



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria

DIPLOMARBEIT

Vorgefertigtes Deckensystem in Holz- Verbundbauweise Fokus: Anwendungsunterlagen für Planer und Ausführende

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

Em.o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

Institut für Architekturwissenschaften

E 259.2 Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Alexander Macho

Matrikelnummer 01326418

Wien, am 5.November 2018

VORGEFERTIGTES DECKENSYSTEM IN HOLZ-VERBUNDBAUWEISE

FOKUS: ANWENDUNGSUNTERLAGEN FÜR PLANER
UND AUSFÜHRENDE

Lots of timber-based, multi-storey buildings have been designed in the last few years. Wood, as a constructional material, is getting more important and is often used for hybrid constructions together with steel or concrete. Woodworking companies are usually smaller and so they experience difficulties in handling such big orders.

Company partnerships, dividing orders or using construction systems with ready-made components are possibilities and solutions, which can support smaller companies in managing bigger orders.

Wood and steel have various properties. Constructions consisting of these materials, can be efficient solutions if they are designed keeping their properties in mind. The application of wood-based composite elements in a building project in Paris has been analysed in the scope of this paper.

Finally a wood-steel composite floor system has been designed. It consists of laminated veneer lumber and steel sheet elements. The used components, the production and the mounting process and additional construction details have been illustrated similarly to a construction handbook.

Zahlreiche mehrgeschossige Bauten wurden in den letzten Jahren mit Holz konstruiert und dieser Anteil wird weiterhin kontinuierlich zunehmen. Dabei sind viele Gebäude und ihre Tragwerke keine reinen Holzbauten, sondern Mischbauweisen, bestehend aus Holz in Verbindung mit Stahl oder Beton. Als Problem hat sich hierbei herausgestellt, dass die holzverarbeitenden Unternehmen einen, für sie ungewöhnlich hohen, schwer stemmbaren Leistungsanteil zu erbringen haben.

Die Zusammenarbeit mehrerer Betriebe, Teilung des Leistungsumfangs oder die Verwendung eines Bausystems in Kombination mit dem Ankauf von vorgefertigten Systemteilen zur Aufwandsreduktion, sind Lösungsansätze, um auch kleineren Betrieben dieses Marktsegment zu öffnen. Holz und Stahl können gemeinsam leistungsfähige Konstruktionen ermöglichen, wobei die Materialien ihren Eigenschaften und Fähigkeiten entsprechend eingesetzt werden müssen. An einem konkreten Projekt in Paris ist der Einsatz von Holz- Stahlverbundelementen untersucht und veranschaulicht worden. Den Abschluss bildet der Entwurf einer Deckenkonstruktion aus Furnierschichtholz und Stahlblech, für welchen Anwendungsunterlagen ähnlichen jenes einen Handbuchs erstellt wurden.

Hiermit möchte ich mich bei allen, sowohl auf der Universität, als auch abseits, bedanken, die mich während meines Studiums unterstützt, begleitet und mit denen ich gemeinsam Aufgaben lösen durfte.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Em.o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter, sehr herzlich bedanken, der mich bei der Erarbeitung meiner Arbeit mit seinem Fachwissen tatkräftig unterstützt und mich auf dem Weg geleitet hat. Ebenso gilt dieser Dank allen, an die ich mich mit Fragen und Anliegen wenden durfte.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, die während meiner gesamten Ausbildungszeit an der Schule sowie Universität hinter mich gestanden ist, jederzeit ein offenes Ohr für mich hatte und somit großen Anteil an meinem absolvierten Weg hat.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	17		
1.1. Grundgedanken und wichtige Aspekte	20		
2. Historische Entwicklung	27		
2.2. Frühe Ansätze bereits vor 400.000 Jahren	30		
2.3. Industriellen Revolution & die Zwischenkriegszeit	31		
2.4. Entwicklung in der Nachkriegszeit	35		
2.5. Digitalisierung & Japanische Pionierprojekte	37		
2.6. Aktuelle Beispiele aus Österreich und Europa	39		
3. Begriffe und Definitionen	47		
3.1. Bauweise	50		
3.2. Vorfertigung	50		
3.3. Elementierung	51		
3.4. System - Bausystem	51		
3.5. Baukastensystem	52		
3.6. Conclusio	53		
4. Deckenkonstruktion	55		
4.1. Interaktion zwischen Konstruktion und Materialität	58		
4.2. Anforderungen an Deckenkonstruktionen	59		
4.3. Konstruktionsmethoden	62		
4.4. Vorfertigung bei Deckenkonstruktionen	71		
5. Materialität	79		
5.1. Interaktion zwischen Konstruktion und Materialität	82		
5.2. Holz & Furnierschichtholz	83		
5.3. Stahl & Blech	87		
5.4. Beton	91		
5.5. Gegenüberstellung: Holz - Stahl - Beton	94		
6. Hybridbauweise in Holz-Stahl	95		
6.1. Erkenntnisse aus Brand- und Biegeversuch	98		
6.2. Biegung, Schub & Verformung bei Biegeträger	99		
6.3. Bemessungsfälle im Holzbau	101		
6.4. Sicherheitsfaktoren von Holz und Stahl	102		
6.5. Einfluss der Lasteinwirkungsdauer	103		
6.6. Steifigkeit und Bruchdehnung bei Stahl und Holz	104		
6.7. Scherkräfte & Schubspannungen bei Vollholz & LVL	106		
6.8. Steifigkeit bei Verbundkonstruktionen	107		
7. Projektstruktur	109		
7.1. Projektphasen	112		
7.2. Planung & Fachwissen	114		
7.3. Vergabemodelle	116		
7.4. BIM - Building Information Modelling	119		
7.5. Produktion & Vorfertigung	120		
7.6. Logistik & Montage	123		
8. Anwendungsunterlagen & Handbücher	125		
8.1. Ziel von Handbüchern	128		
8.2. Stora Enso	129		
8.3. Rothoblaas	131		
8.4. Deckenkonstruktionen	132		
9. Deckenkonstruktion „NUDGE“, Paris	133		
9.1. Projektdaten	136		
9.2. Tragsystem - ausgeschrieben	137		

9.3. Tragsystem - Alternativlösung	140
<u>10. Entwurf für eine Holz- Stahl Deckenkonstruktion</u>	171
10.1. Referenz - Cofradal Deckenkonstruktion	174
10.2. Entwurfsansätze	176
10.3. Entwurfskonzept	182
10.4. Produktion und Montage des Deckensystems	184
10.5. Vorbemessung der Deckenkonstruktion	188
10.6. Tragfähigkeit im Brandfall	192
10.7. Ausbaukomponenten	194
10.8. Konstruktionsdetails	196
10.9. Rückbau und Recycling	214
10.10. Verwendung von Tragschalen aus Dünnschicht	215
<u>11. Praxis Report</u>	217
11.1. Holzbau - Bernhart Diesner	220
11.2. Silbernagel Metalltechnik	222
<u>12. Conclusio</u>	223
12.1. Rückblick & Fazit	226

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.001	Bauen mit System und seine Einflüsse	20	Abb. 2.019	Dachkonstruktion des Olympiastadions München	37
Abb. 1.002	Bevölkerungswachstum am Beispiel Wien	21	Abb. 2.020	Toyota Homes	38
Abb. 1.003	atmosphärische Treibhausgaskonzentration in den letzten 2000 Jahren - sowie deren Anteile an den nationalen Gesamtemissionen	22	Abb. 2.021	Sekisui House	38
Abb. 1.004	Materialverbrauch (1960 - 2010) global und österreichweit, sowie Österreichs Materialverbrauch nach Sektoren und Materialkategorien im Jahr 2012	23	Abb. 2.022	J- Up- System	38
Abb. 1.005	Anteil der nicht- metallischen Mineralstoffe am Materialverbrauch Österreichs 2012, sowie deren Nutzung	23	Abb. 2.023	LCT One in Dornbirn	39
Abb. 1.006	Just- In- Time Lieferung auf die Baustelle	24	Abb. 2.024	LCT One - Schnitt & Grundriss Regelgeschoss	39
Abb. 1.007	Vergleich Dauer der Projektphasen	25	Abb. 2.025	LCT One, Schnitt HBV- Deckenkonstruktion mit Auflagersituation (quer & längs)	40
Abb. 2.008	Fachwerkbau	30	Abb. 2.026	LCT One, Bauablauf und Fügeprozess	40
Abb. 2.009	Balloon- Frame Bauweise	30	Abb. 2.027	Illwerke Zentrum, Montafon (2013) - Außenansicht	41
Abb. 2.010	Vorgefertigtes Bahnwärterhäuschen von Francois Hennebique im Jahr 1896	31	Abb. 2.028	Illwerke Zentrum, Montafon (2013), Versetzen der Deckenelemente	41
Abb. 2.011	System Domino von Le Corbusier	32	Abb. 2.029	SMAQ (2017), öffentlicher Zwischenraum	42
Abb. 2.012	Dymaxion House von Buckminster Fuller - Ansicht & Grundriss	33	Abb. 2.030	SMAQ (2017), Fassade Maximilianstraße	42
Abb. 2.013	Wichita House von Buckminster Fuller Bild aus: https://www.setri.sk/app/uploads/2014/11/ekologicky-dom-dymaxion-house-1929.jpg	34	Abb. 2.031	SMAQ (2017), Bausystem	42
Abb. 2.014	Wachsmann- Knoten	34	Abb. 2.032	Raumzelle Stahlleichtbauweise	43
Abb. 2.015	Rekonstruktion eines vorgefertigten Gebäudes mit Mittelstützen aus 1945	35	Abb. 2.033	Raumzelle Holzleichtbauweise	43
Abb. 2.016	Trinkhalle in Evian von Jean Prouvé	35	Abb. 2.034	vorgefertigtes Fassadenmodul	43
Abb. 2.017	Plug- In City von Peter Cook & Archigram	36	Abb. 2.035	Deckensystem „suprafloor ecoboost ² “	43
Abb. 2.018	Wohngebäude Genter Straße in München	36	Abb. 2.036	Rohbau Parlamentsersatzbau in Wien (2017)	44
			Abb. 2.037	Montage Lukas Lang Bausystem	45
			Abb. 3.001	Zusammenhang- Bauweise und Vorfertigungsgrad	50
			Abb. 3.001	Tamedia Gebäude, Zürich - Holztragwerk	51
			Abb. 3.002	Werksproduktion Raumzellen bei Kaufmann Bausystem	51
			Abb. 4.038	Holz als Brandschutz für Stahlkonstruktion	58
			Abb. 4.039	Anforderungen an Deckenkonstruktionen	59
			Abb. 4.040	Einteilung von Deckenkonstruktion nach Tragsystem und Materialität	62

Abb. 4.041	Schnittdarstellung LVL Rippendecke Wood City	64	Abb. 4.064	KIGA Schrems- Aufdoppelung der Brettsperrholzelemente laut Tragwerksplanung	76
Abb. 4.042	LVL- Rippendeckenelement Stora Enso	64	Abb. 4.065	KIGA Schrems - Aufbringen des Klebstoffs für die Pressverleimung	76
Abb. 4.043	Hohlkastendecken im Egger Verwaltungsgebäude in St. Johann in Tirol	64	Abb. 4.066	KIGA Schrems - pressverleimte Brettsperrholzdeckenelemente	76
Abb. 4.044	Lignotrend Decke	64	Abb. 4.067	KIGA Schrems- Deckenstoß der Brettsperrholzelemente mit Pressverleimung laut Tragwerksplanung	76
Abb. 4.045	Kielsteg Decke	65	Abb. 4.068	OSB- Platte mit Nut und Feder	77
Abb. 4.046	Brettsperrholz	65	Abb. 4.069	LVL- Rippendecke aus vorgefertigten Elementen mit aufgedoppelten Rippen im Stoßbereich	77
Abb. 4.047	Ligno Holz- Beton Fertigteildecke	66	Abb. 4.070	Ausführungsmöglichkeiten von Elementstößen bei Rippen-, Hohlkasten und Kielsteg- Decken	77
Abb. 4.048	Versuch SwissWoodConcrete Deck	67	Abb. 5.071	Knoten Dreigurtbinder mit eingeschlitztem Stahlblech - entwickelt für proHolz Student Trophy 2018	82
Abb. 4.049	Systemschnitt SwissWoodConcrete Deck	67	Abb. 5.072	Darstellung HBV- Decke aus Brettsperrholz mit Kernen und eingeklebtem Lochblech, sowie bewehrtem Aufbeton	82
Abb. 4.050	HBV- Decke vor Ort betoniert	67	Abb. 5.073	Photosynthese und Entstehungsprozess von Holz	83
Abb. 4.051	Schnitt HBV- Decke aus Brettsperrholz mit eingeschnittenen Kernen	67	Abb. 5.074	Holz als Röhrenmodell und Diagramm für die richtungsabhängige Materialfestigkeit	84
Abb. 4.052	Versetzen von Halbfertigteilen bei Elementdecken	68	Abb. 5.075	Herstellungsprozess Furnierschichtholz	85
Abb. 4.053	Schemadarstellung Verbundträger- Decke	69	Abb. 5.076	Vergleich Vollholz- Brettschichtholz- Furnierschichtholz	85
Abb. 4.054	COFRASTRA- Decken mit Bewehrung und Aufbeton	69	Abb. 5.077	Aufbau Furnierschichtholz - gestapelt oder gesperrt	86
Abb. 4.055	COFRADAL- Decken als vorgefertigtes Element	70	Abb. 5.078	Arbeitslinie Baustahl	88
Abb. 4.056	Stadtamt Zwettl - vorgefertigte Deckenelemente mit vor Ort montierter Installation	71	Abb. 5.079	warmgewalztes Profil	89
Abb. 4.057	Deckenteilungsplan LCT One Dornbirn	72	Abb. 5.080	Flitch Beams	89
Abb. 4.058	Auftretende Kräfte bei elementierten Decken	73	Abb. 5.081	geschweißtes Stahlprofil	89
Abb. 4.059	Holz- Beton Verbunddecke LCT One in Dornbirn	74			
Abb. 4.060	Holz- Beton- Verbunddecke Illwerke Zentrum in Montafon	74			
Abb. 4.061	Ausführungsmöglichkeiten von Deckenstößen	75			
Abb. 4.062	Stadtamt Zwettl - Brettsperrholz- Deckenelement mit eingefrästem Falz	75			
Abb. 4.063	Stadtamt Zwettl- Brettsperrholzdecke mittels Brett deckengleich verschraubt	75			

Abb. 5.082	gekantete Profile aus Blechen	89	Abb. 6.100	Vergleich der Arbeitslinien von Stahl und Holz	104
Abb. 5.083	Rollprofilieren	90	Abb. 6.101	E-Modul- Vergleich von Stahl, Vollholz und LVL	105
Abb. 5.084	Kanten von Blech	90	Abb. 6.102	Schubfestigkeit von BSH und LVL	106
Abb. 5.085	Blechelement - gelasert und gekantet	90	Abb. 6.103	Lastaufnahme von Verbundquerschnitten bei gleichwertiger und ungleichmäßiger Steifigkeitsverteilung	107
Abb. 5.086	Hohlprofil - gekantet, profiliert und gebogen	90	Abb. 7.104	Projektphasen und deren Abfolge sowie die damit in Verbindung stehenden Aufgaben	112
Abb. 5.087	Arbeitslinie Beton- vereinfacht	92	Abb. 7.105	Vergleich Dauer der Projektphasen	113
Abb. 5.088	Diagramm Festigkeit zu Erhärtungsdauer	92	Abb. 7.106	Vorgefertigte Wandelemente beim LCT One	114
Abb. 5.089	Gegenüberstellung der Materialeigenschaften von Holz - Stahl - Beton	94	Abb. 7.107	Veränderung des Planungsprozesses und dessen Auswirkungen	114
Abb. 6.090	Stahl- Holz- Beton Deckenelement bei Brandversuch im Versuchsofen	98	Abb. 7.108	Vergabestrategien bei Holzbauprojekten	118
Abb. 6.091	Stahl- Holz- Beton Deckenelement nach Brandversuch und Abschlagen der Holz- Pyrolyseschicht	98	Abb. 7.109	Schmetterlingswendetisch	120
Abb. 6.092	LVL- Stahl- Beton Rippelement nach Biegeversuch	98	Abb. 7.110	Europas größter Portalroboter der Firma Erne	120
Abb. 6.093	Stahl- Holz- Beton Deckenelement im Biegeversuch	98	Abb. 7.111	Transport der vorgefertigten CLT- Elemente per Helicopter bei der Errichtung der Ölpererhütte	123
Abb. 6.094	Beanspruchung eines Biegeträgers unter Gleichlast - monolithischer, sowie zusammengesetzter Querschnitt	100	Abb. 7.112	Grafik Transportmöglichkeiten und maximale Abmessungen	124
Abb. 6.095	Holzbau Bemessungsfall 1 - Schubbruch im Auflagerbereich, zu geringe Schubsteifigkeit	101	Abb. 8.113	Übersichtsdarstellung der Bauteile eines Gebäudes unter der Verwendung von Stora Enso Produkten	130
Abb. 6.096	Holzbau Bemessungsfall 2 - Zugbruch durch hohes Biegemoment bei kleiner Durchbiegung, Träger zu steif	101	Abb. 8.114	Übersichtsdarstellung für Einsatzorte von Rothoblaas- Produkten	131
Abb. 6.097	Holzbau Bemessungsfall 3 - kein Bruch aber zu große Durchbiegung, Träger zu weich	101	Abb. 8.115	Beispielhafte Darstellung bei Rothoblaas- Einsatz von Entkopplungsprofilen zur Schalldämmung	131
Abb. 6.098	Verteilungsfunktionen für die Materialfestigkeiten von Holz und Stahl	102	Abb. 8.116	Wirtschaftlichkeit des Deckensystems im Vergleich zu BSP- Decken	132
Abb. 6.099	Materialfestigkeit abhängig von der Belastungsdauer bei Holz und Stahl	103	Abb. 8.117	Ligno Rippe- Maßnahmen zur Verbesserung des Feuerwiderstands	132

Abb. 9.118	Visualisierung des Architekturentwurfs des Nudge in Paris	136	Abb. 9.134	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 3 - BSH- Rippe (mit Stahl), LVL- Beplankung und oberseitigem Brett (Teil 1)	148
Abb. 9.119	Axonometrie der Baukörper als Tragwerksmodelle	136	Abb. 9.135	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 3 - BSH- Rippe (mit Stahl), LVL- Beplankung und oberseitigem Brett (Teil 2)	149
Abb. 9.120	Tragwerk laut Ausschreibung - Regelgeschoss (Grundriss)	137	Abb. 9.136	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 4 - Cofradal Deckenelement (Teil 1)	150
Abb. 9.121	Übersichtplan (Grundriss)	137	Abb. 9.137	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 4 - Cofradal Deckenelement (Teil 2)	151
Abb. 9.122	Tragwerk laut Ausschreibung - Regelgeschoss (3D Visualisierung)	137	Abb. 9.138	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 4 - Cofradal Deckenelement (Teil 3)	152
Abb. 9.123	Tragwerk laut Ausschreibung - Auflager an der Fassade sowie auf Stahlquerträger (Vertikalschnitt)	138	Abb. 9.139	Einfluss des γ - Wertes auf die Spannungen im Querschnitt	153
Abb. 9.124	Tragwerk laut Ausschreibung - Auflagerdetail fassadenseitig (3D Axonometrie)	139	Abb. 9.140	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 5 - BSH- Rippen, LVL- Beplankung und oberseitiges Brett (Teil 1)	156
Abb. 9.125	Übersichtplan (Grundriss)	140	Abb. 9.141	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 5 - BSH- Rippen, LVL- Beplankung und oberseitiges Brett (Teil 2)	157
Abb. 9.126	Alternativlösung Tragwerk - Regelgeschoss (Grundriss)	140	Abb. 9.142	Vertikalschnitt Rippendecke aus BSH- Rippen und LVL- Beplankung	157
Abb. 9.127	Alternativlösung Tragwerk - Regelgeschoss (3D Visualisierung)	141	Abb. 9.143	Ausführungsvarianten der Randrippen als Holz- Stahl Verbundelemente	158
Abb. 9.128	Alternativlösung Tragwerk - Deckenaufleger fassadenseitig (3D Axonometrie)	142	Abb. 9.144	Bemessung Mittelträger - statisches System und Abschätzung der erforderlichen Steifigkeit	159
Abb. 9.129	Bemessung Rippendecke - statisches System und Abmessungen	143	Abb. 9.145	Bemessung Mittelträger - Querschnitt 1 - BSH- Träger (liegend)	160
Abb. 9.130	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 1 - BSH- Rippe mit oberseitiger LVL- Ergänzung (Teil 1)	144	Abb. 9.146	Bemessung Mittelträger - Querschnitt 2 - BSH- Träger mit LVL- Ergänzung	161
Abb. 9.131	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 1 - BSH- Rippe mit oberseitiger LVL- Ergänzung (Teil 2)	145	Abb. 9.147	Bemessung Mittelträger - Querschnitt 3 - BSH- Träger	
Abb. 9.132	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 2 - BSH- Rippe (mit Stahl) LVL- Beplankung (Teil 1)	146			
Abb. 9.133	Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 2 - BSH- Rippe (mit Stahl) LVL- Beplankung (Teil 2)	147			

	mit eingelegtem IPE- Profil (Teil 1)	162		Tragschale (Axonometrie)	178
Abb. 9.148	Bemessung Mittelträger - Querschnitt 3 - BSH- Träger mit eingelegtem IPE- Profil (Teil 2)	163	Abb. 10.164	Entwurfsansatz 01-1 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Vertikalschnitt)	178
Abb. 9.149	Bemessung Mittelträger - Stahl- Beton Verbundträger (Teil 1)	164	Abb. 10.165	Entwurfsansatz 01-2 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Axonometrie)	179
Abb. 9.150	Bemessung Mittelträger - Stahl- Beton Verbundträger (Teil 2)	165	Abb. 10.166	Entwurfsansatz 01-2 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Vertikalschnitt)	179
Abb. 9.151	Alternativlösung Tragwerk - Stützenauflager Querschnitt 1 (3D Axonometrie)	166	Abb. 10.167	Entwurfsansatz 02 - Hohlkastendecke aus LVL- Beplankungen und BSH- Stahl Verbundrippen (Vertikalschnitt im Auflagerbereich)	180
Abb. 9.152	Alternativlösung Tragwerk - Querschnitt 3-1, mit LVL- Ergänzungen in den BSH- Elementen	167	Abb. 10.168	Entwurfsansatz 02 - Hohlkastendecke aus LVL- Beplankungen und BSH- Stahl Verbundrippen (Vertikalschnitt in Feldmitte)	180
Abb. 9.153	Alternativlösung Tragwerk - Stützenauflager Querschnitt 3 (Vertikalschnitte durch Mittelträger)	167	Abb. 10.169	Entwurfsansatz 02 - Hohlkastendecke aus LVL- Beplankungen und BSH- Stahl Verbundrippen (Axonometrie)	181
Abb. 9.154	Alternativlösung Tragwerk - Stützenauflager Querschnitt 3 (Vertikalschnitte durch BSH- Stahl Randrippen)	167	Abb. 10.170	Entwurfskonzept 01 - Stahlblech Tragschale und LVL- Rippenkonstruktion	182
Abb. 9.155	Alternativlösung Tragwerk - Auflagerung der Holz- Stahl Verbundrippendecken im Bereich der Stützen und Holz- Stahl Verbundmittelträger (Querschnitt 3) (3D Axonometrie)	168	Abb. 10.171	Entwurfskonzept 02 - Integration der Haustechnik	182
Abb. 9.156	Deltabeam Firma Peikko	169	Abb. 10.172	Entwurfskonzept 03 - Brandschutz durch Tragschale	182
Abb. 9.157	Alternativlösung Tragwerk - Kalkulation der Mittelträgervarianten	170	Abb. 10.173	Entwurf Deckenkonstruktion (Axonometrie)	183
Abb. 10.158	COFRADAL- Decken als vorgefertigtes Element	174	Abb. 10.174	Entwurf Deckenkonstruktion (Vertikalschnitt)	183
Abb. 10.159	COFRADAL- Deckenkonstruktion (Vertikalschnitt)	174	Abb. 10.175	Produktion und Montage 01 - Fertigung der Stahlblechschaale	184
Abb. 10.160	Ligno HBF	176	Abb. 10.176	Produktion und Montage 02 - Fertigung der Holzkonstruktion	184
Abb. 10.161	LVL- Rippendeckenelement Stora Enso	176	Abb. 10.177	Produktion und Montage 03 - Fügung der Stahlblech- und Holzkomponenten	185
Abb. 10.162	Lignotrend Decke	176	Abb. 10.178	Produktion und Montage 04 - Verbindung der Bauteile	
Abb. 10.163	Entwurfsansatz 01-1 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech				

	über mechanische Verbindungsmittel	185		nach ÖNORM B 1991-1-1	194
Abb. 10.179	Produktion und Montage 05 - Vorbereitung der Haustechnik sowie Verfüllung der Hohlräume weitestgehend im Werk	186	Abb. 10.192	Knauf Plattendecke als Referenzkonstruktion für abgehängte Decke	195
Abb. 10.180	Produktion und Montage 06 - Versetzen und Verbindung der Deckenelemente auf der Baustelle	186	Abb. 10.193	Auflagermöglichkeit 01 über Rippen	196
Abb. 10.181	Produktion und Montage 07 - Verfüllung restlicher und Verschluss aller Hohlräume, sowie Verbindung der Einzelemente untereinander über beispielsweise Bretter	187	Abb. 10.194	Auflagermöglichkeit 02 mittels Randträger	196
Abb. 10.182	Vorbemessung der Deckenkonstruktion - Übernahme statisches System von „Nudge“ in Paris	188	Abb. 10.195	Auflagermöglichkeit 03 über oberseitige Beplankung	196
Abb. 10.183	Vorbemessung der Deckenkonstruktion für unterschiedliche Spannweiten	188	Abb. 10.196	Übersichtstabelle der Detailkonzeptionen	197
Abb. 10.184	Vorbemessung der Deckenkonstruktion - Detaillierte Bemessung mit der Grundlage von „Nudge“ in Paris (Teil 1)	189	Abb. 10.197	Detail 01 (Axonometrie)	199
Abb. 10.185	Vorbemessung der Deckenkonstruktion - Detaillierte Bemessung mit der Grundlage von „Nudge“ in Paris (Teil 2)	190	Abb. 10.198	Detail 01 - Auflager Außenwand (Vertikalschnitt)	200
Abb. 10.186	COFRADAL- Decken - statisch wirksamer Querschnitt im Brandfall	192	Abb. 10.199	Detail 01 - Auflager Mittelträger (Vertikalschnitt)	200
Abb. 10.187	COFRADAL- Decken - Nachweis für den Brandfall	192	Abb. 10.200	Detail 02 (Axonometrie)	203
Abb. 10.188	Entwurfskonstruktion - statisch wirksamer Querschnitt im Brandfall	193	Abb. 10.201	Detail 02 - Auflager Außenwand (Vertikalschnitt)	204
Abb. 10.189	Entwurfskonstruktion - Bemessung im Brandfall	193	Abb. 10.202	Detail 02 - Auflager Mittelwand (Vertikalschnitt)	204
Abb. 10.190	Einordnung der Deckenkonstruktionen in Deckenklassen nach ÖNORM B 1991-1-1	194	Abb. 10.203	Stützendetail Brock Common in Vancouver	206
Abb. 10.191	Konstruktive Anforderungen an den Fußbodenaufbau		Abb. 10.204	Detail 03 (Axonometrie)	207
			Abb. 10.205	Detail 03 - Auflager Außenwand (Vertikalschnitt)	208
			Abb. 10.206	Detail 03 - Auflager Mittelträger (Vertikalschnitt)	208
			Abb. 10.207	Detail 03 - Außenwand (Horizontalschnitt)	208
			Abb. 10.208	Detail 04 (Axonometrie)	211
			Abb. 10.209	Detail 04 - Auflager Außenwand (Vertikalschnitt)	212
			Abb. 10.210	Detail 04 - Außenwand (Horizontalschnitt)	212
			Abb. 10.211	Detail 04 - Auflager Mittelträger (Vertikalschnitt durch Mittelträger)	213
			Abb. 10.212	Detail 04 - Auflager Mittelträger (Vertikalschnitt durch Elementstoß Rippendecke)	213
			Abb. 10.213	Vorbemessung der Deckenkonstruktion für unterschiedliche Spannweiten und die Auswirkungen geringerer Blechdicken	215

1. EINLEITUNG

Gegenwärtige gesellschaftliche, ökologische und wirtschaftliche Entwicklungen, sowie Tendenzen in der Architektur rücken das Thema der Systematisierung des Bauens erneut in den Fokus. Zusätzlich erfährt Holz als Baustoff ein Revival.

vgl.: <https://www.detail.de/artikel/bauen-mit-system-mehr-als-ein-trend-26441/>

1.1. GRUNDGEDANKEN UND WICHTIGE ASPEKTE

Gesellschaft und Architektur sind eng miteinander verzweigt. Einerseits kann die Architektur in ihrer Sprache auf die Gesellschaft wirken, aber genauso beeinflussen gesellschaftliche Entwicklungen die Architektur sowie die Baubranche.

Ebenso sind wirtschaftliche, ökologische, politische Aspekte zu berücksichtigen. Die hohen technischen Entwicklungen haben in den vergangenen Jahren zusätzlichen Schwung gebracht und die Baubranche verändert.

Abb. 1.001 Bauen mit System und seine Einflüsse



Bevölkerungswachstum, Preisexplosion und leistbares Wohnen in den Ballungsräumen



Die Bevölkerung konzentriert sich in den größeren Städten sowie ihren Agglomerationen und die ländlichen Gebiete müssen versuchen gegen dieses Phänomen anzukämpfen, um nicht auszusterben.

Baugründe und Immobilien in den Ballungsräumen sind sehr begehrt, weshalb in den letzten Jahren eine wahre Preisexplosion stattgefunden hat, Nachverdichtungen notwendig sind und höher gebaut wird. Die Miet- und Kaufpreise sind oftmals für die Bevölkerung nicht mehr erschwinglich und die Nachfrage nach kleinen Wohnungen ist groß. Soziale oder geförderte Wohnbauten sollen das Wohnen wieder leistbarer machen.



Die Seestadt Aspern ist ein sehr gutes Beispiel um darzustellen, welches Verhältnis zwischen Zuzug und Schaffung von neuem Wohnraum besteht. Theoretisch entspricht der jährliche Zuzug nach Wien dem über 15 Jahren realisierten Wohn- und Arbeitsraum in der Seestadt Aspern.

Die Stadt Wien hatte in den 1990er Jahren mit dem Wiener Gemeindebau ein Vorzeigeprojekt, mit welchem bis zu 80% der Wohnneubauten realisiert wurden. Dieser Erfolg ist abgeflacht und soll nun durch eine neue Wohnbauoffensive in den Jahren 2018- 2020 rückgeführt werden.

Systematisierte Bauweisen können bei entsprechender Etablierung kostensenkend wirken und somit den Wohnraum leistbarer machen.

Probleme in den Städten - Flächenressourcen, Nachverdichtung, Bauen im Bestand



Die Bevölkerungsentwicklung zeigt eine deutliche Tendenz weg von den ländlichen Regionen hin zu größeren Städten mit ihren Agglomerationen. Dies ist ein globales Phänomen. Bezogen auf Österreich zeigen ÖROK- Prognosen für 2030, dass diese Entwicklung anhalten wird und speziell Wien, Graz und Innsbruck mit ihren Umländern davon betroffen sind.

Die bebaubaren Flächen in städtischer Lage sind in ihrer Quantität begrenzt und brachliegende Grundstücke wer-

rechts: <https://derstandard.at/2000079399447/Wie-leistbarer-Wohnraum-in-wachsenden-Staedten-entstehen-kann>

Abb. 1.002 Bevölkerungswachstum am Beispiel Wien

rechts: http://www.gvvnoe.at/mediaarchiv/114/media/PDF/staedte_in_zahlen_20160427.pdf

rechts: Klimaschutzbericht 2017
(Umweltbundesamt)

rechts: <http://wiki.bildungs-server.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase>

den in weiterer Folge möglichst effizient bebaut. Dies ist auch notwendig bevor eine Ausweitung in den Randzonen vorangetrieben wird.

Parallel hierzu wird versucht Leerstände zu aktivieren sowie Bestandsbauten zu sanieren, um diese für Wohnen oder Arbeiten zu attraktivieren. Dabei ist abzuwägen, ob ein kompletter Abriss sinnvoll ist, da in diesen Bauten Ressourcen stecken, die weiterhin genutzt werden könnten.

In solchen Fällen ist es sehr schwer mit systematisierten Methoden zu bauen. Die Flächen oder Bauwerke weisen aufgrund ihrer Eigenschaften meist sehr eigene Charakteristika auf, welche genauestens in die Entwicklung und Planung aufgenommen werden müssen.

Ökologisches Bewusstsein - Rohstoffressourcen, Energieeffizienz, technische Anforderungen



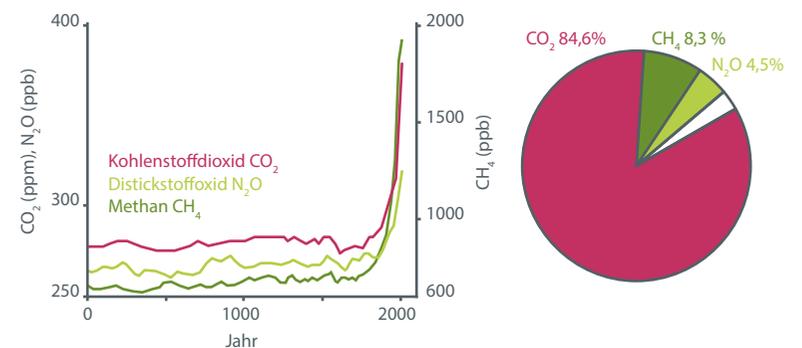
Abb. 1.003 atmosphärische Treibhausgaskonzentration in den letzten 2000 Jahren - sowie deren Anteile an den nationalen Gesamtemissionen
Daten aus: Ressourcennutzung in Österreich - Bericht 2015 (BMLFUW)

Die Errichtung sowie die Nutzung von Gebäuden und Bauwerken verursachen einen hohen Anteil der Treibhausgase, des Gesamtenergieverbrauchs sowie des Abfalls und verbrauchen etwa die Hälfte der von der Erde entnommenen Materialien. Das Umweltbewusstsein in der Politik sowie der Baubranche nimmt zu. Themen wie Ressourceneffizienz, Nachhaltigkeit und erneuerbare Energie sind nur ein Auszug aktueller Schlagworte

die heute in aller Munde sind und durch Veränderungen im Gebäudesektor positiv beeinflusst werden können.

Das multilaterale Pariser Klima- Übereinkommen beschreibt das Ziel, den Temperaturanstieg seit der vorindustriellen Zeit auf deutlich unter 2°C zu drücken. Dabei spielt die Reduktion der vom Menschen verursachten Treibhausgas- Emissionen eine große Rolle, die zum größten Teil aus der Nutzung fossiler Energieträger entsteht. Durch die Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen wird verhindert, dass die Wärmestrahlung in den Welt- raum abgestrahlt wird. Eine Reflexion mit den Teilchen der Treibhausgase führt zur Erwärmung der Erdoberfläche. Kohlenstoffdioxid ist aufgrund seiner verhältnismäßig hohen Konzentration und langen Verweildauer von 30- 1000 Jahren hervorzuheben.

Treibhausgase, welche eine Verweildauer von über 1 Jahr



besitzen, zählen zu den langlebigen Treibhausgasen, die sich durch ihr langes Bestehen in der Atmosphäre weitläufig verteilen und somit global wirken. CO₂ besitzt zusätzlich die Sonderstellung, dass es mit anderen Stoffen keine Reaktion eingeht, und sich aus der Atmosphäre nur durch Lösen im Wasser oder durch Photosynthese von Pflanzen entfernen lässt.

Die Errichtung, der Betrieb und ein späterer Rückbau von Gebäuden stellen eine große Beteiligung an der Produktion von Treibhausgasen dar. Nutzung von erneuerbaren Energien, effizientere Gebäude und deren Hüllen, Verwendung von nachhaltigeren und nachwachsenden Materialien sowie Recycling und Wiederverwendung von Produkten und Rohstoffen sind ökologische Lösungen, die treibhausgassenkend wirken.

Die Ressourcennutzung in Österreich hat im Vergleich

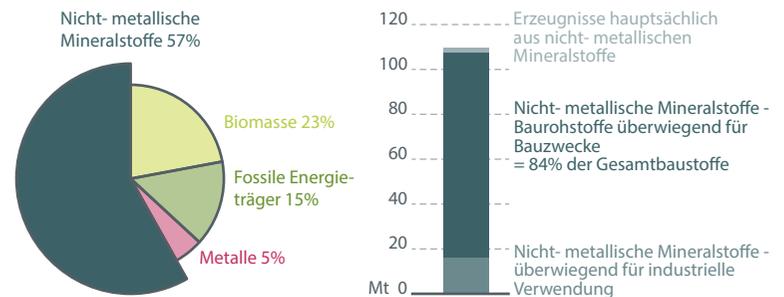
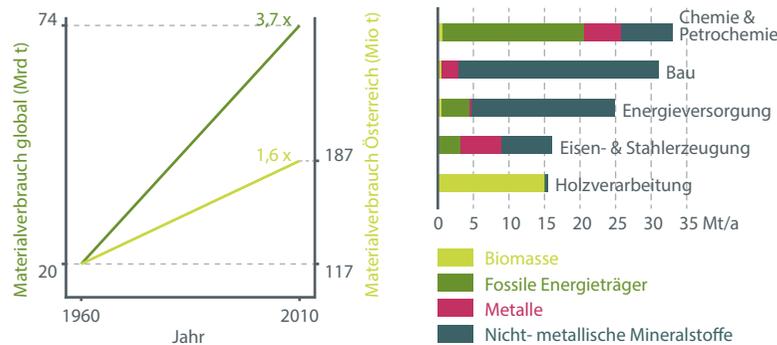


Abb. 1.005 Anteil der nicht-metallischen Mineralstoffe am Materialverbrauch Österreichs 2012, sowie deren Nutzung Daten aus: Ressourcennutzung in Österreich - Bericht 2015 (BMLFUW)

zum weltweiten Anstieg geringfügig zugenommen. Dabei muss aber erwähnt werden, dass Österreich eine verhältnismäßig hohe Pro-Kopf-Nutzung aufweist.

rechts: Ressourcennutzung in Österreich - Bericht 2015 (BMLFUW)

Für Bauzwecke stellen die nicht-metallischen Mineralstoffe den größten Anteil dar. Zu ihnen zählen Sand, Kies und Schotter, die für die Herstellung der Transportinfrastruktur und Beton Anwendung finden. Ein weiteres Material das in großer Menge gebraucht wird, ist Kalkstein, der in der Zementherstellung Einsatz findet.

Abb. 1.004 Materialverbrauch (1960 - 2010) global und österreichweit, sowie Österreichs Materialverbrauch nach Sektoren und Materialkategorien im Jahr 2012 Daten aus: Ressourcennutzung in Österreich - Bericht 2015 (BMLFUW)

Die Verwendung von Baurohstoffen steht in direkten Verbindung mit der Produktion von hohen Treibhausgas-Emissionen und der Nutzung fossiler Energieträger. Zusätzlich zeigt die Statistik, dass die Verwendung von Biomasse im Bausektor bislang noch einen sehr kleinen Teil ausmacht.

Modernes Bauen - neue Technologien und deren Einfluss auf den Projektverlauf



Sowohl Planung als auch Produktion können nicht mehr ohne Digitalisierung. Die Baubranche wird oftmals als „zurückgeblieben“ oder „altmodisch“ bezeichnet, aber Themen wie Building Information Modelling, computer-gesteuerte Produktion oder maschinell Vorfertigung sind zumindest angekommen.

Dies spielt Holz und Stahl in die Karten, die sich aufgrund ihrer hohen Maßgenauigkeiten und den Möglichkeiten mit computergesteuerter Bearbeitung auszeichnen.

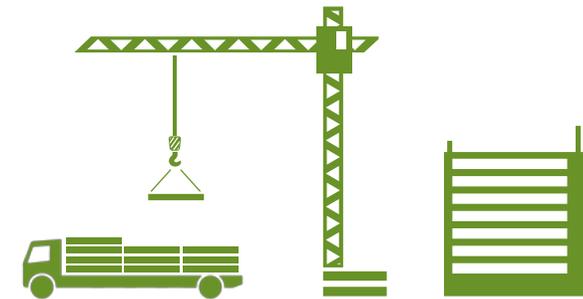
Viele namenhafte Architekten haben sich in der Konstruktionsgeschichte bereits mit dem standardisierten Bauen und Bauen mit System beschäftigt. Nach dem 2. Weltkrieg ist dies in der Architekturszene mehr in Verruf geraten, feiert aber seit geraumer Zeit wieder ein Revival.

Dies hat sicherlich mit den Potenzialen der neuen Technologien zu tun, wodurch sich neue Möglichkeiten ergeben. Die Industrie hat hierfür durch ihre werkseitige Produktion eine Vorbildwirkung, welcher die Baubranche nacheifert.

Für den Holzbau hat sich seit längerem die Vorfertigung und Produktion in Werkhallen als Vorteil erwiesen. Entwicklungen von neuen computergesteuerten Maschinen und Hebeanlagen, Steigerung der Qualität und Genau-

igkeit, erhöhte Effizienz durch immer wiederkehrende Arbeitsabläufe sowie die Witterungsunabhängigkeit stellen positiven Auswirkungen dar.

Durch das verhältnismäßig geringe Gewicht von Holzkonstruktionen stellt der Transport auf die Baustelle kein Problem dar. Dies gilt gleichzeitig für Stahlkonstruktionen, die zwar eine hohe Rohdichte haben, dies aber über ihre zarten Dimensionen wettmachen.



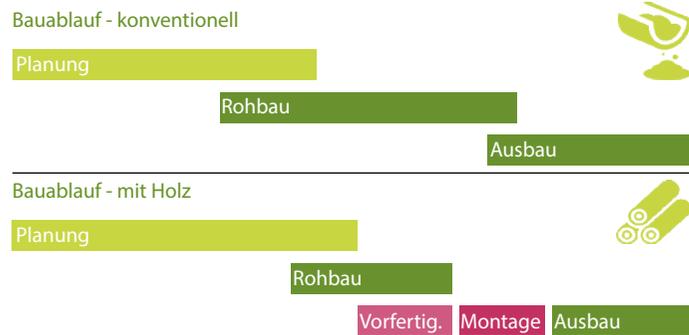
Die Verlagerung ins Werk bringt in weiterer Folge Vorteile für den Ablauf auf der Baustelle:

- + Sicherheit bei monetärer und terminlicher Planbarkeit
- + Leichtere Baustellenlogistik aufgrund Just- In- Time Lieferung und Verarbeitung sowie dem daraus resultierenden Ersparen von Lagerflächen
- + Kurze Montagezeit
- + Steigerung von Qualität und Gewährleistung speziell bei Details - dies steht im Einklang mit den steigenden technischen Anforderungen an Gebäude

Abb. 1.006 Just- In- Time Lieferung auf die Baustelle

Konventionelles Bauen verfolgt das gleiche Ziel wie der moderne Holzbau: „Wirtschaftliches Errichten eines Gebäudes bei dem Kosten, Qualität und Zeit die entscheidenden Faktoren sind.“

Der Unterschied findet sich im Prozess zur Erfüllung dieses Ziels:



Die einzelnen Projektphasen ändern sich in ihrer Dauer und Abhängigkeit. Planungs- und Produktionszeiten verlängern sich, die Dauer der Baustelle wird dafür verkürzt. Eine weiter fortgeschrittene Planung ist notwendig, um mit dem Bauen beginnen zu können, wobei sich somit die Zeit und Kostenrisiken reduzieren. An diese Gegebenheiten müssen sich alle Beteiligten gewöhnen.

Zusätzlich würde ein Abweichen von den klassischen Vergabemodalitäten gut tun, um Fachwissen der ausführenden Unternehmen bereits in der Planung einfließen lassen zu können.

Die Digitalisierung im Holzbau wird noch viel weiter gehen und kennt in den Vorstellungen aktuell kaum Grenzen.

Etwa könnten in Bälde die Elemente zu intelligenten Objekten werden, die zahlreiche Informationen beinhalten. Dies kann vom Ablesen der Bauteileigenschaften oder -charakteristika bis hin zu der dauerhaften Nachverfolgung der Holzfeuchte gehen. Über Smartphone oder Tablet können Bauteile, Termine, Kosten und weitere Projektdaten verfolgt werden. Viele Unternehmen setzen bereits auf Softwaresysteme, die Ressourcen, Personal, Produktion, Maschinen oder andere Teile der Wertschöpfungskette optimieren sollen, um somit einen Wettbewerbsvorteil zu erlangen.

rechts: holzbauaustria - 4/2018, S.46

Abb. 1.007 Vergleich Dauer der Projektphasen
Daten aus: Holzbau mit System-
Josef Kolb (2010), S.25

2. HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Immer wieder wurde in der Architektur- und Konstruktionsgeschichte versucht das Bauen zu systematisieren, standardisieren und innovative Ansätze zu etablieren. Zahlreiche namenhafte Architekten und Ingenieure haben sich an das Thema herangewagt und Pionierprojekte und innovative Ansätze entwickelt. Computer, Digitalisierung und technische Fortschritte seit der Jahrtausendwende geben dem Thema neuen Schwung und Möglichkeiten. In den letzten zehn Jahren wurden speziell im Holzbau Pionierprojekte mit Elementierung und Vorfertigung errichtet.

2.2. FRÜHE ANSÄTZE BEREITS VOR 400.000 JAHREN

Zwei essentielle Themen in Bezug zu „Bauen mit System“ sind:

- + Vorfertigung und serielle Produktion
- + Aufbau, Abbau und Wiederverwendung

All dies spielte bereits etwa 400 000 v. Chr. bei den Behausungen der Nomaden eine Rolle, die als Jäger und Sammler öfters ihre Niederlassungen wechselten.

Abb. 2.008 Fachwerkbau

links: Elemente + Systeme-
Modulares Bauen - DETAIL
(2008), S.14

Unterschiedliche Ansätze je nach Material

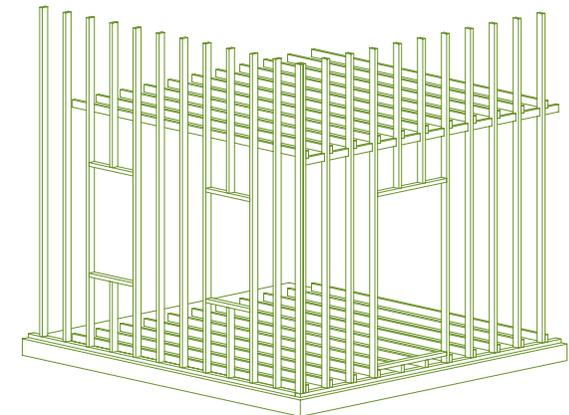
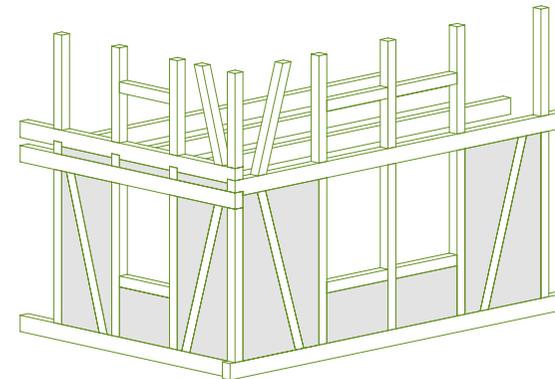
Ziegel- und Steinbauten können bereits als Systembauweisen betrachtet werden. Zwar war der Grad der seriellen Produktion nicht sehr hoch, aber Ziegel wurden in Formen in großer Zahl produziert oder Steine aufgrund von Angaben von Werkzeichnungen in den erforderlichen Mengen hergestellt.

Die Entwicklungen des Holzbaus stehen in direktem Zusammenhang mit den Bearbeitungsmöglichkeiten. Zu Beginn waren die Konstruktionen sehr einfach, haben sich mit der Zeit weiterentwickelt und unterscheiden sich abhängig von der geographischen Lage.

Der Fachwerkbau entwickelte sich aus dem Ständerbau und bildet mit dem Blockbau die wichtigsten historischen Konstruktionsweisen. Die Konstrukteure hatten standardisierte Antworten beispielsweise für Fenster-, Türöffnungen, Decken- oder Wandkonstruktionen, wodurch es sich gewissermaßen ebenso um ein Bausystem handelt.

Abb. 2.009 Balloon- Frame
Bauweise

George W. Snow schuf 1832 in den USA das erste Gebäude in Balloon- Frame Bauweise, welche noch heute oft zum Einsatz kommt. Diese Ständerbauweise erfüllte das Bedürfnis nach leicht transportierbaren Häusern in traditioneller Holzbauweise. Anwendung fanden industriell hergestellte Nägel und leicht bearbeitbare Bretter mit einheitlichen Querschnitten.



2.3. INDUSTRIELLEN REVOLUTION & DIE ZWISCHENKRIEGSZEIT

Die industrielle Revolution hat das Bauen im Allgemeinen und das Forschen über systematisiertes Bauen in großem Maße beeinflusst. Gusseisen und später Stahl sind qualitativ hochwertige Materialien, die als Elemente in Fabriken produziert werden.

Kristallpalast anlässlich der Weltausstellung

Der Kristallpalast von Joseph Paxton, anlässlich der Weltausstellung 1851 in London, stellt einen Meilenstein für die vorgefertigte, serielle Architektur dar. Diese Modulbauweise aus standardisierten, im Werk produzierten Bauteilen war revolutionär. Der Baukasten aus Elementen wurde akribisch geplant, um mit möglichst wenigen unterschiedlichen Formen und Elementen auszukommen. Dabei besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen dem Bauwerksraster, den Maximalgrößen der Glasscheiben und den Baukastenelementen.

Neben Eisen und Stahl bekam der Beton durch die Entdeckung des Eisen- und später Stahlbetons neue Bedeutung.

Er kann durch seine monolithische Wirkung beeindrucken. Die Vorfertigung beginnt mit der Herstellung von Betonfertigteilen und endet bei der Produktion ganzer Raumzellen, wie es Francois Hennebique 1896 bei einem im Werk vorgefertigten Bahnwärterhäuschen vorzeigte.

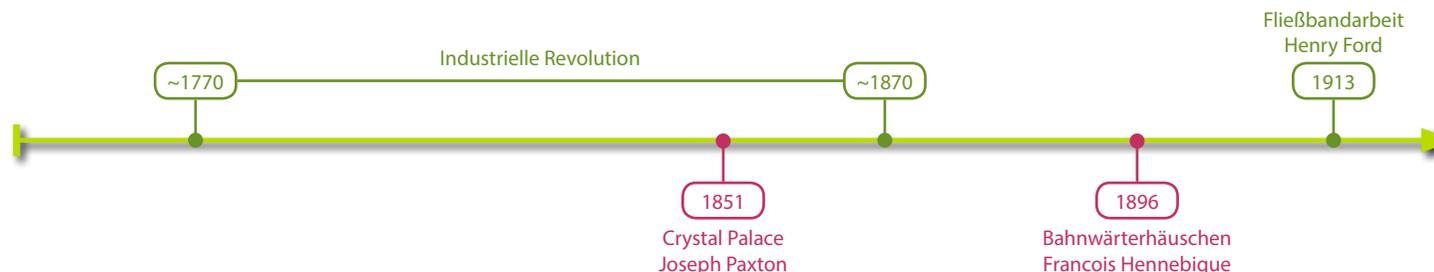


rechts: Elemente + Systeme-Modulares Bauen - DETAIL (2008), S.22

Abb. 2.010 Vorgefertigtes Bahnwärterhäuschen von Francois Hennebique im Jahr 1896
Bild aus: <https://wiley-vch.e-bookshelf.de/products/reading-epub/product-id/753410/title/Bauen+mit+Betonfertigteilen+im+Hochbau.html?autr=>

Automobilindustrie als Vorreiter

1913 schaute die Architektur zusätzlich auf die Industrie, da Henry Ford mit der Fließbandarbeit die Automobilindustrie revolutioniert. Viele Architekten hatten das Bild, dass die Architektur nicht mehr individuell, von Projekt zu Projekt neu erfunden werden muss, sondern Standardisierung, Normierung und Massenproduktion Einzug halten. Zwar nimmt die Industrie Einfluss auf die Architektur, wobei ein gleichwertiger Fortschritt nicht erreicht wird.



rechts: Le Corbusier, Paris - Chandigarh - Klaus- Peter Gast (2000), S.32

Abb. 2.011 System Domino von Le Corbusier

links: Le Corbusier: Ausblick auf eine Architektur - Gütersloh (1969), S.166

links: Le Corbusier, Paris - Chandigarh - Klaus- Peter Gast (2000), S.26

Bauen im System und das Schaffen von leistbarem Wohnraum sind zwei Themen die in der Geschichte zusammengehören.

Zuzüge in die Großstädte und die Konzentration von Arbeitern in der Nähe der Fabriken sind Antreiber für elementierte, in Serie produzierte Unterkünfte. Die Hoffnung nach kostengünstigen Systemlösungen bestand, um die räumlichen Problematiken zu lösen.

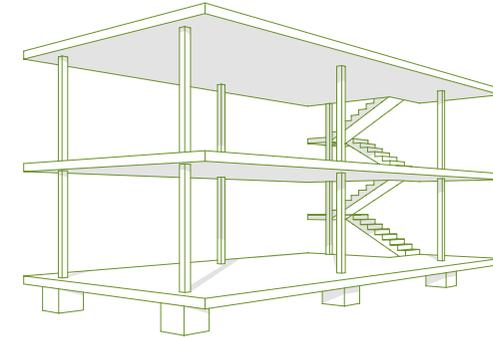
Die Ansprüche an die Architektur änderten sich zudem, da Konstrukteure in der industriellen Revolution ihren Produkten gestalterisch abgespecktes Aussehen verpassten.

Viele namenhafte Architekten und Städte nahmen sich dem Thema des industriellen Bauens an:

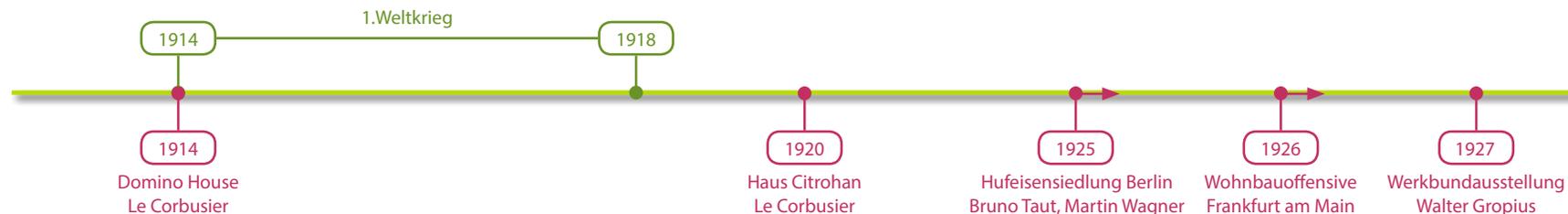
Le Corbusier sieht es als Aufgabe der Großindustrie sich dem Bauen anzunehmen und einzelne Bauelemente serienmäßig herzustellen.

Mit seinem Domino- Haus (1914) bestehend aus Stützen und Balken, die die Tragkonstruktion bilden sowie einer individuell, aber mit Standardelementen ausgestatteten

Hülle, widmet er sich ebenso dem Thema der seriellen Herstellung. Er trennt in seinem System die tragende Funktion der Konstruktion und die schützende der Fassade. Zusätzlich ist eine teilweise individuelle Fassadengestaltung möglich, die die Architektur weniger monoton wirken lässt.



Dieses entwickelte System wollte Le Corbusier in weiterer Folge mit seinem Entwurf Citrohan (1920) verbinden, welcher ein Serientyp, ähnlich eines Autos werden sollte, wobei hier Probleme in der stringenten Kombination aus Konstruktion und Entwurf entstanden.



Le Corbusiers Vorstellung einer „Wohn- Maschine“, wie sie oftmals bezeichnet werden, bestand darin ein Haus, analog zu einem industriellen Produkt, herzustellen.

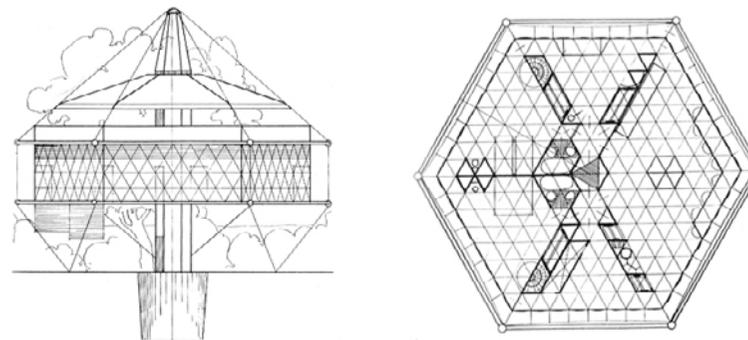
Armut und Wohnungsnot waren in vielen Städten präsent. Frankfurt am Main versuchte ab 1926 mit einem vom Stadtbaurat Ernst May initiierten System günstigen und rasch realisierbaren Wohnraum für Arbeiter zu schaffen. Die Erfolgsfaktoren sollten Massenproduktion in Fabriken, gute Organisation und rasche Montage sein. Auch dieses System fand nur in kleinem Rahmen Anwendung.

Walter Gropius hat bei der Werkbundausstellung 1927 mit seinem Haus Nr. 17 im Bereich des Einzelhausbaus ein Zeichen gesetzt. Auf eine Ortbetonfundamentplatte stellte er einen Trockenbau, welcher in einem Raster als Skelettbau konstruiert war und später ausgefacht wurde.

Stahl und Holz sind die dominierenden Materialien in der Fertighausindustrie in Europa und den USA. Einer, der viele experimentelle und außergewöhnliche Projekte vollzogen

hat, war **Richard Buckminster Fuller**.

In seinem Dymaxion House (1933) kombinierte er moderne Materialien (Stahl, Aluminium, Membrane) und Fertigungstechniken der Automobilindustrie für den kleinformatigen Wohnbau. Eine sehr leichte Konstruktion ermöglichte das Mitnehmen des zweigeschossigen Gebäudes, welches mit Technik, Badezimmer und Lift ausgestattet ist.

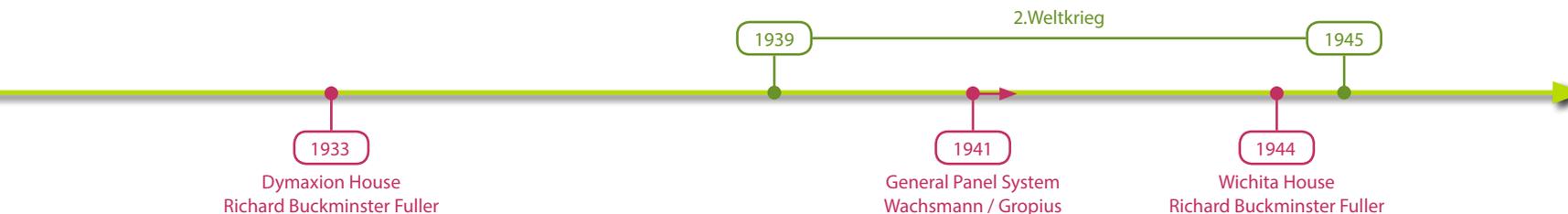


Ansätze des Dymaxion House konnte er in einem folgendem Projekt, dem Wichita House (1944-46), fortführen. Technisch sowie konstruktiv sehr ausgereift, war es zusätzlich aus leichten Elementen zusammengesetzt, welche

links: Der Architekt Walter Gropius - Winfried Nerdinger (1996), S.90

links: Elemente + Systeme- Modulares Bauen - DETAIL (2008), S.26

Abb. 2.012 Dymaxion House von Buckminster Fuller - Ansicht & Grundriss
Bild aus: <http://www.matusichiro.com/dymaxion-house-floor-plan/buckminster-fuller-the-actions-and-legacies-of-a-comprehensive/>



eine Person alleine oder eine kleinere Gruppe sehr rasch aufstellen hätte können. Aufgrund des Kalten Krieges und zu hoher Investitionskosten blieb auch bei diesem Projekt der große Erfolg aus.

