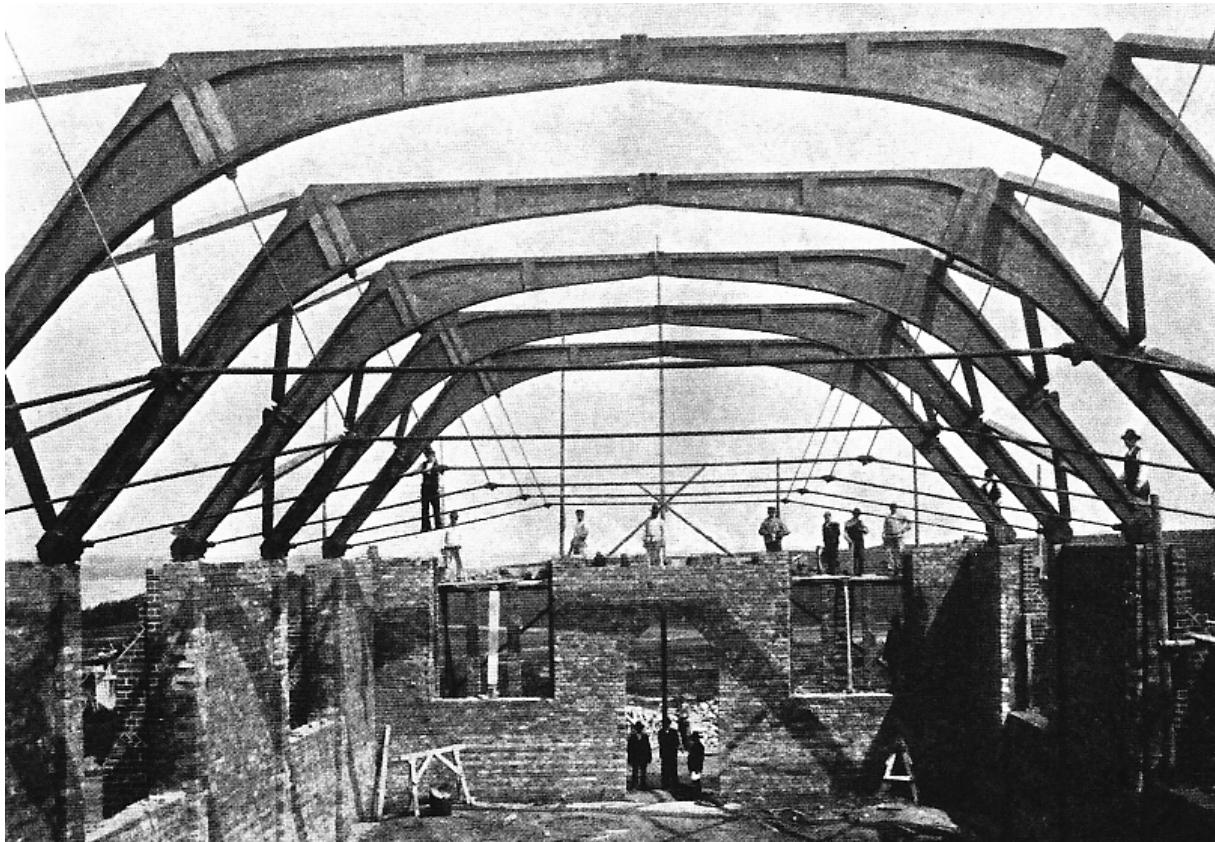


Abb. 9 Marineturnhalle zu Mürwik bei Flensburg aus [4], S. 399

1.4 Industrialisierung der Vorfertigung des Holzhausbaus unter Konrad Wachsmann

Als wohl bedeutendster Verfechter des industriellen Holzhausbaus ist Konrad Wachsmann zu nennen. Der Architekt arbeitete in der zweiten Hälfte der 20er Jahre des vergangenen Jahrhunderts bei der Firma Christoph & Unmack A.G. in Niesky, der damals größten Holzbaufirma Europas, und brachte die Entwicklung der industrialisierten Holzhausfertigung entscheidende Schritte voran. [61] Hier baute er auch 1929 das bekannte Landhaus für Albert Einstein in Caputh. Dieses Gebäude wurde, wie fast alle von der Firma Christoph & Unmack A.G. produzierten Holzhäuser, in Tafelbauweise errichtet. Die Grundprinzipien dieser Bauweise, tragende Holzständer mit beidseitiger Bekleidung und zwischen liegender Wärmedämmung, werden auch heute noch bei der Herstellung der meisten vorgefertigten Holzbauten angewendet.

Nach seiner Emigration 1941 in die USA gründete Wachsmann mit Walter Gropius eine Fabrik die vollautomatisch Bauelemente für ein Wohnhaus produzierte, welches dann in nur acht Stunden komplett errichtet werden konnte.

Dieses, als General-Panel-System bezeichnete Holzbausystem bildet einen Meilenstein in der Geschichte des industriellen Bauens. Hierbei ist von entscheidender Bedeutung, dass es nur

ein standardisiertes Paneel für Decke und Wand gab. Das Fügen der einzelnen Elemente erfolgte an einheitlichen dreidimensionalen Knoten innen liegender Haken. [62]

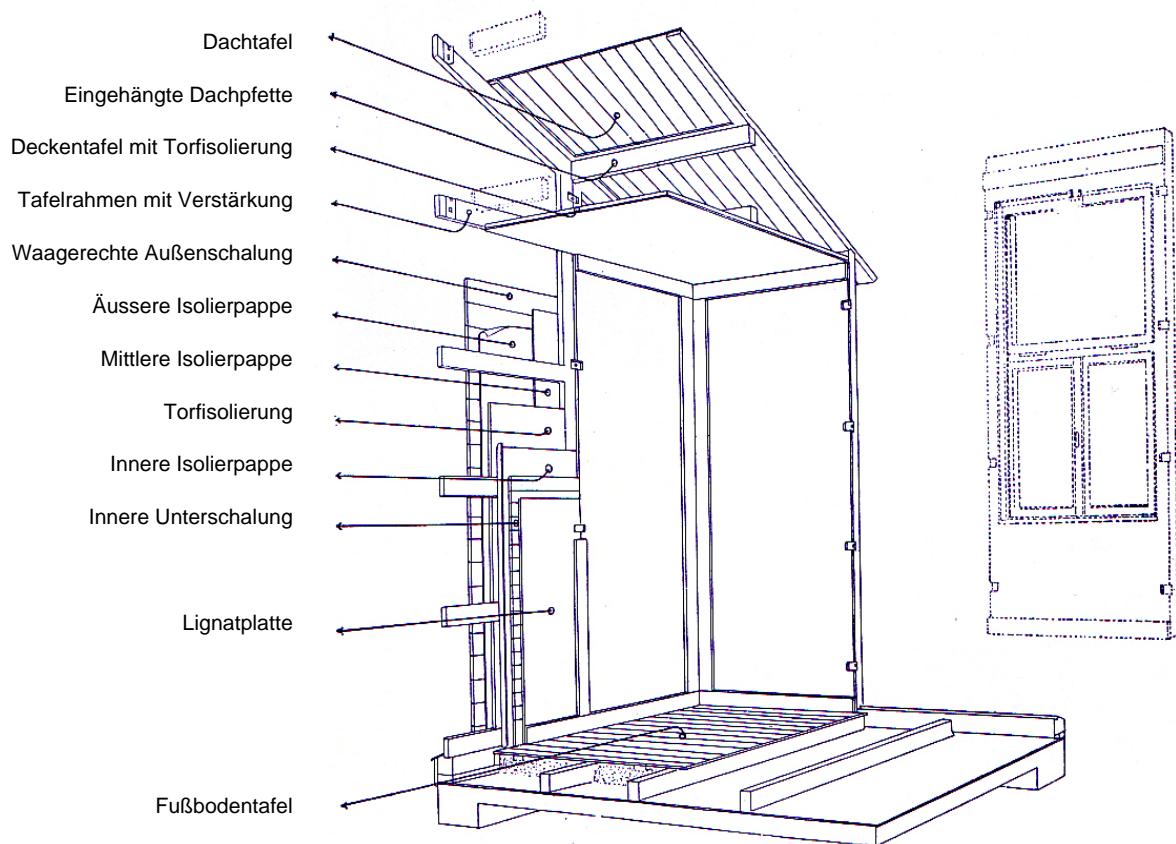


Abb. 10 Schematische Darstellung der Tafel- oder Plattenbauweise aus [62], S. 26

Außer dem General-Panel-System wurden in den USA von anderen Architekten ebenfalls Systeme entwickelt, mit denen sich Holzhäuser effizient vorfertigen ließen. Besondere Erwähnung sollen die von Frank Lloyd Wright entwickelten Usonian-Häuser finden. Dieses auf einem Raster von 4'x 4' (ca. 120 cm x 120 cm) entwickelte System war durch den Einsatz verschiedener Paneele sehr viel flexibler und auf Nutzerwünsche anpassungsfähiger als das System von Wachsmann und Gropius, welches bereits in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts wieder verschwand. Ein weiteres Novum der Usonian-Häuser war übrigens die in die Betonbodenplatte integrierte Heizung. [63]

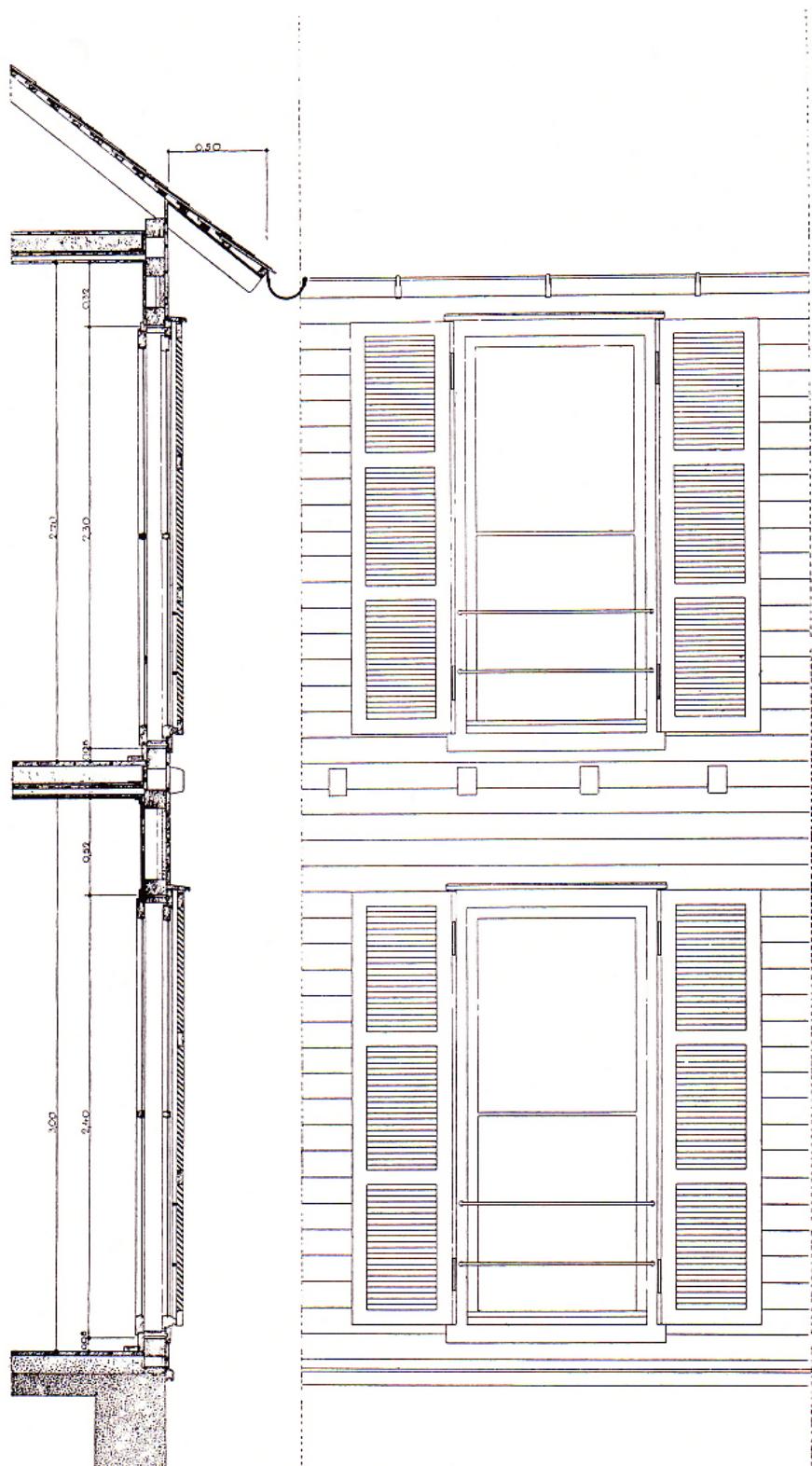


Abb. 11 Fassadenschnitt und Teilansicht von Einsteins Haus in Caputh [62], S. 75

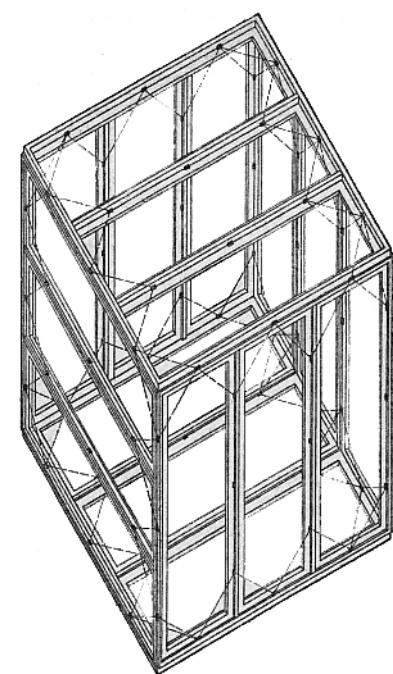
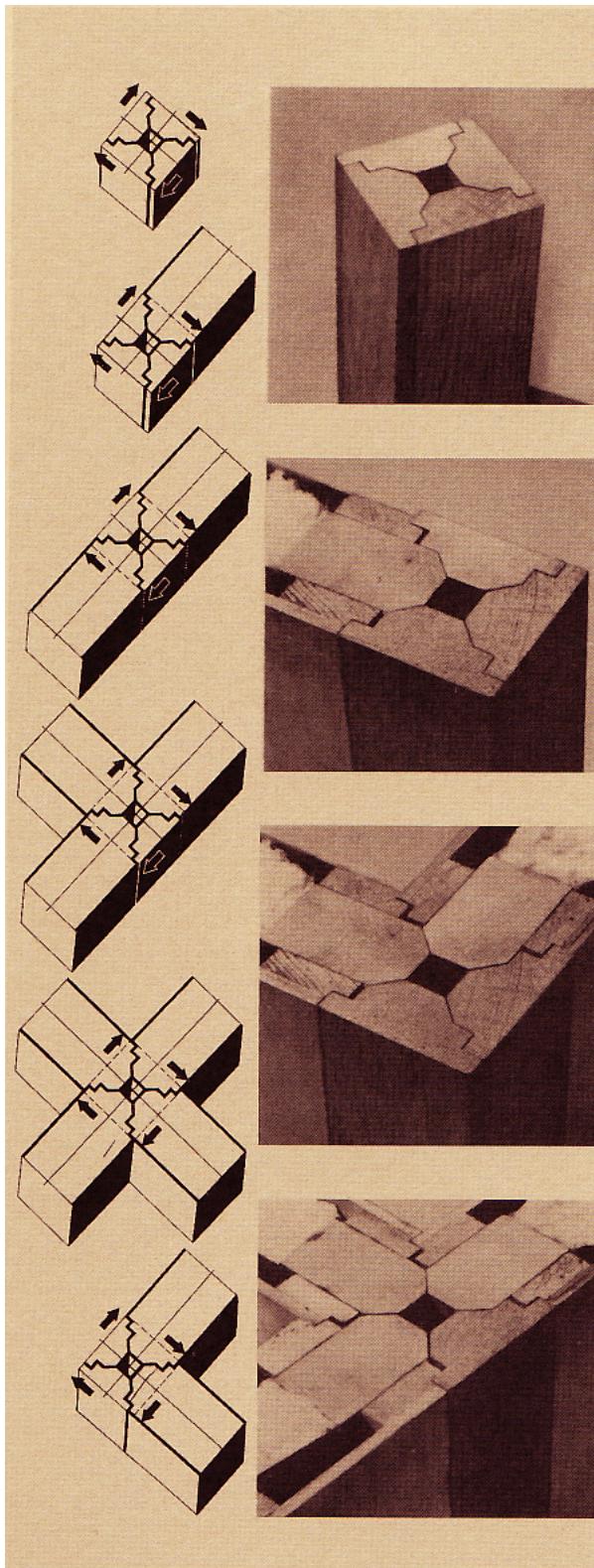


Abb. 12 Schema des „General-Panel-System“, USA ab 1941 aus [62], S. 21

Abb. 13 Eckverbindung „General- Panel-System“, USA ab 1941 aus [62], S. 22

1.5 Bauweisen von vorgefertigten Holzkonstruktionen

1.5.1 Vorgefertigte Holzhauskonstruktionen in Nordamerika

In Nordamerika wurden die Holzquerschnitte aus Gründen der Wirtschaftlichkeit zur Errichtung von vorgefertigten Holzhäusern auf das unbedingt notwendige Maß reduziert. Die Verbindung der Knotenpunkte erfolgte, nachdem Nägel industriell gefertigt werden konnten, auch nicht mehr mittels zimmermannsmäßiger Verbindungen, sondern lediglich durch Schrägschnitte und Vernagelung. Durch das direkte Aufbringen der Schalung auf die Stiele entsteht ein statisch wirksamer Verband und somit ein Hausgefüge, das vor allem den Ansprüchen nach hoher Wirtschaftlichkeit gerecht wird. [64]

Man hat in Nordamerika zugunsten der Möglichkeit, dass sich viele Menschen ein solches Haus leisten konnten, bewusst auf Qualitätsansprüche verzichtet. Dort werden Holzhäuser seit ungefähr 220 Jahren fabrikmäßig hergestellt. [65]

Unterschieden werden bei den amerikanischen Fachwerkkonstruktionen drei Gruppen:

- die Balloon Frame Construction
- die Braced Frame Construction und
- die Western Frame Construction

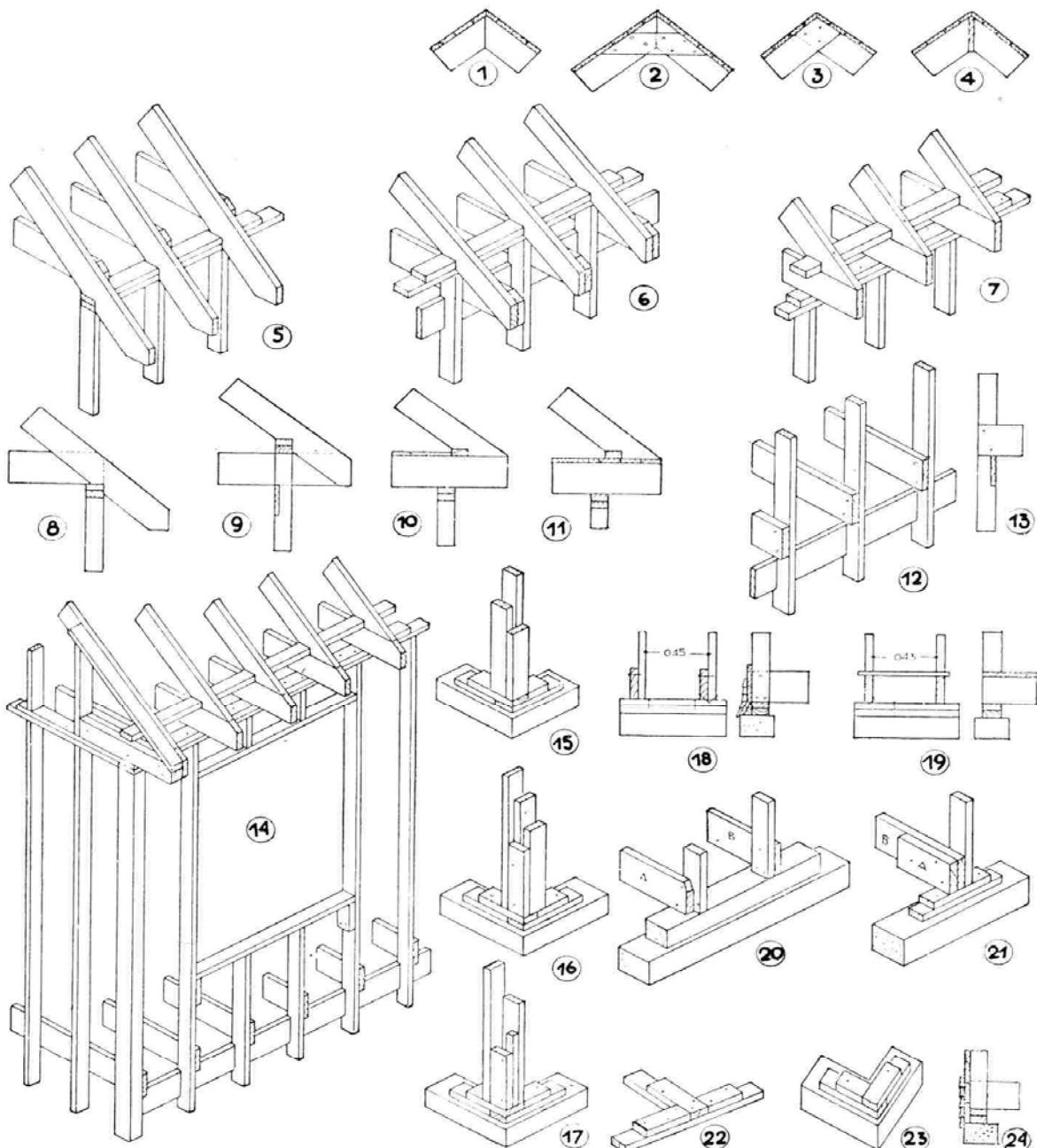
Bei identischen Konstruktionsprinzipien bestehen die Unterschiede darin, dass bei der Ballon Frame Construction die Stiele über beide Geschosse durchgehen, während bei den beiden anderen Konstruktionen die Stiele durch Rähme, auf denen die Geschossdecken aufliegen, unterbrochen sind. Die Besonderheit der Western Frame Construction liegt in der Diagonalverlegung der äußeren Holzverschalung und der Dielung. Alle Konstruktionen haben die Gemeinsamkeit der Vorfabrikation und der Verwendung kleiner, wirtschaftlicher Holzquerschnitte, die auf einfachste Weise zusammengefügt sind. Als Außen- und Innentwandbekleidung kamen bei allen drei Typen Holzschalungen zum Einsatz. Diese wurden gestrichen oder nach zusätzlichem Aufbringen eines Putzträgers auch verputzt. [66]

1.5.2 Tafel- oder Plattenbauweise

Dieser Methode sah vor, Holzrahmen mit innerer und äußerer Beplankung vorgefertigt und teilweise mit Anstrich versehen auf die Baustelle zu liefern. Als Dämmmaterial kamen eingelagerte Torfplatten zwischen den Rahmen zum Einsatz. Die Zusammenfügung der Tafelemente erfolgte senkrecht stehend auf einem Schwellholz, welches auf die zumeist massive Bodenplatte aufgedübelt war. Auch Elemente mit integrierten Fenstern und Türen wurden hergestellt, sodass die Kombination der Tafeln unterschiedliche Gebäudetypen ermöglichte.

Die Verbindung der Tafeln untereinander erfolgte mit Hakenverschlüssen. Auf der Außenseite wurden die Stöße mit einer Deckleiste abgedeckt. Mit dieser Methode ließen sich

Gebäude konzipieren, die man in kürzester Zeit errichten und auch wieder abbauen konnte, um sie an anderer Stelle wieder aufzubauen. [67]



Firstknoten: 1 Die Sparren laufen auf Gehrung zusammen. 2 Die Sparren auf Gehrung mit Brettzange. 3 Die Sparren aneinanderge Nagelt. 4 Die Sparren mit Firstpfette. **Traufknotenpunkte:** 5 Die Sparren sitzen auf der Wandpfette. 6 Die Sparren sitzen auf der Wandpfette und darunter die Balken. 7 Die Sparren sitzen auf einer Schwelle. 8 Querschnitt zu Abb. 5. 9 Querschnitt zu Abb. 6. 10 Querschnitt zu Abb. 7. 11 Sparren sitzen auf dem Dachfußboden. 12 Knotenpunkt mit Balkenlage. 13 Querschnitt zu Abb. 12. 14 Der ganze Eckpfosten und andere Konstruktionen. 15-17 Verschiedene Eckpfosten. 18 Pfosten und Mauerlatten aufeinanderge Nagelt. 19 Pfosten werden häufig auf den Fußboden genagelt. 20 Mauerlatte aus einem Kantholz (Balken A ist etwas zu kurz, wird aber doch verwendet; Balken B ist ein leerer Balken). 21 Mauerlatte aus zwei Kanthölzern: (Ein Wand- oder Wechselbalken wird durch Zusammennageln von zwei leeren Balken A und B gebildet). 22 Der halbe Kreuzverband. 23 Der Eckverband. 24 Ausgleichung des Sockelvorsprungs.

Abb. 14 Die wichtigsten konstruktiven Einzelheiten der amerikanischen Fachwerksysteme aus [62], S.17

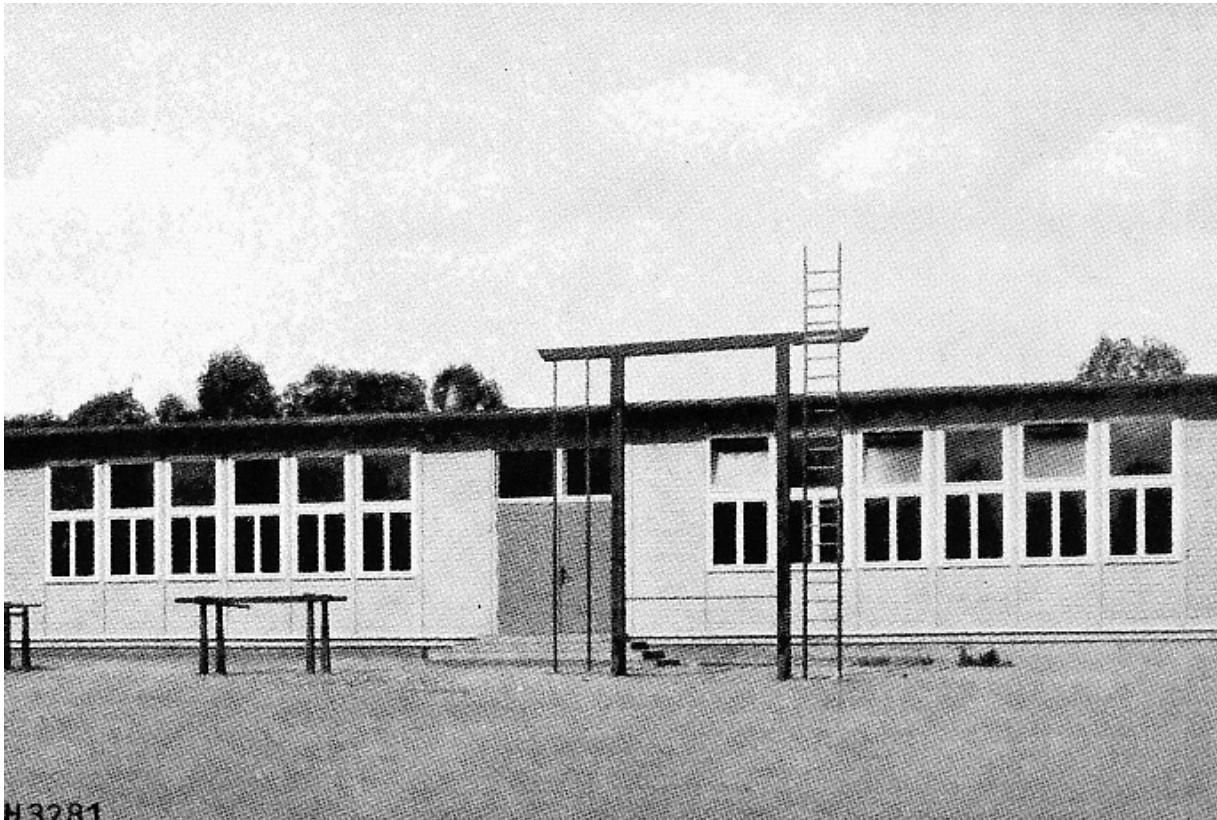


Abb. 15 Schulpavillon in demontabler Plattenbauweise um 1928 aus [62], S. 29

1.6 Auswertung von Veröffentlichungen über vorgefertigte Holzkonstruktionen

Allgemeine Bauzeitung von 1836 – 1894

Zentralblatt der Bauverwaltung von 1890 – 1929

Die Recherchen lassen sich in die beiden folgenden wesentlichen Themen zusammenfassen:

- Die Entwicklung neuer Verbindungsmethoden und Verbindungsmitte
- Die Entwicklung flächiger, zur Vorfertigung geeigneter Wand-, Dach- und Deckenelemente

1.6.1 Die Entwicklung neuer Verbindungsmethoden und Verbindungsmitte

Eine Verbindungsmethode, wie wir sie in abgewandelter Form heute noch bei Möbeln oder im Ingenieurholzbau kennen, ist in Abb. 16 dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine bereits 1865 vorgestellte Methode, zu dem Zwecke, Gegenstände aus Holz schnell zu zerlegen und wieder zusammenzufügen. [1]

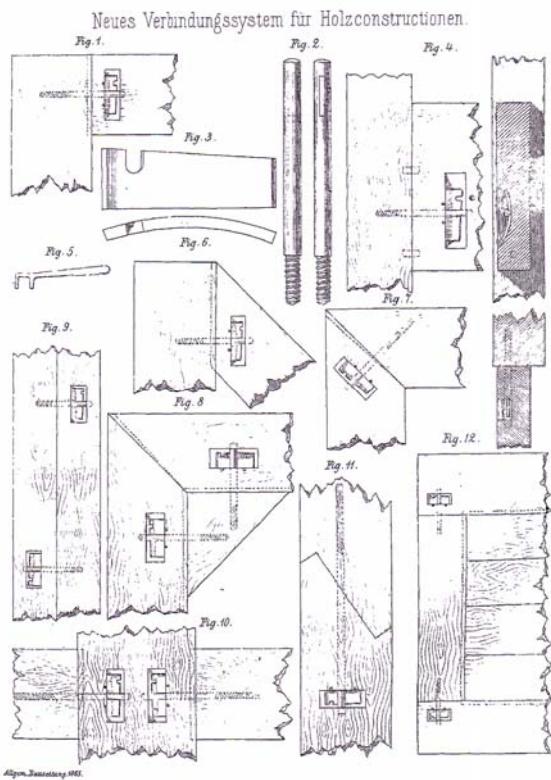


Abb. 16 Neues Verbindungssystem für Holzkonstruktionen aus [1], S. 121

Wellblechnägel als unlösbare Verbindung kamen ab etwa 1893 zum Einsatz, haben sich in Ihrer Anwendung jedoch nicht voll durchgesetzt. Hier ist anzumerken, dass die Vorteile dieses Verbindungsmittels in Bezug auf die Eingrenzung von TrocknungsrisSEN bei Rüstbohlen teilweise heute noch Anwendung finden, in dem ein Wellblechnagel der knappen Bohlenbreite in das Stirnholz der Bohlenenden geschlagen wird. [77]

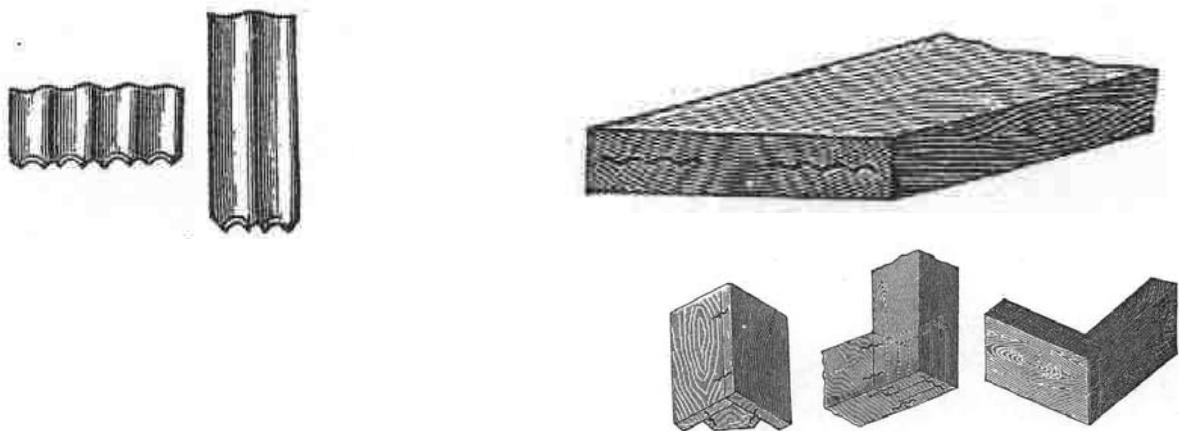


Abb. 17 Einsatz von Wellblechnägeln aus [77], S. 264

Beispiele der noch heute im Holzbau angewendeten Verbindungsweise mit Stahlblechen verschiedenster Formen finden sich bereits 1906 in einer Patentschrift. Dabei handelte es sich

um Stahlwinkel und Sparren-Pfetten-Anker die mittels Gewindegelenken im Holz befestigt wurden und so eine wesentliche Vereinfachung in der Herstellung von Verbindungspunkten im Holzbau boten. [90]

Eine sehr interessante lösbare Verbindsmethode ist in Abb. 18 zu sehen. Hier im Beispiel ist lediglich eine Verbindung zwischen Bohlenbelag und Träger gezeigt. [76] Genauso gut hätte diese Verbindung auch Verwendung bei demontablen Holztafelbauten finden können. Die Knotenpunkte, die im zimmermannsmäßigen Holzbau sehr aufwändig herzustellen sind, beispielsweise mittels Zapfen oder Blättern, verteuren Konstruktionen aus Holz in zweierlei Hinsicht. Erstens geht ein enormer Zeitaufwand mit der Herstellung dieser Verbindungen einher und zweitens muss aufgrund der Querschnittsschwächung ein größerer Materialeinsatz getätigert werden. Mit der Vereinfachung solcher Knotenpunkte ist deshalb eine erhebliche Kosteneinsparung bei Holzkonstruktionen gegeben. Die Entwicklung entsprechender Dübel, die die Kraftübertragungen in den Knotenpunkten übernehmen konnten, war auch ein Schritt in Richtung der Vereinfachung der Arbeiten bei der Errichtung von Holzkonstruktionen. Grundprinzip solcher Holzverbindungen ist, dass sich die Querschnitte der Hölzer nicht, wie bei den zimmermannsmäßigen Konstruktionen, in der gleichen Ebene kreuzen, sondern aneinander vorbei laufen. Im Kreuzungspunkt erfolgt die kraftschlüssige Verbindung mittels eines Stahlbolzens und eines zwischen die Berührungsflächen der Hölzer eingelegten DüBELS. Patente dazu wurden beispielsweise 1920 mit dem geschlitzten Stahl-Ringdübel, bei dem ein offener Ring in je zur Hälfte in die zu verbindenden Holzquerschnitte eingefräste Nuten eingelegt wurde, erteilt. Der Vorteil hierbei war gegenüber einem geschlossenen Ring, dass dieser sich leichter einbauen ließ und das der Dübel bei auftretenden Kräften in der Verbindung gleichmäßig an den Holzkern und das Vorholz gepresst wurde. [88]

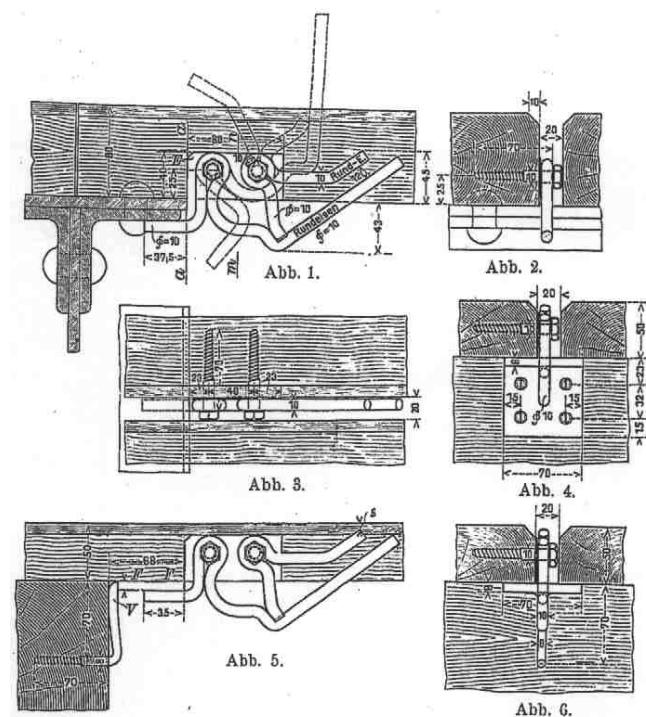


Abb. 18 Vorrichtung zur lösbaren Befestigung des Belages auf Trägern aus [76], S. 431

Ein späteres Patent von 1927 ersetzte die Stahlringdübel durch Hartholzringdübel. Der Vorteil hierbei bestand in dem günstigeren Schwindverhalten des Ringholzes zum Konstruktionsholz, was dazu führte, dass der Hartholzringdübel mit zunehmender Trocknung des Holzes fester am Innenholz angelegen hat. [87] Diese Art der Verdübelung hat sich aber nicht durchgesetzt. Sehr wohl dagegen die heute noch angewendeten zylinderförmigen Holzdollen, die aber bereits deutlich länger als der 1927 zum Patent angemeldete Hartholzringdübel in Anwendung sind.

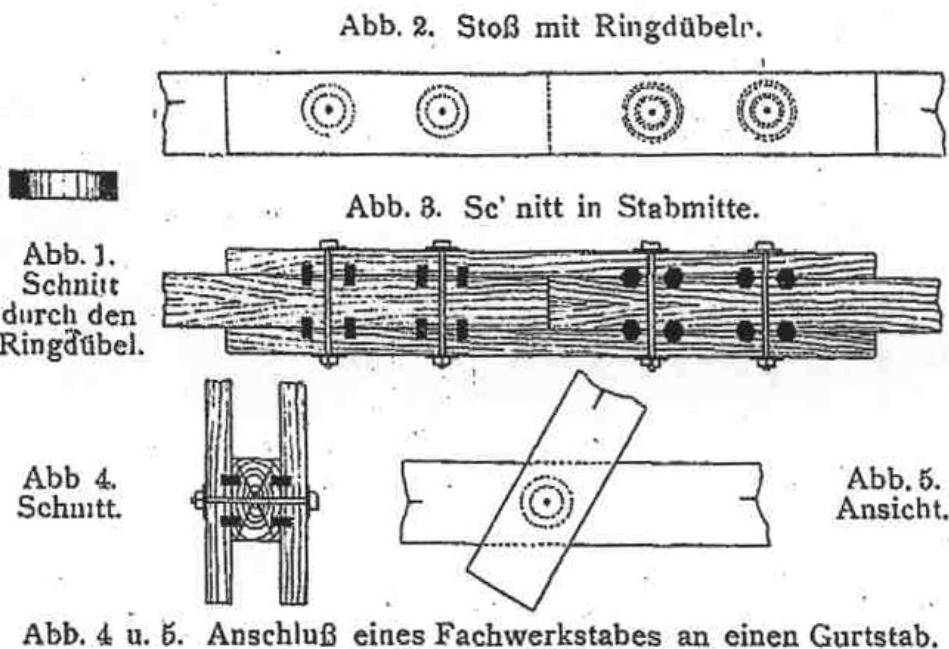


Abb. 19 Hartholzringdübel aus [87], S.66

Die Patentierung des in Abb. 20 dargestellten zweiteiligen, federnden Ringdübels trug dem Umstand Rechnung, dass Hölzer von Konstruktionen im eingebauten Zustand in der Regel weiter austrocknen. Die damit einhergehende Querschnittsverkleinerung würde zur Lockerrung und damit zur Verminderung der Tragfähigkeit der Dübelverbindung führen. Der zweiteilige Ringdübel hält jedoch die Bolzenverbindung unter Spannung. [89] Als die wahrscheinlich nachhaltigste Erfindung von Dübeln im Holzbau ist der bis heute fast unverändert eingesetzte und 1928 von dem norwegischen Ingenieur O. Theodorsen in Deutschland patentierte „Bulldog“ Holzverbinder zu nennen. Der Erfolg dieses Dübels liegt in der einfachen Anwendung, bei der keine zusätzlichen Fräsanwendungen notwendig sind, sondern lediglich die zackenförmig perforierte Dübelscheibe mittels des durchgesteckten Bolzens beim Anziehen in die Berührungsflächen der zu verbindenden Hölzer gepresst wird. Nach der Demontage ist eine erneute uneingeschränkte Verwendung von Holz und Dübel gegeben. [84]

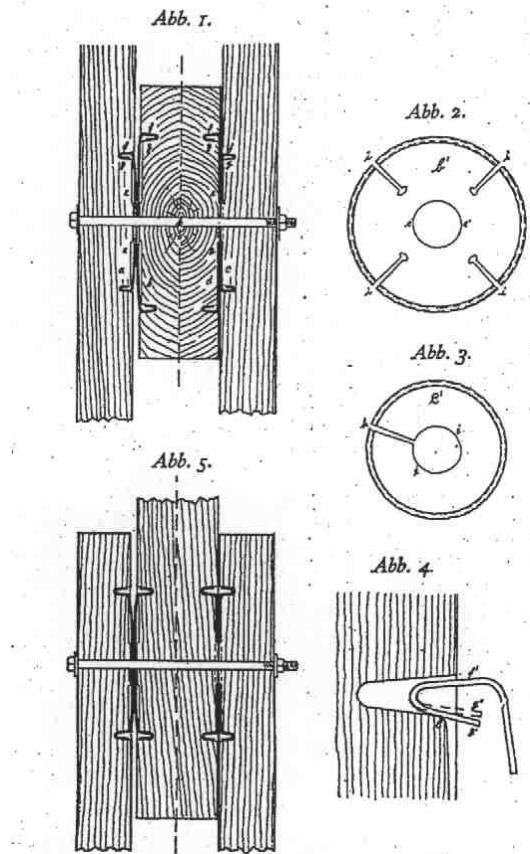


Abb. 20 zweiteiliger Ringdübel aus [89], S. 143

1.6.2 Die Entwicklung flächiger, zur Vorfertigung geeigneter Wand-, Dach- und Deckenelemente

Dieser Abschnitt betrachtet eine für die Vorfertigung im großen Stil sehr wichtige Entwicklung, nämlich die der flächigen Elemente. Voraussetzung für die Herstellung von Wand- und Deckenelementen war die Entwicklung von Holztafeln, welche neben den statisch-konstruktiven und aussteifenden Anforderungen auch die Belange des Schall- und Wärmeschutzes sicher zu stellen hatten.

So wurde 1904 eine Bauplatte zum Patent angemeldet, die aus zwei Ebenen geschlitzter Nut- und Federbrettlagen bestand. Dazwischen lag zur Entkoppelung eine Lage Pappe. Durch das hierbei angewendete Prinzip der Folge von biegeweichen und biegeharten Schichten entstand eine Bauplatte mit verbesserten Schallabsorptionseigenschaften zum Einbau in Wänden, Decken, Fußböden und Türen bei demontablen Baracken und Holzhäusern.[85]

Eine andere Art von Bauplatte (Abb. 21) wurde 1913 zum Patent angemeldet. Hierbei kam ein wasserfester Stoff zum Einsatz, der mit gerundeten Federn in Nuten hielt und so, flächig, das Holz der Bauplatte schützte. Die damals maschinell herstellbare Platte konnte in Rollen auf die Baustelle geliefert werden, hat sich aber in Ihrer Anwendung nicht durchsetzen können. [82]

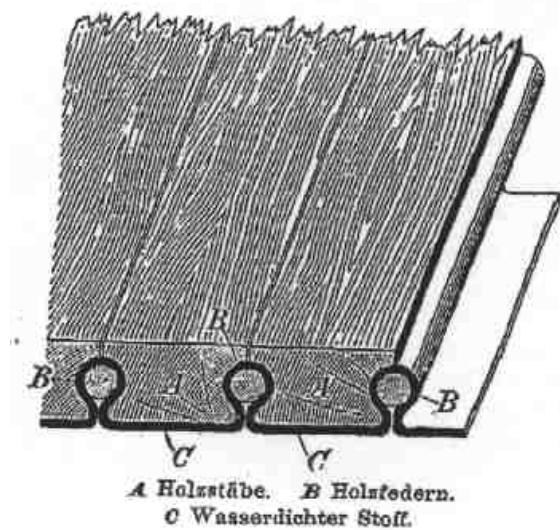


Abb. 21 Bauplatte mit wasserfestem Stoff bespannt aus [82], S. 439

Ein Vorläufer der heute gebräuchlichen Holztafelbauweise ist die seit ca. 1885 eingeführte Doeckersche Bauweise. Die etwa einen Meter breiten und raumhohen Holzrahmen erhielten auf der Außenseite eine Stülpshalung sowie einen Aufbau entsprechend Abb. 22. Die daraus errichteten Gebäude konnten komplett vorgefertigt werden. Beispiele für die Anwendung sind das 1913 in Ahlbeck errichtete Kaiser-Wilhelm-Kinderheim und die 1915 gebaute Parkschule in Berlin-Tempelhof. Beide Gebäude plante und fertigte die im Zusammenhang mit Konrad Wachsmann bereits genannte Firma Christoph & Unmack aus Niesky. [78]

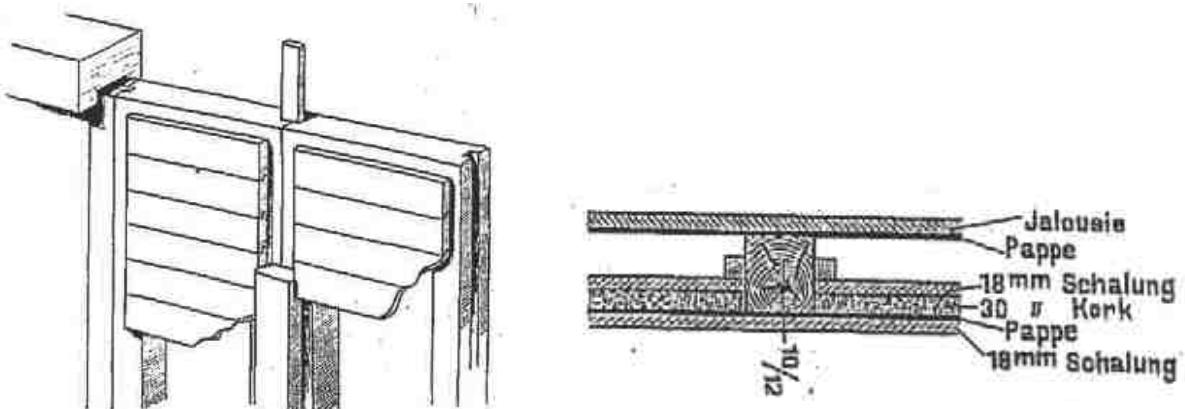


Abb. 22 Holztafeln in Doeckerscher Bauweise aus [78], S. 244

Eine Bauweise aus Holzplatten, mit denen Gebäude leicht zusammen und auseinandergebaut werden konnten, ist in Abb. 23 dargestellt. Bei dem Patent von 1917 handelt es sich um eine Holztafelbauweise, bei der einheitliche Tafelelemente durch ineinanderhaken und Verbolzen zu Wänden zusammengefügt werden konnten. Den Hohlraum füllte man mit Torfmull oder ähnlichem Dämmmaterial aus. Die Möglichkeit des Anschließens von Zwischenwänden und Fenstern war bei diesem vor allem für eingeschossige demontable Bauten geeigneten System berücksichtigt. [83]

Ähnlich wie bei der voran beschriebenen Doeckerschen Bauweise wurde 1921 ein Holzfachwerk zum Patent angemeldet. Aus den quer zur Wandebene gestellten Brettern fertigte man geschosshohe Rahmen vor. Die Querstreben wurden stumpf an die Längsposten gestoßen und über Klötze mit diesen vernagelt. Die daraus zusammengefügten Wände konnten in jeder für Fachwerk geeigneten Form ausgefacht oder bekleidet werden und trugen Decken und Dach. [86]

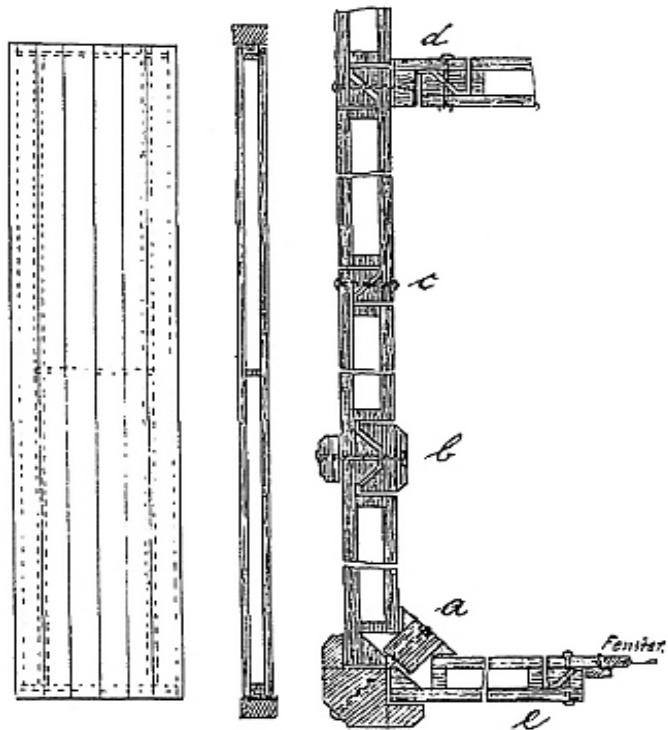


Abb. 23 Bauweise für demontable Bauten aus [83], S.115

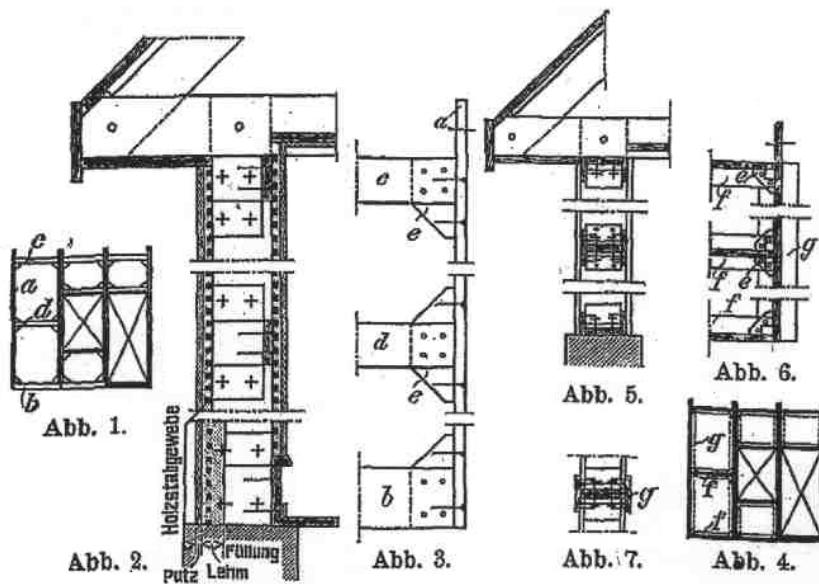


Abb. 24 Holzfachwerk aus Holzrahmen zusammengefügt aus [86], S. 507

1.7 Zusammenfassung

Bei dem in dieser Arbeit betrachteten Zeitraum handelt es sich um eine Phase in der vor allem Konstruktionen aus Eisen, Stahl und Stahlbeton auf dem Vormarsch waren. Konstruktionen aus Holz hingegen wurden bei größeren Bauvorhaben zunehmend seltener eingesetzt. Die speziellen Materialeigenschaften des Holzes, wie beispielsweise die Resistenz gegen Salz [79] oder Rauchgase von Lokomotiven [81], das geringere Gewicht gegenüber Eisenkonstruktionen oder auch wirtschaftliche Aspekte, wie die Wiederverwendung des Materials, und nicht zuletzt die Möglichkeit der Vorfertigung und damit der Kostenreduzierung sind Faktoren, die dem Baustoff Holz trotzdem sichere Einsatzgebiete boten und bieten. Die Vorfertigung von Holzkonstruktionen, welche zu einer Bauzeitverkürzung führt, wird mit steigenden Lohnkosten noch interessanter. Hier lag und liegt das größte Potential vorgefertigter Holzkonstruktionen. In Zukunft können durch neue Bauweisen, wie beispielsweise die Brettstapelbauweise, die Konstruktionen von vorgefertigten flächigen Holzelementen weiter vereinfacht werden, was zu noch kürzeren Montagezeiten und darüber hinaus zur weiteren Reduzierung von Fehlerquellen beiträgt.

Oft, wie es die gezeigten Beispiele demonstrieren, finden Prinzipien der damaligen Erfindungen und Patente heute noch Anwendung. Durch Weiterentwicklung und Anpassung der daraus resultierenden Technologien und Produkte ist eine Erhöhung des Anteils von Gebäuden, die aus vorgefertigten flächigen Holzelementen errichtet werden, denkbar.

Dieser erste Teil dient als Basis zum zweiten Teil der Bestandsaufnahme der am Markt befindlichen Holzbausysteme. Gleichzeitig lassen sich Rückschlüsse neuerer Entwicklungen auf einige der vorher beschriebenen Konstruktionen ziehen. Bei der Entwicklung weiterer moderner Holzbausysteme können unter Umständen Prinzipien von Bausystemen aus früheren Entwicklungsständen Vorlagen liefern, die dann in Kombination mit modernen Fertigungsmethoden konkurrenzfähige Produkte nach heutigen Standards liefern.

2 Der heutige Stand der Entwicklung von vorgefertigten flächigen Holzbausystemen

2.1 Produktübersicht einiger bedeutender Hersteller vorgefertigter flächiger Holzbausysteme

Die Informationen über die im Folgenden beschriebenen Holzbausysteme stammen aus den Produktschriften der jeweiligen Hersteller, den Schriften des INFORMATIONSDIENSTES HOLZ und Internetrecherchen. Aufgrund der Vielzahl von Herstellern der einzelnen Elemente, hier sind besonders Brettstapel- und Leimholz-Elemente zu nennen, kann in den folgenden Ausführungen nicht auf alle Hersteller eingegangen werden. Vielmehr werden die einzelnen Systeme eines oder einiger bedeutender Hersteller betrachtet.

2.1.1 Einleitung mit Begriffsdefinitionen

Unter vorgefertigten flächigen Holzbausystemen ist die Anwendung vergüteter Hölzer und Holzwerkstoffe zu verstehen, die in Form von vorgefertigten plattenförmigen Elementen gleichzeitig tragende, aussteifende und raumabschließende Funktion sowie teilweise den Wärme- und Schallschutz übernehmen. Der Einsatz dieser Holzbausysteme als Decken und Wände ermöglicht einen hohen Vorfertigungsgrad, der sich auf Grund der daraus resultierenden sehr kurzen Montagezeiten positiv auf die Gesamtkosten des Bauwerkes auswirkt. Zur Erzielung von erforderlichen Parametern des Wärme- und Schallschutzes erhalten diese Elemente je nach Einsatzzweck zusätzliche Wand-, Dach- bzw. Fußbodenaufbauten. Die bekannten Vorteile hinsichtlich der Kosten und der Konstruktionsdetails aus dem konventionellen Massivbau können aufgrund der Bündelung der Funktionen mit diesen scheibenartigen Konstruktionen auf den Holzbau übertragen werden. Holzkonstruktionen bieten darüber hinausgehende Vorteile. Hierbei sind vor allem der nach EnEV geforderte und leicht zu erreichende Wärmeschutz sowie der konstruktiv einfache Umgang mit in den Außenbereich auskragenden Bauteilen zu nennen. Der erforderliche Brandschutz lässt sich über zwei Wege realisieren. Unbekleidete Konstruktionen sind unter Einbeziehung der Resttragfähigkeit (Warmbemessung) möglich. Die zweite Möglichkeit der Realisierung ist die Bekleidung der Bauteile mit entsprechenden Feuerschutzplatten. Dafür bieten die DIN 4102 im Teil 4 im Zusammenhang mit DIN 4102-22 und die Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) klassifizierte Konstruktionen, bei deren Anwendung ein Nachweis nicht erforderlich ist.

Bei den am Markt befindlichen, flächigen Holzbausystemen sind nach ihren Fügeprinzipien die folgenden Hauptgruppen zu unterscheiden:

- Leimholz-Elemente
- Brettstapel- und Dübelholzelemente

- Brettsperrholzelemente
- Zusammengesetzte Flächenelemente
- Elemente aus Holzwerkstoffen
- Holz-Beton-Verbundbauweise

In den folgenden Ausführungen werden entsprechend der genannten Hauptgruppen die Elemente der jeweiligen Systemhersteller beschrieben. Systemübergreifende Kriterien, wie Material, Fügeprinzipien, Dimensionen, Lieferlängen und die Art der Verwendung (Decke/Dach und/oder Wand) sind dabei Thema. Spezielle Eigenschaften der Elemente, wie Vorfertigungsgrad, die Aufnahme von Installationen und Bekleidungen finden ebenfalls Beachtung.

2.1.2 Leimholz-Elemente

2.1.2.1 K.Profidecke

Hersteller: Kaufmann Holz AG

Vorderreuthe 57

A-6870 Reuthe

<http://www.kaufmann-holz.at/>

Bei diesen Deckenelementen handelt es sich um Elemente mit Doppelnut und Kamm an den Seitenflächen. Zur wasserfesten Verleimung mit Melamin-Harnstoffharz-Leim werden nordische Fichtelamellen der Sortierklasse S10 gemäß DIN 4074-1 verwendet. In die Elemente ist bereits oberseitig ein Falz für die Aufnahme einer Schublasche zur Scheibenausbildung der verlegten Elemente eingearbeitet. Die Anordnung von Rampa-Muffen (Innengewindehülsen) an der Oberseite der Deckenelemente dient zur Aufnahme von Ringmuttern für die Montage.

Die Elemente werden in Breiten von 62,5 cm und in Elementdicken von 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220 und 240 mm mit einer maximalen Elementlänge von 18,00 m hergestellt und fertig abgebunden auf die Baustelle geliefert. [24]

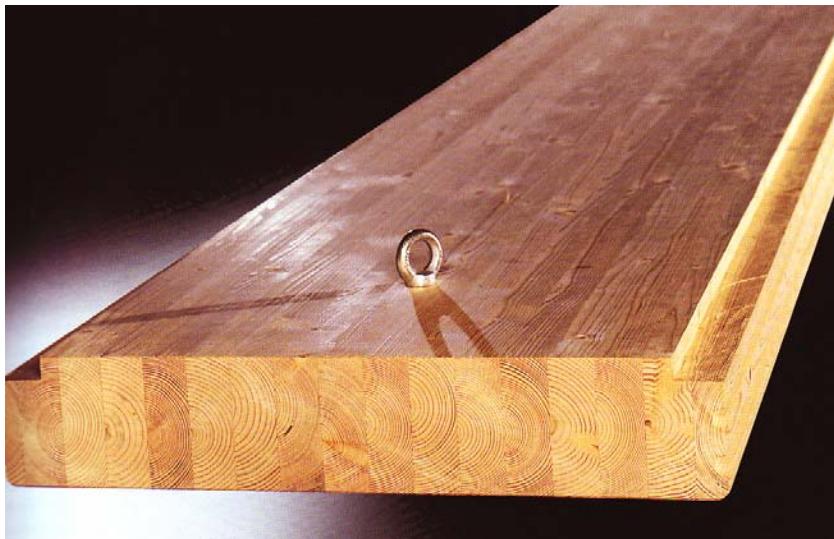


Abb. 25 K.Profidecke aus [24]

2.1.2.2 KLIMAPLAN-Wand

Hersteller: Hubert Schmid Bauunternehmen GmbH
Iglauer Str. 2
D-87616 Marktoberdorf
<http://www.klimaplan.de/>

Dieses System besteht aus Wandtafelementen, die aus 80 mm dicken, verleimten Fichtenholzlamellen in Breiten von 375, 500 und 625 mm hergestellt werden. Grundmodul ist hier die Oktameterordnung der DIN 4172. Die Verbindung der Elemente untereinander erfolgt stehend, nämlich durch angefräste Doppelnut- und Federverbindungen. Die Wände werden im Werk i. d. R. auf die komplette Hauslänge und geschoss hoch vormontiert. Elektroinstallatoren, Fenster und Türen sind vormontiert lieferbar. Eckverbindungen der Wandelemente werden mittels einer Schwabenschwanz-Verbindungsleiste realisiert. Die Firma Hubert Schmid setzt ausschließlich auf konstruktiven Holzschutz und liefert die Elemente ohne chemische Behandlung. Durch Beplankung mit entsprechenden Materialien bzw. durch Überdimensionierung der tragenden Bauteile erreicht man die notwendigen Brandschutzanforderungen.

Zum Einsatz bei der Herstellung der mit Kauratim Leim 681 (BASF) verbundenen Elemente kommt technisch getrocknetes Fichtenholz. [23]



Abb. 26 KLIMAPLAN-Wand aus [23]

2.1.2.3 Pius Blockholz

Hersteller: Pius Schuler AG
Kronenstraße 12
CH-6418 Rothenturm
<http://www.piusholz.ch/>

Blockholz -als Leimholzsonderling- wird durch Verleimen von kurzen Fichten- und Tannenholz-Lamellen hergestellt (keine Keilzinkung). Es ist auch erhältlich als drei- und fünfschichtige Platte sowie als Rippenplatte, Hohlkastenträger und Faltwerkkonstruktion. Anwendung findet Blockholz als Wand- und Deckenplatte und im Holz-Beton-Verbundbau. Die Lamellenstärken betragen 20 oder 26 mm. Die 1-Schichtplatte wird in Stärken von 8 bis 220 mm, in Breiten von 75 bis 800 mm und in Längen bis 8000 mm angeboten. 3- und 5-Schichtplatten werden in Stärken von 24 bis 140 mm, in Breiten bis 2180 mm und in Längen bis 7200 mm hergestellt. Die Grundraster und Lieferlängen bei Rippenplatten, Hohlkastenträgern und Faltwerkkonstruktion sind denen von 1-, 3- und 5-Schichtplatten gleich. [40] Als besonders interessant einzustufen ist bei diesem Hersteller die Liefermöglichkeit von Faltwerken. Außerdem haben kreuzweise verleimte Holzelemente den Vorteil, dass sie maßhaltiger in Bezug auf Quellen und Schwinden bei veränderlicher Luftfeuchtigkeit sind.

2.1.2.4 PUR-Massivholzplatten

Hersteller: Zang + Bahmer GmbH
Justus-von-Liebigstr. 6
D-63128 Dietzenbach
<http://www.zang-und-bahmer.de/>

PUR-Massivholzplatten sind Brettschichtholzplatten aus verleimten, 40 mm breiten Fichtelamellen. Die Elemente sind doppelt genutet und mit Fremdfeder oder Stufenfalz versehen. Dicken von 80 bis 200 mm mit Oberflächen in Sichtqualität und Industriequalität stellt diese Firma her. Lieferlängen sind bis 24,00 m möglich. Als Profilierungen stehen Platten mit Stufenfalz oder mit einzulegender Fremdfeder bzw. doppelt genutet und gespundete Platten zur Verfügung. PUR-Massivholzplatten sind in den Festigkeitsklassen BS11 und BS14 erhältlich. [75]

2.1.2.5 Ladenburger-Leimholz-Element

Hersteller: Holzwerke Ladenburger
Zur Walkmühle 1-5
D-73441 Aufhausen
<http://www.ladenburger.de/>

Diese aus 40 mm breiten, technisch getrockneten Fichtelamellen bestehenden Brettschichtelemente sind mit farblosem Melaminharzleim verleimt.

Als Oberflächenqualitäten sind Industriequalität (gehobelt, gefast, ohne Nacharbeiten von optischen Beeinträchtigungen - Äste, Löcher etc.) und Standardqualität (gehobelt, gefast, mit Nacharbeiten von optischen Beeinträchtigungen - Äste, Löcher etc.) lieferbar.



Abb. 27 Leimholz-Element Fa. Ladenburger aus [28]

Technische Angaben:

- Holzart: Fichte
- Lamellenstärke: 40 mm
- Holzfeuchte: 12 %
- Stärken: 80/100/120/140/160/180/200/220/240/260/280 mm
- Breite der Elemente: 640 mm
- Elementlängen: bis 24,00 m [28]



Abb. 28 Verlegung einer Brettstapeldecke (Foto Verfasser)



Abb. 29 Untersicht einer Brettstapeldecke (Foto Verfasser)

2.1.2.6 Schaffitzel-SHD

Hersteller: Schaffitzel Holzindustrie GmbH
Herdweg 23
D-74523 Schwäbisch Hall
<http://www.schaffitzel.de/>

Bei den SHD Wandelementen handelt es sich um industriell vorgefertigte, selbst tragende, C-förmige Wandelemente mit eingelegter Dämmung. Eine variable Außenbekleidung der Elemente ist beispielsweise in Form von Holzverschalungen oder Faserzementplatten möglich.

Diese Elemente sind mit den im Industriebau erfolgreich eingesetzten Stahlblech-Kassetten vergleichbar, bieten aber den Vorteil der materialbedingten Vermeidung von Kältebrücken. Eine Innenbekleidung ist nicht notwendig, da die Holzkassetten innenseitig oberflächenfertig geliefert werden. Die Feuerwiderstandsdauer der Kassetten beträgt rechnerisch F30B nach DIN 4102-4 und ENV 1995-1-2. [47]

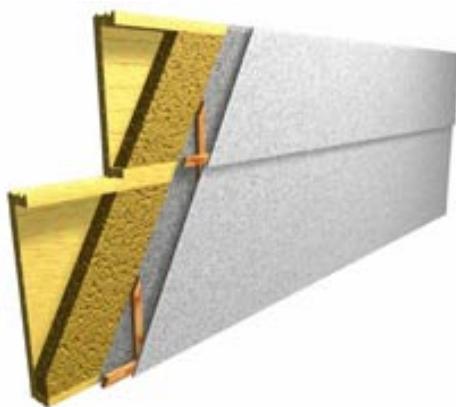


Abb. 30 SHD-Wandelement aus [47]

2.1.3 Brettstapel- und Dübelholzelemente

2.1.3.1 Kaufmann Dübelholzelemente

Hersteller: Kaufmann Massivholz GmbH
Max-Eyth-Straße 25-27
D-89631 Oberstadion
<http://www.1a-kmh.de/>

Im Gegensatz zu den bereits beschriebenen Brettschichtelementen werden bei den Dübelholzelementen die Holzlamellen mittels Nagelung bzw. Stabdübeln miteinander verbunden. Da das Prinzip bei allen Herstellern gleich ist, ist hier stellvertretend nur das System der Fa. Kaufmann Massivholz beschrieben. Dabei werden Fichtelamellen mit 59 mm Breite zu 59 cm breiten Elementen mittels Verdübelung mit durchgehenden Buchestabdübeln zusammengefasst. Lieferbare Elementdicken sind 94, 118, 140, 160, 180, 195 mm. Die Herstellung der Brettstapel-Elemente erfolgt bis zu einer Länge von 12 m. Die Firma Kaufmann bietet verschiedene Elementarten an, die im Folgenden kurz erläutert werden. [26]

Top F

- gehobeltes, verdübeltes Fichte-Konstruktionsvollholz
- Unterseite in Sichtqualität
- fertig abgebunden lieferbar, Längentoleranz +/- 3 mm
- alle Lamellen sind gefast, auch lieferbar als Top G ohne Fasen



Abb. 31 Verlegung von Top F-Elementen aus [26]

Akustik

- wie Top F, aber mit unterseitiger Akustikfrässung



Abb. 32 Untersicht Akustik-Elemente aus [26]

Basic

- wie Top F, jedoch ist die Untersicht nicht überarbeitet
- zum Einbau im nicht sichtbaren Bereich bzw. im Industriebau

Master

- Deckensystem mit besonders hoher Masse und damit guten Schallschutzeigenschaften
- jede zweite Lamelle steht höher – der Zwischenraum wird mit Splitt aufgefüllt
- fertig abgebunden lieferbar, Längentoleranz +/- 3 mm
- Lieferstärken 16 – 24 cm, Lieferlängen bis 12,00 m
- Unterseite ist generell mit Plattenmaterial beplankt (Rieselschutz)

CombiTherm

- gedämmte Elemente für Kellerdecken
- nicht sichtbare Elemente mit eingepresster Holzweichfaser vertikal
- Doppelnut und Doppelfeder
- nach der Verlegung werden oberseitig OSB-Platten als luftdichte Ebene sowie zur Aussteifung aufgebracht
- fertig abgebunden lieferbar, Längentoleranz +/- 3 mm



Abb. 33 CombiTherm-Element aus [26]

2.1.4 Brettsperrholz-Elemente

2.1.4.1 Holz 100

Hersteller: Thoma Holz GmbH
A-5622 Goldegg
<http://www.holz100.at/>

Die kreuzweise verlegten Brettschichten werden zu Elementen bis 40 cm Dicke zusammengesetzt. Mit im Raster versetzten Buchestabdübeln erfolgt die Verbindung der Lamellen untereinander. Diese Buchestabdübel werden nach extremer Trocknung in die Elemente eingetrieben und pressen sich durch Aufnahme von Restfeuchte aus den Elementen an die Lochwandung. Die zusätzliche Verkeilung der geschlitzten Dübel an den Elementenden sorgt außerdem für einen sicheren Sitz der Verdübelung. [58]



Abb. 34 Querschnitt Holz 100 aus [58]

2.1.4.2 KLH Kreuzlagenholz

Hersteller: KLH Massivholz GmbH

A-8842 Katsch

<http://www.klh.at/>

Kreuzlagenholz ist ein Brettsperrholz, das aus kreuzweise, in 3, 5, 7 und mehr übereinander verleimten Schichten aus Fichtebrettern besteht. Die Lamellenstärken reichen von 10 bis 40 mm.

Plattenstärken bis 50 cm, Längen bis 16,50 m und Breiten bis 2,95 m sind herstellbar. Verwendet wird ausschließlich technisch getrocknete Brettseitenware mit einer Holzfeuchte von 12 % (+/-2 %). [27]

2.1.4.3 LenoTec / LenoPlan

Hersteller: Finnforest Merk GmbH

Industriestraße 2

D-86551 Aichach

<http://www.merk.de/>

Die in 3 bis 17 Lagen kreuzweise verleimten, je nach Lieferlänge auch keilgezinkten Fichtenlamellen haben einen symmetrischen Aufbau. Es sind auch gekrümmte Bauteile lieferbar.

Unter der Bezeichnung LenoTec laufen fertig abgebundene Elemente, während die Bezeichnung LenoPlan -bei identischem Aufbau- für ständig vorgehaltene Lagerware steht. Beide Elemente sind in Größen bis 4,80 m x 14,80 m und in Dicken zwischen 51 mm und 297 mm lieferbar. [8]



Abb. 35 Querschnitt LenoTec / LenoPlan aus [8]



Abb. 36 Fertigung gebogener LenoTec-Elemente aus [8]

2.1.4.4 Santner HolzBauElement

Hersteller: Santner & Spiehs OEG
Rudolfstraße 5
D-8010 Graz
<http://www.santner.info/>

Bei diesen Elementen werden Längslagen aus verleimten Einschichtplatten mit Querlagen aus Vollholzlamellen mittels Verleimung miteinander verbunden. Durch Keilzinkung ist die Herstellung von Endloselementen möglich, die in sieben Standarddicken zwischen 60 und 350 mm mit Decklagendicken von 18 mm und 38 mm lieferbar sind. Verwendete Holzarten sind Fichte, Lärche und Zirbe. Die Oberflächenqualität dieser Holzelemente ist zweiseitig gehobelt und zusätzlich einseitig geschliffen. Die Elementbreite beträgt 125 cm und die maximale Länge 24 m. [45]



Abb. 37 Verlegung der Santner-Elemente aus [45]



Abb. 38 Fußpunkt Wand des Santner-Elementes aus [45]

2.1.5 Zusammengesetzte Flächenelemente

2.1.5.1 Lignotrend

Hersteller: Lignotrend AG
Landstraße 25
D-79809 Weilheim
<http://www.lignotrend.com/>

Diese Holzblocktafelemente aus mehrlagig, kreuzweise auf Abstand verleimten Nadelholzbrettern sind als Block- und Rippenplatte für Decken- und Wandelemente lieferbar. Beim Einbau von Rippenplattenelementen ist die Aufnahme von Elektro-, Heizungs- und Wasserleitungen möglich. Außerdem ist mit LIGNO-Akustik-Elementen durch unterschiedliche Absorbermaterialien, Elementhöhen und Schlitzbreiten nahezu jede Schallabsorptionskurve realisierbar, was den Einsatz dieser Elemente in öffentlichen Bauten sehr attraktiv macht. [32]

2.1.5.2 Lignatur

Hersteller: Lignatur AG
Mooshalde 785
CH-9104 Waldstatt
<http://www.lignatur.ch/>

Hierbei handelt es sich um industriell gefertigte Holzbauelemente in Zellenbauweise, die als Kasten-, Flächen- und Schalenelemente hergestellt werden. Die Elemente sind als tragende Decken- und Dachkonstruktionen einsetzbar.

Folgende Elemente sind lieferbar:

Lignatur-Kastenelement (LKE)

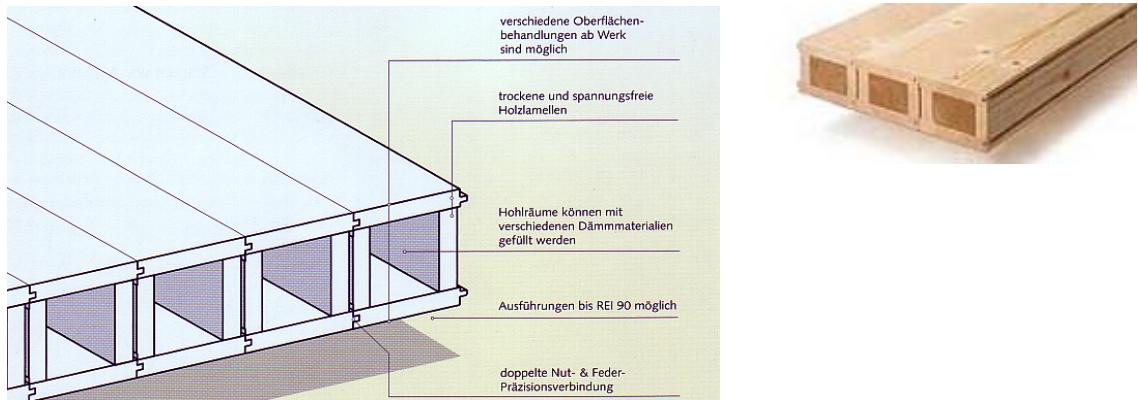


Abb. 39 Lignatur-Kastenelement (LKE) aus [29]

- Einsatz in Sanierung und Neubau als Decken und Dächer
- Spannweiten bis 9,00 m Brandschutzanforderungen bis REI 90
- Handmontage möglich
- Einsatz im sichtbaren Bereich
- Elemente können bereits im Werk zu großflächigen Elementen bis zur Transportbreite zusammengefügt werden
- Elementbreite 200 mm
- Elementlänge bis 12,00 m
- Elementhöhen 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 280, 320 mm
- Einbau von Mineral- und Holzfaserdämmplatten in die Kastenelemente möglich

Lignatur-Flächenelement (LFE)

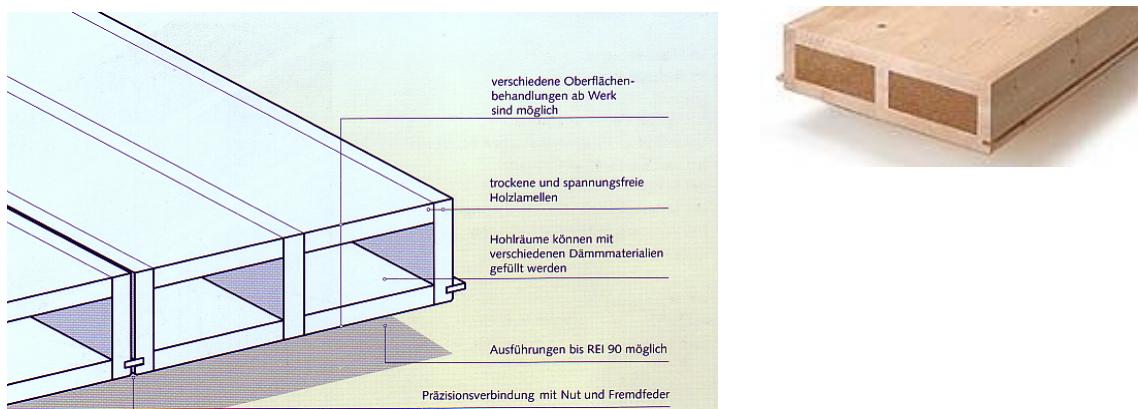


Abb. 40 Lignatur-Flächenelement (LFE) aus [29]

- Anwendung im Neubau und im Industriebau

- Spannweiten bis 9,00 m
- Brandschutzanforderungen bis REI 90
- Einsatz im sichtbaren Bereich
- Elementbreiten 514 mm und 1000 mm
- Elementlänge bis 16,00 m
- Elementhöhen 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 280, 320 mm.
- Einbau von zusätzlichen Beschwerungen in den Hohlräumen zur Verbesserung des Tritt- und Luftschallschutzes möglich
- Einbau von Mineral- und Holzfaserdämmplatten in die Kastenelemente möglich
- Oberflächenqualitäten Industrie (J), Normal (N), Auslese (A)
- **J:** Sichtdecken industrieller Bauten und Blinddecken
- **N:** Sichtdecken für öffentliche Bauten und untergeordnete Decken im Wohnbereich
- **A:** Sichtdecken im Wohnbereich

Lignatur-Schalenelement (LSE)

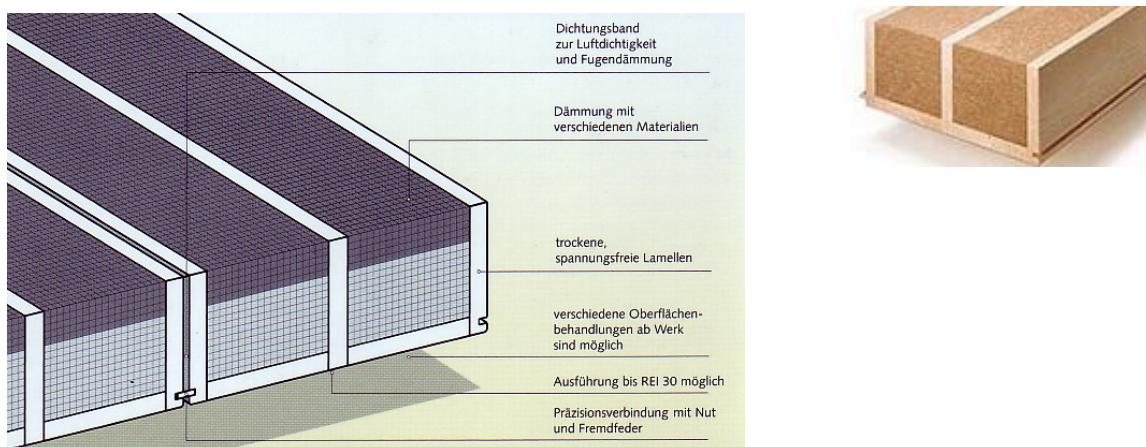


Abb. 41 Lignatur-Schalenelement (LSE) aus [29]

- Anwendung im Neubau und im Industriebau
- Spannweiten bis 9,00 m
- Brandschutzanforderungen bis REI 30
- Einsatz im sichtbaren Bereich
- Elementbreite 514 mm und 1000 mm
- Elementlänge bis 12,00 m
- Elementhöhen 160, 180, 200, 220, 240 mm
- Einbau von Mineral- und Holzfaserdämmplatten in die Kastenelemente möglich

- Oberflächenqualitäten Industrie (**J**), Normal (**N**), Auslese (**A**)
- **J:** Sichtdecken industrieller Bauten und Blinddecken
- **N:** Sichtdecken für öffentliche Bauten und untergeordnete Decken im Wohnbereich
- **A:** Sichtdecken im Wohnbereich [29]

2.1.5.3 Ligu

Hersteller: Holz-Lamellenwand GmbH
Lange Straße 39
D-27308 Kirchlinteln
<http://www.holz-lamellenwand.de/>

Wabenförmig verleimte Massivholzbretter bilden diese kastenförmigen Elemente. Bei der Herstellung kommt vorzugsweise Rundholz des Wintereinschlages zum Einsatz. Verwendete Holzarten sind Kiefer, Fichte, Lärche und Douglasie. [21]



Abb. 42 Traufdetail mit Ligu-Elementen aus [21]

2.1.5.4 Multibox / Multisteg

Hersteller: Kaufmann Holz AG
Vorderreuthe 57
A-6870 Reuthe
<http://www.kaufmann-holz.at/>

Multibox und Multisteg sind Tafelemente mit einseitiger bzw. zweiseitiger aufgeleimter Beplankung. Da die Beplankung mit den Rippen verleimt wird, handelt es sich um einen schubfesten Verbundquerschnitt. Die Elemente können als Wand-, Decken- und Dachelement eingesetzt werden. Als Materialien für die Stege kommen Vollholz oder Brettschichtholz zum Einsatz. Für die Beplankungen werden in der Regel Dreischichtplatten oder u. U. OSB-Platten verwendet. Multibox und Multisteg sind für große Spannweiten geeignet. Eine problemlose Scheibenausbildung der verlegten Elemente ist durch das längsseitige Überstehen der Beplankungen gegeben. Dadurch können die Elemente kraftschlüssig miteinander verbunden werden. [25]

2.1.5.5 Celltec

Hersteller: WIEHAG GmbH
Linzer Straße 24
A-4950 Altheim
<http://www.wiehag.at/>

Diese großflächigen Dachelemente mit einem Kern als Wabenstruktur sind extrem leicht und verwindungssteif. Die Entwicklung dieser Elemente erfolgte vorrangig für den Industriebau, als alternative Sekundärtragschale zu Trapezblechen. Sie bestehen aus einer Unter- und Oberschale aus 12 mm OSB-Platten sowie aus wabenförmig angeordneten, 7 mm breiten, Spanplattenstegen. Die schubfeste Verbindung des zusammengesetzten Elementes erfolgt mittels Verleimung. Durch den geringen Steganteil (3 – 5 %) ist das Element praktisch wärmebrückenfrei. Die Grundstruktur ist in Anlehnung an die Struktur von Laubholzgefäßen entwickelt worden. Die Elemente sind auch in REI 30, dann mit 30 mm OSB Untergurtplatte, lieferbar. Die offenen Stirnseiten der Elemente werden mit OSB-Plattenstreifen geschlossen. Die Dämmung der Dachhaut erfolgt als zusätzliche Aufdachdämmung. [69]

2.1.6 Elemente aus Holzwerkstoffen

2.1.6.1 Homogen80

Hersteller: Systemholzbau Homogen80
Rebbergstraße 107
CH-8242 Bibern
<http://www.homogen80.ch/>

Bei diesen flächigen Wandbauteilen handelt es sich um 80 mm dicke Holzspan-Flachpressplatten, die als komplett vorgefertigte Wandelemente gleichzeitig raumabschließende und aussteifende Funktion übernehmen. Die montierten Normalformatplatten 200 cm x 265 cm -genutet- oder 203 cm x 268 cm -unprofiliert- sind auf der Innenseite oberflächenfertig. Die Außenseite erhält eine Dämmung mit Verputz bzw. eine hinterlüftete Außenhaut. [57]

2.1.6.2 LenoStrand

Hersteller: Finnforest Merk GmbH
Industriestraße 2
D-86551 Aichach
<http://www.merk.de/>

Die aus mehreren verleimten Lagen OSB-Platten verschiedener Hersteller bestehenden Elemente sind in Dicken von 66 – 180 mm, Breiten von 2,80 m und 3,00 m und Längen bis 14,80 m lieferbar. Aufgrund guter schalltechnischer Eigenschaften werden diese Elemente vorzugsweise als Trennwände eingesetzt. Die Lieferung ist einschließlich Brandschutzbekleidung möglich. [8]



Abb. 43 Wandquerschnitt mit einseitiger Gipsfaserbeplankung aus [8]

2.1.7 Holz-Beton-Verbundbauweise

2.1.7.1 Holoton W und Holoton B Decken

Hersteller: Kaufmann Massivholz GmbH
Max-Eyth-Straße 25-27
D-89631 Oberstadion
<http://www.1a-kmh.de/>

Diese vorgefertigten Holz-Beton-Verbunddeckenelemente sind in den Oberflächenqualitäten der Unterseite als Sicht-, Akustik- und als sägeraue Elemente lieferbar. Der Unterschied zwischen beiden Elementen besteht darin, dass es sich bei Holuton W um vorgefertigte Trogelmente mit einer Breite von 58 cm, die bereits im Werk ausbetoniert werden, handelt und bei Holuton B um Brettstapel-Elemente, die auf der Baustelle den Aufbeton vollflächig erhalten. Beide Elemente weisen sehr gute Schall- und Brandschutzeigenschaften auf. Bei beiden Elementen übernimmt der aufgebrachte Beton die Biegedruckspannungen und das Holz die Zugspannungen. [26]



Abb. 44 Trog-Element ohne Betonfüllung aus [26]

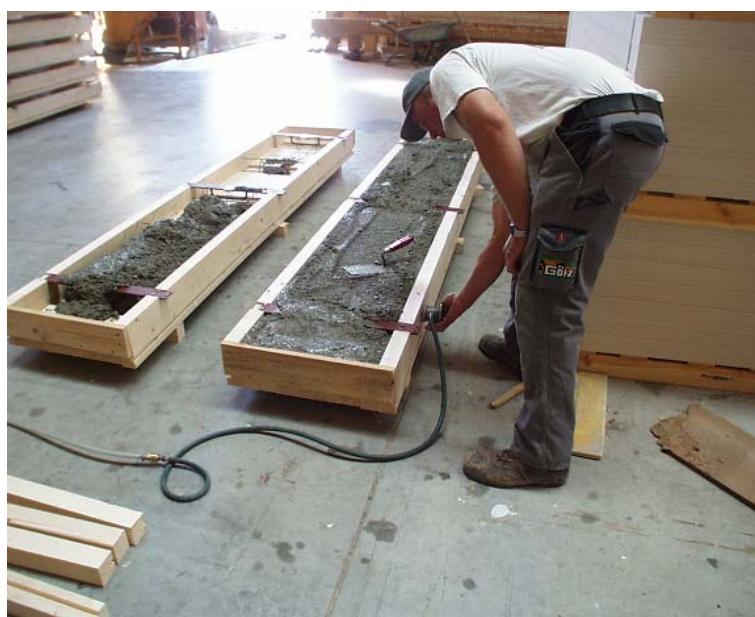


Abb. 45 Werkseitige Füllung der Trog-Elemente aus [26]

Sehr interessante Holz-Beton-Elemente mit versetzten Brettstapellamellen werden auch in Frankreich und der Schweiz hergestellt. Weiterführende Informationen hierzu findet man un-

ter <http://www.cbs-cbt.com>. Das Ingenieurbüro CBS aus Saint Sulpice, Schweiz (Prof. Sandoz) hat sich außerdem mit der Anwendung von Holzfaltwerken und Brettstapel-Elementen mit versetzten Einzellamellen auseinandergesetzt. [44]

Tabellarische Produkt- und Herstellerübersicht vorgefertigter flächiger Holzbausysteme

Tab. 1 Produkt- und Herstellerübersicht vorgefertigter flächiger Holzbausysteme [16]

Produkt	Hersteller	Kurzbeschreibung	Länge (m)	Breite (cm)	Dicke (cm)
2.1.2 Leimholz-Elemente					
2.1.2.1 K.Profidecke	Kaufmann Holz AG Vorderreuthe 57 A-6870 Reuthe www.kaufmann-holz.de	<ul style="list-style-type: none"> • Deckenelemente • Doppelnut und Kamm • Schublasche an Oberseite • Ringmutter an Oberseite 	bis 18.00	62,5	10/12/14/ 16/18/20/ 22/24
2.1.2.2 KLIMAPLAN-Wand	Hubert Schmid GmbH Iglauer Str. 2 D-87616 Marktoberdorf www.klimaplan.de	<ul style="list-style-type: none"> • Wandelemente • Grundmodul Oktameterordnung • auf Gebäudelänge vorgefertigt • Doppelnut und Feder 	geschoss-hoch	37,5 50 62,5	8
2.1.2.3 Pius Blockholz	Pius Schuler AG Kronenstraße 12 CH-6418 Rothenturm www.pius-schuler.ch	<ul style="list-style-type: none"> • Wand- und Deckenelemente • Rippenplatten • Hohlkastenträger • Faltwerkkonstruktionen 	bis 8.00	bis 80	bis 22
2.1.2.4 PUR-Massivholzplatten	Zang+Bahmer GmbH Justus-von-Liebigstr. 6 D-63128 Dietzenbach www.zang-und-bahmer.de	<ul style="list-style-type: none"> • Wand- und Deckenelemente • Nut-Feder, Stufenfalte, Fremdfeder 	bis 24.00	individuell	8 - 20
2.1.2.5 Ladenburger - Brettstapeldecke	Holzwerke Ladenburger Zur Walkmühle 1-5 D-73441 Aufhausen www.schaffitzel.de	<ul style="list-style-type: none"> • Industrie- und Standardqualität • mit Fremdfeder 	bis 24.00	64	8/10/12/14/16 18/20/22/24/26 28
2.1.2.6 Schaffitzel-SHD	Schaffitzel Holzindustrie GmbH Herdweg 23 D-74523 Schwäbisch H. www.schaffitzel.de	<ul style="list-style-type: none"> • C-förmige Holzkassetten • einlegbare Dämmung • Innenseite oberflächenfertig • zusätzliche Bekleidung außen 	bis 15.00	62.5 - 100	14 - 24
2.1.3 Brettstapel- und Dübelholzelemente					
2.1.3.1 Dübelholzelemente	Kaufmann Massivholz GmbH Max-Eyth-Straße 25-27 D-89631 Oberstadion www.1a-kmh.de	<ul style="list-style-type: none"> • Top F - Unterseite in Sichtqualität • Akustik - Unterseite perforiert • Basic - Untersicht nicht Sichtqualität • Master - zur Splittverfüllung • CombiTherm - Holzweichfaser 	bis 12.00	59	9,4/11,8/ 14/16/18/ 19,5 und 16 -24

Produkt	Hersteller	Kurzbeschreibung	Länge (m)	Breite (cm)	Dicke (cm)
2.1.4 Brettsperrholz					
2.1.4.1 Holz 100	Thoma Holz GmbH A-5622 Goldegg www.holz100.at	<ul style="list-style-type: none"> im Raster versetzte Buchedübel Holzeinschlag nach Mondphase 	k. A.	k. A.	bis 40
2.1.4.2 Kreuzlagenholz	KLH Massivholz GmbH A-8842 Katsch www.klh.at	<ul style="list-style-type: none"> 3-, 5- und 7-lagig Brettlagen verleimt 	bis 16.50	bis 295	bis 50
2.1.4.3 LenoTec / LenoPlan	Merk GmbH Industriestraße 2 D-86551 Aichach www.merk.de	<ul style="list-style-type: none"> 3-17 Lagen kreuzweise verleimt gekrümpte Bauteile lieferbar LenoTec – abgebunden LenoPlan - Lagerware 	bis 14,80	bis 480	5.1 - 29.7
2.1.4.4 Santner Holz- BauElement	Santner & Spies OEG Rudolfstraße 5 D-8010 Graz www.santner.info	<ul style="list-style-type: none"> Längslagen aus verleimten Einschichtplatten Querlagen aus Vollholzlamellen 	bis 24.00	125	6 - 35
2.1.5 Zusammengesetzte Flächenelemente					
2.1.5.1 Lignotrend	Lignotend AG Landstraße 25 D-79809 Weilheim www.lignotrend.com/	<ul style="list-style-type: none"> außen faserparallel, innen mittig kreuzweise auf Abstand verleimte Brettlagen Einsatz für Wand, Decke, Dach 	bis 18.00	37.5 / 50 / 60	8/10/12/14/16/ 18/20/22/24/ 26/28
2.1.5.2 Lingnatur- Kastenelement	Lignatur AG Mooshalde 785 CH-9104 Waldstatt www.lignatur.ch	<ul style="list-style-type: none"> bei Sanierung und Neubau Dach und Decke Handmontage möglich Großelemente im Werk vormontierbar 	bis 12.00	20	8/10/12/ 14/16/18/ 20/22/24/ 28/32
Lingnatur- Flächenelement	Lignatur AG Mooshalde 785 CH-9104 Waldstatt www.lignatur.ch	<ul style="list-style-type: none"> bei Neubau als Dach und Decke Brandschutz bis REI 90 Großelemente im Werk vormontierbar 	bis 16.00	51.4 und 100	8/10/12/ 14/16/18/20/ 22/24/28/32
Lingnatur- Schalenenelement	Lignatur AG Mooshalde 785 CH-9104 Waldstatt www.lignatur.ch	<ul style="list-style-type: none"> Dämmung einlegbar Großelemente im Werk vormontierbar 	bis 12.00	51.4 und 100	8/10/12/ 14/16/18/20/ 22/24/28/32
2.1.5.3 Ligu	Holz-Lamellenwand GmbH Lange Straße 39 D-27308 Kirchlinteln www.holz-lamellenwand.de	<ul style="list-style-type: none"> wabenförmig verleimte Massivholzbretter kastenförmige Elemente 	k. A.	k. A.	k. A.
2.1.5.4 Multi- box/Multisteg	Kaufmann Holz AG Vorderreuthe 57 A-6870 Reuthe www.kaufmann-holz.de	<ul style="list-style-type: none"> Tafelemente, bestehend aus Rippen mit aufgeleimter einseitiger bzw. zweiseitiger Beplankung aus Holzwerkstoffen Einsatz für Wand, Decke, Dach 	bis 24.00	bis 200	lt. Statik

Produkt	Hersteller	Kurzbeschreibung	Länge (m)	Breite (cm)	Dicke (cm)
2.1.5.5 Celltec	WIEHAG GmbH Linzer Straße 24 A-4950 Altheim www.wiehag.at	<ul style="list-style-type: none"> Kastenelemente, bestehend aus ober- und unterseitiger OSB-Platte mit eingeleimten Wabenkern aus Holzwerkstoffplatten Einsatz für Dach, vornehmlich Industriebau 	bis 15.00	bis 250	16/18/20/22/ 24/26/28/30

2.1.6 Elemente aus Holzwerkstoffen

2.1.6.1 Homogen80	Systemholzbau Homogen 80 Rebbergstraße 107 CH-8242 Bibern www.homogen80.ch	<ul style="list-style-type: none"> geschoßhohe Wandelemente Holzspan-Flachpressplatten Zusatzdämmung außen 	2.65	200	8
2.1.6.2 LenoStrand	Merk GmbH Industriestraße 2 D-86551 Aichach www.merk.de	<ul style="list-style-type: none"> verleimte Lagen aus OSB-Platten guter Schallschutz Einsatz als Wandelemente 	bis 14.80	2.80 und 3.00	6.6 - 18

2.1.7 Holz-Beton-Verbundbauweise

2.1.7.1 Holoton	Kaufmann Massivholz GmbH Max-Eyth-Straße 25-27 D-89631 Oberstadion www.1a-kmh.de	<ul style="list-style-type: none"> Deckenelemente Holoton - Trogelemente mit Aufbeton im Werk bzw. auf der Baustelle 	bis 12.00	58	16-24
2.1.7.2 bauer hbv	HSE Römmelt GmbH & Co. KG Wachtküppelstraße 10 D-36163 Poppenhausen www.holzbetonverbund.info	<ul style="list-style-type: none"> Deckenelemente mit Aufbeton im Werk 	bis 15.00	bis 250	15-37

2.2 Konstruktive Lösungen bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzbausystemen

Aufgrund der großen Anzahl von Anbietern und der daraus resultierenden Fülle von Konstruktionsvarianten in den Aufbauten und Verbindungen werden hier nur grundsätzliche Möglichkeiten beschrieben. Oft unterscheiden sich die Lösungen der einzelnen Hersteller nur geringfügig und basieren auf dem gleichen Prinzip.

2.2.1 Aufbauten und Verbindmöglichkeiten von Wandsystemen

2.2.1.1 Aufbauten bei Wänden aus Leimholz-, Brettstapel- und Brettsperrholz

Unterschiede in den Wandaufbauten dieser Elemente bestehen zwischen verleimten, verdübelten und vernagelten Elementen bezüglich der Vertikalaussteifung. Während verleimte Elemente eine genügende Steifigkeit aufweisen, sind Dübelholz- oder vernagelte Brettstapel-Elemente zu „weich“ und müssen bei tragenden oder aussteifenden Wänden eine zusätzliche Beplankung aus Holzwerkstoffplatten erhalten. Gleichzeitig bildet diese Holzwerkstoffplatte die Winddichtungsebene, da bei diesen Elementen die Fugen zwischen den einzelnen Brett-lamellen offen sind.

Wichtig ist, auch die Außenwandanschlüsse winddicht herzustellen. Die Verbindungen der Elemente müssen in der Regel mit vorkomprimierten Dichtbändern an den Elementstößen und an Rähm und Schwelle versehen werden.

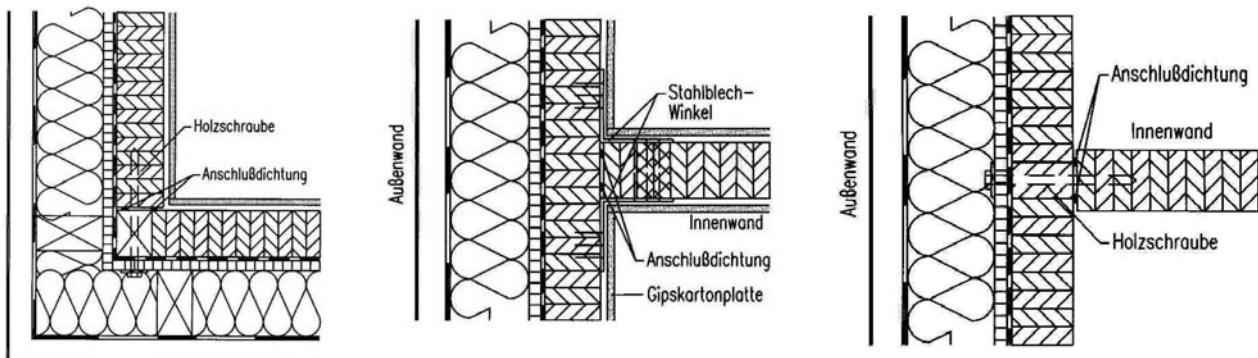


Abb. 46 Verbindungen Innenwand-Außenwand und Eckausbildung aus [68], S.18 und 19

Bei Außenwänden aus Massivholzelementen findet ebenfalls, wie bei Mauerwerks- oder Betonwänden, eine Funktionsbündelung statt. Tragende und aussteifende Funktion sowie eine anteilige Wärmedämmung übernimmt das Massivholzelement, der insgesamt erforderliche Wärmeschutz wird durch eine zusätzlich aufzubringende Wärmedämmung erfüllt. Als Wetterschutz sind zugelassene Putzsysteme bzw. Bekleidungen aus Massivholz oder Holzwerkstoffen möglich.

Während bei Wärmedämmverbundsystemen die Dämmung direkt an den Elementen bzw. auf der beschriebenen, zusätzlichen Beplankung befestigt wird, ist bei Fassadenbekleidungen aus Holz oder Holzwerkstoffen eine Unterkonstruktion notwendig. Diese Unterkonstruktion nimmt entsprechend ihrer Aufbaustärke die zusätzliche, äußere Wärmedämmung auf. Sollte eine äußere Bekleidung mit offenen Fugen gewählt werden, muss die Verlagerung der wasserführenden Ebene hinter die Fassadenvorderkante beachtet werden. Dies erfolgt durch die Anordnung einer diffusionsoffenen, wasserableitenden Dichtungsbahn hinter der Bekleidung. Dabei sind Anschlüsse an Fenstern und Türen sorgfältig zu detaillieren und auszuführen.

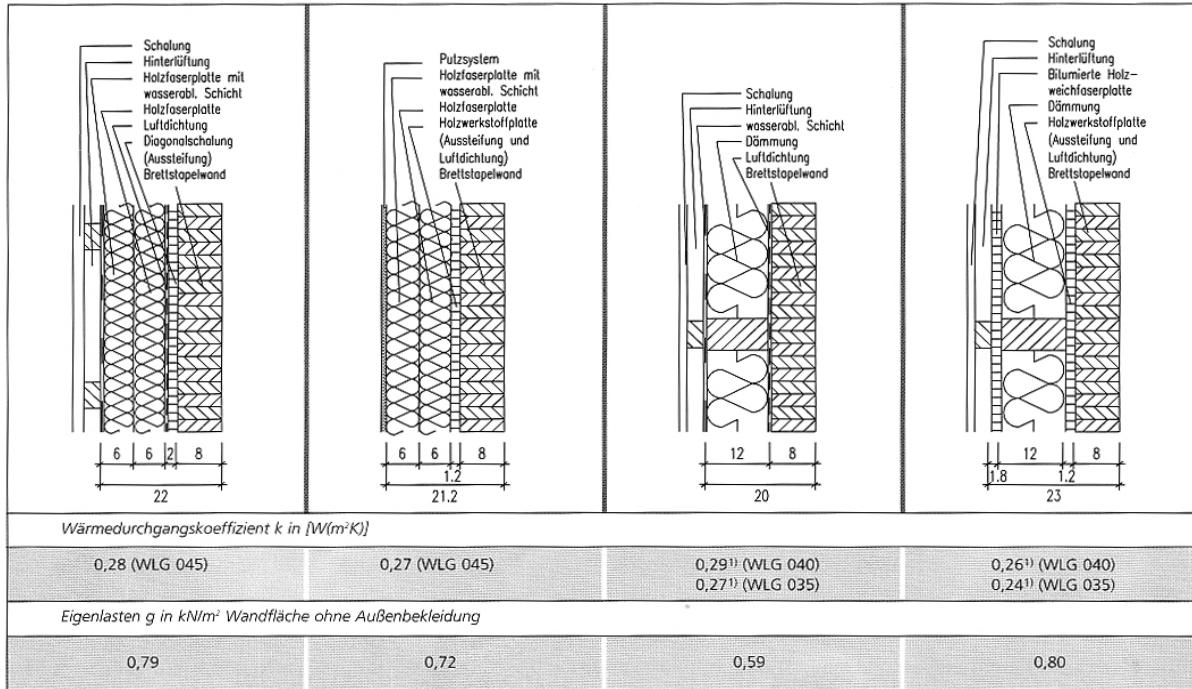


Abb. 47 Brettstapel-Außewände aus [68], S. 9

2.2.1.2 Verbindungs möglichkeiten bei Wänden aus Leimholz-, Brettstapel- und Brettsperrholzelementen

Tragende und nicht tragende Außen- und Innenwände aus den in der Überschrift genannten Elementen werden in der Regel aus mehreren, nebeneinander stehenden Elementen mit senkrecht stehenden Lamellen auf einem umlaufenden Rähm montiert, um eine Kraftweiterleitung aus der Deckenscheibe in die Wandkonstruktion zu gewährleisten. Die Befestigung und die Aussteifung dieser Elemente haben nach DIN 1052-1 zu erfolgen. Werden Wände aus mehreren Elementen zusammengefügt, entsteht eine so genannte Mehr raster-Tafel, die in der folgenden Darstellung abgebildet ist. Dabei ist zu beachten, dass auf diese Weise schubfest gekoppelte Elemente nur an den Wandenden auf Zug und Druck verankert werden müssen. [68]

Aufgrund der einfachen Geometrie der Elemente lassen sich auch einfache, leicht herzustellende Anschlüsse realisieren. Mögliche Verbindungen sind beispielsweise mit Schrauben, Bolzen oder seitlich anzubringenden Stahlwinkeln realisierbar. Die zug- und druckfeste Verbindung der Elemente auf den Schwellen bzw. dem Rähm wird in der Regel durch seitliches Verschrauben der überstehenden Holzwerkstoffbeplankung in Schwelle oder Rähm bzw. mittels auf der Gebäudeinnenseite liegender Stahlwinkel realisiert. Ebenso kann Schwelle oder Rähm schmäler als die Elementbreite sein und aus der Elementunterseite ausgespart werden. Hierbei ist ebenfalls ein seitliches Verschrauben möglich. Die Verbindung der Elemente untereinander erfolgt mittels Nut-Feder-Verbindung oder mit eingelegter Fremdfeder bzw. durch das versetzte Aufschrauben von Tafeln aus Holzwerkstoffplatten.