Abb. 2.013 Wichita House von Buckminster Fuller
Bild aus: <https://www.setri.sk/app/uploads/2014/11/ekologicky-dom-dymaxion-house-1929.jpg>

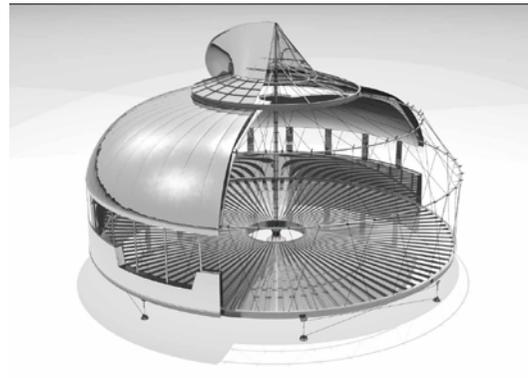


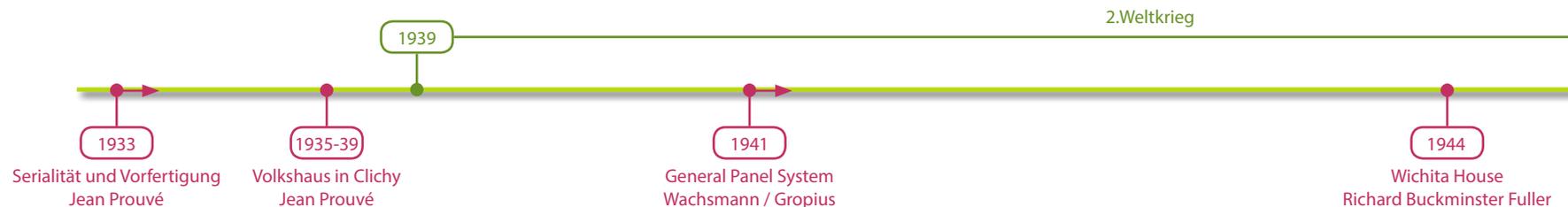
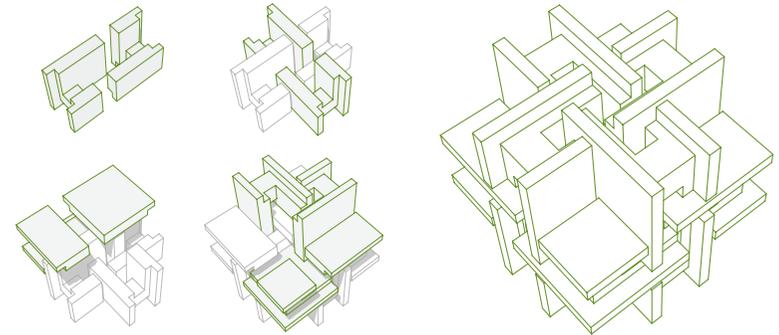
Abb. 2.014 Wachsmann-Knoten

links: Jean Prouvé - Architektur aus der Fabrik (1971)

Jean Prouvé war begeistert von den Entwicklungen sowie den Produkten der Automobilindustrie und kritisierte die Bauindustrie, weil diese nicht funktioniere. Als Konstrukteur und Ingenieur steht er dem konstruktiven Ansatz näher, weshalb er von einer konstruktiven, realisierbaren Idee ausgeht. Er entwickelt unterschiedliche Tragwerksfor-

men hauptsächlich aus Stahl, wobei auch Aluminium und Kunststoff Anteil finden. Neben dieser Aufgabe beschäftigte er sich auch mit Fassadenkonstruktionen, etwa beim Volkshaus in Clichy (1935-1939), wo eine Lösung aus Metall und Glas Einsatz fand.

Konrad Wachsmann und Walter Gropius entwickelten in den 1940er Jahren das General Panel System, eines der leistungsfähigsten Konzepte des Systemhausbaus. In ihren Arbeiten liegt der Fokus immer wieder auf der Entwicklung von Verbindungstechniken, wie etwa einem Knoten zum Zusammenschluss von Trennwänden.



2.4. ENTWICKLUNG IN DER NACHKRIEGSZEIT

Entwicklung in der Nachkriegszeit

In der Nachkriegszeit bestand wiederum die Not nach Wohnraum. Die Architektur beschäftigte sich weiterhin mit dem industriell- und systemgeprägten Bauen. Dabei ist zwischen den Bautypen der Einzelhäuser und Geschößwohnungsbauten zu differenzieren. Erstere haben sich bis zu den 1970er Jahren immer mehr durchgesetzt, da sich immer mehr Familien diese leisten konnten.

Jean Prouvé hat seine Arbeit nach dem Weltkrieg fortgesetzt. Seit 1933 wurden zahlreiche Projekte und Entwürfe unter den Aspekten der Serialität und Vorfertigung entwickelt. Während dem Krieg wurden auf diese Weise Baracken errichtet und in der Nachkriegszeit Notunterkünfte für die Bevölkerung.

Ein Erkennungsmerkmal seiner Bauwerke waren achsiale Rahmenstützen. Grundsätzlich bestanden seine vorgefertigten Gebäude aus einer Stahlkonstruktion mit Stützen, in die vorgefertigte Wand- und Deckenelemente entsprechend eines Rastermaßes eingehängt wurden. Speziell die

Fassadenelemente haben für das heutige Bauen eine Pionierstellung. Sie wurden aus gekantetem Aluminium und Blech auf einer Rahmenunterkonstruktion gefertigt. Die Elemente beinhalten bereits Fenster, Auslässe oder sonstige Ausstattung, ähnlich wie es heute in der Paneelbauweise vorzufinden ist.

Prouvé war bekannt für sein Verständnis für die neuen Materialien Blech, Aluminium und Kunststoff. Ein Überbleibsel aus der Zeit des Weltkrieges ist die Verwendung von Holz. Dies wurde für Verkleidungen in Form von Brettern verwendet. Bei der Trinkhalle in Evian wurden erstmalig flächige Holzplatten eingesetzt, die Vorgänger der Holzwerkstoffplatten sind.



vgl.: Jean Prouvé Complete Works Volume 3: 1944-1954 - Peter Sulzer (2005), S.7

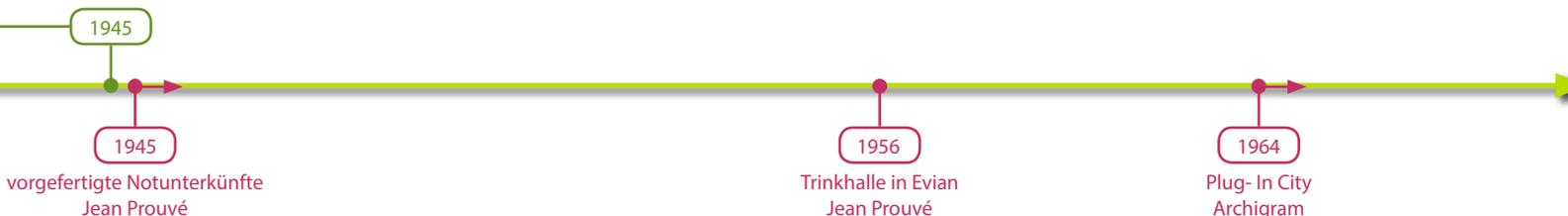
vgl.: Elemente + Systeme - Modulares Bauen - DETAIL (2008), S.28

vgl. Prouvé / Architektur aus der Fabrik - Jean Prouvé (1971), S.187

von links:

Abb. 2.015 Rekonstruktion eines vorgefertigten Gebäudes mit Mittelstützen aus 1945
Bild aus: <https://manos-demimbre.wordpress.com/2010/09/07/conversations-con-jean-prouve/>

Abb. 2.016 Trinkhalle in Evian von Jean Prouvé
Bild aus: <http://residences-decoration.com/jean-prouve-constructeur-des-temps-modernes/141-evian-buvette-de-la-source-cachat/>



Im Geschößwohnungsbau wurden zahlreiche Plattenbauten mit geringer Qualität realisiert, die heute meist in Verruf geraten sind und dem seriellen Bau ein negatives Image verpasst haben.

Neben dem zuvor erwähnten, wurden ebenso sehr utopische Systeme entwickelt, etwa jene der Gruppe **Archigram**, die den Arbeiten der japanischen Metabolisten ähnelten. Archigram publizierte zahlreiche Zeichnungen und Visionen zu alternativen Stadtmodellen. Diese sind fiktiv zusehen, sollen aber einen neuen Diskurs entfachen und das Überdenken der klassischen Stadtstruktur anregen. Zeich-

nungen von Megastrukturen, wie etwa die Plug- In City, sind das Resultat, die alternativer Stadtbilder unter einer außergewöhnlichen Berücksichtigung von Urbanismus, der gesellschaftlichen Entwicklung, Technologie, aber auch modularen Wohneinheiten erzeugen.

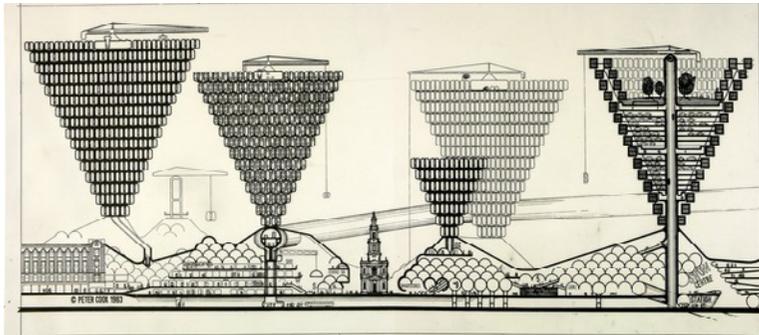
Mit der Ölkrise 1973 flachte der Trend des Systembaus in der Realität und Vision ab. Das Verständnis für Umweltbewusstsein stieg an, was auch die Technologie zu spüren bekam. **Otto Steidle**s Wohngebäude an der Genter Straße in München (1970-1972) ist eines der letzten großen Beispiele für Systembauten.

links: <https://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram>

von links:

Abb. 2.017 Plug- In City von Peter Cook & Archigram
Bild aus: <https://www.archdaily.com/399329/ad-classics-the-plug-in-city-peter-cook-archigram>
Bild rechts: <https://www.steidle-architekten.de/kontakt/>

Abb. 2.018 Wohngebäude Genter Straße in München
Bild aus: <https://www.steidle-architekten.de/kontakt/>



1956-57

Trinkhalle in Evian
Jean Prouvé

1964

Plug- In City
Archigram

2.5. DIGITALISIERUNG & JAPANISCHE PIONIERPROJEKTE

Einfluss der Digitalisierung

Der Bauprozess ist in der Konstruktionsgeschichte nahezu ident geblieben. Die Industrialisierung hat ihren Einfluss in größerem Rahmen auf die Baustoffe und zur Verfügung stehenden Materialien genommen. So wurden diese entwickelt und stetig verbessert. Stahl sowie Stahlbeton sind für heutige Zeiten keine Besonderheiten, haben aber eine verhältnismäßig kurze Geschichte. Noch extremer ist dies bei synthetischen Produkten oder Holzwerkstoffen.

Die Digitalisierung brachte neuen Schwung ins Bauen. Der Planungsprozess ist von der Digitalisierung am meisten beeinflusst worden. Computergestütztes Zeichnen war nur der Beginn, werden heute doch bereits digitale Gebäudemodelle erstellt.

Die Münchner Olympiadächer oder die unverwechselbaren Entwürfe von Frank O. Gehry hätten ohne die Technologie nie



zur Ausführung kommen können. Die Digitalisierung hat in der Planung und Ausführung eine große Rolle gespielt. Hin zur Realisierung flacht der Einsatz von Digitalisierung und computergestützten Methoden immer mehr ab. Vorfertigung und Produktion profitieren ebenso von der Digitalisierung, können doch individuelle Elemente als Einzelstücke wirtschaftlich produziert werden, wenn zumindest der Produktionsprozess einheitlich ist.

Innovationen aus Japan

Computer haben im Bauprozess nur zu geringen Veränderungen beigetragen.

Eine Vorreiterstellung nehmen hierbei japanische Unternehmen ein, die sich bereits seit den 1970er Jahren mit der Automatisierung am Bau beschäftigen. Pre-Cut Systeme, die eine frühere Entwicklungsstufe der CNC-Maschinen sind, haben in den 1980er Jahren bei japanischen Betrieben Anwendung gefunden, um die traditionellen, japanischen Holzverbindungen wirtschaftlich produzieren zu können.

vgl.: Wendepunkte im Bauen: Von der seriellen zur digitalen Architektur - DETAIL (2010) - S.34-37

Abb. 2.019 Dachkonstruktion des Olympiastadions München
Bild aus: <http://view.stern.de/de/rubriken/architektur/muenchen-olympiastadion-olympiapark-olympiaberg-olympiaberg-beruemtes-dach-original-3058316.html>

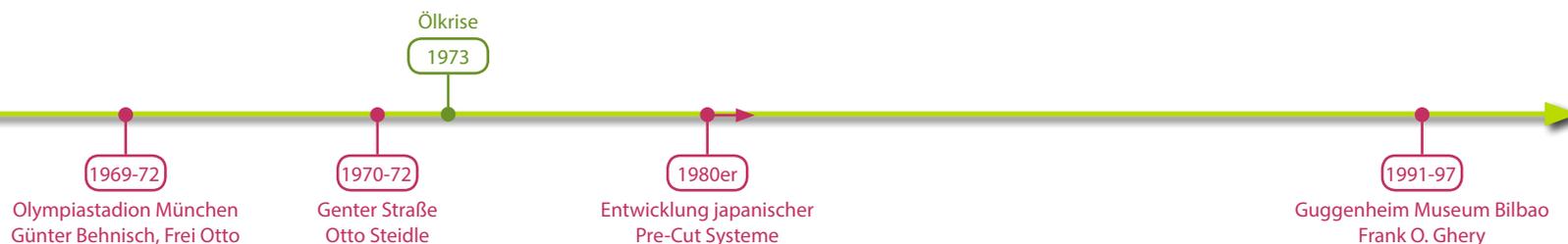


Abb. 2.022 J-Up- System
Bild aus: https://www.researchgate.net/figure/J-Up-system-copyright-T-Bock-Figure-13-T-Up-system-copyright-T-Bock_fig3_320405140

Abb. 2.020 Toyota Homes
Bild aus: <http://www.thedrive.com/design/1607/watch-toyota-build-a-lego-like-house-in-half-a-day>

rechts: Wendepunkte im Bauen:
Von der seriellen zur digitalen
Architektur - DETAIL (2010) -
S.46

Abb. 2.021 Sekisui House
Bild und Daten aus: <http://www.sekisuihouse-global.com/solutions/03/>

Neben Holzkonstruktionen finden Stahl- Leichtbausysteme in Japan Einsatz. Unterschiedliche Ansätze sind im Laufe der Zeit entwickelt worden:

+ Die Toyota Homes sind Wohngebäude, welche sich aus vorgefertigten, dreidimensionalen Einheiten zusammensetzen. Die Zellen werden im Werk produziert, per LKW verfrachtet und mit einem Kran versetzt.



+ Das Sekisui House setzt sich aus Stahlprofilen zusammen, die einen Stahlrahmen bilden. In diese Trägerstruktur werden Ausbaukomponenten eingesetzt. Der gesamte Herstellungsprozess ist mit Robotern zu 95% automatisiert.



+ Beim J-Up- System erfolgt der Errichtungsprozess unkonventionell. Beginnend beim obersten Geschoss werden die Bauteile auf der Bodenplatte erzeugt und zu einem Geschoss zusammengesetzt. Hydraulischer Pressen heben die Geschosse nach oben und abschließend wird der Innenausbau im Trockenen hergestellt.



+ Ähnlich dem J-Up- System funktioniert das AMURAD-System. Dieses fungiert auf dem Prinzip die Geschosse immer im Erdgeschoss zu erzeugen und über Hydraulikpressen nach oben zu drücken.

1980er

Entwicklung japanischer
Pre-Cut Systeme

1991-97

Guggenheim Museum Bilbao
Frank O. Gehry

2.6. AKTUELLE BEISPIELE AUS ÖSTERREICH UND EUROPA

Life Cycle Tower & Illwerke Zentrum Montafon

Der Life Cycle Tower in Dornbirn ist ein Pionierprojekt für das mehrgeschossige Bauen in Holz bzw. Hybridbauweise. Der achtgeschossige Büroturm der Firma Cree, die Bauherr, Auftraggeber und mittlerweile Patentinhaber des angewendeten Bau-systems ist, hat in seiner Entwicklungsphase viele Anforderungen hinsichtlich Tragsystem, Vorfertigung, aber vor allem Brandschutz erfüllen müssen. Bei Letzterem wurde speziell darauf geachtet, das Fluchtniveau auf unter 22m zu begrenzen, um die Kriterien der Gebäudeklasse 5 auszureizen. Zusätzlich erfüllt das Gebäude die Passivhausstandardkriterien und hat einen minimierten Ressourcen- und Energieeinsatz im gesamten Lebenszyklus.



Zeichnungen und Text: vgl. Vorlesungsunterlagen TU München - TUMwood - Werkbericht Hermann Kaufmann-21.11.2016

Abb. 2.023 LCT One in Dornbirn
Bild: <http://www.proox.com/unternehmen/news/news-einzelansicht/article/personifizierte-ausstattungen/>

Abb. 2.024 LCT One - Schnitt & Grundriss Regelgeschoss



Zeichnungen und Text: vgl. Vorlesungsunterlagen TU München - TUMwood - Werkbericht Hermann Kaufmann- 21.11.2016

Von außen lässt sich das Gebäude die innovative Bauweise mit hohem Holzanteil nicht anmerken, da die Fassade mit Aluminiumblech verkleidet ist.

Das Bausystem besteht aus Stützen, Decken- und Wandelementen. Bauteile im Bereich des Erdreichs und der Erschließungskern sind in Stahlbetonbauweise errichtet worden.

Die Wände der Regelgeschosse sind im Werk in Rahmenbauweise, samt Fenster und Fassade, konstruiert worden. Die BSH- Stützen sind mit den Wandelemente verbunden, können in einem versetzt werden und bleiben im Innenraum sichtbar.

Die Deckenelemente sind in Holz- Beton Verbundbauweise mit einer Elementbreite von 2,70 - 3,00m vorgefertigt. Auf BSH- Träger mit 28cm Höhe ist eine 8cm Dicke Betonplatte aufbetoniert worden. Die kraftschlüssige Ver-

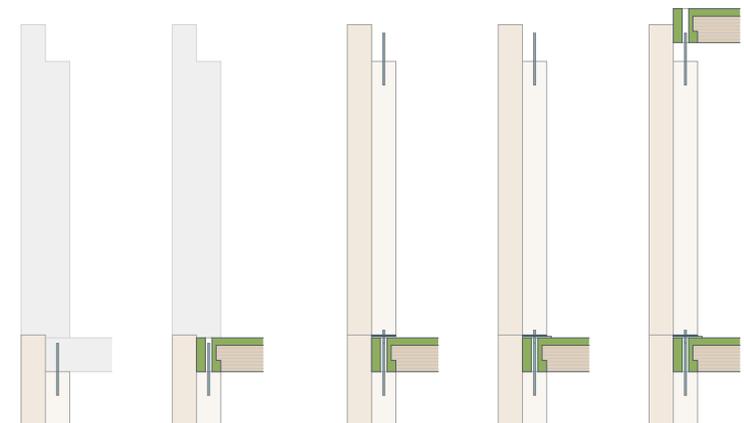
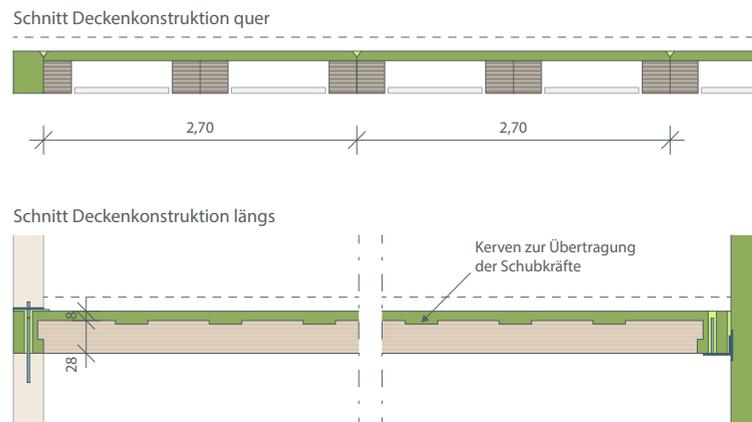
bindung zwischen Holz und Beton erfolgt über in den BSH- Trägern eingeschnittenen Kerfen und stiftförmigen Verbindungsmittel.

Spezielle Aufmerksamkeit lag bei der Konzipierung der Verbindungen. Die Stützen verfügen hierfür am oberen Ende über einen langen, ins Holz eingeklebten Stahlstift. Entsprechend angeordnete Löcher in den vorgefertigten Deckenelementen ermöglichen, dass die Stahlstifte in die Konstruktion der Deckenelemente eindringen können. In weiterer Folge werden die Stützen des darüber folgenden Geschosses aufgesetzt. Diese haben an der Unterseite eine Stahlplatte mit einem kürzeren Stahlstift, der wiederum in das vorgesehene Loch des Deckenelements eindringen kann. Ein kraftschlüssiger Verbund zwischen den Elementen wird durch das Vergießen der Hohlräume mit einem aushärtenden Mörtel erzielt.

von links:

Abb. 2.025 LCT One, Schnitt HBV- Deckenkonstruktion mit Auflagersituation (quer & längs)

Abb. 2.026 LCT One, Bauablauf und Fügeprozess



Die Anwendung des Konstruktions- und Bausystems des LCT One war kein Einzelfall. Mit dem Illwerke Zentrum in Montafon zeigten die Konstrukteure, dass das System nicht nur bei Gebäuden, die in die Vertikale gerichtet sind, einsetzbar ist.

Die entwickelten Verbindungen blieben unverändert. Die Deckenelemente wurden in der Dimensionierung der Einzelkomponenten an die Einwirkungen und das Tragwerksmodell angepasst. Da die Spannweite von Außenwand zu Außenwand zu groß ist, wurde eine zusätzliche vertikale Lastableitungsebene aus Stahlstützen und deckengleichem Stahlunterzug eingefügt.

Erschließungs- und Versorgungskerne wurden wiederum aus Brandschutzgründen in Stahlbetonbauweise realisiert. Gegensätzlich zum LCT One wurden die Fassadenelemente nicht gänzlich vorgefertigt. Stützen und Brüstungselemente sind miteinander verbunden. Die Fensterelemente werden erst vor Ort eingesetzt.

Mit dem LCT Next soll der nächste Entwicklungsschritt erfolgen. Die Informationen zum Zeitpunkt des Verfassens der Arbeit sind noch sehr vage, wobei der Fokus in der Entwicklung speziell auf die Digitalisierung gelegt werden soll. Durch einen digitalen Zwilling möchte das Planungsteam die Effizienz in Planung und Umsetzung verbessern, sowie den BIM- Level bis zu 7D, mit Facility Management, steigern.



links: https://issuu.com/detail-magazine/docs/bk_hermann_kaufmann

Abb. 2.027 Illwerke Zentrum, Montafon (2013) - Außenansicht
Bild aus: <http://www.holzbaukunst.at/holzbau/objekt/44.html>

links: Architektur Wettbewerbe-3/2018 - S.16-18



Abb. 2.028 Illwerke Zentrum, Montafon (2013), Versetzen der Deckenelemente
Bild aus: <https://www.youtube.com/watch?v=e4YFv8ogjzE>

links: holzbauaustria 4/2018, S.8

links: <https://www.vol.at/cree-lizenziert-nun-sein-know-how-die-naechste-innovation-steht-schon-an/4894153>

von links:

Abb. 2.029 SMAQ (2017),
öffentlicher Zwischenraum

Abb. 2.030 SMAQ (2017),
Fassade Maximilianstraße
Bilder aus: <http://www.artec-architekten.at/project.html?id=172>

Architektur Wettbewerbe-
3/2018 - S.16-18

Abb. 2.031 SMAQ (2017),
Bausystem
Bild aus (modifiziert): <http://www.artec-architekten.at/projects/172/high/00013.jpg>

Skelett- oder Paneelbauweisen sind bereits weit verbreitet und können mit einem hohen Vorfertigungsgrad realisiert werden. Das LCT One war für diese Systeme aufgrund seines hohen Vorfertigungsgrades ein Vorzeigeprojekt.

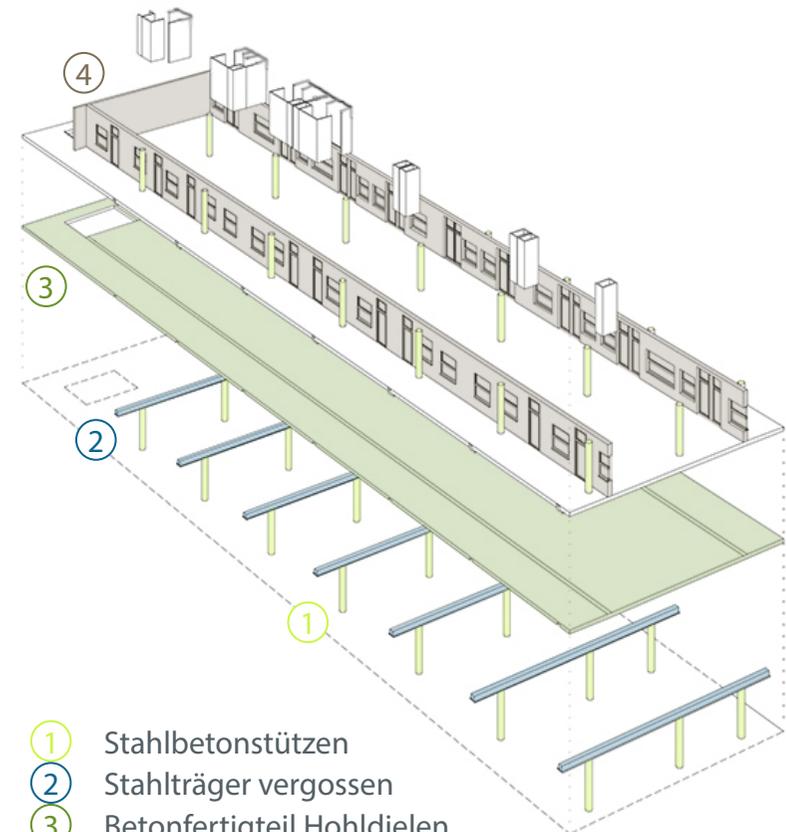
Smart Quartier St. Pölten (SMAQ)

In St. Pölten wurde im Jahr 2017 in der Maximilianstraße das Smart Quartier bestehend aus vier 75m langen und 16,2m breiten Wohnbauten fertiggestellt, welches einer seriellen Bauweise folgt. Dabei setzen die Architekten und Konstrukteure auf einen Materialmix aus Stahl-, Beton- und Holzelementen sowie Leichtbauwänden.

Die Tragkonstruktion bilden Stahlbetonstützen mit betonvergossenen Stahlträgern, zwischen welchen Betonfertigteil-Hohldielen spannen. Die Träger sind auskragend und bilden somit die Erschließung in Form eines Laubenganges und Freibereiche als Balkone und Loggien. Die Auskragung wirkt zusätzlich der Verhinderung des Brandüberschlags und als Witterungsschutz.

In die Tragstruktur sind vorgefertigte Holzfertigteilwände eingesetzt, die die thermische Gebäudehülle bilden. Aufgrund des freien Grundrisses und der Ausführung der Innenwände mit Leichtbauelementen sind spätere Adaptierungen leicht möglich.

Die Aussteifung der Gebäude erfolgt über außenliegende Stahlfachwerke in Längsrichtung jeweils an den Gebäudeenden.



- ① Stahlbetonstützen
- ② Stahlträger vergossen
- ③ Betonfertigteil Hohldielen
- ④ Holzfertigteilwände

Die Holzbaubranche in Westösterreich, Süddeutschland und der Schweiz sind Vorreiter im Holzbau aufgrund ihrer Innovationen, Entwicklungen und Fortschritte.

ERNE Holzbau

Die ERNE Gruppe ist in der Schweiz und Deutschland tätig und erfüllt Leistungen, welche von Baumeisterarbeiten im Hochbau, über den Tiefbau, hin zum Holzbau- System- und Modulbau, aber auch Fassaden- und Fensterbau, reichen. Im Bereich des System- und Modulbau wird auf kein einzelnes System gesetzt, sondern je nach Projekt und Anforderungen adaptiert und entwickelt. Einschränkungen auf das Material Holz werden vermieden, da etwa bei erhöhten Brandschutzanforderungen der Einsatz einer Stahlleichtbauweise wirtschaftlicher und sinnvoller sein kann.

Im Wohn-, Büro- oder Hotelbau ist der Modulbau bereits angekommen. Das Schweizer Unternehmen hat ebenso

im Gesundheits- und Pflegebereich mit der Modulbauweise gearbeitet und Projekte realisiert.

Allgemein gilt hier, dass die Breite der Module aufgrund der LKW- Abmessungen begrenzt sind, wohingegen Höhe und Länge der Einheiten flexibler sind. Im Bereich der Ausstattung, Fassade und Fenster ist eine vollständige Vorfabrikation möglich, wofür es gibt eine breite Produktpalette gibt, aus welcher gewählt werden kann.

Für den Systembau bei Bürogebäuden hat Erne ein Deckensystem namens „suprafloor ecoboost²“ in Holz-Beton- Verbundbauweise mit integrierten Installationen entwickelt. Die Deckenelemente sind ähnlich jenen des LCT One mit Rippen aus Holz und einer Aufbetonschicht konzipiert. Zur Einsparung von Energie wird die Masse des Betons als Energiespeicher aktiviert und kann zum Heizen oder Kühlen herangezogen werden. Zwischen den Rippen sind Installationen eingebaut, welche an der Unterseite aufgrund einer Verkleidung mit perforierter Metalloberfläche nicht sichtbar sind.

links: vgl. www.erne.net



von links:

Abb. 2.032 Raumzelle Stahlleichtbauweise

Abb. 2.033 Raumzelle Holzleichtbauweise

Abb. 2.034 vorgefertigtes Fassadenmodul

Abb. 2.035 Deckensystem „suprafloor ecoboost²“

Bilder von: www.erne.net

Abb. 2.036 Rohbau Parlamentsersatzbau in Wien (2017)
Bild aus: <https://www.bauforum.at/dach-wand/ersatzparlament-aus-dem-baukasten-148323>

links: [holzbau austria - 5/2018-5.28](#)

rechts: <https://www.bauforum.at/dach-wand/ersatzparlament-aus-dem-baukasten-148323>

Wiederverwendbarkeit, Rückbau und Neuaufbau von Gebäuden sind seit den erhöhten Flüchtlingsströmen ab dem Jahr 2014 präzente Themen in der Architektur. Viele Unterkünfte für Flüchtlinge wurden als temporäre Bauten, oftmals in Modulbauweise, errichtet.

Lukas Lang Building Technologies

Aber nicht nur für diese Nutzung spielen Rückbau, Wiederverwendbarkeit oder Versetzbarkeit eine große Rolle. Lukas Lang Building Technologies arbeiten seit 1995 an der Entwicklung eines Baukastensystems in serieller Massenfertigung. 2017 hat das Unternehmen für die Errichtung der drei Ersatzquartiere des österreichischen Parlaments den Zuschlag erlangt und hierdurch mit ihrem System größere Bekanntheit erreicht. Damit wurde auch bewiesen, dass mehrgeschossige Büro- und Wohnbauten mit diesem Bausystem herstellbar sind.

Das Bausystem basiert auf einer Skelettbauweise mit einer nichttragenden Fassade aus Holzelementen. Die Innenelemente können flexibel gewählt und angeordnet werden.

Ein 1,4m- Raster bildet die Basis, welchem alle weiteren Elemente untergeordnet sind. Das Rastermaß ist aus der geforderten Mindestgangbreite von 1,20m plus Stützendurchmesser von 20cm entstanden. Die Geschosshöhen sind auf 3,5m oder 3,0m festgelegt. Zusätzlich kommen



Träger aus Holz, Stützen aus Holz oder Stahl, sowie Holz-Stahl Verbindungen zum Einsatz.

Das Konzept dieses Bausystems basiert auf kleinformatischen, für das Montageteam leicht handliche Elemente, die zusätzlich gut für den Transport geeignet sind, weil sie ohne viel Raumverlust schlichtbar sind.

Aus Stützen, Knotenverbindungen und Trägern ergibt sich ein räumliches Gitter. Die Aussteifung des Tragwerks erfolgt in der Vertikalen über Stahlauskreuzungen und in der Horizontalen durch schubsteife Brettsperrholz-Deckenelemente, die in die Zwischenräume der Deckenträger auf Stahllaschen eingelegt werden. Die Gebäudehülle besteht meist aus vorgefertigten Fassadenpaneelen.



Abb. 2.037 Montage Lukas
Lang Bausystem
Bild aus: [https://www.
bauforum.at/dach-wand/
ersatzparlament-aus-dem-bau-
kasten-148323](https://www.bauforum.at/dach-wand/ersatzparlament-aus-dem-baukasten-148323)

Um der Spezialaufgabe Parlamentsersatzbauten gerecht werden zu können, war eine Adaption des Systems in manchen Bereichen notwendig. Hierbei wurden längere, auf die Systemparameter abgestimmte, Stahlträger verwendet. Da das Bausystem grundsätzlich für zweigeschossige Gebäude konstruiert ist, erforderten die Parlamentsersatzbauten weitere Abänderungen. Der Erschließungskern wurde in Stahlbetonbauweise ausgeführt, dient der Ableitung der Lasten und ermöglicht auf die Auskreuzungen für die Aussteifung verzichten zu können. Letzteres ermöglicht zusätzliche Flexibilität in der Grundrissgestaltung und späteren Anpassung.

3. BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

System, Serialität, Baukasten, Element, etc. stellen einen Auszug aus den zahlreiche Begriffen dar, die zum Thema „Bauen mit System“ herumkursieren. Klare oder genormte Definitionen gibt es nicht, weshalb Definitionen aus der Literatur aufgegriffen werden und ein, für diese Arbeit, geordnetes Vokabular zu etablieren.

rechts: Elemente + Systeme-
Modulares Bauen - DETAIL
(2008), S.40

3.1. BAUWEISE

Unter der Bauweise wird die Art und Struktur eines Gebäudes verstanden. Entscheidend sind dabei meist nur die tragenden Bauteile und deren Anordnung. Diese können stabförmige, flächige, aber auch räumliche Einheiten sein.

Es gibt eine Vielzahl an Bauweisen, wobei in weiterer Folge die wichtigsten aufgezählt und erläutert werden:

- **Skelettbauweise:** Dabei wird aus stabförmigen Elementen - Stützen und Träger - ein Tragwerk gebildet, welches in weiterer Folge ausgefüllt wird. Besonderes zu berücksichtigen ist dabei die Aussteifung der Konstruktion.
- **Paneelbauweise:** Diese setzt sich aus flächigen Elementen - Wände und Decken - zusammen, die vorgefertigt auf der Baustelle versetzt werden.
- **Raumzellenbauweise:** Bei dieser Bauweise handelt es sich um die am weitesten vorgefertigte Konstruktionsmethode, da die Zellen teilweise bis hin zur Einrichtung im Werk ausgestattet werden.
- **Massivbauweise** zeichnet sich dadurch aus, dass die tragende Schicht aus einem flächigen Element - beispielsweise Brettsperrholz - besteht.
- **Leichtbauweise:** Hierbei setzen sich die raumbildenden Elemente aus einer Rahmenkonstruktion zusammen, die anschließend ausgefacht wird.

Abb. 3.001 Zusammenhang-
Bauweise und Vorfertigungs-
grad

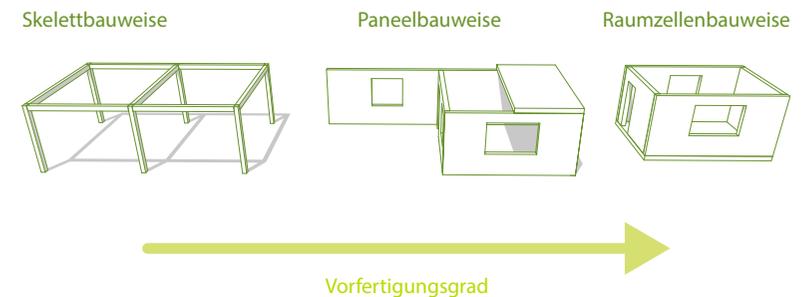
3.2. VORFERTIGUNG

Die Vorreiter der Vorfertigung waren die Zimmererleute, die früher ihre Elemente meist auf temporären Abbauplätzen vor Ort erzeugt haben.

Heutzutage wird unter der Vorfertigung die Herstellung von Bauteilen oder Bauprodukten in Werkshallen verstanden. Unter Heranziehen von industrieller Methoden oder teilweise bereits automatisierter Prozesse, werden Elemente oder Bauteile vorgefertigt.

Die Vorfertigung erlangt immer mehr an Bedeutung, bringt sie doch eine Vielzahl an Vorteile für das Bauen mit sich. Durch die Herstellung im Werk kann eine höhere Qualität und Terminalsicherheit garantiert werden. Witterungseinflüsse werden negiert und die Bauteile können unter regulierten Bedingungen hergestellt werden.

Für die Baustelle bedeutet dies, dass die Bauzeit und Kosten reduziert werden können. Zusätzlich verringert eine ausführliche Planung des Bauablaufs zahlreiche Risiken.



3.3. ELEMENTIERUNG

Vorfertigung und Zusammensetzung auf der Baustelle stehen in direkter Beziehung mit der festgelegten Elementierung im Entwurf.

Einzelne stabförmige Elemente, wie etwa beim Skelettbau, stellen einen geringen Vorfertigungsgrad. Eine Bauweise mit Paneelen, in die bereits Installationen, Türen, Fenster integriert sind, ist hierbei bereits fortgeschrittener.

Den höchsten Vorfertigungsgrad stellt die Raumzellenbauweise dar. Diese kann bis auf das abschließende Zusammensetzen der Zellen ausgereift sein und Einrichtungsgegenstände beinhalten. Ein Nachteil beim Transport stellt die Großvolumigkeit dar, wodurch viel leerer Raum transportiert wird. Häufig kommen Kombinationen dieser Bauweisen zum Einsatz.

Somit unterscheiden sich die Elemente je nach Bauweise, wobei sie immer gemeinsam zu einem Bauwerk zusammengesetzt werden.

In weiterer Folge wird vertieft auf paneeleartige Deckenelemente eingegangen.



3.4. SYSTEM - BAUSYSTEM

Ein System ist ein „Prinzip, nachdem etwas gegliedert, geordnet wird“ bzw. eine „Menge von Elementen, zwischen denen bestimmte Beziehungen bestehen“.

Dies bedeutet für Bausysteme, dass einzelne Elemente, egal in welcher Form, aufeinander abgestimmt sind, um miteinander kombiniert werden zu können. Damit dies funktioniert, muss ebenso auf deren Fügung Rücksicht genommen werden. Je nach Auslegung des Systems kann es sich etwa um Rohbau-, Ausbau-, Fassaden- oder andere Systeme handeln.

Im Bereich des Rohbaus gibt es wenige Systeme, wobei bereits der Ziegel, aufgrund seiner Standardmaße, als ein System angesehen werden kann.

Abgehängte Decken oder Wände aus Gipskarton sind Beispiele für Systeme aus dem Ausbau. Platten und Unterkonstruktion sind aufeinander in ihren Maßen und Raster abgestimmt und für die Fügung gibt es von den Herstellern entwickelte Details und Spezialelemente.

Analog betrifft dies Fassadensysteme, ganz egal ob Plattenverkleidungen mit entsprechenden Unterkonstruktionen oder Wärmedämmverbundsystemen.

Die Historie des Fensterbaus ist ein für die Entwicklung dieser Arbeit sehr passendes und prägendes Beispiel. Hat zu Beginn noch der Schreiner die Fenster nach dem Entwurf des Architekten angefertigt, sieht dies heutzutage

rechts: <https://www.duden.de/rechtschreibung/System>

rechts: Elemente + Systeme-Modulares Bauen - DETAIL (2008), S.42

Abb. 3.001 Tamedia Gebäude, Zürich - Holztragwerk
Bild aus: <https://inspiration.detail.de/>

Abb. 3.002 Werksproduktion Raumzellen bei Kaufmann Bausystem
Bild aus: <https://www.detail.de/>

rechts: Vom Systembau zum Bauen mit System - Florian Musso (2016), S.169

ganz anders aus. Während der Industrialisierung gab es Normgrößen für Fenster, wodurch diese auf Lager produziert worden sind. Für individuelle Anpassungen standen Ergänzungen zur Verfügung. Aktuell erfolgt die Produktion von Fenstern individuell nach den Naturmaßen. Aus einem Katalog können Fenstertypen, Oberflächen und sonstige Ausstattungselemente gewählt werden, welche maschinell bis automatisiert zum endgültigen Produkt zusammengefügt werden.

Je nach Auslegung der Systeme muss zwischen geschlossenen und offenen Systemen unterschieden werden:

- **Geschlossene Systeme** bestehen aus herstellergebundenen Einzelteilen. Das bedeutet, dass diese einerseits genau aufeinander abgestimmt sind, aber gleichzeitig Erweiterungen, Austausch oder Auswechslungen nicht möglich sind. Vorteil ist ein wahrscheinlich geringerer Preis, aufgrund der Serialität. Individualität und Flexibilität sind nur in geringem Maße möglich.
- **Offene Systeme** bieten von vornherein mehr Flexibilität, da die Elemente nicht nur von einem Hersteller kommen. Sie können variabel kombiniert, ausgetauscht oder erweitert werden, wobei es wichtig ist, dass ein gewisses Maß an Systematisierung herrscht. Dies bedeutet, dass eine Maßkoordination und Regelung der Fügung unabdinglich ist.

links: Elemente + Systeme-
Modulares Bauen - DETAIL
(2008) - S.42

3.5. BAUKASTENSYSTEM

Während der Ausarbeitung dieser Arbeit schwebten mehrere dieser Begrifflichkeiten im Raum herum. Oftmals wurde dabei von einem Baukastensystem gesprochen, wobei eben eine Definition erforderlich war, die Randbedingungen definierte.

In der Fachliteratur „Elemente + Systeme“ - DETAIL (2008) S.43 werden Baukastensysteme als „geschlossene Systeme, deren Elemente vom Hersteller unabhängig von einem Gebäude vorgefertigt werden“ definiert. Dabei sind Kombinationen innerhalb des Systems möglich, die sich innerhalb von geometrischen und konstruktiven Regeln bewegen.

Erinnert man sich zurück an die Kindheit, entspricht diese Definition jedem Spielzeugsatz, bei denen standardisierte Einzelteile zum Einsatz kamen, die durch die Kombination oder Fügung folgend einer Anleitung zu unterschiedlichen Lösungen führten. Ins Besondere die Verbindungen stellten als standardisierte Lösungen einen wichtigen Part des Baukastens dar.

3.6. CONCLUSIO

Der Begriff des „Baukastens“ wurde vermehrt zu Beginn der Entwicklung dieser Arbeit verwendet. Es stellte sich bald heraus, dass dieser falsch interpretiert und verwendet wurde, da zu Beginn bereits fest stand, dass um kein geschlossenes System handeln soll.

Die Anwendung von Holz und Stahlblech in Kombination bei Deckenkonstruktionen ist ein essentieller Grundgedanke dieser Arbeit. Dies kann projektabhängig auf unterschiedliche Arten erfolgen und funktionieren.

Es soll eine Basis geschaffen werden, auf welcher aufbauend Deckenkonstruktionen aus Holz und Stahl entwickelt werden können. Planer und Ausführende sollen nicht jedes Mal bei null starten müssen, da eine solche Herangehensweise unwirtschaftlich und gegen eine mögliche Etablierung des Systems wirkt.

4. DECKENKONSTRUKTION

Stahl, Holz und Beton differenzieren sich in ihren Anwendungsmöglichkeiten. Seit der Entwicklung von Holzwerkstoffen kann Holz neben stabförmigen auch als flächiges Produkt eingesetzt werden. Beton kann durch Gießen in eine Schalung nahezu jede Form eingehen. Stahl hat eine sehr hohe Rohdichte, wodurch immer zarte Querschnitte bei flächigen oder stabförmigen Elementen zum Einsatz kommen.

Somit ist schlüssig, dass je nach Material eine andere Konstruktion zum Einsatz kommt und die Kombinationen untereinander erweitern zusätzlich das Spektrum.

4.1. INTERAKTION ZWISCHEN KONSTRUKTION UND MATERIALITÄT

Jedes Baumaterial verfügt über andere Eigenschaften, sowie Stärken und Schwächen. Bei der Gestaltung von Konstruktionen muss auf dies Rücksicht genommen werden. Aufgrund der, von Beginn an festgelegten Rahmenbedingung, dass hybride Konstruktionen aus Stahl und Holz in Betracht gezogen werden, stellt diese Interaktion einen wichtigen Aspekt dar.

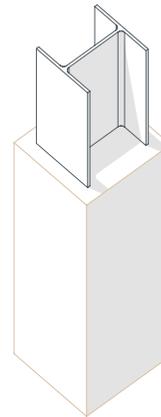
Konstruktionen und Deckensysteme als Hybride mit Elementen aus Holz und Stahl sind Mangelware. Sie wurden für wenige, einzelne Projekte entwickelt, welche sich hauptsächlich in Japan befinden und über welche es wenige zur Verfügung stehende Unterlagen und Informationen gibt.

In Japan hat das Bauen mit Holz eine sehr lange Tradition. Zeitgleich gilt die Tatsache, dass Japan geographisch in einem der erdbebenreichsten Gebiete der Erde liegt und Holzkonstruktionen hierbei anfällig sind. Des Weiteren müssen Brandschutzanforderungen eingehalten werden. Somit hat sich der Lösungsansatz entwickelt, dass in Japan Holz- Stahlkonstruktionen so entworfen sind, dass das Holz den Stahl im Brandfall schützt.

Die Kombination von Holz und Stahl ist vielseitig, wobei der Stahl meist in Form von Verbindungsmitteln einge-

setzt wird. Waren es zu Beginn handgeschmiedete Nägel, ist heute eine Vielzahl von Verbindungsmitteln auf den Markt verfügbar, die abhängig von deren Ausbildung unterschiedliche Einwirkungen aufnehmen können.

Vorweg kann erwähnt werden, dass bei der Materialkombination ausschließlich Decken in Form von Rippenkonstruktionen berücksichtigt werden und somit eine vereinfachte Betrachtung in Form eines Einfeldträgers herangezogen wird. Aufgrund dessen, dass es eine Vielzahl von stabförmigen Holzprodukten gibt, beispielsweise Schnittholz, Brettschichtholz, Furnierschichtholz, sowie der Stahl Freiheiten in der Querschnittsausbildung und seiner Vielzahl an Bearbeitungsmethoden bietet, ist eine doch breite Variabilität gegeben.



links: Timberize - Japanische Entwicklungen im urbanen Holzbau - 19.Internationales Holzforum 2013

Abb. 4.038 Holz als Brandschutz für Stahlkonstruktion

4.2. ANFORDERUNGEN AN DECKENKONSTRUKTIONEN

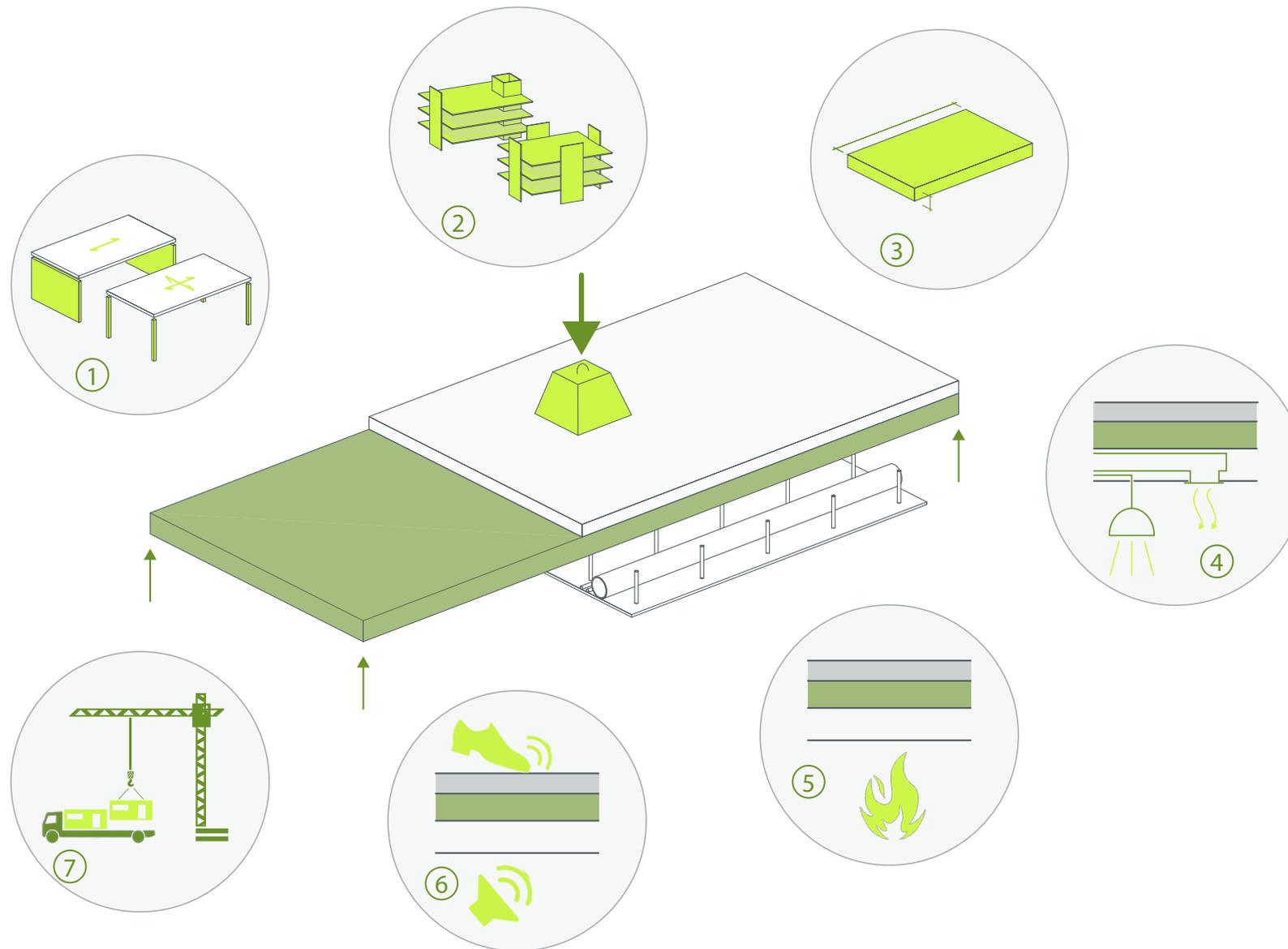


Abb. 4.039 Anforderungen an Deckenkonstruktionen

1. Auflager und Spannrichtung
2. Gebäudeaussteifung
3. Spannweite, Einwirkungen, Konstruktionshöhe
4. Installationen und Gebäudeausstattung
5. Brandschutz
6. Schallschutz
7. Vorfertigung

links: Mehrgeschossiger
Holzbau Atlas - DETAIL (2017),
S.58

links: Holz_Haus Tage 2015 –
Tagungsbuch Holzforschung
Austria

Zahlreiche Deckenkonstruktionen sind auf dem Markt zu finden, die unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich bringen. Deckenkonstruktionen müssen Anforderungen erfüllen, deren Niveaus und Prioritäten von Projekt zu Projekt variieren, aber grundsätzlich wie folgt kategorisiert werden können:

① Auflager und Spannrichtung

Je nach Konstruktionsweise können Decken ein- oder zweiachsig gespannt sein. Zusätzlich spielt die Ausbildung der Auflager eine entscheidende Rolle, da nicht jede Konstruktion auf Stützen punktgelagert werden kann.

Rippendecken sind aufgrund ihrer Zusammensetzung einachsig gespannte Konstruktionen. Zusätzlich wird ein lineares Auflager benötigt, da jede Rippe aufgelagert sein muss.

② Gebäudeaussteifung

Die Aussteifung von mehrgeschossigen Gebäuden steht in enger Verbindung mit der architektonischen Gestaltung und der Bauweise. Hierbei kommen abhängig von der Konstruktionsweise Rahmen, Verbände, Scheiben oder Kerne in vertikaler Richtung zur Anwendung

Die einwirkenden horizontalen Kräfte müssen über Horizontal- zu Vertikalaussteifungselementen geleitet werden. Die Ausbildung von Deckenscheiben als horizontale Aussteifung ist die gebräuchlichste Lösung. Stahlbeton- und Brettsperrholzdecken benötigen hierfür keine zusätzli-

chen Ausbildungen. Balken- oder Rippendecken können mittels entsprechender Beplankungen zu Scheiben ausgebildet sein. Bei mehreren Deckenelementen ist darauf zu achten, dass diese zu zusammenhängende Scheiben gebündelt werden und somit die Lasten verteilen und auf die darunterliegenden Geschosse leiten können. Durch Einwirkungen in Richtung der Elementstöße treten Schubkräfte entlang der Fugen und Gurtkräfte in Form von Druck und Zug an den Fugenrändern auf. Diese müssen durch entsprechende Verbindungsmittel oder sonstigen konstruktive Maßnahmen abgefangen werden. Einwirkungen, quer zu den Stößen, führen zu einer Belastung, die einem liegenden Biegeträger gleicht. Diese werden durch die Anschlüsse an die vertikalen Aussteifungselemente rechtwinkelig zur Belastungsrichtung aufgenommen.

③ Spannweite, Einwirkungen, Konstruktionshöhe

Spannweite, einwirkende Lasten und Konstruktionshöhe stehen in direktem Zusammenhang bei der Wahl, sowie der Bemessung der Deckenkonstruktionen.

Größere Konstruktionshöhen bedeuten Verlust an rentablem Raum, der meist aufgrund von gesetzlichen Bebauungshöhen begrenzt ist. Bei mehrgeschossigen Bauwerken kann dies in Summe zu Einbußen von einem noch möglichen Geschoss führen.

Die statische Höhe verbessert dafür die Steifigkeit und tragwerkstechnische Beanspruchbarkeit der Konstruktion, wodurch weitere Spannweiten möglich sein können.

④ Installationen und Gebäudeausstattung

Lüftung, Kühlelemente, Fußbodenheizung und viele andere Gebäudeausstattungssysteme sowie Installationen werden sowohl im Fußbodenaufbau als auch in der Deckenuntersicht geführt. Bei Integration in die Konstruktionsebene kann Höhe eingespart werden.

Hierfür eignen sich speziell Rippen- oder Kastenkonstruktionen, die es ermöglichen in Richtung der stabförmigen Tragelemente auf gleicher Höhe diese Systeme zu führen. Die Führung von Leitungen quer zur Haupttragrichtung stellt oftmals ein Problem dar, wobei die Systeme selbst oder eine intelligente Tragwerksplanung hierbei Abhilfe schaffen.

⑤ Brandschutz

Der Brandschutz ist in Österreich nach den Baubestimmungen auf Landesebene geregelt. Diese unterscheiden sich in gewissen Punkten.

Grundsätzlich gilt, dass an Bauteile und deren Baustoffe Anforderungen bezüglich des Brandschutzes gestellt werden. Dabei muss zwischen dem Brandverhalten von Bauprodukten und der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen unterschieden werden, wobei das Brandverhalten für jene Bauteilschicht entsprechen muss, die die Feuerwiderstandsdauer sicherstellt. Von der Gebäudeklasse ist das zu erreichende Niveau der Anforderungen abhängig.

Bei den Eigenschaften der Baumaterialien wird auf das Materialverhalten im Brandfall genauer eingegangen.

⑥ Schallschutz

Die Bauakustik befasst sich mit der Schallausbreitung in einem Gebäude durch Körper- oder Luftschall. Bereits in der Entwurfsphase werden durch die Raumanordnung, Wahl der Bauweise, Definition der Aufbauten oder Führung von Liftschächten, Wasserleitungen und ähnlichen lärmverursachenden Quellen, wichtige Parameter entschieden.

Deckenkonstruktionen müssen ausreichende Dämmeigenschaften gegen Körperschall, im speziellen Trittschall, und Luftschall aufweisen. Lärmempfinden ist eine subjektive Wahrnehmung, welche durch Messungen und dem Vergleich mit Grenzwerten objektiv bewertet werden soll.

⑦ Vorfertigung

Immer öfter spielt das Thema der Vorfertigung und deren positiven Folgen eine entscheidende Rolle bei der Wahl der Deckenkonstruktion. Die Verkürzung der Bauzeit und die höhere Qualität sind dabei die Schlüsselkriterien, weshalb eine Vorfertigung immer öfter gewünscht ist.

Hierfür spielen einerseits die Transportabmessungen, aber auch das Gewicht der Elemente eine entscheidende Rolle. Hierbei unterscheiden sich Holz und Stahl zum Beton doch gravierend und erhalten durch die leichteren Konstruktionen einen maßgeblichen Vorteil.

Ebenso ist zu beachten, wie die Elemente in sich für den Transport stabil sind und auf der Baustelle miteinander wirken sowie verbunden werden können.

links: Baukonstruktionslehre 4–
Bauphysik – Riccabona, Bednar
(2003), ab S.110

4.3. KONSTRUKTIONSMETHODEN

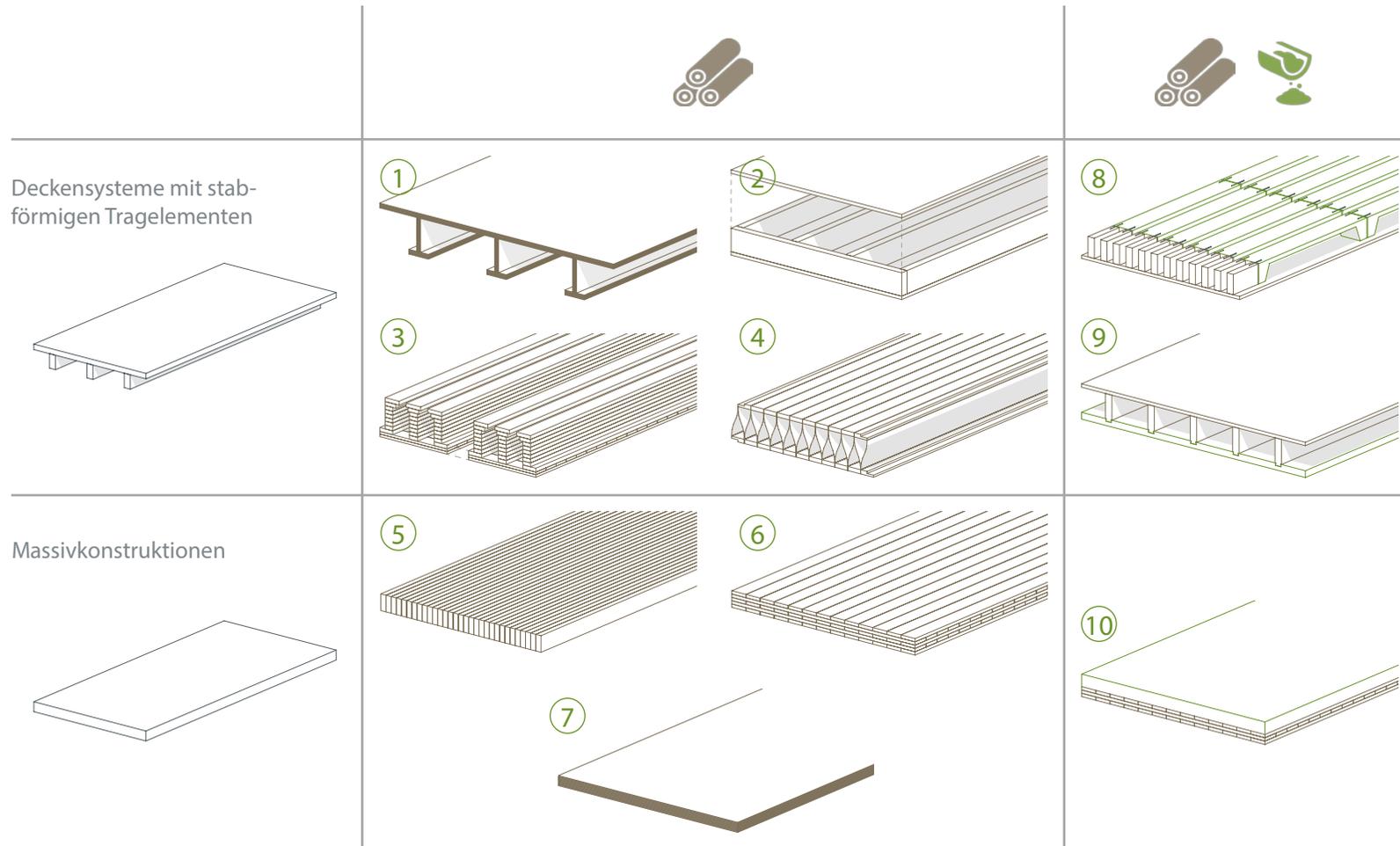
Die Möglichkeiten in der Ausbildung von Decken sind weitreichend und projektabhängig.

Die folgende Kategorisierung erfolgt nach den eingesetzten Materialien Holz, Beton und Stahl, sowie deren Kom-

binationen. Zusätzlich wird zwischen massiven Tragsystemen und Konstruktionen mit stabförmigen Tragelementen unterschieden. Weitere sind für die weitere Arbeit von Bedeutung.