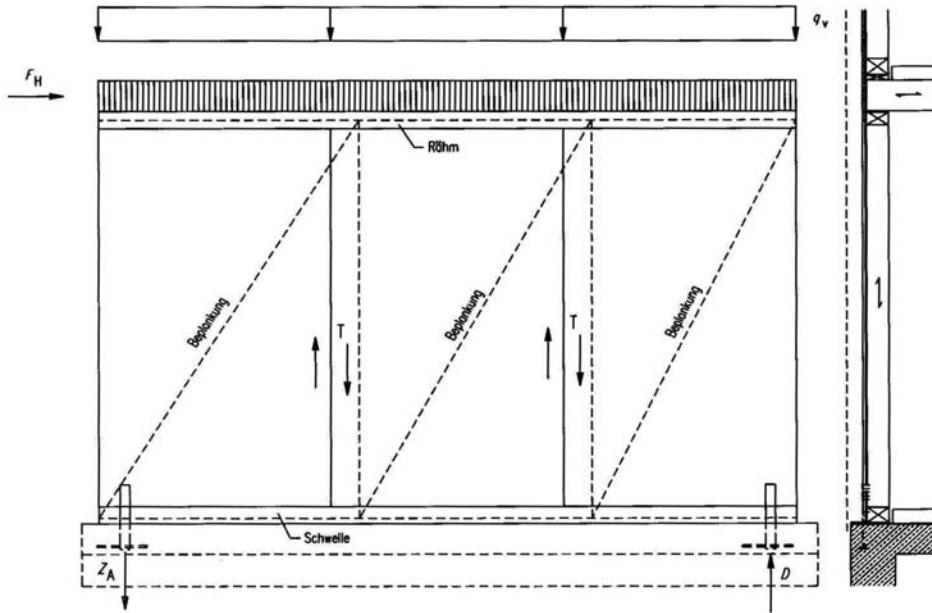


Abb. 48 Brettstapelwand als aussteifende Scheibe aus [68], S. 18

2.2.1.3 Aufbauten bei Wänden aus Holzwerkstoffelementen

Elemente aus Holzwerkstoffen, wie beispielsweise Homogen80 oder Lenostrand, die ausschließlich für den Einsatz als Wandelemente geeignet sind, haben aufgrund ihrer höheren Rohdichte (470 kg/m^3 für Homogen 80 nach Zulassung Z-9.1-220) gegenüber Nadelholz (beispielsweise 290 kg/m^3 in der Festigkeitsklasse C14 nach DIN 1052:2004-08) den Vorteil einer besseren Luftschalldämmung. Die Elemente können auch als zweischalige Konstruktion bei Gebäudetrennwänden ($R'_w = 75 \text{ dB}$) eingesetzt werden. Der Brandschutz wird über werkseitig montierte Gipsfaserplatten realisiert. Hiermit ist eine Feuerwiderstandsdauer bis 90 Minuten möglich. [9]

Innenseitige Dampfsperren entfallen, da die Baustoffe hinreichend luftdicht sind. Die Wandaufbauten gleichen denen im Kapitel 2.2.1.1.

2.2.1.4 Verbindungsmöglichkeiten bei Wänden aus Holzwerkstoffelementen

Die Montage und die Verbindungsmöglichkeiten der geschossenhoch vorgefertigten Elemente aus massiven Holzwerkstoffen entsprechen denen von Leimholz-Elementen. Eine zusätzliche Beplankung erfolgt hier nur aus konstruktiven Gründen, um mit über die Ränder überstehenden Holzwerkstoffplatten Einzelemente zu koppeln bzw. die Elemente an Rähm und Schwelle zu befestigen.

2.2.2 Fußbodenaufbauten und Verbindungs möglichkeiten von Deckensystemen

2.2.2.1 Fußbodenaufbauten bei Decken aus Leimholz-, Brettstapel-, Brettsper holzelementen

Die Fußbodenaufbauten lassen sich bei diesen Decken wie bei allen Massivbauweisen aufbringen. Einige gängige Fußbodenaufbauten mit Kennwerten sind in Abb. 49 dargestellt.

Bei Brettstapel- oder Dübelholzelementen ist zu beachten, dass -wie bei den Brettstapelwandelementen- mindestens eine Lage Holzwerkstoffplatten zur Aussteifung der Elemente zur Erzielung der Scheibenwirkung vollflächig aufgeschraubt werden muss. Der Gesamtdeckenaufbau erhöht sich entsprechend um diese Plattenstärke. Varianten der angegebenen Gesamtdeckenaufbauten sind möglich. Dabei ist aber immer auf die jeweiligen Parameter, die durch die Hersteller geprüft und angegeben werden, zu achten. Diese sind nur zu erreichen, wenn die Gesamtdeckenaufbauten exakt den geprüften Konstruktionen entsprechen. Das trifft im Besonderen auf den Trittschallschutz zu. Die in Abb. 49 angegebenen Werte sind Laborwerte ohne Berücksichtigung der Schallnebenwege.

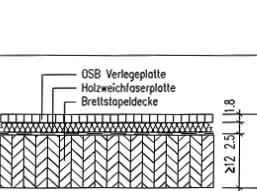
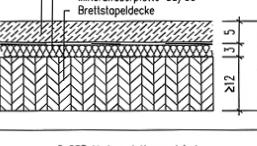
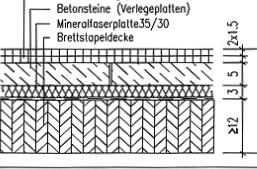
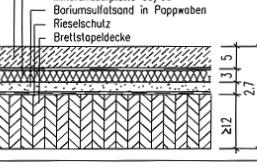
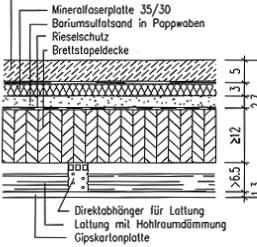
Decken	Wärmedurchgangskoeffizient k [W/(m ² K)]	bewertetes Schalldämmmaß R_w [dB]	bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ [dB]	Eigenlasten bei 12 cm Brettstapel g [kN/m ²]
	0,53	48	67	0,80
	0,51	63	56	1,74
	0,45	59	55	2,07
	0,50	68	46	2,44
	0,50	68	46	2,44

Abb. 49 Brettstapeldecken aus [68], S. 8 (Quellenangabe dort::: Holtz,F. et al.: Schallschutzversuche an Brettstapeldecken. Stephanskirchen: Untersuchungsbericht Labor für Schallmeßtechnik 1997)

2.2.2.2 Verbindungs möglichkeiten bei Decken aus Leimholz-, Brettstapel- und Brettsperrholzelementen

Grundsätzlich betrachtet gibt es zwei Möglichkeiten, Deckenelemente einzubauen. Erstens die Auflagerung auf den geschoss hohen Wandelementen und zweitens auf einem zusätzlich zu schaffenden Auflager, wenn die Wandelemente über zwei oder mehr Geschosse durchgehen. Letzteres kann durch angeschraubte Stahlwinkel oder Auflagerhölzer realisiert werden. Dabei werden in der Regel die Höhen der Auflagerteile aus den Elementen ausgespart, um eine glatte Deckenuntersicht zu erhalten. Diese Auflagerelemente sind, soweit die Unterdecke nicht bekleidet wird, sichtbar.

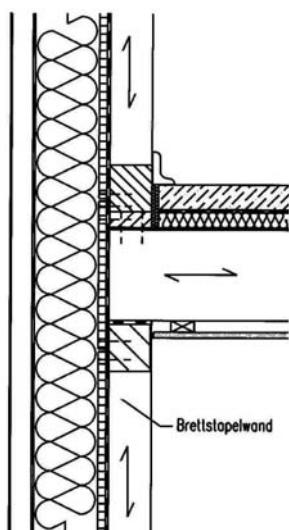


Abb. 50 Wandstoß zwischen den Geschossen aus [68], S. 19

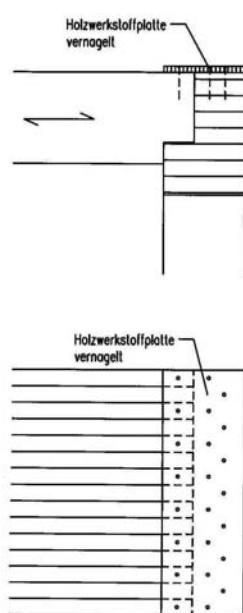


Abb. 51 Anschluss Decke – Holzunterzug aus [68], S. 19

Die Ausbildung des Auflagers an einem Unterzug kann entweder durch Auflegen oder wie in Abb. 51 dargestellt durch beidseitiges Ausklinken von Unterzug und Deckenelement erfolgen.

Brettsperrholzelemente bieten den Vorteil der punktgestützen Lastabtragung, beispielsweise bei Balkonplatten oder Dachvorsprüngen. [46]

Für die Verbindung der Elemente untereinander gibt es verschiedene Möglichkeiten, die in Abb. 52 dargestellt sind. Wenn man bedenkt, dass die Elemente mit einem Kran oder ähnlichem Hebezeug montiert werden, sind die Varianten a) und d) zu favorisieren. Bei Variante c) ist von einem nachträglichen Einschieben der Fremdfeder auszugehen, wobei die Elementstirnseiten nach der Montage dazu offen sein müssen.

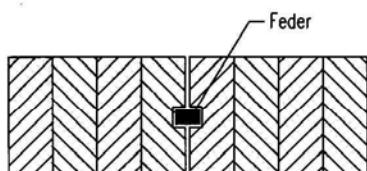
a) Überfälzung



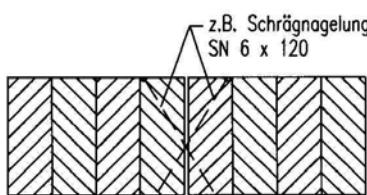
b) Nut und Feder



c) Baufurniersperrholzfeder



d) Schrägnagelung



e) Stabdübelverbindung

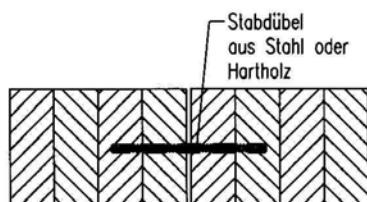


Abb. 52 Elementstöße aus [68], S. 8

Um eine aussteifende Scheibenwirkung der montierten Decke zu erreichen, ist der Einbau von Windrispenbändern, aufgenagelten Lochblechen oder das Aufnageln von Holzwerkstoffplattenstreifen in Aussparungen an der Elementoberseite, wie in Abb. 53 dargestellt, notwendig. Bei Elementstoß a) kann die Scheibenwirkung durch vertikal in die Überfälzung eingebaute Schrauben hergestellt werden. Die Elementstöße a) und d) sind offensichtlich am vorteilhaftesten, da hier ein kranbedingtes, senrekretes Einheben der nebeneinander liegenden Elemente problemlos möglich ist und dennoch relativ einfach die statische Scheibenwirkung der Decke erreicht werden kann. Aus gestalterischen Gründen ist es bei Verwendung der Überfälzung a) sinnvoll, den unteren Falz aus Elementlamellen herzustellen, um eine gleichmäßige Deckenuntersicht zu erhalten.

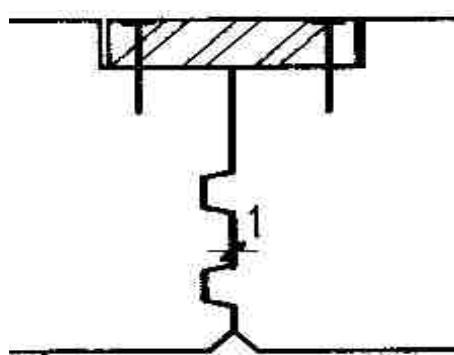


Abb. 53 Längsstoß von Leimholzelementen aus [24]

Eine ebenfalls gleichmäßige Deckenuntersicht im Hinblick auf die Fugenbildung durch das Einstellen der Holzausgleichsfeuchte ist bei genagelten bzw. gedübelten Brettstapel-Elementen gegenüber Leimholz-Elementen gegeben. Da sich bei Leimholz-Elementen die Fugen nur zwischen den Elementen einstellen, entstehen an den Elementstößen breitere Fugen als bei genagelten bzw. gedübelten Brettstapel-Elementen. Dort ist eine Fugenbildung auch zwischen den Lamellen des Elementes möglich.

Bei einer Raumbreite von beispielsweise 5,00 m und einer Leimholz-Elementbreite von 62,5 cm sind 8 Elementstöße vorhanden, in denen sich Trocknungsfugen einstellen können. Geht man von einer mittleren Dimensionsänderung quer zur Faser von 0,28 % bei Fichte pro 1 % Holzfeuchtigkeitsänderung aus, dann ergeben sich bei einer Reduzierung der Holzfeuchte von beispielsweise 12 % bei Einbau und 8 % nach Einstellen der Holzausgleichsfeuchte in normal klimatisierten Räumen folgende Fugenbreiten zwischen den Elementen: [70] [71]

- 12 % Holzfeuchte bei Einbau – 8 % Ausgleichsfeuchte nach Einbau
 $= \Delta 4 \times 0,28 \% = 1,12 \% \text{ Dimensionsverkleinerung}$
- 500 cm Deckenbreite $\times 1,12 \% = 5,6 \text{ cm} = 56 \text{ mm}$
- $56 \text{ mm} / 8 \text{ Elemente} = 7 \text{ mm Fugenbreite zwischen jedem Element nach Erreichen der Holzausgleichsfeuchte in normal klimatisierten Räumen}$

2.2.2.3 Fußbodenaufbauten bei Decken aus zusammengesetzten Flächenelementen

Grundsätzlich sind die Fußbodenaufbauten bei zusammengesetzten Flächenelementen denen von massiven Flächenelementen gleichzusetzen. Besonderheiten bestehen darin, dass, wie in Abb. 55 zu sehen ist, in den Hohlräumen Installationen der Haustechnik untergebracht werden können, ohne den Fußbodenaufbau zu beeinträchtigen. Ebenso können Schüttungen, z. B. aus Kalksplitt, zur Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung in die Hohlräume eingebracht werden. Zusätzliche Dämmungen sind hier ebenfalls in Form von Schüttungen möglich. Auf jeden Fall aber ist eine Lage Holzwerkstoffplatten auf die Deckenelemente aufzubringen bevor der Fußbodenaufbau eingebracht werden kann.

2.2.2.4 Verbindungs möglichkeiten bei Decken aus zusammengesetzten Flächenelementen

Zusammengesetzte Flächenelemente können nach den gleichen Prinzipien wie die unter dem vorangegangenen Punkt beschriebenen Massivholzelemente eingebaut werden. Die folgende Betrachtung beschränkt sich auf Deckenkonstruktionen der Hersteller Lignatur und Lignotrend.

Zum Erreichen der aussteifenden Scheibenwirkung der nebeneinander verlegten Elemente ist es notwendig, diese schubfest miteinander zu koppeln. Bei Lignatur-Schalen- und Flächenelementen geschieht dies durch den Einbau von Schubbolzen aus Stahl, die die Elemente untereinander verbinden. Bei Lignatur-Kastenelementen ist eine Beplankung aus Holzwerkstoffplatten, wie zum Beispiel OSB-Platten, erforderlich. [30] Aus Brandschutzgründen, vor allem in Bezug auf den Rauchdurchtritt, ist auf eine fachgerechte Ausführung der Fugen zu achten. [11] Lignotrend-Deckenelemente werden ebenfalls, je nach Ausführungstyp, mit Bolzen, Schrauben, oberseitiger Beplankung oder durch aufgeschraubte Holzwerkstoffstreifen am Stoß schubfest miteinander verbunden. [32]

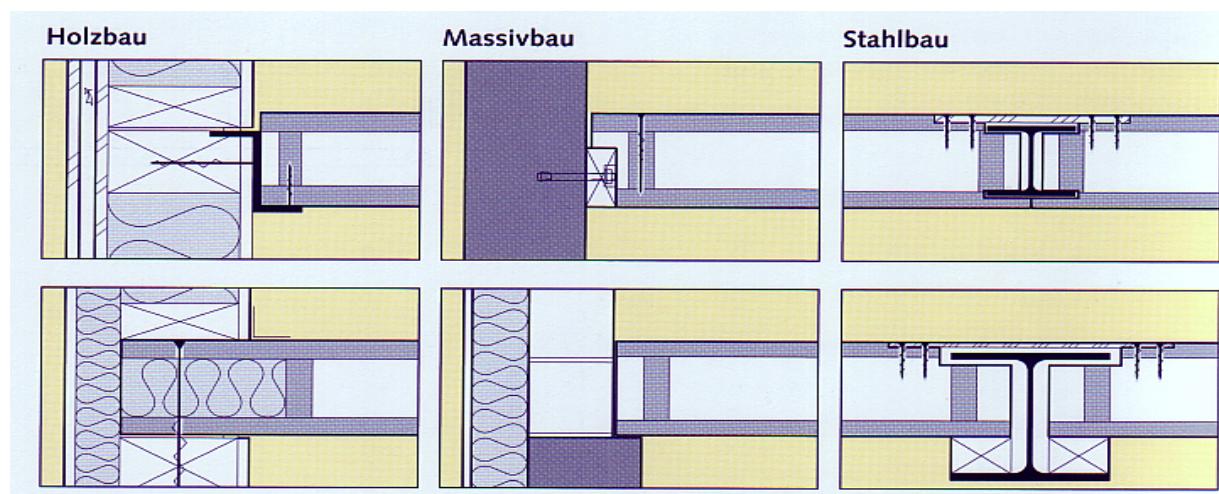


Abb. 54 Auflagervarianten von Lignatur-Deckenelementen aus [29], S. 24

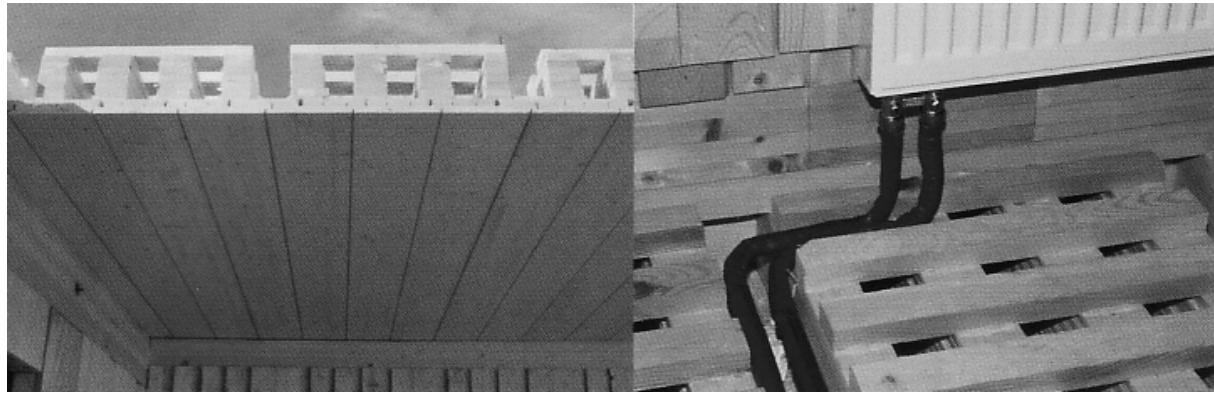


Abb. 55 Lignotrend-Deckenelemente aus [5] S. 25

2.2.2.5 Fußbodenaufbauten bei Decken in Holz-Beton-Verbundbauweise

Als Fußbodenaufbauten sind alle standardmäßigen Konstruktionen möglich. Trittschallmatten bzw. Dämmung und schwimmend verlegter Estrich können direkt auf das verlegte Element aufgebracht werden. Günstig auf den Schallschutz wirkt sich das relativ hohe Gewicht der Elemente aus. Schallschutztechnisch günstiger sind die auf der Baustelle vollflächig betonierten Elemente, da hier keine Fugen als Schallbrücke, wie bei den ausbetonierten Trogelementen, vorhanden sind. Maßgebend ist jedoch der geprüfte Laborwert des einzelnen Systems unter Berücksichtigung der Schallnebenwege.

2.2.2.6 Verbindungs möglichkeiten bei Decken in Holz-Beton-Verbundbauweise

Die Elemente werden untereinander mit Fremdfedern und durch Schrägschraubung verbunden. Die Befestigung im Auflagerbereich erfolgt entweder durch ein bei der Betonage ausgespartes Randholz oder durch eine stirnseitig vor die Elemente gesetzte Randbohle. Eine schubfeste Scheibenwirkung der Elemente untereinander ist ebenfalls durch Schrägschraubung der aneinander liegenden, senkrechten Randbohlen der Trogelemente zu erreichen. [26]

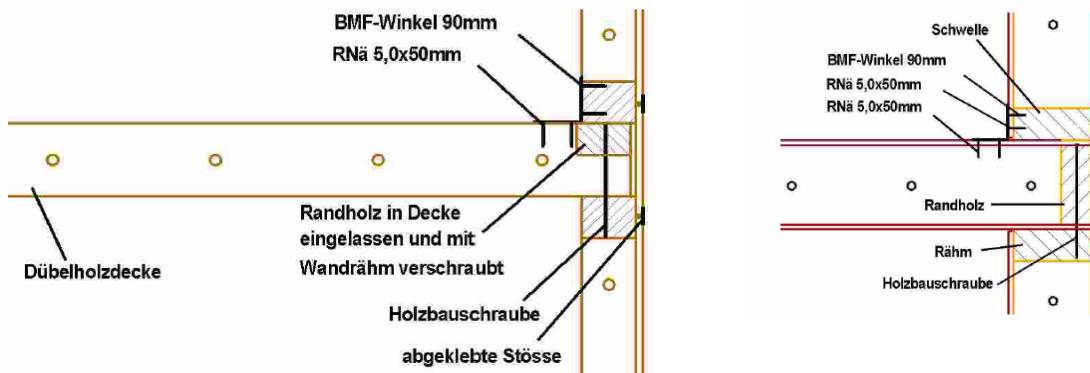


Abb. 56 Auflager Holz-Beton-Verbundelement (Seitenansicht Trogelement) aus [26]

2.2.3 Aufbauten und Verbindungs möglichkeiten von Dachsystemen

2.2.3.1 Aufbauten bei Dächern aus Leimholz-, Brettstapel-, Brettsperrholzelementen

Auf den Elementen können im Werk zusätzliche Dämmstoffe sowie Lattung und Konterlattung für die Dacheindeckung vormontiert werden. Vorteilhaft bei diesen Elementen ist, wie bei Decken und Wänden auch, dass die Untersicht bereits mit Abschluss des Rohbaus oberflächenfertig ist. Bei gedübelten und genagelten Elementen ist zur Winddichtung und Aussteifung eine Lage Holzwerkstoffplatten auf der Außenseite aufzubringen.

2.2.3.2 Verbindungs möglichkeiten bei Dächern aus Leimholz-, Brettstapel-, Brettsperrholzelementen

Die Dachkonstruktionen sind mit denen der Decken im Wesentlichen identisch. Siehe hierzu Abschnitt 2.2.2.2. Besonderheiten bestehen in der konstruktiven Ausführung der Detailpunkte, insbesondere in der Auflagerung der flächigen Elemente bei Steildächern. Die Abb. 57 zeigt hierfür ein Beispiel. Ebenso ist eine Auflagerung mittels aus den Elementen ausgearbeiteter Klauen möglich.

Ein großer Vorteil bei der Anwendung dieser Elemente ist ein problemloses kältebrückenfreies Auskragen der Elemente, zum Beispiel als Dachüberstand. Alle Hersteller bieten fertig abgebundene Elemente für den Einsatz im Dachbereich an.

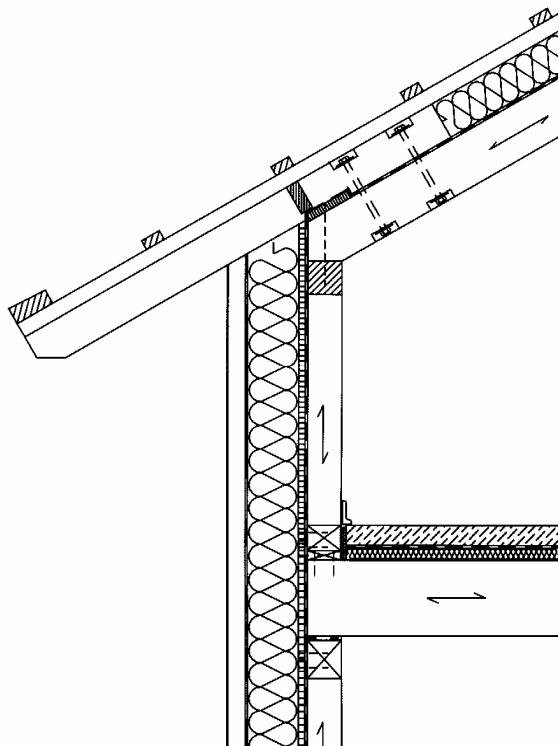


Abb. 57 Dachdetail (First und Traufe) aus [68], S. 20

2.2.3.3 Aufbauten bei Dächern aus zusammengesetzten Flächenelementen

Zur Anwendung eignen sich alle gängigen Flachdach- und Steildachkonstruktionen. Je nachdem, ob eine hinterlüftete oder eine nicht hinterlüftete Konstruktion gewählt wird, ist auf die Ausbildung von Dampf- und Winddichtungsbahnen zu achten. Grundsätzlich ist bei zusammengesetzten Flächenelementen zu Aussteifungszwecken und zur Aufnahme eines aufliegenden Dämmstoffes eine Lage Holzwerkstoffplatten aufzubringen. Schalen- und Kastenelemente bieten den Vorteil, dass die Dämmung sowie Teile der Haustechnik ohne zusätzliche Konstruktionshöhe in den Elementen untergebracht werden können. Bei Letzterem ist die Vermeidung von Kältebrücken sicherzustellen.

2.2.3.4 Verbindungs möglichkeiten bei Dächern aus zusammengesetzten Flächen elementen



Abb. 58 Decken- und Dachuntersicht Lignotend-Elemente aus [32]

Auch bei den zusammengesetzten Flächen elementen besteht bezüglich der Konstruktion und der Auflagerdetails Übereinstimmung zwischen Decken- und Dachkonstruktionen. Die Elemente können zwischen First und Traufe oder parallel zu First und Traufe gespannt werden. Besonderheiten gibt es hier bei bestimmten Dachformen. Der Hersteller Lignatur bietet beispielsweise Schalenelemente an, mit denen Tonnendächer realisierbar sind. Je nach Radius erfolgt die gesonderte Vorfertigung solcher Einzelelemente. [31]

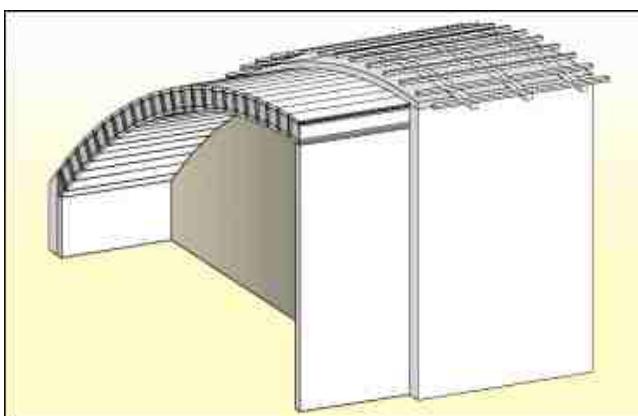


Abb. 59 Ausbildung eines Tonnendaches mit Lignatur-Schalenelementen aus[31], S. 10

2.3 Exkurs: Fassaden an vorgefertigten flächigen Holzbausystemen

Elemente aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen sind bereits während Transport und Montage vor Witterungseinflüssen, wie Regen und Schnee, zu schützen. Bauwerke, die aus den voran beschriebenen Holzbausystemen errichtet werden, müssen zwingend einen außenseitigen Wetterschutz erhalten. Da die Außenhülle ein wesentliches gestalterisches Merkmal des Gebäudes darstellt, ist diesem Bereich besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Dadurch, dass beim Einsatz von flächigen Holzbausystemen in aller Regel eine zusätzliche Dämmung auf der Außenwandseite aufzubringen ist und deren Einbau im Zusammenhang mit der Fassadenmontage erfolgt, greifen bei dieser Thematik gestalterische, wirtschaftliche und technologische Aspekte ineinander.

2.3.1 Fassadenbekleidungen aus massivem Holz

Fassadenbekleidungen aus massivem Holz haben sich durch eine jahrhundertelange Tradition bewährt. Trotzdem sind konstruktive Grundregeln zu beachten, da sich ansonsten nach kurzer Zeit Schäden an Fassadenbekleidung, Dämmung und konstruktiven Bauteilen einstellen.

Fassadenbekleidungen aus Massivholz bestehen aus besäumter, gehobelter oder sägerauer Brettware. Abgesehen von den in Abb. 60 dargestellten Möglichkeiten von Fassadenbekleidungen aus Massivholz ist es möglich, die Schalung horizontal oder vertikal auf Lücke anzurichten. Dabei ist zu beachten, dass sich die wasserableitende Schicht von der Schalungsvorderkante auf eine einzubauende, unbedingt dampfförmige Dichtungsbahn hinter die Fassadenvorderkante verlagert. Bei Planung und Einbau dieser Bahn ist die Wasserableitung auch an Anschlüssen wie Fenster- und Türstürzen sorgfältig zu gewährleisten. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine dauerhafte Funktionsfähigkeit der Fassade ist die Beachtung des konstruktiven Holzschutzes.

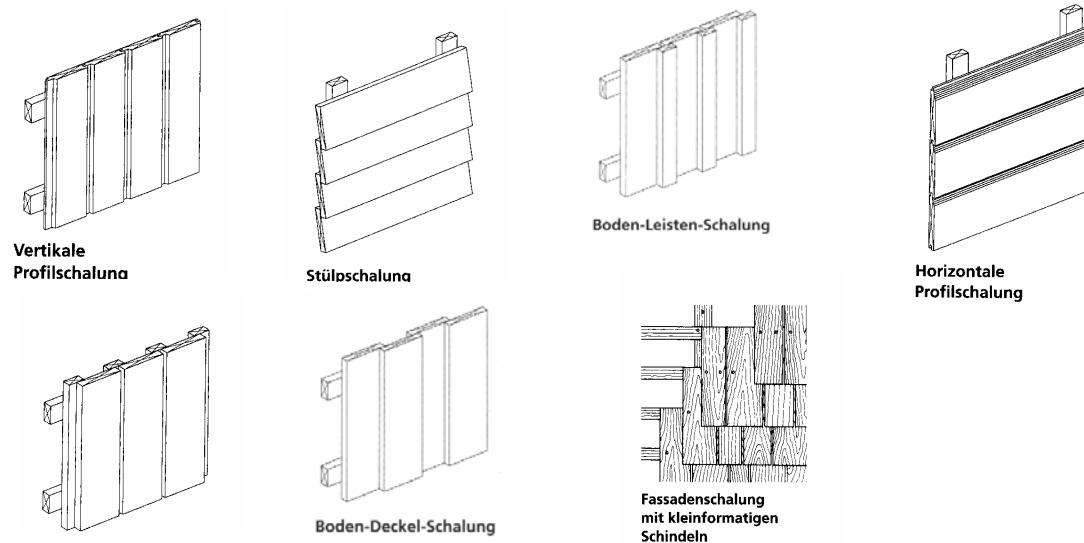


Abb. 60 Holzbekleidungen aus Massivholz, Abschnittsüberschrift aus [2], S. 13 - 15

Dazu zählt in erster Linie ein ausreichender Dachüberstand, der für den nötigen Schutz vor Schlagregen sorgt. Ebenso unabdingbar ist die Vermeidung von Spritzwasser im Sockelbereich. Hier gilt ein Mindestabstand von 300 mm zum Erdreich. [49]

Es ist in jedem Fall dafür zu sorgen, dass Niederschlagswasser schnell abgeleitet wird und von Kanten gut abtropfen kann. Bei profilierten Brettern ist die Nut stets nach unten bzw. zur wetterabgewandten Seite anzutragen. Bei erschöpfender Beachtung des konstruktiv-baulichen Holzschutzes in Verbindung mit der Wahl eines geeigneten Holzes für eine Fassade kann nach DIN 68800 auf einen chemischen Holzschutz verzichtet werden.

Als geeignete einheimische Holzarten kommen Lärche oder Eiche in Frage. Als besonders geeignetes Importholz ist Western Red Cedar zu nennen. [6] Wichtig ist auch zur Vermeidung von größeren TrocknungsrisSEN, in denen sich Staunässe sammeln kann, dass Profilbretter mit einer maximalen Holzfeuchte von 16% eingebaut werden. Die Brettbreite sollte 170 mm nicht überschreiten. [2]

Unterkonstruktionen bei Holzschalungen sind entsprechend DIN 18516 herzustellen. Besonderes Augenmerk muss der Hinterlüftungsebene gelten, die nach DIN 4108 mindestens 2 cm beträgt, d. h. 200 cm² pro laufenden Meter Wandlänge.

Die Anordnung von Insektenfiltern an Zu- und Abluftöffnung erscheint hier sinnvoll. Beim Einsatz von Insektenfiltern ist allerdings deren geschlossener Flächenbereich zu berücksichtigen, da dieser den freien Lüftungsquerschnitt entsprechend verringert. Empfehlenswert sind nur Insektenfilter aus Metall, wie zum Beispiel Titanzink, Kupfer, verzinktem Stahl oder Edelstahl, einzusetzen, da hier keine Zerstörung durch Kleinnagetiere, wie dies bei Kunststofffiltern der Fall ist, erfolgen kann.

Als Befestigungsmittel bei Massivholzfassaden, die keinen Farbanstrich erhalten, sind nur solche aus Edelstahl zu verwenden. Bei verzinkten oder gelbchromatierten Schrauben oder Nägeln ist nach kurzer Zeit mit unschönen Korrosionsstreifen zu rechnen. Die Überdeckung und Befestigung von unprofilerter Schalung an der Fassade hat nach DIN 18334 zu erfolgen.



Abb. 61 Keilstülpshalung aus Lärche, unbehandelt (Foto Verfasser)

In Abb. 61 ist sehr gut der Umstand zu erkennen, dass der ständig direkt bewitterte Teil der Fassade eine silbrige Farbe annimmt. Grund hierfür ist der Abbau des Lignins durch die UV-Strahlung der Sonne in der Holzoberfläche zu wasserlöslichen Bestandteilen, die im Laufe der Zeit ausgewaschen werden. [51]



Abb. 62 Eckdetail Stülpshalung (Foto Verfasser)

2.3.2 Fassadenbekleidungen aus Holzwerkstoffen und Schichtstoffplatten

Fassadenlösungen mit großformatigen Platten lassen mehr gestalterischen Spielraum und sind oft kostengünstiger als Bekleidungen aus Brettware. Entgegen den seit vielen Jahrhunderten bewährten Außenbekleidungen aus Massivholz werden Bekleidungen aus Holzwerkstoffplatten erst seit etwa 15 – 20 Jahren eingesetzt. [52]

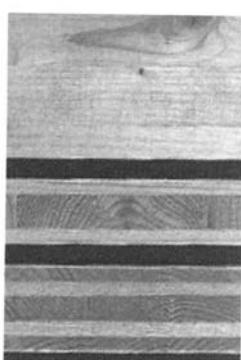
Ein wesentlicher Vorteil von Holzwerkstoffplatten, Fassadenplatten aus Schichtstoffen (Trespa, Max) sowie Faserzementplatten (Eternit) ist die geringe bzw. überhaupt nicht vorhandene feuchtebedingte Größenänderung, also die größere Formstabilität und Maßhaltigkeit. Beim Thema Brandschutz haben Schichtstoffplatten und Faserzementplatten mit den Baustoffklassen B1 bzw. A2 weitere Vorteile. Der Einsatz als Fassadenplatten an Gebäuden mittlerer Höhe -hier sind Fassadenbekleidungen in B1-Qualität einzusetzen- oder bei Gebäuden mit zu geringen Grenzabständen, wo Fassaden aus A-Baustoffen vorzusehen sind. Da beim Einsatz von Holzwerkstoffplatten umfangreichere, vor allem den konstruktiven Holzschatz betreffende Randbedingungen zu beachten sind als beim Einsatz von Schichtstoffplatten oder Faserzementplatten, wird in der folgenden Ausführung auf Holzwerkstoffplatten eingegangen.

Kurzbeschreibung einiger Holzwerkstoffplatten:



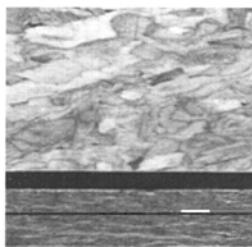
Baufurniersperrholz (BFU)

- nur BFU 100 mit Farbeschichtung für Fassadenbereich verwenden
- Schwachpunkt sind die dicken Deckfurniere, die durch Quellen und Schwinden abscheren – trotz wasserfester Verleimung
- unbehandeltes BFU bildet bei Feuchteaufnahme Nährboden für Schimmel
- besser: spezielle Fassadensperrhölzer verwenden



Massivholzplatten (gesperrt)

- 3 oder 5 kreuzweise wasserfest verleimte Massivholzschichten
- als Fassadenelemente mindestens 25 mm dick
- Holzfeuchte beim Einbau maximal 16%
- Kantenschutz ist besonders sorgfältig auszuführen



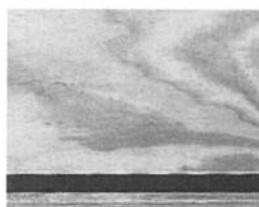
OSB-Platte (Oriented-Strand-Board)

- hohe Festigkeit, sehr formstabil
- bisher wenig Erfahrungen als Fassadenplatten



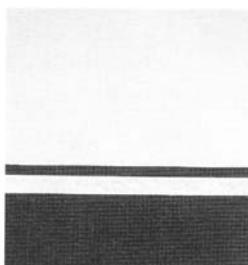
Spannstreifenholzplatte

- mit MDI-Polyurethan-Klebstoff gebundene Pappelholzstreifen
- trotz dieser wasserfesten Verleimung Einsatz im Außenbereich nur, wenn die Platten vor direkter Bewitterung geschützt sind



Furnierschichtholzplatte

- einzige Platten, die mit Brandschutzmitteln imprägniert werden können
- auch unbeschichtet einsetzbar – Kantenschutz erforderlich
- Rücksprache mit dem Hersteller beim Einsatz als unbehandelte Fassadenplatte



Zementgebundene Spanplatte oder Zementfaserplatte

- werden auch mit fertig beschichteter farbiger Oberfläche angeboten
- im Vergleich zu den voran genannten Holzwerkstoffen schwer zu bearbeiten, Löcher müssen vorgebohrt werden
- in B1 und A2 Qualität lieferbar
- gute Witterungsbeständigkeit



Hochdichte Faserplatte

- bedingt als Fassadenbaustoff geeignet – nur mit sehr gutem Schutzanstrich über längere Zeit funktionsfähig
- besonders ist der Kantenschutz zu beachten
- ausgesprochen formbeständig



Zementgebundene Holzwolleplatten

- Keine Zulassung als Fassadenbekleidungsmaterial
- durch erhöhte kapillare Wasseraufnahme in der Fläche als Fassadenbaustoff ungeeignet

Abb. 63 Holzwerkstoffplatten mit Erläuterungen aus [2], S. 20 – 23, Beschreibung auszugsweise

Grundsätzlich sind Fassadenbekleidungen aus großformatigen Platten wie Fassaden aus massivem Holz zu hinterlüften. Ein wesentlicher Aspekt bei der Gestaltung von Fassaden mit Holz oder Holzwerkstoffen ist der Einsatz einer Farbbeschichtung oder das natürliche Vergrauen des Holzes.

Um Holzwerkstoffplatten kostengünstig als Fassadenbekleidung einzusetzen, ist die Beachtung der Liefergrößen und damit die Vermeidung von aufwendigem Zuschnitt unumgänglich.

Außerdem ist die Anordnung von Fugen als gliederndes Element ein wichtiger Aspekt bei der Gestaltung von Fassaden. Da horizontale Fugen im konstruktiven Aufwand deutlich höher liegen als vertikale Fugen, ist deren Anzahl auf ein Minimum zu reduzieren.

Vorbeugender chemischer Holzschutz gegen holzzerstörende Pilze nach DIN 68800-3 ist bei hinterlüfteten Holzwerkstofffassaden nicht erforderlich, da die zu erwartende Holzfeuchte keinen Befall durch holzzerstörende Pilze zulässt. Bei Platten mit mineralischem Bindemittel ist ein Insektenbefall auszuschließen. Die verwendeten Holzwerkstoffe für den Einsatz an Fassaden müssen der Holzwerkstoffklasse 100 gemäß DIN 68800-2 entsprechen (Abb. 65). [53]

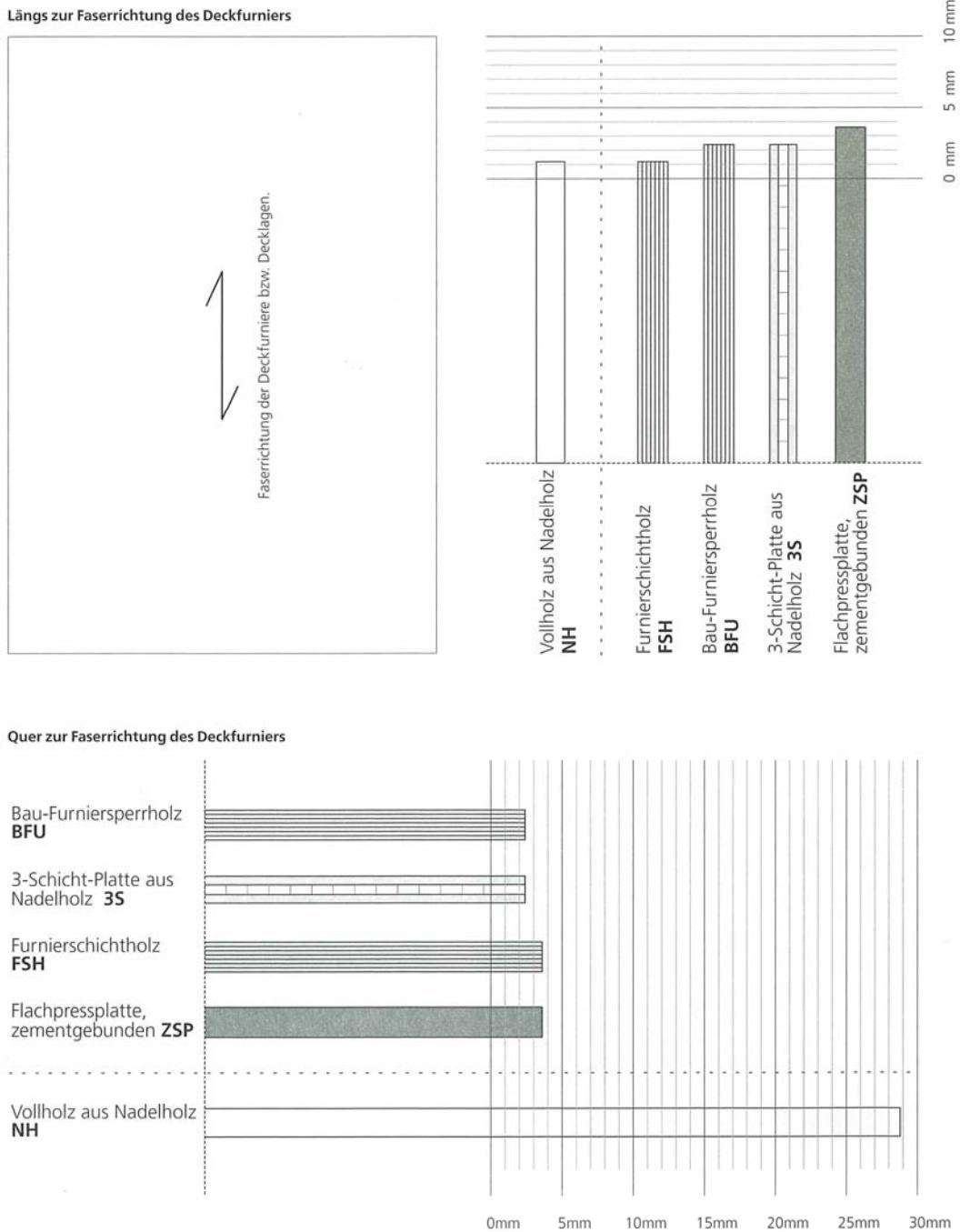


Abb. 64 Feuchtebedingte Größenänderung, bezogen auf 1 m, infolge einer Differenz der Ausgleichsfeuchte von 12% aus [2], S. 17

Holzwerkstoffklasse	20	100	100G
anwendbar an der Fassade	Nein	Ja	Ja, aber nicht notwendig
Maximale Plattenfeuchte im Gebrauchsstand	15%	18%	21%
Entspricht der mittleren zu erwartenden Feuchte in Nutzungsklasse	1	2	-

Abb. 65 Holzwerkstoffklassen nach DIN 68800-2

Zur Verlängerung der Lebensdauer von Fassaden aus Holzwerkstoffplatten ist die Einhaltung von konstruktiven Holzschutzmaßnahmen unabdingbar. Dazu zählt insbesondere die funktionsfähige, ausreichend dimensionierte Hinterlüftungsebene ebenso wie das Sicherstellen einer schnellen und staufreien Wasserableitung, z. B. Tropfkanten an Horizontalstößen und Hinterlegebleche an Vertikalstößen. Als geeigneter Schlagregenschutz gilt nach wie vor ein Dachüberstand. Untersuchungen zu diesem Thema haben ergeben, dass bei Flachdächern bereits ein Dachüberstand von 6 cm aufgrund der veränderten Strömungsverhältnisse am Attikabereich verstärkte Schmutzablagerungen und Durchfeuchtungen verringert. [51]

Ein ausreichender Spritzwasserschutz von 30 cm Sockelhöhe -die bei Anordnung eines ausreichend breiten Kiesstreifens bis auf 15 cm reduziert werden kann- oder andere Maßnahmen wie z. B. die Vermeidung von Spritzwasser durch eine ausreichend breite Rinne mit Gitterrostabdeckung vor der Fassade verhindern Staunässe im Sockelbereich. Wie bereits erwähnt, ist bei fast allen Holzwerkstoffplatten für einen ausreichenden Kantenschutz mittels Imprägnierung, Hinterschneidung und Tropfblechen zu sorgen. [53]

Der Befestigung von Holzwerkstoffplatten im Fassadenbereich ist ebenfalls besondere Beachtung zu schenken. Bei der Möglichkeit der sichtbaren Befestigung ist auf eine Abdichtung der Bohrlöcher mittels dichtender Unterlegscheiben sowie auf die Verwendung von Befestigungsmitteln aus rostfreiem Stahl zu achten. Die von einigen Herstellern angebotene nicht-sichtbare Befestigung bedarf einer Bauaufsichtlichen Zulassung bzw. einer Zustimmung im Einzelfall. [54]

Unter Berücksichtigung der voran genannten konstruktiven Randbedingungen sind die folgend genannten Holzwerkstoffplatten prinzipiell in allen Beanspruchungsklassen nach DIN 50010-1 anwendbar:

- Dreischichtplatten aus Nadelholz
- Fassadensperrholz

- Furnierschichtholz
- Zementgebundene Flachpressplatten [55]

Beanspruchungsklasse	Beschreibung	Beispiele
Außenraumklima	Die Bauteile (Fassaden) sind konstruktiv gegen die unmittelbare Wettereinwirkung (Sonneneinstrahlung, Niederschläge und Wind) geschützt, im Übrigen aber den wechselnden Luftfeuchtigkeiten des Außenklimas ausgesetzt.	Fassaden von Loggien oder Doppel-fassaden mit Glasvorsatzschalen sind hierfür typische Beispiele.
Freiluftklima I	Die Bauteile besitzen einen geringen konstruktiven Witterungsschutz.	Derartige Verhältnisse herrschen üblicherweise bei Gebäuden bis zu drei Geschossen.
Freiluftklima II	Das Klima wirkt ungehindert auf die Bauteile ein. Durch den Wind getragene Sandkörner haben eine zusätzliche abrasive Wirkung auf der Oberfläche.	Derartige extreme Klimbeanspruchungen herrschen z. B. an Gebäuden mit mehr als drei Geschossen, bei besonders exponierten Geländelagen auch bei Gebäuden bis zu drei Geschossen, Seeklima.

Abb. 66 Beanspruchungsklassen nach DIN 50010-1

2.3.3 Fassadenbekleidungen aus Wärmedämmverbundsystemen

Bei der Verwendung von Wärmedämmverbundsystemen auf flächigen Holzbausystemen kommt als äußerer Wetterschutz ein Putzsystem -in der Regel mit Kunststoffgewebe armiert- zum Einsatz. Hier gelten grundsätzlich die gleichen Regeln wie beispielsweise bei Wärmedämmverbundsystemen auf Mauerwerk oder Beton. Bei der Wahl der Wärmedämmung kann zwischen Polystyrol- oder Mineralwoll-Dämmplatten gewählt werden. Die bei gleicher Stärke und Wärmeleitgruppe preiswerteren Polystyrol-Platten haben eine bis zu 25-fach höhere äquivalente Luftsichtdicke als Mineralwolldämmung, sind also nach DIN 4108 als diffusionshemmende Schicht gegenüber der Mineralwolldämmung als diffusionsoffene Schicht einzurordnen. [7] Weitere Unterschiede bestehen in der Anwendung bezüglich des Brandschutzes. Während Wärmedämmverbundsysteme aus verputzten Polystyrol-Platten nach DIN 4102-2 der Baustoffklasse B1 zuzuordnen sind, werden Systeme mit Mineralwolldämmung in die Baustoffklasse A2 eingeordnet. Dies hat Konsequenzen beim Einsatz. So dürfen bei-

spielsweise brennbare Baustoffe nach den Landesbauordnungen nicht über Brandwände hinweggeführt werden.

Gebäude aus flächigen Holzbausystemen, die als äußere Bekleidung ein Wärmedämmverbundsystem erhalten, treten allerdings optisch von außen nicht mehr als Holzkonstruktionen in Erscheinung.

Von der konstruktiven Seite ist bei der Wahl der äußeren Bekleidung zu prüfen, ob Bewegungen der Konstruktion im Hinblick auf Setzungen und infolge der Einstellung geringerer Holzfeuchte während der Nutzung Auswirkungen auf mögliche Rissbildung im relativ starren Putzsystem haben können.

2.4 Vorfertigung - Transport - Montage

2.4.1 Vorfertigung von flächigen Holzbauelementen

Der kostengünstige und rationale Einsatz von vorgefertigten flächigen Holzelementen ist durch den individuellen Abbund der Elemente entwurfsunabhängig. Auf Besonderheiten der einzelnen Elementhersteller kann dann in der weiteren Planung entweder mit Sonderelementen oder, wo das möglich ist, mit Anpassung der Gebäudemaße reagiert werden.

Von entscheidendem Vorteil bei der elementweisen Vorfertigung ist unter anderem der Umstand, dass die Arbeiten unter optimalen Bedingungen in der Produktionshalle durchgeführt werden können und somit ein Maximum an Qualität erreicht wird. Je höher der Vorfertigungsgrad ist, desto geringer ist die Montagezeit auf der Baustelle. Zu beachten sind beim Grad der Vorfertigung die Transportmöglichkeiten der verschiedenen Elementgrößen sowie Toleranzen jener Bauteile, die unabdingbar bauseits zu erstellen sind wie z. B. Bodenplatten, massive Treppentürme. Im Holzbau sind sehr geringe Toleranzen die Regel, während es dagegen im Mauerwerks- und Betonbau zu größeren Maßabweichungen kommen kann. Auf diesen Umstand ist bereits in der Planungsphase zu achten, indem durch entsprechende Fugenausbildungen die Toleranzen aufgenommen werden können. Ebenso sind Vorgaben bezüglich der Maßhaltigkeit bei Mauerwerks- und Betonbau in der Ausschreibung und Vertragsgestaltung zu fixieren. Überzogene Forderungen sind hier aber kein Allheilmittel.

Ein weiterer Fakt, der für eine umfangreiche Vorfertigung spricht, ist eine optimierte Abfallsammlung und Verwertung. Bedenkt man, dass rund ein Viertel des Materialaufwandes bei der Erstellung eines Gebäudes im Hochbau in Form von Abfällen anfällt. [16] Die Vorfertigung von flächigen Holzbauelementen erfolgt in der Regel in zwei Arbeitsschritten. Zuerst werden die Elemente als solche hergestellt, wobei im Leimholzbau oft auf Lager produziert wird, während in der Dübel- und Nagelholzherstellung auftragsbezogen produziert wird, da hier ein nachträgliches Ablängen problematischer ist. Im zweiten Schritt erfolgt der passgenaue Abbund der Elemente. Dabei werden sämtliche Aussparungen, Wechsel und eventuelle Schrägschnitte sowie die vorgesehenen Beplankungen und Dämmenschichten angebracht.



Abb. 67 Automat für vernagelte Brettstapel-Elemente (Foto Verfasser bei Fa. Merkle)

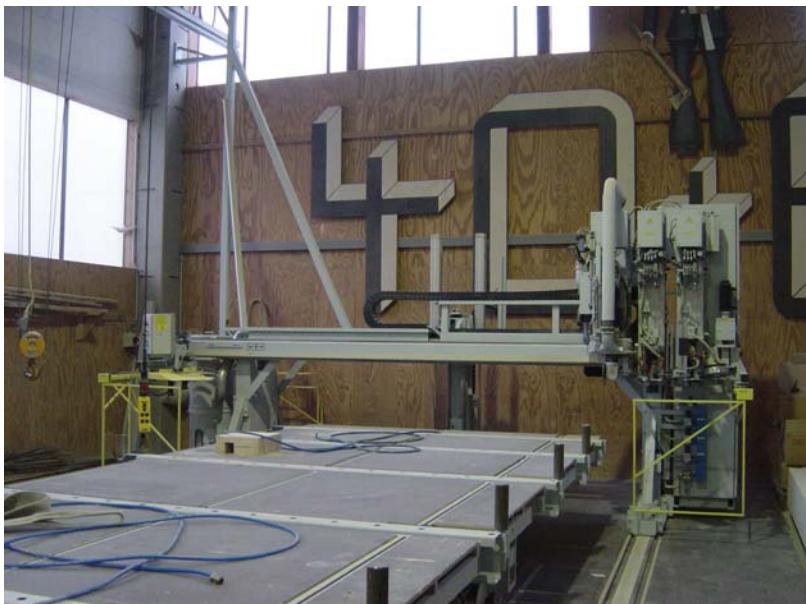


Abb. 68 Abbundautomat für Brettstapel-Elemente (Foto Verfasser bei Fa. Merkle)

Potentiale für Rationalisierungen bei der Herstellung von vorgefertigten flächigen Holzbau-elementen liegen stückzahlenabhängig im Wiederholungsfaktor beim Abbund von typisierten Elementen und in der rationellen Festlegung der Fertigungsfolge. Der Einsatz von vollautomatischen Abbundmaschinen lohnt je nach Schwierigkeitsgrad des herzustellenden Elementes erst ab einer bestimmten Stückzahl, da der Aufwand für die Programmierung und Einrichtung der Maschine nicht unerheblich ist. Im Zuge eines durchorganisierten Ablaufes des Herstellungsprozesses ist eine montageorientierte Konfektionierung unablässig. Der Zeitgewinn und die damit verbundene Kosteneinsparung bei einem optimierten Herstellungsprozess sind durch falsche Konfektionierung schnell zunicht gemacht. Kommen beispielsweise Brettsta-pel-Elemente für Decken mit der Sichtseite nach oben verladen auf die Baustelle, ist leicht von der doppelten Zeit für die Verlegung auszugehen.