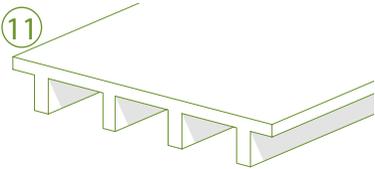
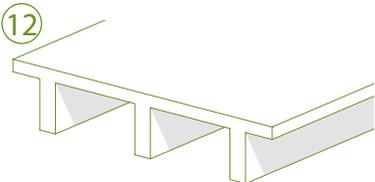
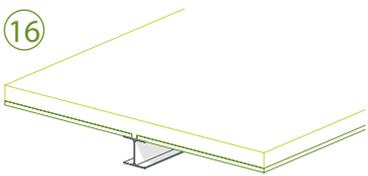
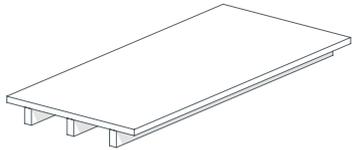
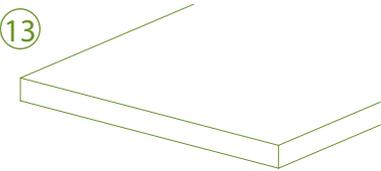
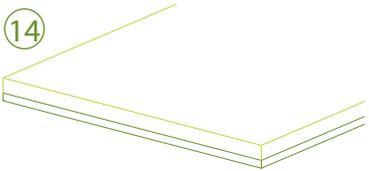
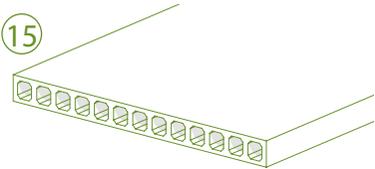
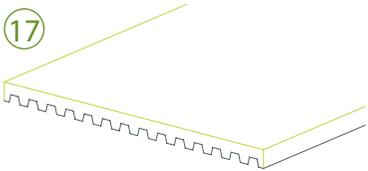
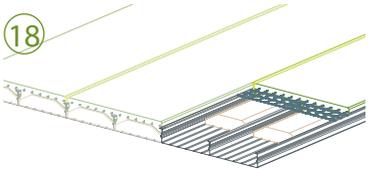
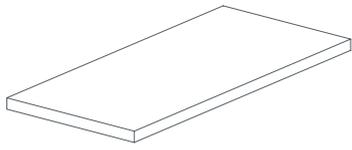
Abb. 4.040 Einteilung von Deckenkonstruktion nach Tragsystem und Materialität

1. Holz-Rippendecken
2. Hohlkastendecken
3. Lignotrend Rippen
4. Kielsteg Decken
5. Brettstapeldecken
6. Brettsperrholzdecken
7. Furnierschichtholzdecken
8. Ligno HBF- Decke
9. SwissWoodConcrete Deck
10. Holz- Beton Verbunddecke
11. Beton- Rippendecken
12. Beton- Plattenbalkendecken
13. Ort betonplattendecken
14. Elementdecken
15. Hohldielendecken
16. Verbundträger- Decken
17. Verbunddecken mit Trapezblech
18. COFRASTRA- & COFRADAL Decken



Deckenkonstruktionen aus reinen Stahlkonstruktionen finden im mehrgeschossigen Bauen wenig bis keine Anwendung, weshalb diese in der abgebildeten Tabelle keine Berücksichtigung erhalten haben.

Ebenso sind Kombinationen aus Holz und Stahl Seltenheit und nur vereinzelt in Japan oder bei Forschungsarbeiten, etwa des ITI der TU Wien zu finden.

		
 		<p>Deckensysteme mit stabförmigen Tragelementen</p> 
  	 	<p>Massivkonstruktionen</p> 

rechts: Mehrgeschossiger
Holzbau Atlas - DETAIL (2017),
S.60

links: Mehrgeschossiger
Holzbau Atlas - DETAIL (2017),
S.58

von links:

Abb. 4.041 Schnittdarstellung
LVL Rippendecke Wood City

Abb. 4.042 LVL-Rippendecken-
element Stora Enso
Bilder aus: Gastvortrag Stora-
enso an der TU Wien - 10.4.2018

Abb. 4.043 Hohlkastendecken
im Egger Verwaltungsgebäude
in St. Johann in Tirol
Bild aus: <http://www.alles4bau.de/artikel/egger-verwaltungsgebäude-st-johann/36110>

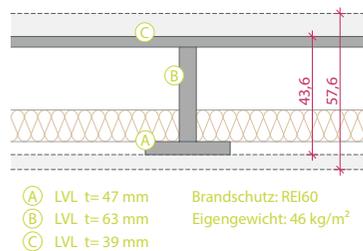
Abb. 4.044 Lignotrend Decke
Bild aus: <https://www.bba-online.de/fachartikel/innen-ausbau/brettsperrholz-trageelement-mit-akustik/>

Deckenkonstruktionen aus Holz

Holzdecken haben eine sehr lange Tradition in der Baugeschichte. Sie gehören zu den ältesten Deckenkonstruktionen neben den Gewölben und erleben durch die modernen Holzprodukte einen Wiederaufschwung.

① Rippendecken

Doppelbaum-, Tram- und Balkendecken haben eine lange Historie in der Baugeschichte. Letztere werden heute noch vereinzelt eingesetzt. Ihre Weiterentwicklung sind Rippendecken, bei denen die Beplankung tragwerkstechnische Funktionen erfüllt. Sie kann an der Ober- oder Unterseite angefügt sein, wobei letzteres seltener angewendet wird. Die Rippen verlaufen, wie bei den Hohlkasten- und Balkendecken in Hauptspannrichtung und somit sind die Elemente nur in eine Richtung gespannt. Die Ausführung der Rippen kann aus Konstruktionsvollholz, Brettschichtholz oder auch LVL erfolgen. Die Beplankungen sind aus OSB-, Dreischicht- oder Furnierschichtholzplatten und sind Teil des statischen Querschnittes.



② Hohlkastendecken

Hohlkastendecken sind ebenso eine Weiterentwicklung von Balkendecken, mit der Tragwirkung eines flächigen Elements. Diese entsteht durch den Verbund aus Trägern in Hauptspannrichtung, Randbalken, die mit den Trägern einen Rahmen bilden, und den ober- und unterseitigen Beplankungen.

Diese tragwerkstechnische Eigenschaft reduziert die Konstruktionshöhe im Vergleich zu einer gleichwertigen Balkendecke, aber ist höher als bei Massivholzdecken.

Da die Beplankungen wesentlich zur Lastableitung beitragen, sind diese aus OSB-, Dreischicht- oder Furnierschichtholzplatten. Im Gegensatz zu Balkendecken können hierbei keine Bretter verwendet werden.

Die Hohlräume der Decken können mit Dämmstoffen oder schwereren Materialien verfüllt werden, um die Dämm-, Schwingungs- oder Schallabsorptionseigenschaften zu verbessern.

Bei der Wood City in Helsinki sind sowohl Rippen-, als auch Hohlkastendecken mit Rippen aus LVL für Decken- und Dachelemente eingesetzt worden.



③ Lignotrend Decken

Die Firma Lignotrend entwickelt und produziert Deckenelemente aus Brettschichtholz. Der Großteil ihrer Systeme sind Rippendecken-Systeme.

Jedes Element setzt sich aus drei Stegen, sowie unterseitigen Gurtplatten zusammen, welche dem statischen Querschnitt angehören. Die Öffnungen an der Oberseite der Deckenelemente werden nicht geschlossen und können somit für Installationen, Lüftungsleitungen, Schüttungen oder Schallschutzmaßnahmen adaptiert werden.

Je nach Anforderungen an das Bauteil können durch Konfigurationen der Schallschutz, die Raumakustik, der Feuerwiderstand verbessert oder auch die Spannweite durch lokale Verstärkungen erhöht werden.

④ Kielsteg Decken

Die Elemente bestehen aus Ober- und Untergurt aus Schnittholz (Fichte), die mit den Stegen aus Sperrholz oder OSB verklebt sind. Die charakteristische Form der Stege ähnelt Bootskielen und begründet den Namen.

Die hohlkastenförmigen Bauteile sind in Elementbreiten von 1,2 m und einer Stärke zwischen 22,8 und 80 cm verfügbar und besitzen Verbindungsfälze an den Längskanten der Ober- und Untergurte. Im Obergurtbereich werden diese über ein Brett verbunden.



⑤ Brettstapeldecken

Brettstapeldecken erinnern an die historischen Dippelbaum- und Dollendecken und gründen in der Produktion von Deckenkonstruktionen aus preiswerten Materialien bei hoher Leistungsfähigkeit. Bretter bzw. Träger werden dicht an dicht angeordnet, miteinander verbunden und somit entsteht bei entsprechenden Verbindungen eine steife Scheibe, welche als gesamtes die Inhomogenität der Einzelemente negiert. Durch die Aneinanderreihung aller Elemente in Längsrichtung und einer somit homogenen Faserausrichtung, sind Brettstapeldecken sehr tragfähig bei geringer Konstruktionshöhe. Die Auflager müssen linear gestaltet sein und eine Beplankung kann notwendig sein für die Verwendung als aussteifendes Bauteil.

⑥ Brettsperrholzdecken

Die Entwicklung des Brettsperrholzes ist ein Meilenstein für den modernen Holzbau, da sein Aufbau die anisotropen Eigenschaften von Holz negiert und die Möglichkeit flächiger Konstruktionen in Holz bietet. Aufgrund der Bretteranordnung mit einer ungeraden Schichtenanzahl, verfügen diese Konstruktionen immer über eine Haupt- und



Nebenspannrichtung. Im Gegensatz zum Brettstapelholz können sie punktuell gestützt und in beide Richtungen auskragen.

links: Datenblatt LIGNO Rippe/Decke (Stand 12.1.2018)

rechts: Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.57

links: Kielsteg Technik Handbuch für Architekten und Planer - Stand 2016

rechts: Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (??) - S.

von links:

Abb. 4.045 Kielsteg Decke
Bild aus: <https://kielsteg.de/>

Abb. 4.046 Brettsperrholz
Bild aus: <https://www.seca.at/bsp-fin1/>

links: Mehrgeschossiger
Holzbau Atlas - DETAIL (2017),
S.63

rechts: [https://issuu.com/
staiger_holzbau/docs/hbf](https://issuu.com/staiger_holzbau/docs/hbf)

Abb. 4.047 Ligno Holz- Beton
Fertigteildecke
Bild aus: [http://www.artbois.
be/images/LignoTrend/
LignoPub/021.pdf](http://www.artbois.be/images/LignoTrend/LignoPub/021.pdf)

⑦ Furnierschichtholzdecken

Seit den 1990er Jahren eignet sich Furnierschichtholz für Wand und Deckenelemente, da die Elemente in größeren Dicken produziert werden.

Die Abmessungen der Elemente sind an die Produktions- und Transportbedingungen gebunden. Durch die Verwendung von Furniersperrholz sind punktuelle Stützungen oder Auskragungen ausführbar.

Holz und Beton

Verbundkonstruktionen aus Holz und Beton sind keine Neuheit. Dabei werden zwei Materialien kombiniert, die divergent hinsichtlich ihrer Eigenschaften sind.

Der natürliche Baustoff Holz ist sehr leicht, weshalb, diese Konstruktionen oftmals schwingungsanfällig sind. Zusätzlich können oftmals Brandschutzanforderungen nicht erfüllt werden.

Beton ist verhältnismäßig unökologisch, hat eine hohe Rohdichte, weshalb vorgefertigte Elemente hohe Transportgewichte haben und zusätzlich ist bei der Verwendung von Ortbeton eine entsprechende Aushärtungszeit einzuplanen.

Gemeinsam können sie diese Nachteile verbessern und ermöglichen vergleichsweise geringe Deckenstärke, einfache Anschlussdetails, gute schall- und brandtechnische Eigenschaften und können vorgefertigt sein.

Für die Erzielung der Verbundwirkung können mechanische Verbindungen, Kerfen und Klebeverbindungen, welche überhand nehmen, verwendet werden.

Folgend werden zwei, eher außergewöhnliche Deckenkonstruktionen und die konventionelle Ausführung vorgestellt

⑧ Ligno HBF (Holz- Beton Fertigteildecken)

Die Deckenelemente setzen sich aus ausgehärteten Betonteilen und Brettsperrholz zusammen. Die Betonelemente befinden sich in den Druckmittelzonen der Elemente, wobei unterhalb die Holzplatte durchläuft, die gleichzeitig die Deckenuntersicht herstellt. Der Verbund zwischen Holz und Beton erfolgt über Schubverbinder.

Zwischen den Brettsperrholzrippen und Betonelementen ist die Führung von Installationen möglich. Quer zur Deckenspannrichtung sind diese aufgrund der speziellen Ausformung der Betonelemente möglich. In Längsrichtung können im Bereich der Auflager, sowie im Bereich der Elementstöße, Leitungen und Kanäle verlegt werden.



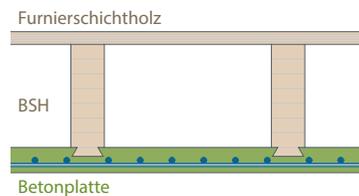
Eine flächige, schubsteife Wirkung erzielen die Einzelemente in Kombination miteinander durch die Verbindung der unterseitigen Beplankung über eingefräste Nut und Feder Verbindungen.

Die Masse des Betons verbessert den Trittschallschutz, da sie weniger schwingungsanfällig ist. Zusätzlich können die Hohlräume der Elemente mit Splitt verfüllt werden.

⑨ SwissWoodConcrete Deck

Die konventionelle Materialanordnung von HBV- Decken ist hierbei umgedreht. Bewehrter Beton wird unterseitig angeordnet, um den Brand- und Schallschutz zu verbessern. Durch die zusätzliche Integrierung einer Deckenkühlung in die Betonplatte soll die Raumklimatisierung steuerbar sein.

Das Gesamtsystem ist eine Hohlkastenkonstruktion mit BSH- Rippen und oberseitigen Beplankung aus Furnierschichtholz. Diese Elemente und Installationen, werden im Betonwerk in die Schalung, beziehungsweise den Frischbeton, verlegt und als Fertigteil auf der Baustelle versetzt.



⑩ Holz- Beton Verbunddecken

Abgesehen von den zuvor erläuterten Konstruktionen werden HBV- Decken grundsätzlich so eingesetzt, dass der Beton als flächige Aufbetonschicht an der Oberseite Anwendung findet, um die Druckkräfte aufzunehmen. Das Holz kann dabei auf unterschiedlichste Konstruktionsweisen unterhalb eingesetzt werden und hält somit den Zugbeanspruchungen stand. Eine gebräuchliche Option ist die Verwendung von Brettsper Holzplatten. Ebenso sind Rippenkonstruktionen mit oberseitiger Beplankung möglich.

Dabei werden drei Ausführungsvarianten unterschieden:

- Der Beton wird vor Ort auf die Holzunterkonstruktion aufgebracht.
- Die Deckenkonstruktion wird in Einzelementen vorgefertigt, die auf der Baustelle versetzt und im Fugenbereich vergossen werden.
- Die Betonelemente werden vorgefertigt und als ausgehärtete Einzelteile über eingelegte Verbindungsmöglichkeiten, wie Verschraubungen, verbunden.



rechts: http://www.holzbauaus-tria.at/index.php?id=111&tx_ttnews%5Btt_news%5D=6684&cHash=d5f0c38c37cc8bb45608098c9aa6edd8

links: Zuschnitt 45- Holz Beton Verbund - proHolz (2012), S.28

von links:

Abb. 4.048 Versuch Swiss-WoodConcrete Deck

Abb. 4.049 Systemschnitt SwissWoodConcrete Deck
Bilder aus: Zuschnitt 45- Holz Beton Verbund - proHolz (2012), S.28

Abb. 4.050 HBV- Decke vor Ort betoniert

Abb. 4.051 Schnitt HBV- Decke aus Brettsper Holz mit eingeschnittenen Kernen
Bilder aus: http://www.dbz.de/artikel/dbz_Holzbau_Stand_der_Technik_3172592.html

rechts: Decken - Pech,
Kolbitsch, Zach (2006), S.36

Die gewählte Ausführung hat vor allem Auswirkung auf den Bauablauf und die Bauzeit, da etwa Aushärtungszeiten wegfallen.

Essentiell ist der Verbund zwischen den Materialien, welcher über unterschiedliche mechanischen Verbindungsmittel oder Kerben im Holz erfolgt. All diese Verbindungen müssen Scherkräfte zwischen den Materiallayern übertragen, um gemeinsam als Konstruktion wirken zu können.

rechts: Decken - Pech,
Kolbitsch, Zach (2006), S.28

Betondeckenkonstruktionen

Neben der Differenzierung zwischen massiven Tragsystemen und jenen mit stabförmigen Tragelementen, ist bei Betonkonstruktionen aufgrund der Herstellung zusätzlich zwischen Ortbeton-, Teilmontage- und Vollmontagedecken zu unterscheiden.

In Folge sind ausgewählte Konstruktionen erläutert, wobei zahlreiche weitere, wie Hohlkörper-, Kassetten- oder Doppelstegdecken verfügbar sind.

rechts: Decken - Pech,
Kolbitsch, Zach (2006), S.45

⑪ Rippendecken

Rippendecken werden anstatt von Plattendecken ausgeführt, um eine größere Stützweite überspannen zu können. Dies resultiert daraus, dass die Plattendicke geringer, die Höhe bei den Rippen größer ausfällt, wodurch das Konstruktionsgewicht essentiell reduziert wird. Der Schalungsaufwand ist dabei größer als bei Flachdecken.

links: Decken - Pech, Kolbitsch,
Zach (2006), S.35

Abb. 4.052 Versetzen von
Halbfertigteilen bei Element-
decken
Bild aus: <https://www.ebawe.de/de/elementdecke>

⑫ Plattenbalkendecken

Tragwerkstechnisch wirken Rippen- und Plattenbalkendecke ident. Zweitere haben im Vergleich zu Rippendecken eine dickere Platte und die Balken sind in größeren Abständen und Dimensionierung ausgeführt.

Die Platte kann im Vergleich zur Rippendecke größere Druckkräfte aufnehmen. Die neutrale Achse befindet sich an der Unterseite der Platte oder im oberen Teil der Balken.

⑬ Ortbeton- Plattendecken

Plattendecken sind flächige Tragwerke, die flexibel gestaltbar sind und für Einfeld-, Mehrfeld- oder punktgelagerte Systeme geeignet sind. Sie können sowohl ein- als auch zweiachsig gespannt sein. Durch die ebene Untersicht ist der Schalungsaufwand sehr gering.

⑭ Elementdecken

Elementdecken sind Halbfertigteildecken, die aus großflächigen, 7-8cm dicken Fertigteilplatten und der Ortbeton-schicht bestehen. Zuvor können bauseits Leitungen mit dem Verlegen der Bewehrung installiert werden. Da die fertige Konstruktion einen massiven Querschnitt ausbildet, ist das Gewicht im Vergleich zu Hohlplattenelementen größer und daraus resultieren geringere Maximalspannweiten und größere Deckenstärken.



⑮ Hohldielendecken

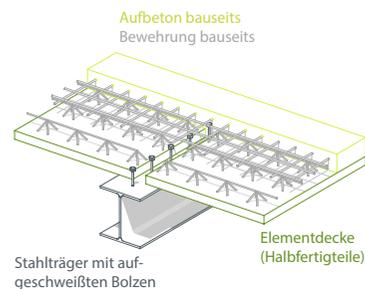
Hohldielendecken sind aus Gründen der Gewichtsreduktion mit Hohlräumen und meist mit vorgespannter Bewehrung ausgestattet, um eine höhere Schlankheit realisieren zu können.

Beton und Stahl

Die Aufgabenverteilung von Stahl- Beton Verbundkonstruktionen ist gleich jener von Stahlbeton, da Stahl die Zug- und Beton die Druckbeanspruchungen aufnehmen.

⑯ Verbundträger- Decken

Verbundträger- Decken bestehen aus Stahlprofilen und einer Betongergänzung. Verbindungsmittel - Betonanker, Kopfbolzendübel oder ähnliches - realisieren eine schubfeste Verbindung zwischen Beton und Stahl. Statisch gesehen bildet sich aus Stahlprofilen und Beton eine, einem Plattenbalkenquerschnitt ähnliche, Verbundkonstruktion. Durch die Verwendung von Beton- Halbfertigteilen, welche auf die Stahlkonstruktion versetzt werden, fallen zusätzliche Schalungs- und Rüstarbeiten größtenteils weg und die Bauzeit wird verkürzt.



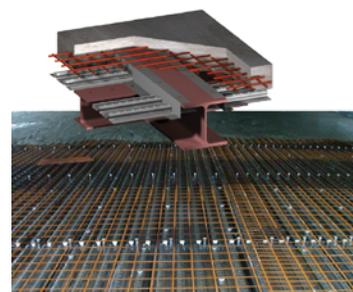
⑰ Trapezblech-Verbunddecken

Diese Konstruktionen bestehen aus einer unteren Lage Trapezblech, welche mit einer Ortbetonschicht ergänzt wird. Das Trapezblech kann aufgrund seines geringen Gewichts einfach verlegt werden und bildet eine verlorene Schalung. Für den Herstellungs- und Betonierprozess müssen die Profile unterstellt sein. In der fertigen Konstruktion kann das Trapezblech Zugkräfte aufnehmen und reduziert den Bewehrungsanteil.

Unterschiedliche Verbindungsmittel, Oberflächenbehandlungen oder Ausführungen können für einen besseren Verbund zwischen den Materialien eingesetzt werden.

⑱ COFRASTRA- und COFRADAL Decken

Beim COFRASTRA- Deckensystem handelt es sich um ein Deckensysteme in Stahl- Beton Verbundbauweise. Es besteht aus Stahlprofiltafeln, welche vor Ort mit einer Bewehrung und Ortbeton ergänzt werden. Die Stahlleichtbautafeln dienen dabei zu Beginn als Schalung, die ausreichend tragfähig für die Montage ist und in weiterer Folge



als Feldbewehrung fungiert. Vereinzelt können Unterstellungen notwendig sein.

Die Elemente können aufgrund ihres geringen Gewichts per Hand, ohne Hebezeug, versetzt und

links: Decken - Pech, Kolbitsch, Zach (2006), S.52

links: <https://www.bauwion.de/wissen/rohbau/geschossdecke/113-decken-stahlverbundbauweise>

rechts: Verbunddeckensysteme COFRASTRA - Arval by Arcelor-Mittal - Stand 27.9.2018

Abb. 4.053 Schemadarstellung Verbundträger- Decke

Abb. 4.054 COFRASTRA- Decken mit Bewehrung und Aufbeton
Bild aus: [http://ds.arcelormittal.com/flipflop/Downloads%20\(PDF,%20etc.\)/Cofrastra/index.html](http://ds.arcelormittal.com/flipflop/Downloads%20(PDF,%20etc.)/Cofrastra/index.html)

vgl.: Verbunddeckensysteme
COFRASTRA - Arval by Arcelor-
Mittal - Stand 27.9.2018

einfach an den Grundriss angepasst werden. Sie verfügen über Einschnitte, eingeprägte Nocken oder aufgeschweißte Bolzen, die in Kombination mit dem Ortbeton eine schubfeste Verbindung darstellen.

Elementlängen bis zu 12,0m sowie -breiten von maximal 1,5m bei einer Blechstärke von 0,75-1,25mm sind verfügbar. Des Weiteren gibt es spezielle abgehängte Deckensysteme, die einfach an der Unterseite in die Profile eingehängt werden können.

COFRADAL- Decken stammen vom selben Hersteller, wie die zuvor erläuterten COFRASTRA- Decken.

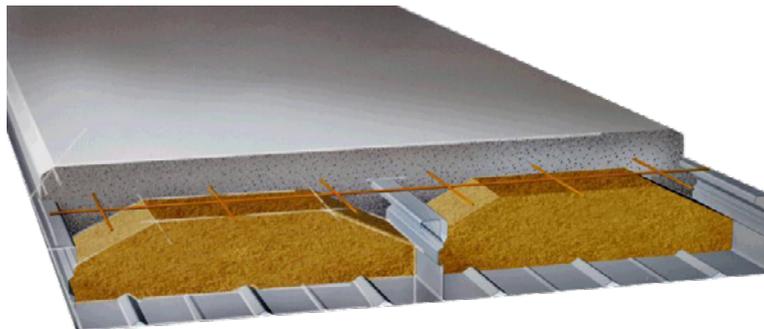
Der große Vorteil dieses Systems ist, dass die Elemente vollständig im Werk vorgefertigt werden. Stahlleichtbauprofile sind mit Mineralfaserdämmung ausgefüllt. Diese dient als Gewichtersparnis und verbessert die schalltechnische und thermische Dämmwirkung sowie die Brandchutzanforderungen.

Auf die Dämmung folgt eine aufgeschweißte Beweh-

rungslage, sowie abschließend die im Werk aufgebrachte und vollständig ausgehärtete Betonschicht. Die Verbundwirkung zwischen Stahlleichtbauelement und Beton wird im Bereich der Fugen und der Aufkantungen der Profile eingegangen. Durch Profilierung der Tragschalen verbessert sich die Steifigkeit des Elements.

Die vorgefertigten Elemente werden auf der Baustelle mittels Hebezeug versetzt, Längs- sowie Querfugen miteinander verschraubt und abschließend mit einem Vergussmaterial verfüllt. Bei den Längsfugen genügt eine Verfüllung mit einem geeigneten Betongemisch. Da bei Spannweiten von mehr als 7,5m die Elemente über Querfugen miteinander verbunden werden müssen und diese die Tragrichtung unterbrechen, bestehen hierbei größere Anforderungen. Meist ist eine Ausführung eines deckengleichen- oder eines Stahl- bzw. Stahlbetonunterzugs notwendig. Genauso wie im Bereich der Auflager, werden diese Zonen mittels zusätzlicher Bewehrung ausgestattet und mit Beton vergossen.

Abb. 4.055 COFRADAL- Decken
als vorgefertigtes Element
Bild aus: <https://docplayer.org/65431294-Stahlverbunddecken-bauweisen-und-vorteile.html>



4.4. VORFERTIGUNG BEI DECKENKONSTRUKTIONEN

Wie weit reicht die Vorfertigung?

Die Aufbauten horizontaler Bauteile gliedern sich in drei Funktionsschichten:

- Fußbodenaufbau
- Tragschicht
- Deckenuntersicht

Die Vorfertigung im Deckenaufbau beschränkt sich meist auf die Tragschicht. Von der gewählten Konstruktionsweise ist der entsprechende Aufwand abhängig.

Brettsperrholzdecken zählen zu jenen mit dem geringsten Bearbeitungsaufwand: Die benötigten Elemente werden als Rohware gekauft und im Werk weiterverarbeitet, wobei meist nur Zuschnitt, Aussparungen oder Anpassungen für Detailausbildungen notwendig sind.

Gegenteilig ist der Aufwand bei Holz- Beton Verbunddecken größer. Zusätzlich müssen die konstruierten Schubverbindungen - Kerfen, Schrauben, eingeklebte Lochbleche, etc. - im Werk eingebaut werden, bevor betoniert werden kann. Dies kann projektabhängig im Werk oder auf der Baustelle erfolgen, wobei letzteres den Vorfertigungsgrad verringert. Mittlerweile gibt es innovative Systeme, die auf vorgefertigte Betonelemente mit Schrauben als Schubverbindungen setzen.

Für den Fußbodenaufbau gilt, dass ein einheitliches Erscheinungsbild und die Herstellung einer bauphysika-

lisch zusammenwirkenden Schicht nur schwer oder aufwändig im Zuge der Vorfertigung möglich sind. Meist kommen lose Schüttungen zum Einsatz und Installationsverrohrungen müssen verlegt werden, die eine Kopplung benötigen. Die Estrichelemente könnten technisch als Platten vorgefertigt werden. Es scheitert allerdings daran, dass sie in ihrer Funktion als großes flächiges Element wirken sollen. Somit werden die Fußbodenaufbauten vor Ort hergestellt, wobei hinsichtlich Baufeuchte und Austrocknungszeit Trockenestriche vorteilhafte Lösungen darstellen.

Im Bereich der Deckenuntersichten gibt es vereinzelt Beispiele, die eine Vorfertigung im Werk ermöglichen. Hierbei sind meist Rippendecken eingesetzt, bei denen die abgehängten Elemente zwischen den stabförmigen Rippen angeordnet sind oder die Installationen in die Konstruktion integriert sind, wodurch die Unterseite auf der Baustelle nicht mehr geöffnet oder bearbeitet werden muss.



links: Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.145

Abb. 4.056 Stadttamt Zwettl - vorgefertigte Deckenelemente mit vor Ort montierter Installation
Bild aus: Architekturbüro Macho - 28.3.2018

links: Bauen mit Holz in Oberösterreich - proHolz Oberösterreich (2011), S.9-10

Abb. 4.057 Deckenteilungsplan LCT One Dornbirn

Teilung und Elementierung

Die Teilung der Deckenkonstruktion gehört früh im Planungsprozess berücksichtigt. Dabei sind Architektur, Tragwerk und errichtungsspezifische Aspekte miteinander abzuwägen.

Die Teilung und Größe der Elemente wird von mehreren Faktoren beeinflusst, die abgewogen gehören. Für eine entsprechende Wirtschaftlichkeit, Systematisierung und konstruktive Ausführbarkeit haben sich bei einer Vielzahl von Projekten **Gebäuderaster** bewährt.

Diese sind ebenso für eine Standardisierung in der Vorfertigung von Vorteil, speziell, wenn sich mehrere Maße wiederholen. Beim LCT One in Dornbirn konnten mit Hilfe einer Rasterung alle Deckenelemente mit den gleichen Außenabmessungen hergestellt werden.

Eine solche Rastergliederung erleichtert zusätzlich die Ausrichtung der **Spannrichtung**, sowie die grundsätzlich parallel dazu laufende Teilung in Einzelelemente.

Durch die Wahl der Deckenkonstruktion - Brettsperrholzdecke, Holz- Beton Verbunddecke, etc. - definieren sich die eingesetzten Produkte. Holzwerkstoffe und viele Vollholzprodukte werden als **industrielle Standardware** produziert. Diese verfügen über definierte Maße. Durch angepasste Bauteilabmessungen können die Werkstoffe effizient und möglichst ohne Verschnitt eingebaut werden.

Holzwerkstoffe werden als Standardware gekauft und anschließend projektspezifisch bearbeitet. Jeglicher verschnittener Materialanteil, der nicht mehr eingesetzt werden kann, geht zu Lasten des Bauherren. Durch eine vorausschauende Planung und Optimierung des Zuschnitts können Material und Kosten eingespart werden.



Stöße und Fugen

Neben der Planung der Elementierung im Grundriss bedarf es auch einer Abstimmung mit dem Konstruktionsquerschnitt. Im Gegenzug zu Massivkonstruktionen sind die Stöße bei Rippenkonstruktionen weniger flexibel anordenbar.

Meist übernehmen Decken die tragwerkstechnische Aufgabe der **horizontalen Aussteifung**, wobei hierfür eine zusammenhängende Scheibe bestehend aus den einzelnen Elementen erforderlich ist, um die Lasten auf die darunterliegenden Geschosse leiten zu können.

Durch Einwirkungen in Richtung der Elementstöße treten Schubkräfte entlang der Fugen und Gurtkräfte in Form von Druck und Zug an den Fugenrändern auf. Diese müssen durch entsprechende Verbindungsmittel oder sonstigen konstruktiven Maßnahmen abgefangen werden.

Einwirkungen quer zu den Stößen führen zu einer Belastung, die einem liegenden Biegeträger gleicht. Diese

werden durch die Anschlüsse an die vertikalen Aussteifungselemente rechtwinkelig zur Belastungsrichtung aufgenommen.

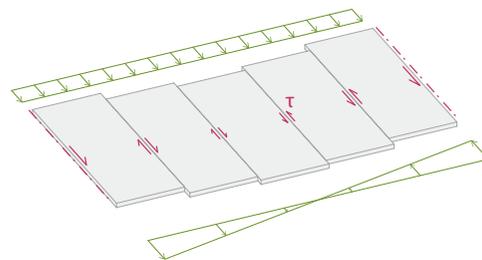
Des Weiteren müssen beim Konstruieren der Fugen und Stöße **architektonische und bauphysikalische Ansprüche** beachtet werden.

Erstere sind für die Tragschicht seltener von Bedeutung, da in der Regel abgehängte Deckenkonstruktionen die Untersicht bilden. Ist dies nicht der Fall können durch spezielle Ausführungen, wie Schattennut oder Nachbearbeitung der Fugen, die Qualitäten verbessert werden.

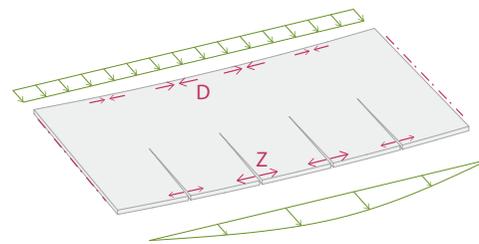
Bauphysikalisch können Wind-, Rauch-, Luftdichtheit und Schallschutz seitens der Planung gefordert sein. Nut und Feder-, Überlappungs-, Falz- oder verdeckte Stöße sind Beispiele für Ausführungen, wobei durch Dicht- und Klebänder die Anforderungen verbessert werden. Andernfalls müssen die darüber befindlichen Schichten die Anforderungen erfüllen, wobei immer darauf zu achten, dass diese durchlaufend gestaltet und verbunden sind.

rechts: Bauen mit Holz in Oberösterreich - proHolz Oberösterreich (2011), S.12

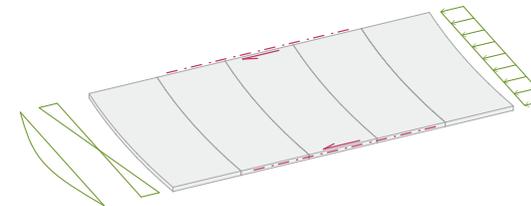
links: Holz_Haus Tage 2015 – Tagungsbuch Holzforschung Austria



Schubkräfte im Fugenbereich



Gurtkräfte (Zug / Druck) an den Scheibenrändern



Beanspruchung normal zu den Fugen als liegender Träger

Abb. 4.058 Auftretende Kräfte bei elementierten Decken
Daten aus: Holz_Haus Tage 2015 – Tagungsbuch Holzforschung Austria

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.62-64

vgl. Decken - Pech, Kolbitsch, Zach (2006), S.100-101

Ausführung mit Beton

Rohdecken aus Beton, bei denen der Beton vor Ort eingebracht wird, stellen immer noch den Großteil der zur Ausführung kommenden Deckenkonstruktionen dar. Hierbei ist die Bildung einer ausreichend steifen Deckenplatte kein Problem.

Bei Holz- Beton- Verbundkonstruktionen gilt dies nicht mehr, zumindest, wenn der Betonlayer bereits im Werk vorgefertigt ist. Die Elemente müssen kraftschlüssig miteinander verbunden werden, damit eine großflächige, steife Scheibe entsteht. Dies geschieht in der Regel mit Vergussmörtel, der in die Fugen eingebracht wird. Diese können mit Ausnehmungen oder anderen Vorkehrungen versehen sein, um die Verbundwirkung zu stärken.

Wie bereits zuvor erläutert, sind der LCT One in Dornbirn sowie das Illwerke Zentrum in Montafon mit dem nahezu identen Bausystem errichtet worden. Projektabhängig mussten vereinzelt Abänderungen durchgeführt werden. Dies ist beispielsweise im Bereich der Fugenausbildung

von links:

Abb. 4.059 Holz- Beton Verbunddecke LCT One in Dornbirn
Bild aus: <http://creebyrhomburg.blogspot.com/2012/04/zukunft-hoch-7-der-lct-one-steht.html>

Abb. 4.060 Holz- Beton- Verbunddecke Illwerke Zentrum in Montafon
Bild aus: <https://www.detail.de/artikel/holz-hybrid-bausystem-illwerke-zentrum-montafon-11644/>



der Fall. Bei beiden Projekten kommen Holz- Beton Verbund Deckenkonstruktionen zum Einsatz, die aus BSH Trägern und einer Aufbetonplatten bestehen. Fassadenseitig wurden Betonunterzüge aus tragwerkstechnischen Aspekten und Brandschutzgründen ausgeführt.

Die Verbindung zwischen den Deckenelementen entsteht durch das Vergießen der Fuge mit einem aushärtenden Mörtelgemisch, wobei zuvor ein Fugenband zum Abdichten eingelegt wurde. Abschnittsweise sind seitlich in den Beton Nuten eingelassen, die weitere Kraftübertragungen ermöglichen.

Zusätzlich sind bei den Deckenelementen des Illwerke Zentrums im Eckbereich Stahlschlüsse zur Kopplung der Deckenelemente miteinander vorgesehen. Diese sind in den Beton über Bewehrungsstähle zurückgehängt. Die Deckenelemente sollen bauseits über Bolzen miteinander verbunden werden bevor dieser Bereich mit Beton vergossen wird. Diese Vorkehrung bedingte die längliche Form des Baukörpers, um die Aussteifung sicherzustellen.

Aussteifung bei Holzkonstruktionen

Ähnlich der zu Beginn des Kapitels getätigten Einteilung kann hinsichtlich der Aussteifungsfunktion zwischen massiven Tragsystemen und Konstruktionen mit stabförmigen Tragelementen unterschieden werden.

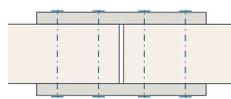
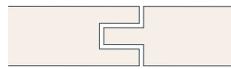
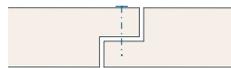
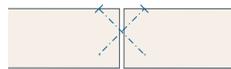
Die Massivkonstruktionen benötigen keine zusätzliche Beplankung, um als aussteifende Scheibe zu fungieren. Sie müssen einzig miteinander kraftschlüssig verbunden

werden. Eine Ausnahme bildet hierbei die Brettstapelholzdecke, da die Produkte vereinzelt zu schubweich sind und somit eine zusätzliche Beplankung notwendig ist.

Bei Rippen- oder Hohlkastendecken ist die Beplankung für die aussteifende Wirkung verantwortlich.

Die Verbindungen von flächigen Holzelementen können folgendermaßen ausgeführt werden:

- **Stumpfer Stoß:** hohe Passgenauigkeit ist notwendig; diagonale Verschraubungen möglich
- **Stufenfalz:** mit Verschraubung oder Verklebung sowie eingelegetem Dichtband
- **Nut und Feder- Systeme:** mit modernen CNC- Maschinen einfach herzustellen; bei Brettsperrholz, Brettstapelholz, aber auch OSB- Platten als Standardware
- **Holzlaschen:** zwei zusätzliche Holzelemente mittels mechanischen Verbindungsmittel seitlich montiert
- **Oberseitiges Brett:** auf oder in Fälze der flächigen Bauteile verlegte und verschraubte Bretter



Diese Bearbeitungsvarianten des Holzes sind vielseitig mit mechanischen Verbindungsmitteln - Schrauben, Bolzen - oder Klebeverbindungen kombinierbar. Dies ist von der tragwerkstechnischen Bemessung und Konstruktion abhängig. Zusätzlich eingelegte Dichtbänder verbessern die Eigenschaften der Fugen.

Die zuvor erläuterten Stöße können bei **Brettsperrholzdecken** allesamt ausgeführt werden. Zusätzlich ist die Teilung freier wählbar, da auf keine Rasterung von Rippen oder Balken geachtet werden muss.

Bei der Aufstockung des **Stadtamts in Zwettl** sind CLT-Elemente zum Einsatz gekommen. Im Randbereich der Deckenelemente sind Falze eingefräst worden, in welche Bretter deckengleich eingelegt und abschließend verschraubt sind.



vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017)- S.62-64

vgl. Decken - Pech, Kolbitsch, Zach (2006) - S.100-101

Abb. 4.061 Ausführungsmöglichkeiten von Deckenstößen

Abb. 4.062 Stadtamt Zwettl - Brettsperrholz- Deckenelement mit eingefrästem Falz
Foto: Architekturbüro Macho - 6.9.2017

Abb. 4.063 Stadtamt Zwettl- Brettsperrholzdecke mittels Brett deckengleich verschraubt
Foto: Architekturbüro Macho - 6.9.2017

Abb. 4.065 KIGA Schrems -
Aufbringen des Klebstoffs für
die Pressverleimung
Foto: Architekturbüro Macho -
8.1.2014

Abb. 4.066 KIGA Schrems -
pressverleimte Brettsperrholz-
deckenelemente
Foto: Architekturbüro Macho -
8.1.2014

von links:

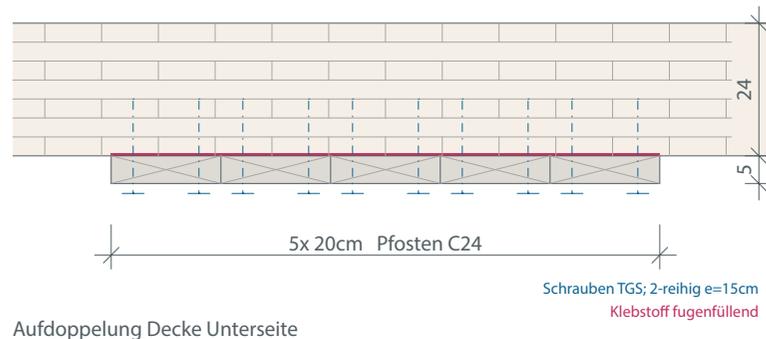
Abb. 4.064 KIGA Schrems -
Aufdoppelung der Brettsperrholz-
elemente laut Tragwerks-
planung
Daten aus: Unterlagen Trag-
werksplanung - DI Johann
Zehetgruber

Abb. 4.067 KIGA Schrems -
Deckenstoß der Brettsperrholz-
elemente mit Pressverleimung
laut Tragwerksplanung
Daten aus: Unterlagen Trag-
werksplanung - DI Johann
Zehetgruber

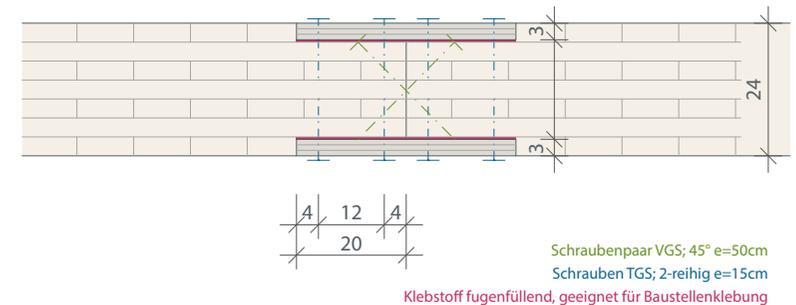
Eine aufwändigere Verbindung der Deckenelemente war beim **Kindergarten in Schrems** erforderlich.

Die Brettsperrholzdecken überspannen vereinzelt Längen über 10m. Diese große Spannweite bringt eine hohe Schwingungs- und Durchbiegungsanfälligkeit mit sich. Um diese zu reduzieren, wurden zusätzliche Stahlstützen eingeplant, die später in den nicht tragenden Zwischenwänden verschwinden.

Um die Deckenelemente abschnittsweise in gleichen Stärken ausführen zu können, wurden partiell mittels Aufdoppelungen lineare Auflager zwischen Wand und Stahlstützen erzeugt. Die Aufdoppelungen bestehen aus nebeneinander angeordneten Pfosten aus Konstruktionsvollholz, die bauseits auf der Deckenunterseite pressverleimt wurden. Hierfür sind die Pfosten zuerst mit Klebstoff bestrichen, bevor sie an der Einbaustelle verschraubt wurden.



Ebenso sind die Stöße der Deckenelemente mittels Pressverleimung kraftschlüssig verbunden. An den Kanten wurden sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite Fälze eingefräst, in welche 40cm breite Dreischichtplatten eingeklebt und abschließend verschraubt wurden.



Rippen- und Hohlkastendecken sind keine Massivkonstruktionen und bei der Anordnung der Elementstöße ist auf die Lage der Rippen zu achten.

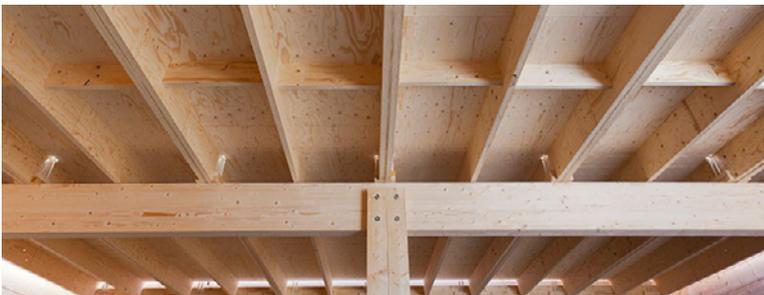
Die Beplankung der Deckenkonstruktion hat lastabtragende und aussteifende Funktion. Die Rippenabstände beeinflussen die Wahl des Beplankungsmaterials.

Dreischicht-, OSB- Platten oder Bretterschalungen mit 2-3cm Dicke eignen sich für Rippenabstände bis zu 90cm. Diese können bereits als Standardware mit einem Nut und Feder System ausgestattet sein.

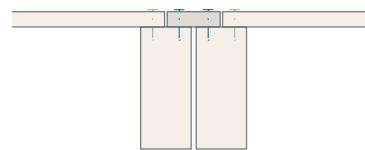


Bei größeren Rippenabständen muss auf tragfähigere Materialien wie stärkere Dreischicht-, Brettsperrholz- oder Furnierschichtholzplatten zurückgegriffen werden.

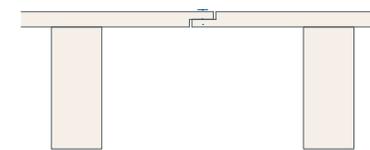
Durch eine Verlegung der flächigen Elemente im Verbund kann die aussteifende Wirkung verstärkt werden.



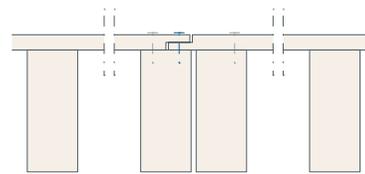
Dies ist jedoch bei vorgefertigten Elementen schwer realisierbar. In der Regel kommen hierbei Lösungen zur Anwendung, bei denen sich die Stöße über den Rippen befinden. Oftmals werden die Rippen im Bereich der Stöße verdoppelt, um Vorfertigung und Transport zu erleichtern. So erhalten die Elemente mehr Stabilität und keine zusätzlichen Transporthölzer sind notwendig.



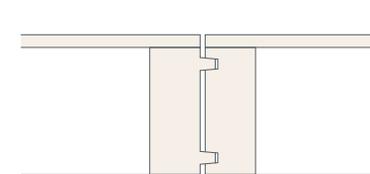
Elementstoß mit Brett (ebenso oberhalb der Beplankung möglich)



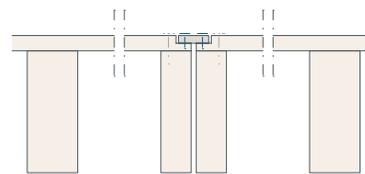
Elementstoß in Feldmitte mit verschraubtem Stufenfalz



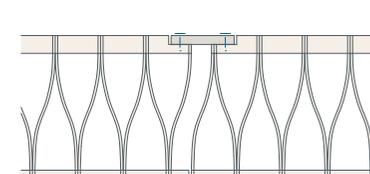
Elementstoß mit Stufenfalz über Randrippen



Elementstoß bei Hohlkastenelementen mittels Nut und Feder



Elementstoß über halben Randrippen mit oberseitigem Brett



Elementstoß bei Kielstegdecke mit oberseitigem Brett

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017)- S.58

links:

Abb. 4.068 OSB- Platte mit Nut und Feder
Bild aus: <https://benz24.at/>

Abb. 4.070 Ausführungsmöglichkeiten von Elementstößen bei Rippen-, Hohlkasten und Kielsteg- Decken

Abb. 4.069 LVL- Rippendecke aus vorgefertigten Elementen mit aufgedoppelten Rippen im Stoßbereich
Bild aus: <https://www.metsawood.com/de/produkte/KERTO/anwendungen/Pages/Vorgefertigte-Holzelemente.aspx>

5. MATERIALITÄT

Holz, Stahl und Beton sind sehr differente Werkstoffe. Von Vorkommen, über Herstellung und Verarbeitung, bis hin zu der Anwendung müssen materialspezifische Aspekte beachtet werden.

Sind diese Eigenschaften bekannt, können Konstruktionen entwickelt werden, die Schwachstellen einzelner Baustoffe ausmerzen oder durch Kombinationen sowie richtigen Einsatz zusätzliche Verbesserungen erzielt werden.

5.1. INTERAKTION ZWISCHEN KONSTRUKTION UND MATERIALITÄT

Holz, in Form von Holzwerkstoffen, Stahl und Beton sind drei, im Verhältnis zur Dauer der Konstruktionsgeschichte, sehr junge Materialien mit hoher Leistungsfähigkeit. Der Materialmix dieser Baustoffe spielt in unterschiedlicher Art und Weise eine Rolle:

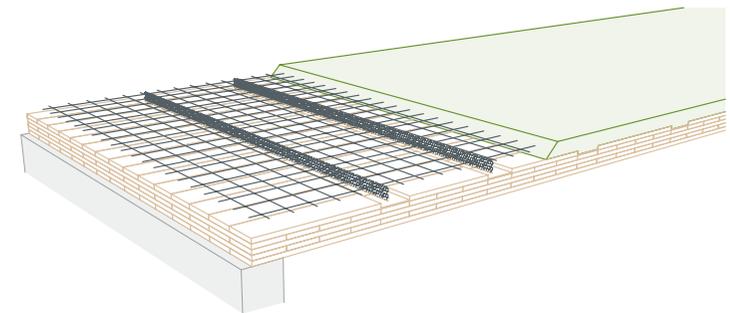
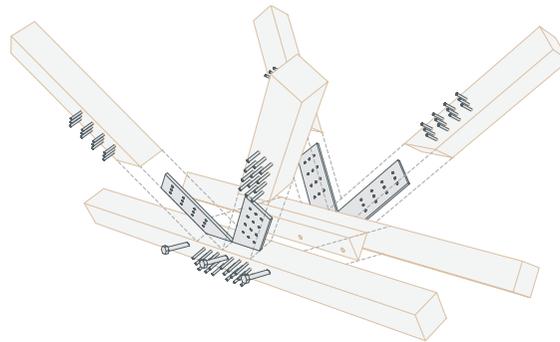
- + Holz und Stahl sind gemeinsam bei Holzbaukonstruktionen zu finden. Der Stahl wird dabei in Form von Verbindungsmitteln bereits seit langer Zeit eingesetzt. Zu Beginn als handgeschmiedete Nägel sind es heute neben Schrauben und Nägeln innovative Verbindungen, die dem Holzbau neue Möglichkeiten bringen.
- + Beton und Stahl stellen seit längerem eine leistungsfähige Kooperation dar, kompensieren sie bei richtiger Anwendung nahezu alle Schwachstellen des Partners. Die gebräuchlichste Anwendung ist der Stahlbeton, wobei ebenso die Kombination aus Stahlprofilen mit Beton eingesetzt wird.

- + Holz und Beton haben als Verbundkonstruktionen in der jüngeren Vergangenheit neue Bedeutung erhalten. Bereits in den 1920er und 30er Jahren wurde damit geforscht, nachdem Stahl als Bewehrung Mangelware war. Speziell durch die Verbreitung des mehrgeschossigen Holzbaus in den letzten Jahren fanden vermehrt Holz-Beton Verbundkonstruktionen Anwendung, da brand- und schallschutztechnische Anforderungen meist mit reinen Holzkonstruktionen nicht erreicht werden. Dabei findet auch Stahl seinen Platz, denn die Betonschichten sind immer bewehrt und der Verbund zwischen Holz und Beton über Stahlverbindungsmitel erzeugt wird.

rechts: zuschnitt 45 | Holz Beton Verbund - proHolz Austria (2012), S.8

Abb. 5.071 Knoten Dreigurtbinder mit eingeschliztem Stahlblech - entwickelt für proHolz Student Trophy 2018

Abb. 5.072 Darstellung HBV-Decke aus Brettsperrholz mit Kerfen und eingeklebtem Lochblech, sowie bewehrtem Aufbeton



5.2. HOLZ & FURNIERSCHICHTHOLZ

HOLZ, der nachwachsende Baustoff

Historische Entwicklung

Bereits vor 400.000 Jahren waren Menschen im Stande Holz zu Gegenstände zu bearbeiten. Egal ob als Werk-, Brenn- oder Baustoff erfüllte Holz zwischen der Steinzeit und 18.Jahrhundert zahlreiche Aufgaben.

Diese hohe Bedeutung des Holzes hatte große Folgen für die Wälder. Phasenweise wurden etwa 90% des Holzes verbrannt. Die „Raubwirtschaft“ in den Wäldern führte zu negativen Umweltauswirkungen, weshalb eine Regulierung angestrebt wurde. Zu Beginn sind nur der Holzschlag, später aber auch die Aufforstung der Wälder überwacht worden. Dies führte zur Einführung des Begriffs „nachhaltend“, welcher nach der Definition von Carl von Carlowitz für die Holzwirtschaft bedeutet, dass nicht mehr Holz gefällt werden darf, als nachwächst. Bis heute besteht „Nachhaltigkeit“ in der Forstwirtschaft.

Mit der Entwicklung von Holzbearbeitungsmaschinen im 18.Jahrhundert gibt es gänzlich neue Möglichkeiten Holz zu verwenden. Kreissägen, Hobelmaschinen, Bandsägen und andere Bearbeitungsmethoden führen zu neuartigen Produkten und Erzeugnissen wie Brettern, Fachwerken oder Bögen. Zusätzlich bekommen Themen wie Holztrocknung, Holzschutz und Verbindungen zwischen Elementen immer mehr Bedeutung und entwickeln sich rasch weiter. Bereits Mitte des 19.Jahrhunderts gibt es leimähnliche Ver-

bindungsmittel und parallel hierzu erste Holzwerkstoffe. Durch die Wechselwirkung zwischen Bearbeitbarkeit, Konstruktion, Verbindungen, Werkstoffkunde, Holzschutz und weiteren Themen schreitet die Entwicklung innovativ voran. Seit der Jahrtausendwende erhält Holz im Bauwesen durch neue Werkstoffe, Bauweisen und computergestützten Bearbeitung einen zusätzlichen Schub.

Ökologie



Abb. 5.073 Photosynthese und Entstehungsprozess von Holz

Holz wirkt positiv dem Klimawandel entgegen. Die Ressource Holz ist nachwachsend, die bei nachhaltigem Wirtschaften keine Knappheit erlangt. In seinem Lebens- und Wachstumsprozess nimmt ein Baum bei der Photosynthese Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre auf und gibt Sauerstoff wieder ab. Des Weiteren speichern Bäume beim Wachstum Kohlenstoff und wirken daher als natürliche Kohlenstoffspeicher, der bei größerer Verwendung von Holz für den Nutzungszeitraum ausgelagert werden kann. Holzprodukte sind aufgrund von Schlägerungsaufwand,

rechts: Vgl. Vorlesungsunterlagen TUMwood - Material Holz, Aufbau und Eigenschaften - WS 2016/17 (Prof. Dr. Klaus Richter)

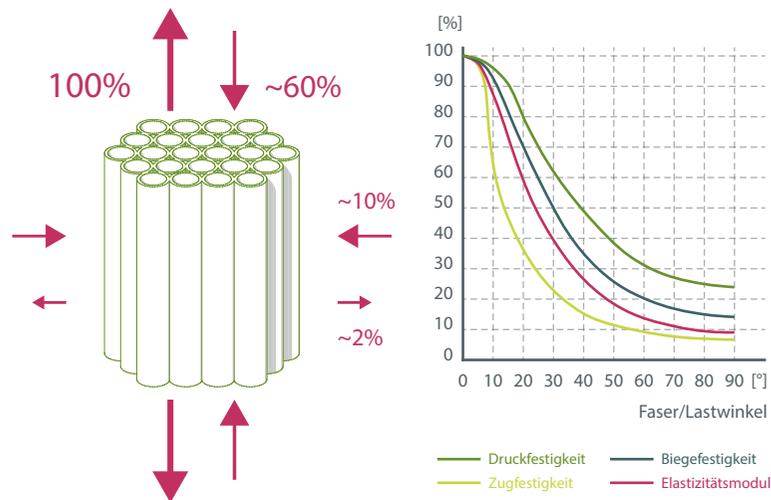
Transport, Bearbeitung und Einbaumaßnahmen nicht CO₂-neutral, aber wirken durch die materielle Substitution sehr positiv für die Umwelt. Durch eine Kaskadennutzung kann die materielle Lebensdauer verlängert werden und somit auch die Dauer der Kohlenstoffspeicherung bevor dieser im Abbauprozesses oder bei energetischen Verwertung wieder freigesetzt wird.

Aufbau, Zusammensetzung & Materialeigenschaften

Da Holz ein natürlich nachwachsender Baustoff ist, unterscheidet es sich maßgeblich von anderen Materialien. Die Individualität wird zusätzlich von den zahlreichen Baumarten, aber auch klimatischen Bedingungen beeinflusst. Äste und sonstige wuchsbedingte Verformungen oder Einschlüsse den Baustoff wirken materialspezifisch.

rechts: Lehrbuch der Bauphysik – Willems (2013), ab S. 707

Abb. 5.074 Holz als Röhrenmodell und Diagramm für die richtungsabhängige Materialfestigkeit



Vereinfacht können der Aufbau und die Eigenschaften von Holz, an einem Röhrenmodell erklärt werden. Die Halme sind die Zellen, welche hauptsächlich aus Zellulose bestehen, und über Lignin zusammengehalten werden.

Aus dem Modell lässt sich das anisotrope Materialverhalten ableiten. Druck- und Zugfestigkeit sind von der Belastungsrichtung abhängig und grundsätzlich parallel zur Faserrichtung höher. Das Quell- und Schwindmaß ist in längs der Fasern wesentlich geringer. Ein weiteres richtungsabhängiges Materialverhalten ist das Kriechen von Holz. Darunter wird die Formänderung bei Dauerbelastung unter konstanter Last verstanden. Diese ist bei Lasten senkrecht zu den Fasern größer als bei Beanspruchungen in Faserrichtung.

Brandschutz

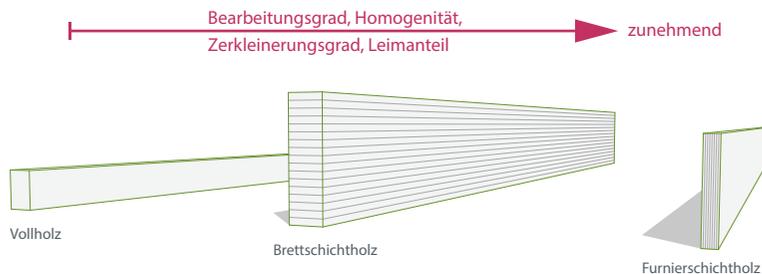
Obwohl Holz brennt, können Brandschutzanforderungen durch Maßnahmen, wie Überdimensionierung, Kapselung oder der Verwendung von weiteren baulichen Maßnahmen, wie Sprinkleranlagen, erreicht werden. Beim Brand kommt es zuerst zum Pyrolyseprozess, bei dem brennbare Gase aus dem Brennstoff freigesetzt werden. Bei der Verbrennung erfolgt eine Zersetzung der Moleküle eines Baustoffs in kleinere Moleküle. Bei Holz ist dies die chemische Zersetzung von Zellulose und Lignin zu Holzkohle und brennbaren Gasen. Die Holzkohle hat in weiterer Folge keine Tragfähigkeit, schützt aber die gesunde Substanz, welche sich weiter im Inneren des Querschnitts befindet.

Holzwerkstoffe und Furnierschichtholz

Holzwerkstoffe haben dem Holz als Baustoff neue Einsatzgebiete ermöglicht. Zuvor noch auf die aus einem Stamm zu gewinnenden Querschnitte beschränkt, ist es heute möglich plattenförmige oder Produkte mit besonderen Eigenschaften zu gewinnen.

Problematische Eigenschaften wie etwa Inhomogenität, Dimensionsänderungen, Brandverhalten oder Witterungsbeständigkeit können ausgeglichen werden und zusätzlich hohe Festigkeiten bei geringem Gewicht, Dämmeigenschaften oder Feuchteausgleich generiert werden..

Die Größe des Holzes als Ausgangsprodukt und der Bindemittelanteil stehen in einem direkten Verhältnis und beeinflussen die Produkteigenschaften. Je kleinteiliger die Bestandteile, desto größer ist der Bindemittelanteil. Ein größerer Bindemittelanteil bedeutet, dass der Bearbeitungsgrad und die Homogenität zu nehmen. Das Ausmaß des Quellen und Schwindens werden gesenkt.



LVL (Laminated Veneer Lumber) ist Furnierschichtholz, das sich aus mehreren Lagen verklebten Nadelholzfurnieren zusammensetzt. Die Vorteile von Furnierschichtholz bilden seine hohe Festigkeit bei geringem Gewicht, einer hohen Dimensionsstabilität, sowie einer einfachen Bearbeitbarkeit.