2.4.2 Transport der vorgefertigten Elemente

Transportmittel	Transportmaße				Beschreibung	Kostenkalkulation
Straße	max. Abmessungen für Fahrzeug mit Transportgut					
ohne Genehmigung	Länge 12 m bis 18,25 m	Breite 2,55 m	Höhe 4,00 m	Gewicht 40 t	Ladevolumen 2,50 m x 2,60 m x 12,00 m	Abhängig von Genehmigungserfordernis und Begleitvorschriften
mit Genehmigung	25m	3,50 m	4,20 m	60 t	Bis Breite 3,00 m kein Begleitfahrzeug	
Sondertransporte	Abmessungen über 3,50 m Breite oder 4,20 m Höhe				Genehmigung für gewählte Strecke und Begleitvorschriften	
Schiene						
Großcontainer	Unterscheidung nach der Normierung (ISO-Norm, Euro- Norm, nach Längenmaß (in Fuß) und Bauart. z.B. Isoboxcontainer 40/8 Fuß 12,129 m x 2,438 m x 2,438 m, Euroboxcontainer 254 6,058 m x 2,50 m x 2,60 m				Ladegefäß bis Ladevolumen 70 m³ Umschlag durch Kräne oder Stapler	Für sehr große Entfernung ist der Transport auf Schienen wirtschaftlicher. Der letzte Transportabschnitt zur Baustelle muss jedoch fast immer im Straßenverkehr mittels LKW durchgeführt werden.
Wechselaufbauten	LKW-Aufbauten ohne Fahrgestell				Transport auf Flachwagen	
Sattelanhänger (ohne Zugmaschine)					Transport auf Taschenwagen, Umschlag in Terminals oder durch Kräne	
direkter Transport von Fahrzeugen					Transport auf Niederflurwagen, Umschlag auf Terminals oder mobilen Rampen	
Schiff						
	Umschlag mit Containern (siehe oben)				Der Container kann direkt im Werk verladen werden oder wird mit LKW oder Bahn zum Hafen gebracht.	Die Kosten schwanken je nach Route und Auslastung der Reedereien, weiter maßgebend sind Distanz, Dauer sowie Treibstoffkosten
Helikopter						
Einteilung nach Nutzlasten	bis zu 900 kg, bis zu 1.500 kg und bis zu 2.500 kg				Helikopter kommen vor allem bei schwierigen örtlichen Gegebenheiten, bei sperrigem Transportgut und bei geforderter kurzer Transportdauer zum Einsatz	Ausschlaggebend sind Helikoptertyp, die Rotationszeit (reine Flugzeit) sowie die zu bewältigenden Höhenunterschiede.

Abb. 69 Vergleich verschiedener Transportmöglichkeiten aus [16], S. 74

Die Lage, die örtlichen Gegebenheiten und die Entfernung zwischen Produktionsstätte und Baustelle sind ein wichtiges Kriterium für die Wahl des Transportmittels. Je nach Transportmittel sind unterschiedliche Transportkosten anzusetzen. Ebenso ist zu bedenken, ob die Elemente auf ein zweites Transportmittel umgeladen werden müssen. Beispielsweise ist beim Transport auf dem Schienenweg in der Regel am Zielbahnhof eine Verladung auf LKW notwendig. Beim Umladen der Elemente erhöht sich das Risiko der Beschädigung wesentlich. Beschädigungen der Elemente sind auch beim Grad der Vorfertigung zu beachten. Wenn beispielsweise auf Fassadenelemente die äußere Beplankung bei der Vorfertigung montiert wurde, haben Transportschäden fatalere Folgen als bei Elementen, die auf der Baustelle bekleidet werden. Hier muss im Hinblick auf das Transportmittel, eventuelles Umladen und den Montageablauf der Grad der Vorfertigung festgelegt werden.

Der ausschließliche Transport mittels Helikopter kommt nur bei Montagen in der näheren Umgebung der Produktionsstätte in Frage, ansonsten ist der Helikopter wie der Autokran als Montagehilfsmittel zu betrachten.

2.4.3 Montage von flächigen Holzbausystemen

Die Montage von vorgefertigten flächigen Holzbauelementen erfordert einen präzisen Montageablaufplan, der bei Mischkonstruktionen mit anderen Gewerken abgestimmt sein muss.

Die Konfektionierung der Elemente im Werk legt den Grundstein für eine zügige Montage auf der Baustelle. Es ist unumgänglich, dass die Elemente in der Reihenfolge ihrer Montage und in der richtigen Lage auf dem Transportmittel angeliefert werden. Im Hinblick auf den Platzbedarf auf der Baustelle, und zur Vermeidung unnötiger Zeitverzögerungen durch zwischenlagern von Elementen, sollten Lieferungen entsprechend dem Arbeitsfortschritt erfolgen. Unumgänglich ist der Schutz zwischengelagerter und bereits eingebauter Elemente vor Feuchtigkeit wie Regen, Nebel oder Schnee. Dadurch lassen sich Rissbildungen und Verwerfungen an den Elementen vermeiden. Bei vormontierten Dämmstoffen, wie beispielsweise bei Lignatur-Elementen möglich, ist eine Vermeidung von Feuchtigkeit an den Elementen besonders wichtig.

Bei der Montage der verschiedenen Systeme sind die Hinweise der jeweiligen Hersteller und die konstruktiven Vorgaben für das zu errichtende Gebäude maßgebend. Ebenso wichtig ist die Beachtung der einzelnen Montagezustände. Die Montage der vorgefertigten Wand- und Deckenelemente erfolgt in der Regel als geschossweise Einzelmontage auf horizontal umlaufenden Schwellen bzw. Rähmen. Die Montagezeiten variieren stark nach der Grundrissform des Gebäudes, der Elementgröße, den Baustellengegebenheiten und der Erfahrung der eingesetzten Monteure und liegen zwischen 0,1 bis 0,5 h/m². [13] Punkt 6.4

Je nachdem, ob die zu montierenden Elemente später sichtbar bleiben oder nicht, sind entsprechend geeignete Montagehilfsmittel zu verwenden.

a) Montagehilfsmittel für sichtbar bleibende Elemente:

- Verlegezange (Zimmererlift) für massive, flächige Elemente
- spezielle Verlegehilfen der jeweiligen Hersteller in Form von Anhängegeschirren
- Simplexdübel mit einschraubbarer Stahlschlaufe
- eingeklebte Gewindestangen bzw. Innengewindemuffen zur Befestigung von Ringmuttern
- Anhängeösen die auf die Elementoberseite aufgeschraubt werden
- in Brettstapel-Elemente eingearbeitete Textilschlaufen auf der Elementoberseite

b) Montagehilfsmittel für nicht sichtbar bleibende Elemente:

- alle Varianten die unter a) angeführt sind
- durch die Elemente durchgehende Verbolzung mit Kontermuttern und Beilagen
- Klemmzangen
- Textil- oder Stahlschlupf



Abb. 70 Verlegezange (Zimmererlift) (Foto Verfasser bei Fa. Merkle)



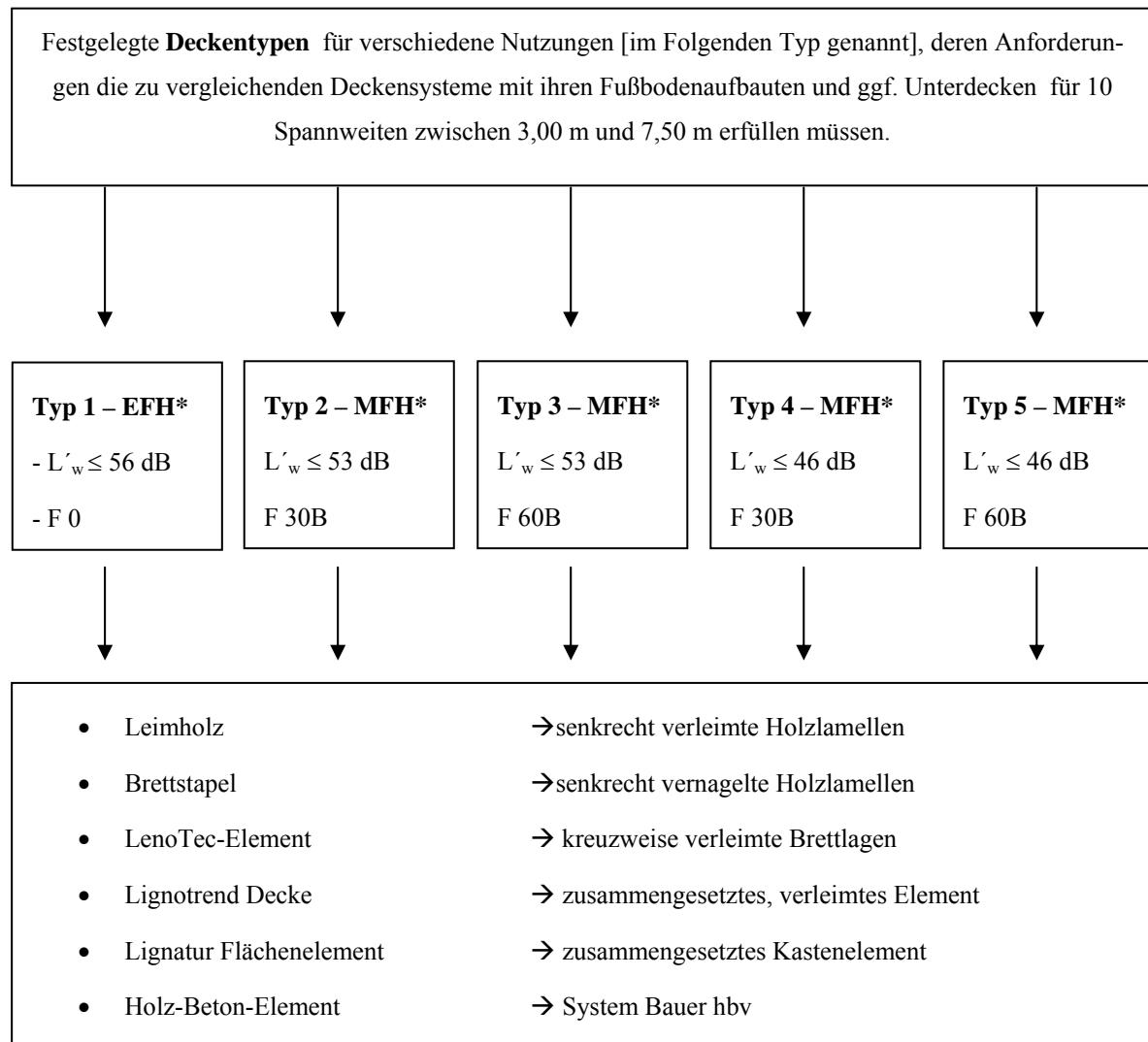
Abb. 71 Ringmutter mit Innengewindehülse aus [24]



Abb. 72 Anhängegeschirr für Lignotrend-Elemente aus [32]

3 Bewertung von Deckensystemen aus vorgefertigten flächigen Holzbauelementen

3.1 Übersicht der Bewertungskriterien



* EFH - Einfamilienhaus

* MFH - Mehrfamilienhaus

Alle gewählten Deckentypen haben gemeinsam die folgenden Parameter zu erfüllen:

- Durchbiegungsbeschränkung l/500 → Verzicht auf den Schwingungsnachweis
- Verkehrslast 2 kN/m²
- Einfeldträger mit einachsigem Lastabtrag

Unterschiedliche Parameter bestehen bei Brandschutz und Schallschutz:

- | | |
|---------------------|--|
| Typ 1: | <ul style="list-style-type: none"> - Decke im Einfamilienhaus - mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2 mit erf. R'w ≥ 50 dB, erf. L'nw ≤ 56 dB - keine Brandschutzanforderungen (Gebäudeklasse 1) |
| Typ 2 und 3 | <ul style="list-style-type: none"> - Wohnungstrenndecken im Mehrfamilienhaus - mit Mindestanforderungen an die Luftschalldämmung und den Trittschallschutz nach DIN 4109 Tabelle 3 mit erf. R'w ≥ 54 dB, erf. L'nw ≤ 53 dB - Typ 2: Brandschutzanforderungen F30B für Decken in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung § 31(1) - Typ 3: Brandschutzanforderungen F60B für Decken in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung § 31(1) |
| Typ 4 und 5: | <ul style="list-style-type: none"> - Wohnungstrenndecke im Mehrfamilienhaus - mit den Empfehlungen für erhöhten Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2 mit erf. R'w ≥ 55 dB, erf. L'nw ≤ 46 dB - Typ 4: Brandschutzanforderungen F30B für Decken in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung § 31(1) - Typ 5: Brandschutzanforderungen F60B für Decken in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 Muster-Bauordnung § 31(1) |

Begriffsdefinitionen:

Wirtschaftlichkeit: Als normativer Begriff beschreibt die Wirtschaftlichkeit das Verhältnis von Nutzen zu Kosten. Im Zusammenhang mit dieser Arbeit ist als Nutzen eine Decke im Wohnungsbau zu verstehen, die vorgegebene Parameter (Brandschutz, Schallschutz, Nutzlasten, Spannweite) erfüllt.

Kosten: ...sind in Geld bewerteter Verzehr von Gütern und Dienstleistungen. Die Kosten, die im Zusammenhang mit den Bewertungen der beschriebenen Deckenkonstruktionen genannt werden, setzen sich aus den Kosten des Deckenelementes selbst, ohne Transport auf eine Baustelle und auch ohne Montage in ein bestimmtes Gebäude, und aus den Kosten für den zusätzlichen notwendigen Fußbodenauflauf zusammen. Die Kosten werden in Euro ohne Mehrwertsteuer angegeben.

Beim Vergleich der Kosten gelten die folgenden Randbedingungen:

1. Als Kosten für die Elemente sind die Nettopreise ab Werk für eine Abnahmemenge von 100 m², inklusive einfachem Abbund (keine Schrägschnitte und Aussparungen), ohne Transport und ohne Montage angesetzt.

Anmerkung: Auf die Berücksichtigung von Transport- und Montagekosten wird bewusst verzichtet, damit die Vergleichbarkeit der Elemente untereinander gewahrt bleibt. Bei der Montage der Elemente spielen örtliche Gegebenheiten, die u. a. Einfluss auf die Größe des Kranes haben können sowie vor allem Grundrisssituationen und die dadurch bedingte Anzahl von Sonderelementen, die unter Umständen die Montagezeit verlängern, eine Rolle. Maßgebend ist auch die Elementgröße des jeweiligen Systems. Hierzu wäre nur ein Vergleich im Zusammenhang mit einem konkreten Bauvorhaben möglich.

2. Die Kosten für die Fußbodenaufläufe, die zur Einhaltung der erforderlichen Trittschallwerte notwendig sind, sind inklusive Einbau angesetzt. Diese bundesweit eingeholten Preise sind Durchschnittspreise auf Basis von Leistungsverzeichnissen. Die abgefragte Menge war jeweils 100 m².

Anmerkung: Die Mittelpreise der abgegebenen Ausschreibungen, die in die Bewertungen eingegangen sind, wurden auf Plausibilität mit Hilfe der sirAdos – Datenbanken geprüft. Eine direkte Verwendung der Preise aus den vorgenannten Datenbanken erschien nicht sinnvoll, da die Fußbodenaufläufe zu spezifisch sind und deshalb nicht gleich lautend in den Datenbanken vorliegen.

3. Liegen zu einem System keine zertifizierten Trittschallwerte vor, so erfolgt deren Ermittlung nach dem im Holzbau Handbuch des Informationsdienstes Holz Reihe 3, Teil 3, Folge 3, beschriebenen Verfahren. Eine Be-

rechnung aller Holzelemente ist mit diesem Verfahren nicht möglich, weil nicht für alle Systeme geprüfte Fußbodenaufbauten sowie geprüfte Werte für die Elemente selbst vorliegen. In diesem Fall wird von den angegebenen, geprüften Werten für den Gesamtdeckenaufbau der Hersteller ausgegangen.

4. Bei den Empfehlungen zum erhöhten Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2 werden weich federnde Bodenbeläge nicht angerechnet, sondern als zusätzliche Reserve gesehen. Dies trägt dem Umstand der einfachen Austauschbarkeit dieser Beläge Rechnung.
5. Die Feuerwiderstandsdauer der Decken nach DIN 4102 wird entweder durch Bekleidungen oder durch Mehrstärken entsprechend des Abbrandes realisiert. Vorrang hat hier das Erreichen der Feuerwiderstandsdauer durch Mehrstärken des Holzelementes, um eine unterseitige Holzfläche sichtbar zu belassen.

3.1.1 Erläuterungen zum Schallschutz

In der DIN 4109 - Schallschutz im Hochbau - sind die Anforderungen an den Schallschutz von Bauteilen im Hochbau, u. a. zwischen fremden Wohnungen, sowie dem Schallschutz von Außenbauteilen verbindlich geregelt. Die DIN 4109, die als Technische Baubestimmung in allen Bundesländern eingeführt ist, gibt somit Anforderungen und in den Beiblättern die Nachweisverfahren für den Mindestschallschutz vor. Das Beiblatt 2 dieser Norm, das nicht als Technische Baubestimmung eingeführt ist, hat empfehlenden Charakter und macht Vorschläge für den erhöhten Schallschutz zwischen fremden Wohnungen und für den normalen und erhöhten Schallschutz im eigenen Wohnbereich. Sollen diese Werte in einem Gebäude umgesetzt werden, so ist dies zwischen Bauherren und Architekten besonders zu vereinbaren. Maßnahmen zur Einhaltung der Vorschläge für den erhöhten Schallschutz sind meist mit Mehrkosten verbunden.

Die folgenden Erläuterungen beziehen sich nur auf die Anforderungen und Empfehlungen des Schallschutzes in Wohngebäuden. In der DIN 4109 werden als schutzbedürftige Räume, d. h. Aufenthaltsräume, die gegen Geräusche zu schützen sind, Wohnräume einschließlich Wohnräumen und Schlafräume genannt. Bei der Schutzbedürftigkeit ist hinsichtlich der Belästigung durch Verkehrslärm oder durch Nachbarn einerseits -keine Geräusche von außen- und der Wahrung der eigenen Intimsphäre andererseits -keine Geräusche nach außen- zu unterscheiden.

Unter diesem Gesichtspunkt werden beispielsweise folgende Regelungen in DIN 4109 verständlich:

1. Die Anforderungen an den Schallschutz von Außenbauteilen gegen Außenlärm gelten nicht für Küchen, Bäder, Hausarbeitsräume.

2. Die Anforderungen an den Trittschallschutz gelten nicht für übereinander liegende Bäder.
3. Die Anforderungen an den Luftschallschutz von Aufenthaltsräumen gelten aber sehr wohl z. B. für Wohnungstrennwände oder Treppenraumwände auch im Bereich von Küchen und Bädern (Intimsphäre). [50]

Grundsätzlich sind beim Schallschutz der Luftschallschutz und der Trittschallschutz zu unterscheiden. Beim Luftschall wird die Schallenergie über das Medium Luft auf das trennende Bauteil übertragen und regt dieses zu Schwingungen an. Diese Schwingungen führen zur Abstrahlung von Luftschall in den angrenzenden Raum. Beim Trittschall, der nur bei Decken relevant ist, wird Körperschallenergie direkt in das Bauteil eingeleitet, das Bauteil zu Schwingungen angeregt und als Luftschall in den daneben, darunter und/oder seitlich darunter liegenden Raum abgestrahlt. Die Anregung erfolgt zum Beispiel durch Stühle rücken, Klopfen, Gehen oder Hüpfen.

Die immer wieder in gleicher Größe reproduzierbare Einleitung von Körperschallenergie in Decken durch Stoß oder Schlag bzw. durch das Gehen wird mit Hilfe des Norm-Hammerwerkes simuliert. Die damit erhältlichen Messwerte des Norm-Trittschallpegels liefern die mit den Anforderungen zu vergleichenden Werte. Dabei besteht die gleiche Situation wie im Brandschutz, wo auch mit Hilfe der Einheitstemperaturkurve eine Beanspruchung stellvertretend und in Anlehnung an die Wirklichkeit simuliert wird. Ebenso wie die Feuerwiderrstandsdauer F90 wenig über das Verhalten im konkreten Brand aussagt, hat der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ nur relativen Bezug zur Wirklichkeit.

Wirkt dieses Hammerwerk unmittelbar auf eine einschalige Decke ein, wird also der Schlag weder durch einen Teppichboden noch durch einen schwimmenden Fußboden gemildert, entsteht bei üblichen Baustoffen, so auch bei flächigen Holzbauelementen, ein im Regelfall über den zulässigen Werten liegender Trittschallpegel unterhalb der Decke. Der Trittschallschutz bei einschaligen Decken wird durch einen mehrschaligen Fußbodenaufbau verbessert. Der Trittschallschutz ist damit immer ein kombiniertes Ergebnis zweier Systeme, die in der Bau-praxis auch von zwei Gewerken ausgeführt werden.

Bei den Werten für Anforderungen oder Empfehlungen (erf. R'_w und erf. L'_{nw}) ist zu beachten, dass diese im Zusammenhang mit den flankierenden Bauteilen, also im eingebauten Zustand inkl. aller Nebenwege gelten. Die dabei im Ergebnis der Schallschutzwerte eines Bauteils zu berücksichtigenden Schallnebenwege über die flankierenden Bauteile beeinflussen die Schallschutzwerte. Die Schallnebenwege sind beim Holzbau für den Luftschall vernachlässigbar, spielen aber beim Trittschall oft eine entscheidende Rolle. Die gesonderte Berechnung des Luftschallschutzes macht bei Holzdecken keinen Sinn, da bei ausreichendem Trittschallschutz automatisch die Anforderungen an die Luftschalldämmung erfüllt sind. [17]

In Tab. 4 sind Werte, die den Wohnungsbau betreffen, nach DIN 4109 und nach Beiblatt 2 dieser Norm aufgeführt.

Tab. 2 Anforderungen nach DIN 4109 an die Schalldämmung von Wänden und Decken zwischen fremden Wohnbereichen (Mindestschallschutz)

Bauteil	Luftschalldämmung erf. R'_{w} in dB	Trittschalldämmung erf. L'_{nw} in dB
Wände		
Wohnungstrennwände	53	
Treppenraumwände	52	
Haustrennwände ¹⁾	57	
Decken		
Wohnungstrenndecken	52	53 ²⁾³⁾
in Gebäuden mit 2 Wohnungen	54	53 ²⁾
> 2 Wohnungen		
Decken unter nutzbaren Dachräumen (z.B. unter Abstellräumen)		
in Gebäuden mit 2 Wohnungen	52	63
> 2 Wohnungen	53	53

1) In Einfamilien-Doppel- oder Reihenhäusern.

2) Bei übereinander liegenden Bädern gilt die Anforderung nur bezüglich der seitlichen oder schrägen Schallübertragung in fremde Aufenthaltsräume, nicht in Bäder.

3) Weich federnde Bodenbeläge zur Verbesserung der Trittschalldämmung dürfen angerechnet werden.

Tab. 3 Empfehlungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 für den erhöhten Schallschutz von Wänden und Decken zwischen fremden Wohnbereichen

Bauteil	Luftschalldämmung erf. R'_{w} in dB	Trittschalldämmung erf. L'_{nw} in dB
Wände		
Wohnungstrennwände	≥ 55	
Treppenraumwände	≥ 55	
Haustrennwände ¹⁾	≥ 67	
Decken		
Wohnungstrenndecken	≥ 55	≤ 46 ²⁾³⁾
Decken unter allgemein nutzbaren Dachräumen	≥ 55	≤ 46 ³⁾

1) In Einfamilien-Doppel- oder Reihenhäusern.

2) Bei übereinander liegenden Bädern gilt die Anforderung nur bezüglich der seitlichen oder schrägen Schallübertragung in fremde Aufenthaltsräume, nicht in Bäder.

3) Weich federnde Bodenbeläge zur Verbesserung der Trittschalldämmung dürfen angerechnet werden.

Tab. 4 Empfehlungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 für den normalen und erhöhten Schallschutz von Wänden und Decken innerhalb des eigenen Wohnbereiches (Klammerwerte gelten für erhöhten Schallschutz)

Bauteil	Luftschalldämmung erf. R'_{w} in dB	Trittschalldämmung erf. L'_{nw} in dB
Wände ⁴⁾	40 (≥ 47)	
Decken	50 (≥ 55)	56 ²⁾³⁾ (≤ 46) ²⁾³⁾

2) Bei übereinander liegenden Bädern gilt die Anforderung nur bezüglich der seitlichen oder schrägen Schallübertragung in fremde Aufenthaltsräume, nicht in Bäder

3) Weich federnde Bodenbeläge zur Verbesserung der Trittschalldämmung dürfen angerechnet werden.

4) Zwischen „lauten“ und „leisen“ Räumen, Türen in diesen Wänden sind nicht vorhanden (Räume unterschiedlicher Nutzung z.B. Wohn- und Kinderschlafzimmer)

3.1.2 Beschreibung des Trittschall - Berechnungsverfahrens für Holzbalken- und Brettstapeldecken [18]

Da für die Bewertung der Elemente im weiteren Verlauf der Arbeit nicht nur geprüfte Trittschallwerte von Herstellern flächiger Holzbausysteme übernommen wurden, sondern auch, wo dies möglich war, diese Werte berechnet, ist nachfolgend das Berechnungsverfahren erläutert.

Die angewendete Rechenmethode wurde übernommen aus der Schriftenreihe Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3, S. 20 – 23, erschienen im Mai 1999:

„...Berechnungsverfahren

Für den Planer und die Ausführenden ist es notwendig, die resultierende Trittschalldämmung einer Decke am Bau bereits im Planungsstadium des Bauvorhabens bestimmen zu können.

Daraus ergibt sich folgende Zielsetzung:

1. Eine Methode zur Berechnung der Dämmung ohne Flankenübertragung, d. h. die Bestimmung des bewerteten Norm-Trittschallpegels eines Deckenaufbaus aus den Tabellenwerten der einzelnen Deckenkomponenten (Rohdecke, Estrich, Unterdecke).

Das Ergebnis ist der „reine“ Schalldämmwert der Decke ohne Flankenübertragung; er entspricht dem Laborwert.

2. Ein Verfahren zur Berücksichtigung der Flankenübertragung im ausgeführten Holzbau.“

„Im folgenden wird ...“ – dieser Absatz wurde nicht übernommen.

„Anmerkung zur Luftschalldämmung: ...“ – dieser Absatz wurde nicht übernommen.

,,... Einzahl-Verfahren

Basis des hier vorgeschlagenen Berechnungsverfahrens ist das Modell von Karl Gösele [...]. Das im Massivbau bewährte Konzept von Trittschallverbesserungsmaß ΔL_w und äquivalentem Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq}$ (s. DIN 52210 Teil 4 [...]) wird hierbei auf die Situation im Holzbau übertragen und modifiziert. Das Verfahren hat den großen Vorteil, daß es auf einfache Art mit der Kenntnis von Einzahlangaben auskommt. Im Vergleich zu dem älteren Berechnungsverfahren von K. Gösele [...], [...] wurden verschiedene Erweiterungen und Ergänzungen vorgenommen:

- Die Variationsbreite von verschiedenen Rohdecken mit unterschiedlichen Estrichen, Rohdeckenbeschwerungen und Unterdecken wurde erhöht.
- Die Abhängigkeit des Trittschallverbesserungsmaßes $\Delta L_{w,H}$ von der dynamischen Steifigkeit s' der Trittschalldämmplatte wurde in das Rechenschema eingebunden.
- Die Wirtschaftlichkeit verschiedener Rohdeckenbeschwerungen für unterschiedliche Rohdeckentypen wurde berücksichtigt.
- Die Flankenübertragung am Bau wurde durch einen Korrektursummanden K berücksichtigt.

..... Beschreibung

Zur Berechnung der Trittschalldämmung werden die Maßzahlen von vier Summanden verwendet:

Rohdecke mit Unterdecke, Estrich, Rohdeckenbeschwerung und Flankenübertragung

Die Berechnung des Norm-Trittschallpegels (Laborwert) eines Holzdeckenaufbaus im Holzbau erfolgt nach der Gleichung 7 durch die Subtraktion der Einzahlwerte des Estrichaufbaus ($\Delta L_{w,H}$) und gegebenenfalls der Rohdeckenbeschwerung ($\Delta L_{n,w,Beschwerung}$) vom äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel der Rohdecke ($L_{n,w,eq,H}$)

Gleichung 7

$$L_{n,w} = L_{n,w,eq,H} - \Delta L_{w,H} - \Delta L_{n,w,Beschwerung}$$

Durch die Addition eines Korrektursummandens K zu dem Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ (Laborwert) wird die Flankenschallübertragung am Bau berücksichtigt (siehe Gleichung 8).

Gleichung 8

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K$$

In diesen Gleichungen sind:

$L'_{n,w}$

der bewertete Norm-Trittschallpegel der geplanten Decke am Bau

$L_{n,w}$	der bewertete Norm-Trittschallpegel der geplanten Decke im Labor
$L_{n,w,eq,H}$	der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel der Rohdecke
ΔL_{wH}	Verbesserungsmaß durch den Estrich
$\Delta L_{n,w, \text{Beschwerung}}$	Verbesserungsmaß durch die Rohdeckenbeschwerung
K	Korrektursummand zur Berücksichtigung der Flankenübertragung“

„Die vier Summanden....“ – dieser Satz wurde nicht übernommen.

„Für die Berechnung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau empfiehlt sich folgende Vorgehensweise:

1. Festlegung der Eingangsdaten:
 - Rohdeckentyp, Typ der Unterdecke (Befestigung mit Federschienen oder Lattung)
 - Art und Gewicht der Rohdeckenbeschwerung
 - Art des Estrichs (dynamischen Steifigkeit der Trittschalldämmplatte)
2. Bestimmung des äquivalenten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq,H}$ der Rohdecke aus Tabelle 5 (...) [hier Abb. 73] [oder anhand der Angaben des Herstellers].
3. Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes $\Delta L_{w,H}$ des Estrichaufbaus aus ... [hier Abb. 74].
4. Bestimmung der Verbesserung durch die Rohdeckenbeschwerung $\Delta L_{n,w,\text{Beschwerung}}$ unter Berücksichtigung der Art der Beschwerung, des Deckentyps und der Unterdecke mit Hilfe von (...) [hier Abb. 75].
5. Berechnung des Labor-Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ nach Gleichung 7:
6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von (...) [hier Abb. 76].
7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels in der Bausituation am Bau $L'_{n,w}$ nach Gleichung 8.“

„Anwendungsbeispiele....“ – dieser Satz wurde nicht übernommen.

„.... Genauigkeit des Verfahrens

Um das Berechnungsverfahren so praktikabel wie möglich zu gestalten, wurden einige Vereinfachungen vorgenommen, die auch Einfluss auf die Genauigkeit des Verfahrens haben. Zum Beispiel:

- Das Trittschallverbesserungsmaß des Estrichs $\Delta L_{w,H}$ wurde auf einer geschlossenen Standard-Holzbalken-Decke ermittelt. Ein Abgleich mit anderen Holzdeckentypen (offene Holzbalkendecke, Holzbalkendecke mit Federschiene, Brettstapeldecke) wurde für einen Estrichaufbau durchgeführt. Hieraus wurde für diese Deckentypen ein repräsentativer Mittelwert festgelegt.
- Die Wirksamkeit einer Rohdeckenbeschwerung hängt vom Typ der Rohdecke ab. Im Kapitel ... erfolgte eine Unterscheidung der wichtigsten Deckentypen, um eine höhere Genauigkeit zu erreichen.“ [hier Abb. 75]

„Um die Genauigkeit dieses Verfahrens zu testen, wurden 50 am Bau gemessene Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ mit den berechneten Norm-Trittschallpegeln verglichen. Dieser Vergleich wird in Abb. 20 [nicht übernommen] dargestellt, wobei die Differenzen (Messung – Berechnung) aufgetragen wurden. In dieser Darstellung wird unterschieden zwischen:

- Ergebnisse aus 23 Baumessungen, die in die Entwicklung des Berechnungsverfahrens eingeflossen sind, sowie
- Ergebnisse aus 27 Baumessungen, die dafür nicht berücksichtigt wurden. Diese 27 Messpunkte können daher zur Kontrolle des Verfahrens dienen.

„Zur Abschätzung der Genauigkeit des Verfahrens wurden die Streuungen der verschiedenen Datenpunkte wie folgt ausgewertet:

- Bei 95% der untersuchten Holzdecken wurde der berechnete Norm-Trittschallpegel bei einer Messung am Bau entweder unterschritten bzw. um nicht mehr als 3 dB überschritten.
- Bei 100% der untersuchten Holzdecken lag die Differenz zwischen berechnetem und am Bau gemessenen Norm-Trittschallpegel innerhalb eines Bereichs von ± 4 dB.

Hinweis: Bei der Anwendung dieser Berechnungsmethode muss mit Streubreiten in dieser Größenordnung gerechnet werden, d. h. bei der Planung ist eine Unsicherheit von ± 4 dB zu berücksichtigen.“

Abb. 20 – nicht übernommen

„...Rohdeckentabelle

In Tabelle ... [hier Abb. 73] sind die äquivalenten bewerteten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq,H}$ der zur Zeit (1999) verwendeten Rohdeckentypen enthalten. Der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq,H}$ ist eine Hilfsgröße, die zur Berechnung des Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ einer Holzdecke mit Estrich nach Gleichung 7 benötigt wird. Zur Definition des ...“

„... Estrichaufbau

Trittschalldämmplatten zum Einsatz unter Naß-, Trocken- und Gußasphaltestrichen sind in großer Vielfalt auf dem Markt. In der Abb. 21 [hier Abb. 74] und in Tabelle 6 [nicht übernommen] sind Ergebnisse aus handelsüblichen Produkten dargestellt.

Das Diagramm in Abb. ... [hier Abb. 74] enthält die Trittschallverbesserungsmaße von Zement- und Trockenestrichen auf Mineralfaser-Trittschalldämmplatten, ermittelt auf einer Holzbalkendecke mit einer an Latten befestigten Unterdecke. Das resultierende ΔL_{wH} kann in Abhängigkeit von der dynamischen Steifigkeit s' und dem gewählten Estrich abgelesen werden. Zur Definition...“

„... Rohdeckenbeschwerung

Die Trittschallverbesserung durch Rohdeckenbeschwerungen wurde separat untersucht. Die Flächenmasse der Rohdeckenbeschwerung kann meist frei gewählt werden. Die Verbesserung des $L_{n,w}$ kann meist frei gewählt werden. Die Verbesserung des $L_{n,w}$ durch eine Rohdeckenbeschwerung wurde in Abhängigkeit vom Gewicht ermittelt und graphisch aufgetragen. Das Resultat ist in Abb. ... [hier Abb. 75] dargestellt. Angegeben wird die Verbesserung der Trittschalldämmung durch Beschwerung als $\Delta L_{n,w} = L_{n,w}$ (ohne Beschwerung) - $L_{n,w}$ (mit Beschwerung).

Auf zwei wichtige Ergebnisse wird hingewiesen:

- Mit einer Schüttung wird bei gleicher Masse eine weit größere Verbesserung erzielt als mit einer Plattenbeschwerung. Die Ursache ist in der geringeren Biegesteifigkeit und der inneren Dämpfung der Schüttung zu sehen.
- Mit Plattenbeschwerung wird bei Decken mit sichtbaren Balken eine größere Verbesserung festgestellt als mit Plattenbeschwerung bei geschlossenen Holzbalkendecken. Hieraus können Planungsfehler resultieren, wenn die gleiche Trittschall-Verbesserung sowohl für geschlossene Konstruktionen als auch für Decken mit sichtbaren Balken angesetzt wird.“

„... Übertragung auf die Bausituation

Aus den drei beschriebenen Einzelkomponenten – Rohdecke, Estrichaufbau und Rohdeckenbeschwerung – kann die Trittschalldämmung im Labor (ohne Flankenübertragung) berechnet werden. Der Beitrag des Schallflusses über die flankierenden Wände im Holzbau (Flankenübertragung) wird durch einen Korrektursummanden K berücksichtigt. Der Summand K kann aus Abb.... [hier Abb. 76] in Abhängigkeit vom Einzahlwert der Decke ohne Flankenübertragung (Laborwert) abgelesen werden.

Der zu erwartende Bauwert kann somit durch eine einfache Addition ermittelt werden, siehe Gleichung 8.“

Die folgenden Abbildungen haben in der Originalquelle eine anderslautende Nummerierung.

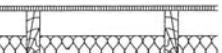
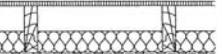
Schnitt	Konstruktion	$L_{n,w,eq,H}$
1	22 mm Verlegespanplatte oder OSB -Verlegeplatte 220 mm Balken (mind. 60 x 220 mm; e = 625 mm) 	84 dB
2	12 mm Sperrholz, mech. verbunden 28 mm Sichtschalung, Nut und Feder 220 mm Balken (mind. 60 x 220 mm; e = 625 mm) 	82 dB
3	22 mm Verlegespanplatte, verleimt 220 mm Balken (40 x 220 mm; e = 420 mm) 100 mm Hohlräumdämmung ($r \geq 5 \text{ kN s/m}^4$) 24 mm Lattung (48 x 24 mm; e = 415 mm) 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 	79 dB
4	22 mm Verlegespanplatte, mech. verbunden 220 mm Balken (mind. 60 x 220 mm; e = 625 mm) 100 mm Hohlräumdämmung ($r \geq 5 \text{ kN s/m}^4$) 24 mm Lattung (48 x 24 mm; e = 415 mm) 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 	74 dB
5	22 mm Verlegespanplatte, mech. verbunden 220 mm Balken (mind. 60 x 220 mm; e = 625 mm) 100 mm Hohlräumdämmung ($r \geq 5 \text{ kN s/m}^4$) 45 mm Lattung (24 x 48 mm, e = 417 mm) mit Federbügel 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 	66 dB
6	22 mm Verlegespanplatte mech. verbunden 220 mm Balken (mind. 60 x 220 mm; e = 625 mm) 100 mm Hohlräumdämmung ($r \geq 5 \text{ kN s/m}^4$) 27 mm Federschiene; e = 41,5 cm 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 	64 dB
7	22 mm Verlegespanplatte mech. verbunden 220 mm Balken (mind. 60 x 220 mm; e = 625 mm) 100 mm Hohlräumdämmung ($r \geq 5 \text{ kN s/m}^4$) 27 mm Federschiene; e = 41,5 cm 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 	61 dB
8	120 mm Brettstapeldecke, genagelt 	78 dB
9	12 mm Sperrholz, mech. verbunden 120 mm Brettstapeldecke, genagelt 	76 dB
10	140 mm Brettstapeldecke, genagelt 45 mm Lattung (24 x 48 mm, e = 417 mm) mit Federbügel 12,5 mm Gipskarton- oder Gipsfaserplatte 	71 dB

Abb. 73 Äquivalente, bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w,eq,H}$ von üblichen Holz-Rohdecken, aus [18], S. 21

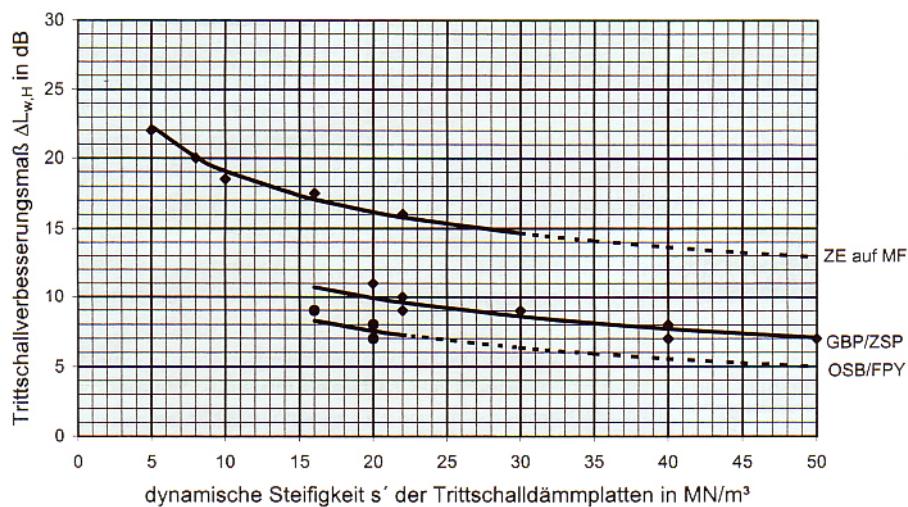


Abb. 74 Verbesserung der Trittschalldämmung durch einen schwimmenden Estrich auf Holzdecken: Trittschallverbesserungsmaß $\Delta L_{w,H}$ für verschiedene Estriche und verschiedene Mineraalfaserdämmplatten (beschrieben durch die dynamische Steifigkeit s'), aus [18], S. 22

Die Abkürzungen bedeuten:

- ZE auf MF = 50 mm Zementestrich auf Mineraalfaserdämmplatte
- ZSP = 22 mm Zementgebundene Verlegespanplatte
- GBP = 25 mm Gipsbauplatte
- OSB = 18 mm OSB Verlegeplatte
- FRY = 22 mm Verlegespanplatte

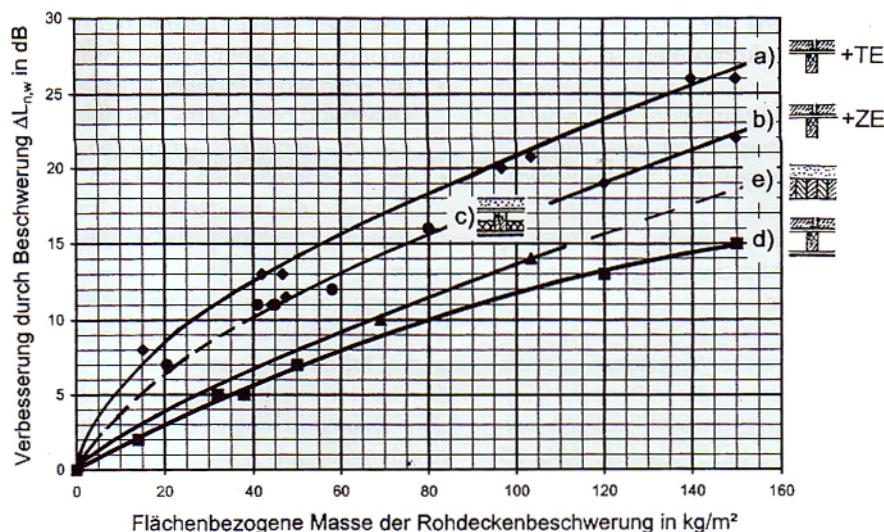


Abb. 75 Verbesserung der Trittschalldämmung ($\Delta L_{w,H}$) durch eine Beschwerung der Rohdecke, aus [18], S. 23

Es wurden verschiedene Arten von Beschwerungen untersucht:

- a) Plattenbeschwerung bei offenen Holzbalkendecken mit Trockenestrich
- b) Plattenbeschwerung bei offenen Holzbalkendecken mit Zementestrich
- c) Schüttungen auf Holzbalkendecken mit Unterdecke
- d) Plattenbeschwerung auf Holzbalkendecke mit Unterdecke
- e) Schüttungen auf Brettstapeldecken

Anmerkung 1: Im Bereich der gestrichelten Linie sind die Werte unsicher.

Anmerkung 2: Alle Messungen der Abb. ...[hier Abb. 75] wurden auf Decken mit Estrichen auf Mineraalfaserdämmplatten durchgeführt.



Abb. 76 Korrektursummand K zur Berücksichtigung der Flankenübertragung, aus [18], S. 23

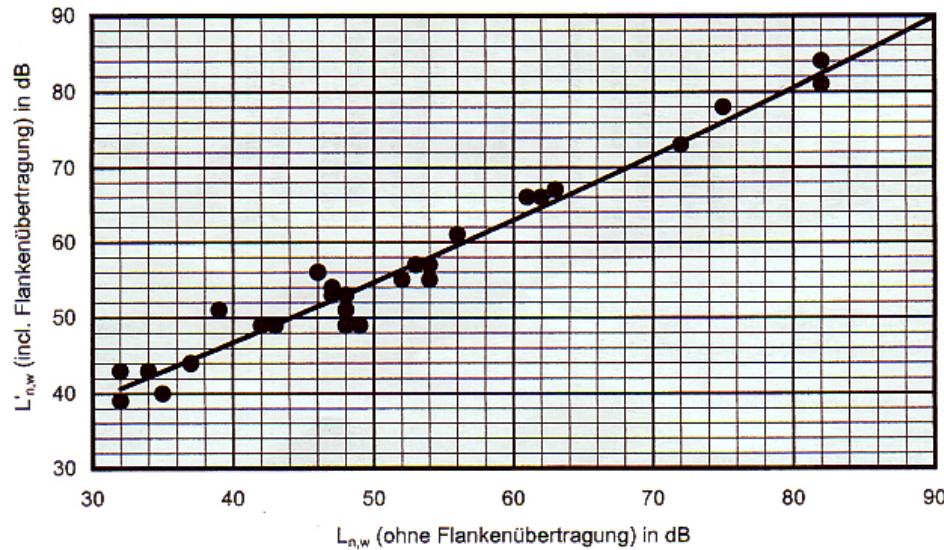


Abb. 77 Zusammenhang zwischen der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken am Bau ($L'_{n,w}$) und im Labor ($L_{n,w}$), aus [18], S. 23

3.1.3 Erläuterungen zum Brandschutz

Maßnahmen zum Brandschutz erstrecken sich vor allem auf den vorbeugenden baulichen Brandschutz. Die Aufgaben des vorbeugenden baulichen Brandschutzes sind:

- der Entstehung eines Brandes vorzubeugen,
- der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorzubeugen,
- die Rettung von Menschen und Tieren und
- wirksame Löscharbeiten zu ermöglichen [37]

Der vorbeugende bauliche Brandschutz dient in der genannten Reihenfolge:

- dem Personenschutz
- dem Sachschutz
- dem Objektschutz [72]

Die allgemeinen Anforderungen an den baulichen Brandschutz sind wegen der grundsätzlichen Bedeutung für die Allgemeinheit in den Bauordnungen im Wesentlichen identisch. Diese bauaufsichtlichen Forderungen werden in weiteren Paragraphen der Landesbauordnungen konkretisiert. Das Bauordnungsrecht teilt in Abhängigkeit von der Nutzung in bauliche Anlagen normaler Art und Nutzung und in bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung ein. Für bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung können besondere Forderungen, die über die Forderungen der jeweiligen Landesbauordnungen hinausgehen, von der Bauaufsichtsbehörde gestellt werden.

Durch die für die Bauaufsicht zuständigen Ministerien der Länder werden technische Baubestimmungen (z. B. Normen, Richtlinien) zur Erfüllung der Grundsatzanforderungen eingeführt. Die technischen Baubestimmungen enthalten technische Regeln für die Planung, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen und ihrer Teile. Technische Baubestimmungen sind beispielsweise die DIN 4102 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Die Umsetzung entsprechender Anforderungen an Holztragkonstruktionen der Gebäudeklasse 4 regelt seit kurzem die „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“ (Muster-Holzbaurichtlinie M-HFHHolzR [38]).

Bei Holz als brennbarem Baustoff sind die Holzfeuchte und damit die Entzündungsgeschwindigkeit, die Holzrohdichte und daraus resultierend die Abbrandgeschwindigkeit von Bedeutung. Unter Brandbelastung nach Einheitstemperaturkurve der DIN 4102-2 ist mit einer Abbrandgeschwindigkeit von 0,7mm/min bei Leimholz und 0,8mm/min bei Vollholz (jeweils Nadelholz einschließlich Buche) [73] zu rechnen. Die geringe Wärmeleitung von Holz -200 fach geringer als bei Stahl und etwa 10 fach geringer als bei Beton bzw. Zementputz [33]- einerseits und die durch den Abbrand entstehende und isolierend wirkende Verkohlung andererseits, verhindern einen schnelleren Abbrand.

Durch die o. a. Abbrandgeschwindigkeit ist die Bestimmung des Restquerschnittes nach einer bestimmten Zeit der Brandeinwirkung möglich. Dieser kann dann, unter Berücksichtigung der für den Brandfall relevanten Belastung, nachgewiesen werden.

Holz verhält sich unter Brandlast bei geeigneter Dimensionierung aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit erheblich besser als stark Wärme leitende Baustoffe, wie beispielsweise Stahl, da bei Holz ein mögliches Versagen der Konstruktion relativ langsam und bemerkbar, bei Stahl dagegen schnell und ohne Vorwarnung stattfindet. Mit Holzbauteilen können somit durch Überdimensionierung der Querschnitte -also durch Vorhaltung von Abbrandschichten- höhere Feuerwiderstandsdauern realisiert werden.



Abb. 78 Brandversuch mit Santner Holzbauelement aus [45]

Anmerkung zu Abb. 78: Nach 60 Minuten betrug die Innentemperatur 1210°C , die Außentemperatur an der 12 cm dicken, kreuzweise verleimten, einschichtigen Holzplatte $9,5^{\circ}\text{C}$

Ein weiterer wichtiger Punkt, um die zu Anfang des Kapitels beschriebenen Schutzziele zu realisieren, ist die Aufstellung eines Brandschutzkonzeptes. Brandschutzkonzepte beinhalten Einzelmaßnahmen des vorbeugenden baulichen, des anlagentechnischen, organisatorischen und abwehrenden Brandschutzes unter Berücksichtigung der Nutzung, der Schadenswahrscheinlichkeit und des Schadensausmaßes. Ein Brandschutzkonzept muss individuell auf den Einzelfall abgestimmt sein. Die Schutzziele eines solchen Konzeptes können aus den öffentlich rechtlichen Vorgaben oder den Vorgaben der Nutzer bzw. des Bauherrn abgeleitet werden. Bauordnungsrechtliche Vorgaben (z.B. Feuerwiderstand von Decken und Wänden) können u. U. mittels Abweichungen durch Alternativen, wie zum Beispiel Sprinkler- und Brandmeldeanlagen ersetzt werden, um die Einhaltung der Schutzziele sicherzustellen. In Brandschutzkonzepten wird auf diese Abweichungen eingegangen.

Untersuchungen haben ergeben, dass die Hauptursachen der Todesfälle bei Gebäudebränden Ersticken oder Rauchvergiftung sind. [74] Daraus ist zu erkennen, dass dieser Fakt auch bei Raumbränden, bei denen noch keine Durchzündung des Raumes stattgefunden hat, gilt. Das zeigt, dass im Brandfall die Konstruktionsart des Gebäudes -Massivbau oder Holzbau- für die Anzahl der Todesfälle kaum von Bedeutung ist.

3.2 Ermittlung der Gesamtdeckenaufbauten und der Kosten der zu bewertenden Deckensysteme

3.2.1 Decke aus Leimholz-Elementen

Hersteller: Holzwerke Ladenburger GmbH & Co. KG
Zur Walkmühle 1-5
D-73441 Aufhausen
<http://www.ladenburger.de/>

Charakteristik:

- massive Leimholz-Elemente aus 40 mm breiten Fichtelamellen
- mittels farblosem Melaminharzleim zusammengefügt
- Oberflächenqualitäten als Industrie- und Standardqualität
(letztere für sichtbaren Einsatz durch kosmetische Nachbearbeitung)
- Elementbreite 64 cm
- Elementstärken 8 bis 28 cm, in 2cm Schritten
- Elementlängen bis 24,00 m



Abb. 79 verleimter Brettstapel nach Verlassen der Presse (Foto Verfasser)

Fertigung:

Nach visuellem Sortieren der Hölzer und Kennzeichnung der Fehlstellen werden diese in einem ersten Arbeitsgang aus den Kanteln (Lamellen) herausgetrennt. Anschließend erfolgt die Keilzinkung und Längsverleimung zu 24,00 m langen Einzellamellen. Nach einer Trocknungszeit von ca. 3 – 4 Stunden werden die Kanteln vierseitig gehobelt. Nach dem automatischen Einleimen der Seitenflächen erfolgt die Verleimung in hydraulischen Pressen. Die Verweildauer in der Presse hängt von der Holztemperatur und der Lamellenhöhe ab. Die Lamellenbreite beträgt in der Regel 40 mm. Nach vierseitigem Überhobeln und anschließender, manueller kosmetischer Überarbeitung bei gewünschter Sichtqualität erfolgt die Verpackung in Schutzfolie und die Lagerung der Elemente. Die Firma Ladenburger produziert etwa 80 % ihres Leimholzes als Lagerware in Längen von 24,00 m. [28]

3.2.1.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Da der Deckenhersteller keine geprüften Kennwerte für die Trittschalldämmung der Deckenelemente in Verbindung mit Fußbodenaufbauten angibt, ermitteln sich diese nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt:

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 56$ dB gemäß DIN 4109 Beiblatt 2
 - abzüglich Rechenunsicherheit von 4 dB (siehe Kap. 3.1.2)
- erf. $L'_{nw} \leq 56$ dB – 4 dB = 52 dB als rechnerischer Wert für L'_{nw}
- erf. L_{nw} (Laborwert ohne Schallnebenwege) bei $L'_{nw} = 52$ dB → $L_{nw} = 47$ dB (siehe Abb. 77)

2. Bestimmung des äquivalenten, bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq,H}$ der Rohdecke aus Abb. 73 oder anhand der Angaben des Herstellers:

- anzusetzender Wert der Rohdecke (Abb. 73, Zeile 8)

$$L_{n,w,eq,H} = 78 \text{ dB} + 2 \text{ dB}^* = 80 \text{ dB}$$

* Verschlechterung des Norm-Trittschallpegels der Rohdecke für verleimte Elemente gegenüber Vernagelten, da diese eine höhere Steifigkeit und damit eine schlechtere Trittschalldämmung aufweisen. [20]

3. Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_{wH} des Fußbodenaufbaus aus Abb. 74:
 - $\Delta L_{wH} = 22 \text{ dB}$ mit dem gewählten Fußbodenaufbau, bestehend aus 50mm Zementestrich und Mineralfaser-Trittschallmatte 5 MN/m^3
 - Defizit zum erforderlichen L_{nw} :
 vorh. $L_{nw} = L_{n,w,eq,H} - \Delta L_{wH} \rightarrow 58 \text{ dB} = 80 \text{ dB} - 22 \text{ dB}$
 vorh. $L_{nw} - \text{erf. } L_{nw} \rightarrow 58 \text{ dB} - 47 \text{ dB} = 11 \text{ dB}$
 Das bedeutet, dass eine Verbesserung durch eine zusätzliche Rohdeckenbeschwerung erforderlich ist.

4. Bestimmung der Verbesserung durch die Rohdeckenbeschwerung unter Berücksichtigung der Art der Beschwerung, des Deckentyps und der Unterdecke mit Hilfe von Abb. 75:
 - $\Delta L_{n,w,Beschwerung} = 11 \text{ dB}$ entspricht 75 kg/m^2 Rohdeckenbeschwerung
 - gewählt 50 mm geglühter Sand mit $1500 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 75 \text{ kg/m}^2$

5. Berechnung des Norm- Trittschallpegels L_{nw} nach der Gleichung:
 - $L_{nw} = L_{n,w,eq,H} - \Delta L_{wH} - \Delta L_{n,w, \text{Beschwerung}} \rightarrow 47 \text{ dB} = 80 \text{ dB} - 22 \text{ dB} - 11 \text{ dB}$

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:
 - $L_{nw} = 47 \text{ dB} \rightarrow K = 5 \text{ dB}$
 Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 5 dB in Ansatz gebracht werden.

7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:
 - $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 52 \text{ dB} = 47 \text{ dB} + 5 \text{ dB}$
 - $L'_{nw} = 52 \text{ dB} \pm 4 \text{ dB}$ (Rechenunsicherheit) = 56 dB
 - vorh. $L'_{nw} = 56 \text{ dB} = \text{erf. } L'_{nw} = 56 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung

Gesamtdeckenaufbau:

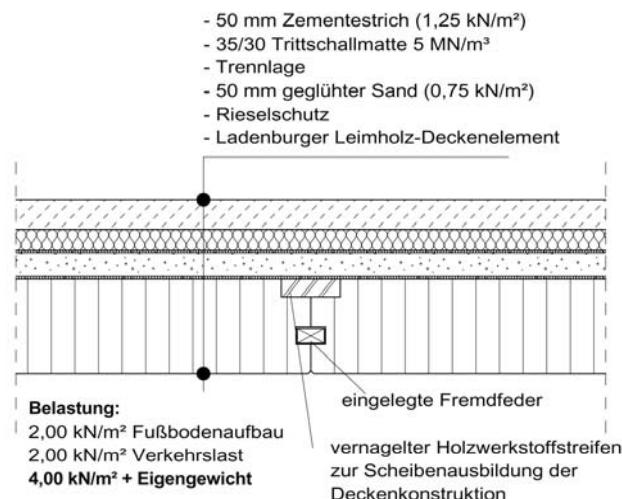


Abb. 80 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ I(eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 5 Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ I

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m²
3,00	100	39,50	25,68	65,18
3,50	120	47,40	25,68	73,08
4,00	140	55,30	25,68	80,98
4,50	160	63,20	25,68	88,88
5,00	180	71,10	25,68	96,78
5,50	200	79,00	25,68	104,68
6,00	220	86,90	25,68	112,58
6,50	240	94,80	25,68	120,48
7,00	260	111,80	25,68	137,48
7,50	280	120,40	25,68	146,08

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,00 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 3

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 1;

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw.DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.1.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Da der Deckenhersteller keine geprüften Kennwerte für die Trittschalldämmung der Deckenelemente in Verbindung mit Fußbodenaufbauten angibt, ermitteln sich diese nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt:

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 53$ dB gemäß DIN 4109
- abzüglich Rechenunsicherheit von 4 dB (siehe Kap. 3.1.2)
 $L'_{nw} \leq 53$ dB – 4 dB = 49 dB als rechnerischer Wert für L'_{nw}
- erf. L_{nw} (Laborwert ohne Schallnebenwege) bei $L'_{nw} = 49$ dB → $L_{nw} = 43$ dB (siehe Abb. 77)

2. Bestimmung des äquivalenten, bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w,eq,H}$ der Rohdecke aus Abb. 73 oder anhand der Angaben des Herstellers:

- anzusetzender Wert der Rohdecke (Abb. 73, Zeile 8)

$$L_{n,w,eq,H} = 78 \text{ dB} + 2 \text{ dB}^* = 80 \text{ dB}$$

* Verschlechterung des Norm-Trittschallpegels der Rohdecke für verleimte Elemente gegenüber Vernagelten, da diese eine höhere Steifigkeit und damit eine schlechtere Trittschalldämmung aufweisen. [20]

3. Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes ΔL_{wH} des Fußbodenaufbaus aus Abb. 74:

- $\Delta L_{wH} = 22$ dB mit dem gewählten Fußbodenaufbau, bestehend aus 50mm Zementestrich und Mineralfaser-Trittschallmatte 5 MN/m³
- Defizit zum erforderlichen L_{nw} :

$$\text{vorh. } L_{nw} = L_{n,w,eq,H} - \Delta L_{wH} \rightarrow 58 \text{ dB} = 80 \text{ dB} - 22 \text{ dB}$$

$$\text{vorh. } L_{nw} - \text{erf. } L_{nw} \rightarrow 58 \text{ dB} - 43 \text{ dB} = 15 \text{ dB}$$

Das bedeutet, dass eine Verbesserung durch eine zusätzliche Rohdeckenbeschwerung erforderlich ist.

4. Bestimmung der Verbesserung durch die Rohdeckenbeschwerung unter Berücksichtigung der Art der Beschwerung, des Deckentyps und der Unterdecke mit Hilfe von Abb. 75:
 - $\Delta L_{n,w,\text{Beschwerung}} = 15 \text{ dB}$ entspricht 115 kg/m^2 Rohdeckenbeschwerung
 - gewählt 65 mm getrockneter Kies mit $1800 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 117 \text{ kg/m}^2$

5. Berechnung des Norm- Trittschallpegels L_{nw} nach der Gleichung:
 - $L_{nw} = L_{n,w,\text{eq},H} - \Delta L_{wH} - \Delta L_{n,w,\text{Beschwerung}} \rightarrow 43 \text{ dB} = 80 \text{ dB} - 22 \text{ dB} - 15 \text{ dB}$

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:
 - $L_{nw} = 43 \text{ dB} \rightarrow K = 6 \text{ dB}$
Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 5 dB in Ansatz gebracht werden.

7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:
 - $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 49 \text{ dB} = 43 \text{ dB} + 6 \text{ dB}$
 - $L'_{nw} = 49 \text{ dB} \pm 4 \text{ dB}$ (Rechenunsicherheit) = 53 dB
 - vorh. $L'_{nw} = 53 \text{ dB} = \text{erf. } L'_{nw} = 53 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

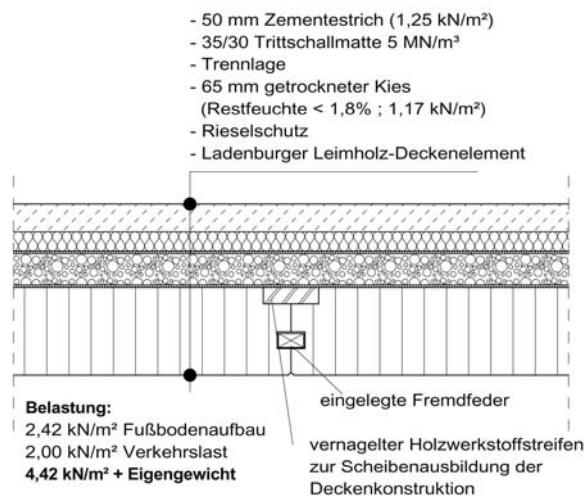


Abb. 81 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 6 Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 2

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	120	47,40	24,17	71,67
3,50	120	47,40	24,17	71,67
4,00	140	55,30	24,17	79,47
4,50	160	63,20	24,17	87,37
5,00	180	71,10	24,17	95,27
5,50	200	79,00	24,17	103,17
6,00	220	86,90	24,17	111,07
6,50	240	94,80	24,17	118,97
7,00	260	111,80	24,17	135,97
7,50	280	120,40	24,17	144,57

(a bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit $2,42 \text{ kN/m}^2$ und die Verkehrslast mit $2,00 \text{ kN/m}^2$ in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m^2 ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 3

(c Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 5

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.1.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 2 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. $L'_{nw} = 53 \text{ dB} = \text{erf. } L'_{nw} = 53 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

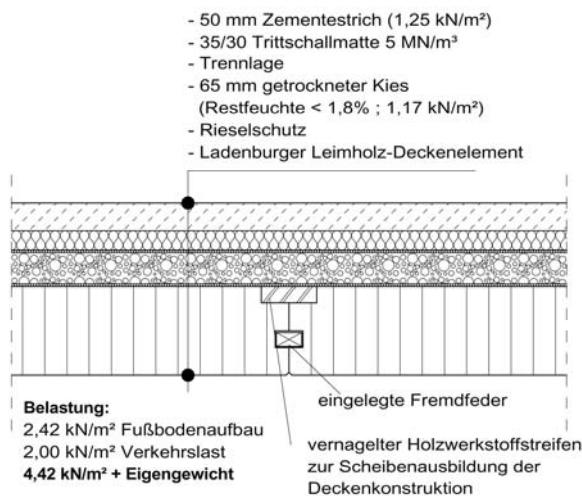


Abb. 82 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 3(eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 7 Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 3

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	120	47,40	24,17	71,57
3,50	140	55,30	24,17	79,47
4,00	140	55,30	24,17	79,47
4,50	160	63,20	24,17	87,37
5,00	180	71,10	24,17	95,27
5,50	200	79,00	24,17	103,17
6,00	220	86,90	24,17	111,07
6,50	240	94,80	24,17	118,97
7,00	260	111,80	24,17	135,97
7,50	280	120,40	24,17	144,57

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,42 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 3

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 5

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052-1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.1.4 Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Da der Deckenhersteller keine geprüften Kennwerte für die Trittschalldämmung der Deckenelemente in Verbindung mit Fußbodenaufbauten angibt, ermitteln sich diese nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt:

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L' nw

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel L' nw ≤ 46 dB gemäß DIN 4109, Beiblatt 2
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion gemäß Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3, S. 29, Nr. 21 gewählt.
- Da die Prüfung mit einer genagelten Brettstapeldecke erfolgte, ist der bewertete Norm-Trittschallpegel am Bau L' nw um 2 dB* zu erhöhen.

- $L'_{nw} = 46 \text{ dB} = 44 \text{ dB} + 2 \text{ dB}$
 * Verschlechterung des Norm-Trittschallpegels der Rohdecke für verleimte Elemente gegenüber Vernagelten, da diese eine höhere Steifigkeit und damit eine schlechtere Trittschalldämmung aufweisen. [20]
- vorh. $L'_{nw} = 46 \text{ dB} = \text{erf. } L'_{nw} = 46 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

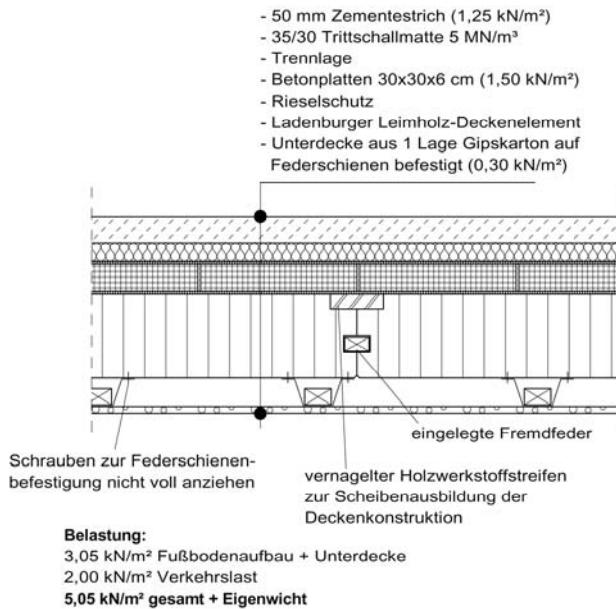


Abb. 83 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 4 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus und der Unterdecke angegeben.

Tab. 8 Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 4

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau und Unterdecke €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	120	47,40	41,78 + 28,02	117,20
3,50	140	55,30	41,78 + 28,02	125,10
4,00	160	63,20	41,78 + 28,02	133,00
4,50	180	71,10	41,78 + 28,02	140,90
5,00	200	79,00	41,78 + 28,02	148,80
5,50	220	86,90	41,78 + 28,02	156,70
6,00	240	94,80	41,78 + 28,02	164,60
6,50	260	111,80	41,78 + 28,02	181,60
7,00	280	120,40	41,78 + 28,02	190,20
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 3,05 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f = l/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 3

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr.9 und Anlage 2 Nr. 2

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.1.5 Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 4 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. L' nw = 46 dB = erf. L' nw = 46 dB → **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

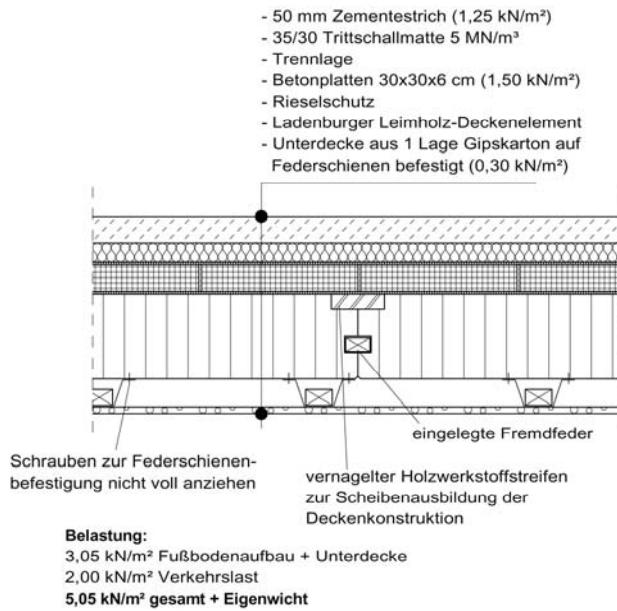


Abb. 84 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 5 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus und der Unterdecke angegeben.

Tab. 9 Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 5

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau und Unterdecke in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	120	47,40	41,78 + 28,02	117,20
3,50	140	55,30	41,78 + 28,02	125,10
4,00	160	63,20	41,78 + 28,02	133,00
4,50	180	71,10	41,78 + 28,02	140,90
5,00	200	79,00	41,78 + 28,02	148,80
5,50	220	86,90	41,78 + 28,02	156,70
6,00	240	94,80	41,78 + 28,02	164,60
6,50	260	111,80	41,78 + 28,02	181,60
7,00	280	120,40	41,78 + 28,02	190,20
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 3,05 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 3

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Zeile 9 und Anlage 2 Zeile 2

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052-1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.2 Decke aus Brettstapel-Elementen

(genagelt mit keilgezinkten Lamellen)

Hersteller: Merkle GmbH

Fabrikstraße 31

D-73266 Bissingen/Teck

Charakteristik: - massive, vernagelte Brettstapel-Elemente aus 40 mm breiten,

allseitig gehobelten Fichtelamellen

- hergestellt auf speziellen Vernagelungsautomaten

- Oberflächenqualitäten als Industrie- und Standardqualität

(letztere für sichtbaren Einsatz durch sortierte Lamellen)

- Elemente mit Akustikfräisung ohne Mehrpreis lieferbar

- Elementbreite bis 2,50 cm (je nach eingesetztem Automat)

- Elementstärken 8 bis 26 cm, in 2 cm Schritten

- Elementlängen bis 17,60 m

Fertigung: Nach visuellem Sortieren der Lamellen hinsichtlich Fehlstellen werden diese im ersten Arbeitsgang per Förderband einzeln zum Vernageltisch transportiert. Der fahrbare Druckluftnagler vernagelt Brettlage um Brettlage nach einem vorgegebenen Nagelbild miteinander. Bei Elementen mit längs gestoßenen Lamellen wird durch Sortierung der unterschiedlichen Lamellenlängen ein gleich bleibendes Stoßbild sichergestellt.

Die Firma Merkle produziert ausschließlich Elemente zur sofortigen Montage durch eigenes Personal oder bestellte Ware. Es erfolgt keine Lagerhaltung. [34]



Abb. 85 Nagelautomat bei der Herstellung eines Brettstapel-Elementes (Foto Verfasser)

3.2.2.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Da der Deckenhersteller keine geprüften Kennwerte für die Trittschalldämmung der Deckenelemente in Verbindung mit Fußbodenaufbauten angibt, ermitteln sich diese nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt:

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 56$ dB gemäß DIN 4109, Beiblatt 2
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion gemäß Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3, S. 27, Nr. 6 gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 56$ dB = erf. $L'_{nw} = 56$ dB → **Anforderung erfüllt**

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25 \text{ kN/m}^2$)
- 35/30 Trittschallmatte 5 MN/m^3
- Trennlage
- 30 mm geglühter Sand ($0,45 \text{ kN/m}^2$)
- Rieselschutz
- Brettstapel-Element, genagelt z.B. Fa. Merkle

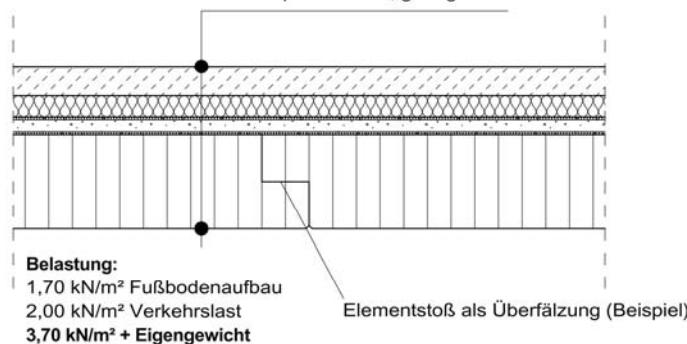


Abb. 86 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ I (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 10 Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ I

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €/m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €/m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €/m ²
3,00	100	50,58	23,11	73,69
3,50	120	56,70	23,11	79,81
4,00	140	62,81	23,11	85,92
4,50	160	68,93	23,11	92,04
5,00	180	75,04	23,11	98,15
5,50	180	75,04	23,11	98,15
6,00	200	81,16	23,11	104,27
6,50	220	87,28	23,11	110,39
7,00	240	93,39	23,11	116,50
7,50	260	99,39	23,11	122,50

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit $1,70 \text{ kN/m}^2$ und die Verkehrslast mit $2,00 \text{ kN/m}^2$ in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m^2 ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 4

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 2

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052-1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.2.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Da der Deckenhersteller keine geprüften Kennwerte für die Trittschalldämmung der Deckenelemente in Verbindung mit Fußbodenaufbauten angibt, ermitteln sich diese nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt:

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 53$ dB gemäß DIN 4109
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion gemäß Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3, S. 28, Nr. 16 gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 52$ dB < erf. $L'_{nw} = 53$ dB → **Anforderung erfüllt**

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

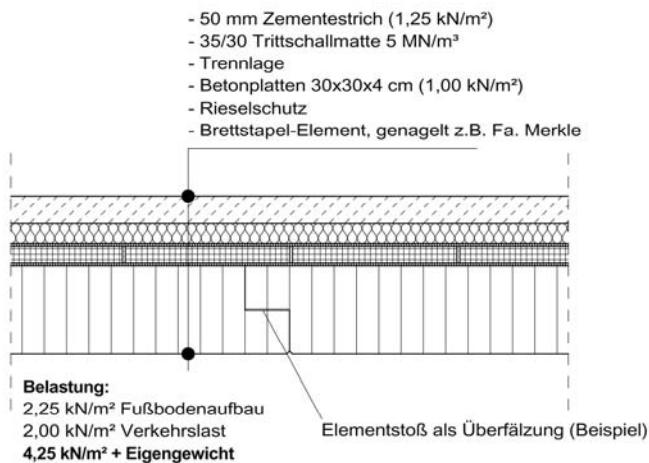


Abb. 87 Brettstapel-Element mit Fußbodenbelastung für Typ 2 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 11 Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 2

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	100	50,58	40,45	91,03
3,50	120	56,70	40,45	97,15
4,00	140	62,81	40,45	103,26
4,50	160	68,93	40,45	109,38
5,00	180	75,04	40,45	115,49
5,50	200	81,16	40,45	121,61
6,00	220	87,20	40,45	127,65
6,50	240	93,39	40,45	133,84
7,00	260	99,39	40,45	139,84
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,25 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 4

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 6

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.2.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 2 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. L' nw = 52 dB < erf. L' nw = 53 dB → **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25 \text{ kN/m}^2$)
- 35/30 Trittschallmatte 5 MN/m^3
- Trennlage
- Betonplatten $30 \times 30 \times 4 \text{ cm}$ ($1,00 \text{ kN/m}^2$)
- Rieselschutz
- Brettstapel-Element, genagelt z.B. Fa. Merkle

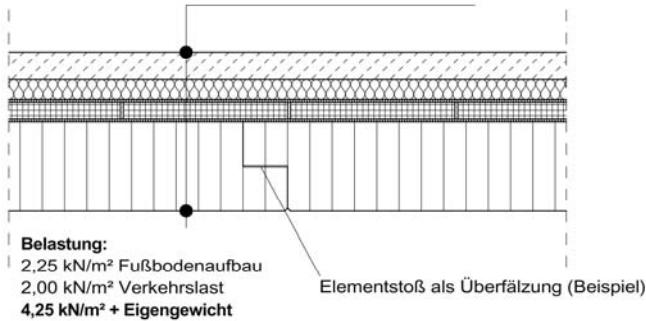


Abb. 88 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 12 Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 3

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €/m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €/m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €/m ²
3,00	120	56,70	40,45	97,15
3,50	140	62,81	40,45	103,26
4,00	140	62,81	40,45	103,26
4,50	160	68,93	40,45	109,38
5,00	180	75,04	40,45	115,49
5,50	200	81,16	40,45	121,61
6,00	220	87,28	40,45	127,65
6,50	240	93,39	40,45	133,84
7,00	260	99,39	40,45	139,84
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit $2,25 \text{ kN/m}^2$ und die Verkehrslast mit $2,00 \text{ kN/m}^2$ in Ansatz gebracht, $f = 1/500$

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m^2 ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 4

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 6

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.2.4 Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Da der Deckenhersteller keine geprüften Kennwerte für die Trittschalldämmung der Deckenelemente in Verbindung mit Fußbodenaufbauten angibt, ermitteln sich diese nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt:

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 46$ dB gemäß DIN 4109 Beiblatt 2
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion gemäß Holzbau Handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 3, S. 29, Nr. 20 gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 46$ dB = erf. $L'_{nw} = 46$ dB → **Anforderung erfüllt**

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25$ kN/m 2)
- 35/30 Trittschallmatte 5 MN/m 3
- Trennlage
- 80 mm getrockneter Kies
(Restfeuchte < 1,8%; $1,45$ kN/m 2)
mit Schutz gegen Verutschen
- Rieselenschutz
- Brettstapel-Element, genagelt z.B. Fa. Merkle

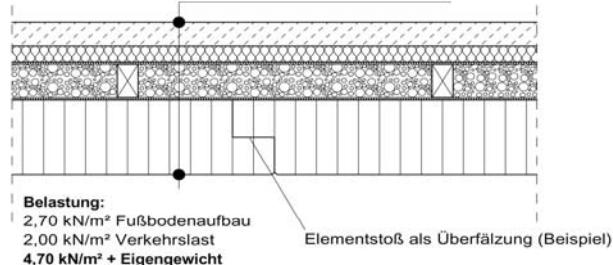


Abb. 89 Brettstapel-Element mit Fußbodenbelastung für Typ 4 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 13 Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 4

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	120	56,70	33,29	89,99
3,50	140	62,81	33,29	96,10
4,00	140	62,81	33,29	96,10
4,50	160	68,93	33,29	102,22
5,00	180	75,04	33,29	108,33
5,50	200	81,16	33,29	114,45
6,00	220	87,28	33,29	120,57
6,50	240	93,39	33,29	126,68
7,00	260	99,39	33,29	132,68
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,70 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 4

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 10

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.2.5 Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 4 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. L' nw = 46 dB = erf. L' nw = 46 dB → **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden.

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25 \text{ kN/m}^2$)
- 35/30 Trittschallmatte 5 MN/m^3
- Trennlage
- 80 mm getrockneter Kies
(Restfeuchte < 1,8%; $1,45 \text{ kN/m}^2$)
mit Schutz gegen Verutschen
- Rieselenschutz
- Brettstapel-Element, genagelt z.B. Fa. Merkle

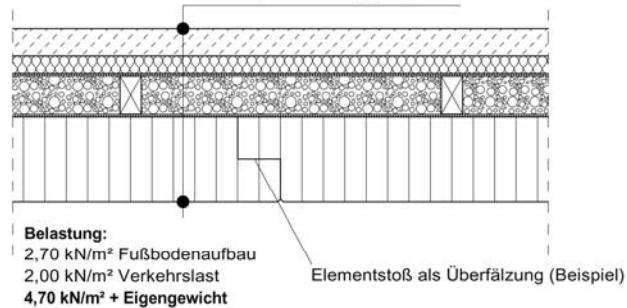


Abb. 90 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 5 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des voran ermittelten Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 14 Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 5

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	120	56,70	33,29	89,99
3,50	140	62,81	33,29	96,10
4,00	140	62,81	33,29	96,10
4,50	160	68,93	33,29	102,22
5,00	180	75,04	33,29	108,33
5,50	200	81,16	33,29	114,45
6,00	220	87,28	33,29	120,57
6,50	240	93,39	33,29	126,68
7,00	260	99,39	33,29	132,68
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit $2,70 \text{ kN/m}^2$ und die Verkehrslast mit $2,00 \text{ kN/m}^2$ in Ansatz gebracht, $f = l/500$

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m^2 ab Werk ohne Transport – Anlage 4

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 10

Statische Nachweise mit Software von mb AEC Software GmbH nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.3 Decke aus LenoTec Elementen

Hersteller: Finnforest Merk GmbH
Industriestraße 2
D-86551 Aichach

- Charakteristik:
- verleimte Massivholzelemente aus mehreren quer zueinander liegenden Brettlagen
 - Oberflächenqualitäten als Industrie- und Sichtqualität
 - zwischen 3 und 17 Lagen kreuzweise verleimt
 - bis 14,80 m Länge (auf Anfrage bis 20,00 m)
 - bis 4,80 m Breite
 - in Stärken von 5,1 – 29,7 cm lieferbar (auf Anfrage bis 50 cm)
 - Lieferung von gekrümmten Platten möglich

Fertigung:

Dieser Hersteller verleimt unter hohem Druck Fichtelamellen mit einem patentierten Vakuumpressverfahren. Durch die kreuzweise Verleimung der flach liegenden Lamellen sind die Elemente äußerst formstabil. Die Lieferung von fertig abgebundenen Elementen, die bis hin zu Elektrofräslungen alle Ausarbeitungen enthalten, ist möglich. Zur einfacheren Montage können im Zusammenhang mit der Vorfertigung Montageschlaufen in die Elemente eingearbeitet werden.[9]



Abb. 91 Fertigung LenoTec / LenoPlan aus aus [8]

3.2.3.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Kennwerte von Gesamtdeckenaufbauten angeben. Da diese Werte im Labor ohne Berücksichtigung der Nebenwege gemessen wurden, sind Korrekturen nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt anzusetzen:

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 56$ dB gemäß DIN 4109 Beiblatt 2
- gewählt wurde ein Gesamtdeckenaufbau gemäß Herstellerangaben
- Der Laborwert ohne Schallnebenwege beträgt $L_{nw} = 50$ dB und basiert auf einer schalltechnischen Labormessung am LaSM der FH Rosenheim.

Die Schritte 2 bis 5 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau gewählt wurde und somit keine vollständige Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:

- $L_{nw} = 50$ dB $\rightarrow K = 5$ dB

Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 5 dB in Ansatz gebracht werden.

7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:

- $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 55$ dB = 50 dB + 5 dB
- vorh. $L'_{nw} = 55$ dB < erf. $L'_{nw} = 56$ dB \rightarrow Anforderung erfüllt

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung

Gesamtdeckenaufbau:

- 20 mm Best-Estrichelement (stirnseitig verklebt)
- Kraftpapier als Trennlage
- 25 mm Trittschalldämmung Isover Akustic EP2
- 60 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwabe
- Kraftpapier als Rieselschutz
- LenoTec-Element (im Versuchsaufbau 135mm)

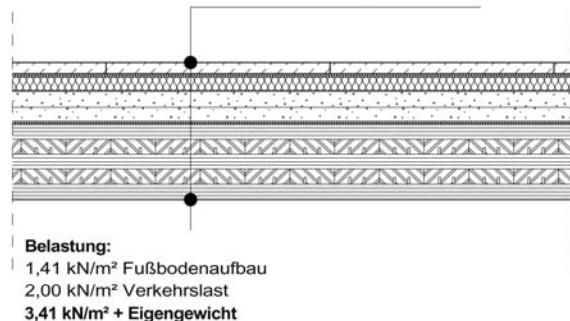


Abb. 92 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 1 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 15 Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 1

Spannweite in m	Elementstärke / Bezeichnung in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	105 Typ 2	83,00	58,34	141,34
3,50	125	87,00	58,34	145,34
4,00	162	102,00	58,34	160,34
4,50	169 Typ 3	111,00	58,34	169,34
5,00	189 Typ 2	115,00	58,34	173,34
5,50	196	124,00	58,34	182,34
6,00	243 Typ 2	141,00	58,34	199,34
6,50	243 Typ 2	141,00	58,34	199,34
7,00	267 Typ 4	162,00	58,34	220,34
7,50	297 Typ 4	169,00	58,34	227,34

(a) bei der Lastermittlung wurde der Fußbodenaufbau mit 1,41 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500, Elemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-501 vom 06.05.2004, Beanspruchung als Platte parallel zu Faserrichtung der Decklagen

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 5

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 1

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Finnforest Merk, Aichach nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.3.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Kennwerte von Gesamtdeckenaufbauten angeben. Da diese Werte im Labor ohne Berücksichtigung der Nebenwege gemessen wurden, sind Korrekturen nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt anzusetzen:

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 53$ dB gemäß DIN 4109
- gewählt wurde ein Gesamtdeckenaufbau gemäß Herstellerangaben
- Der Laborwert ohne Schallnebenwege beträgt $L_{nw} = 38$ dB und basiert auf einer schalltechnischen Labormessung am LaSM der FH Rosenheim.

Die Schritte 2 bis 5 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau gewählt wurde und somit keine vollständige Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:

- $L_{nw} = 38$ dB $\rightarrow K = 8$ dB

Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 8 dB in Ansatz gebracht werden.

7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:

- $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 46$ dB = 38 dB + 8 dB
- vorh. $L'_{nw} = 46$ dB < erf. $L'_{nw} = 53$ dB \rightarrow **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden. Siehe hierzu Anlage 11 und Quelle [73]

Gesamtdeckenaufbau:

- 20 mm Best-Estrichelement (stirnseitig verklebt)
- Kraftpapier als Trennlage
- 20 mm Best-Estrichelement (auf Lücke verlegt)
- 30 mm Trittschalldämmung Isover Akustic EP1
- 60 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwabe
- Kraftpapier als Rieselschutz
- LenoTec-Element (im Versuchsaufbau 135mm)

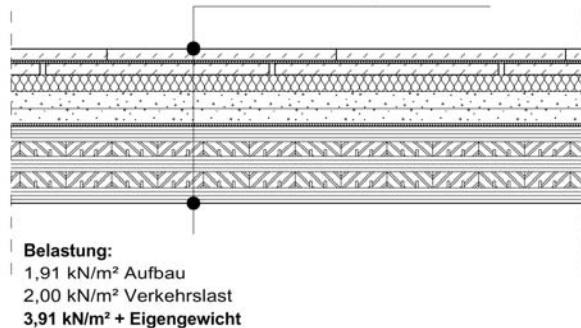


Abb. 93 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 16 Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 2

Spannweite in m	Elementstärke / Bezeichnung in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	115 Typ 1	85,00	77,65	162,65
3,50	135	89,00	77,65	166,65
4,00	162	102,00	77,65	179,65
4,50	169 Typ 3	111,00	77,65	188,65
5,00	189 Typ 2	115,00	77,65	192,65
5,50	216	128,00	77,65	205,65
6,00	243 Typ 2	141,00	77,65	218,65
6,50	257 Typ 2	160,00	77,65	237,65
7,00	297 Typ 4	169,00	77,65	246,65
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde der Fußbodenaufbau mit 1,91 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500, Elemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-501 vom 06.05.2004, Beanspruchung als Platte parallel zu Faserrichtung der Decklagen

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 5

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 5

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Finnforest Merk, Aichach nach DIN 1052 (4/88) bzw.DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.3.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 2 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. $L'_{nw} = 46 \text{ dB} < \text{erf. } L'_{nw} = 53 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden. Siehe hierzu Anlage 11 und Quelle [73]

Gesamtdeckenaufbau:

- 20 mm Best-Estrichelement (stirnseitig verklebt)
- Kraftpapier als Trennlage
- 20 mm Best-Estrichelement (auf Lücke verlegt)
- 30 mm Trittschalldämmung Isover Akustic EP1
- 60 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwabe
- Kraftpapier als Rieselschutz
- LenoTec-Element (im Versuchsaufbau 135mm)

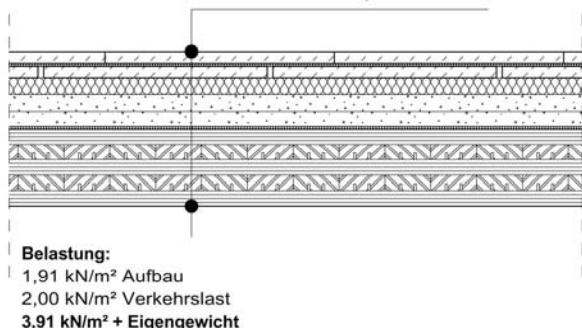


Abb. 94 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 17 Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 3

Spannweite in m	Elementstärke / Bezeichnung in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	115 Typ 1	85,00	77,65	162,65
3,50	135	89,00	77,65	166,65
4,00	162	102,00	77,65	179,65
4,50	169 Typ 3	111,00	77,65	188,65
5,00	189 Typ 2	115,00	77,65	192,65
5,50	216	128,00	77,65	205,65
6,00	243 Typ 2	141,00	77,65	218,65
6,50	257 Typ 2	160,00	77,65	237,65
7,00	297 Typ 4	169,00	77,65	246,65
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde der Fußbodenaufbau mit 1,91 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f = l/500, Elemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-501 vom 06.05.2004, Beanspruchung als Platte parallel zu Faserrichtung der Decklagen

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 5

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 5

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Finnforest Merk, Aichach nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.3.4 Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Kennwerte von Gesamtdeckenaufbauten angegeben. Da diese Werte im Labor ohne Berücksichtigung der Nebenwege gemessen wurden, sind Korrekturen nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt anzusetzen:

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 46$ dB gemäß DIN 4109 Beiblatt 2
- gewählt wurde ein Gesamtdeckenaufbau gemäß Herstellerangaben
- Der Laborwert ohne Schallnebenwege beträgt $L_{nw} = 38$ dB und basiert auf einer schalltechnischen Labormessung am LaSM der FH Rosenheim.

Die Schritte 2 bis 5 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau gewählt wurde und somit keine vollständige Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:

- $L_{nw} = 38$ dB → $K = 8$ dB

Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 8 dB in Ansatz gebracht werden.

7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:
 - $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 46 \text{ dB} = 38 \text{ dB} + 8 \text{ dB}$
 - vorh. $L'_{nw} = 46 \text{ dB} = \text{erf. } L'_{nw} = 46 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden. Siehe hierzu Anlage 11 und Quelle [73]

Gesamtdeckenaufbau:

- 20 mm Best-Estrichelement (stirnseitig verklebt)
- Kraftpapier als Trennlage
- 20 mm Best-Estrichelement (auf Lücke verlegt)
- 30 mm Trittschalldämmung Isover Akustic EP1
- 60 mm Fermacell Wabenschüttung in Estrichwabe
- Kraftpapier als Rieselschutz
- LenoTec-Element (im Versuchsaufbau 135mm)

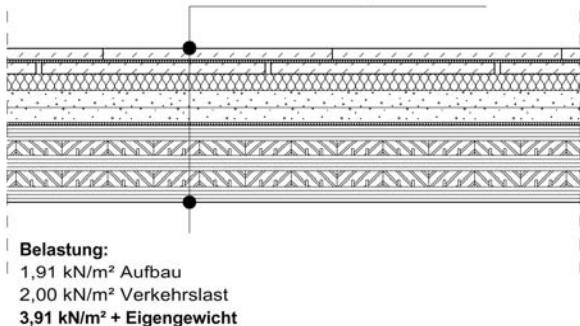


Abb. 95 LenoTec-Element mit Fußbodenauflage für Typ 4 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenauflages lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 18 Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 4

Spannweite in m	Elementstärke / Bezeichnung in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	115 Typ1	85,00	77,65	162,65
3,50	135	89,00	77,65	166,65
4,00	162	102,00	77,65	179,65
4,50	169 Typ 3	111,00	77,65	188,65
5,00	189 Typ 2	115,00	77,65	192,65
5,50	216	128,00	77,65	205,65
6,00	243 Typ 2	141,00	77,65	218,65
6,50	257 Typ 2	160,00	77,65	237,65
7,00	297 Typ 4	169,00	77,65	246,65
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde der Fußbodenaufbau mit 1,91 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500, Elemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-501 vom 06.05.2004, Beanspruchung als Platte parallel zu Faserrichtung der Decklagen

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 5

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 5

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Finnforest Merk, Aichach nach DIN 1052 (4/88) bzw.DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.3.5 Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 4 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. L' nw = 46 dB = erf. L' nw = 46 dB → **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 - nachgewiesen mit Warmbemessung, d. h. nach Abbrand ist ein ausreichend tragfähiger Restquerschnitt vorhanden. Siehe hierzu Anlage 11 und Quelle [73]

Gesamtdeckenaufbau:

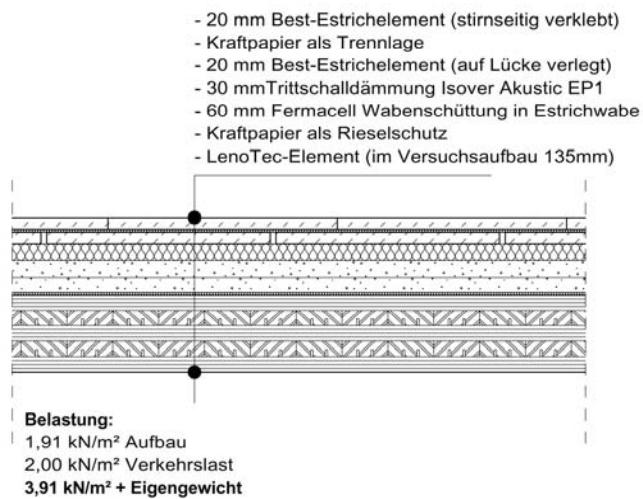


Abb. 96 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 5 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 19 Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 5

Spannweite in m	Elementstärke / Bezeichnung in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	115 Typ 1	85,00	77,65	162,65
3,50	135	89,00	77,65	166,65
4,00	162	102,00	77,65	179,65
4,50	169 Typ 3	111,00	77,65	188,65
5,00	189 Typ 2	115,00	77,65	192,65
5,50	216	128,00	77,65	205,65
6,00	243 Typ 2	141,00	77,65	218,65
6,50	257 Typ 2	160,00	77,65	237,65
7,00	297 Typ 4	169,00	77,65	246,65
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde der Fußbodenaufbau mit 1,91 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500, Elemente gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-501 vom 06.05.2004, Beanspruchung als Platte parallel zu Faserrichtung der Decklagen

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 5

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 5

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Finnforest Merk, Aichach nach DIN 1052 (4/88) bzw.DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.4 Decke aus Lignotrend-Elementen (Decke 4)

Hersteller: Lignotrend AG
Landstrasse 25
D-79809 Weilheim-Bannholz

Charakteristik:

- zusammengesetzter, verleimter Querschnitt mit 4 Stegen (Decke 4)
- optional mit Zwischenboden
- Oberflächenqualitäten als Industrie- und Trendqualität
(letztere für sichtbaren Einsatz)
- Akustikfräslungen bzw. -bohrungen sind gegen Mehrpreis möglich
- Deckbreite 60 cm
- Elementstärken 142 bis 282 mm, in 20 mm Schritten
- Elementlängen bis 18,00 m

Fertigung:

Die Stege sind auf eine Gurtplatte aus Massivholz aufgeleimt und ergeben somit einen schubfesten Querschnitt. Die obere Querlage ist auf Lücke, quer zur Stegspannrichtung, ebenfalls auf die Stege aufgeleimt. Der so entstandene Querschnitt kann mittels Keilzinkung zu Endlos-elementen zusammengefügt werden. In den Hohlräumen ist eine Leitungsführung möglich. Ebenso können die Hohlräume zur Befüllung mit einem schallschutzverbesserndem Material oder losem Dämmmaterial dienen. Die Elemente haben bei einer Gurtplattenstärke von mindestens 40 mm ohne Beplankung einen Feuerwiderstand von 30 Minuten. [32]



3.2.4.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Kennwerte von Gesamtdeckenaufbauten angeben. Da diese Werte im Labor ohne Berücksichtigung der Nebenwege gemessen wurden, sind Korrekturen nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt anzusetzen:

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 56$ dB gemäß DIN 4109 Beiblatt 2
- gewählt wurde ein Gesamtdeckenaufbau gemäß Herstellerangaben
- Der Laborwert ohne Schallnebenwege beträgt $L_{nw} = 51$ dB und basiert auf einer schalltechnischen Labormessung des Herstellers.

Die Schritte 2 bis 5 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau gewählt wurde und somit keine vollständige Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:

- $L_{nw} = 51$ dB $\rightarrow K = 5$ dB

Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 5 dB in Ansatz gebracht werden.

7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:

- $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 56$ dB = 51 dB + 5 dB
- vorh. $L'_{nw} = 56$ dB = erf. $L'_{nw} = 56$ dB \rightarrow **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung – Element erfüllt F30B gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-409

Gesamtdeckenaufbau:

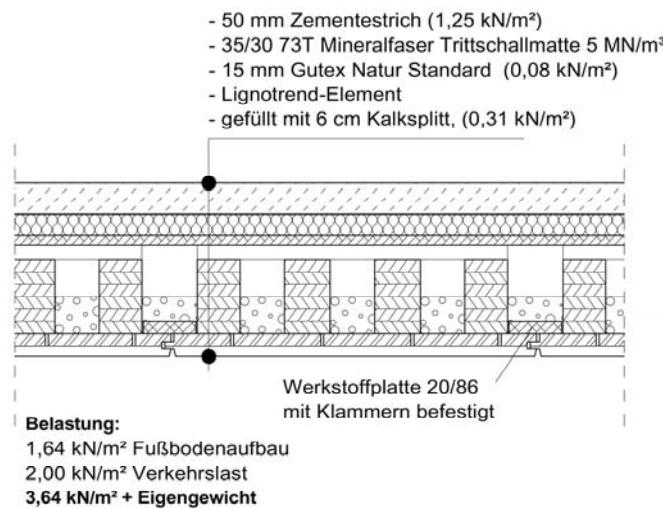


Abb. 98 Lignotrend-Element (Decke 4) mit Fußbodenaufbau für Typ I (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 20 Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignotrend-Element (Decke 4) Typ I

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	142	89,00	28,37	117,37
3,50	162	94,00	28,37	122,37
4,00	182	100,00	28,37	128,37
4,50	202	105,00	28,37	133,37
5,00	222	112,00	28,37	140,37
5,50	242	118,00	28,37	146,37
6,00	242	118,00	28,37	146,37
6,50	262	124,00	28,37	152,37
7,00	282	130,00	28,37	158,37
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 1,64 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 6

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 3

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Lignotrend nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.4.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Kennwerte von Gesamtdeckenaufbauten angeben. Da diese Werte im Labor ohne Berücksichtigung der Nebenwege gemessen wurden, sind Korrekturen nach dem im Abschnitt 3.1.2 angegebenen Verfahren wie folgt anzusetzen:

1. Festlegung der Eingangsdaten:
 - erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 53$ dB gemäß DIN 4109
 - gewählt wurde ein Gesamtdeckenaufbau gemäß Herstellerangaben
 - Der Laborwert ohne Schallnebenwege beträgt $L_{nw} = 45$ dB und basiert auf einer schalltechnischen Labormessung des Herstellers.

Die Schritte 2 bis 5 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau gewählt wurde und somit keine vollständige Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

6. Bestimmung des Korrektursummanden K mit Hilfe von Abb. 76:
 - $L_{nw} = 45$ dB $\rightarrow K = 6$ dB

Das bedeutet, dass für die Verschlechterung der Trittschalldämmung durch Flankenübertragung im eingebauten Zustand der Decke 6 dB in Ansatz gebracht werden.
7. Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} nach der folgenden Gleichung: $L'_{nw} = L_{nw} + K$:
 - $L'_{nw} = L_{nw} + K \rightarrow 51$ dB = 45 dB + 6 dB
 - vorh. $L'_{nw} = 51$ dB < erf. $L'_{nw} = 53$ dB \rightarrow **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - Element erfüllt F30B gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-409

Gesamtdeckenaufbau:

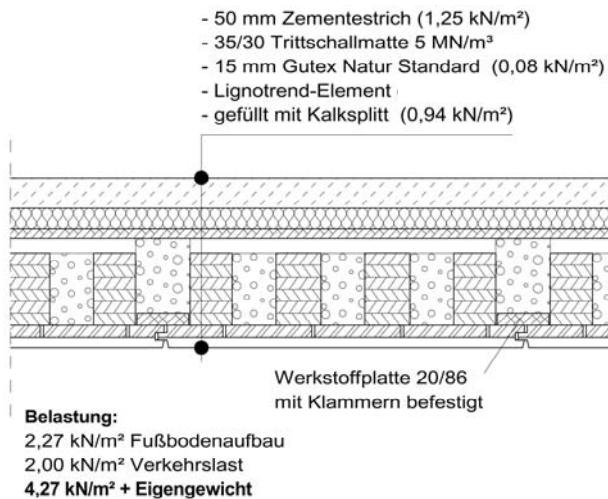


Abb. 99 Lignotrend-Element (Decke 4) mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 21 Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignotrend-Element (Decke 4) Typ 2

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €/m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €/m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €/m ²
3,00	142	89,00	35,11	124,11
3,50	162	94,00	35,11	129,11
4,00	182	100,00	35,11	135,11
4,50	202	105,00	35,11	140,11
5,00	222	112,00	35,11	147,11
5,50	242	118,00	35,11	153,11
6,00	262	124,00	35,11	159,11
6,50	282	130,00	35,11	165,11
7,00	zulässige Durchbiegung überschritten			
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,27 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 6

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 7

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Lignotrend nach DIN 1052 (4/88) bzw.DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.4.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 2 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. $L'_{nw} = 51 \text{ dB} < \text{erf. } L'_{nw} = 53 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 – Element erfüllt F30B gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-9.1-409

Hier kam zur Erreichung der Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten eine zusätzliche Unterdecke nach DIN 4102 Teil 4 Tabelle 57 zum Einsatz.

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25 \text{ kN/m}^2$)
- 35/30 Trittschallmatte 5 MN/m^3
- 15 mm Gutex Natur Standard ($0,08 \text{ kN/m}^2$)
- Lignotrend-Element
- gefüllt mit Kalkspitze ($0,94 \text{ kN/m}^2$)
- eine GKF Platten $2 \times 12,5 \text{ mm}$ ($0,28 \text{ kN/m}^2$)



Abb. 100 Lignotrend-Element (Decke 4) mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben und der Unterdecke angegeben.

Tab. 22 Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignotrend-Element (Decke 4) Typ 3

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau und Unterdecke in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	142	80,00	35,11 + 17,68	132,79
3,50	162	85,00	35,11 + 17,68	137,79
4,00	182	91,00	35,11 + 17,68	143,79
4,50	202	96,00	35,11 + 17,68	148,79
5,00	222	103,00	35,11 + 17,68	155,79
5,50	242	109,00	35,11 + 17,68	161,79
6,00	262	115,00	35,11 + 17,68	167,79
6,50	282	121,00	35,11 + 17,68	173,79
7,00	zulässige Durchbiegung überschritten			
7,50	zulässige Durchbiegung überschritten			

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,55 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f = l/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 6

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 7 und Anlage 2 Nr. 6

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Lignotrend nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10/96) siehe Anlage 11

Für die Typen 4 und 5 sind vom Hersteller keine Kennwerte geprüfter Fußbodenaufbauten oder Gesamtdeckenaufbauten zur Einhaltung der geforderten Trittschallwerte ohne Einbeziehung eines weich federnden Belages angegeben. Deshalb können in dieser Arbeit für diese beiden Typen der Lignotrend-Elemente (Decke 4) keine Aussagen getroffen werden. Im Rahmen des unter Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Verfahrens ist eine Berechnung der Trittschallwerte nicht möglich, da für diese Systeme ebenfalls keine geprüften Kennwerte von Elementen ohne Fußbodenaufbau ($L_{n,w,eq,H}$) vorliegen.

3.2.5 Decke aus Lignatur-Elementen

Hersteller: Lignatur AG
 Mooshalde 785
 CH-9104 Waldstatt

Charakteristik:

- zusammengesetzter, verleimter Querschnitt mit bis zu 5 Stegen
- Oberflächenqualitäten als Industrie-, Normal- und Auslesequalität (letztere für sichtbaren Einsatz)
- Elementbreite 51,4 bzw. 100 cm
- Elementstärken 12/14/16/18/20/22/24/28/32 cm
- Elementlängen bis 9,00 m

Fertigung:

Lignatur-Elemente sind industriell gefertigte Holzbauelemente in Zellenbauweise, die sich für den Einsatz als tragende Decken und Dachkonstruktionen eignen. Es handelt sich um verleimte, zusammengesetzte Querschnitte, deren Hohlräume mit Dämmmaterialien oder mit schallschutzverbessernden Beschwerungen gefüllt werden können, ohne die Konstruktionshöhe zu vergrößern. Je nachdem, ob die Elemente im Neubau oder bei einer Sanierung eingesetzt werden, stehen die schmaleren Kastenelemente oder die breiteren Flächenelemente zur Verfügung. [29]

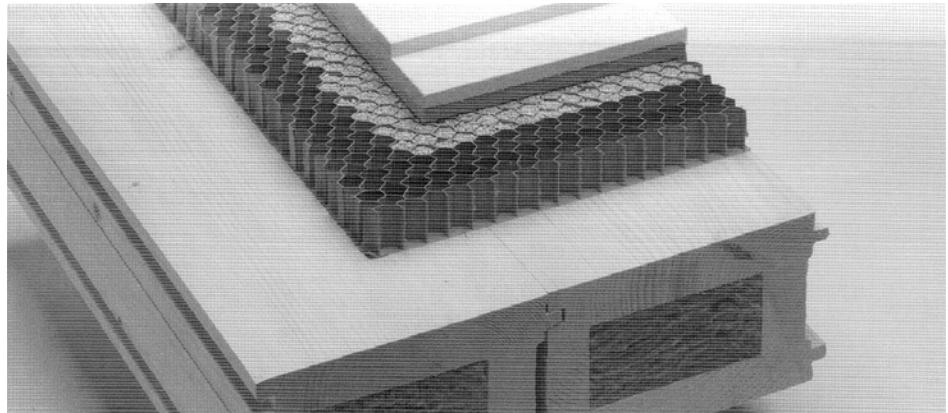


Abb. 101 Lignatur-Element mit Trockenaufbau und Zusatzbeschwerung in Estrichwabe aus [29] S. 35

3.2.5.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Gesamtdeckenaufbauten angeben. Diese Werte wurden unter Berücksichtigung der Nebenwege gemessen und können für die folgende Bewertung ohne Korrekturen Anwendung finden. Bei dem Versuchsaufbau wurde mit einem Lignatur-Kastenelement ohne Innenraumdämmung oder Befüllung gemessen. Aufgrund der sehr ähnlichen Konstruktion und nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde vom gleichen $L_{n,w,eq,H}$ (Trittschalldämmung der Elemente ohne Fußbodenaufbau) beim Flächenelement ausgegangen.