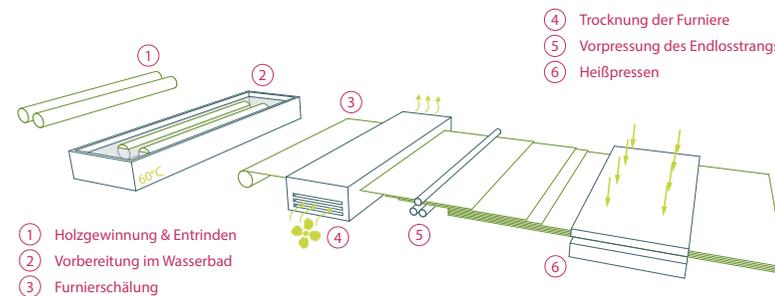


Abb. 5.075 Herstellungsprozess Furnierschichtholz
Daten aus: STEICO Produktion LVL (www.youtube.com/watch?v=OGFhc08jv5c)

Zu Beginn werden die Holzstämmen entrindet, abgelängt und nach verbleibendem Durchmesser sortiert. Ein 60°C warmes Wasserbad bereitet die Stämme für die Furnierschälung vor. Unter Rotation der Stämme werden die 40m langen Furniere abgeschält und anschließend mittels Laser auf Qualität geprüft. Die Furniere müssen für die Weiterverarbeitung auf 5% Holzfeuchte getrocknet und nach Festigkeit sortiert sein.

Nach dem Einleimen der Furniere werden diese zu Endlosplatten mit versetzten Stößen gestapelt. Eine erste Verklebung des Endlosstrangs erfolgt in der Vorpressung. Nach weiteren 15 bis 90 Minuten bei 140°C und 15 bar Druck werden die Platten in der Heißpressanlage fertiggestellt.

Abb. 5.076 Vergleich Vollholz- Brettschichtholz- Furnierschichtholz

Es gibt zahlreiche Einsatzgebiete für LVL, welche sich von tragenden Bauteilen bis hin zu Elementen des Innenausbaus erstrecken. Aufgrund dieses breiten Einsatzspektrums ergeben sich unterschiedliche Anforderungen, die an den Werkstoff gestellt werden.

Grundsätzlich kann zwischen **zwei Arten von Furnierschichtholz** unterschieden werden:

Abb. 5.077 Aufbau Furnierschichtholz - gestapelt oder gesperrt

- LVL mit ausschließlich längsorientierten Furnierlagen



- LVL, bei dem jede fünfte Lage um 90° verdreht ist



Kreuzweise verleimtes Furnierschichtholz weist eine erhöhte Steifigkeit und Biegefestigkeit in Richtung der Furnierlagen auf. Bei Verwendung als Träger erhöht dies zusätzlich die Schubfestigkeit und die Dimensionsstabilität gegen Quellen und Schwinden.

Der Vergleich der LVL-Produkte der drei marktführenden Anbieter zeigt, dass die Produktion sehr ähnlich verläuft und sich die Elemente jeweils aus 3mm starken Furnieren zusammensetzen. Somit ergeben sich gleiche Abstufungen bei den produzierten Materialstärken.

5.3. STAHL & BLECH

STAHL, ein industriell hergestellter Baustoff

Historische Entwicklung

Eisen ist das Grundmaterial für die Erzeugung von Stahl und somit der Ausgangspunkt der geschichtlichen Entwicklung von Stahl.

Mit der Erfindung des Hochofens um 1500 n. Chr. ist ein wichtiger Meilenstein für die Verwendung und Entwicklung von Stahl gelungen. Eisen ist damit im heißen Zustand in flüssiger Form vorhanden, wobei größere Mengen erst mit Ende des 18. Jahrhunderts gewerkmäßig sind.

Die Industrialisierung hatte großen Einfluss auf die Entwicklung der Stahlproduktion. Die maschinellen und technologischen Innovationen bringen ein stetiges Vorschreiten der Herstellung und Produktion, den Bearbeitungsprozessen und Verbindungsmöglichkeiten.

Herstellung & Zusammensetzung

Stahl ist eine Legierung mit Eisen als Grundmaterial, sowie Kohlenstoff und weiteren Legierungselementen, die die Materialeigenschaften beeinflussen. Je nach Einsatz können die Anteile der Bestandteile angepasst werden, wobei der Gewichtsanteil von Kohlenstoff bei maximal 2% liegen darf, um als „Stahl“ bezeichnet werden zu können. Baustähle sind unlegierte Stähle. Das bedeutet, die Summe der sonstigen Legierungselemente liegt bei unter 5%.

Die Herstellung von Stahl und Baustahl erfolgt heute im Sauerstoffblasverfahren sowie durch die Elektrostahler-

zeugung. Aus den Einsatzstoffen Eisenerz, Brennstoffen, Reduktionsmittel und Zuschlägen entsteht im Hochofen Roheisen. Wie zuvor erläutert, ist der Kohlenstoffgehalt entscheidend für den Stahl. Beim Frischen wird deshalb aus dem Roheisen überschüssiger Kohlenstoff verbrannt und Rohstahl erzeugt. Unterschiedliche Verfahren zur Nachbehandlung, beispielsweise Desoxidation oder Entschwefelung, regeln die Anteile der sonstigen Legierungselemente, welche teilweise unerwünscht sind, sowie die Möglichkeiten der weiteren Bearbeitbarkeit. Beim Vergießen des Stahls entstehen Blöcke, Brammen oder Knüppel, die zum gewünschten Endprodukt weiterbearbeitet werden.

Baustahl und seine Eigenschaften

Mehrere Anforderungen werden an Baustähle gestellt, die nicht isoliert betrachtet werden können, da sie sich gegenseitig beeinflussen.

Bei Stahl ist die Zugfestigkeit der wesentliche Indikator für die Festigkeitseigenschaften. In Prüfversuchen wird diese ermittelt und kann durch ein für Baustähle typisches Spannungs-Dehnungs Diagramm dargestellt werden:

Zu Beginn der Belastung hat Stahl ein linear-elastisches Materialverhalten, welches das Elastizitätsmodul des Stahls von etwa 21000 kN/cm^2 darstellt. Dieses ist der Widerstand eines Materials gegen elastische Verformungen.

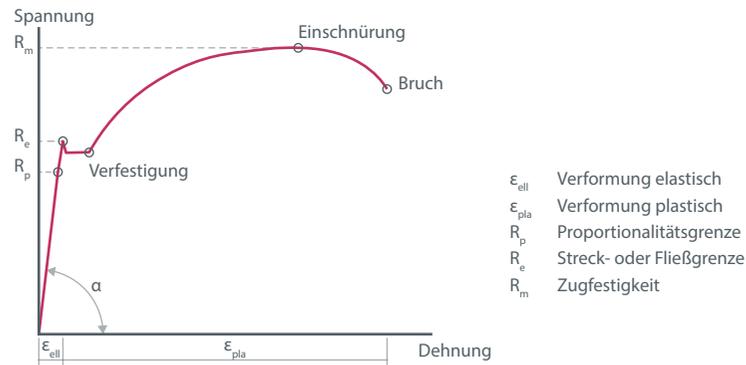
Nach Erreichen der Proportionalitätsgrenze treten erstmals bleibende Verformungen auf. Bei Überschreiten der

vgl.: Stahlbau - Grundlagen, Konstruktion, Bemessung - Luza, Palka, Schnaubelt (2011)

Abb. 5.078 Arbeitslinie Baustahl
Daten aus: Stahlbau - Grundlagen, Konstruktion, Bemessung - Luza, Palka, Schnaubelt (2011)

rechts: Baustoff Atlas - Thorsten Rosenkranz, Manfred Hegger (2012), S.78

oberen Fließgrenze nehmen die Verformungen bei gleichbleibender Spannung zu. Nach Verfestigung am Ende des Fließbereichs kann eine weitere Laststeigerung bis zum Erreichen der Zugfestigkeit erfolgen. Nach dieser entsteht im Probekörper eine Einschnürung, an welcher in späterer Folge der Bruch auftritt.



Die Festigkeitseigenschaften von Stahl werden maßgeblich durch die chemische Zusammensetzung, besonders der Legierungselemente, beeinflusst. Neben der Veränderung der Zugfestigkeit, Fließgrenze oder Zähigkeit können weitere Eigenschaften, wie die Schweißeignung, Rostbeständigkeit sowie Bruchverhalten adaptiert werden.

Brandschutz

Eisen und Stahl sind so wie Beton von der Europäischen Kommission in die Materialkategorie A „nicht brennbar“ eingeordnet worden. Trotzdem ist der Brandschutz im

Stahlbau ein sehr wichtiges Thema. Bereits bei einem Temperaturanstieg von 100°C fällt das E-Modul von Stahl, die Zugfestigkeit ab 250°C. Somit ist es wichtig die Temperatur der Stahlkonstruktion für die Dauer des geforderten Brandwiderstandes möglichst gering zu halten. Dies kann mittels Ummantelung oder Verkleidung der Bauteile mit Trockenbauelementen oder anderen geeigneten Baustoffen geschehen. Oftmals finden auch Brandschutzanstriche, die bei einer Temperaturerhöhung ab 80°C aufschäumen, Anwendung.

Korrosion

Korrosion ist ein materialzersetzender Prozess, der durch Sauerstoff und Feuchtigkeit unter Wasser, im Boden oder in der Luft hervorgerufen wird. In einem elektrochemischen Prozess wird aus Eisen Eisenoxid und Eisenhydroxid, der sogenannte Rost. Gegen diese Reaktion ist die Oberfläche mit Beschichtungen oder Überzügen zu schützen.

Erzeugnisse

Baustahl wird in unterschiedlichsten Erzeugnissen im Bauwesen eingesetzt, wobei fast ausschließlich warmgewalzte Elemente Einsatz finden. Bei der Warmformgebung wird der Baustahl bei Temperaturen zwischen 800 und 1150°C bearbeitet. Die Erhitzung erfolgt in Öfen bevor die Umformung in mehreren Schritten an Walzstraßen erfolgt. Die konventionell verwendeten Stahlerzeugnisse sind Produkte mit genormten Abmessungen und Eigenschaften.

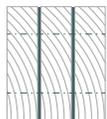
Bleche

Am Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau wurden in den letzten Jahren mehrere Projekte hinsichtlich hybrider Bauelemente durchgeführt, wobei untersucht wurde, welche Vor- und Nachteile, sowie sonstige Aspekte bei der Wahl des geeigneten Erzeugnisses eine Rolle spielen:



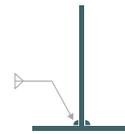
Warmgewalzte Profile, mit ihren unterschiedlichsten Querschnitten, bilden die am häufigsten eingesetzten Elemente im Stahlbau. Sie sind aufgrund ihrer

Standardquerschnitte und der hohen Serialität preisgünstig. Ersteres schränkt sie gleichzeitig in der Anwendung ein. Aufgrund des Gewichts sind sie hinsichtlich der Produktion von hybriden Bauteilen schwer handhabbar.

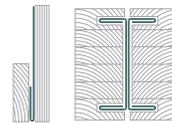


„**Flitch Beams**“ sind Hybridträger bei denen Flachstahlplatten senkrecht im Querschnitt zwischen dem Holz eingebaut sind. Diese sind günstig und leicht

verarbeitbar. Sie bringen aber nur eine geringfügige Verbesserung des Querschnittes, wodurch diese Lösung als wenig innovativ und fortschrittlich gesehen werden kann. Außerdem sind die Flachstahlplatten für Konstruktionen mit höheren Beanspruchungen wenig geeignet.



Flexibler im Querschnitt sind individuell angefertigte **geschweißte Profile**. Freiheiten bestehen hinsichtlich Dicke und Geometrie, wobei die Elemente durch das Schweißen thermische Verformungen erfahren, die gegen eine passgenaue Kombination mit Holzquerschnitten sprechen.



Gekantete Profile aus Blechen haben sich als sehr gute Lösung etabliert. Flexible Querschnitte können einfach, sauber und bei hoher Genauigkeit angefertigt werden. Zusätzlich sind sie preiswert. Die Querschnitte werden aus Blechen mit bis zu 4mm Dicke angefertigt, die durch ihr geringes Gewicht einfach handhabbar sind.

Bleche sind Flacherzeugnissen, mit großer Ähnlichkeit zu Breitflachstählen, wobei Bleche keine eigene Abmessungsnorm haben und nur zweiseitig gewalzt sind, wodurch die Beschaffenheit der Kanten nicht genau definiert ist und ein Abtrennen notwendig ist.

Grobbleche sind jene mit einer Dicken von mindestens 3 mm und spielen im Gegensatz zu den Feinblechen, welche dünner sind, eine größere Rolle im Bauen.

Bleche werden als Tafeln geliefert und bieten viele Freiheiten bei der Weiterbearbeitung und Gestaltung.

vgl. Timber-Steel Hybrid Beams for Multi-Storey Buildings - Felipe Riola Parada (2016) - S.74

Abb. 5.081 geschweißtes Stahlprofil

Abb. 5.082 gekantete Profile aus Blechen

Abb. 5.079 warmgewalztes Profil

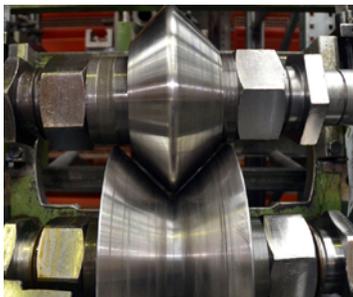
rechts: Stahlbau - Grundlagen, Konstruktion, Bemessung - Luza, Palka, Schnaubelt (2011)

Abb. 5.080 Flitch Beams

Bearbeitung von Blechen

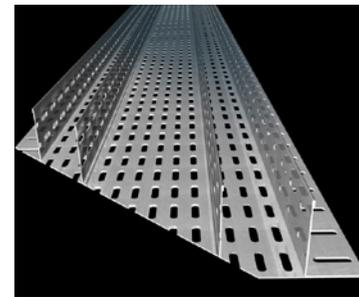
Dank dem Einsatz von hoch technologischen Maschinen können verschieden Bearbeitungsarten an Blechen vollzogen werden:

- Beim **Profilieren** wird die Querschnittsform bearbeitet, welche sich auch über die Länge des Elements verändern kann. Die einfachsten Verfahren sind das Kanten und Rollprofilieren, bei dem durch das Ziehen des Stahls über formgebende Rollen der Querschnitt verändert wird.
- Sonderformen der Profilierung sind die Banddickenoptimierung, das Spaltprofilieren und Spaltbiegen.
- Durch **Trennverfahren** können Breite und Länge von Elementen bestimmt werden, ebenso Aussparungen und Öffnungen in die Elemente integriert werden. Zur Anwendung kommen unterschiedliche Sägeverfahren, Scheren, Abstanzen oder Laserschneiden.



- Um mehrere Bleche miteinander zu verbinden, werden **Fügetechniken** eingesetzt. Schweißen ist heute das wichtigste Verfahren, um Bauteile oder Elemente miteinander zu verbinden. Hierbei gibt es aber zahlreiche Techniken bei denen methodisch zwischen Schmelz- und Pressschweißen differenziert werden kann. Bei Ersterem entsteht der Verbund durch reine Erwärmung mit oder ohne zusätzlichem Werkstoff. Beim Pressschweißen wird zusätzlich Druck ausgeübt, um den Verbund herzustellen.
- Durch **Biegen** wird entweder der Querschnitt oder die Form der Längsachse des Elements verändert. Durch modernste Technologien sind beliebige Formen, selbst mit engen Biegeradien bei hoher Passgenauigkeit möglich.

All diese Bearbeitungstechniken können in mehreren Schritten kombiniert werden und somit sind der Gestaltung der Erzeugnisse nahezu keine Grenzen gesetzt.



<https://www.welser.com/>

von links:

Abb. 5.083 Rollprofilieren

Abb. 5.084 Kanten von Blech

Abb. 5.085 Blechelement -
gelasert und gekantet
Bilder aus: <https://www.welser.com/>

Abb. 5.086 Hohlprofil -
gekantet, profiliert und
gebogen
Bild aus: <https://dynat-herm-heizfolien.de>

5.4. BETON

BETON, ein formbarer Werkstoff

Historische Entwicklung

Bereits die Römer verwendeten ein betonähnliches Baumaterial beim Bau der Kuppel des Pantheons in Rom etwa 125 n. Chr. und hatten ein hochentwickeltes Verständnis für Konstruktionen. Mit dem Niedergang des römischen Reiches verschwand Beton lange Zeit aus der Konstruktionsgeschichte.

Beginn, der bis heute andauernden Blütezeit des Betons, ist das Ende des 18. Jahrhunderts. Einerseits hat es eine Entwicklung im Bereich der Bindemittel gegeben, welche zu der Entwicklung von Material wie „Roman- Cement“ (1786) und später „Portland- Cement“ (1824) führten. Parallel dazu kommt „Eisenbeton“ erstmals 1845 zum Vorschein. Josef Monier erhielt zahlreiche Patente für seine Blumentröge und Gartenbänke, bei denen er mittels Einlagen von Eisen die Eigenschaften von Beton verbesserte.

Das zunehmende Bedürfnis nach Sicherheit verhalf dem massiven Beton nach den beiden Weltkriegen um sich endgültig als Baumaterial zu etablieren.

Die Verwendung von Stahl anstatt Eisen, die Entwicklung von vorgespannten Betonkonstruktionen, Hochleistungs- oder Stahlfaserbeton, sowie die Verbesserung spezifischer Eigenschaften stellen auszugsweise die fortschrittliche Weiterentwicklung des Betons dar.

Herstellung & Zusammensetzung

Durch das Mischen von Gesteinskörnung, Wasser und Zement entsteht Beton. Je nach Anwendung können Zusatzmittel oder Zusatzstoffe zum Einsatz kommen, welche die Eigenschaften beeinflussen. Je nach Raumgewicht des ausgehärteten Beton ist zwischen Schwer- ($\rho > 2,6 \text{ t/m}^3$), Normal- ($\rho = 2,0\text{-}2,6 \text{ t/m}^3$) und Leichtbeton ($\rho = 0,8\text{-}2,0 \text{ t/m}^3$) zu unterscheiden. Das Raumgewicht ist von Luftporen und der Art des Zuschlagstoffes abhängig.

Zement ist ein hydraulisches Bindemittel, welches durch Hydratation sowohl an der Luft, als auch unter Wasser erhärtet. Grundsätzlich wird Portlandzement verwendet, welcher mit Zuschlagstoffen, wie Hüttensand, Microsilica, Kalkstein, Puzzolan gemischt sein kann.

Die Rohstoffe für die Herstellung von Zement sind Kalkstein, Ton und Mergel, welche in Steinbrüchen durch Sprengen gewonnen und mit großen Transportern zum Brechen und Mahlen gebracht werden. Das gemahlene Gemenge soll möglichst homogen zusammengesetzt sein, bevor es in den Drehrohröfen bis zur Sintergrenze, welche bei etwa 1450°C liegt, zu Portlandzementklinker gebrannt wird. Um den Zement verarbeiten zu können, muss er nach der Abkühlung fein gemahlen werden. Der Herstellungsprozess ist sehr energieaufwändig, wenn auch versucht wird, Abwärme oder sonstige Energierückgewinnung im Prozess zu nutzen und zu integrieren.

vgl.: Stahlbetonbau – Teil 1 – Valentin, Potucek, Kidéry, Fritze (2008)

rechts: <https://www.vdz-online.de/zementindustrie/zement/herstellung/>

vgl.: Stahlbetonbau – Teil 1 – Valentin, Potucek, Kidéry, Fritz (2008)

Bei Betonzusätzen ist zwischen Zusatzstoffen und Zusatzmitteln zu unterscheiden, welche die chemischen oder physikalischen Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons beeinflussen. Zusatzstoffe kommen in größeren Mengen zum Einsatz und müssen daher in der Berechnung der Zusammensetzung berücksichtigt werden. Dies können Farben, Steinmehl, Trass, Flugasche, Hüttensand, etc. sein. Zusatzmittel werden, bezogen auf den Zementanteil, in kleinen Mengen hinzugegeben. Dies können Luftporenmittel, Verflüssiger, Fließmittel, Erstarrungsverzögerer, Erstarrungsbeschleuniger oder ähnliches sein.

Materialeigenschaften & Stahlbeton

Stahlbeton ist ein Verbundwerkstoff, der die Zugfestigkeit des Betons verbessert. Beton kann hohe Druckkräfte aufnehmen. Bei 10 % der Druckspannung stößt Beton bei Zugbeanspruchung an seine Grenze und es kommt zu einem Spröbruch. Durch die richtige Einlage von Bewehrungsstahl wird die Zugfestigkeit des Bauteils verstärkt und Bruchversagen kündigt sich durch Verformungen an. Bewehrungsstähle sind speziell für den Einsatz in Beton hergestellte Erzeugnisse aus Stahl mit hoher Festigkeit, damit Formänderungen der Bauteile hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit minimiert werden. Die Verbundwirkung wird durch die Profilierung der Bewehrungsstähle erhöht.

Die Spannungs- Dehnungs- Linie beschreibt das Verhält-

nis von einwirkender Spannung und der resultierenden Verformung bei einachsiger Beanspruchung.

Bei der Betrachtung der Arbeitslinie unter Druckbeanspruchung zeigt sich, dass Beton im Gegensatz zu Stahl keinen elastischen Bereich aufweist, sondern einen stetigen gekrümmten Verlauf hat. Dies bedeutet, dass plastischen Verformungen auftreten, die durch Risse im Inneren des Bauteils begründbar sind. Somit ist die Definition des Elastizitätsmodul, welches den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung beschreibt, nicht so einfach und es werden zwei Elastizitätsmodule bestimmt, welche sich aus der Tangente und Sekante der Kurve ergeben. Je nach Berechnungsfall und Höhe der Spannungen muss einer der beiden Werte verwendet werden. Es ist zu erwähnen, dass merkbare, bleibende Dehnungen im Beton erst außerhalb des Gebrauchslastbereichs anfallen.

Unter Zugbeanspruchung tritt ein Versagen sehr rasch und unangekündigt ein. Dies wird als Spröbruch bezeichnet.

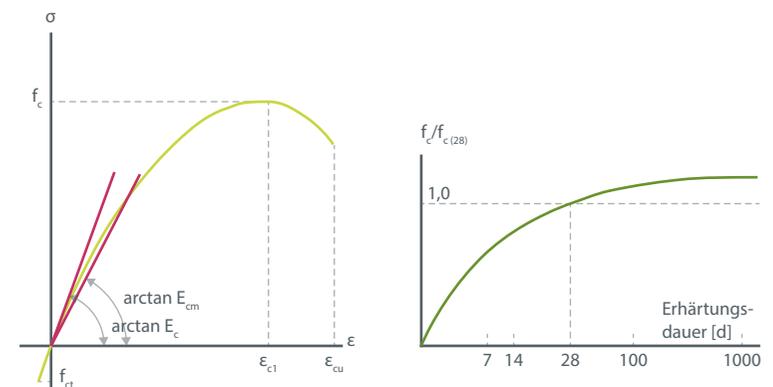


Abb. 5.087 Arbeitslinie Betonvereinfacht
Daten aus: Stahlbetonbau – Teil 1 – Valentin, Potucek, Kidéry, Fritz (2008)

Abb. 5.088 Diagramm Festigkeit zu Erhärtungsdauer
Daten aus: Stahlbetonbau – Teil 1 – Valentin, Potucek, Kidéry, Fritz (2008)

Beton erreicht beim Aushärten in den ersten 28 Tagen 60-90% seiner Endfestigkeit. Diese wird maßgeblich von Zement und der Umgebungstemperatur beeinflusst. Über einen späteren, sehr lange andauernden Zeitraum, wird die endgültige Festigkeit erreicht.

Schwinden und Kriechen

Dies sind zeitabhängige Verformungseigenschaften, die als Langzeitverformungen bezeichnet werden.

Schwinden tritt zufolge Austrocknung auf und kann durch Nachbehandlung des Betons verringert werden.

Kriechverformungen entstehen durch lange andauernde Belastung, die zu Veränderung des Kraftflusses im Betongerüst führen und erst nach 2-3 Jahren abklingen.

Brandschutz

Stahlbeton hat ein ausgezeichnetes Brandverhalten und gehört als nichtbrennbarer Baustoff zur Kategorie A1. Er erreicht meist ohne zusätzliche Maßnahmen eine Widerstandsdauer von 60 Minuten und stellt keine Erhöhung der Brandlast dar. Gefährlich sind bei Betonkonstruktionen Abplatzungen, die den Querschnitt vermindern und die Bewehrung freisetzen.

Spezielle Betonerzeugnisse

Die Entwicklung und Forschung der Betonindustrie führt zu neuen, leistungsfähigen Spezialbetonarten.

Hochleistungsbeton, hochfester Beton, ultrahochfester

Beton, selbstverdichtender Beton oder faserverstärkter Beton sind Beispiele. Die Rezeptur und Zugabe bestimmter Stoffe verändern hierbei die Materialeigenschaften und so können Beton mit besonderen Anforderungen hergestellt werden.

Betonfertigteile

Elemente aus Beton können problemlos vorgefertigt werden. Vorteile der höheren Maßgenauigkeit, Realisierung unter kontrollierten Bedingungen im Werk und somit höherer Qualität treffen auch bei Betonfertigteilen zu.

Ein gravierender Nachteil des Betons im Vergleich zu Stahl und Holz sind das hohe Eigengewicht und die vergleichsweise großen Querschnitte und Dimensionierungen, die in Summe ein hohes Transportgewicht darstellen. Deshalb finden oftmals Halbzeuge aus Beton Anwendung.

Um diesen Nachteil zu verringern, wird versucht mit Spezialbetonen den Querschnitt oder das Raumgewicht zu reduzieren. Hierbei können faserverstärkte Betone und spezielle Bindemittel mit Silikastaub Abhilfe schaffen.

Für den Einsatz von Betonfertigteilen im Vergleich zur konventionellen Ortbetonbauweise spricht, dass Aushärungszeiten auf der Baustelle wegfallen, sowie Schwindverformungen bereits weitgehend abgeklungen sind.

vgl.: Stahlbetonbau – Teil 1 – Valentin, Potucek, Kidéry, Fritze (2008)

Baustoff Atlas - Thorsten Rosenkranz, Manfred Hegger (2012)

Abb. 5.089 Gegenüberstellung der Materialeigenschaften von Holz - Stahl - Beton

Bei Holz wird von Fichtenholz (C24) ausgegangen, welches das wichtigste Bauholz in Europa ist.
Daten aus: Datenblatt dataholz-Festigkeitssortiertes Bauholz-Stand: 1.8.2017

Bei Stahl wird von einem Baustahl der Stahlsorte S235 ausgegangen.

Bei Beton wird von einem Beton der Güteklasse C25/30 ausgegangen.

5.5. GEGENÜBERSTELLUNG: HOLZ - STAHL - BETON

	HOLZ	STAHL	BETON
Allgemeines	ein natürlich wachsender Baustoff, dessen Eigenschaften durch den Wuchs beeinflusst sind	Legierung mit Eisen als Grundmaterial, sowie Kohlenstoff (<2%) und weiteren Legierungselementen	Gemisch aus Gesteinskörnung, Wasser und Zement
Materialeigenschaften	Abhängigkeiten von Belastungsrichtung (Anisotropie) und Belastungsdauer (Kriechen) anzusetzende char. Druckfestigkeit parallel zu Faser: 21 N/mm ² anzusetzende char. Zugfestigkeit parallel zur Faser: 14,5 N/mm ² (Sprödbbruch) Elastizitätsmodul ~10.000 N/mm ² Rohdichte 430-470 kg/m ³ bei 15% Holzfeuchte Volumenänderung abhängig von Holzfeuchte (Quellen, Schwinden)	hohe Sicherheit bei den Werkstoffeigenschaften durch den industriellen Herstellungsprozess bei Druckbelastung Beulen Zugfestigkeit (bei Dicke bis 40mm) 360 N/mm ² Streckgrenze (bei Dicke bis 40mm) 235 N/mm ² Elastizitätsmodul 210.000 N/mm ² Dichte 7.850 kg/m ³ korrosionsanfällig - Korrosionsschutz notwendig	Bewehrung (Matten oder Stäben) verbessert die schlechte Zugfestigkeit von Beton und es entsteht der Verbundwerkstoff Stahlbeton charakteristische Würfeldruckfestigkeit 30 N/mm ² charakteristische Zugfestigkeit 2,2 N/mm ² Elastizitätsmodul ~30.000 N/mm ² Dichte 2.100-2.300 kg/m ³
Brandschutz	brennt, aber Anforderungen können erfüllt werden (D-s2)	nicht brennbar, verliert aber bei 500-600°C seine Festigkeit (A)	nicht brennbar (A1)
Produkte, Anwendungen, Bauweisen	Vollholz- und Holzwerkstoffprodukte sowohl als Konstruktionsmaterial, plattenförmige Werkstoffe, aber auch Dämmmaterialien als Massivelemente, Skelettkonstruktionen oder Rahmenbauelementen	Stahlprofile mit unterschiedlichen Querschnittsformen für konstruktive Anwendungen zahlreiche Differenzierungen nach den Herstellungs- und Bearbeitungsprozessen, sowie Erzeugnissen	kann sowohl vor Ort, als Halbzeug oder Fertigteil eingebaut werden zahlreiche Möglichkeiten in den Bauweisen (Skelettbauweise, Scheibenkonstruktionen) besondere Betonarten (selbstverdichtend, hochfest,...)
Baustoffökologie	Wachstum durch Photosynthese, dabei wirken Bäume als Kohlenstoffspeicher sowie CO ₂ -senkend und setzen Sauerstoff frei	hoher Energieeinsatz für die Erzeugung von Stahl, aber ebenso hoher Recyclinggrad	Zement benötigt für die Produktion sehr viel Energie - Beton kann recycelt werden, wobei meist nur Downcycling (Straßenbau)

6. HYBRIDBAUWEISE IN HOLZ-STAHL

Um ein Rippendeckensystem in hybrider Holz- Verbundbauweise entwickeln zu können, sind materialspezifische Eigenschaften zu beachten, welche auf die tragwerkstechnische Konzeption maßgeblichen Einfluss haben. In diesem Kapitel sind wichtige tragwerkstechnische Aspekte aufgelistet und erläutert.

6.1. ERKENNTNISSE AUS BRAND- UND BIEGEVERSUCH

Holz und Stahl sind zwei gegensätzliche Materialien. Holz, als natürlich gewachsenes Material, hat mit seiner Anisotropie ein besonderes Charakteristikum. Stahl, als industriell hergestellter Baustoff, weist hohe Sicherheiten auf. Auch hinsichtlich vieler anderer Eigenschaften, unterscheiden sich beide deutlich. Diese Tatsache ermöglicht, dass eine aufeinander abgestimmte Kombination gegenseitige Verbesserungen von Schwachstellen bedeuten kann.

Unterschiedliche Strategien können die Kombinationen von Holz und Stahl verfolgen. Außerdem gibt es zahlreiche Möglichkeiten, da verschiedenste Holzprodukte, Stahlerzeugnisse, aber auch Verbindungsmöglichkeiten, wie Schrauben oder Klebeverbindungen verwendbar sind.

Wie bereits erwähnt finden sich Konstruktionen aus Holz und Stahl hauptsächlich in Japan wieder. Das Holz soll dabei die Stahlkonstruktion im Brandfall schützen. Mittels Berechnung der Abbrandrate der Holzkonstruktion können diese für die entsprechende Feuerwiderstanddauer dimensioniert sein. Die entstehende Pyrolyseschicht verfügt über eine geringe Wärmeleitfähigkeit, wodurch der dahinterliegende Stahl gegen zu rasches Erhitzen und daraus folgender Abnahme der Festigkeitseigenschaften geschützt ist. Im Zuge der Entwicklung von hybriden Deckenkonstruktionen hat das Institut für Ingenieurholzbau und Tragwerkslehre (ITI) der TU Wien Brandversuche durchgeführt, welche diese Ergebnisse belegt haben, da

die Stahltemperatur im Brandfall nur verhältnismäßig gering angestiegen ist. Die angefügten Bilder zeigen einen Stahlquerschnitt, bestehend aus zwei C- Profilen, welcher allseitig von Holz ummantelt war. Nach Ende des Versuches hat das verkohlte Holz den Stahl umgeben, geschützt und erst manuell abgeschlagen.



Neben der Verbesserung von Brandschutzeigenschaften bei Konstruktionen, können Stahl und Holz gemeinsam höheren Belastungen standhalten, wie sich dies in Versuchen gezeigt hat. Zusätzlich hat die seitliche Holzkonstruktion verhindert, dass das Stahlblech ausbeulte oder seitlich auswich.



von links:

Abb. 6.090 Stahl- Holz- Beton Deckenelement bei Brandversuch im Versuchsofen

Abb. 6.091 Stahl- Holz- Beton Deckenelement nach Brandversuch und Abschlagen der Holz- Pyrolyseschicht
Bilder: Alexander Macho - Brandversuch ITI - 28.2.2018

links: Timberize - Japanische Entwicklungen im urbanen Holzbau - 19.Internationales Holzforum 2013

von links:

Abb. 6.092 LVL- Stahl- Beton Rippelement nach Biegeversuch

Abb. 6.093 Stahl- Holz- Beton Deckenelement im Biegeversuch
Bilder: Alexander Macho - Biegeversuch ITI - 11.3.2018

6.2. BIEGUNG, SCHUB & VERFORMUNG BEI BIEGETRÄGER

Die gemeinsame Anwendung von Holz und Stahl bedarf der Beachtung der Materialeigenschaften beider Materialien sowie deren Abstimmung aufeinander.

Da die Rippendecken als Konstruktion bei dieser Arbeit im Fokus stehen, wird für die Erläuterung tragwerkstechnischer Aspekte vereinfacht ein Biegeträger betrachtet.

Bei der Belastung eines Einfeldträgers mit einer Gleichlast befindet sich das maximale Biegemoment in Trägermitte. Das Biegemoment setzt sich aus einem Kräftepaar zusammen, welches dreieckförmige Druck- und Zugbeanspruchungen im Träger verursachen. Die Druckzone, in welcher die Fasern des Trägers gedrückt werden, befindet sich dabei im oberen Bereich, die Zugzone, also jene Fasern die gezogen werden, im unteren Teil. Ihre Resultierenden greifen im Schwerpunkt der Dreiecke an. Bei symmetrischer Lasteinwirkung auf einen Rechteckquerschnitt befindet sich die neutrale Achse des Trägers auf halber Trägerhöhe und der Hebelsarm der Druck- und Zugkräfte beträgt $\frac{2}{3}$ der Höhe.

Durch die Belastung verformt sich der Träger mit der maximalen Durchbiegung in Trägermitte. Dies ist abhängig von der Belastung und den Trägereigenschaften. Dazu gehören die Länge, das entsprechende Flächenmoment des Querschnitts je nach Belastungsrichtung sowie das E-Modul des Trägermaterials.

Hin zu den Auflagern des Trägers nehmen die Biegemomentbeanspruchungen des Trägers ab. Die Auflagerkräfte teilen sich bei einem symmetrischen Modellaufbau auf die beiden Auflager gleichmäßig auf und sind die Summe aller Kräfte.

Im Bereich der Randzonen sind die Schubkräfte am Größten. Diese entstehen dadurch, dass jede Schicht oder Faser eines Trägers unterschiedlich gestaucht oder gezogen wird. Somit entstehen Beanspruchungen in Achsrichtung, die ein Verschieben oder Abscheren der Schichten bedeuten würden. Bei einem monolithischen Träger müssen diese über den Querschnitt aufgenommen werden.

Im Falle zusammengesetzter Träger oder anderer Verbundkonstruktionen müssen diese Kräfte über entsprechende Schubverbindungen - Kerven, mechanische Verbindungsmittel - übertragen werden. Bei Versagen eines monolithischen Trägers würde es zum Abscheren des Querschnitts kommen. Diese Schubbereiche befinden sich wie dargestellt in den Randzonen des Trägers. Hingegen ist die Trägermitte primär auf Biegung belastet und muss zufolge diesen Beanspruchungen nachgewiesen werden.

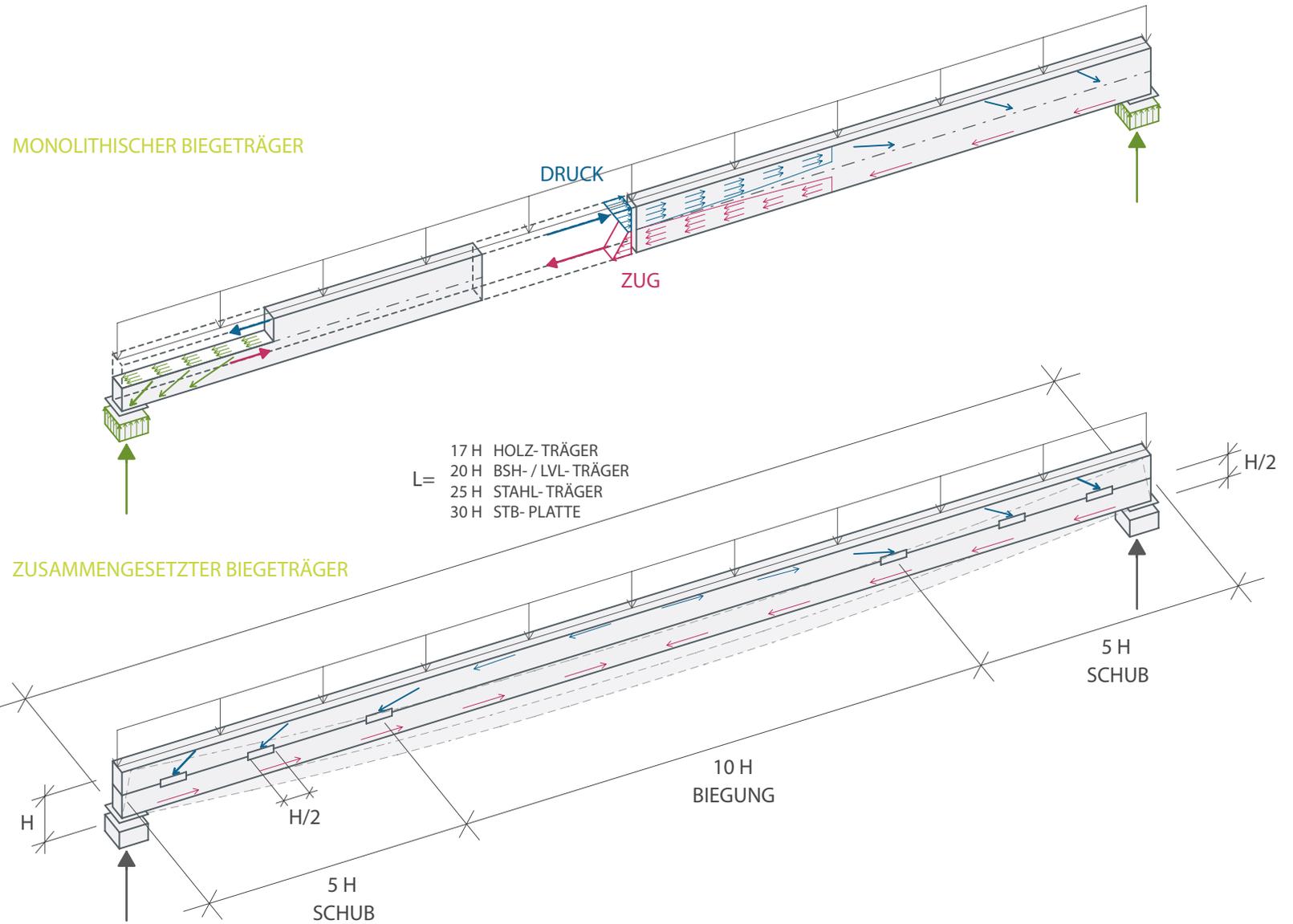
Für die Abschätzung des Trägerquerschnitts wird zu Beginn das Verhältnis Länge zu Trägerhöhe herangezogen. Hierfür gibt es je nach Werkstoff einen anderen Erfahrungs- und Referenzwert. Grundsätzlich kann gesagt werden, desto besser die Festigkeitseigenschaften eines Materials sind, umso geringer kann die Konstruktionshöhe werden.

Kleine Baustatik - Herrmann, Krings (2017), S.72

6

HYBRIDBAUWEISE IN HOLZ- STAHL

Abb. 6.094 Beanspruchung eines Biegeträgers unter Gleichlast - monolithischer, sowie zusammengesetzter Querschnitt



6.3. BEMESSUNGSFÄLLE IM HOLZBAU

Folgende Bemessungsfälle müssen im Holzbau berücksichtigt werden:

Im **Bemessungsfall 1** ist die Trägerhöhe im Verhältnis zu seiner Länge sehr groß. Somit sind in diesem Fall das Biegemoment und die Durchbiegung nicht entscheidend. Im Bereich der Auflager kann es hingegen zu einem Versagen in Form eines Schubbruchs kommen, das bedeutet, dass die Materialschichten in Richtung der Trägerachse abscheren.

Der **Bemessungsfall 2** zeigt, dass das Verhältnis von Trägerhöhe zu Spannweite mit $1/15$ kleiner ist. Die Durchbiegung des Trägers ist aufgrund seiner hohen Steifigkeit gering im Vergleich mit den maximal zulässigen Verformungen und somit nicht maßgebend. Die Belastung auf den Träger ist so groß, dass der Bruch zufolge des hohen Biegemoments in Trägermitte zum entscheidenden Bemessungsfall wird.

Im **Bemessungsfall 3** ist der Träger im Verhältnis zur Spannweite sehr schlank und weich. Er hält den auftretenden Biegemomenten stand, aufgrund seiner Eigenschaften ist die Gebrauchstauglichkeit maßgebend, da der Träger den Grenzzustand der Durchbiegung in Trägermitte überschreitet.

BEMESSUNGSFALL 1

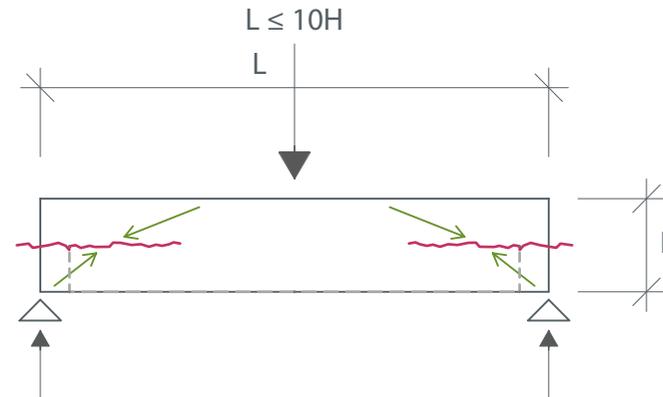


Abb. 6.095 Holzbau Bemessungsfall 1 - Schubbruch im Auflagerbereich, zu geringe Schubsteifigkeit

BEMESSUNGSFALL 2

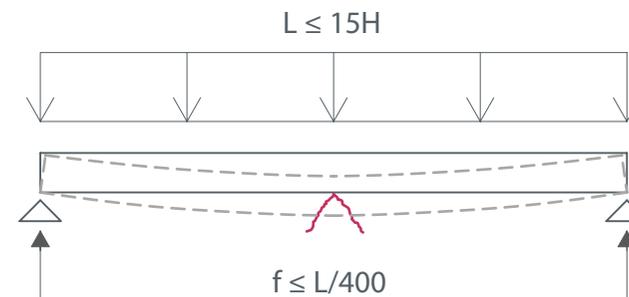


Abb. 6.096 Holzbau Bemessungsfall 2 - Zugbruch durch hohes Biegemoment bei kleiner Durchbiegung, Träger zu steif

BEMESSUNGSFALL 3

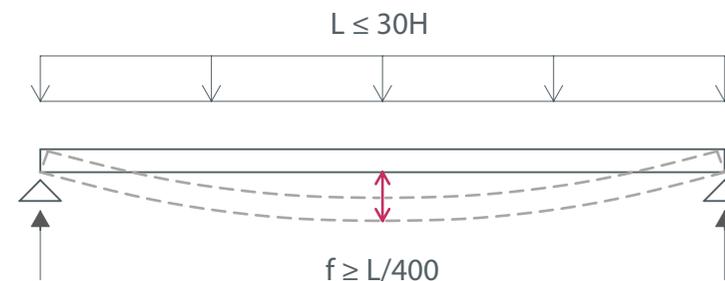


Abb. 6.097 Holzbau Bemessungsfall 3 - kein Bruch aber zu große Durchbiegung, Träger zu weich

Bausysteme Holzbau - Vereinfachte Berechnung nach Eurocode 5 - ITI TU Wien (04/2014), S.9

6.4. SICHERHEITSAKTOREN VON HOLZ UND STAHL

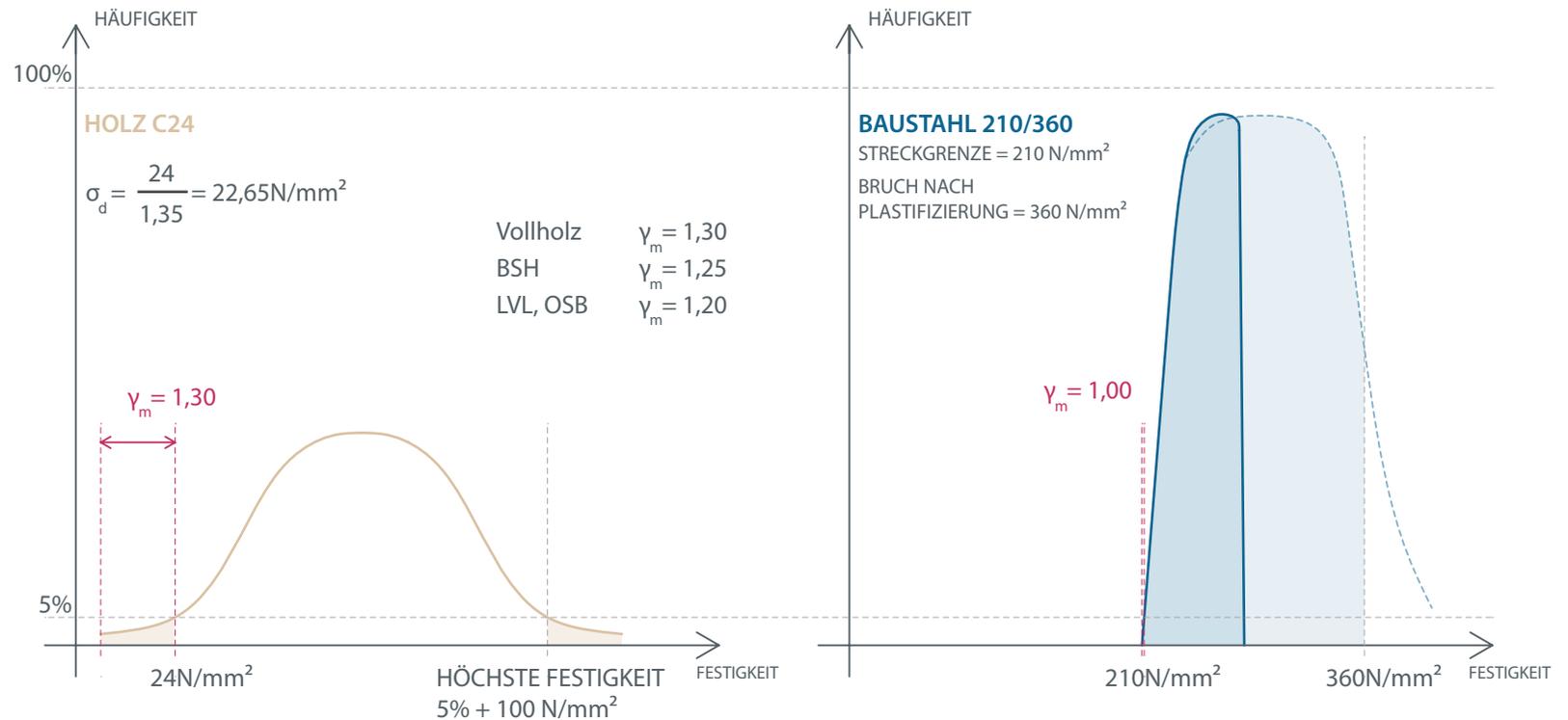
Produkte sind nach ihren Festigkeiten eingeteilt. Beim Holz muss dies mittels visueller oder mechanischer Sortierung erfolgen. Verteilungsfunktionen zeigen die Häufigkeit der Materialfestigkeiten und sind deshalb flacher oder steiler ausgeprägt. Dies ist bereits ein Ausdruck der Qualität und Sicherheit des Werkstoffs. Dabei wird von einem 5%- Fraktile Wert ausgegangen. Das bedeutet, dass 5% der Elemente diesen Grenzwert unterschreiten.

Der Unterschied der Kurven von Holz und Stahl ist deutlich

ersichtlich, da Stahl geringe Streuungen und somit eine hohe Sicherheit durch die industrielle Produktion aufweist. Das semiprobabilistische Sicherheitskonzept sieht mehrere Sicherheitsfaktoren vor, wobei γ_m der materialspezifische Sicherheitsfaktor ist. Für Holz liegt dieser bei 1,20 bis 1,30 und bei Stahl ist dieser mit 1,00 definiert.

Bei Holz haben Holzart, Wachstum, Klima, Holzfeuchte sowie der Einschnitt bei Schnittholz in die gewachsene Struktur Einfluss auf die Materialfestigkeit.

Abb. 6.098 Verteilungsfunktionen für die Materialfestigkeiten von Holz und Stahl



6.5. EINFLUSS DER LASTEINWIRKUNGSDAUER

Kriechen ist die Formänderung bei Dauerbelastung mit einer konstanten Last und ist eine spezifische Materialeigenschaft von Holz. Diese ist bei Belastung senkrecht zur Faser stärker ausgeprägt als in Faserrichtung.

Das angefügte Diagramm zeigt, dass bei Stahl unabhängig von der Belastungsdauer seine vollständige Festigkeit angesetzt werden kann. Holz hat hingegen abhängig von der Dauer der Belastung unterschiedliche Festigkeitswerte, die über einen Modifikationsfaktor in der Berech-

nung berücksichtigt sind. Je länger eine Belastung andauert, desto geringer sind die Festigkeitswerte.

Der Modifikationsfaktor berücksichtigt die Nutzungsklasse und die Klasse der Lasteinwirkungsdauer. Bei Zweitem wird zwischen „Ständig“ (>10 Jahre), „Lang“ (0,5-10 Jahre), „Mittel“ (1 Woche - 6 Monate), „Kurz“ (< 1 Woche) und „Sehr kurz“ unterschieden.

Die Nutzungsklasse kann für diese Arbeit unberücksichtigt bleiben, da nur Deckenkonstruktionen betrachtet werden.

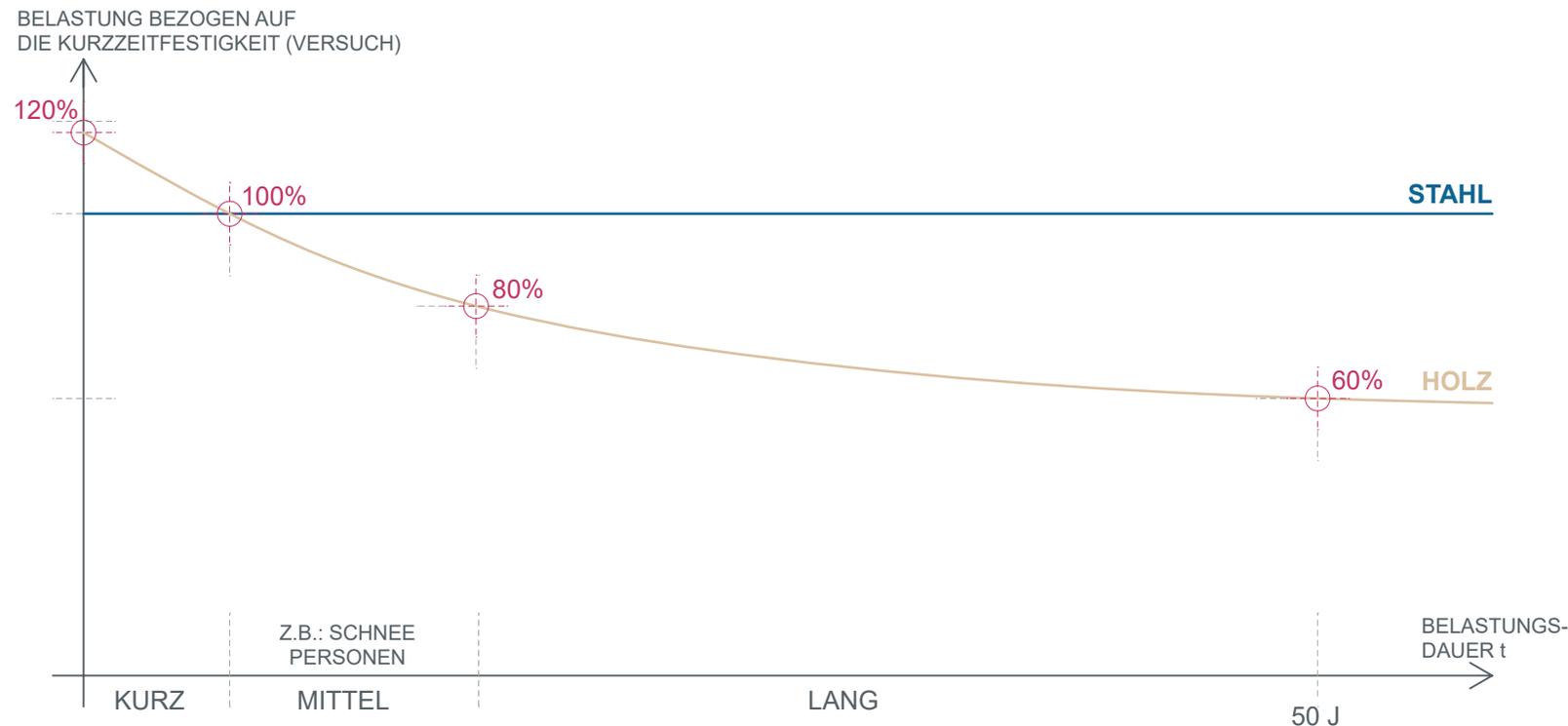


Abb. 6.099 Materialfestigkeit abhängig von der Belastungsdauer bei Holz und Stahl

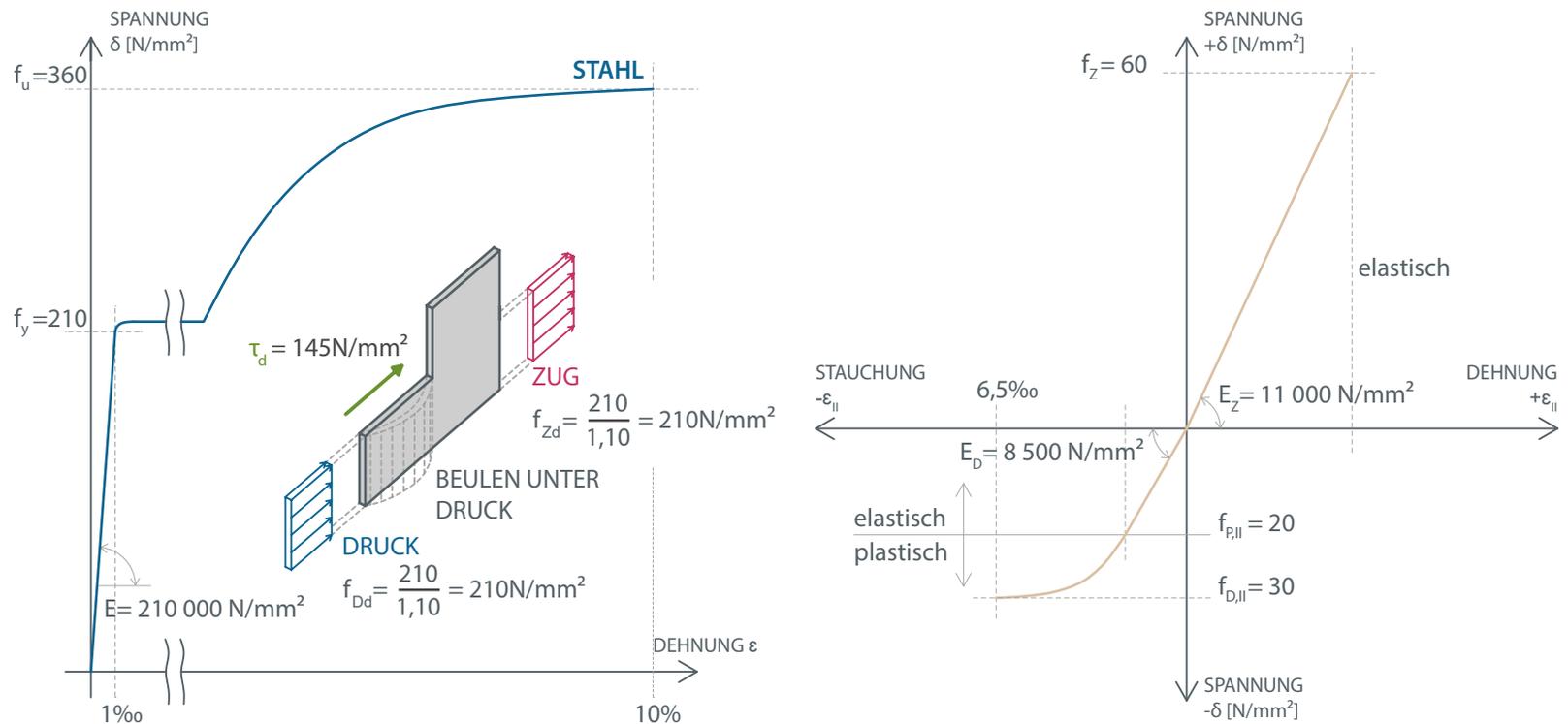
6.6. STEIFIGKEIT UND BRUCHDEHNUNG BEI STAHL UND HOLZ

Stahl ist auf Zug und Druck gleichermaßen belastbar. Die Werkstoffkennzeichnung erfolgt nach der Streckgrenze und definiert somit gleichzeitig die maximale Belastung vor dem Eintreten einer Plastifizierung des Werkstoffes. Da Stahl hauptsächlich mit geringen Dicken eingesetzt wird, besteht bei Druckbelastungen die Gefahr des Beulens, also des Ausweichens des Werkstoffes.

Die Arbeitslinie von **Holz** zeigt, dass hierbei eine Differen-

zierung zwischen Druck und Zug vorgenommen werden muss, da bei Zugbeanspruchungen Holz ein sehr weitreichendes elastisches Materialverhalten aufweist. Somit ist die Proportionalitätsgrenze nahezu ident mit der Zugfestigkeit. Ebenso ist ersichtlich, dass die Zugfestigkeit doppelt so groß ist, wie die Druckfestigkeit. Bei Belastung auf Druck ist das Materialverhalten bis zur Proportionalitätsgrenze elastisch. Diese liegt bei 60-80% der Druckfestigkeit. Bis zum endgültigen Bruch treten

Abb. 6.100 Vergleich der Arbeitslinien von Stahl und Holz
Diagramm rechts: Bausysteme Holzbau - Material - ITI TU Wien (03/2014), S. 28



plastische Verformungen auf, die speziell durch das Ausweichen und Stauch der Holzfasern sichtbar werden.

Es ist anzumerken, dass die Festigkeitseigenschaften von Holz durch zahlreiche holzspezifische Kriterien beeinflusst werden. Hierbei sind besonders die Holzart, Holzfeuchtigkeit und der Winkel zwischen Belastung und Faserrichtung hervorzuheben.

Bei gleicher Beanspruchung reagieren Werkstoffe, in diesem Fall Stahl, Holz und LVL mit unterschiedlichen Verformungen. Dieser Widerstand eines Materials gegen elastische Verformungen wird über das E-Modul ausgedrückt. Das E-Modul sowie die Materialfestigkeit sind bei Stahl um vieles größer als bei Holz und holzbasierten Produkten. Holzwerkstoffe werden entwickelt um negative oder allgemeine Materialeigenschaften zu verbessern, wie beispielsweise LVL. Dies weist im Vergleich zu Holz C24 eine höhere Materialfestigkeit und größeres E-Modul auf.