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 56$ dB gemäß DIN 4109, Beiblatt 2
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion des Herstellers gewählt.

- vorh. $L'_{nw} = 56 \text{ dB} = \text{erf. } L'_{nw} = 56 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

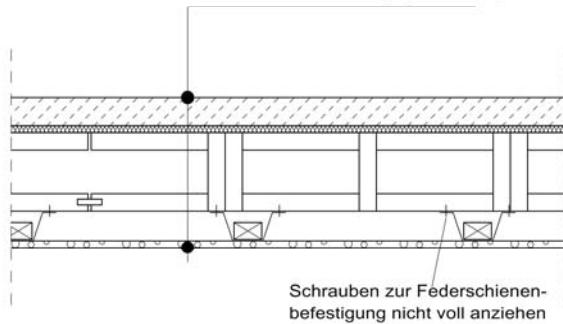
Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25 \text{ kN/m}^2$)
- 15/13 Trittschallmatte
- Trennlage
- Lignatur-Flächenelement
(im Versuchsaufbau 140 mm Kastenelement)
- Unterdecke aus 1 Lage Gipskarton (18mm) auf Federschienen befestigt ($0,40 \text{ kN/m}^2$)



Belastung:

- 1,65 kN/m^2 Fußbodenaufbau + Unterdecke
- 2,00 kN/m^2 Verkehrslast
- 3,65 kN/m^2 + Eigengewicht**

Abb. 102 Lignatur-Flächenelement mit Fußbodenaufbau für Typ 1(eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben und der Unterdecke angegeben.

Tab. 23 Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignatur-Flächenelement Typ 1

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Elemente in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau und Unterdecke in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	LFE 514 x 120	62,00	15,10 + 28,02	105,12
3,50	LFE 514 x 120	62,00	15,10 + 28,02	105,12
4,00	LFE 514 x 140	66,00	15,10 + 28,02	109,12
4,50	LFE 514 x 160	69,00	15,10 + 28,02	112,12
5,00	LFE 514 x 180	71,00	15,10 + 28,02	114,12
5,50	LFE 514 x 200	74,00	15,10 + 28,02	117,12
6,00	LFE 514 x 220	77,00	15,10 + 28,02	120,12
6,50	LFE 514 x 240	80,00	15,10 + 28,02	123,12
7,00	LFE 514 x 280	91,00	15,10 + 28,02	134,12
7,50	LFE 514 x 280	91,00	15,10 + 28,02	134,12

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 1,65 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 7

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 4 und Anlage 2 Nr. 2

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Lignatur nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.5.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Der Deckenhersteller hat geprüfte Gesamtdeckenaufbauten angeben. Diese Werte wurden unter Berücksichtigung der Nebenwege gemessen und können für die folgende Bewertung ohne Korrekturen Anwendung finden. Bei dem Versuchsaufbau wurde mit einem Lignatur-Kastenelement ohne Innenraumdämmung oder Befüllung gemessen. Aufgrund der sehr ähnlichen Konstruktion und nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde vom gleichen L_{nweqH} (Trittschalldämmung der Elemente ohne Fußbodenaufbau) beim Flächenelement ausgegangen.

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L' nw

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel L' nw ≤ 53 dB gemäß DIN 4109

- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion des Herstellers gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 52 \text{ dB} < \text{erf. } L'_{nw} = 53 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

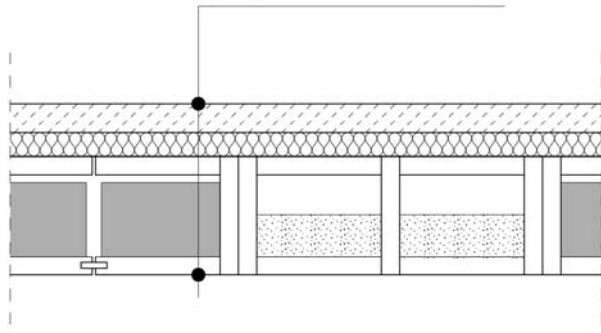
Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 - lt. Herstellerangaben ohne zusätzliche Beplankung. Siehe hierzu Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis Nr. P-3325/5982-MPA BS vom 01.10.2002

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich ($1,25 \text{ kN/m}^2$)
- 40/35 Trittschallmatte 5 MN/m^3
- Lignatur-Flächenelement (F30) silence
(200 mm im Versuchsaufbau)
(Zulage für silence $0,90 \text{ kN/m}^2$)



Belastung:

2,15 KN/m² Fußbodenaufbau + Beschwerung (silence)
2,00 KN/m² Verkehrslast
4,15 KN/m² + Eigengewicht

Abb. 103 Lignatur-Flächenelement mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 24 Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignatur-Flächenelement Typ 2

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	LFE 514 x 120	103,00	16,50	119,50
3,50	LFE 514 x 120	103,00	16,50	119,50
4,00	LFE 514 x 140	107,00	16,50	123,50
4,50	LFE 514 x 160	110,00	16,50	126,50
5,00	LFE 514 x 180	112,00	16,50	128,50
5,50	LFE 514 x 220	118,00	16,50	134,50
6,00	LFE 514 x 240	121,00	16,50	137,50
6,50	LFE 514 x 280	132,00	16,50	148,50
7,00	LFE 514 x 280	132,00	16,50	148,50
7,50	LFE 514 x 320	137,00	16,50	153,50

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,15 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 7

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 14

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Lignatur nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

3.2.5.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 2 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

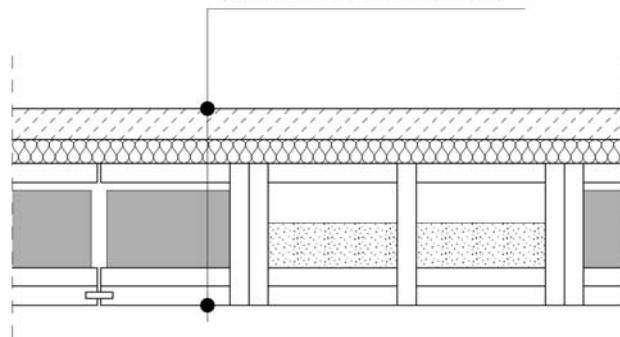
- vorh. L' nw = 52 dB < erf. L' nw = 53 dB → **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 – lt. Herstellerangaben mit aufgedoppelter unterer Beplankung. Siehe hierzu Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis Nr. P-3325/5982-MPA BS vom 01.10.2002

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich (1,25 kN/m²)
- 40/35 Trittschallmatte 5 MN/m³
- Lignatur-Flächenelement (F60) silence
(200 mm im Versuchsaufbau)
(Zulage für silence 0,90 kN/m²)



Belastung:

2,15 KN/m² Fußbodenaufbau + Beschwerung (silence)
2,00 KN/m² Verkehrslast
4,15 KN/m² + Eigengewicht

Abb. 104 Lignatur-Flächenelement mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 25 Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignatur-Flächenelement Typ 3

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	LFE 514 x 160	125,00	16,50	141,50
3,50	LFE 514 x 160	125,00	16,50	141,50
4,00	LFE 514 x 160	125,00	16,50	141,50
4,50	LFE 514 x 180	127,00	16,50	143,50
5,00	LFE 514 x 200	130,00	16,50	146,50
5,50	LFE 514 x 220	133,00	16,50	149,50
6,00	LFE 514 x 240	136,00	16,50	152,50
6,50	LFE 514 x 280	147,00	16,50	163,50
7,00	LFE 514 x 280	147,00	16,50	163,50
7,50	LFE 514 x 320	152,00	16,50	168,50

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 2,15 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 7

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 14

Statische Nachweise mit Vorbemessungsprogramm der Fa. Lignatur nach DIN 1052 (4/88) bzw. DIN 1052 -1/A1 (10.96) siehe Anlage 11

Für die Typen 4 und 5 sind vom Hersteller keine Kennwerte geprüfter Fußbodenaufbauten oder Gesamtdeckenaufbauten zur Einhaltung der geforderten Trittschallwerte ohne Einbeziehung eines weich federnden Belages angegeben. Deshalb können in dieser Arbeit für diese beiden Typen der Lignatur-Flächenelemente keine Aussagen getroffen werden. Im Rahmen des unter Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Verfahrens ist eine Berechnung der Trittschallwerte nicht möglich, da für diese Systeme ebenfalls keine geprüften Kennwerte von Elementen ohne Fußbodenaufbau ($L_{n,w,eq,H}$) vorliegen.

3.2.6 Decke aus Holz-Beton-Elementen mit werkseitig aufgebrachtem Druckbeton

Hersteller: HSE Dieter Römmelt GmbH & Co KG
Wachtküppelstraße 10
D-36163 Poppenhausen

Charakteristik:

- Brettstapel-Element mit werkseitig aufgebrachtem Druckbeton
- Oberflächenqualitäten der Unterseite als Industrie- und Sichtqualität
- Elementbreite bis 250 cm
- Elementstärken 15 bis 37 cm
- Elementlängen bis 15,00 m

Fertigung:

Bei den Holz-Beton-Elementen der Fa. Römmelt handelt es sich um vernagelte Brettstapel-Elemente, die als Zugglied eines biegebeanspruchten Deckenelementes dienen und mit werkseitig aufgebrachtem Druckbeton verlegefertig zur Baustelle geliefert werden. Bei diesem System, dem bauer hbv-System, erfolgt die kraftschlüssige Verbindung zwischen Brettstapel und Druckbeton mittels Flachstahlschlössern. Diese Flachstähle sitzen im Winkel von 5°, jeweils zur Feldmitte geneigt, zur Hälfte in passgenauen Fräslöchern im Brettstapel und zur anderen Hälfte im Druckbeton. Die Fa. Römmelt war zum Zeitpunkt der Entstehung dieser Arbeit der einzige Anbieter, der die Holz-Beton-Deckenelemente mit dem System bauer-hbv als Vollfertigteil angeboten hat. Die Lieferung einer so genannten KlimaPlus-Decke, bei der die Warmwasserfußbodenheizung bereits in den Druckbeton integriert ist, ist möglich. Dadurch ergibt sich eine Massekern-Aktivierung. [22]



3.2.6.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Der Deckenhersteller ist Mitglied in der Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholzhersteller e.V. Im Holzbau-Handbuch der Gemeinschaft sind Kennwerte geprüfter Gesamtdeckenaufbauten angegeben, die zur Einhaltung der Schallschutzanforderungen herangezogen wurden. Diese Werte sind unter Berücksichtigung der Nebenwege gemessen und können für die folgende Bewertung ohne Korrekturen Anwendung finden.

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 56$ dB gemäß DIN 4109, Beiblatt 2
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion des Herstellers gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 48$ dB < erf. $L'_{nw} = 56$ dB → **Anforderung erfüllt**

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung – Element erfüllt nach Herstellerangaben F90B. Siehe hierzu auch [13] Punkt 11.3

Gesamtdeckenaufbau:

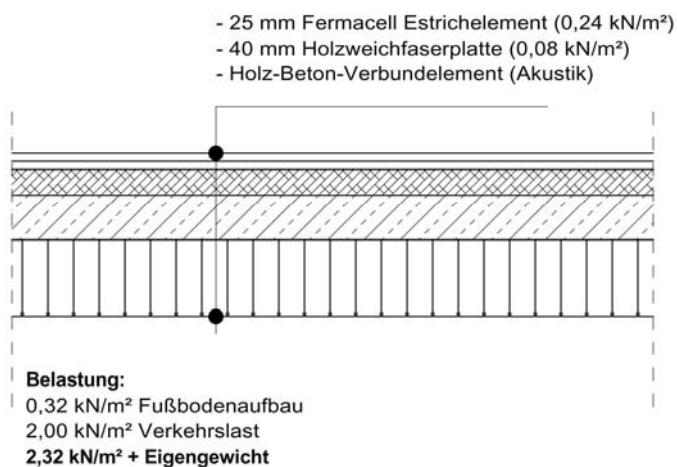


Abb. 106 Holz-Beton-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 1 / 2 / 3(eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 26 Kosten Gesamtdeckenaufbau Holz-Beton-Element Typ 1/2/3

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	160	119,00	35,30	154,30
3,50	160	114,00	35,30	149,30
4,00	160	110,00	35,30	145,30
4,50	160	108,50	35,30	143,80
5,00	160	106,00	35,30	141,30
5,50	160	103,00	35,30	138,30
6,00	160	99,00	35,30	134,30
6,50	200	110,00	35,30	145,30
7,00	200	108,00	35,30	134,12
7,50	250	115,00	35,30	150,30

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 0,32 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= l/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 8

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 3

Elementstärke entsprechend Angabe/Berechnung des Herstellers, Fa. Römmelt, siehe Anlage 11 bzw. [13] Punkt 9.3

3.2.6.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Der Deckenhersteller ist Mitglied in der Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholzhersteller e.V. Im Holzbau-Handbuch der Gemeinschaft sind Kennwerte geprüfter Gesamtdeckenaufbauten angegeben, die zur Einhaltung der Schallschutzanforderungen herangezogen wurden. Diese Werte sind unter Berücksichtigung der Nebenwege gemessen und können für die folgende Bewertung ohne Korrekturen Anwendung finden.

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 53$ dB gemäß DIN 4109
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion des Herstellers gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 48$ dB < erf. $L'_{nw} = 53$ dB → **Anforderung erfüllt**

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 – Element erfüllt nach Herstellerangaben F90B. Siehe hierzu auch [13] Punkt 11.3

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 1 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

Die Kosten sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

3.2.6.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 2 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. $L'_{nw} = 48 \text{ dB} < \text{erf. } L'_{nw} = 53 \text{ dB} \rightarrow \text{Anforderung erfüllt}$

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 – Element erfüllt nach Herstellerangaben F90B. Siehe hierzu auch [13] Punkt 11.3

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 1 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

Die Kosten sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

3.2.6.4 Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Der Deckenhersteller ist Mitglied in der Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholzhersteller e.V. Im Holzbau-Handbuch der Gemeinschaft sind Kennwerte geprüfter Gesamtdeckenaufbauten angegeben, die zur Einhaltung der Schallschutzanforderungen herangezogen wurden. Diese Werte sind unter Berücksichtigung der Nebenwege gemessen und können für die folgende Bewertung ohne Korrekturen Anwendung finden.

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw}

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{nw} \leq 46$ dB gemäß DIN 4109, Beiblatt 2
- Als Gesamtdeckenaufbau wurde eine geprüfte Konstruktion des Herstellers gewählt.
- vorh. $L'_{nw} = 46$ dB = erf. $L'_{nw} = 46$ dB → **Anforderung erfüllt**

Die Schritte 2 bis 7 entfallen, da ein geprüfter Gesamtdeckenaufbau für das Element gewählt wurde und somit keine Berechnung des Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} erforderlich ist.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 – Element erfüllt nach Herstellerangaben F90B. Siehe hierzu auch [13] Punkt 11.3

Gesamtdeckenaufbau:

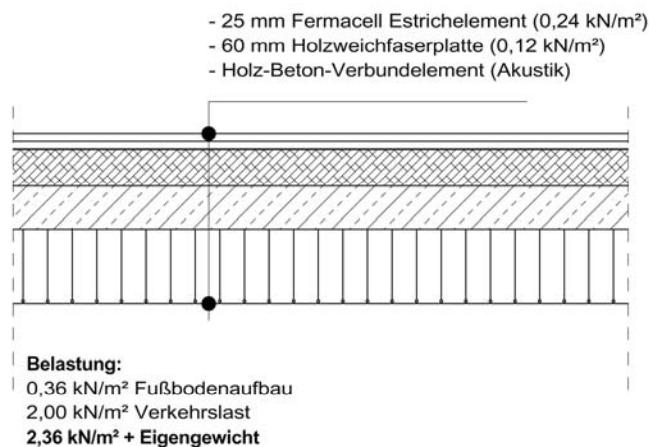


Abb. 107 Holz-Beton-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 4 / 5 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus lt. Herstellerangaben angegeben.

Tab. 27 Kosten Gesamtdeckenaufbau Holz-Beton-Element Typ 4 / 5

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €/m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €/m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €/m ²
3,00	160	119,00	41,02	160,02
3,50	160	114,00	41,02	155,02
4,00	160	110,00	41,02	151,02
4,50	160	108,50	41,02	149,52
5,00	160	106,00	41,02	147,02
5,50	160	103,00	41,02	144,02
6,00	160	99,00	41,02	140,02
6,50	200	110,00	41,02	151,02
7,00	200	108,00	41,02	149,02
7,50	250	115,00	41,02	156,02

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 0,36 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 8

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 2 Nr. 4

Elementstärke entsprechend Angabe/Berechnung des Herstellers, Fa. Römmelt, siehe Anlage 11 bzw. [13] Punkt 9.3

3.2.6.5 Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels ist mit der von Typ 4 aus dem vorangegangenen Gliederungspunkt identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

- vorh. L' nw = 46 dB = erf. L' nw = 46 dB → Anforderung erfüllt

Brandschutz:

F60B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 – Element erfüllt nach Herstellerangaben F90B. Siehe hierzu auch [13] Punkt 11.3

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 4 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

Die Kosten sind mit denen von Typ 4 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

3.2.7 Zum Vergleich: Decke aus Stahlbeton-Fertigteilen (DX-Volldecke)

Hersteller: Veit Dennert KG
Veit Dennert Straße 7
D-96132 Schlüsselfeld

Charakteristik:

- massive oder mit Hohlräumen versehene Betonfertigteildecke
- Unterseite malerfertig
- lieferbar als F30 und F90 Elemente
- Elementbreite bis 2,24⁵ m als Hohlplatte, bis 3,00 m als Vollplatte
- Elementstärken 20 cm Hohldecke, 16 –24 cm Massivdecke
- Elementlängen bis 7,80 m

Fertigung:

Die Elemente werden im Werk komplett vorgefertigt und auf der Baustelle ohne wesentlichen zusätzlichen Feuchteintrag montiert. Spezielle Stahlschlösser bilden die Verbindung der Elemente untereinander zur Erzielung der Scheibenwirkung. [60]

3.2.7.1 Typ 1 – Decke im Einfamilienhaus mit den Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Schallschutz:

Vom Deckenhersteller sind geprüfte Kennwerte der Elemente angegeben. Mit herkömmlichen Fußbodenaufbauten lassen sich die geforderten Kennwerte für den Trittschall erreichen. (Prüfzeugnis der TU Braunschweig Nr. 2305/484 v. 14.04.1994 für Dennert-Vollplatten)

Hinweis: Da es sich hier um Gesamtdeckenaufbauten mit Betonelementen handelt, ist die Ermittlung des bewerteten Bauschalldämmmaßes R'_w ebenfalls notwendig.

Ermittlung des bewerteten Norm-Trittschallpegels am Bau L'_{nw} und des bewerteten Bau-Schalldämmmaßes R'_w

1. Festlegung der Eingangsdaten:

- erf. Trittschalldämmung $L'_{nw} \leq 56$ dB entsprechend DIN 4109, Beiblatt 2

- erf. Luftschalldämmung $R'_{w} \geq 50$ dB entsprechend DIN 4109, Beiblatt 2.

Ermittlung der erforderlichen Trittschalldämmung

- Die Trittschalldämmung der Rohdecke $L_{n,w,eq,R} = 74$ dB
- Der bewertete Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w,R}$ der gebrauchsfertigen Decke ergibt sich nach Gleichung entsprechend DIN 4109 Beiblatt 1 Abschnitt 4.1.3 Gleichung 4:
 - $L'_{n,w,R} = L_{n,w,eq,R} - \Delta L_w^* + 2$ dB
 - 46 dB = 74 dB – 30 dB* + 2 dB
 - vorh. $L'_{nwR} = 46$ dB < erf. $L'_{nw} = 56$ dB → **Anforderung erfüllt**
- $\Delta L_w = 30$ dB für den u. a. Fußbodenaufbau lt. Tafel 10.65a Schneider Bautabellen 16. Auflage 2004

Ermittlung der erforderlichen Luftschalldämmung

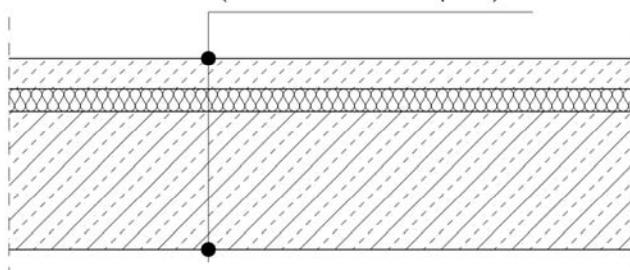
- Der ermittelte Wert der Luftschalldämmung nach DIN 4109 Beiblatt 1, Tabelle 12 der Rohdecke mit einem schwimmenden Fußbodenaufbau ($\Delta L_w \geq 24$ dB) beträgt $R'_{wR} = 58$ dB und erfüllt somit sogar die Empfehlungen des erhöhten Schallschutzes nach DIN 4109 Beiblatt 2 ($R'_{w} \geq 55$ dB)
- vorh. $R'_{wR} = 58$ dB > erf. $R'_{w} = 50$ dB → **Anforderung erfüllt**

Brandschutz:

keine Anforderungen an den Brandschutz nach Muster-Bauordnung

Gesamtdeckenaufbau:

- 50 mm Zementestrich (1,25 kN/m²)
- 35/30 Trittschallmatte 10 MN/m³
- Trennlage
- Beton Fertigteildecke Dennert DX
(20 cm bzw. 24 cm Vollplatte)



- Belastung:**
1,25 kN/m² Fußbodenaufbau
2,00 kN/m² Verkehrslast
3,25 kN/m² + Eigengewicht

Abb. 108 Stahlbetondecke Dennert DX mit Fußbodenaufbau für Typ 1 / 2 / 3 / 4 / 5 (eigene Darstellung)

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 28 Kosten Gesamtdeckenaufbau Stahlbetondecke Dennert DX - Typ 1 / 2 / 4

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	200	50,70	17,18	67,88
3,50	200	50,70	17,18	67,88
4,00	200	50,70	17,18	67,88
4,50	200	50,70	17,18	67,88
5,00	200	52,70	17,18	69,88
5,50	200	52,70	17,18	69,88
6,00	200	57,00	17,18	74,18
6,50	240	59,90	17,18	77,08
7,00	240	59,90	17,18	77,08
7,50	240	63,70	17,18	80,88

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 1,25 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 9

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 12; Statik berechnet von der Fa. Dennert, Schlüsseldorf Angaben siehe Anlage 11

3.2.7.2 Typ 2 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Kennwerte für den Schallschutz sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 – Element erfüllt nach Herstellerangaben F30A. Siehe auch Typenprüfung des Prüfamtes für Baustatik der LGA – Zweigstelle Würzburg, S-WUE 040539 vom 21.12.2004

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 1 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

Die Kosten sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

3.2.7.3 Typ 3 – Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Kennwerte für den Schallschutz sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

Brandschutz:

F60 nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 – lt. Typenprüfung der Hessischen Landesprüfstelle für Baustatik Az. 64a 08 – 2/83 ist eine Feuerwiderstandsstandsdauer von 90 Minuten gegeben. F60-Elemente werden nicht hergestellt. Der Mehrpreis der Elemente für die Ausführung in F90 betrug zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit 3,60 €/m².

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 1 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

In der folgenden Tabelle sind die Kosten des Elementes für die erforderliche Elementstärke entsprechend der Spannweite sowie die Kosten des Fußbodenaufbaus angegeben.

Tab. 29 Kosten Gesamtdeckenaufbau Stahlbetondecke Dennert DX - Typ 3 / 5

Spannweite in m	Elementstärke in mm ^(a)	Element in €m ² ^(b)	Fußbodenaufbau in €m ² ^(c)	Gesamtdeckenaufbau in €m ²
3,00	200	54,30	17,18	71,48
3,50	200	54,30	17,18	71,48
4,00	200	54,30	17,18	71,48
4,50	200	54,30	17,18	71,48
5,00	200	56,30	17,18	73,48
5,50	200	56,30	17,18	73,48
6,00	200	60,60	17,18	77,78
6,50	240	63,50	17,18	80,68
7,00	240	63,50	17,18	80,68
7,50	240	67,30	17,18	84,48

(a) bei der Lastermittlung wurde zum Eigengewicht des Elementes der Fußbodenaufbau mit 1,25 kN/m² und die Verkehrslast mit 2,00 kN/m² in Ansatz gebracht, f= 1/500

(b) Preise basieren auf Angebot des Herstellers für eine Abnahmemenge von 100 m² ab Werk ohne Transport ohne Montage – Anlage 9

(c) Preis basiert auf Angeboten lt. Ausschreibung inkl. Materiallieferung und Einbau – Anlage 1 Nr. 12, Statik berechnet von der Fa. Dennert, Schlüsselfeld, siehe Anlage 11

3.2.7.4 Typ 4 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Kennwerte für den Schallschutz sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

Brandschutz:

F30B nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 2 und 3 – Element erfüllt nach Herstellerangaben F30A. Siehe auch Typenprüfung des Prüfamtes für Baustatik der LGA – Zweigstelle Würzburg, S-WUE 040539 vom 21.12.2004

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 1 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

Die Kosten sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

3.2.7.5 Typ 5 – Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 nach Muster-Bauordnung

Schallschutz:

Die Kennwerte für den Schallschutz sind mit denen von Typ 1 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

Brandschutz:

F60 nach Muster-Bauordnung für Gebäudeklasse 4 – lt. Typenprüfung der Hessischen Landesprüfstelle für Baustatik Az. 64a 08 – 2/83 ist eine Feuerwiderstandsstandsdauer von 90 Minuten gegeben. F60-Elemente werden nicht hergestellt. Der Mehrpreis der Elemente für die Ausführung in F90 betrug zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit 3,60 €/m²

Gesamtdeckenaufbau:

Der Gesamtdeckenaufbau ist mit dem von Typ 1 identisch und wird hier nicht nochmals aufgeführt.

Kosten:

Die Kosten sind mit denen von Typ 3 identisch und werden hier nicht nochmals aufgeführt.

3.3 Vergleich der untersuchten Deckensysteme anhand der Kosten für die Gesamtdeckenaufbauten

Die nachfolgenden Kostenwerte wurden im vorangegangenen Abschnitt 3.2 ermittelt. In diesem Abschnitt erfolgen die Gegenüberstellung und eine erste Bewertung der Ergebnisse.

3.3.1 Typ 1 - Decke im Einfamilienhaus mit Empfehlungen für normalen Schallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2

Tab. 30 Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 1 in €/m²

Spannweite in m Element	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Leimholz	65,18	73,08	80,98	88,88	96,78	104,68	112,58	120,48	137,48	146,08
141%	96%	108%	119%	131%	138%	150%	152%	156%	178%	181%
Brettstapel	73,69	79,81	85,92	92,04	98,15	98,15	104,27	110,39	116,50	122,50
136%	109%	118%	127%	136%	140%	140%	141%	143%	151%	151%
LenoTec	141,34	145,34	160,34	169,34	173,34	182,34	199,34	199,34	220,34	227,34
251%	208%	214%	236%	249%	248%	261%	269%	259%	286%	281%
Lignotrend 4	117,37	122,37	128,37	133,37	140,37	146,37	146,37	152,37	158,37	-
194%	173%	180%	189%	196%	201%	209%	197%	198%	205%	
Lignatur	105,12	105,12	109,12	112,12	114,12	117,12	120,12	123,12	134,12	134,12
163%	155%	155%	161%	165%	163%	168%	162%	160%	174%	166%
Holz-Beton	154,30	149,30	145,30	143,80	141,30	138,30	134,30	145,30	143,30	150,30
201%	227%	220%	214%	212%	202%	198%	181%	189%	186%	186%
Betonfertigteil	67,88	67,88	67,88	67,88	69,88	69,88	74,18	77,08	77,08	80,88
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

[yellow box] jeweils kostengünstigstes Holz-Element

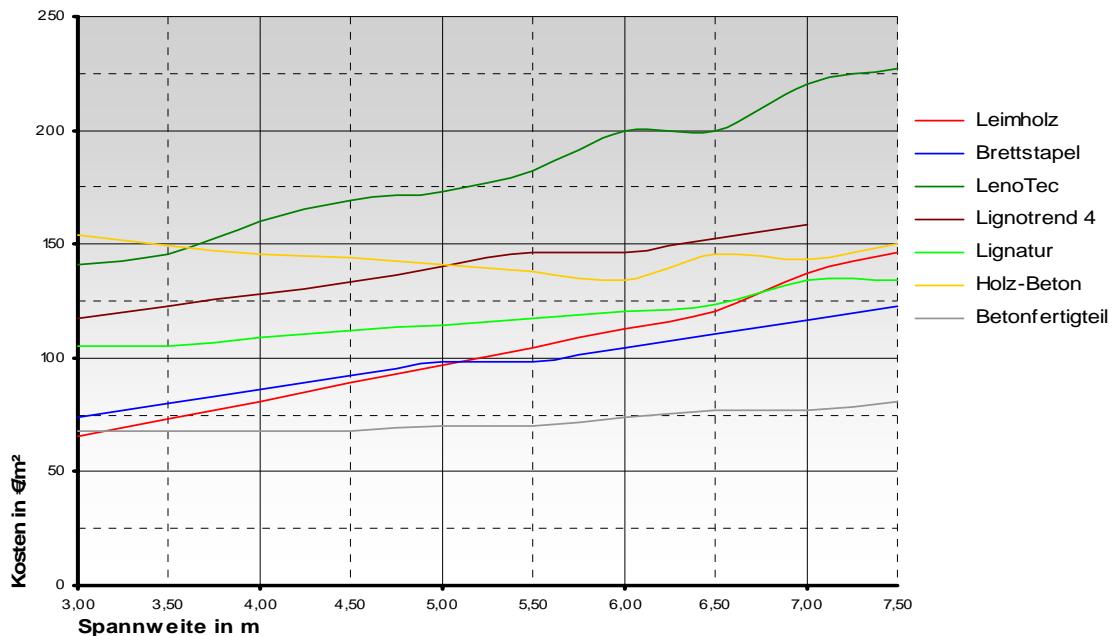


Abb. 109 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 1 (eigene Darstellung)

Bewertung:

- Die Kosten der Holzelemente pro m² steigen mit zunehmender Spannweite, der Preis der Betonelemente bleibt nahezu konstant.
- Bis etwa 3,00 m Spannweite sind Leimholz-Elemente günstiger als das Betonfertigteil.
- Ab 3,50 m sind LenoTec-Elemente teurer als Holz-Beton-Verbundelemente.
- Ab etwa 5,00 m Spannweite ist der genagelte Brettstapel günstiger im Vergleich zum Leimholz-Element.
- Ab 5,00 m sind Holz-Beton-Verbundelemente günstiger als Elemente von Lignotrend
- Holz-Beton-Verbundelemente haben bei der Spannweite 6,00 m ihr preisliches Optimum.
- Ab 6,50 m Spannweite sind Lignatur-Elemente günstiger als Leimholz-Elemente.
- Bei der Spannweite 7,50 m sind die Werte für Leimholz und Holzbeton nahezu gleich.
- Mit Lignotrend-Elementen ist unter den gegebenen Parametern eine Spannweite von 7,50 m wegen der zu großen Durchbiegung nicht möglich.

→ **Fazit:** Bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzelementen als Decke nach Typ 1 ist der Einsatz von Leimholz-Elementen bis 5,00 m und Brettstapel-Elementen ab 5,00 m sinnvoll, da diese Elemente dann jeweils die kostengünstigsten sind.

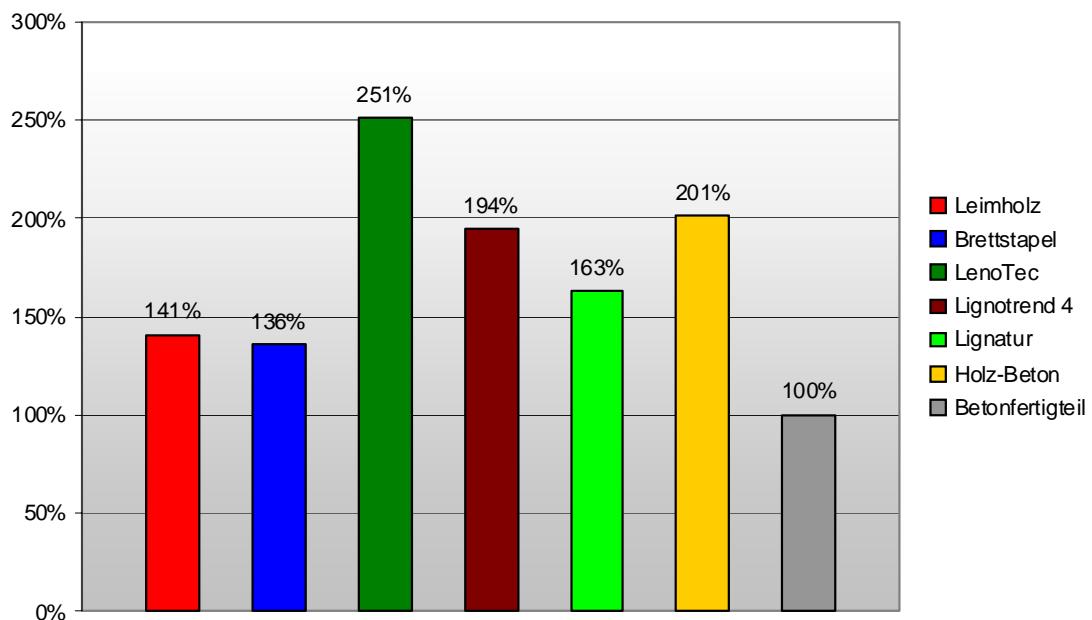


Abb. 110 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 1 (eigene Darstellung)

3.3.2 Typ 2 - Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 Muster-Bauordnung

Tab. 31 Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 2 in €/m²

Spannweite in m Element	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Leimholz	71,67	71,67	79,47	87,37	95,27	103,17	111,07	118,97	135,97	144,57
140%	106%	106%	117%	129%	136%	148%	150%	154%	176%	179%
Brettstapel	91,03	97,15	103,26	109,38	115,49	121,61	127,65	133,84	139,84	-
162%	134%	143%	152%	161%	165%	174%	172%	174%	181%	-
LenoTec	162,65	166,65	179,65	188,65	192,65	205,65	218,65	237,65	246,65	-
280%	240%	246%	265%	278%	276%	294%	295%	308%	320%	-
Lignotrend 4	124,11	129,11	135,11	140,11	147,11	153,11	159,11	165,11	-	-
205%	183%	190%	199%	206%	211%	219%	214%	214%	-	-
Lignatur	119,50	119,50	123,50	126,50	128,50	134,50	137,50	148,50	148,50	153,50
186%	176%	176%	182%	186%	184%	192%	185%	193%	193%	190%
Holz-Beton	154,30	149,30	145,30	143,80	141,30	138,30	134,30	145,30	143,30	150,30
201%	227%	220%	214%	212%	202%	198%	181%	189%	186%	186%
Betonfertigteil	67,88	67,88	67,88	67,88	69,88	69,88	74,18	77,08	77,08	80,88
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

jeweils kostengünstigstes Holz-Element

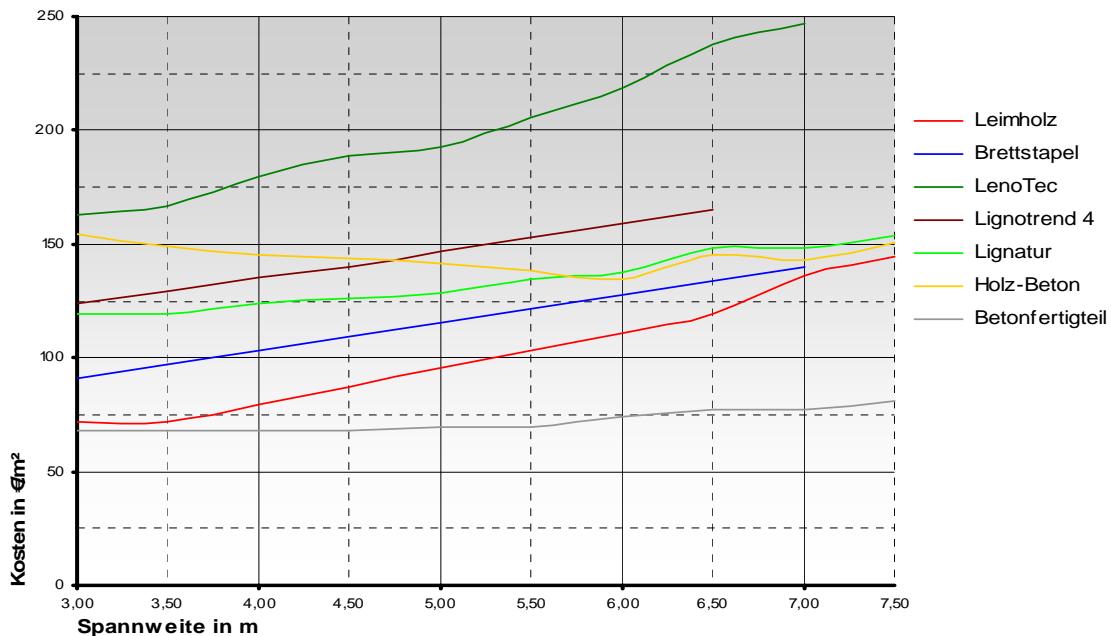


Abb. 111 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 2 (eigene Darstellung)

Bewertung:

- Bei Spannweiten unter 3,50 m sind die Leimholz-Elemente mit den Betonfertigteilen fast gleich auf – Leimholz nur ca. 6 % teurer.
- Lignotrend-Elemente sind ab 4,75 m teurer als Holz-Beton-Verbundelemente.
- Holz-Beton-Verbundelemente und Lignatur-Elemente sind bei 6,00 m gleich teuer, darüber hinaus sind die HBV-Elemente günstiger.
- Lignotrend-Elemente sind bei Einhaltung aller Parameter des Types 2 nur bis 6,50 m einsetzbar.
- Brettstapel-Elemente sind bei Einhaltung aller Parameter nur bis 7,00 m einsetzbar.

→ Fazit: Bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzelementen als Decke nach Typ 2 ist der Einsatz von Leimholz-Elementen sinnvoll, da diese Elemente die Kostengünstigsten sind und alle untersuchten Spannweiten mit den geforderten Parametern abdecken.

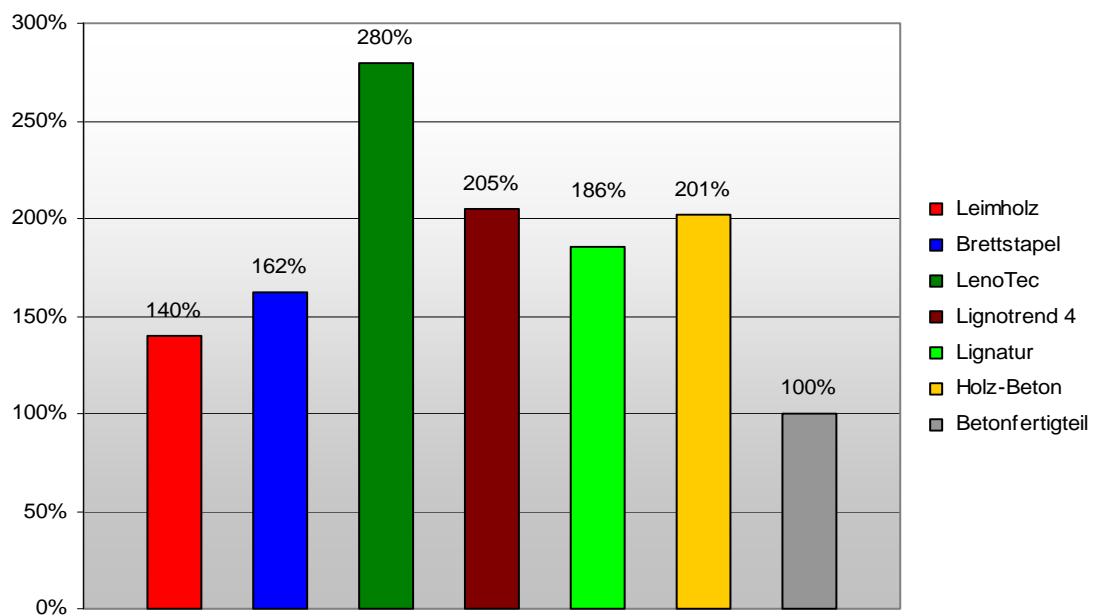


Abb. 112 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 2 (eigene Darstellung)

3.3.3 Typ 3 - Wohnungstrenndecke mit Anforderungen an den Mindestschallschutz nach DIN 4109 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 Muster-Bauordnung

Tab. 32 Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 3 in €/m²

Spannweite in m Element	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Leimholz	71,57	79,47	79,47	87,37	95,27	103,17	111,07	118,97	135,97	144,57
134 %	100%	111%	111%	122%	130%	140%	143%	147%	169%	171%
Brettstapel	97,15	103,26	103,26	109,38	115,49	121,61	127,65	133,84	139,84	-
156 %	136%	144%	144%	153%	157%	166%	164%	166%	173%	-
LenoTec	162,65	166,65	179,65	188,65	192,65	205,65	218,65	237,65	246,65	-
267 %	228%	233%	251%	264%	262%	280%	281%	295%	306%	-
Lignotrend 4	132,79	137,79	143,79	148,79	155,79	161,79	167,79	173,79	-	-
206 %	186%	193%	201%	208%	212%	220%	216%	215%	-	-
Lignatur	141,50	141,50	141,50	143,50	146,50	149,50	152,50	163,50	163,50	168,50
200 %	198%	198%	198%	201%	199%	203%	196%	203%	203%	199%
Holz-Beton	154,30	149,30	145,30	143,80	141,30	138,30	134,30	145,30	143,30	150,30
192 %	216%	209%	203%	201%	192%	188%	173%	180%	178%	178%
Betonfertigteil	71,48	71,48	71,48	71,48	73,48	73,48	77,78	80,68	80,68	84,48
100 %	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

jeweils kostengünstigstes Holz-Element

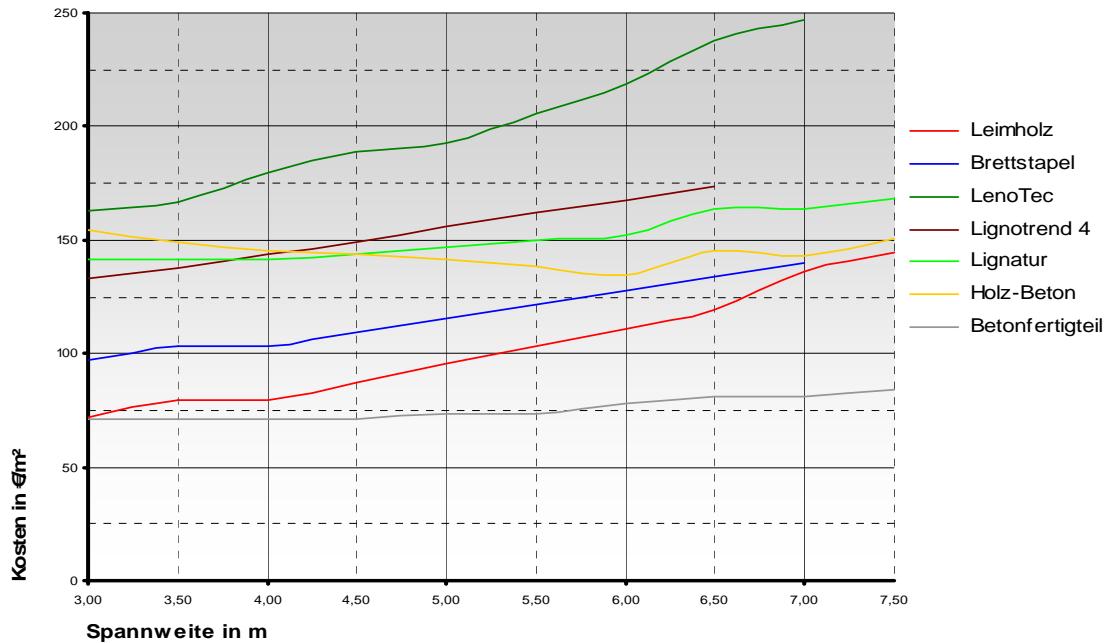


Abb. 113 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 3 (eigene Darstellung)

Bewertung:

- Bei einer Spannweite von 3,00 m sind die Leimholz-Elemente mit den Betonfertigteilen gleich – bis 4,00 m sind Decken aus Leimholz-Elementen 11 % teurer.
- Bei 3,75 m Spannweite sind Lignotrend und Lignatur gleich teuer, ab dieser Spannweite erweist sich Lignatur als das günstigere Element.
- Holz-Beton-Verbundelemente sind ab 4,25 m preislich günstiger als Lignotrend-Elemente und ab 4,50 m günstiger als Lignatur-Elemente.
- Lignotrend-Elemente sind unter den einzuhaltenden Parametern nur bis 6,50 m einsetzbar.
- Brettstapel-Elemente sind bei Einhaltung aller Parameter nur bis 7,00 m einsetzbar.
- LenoTec-Elemente sind bei allen Spannweiten die Teuersten.

→ **Fazit:** Bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzelementen als Decke nach Typ 3 ist der Einsatz von Leimholz-Elementen sinnvoll, da diese Elemente die Kostengünstigsten sind und alle untersuchten Spannweiten abdecken. Bei noch größeren Spannweiten wären Holz-Beton-Elemente vorzuziehen.

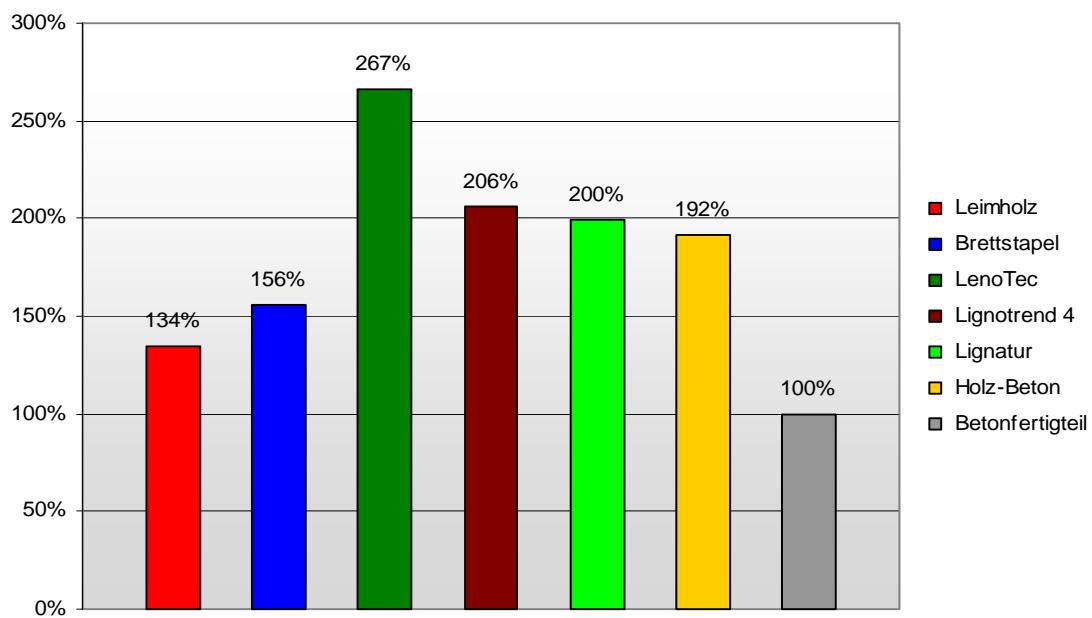


Abb. 114 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 3 (eigene Darstellung)

3.3.4 Typ 4 - Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklassen 2 und 3 Muster-Bauordnung

Tab. 33 Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 4 in €/m²

Spannweite in m Element	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Leimholz	117,20	125,10	133,00	140,90	148,80	156,70	164,60	181,60	190,20	-
211%	173%	184%	196%	208%	213%	224%	222%	236%	247%	
Brettstapel	89,99	96,10	96,10	102,22	108,33	114,45	120,57	126,68	132,68	-
154%	133%	142%	142%	151%	155%	164%	163%	164%	172%	
LenoTec	162,65	166,65	179,65	188,65	192,65	205,65	218,65	237,65	246,65	-
280%	240%	246%	265%	278%	276%	294%	295%	308%	320%	
Lignotrend 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lignatur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Holz-Beton	160,02	155,02	151,02	149,02	147,02	144,02	140,02	151,02	149,02	156,02
209%	236%	228%	222%	220%	210%	206%	189%	196%	193%	193%
Betonfertigteil	67,88	67,88	67,88	67,88	69,88	69,88	74,18	77,08	77,08	80,88
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

jeweils kostengünstigstes Holz-Element

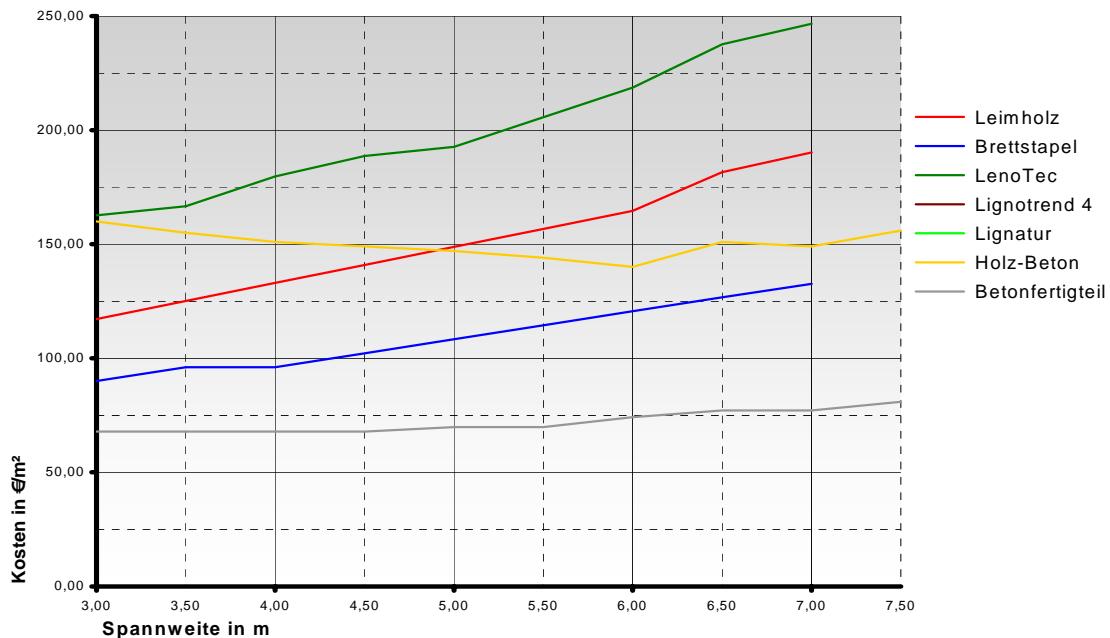


Abb. 115 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 4 (eigene Darstellung)

Bewertung:

- Ab 5,00 m Spannweite sind Holz-Beton-Verbundelemente günstiger als Leimholz-Elemente.
- Elemente der Hersteller Lignatur und Lignotrend erfüllen die einzuhaltenden Parameter zum Trittschallschutz nicht.
- LenoTec, Leimholz und Brettstapel sind bei Einhaltung der Parameter für Typ 3 nur bis 7,00 m einsetzbar.
- Nur Holz-Beton-Verbundelemente und Betonfertigteile erreichen unter Einhaltung der vorgegebenen Parameter die Spannweite von 7,50 m

→ **Fazit:** Bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzelementen als Decke nach Typ 4 ist der Einsatz von Holz-Beton-Verbundelementen -vor allem bei großen Spannweiten- sinnvoll, da diese Elemente noch zusätzliche Reserven beim Schallschutz haben. Die statisch „aktiven“ Bauteile der Deckenkonstruktion (Druckbeton) tragen auch aktiv zur Verbesserung des Schallschutzes bei.

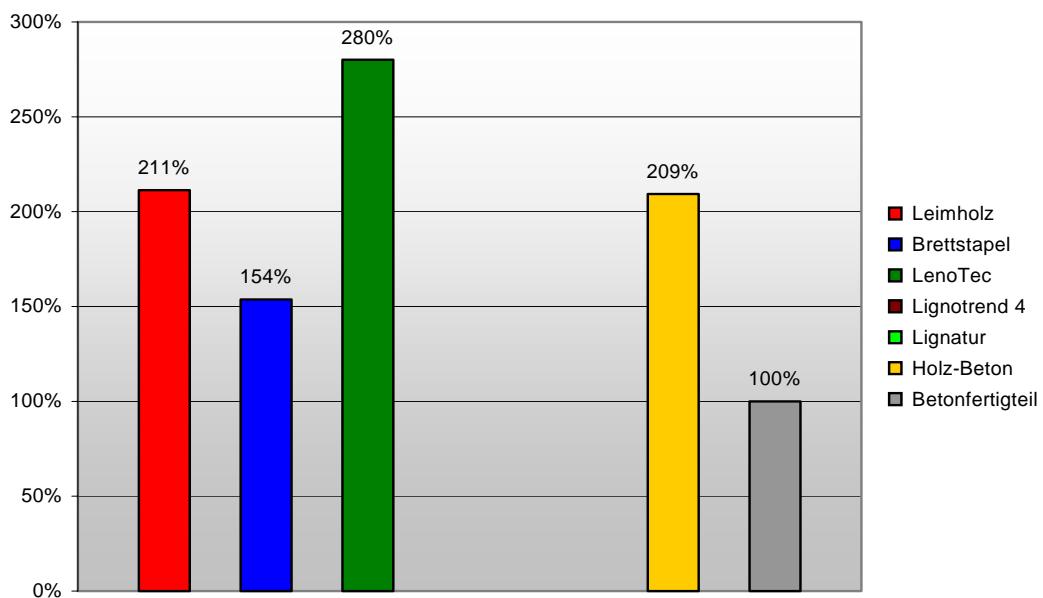


Abb. 116 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 4 (eigene Darstellung)

3.3.5 Typ 5 - Wohnungstrenndecke mit erhöhten Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 in Gebäuden der Gebäudeklasse 4 Muster-Bauordnung

Tab. 34 Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 5 in €/m²

Spannweite in m Element	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
Leimholz	117,20	125,10	133,00	140,90	148,80	156,70	164,60	181,60	190,20	-
201%	164%	175%	186%	197%	203%	213%	212%	225%	236%	
Brettstapel	89,99	96,10	96,10	102,22	108,33	114,45	120,57	126,68	132,68	-
146%	126%	134%	134%	143%	147%	156%	155%	157%	164%	
LenoTec	162,65	166,65	179,65	188,65	192,65	205,65	218,65	237,65	246,65	-
267%	228%	233%	251%	264%	262%	280%	281%	295%	306%	
Lignotrend 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lignatur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Holz-Beton	160,02	155,02	151,02	149,02	147,02	144,02	140,02	151,02	149,02	156,02
199%	224%	217%	211%	208%	200%	196%	180%	187%	185%	185%
Betonfertigteil	71,48	71,48	71,48	71,48	73,48	73,48	77,78	80,68	80,68	84,48
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

jeweils kostengünstigstes Holz-Element

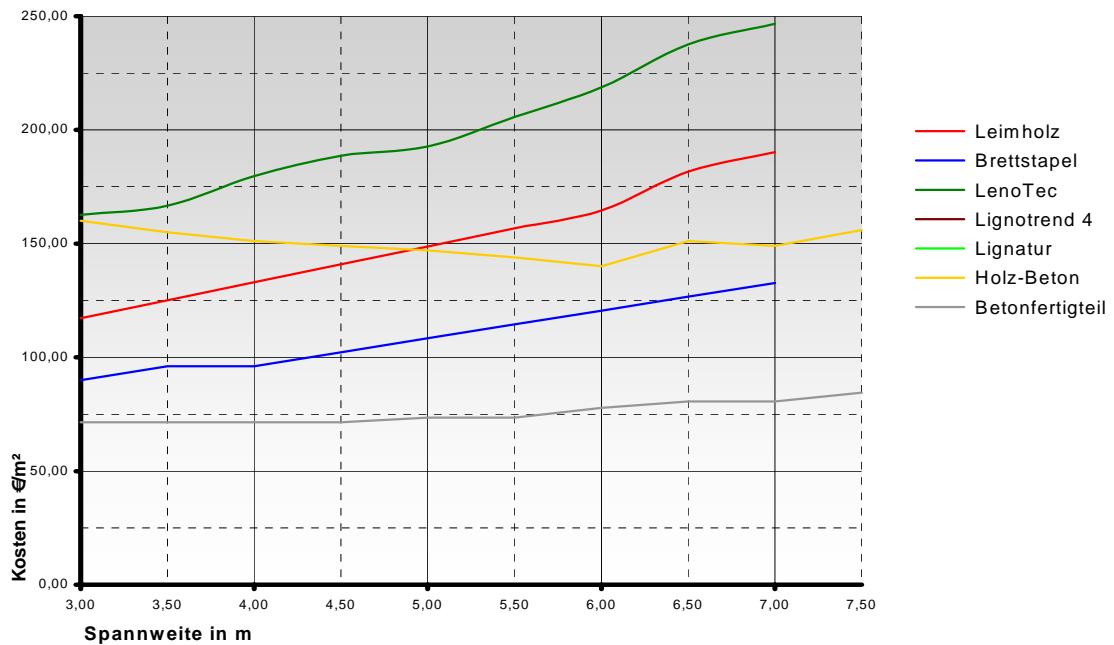


Abb. 117 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 5 (eigene Darstellung)

Bewertung:

- Elemente der Hersteller Lignatur und Lignotrend erfüllen die vorgegebenen Parameter zum Trittschallschutz nicht.
- Ab 5,00 m Spannweite sind Holz-Beton-Verbundelemente günstiger als Leimholz-Elemente.
- Nur Holz-Beton-Verbundelemente und Betonfertigteile ermöglichen unter Einhaltung der vorgegebenen Parameter die Spannweite von 7,50 m

→ **Fazit:** Bei der Verwendung von vorgefertigten flächigen Holzelementen als Decke nach Typ 5 stellen sich hier, wie beim Typ 4, die Holz-Beton-Verbundelemente als die „intelligentere“ Konstruktion heraus, da sich der ohnehin benötigte Druckbeton positiv auf die geforderten Trittschallwerte auswirkt. Bei Brettstapel-Elementen beispielsweise ist hier eine zusätzliche Kiesschüttung ausschließlich zur Erreichung der Trittschallwerte notwendig, die keinen Beitrag zur Tragfähigkeit leistet.

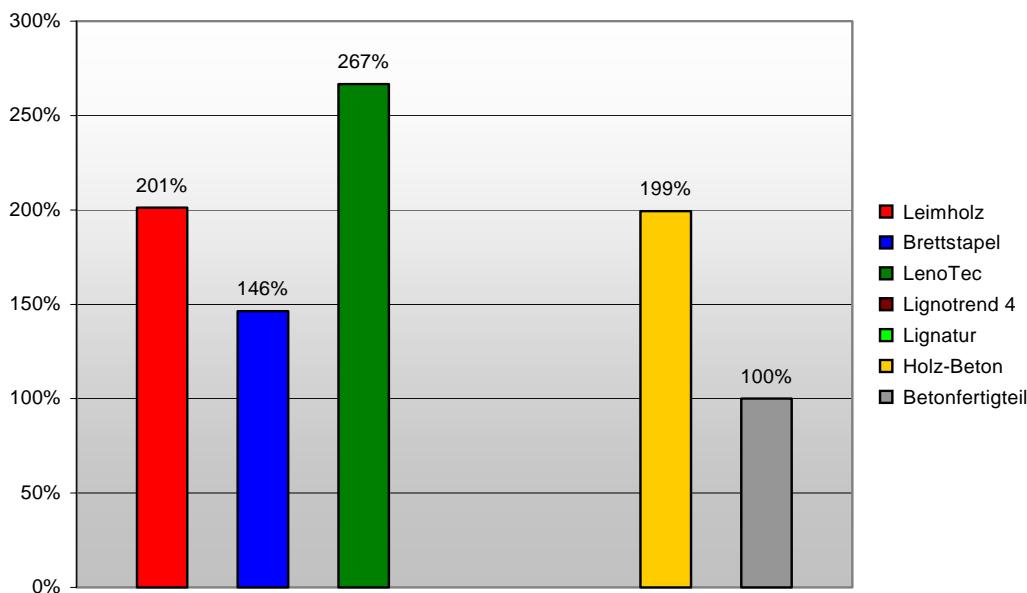


Abb. 118 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 5 (eigene Darstellung)

3.4 Erkenntnisse zu den untersuchten Deckensystemen

Bei der Betrachtung der Diagramme aller fünf Deckentypen ist auffällig, dass mit zunehmender Spannweite die Kosten pro m² Gesamtdeckenaufbau bei den Holzelementen im Vergleich zur Betondecke überproportional stark ansteigen. Bei den Kosten der Betonelemente ist anzumerken, dass bei dem zur Bewertung herangezogenen Systemhersteller keine zugelassenen F60-Elemente angeboten werden und somit die Preise für F90-Elemente in die Bewertung der Deckentypen 3 und 5 eingeflossen sind.

In den Auswertungen unter Punkt 3.3 ist zu erkennen, dass **Leimholz-Elemente** nach 3.2.1 insgesamt gesehen sehr gut bei dieser Kostenbetrachtung abschneiden. Ein Grund liegt in der Herstellung von Leimholz in großem Umfang und zum anderen in der einfachen Konstruktion der Elemente. Ein weiterer Vorteil der relativ steifen Elemente ist die einfache Ausbildung von Deckenscheiben. Im Gegensatz zu vernagelten Brettstapel-Elementen kann bei Leimholz-Elementen auf zusätzliche Maßnahmen zur Scheibenausbildung, wie zum Beispiel das Aufschrauben einer Lage Holzwerkstoffplatten, verzichtet werden. Die Ausbildung des Stoßes lt. der Abb. 53 ist in der Regel ausreichend.

Die Vorteile der genagelten **Brettstapel-Elemente** nach 0 liegen ebenfalls im günstigen Preis der Elemente und in der besseren Trittschalldämmung gegenüber den Leimholz-Elementen. Dadurch kann die genagelte Brettstapeldecke mit einem preiswerteren Fußbodenaufbau Vor-

teile gegenüber den Leimholz-Elementen bieten, obwohl die Kosten der Elemente bei Stärken bis 220 mm höher als die der Leimholz-Elemente sind. Ein weiterer Vorteil von genagelten Brettstapel-Elementen gegenüber Leimholz-Elementen, beispielsweise beim Einsatz als sichtbare Deckenelemente, ist der, dass sich bei genagelten Elementen ein gleichmäßigeres Fugenbild einstellt. Bei Leimholz-Elementen stellen sich Fugen infolge der weiteren Trocknung nach dem Einbau nur zwischen den Elementen ein. Bei Gedübeln oder Vernageln ist eine Fugenbildung auch zwischen den Lamellen des Elementes möglich. In letzterem Fall würde ein gleichmäßigeres Fugenbild entstehen. In beiden Fällen sind dies optische Beeinträchtigungen, die auf die Tragfähigkeit der Elemente keinen Einfluss haben, aber gestalterisch ein Entscheidungskriterium darstellen können.

Die festgelegte Randbedingung der Durchbiegungsbeschränkung auf 1/500 bei den untersuchten Deckentypen wirkt sich bei den massiven Elementquerschnitten positiv auf die Brandschutzanforderung von F30 bzw. F60 aus, da die Auslastung der Tragfähigkeit (Biegung) gering ist und somit die Elemente in Bezug auf die Biegebeanspruchung um mehr als die jeweilige Abbrandrate überdimensioniert sind.

Mit wenig optischen Beeinträchtigungen in Form von Fugenbildung infolge des Zusammentrecknens ist bei der Verwendung von **LenoTec-Elementen** nach 3.2.3 zu rechnen. Die kreuzweise verleimten Nadelholzbrettlagen sorgen für weitestgehende Dimensionsstabilität der Elemente. Ein weiterer Vorteil liegt in der Möglichkeit der zweiachsigen Lastabtragung beim Einsatz von Brettsperrenholz als Decken- oder Dachelemente. Hierdurch sind Material- und damit Kosteneinsparungen gegeben. Beispielsweise kann in der Regel auf lokale Verstärkungen bei Auswechselungen verzichtet werden. Punktgestützte Lastabtragung, wie zum Beispiel bei Balkonplatten, sind möglich. In Bezug auf die Kosten der untersuchten Einfeldträger mit einachsigem Lastabtrag schnitten die Elemente entsprechend schlecht ab. Ein weiterer Fakt für das schlechte Abschneiden der LenoTec-Elemente waren die sehr teuren Fußbodenaufbauten, die vom Hersteller Finnforest Merk im Zusammenhang mit der Erreichung der Trittschallwerte geprüft wurden. Hier sollten von Seiten des Herstellers preiswerte Fußbodenaufbauten in Verbindung mit den LenoTec-Elementen untersucht werden.

Im Gegensatz zu den voran beschriebenen, massiven Querschnitten handelt es sich bei den **Lignotrend-Elementen** im Abschnitt 3.2.4 um einen zusammengesetzten Querschnitt. Die Vorteile liegen zweifellos im geringeren Gewicht und in der Möglichkeit Installationen bzw. Zusatzdämmungen in Deckenebene unterzubringen. Im Nachteil sind diese Konstruktionen, wie beispielsweise auch die im Abschnitt 3.2.5 untersuchten **Lignatur-Flächenelemente**, gegenüber den Massivquerschnitten in Bezug auf die Erreichung der nach DIN 4109 geforderten Schalldämmwerte im Mehrfamilienhausbereich. Hier sind nur mit erheblichem Aufwand, der sich auf die Kosten der Decken niederschlägt, die entsprechenden Ergebnisse zu erreichen. Geprüfte Trittschallwerte nach den Empfehlungen der DIN 4109 Beiblatt 2 sind bei beiden Elementen nur unter Hinzurechnung von weich federndem Bodenbelag erreichbar.

Die im Vergleich der Elemente betrachteten **Holz-Beton-Verbundelemente** nach Abschnitt 3.2.6 bieten entscheidende Vorteile bei großen Spannweiten. Hier wären Längen bis 10,00 m realisierbar. Die wirtschaftlichste Spannweite der Fertigteile liegt bei 6,00 m. Dies hängt mit dem höheren Stahlanteil bei geringeren Spannweiten (Anzahl der Flachstahlschlösser) bzw. der höheren Deckenstärke bei größeren Spannweiten zusammen. Bezuglich Brand- und Schallschutz stehen die Elemente der reinen Betonkonstruktion kaum nach, haben aber darüber hinaus den Vorteil der Massivholzoptik an der Deckenunterseite. Außerdem werden Betondecken im Wohnungsbau bei Spannweiten über 6,00 m in der Regel als schlanke Spannbetonfertigteile, allerdings mit den bekannten Nachteilen wie Schwingen und Rissgefahr in den Elementstößen, ausgeführt. Zu ergänzen ist, dass ca. 25,00 €/m² für den Fußbodenauflage eingespart werden könnten, wenn der Gesamtdeckenaufbau mit Zementestrich auf Trittschalldämmung aus Mineralwolle geprüft würde. Bei Holz-Beton-Verbundkonstruktionen trägt der Aufbeton als ‚aktives‘ Bauteil gleichzeitig erheblich zur Trittschallverbesserung bei.

Bei den **Fußbodenaufläufen** ist festzustellen, dass Aufbauten mit Schüttungen zur Rohdeckenbeschwerung zum einen höhere Trittschallverbesserungswerte bringen und zum anderen von den angefragten Estrichlegern günstiger angeboten wurden als Rohdeckenbeschwerungen mit Betonplatten. Der Grund für letzteren Umstand ist in der kürzeren Einbauzeit der Schüttungen mittels Pumpen zu sehen. Die verbesserte Trittschalldämmung röhrt von der geringeren dynamischen Steifigkeit der Schüttungen gegenüber den Betonplatten und der damit verbundenen höheren Energieabsorbierung der Schüttung her. Dieser Umstand ist beispielsweise bei Deckentyp 2 im Vergleich zwischen Leimholz-Element und Brettstapel-Element zu sehen. Der Mehrpreis des Fußbodenauflages bei Deckentyp 2 mit Betonplatten beim Brettstapel-Element liegt gegenüber der Schüttung beim Leimholz-Element bei etwa 67 %, obwohl die Brettstapel-Elemente selbst einen um 2 dB besseren Trittschallpegel der Rohdecke haben.

Ebenso ist bei der Wahl eines Fußbodenauflages zu beachten, dass komplett trocken eingebrachte Fußbodenaufläufen in der Regel teurer sind als Zementestriche auf Mineralfaserdämmung bei gleichen Trittschallverbesserungswerten. Zusammenfassend ist hier festzustellen, dass Zementestriche mit Trittschallmatten geringer dynamischer Steifigkeit (s') in Verbindung mit Trockenschüttungen zur Rohdeckenbeschwerung einen sehr wirtschaftlichen Fußbodenauflage darstellen. Bei fachgerechtem Einbau stellt der Feuchteintrag durch den Zementestrich keinen Nachteil dar.

Tab. 35 Tabellarische Erfassung der Eigenschaften der untersuchten Deckensysteme

	Trittschall	Brandschutz	Spannweite	Gestaltung	Konstruktion	Kosten
Leimholz-Elemente nach Ziffer 3.2.1	<ul style="list-style-type: none"> mit einfachen, preiswerten Fußbodenaufbauten gute Trittschallwerte erreichbar 	<ul style="list-style-type: none"> keine Hohlräume, die im Brandfall die Löscharbeiten aufgrund von Brandnestern erschweren bei Einhaltung der Durchbiegungsbeschränkung große Reserven für Warmbemessung 	<ul style="list-style-type: none"> fast alle untersuchten Spannweiten unter Einhaltung des erhöhten Schallschutzes realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> Trocknungsfugen stellen sich nur zwischen den Elementen ein → uneinheitliches Fugenbild 	<ul style="list-style-type: none"> einfache Möglichkeit der Scheibenausbildung mittels Stoß (Abb. 53) hohe Speichermasse einfache Konstruktion kältebrückenfreies Auskragen in den Außenbereich gegeben 	<ul style="list-style-type: none"> kostengünstig Trittschallanforderungen mit preiswerten Aufbauten möglich vergleichsweise hohes Eigengewicht des Elements (Mehrkosten Transport)
Brettstapel-Elemente nach Ziffer 0	<ul style="list-style-type: none"> um 2 dB bessere Trittschallwerte des Elementes ohne Fußbodenaufbau gegenüber Leimholz-Elementen (bei schwimmenden Fußbodenaufbau) 	<ul style="list-style-type: none"> keine Hohlräume, die im Brandfall die Löscharbeiten aufgrund von Brandnestern erschweren bei Einhaltung der Durchbiegungsbeschränkung große Reserven für Warmbemessung 	<ul style="list-style-type: none"> fast alle untersuchten Spannweiten unter Einhaltung des erhöhten Schallschutzes realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> Trocknungsfugen stellen sich zwischen allen Lamellen ein → einheitliches Fugenbild 	<ul style="list-style-type: none"> preisgleiche Akustikelemente lieferbar zur Scheibenausbildung zusätzliche Beplankungslage aus Holzwerkstoffplatten nötig hohe Speichermasse einfache Konstruktion – Fertigung in Handwerksbetrieben möglich kältebrückenfreies Auskragen in den Außenbereich gegeben - Verschließen der Vertikalfugen zwischen den Elementlamellen beachten 	<ul style="list-style-type: none"> kostengünstig Trittschallanforderungen mit preiswerten Aufbauten möglich vergleichsweise hohes Eigengewicht des Elements (Mehrkosten Transport)
LenoTec-Elemente nach Ziffer 3.2.3	<ul style="list-style-type: none"> seitens des Herstellers nur preisintensive Fußbodenaufbauten als Trockenaufbauten geprüft raumgroße Elemente können sofort mit Teppichböden etc. belegt werden (nur EFH ohne Schallschutzanforderungen) 	<ul style="list-style-type: none"> keine Hohlräume, die im Brandfall die Löscharbeiten aufgrund von Brandnestern erschweren bei Einhaltung der Durchbiegungsbeschränkung große Reserven für Warmbemessung 	<ul style="list-style-type: none"> fast alle untersuchten Spannweiten unter Einhaltung des erhöhten Schallschutzes realisierbar - dann aber sehr teuer 	<ul style="list-style-type: none"> geringe Trocknungsfugen durch kreuzweise Verleimung des kompletten Querschnittes 	<ul style="list-style-type: none"> zweiachsige Lastabtragung möglich Auswechselungen ohne lokale Verstärkungen hohe Speichermasse große Elementbreiten lieferbar (max. 4,80 m x 14,80 m) extrem formstabil gebogene Elemente möglich erste Versuche mit Textilbewehrung durchgeführt punktgestützte Lastabtragung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> sehr teuer vergleichsweise hohes Eigengewicht des Elements (Mehrkosten Transport)

					<ul style="list-style-type: none"> • nur industrielle Fertigung • kältebrückenfreies Auskragen in den Außenbereich gegeben 	
Lignotrend-Elemente (Decke 4) nach Ziffer 3.2.4	<ul style="list-style-type: none"> • aufwendige Aufbauten zur Erreichung von Trittschallanforderungen • keine erhöhten Trittschallwerte ohne weich federnden Belag realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandnester in Hohlräumen möglich • F60 nur mit unterseitiger Bekleidung realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • große Spannweiten selbst bei Mindestschallschutzanforderungen nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Trocknungsfugen durch kreuzweise verkleimte Untergurtplatte 	<ul style="list-style-type: none"> • geringes Eigengewicht • Verlegung von Installation in der Decke möglich • Zusatzdämmung in der Decke möglich • nur industrielle Fertigung • kältebrückenfreies Auskragen in den Außenbereich mit Zusatzmaßnahmen am Element möglich • verschiedene Schallabsorptionskurven realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • teuer • vergleichsweise geringes Eigengewicht des Elementes (Vorteile beim Transport)
Lignatur-Elemente nach Ziffer 3.2.5	<ul style="list-style-type: none"> • aufwendige Aufbauten zur Erreichung von Trittschallanforderungen • keine erhöhten Trittschallwerte ohne weich federnden Belag realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandnester in Hohlräumen möglich • Brandschutzanforderungen bis F90 B gegen Mehrpreis realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • fast alle untersuchten Spannweiten bei Typ 1-3 unter Einhaltung des Mindestschallschutzes realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • verschiedene Oberflächenbehandlungen ab Werk lieferbar 	<ul style="list-style-type: none"> • geringes Eigengewicht • Verlegung von Installation in der Decke möglich • Zusatzdämmung in der Decke möglich • nur industrielle Fertigung • als schmale Kastenelemente auch in der Sanierung einsetzbar • kältebrückenfreies Auskragen in den Außenbereich mit Zusatzmaßnahmen am Element möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • teuer • vergleichsweise geringes Eigengewicht des Elementes (Vorteile beim Transport)
Holz-Beton-Verbundelemente nach Ziffer 3.2.6	<ul style="list-style-type: none"> • sehr guter Tritt- und Luftschallschutz durch Aufbeton als „aktives“ Bauteil • Betonoberfläche ist glatt abgerieben und kann nach Fugenverguss auch sofort mit Teppichboden etc. belegt werden (nur EFH ohne Schallschutzanforderungen) 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr gute Brandschutzeigenschaften (F90B) 	<ul style="list-style-type: none"> • große Spannweiten möglich (bis 10,00m) • einziges Element (außer Betonfertigteile), dass alle Spannweiten unter den gestellten Randbedingungen einhält 	<ul style="list-style-type: none"> • Trocknungsfugen stellen sich zwischen allen Lamellen ein → einheitliches Fugenbild 	<ul style="list-style-type: none"> • Verlegung der Fußbodenheizung im Druckbeton möglich (Massekernaktivierung) • einfache Konstruktion – Fertigung in Handwerksbetrieben möglich • kältebrückenfreies Auskragen in den Außenbereich bedingt möglich - kein Aufbeton am Kragarm bzw. in den Außenbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • teuer, relativiert sich aber bei großen Spannweiten und/oder erhöhten Schallschutzbzw. Brandschutzanforderungen • höheres Eigengewicht als die Holzelemente (Mehrkosten Transport)

3.5 Bewertung der untersuchten Systeme nach technischen, wirtschaftlichen und gestalterischen Aspekten

3.5.1 Bewertungskriterien

Die Bewertung der vorgegebenen Deckentypen der einzelnen Systeme aus vorgefertigten flächigen Holzbauelementen erfolgt jeweils für die folgenden Parameter:

- Einhaltung des geforderten Trittschallschutzes → Trittschall
- Einhaltung der geforderten Feuerwiderstandsdauer → Brandschutz
- Einhaltung der Durchbiegungsbeschränkung → Spannweite
- Deckenuntersicht bei Einhaltung aller Parameter unbekleidet → Gestaltung
- Kosten nach Abschnitt 3.2 → Kosten

Hierzu ist ein Bewertungssystem gewählt, das tabellarisch die angegebenen Parameter einfach und übersichtlich mit +, o, - bewertet.

Dabei steht für:

- + die Einhaltung aller vorgegebenen Parameter,
- o die bedingte Einhaltung der vorgegebenen Parameter,
- - die Nichteinhaltung der vorgegebenen Parameter.

Weiterhin finden bei der Bewertung die folgenden Randbedingungen Berücksichtigung:

- Beim Trittschallschutz wird die Einhaltung der Parameter mit kostengünstigen Fußbodenaufläufen bzw. Trittschall verbessernden Zusatzmaßnahmen berücksichtigt.
- Die Einhaltung der geforderten Feuerwiderstandsdauer ist möglichst ohne Deckenbekleidungen zu erreichen.
- Erfüllt ein System eine Spannweite (7,50 m) nicht, ist mit „o“ bewertet, bei Nichtrealisierung von zwei oder mehr vorgegebenen Spannweiten wird mit „-“ bewertet.
- Bei den gestalterischen Aspekten kommt es auf die sichtbare Holzoberfläche der Unterseite an. Ohne sichtbare Holzoberfläche wird mit „-“ bewertet. Bei unregelmäßiger Fugenbildung werden Abstriche gemacht („o“). Die Möglichkeit der Profilierung der Unterseite und damit die Verbesserung der Raumakustik wird berücksichtigt.

3.5.2 Bewertung

Tab. 36 Bewertung der untersuchten Systeme

	untersuchte und zu bewertende Parameter	3.2.1 Leimholz	3.2.2 Brettstapel	3.2.3 LenoTec	3.2.4 Lignotrend (Decke 4)	3.2.5 Lignatur	3.2.6 Holz-Beton-Verbund	3.2.7 Betonfertigteil
Typ 1 EFH Gebäudeklasse 1	Trittschall ($L'_{nw} \leq 56$ dB) Brandschutz (F0) Spannweite Gestaltung (Untersicht) Kosten	+	+	-	+	0	+	+
		/	/	/	/	/	/	/
		+	+	+ 2)	0	+	+	+
		0	+	+	+	- 1)	+	-
		+	+	-	0	0	0	+
Typ 2 MFH Gebäudeklasse 2 und 3	Trittschall ($L'_{nw} \leq 53$ dB) Brandschutz (F30) Spannweite Gestaltung (Untersicht) Kosten	+	0	-	0	0	+	+
		+	+	+	+	+	+	+
		+	0	0 2)	-	+	+	+
		0	+	+	+	+	+	-
		+	+	-	0	0	0	+
Typ 3 MFH Gebäudeklasse 4	Trittschall ($L'_{nw} \leq 53$ dB) Brandschutz (F60) Spannweite Gestaltung (Untersicht) Kosten	+	0	-	-	0	+	+
		+	+	+	0	+	+	+
		+	0	0 2)	-	+	+	+
		0	+	+	- 4)	+	+	-
		+	+	-	0	0	0	+
Typ 4 MFH Gebäudeklasse 2 und 3	Trittschall ($L'_{nw} \leq 46$ dB) Brandschutz (F30) Spannweite Gestaltung (Untersicht) Kosten	-	+	-			+	+
		+	+	+			+	+
		0	0	0 2)			+	+
		- 1)	+	+			+	-
		0	+	-	3)	3)	0	+
Typ 5 MFH Gebäudeklasse 4	Trittschall ($L'_{nw} \leq 46$ dB) Brandschutz (F60) Spannweite Gestaltung (Untersicht) Kosten	-	+	-			+	+
		+	+	+			+	+
		0	0	0 2)			+	+
		- 1)	+	+			+	-
		0	+	-	3)	3)	0	+

1) entspricht Trittschallschutz nur mit Unterdecke realisierbar - Deckenuntersicht nicht in Holz

2) Element kann zweiachsig Last abtragen - bewertet wurde nur die einachsige Lastabtragung

3) Keine Bewertung, da die Anforderungen nach DIN 4109 Bl. 2 ohne weich federnden Bodenbelag nicht realisierbar sind.

4) Brandschutzanforderungen nur mit Unterdecke realisierbar - Deckenuntersicht nicht in Holz

3.5.3 Ergebnis

Das Ergebnis der voran durchgeführten Bewertungen zeigt, dass Massivholzelemente gemäß Ziffern 3.2.1 und 0 vorteilhafter gegenüber den Kasten- oder Rippenelementen gemäß der Ziffern 3.2.4 und 3.2.5 sind. Die Bewertung lässt den Schluss zu, dass Brettstapel – und Leimholz-Elemente die meisten Vorteile auf sich vereinen, und dies besonders bei Spannweiten bis 5,50 m bzw. 6,00 m. Benötigt man Elemente mit Spannweiten von über 6,00 m bzw. sind erhöhte Schallschutzanforderungen gefragt, ist der Einsatz von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen zu empfehlen.

Genagelte oder verleimte Brettstapel-Elemente sind einzusetzen bei Spannweiten bis 6,00 m und gleichzeitigen Anforderungen an den Trittschallschutz nach DIN 4109 (Mindestschallschutz). Diese Elemente sind kostengünstig und bieten die beschriebenen Vorteile von Massivholzkonstruktionen. Ein weiterer positiver Aspekt für den Einsatz von Brettstapel-Elementen ist die Herstellung von Akustikelementen ohne Mehrkosten. Diese bieten darüber hinaus auch gestalterische Vorteile.

Holz-Beton-Verbundkonstruktionen sind bei Spannweiten über 6,00 m bzw. bei Anforderungen an den Trittschallschutz nach DIN 4109 Beiblatt 2 (erhöhter Schallschutz) zu verwenden. Da diese Elemente Brettstapel-Elemente mit zusätzlichem Aufbeton in der Druckzone des Deckenelementes sind, bieten sie sämtliche vorgenannten Vorteile. Der Einsatz von Aufbeton als „aktives“ Bauteil sorgt zugleich für eine Verbesserung des Trittschallschutzes und eine Erhöhung der Feuerwiderstandsdauer.

Wenn die zu erreichenden Parameter im konkreten Einsatzfall feststehen, kann definitiv abgesehen werden, ob Brettstapel-Elemente mit oder ohne Aufbeton wirtschaftlicher sind.

3.6 Zusammenfassung

Der Vorteil aller beschriebenen Deckensysteme liegt im hohen Grad der Vorfertigung und damit in der Verkürzung der Bauzeit, was je nach Baumaßnahme zu erheblichen Kosteneinsparungen führt. Bei der Betrachtung der einzelnen Deckensysteme sind Unterschiede in der Konstruktion der Elemente und dem zur Erzielung der erforderlichen Parameter notwendigen Fußbodenaufbau vorhanden. Entsprechend dem Einsatzgebiet bzw. Anwendungsfall sind die Vor- und Nachteile des jeweiligen Systems zu beachten.

Das wesentliche Ziel dieser Arbeit war die Erstellung eines Leitfadens für die Anwendung vorgefertigter flächiger Holzbausysteme, der dem Architekten bei der Auswahl eines Systems für den jeweils speziellen Anwendungsfall eine Entscheidungshilfe bietet. Dazu sind die Systeme einiger namhafter Hersteller mit Ihren Eckdaten in dieser Arbeit zusammengestellt. Sechs dieser Systeme wurden an konkreten Anwendungsfällen im Wohnungsbau miteinander verglichen. Dabei standen die folgenden Fragen im Mittelpunkt:

1. Erfüllen Deckenkonstruktionen aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen alle im Wohnungsbau einzuhaltenden Parameter?

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass einige dieser Konstruktionen die notwendigen Parameter voll und ganz erfüllen, andere nur bedingt. Es hat sich erwiesen, dass Massivholzkonstruktionen wie Brettstapel- und Leimholz-Elemente bei den untersuchten Anwendungsfällen mehr Vorteile auf sich vereinen als die Elemente aus zusammengesetzten Querschnitten.

Weitere Vorteile von Deckenelementen aus Holz, wie beispielsweise bei Durchdringungen der Außenhülle und der damit einhergehenden Problematik von Kältebrücken, bestehen außerdem. Gerade hier bieten Holzkonstruktionen entscheidende Kostenvorteile gegenüber Betondecken, bei denen an diesen Stellen ISO-Körbe bzw. Zusatzdämmungen vorgesehen werden müssen. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass bei den untersuchten Decken lediglich die Anwendungsfälle Typ 1 bis Typ 5 für einen Einfeldträger untersucht wurden.

2. Sind Deckenkonstruktionen aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Konstruktionen aus Beton?

Beim Vergleich der Holzbausysteme wurde bewusst ein Betonfertigteile in die Betrachtung einbezogen. Bei geringen Spannweiten entsprechen die Kosten für Massivholzelemente wie Brettstapel und Leimholz in etwa denen der Betonfertigteile. Bei größeren Spannweiten sind die Betonfertigteile kostengünstiger. Dies wird allerdings von der teureren Wand- und Fundamentkonstruktion relativiert. Untersuchungen hierzu wurden innerhalb dieser Arbeit nicht durchgeführt.

Bei den Kosten für die Holzelemente verhält es sich ebenso wie bei der Betrachtung der technischen Parameter. Auch hier sind es die Massivholzkonstruktionen, die am kostengünstigsten einsetzbar sind.

Als Ergebnis der Arbeit ist festzustellen, dass sich nicht mit allen vorgefertigten flächigen Holzelementen alle gestellten Parameter der verschiedenen Deckentypen erfüllen lassen. Bezeichnend ist, dass mit den preiswerteren Konstruktionen wie Brettstapel- und Leimholz-Elementen alle geforderten Parameter -auch die des erhöhten Schallschutzes- erfüllt werden. Preisintensivere Elemente erfüllen nur mit ebenfalls teuren Fußbodenaufbauten oder sogar nur unter Hinzurechnung eines weich federnden Belages die geforderten Trittschallwerte.

Ebenso können Kombinationen der bewerteten Holzbausysteme in einem Gebäude vorteilhaft eingesetzt werden. Es ist möglich, die hier untersuchten Deckenelemente aus zusammengesetzten Querschnitten, wie beispielsweise Lignatur-Elemente, als Dachdecken einzusetzen. Die Vorteile in Bezug auf geringe Konstruktionshöhe und geringes Gewicht werden damit genutzt. Die Nachteile der schlechten Trittschalldämmung kommen bei diesem Einsatzgebiet nicht zum Tragen.

3. Bieten Decken aus vorgefertigten flächigen Holzbausystemen gestalterischen Spielraum?

Eine Möglichkeit bei der Gestaltung von Deckenuntersichten ist die Verwendung verschiedener Holzarten. Allerdings gibt es hier Einschränkungen bei den Herstellern. Der Standardfall ist die Verwendung von Fichten- und Tannenholz, aber auch astfreie Weißtanne und Lärche werden angeboten. Sonderwünsche sind in der Regel gegen Mehrpreis lieferbar. Einzelheiten müssen je nach Anwendungsfall mit dem Hersteller abgestimmt werden.

Eine weitere Möglichkeit der Gestaltung ist die Profilierung der Deckenuntersicht. Dies geschieht in der Regel durch Fasen oder Schlitze zwischen den Elementlamellen. Die Anordnung von Schlitzen zwischen den Brettlamellen führt zu einem gleichmäßigen Fugenbild, welches sich in der Folge von Trocknung (Einstellung der Holzausgleichsfeuchte) einstellt.

Nicht zuletzt bieten Farben und Lasuren, auf die in dieser Arbeit nicht eingegangen wurde, großen gestalterischen Spielraum.

Zur Erreichung einer homogenen Deckenuntersicht -analog einer Betondecke- können Holzbaudeckensysteme natürlich auch mit Gipskarton- oder Gipsfaserplatten bekleidet werden. Hierdurch lassen sich Trittschallwerte verbessern und die Elementpreise durch Verwendung von nicht oberflächenfertigen Elementen senken.

3.7 Ausblick - Vorschläge zur Weiterentwicklung

Da bei den Untersuchungen in dieser Arbeit die massiven Querschnitte bei vorgefertigten flächigen Holzbausystemen die meisten Vorteile bieten, ist eine Weiterentwicklung dieser Systeme sinnvoll. Entsprechend der Bewertung im Abschnitt 3.5 stellen sich auch Nachteile der massiven Systeme heraus. An dieser Stelle muss eine Weiterentwicklung ansetzen.

Ein Nachteil der Leimholz-Elemente liegt in der ungleichmäßigen Fugenausbildung infolge der Einstellung der Holzausgleichsfeuchte der Elemente im Innenbereich. Da sich eine Fuge nur zwischen den Elementen einstellen kann, kommt es optisch zur klaren Abgrenzung der einzelnen Elemente.

Ein Lösungsansatz wäre, die Elemente vor dem Einbau bis unterhalb der zu erwartenden Holzausgleichsfeuchte zu trocknen. Eine zweite Möglichkeit besteht in der Verwendung so genannter Akustikelemente. Die Schlitzfräslungen an der Unterseite zwischen den Brettlamellen sorgen dabei neben verbesserter Schallabsorbierung für ein gleichmäßiges Fugenbild der Deckenuntersicht.

Der wesentlichere Punkt jedoch, an dem eine Weiterentwicklung ansetzen muss, ist die Verringerung der Durchbiegung der Massivholzelemente. Damit könnten bei gleicher Spannweite niedrigere Querschnitte, die wegen der geringeren Holzmasse dann auch preiswerter sind, eingesetzt werden.

Für diese Verbesserung gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Die Ertüchtigung der Druckzone an der Elementoberseite. Diese Möglichkeit wird bereits durch die in die Betrachtungen dieser Arbeit einbezogenen Holz-Beton-Verbundelemente realisiert.
2. Die Aufnahme des Zuges an der Elementunterseite durch Materialien, die eine größere Zugfestigkeit als Holz aufweisen und mit dem Element kraftschlüssig verbunden werden.

Forschungen hierzu wurden beispielsweise an der TU Dresden mit textilen Strukturen durchgeführt. Hierzu gibt es einen sehr ausführlichen Abschlußbericht von Ende 2003. [14] Inhalt der Untersuchungen waren in LenoTec-Elemente eingeklebte textile Strukturen. Also in Elemente, die aus flach liegenden, kreuzweise verleimten Brettlagen bestehen.

Ebenfalls Forschungen zum Thema Faserverbundwerkstoffe im Holzbau werden an der Universität Graz durchgeführt. [59] Inhalt ist hier die Ertüchtigung von Leimholzbalken durch Faserverstärkung der Zugzone bei gleichzeitiger Verwendung von Holz höherer Druckfestigkeit in der Druckzone. Hierbei besteht eine Analogie zum Teil 1 der Arbeit im Zusammenhang mit den Ausführungen des Dresdner Baukonstruktionsprofessors Theodor Böhm von 1911. [4]

Da Leimholz- und Brettstapel-Elemente, entgegen der mit Faserverstärkung untersuchten LenoTec-Elemente, aus senkrecht angeordneten Lamellen bestehen und somit keine durchgehende horizontale Fuge haben, ist das Einbetten textiler Strukturen in die Elementfläche nicht möglich. Hierfür sind weitere Forschungen notwendig, beziehungsweise andere Verstärkungsvarianten zu untersuchen.

Eine interessante Möglichkeit der Verbesserung von Brettstapel- und Leimholz-Elementen ist sicherlich die Verwendung von verdichtetem Holz. Wie Untersuchungen von Prof. Haller (TU Dresden) ergaben, erhöhen sich die Festigkeitswerte der verdichteten Hölzer erheblich. Bei dieser thermomechanischen Behandlung wird das Holz bis zum Erreichen der Erweichungstemperatur des Lignins erhitzt und dann unter einer Presse verdichtet. Eine Erhitzung über 200°C bewirkt außerdem eine Zunahme der biologischen Resistenz. [15]

Neueste Untersuchungen an Holz-Beton-Verbunddecken -hier konkret Brettstapeldecken mit Aufbeton- von Prof. Rautenstrauch (Bauhaus-Universität Weimar) zielen durch den Entfall von zusätzlich einzubauenden Koppelgliedern zwischen Brettstapel und Aufbeton stark auf eine Kostenreduzierung und damit Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit dieser Decken gegenüber anderen Systemen ab. Dabei werden zurzeit noch verschiedene Deckschichten, u. a. Zementestrich und Anhydrite, unter verschiedenen Bedingungen des Flächenverbundes untersucht. [42]

Eine andere, sehr interessante Methode zur Bewehrung bzw. Vorspannung von Holzträgern ist der Einsatz von Stabstahl als Zugglied. Diese Holz-Stahl-Verbundkonstruktion ermöglicht eine Einsparung von einem Drittel bis zur Hälfte der Holzmasse. [43][35] Eine Übertragung dieser Methode von Balken auf Platten scheint möglich, wird aber in der Praxis derzeit nicht angewendet und muss weitergehend untersucht werden.

Eine ähnlicher Ansatz zur Verbesserung von Brettstapel-Elementen könnten vertikal angeordnete Stahlblechsteifen zwischen den Holzlamellen sein. Mit der gleichen Höhe wie die Elemente wären sie gegen ein Ausweichen um die schwache Achse durch die miteinander verdübeln oder vernagelten Brettlamellen gehalten. Zu untersuchen ist bei dieser Ertüchtigungsvariante die kraftschlüssige Verbindung zwischen Lamelle und Stahlblechstreifen. Eine zackenförmige Perforierung wie beispielsweise bei Einpressdübeln ist denkbar. Je nach Spannweite und Belastung kann die Anzahl der Stahlblechstreifen variiert werden. Die Verarbeitung der Stahlblechstreifen auf Brettstapel-Nagelautomaten ist nach Rücksprache mit den Herstellern dieser Maschinen möglich. Bei verdübelten Elementen sind Löcher für die einzutreibenden Buchestabdübel vorzusehen bzw. gleichzeitig mit den Bohrungen in den Lamellen herzustellen. Das Paket mit den Brettlamellen und den zwischen gelegten Stahlblechstreifen ist vor dem Eintreiben der Buchestabdübel zusammenzupressen, damit sich eine kraftschlüssige Verbindung der zackenförmigen Perforierung an den Stahlblechstreifen mit den Brettstapel-lamellen ergibt. Bei vernagelten Elementen ist ebenso zu verfahren.

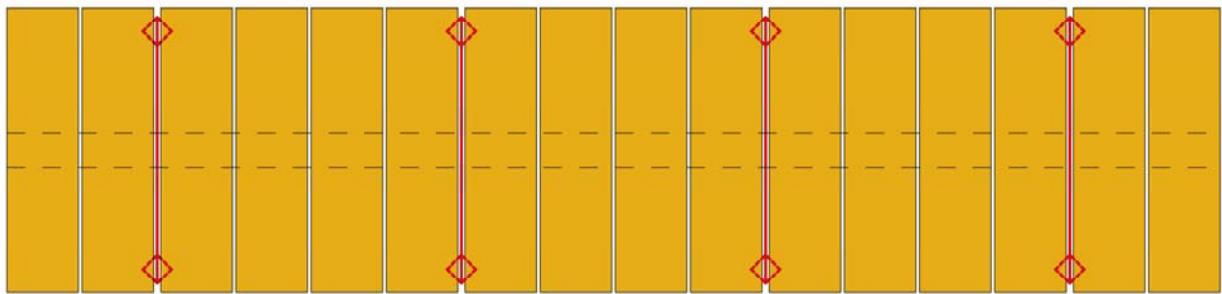


Abb. 119 Vorschlag zur Verbesserung von Brettstapel-Elementen mit eingearbeiteten Stahlblechstreifen (rot dargestellt) (eigene Darstellung)

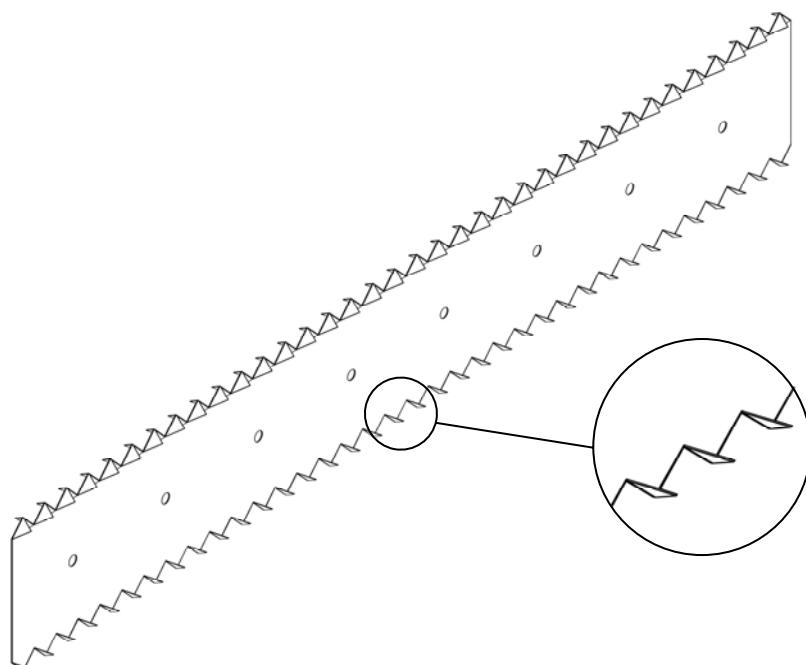


Abb. 120 Isometrie der vorgeschlagenen Stahlblechstreifen (eigene Darstellung)

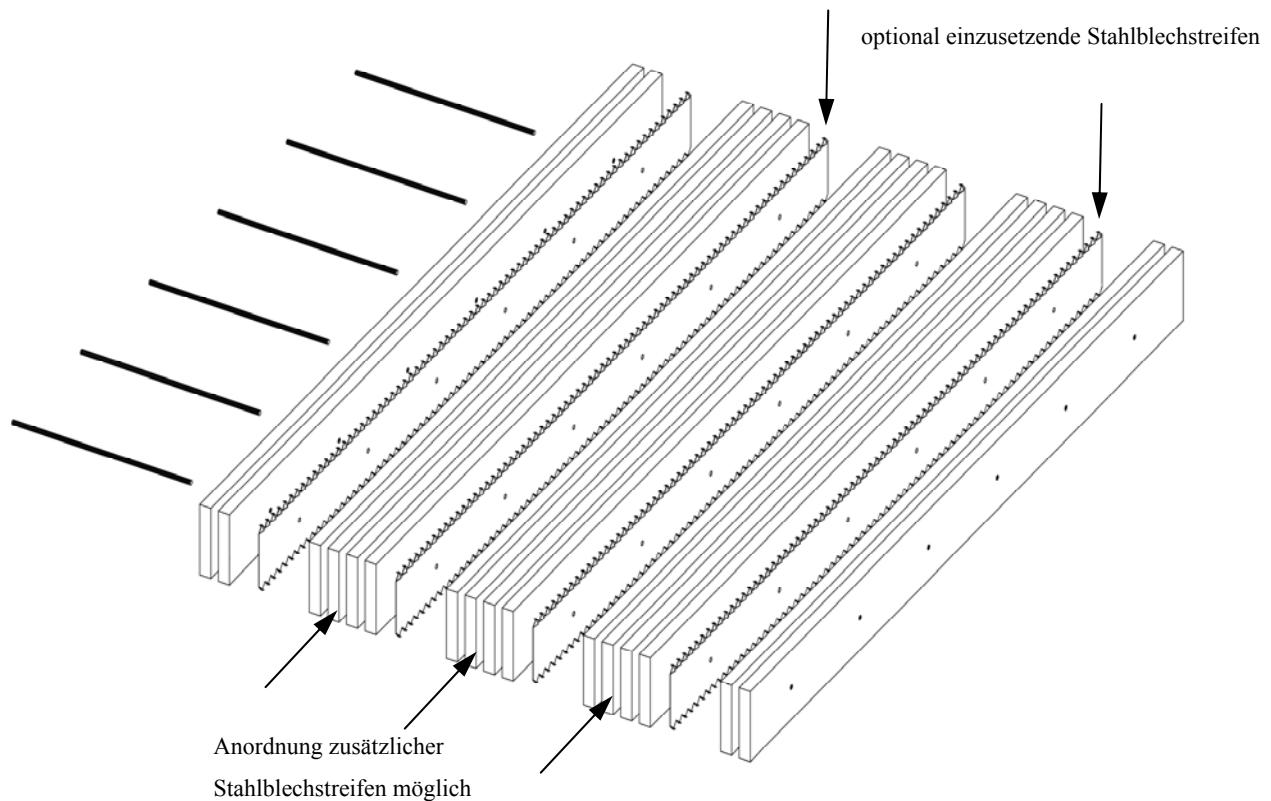


Abb. 121 Explosions-Isometrie eines mit Stahlblechstreifen verbesserten Brettstapel-Elementes (eigene Darstellung)

Ob die Einsparung an Holzmasse gegenüber den Kosten für die Ertüchtigung der Elemente mit Bewehrungsstahl, Stahlblechstreifen o. ä. wirtschaftlich ist, muss ebenfalls noch geprüft werden. Hier sollten weitergehende Untersuchungen ansetzen.