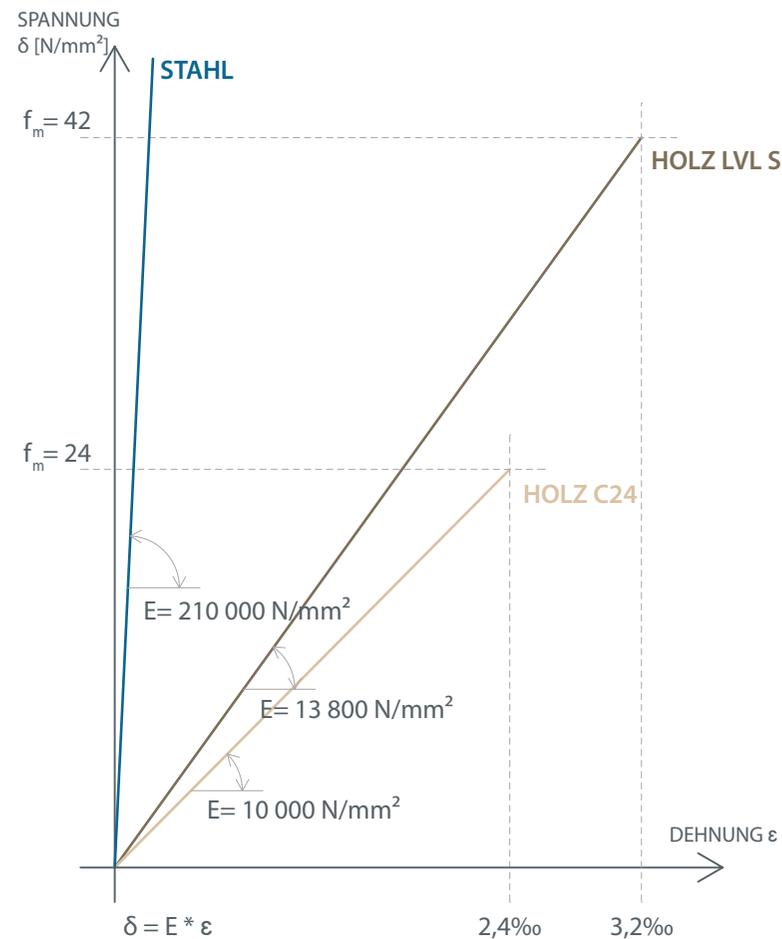


Abb. 6.101 E-Modul- Vergleich von Stahl, Vollholz und LVL

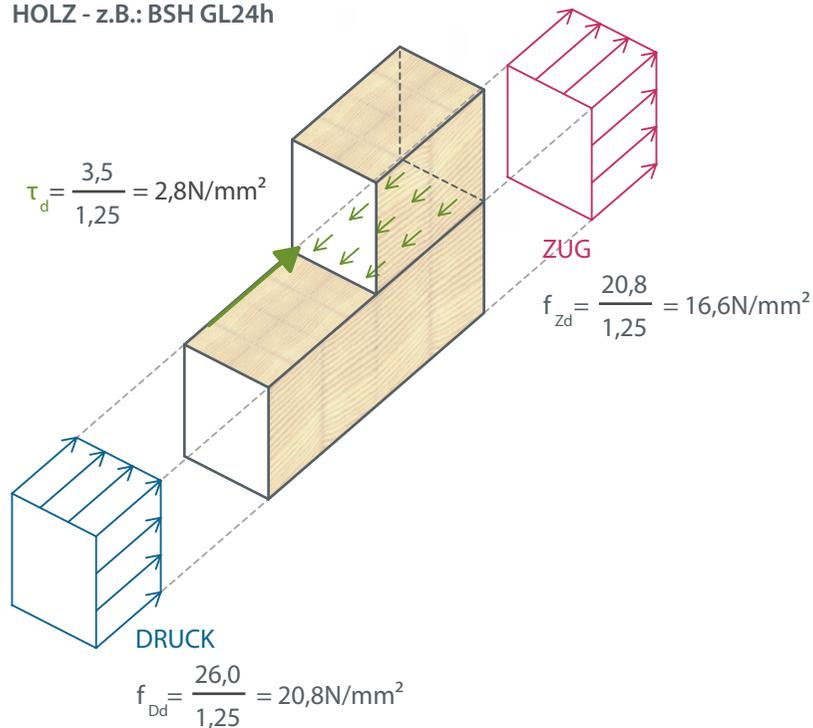
6.7. SCHERKRÄFTE & SCHUBSPANNUNGEN BEI VOLLHOLZ & LVL

Schubspannungen treten in Folge von Scherkräften in Richtung der Krafteinwirkung auf. Eine Überbelastung würde zum Abscheren des Materials führen. In der linken Grafik tritt dies beim Überschreiten der zulässigen Schubspannung von $2,5\text{N/mm}^2$ ein und ein Abscheren in der Ebene mit den grünen Pfeilen wird hervorgerufen.

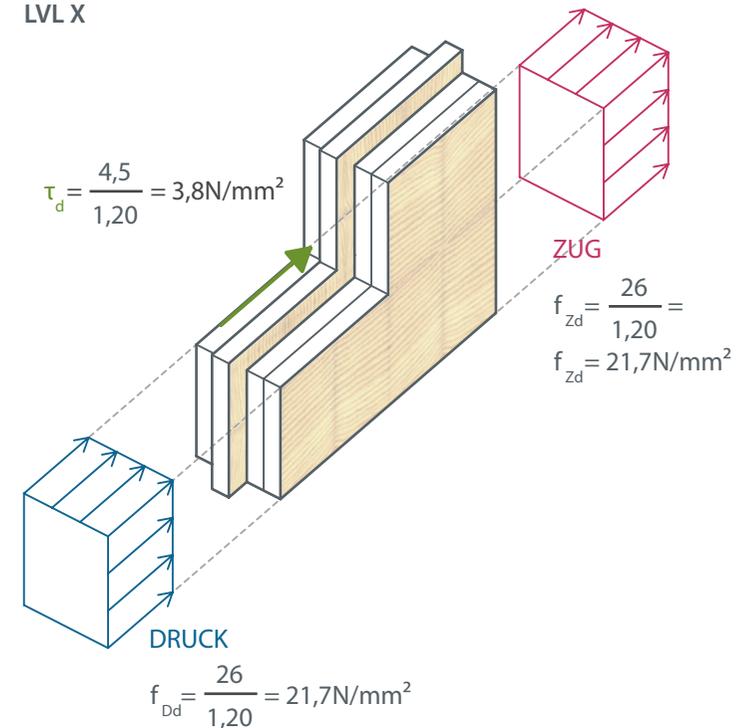
LVL hat eine höhere Schubfestigkeit als Vollholz oder BSH. Zusätzlich gibt es LVL als geschichteten oder gesperrten Aufbau. Der gesperrte Aufbau erhöht aufgrund der teilweise gedrehten Faserrichtung die Schubfestigkeit im Vergleich zum geschichteten Querschnitt.

Abb. 6.102 Schubfestigkeit von BSH und LVL

HOLZ - z.B.: BSH GL24h



LVL X



6.8. STEIFIGKEIT BEI VERBUNDKONSTRUKTIONEN

Das Produkt aus E-Modul eines Baustoffes sowie Trägheitsmoment eines Querschnitts bilden den Indikator für die Steifigkeit einer Konstruktion.

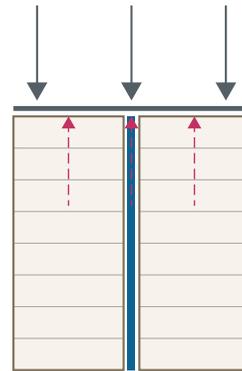
Bei Verbundkonstruktionen werden Materialien mit unterschiedlichen E-Modulen eingesetzt. Bei Holz- Stahl Konstruktionen entspricht diese Differenz einem Faktor von 15 bis 20, abhängig von dem eingesetzten Holzwerkstoff.

Das Flächenträgheitsmoment ist ein Charakteristikum des Querschnitts und wird für die Berechnung der Festigkeit eines Bauteils verwendet. Da das Material bei der Berechnung unberücksichtigt bleibt, ist die Folge, dass zarte Stahlprofile über ein viel kleineres Trägheitsmoment verfügen als ein Holzträgerquerschnitt.

Bei Verbundkonstruktionen ist zu beachten, dass die einzelnen Querschnitte über ähnliche Steifigkeitswerte verfügen, um eine optimale, gleichmäßig verteilte Beanspruchung hervorzurufen.

Die beigefügten Grafiken zeigen den Unterschied in der Belastung. Bei gleichwertiger Steifigkeit der Einzelquerschnitte erfolgt die Belastung gleichmäßig. Im Falle des höheren EI- Faktors bei ungleichmäßiger Verteilung, verfügt der mittlere Stahlquerschnitt über einen höheren Widerstand und dies führt zu einer ungleichmäßigen Belastung.

BEI GLEICHWERTIGER STEIFIGKEIT ALLER QUERSCHNITTE



BSH 2x 14/32 $E = 1\,100 \text{ kN/cm}^2$

$$I_y = 38\,229 \text{ cm}^4$$

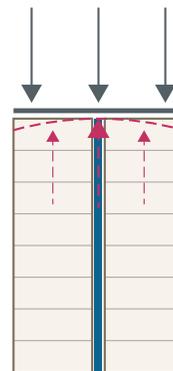
$$EI = 42\,051\,900 \text{ kNcm}^2$$

Stahl $t = 0,8 \text{ cm}$ $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

$$I_y = 2184 \text{ cm}^4$$

$$EI = 45\,875\,200 \text{ kNcm}^2$$

BEI UNGLEICHMÄSSIGER STEIFIGKEITSVERTEILUNG



BSH 2x 10/32 $E = 1\,100 \text{ kN/cm}^2$

$$I_y = 27\,306 \text{ cm}^4$$

$$EI = 30\,037\,300 \text{ kNcm}^2$$

Stahl $t = 0,8 \text{ cm}$ $E = 21\,000 \text{ kN/cm}^2$

$$I_y = 2\,184 \text{ cm}^4$$

$$EI = 45\,875\,200 \text{ kNcm}^2$$

Abb. 6.103 Lastaufnahme von Verbundquerschnitten bei gleichwertiger und ungleichmäßiger Steifigkeitsverteilung

7. PROJEKTSTRUKTUR

Die Entscheidung für einen Holzbau beeinflusst die Projektstruktur. Dies beginnt bereits bei der Entwurfsplanung, wo die Vorfertigung mitgedacht werden muss. Fachwissen in der Planung, Veränderungen im Projektablauf, Zeitpunkte des Treffens von Entscheidungen ändern sich im Vergleich zum konventionellen Bauen.

vgl.: Mehrgeschossiger Holzbau
Atlas - DETAIL (2017), S.130-131

7.1. PROJEKTPHASEN

Am Beginn eines Bauprojektes steht immer eine Idee und ein Nutzen der aus der Realisierung erzielt werden soll. Je nach Komplexität und Projektart handelt es sich dabei um einen über mehrere Jahre andauernden Verlauf.

Ziel ist immer der Betrieb und die Nutzung des Objektes, wobei auf dem Weg dorthin mehrere Phasen durchlaufen und Aufgaben erfüllt werden müssen. Diese sind im angefügten Diagramm in ihrer Abfolge aufgezeigt, wobei sich konventionelle zu holzbauspezifischen Bauvorhaben

darin unterscheiden, dass die Vorfertigung und Logistik eine eingeschobene Projektphase darstellen.

Die Schaffung der Rahmenbedingungen ist entscheidend, um die Vorstellungen des Bauherren mit dem späteren Ergebnis in Einklang zu bringen. Anschließend werden, beginnend mit Konzepten, unterschiedliche Themen - Architektur, Tragwerk, Bauphysik, Brandschutz - behandelt, die im Laufe des Planungsprozesses immer wieder vertieft und evaluiert werden müssen.

Abb. 7.104 Projektphasen und deren Abfolge sowie die damit in Verbindung stehenden Aufgaben



Veränderungen im Projektablauf

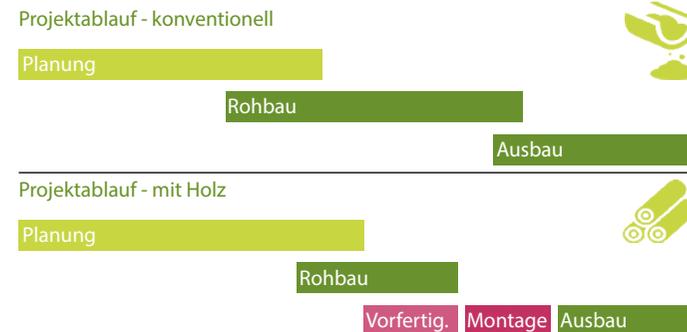
Holzbauprojekte benötigen eine längere Planungsphase als konventionelle Vorhaben. Sie können diesen zeitlichen Mehraufwand in weiterer Folge wieder wettmachen.

Ein Teil der Planung bei konventionelle Bauvorhaben erfolgt parallel zur Ausführung. Dies bringt meist Nachteile und aufwändigere Abänderungen mit sich, da die Auswirkungen weitreichender sind. In der Praxis hat sich dies aber eingebürgert, um den herrschenden Zeitdruck gerecht zu werden.

Bei Holzbauprojekten ist die Ausführungsphase auf der Baustelle dank der Vorfertigung kürzer. In der Planung müssen Entscheidungen bereits früher getroffen werden, die bei konventionellen Bauvorhaben erst anstehen, wenn mit der Ausführung begonnen wurde.

Das Diagramm verdeutlicht, dass mit der Vorfertigung erst begonnen werden kann, wenn die Planung abgeschlossen ist, da der Vorfertigungsgrad meist sehr hoch ist und somit auch Entscheidungen zu Installationen, Oberflächen oder ähnlichem feststehen müssen.

Zeitgewinne können durch gut geplante Koordination einzelner Prozesse entstehen. Parallel zu Vorfertigung können Vorleistungen, wie Erdarbeiten, Fundierung, Rohbau auf der Baustelle bereits durchgeführt werden.



vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.130-131

vgl. Wendepunkt im Holzbau – Neue Wirtschaftsformen – Ulrich Dangel (2017), S.114

Abb. 7.105 Vergleich Dauer der Projektphasen
Daten aus: Holzbau mit System- Josef Kolb (2010), S.25

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.130-131

7.2. PLANUNG & FACHWISSEN

In der Planung der einzelnen Disziplinen sind sehr früh materialspezifische Aspekte des Holzes zu berücksichtigen. Neben konstruktiven und bauphysikalischen Aspekten gehört die Vorfertigung bereits im Entwurfsprozess bedacht und ausführlich beachtet.

Vorfertigung

Die ersten Konzepte aus der Entwurfsplanung beeinflussen die späteren Möglichkeiten der Vorfertigung. Projektspezifische Gegebenheiten, allgemein gültige Regeln, wie etwa Abmessungen aus der Logistik, Vorfertigungsmöglichkeiten und Transportwege ist Beachtung zu schenken. Größtmögliche Elemente reduzieren die Anzahl der zu versetzenden Elemente und die auf der Baustelle herzustellenden Stöße.

Abb. 7.106 Vorgefertigte Wandelemente beim LCT One
Bild aus: https://www.holz-kurier.com/holzbau/2012/04/alle_acht_geschossestehen.html

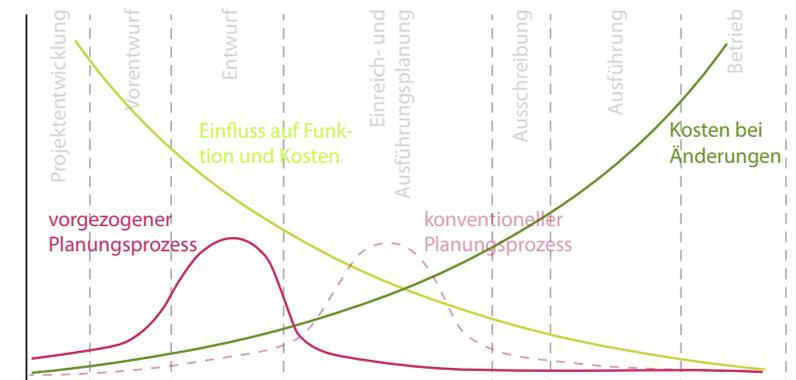
Abb. 7.107 Veränderung des Planungsprozesses und dessen Auswirkungen
Daten aus: Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.135



Fugen und Stöße stellen kritische Punkt dar, beeinflussen die Qualität und können Schwachstellen darstellen. Bauphysikalisch sind die Bauteile im Holzbau vielschichtig konstruiert und geplant, wodurch auch die Anschlüsse diese Kriterien erfüllen müssen. Undichte Dampfbremsen, Winddichtbahnen oder sonstige Leckagen ermöglichen das Eindringen von Feuchtigkeit in Holzkonstruktionen, was in weiterer Folge zu weitreichenden Schäden führt. Hierbei sind Fachwissen und praktische Erfahrungen für das Entwerfen der Stöße sehr hilfreich.

Vorgezogene Planung

Die Planung von Holzbauprojekten ist vielschichtig sowie meist aufwändiger und bedarf einer frühen Betrachtung aller Aspekte, um diese in ein Ganzes zusammenbringen.



Aus frühen Ansätzen und Konzepten werden vertiefte Lösungen geschaffen.

Die digitale Bearbeitung und Vorfertigung der Bauteile benötigt eine ausgereifte und abgeschlossene Planung. Diese wird weitläufig in den Entwurfsprozess vorgezogen und bedeutet für den Bauherren, dass er sich früher mit Detailfragen beschäftigen und Entscheidungen treffen muss. Die Optimierung und Organisation der Vorfertigung benötigt ebenso seine Zeit. Nachträgliche Änderungen in der Ausführung sind nur unter großen Aufwänden möglich.

Integrale Planung

Die Qualität eines Projektes wird meist durch integrale Planung verbessert, da sich das Fachwissen im Planungsteam weitreichender über mehrere Disziplinen erstreckt.

Die Größe des Planungsteams und der Umfang der Disziplinen richten sich nach der Projektaufgabe und können die Architektur, Tragwerksplanung, Bauphysik, Brandschutz und auch technische Gebäudeausrüstung betreffen. Zusätzlich ist die Erfahrung mit Holzbauprojekten ein empfehlenswerter Vorteil.

Neben der Entscheidung, dass entsprechendes Fachwissen beigezogen wird, ist der Zeitpunkt des Beiziehens essentiell, damit das Fachwissen bereits bei den ersten richtungsweisenden Entscheidungen zur Verfügung steht.

Hierzu ist der Bauherr bzw. das von ihm beauftragte Projektmanagement gefragt, dass nach Definition der Projektziele, Aufgaben und Leistungen beschreibt und diese auf geeignete Art und Weise vergibt.

Vergabe von Planungsleistungen

Entscheidet der Bauherr mit dem Projektmanagement Planung und Bauausführung getrennt zu vergeben, stehen ihnen bei der Vergabe der Planungsleistungen zwei Modelle zur Verfügung:

- Die Planungsleistungen können geteilt in Leistungspakete an ausgewählte, geeignete Einzelplaner vergeben werden.
- Die zweite Option ist die Vergabe sämtlicher Planungsleistungen an einen Generalplaner. Dieser erfüllt die definierten Leistungen mit seinem Team oder durch von ihm beauftragte Subunternehmer.

vgl.: BDF + AVA und Baumanagement – Heinz Priebering (02/2009), S.1.3.-1.6.

vgl.: Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S. 132-133

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.130-133

vgl.: BDF + AVA und Baumanagement – Heinz Priebornig (02/2009), S.1.3.-1.13.

7.3. VERGABEMODELLE

Der Einfluss der Fachplaner auf den Projekterfolg wurde bereits erläutert. Aufgrund von unternehmensspezifischen Divergenzen ist ein zeitgerechtes Einbeziehen der Ausführenden, speziell des Holzbauers, von Bedeutung. Dabei spielt die fehlende Standardisierung der Produkte eine Rolle, welche zu aufwändigen und umfangreichen Abänderungen führen kann. Solche können zu einem früheren Zeitpunkt in der Projektphase leichter abgeändert oder ganzheitlich vermieden werden. Da der Holzbau sehr vielschichtig und ganzheitlich konstruiert ist, fallen Änderungen meist sehr weitreichend aus.

Die Projektorganisation und das Projektmanagement sind der Grundstein für den Erfolg eines Projektes. Neben dem Schaffen von Rahmenbedingungen sowie Controlling ist in weiterer Betrachtung die Vergabe sowie die Verteilung der Aufgaben auf Projektbeteiligte von Bedeutung.

Komplexität und Fachwissen

Die Komplexität eines Projekts bestimmt das benötigte Fachwissen für eine reibungslose Ausführung und ein Ergebnis, das den zu Beginn definierten Zielen entspricht.

Erfolgt die Vergabe der Bauleistungen getrennt von den Planungsleistungen kann zwischen folgende Vergabemodi gewählt werden:

- Vergabe an Einzelunternehmen: Die Leistungen sind nach Gewerken gegliedert und werden als solche an Unternehmer vergeben.
- Teil- Generalunternehmer: Entsprechende Gewerke werden in Gruppen zusammengefasst und als solche Pakete vergeben. Die größten Vorteile für den Auftraggeber betreffen die Reduzierung der Ausführungs-, Koordinations- und Gewährleistungsschnittstellen.
- Generalunternehmer: Alle Leistungen werden unabhängig von den Gewerken von einem Unternehmen übernommen. Hierbei treten in der Regel Sub-Unternehmer auf, die für einzelne Leistungen vom Generalunternehmer beauftragt werden. Auf deren Auswahl hat der Auftraggeber wenig Einfluss.

Entscheidet sich der Bauherr für eine Beauftragung eines Totalunternehmers, somit übernimmt dieser sowohl Planungs- als auch Ausführungsleistungen. Der Bauträger hat den Vorteil, dass er Fachwissen frühzeitig beiziehen kann oder selbst über dieses in seinem Unternehmen verfügt. Oftmals kann es allerdings dazu kommen, dass wirtschaftliche Aspekte Entscheidungen hinsichtlich der Architektur beeinträchtigen. Zusätzlich verliert der Bauherr eine unabhängige Person, die für ihn als Kontrolleur tätig ist.

Funktionale vs. konstruktive Leistungsbeschreibung

Die Leistungsbeschreibung ist der Grundstein für die Vergabe von Leistungen. Sie ist die Vertragsgrundlage zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, damit sich beide sicher sein können, welche Leistungen bei entsprechender Entschädigung zu erbringen sind. Deshalb ist eine exakte Formulierung und Beschreibung sehr wichtig.

Die Art der Leistungsbeschreibung ist von projektspezifischen Eigenschaften abhängig und es kann zwischen zwei Varianten gewählt werden.

- Die **konstruktive Leistungsbeschreibung** ist die im Bauwesen gängige Variante. Grundlage und Vertragsbestandteil ist eine ausführliche, detaillierte Planung. Die Leistungen werden positionsweise mit Kriterien definiert und lassen wenig Interpretationsspielraum.
- Die **funktionale Leistungsbeschreibung** ist für Varianten offen. Es werden ausschließlich Funktion und Ergebnis beschrieben, nicht die konstruktive Lösung. Die Planung ist weniger weit fortgeschritten, wodurch vom Bieter Planungsleistungen zu erbringen sind.

Angesichts der Tatsache, dass konstruktive Leistungsbeschreibungen im Bauwesen die Überhand haben und sie eine detaillierte Planung bedürfen, muss die Frage gestellt

werden, ob sie die geeignete Variante für Holzbauprojekte sind. Die Tatsache und auch der Wunsch nach früherem Einbeziehen von Fachwissen bei einer konstruktiven Leistungsbeschreibung lassen sich nur schwer in Einklang bringen.

Hierbei scheint die funktionale Leistungsbeschreibung die geeignetere Lösung zu sein, da sie Entwicklungen, Innovationen und Vorschläge der ausführenden Holzbaununternehmen zulässt und gleichzeitig die Planung zum Zeitpunkt der Ausschreibung weniger fortgeschritten sein muss.

Alternativen bei der Ausschreibung und Vergabe

Vergabemodelle müssen immer an die Projektgegebenheiten angepasst werden, wodurch kein allgemeingültiges Modell propagiert werden kann und unterschiedliche Modi zum Einsatz kommen. Allgemein kann gesagt werden, dass die meisten Leistungen an Einzelunternehmen vergeben werden. Hierbei ist die Planung weit fortgeschritten und die Ausführung knüpft an diese Ergebnisse an.

Im Mehrgeschossigen Holzbau Atlas werden zwei alternative Strategien publiziert, die diese eingesessenen Prozedere aufbrechen sollen.

Der wesentliche Aspekt ist dabei immer aus dem Fachwissen der Ausführenden zu profitieren.

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.130-133

vgl.: BDF + AVA und Baumanagement – Heinz Priebering (02/2009), S.3.12.

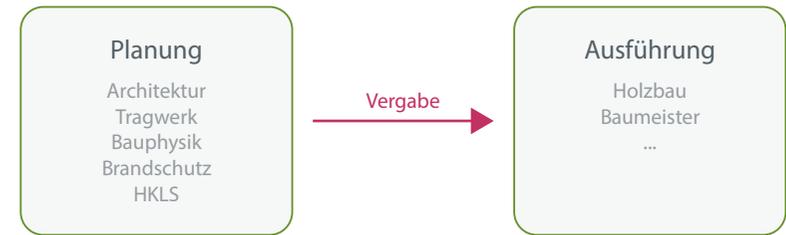
vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.132

Abb. 7.108 Vergabestrategien bei Holzbauprojekten
Daten aus: Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.132

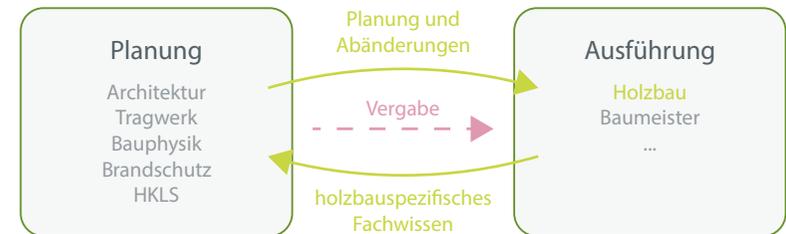
Die **Strategie 1** setzt dabei an, dass der Ausschreibung- und Vergabezeitraum nach einer weit fortgeschrittenen Planung ansetzt. Nach Vergabe der Leistungen soll holzbauspezifisches Fachwissen von Seiten des ausführenden Unternehmens eingebracht werden, das in die Planung einbezogen wird. Durch dieses späte Beiziehen sind Änderungen aufwändig und der Arbeitsaufwand erhöht.

Der zuvor geschilderten Problematik soll bei **Strategie 2** durch ein vorgezogenes Vergabeverfahren entgangen werden. Die Planung wird in einem kooperativen Prozess vertieft, wodurch Ausführende ihr Fachwissen zu einem verhältnismäßig frühen Zeitpunkt einbringen können. Problematisch scheint die Durchführung des Vergabeverfahrens, da die Leistungen eher grob definierbar sind und dies die Vergleichbarkeit der Angebote erschwert.

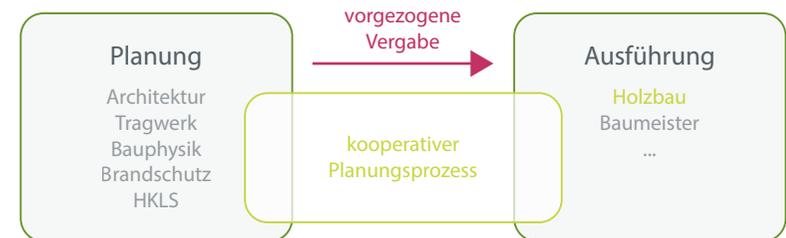
In der **Strategie 3** ist im interdisziplinären Planungsteam ein Holzbauingenieur zu finden, der holzbauspezifisches Fachwissen früh und ohne vorgezogener Vergabe der Leistungen einbringt. Je nach Auslegung dieser Strategie sind der Vergabezeitpunkt, sowie das Einbringen des Fachwissens ausführenderseits flexibel und projektabhängig gestaltbar.



konventioneller Vergabeprozess



Strategie 1



Strategie 2



Strategie 3

7.4. BIM - BUILDING INFORMATION MODELLING

Buidling Information Modelling setzt sich immer mehr auf dem Markt durch und umfasst mehr als die Erstellung eines dreidimensionalen digitalen Gebäudemodells. Zahlreiche Daten, Eigenschaften oder Abmessungen können darin definiert sein. Je nach Detailierungsgrad und BIM-Level sind unterschiedlich viele Daten eingegeben und gespeichert.

BIM und Holzbau passt sehr gut zusammen. Aus dem Handwerk der Zimmerei hat sich mit dem modernen Holzbau ein Gewerk entwickelt, dessen Produktionsabläufe unter einem hohen Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad erfolgen. Die für die Bearbeitung benötigten Daten müssen digital zur Verfügung stehen und sollten möglichst direkt aus dem digitalen Modell des Planungsteams bezogen werden können.

Durch eine zu Projektbeginn erstellte Struktur und Abstimmungen unter den Projektbeteiligten kann ein reibungsloser Workflow über die gesamte Projektdauer entwickelt werden. Problematisch erweist sich hierbei, dass der ausführende Holzbauer erst später feststeht und somit auf seinen Workflow und seine Schnittstellen nicht eingegangen werden kann. Somit sind Nachbearbeitungen meist vorprogrammiert und bedeuten zeitliche und kostenintensive Aufwände.

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau
Atlas - DETAIL (2017), S.135-136

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.139-144

vgl. Wendepunkt im Holzbau – Neue Wirtschaftsformen – Ulrich Dangel (2017), S.115

rechts: https://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&tx_ttnews%5Btt_=6245&cHash=7117e10505a53bcec7dfaddfbec5938d

Abb. 7.109 Schmetterlingswendetisch
Bild aus: <https://www.eg-holzhaus.de/fertigung/>

Abb. 7.110 Europas größter Portalroboter der Firma Erne
Bild aus: <https://www.holzbauaustria.at>

7.5. PRODUKTION & VORFERTIGUNG

Das im Wald geschlägerte Holz wird zu Holzwerkstoffen oder Vollholzprodukten verarbeitet. Während erstere ausschließlich industrielle Standardwaren sind, werden Vollholzprodukte, wie Brettschichtholzträger, auch maßgerecht produziert.

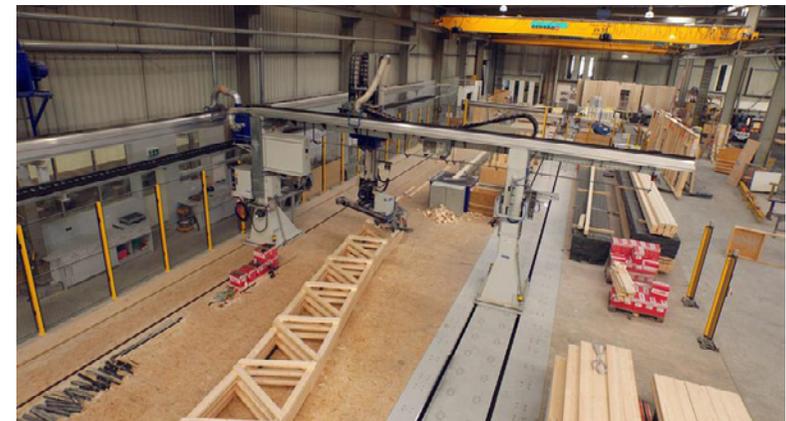
Vom Handwerk zur Automatisierung

Der Verlauf des Abbundprozesses ist unternehmensabhängig. Je nach Ausstattung können die Betriebe sämtliche Bearbeitungsschritte eigenständig vollziehen oder müssen Leistungen zukaufen. Die handwerkliche Leistung wird dabei immer geringer, da der Produktionsprozess hin zu vollautomatisierten Anlagen geht.

Vereinzelte Arbeitsschritte, wie das Anbringen von Raffstores oder die Verlegung von Installationen müssen aber doch noch per Hand durchgeführt werden. Die Automati-

sierungsprozesse sind sehr ausgereift und verfügen über nahezu keinen Grenzen. Zusätzlich helfen Hebeanlagen, Schmetterlingswendetische und die Möglichkeit des Versenkens von Elementen in Arbeitsgräben bei der Manövrierung der großformatigen Elemente. Dies verringert körperlich anstrengende Arbeiten und bietet ergonomisch besser Arbeitsbedingungen.

Der Einsatz von Portalrobotern hat dem Holzbau zusätzliche Möglichkeiten eingebracht. Durch sie sind additive Herstellungsprozesse möglich, die einen weiteren Automatisierungsgrad darstellen. Je nach Ausstattung können unterschiedliche Bearbeitungsschritte realisiert werden. Mit den Greifarmen der Roboter können Stäbe positioniert und befestigt werden ohne dass ein Arbeiter in den Prozess eingreifen muss.



Vorfertigung

Die leichte Bearbeitbarkeit hat Holz schon früh in der Konstruktionsgeschichte zu einem wichtigen Baumaterial gemacht. Auch heute ist diese Tatsache ein guter Grund für die Anwendung. Zusätzlich ist das geringe Gewicht beim Verarbeiten, Versetzen und Transportieren von Vorteil.

Die seriellen Plattenbauten der 1960er und 70er Jahre verfügen über ein schlechtes Image. Sie zeichnete aus, dass alle Elemente in ihrer Form gleich produziert wurden. Somit konnten etwa Schalungen wiederverwendet werden und dies führte zu höherer Wirtschaftlichkeit.

Seriell Produzieren von gleichen Elemente stellt nicht die Wirtschaftlichkeit des modernen Holzbaus dar. Die Automatisierung im Abbund, sowie das Generieren der Daten, ermöglicht die Individualisierung der Elemente. Dies ist ein gravierender Vorteil des modernen Holzbaus, wodurch der Befürchtung entgegengewirkt wird, dass alle Bauten gleich aussehen werden. Nichts desto trotz kann durch Standardisierung die Wirtschaftlichkeit gesteigert werden. In der Planung und Organisation der Vorfertigung steckt der meiste zeitliche und kostentreibende Aufwand. Neben dem Kostenfaktor der Datenaufbereitung sind die Amortisation der Fertigungsanlagen, der Transport und die Montage der Elemente entscheidend. An der Vorfertigung führt bei Holzbauten kein Weg vorbei. Als Problem

erweist sich aber, dass nahezu alle Holzbauten momentan nur Prototypen darstellen. Details oder Fertigungsmethoden werden immer wieder neu entwickelt. Der LCT One in Dornbirn sowie das Illwerke Zentrum in Montafon zeigen auf, dass erprobte Details, wie bei den Verbindungen von Stützen und Decken, wiederverwendet werden können. Die Vorfertigung hat zahlreiche Veränderungen mit sich gebracht:

- + Aufgrund der vertieften Planung, die die Grundlage für die Vorfertigung ist, sowie der eingespielte Herstellungsprozess im Werk, hat der Bauherr hohe Sicherheit bei monetärer und terminlicher Planbarkeit.
- + Durch die Just- In- Time Lieferung und direkter Verarbeitung der vorgefertigten Elemente, erleichtert und reduziert sich die Baustellenlogistik. Zusätzlich werden weniger Lagerflächen benötigt, was sich speziell in urbanen Gebieten als großer Vorteil erweist.
- + Die Bauzeit ist kürzer, wodurch Emissionen und Einschränkungen für die Nachbarschaft reduziert sind.
- + Die Ausführungsqualität und Genauigkeit ist im Holzbau sehr hoch und kann durch die Vorfertigung im Werk erzielt werden. Dies steht im Einklang mit den steigenden technischen Gebäudeanforderungen.

vgl. Mehrgeschossiger Holzbau Atlas - DETAIL (2017), S.139-144

vgl. Wendepunkt im Holzbau- Neue Wirtschaftsformen – Ulrich Dangel (2017), S.114

vgl. Vom Systembau zum Bauen mit System – Florian Musso (2016), S.39

- + Die Produktion im Werk bringt Witterungsunabhängigkeit und geregelte Arbeitsbedingungen. Zusätzlich ist die Koordination der Gewerke in der Produktionshalle leichter und meist bereits eingespielt.

Da die Vorfertigung einen erweiterten Planungsaufwand und detaillierteren Vorlauf benötigt, müssen hierfür auch seitens des Bauherren der Wunsch und die Bereitschaft vorhanden sein.

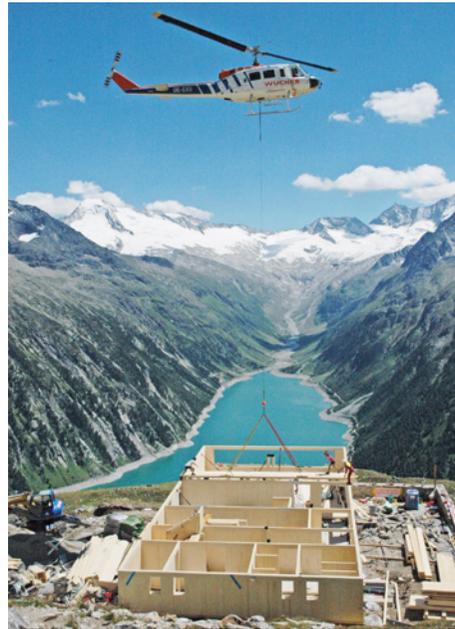
Zusätzlich bedarf es einer guten Abstimmung zwischen allen Beteiligten und einer hohen Kommunikations- sowie Planungsbereitschaft. Durch Erfahrung können Risiken vorgeahnt und abgewendet werden. Dies betrifft vor allem Probleme und nicht berücksichtigte Aspekte in der Planung, die später zu teuren und aufwändigen Nachträgen führen. Diese sind nur schwer auf der Baustelle zu korrigieren.

7.6. LOGISTIK & MONTAGE

Die spätere Logistik, also der Transport vom Ort der Vorfertigung auf die Baustelle, muss bereits bei der Konzipierung der Elementierung beachtet werden. Je nach den projektspezifischen Gegebenheiten kann zwischen Flugzeug-, Schiff- oder Zugtransport gewählt werden.

Bei der Errichtung der Olpererhütte in Tirol wurden die Elemente aus Brettsperrholz mittels Helicopter aus dem Tal an den Einbauort auf 2389m Seehöhe geflogen.

In weiterer Folge wird der Transport auf der Straße berücksichtigt.



bei innerstädtischen Bauvorhaben relevant sind.

Sämtliche Maße beeinflussen ebenso die Baustelleneinrichtungsplanung. Zu-, Abfahrten und Stellplätze sind in deren Größe und Anordnung beeinflusst. Dabei ist zwischen den Positionen des Abladeplatzes, Einbauorts, Aufstellplatz des Hebezeugs sowie dessen technischen Möglichkeiten (maximale Tragfähigkeit und Ausladung) abzuwägen.

Logistik in der Vorfertigung

Die Reihenfolge der Errichtung bestimmt den Vorfertigungs- bzw. Verladeverlauf.

Die Elemente werden im Werk produziert, verpackt und meist direkt verladen. Hierbei wird auf das Ausnutzen des maximalen Ladevolumens sowie die Einbaureihenfolge geachtet.

Stabförmige und flächige Elemente lassen sich auf den Ladeflächen ohne große Platzverschwendung schichten. Die Raumzellenbauweise verfügt über den größten Vorfertigungsgrad mit bis zu 95%. Hierbei wird hinsichtlich der Logistik oftmals kritisiert oder als negativer Aspekt angeführt, dass durch das Volumen der Zellen leerer Raum transportiert wird.

Abb. 7.111 Transport der vorgefertigten CLT-Elemente per Helicopter bei der Errichtung der Olpererhütte
Bild aus: <http://megangroth.blogspot.com/2010/09/architect-hermann-kaufmann-architekten.html>

Vom Werk an den Einsatzort

Wie bereits erläutert gehört die Vorfertigung im Entwurfsprozess berücksichtigt. Damit die Elemente später reibungslos auf die Baustelle transportiert werden können, sollten Rahmenbedingungen, wie Transportmaße und -gewicht, sowie die Regelung von Sondertransporten bekannt sein.

Sind die maximalen Abmessungen der Bauteile definiert, ergibt sich der maximal benötigte Kraftfahrzeugtyp. Je nach Größe dieses müssen Durchfahrtsmaße, Wenderradien und Schleppkurven kontrolliert werden, die speziell

vgl.: <https://www.sondertransporte.gv.at/>

vgl.: Kraftfahrzeuggesetz 1967 - Stand: 14.9.2018

vgl.: Bauen mit Holz in Oberösterreich - proHolz Oberösterreich (2011), S.10-11

Abb. 7.112 Grafik Transportmöglichkeiten und maximale Abmessungen

Bild links: <https://www.haag-bau.de/top/galerien/holzhaus-ulsenheim>

Bild rechts: <https://futurezone.at/science/vivihouse-entwickelt-nachhaltige-holzhaeuser-der-zukunft/400021696>

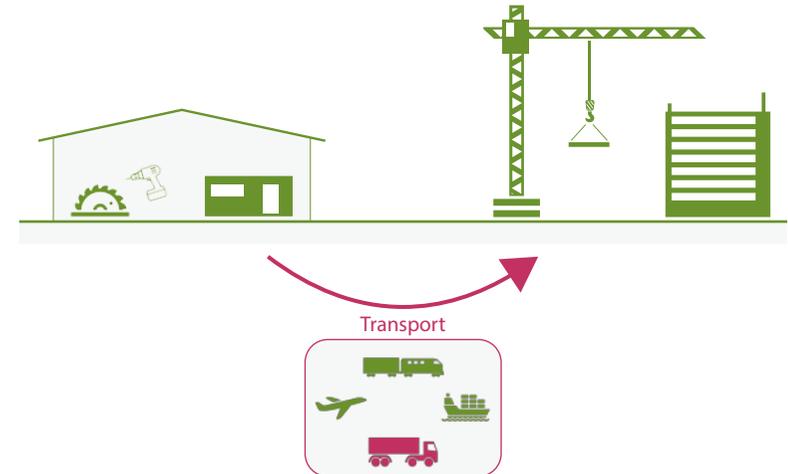
Auf der Straße - Transportmaße, Sondertransporte

Für den Transport auf der Straße gibt es gesetzliche Regelungen im Kraftfahrzeuggesetz 1967, welche beachtet werden müssen. Unter anderem regelt es die Ausstattung und technischen Kriterien von Fahrzeugen sowie deren Beladung, wie etwa maximale Abmessungen und Gewichte, die bei der Planung der Vorfertigung im Hinterkopf behalten werden sollten.

Dabei ist zwischen den Fahrzeugtypen Lastkraftwagen und Sattelkraftfahrzeugen zu unterscheiden. Sie bieten unterschiedliche Beladungsoptionen.

Werden diese überschritten, muss ein Sondertransport beantragt werden, der zusätzliche Aufwände und Kosten bedeutet. Hierbei ist zu wissen, dass solche Sondertransporte nur für unteilbare Ladungen bewilligt werden. Dies bedeutet, dass die Teilung eines Transportguts nur unter unverhältnismäßig hohen Kosten oder Schadensrisiken erzielbar ist.

Sondertransporte können für ein- oder mehrmalige Fahrten bewilligt werden. Dies erfolgt mittels Bescheid und beinhaltet unterschiedliche Bedingungen, die sich auf Route, Abmessungen, Tageszeit, Begleitfahrzeuge oder andere Umstände beziehen.



Lastkraftwagen	gem. KFG 1967 i.d.g.F.	Sattelkraftfahrzeug
≤ 4,00 m	Höhe	≤ 4,00 m
≤ 2,55 m	Breite	≤ 2,55 m
≤ 12,00 m	Länge	≤ 16,50 m
≤ 18,75 m (= Kraftwagenzug)	Gesamtlänge mit Anhänger	
Die Ladung darf bei einer Gesamtlänge von bis zu 16,00 m um 25 % übertreten.		
≤ 40 t	maximal zulässiges Gesamtgewicht (abhängig vom Fahrzeugtyp)	≤ 40 t

Bewilligung von Sondertransporten
für einmalige oder mehrmalige Fahrten

8. ANWENDUNGSUNTER- LAGEN & HANDBÜCHER

Firmen müssen ihren Zielgruppen Unterlagen zur Verfügung stellen, welche sie beim Einsatz ihrer Produkte unterstützen. Dies ist eine wichtige Dienstleistung der Produzenten, damit sie mit ihren Produkten überhaupt wirtschaften können.

Ausgewählte Unterlagen werden in diesem Kapitel untersucht, analysiert und dahingehend erforscht, inwie weit sich ihr Aufbau oder Inhalte für das in weiterer Folge entworfene Deckensystem eignen.



8.1. ZIEL VON HANDBÜCHERN

Handbücher und Anwendungsunterlagen werden von Firmen zur Verfügung gestellt, um ihren Kunden die Verwendung und den Einsatz ihrer Produkte zu erleichtern und diese zu bewerben.

Dabei ist zu hinterfragen, welche Daten und Unterlagen benötigt werden, sowie welcher Personenkreis angesprochen werden soll.

Zur Entwicklung dieser Arbeit dienten am Markt vorhandene Handbücher von unterschiedlichen Herstellern als Vorlagen.

Bei der Auswahl wurde grundsätzlich darauf geachtet, dass diese einen Bezug zu der bearbeiteten Thematik haben, aber gleichzeitig ein gewisse Streuung und Divergenzen vorhanden ist.

Folgende Unterlagen wurden dafür ausgewählt:

- Stora Enso ist ein großer Produzent, unter anderem von Brettsperrholz und Furnierschichtholz. Aufgrund dessen lag es nahe, die von ihnen zur Verfügung gestellten Unterlagen inhaltlich, aber auch in ihrem Aufbau zu untersuchen.
- Rothoblaas bietet umfangreiche Leistungen und Lösungen im Holzbau an. Ihre Unterlagen sind sehr hochwertig aufgebaut und repräsentieren ihre breite bautechnische Produktpalette für den Holzbau.

- Ligno und Kielsteg sind zwei Firmen, die innovative Holzdeckenkonstruktionen entwickelt haben. Der Zweck den sie aus ihren Unterlagen ziehen wollen, gleicht jenem, der der Hintergedanke dieser Arbeit ist: „Welche Informationen benötigen Planer und Ausführende für ihre Anwendung?“

8.2. STORA ENSO

Stora Enso hat sich auf die Herstellung von Werkstoffen aus erneuerbaren Materialien spezialisiert.

Unter anderem produzieren sie Brettsperrholz und Furnierschichtholz, deren Unterlagen genauer betrachtet wurden. Um den Einsatz anzutreiben, bieten sie technischen Datenblättern zu den Produkten, aber auch Handbücher für den Einsatz.

CLT - Technische Broschüre

Diese Unterlagen beinhalten neben technischen Daten zu CLT ebenso Inhalte zu Konstruktion, Bauphysik, Statik und Projektabwicklung. Sie richten sich hauptsächlich an Planer unterschiedlicher Fachbereiche.

Zu Beginn werden produktspezifische Eigenschaften und Ausführungsmöglichkeiten des Brettsperrholzes erläutert. Das Kapitel der Konstruktion fällt sehr kurz aus und überliefert nur einen sehr groben Einblick, hingegen übermittelt das Kapitel der Bauphysik umfangreiches Wissen zu Wärme-, Schall-, Brand- sowie Feuchteverhalten des Materials sowie von Konstruktionen.

Die statischen Unterlagen sind kompakt für ein erstes Abschätzen gestaltet und können vor allem in einer frühen Projektphase sehr hilfreich sein.

Abschließend werden wichtige Informationen zu der Projektabwicklung aufgelistet, welche beispielsweise den Zeitpunkt der Übermittlung der Planunterlagen, sowie Mindestproduktionszeiten oder die Verladung definieren.

LVL - Technische Broschüre

Auch, wenn es sich bei LVL und CLT um zwei Holzwerkstoffe handelt, sind die technischen Broschüren unterschiedlich aufgebaut. Zu Beginn zeigt Stora Enso, wo der Einsatz von LVL möglich ist. Sie versuchen die Vorteile von LVL herauszustreichen und vergleichen das Material immer wieder mit konventionellen Lösungen. Sie wollen damit aufzeigen, dass LVL ein sehr leistungsfähiges Material ist, welches viele negative Aspekte, wie Verformungsänderungen von Holz, reduzieren kann. Zusätzlich bekommen tragwerkstechnische Aspekte größeren Platz in der Broschüre.

Leitfaden Mehrgeschossiger Wohnbau

Ein drittes Handbuch, welches sich dem mehrgeschossigen Wohnbau widmet, deckt zahlreiche Themen des Bauens mit Holz ab. Es werden entwurfstechnische Themen angerissen, konstruktive Lösungsvarianten aufgezeigt und bauphysikalische Aspekte verdeutlicht. Ebenso findet die Ausführung Platz, wodurch Planenden eine andere Sichtweise und für sie meist nicht so wichtige Themen übermittelt werden können.

Der Fokus liegt natürlich darauf den Einsatz von Materialien, welche Stora Enso produziert, herauszustreichen. Zusätzlich wird die Nachhaltigkeit als Vorteil des Bauens mit Holz hervorgehoben.

CLT - Technische Broschüre
<http://www.clt.info/technical-brochure-clt/>

LVL - Technische Broschüre
https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-brochures/Wood-products/LVL_by_Stora_Enso_Technical_brochure_032018_EN_light.ashx

Leitfaden Mehrgeschossiger Wohnbau
<https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-brochures/Wood-products/Residential-Multistorey-Buildings--Design-Manualfinal-20160620version-11DE.ashx>

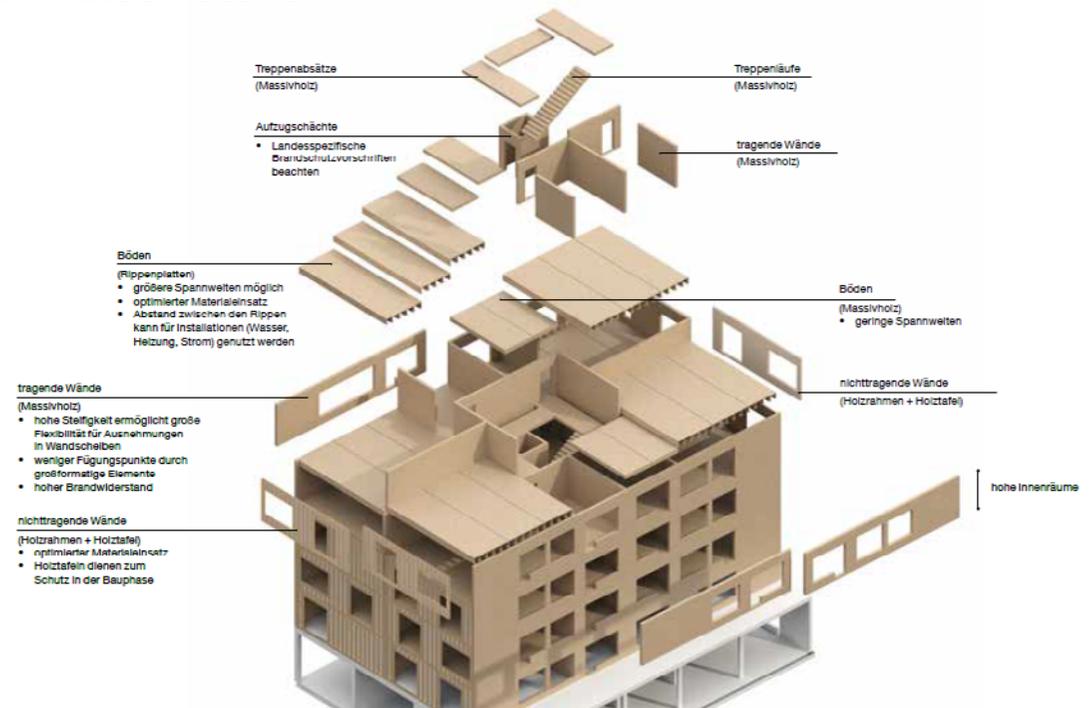
Conclusio

Die Unterlagen von Stora Enso sind themenmäßig sehr passend und verfügen über geeignete Ansätze für diese Arbeit.

In allen Unterlagen werden zu Beginn die Rahmenbedingungen sowie grundsätzliches erläutert. Anschließend wird vertieft auf die Materie eingegangen.

Der Aufbau des Leitfadens Mehrgeschossiger Wohnbau gliedert sich so, dass zu Beginn das Gebäude als System eines ganzen vorgestellt wird und in weiterer Folge auf Einzelbauteile eingegangen wird. Diese werden nach mehreren Thematiken, beispielsweise Bauphysik, analysiert und erläutert.

Abb. 8.113 Übersichtsdarstellung der Bauteile eines Gebäudes unter der Verwendung von Stora Enso Produkten
Bild aus: Handbuch „Mehrgeschossiger Wohnbau“ (Stand 27.10.2018), S.7



8.3. ROTHOBLAAS

Rothoblaas widmet sich in seiner Arbeit der Entwicklung von bautechnischen Lösungen des Holzbaus. Dazu gehören Befestigungssysteme, Bauabdichtungssysteme für Luft- und Winddichtheit, Lösungen zur Schalldämmung, Absturzsicherungssysteme sowie Maschinen und Werkzeuge für die Holzbearbeitung.

Dieses breite Leistungsspektrum bedarf zahlreicher Informationsunterlagen. Drei davon wurden in Anbetracht dieser Arbeit ausgewählt und analysiert.

Konstruktionshandbücher

Sowohl für den Massiv-, als auch für den Rahmenbau bietet Rothoblaas sehr umfangreiche Unterlagen. Darin zeigen sie die Anwendung ihrer Produkte an unterschiedlichen Positionen in einem Gebäude. Themen wie Brand-, Schall- oder Wärmeschutz sind vertreten, werden dabei aber nicht lehrbuchmäßig erläutert sondern nur in Form von Aussagen oder Kennwerten aufgelistet.

Die Darstellungen der Konstruktionsdetails sind visuell sehr ansprechend und überliefern, ohne viele Worte, den zu übermittelnden Inhalt. Der Fokus liegt dabei auf der ausführungstechnischen Lösung. Dies bedeutet, dass bei Fugen- oder Klebebänder genauestens aufgezeigt, wie diese anzuwenden sind.

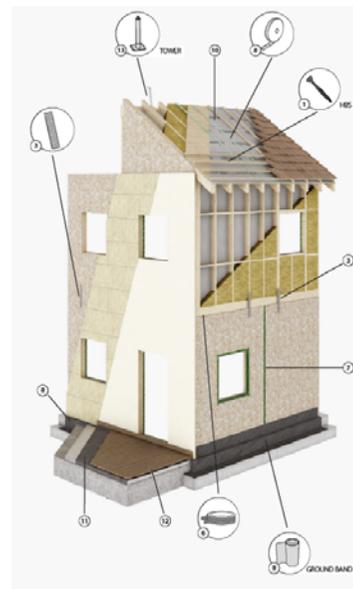
Nicht zu finden sind Bauteilaufbauten oder bautechnische Details als Ganzes. Dies gehört nicht zum Leistungsgebiet des Unternehmens, weshalb sie dies ausgrenzen.

Holzbaueverbinder

Für Verbindungen im Holzbau werden von Rothoblaas zahlreiche Ausführungsvarianten zur Verfügung gestellt, die hier, samt technischen Daten aufgelistet und hinsichtlich Anwendung und Beanspruchung dargestellt sind.

Conclusio

Aus den Unterlagen zu den Holzbaueverbindern und Konstruktionen kann inhaltlich viel mitgenommen werden, wobei der Aufbau der Holzverbinder nicht geeignet erscheint.



Broschüre Holzbaueverbinder
<https://issuu.com/rothoblaas/docs/holzbaueverbinder-de?e=18207635/32762671>

Handbuch Holzrahmenbau
<https://issuu.com/rothoblaas/docs/handbook-for-timber-frame-buildings?e=18207635/37354974>

Handbuch Brettsperrholz-Massivbau
<https://issuu.com/rothoblaas/docs/handbuch-fur-den-bsp-massivholz-bau-?e=18207635/56110727>

Abb. 8.114 Übersichtsdarstellung für Einsatzorte von Rothoblaas-Produkten
Bild aus: Rothoblaas Handbuch Rahmenbau (Stand 27.10.2018), S.12

Abb. 8.115 Beispielhafte Darstellung bei Rothoblaas-Einsatz von Entkopplungsprofilen zur Schalldämmung
Bild aus: Rothoblaas Handbuch Rahmenbau (Stand 27.10.2018), S.107

8.4. DECKENKONSTRUKTIONEN

Kielsteg - Handbuch für Architekten und Planer
<https://kielsteg.de/epaper/2016/>

Ligno Rippe
https://www.lignotrend.de/uploads/tx_userprodukte/2018-07-24_TD%20LIGNO%20RippeDecke_2018-II_D_k.pdf

Abb. 8.116 Wirtschaftlichkeit des Deckensystems im Vergleich zu BSP-Decken
 Bild aus: Technik-Handbuch für Architekten und Planer (Stand 27.10.2018), S.11

Abb. 8.117 Ligno Rippe-Maßnahmen zur Verbesserung des Feuerwiderstands
 Bild aus: Technisches Datenblatt Ligno Rippe (Stand: 27.10.2018), S.13

Die unterschiedlichen Deckenkonstruktionen sind bereits in einem eigenen Kapitel erläutert worden. Die Unterteilung in allgemeine Konstruktionen und herstellerbasierte Systeme ist in diesem Sinne hierbei relevant, da bei Zweitem die Hersteller Unterlagen zur Verfügung stellen müssen, damit ihre Produkte angewendet werden.

Kielsteg

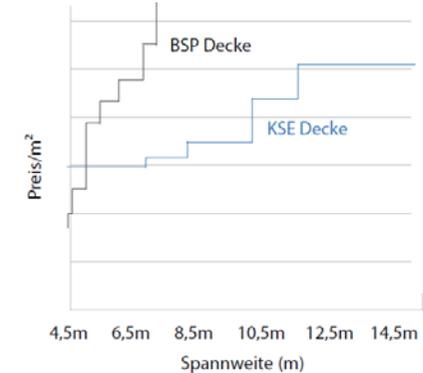
Zu Beginn wird das Konstruktionssystem erläutert, bevor in weiterer Folge vertieft auf das Produkt eingegangen wird. Ähnlich wie bei Stora Enso gliedert sich der weitere Inhalt nach Konstruktion bzw. Planung, Statik, Bauphysik und Details.

Als Zielgruppe können sowohl die ausführende, als auch planende Seite betrachtet werden. Für beide Gruppen sind wichtige Informationen in den Unterlagen zu finden.

Ligno

Das zuvor bezüglich Kielsteg erwähnte, gilt in gleicher Art und Weise für Ligno. Auffällig ist bei ihren Unterlagen, dass sie großen Wert auf die Ausführungsmöglichkeiten an der Deckenunterseite legen, wodurch bauphysikalische Eigenschaften beeinflusst werden. Hierfür bieten sie eine Vielzahl von Lösungen.

Wirtschaftlichkeit KIELSTEG versus Brettsper Holz BSP



	Element mit geschlossener Unterseite	Elemente mit Leertageprofil	Erläuterung
Keine Zusatzlagen			
Z1 keine Zusatzlagen			Zusätzliche geschlossene Lage (Dicke 24,5 mm) direkt unter der Spannlage. Bei zusätzlicher Lagerung Anordnung hinter dem Absenker.
Z1p Akustik plus keine Zusatzlagen			Zusätzliche geschlossene Lage (Dicke 24,5 mm) mit einer Dünnschicht-Akustikwolle (Ausschüttung) hinter dem Absenker (Anordnung siehe Frequenz-Absenkerprofil).
Z2 keine Zusatzlagen			Zwei zusätzliche geschlossene Lagen (Dicke je 24,5 mm), die jeweils die Spannlage ohne Absenker, die jeweils die Einbaueingangsfläche.
Z2p Akustik plus keine Zusatzlagen			Wie Z2, jedoch zwei zusätzliche geschlossene Lagen (Dicke je 24,5 mm), verbesserte Luft- und Schwingungs-Absorption.

9. DECKENKONSTRUKTION „NUDGE“, PARIS

Das Projekt „Nudge“ in Paris erwies sich als passendes Referenzprojekt, wie die Entwicklung eines Tragsystems in Holz- Stahl Verbundbauweise ablaufen kann. Dabei wurde Herr Professor Winter von der Firma Rubner als Fachperson beigezogen, um planerische, aber auch ausführungstechnische Aspekte zu berücksichtigen und abzuwägen.

9.1. PROJEKTDATEN

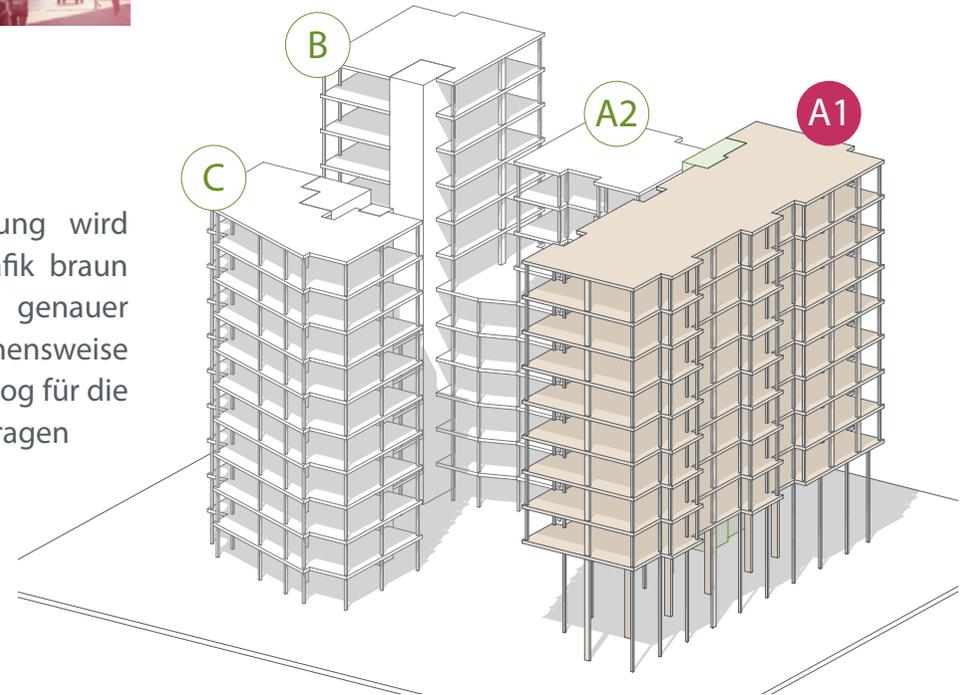
Abb. 9.118 Visualisierung des Architektorentwurfs des Nudge in Paris
Bild aus: <https://bfmbusiness.bfmtv.com/votre-argent/cet-immeuble-parisien-a-vraiment-tout-pour-seduire-les-bobos-1182663.html>



Abb. 9.119 Axonometrie der Baukörper als Tragwerksmodelle

Für die weitere Bearbeitung wird das elfstöckige, in der Grafik braun hinterlegte, Bauvolumen genauer betrachtet. Die Herangehensweise und Konstruktion kann analog für die anderen Baukörper übertragen werden.

Das „Nudge“ ist ein Mischbauprojekt in Paris, das die Nutzungen Kommerz, Wohnen und Arbeiten in sich beheimatet und aus vier miteinander verbundenen Bauvolumen mit bis zu elf Obergeschossen besteht. Die untersten drei Geschosse werden einheitlich in Stahlbeton errichtet. Für die restlichen Geschosse ist eine Hybridkonstruktion aus Stahl und Holz vorgeschlagen, wobei eine Ausschreibung für eine alternative Systemlösung in Holzmischbauweise durchgeführt wurde.



9.2. TRAGSYSTEM - AUSGESCHRIEBEN

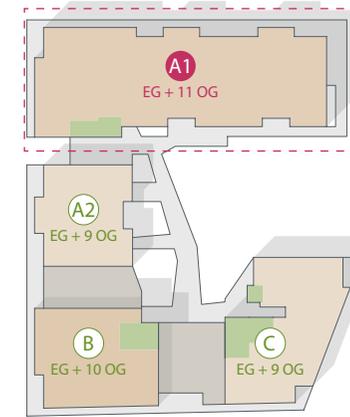
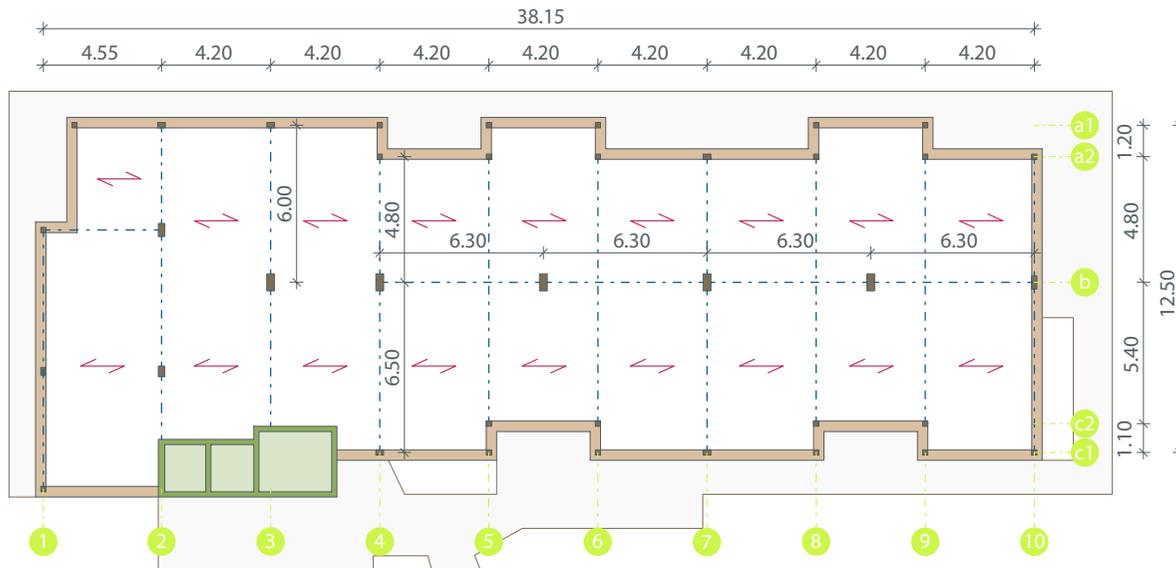
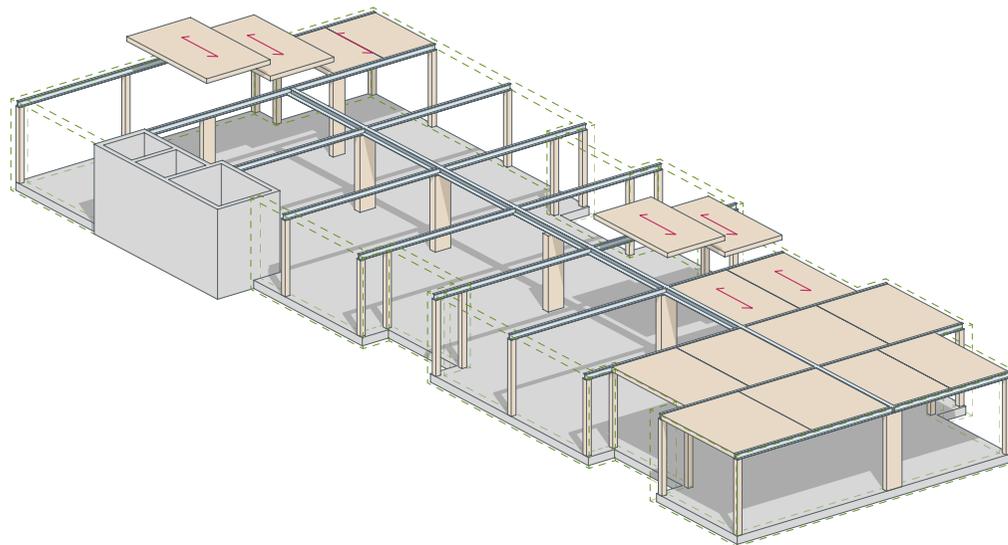


Abb. 9.120 Tragwerk laut Ausschreibung - Regelgeschoss (Grundriss)

Abb. 9.121 Übersichtplan (Grundriss)



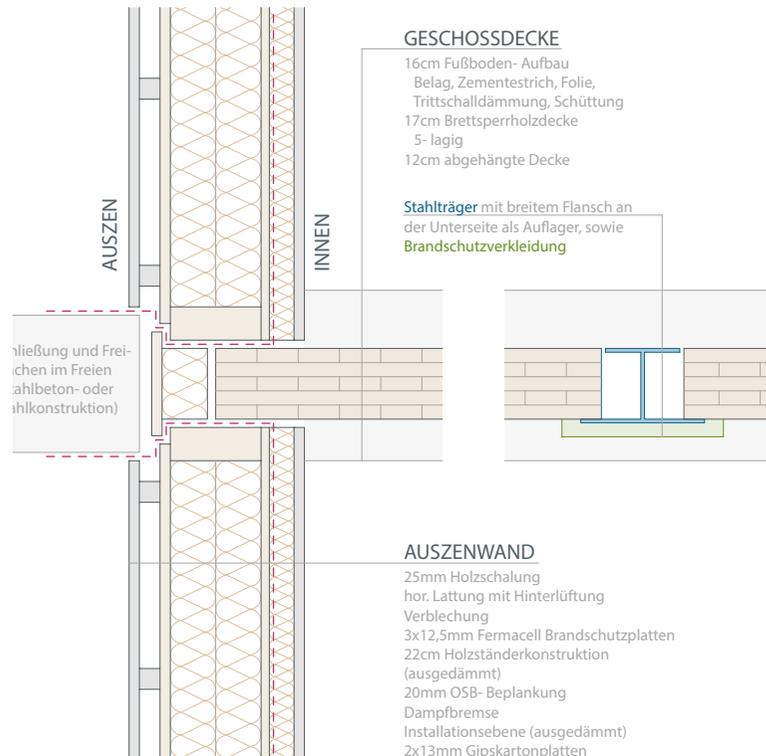
Tragwerkskomponenten

Das ausgeschriebene Tragsystem im Bereich des Holzbaus setzt sich aus Brettschichtholzstützen, Stahlträgern und Brettsperrholz-Deckenelementen zusammen.

Abb. 9.122 Tragwerk laut Ausschreibung - Regelgeschoss (3D Visualisierung)

Die Brettsperrholzdecken spannen parallel zur Längsfassade. Hierfür ist ein Raster mit 4,20m Länge eingeplant, in welchem Stahlträger verlegt sind. Diese bilden die Auflager für die Deckenplatten und leiten die Lasten zu den lastabtragenden Stützen in den Längsfassaden, sowie zum Mittelaufleger. Die Spannweite der Stahlträger variiert zwischen 4,80m und 6,50m.

Abb. 9.123 Tragwerk laut Ausschreibung - Auflager an der Fassade sowie auf Stahlquerträger (Vertikalschnitt)



Das Mittelaufleger besteht aus Brettschichtholz- Stützen bzw. Stahlträgern, da die Stützenpositionen aufgrund der Grundrissgestaltung nicht alle 4,20m anordenbar sind.

Konstruktiv erfolgt die Ausbildung des Tragsystem mittels 5-lagigen, 17cm dicken CLT- Elementen, die auf Stahlträgern mit I- Profilen und breiterem unteren Flansch aufliegen. Da die CLT- Deckenelemente auf den Stahlträgern aufliegen und die vertikale Lastübertragung im Bereich der Stützen über das Hirnholz sowie Stahlverbindungen erfolgt, werden Querpressungen im Holz vermieden.

Da die Träger in die Dämmebene der Fassadenkonstruktion verlaufen, entsteht in diesem Bereich eine thermische Schwachstelle.

Die Fassadenelemente sind als geschossweise vorgefertigte Konstruktionen geplant, die an der Außenseite bereits die Fassade montiert haben. Für die Überbrückung der Deckenstärke ist keine Überlappung der Fassadenelemente vorgesehen, stattdessen wird ein zusätzlicher horizontaler Streifen angebracht.

Raumseitig werden die Vorsatzschale an den Wänden, sowie die abgehängte Decke und der Fußbodenaufbau bauseits hergestellt.

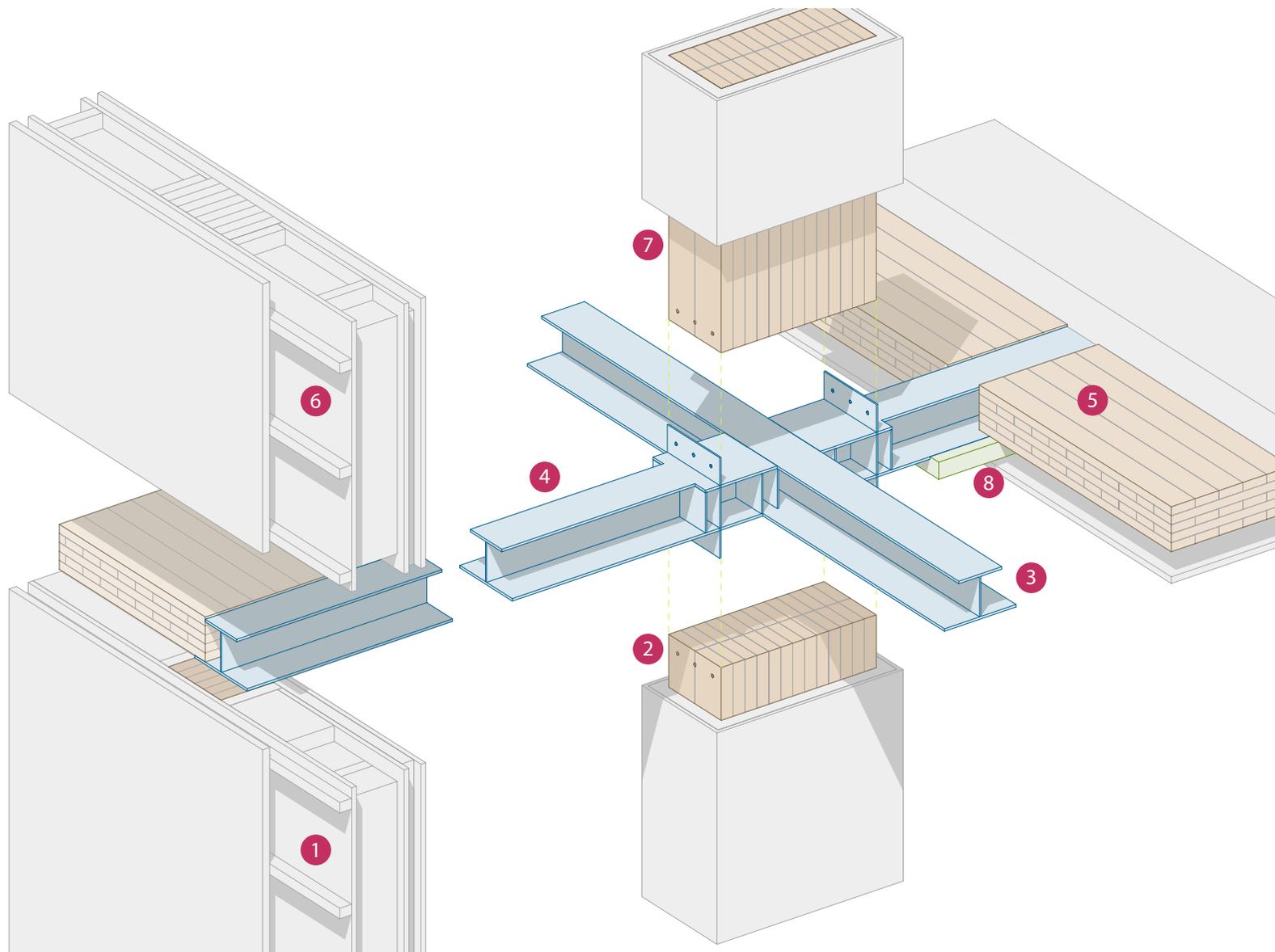


Abb. 9.124 Tragwerk laut Ausschreibung - Auflagerdetail fassadenseitig (3D Axonometrie)

Bauablauf:

1. Versetzen der Außenwandelemente
2. Errichtung der BSH-Stützen
3. Verlegung der Stahl-Mittelträger
4. Versetzen der Auflagerträger und Anbindung an Stützen und Mittelträger
5. Verlegung der CLT-Deckenelemente
6. Versetzen der Außenwandelemente des Obergeschosses
7. Errichtung der BSH-Stützen des Obergeschosses
8. Innenausbau an Stützen und Deckenuntersicht sowie Ausführung des Brandschutzes

9.3. TRAGSYSTEM - ALTERNATIVLÖSUNG

Die Firma Rubner wurde zur Angebotsabgabe einer alternativen Tragsystemlösung für das Projekt „Nudge“ eingeladen. Die Überlegung ist die Entwicklung eines Tragsystems aus Brettschichtholz-, LVL- und Stahlelementen, die in Zusammenarbeit mit Professor Winter entwickelt wurde.

Als verbesserungswürdig wird die Anordnung der Stahlträger von Mittelfeld zu Fassaden aufgefasst, da dies tragwerkstechnische, brandschutz- und wärmetechnische Nachteile mit sich bringt. Die Systemalternative basiert auf der Auswechslung der massiven Brettschichtholzelemente

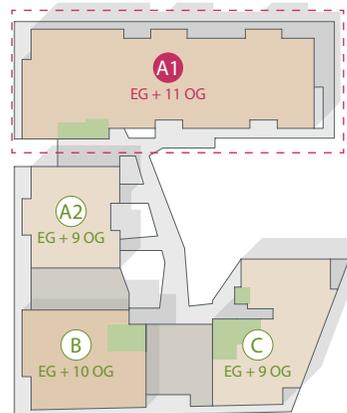
hinzu Rippendeckenkonstruktionen aus Holz, die partiell mit Stahl verstärkt sein können. Diese sollen weitere Möglichkeiten zur Integration der Haustechnik bieten.

Durch die Verwendung von Rippendeckenelemente können größere Spannweiten überbrückt werden, weshalb das Tragsystem wie folgt abgeändert wurde:

Die Spannrichtung der Deckenelemente ist um 90° gedreht, wodurch diese nun von den Achsen a zu b sowie von b zu c verlaufen. Wie bereits erwähnt werden die massiven Deckenelemente gegen Rippendecken getauscht.

Abb. 9.125 Übersichtplan
(Grundriss)

Abb. 9.126 Alternativlösung
Tragwerk - Regelgeschoss
(Grundriss)



Dies erzeugt zwei notwendige Abänderungen:

In der Achse b ist ein lineares Auflager in Form von Trägern herzustellen, welches zwischen den bereits vorhandenen Stützen spannt. Problematisch erweist sich dies in der Achse 2. Die Grundrissgestaltung der einzelnen Geschosse ermöglicht keine Anordnung einer Stütze in der Kreuzung von Achse b und 2. Der Bereich zwischen Achse 1 und 2 bleibt somit von der abgeänderten Systemlösung unberührt. Brettsperrholzelemente überspannen das etwa 4,50m breite Feld.

Rippendecken benötigen lineare Auflager, welche ebenso fassadenseitig einzuplanen sind. Aufgrund der zahlreichen Öffnungen, die der architektonische Entwurf vorsieht, sind hierfür ebenso Träger angeordnet.

Um die thermische Hülle zu verbessern, egal ob Holz- oder Holz- Stahl Rippendecken zum Einsatz kommen, wurde vorab ein alternatives Auflagerdetail für den Fassadenbereich entworfen.

Die Aussteifung des Gebäudes musste vor der Entwicklung des alternativen Tragsystems hinterfragt werden. Da diese im Bereich des Holzmischbaus durch den Betonkern, vereinzelte Querwände, Rahmenbauwände in Längsrichtung

sowie der Giebelwand in Achse 10 erreicht wird, bleibt diese unberührt. Somit wird diese Thematik in der weiteren Bearbeitung nicht angeschnitten.

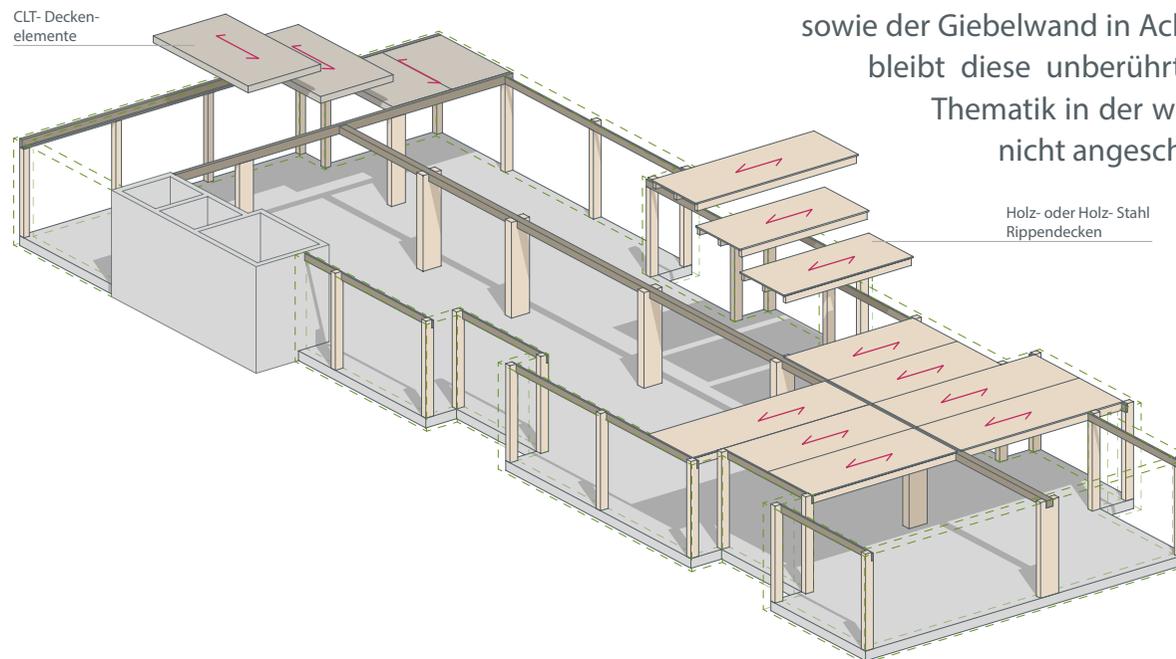


Abb. 9.127 Alternativlösung
Tragwerk - Regelgeschoss (3D
Visualisierung)

Abb. 9.128 Alternativlösung Tragwerk - Deckenaufleger fassadenseitig (3D Axonometrie)

Bauablauf:

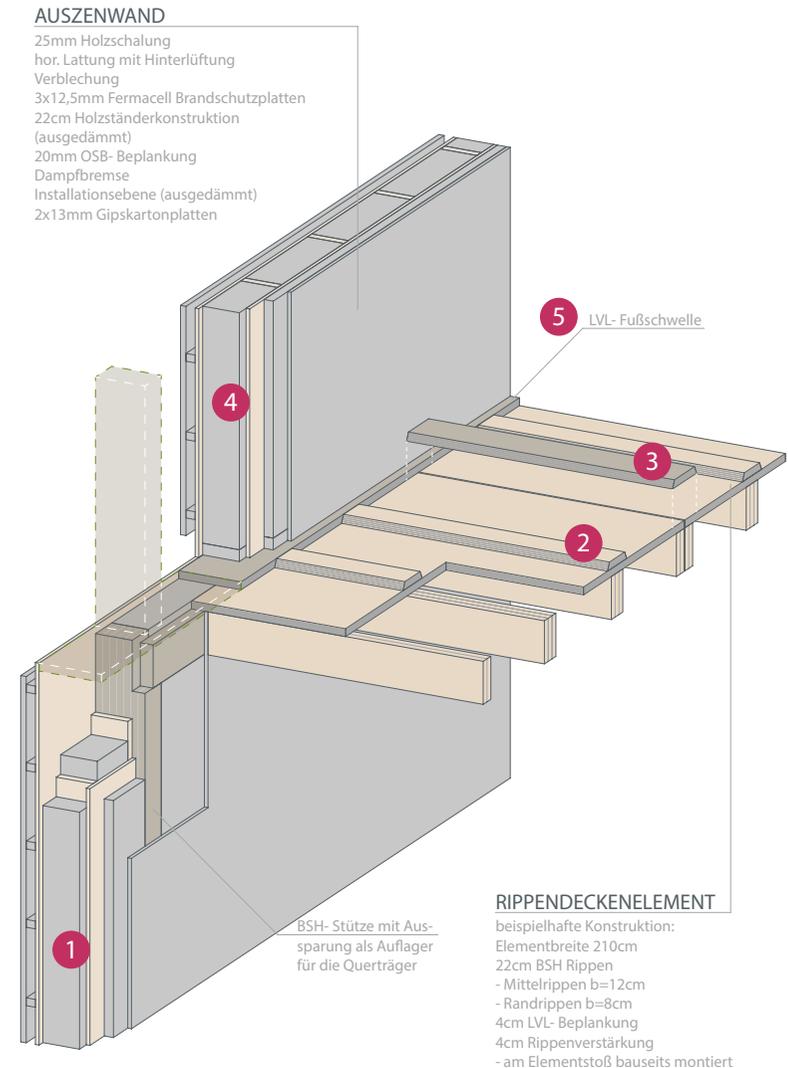
1. Versetzen der Wandelemente inklusive Randträgern
2. Auflagerung der Rippendecken über Beplankung
3. Verbindung der Elemente mittels oberseitigen Brettern
4. Versetzen der Wandelemente des Obergeschosses
5. Verschraubung der Bauteile über Auflagerschwelle

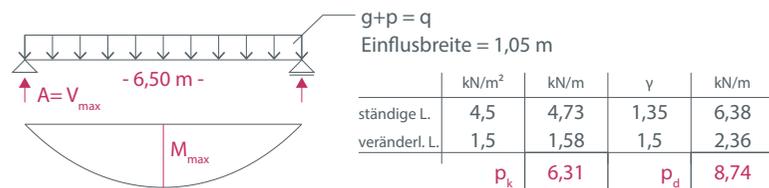
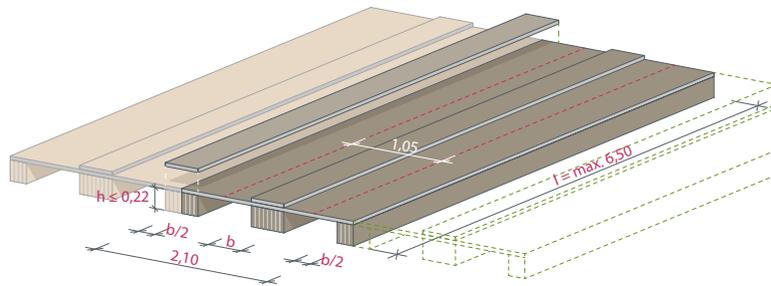
Ein kritischer Punkt bei der Erarbeitung einer Alternativlösung stellte, wie so oft im Holzbau, der Brandschutz dar. Behördenseitig wurde gefordert, dass die Rohdeckenkonstruktion eine 90-minütige Brandwiderstandsdauer aufweisen muss. Dies ist mit einer Rippenkonstruktionslösung schwer schaffbar. Die Begründung hierfür lautete, dass der Brandschutz ebenso gegeben sein muss, wenn sich der Brandherd in der Zwischenkonstruktion befindet. Auf Anfrage darf bei entsprechender Wirtschaftlichkeit hiervon Abstand gehalten werden.

Wie bereits zuvor angedeutet, wird die vorgesehene Auflagersituation im Bereich der Fassaden als problematisch gesehen.

Die alternative Tragwerkslösung soll dieser Problematik entgegenwirken. Die Deckenelemente liegen, wie bereits zuvor in der Axonometrie veranschaulicht, auf Querträgern auf, welche in den Außenwandaufbau integriert sind. Diese Träger, sowie die Brettschichtholzstützen sind direkt hinter der Vorsatzschale angeordnet.

Die Rippendecken übertragen die Lasten über die LVL-Beplankung auf die Querträger. Die Rippen liegen auf dem Träger nicht auf, wodurch keine überlappende Situation entsteht und die gemeinsame Konstruktionshöhe reduziert wird. Um die Spannungen aus den Rippen, über die Beplankung auf die Wände zu übertragen, sind im Bereich der Rippen Verstärkungen aus LVL oberhalb der Beplankung sowie zusätzlich Schrauben angedacht.



**Annahme:**

BSH GL24h $f_{mk} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$
 $k_{mod} = 0,8$ $\gamma_m = 1,25$
 $f_{m,d} = 1,79 \text{ kN/cm}^2$

$E = 1150 \text{ kN/cm}^2$

$k_{def} = 0,6$

$\psi_2 = 0,3$

ULS (Biegung)

max. M_{Ed} 46,16 kNm
 max. V_{Ed} 28,41 kN

$$\text{erf. } W_y = \frac{M_{Ed}}{f_{m,d}} = 2578,8 \text{ cm}^3$$

Annahme: $h = 22 \text{ cm}$

$$\text{erf. } b = \frac{6 \cdot W_y}{h^2} = 32,0 \text{ cm}$$

SLS (Durchbiegung)

Annahme: $w_{max} = l/400 = 1,63 \text{ cm}$
 $h = 22 \text{ cm}$

$$\text{erf. } E I_y = \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot w_{max}} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_2) + \frac{5 \cdot g_k \cdot l^4}{384 \cdot w_{max}}$$

$$\text{erf. } E I_y = 102\,432\,000 \text{ kNcm}^2$$

$$\text{erf. } I_y = 89071,5 \text{ cm}^4$$

$$\text{erf. } b = \frac{12 \cdot I_y}{h^3} = 100,4 \text{ cm}$$

Bemessung Rippendecken

Um die Auswirkungen auf die bereits vorangegangene Planung des Projektes, sowie die Chancen auf den Zuschlag zu verbessern, galt frühzeitig, dass die Konstruktionshöhe der Decke unverändert bleiben muss. Der Aufbau hat eine Gesamthöhe von 45cm. 16cm entfallen davon auf den Fußbodenaufbau. Die CLT- Deckenelemente sind mit einer Höhe von 17cm bemessen und darunter ist noch eine abgehängte Decke mit einer Höhe von 12cm angeordnet. Die Rippendeckenelemente können somit über eine statische Höhe von 26cm verfügen, um an der Unterseite noch eine 3cm dicke Beplankung anordnen zu können. Vorweg kann erwähnt werden, dass vereinzelte Verstärkungen der Deckenkonstruktion aus LVL im Bereich der 4cm hohen Beschüttung eingebettet sind.

Aus den Gebäudeabmessungen, dem Gebäuderaster sowie logistischen Bedingungen haben die vorgefertigten Elemente eine Breite von 2,10m.

Die Rippendecken spannen über Längen zwischen 4,80m und 6,50m.

Neben der Erfüllung von tragwerkstechnischen Ansprüchen - Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit - müssen Brand- und Schallschutzanforderungen beachtet werden. Für die Konstruktion werden verschiedene Lösungen bestehend aus Brettschichtholz, LVL und Stahlprofilen untersucht.

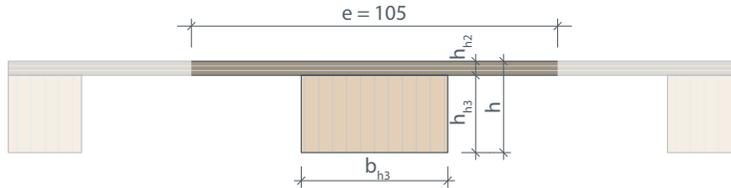
Abb. 9.129 Bemessung Rippendecke - statisches System und Abmessungen

Die ständigen und veränderlichen Lasten wurden aus den zur Verfügung gestellten Lastannahmen übernommen.

Vereinfacht wird zu Beginn eine Abschätzung der Konstruktion als Einfeldträger mit rechteckigem Querschnitt und der Höhe einer Rippe ohne Beplankung angenommen. Aus der überschlagsmäßigen Berechnung zeigt sich bereits, dass der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zufolge Durchbiegung der entscheidende Faktor sein wird.

Abb. 9.130 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 1 - BSH- Rippe mit oberseitiger LVL- Ergänzung (Teil 1)

Querschnitt 1 - BSH- Rippen mit oberseitiger LVL- Ergänzung



Bauteil 1: LVL Beplankung

Beplankung Höhe	h_{h2}	0,04 m
Trägerabstand	e	1,05 m
Abstand von UK Rippe	x	0,22 m
Querschnittsfläche	A_s	420,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_{s10}	0,24 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	560 cm ⁴
Widerstandsmoment	W_y	280 cm ³

Bauteil 2: BSH Rippen

Annahme: einheitliches Material (BSH) für Berechnung

Träger Höhe	h_{h3}	0,220 m
Träger Breite	b_{h3}	0,420 m
Querschnittsfläche	A_h	924,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_h	0,11 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	37268 cm ⁴
Widerstandsmoment	W_y	3388 cm ³

Verbindungsmittel verklebt (steif)

ULS $t = 0$

Materialkennwerte:			
LVL		BSH	BSH GL24h
E-Modul	13800 N/mm ²	E-Modul	11500 N/mm ²
γ_M	1,2	γ_M	1,25
k_{mod}	0,80	k_{mod}	0,80
Klebeverbindung			
k_{def}	0,6		
LVL- Beplankung		BSH- Rippen	
A1	0,0420 m ²	A2	0,0924 m ²
EA1	5,80E+05 kN	EA2	1,06E+06 kN
I1	0,0000056 m ⁴	I2	0,0003727 m ⁴
EI1	77,3 kNm ²	EI2	4285,8 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	1,0	im Gesamtsystem	
eff EI	10701,2 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a=$	0,130 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1=$	0,084 m	$M_{1,d}$	0,33 kNm
$a_2=$	0,046 m	$M_{2,d}$	18,49 kNm
		$N_{1,d}$	210,33 kN

Nachweis LVL

Randspannung oben	35,0 N/mm ²	= f_{yk}
$\sigma_{1do} =$	3,8 N/mm ² < 23,3 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten	35,0 N/mm ²	= f_{t0k}
$\sigma_{1du} =$	6,2 N/mm ² < 23,3 N/mm ²	= f_{tod}

Nachweise BSH

Schwerpunktspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{c0k}
$\sigma_{2do} =$	2,3 N/mm ² < 15,4 N/mm ²	= f_{c0d}
Biegerandspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{m0k}
$\sigma_{2md} =$	7,7 N/mm ² < 15,4 N/mm ²	= f_{m0d}
Schubspannung:	2,7 N/mm ²	= f_{v0k}
$\tau_{max,d} =$	0,4 N/mm ² < 1,7 N/mm ²	= f_{v0d}

Abb. 9.131 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 1 - BSH- Rippe mit oberseitiger LVL- Ergänzung (Teil 2)

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
LVL		BSH	BSH GL24h
E-Modul	8625 N/mm ²	E-Modul	7188 N/mm ²
γ_M	1,2	γ_M	1,25
k_{mod}	0,80	k_{mod}	0,80
Passbolzen			
k_{def}	0,6		
LVL- Beplankung		BSH- Rippen	
A1	0,0420 m ²	A2	0,0924 m ²
EA1	3,62E+05 kN	EA2	6,64E+05 kN
I1	0,0000056 m ⁴	I2	0,0003727 m ⁴
EI1	48,3 kNm ²	EI2	2678,6 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	1,0	im Gesamtsystem	
eff EI	6688,2 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
a=	0,130 m	in den Teilquerschnitten	
a_1 =	0,084 m	$M_{1,d}$	0,33 kNm
a_2 =	0,046 m	$M_{2,d}$	18,49 kNm
		$N_{1,d}$	210,33 kN

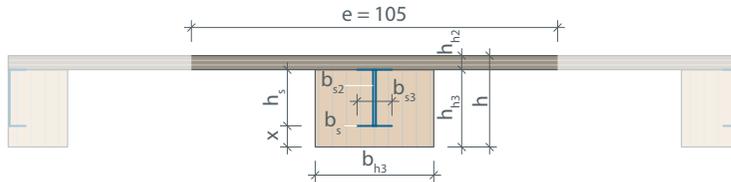
Nachweise - Stahlquerschnitt			
Randspannung oben	35,0 N/mm ²	=	f_{yk}
σ_{1do} =	3,8 N/mm ² <	23,3 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten	35,0 N/mm ²	=	$f_{10k,0.05}$
σ_{1du} =	6,2 N/mm ² <	23,3 N/mm ²	= f_{tod}
Nachweise - Holzquerschnitt			
Schwerpunktspannung:	24,0 N/mm ²	=	f_{c0k}
σ_{2do} =	2,3 N/mm ² <	15,4 N/mm ²	= f_{c0d}
Biegerandspannung:	24,0 N/mm ²	=	f_{m0k}
σ_{2md} =	7,7 N/mm ² <	15,4 N/mm ²	= f_{mod}
Schubspannung:	2,7 N/mm ²	=	f_{v0k}
$\tau_{max,d}$ =	0,4 N/mm ² <	1,7 N/mm ²	= f_{v0d}

SLS $t = 0$ $t = \infty$

Materialkennwerte:			
LVL: E-Modul	13800 N/mm ²		8625 N/mm ²
BSH: E-Modul	11500 N/mm ²		7188 N/mm ²
Klebeverbindung		Klebeverbindung	
k_{def}	0,6	k_{def}	0,6
LVL- Beplankung		LVL- Beplankung	
A1	0,0420 m ²	A1	0,0420 m ²
EA1	5,80E+05 kN	EA1	3,62E+05 kN
I1	0,0000056 m ⁴	I1	0,0000056 m ⁴
EI1	77,3 kNm ²	EI1	48,3 kNm ²
BSH- Rippen		BSH- Rippen	
A2	0,0924 m ²	A2	0,0924 m ²
EA2	1,06E+06 kN	EA2	6,64E+05 kN
I2	0,0003727 m ⁴	I2	0,0003727 m ⁴
EI2	4285,8 kNm ²	EI2	2678,6 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
γ_1	1,0	γ_1	1,0
eff EI	10701,2 kNm ²	eff EI	6688,2 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g_k	4,73 kN/m	g_k	4,73 kN/m
p_k	1,58 kN/m	p_k	1,58 kN/m
Nachweis Anfangsdurchbiegung		Nachweis Enddurchbiegung	
$w_{inst,G,1}$	10,26 mm	k_{def}	0,60
$w_{inst,Q,1}$	3,42 mm	ψ_2	0,3
w_{inst}	13,7 mm	w_{fin}	20,5 mm
Grenzwert l/x	400	Grenzwert l/x	300
	16,3 mm		21,7 mm

Abb. 9.132 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 2 - BSH-Rippe (mit Stahl) LVL- Beplankung (Teil 1)

Querschnitt 2 - BSH- Rippen (mit Stahl) und LVL Beplankung



Bauteil 1: 2x C-Profile Stahlblech

ges. Flansch oben	b_{s1}	0,10 m
Gesamthöhe	h_s	0,16 m
Steghöhe	h_{s2}	0,152 m
Stegdicke	b_{s2}	0,008 m
ges. Flansch unten	b_{s3}	0,10 m
Blechdicke	b_s	0,004 m
Abstand von UK Rippe	x	0,06 m
Querschnittsfläche	A_s	20,16 cm ²
SP- Abstand zu UK- Stahl	Z_{st}	0,080 m
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_{st0}	0,140 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	721 cm ⁴

Bauteil 2: Holzelemente (steif verklebt)

Annahme: einheitliches Material (BSH) für Berechnung

Beplankung Höhe	h_{h2}	0,04 m
Träger Höhe	h_{h3}	0,22 m
Träger Breite	b_{h3}	0,34 m
Querschnittsfläche	A_h	1168,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_h	0,157 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	76186 cm ⁴

Verbindungsmittel

Passbolzen (Stahlklasse 8.8)

Rohdichte des Materials	ρ_m	7850 kg/m ³
Durchmesser	d_{VBM}	20 mm
Anzahl Scherfugen		2
Verschiebemodul je Schraube	K_{ser}	1209586 N/mm

ULS $t = 0$

Materialkennwerte:			
Stahl	Baustahl S355	Holz	BSH GL24h
E-Modul	210000 N/mm ²	E-Modul	11500 N/mm ²
γ_M	1	γ_M	1,25
		k_{mod}	0,80
Passbolzen		$s_{min} =$	700 mm
$K_{ser} =$	806390 N/mm	$s_{max} =$	1500 mm
$K_u =$	537594 N/mm	$s_{eff} =$	900 mm
$k_{def} =$	0,6	$n_v =$	1 mm
$k_{VBM} =$	0,67	$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Holzquerschnitt	
A1	0,0020 m ²	A2	0,1168 m ²
EA1	4,23E+05 kN	EA2	1,34E+06 kN
I1	0,0000072 m ⁴	I2	0,0007619 m ⁴
EI1	1514,0 kNm ²	EI2	8761,4 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	0,8580	im Gesamtsystem	
eff EI	10355,5 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a =$	0,017 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1 =$	0,013 m	$M_{1,d}$	6,75 kNm
$a_2 =$	0,004 m	$M_{2,d}$	39,06 kNm
		$N_{1,d}$	21,34 kN

Nachweise - Stahlquerschnitt

Randspannung oben	355,0 N/mm ²	= f_{yk}
$\sigma_{1do} =$	-64,3 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten	355,0 N/mm ²	= f_{t0k}
$\sigma_{1du} =$	85,5 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{td}

Nachweise - Holzquerschnitt

Schwerpunktspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{c0k}
$\sigma_{2do} =$	0,2 N/mm ² < 15,4 N/mm ²	= f_{c0d}
Biegerandspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{m0k}
$\sigma_{2md} =$	8,2 N/mm ² < 15,4 N/mm ²	= f_{m0d}
Schubspannung:	2,7 N/mm ²	= f_{v0k}
$\tau_{max,d} =$	0,3 N/mm ² < 1,7 N/mm ²	= f_{v0d}

Abb. 9.133 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 2 - BSH-Rippe (mit Stahl) LVL- Beplankung (Teil 2)

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Stahl	Baustahl S355	Holz	BSH GL24h
E-Modul	210000 N/mm ²	E-Modul	7188 N/mm ²
γ_M	1	γ_M	1,25
Passbolzen		Passbolzen	
$K_{ser} =$	358396 N/mm	$s_{min} =$	700 mm
$K_u =$	238931 N/mm	$s_{max} =$	1500 mm
$k_{def} =$	0,6	$s_{eff} =$	900 mm
$k_{VBM} =$	0,67	$n_v =$	1 mm
		$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Holzquerschnitt	
A1	0,0020 m ²	A2	0,1168 m ²
EA1	4,23E+05 kN	EA2	8,40E+05 kN
I1	0,0000072 m ⁴	I2	0,0007619 m ⁴
EI1	1514,0 kNm ²	EI2	5475,8 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	0,7286	im Gesamtsystem	
eff EI	7053,1 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a =$	0,017 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1 =$	0,012 m	$M_{1,d}$	9,91 kNm
$a_2 =$	0,004 m	$M_{2,d}$	35,84 kNm
		$N_{1,d}$	24,73 kN

Nachweise - Stahlquerschnitt			
Randspannung oben	355,0 N/mm ²	$= f_{yk}$	
$\sigma_{1do} =$	-97,7 N/mm ²	$< 355,0$ N/mm ²	$= f_{yd}$
Randspannung unten	355,0 N/mm ²	$= f_{t0k,0,05}$	
$\sigma_{1du} =$	122,2 N/mm ²	$< 355,0$ N/mm ²	$= f_{tod}$

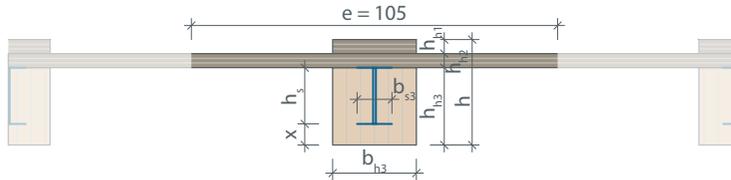
Nachweise - Holzquerschnitt			
Schwerpunktspannung:	24,0 N/mm ²	$= f_{c0k}$	
$\sigma_{2do} =$	0,2 N/mm ²	$< 15,4$ N/mm ²	$= f_{c0d}$
Biegerandspannung:	24,0 N/mm ²	$= f_{m0k}$	
$\sigma_{2md} =$	7,6 N/mm ²	$< 15,4$ N/mm ²	$= f_{m0d}$
Schubspannung:	2,7 N/mm ²	$= f_{v0k}$	
$\tau_{max,d} =$	0,3 N/mm ²	$< 1,7$ N/mm ²	$= f_{v0d}$

SLS $t = 0$ $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Stahl: E-Modul	210000 N/mm ²		210000 N/mm ²
Holz: E-Modul	11500 N/mm ²		7188 N/mm ²
Passbolzen		Passbolzen	
$K_{ser} =$	1209586 N/mm	$K_{ser} =$	806390 N/mm
$K_u =$	806390 N/mm	$K_u =$	537594 N/mm
$k_{def} =$	0,6	$k_{def} =$	0,6
$k_{VBM} =$	0,67	$k_{VBM} =$	0,67
$s_{min} =$	700 mm	$s_{min} =$	700 mm
$s_{max} =$	1500 mm	$s_{max} =$	1500 mm
$s_{eff} =$	900 mm	$s_{eff} =$	900 mm
$n_v =$	1	$n_v =$	1
$s_i =$	900 mm	$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Stahlquerschnitt	
A1	0,0020 m ²	A1	0,0020 m ²
EA1	4,23E+05 kN	EA1	4,23E+05 kN
I1	0,0000072 m ⁴	I1	0,0000072 m ⁴
EI1	1514,0 kNm ²	EI1	1514,0 kNm ²
Holzquerschnitt		Holzquerschnitt	
A2	0,1168 m ²	A2	0,1168 m ²
EA2	1,34E+06 kN	EA2	8,40E+05 kN
I2	0,0007619 m ⁴	I2	0,0007619 m ⁴
EI2	8761,4 kNm ²	EI2	5475,8 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
γ_1	0,9315	γ_1	0,9006
eff EI	10360,8 kNm ²	eff EI	7063,4 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g_k	4,73 kN/m	g_k	4,73 kN/m
p_k	1,58 kN/m	p_k	1,58 kN/m
Nachweis Anfangsdurchbiegung		Nachweis Enddurchbiegung	
$w_{inst,G,1}$	10,6 mm	k_{def}	0,47
$w_{inst,Q,1}$	3,5 mm	ψ_2	0,3
w_{inst}	14,1 mm	w_{fin}	19,6 mm
Grenzwert l/x	400	Grenzwert l/x	300
	16,3 mm		21,7 mm

Abb. 9.134 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 3 - BSH-Rippe (mit Stahl), LVL-Beplankung und oberseitigem Brett (Teil 1)

Querschnitt 3 - BSH- Rippen (mit Stahl), LVL Beplankung und oberseitigem Brett



Bauteil 1: 2x C-Profile Stahlblech

ges. Flansch oben	b_{s1}	0,10 m
Gesamthöhe	h_s	0,16 m
Steghöhe	h_{s2}	0,152 m
Stegdicke	b_{s2}	0,008 m
ges. Flansch unten	b_{s3}	0,10 m
Blechdicke	b_s	0,004 m
Abstand von UK Rippe	x	0,06 m
Querschnittsfläche	A_s	20,16 cm ²
SP- Abstand zu UK- Stahl	Z_{st}	0,080 m
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_{st0}	0,140 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	721 cm ⁴

Bauteil 2: Holzelemente (steif verklebt)

Annahme: einheitliches Material (BSH) für Berechnung

Brett Höhe	h_{h1}	0,04 m
Brett Breite	b_{h1}	0,24 m
Beplankung Höhe	h_{h2}	0,04 m
Träger Höhe	h_{h3}	0,22 m
Träger Breite	b_{h3}	0,24 m
Querschnittsfläche	A_h	1044,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_h	0,178 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	72531 cm ⁴

Verbindungsmittel

Passbolzen (Stahlklasse 8.8)		
Rohdichte des Materials	ρ_m	7850 kg/m ³
Durchmesser	d_{vBM}	20 mm
Anzahl Scherfugen		2
Verschiebemodul je Schraube	K_{ser}	1209586 N/mm

ULS $t = 0$

Materialkennwerte:			
Stahl	Baustahl S355	Holz	BSH GL24h
E-Modul	210000 N/mm ²	E-Modul	11500 N/mm ²
Y_M	1	Y_M	1,25
		k_{mod}	0,80
Passbolzen		$s_{min} =$	700 mm
$K_{ser} =$	806390 N/mm	$s_{max} =$	1500 mm
$K_u =$	537594 N/mm	$s_{eff} =$	900 mm
$k_{def} =$	0,6	$n_v =$	1
$k_{vBM} =$	0,67	$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Holzquerschnitt	
A1	0,0020 m ²	A2	0,1044 m ²
EA1	4,23E+05 kN	EA2	1,20E+06 kN
I1	0,000007 m ⁴	I2	0,000725 m ⁴
EI1	1514,0 kNm ²	EI2	8341,1 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
Y_1	0,8580	im Gesamtsystem	
eff EI	10256,3 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a =$	0,038 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1 =$	0,029 m	$M_{1,d}$	6,81 kNm
$a_2 =$	0,009 m	$M_{2,d}$	37,54 kNm
		$N_{1,d}$	47,61 kN

Nachweise - Stahlquerschnitt

Randspannung oben	355,0 N/mm ²	= f_{yk}
$\sigma_{1do} =$	-52,0 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten	355,0 N/mm ²	= f_{10k}
$\sigma_{1du} =$	99,2 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{tod}

Nachweise - Holzquerschnitt

Schwerpunktspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{c0k}
$\sigma_{2do} =$	0,5 N/mm ² < 15,4 N/mm ²	= f_{c0d}
Biegerandspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{m0k}
$\sigma_{2md} =$	9,7 N/mm ² < 15,4 N/mm ²	= f_{m0d}
Schubspannung:	2,7 N/mm ²	= f_{v0k}
$\tau_{max,d} =$	0,4 N/mm ² < 1,7 N/mm ²	= f_{v0d}

Abb. 9.135 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 3 - BSH-Rippe (mit Stahl), LVL-Beplankung und oberseitigem Brett (Teil 2)

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Stahl	Baustahl S355	Holz	BSH GL24h
E-Modul	210000 N/mm ²	E-Modul	7188 N/mm ²
γ_M	1	γ_M	1,25
		k_{mod}	0,80
Passbolzen		Passbolzen	
$K_{ser} =$	358396 N/mm	$s_{min} =$	700 mm
$K_u =$	238931 N/mm	$s_{max} =$	1500 mm
$k_{def} =$	0,6	$s_{eff} =$	900 mm
$k_{VBM} =$	0,67	$n_v =$	1
		$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Holzquerschnitt	
A1	0,0020 m ²	A2	0,1044 m ²
EA1	4,23E+05 kN	EA2	7,50E+05 kN
I1	0,000007 m ⁴	I2	0,000725 m ⁴
EI1	1514,0 kNm ²	EI2	5213,2 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	0,7286	im Gesamtsystem	
eff EI	7041,7 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a =$	0,038 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1 =$	0,027 m	$M_{1,d}$	9,93 kNm
$a_2 =$	0,011 m	$M_{2,d}$	34,18 kNm
		$N_{1,d}$	-54,36 kN

Nachweise - Stahlquerschnitt			
Randspannung oben	355,0 N/mm ²	= f_{yk}	
$\sigma_{1do} =$	-137,1 N/mm ²	< 355,0 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten	355,0 N/mm ²	= $f_{t0k,0,05}$	
$\sigma_{1du} =$	83,2 N/mm ²	< 355,0 N/mm ²	= f_{tod}

Nachweise - Holzquerschnitt			
Schwerpunktspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{c0k}	
$\sigma_{2do} =$	-0,5 N/mm ²	< 15,4 N/mm ²	= f_{cod}
Biegerandspannung:	24,0 N/mm ²	= f_{m0k}	
$\sigma_{2md} =$	7,9 N/mm ²	< 15,4 N/mm ²	= f_{m0d}
Schubspannung:	2,7 N/mm ²	= f_{v0k}	
$\tau_{max,d} =$	0,4 N/mm ²	< 1,7 N/mm ²	= f_{v0d}

SLS

		t = 0	t = ∞
Materialkennwerte:			
Stahl: E-Modul	210000 N/mm ²		210000 N/mm ²
Holz: E-Modul	11500 N/mm ²		7188 N/mm ²
Passbolzen		Passbolzen	
$K_{ser} =$	1209586 N/mm	$K_{ser} =$	806390 N/mm
$K_u =$	806390 N/mm	$K_u =$	537594 N/mm
$k_{def} =$	0,6	$k_{def} =$	0,6
$k_{VBM} =$	0,67	$k_{VBM} =$	0,67
$s_{min} =$	700 mm	$s_{min} =$	700 mm
$s_{max} =$	1500 mm	$s_{max} =$	1500 mm
$s_{eff} =$	900 mm	$s_{eff} =$	900 mm
$n_v =$	1	$n_v =$	1
$s_i =$	900 mm	$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Stahlquerschnitt	
A1	0,0020 m ²	A1	0,0020 m ²
EA1	4,23E+05 kN	EA1	4,23E+05 kN
I1	0,000007 m ⁴	I1	0,000007 m ⁴
EI1	1514,0 kNm ²	EI1	1514,0 kNm ²
Holzquerschnitt		Holzquerschnitt	
A2	0,1044 m ²	A2	0,1044 m ²
EA2	1,20E+06 kN	EA2	7,50E+05 kN
I2	0,000725 m ⁴	I2	0,000725 m ⁴
EI2	8341,1 kNm ²	EI2	5213,2 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
γ_1	0,9315	γ_1	0,9006
eff EI	10282,2 kNm ²	eff EI	7090,9 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g_k	4,73 kN/m	g_k	4,73 kN/m
p_k	1,58 kN/m	p_k	1,58 kN/m
Nachweis Anfangsdurchbiegung		Nachweis Enddurchbiegung	
$w_{inst,G,1}$	10,7 mm	k_{def}	0,45
$w_{inst,Q,1}$	3,6 mm	ψ_2	0,3
w_{inst}	14,2 mm	w_{fin}	19,5 mm
Grenzwert l/x	400	Grenzwert l/x	300
	16,3 mm		21,7 mm

Abb. 9.136 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 4 - Cofradal Deckenelement (Teil 1)

Querschnitt 4 - Cofradal Deckenelemente

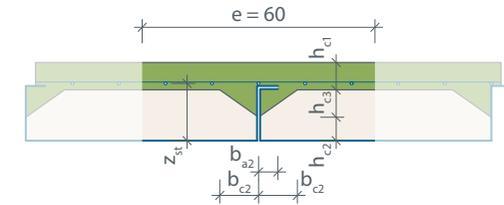
Bauteil 1: Beton (C30/37)

Obergurt Breite	b_{c1}	0,60 m
Obergurt Höhe	h_{c1}	0,07 m
UK- Rippe zu Tragschale	h_{c2}	0,06 m
zusätzliche Höhe Rippe	h_{c3}	0,07 m
Breite Abschrägung	b_{c2}	0,10 m
Abstand zu UK- Schale	x	0,13 m
Querschnittsfläche	A_c	490,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Schale	z_c	0,157 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	3947,22 cm ⁴
E-Modul	E_{cm}	3350 kN/cm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1,5
charakt. Betondruckfestigkeit	f_{ck}	3,00 kN/cm ²
Bemessungswert	f_{cd}	2,00 kN/cm ²

Bauteil 1.1: Betonstahl

Annahme: Betonstahlmatten Q257

Bewehrung in Längsrichtung	A_{St1}	5,24 cm ² /m
Durchmesser Bewehrungsstäbe	d	9,00 mm
Querschnittsfläche pro Stab	A_{St1-1}	0,64 cm ²
Anzahl Stäbe pro Elementbreite		5 Stäbe
Bewehrung pro Elementbreite	A_{st}	3,14 cm ²
SP- Abstand zu UK- Schale	z_{St}	0,1445 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	0,16 cm ⁴
E-Modul	E_{st}	21000 kN/cm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1,1
charakt. Zugfestigkeit	f_{sk}	50,00 kN/cm ²
Bemessungswert Widerstand	f_{sd}	45,45 kN/cm ²



Elementabmessungen

Breite	0,60 m
Höhe	0,20 m

Bemessungswerte

Biegemoment	M_{Ed}	26,38 kNm
Querkraft	V_{Ed}	16,23 kN

Bauteil 2: Stahlblechschaale (S275)

Blechdicke	t_1	0,001 m
Blechdicke Kontakt	t_2	0,002 m
Untergurt Breite	b_{a1}	0,60 m
Steghöhe	h_a	0,14 m
Abkantung Breite	b_{a2}	0,05 m
Querschnittsfläche Tragschale	A_a	9,80 cm ²
SP- Abstand zu UK- Schale	z_a	0,034 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	259,6 cm ⁴
E-Modul	E_s	21000 kN/cm ²
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1,0
charakt. Streckgrenze	f_{yk}	27,5 kN/cm ²
Bemessungswert Streckgrenze	f_{yd}	27,5 kN/cm ²

Abb. 9.137 Bemessung Mittel-
rippe - Querschnitt 4 - Cofradal
Deckenelement (Teil 2)**SLS t = 0**
Verformung

Materialwerte		
Beton		
E_{cm}		33500 N/mm ²
$A1_c$		0,0490 m ²
$EA1_c$		1,64E+06 kN
$I1_c$		0,0000395 m ⁴
$EI1_c$		1322,3 kNm ²
Gesamtstahl		
E_s		210000 N/mm ²
z_s		0,061 m
$A2_s$		0,0013 m ²
$EA2_s$		2,72E+05 kN
$I2_s$		0,0000055 m ⁴
$EI2_s$		1150,4 kNm ²
Steifigkeit		
eff EI		4597,7 kNm ²
Bemessungssituation		
g_k		2,7 kN/m
p_k		0,9 kN/m

Nachweis Verformung

w_G		1,4 mm
w_Q		0,5 mm
w_{ges}		1,8 mm
Grenzwert l/x		300
		2,2 mm

ULS
unmittelbare Lastaufbringung

Fläche Gesamtstahl	A_s		12,94 cm ²
SP - Stahlschale zu Betonstahlachse	z_a'		0,110 m
SP - Gesamtstahl zu Betonstahlachse	z_s		0,083 m
Trägheitsmoment	I_{ya}	547,7 cm ⁴	
SP - Betonachse zu Betonstahlachse	z_c'		-0,012 m
E-Stahl / E-Beton reduzierte Betonwerte	n_0		6,27
	A_{c0}		78,17 cm ²
	I_{c0}	629,7 cm ⁴	
Lage ideale Nulll. ... zu UK- Schale	z_{i0}		0,012 m
			0,133 m
Querschnittswerte Verbundquerschnitt	A_{i0}		91,11 cm ²
	S_{i0}		107,8 cm ³
	I_{i0}	2075,3 cm ⁴	
Widerstände zur ideellen Nulllinie			
Beton			
z_{co}	-6,7 cm	W_{co}	-308 cm ³
z_{cu}	7,3 cm	W_{cu}	286 cm ³
Betonstahl			
z_{st}	-1,2 cm	W_{st}	-1754 cm ³
Stahlschale			
z_{ao}	-0,7 cm	W_{ao}	-2830 cm ³
z_{au}	13,3 cm	W_{au}	156 cm ³

Spannungen

σ_{co} =	-1,4 kN/cm ²	<	2,0 kN/cm ²	=fcd
σ_{cu} =	1,5 kN/cm ²			
σ_{st} =	-1,5 kN/cm ²	<	45,5 kN/cm ²	=fsd
σ_{ao} =	-0,9 kN/cm ²			
σ_{au} =	16,9 kN/cm ²	<	27,5 kN/cm ²	=fyd

Abb. 9.138 Bemessung Mittel-
rippe - Querschnitt 4 - Cofradal
Deckenelement (Teil 3)

ULS
Kriechen (Näherungsverfahren lt. EC4)

t=∞			
Kriechbeiwert	ψ _p	1,1	
Endkriechzahl	φ _t	2,0	
Reduktionszahl	η _p	20,06	
Anwendung Reduktionszahl auf Betonquerschnitt			
	A _{cp}	24,43 cm ²	
	I _{cp}	0,008 cm ⁴	
	A _{ip}	37,37 cm ²	
Lage der ideellen Nulllinie	Z _{ip}	0,029 m	
... bezogen auf UK- Schale		0,116 m	
	S _{ip}	70,5 cm ³	
	I _{ip}	1134,60 cm ⁴	
Widerstände zur ideellen Nulllinie			
Beton			
Z _{co}	-8,4 cm	W _{co}	-135 cm ³
Z _{cu}	5,6 cm	W _{cu}	204 cm ³
Betonstahl			
Z _{st}	-2,9 cm	W _{st}	-393 cm ³
Stahlschale			
Z _{ao}	-2,4 cm	W _{ao}	-466 cm ³
Z _{au}	11,6 cm	W _{au}	98 cm ³
Spannungen nach Abschluss des Kriechens			
σ _{co} =	-1,0 kN/cm ²	< 2,0 kN/cm ²	=f _{cd}
σ _{cu} =	0,6 kN/cm ²		
σ _{st} =	-6,7 kN/cm ²	< 45,5 kN/cm ²	=f _{sd}
σ _{ao} =	-5,7 kN/cm ²		
σ _{au} =	26,9 kN/cm ²	< 27,5 kN/cm ²	=f _{yd}

ULS
Schwinden (Näherungsverfahren lt. EC4)

t=∞			
Kriechbeiwert für Schwinden	ψ _s	0,55	
Endkriechzahl	φ _t	4,7	
Reduktionszahl	η _p	22,47	
Anwendung Reduktionszahl auf Betonquerschnitt			
	A _{cs}	21,80 cm ²	
	I _{cs}	175,6 cm ⁴	
	A _{is}	34,75 cm ²	
Lage der ideellen Nulllinie	Z _{is}	0,031 m	
... bezogen auf UK- Schale		0,113 m	
	S _{is}	67,6 cm ³	
	I _{is}	1286,8 cm ⁴	
Widerstände zur ideellen Nulllinie			
Beton			
Z _{co}	-8,7 cm	W _{co}	-149 cm ³
Z _{cu}	5,3 cm	W _{cu}	241 cm ³
Betonstahl			
Z _{st}	-3,1 cm	W _{st}	-415 cm ³
Stahlschale			
Z _{ao}	-2,7 cm	W _{ao}	-485 cm ³
Z _{au}	11,3 cm	W _{au}	113 cm ³
Spannungen nach Abschluss des Schwindens			
σ _{co} =	-0,8 kN/cm ²	< 2,0 kN/cm ²	=f _{cd}
σ _{cu} =	0,5 kN/cm ²		
σ _{st} =	-6,4 kN/cm ²	< 45,5 kN/cm ²	=f _{sd}
σ _{ao} =	-5,4 kN/cm ²		
σ _{au} =	23,3 kN/cm ²	< 27,5 kN/cm ²	=f _{yd}

Durchführung der Bemessung

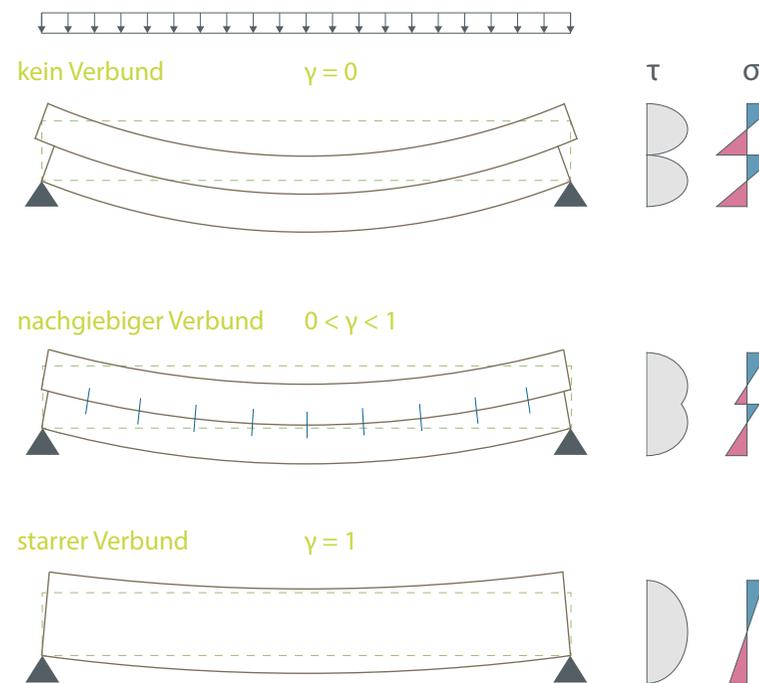
Zu Beginn wurde für die Abschätzung und Bemessung der unterschiedlichen Konstruktionen angenommen, dass die Querschnitte steif verbunden sind. Daher wurde so vorgegangen, dass die Flächenträgheitsmomente der Einzelquerschnitte berechnet und auf ein gemeinsames E-Modul bezogen wurden. Beispielsweise bedeutete dies bei einer Konstruktion aus Brettschichtholz und LVL, dass das Trägheitsmoment des LVL-Querschnitts um den Quotienten der unterschiedlichen E-Module multipliziert wurde. Für diesen Verbundquerschnitt wurden anschließend die Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit geführt.