Anlage 1 – Kosten Fußbodenaufbau – Estrichleger

(Preise in €/m² netto)

Nr.	Position	Bieder 1 - Fa. Böckers	Bieder 2 - Fa. Quadrius	Bieder 3 - Fa. Krümmer	Mittelpreis
1.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s' < 5 MN/m³ • 50 mm geglühter Sand eben abgezogen • Rieselschutzpapier 	23,50	31,50	22,05	25,68
2.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s' < 5 MN/m³ • 30 mm geglühter Sand in Estrichwabe • Rieselschutzpapier 	21,50	27,50	20,33	23,11
3.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Holzelementdecke (Lignotrenddecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s' < 5 MN/m³ • 15 mm Gutex Standard Natur • 60 mm Kalksplitt in Deckenhohlräume füllen (60% der Deckenfläche) 	24,95	37,50	22,65	28,37

Nr.	Position	Bieder 1 - Fa. Böckers	Bieder 2 - Fa. Quadrius	Bieder 3 - Fa. Krümmer	Mittelpreis
4.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Mineralfaser-Trittschalldämmplatte 15/13 • 1 Lage PE Folie 	14,75	14,50	16,05	15,10
5.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeledecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s'< 5 MN/m³ • 65 mm getrockneter Kies 4/8 • Rieselschutzpapier 	24,95	23,80	23,76	24,17
6.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s'< 5 MN/m³ • Betonplatten 30x30x4 cm, lose u. vollflächig ausgelegt • Rieselschutzpapier 	49,75	47,50	24,09	40,45
7.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Holzelementdecke (Lignotrenddecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s'< 5 MN/m³ • 15 mm Gutex Standard Natur • 160 mm Kalksplitt in Deckenhohlräume füllen (F=60%) 	24,95	48,50	31,89	35,11

Nr.	Position	Bieder 1 - Fa. Böckers	Bieder 2 - Fa. Quadrius	Bieder 3 - Fa. Krümmer	Mittelpreis
8.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d= 50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 40/35, $s' < 5 \text{ MN/m}^3$ • 50 mm geglühter Sand eben abgezogen auf • Rieselschutzpapier 	23,50	33,50	22,38	26,46
9.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d=50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, $s' < 5 \text{ MN/m}^3$ • Betonplatten 30x30x6 cm, lose vollflächig ausgelegt • Rieselschutzpapier 	49,75	51,50	24,09	41,78
10.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d=50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, $s' < 5 \text{ MN/m}^3$ • 80 mm getrockneter Kies 4/8, zwischen aufzuschraubenden Kanthölzern 40/80, im Raster von 1 x 1 m als Schutz gegen verrutschen • Rieselschutzpapier 	39,75	35,50	24,62	33,29

Nr.	Position	Bieder 1 - Fa. Böckers	Bieder 2 - Fa. Quadrius	Bieder 3 - Fa. Krümmer	Mittelpreis
11.	Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke): <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE 20, d=50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s'< 5 MN/m³ • Rieselschutzpapier 	15,95	15,50	17,10	16,18
12.	Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke): <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d=50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s'< 10 MN/m³ • Rieselschutzpapier 	15,95	18,50	17,10	17,18
13.	Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke): <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d=50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 35/30, s'< 15 MN/m³ • Rieselschutzpapier 	15,95	21,50	17,10	18,18
14.	Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke): <ul style="list-style-type: none"> • Zementestrich ZE20, d=50mm • 1 Lage PE Folie • Trittschalldämmung Mineralwolle 40/35, s'< 5 MN/m³ • Rieselschutzpapier 	16,60	16,10	16,80	16,50

Anlage 2 – Kosten Fußbodenaufbau – Trockenbau

(Preise in €/m² netto)

Nr.	Position	Bieter 1 - Fa. Riebisch	Bieter 2 - Fa. Pfau & Weber	Bieter 3 - Fa. Neuhaus	Mittelpreis
1.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Best-Estrichelement (stirnseitig verklebt) d=20 mm • Kraftpapier als Trennlage • Trittschalldämmung Isover Akustic EP2, 25 mm • Fermacell Wabenschüttung in Estrichwabe, 60 mm • Kraftpapier als Rieselschutz 	59,85	45,00	70,18	58,34
2.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau einer malerfertigen Unterdecke an eine Massivholzdecke, bestehend aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lattenrost mit Federbügeln, e= 41,6 cm • 1 Lage GKB, d=18 mm 	33,25	23,00	27,80	28,02
3.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Holz-Beton-Verbunddecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fermacell-Estrichelement, 2x12,5 mm • 40 mm Holzweichfaserplatte • PE-Folie als Trennlage 	30,51	36,00	39,40	35,30

Nr.	Position	Bieder 1 - Fa. Riebisch	Bieder 2 - Fa. Pflau & Weber	Bieder 3 - Fa. Neuhaus	Mittelpreis
4.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fermacell-Estrichelement, 2x12,5 mm • 60 mm Holzweichfaserplatte • PE-Folie als Trennlage 	38,87	39,00	45,20	41,02
5.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau des folgenden Fußbodenaufbaus auf eben verlegte Massivholzdecke (Brettstapeldecke):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Best-Estrichelement (strirnseitig verklebt) d=20 mm • Kraftpapier als Trennlage • Best-Estrichelement (mit 5 mm Lücke verlegt), d=20 mm • Trittschalldämmung Isover Akustic EP1, 30 mm • Fermacell Wabenschüttung in Estrichwabe, 60 mm • Kraftpapier als Rieselschutz 	74,26	56,00	102,70	77,65
6.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau einer malerfertigen Unterdecke an eine Massivholzdecke, bestehend aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • direkt auf die Massivholzdecke befestigten GK-Feuerschutzplatten, 2x12,5 mm 	14,85	25,00	13,20	17,68
7.	<p>Liefern und fachgerechter Einbau einer malerfertigen Unterdecke an eine Massivholzdecke, bestehend aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • direkt auf die Massivholzdecke befestigter Lage aus GK-Feuerschutzplatte, 1x12,5 mm 	8,15	18,00	6,80	10,98

Anlage 3 - Kosten Leimholz-Elemente

(Preise in €/m² netto)

Elementstärke in mm	Preis in €/m ² - eine Sichtseite	Preis in €/m ² - keine Sichtseite
100	39,50	37,50
120	47,40	45,00
140	55,30	52,50
160	63,20	60,00
180	71,10	67,50
200	79,00	75,00
220	86,90	82,50
240	94,80	90,00
260	111,80	106,60
280	120,40	114,80

Die Angaben stammen von:

Holzwerke Ladenburger GmbH & Co. KG
 Zur Walkmühle 1-5
 D-73441 Aufhausen

Abfragedatum: I/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk ohne Transport, ohne Montage
- abgefragte Menge 100 m²
- inklusive einfachem Abbund ohne Schrägschnitte

Anlage 4 - Kosten Brettstapel-Elemente

(Preise in €/m² netto)

Elementstärke in mm	Preis in €/m ² - eine Sichtseite	Preis in €/m ² - keine Sichtseite
80	44,46	35,84
100	50,58	39,80
120	56,70	43,76
140	62,81	47,72
160	68,93	51,68
180	75,04	55,64
200	81,16	59,60
220	87,28	63,56
240	93,39	67,52
260	99,39	73,52

Die Angaben stammen von:

Merkle GmbH
 Fabrikstraße 31
 D-73266 Bissingen/Teck

Abfragedatum: I/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk ohne Transport, ohne Montage
- abgefragte Menge 100 m²
- inklusive einfachem Abbund ohne Schrägschnitte
- vernagelt Elemente mit keilgezinkten Lamellen

Anlage 5 - Kosten Leno Tec Elemente

(Preise in €/m² netto)

Elementstärke in mm	Preis in €/m ² - eine Sichtseite	Preis in €/m ² - keine Sichtseite
105	83,00	67,00
115	85,00	k. A.
125	87,00	71,00
135	89,00	73,00
162	102,00	86,00
169	111,00	95,00
189	115,00	99,00
196	124,00	k. A.
216	128,00	112,00
243	141,00	125,00
257	160,00	145,00
267	162,00	k. A.
297	169,00	k. A.

k. A. – keine Angabe – Kosten dieser Elemente waren im Zuge der Auswertung nicht erforderlich, da nur sichtbare Elemente verwendet wurden.

Die Angaben stammen von:

Finnforest Merk GmbH
Industriestraße 2
D-86551 Aichach

Abfragedatum: I/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk ohne Transport, ohne Montage
- abgefragte Menge 100 m²
- inklusive einfachem Abbund ohne Schrägschnitte

Anlage 6 - Kosten Lignotrend-Elemente

(Preise in €/m² netto)

Elementstärke in mm	Preis in €/m ² - eine Sichtseite	Preis in €/m ² - keine Sichtseite
140	89,00	80,00
160	94,00	85,00
180	100,00	91,00
200	105,00	96,00
220	112,00	103,00
240	118,00	109,00
260	124,00	115,00
280	130,00	121,00

Die Angaben stammen von:

Lignotrend AG
 Landstrasse 25
 D-79809 Weilheim-Bannholz

Abfragedatum: I/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk, ohne Transport, ohne Montage
- abgefragte Menge 100 m²
- inklusive einfachem Abbund (ohne Schrägschnitte)

Anlage 7 - Kosten Lignatur-Flächenelemente

(Preise in €/m² netto)

Elementstärke in mm	Preis in €/m² - keine Sichtseite F 0	Preis in €/m² - eine Sichtseite F 30B silence	Preis in €/m² - eine Sichtseite F 60B silence
120	62,00	103,00	wird nicht hergestellt
140	66,00	107,00	wird nicht hergestellt
160	69,00	110,00	125,00
180	71,00	112,00	127,00
200	74,00	115,00	130,00
220	77,00	118,00	133,00
240	80,00	121,00	136,00
280	91,00	132,00	147,00
320	94,00	137,00	152,00

silence: zusätzliche Beschwerung in den Deckenhohlräumen zur Verbesserung des Schallschutzes - bereits im Werk eingebaut

Die Angaben stammen von:

Lignatur AG
Landstrasse 25
D-79809 Weilheim-Bannholz

Abfragedatum: I/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk, ohne Transport, ohne Montage
- abgefragte Menge 100 m²
- inklusive einfachem Abbund (ohne Schrägschnitte)

Anlage 8 – Kosten Holz-Beton Elemente

(Preise in €/m² netto)

Spannweite bei Fußboden- aufbau und Verkehrslast bis 2,36 kN/m²	Elementstärke in mm	Preis in €/ m² - eine Sichtseite F90B <small>(lt. Herstellerangabe je nach Be- wehrungsgrad)</small>
3,00	160	119,00
3,50	160	114,00
4,00	160	110,00
4,50	160	108,50
5,00	160	106,00
5,50	160	103,00
6,00	160	99,00
6,50	200	110,00
7,00	200	108,00
7,50	250	115,00

Die Angaben stammen von:

Dieter Römmelt GmbH Co. KG
Wachtküppelstrasse 10
D-36163 Poppenhausen (Wasserkuppe)

Abfragedatum: II/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk, ohne Transport, ohne Montage
- inklusive einfachem Abbund ohne Schrägschnitte
- inklusive werksseitig aufgebrachtem Druckbeton
- abgefragte Menge 100 m²

Anlage 9 – Kosten Dennert DX-Vollplatten-Betonelemente

(Preise in €/m² netto)

Elementstärke in mm	Spannweite in m	Preis in €/m ² - F 30B	Preis in €/m ² - F 60B
200	4,50	50,70	54,30
200	5,50	52,70	56,30
200	6,00	57,00	60,60
240	7,00	59,90	63,50
240	7,50	63,70	67,30

Die Angaben stammen von:

Veit Dennert KG
 Veit-Dennert-Straße 7
 D-96132 Schüselfeld

Abfragedatum: I/2005

Die Randbedingungen zu den angegebenen Kosten sind:

- Nettopreise ab Werk, ohne Transport, ohne Montage
- abgefragte Menge 100 m²

Anlage 10 - Ausführungsbeispiele geprüfter Gesamtdeckenaufbauten

(Abbildung übernommen aus dem Holzbau Handbuch des Informationsdienstes Holz Reihe 3, Teil 3, Folge 3)

Empfehlungen für Deckenaufbauten in Einfamilienhäusern ($L'_{n,w} \leq 56 \text{ dB}$; $R'_{w} \geq 50 \text{ dB}$)						
Schnitt	Konstruktion		$L'_{n,w}$	R'_{w}	Dicke	Kosten in %
Nr. 1	50 mm Zementestrich ($m' = 115 \text{ kg/m}^2$) 35/30 mm MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) 22 mm Verlegespanplatte 220 mm Balken ^① 100 mm Hohlraumdämmung ^② 24 mm Lattung ^③ 12,5 mm Gipskartonplatte ^⑤		56 dB	> 50 dB	35,9 cm	100 %
Nr. 2	25 mm GKB ($m' = 25 \text{ kg/m}^2$) ^⑥ 22/20 mm MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 22 \text{ MN/m}^3$; Typ: TK) 22 mm Verlegespanplatte 220 mm Balken ^① 100 mm Hohlraumdämmung ^② 27 mm Federschiene ^④ 12,5 mm Gipskartonplatte ^⑤ 12,5 mm Gipskartonplatte ^⑤		56 dB	> 50 dB	33,9 cm	131 %
Nr. 3	22 mm Zementgebundene Spanplatte ($m' = 27,5 \text{ kg/m}^2$) 23/20 mm MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$; Typ: TK) 30 mm trockene Schüttung ^⑦ ($m' = 45 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier 22 mm Verlegespanplatte 220 mm Balken ^① 100 mm Hohlraumdämmung ^② 24 mm Lattung ^③ 12,5 mm Gipskartonplatte ^⑤		56 dB	> 50 dB	35,1 cm	141 %

Empfehlungen für Deckenaufbauten in Einfamilienhäusern ($L'_{n,w} \leq 56 \text{ dB}$; $R'_{w} \geq 50 \text{ dB}$)						
Schnitt	Konstruktion		$L'_{n,w}$	R'_{w}	Dicke	Kosten in %
Nr. 4	50 mm 35/30 mm 30 mm 12 mm 28 mm 220 mm	Zementestrich ($m' \approx 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m' \approx 45 \text{ kg/m}^2$) Sperrholz Sichtschalung, Nut und Feder Balken ^①	55 dB	> 50 dB	37,0 cm	113 %
Nr. 5	18 mm 60 mm 60 mm 22 mm 220 mm	OSB-Verlegeplatte Zelluloseplatten zwischen Holzweichfaserstreifen ^⑨ Betonplatten ^⑧ ($30 \times 30 \times 6 \text{ cm}$, $m' \approx 150 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^①	56 dB	> 50 dB	38,0 cm	141 %
Nr. 6	50 mm 35/30 mm 30 mm 120 mm	Zementestrich ($m' = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m' \approx 45 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Brettstapeldecke, genagelt	56 dB	> 50 dB	23,0 cm	135 %
Nr. 7	50 mm 35/30 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Zementestrich ($m' = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Federschiene ^④ Gipskartonplatte ^⑤	50 dB	> 54 dB	36,2 cm	109 %
Nr. 8	50 mm 25/20 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Zementestrich ($m' = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$; Typ T) Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Federschiene ^④ Gipskartonplatte ^⑤	52 dB	> 54 dB	35,2 cm	107 %
Nr. 9	25 mm 13 mm 40/38 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Gußasphalt auf Rippenpappe Abdeckplatte MF-Trittschalldämmplatte ^② ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$; Typ TK) Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Federschiene ^④ Gipskartonplatte ^⑤	53 dB	> 54 dB	34,8 cm	118 %

Empfehlungen für Deckenaufbauten in Einfamilienhäusern ($L'_{n,w} \leq 56 \text{ dB}$; $R'_{w} \geq 50 \text{ dB}$)						
Schnitt	Konstruktion		$L'_{n,w}$	R'_{w}	Dicke	Kosten in %
Nr. 10	50 mm 22/20 mm 40 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Zementestrich ($m = 115 \text{ kg/m}^2$) HWF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$) trockene Schüttung ^⑦ ($m = 60 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Federschiene ^④ Gipskartonplatte ^⑤	50 dB	> 54 dB	39,2 cm	137 %
Nr. 11	50 mm 25/20 mm 30 mm 22 mm 220 mm 100 mm 24 mm 12,5 mm	Zementestrich ($m \approx 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 8 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m = 45 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Lattung ^③ Gipskartonplatte ^⑤	53 dB	> 54 dB	37,9 cm	121 %
Nr. 12	22 mm 23/20 mm 40 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Verlegespanplatte MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$; Typ TK) trockene Schüttung ^⑦ ($m = 60 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Federschiene ^④ Gipskartonplatte ^⑤	53 dB	> 54 dB	36,4 cm	135 %
Nr. 13	22 mm 20 mm 60 mm 40 mm 40 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Dielenboden Lagerholz Holzweichfaserstreifen ^⑨ dazwischen: Zelluloseplatten und Quarzsand ($m = 60 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^① Hohlräumdämmung ^② Federschiene ^④ Gipskartonplatte ^⑤	53 dB	> 54 dB	38,4 cm	143 % (ohne Dielen)
Nr. 14	50 mm 35/30 mm 50 mm 12 mm 28 mm 220 mm	Zementestrich ($m \approx 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m = 75 \text{ kg/m}^2$) Sperrholz Sichtschalung, Nut und Feder Balken	53 dB	> 54 dB	39,0 cm	121 %
Nr. 15	50 mm 35/30 mm 50 mm 120 mm	Zementestrich ($m \approx 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m = 75 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Brettstapeldecke, genagelt	51 dB	> 54 dB	26,2 cm	143 %
Nr. 16	50 mm 35/30 mm 40 mm 140 mm	Zementestrich ($m = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) Betonplatten ^⑧ ($30 \times 30 \times 4 \text{ cm}$, $m' \approx 100 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Brettstapeldecke, genagelt	52 dB	> 54 dB	26,0 cm	154 %

Empfehlungen für Deckenaufbauten in Einfamilienhäusern ($L'_{n,w} \leq 56 \text{ dB}$; $R'_{w} \geq 50 \text{ dB}$)						
Schnitt	Konstruktion		$L'_{n,w}$	R'_{w}	Dicke	Kosten in %
Nr. 17	50 mm 20/15 mm 30 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Zementestrich ($m = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 10 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m = 44 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^④ Hohlräumdämmung ^② Federschiene Gipskartonplatte ^⑤	44 dB	> 55 dB	37,7	129 %
Nr. 18	22 mm 23/20 mm 50 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	Zementgebundene Spanplatte MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 20 \text{ MN/m}^3$; Typ T) trockene Schüttung ^⑦ ($m \approx 75 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutzpapier Verlegespanplatte Balken ^④ Hohlräumdämmung ^② Federschiene Gipskartonplatte ^⑤	46 dB	> 55 dB	37,4 cm	154 %
Nr. 19	18 mm 60 mm 60 mm 22 mm 220 mm 100 mm 27 mm 12,5 mm	OSB-Verlegeplatte Zelluloseplatten zwischen Holzweichfaserstreifen ^⑨ Betonplatten ^⑧ ($30 \times 30 \times 6 \text{ cm}$, $m' = 150 \text{ kg/m}^2$) Verlegespanplatte Balken ^④ Hohlräumdämmung ^② Federschiene Gipskartonplatte ^⑤	46 dB	> 55 dB	42,0 cm	159 %
Nr. 20	50 mm 35/30 mm 80 mm 140 mm	Zementestrich ($m = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) getrockneter Kies ^⑦ ($m \approx 144 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutz Brettstapeldecke, genagelt	46 dB	> 55 dB	30,0 cm	161 %
Nr. 21	50 mm 35/30 mm 60 mm 140 mm 45 mm 12,5 mm	Zementestrich ($m = 115 \text{ kg/m}^2$) MF-Trittschalldämmplatten ^② ($s' \leq 5 \text{ MN/m}^3$; Typ T) Betonplatten ^⑧ ($30 \times 30 \times 6 \text{ cm}$, $m' = 150 \text{ kg/m}^2$) Rieselschutz Brettstapeldecke, genagelt Lattung (24x48 mm) mit Federbügel; Achsabstand $e \geq 41,5 \text{ cm}$ Gipskartonplatten ^⑤	44 dB	> 55 dB	33,8 cm	169 %

- ① Tragendes Bauteil, Dimensionierung nach Statik:
 - Balken aus Vollholz oder Brettschichtholz; Mindestabmessungen $60 \times 200 \text{ mm}$; Achsabstand $e \geq 62,5 \text{ cm}$
 - Brettstapellelemente; Mindestdicke 120 mm; Breitbreite 30 – 60 mm; genagelt
- ② Faserdämmstoff nach DIN 18 165
 - Mineralfaser Trittschalldämmplatte; der angegebenen dynamischen Steifigkeit s' ; Typ T: für Zementestrich; Typ TK: für Trockenestrich und Gußasphalt
 - Hohlräumdämmstoff aus Mineralwolle, Zelluloseplatten, Baumwoll- oder Schafwollmatten; längenbezogener Strömungswiderstand $r \geq 5 \text{ kN s/m}^4$
- ③ Lattung 24 x 48 mm; Achsabstand $e \geq 41,5 \text{ cm}$
- ④ Knauf-Federschiene 27 x 60 mm; Achsabstand $e \geq 41,5 \text{ cm}$
- ⑤ Gipskartonplatte nach DIN 18 180; alternativ auch 10 mm Gipsfaserplatte
- ⑥ Trockenestrichelemente aus Gipskartonplatten, alternativ auch aus Gipsfaserplatten
- ⑦ Schüttgut mit Rohdichte $\rho \geq 1500 \text{ kg/m}^3$; Restfeuchte $\leq 1,8 \%$; mit Schutz gegen Verrutschen

- Beispiele:
- geglühter Quarzsand in Pappwaben (Waben 30 mm Bezug bei [26])
 - geglühter Quarzsand in Lattengitter (Lattenabmessung nach Schütt Höhe); Feldgröße ca. $80 \times 80 \text{ cm}$
 - Sandmatten (Höhe pro Matte 17 mm; Bezug bei [27])
 - getrockneter Splitt mit Latexmilch gebunden (System [28])
- durch den Einsatz von trockenem Kies ($\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$) oder Barytsand ($\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$) kann die Schütt Höhe entsprechend reduziert werden.
- ⑧ Betonplatten mit Rohdichte $\rho \geq 2500 \text{ kg/m}^3$; Restfeuchte $\leq 1,8 \%$; auf Rohdecke verklebt oder in Sandbett gelagert; alternativ sind auch KS-Steine, Vollziegel oder Lehmziegel möglich (die benötigte Höhe resultiert aus der jeweiligen Rohdichte)
- ⑨ Trockenestrichsysteme [30]
- ⑩ gewalzte Holzweichfaser Trittschalldämmplatte [29]

**Anlage 11 – Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit
nach DIN 1052 (4/88)**

(siehe Anlageband)

Literaturliste

Allgemeine Bauzeitung, herausgegeben von Heinrich und Emil Ritter von Förster, Wien, Ausgaben von 1836 - 1894

Baus, Ursula ; Siegeli, Klaus: Holzfassaden, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, München, 2. Auflage 2001

Böhm, Theodor: Holzkonstruktionen, Reprint Verlag Leipzig, Reprint der Originalausgabe von 1911

DIN-Normen, Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin

Forstverwaltung der Stadt Karlsruhe: „Naturnaher Waldbau im Karlsruher Wald“, nachzulesen auf <http://www.karlsruhe.de/Natur/Wald/forst4.htm>, Multifunktionale Forstwirtschaft im Karlsruher Wald Service GmbH, Bayerstraße 57-59, 80335 München, Stand 03.06.2005

Frangi, Andrea ; Fontana, Mario, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) ETH Hönggerberg, Zürich: „Brandverhalten von Hohlkastendecken aus Holz“ Bauphysik 27 (2005), Heft 1, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2005

Frühwald, Arno; Pohlmann, Marc Cevin: Nachhaltiges Bauen mit Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung – Innovations- und Service GmbH, Bayerstraße 57-59, 80335 München, 2002

Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholzhersteller e.V.: „Brettstapel- und Dübelholzhandbuch“, Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholzhersteller e.V., Hackländerstraße 43, D-70184 Stuttgart, Stand 2005

Haller, Peer u. a.: Abschlussbericht für den Zeitraum 01.03.2002 bis 31.12.2003 des Forschungsthemas: „Verstärkung flächiger Massivholzelemente mit multiaxialen textilen Strukturen“, Technische Universität Dresden, gefördert durch das BMWi,

Haller, Peer: Vortragsschrift: „Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises“, Tagungsschrift zur 2. Holzbaufachtagung am 25.01.2007, Tagungsort: Deutsche Werkstätten Hellerau, Moritzburger Weg 67, 01109 Dresden

Herzog, Natterer, Schweitzer, Winter, Volz: Holzbau Atlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München, 4. Auflage 2003

Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf

Löbbert / Pohl / Thomas: Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure, Verlagsgruppe Rudolf Müller GmbH & Co KG, Köln, 3. überarbeitete Auflage, 2000

Mönck, Willi ; Rug, Wolfgang; Holzbau, Verlag Bauwesen Berlin, 14. Auflage, 2000

Müller, Christian: „Entwicklung des Holzleimbaus unter besonderer Berücksichtigung der Erfindungen von Otto Hetzer – ein Beitrag zur Geschichte der Bautechnik“, Dissertation, Bauhausuniversität Weimar, 1998

Muster-Bauordnung (MBO) §14, lt. Beschluss der 106. Bauministerkonferenz vom 8. November 2002, <http://www.is-argebau.de/>

Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR), Fassung Juli 2004

Ohnesorge, Sigrid und Heinz, Bergisch Gladbach, nachzulesen auf
<http://www.holztreff.ch/Hetzer>, 2003

Produktkataloge aller genannten Hersteller, Stand nicht älter als 4/2004

Prior: Essay über das „Demonstrationsvorhaben Schlangen (Nordrhein-Westfalen)“, nachzulesen auf <http://www.nordlicht.uni-kiel.de/MHU.htm>, Gesamthochschule Paderborn, 2005

Rautenstrauch, Karl: Vortragsschrift: „Holz als Verbundwerkstoff“, Tagungsschrift zur 2. Holzbaufachtagung am 25.01.2007, Tagungsort: Deutsche Werkstätten Hellerau, Moritzburger Weg 67, 01109 Dresden

Rug, Wolfgang ; Pötke, Wilfried: Vorspannung von Holzträgern, Zeitschrift Bauplanung-Bautechnik, Berlin 42, Heft 6, Juni 1988

Sandoz, Jean-Luc ; Schmitt, Jan-Erik, CBS-CBT St. Sulpice bei Lausanne / EPFL Lausanne: „Vom Molekül zum Bauwerk“ Zeitschrift Detail, Ausgabe 1/2004, S. 78-82, Institut für internationale Architekturdokumentation GmbH & Co. KG, Sonnenstraße 17, 80331 München

Schickhofer, Gerhard u. a., Technische Universität Graz: „Brettsperrholz und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Wohn- und Kommunalbau“, Ingenieurholzbau Karlsruher Tage, Tagungsband, Karlsruhe 2002, Bruderverlag Albert Bruder GmbH, Karlsruhe

Trummer, Andreas ; Luggin, Wilhelm F.: Forschungs panorama Holz + hochfeste Fasern – Leistungssteigerung durch Bewehrung, Institut für Tragwerkslehre an der TU Graz, erhältlich im Internet unter: http://www.proholz.at/forschung_technik/panorama-17-fasern.htm
[Stand: 03.08.2006]

Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995

Willeitner, Hubert und Schwab, Eckart: Holz-Außenanwendung im Hochbau, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Stuttgart, 1981

Zentralblatt der Bauverwaltung, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Ausgaben von 1890 - 1929

Zeitschrift Detail, Ausgaben 2000 – 2007, Institut für internationale Architekturdokumentation GmbH & Co. KG, Sonnenstraße 17, 80331 München

Z-9.1-501, Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung für Merk Dickholz (MHD) oder Lenoplán oder Lenotec, Deutsches Institut für Bautechnik, Kolonnenstraße 30L, 10829 Berlin, 6. Mai 2004

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	<i>Holzbauweisen – Holzbausysteme aus [5], S. 3</i>	10
Abb. 2	<i>Bogenbinder System Stephan aus [3], S.391.</i>	16
Abb. 3	<i>Bogenbinder System Stephan, Detail Dachebene auf dem Obergurt aufgelegt bzw. im Untergurt eingehangen aus [3], S. 392</i>	16
Abb. 4	<i>33 m Spannweite mit vorgefertigten Bogenbindern des Systems Stephan bei der 1907 erbauten Breslauer Sängerbundfesthalle aus [3], S. 393</i>	17
Abb. 5	<i>Beispiele zusammengesetzter Balken nach Hetzer aus [4], S. 395.</i>	18
Abb. 6	<i>Darstellung eines verleimten Einfeldträgers nach Hetzer aus [4], S. 395</i>	18
Abb. 7	<i>Darstellung eines verleimten Bogenträgers nach Hetzer aus [4], S. 397</i>	19
Abb. 8	<i>Darstellung des Dachverbandes während der Montage aus [4], S. 398</i>	19
Abb. 9	<i>Marinetturnhalle zu Mürwik bei Flensburg aus [4], S. 399</i>	20
Abb. 10	<i>Schematische Darstellung der Tafel- oder Plattenbauweise aus [62], S. 26</i>	21
Abb. 11	<i>Fassadenschnitt und Teilansicht von Einsteins Haus in Caputh [62], S. 75</i>	22
Abb. 13	<i>Eckverbindung „General- Panel-System“, USA ab 1941 aus [62], S. 22</i>	23
Abb. 14	<i>Die wichtigsten konstruktiven Einzelheiten der amerikanischen Fachwerksysteme aus [62], S.17</i>	25
Abb. 15	<i>Schulpavillon in demontabler Plattenbauweise um 1928 aus [62], S. 29</i>	26
Abb. 16	<i>Neues Verbindungssystem für Holzkonstruktionen aus [1], S. 121</i>	27
Abb. 17	<i>Einsatz von Wellblechnägeln aus [77], S. 264</i>	27
Abb. 18	<i>Vorrichtung zur lösbaren Befestigung des Belages auf Trägern aus [76],S. 431</i>	28
Abb. 19	<i>Hartholzringdübel aus [87], S.66</i>	29
Abb. 20	<i>zweiteiliger Ringdübel aus [89], S. 143</i>	30
Abb. 21	<i>Bauplatte mit wasserfestem Stoff bespannt aus [82], S. 439</i>	31
Abb. 22	<i>Holztafeln in Doeckerscher Bauweise aus [78], S. 244</i>	31
Abb. 23	<i>Bauweise für demontable Bauten aus [83], S.115</i>	32
Abb. 24	<i>Holzfachwerk aus Holzrahmen zusammengefügt aus [86] , S. 507</i>	32
Abb. 25	<i>K.Profidecke aus [24]</i>	37
Abb. 26	<i>KLIMAPLAN-Wand aus [23]</i>	38
Abb. 27	<i>Leimholz-Element Fa. Ladenburger aus [28]</i>	39
Abb. 28	<i>Verlegung einer Brettstapeldecke (Foto Verfasser)</i>	40

Abb. 29 Untersicht einer Brettstapeldecke (Foto Verfasser).....	40
Abb. 30 SHD-Wandelement aus [47]	41
Abb. 31 Verlegung von Top F-Elementen aus [26]	42
Abb. 32 Untersicht Akustik-Elemente aus [26]	43
Abb. 33 CombiTherm-Element aus [26].....	44
Abb. 34 Querschnitt Holz 100 aus [58].....	44
Abb. 35 Querschnitt LenoTec / LenoPlan aus [8].....	45
Abb. 36 Fertigung gebogener LenoTec-Elemente aus [8].....	46
Abb. 37 Verlegung der Santner-Elemente aus [45].....	46
Abb. 38 Fußpunkt Wand des Santner-Elementes aus [45]	47
Abb. 39 Lignatur-Kastenelement (LKE) aus [29]	48
Abb. 40 Lignatur-Flächenelement (LFE) aus [29].....	48
Abb. 41 Lignatur-Schalenelement (LSE) aus [29].....	49
Abb. 42 Traufdetail mit Ligu-Elementen aus [21].....	50
Abb. 43 Wandquerschnitt mit einseitiger Gipsfaserbeplankung aus [8]	52
Abb. 44 Trog-Element ohne Betonfüllung aus [26].....	53
Abb. 45 Werkseitige Füllung der Trog-Elemente aus [26].....	53
Abb. 46 Verbindungen Innenwand-Außenwand und Eckausbildung aus [68], S.18 und 19	57
Abb. 47 Brettstapel-Außenwände aus [68], S. 9.....	58
Abb. 48 Brettstapelwand als aussteifende Scheibe aus [68], S. 18	59
Abb. 49 Brettstapeldecken aus [68], S. 8 (Quellenangabe dort:: Holtz,F. et al.: Schallschutzversuche an Brettstapeldecken. Stephanskirchen: Untersuchungsbericht Labor für Schallmeßtechnik 1997).....	60
Abb. 50 Wandstoß zwischen den Geschossen aus [68], S. 19	61
Abb. 51 Anschluss Decke – Holzunterzug aus [68], S. 19	61
Abb. 52 Elementstöße aus [68], S. 8.....	62
Abb. 53 Längsstoß von Leimholzelementen aus [24]	63
Abb. 54 Auflagervarianten von Lignatur-Deckenelementen aus [29] , S. 24	64
Abb. 55 Lignotrend-Deckenelemente aus [5] S. 25.....	65
Abb. 56 Auflager Holz-Beton-Verbundelement (Seitenansicht Trogelement) aus [26].....	65
Abb. 57 Dachdetail (First und Traufe) aus [68], S. 20.....	66
Abb. 58 Decken- und Dachuntersicht Lignotend-Elemente aus [32]	67
Abb. 59 Ausbildung eines Tonnendaches mit Lignatur-Schalenelementen aus[31] , S. 10.....	67

Abb. 60 Holzbekleidungen aus Massivholz, Abschnittsüberschrift aus [2], S. 13 - 15.....	68
Abb. 61 Keilstülpshalung aus Lärche, unbehandelt (Foto Verfasser)	70
Abb. 62 Eckdetail Stülpshalung (Foto Verfasser).....	70
Abb. 63 Holzwerkstoffplatten mit Erläuterungen aus [2], S. 20 – 23, Beschreibung auszugsweise.....	73
Abb. 64 Feuchtebedingte Größenänderung, bezogen auf 1 m, infolge einer Differenz der Ausgleichsfeuchte von 12% aus [2], S. 17	74
Abb. 65 Holzwerkstoffklassen nach DIN 68800-2	75
Abb. 66 Beanspruchungsklassen nach DIN 50010-1.....	76
Abb. 67 Automat für vernagelte Brettstapel-Elemente (Foto Verfasser bei Fa. Merkle)	78
Abb. 68 Abbundautomat für Brettstapel-Elemente (Foto Verfasser bei Fa. Merkle)	78
Abb. 69 Vergleich verschiedener Transportmöglichkeiten aus [16], S. 74	79
Abb. 70 Verlegezange (Zimmererlift) (Foto Verfasser bei Fa. Merkle)	81
Abb. 71 Ringmutter mit Innengewindehülse aus [24]	82
Abb. 72 Anhängegeschirr für Lignotrend-Elemente aus [32]	82
Abb. 73 Äquivalente, bewertete Norm- Trittschallpegel $L_{n,w,eq,H}$ von üblichen Holz-Rohdecken, aus [18], S. 21.....	94
Abb. 74 Verbesserung der Trittschalldämmung durch einen schwimmenden Estrich auf Holzdecken: Trittschallverbesserungsmaß ΔL_{wH} für verschiedene Estriche und verschiedene Mineralfaserdämmplatten (beschrieben durch die dynamische Steifigkeit s°), aus [18], S. 22.....	95
Abb. 75 Verbesserung der Trittschalldämmung (ΔL_{wH}) durch eine Beschwerung der Rohdecke, aus [18], S. 23.....	95
Abb. 76 Korrektursummand K zur Berücksichtigung der Flankenübertragung, aus [18], S. 23	96
Abb. 77 Zusammenhang zwischen der Trittschalldämmung von Holzbalkendecken am Bau (L'_{nw}) und im Labor (L_{nw}), aus [18], S. 23.....	96
Abb. 78 Brandversuch mit Santner Holzbauelement aus [45].....	98
Abb. 79 verleimter Brettstapel nach Verlassen der Presse (Foto Verfasser)	99
Abb. 80 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 1(eigene Darstellung).....	102
Abb. 81 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung).....	105
Abb. 82 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 3(eigene Darstellung).....	106
Abb. 83 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 4 (eigene Darstellung).....	108
Abb. 84 Leimholz-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 5 (eigene Darstellung).....	110
Abb. 85 Nagelautomat bei der Herstellung eines Brettstapel-Elementes (Foto Verfasser).....	112
Abb. 86 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 1(eigene Darstellung).....	113

Abb. 87 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)	114
Abb. 88 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)	116
Abb. 89 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 4 (eigene Darstellung)	117
Abb. 90 Brettstapel-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 5 (eigene Darstellung)	119
Abb. 91 Fertigung LenoTec / LenoPlan aus aus [8]	120
Abb. 92 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 1(eigene Darstellung).....	122
Abb. 93 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung).....	124
Abb. 94 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung).....	125
Abb. 95 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 4 (eigene Darstellung).....	127
Abb. 96 LenoTec-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 5 (eigene Darstellung).....	129
Abb. 97 Lignotrend-Element im Fertigungsprozess aus [32].....	130
Abb. 98 Lignotrend-Element (Decke 4) mit Fußbodenaufbau für Typ 1(eigene Darstellung)	132
Abb. 99 Lignotrend-Element (Decke 4) mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)	134
Abb. 100 Lignotrend-Element (Decke 4) mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)	135
Abb. 101 Lignatur-Element mit Trockenaufbau und Zusatzbeschwerung in Estrichwabe aus [29]S. 35.....	137
Abb. 102 Lignatur-Flächenelement mit Fußbodenaufbau für Typ 1(eigene Darstellung)	138
Abb. 103 Lignatur-Flächenelement mit Fußbodenaufbau für Typ 2 (eigene Darstellung)	140
Abb. 104 Lignatur-Flächenelement mit Fußbodenaufbau für Typ 3 (eigene Darstellung)	142
Abb. 105 Einbau der Flachstahlschlösser im Werk aus [22]	144
Abb. 106 Holz-Beton-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 1 / 2 / 3(eigene Darstellung)	145
Abb. 107 Holz-Beton-Element mit Fußbodenaufbau für Typ 4 / 5 (eigene Darstellung)	148
Abb. 108 Stahlbetondecke Dennert DX mit Fußbodenaufbau für Typ 1 / 2 / 3 / 4 / 5 (eigene Darstellung)	151
Abb. 109 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 1 (eigene Darstellung).....	156
Abb. 110 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 1 (eigene Darstellung)	157
Abb. 111 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 2 (eigene Darstellung).....	158
Abb. 112 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 2 (eigene Darstellung)	159
Abb. 113 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 3 (eigene Darstellung).....	160
Abb. 114 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 3 (eigene Darstellung)	161
Abb. 115 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 4 (eigene Darstellung).....	162
Abb. 116 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 4 (eigene Darstellung)	163
Abb. 117 Darstellung der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 5 (eigene Darstellung).....	164

<i>Abb. 118 Mittelwerte der Kosten des Gesamtdeckenaufbaus für Typ 5 (eigene Darstellung)</i>	<i>165</i>
<i>Abb. 119 Vorschlag zur Verbesserung von Brettstapel-Elementen mit eingearbeiteten Stahlblechstreifen (rot dargestellt) (eigene Darstellung).....</i>	<i>176</i>
<i>Abb. 120 Isometrie der vorgeschlagenen Stahlblechstreifen (eigene Darstellung).....</i>	<i>176</i>
<i>Abb. 121 Explosions-Isometrie eines mit Stahlblechstreifen verbesserten Brettstapel-Elementes (eigene Darstellung).....</i>	<i>177</i>

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	<i>Produkt- und Herstellerübersicht vorgefertigter flächiger Holzbau-systeme [16]</i>	54
Tab. 2	<i>Anforderungen nach DIN 4109 an die Schalldämmung von Wänden und Decken zwischen fremden Wohnbereichen (Mindestschallschutz)</i>	88
Tab. 3	<i>Empfehlungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 für den erhöhten Schallschutz von Wänden und Decken zwischen fremden Wohnbereichen</i>	88
Tab. 4	<i>Empfehlungen nach DIN 4109 Beiblatt 2 für den normalen und erhöhten Schallschutz von Wänden und Decken innerhalb des eigenen Wohnbereiches (Klammerwerte gelten für erhöhten Schallschutz)</i>	89
Tab. 5	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 1</i>	102
Tab. 6	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 2</i>	105
Tab. 7	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 3</i>	107
Tab. 8	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 4</i>	109
Tab. 9	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Leimholz-Element Typ 5</i>	110
Tab. 10	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 1</i>	113
Tab. 11	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 2</i>	115
Tab. 12	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 3</i>	116
Tab. 13	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 4</i>	118
Tab. 14	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Brettstapel-Element Typ 5</i>	119
Tab. 15	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 1</i>	122
Tab. 16	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 2</i>	124
Tab. 17	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 3</i>	126
Tab. 18	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 4</i>	128
Tab. 19	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau LenoTec-Element Typ 5</i>	129
Tab. 20	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignotrend-Element (Decke 4) Typ 1</i>	132
Tab. 21	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignotrend-Element (Decke 4) Typ 2</i>	134
Tab. 22	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignotrend-Element (Decke 4) Typ 3</i>	136
Tab. 23	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignatur-Flächenelement Typ 1</i>	139
Tab. 24	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignatur-Flächenelement Typ 2</i>	141
Tab. 25	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Lignatur-Flächenelement Typ 3</i>	142
Tab. 26	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Holz-Beton-Element Typ 1/2/3</i>	145

Tab. 27	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Holz-Beton-Element Typ 4 / 5.....</i>	149
Tab. 28	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Stahlbetondecke Dennert DX - Typ 1 / 2 / 4.....</i>	152
Tab. 29	<i>Kosten Gesamtdeckenaufbau Stahlbetondecke Dennert DX - Typ 3 / 5.....</i>	153
Tab. 30	<i>Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 1 in €/m²</i>	155
Tab. 31	<i>Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 2 in €/m²</i>	157
Tab. 32	<i>Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 3 in €/m²</i>	159
Tab. 33	<i>Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 4 in €/m²</i>	161
Tab. 34	<i>Kosten der Gesamtdeckenaufbauten für Typ 5 in €/m²</i>	163
Tab. 35	<i>Tabellarische Erfassung der Eigenschaften der untersuchten Deckensysteme.....</i>	168
Tab. 36	<i>Bewertung der untersuchten Systeme.....</i>	171

Quellenverzeichnis

- [1] Allgemeine Bauzeitung: „Neues Verbindungssystem für Holzkonstruktionen“, Verlag von Förster, Wien, Jahrgang 1865, S. 119-121
- [2] Baus, Ursula ; Siegele, Klaus: Holzfassaden, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart, München, 2.Auflage 2001, S. 17
- [3] Böhm, Theodor: Holzkonstruktionen, Reprint Verlag Leipzig, Reprint der Originalausgabe von 1911, S. 391
- [4] Böhm, Theodor: Holzkonstruktionen, Reprint Verlag Leipzig, Reprint der Originalausgabe von 1911, S. 394
- [5] Cheret, Peter u. a.: Holzbau Handbuch: „Holzbausysteme“, Reihe 1, Teil 1, Folge 4, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 3
- [6] DIN 350-2 (1994-10), Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, S. 6, 8, 17
- [7] DIN V-4108-7, Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
- [8] Finnforest Merk GmbH, Industriestraße 2, D-86551 Aichach, Produktinformationen, <http://www.merk.de/>, Stand 2/2005
- [9] Finnforest Merk GmbH, Industriestraße 2, D-86551 Aichach, Produktinformationen, <http://www.merk.de/>, Broschüre Leno Massivbau, S. 19, Stand 2/2005
- [10] Forstverwaltung der Stadt Karlsruhe: „Naturnaher Waldbau im Karlsruher Wald“, nachzulesen auf <http://www.karlsruhe.de/Natur/Wald/forst4.htm> , Multifunktionale Forstwirtschaft im Karlsruher Wald Service GmbH, Bayerstraße 57-59, 80335 München, Stand 03.06.2005, S. 5
- [11] Frangi, Andrea ; Fontana, Mario, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) ETH Hönggerberg, Zürich: „Brandverhalten von Hohlkastendecken aus Holz“ Bauphysik 27 (2005), Heft 1, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, 2005, S. 42 – 51
- [12] Frühwald, Arno; Pohlmann, Marc Cevin: Nachhaltiges Bauen mit Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung – Innovations- und Service GmbH, Bayerstraße 57-59, 80335 München, 2002, S. 4
- [13] Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholzhersteller e.V.: „Brettstapel- und Dübelholzhandbuch“, Gütegemeinschaft der Brettstapel- und Dübelholz-hersteller e.V., Hackländerstraße 43, D-70184 Stuttgart, Stand 2005

- [14] Haller, Peer u. a.: Abschlussbericht für den Zeitraum 01.03.2002 bis 31.12.2003 des Forschungsthemas: „Verstärkung flächiger Massivholzelemente mit multiaxialen textilen Strukturen“, Technische Universität Dresden, gefördert durch das BMWi, S. 59
- [15] Haller, Peer: Vortragsschrift: „Vom Baum zum Bau oder die Quadratur des Kreises“, Tagungsschrift zur 2. Holzbaufachtagung am 25.01.2007, Tagungsort: Deutsche Werkstätten Hellerau, Moritzburger Weg 67, 01109 Dresden
- [16] Herzog, Natterer, Schweitzer, Winter, Volz: Holzbau Atlas, Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München, 4. Auflage 2003, S. 74
- [17] Holtz, Fritz u. a. : Holzbau Handbuch: „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“, Reihe 3, Teil 3, Folge 3, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 20
- [18] Holtz, Fritz u. a. : Holzbau Handbuch: „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“, Reihe 3, Teil 3, Folge 3, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, übernommen von S. 20 - 23
- [19] Holtz, Fritz u. a. : Holzbau Handbuch: „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“, Reihe 3, Teil 3, Folge 3, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 13
- [20] Holtz, Fritz u.a. : Holzbau Handbuch: „Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken“, Reihe 3, Teil 3, Folge 3, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 14
- [21] Holz-Lamellenwand GmbH, Lange Straße 39, D-27308 Kirchlinteln, Produktinformationen, <http://www.holz-lamellenwand.de/>, Stand 4/2004
- [22] HSE Dieter Römmelt GmbH & Co KG, Wachtküppelstraße 10, D-36163 Poppenhausen, Produktinformationen, <http://www.roemmelt-hallenbau.de/>, Stand 3/2005
- [23] Hubert Schmid Bauunternehmen GmbH, Iglauer Str. 2, D-87616 Marktobendorf, Produktinformationen, <http://www.klimaplan.de/>, Stand 2/2005
- [24] Kaufmann Holz AG, Vorderreuthe 57, AT-6870 Reuthe, Produktkatalog 8/2.1 –2.3, <http://www.kaufmann-holz.at/>, Stand 6/2004
- [25] Kaufmann Holz AG, Vorderreuthe 57, AT-6870 Reuthe, Produktkatalog 12/1.1 – 2.4, <http://www.kaufmann-holz.at/>, Stand 6/2004
- [26] Kaufmann Massivholz GmbH, Max-Eyth-Straße 25-27, D-89631 Oberstadion, Produktinformationen, <http://www.1a-kmh.de/>, Stand 6/2004
- [27] KLH Massivholz GmbH, A-8842 Katsch, Produktinformationen, <http://www.klh.at/>, Stand 4/2004
- [28] Ladenburger Holzwerke, Zur Walkmühle 1-5, D-73441 Aufhausen, Produktinformationen, <http://www.schaffitzel.de/>, Stand 4/2004

- [29] Lignatur AG, Mooshalde 785, CH-9104 Waldstatt, Produktinformationen, <http://www.lignatur.ch/>, Stand 4/2004
- [30] Lignatur AG, Mooshalde 785, CH-9104 Waldstatt, Produktinformationen, <http://www.lignatur.ch/>, Lignatur Handbuch, S. 28 und 29, Stand 4/2004
- [31] Lignatur AG, Mooshalde 785, CH-9104 Waldstatt, Produktinformationen, <http://www.lignatur.ch/>, Lignatur Handbuch, S. 10, Stand 4/2004
- [32] Lignotrend AG, Landstraße 25, D-79809 Weilheim, Produktinformationen, <http://www.lignotrend.com/>, Stand 4/2004
- [33] Löbbert / Pohl / Thomas: Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure, Verlagsgruppe Rudolf Müller GmbH & Co KG, Köln, 3. überarbeitete Auflage, 2000, S. 142
- [34] Merkle Holzbau GmbH, Fabrikstraße 31, D-73266 Bissingen/Teck, Produktinformationen, Stand 12/2004
- [35] Mönck, Willi ; Rug, Wolfgang; Holzbau, Verlag Bauwesen Berlin, 14. Auflage, 2000, Seite 215 - 219
- [36] Müller, Christian: „Entwicklung des Holzleimbaues unter besonderer Berücksichtigung der Erfindungen von Otto Hetzer – ein Beitrag zur Geschichte der Bautechnik“, Dissertation, Bauhausuniversität Weimar, 1998, S. 29
- [37] Muster-Bauordnung (MBO) §14, lt. Beschluss der 106. Bauministerkonferenz vom 8. November 2002, <http://www.is-argebau.de/>
- [38] Muster-Richtline über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR), Fassung Juli 2004
- [39] Ohnesorge, Sigrid und Heinz, Bergisch Gladbach, nachzulesen auf <http://www.holztreff.ch/Hetzer>, 2003
- [40] Pius Schuler AG, Kronenstraße 12, CH-6418 Rothenturm, Produktinformationen <http://www.pius-schuler.ch/>, Blockholzprodukte, Stand 4/2004, S. 1-3
- [41] Prior: Essay über das „Demonstrationsvorhaben Schlangen (Nordrhein-Westfalen)“, nachzulesen auf <http://www.nordlicht.uni-kiel.de/MHU.htm>, Gesamthochschule Paderborn, 2005
- [42] Rautenstrauch, Karl: Vortragsschrift: „Holz als Verbundwerkstoff“, Tagungsschrift zur 2. Holzbaufachtagung am 25.01.2007, Tagungsort: Deutsche Werkstätten Hellerau, Moritzburger Weg 67, 01109 Dresden
- [43] Rug, Wolfgang ; Pötke, Wilfried: Vorspannung von Holzträgern, Zeitschrift Bauplanung-Bautechnik, Berlin 42, Heft 6, Juni 1988, S. 252 – 257
- [44] Sandoz, Jean-Luc ; Schmitt, Jan-Erik, CBS-CBT St. Sulpice bei Lausanne / EPFL Lausanne: „Vom Molekül zum Bauwerk“ Zeitschrift Detail, Ausgabe 1/2/2004, S. 78-82, Institut für internationale Architekturdokumentation GmbH & Co. KG, Sonnenstraße 17, 80331 München

- [45] Santner & Spiehs OEG, Rudolfstraße 5, A-8010 Graz, Produktinformationen, <http://www.santner.info/>, Stand 4/2004
- [46] Schickhofer, Gerhard u. a., Technische Universität Graz: „Brettsperrholz und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Wohn- und Kommunalbau“, Ingenieurholzbau Karlsruher Tage, Tagungsband, Karlsruhe 2002, Bruderverlag Albert Bruder GmbH, Karlsruhe, S. 284 - 292
- [47] Schaffitzel Holzindustrie GmbH, Herdweg 23, D-74523 Schwäbisch Hall, Produktinformationen, <http://www.schaffitzel.de/>, Stand 4/2004
- [48] Schittich, Christian: „Der aktuelle Holzbau“ Zeitschrift Detail, Ausgabe 5/2002, S. 544 Institut für internationale Architekturdokumentation GmbH & Co. KG, Sonnenstraße 17, 80331 München
- [49] Schmidt, H.; Kabelitz, E.: Holzbau Handbuch: „Holzfassaden für die Gebäuderenovierung“, Reihe 1, Teil 10, Folge 2, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 4
- [50] Schulze, Horst: Holzbau Handbuch: „Grundlagen des Schallschutzes“ Reihe 3, Teil 3, Folge 1, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 672
- [51] Schwaner, Kurt u.a.: Holzbau Handbuch: „Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten“, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 14
- [52] Schwaner, Kurt u.a.: Holzbau Handbuch: „Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten“, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 3
- [53] Schwaner, Kurt u.a.: Holzbau Handbuch: „Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten“, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 6
- [54] Schwaner, Kurt u.a.: Holzbau Handbuch: „Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten“, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 19
- [55] Schwaner, Kurt u.a.: Holzbau Handbuch: „Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten“, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 9 – 13
- [56] Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, Macherstraße 63, 01917 Kamenz, ausgewertete Zahlen aus erteilten Baugenehmigungen im Jahre 2002
- [57] Systemholzbau Homogen80, Rebbergstraße 107, CH-8242 Bibern, Produktinformationen, <http://www.homogen80.ch/>, Stand 8/2004
- [58] Thoma Holz GmbH, A-5622 Goldegg, Produktinformationen, <http://www.holz100.at/>, Stand 1/2005

- [59] Trummer, Andreas ; Luggin, Wilhelm F.: Forschungs panorama Holz + hochfeste Fasern – Leistungssteigerung durch Bewehrung, Institut für Tragwerkslehre an der TU Graz, erhältlich im Internet unter:
http://www.proholz.at/forschung_technik/panorama-17-fasern.htm
[Stand: 03.08.2006]
- [60] Veit Dennert KG, Veit Dennert Straße 7, D-96132 Schlüsselfeld, Produktinformationen, <http://www.dennert.de/>, Stand 2/2005
- [61] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. 9
- [62] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. S. 22-23
- [63] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. 24
- [64] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. S. 14
- [65] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. S. 15
- [66] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. S. 16-19
- [67] Wachsmann, Konrad: Holzhausbau – Technik und Gestaltung, Birkhäuser Verlag, Neuausgabe mit Beiträgen von Christa & Michael Grüning und Christian Sumi, 1995 S. S. 26-29
- [68] Werner, Hartmut: Holzbau Handbuch: „Brettstapelbauweise“, Reihe 1, Teil 17, Folge 1, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 17
- [69] WIEHAG GmbH, Linzer Straße 24, AT-4950 Altheim, Produktinformationen <http://www.wiehag.at/>, Stand 8/2005
- [70] Willeitner, Hubert und Schwab, Eckart: Holz-Außenanwendung im Hochbau, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Stuttgart, 1981, S. 59
- [71] Willeitner, Hubert und Schwab, Eckart: Holz-Außenanwendung im Hochbau, Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Stuttgart, 1981, S. 58, Abb. 9.4

- [72] Winter, Stefan: Holzbau Handbuch: „Grundlagen des Brandschutzes“, Reihe 3, Teil 4, Folge 1, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 4
- [73] Winter, Stefan: Holzbau Handbuch: „Grundlagen des Brandschutzes“, Reihe 3, Teil 4, Folge 1, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 11
- [74] Winter, Stefan: Holzbau Handbuch: „Grundlagen des Brandschutzes“, Reihe 3, Teil 4, Folge 1, Informationsdienst Holz, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., PSF 300141, 40401 Düsseldorf, S. 23
- [75] Zang + Bahmer GmbH, Justus-von-Liebigstr. 6, D-63128 Dietzenbach Produktinformationen, <http://www.zang-und-bahmer.de/>, Stand 4/2004
- [76] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Lösbare Befestigung von Holzbohlen auf Trägern“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1914, S. 431
- [77] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Wellblechnägel“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1893, S. 264
- [78] Zentralblatt der Bauverwaltung: „Das Kaiser-Wilhelm-Kinderheim in Ahlbeck“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1914, S. 244-247
- [79] Zentralblatt der Bauverwaltung: „Die Neuanlagen in Bad Nauheim“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1911, S. 643-644
- [80] Zentralblatt der Bauverwaltung: „Neubau der ‚Parkschule‘ (Gymnasium) in Berlin-Tempelhof“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1915, S. 501
- [81] Zentralblatt der Bauverwaltung: „Überdachung eines Ladesteges auf dem Bahnhof in Erfurt“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1914, S. 547-548
- [82] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Bauplatte“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1913, S. 439
- [83] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Bauweise für demontable Baulichkeiten“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1917, S. 115
- [84] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Bulldog-Dübel“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1928, S. 639
- [85] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Einrichtung zur Schalldämpfung“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1904, S. 20
- [86] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Holzfachwerk“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1921, S. 507
- [87] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Ringdübel für Holzverbände“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1924, S. 66
- [88] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Ringdübel“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1920, S. 184

- [89] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Schulz-Ringdübel“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1927, S. 143
- [90] Zentralblatt der Bauverwaltung: Patent: „Neue Joch- und Rahmenverbindungen bei Feldscheunen“, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Jahrgang 1906, S. 270