Hinsichtlich der statischen Wirkung der oberseitigen Beplankung wurde die **mitwirkende Plattenbreite** berechnet. Für die Mittelrippe hat sich herausgestellt, dass diese jener Breite der Lasteinwirkung entspricht.

Bei der Führung des Nachweises für Holz- Stahl Querschnitte stellte sich die Frage, ob eine vereinfachte händische Bemessung, wie für einen Holz- Holz Querschnitt mit der Annahme einer steifen Verbindung ausreichend und korrekt ist. Voraussichtlich hätte dies für eine erste Abschätzung genügt. Aufgrund des Interesses fiel die Entscheidung sich mit dem γ -Verfahren und der tragwerkstechnischen Wirkung von nachgiebig verbundenen Quer-

schnitten auseinander zu setzen und dies ebenso in der weiteren Arbeit vermehrt einzusetzen.

Beim γ -Verfahren wird die Nachgiebigkeit einer Verbundkonstruktion betrachtet. Dabei wird das Verhalten einer zum Zeitpunkt der Lastaufbringung sowie im Unendlichen errechnet. Namensgebend ist der Faktor γ , jener Beiwert, der die Nachgiebigkeit im Vergleich zu einem steifen Verbund berücksichtigt und über Kennwerte des Verbindungsmittel sowie Querschnitts- und Materialwerten berechnet wird.



rechts: γ -Verfahren: Vorlesungsunterlagen Holzbau 2- TU Wien (Bauingenieurwesen) - 13.3.2018

Abb. 9.139 Einfluss des γ -Wertes auf die Spannungen im Querschnitt
Daten aus: Vorlesungsunterlagen Holzbau 2- TU Wien (Bauingenieurwesen)

vgl. γ -Verfahren: Vorlesungs-
unterlagen Holzbau 2 - TU
Wien (Bauingenieurwesen) -
13.3.2018

Die Grafiken zeigen, dass bei lose aufeinander gelegten Querschnitten keine Interaktion zwischen den Bauteilen besteht, somit jedes für sich selbst beansprucht wird und tragwerkstechnisch schwächer ist als im Verbund.

Sind die beiden Bauteile starr miteinander verbunden, wie es beispielsweise durch das Verleimen von Holzquerschnitten realisiert werden kann, wirkt ein anderer Querschnitt und die Spannungsverteilung verändert sich. Beide Bauteile werden vollständig, ohne Abminderung angesetzt.

Beim Einsatz von mechanischen Verbindungsmitteln - Bolzen, Gewindestangen, etc. - handelt es sich um schubweiche Verbindungen. Es entsteht ein nachgiebig verbundener Biegeträger, dessen Verhalten zwischen den beiden zuvor erläuterten Extremfällen liegt. Somit beträgt der γ -Wert einen zu berechnenden Wert zwischen 0 und 1.

Für die in der Bemessung eingesetzten Verbindungsmittel wurden Passbolzenverbindungen angenommen. Mittels der Rohdichte und dem gewählten Durchmesser konnte das Verschiebemodul der Verbindung berechnet werden.

Aus dem Verschiebemodul und den Abständen der Verbindungsmittel errechnet sich ein Beiwert für den Verbund, welcher neben dem E-Modul und der Querschnittsfläche des anzuschließenden Bauteils den γ -Wert beeinflusst.

Abschließend wurde die effektive Steifigkeit ermittelt, indem über den γ -Wert der Steiner- Anteil des Flächenträgheitsmoments reduziert wurde und die Nachweise für die Einzelbauteile geführt.

Schlussfolgerung aus der Bemessung

Der zuvor erläuterte Bemessungsvorgang wurde im Softwareprogramm Excel für die Bemessung der Deckenkonstruktion programmiert, wodurch rasche Abänderungen möglich waren.

Drei Querschnittsvarianten in Holz- bzw. Holz- Stahl Bauweise wurden untersucht. Zusätzlich erfolgte die Nachrechnung des **Cofradal- Deckensystems**, welches bereits im Kapitel Deckenkonstruktionen vorgestellt wurde und im weiteren Verlauf der Arbeit eine wichtige Referenz darstellt.

Durch die Programmierung und rasche Adaptierbarkeit konnten Einflüssen bei der Veränderung von Querschnitten und deren Auswirkungen auf einzelne Nachweise analysiert werden.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass in allen Bemessungsfällen der Grenzzustand der Durchbiegung die maßgebende Größe ist.

Für die Holz- und Holz- Stahl Konstruktionen gilt, dass bei Erreichen der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit die Holzelemente zufolge der Tragfähigkeit noch Reserven aufweisen. Die Biegerandspannungen erreichen hierbei eine Ausnützung von 50-60% der maximal aufnehmbaren Spannungen.

Die Schubspannungen in den Holzquerschnitten spielen mit 25% des maximalen Materialwiderstands eine noch

geringere Rolle.

Bei den beiden Varianten mit eingelegten Stahlquerschnitten sind diese zufolge Tragfähigkeit unter 50% der maximal aufnehmbaren Spannungen ausgenutzt. Sie tragen aber maßgeblich zur Reduzierung der Durchbiegung und damit zur Einhaltung der Nachweise der Gebrauchstauglichkeit bei.

Das Verhältnis von statischer Höhe zu Trägerbreite ist nicht direkt proportional. Durch die Vergrößerung der statischen Höhe ist ein schlankerer Trägerquerschnitt möglich. Da der Fußbodenaufbau über eine 4cm starke Schüttung verfügt, ist es andenkbar, partiell über den Trägern die statische Höhe mittels Bretter zu erhöhen. Dies wurde bereits bei der Untersuchung der Holz- Stahl Querschnitte berücksichtigt.

Abschließend wird der Querschnitt 1 ein weiteres Mal durchgerechnet, wobei ein oberseitiges Brett angesetzt wird. Die Bretter dienen im Bereich der Elementstöße zur Verbindung benachbarter Bauteile und verhelfen dazu, die BSH- Rippen von 42cm auf 24cm Breite zu reduzieren.

Anzumerken ist bei der Betrachtung dieser Bemessungen, dass Holzquerschnitte, die sich aus mehreren Einzelelementen zusammensetzen, als miteinander steif verbunden angesehen werden, da die Verbindung über Verkle-

bung erfolgt. So durch sind keine Abminderungsbeiwerte angesetzt.

Handelt es sich bei den verklebten Holzelementen um unterschiedliche Holzwerkstoffe, sind die Festigkeitswerte des weniger leistungsfähigen Materials angesetzt, um die Eingabe und Bemessung zu erleichtern.

Abb. 9.140 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 5 - BSH-Rippen, LVL- Beplankung und oberseitiges Brett (Teil 1)

Querschnitt 5 - BSH- Rippen, LVL- Beplankung und Brett

Bauteil 1: LVL Beplankung + Brett

Brett Höhe	h_{h1}	0,04 m
Brett Breite	b_{h1}	0,20 m
Beplankung Höhe	h_{h2}	0,04 m
Trägerabstand	e	1,05 m
Abstand von UK Rippe	x	0,22 m
Querschnittsfläche	A_{LVL}	500,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_{st0}	0,25 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	27719 cm ⁴

Bauteil 2: BSH Rippen

Annahme: einheitliches Material (BSH) für Berechnung

Träger Höhe	h_{h3}	0,220 m
Träger Breite	b_{h3}	0,240 m
Querschnittsfläche	A_{BSH}	528,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Rippe	Z_h	0,11 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	21296 cm ⁴
Widerstandsmoment	W_y	1936 cm ³

Nachweise ULS

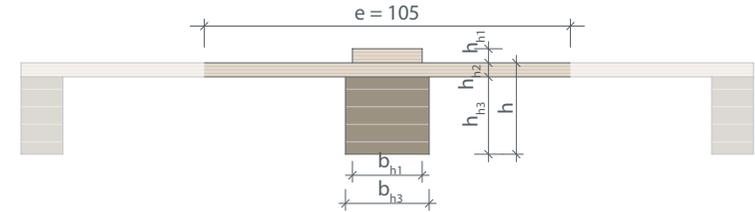
LVL			
Randspannung oben		35,0 N/mm ²	= f_{yk}
$t=0 \sigma_{1do}$	0,5 N/mm ²	< 23,3 N/mm ²	= f_{yd}
$t=\infty \sigma_{1do}$	0,5 N/mm ²		
Randspannung unten		35,0 N/mm ²	= f_{i0k}
$t=0 \sigma_{1du}$	3,3 N/mm ²	< 23,3 N/mm ²	= f_{tod}
$t=\infty \sigma_{1du}$	3,3 N/mm ²		

Nachweise BSH			
Schwerpunktspannung:		24,0 N/mm ²	= f_{c0k}
$t=0 \sigma_{2do}$	3,1 N/mm ²	< 15,4 N/mm ²	= f_{c0d}
$t=\infty \sigma_{2do}$	3,1 N/mm ²		
Biegerandspannung:		24,0 N/mm ²	= f_{m0k}
$t=0 \sigma_{2md}$	7,9 N/mm ²	< 15,4 N/mm ²	= f_{m0d}
$t=\infty \sigma_{2md}$	7,9 N/mm ²		
Schubspannung:		2,7 N/mm ²	= f_{v0k}
$t=0 T_{max,d}$	0,4 N/mm ²	< 1,7 N/mm ²	= f_{v0d}
$t=\infty T_{max,d}$	0,4 N/mm ²		

Da für die Bemessung der Mittelträger die maximal zulässige Durchbiegung mit $l/400$ angenommen wurde, wird dies ebenso für die Bemessung der Enddurchbiegung übernommen.

Laut Eurocode gelten folgende Werte:

w_{inst}^* : $l/300$ bis $l/500$
 $w_{net,fin}$: $l/250$ bis $l/350$



SLS		t = 0	t = ∞
Materialkennwerte:			
LVL: E-Modul	13800 N/mm ²		8625 N/mm ²
BSH: E-Modul	11500 N/mm ²		7188 N/mm ²
Klebeverbindung		Klebeverbindung	
k_{def}	0,6	k_{def}	0,6
LVL- Beplankung		LVL- Beplankung	
A1	0,0500 m ²	A1	0,0500 m ²
EA1	6,90E+05 kN	EA1	4,31E+05 kN
I1	0,0002772 m ⁴	I1	0,0002772 m ⁴
EI1	3825,2 kNm ²	EI1	2390,7 kNm ²
BSH- Rippen		BSH- Rippen	
A2	0,0528 m ²	A2	0,0528 m ²
EA2	6,07E+05 kN	EA2	3,80E+05 kN
I2	0,0002130 m ⁴	I2	0,0002130 m ⁴
EI2	2449,0 kNm ²	EI2	1530,7 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
Y_1	1,0	Y_1	1,0
eff EI	12283,2 kNm ²	eff EI	7677,0 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g_k	4,73 kN/m	g_k	4,73 kN/m
p_k	1,58 kN/m	p_k	1,58 kN/m
Nachweis Anfangsdurchbiegung		Nachweis Enddurchbiegung	
$w_{inst,G,1}$	8,94 mm	k_{def}	0,60
$w_{inst,Q,1}$	2,98 mm	ψ_2	0,3
w_{inst}	11,9 mm	w_{fin}	17,8 mm
Grenzwert l/x	400	Grenzwert l/x	300
	16,3 mm		21,7 mm

ULS $t = 0$

Materialkennwerte:			
LVL		BSH	BSH GL24h
E-Modul	13800 N/mm ²	E-Modul	11500 N/mm ²
Y_M	1,2	Y_M	1,25
k_{mod}	0,80	k_{mod}	0,80
Klebeverbindung			
k_{def}	0,6		
LVL- Beplankung		BSH- Rippen	
A1	0,0500 m ²	A2	0,0528 m ²
EA1	6,90E+05 kN	EA2	6,07E+05 kN
I1	0,0002772 m ⁴	I2	0,0002130 m ⁴
EI1	3825,2 kNm ²	EI2	2449,0 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
Y_1	1,0	im Gesamtsystem	
eff EI	12283,2 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a=$	0,136 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1=$	0,064 m	$M_{1,d}$	14,38 kNm
$a_2=$	0,073 m	$M_{2,d}$	9,20 kNm
		$N_{1,d}$	165,57 kN

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
LVL		BSH	BSH GL24h
E-Modul	8625 N/mm ²	E-Modul	7188 N/mm ²
Y_M	1,2	Y_M	1,25
k_{mod}	0,80	k_{mod}	0,80
Passbolzen			
k_{def}	0,6		
LVL- Beplankung		BSH- Rippen	
A1	0,0500 m ²	A2	0,0528 m ²
EA1	4,31E+05 kN	EA2	3,80E+05 kN
I1	0,0002772 m ⁴	I2	0,0002130 m ⁴
EI1	2390,7 kNm ²	EI2	1530,7 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
Y_1	1,0	im Gesamtsystem	
eff EI	7677,0 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
$a=$	0,136 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1=$	0,064 m	$M_{1,d}$	14,38 kNm
$a_2=$	0,073 m	$M_{2,d}$	9,20 kNm
		$N_{1,d}$	165,57 kN

Abb. 9.141 Bemessung Mittelrippe - Querschnitt 5 - BSH-Rippen, LVL- Beplankung und oberseitiges Brett (Teil 2)

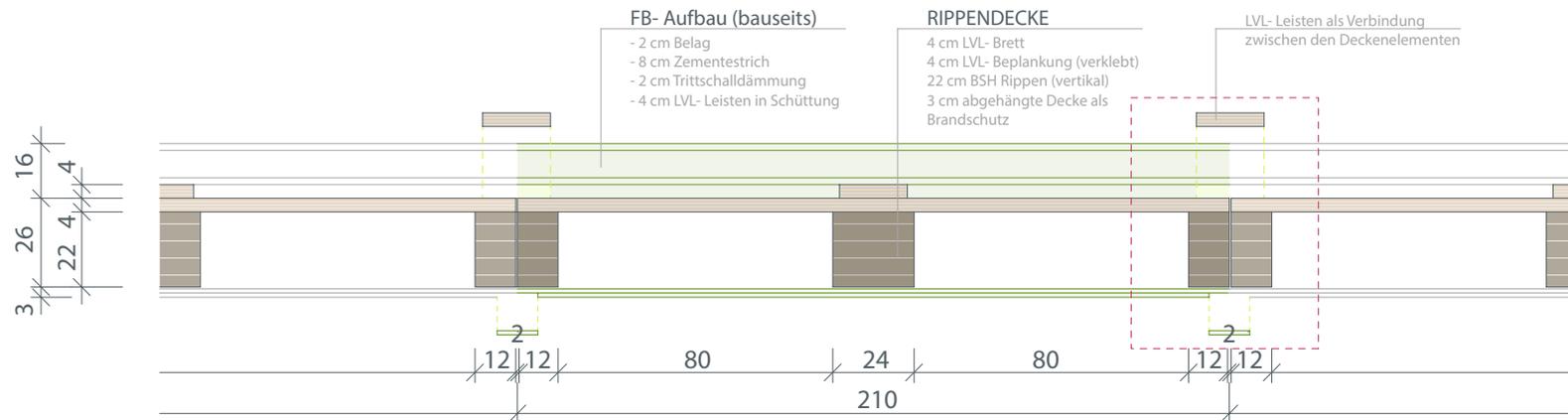


Abb. 9.142 Vertikalschnitt Rippendecke aus BSH- Rippen und LVL- Beplankung

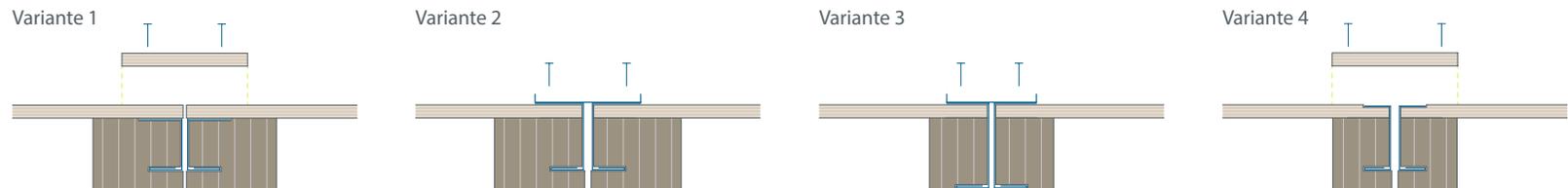
Die Anordnung des Brettes oberhalb der Beplankung vergrößert die statische Höhe um 4cm, reduziert aber gleichzeitig die Breite des Mittelträgers um 18cm auf 24cm. Diese Bemessung resultiert nur aus den Tragfähigkeits- und Verformungsnachweisen. Da der Schwingungsnachweis aufwändiger zu berechnen ist, wird dieser hier nicht angeführt. Der angedachte Fußbodenaufbau ist mit 16cm sehr hoch gewählt. Eine schwere Schüttung sowie die Masse des Estrichs können beitragen um die Steifigkeit der gesamten Deckenkonstruktion zu erhöhen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Steifigkeit der Elemente durch das Einlegen von Stahlprofilen mit etwa 4mm Dicke zu verbessern. Speziell im Bereich der Randrippen würden sich solche Ausführungen eignen, da diese vor Ort ohne viel Aufwand eingelegt werden könnten.

Die Trägerabmessungen haben Einfluss auf die Ausführungsvariante bei Holz- Stahl Elementen. Schlanke Träger verfügen über weniger Tiefe zum Einfräsen der Nuten. Zusätzliche Schwächungen der Breite können an dieser Stelle später zu einem lokalen Versagen führen.

Wiederum spielt auch bei der Situierung der Stahlprofile die statische Höhe eine große Rolle. Durch das Hochziehen über die Beplankung werden zusätzliche Zentimeter gewonnen, die den Querschnitt tragfähiger und steifer machen.

Im Bereich der Randrippen, wo zwei Elemente miteinander gestoßen und verbunden werden, muss man sich in der Planung Gedanken über die Ausführungsmöglichkeit der Verbindung machen.

Abb. 9.143 Ausführungsvarianten der Randrippen als Holz-Stahl Verbundelemente



Bemessung Mittelträger

Für den Mittelträger ist ein Stahlträger mit breiten unterem Flansch in der Ausschreibung vorgesehen, auf welchem die Deckenelemente aufliegen sollen.

Bei der Alternativlösung soll der Einsatz von liegenden BSH-Trägern oder eines Holz- Stahl Verbundträgers überprüft werden.

In einem ersten Schritt wurde die maximale Durchbiegung des geplanten Stahlträgers berechnet, da diese die maßgebend Größe sein wird. Im Falle eines Einfeldträgers liegt diese bei $l/150$, womit die Gebrauchstauglichkeit nicht erfüllt ist. Der Träger muss als Durchlaufträger konzipiert,

statisches System

Einwirkungen:

$$g_k = 4,5 \text{ kN/m}^2 * 5,70 \text{ m} = 25,65 \text{ kN/m}$$

$$p_k = 1,5 \text{ kN/m}^2 * 5,70 \text{ m} = 8,55 \text{ kN/m}$$

$$\rightarrow q_d = 1,35 * 25,65 + 1,5 * 8,55 = 47,45 \text{ kN/m}$$

Einfeldträger

$$M_{Ed} = q_d * l^2 / 8 = 235,42 \text{ kNm}^2$$

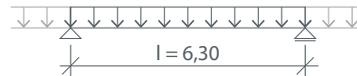
Durchlaufträger (Annahme 3 Felder)

an der Stelle: $x = 0,4 * l$

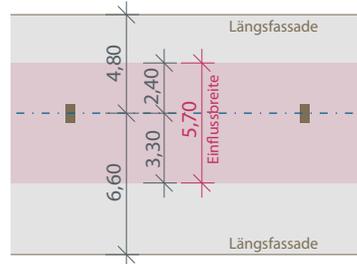
mittels Winkler'scher Zahlen:

$$M_{Ed} = (0,07 * g_d + 0,095 * p_d) * l^2 = 144,56 \text{ kNm}^2$$

statisches System Mittelträger:



Lasteinwirkungen:



wofür eine Durchbiegung mit 42% des Einfeldträgersystems gilt.

In weiterer Folge werden drei Querschnitte als Holz- oder Holz- Stahl Konstruktionen untersucht. Bei der Bemessung der Holzquerschnitte (Querschnitte 1 & 2) werden für die Tragfähigkeit die Schnittgrößen des Einfeldträgers angesetzt und es zeigt sich, dass diese Nachweise trotz der höheren Biegemomente eingehalten sind.

Bei der Bemessung und Nachweisführung des Querschnitts 3 hat sich frühzeitig gezeigt, dass die Tragfähigkeitsnachweise mit den Schnittgrößen des Einfeldträgers nicht erfüllt sind, weshalb sowohl ULS als auch SLS mit den Schnittgrößen des Durchlaufträgers gerechnet sind

Stahlträger lt. Ausschreibung

1/2 HP 360*133 mit aufgeschweißter

Stahlplatte (t = 2mm)

E = 21000 kN/cm²

$$z_s = [\sum (z_{n0} * A_n)] / \sum A_n = 8,01 \text{ cm}$$

$$I_y = \sum (I_n + z_{sn}^2 * A_n) = 7861 \text{ cm}^4$$

Einfeldträger:

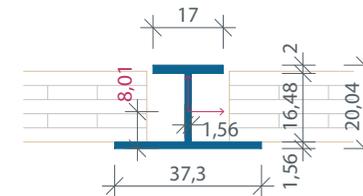
$$w = 5 * q_k * l^4 / (384 * E * I_y) = 4,24 \text{ cm}$$

entspricht: $l/150$

Durchlaufträger:

$$w = 0,54 * 10^{-2} * q_k * l^4 / (E * I_y) = 1,76 \text{ cm}$$

entspricht: $l/350$



lt. EN 1995-1-1

max. Durchbiegung: $l/250$ bis $l/350$

$$\rightarrow w_{max} = 630/250 = 2,52 \text{ cm}$$

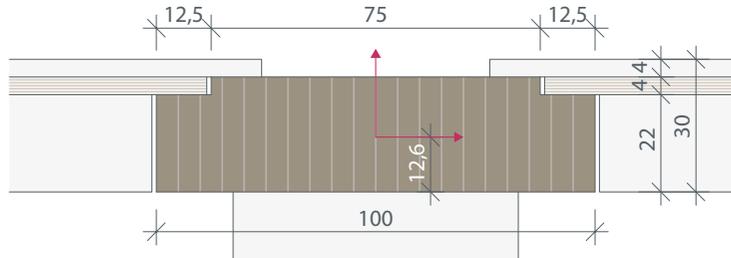
$$\text{erf. EI} = 0,54 * 10^{-2} * q_k * l^4 / w_{max}$$

$$\text{erf. EI} = 1154 * 10^5 \text{ kNcm}^2$$

Abb. 9.144 Bemessung Mittelträger - statisches System und Abschätzung der erforderlichen Steifigkeit

Abb. 9.145 Bemessung Mittelträger - Querschnitt 1 - BSH-Träger (liegend)

Querschnitt 1 - BSH- Träger (liegend)



Bauteil: BSH- Träger liegend (GL36h)

Trägerbreite Unterkante	b	1,000 m
Gesamthöhe	h	0,260 m
Falzhöhe	h _{at}	0,040 m
Falztiefe	t	0,120 m
Trägerhöhe ohne Falz	h-t	0,220 m
Trägerbreite Oberkante	b-h _{at}	0,760 m
Querschnittsfläche	A	2504,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Träger	z	0,126 m
Flächenträgheitsmoment	I _y	134277,32 cm ⁴
Widerstandsmoment	W _y	10329,0 cm ³
E-Modul	E	11500 N/mm ²

Schnittgrößen

Biegemoment ULS	M _{ed}	235,42 kNm
Querkraft ULS	V _{ed}	149,48 kN

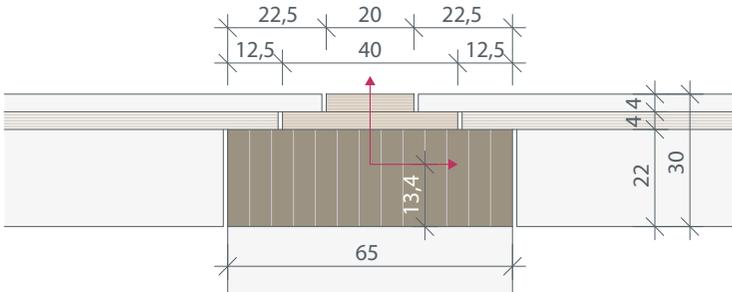
ULS

Nachweise			
zufolge Biegung		36,00 N/mm ²	= f _{mk}
		1,25	= γ _M
		0,80	= k _{mod}
σ _{myd} =	22,79 N/mm ²	<	23,04 N/mm ²
			= f _{md}
zufolge Querkraft		4,30 N/mm ²	= f _{vk}
		1,25	= γ _M
		0,80	= k _{mod}
T _{Ed} =	0,90 N/mm ²	<	2,75 N/mm ²
			= f _{vd}

SLS

Bemessungssituation		Einfeldträger	
g _k	25,65 kN/m	1,3*10 ⁻²	0,013
p _k	8,55 kN/m	Durchlaufträger	
q _k	34,20 kN/m	0,54*10 ⁻²	0,0054
			42%
Einfeldträger		Durchlaufträger	
Anfangsdurchbiegung		Anfangsdurchbiegung	
W _{inst,G,1}	3,41 cm	W _{inst,G,1}	1,42 cm
W _{inst,Q,1}	1,14 cm	W _{inst,Q,1}	0,47 cm
W _{inst}	4,543 cm	W _{inst}	1,887 cm
Grenzwert l/x	300	Grenzwert l/x	300
	2,10 cm		2,10 cm
Enddurchbiegung		Enddurchbiegung	
k _{def}	0,6	k _{def}	0,6
ψ ₂	0,3	ψ ₂	0,3
W _{fin}	6,792 cm	W _{fin}	2,821 cm
Grenzwert l/x	200	Grenzwert l/x	200
	3,15 cm		3,15 cm

Querschnitt 2 - BSH- Träger mit LVL- Ergänzung



ULS t = 0

Materialkennwerte:			
LVL		BSH	
E-Modul	13800 N/mm ²	E-Modul	11500 N/mm ²
Klebeverbindung			
k _{def}	0,6		
LVL- Beplankung		BSH- Träger	
A1	240,0 cm ²	A2	1430,0 cm ²
EA1	3,31E+05 kN	EA2	1,64E+06 kN
I1	30506,7 cm ⁴	I2	57676,7 cm ⁴
EI1	4209,9 kNm ²	EI2	6632,8 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
Y _i	1,0	im Gesamtsystem	
eff EI	165,06 kNm ²	M _d	235,42 kNm
eff I	143533,93 cm ⁴	V _d	149,48 kN
eff A	1718 cm ²		
eff Wy	10709,25 cm ³	Y _M	1,25
a	0,143 m	k _{mod}	0,80

Nachweise			
zufolge Biegung		36,00 N/mm ²	= f _{mk}
σ _{myd}	21,98 N/mm ²	< 23,04 N/mm ²	= f _{md}
zufolge Querkraft		4,30 N/mm ²	= f _{vk}
T _{Ed}	1,31 N/mm ²	< 2,75 N/mm ²	= f _{vd}

Bauteil 1: LVL Beplankung

Gesamthöhe LVL Beplankung	h _{LVL}	0,080 m
Lage 1 Höhe	h _{LVL,1}	0,040 m
Lage 1 Breite	b _{LVL,1}	0,400 m
Rücksprünge seitlich je	y	0,100 m
Lage 2 Höhe	h _{LVL,2}	0,040 m
Lage 2 Breite	b _{LVL,2}	0,200 m
Querschnittsfläche	A _{LVL}	240,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Träger	z _{LVL}	0,253 m
Flächenträgheitsmoment	I _y	30506,67 cm ⁴

Bauteil 2: BSH Träger

Träger Höhe	h _{BSH}	0,220 m
Träger Breite	b _{BSH}	0,650 m
Querschnittsfläche	A _{BSH}	1430,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- Träger	z _{BSH}	0,110 m
Flächenträgheitsmoment	I _y	57676,67 cm ⁴
Gesamtschwerpunkt zu UK- Rippe	z	0,134 m

SLS

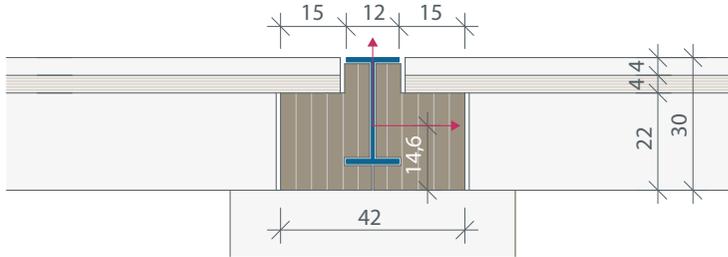
Bemessungssituation		Einfeldträger	
g _k	25,65 kN/m	1,3*10 ⁻²	0,013
p _k	8,55 kN/m	Durchlaufträger	
q _k	34,20 kN/m	0,54*10 ⁻²	0,0054
			42%

Einfeldträger		Durchlaufträger	
Anfangsdurchbiegung		Anfangsdurchbiegung	
W _{inst,G,1}	3,19 cm	W _{inst,G,1}	1,32 cm
W _{inst,Q,1}	1,06 cm	W _{inst,Q,1}	0,44 cm
W _{inst}	4,250 cm	W _{inst}	1,765 cm
Grenzwert l/x	300	Grenzwert l/x	300
	2,10 cm		2,10 cm
Enddurchbiegung		Enddurchbiegung	
k _{def}	0,6	k _{def}	0,6
ψ ₂	0,3	ψ ₂	0,3
W _{fin}	6,354 cm	W _{fin}	2,639 cm
Grenzwert l/x	200	Grenzwert l/x	200
	3,15 cm		3,15 cm

Abb. 9.146 Bemessung Mittelträger - Querschnitt 2 - BSH-Träger mit LVL- Ergänzung

Abb. 9.147 Bemessung Mittelträger - Querschnitt 3 - BSH-Träger mit eingelegtem IPE-Profil (Teil 1)

Querschnitt 3 - BSH-Träger mit eingelegtem IPE-Profil



Bauteil 1: IPE 240

Breite	b_s	0,120 m
Höhe	h_s	0,240 m
Abstand zu UK BSH	x	0,060 m
Profildicke	t	0,010 m
Querschnittsfläche	A_s	39,10 cm ²
SP- Abstand zu UK- BSH	z_{st}	0,180 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	3890,00 cm ⁴
Widerstandsmoment	W_y	324,0 cm ³

Bauteil 2: Holzelemente (steif verklebt)

Höhe gesamt	h_h	0,290 m
Breite	b_h	0,420 m
Falztiefe	b_f	0,150 m
Falzhöhe	h_f	0,080 m
Höhe ohne Falz	$h_h - h_f$	0,210 m
Breite ohne Falz	$b_h - 2 \cdot b_f$	0,120 m
Querschnittsfläche	A_h	978,00 cm ²
SP- Abstand zu UK- BSH	z_h	0,119 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	51128,25 cm ⁴
Widerstandsmoment	W_y	3526,1 cm ³

Verbindungsmittel

		Passbolzen (Stahlklasse 8.8)
Rohdichte des Materials	ρ_m	7850 kg/m ³
Durchmesser	d_{VBM}	20 mm
Anzahl Scherfugen		2
Verschiebemodul je Schraube	K_{ser}	1209586 N/mm

ULS $t = 0$

Materialkennwerte:			
Stahl	Baustahl S355	Holz	BSH GL32h
E-Modul	210000 N/mm ²	E-Modul	13700 N/mm ²
γ_M	1	γ_M	1,25
		k_{mod}	0,80
Passbolzen		$s_{min} =$	700 mm
$K_{ser} =$	806390 N/mm	$s_{max} =$	1500 mm
$K_u =$	537594 N/mm	$s_{eff} =$	900 mm
$k_{def} =$	0,6	$n_v =$	1
$k_{VBM} =$	0,67	$s_i =$	900 mm
Stahlquerschnitt		Holzquerschnitt	
A1	0,0039 m ²	A2	0,098 m ²
EA1	8,21E+05 kN	EA2	1,34E+06 kN
I1	0,0000389 m ⁴	I2	0,0005113 m ⁴
EI1	8169,00 kNm ²	EI2	7004,57 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	0,7453	im Gesamtsystem	
eff EI	16724,75 kNm ²	M_d	160,85 kNm
		V_d	129,54 kN
$a =$	0,0608 m	in den Teilquerschnitten	
$a_1 =$	0,0417 m	$M_{1,d}$	78,57 kNm
$a_2 =$	0,0191 m	$M_{2,d}$	67,37 kNm
		$N_{1,d}$	-245,50 kN

Nachweise - Stahlquerschnitt

Randspannung oben		355,00 N/mm ²	= f_{yk}
$\sigma_{1do} =$	-305,28 N/mm ²	< 355,00 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten		355,00 N/mm ²	= f_{yk}
$\sigma_{1du} =$	179,57 N/mm ²	< 355,00 N/mm ²	= f_{yd}
Schubspannung:		355,00 N/mm ²	= f_{yk}
$\tau_{max,d} =$	21,27 N/mm ²	< 204,96 N/mm ²	= $f_{vd}/3^{1/2}$

Nachweise - Holzquerschnitt

Schwerpunktspannung:		31,00 N/mm ²	= f_{c0k}
$\sigma_{2do} =$	-2,51 N/mm ²	< 19,84 N/mm ²	= f_{c0d}
Biegerandspannung:		36,00 N/mm ²	= f_{m0k}
$\sigma_{2md} =$	16,60 N/mm ²	< 23,04 N/mm ²	= f_{mod}
Schubspannung:		4,30 N/mm ²	= f_{v0k}
$\tau_{max,d} =$	1,43 N/mm ²	< 2,75 N/mm ²	= f_{v0d}

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Stahl	Baustahl S355	Holz	BSH GL32h
E-Modul	210000 N/mm ²	E-Modul	8563 N/mm ²
Y _M	1	Y _M	1,25
		k _{mod}	0,80
Passbolzen		Passbolzen	
K _{ser} =	358396 N/mm	s _{min} =	700 mm
K _u =	238931 N/mm	s _{max} =	1500 mm
K _{def} =	0,6	s _{eff} =	900 mm
K _{VBM} =	0,67	n _v =	1
		s _i =	900 mm
Stahlquerschnitt		Holzquerschnitt	
A1	0,0039 m ²	A2	0,098 m ²
EA1	8,21E+05 kN	EA2	8,37E+05 kN
I1	0,0000389 m ⁴	I2	0,0005113 m ⁴
EI1	8169,00 kNm ²	EI2	4377,86 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
Y ₁	0,5653	im Gesamtsystem	
eff EI	13649,55 kNm ²	M _d	160,85 kNm
		V _d	129,54 kN
a=	0,0608 m	in den Teilquerschnitten	
a ₁ =	0,0391 m	M _{1,d}	96,27 kNm ²
a ₂ =	0,0217 m	M _{2,d}	51,59 kNm ²
		N _{1,d}	-213,84 kN

Nachweise - Stahlquerschnitt			
Randspannung oben	355,00 N/mm ²	= f _{yk}	
σ _{1do} =	-351,81 N/mm ² < 355,00 N/mm ²	= f _{yd}	
Randspannung unten	355,00 N/mm ²	= f _{10k,0,05}	
σ _{1du} =	242,28 N/mm ² < 355,00 N/mm ²	= f _{10d}	
Schubspannung:	355,00 N/mm ²	= f _{yk}	
τ _{max,d} =	25,22 N/mm ² < 204,96 N/mm ²	= f _{vd} /3 ^{1/2}	
Nachweise - Holzquerschnitt			
Schwerpunktspannung:	31,00 N/mm ²	= f _{c0k}	
σ _{2do} =	-2,19 N/mm ² < 19,84 N/mm ²	= f _{c0d}	
Biegerandspannung:	36,00 N/mm ²	= f _{m0k}	
σ _{2md} =	12,44 N/mm ² < 23,0 N/mm ²	= f _{m0d}	
Schubspannung:	4,30 N/mm ²	= f _{v0k}	
τ _{max,d} =	1,13 N/mm ² < 2,75 N/mm ²	= f _{v0d}	

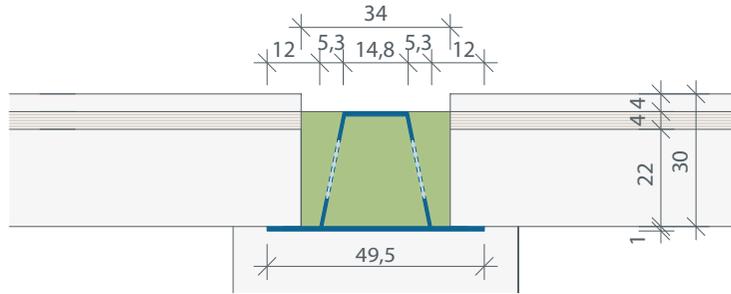
SLS $t = 0$ $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Stahl: E-Modul	210000 N/mm ²		210000 N/mm ²
Holz: E-Modul	13700 N/mm ²		8563 N/mm ²
Passbolzen		Passbolzen	
K _{ser} =	1209586 N/mm	K _{ser} =	806390 N/mm
K _u =	806390 N/mm	K _u =	537594 N/mm
K _{def} =	0,6	K _{def} =	0,6
K _{VBM} =	0,67	K _{VBM} =	0,67
s _{min} =	700 mm	s _{min} =	700 mm
s _{max} =	1500 mm	s _{max} =	1500 mm
s _{eff} =	900 mm	s _{eff} =	900 mm
n _v =	1	n _v =	1
s _i =	900 mm	s _i =	900 mm
Stahlquerschnitt		Stahlquerschnitt	
A1	0,0039 m ²	A1	0,0039 m ²
EA1	8,21E+05 kN	EA1	8,21E+05 kN
I1	0,0000389 m ⁴	I1	0,0000389 m ⁴
EI1	8169,00 kNm ²	EI1	8169,00 kNm ²
Holzquerschnitt		Holzquerschnitt	
A2	0,098 m ²	A2	0,098 m ²
EA2	1,34E+06 kN	EA2	8,37E+05 kN
I2	0,0005113 m ⁴	I2	0,0005113 m ⁴
EI2	7004,57 kNm ²	EI2	4377,86 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
Y ₁	0,8681	Y ₁	0,8144
eff EI	16891,67 kNm ²	eff EI	13919,80 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g _k	25,65 kN/m	g _k	25,65 kN/m
p _k	8,55 kN/m	p _k	8,55 kN/m
Einfeldträger	1,3*10 ⁻²		0,013
Durchlauftr.	0,54*10 ⁻²		0,0054
			42%
Nachweis Anfangsdurchbiegung		Nachweis Enddurchbiegung	
W _{inst,G,1}	12,94 mm	K _{def}	0,21
W _{inst,Q,1}	4,31 mm	ψ ₂	0,3
W _{inst}	17,25 mm	W _{inst,G,1}	15,70 mm
Grenzwert l/x	300	W _{inst,Q,1}	5,23 mm
	21,00 mm	W _{fin}	24,6 mm
		Grenzwert l/x	200
			31,50 mm

Abb. 9.148 Bemessung Mittelträger - Querschnitt 3 - BSH- Träger mit eingelegtem IPE- Profil (Teil 2)

Abb. 9.149 Bemessung Mittelträger - Stahl- Beton Verbundträger (Teil 1)

Stahl- Beton Verbundträger (Firma Peikko)



Bauteil 1: Betonverfüllun C35/45

Breite	b_c	0,340 m
Höhe	h_c	0,265 m
Querschnittsfläche	A_c	795,90 cm ²
SP- Abstand zu UK- Träger	Z_c	0,143 m
Flächenträgheitsmoment	I	40595,78 cm ⁴
Widerstandsmoment	W	5697,7 cm ³

Bauteil 2: Deltabeam D26-300

Höhe OK Unter- bis OK-Obergurt	h_{st1}	0,265 m
Stahldicke Untergurt	t_{st1}	0,010 m
Untergurtbreite	$b_{st,u}$	0,495 m
Auflagerflansch je	$b_{st,a}$	0,120 m
Netto Untergurtbreite	$b_{st,u} - 2 \cdot b_{st,a}$	0,255 m
Stahldicke Obergurt	t_{st2}	0,010 m
Obergurtbreite	$b_{st,o}$	0,148 m
Stahldicke Stegblech	t_{st3}	0,008 m
Fläche Hohlraum+Steg	$A_{st,1}$	0,057 m ²
Fläche Hohlraum	$A_{st,2}$	0,053 m ²
Trägheitsm. Hohlraum+Steg	I_{y1}	0,0003 m ⁴
Trägheitsm. Hohlraum	I_{y2}	0,0003 m ⁴
Querschnittsfläche	A_{st}	105,10 cm ²
SP- Abstand zu UK- Träger	Z_{st}	0,096 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	10798,55 cm ⁴
Widerstandsmoment	W_y	1120,2 cm ³

ULS t = 0

Materialkennwerte:			
Beton	C35/45	Stahl	S355
E-Modul	30000 N/mm ²	E-Modul	210000 N/mm ²
γ_M	1,5	γ_M	1
Klebeverbindung			
k_{def}	0,6		
Betonquerschnitt		Stahlquerschnitt	
A1	0,08 m ²	A2	0,011 m ²
EA1	2,39E+06 kN	EA2	2,21E+06 kN
I1	0,0004060 m ⁴	I2	0,00010799 m ⁴
EI1	12178,73 kNm ²	EI2	22676,96 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	1,0000	im Gesamtsystem	
eff EI	37293,53 kNm ²	M_d	160,85 kNm
		V_d	129,54 kN
		in den Teilquerschnitten	
a=	0,0461 m	$M_{1,d}$	52,53 kNm
a ₁ =	0,0221 m	$M_{2,d}$	97,81 kNm
a ₂ =	0,0240 m	$N_{1,d}$	-228,07 kN

Nachweis Betonquerschnitt

Randspannung oben	35,00 N/mm ²	= f_{c0k}
σ_{1do}	-23,25 N/mm ² < 23,33 N/mm ²	= f_{cod}

Nachweise - Stahlquerschnitt

Schwerpunktspannung	355,0 N/mm ²	= f_{yk}
σ_{2ds}	-21,70 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{yd}
Biegerandspannung oben:	355,0 N/mm ²	= f_{yk}
σ_{2do}	-183,5 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{yd}
Biegerandspannung unten:	355,0 N/mm ²	= f_{yk}
σ_{2md}	65,6 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{yd}
Schubspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{yk}
$\tau_{max,d}$	9,5 N/mm ² < 205,0 N/mm ²	= $f_{yd}/3^{1/2}$

Abb. 9.150 Bemessung Mittelträger - Stahl- Beton Verbundträger (Teil 2)

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Beton	C35/45	Stahl	S355
E-Modul	8571 N/mm ²	E-Modul	210000 N/mm ²
γ_M	1,5	γ_M	1
Klebeverbindung			
k_{def}	0,6		
Betonquerschnitt		Stahlquerschnitt	
A1	0,08 m ²	A2	0,011 m ²
EA1	6,82E+05 kN	EA2	2,21E+06 kN
I1	0,0004060 m ⁴	I2	0,00010799 m ⁴
EI1	3479,64 kNm ²	EI2	22676,96 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	1,0000	im Gesamtsystem	
eff EI	27264,27 kNm ²	M_d	160,85 kNm
		V_d	129,54 kN
a=	0,0461 m	in den Teilquerschnitten	
a ₁ =	0,0352 m	$M_{1,d}$	20,53 kNm ²
a ₂ =	0,0109 m	$M_{2,d}$	133,79 kNm ²
		$N_{1,d}$	-141,74 kN

SLS

$t = 0$ $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Beton E	30000 N/mm ²		8571 N/mm ²
Stahl E	210000 N/mm ²		210000 N/mm ²
Betonquerschnitt		Betonquerschnitt	
A1	0,08 m ²	A1	0,08 m ²
EA1	2,39E+06 kN	EA1	6,82E+05 kN
I1	0,0004060 m ⁴	I1	0,0004060 m ⁴
EI1	12178,73 kNm ²	EI1	3479,64 kNm ²
Stahlquerschnitt		Stahlquerschnitt	
A2	0,011 m ²	A2	0,011 m ²
EA2	2,21E+06 kN	EA2	2,21E+06 kN
I2	0,00010799 m ⁴	I2	0,00010799 m ⁴
EI2	22676,96 kNm ²	EI2	22676,96 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
γ_1	1,0000	γ_1	1,0000
eff EI	37293,53 kNm ²	eff EI	27264,27 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g_k	25,65 kN/m	g_k	25,65 kN/m
p_k	8,55 kN/m	p_k	8,55 kN/m

Nachweis Betonquerschnitt			
Randspannung oben	35,00 N/mm ²	=	f_{c0k}
σ_{1do}	-9,75 N/mm ²	<	23,33 N/mm ²
		=	f_{cod}
Nachweise - Stahlquerschnitt			
Schwerpunktspannung:	355,0 N/mm ²	=	f_{yk}
σ_{2do}	-13,5 N/mm ²	<	355,0 N/mm ²
		=	f_{yd}
Biegerandspannung:	355,0 N/mm ²	=	f_{yk}
σ_{2md}	-243,0 N/mm ²	<	355,0 N/mm ²
		=	f_{yd}
Biegerandspannung:	355,0 N/mm ²	=	f_{yk}
σ_{2md}	97,7 N/mm ²	<	355,0 N/mm ²
		=	f_{yd}
Schubspannung:	355,0 N/mm ²	=	f_{yk}
$\tau_{max,d}$	11,0 N/mm ²	<	205,0 N/mm ²
		=	$f_{vd}/3^{1/2}$

Nachweis Anfangsdurchbiegung		Nachweis Enddurchbiegung	
Einfeldträger	1,3*10 ⁻²		0,013
Durchlauftr.	0,54*10 ⁻²		0,0054
			42%
$W_{inst,G,1}$	5,93 mm	k_{def}	0,37
$W_{inst,Q,1}$	1,98 mm	ψ_2	0,3
W_{inst}	7,90 mm	w_{fin}	10,30 mm
Grenzwert l/x	300	Grenzwert l/x	200
	21,00 mm		31,50 mm

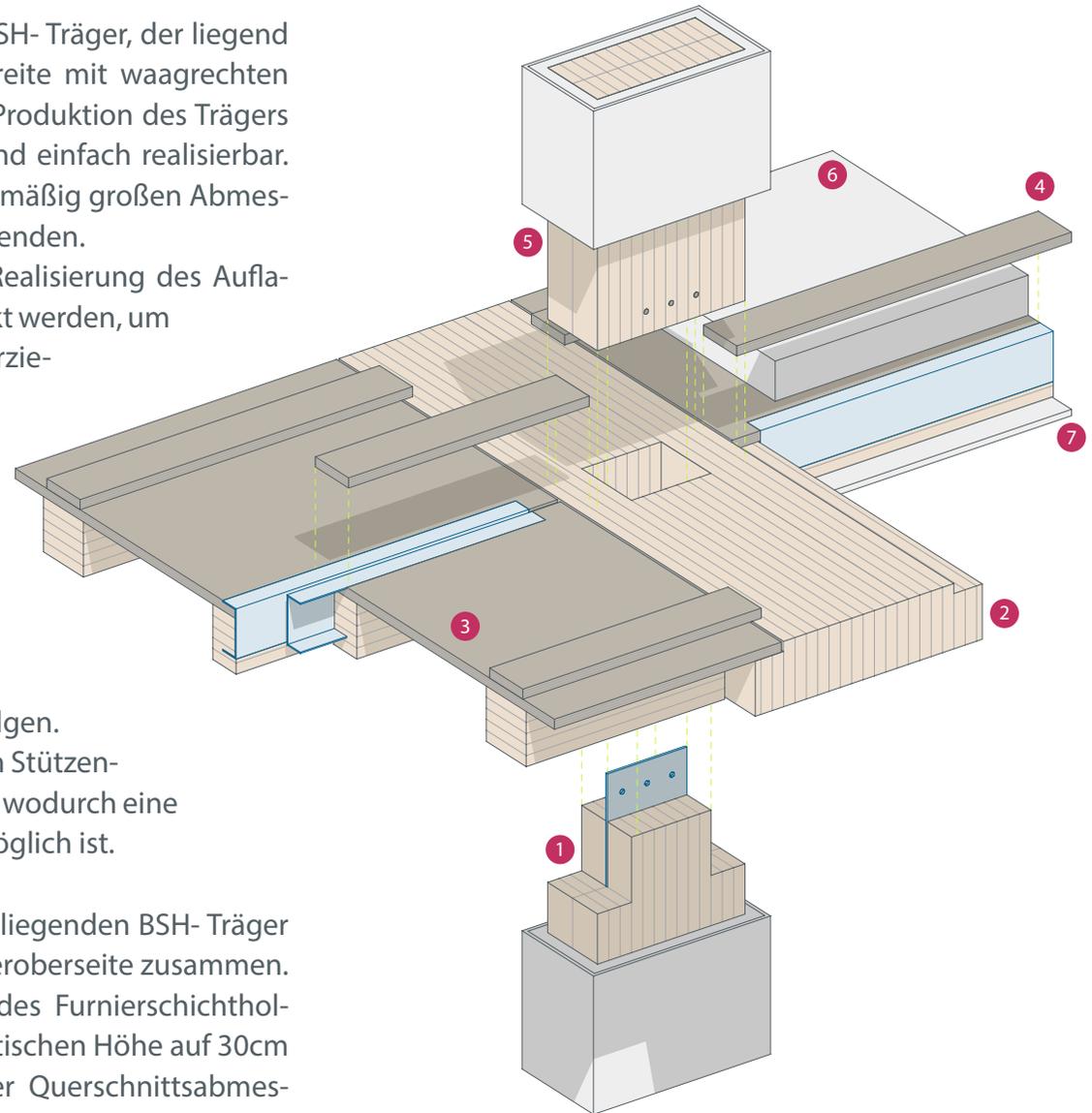
Abb. 9.151 Alternativlösung
Tragwerk - Stützenauflager
Querschnitt 1 (3D Axonometrie)

Bauablauf:

1. Errichtung der BSH-Stützen
2. Verlegung des liegenden BSH-Mittelträgers
3. Versetzen der Rippen-Deckenelemente mit den C-Profilen in den Randrippen
4. Verschraubung der Deckenelemente über oberseitige Bretter
5. Errichtung und Verbindung der BSH-Stützen des Obergeschosses
6. Herstellung des Fußbodenaufbaus
7. Innenausbau an Stützen und Deckenuntersicht sowie Ausführung des Brandschutzes

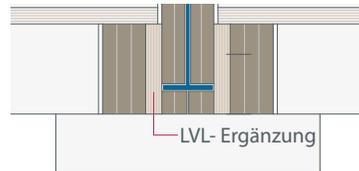
Querschnitt 1 besteht aus einem BSH-Träger, der liegend eingebaut wird, da eine solche Breite mit waagrechten Lamellen nicht herstellbar ist. Die Produktion des Trägers sowie der Fälze für die Auflager sind einfach realisierbar. Unwirtschaftlich sind die verhältnismäßig großen Abmessungen, welche in höheren Kosten enden. Besonderer Beachtung muss der Realisierung des Auflagers im Bereich der Stütze geschenkt werden, um eine Durchlaufträgerwirkung zu erzielen. Dabei wird der Stützenkopf wie ein Zapfen in den Trägerquerschnitt eingefügt. Bei einer Ausführung dieser Variante wäre der Träger im Bereich der Stütze zufolge dem Stützmoment nachzuweisen. Die Kraftübertragung in den Stützen kann über Kontakt der Hirnhölzer erfolgen. Zusätzlich ist eine Stahlplatte in den Stützenkopf der unteren Stütze eingeklebt, wodurch eine Verbindung über alle Geschosse möglich ist.

Querschnitt 2 setzt sich aus einem liegenden BSH-Träger und LVL-Ergänzungen an der Trägeroberseite zusammen. Die höheren Materialfestigkeiten des Furnierschichtholzes sowie die Vergrößerung der statischen Höhe auf 30cm ermöglichen eine Reduzierung der Querschnittsabmessungen des Trägers.



Querschnitt 3 ist eine Holz- Stahl Verbundkonstruktion. In den Holzquerschnitt ist ein IPE 240 Profil eingelegt. Dieses verbessert die Querschnittswerte des Trägers. Zusätzlich wurde ein Brettschichtholz der Klasse GL32h eingesetzt, welches durch seine höheren Festigkeitswerte und E-Modul diese Abmessungen ermöglicht.

Angedacht war ebenso eine Variante 3-1 mit LVL Verstärkung angrenzend an den Untergurt des Stahlträgers, wodurch eine höhere Steifigkeit



und Festigkeit zufolge Abscheren im Auflagerbereich vorhanden ist. Seitens der Firma Rubner wurde abgeraten, da der erhöhte Produktionsaufwand gegenüber dem geringen Ertrag unverhältnismäßig ist.

Die Kraftübertragung im Bereich der Stützenstöße erfolgt über den Stahl- Mittelträger, sowie zusätzliche H- förmige Profile aus Stahl. Somit wird verhindert, dass Holzbauteile quer zur Faserrichtung beansprucht werden und Querpressung resultieren könnte. Die Detailzeichnungen zeigen den Knotenpunkt in welchem sich die Deckenelemente mit den Holz- Stahl Rippen stoßen und die Vertikalkräfte zwischen den Stützen übertragen werden.

Abb. 9.152 Alternativlösung Tragwerk - Querschnitt 3-1, mit LVL- Ergänzungen in den BSH- Elementen

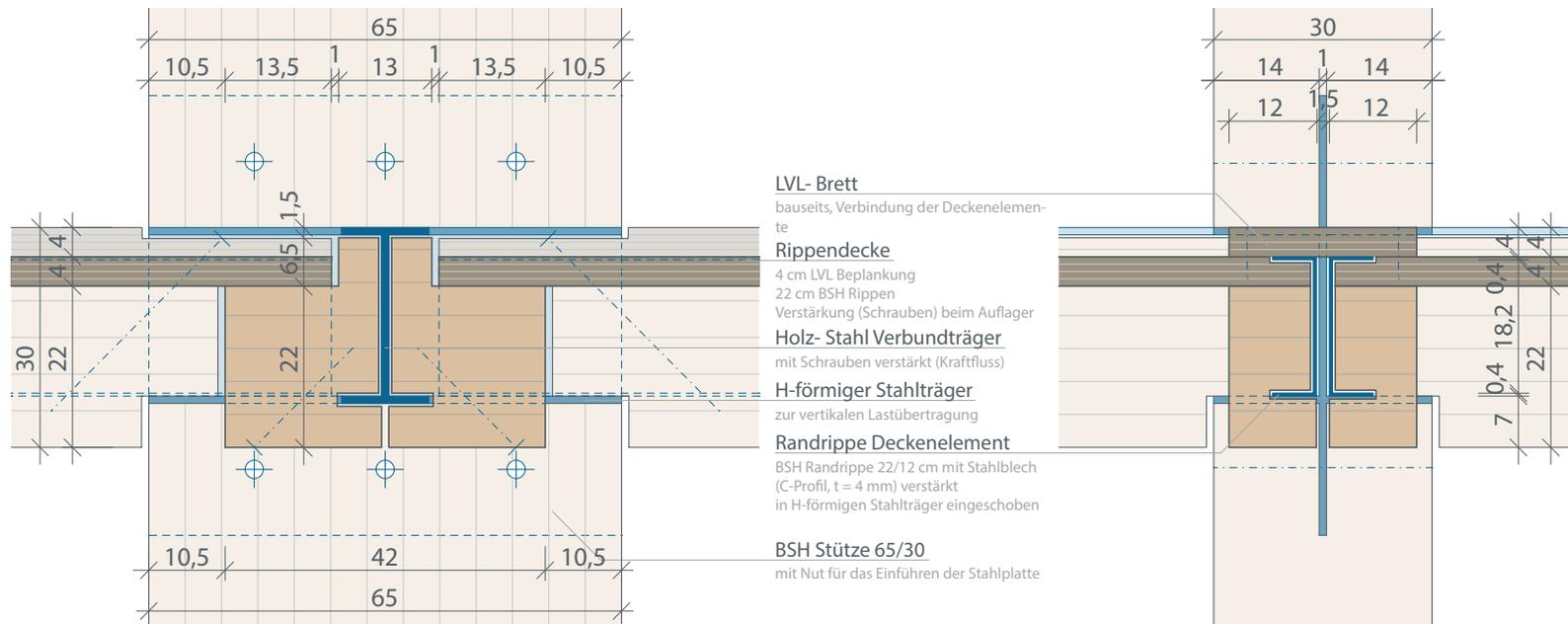


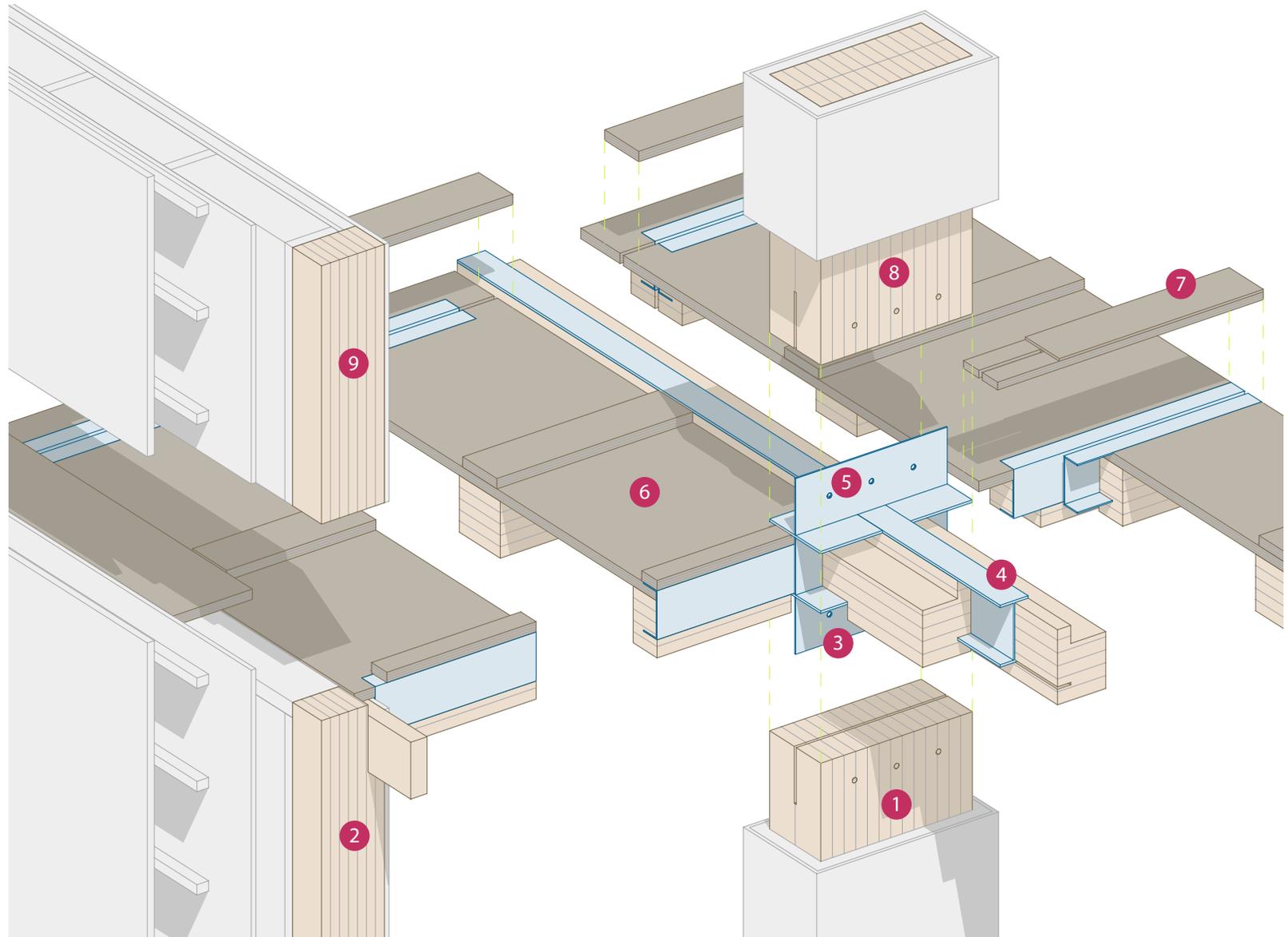
Abb. 9.153 Alternativlösung Tragwerk - Stützenauflager Querschnitt 3 (Vertikalschnitte durch Mittelträger)

Abb. 9.154 Alternativlösung Tragwerk - Stützenauflager Querschnitt 3 (Vertikalschnitte durch BSH- Stahl Randrippen)

Abb. 9.155 Alternativlösung
Tragwerk - Auflagerung der
Holz- Stahl Verbundrippen-
decken im Bereich der Stützen
und Holz- Stahl Verbundmit-
telträger (Querschnitt 3) (3D
Axonometrie)

Baublauf:

1. Errichten der Stützen
2. Versetzen der Fassaden-
elemente inklusive Rand-
träger
3. Montage des ersten Teil
des Stahlverbinders
4. Einlegen und Fügen des
Holz- Stahl Mittelträger
5. Aufschweißen der oberen
Stahlplatte für den Stüt-
zenanschluss
6. Verlegen der Rippende-
ckenelemente
7. Montage der oberseitigen
Verbindungs Bretter
8. Errichten der Stützen des
Obergeschoss
9. Versetzen der Fassaden-
elemente des Oberge-
schoss



Die BSH- Stützen verfügen im Stützenkopf sowie am Fuß über Ausnehmungen, in welche später Schlitzbleche über Bolzen befestigt werden.

Der Mittelträger setzt sich aus seitlichen BSH- Elementen sowie einem IPE 240 Träger zusammen, welche punktuell über Bolzenverbindungen gekoppelt sind. Im Bereich der Stützen befinden sich um 90° gedrehte H- Profile sowie angeschweißte Stahlplatten. Die Kraftübertragung zwischen den Stützen erfolgt durch Kontakt über die Stahlprofile. Somit werden Querpressungen im Holz vermieden. Die Befestigung der Stützen mittels Bolzen durch die Stahlplatten dient der Lagesicherung.

Auf die BSH- Elemente des Mittelträgers werden die Rippendecken aufgelagert. Die Kraftübertragung erfolgt über die oberseitige LVL- Beplankung. Hierfür sind zusätzliche Schrauben angeordnet.

In jenen Bereichen, wo sich Stützen und Holz- Stahl Randrippen kreuzen, sind die Stahlprofile so entworfen, dass sie in das H- förmige Profile eingreifen. Der BSH- Untergurt der Rippen wird ausgespart.

Wirtschaftlichkeit

Neben der tragwerkstechnischen Leistungsfähigkeit der Querschnitte spielt die Wirtschaftlichkeit eine große Rolle, da es meist das Hauptentscheidungskriterium ist.

Hierbei werden die bereits erläuterten und bemessenen Querschnitte, sowie ein Stahl- Beton Verbundträger kalku-

liert. Dabei handelt es sich um das Produkt Deltabeam der Firma Peikko, welcher zuvor bei den Bemessungen bereits aufgeführt und nachgerechnet wurde.

Der Verbundträger besteht aus einem vorgefertigten Stahlträger, welcher über einen trapezförmigen Hohlraum sowie einem breiteren Untergurt, als Auflager für die Deckenkonstruktion, besteht. Der Stahlträger wird nach Verlegen der Deckenelemente mit Beton vergossen, wodurch der Verbundquerschnitt entsteht.

Vorteile dieser Konstruktion sind, dass Querschnitte mit geringen Abmessungen realisiert werden können und keine zusätzlichen Bauhöhen für Unterzüge entstehen, da der Träger vollständig in der Deckenebene liegt.

Die Bemessung des Verbundquerschnitts erfolge einerseits mit dem γ - Verfahren, wobei zusätzlich eine Vorbemessung mit der online zur Verfügung stehenden Software von Peikko durchgeführt wurde. Die Ergebnisse gleichen sich ebenso in dieser Hinsicht, dass die Grenzwerte zufolge der Tragfähigkeit entscheidend für die Bemessung sind.



Abb. 9.156 Deltabeam Firma Peikko
Bild aus: <http://peikkousa.blogspot.com/2016/09/peikko-frame-alternative-to-post.html>

Abb. 9.157 Alternativlösung
Tragwerk - Kalkulation der
Mittelträgervarianten

Bei der Prüfung der Wirtschaftlichkeit mittels Kostenschätzung erweist sich der Querschnitt 2, bestehend aus BSH und LVL als kostengünstigste Holz- bzw. Holz- Verbundkonstruktion. Dies kann damit begründet werden, dass der Mehraufwand für die Herstellung des Trägers, im Verhältnis zu den Materialeinsparungen beim Brettschichtholz, die Kosten doch deutlich senkt.

Der Holz- Stahl Verbundträger liegt etwa in der gleichen Preisklasse wie der BSH- Träger, wobei der geringere Querschnitt von Vorteil ist und die Ausführung der Anschlussdetails einfacher sein wird.

Die Stahlträger überzeugt mit seinen geringen Abmessungen, hat aber dennoch ein hohes Eigengewicht, über das der Preis des Trägers kalkuliert wird.

Der Deltabeam Verbundträger ist die günstigste Variante. Neben dem Preis kann diese Lösung aufgrund ihrer geringen Abmessungen und der Integration in die Deckenebene überzeugen.

Die Kosten für Brettschichtholz und Furnierschichtholz stammen aus den Unterlagen von Herrn Professor Winter. Der Kostenansatz für Stahl als warmgewalztes Profil wurde von Herrn Silbernagel bestätigt. Zusätzlich kann für Stahlblech als Rohmaterial 0,80 €/kg angesetzt werden. Zusätzlich sind für die Oberflächenbearbeitung 6 €/m² hinzuzurechnen sowie ein Faktor für die Bearbeitung.

Hinsichtlich des Ausbetonierens des Verbundträgers der Firma Peikko bekam ich von der Firma Leyrer & Graf die

	Stahl 2,00 €/kg	BSH 500,00 €/m ³	LVL 700,00 €/m ³	Preis
ausgeschrieben 1/2 HP360 mit Stahlgängung	184,00 €/m 92 kg/m			~185 €/m
Q 1 breiter BSH- Träger 26/100		123,00 €/m 0,246 m ³ /m		~130 €/m x 1,05
Q 2 BSH (22/65) mit 2x LVL je 4cm		71,50 €/m 0,143 m ³ /m	22,1 €/m 0,034 €/m ³	~110 €/m x 1,15
Q 3 IPE 240 mit BSH	61,40 €/m 30,7 kg/m	47,50 €/m 0,095 m ³ /m		~125 €/m x 1,15
Q 3-1 IPE 240 mit BSH & LVL	61,40 €/m 30,7 kg/m	38,90 €/m 0,078 m ³ /m	10,80 €/m 0,018 €/m ³	~135 €/m x 1,20
Verbundträger Deltabeam der Firma Peikko	74,00 €/m 0,80 €/kg 82,4 kg/m 6,00 €/m ² 1,20 m ² /m	Ausbetonieren 400 €/m ³ bei 0,07 m ³ = 28 €/m		~107 €/m x 1,05

Auskunft einen Wert von 350-400 €/m³ anzusetzen, in welchem bereits das Versetzen, sowie Pumpen des Betons und sonstige Arbeiten inbegriffen sind.

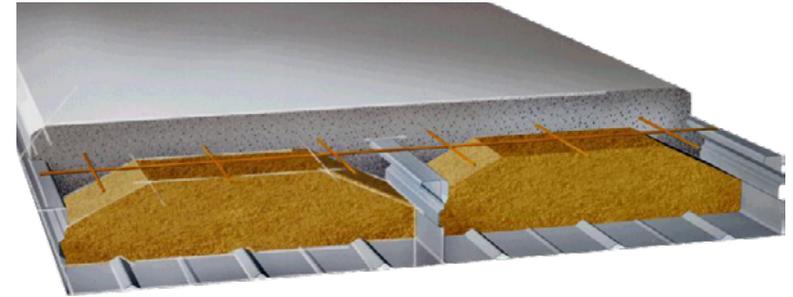
10.ENTWURF FÜR EINE HOLZ- STAHL DECKEN- KONSTRUKTION

Nachdem vorhandene Deckenkonstruktionen umfangreich analysiert, sich mit der Thematik von Holz- Stahl Verbundkonstruktionen beschäftigt und das Projekt „Nudge“ bearbeitet wurde, bestand die Idee aus all diesen Erkenntnissen eine neuartige Deckenkonstruktion zu entwickeln. Ausgangspunkt war die Definition von Anforderungen, die die Deckenkonstruktion erfüllen soll, sowie die Konzeption, auf welche Art und Weise Holz und Stahl interagieren sollen.

Abb. 10.158 COFRADAL-
Decken als vorgefertigtes
Element
Bild aus: <https://docplayer.org/65431294-Stahlverbunddecken-bauweisen-und-vorteile.html>

10.1.REFERENZ - COFRADAL DECKENKONSTRUKTION

Das bereits in Kapitel „Deckenkonstruktionen“ erwähnte System „Cofradal“ dient als Denkansatz für den Entwurf einer vorgefertigten Konstruktion in Holz und Stahl, da das System mit einem hohen Vorfertigungsgrad, sowie der Verbundbauweise, zwei essentielle Spezifika beinhaltet.



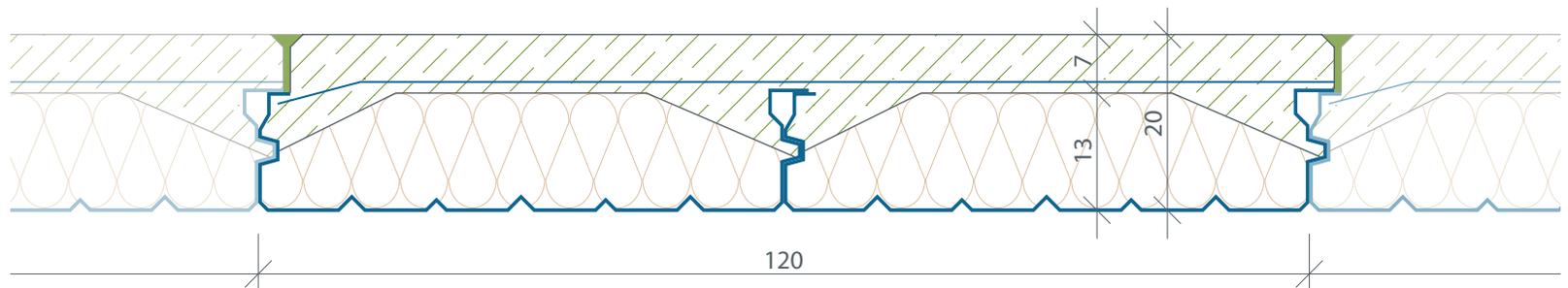
Herstellungsprozess

Die Elemente bestehen aus zwei U-förmigen Tragschalen aus verzinktem Stahlblech, in welche Mineralfaserdämmkörper eingelegt sind. Diese bilden die verlorene Schalung des Konstruktionssystems. Auf die Stahlprofile werden im Bereich der Aufkantungen Bewehrungsgitter aufgeschweißt. Der Beton bildet mit den aufgekanteten Rippen der Tragschalen sowie der Armierungslage eine tragende Verbundkonstruktion. Diese Elemente sind vollständig im Werk vorgefertigt und können über Hebeösen, die in den Beton integriert sind, versetzt werden.

Elementierung & Vorteile der Vorfertigung

Die Elemente werden auf die Baustelle geliefert und mittels Hebezeug versetzt. Da die Elemente keine bauseitigen Ergänzungen benötigen sind sie sofort belastbar und der Arbeitsaufwand für das Herstellen einer Schalung entfällt. Die Stöße zwischen den Elementen werden mit Dichtbändern zum Schutz vor Verunreinigungen beim anschließenden Vergießen, sowie kraftschlüssig über Vergussmörtel geschlossen. Nach dem Verfugen kann die Deckenkonstruktion übergeben und der Arbeitsfortschritt weitergeführt werden.

Abb. 10.159 COFRADAL-
Deckenkonstruktion (Vertikal-
schnitt)



Funktionen der Komponenten

Die **Stahlschale** dient der Deckenkonstruktion als tragendes, unterseitiges Element und hält zusätzlich die verlorene Dämmung. Ihre Unterseite kann als sichtbare Oberfläche belassen werden oder zur Befestigung einer Deckenuntersicht dienen. Hierfür gibt es vom Hersteller spezielle Systeme, die einfach montierbar sind.

Die **Mineralfaserdämmung** fungiert als verlorene Schalung für den Beton. Sie vollzieht zusätzlich thermische und akustische Dämmfunktionen. Letztere können durch Perforationen in der Stahlschale verbessert werden. In diesem Fall wird aus optischen Gründen ein schwarzes Akustikvlies eingelegt.

Die **Bewehrung** ist auf die Tragschale aufgeschweißt und kann gegebenenfalls verstärkt werden. Sie stellt den Verbund zwischen Beton und Tragschale her.

Der **Beton** erfüllt in Verbindung mit den Stahlelementen die tragende Funktion.

Abb. 10.160 Ligno HBF
Bild aus: <http://www.artbois.be/images/LignoTrend/LignoPub/021.pdf>

Abb. 10.161 LVL- Rippendeckenelement Stora Enso
Bild aus: Unterlagen Gastvortrag Storaenso (TU Wien)-10.4.2018

Abb. 10.162 Lignotrend Decke
Bild aus: <https://www.bba-online.de/fachartikel/innen-ausbau/brettsper Holz-trageelement-mit-akustik/>

10.2.ENTWURFSANSÄTZE

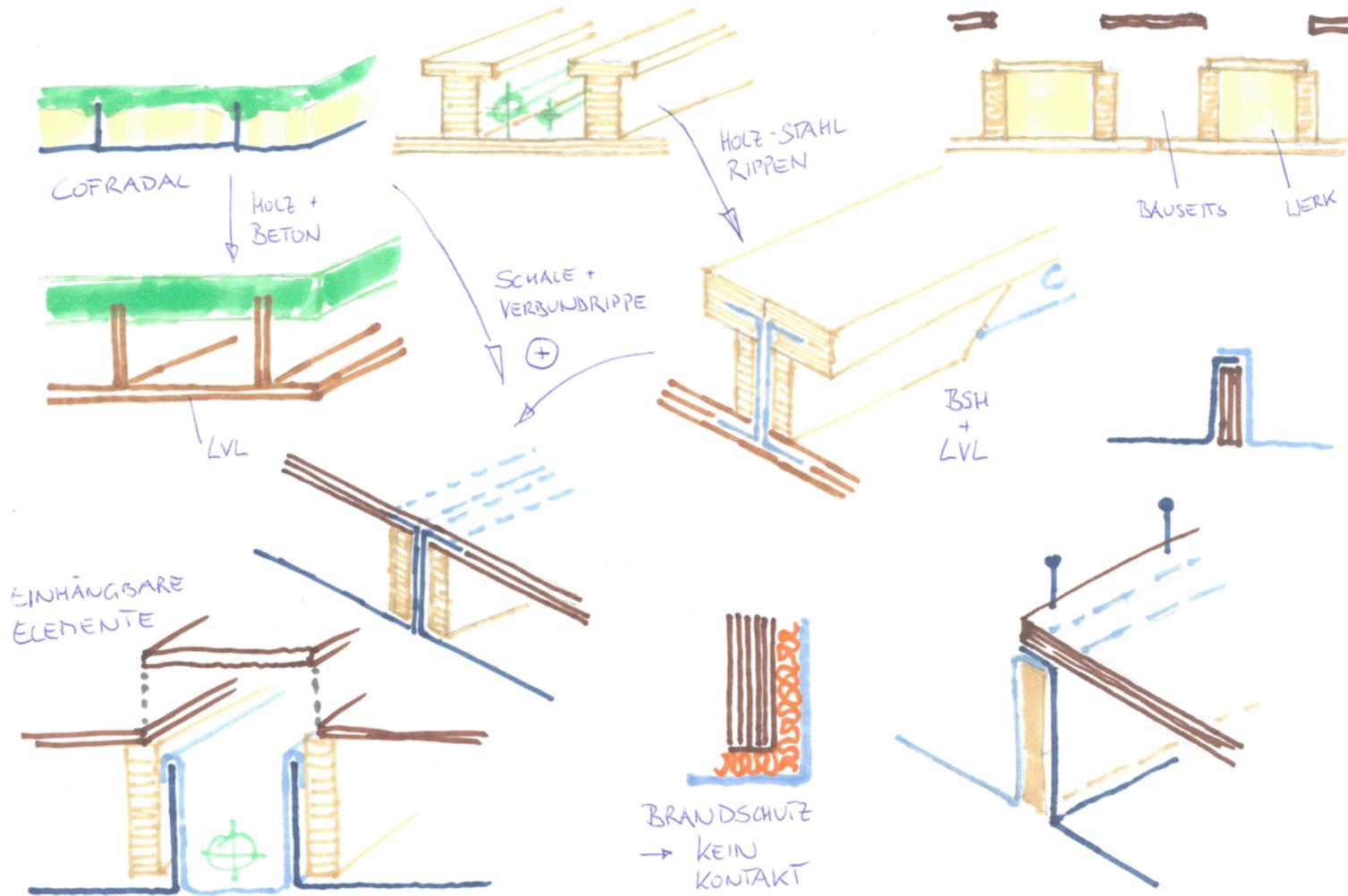
Neben dem zuvor genauer erläuterten Cofradal- Deckensystem dienen die rechts abgebildeten, und im Kapitel „Deckenkonstruktionen“ beschriebenen Systeme als Denkanstöße. Zusätzlich sind folgende Aspekte prägend für die Entwicklung:

- **Vorfertigung:** Das System soll ohne bauseitiger Ergänzung von Betonschichten auskommen.
- **Tragsystem:** Der Fokus lag bereits zu Beginn der Arbeit auf rippenförmige oder ähnliche Tragsysteme.
- **Materialien:** Zum Einsatz soll eine Verbundkonstruktion aus Holz und Stahl kommen. Somit wird Baufeuchte reduziert, die Deckenkonstruktion ist direkt belastbar und mit Holz wird vermehrt auf eine nachwachsende Ressource gesetzt.
- **Offenes Bausystem:** Somit soll es möglich sein ohne an einen Hersteller gebunden zu sein, das Deckensystem an die projektspezifischen Gegebenheiten anzupassen und für jedes Holzbauunternehmen herstellbar machen.
- **Bauphysik und Haustechnik:** Brand- und Schallschutz sind grundsätzlich zu berücksichtigen, können aber genauso wie die Haustechnik in den Hohlräumen der Konstruktion integriert werden.



10

ENTWURF FÜR EINE HOLZ-STAHL-DECKENKONSTRUKTION



Ansatz 01

Das Deckensystem hat aufgrund der Tragschalen aus Stahl Ähnlichkeiten zum Cofradal- Deckensystem. Die Schalen sollen Dämmstoffe oder Schüttmaterial beinhalten, die die bauphysikalischen Eigenschaften verbessern. Zusätzlich sind im Inneren der Schalen LVL- Rippen angeordnet, die somit im Brandfall durch das Stahlblech geschützt sind und nicht überdimensioniert werden müssen. Ebenso befinden sich an den Elementstößen doppelte Rippen, die in der Bemessung optimiert werden können. Die Bemessung im Brandfall erfolgt mit reduzierten Lasten, wodurch der Wegfall der

freiliegenden Rippe kompensiert werden kann. In die Hohlräume können werkseitig Installationen integriert sein. Die Oberseite wird mit einer Beplankung aus LVL- oder CLT- Elementen geschlossen und die Längsstöße über oberseitige Bretter verbunden.

Abb. 10.163 Entwurfsansatz 01-1 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Axonometrie)

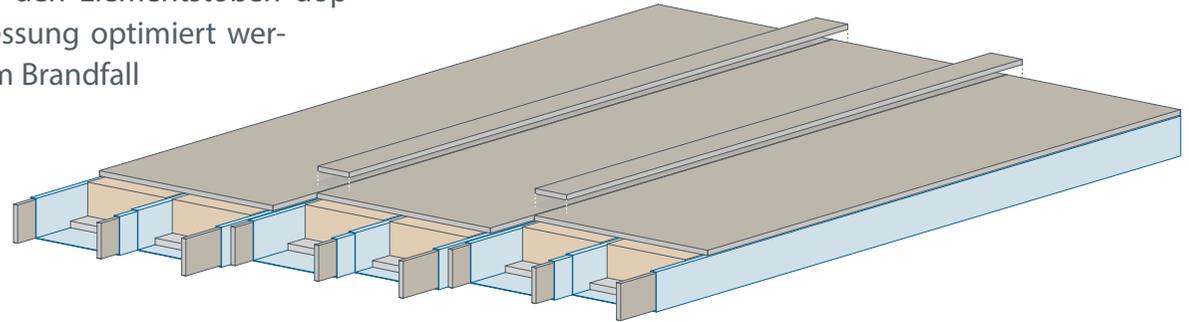
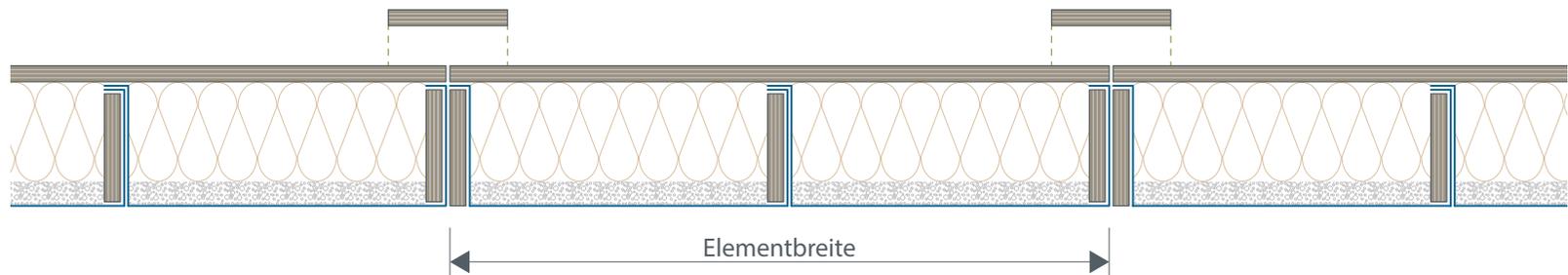


Abb. 10.164 Entwurfsansatz 01-1 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Vertikalschnitt)



In einem Optimierungsschritt wurde die Entwurfsidee bestehend aus Tragschale in Stahlblech und LVL- Rippen weitergeführt.

Die Tragschalen sind hierbei so ausgeführt, dass die vorgefertigten Deckenelemente über zwei Rippenfelder verlaufen, wobei die oberseitige Beplankung durch ein Element hergestellt wird. Die Mittelrippen verbinden die beiden Tragschalen eines Elements. Somit sind sowohl die Randa- als auch die Mittelrippen tragwerkstechnisch gesehen gleichwertig, da jeweils zwei LVL- und Stahlblech- Querschnitte vorhanden sind.

Im Randbereich wird das Stahlblech zu Montagezwecken auf die Oberseite der Beplankung geführt. Die Längsstöße werden wiederum mittels oberseitigen Brettern verbunden, wobei die Ausführung je nach Dimensionierung variabel ist.

Es hat sich gezeigt, dass für einen effektiven Brandschutz weitere Abänderungen notwendig sind.

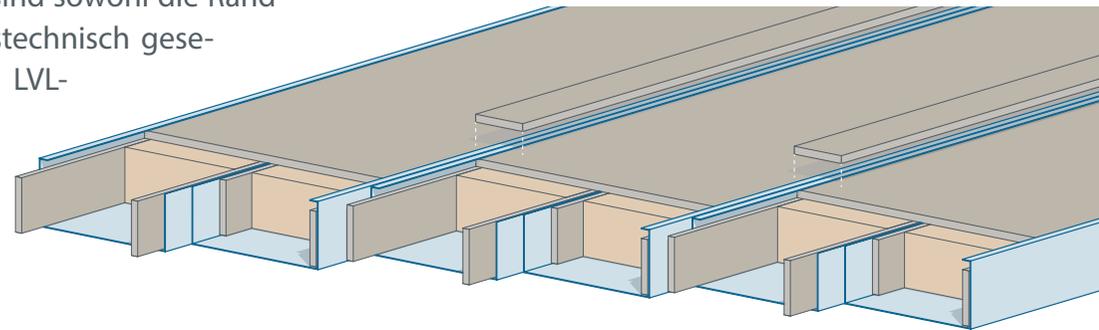


Abb. 10.165 Entwurfsansatz 01-2 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Axonometrie)

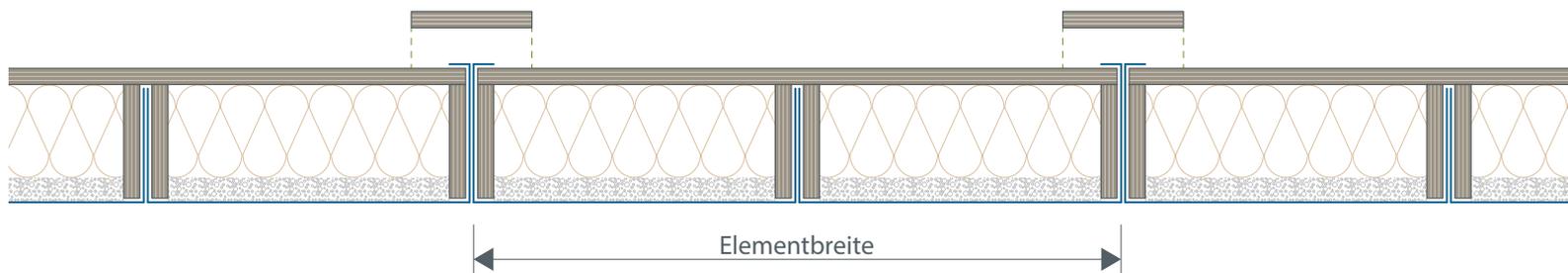


Abb. 10.166 Entwurfsansatz 01-2 - LVL- Rippendecke mit Stahlblech Tragschale (Vertikalschnitt)

Ansatz 02

Ähnlich den Deckensystemen von Ligno wird versucht eine Rippendecke mit unterseitiger Beplankung und der Möglichkeit der freien Installationsführung auf der Baustelle zu entwerfen.

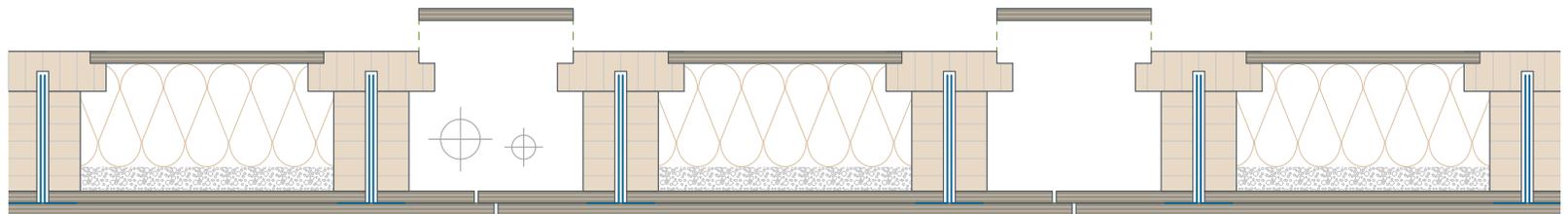
Die Rippen bilden dabei BSH- Stahl Träger. Die Stahlprofile sind in die 2- lagige untere Beplankung eingelegt und im Bereich der Feldmitte frei sowie mit Aussparungen zur

Querführung der Installationen versehen. Im Bereich der Elementstöße werden die Elemente bauseits miteinander verbunden. In diesen Zonen sollen zuvor noch die Installationen und gegebenenfalls Dämmung oder Schüttmaterial eingelegt werden.

In die mittigen Hohlräume der Elemente soll dies bereits im Werk durchgeführt worden sein.

Abb. 10.167 Entwurfsansatz 02 - Hohlkastendecke aus LVL-Beplankungen und BSH- Stahl Verbundrippen (Vertikalschnitt im Auflagerbereich)

Vertikalschnitt im Auflagerbereich



Vertikalschnitt in Feldmitte

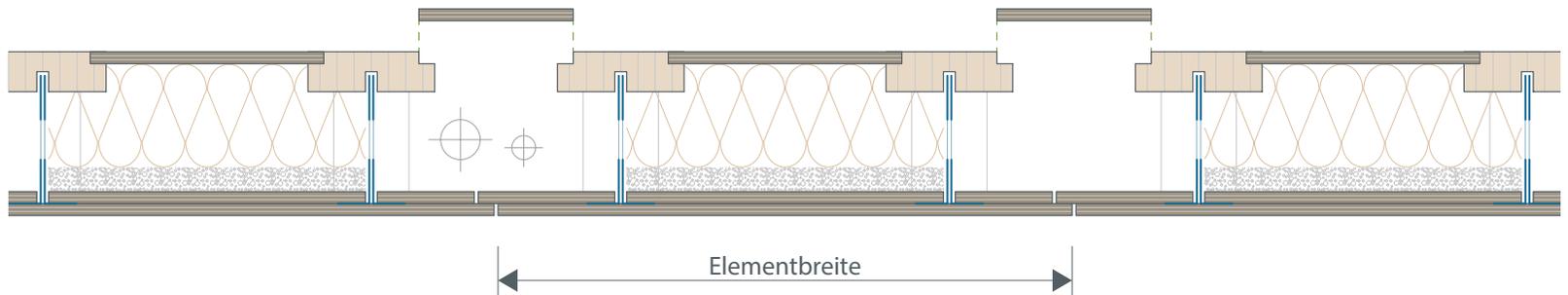


Abb. 10.168 Entwurfsansatz 02 - Hohlkastendecke aus LVL-Beplankungen und BSH- Stahl Verbundrippen (Vertikalschnitt in Feldmitte)

Resümee

Beide Ansätze verfolgen einen möglichst weit fortgeschrittenen Vorfertigungsgrad, wobei Ansatz 01 die Möglichkeit der Integration von Haustechnik vernachlässigt.

Ansatz 01 kann dagegen durch die Aufnahme der Trag-schalen- Idee aufzeigen, wodurch innovativere tragwerks- und brandschutztechnische Konzepte verfolgt werden.

Das im folgenden Unterkapitel dargestellte Deckensystem entstand aus der Kombination dieser beiden Ansätze.

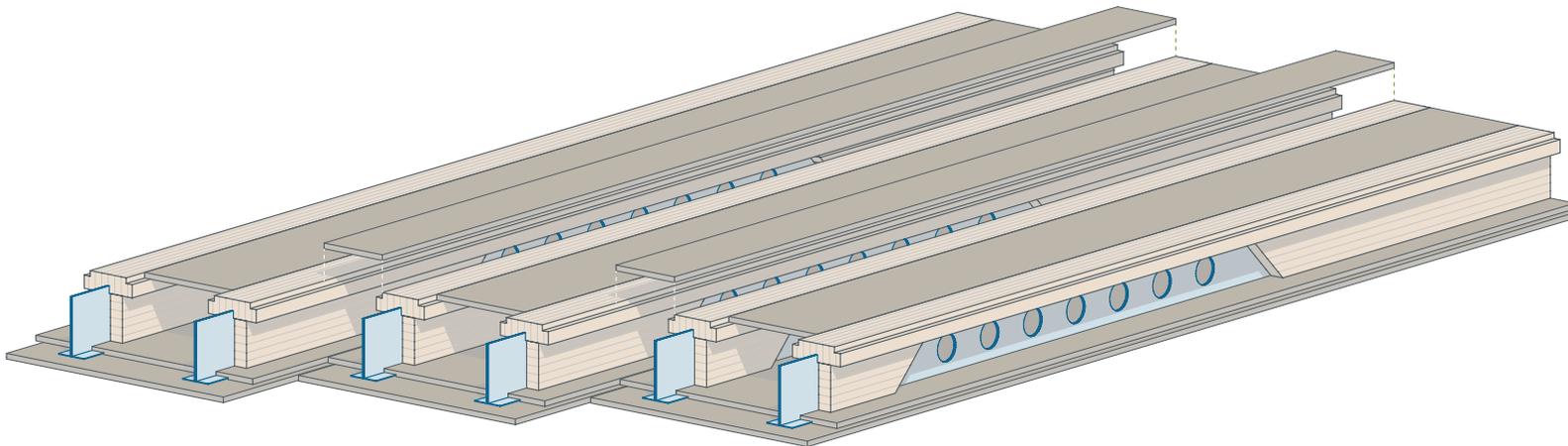


Abb. 10.169 Entwurfsansatz 02 - Hohlkastendecke aus LVL-Beplankungen und BSH- Stahl Verbundrippen (Axonometrie)

10.3.ENTWURFSKONZEPT

Aufbauend auf den zu Beginn definierten Randbedingungen Vorfertigung, Rippenkonstruktion, Holz- Stahl Bauweise, offenes Bausystem sowie Integration von Bauphysik und Hausinstallation haben sich drei zentrale Themen herauskristallisiert:

- Die Konstruktion soll sich aus einer Tragschale aus Stahlblech und Holzelementen in Furnierschichtholz zusammensetzen.
- Die Integration der Haustechnik soll in Längs- und Querrichtung möglich sein, sowie werkseitig vorbereitet und bauseits vollendet werden.
- Der Brandschutz der Holzkonstruktion soll durch eine intelligente, konstruktive Anordnung der Materialien und Elemente erfolgen.

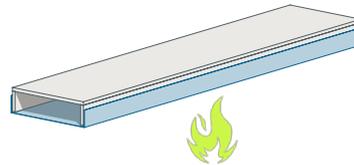
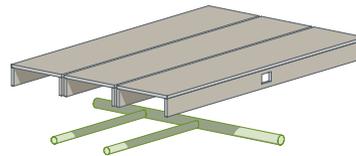
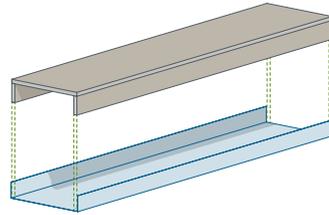


Abb. 10.170 Entwurfskonzept 01 - Stahlblech Tragschale und LVL- Rippenkonstruktion

Abb. 10.171 Entwurfskonzept 02 - Integration der Haustechnik

Abb. 10.172 Entwurfskonzept 03 - Brandschutz durch Tragschale

Konzept

Die Deckenkonstruktion setzt sich aus einer U- förmigen Stahlblech- Schale, sowie einer Rippenkonstruktion aus LVL zusammen.

Die Rippen sind dabei immer doppelt ausgeführt, damit die Schalen in die Zwischenräume eingebunden werden können. Das Stahlblech hat dabei keinen direkten Kontakt mit den Holzelementen, wodurch im Brandfall die Schalen die Funktion des Brandschutzes übernehmen können, ohne, dass das Holz durch die erhöhte Stahltemperatur sich entzündet bzw. eine Pyrolyseschicht bildet. Zusätzlich ist die Konstruktion so bemessen, dass im Brandfall die geschützte Holzkonstruktion eigenständig die Ansprüche der Tragfähigkeit erfüllt.

Den flächigen Untergrund für den Fußbodenaufbau, sowie die Aussteifung und Verbindungen der Deckenelemente wird über eine LVL- Beplankung sichergestellt. Diese ist partiell im Werk vorgefertigt, wobei sie durch bauseitige Ergänzungen in und quer zur Deckenspannrichtung vervollständigt wird.

Diese kreuzförmige Ausbildung bringt Vorteile hinsichtlich der Aussteifung, Verbindung der Elemente untereinander, aber ebenso verbessert dies die Möglichkeit der Herstellung von Installationen in der Konstruktionsebene. Diese können im Werk vorbereitet und bauseits miteinander verbunden werden.

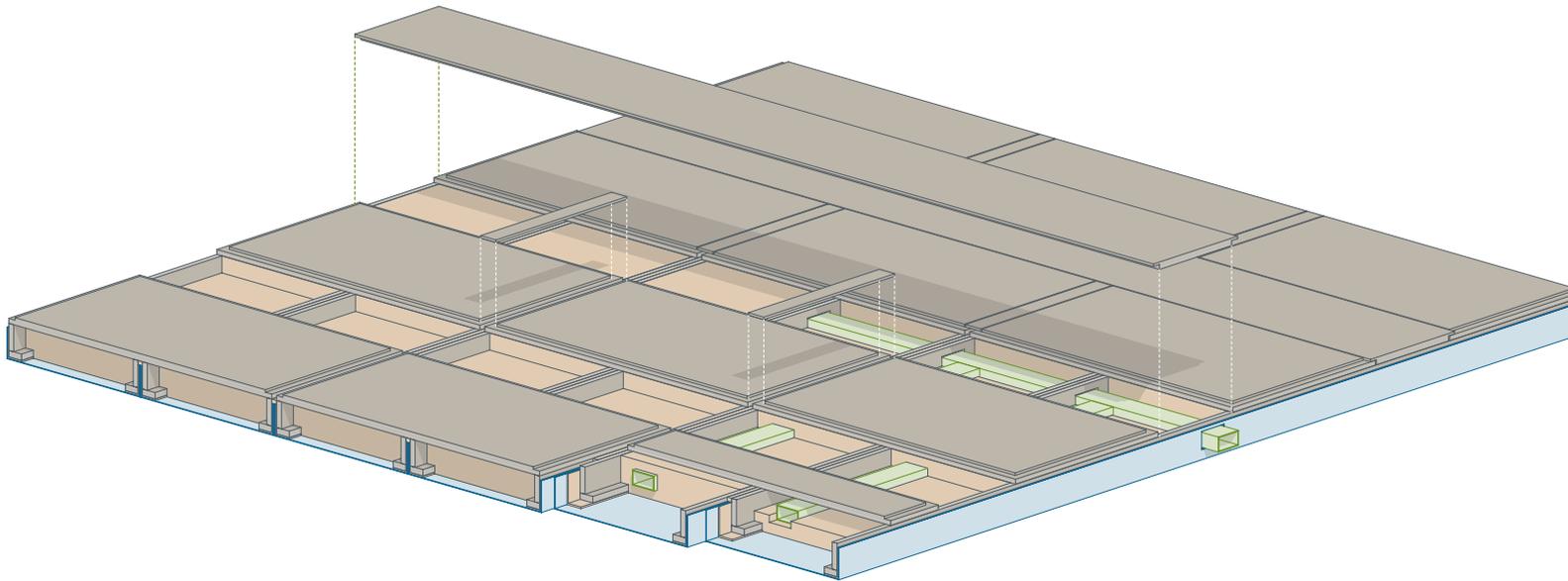
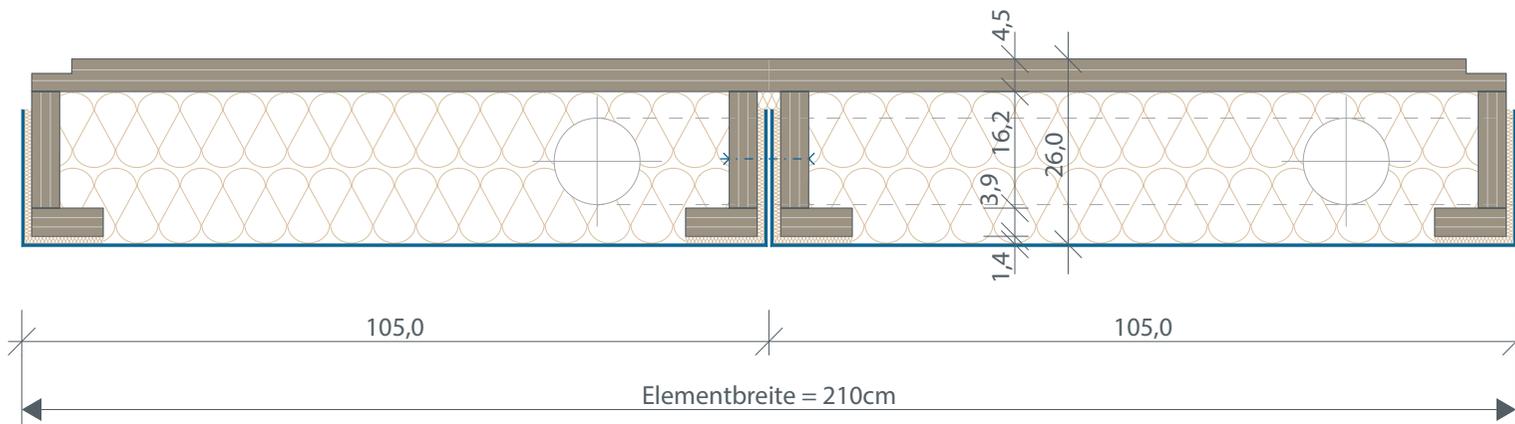


Abb. 10.173 Entwurf Decken-
konstruktion (Axonometrie)

Abb. 10.174 Entwurf Decken-
konstruktion (Vertikalschnitt)



10.4.PRODUKTION UND MONTAGE DES DECKENSYSTEMS

Produktion der Einzelemente

Abb. 10.175 Produktion und Montage 01 - Fertigung der Stahlblechschale

Die Stahlblechschalen werden vom Holzbaubetrieb nach der Bemessung des Tragwerksplaners zugekauft. Dieser definiert das verwendete Material, Abmessungen, Oberflächenbehandlung und die Verbindung zwischen Holz und Stahlelementen. Für Letzteres sind bei der Fabrikation der Schalen die benötigten Bohrungen oder Ausnehmungen mittels Laserschneider herzustellen. Aufgrund ihrer geringen Profildicken sind sie leicht handhabbar und können ohne schwere Hubgeräte versetzt werden.

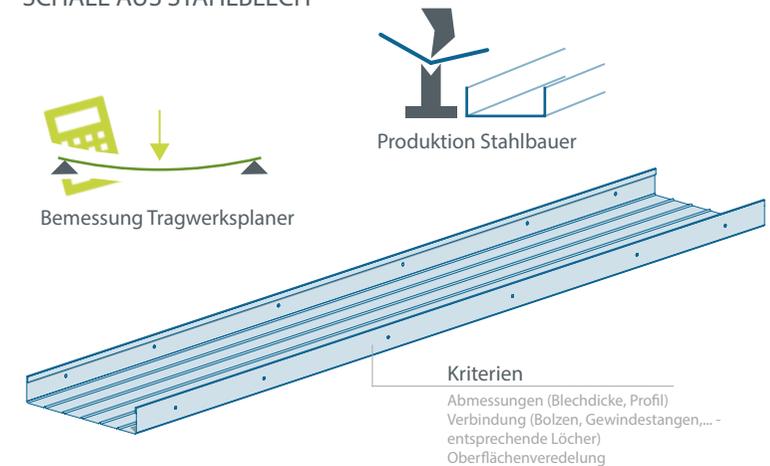
In der Werkhalle des Holzbaubetriebs kann zeitgleich die Holzkonstruktion vorgefertigt werden. Grundsätzlich bestehen diese aus Rippen sowie oberseitiger Beplankung aus LVL, wobei durch die Anordnung von Untergurten die Tragfähigkeit erhöht werden kann.

Die Längsstöße können mittels oberseitigen Brettern, Fälzen oder Nut- und Feder System verbunden sein. Es ist zu prüfen, in wie weit diese notwendig sind, oder ob die Elemente der Beplankung, welche in Querrichtung verlaufen ausreichen.

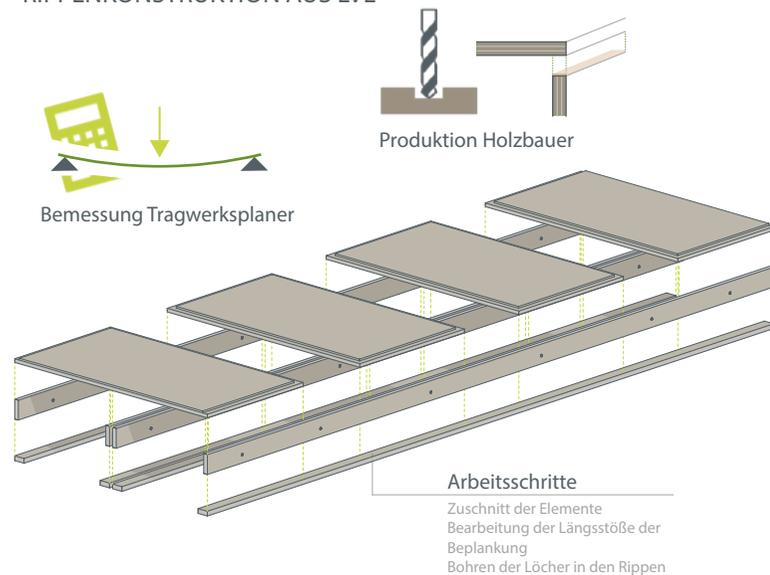
Die Rippen sind für den Transport, aber auch im eingebauten Zustand mit den Tragschalen verbunden. Hierfür sind Bohrungen, abgestimmt mit jenen die der Stahlbauer vorfertigt, vorzusehen. Zusätzlich können Aussparungen für die Führung der Haustechnik quer zur Spannrichtung notwendig sein.

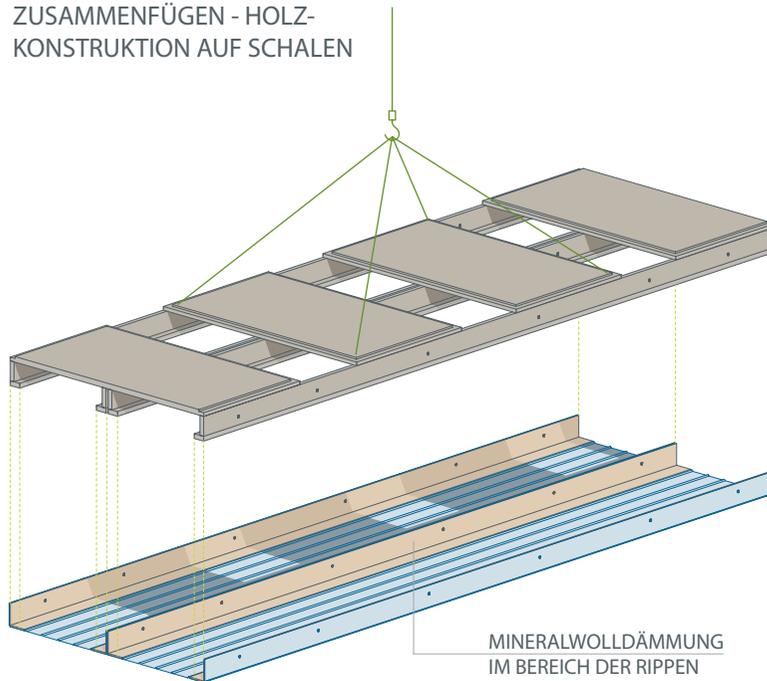
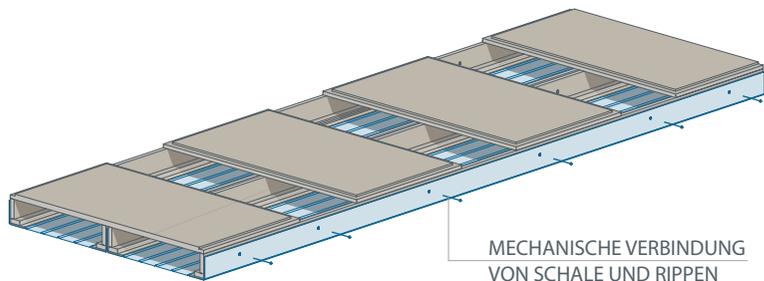
Abb. 10.176 Produktion und Montage 02 - Fertigung der Holzkonstruktion

SCHALE AUS STAHLBLECH



RIPPENKONSTRUKTION AUS LVL



ZUSAMMENFÜGEN - HOLZ-
KONSTRUKTION AUF SCHALENVERBINDUNG ÜBER BOLZEN
ODER GEWINDESTANGEN

Fügung der Stahl- und Holzkomponenten

In Anbetracht des Herstellungs- und Errichtungsprozesses ist die oberseitige Beplankung nicht über die gesamte Länge im Werk aufgeklebt.

Sind Rippen und oberseitige Beplankung, sowie gegebenenfalls die Untergurte miteinander verbunden, müssen die Stahlbleche aus brandschutztechnischen Gründen mit einer 1-1,5cm dicken Mineralwolldämmung im Bereich der Rippen beschichtet werden. Diese stellt die Trennung zwischen Holzkonstruktion und Stahlblech, welches sich im Brandfall erwärmt, her. Damit die Mineralwolle in Position gehalten wird und beim anschließenden Zusammensetzen nicht verrutscht, ist sie auf der Schale zu fixieren.

Nach diesen Arbeitsschritten sind die Einzelteile bereit für das Zusammensetzen. Hierbei wird die Holzkonstruktion auf die U-förmigen Stahlbleche mittels Hebezeug gesetzt und die Rippen mit den Stahlblechen verbunden. Dabei können beide Schalen gleichzeitig oder separat in zwei Arbeitsschritten mit der Holzkonstruktion verbunden werden. Aufgrund des geringen Gewichts der Stahlblech-Schalen wäre ein Bewegen dieser per Hand möglich, problematisch erweist sich aber die anschließende Verbindung der Elemente aufgrund der nicht gegebenen Zugänglichkeit zu den Hohlräumen zwischen den Rippen.

Abb. 10.177 Produktion und Montage 03 - Fügung der Stahlblech- und Holzkomponenten

Abb. 10.178 Produktion und Montage 04 - Verbindung der Bauteile über mechanische Verbindungsmittel

Abb. 10.179 Produktion und Montage 05 - Vorbereitung der Haustechnik sowie Verfüllung der Hohlräume weitestgehend im Werk

Ergänzungen in den Hohlräumen

Um die größere Konstruktionshöhe bei stabförmigen Deckenkonstruktionen effizient zu nutzen, sind die Integration der Haustechnik, sowie die Verbesserung von bauphysikalischen Eigenschaften durch Einbringen von Dämm- oder Schüttmaterialien in den Hohlräumen sinnvoll.

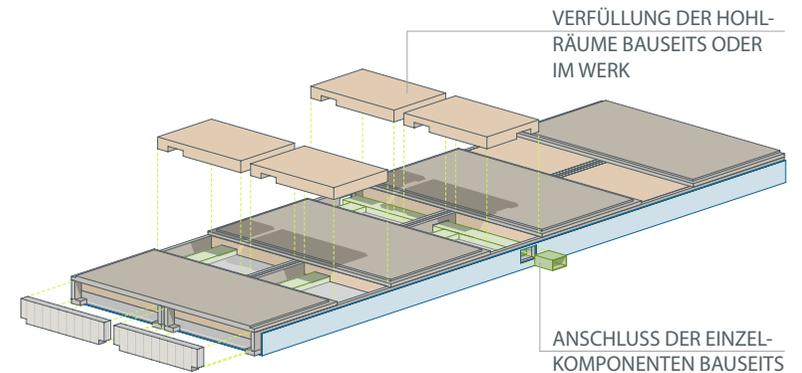
Dies soll partiell bereits im Werk geschehen. Nach dem Zusammensetzen der Stahlblech- und Holzelemente können in die Zwischenräume bauphysikalisch wirksame Materialien, Rohre oder Leitungen eingelegt werden.

Nebenbei müssen die Bepankungselemente, welche bauseits montiert werden, mit den entsprechenden Verbindungsstößen produziert werden. Diese werden gemeinsam mit den Deckenelementen in einer, auf den Bauablauf abgestimmten, Reihenfolge verladen und auf die Baustelle transportiert.

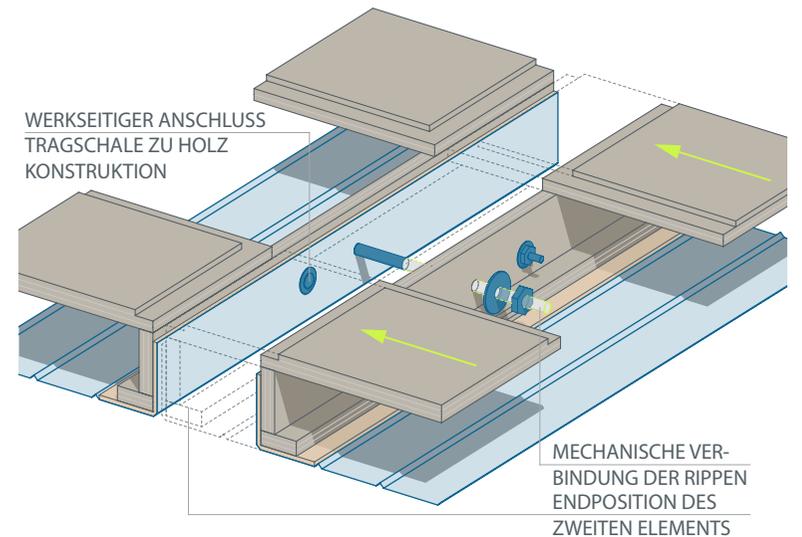
Montage auf der Baustelle

Hebeösen, welche bereits im Werk für das Zusammenfügen verwendet wurden, dienen dem Versetzen der Deckenelemente auf der Baustelle. Tragschale, Holzkonstruktion und Hohlraumfüllungen müssen für den Transport und das Versetzen ausreichend stabil miteinander verbunden sein. Nach dem Absetzen erfolgt das Verbinden der

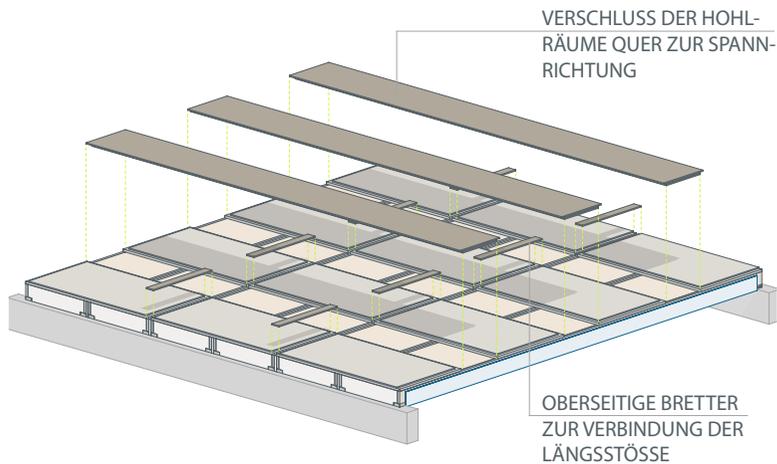
WERKSEITIGE VORBEREITUNG DER HAUSTECHNIK SOWIE SCHÜTT- UND DÄMMMATERIALIEN



MECHANISCHE VERBINDUNG DER RIPPEN WÄHREND DES EINBAUS



VERBINDUNG DER LÄNGSSTÖSSE SOWIE
VERSCHLUSS DER HOHLRÄUME



Elemente untereinander im Bereich der Rippen. Da die Deckenelemente den auftretenden Belastungen während dem Transport und Versetzen bereits standhalten müssen, erfolgt die Verbindung der Elemente untereinander über zusätzliche mechanische Verbindungsmittel. Hierfür sind entsprechende Bohrungen in den Randrippen vorzusehen.

Anschließend können in den Zwischenräumen die Haustechnikkomponenten miteinander verbunden und die Hohlräume aufgefüllt werden, bevor die Längsfugen und die flächige Bepunktung in Querrichtung aufgebracht wird.

Abb. 10.181 Produktion und Montage 07 - Verfüllung restlicher und Verschluss aller Hohlräume, sowie Verbindung der Einzelemente untereinander über beispielsweise Bretter

10

10.5.VORBEMESSUNG DER DECKENKONSTRUKTION

Ausgangslage „Nudge“ in Paris

Abb. 10.182 Vorbemessung der Deckenkonstruktion - Übernahme statisches System von „Nudge“ in Paris

Das im vorangegangenen Kapitel erläuterten Projekt „Nudge“ dient für die Entwicklung der Deckenkonstruktion als Grundlage.

Somit wurden für die Vordimensionierung der Deckenkonstruktion die Einwirkungen, maximale Spannweite von 6,50m, Elementbreite von 2,10m und Konstruktionshöhe von maximal 26cm übernommen.

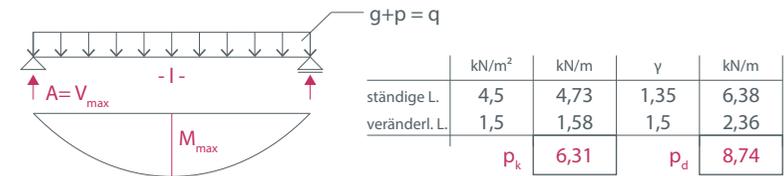
Abb. 10.183 Vorbemessung der Deckenkonstruktion für unterschiedliche Spannweiten

Die Bemessung erfolgt mittels der bereits programmierten Excel- Tabelle, die im Kapitel „Nudge“ erläutert und hierbei auf die entworfene Konstruktion angepasst wurde. Dabei wurden unterschiedliche Spannweiten und Komponenten untersucht.

Spalte 1 fasst jene Konstruktion zusammen, die ebenso in der detaillierten Bemessung abgebildet und später für den Brandfall bemessen wurde.

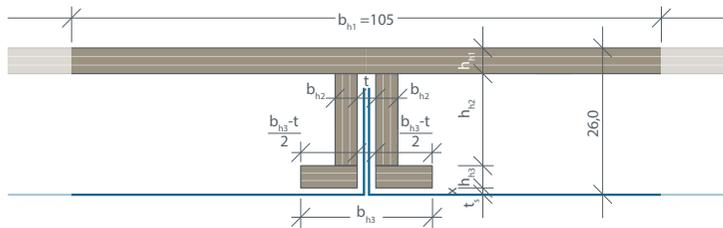
Spalte 2 bildet einen möglichst effizient konstruierten Querschnitt bei einer Spannweite von 6,50m ab, der mit 22cm Konstruktionshöhe auskommt.

Spalten 3 bis 5 zeigen Untersuchungen zu weiter gespannten Konstruktionen, bei denen der maßgebende Nachweis ausgereizt wurde. Zusätzlich wurde die Konstruktionshöhe als veränderbare Variable aufgenommen.



	l = 6,5 m	l = 6,5 m	l = 8,0 m	l = 10,0 m	l = 12,0 m
max. M _{Ed}	46,16 kNm	46,16 kNm	69,93 kNm	109,27 kNm	157,34 kNm
max. V _{Ed}	28,41 kN	28,41 kN	34,97 kN	43,71 kN	52,45 kN
Konstruktionshöhe	26 cm	22 cm	26 cm	28 cm	30 cm
Beplankung LVL h _{h1}	4,5 cm	4,5 cm	4,5 cm	4,8 cm	5,4 cm
Rippe LVL b _{h2} / h _{h2}	3,9 / 20,5 cm	3,9 / 16,2 cm	3,9 / 20,2 cm	4,2 / 17,9 cm	4,5 / 19,2 cm
Untergurt LVL b _{h4} / h _{h3}				8,0 / 3,9 cm	10,0 / 3,9 cm
Stahlblechschale b _s / h _{s1} / t _s	105 / 19 cm 0,3 cm	105 / 15 cm 0,3 cm	105 / 19 cm 0,3 cm	105 / 20 cm 0,4 cm	105 / 22 cm 0,5 cm
ULS t = 0 maßgebend: σ _{1,du}	9,2 N/mm ² 43 %	11,8 N/mm ² 56 %	13,7 N/mm ² 65 %	15,8 N/mm ² 74 %	17,7 N/mm ² 83 %
ULS t = ∞ maßgebend: σ _{1,du}	13,1 N/mm ² 62 %	19,8 N/mm ² 93 %	19,8 N/mm ² 93 %	19,2 N/mm ² 90 %	20,1 N/mm ² 94 %
SLS t = 0 w _{inst} (l/400)	5,9 mm 36 %	10,6 mm 65 %	13,3 mm 66 %	20,7 mm 83 %	29,6 mm 99 %
SLS t = ∞ w _{fin} (l/300)	7,0 mm 32 %	13,1 mm 61 %	15,6 mm 59 %	24,1 mm 73 %	33,9 mm 85 %

Entwurfskonstruktion: Stahlblechschale mit LVL- Rippenkonstruktion



Gesamthöhe Deckenkonstruktion 0,26 m

Bauteil 1: LVL- Rippenkonstruktion

Annahme: Teile steif verklebt, daher als ein Querschnitt annehmbar

Beplankung Breite	b_{h1}	1,05 m
Beplankung Höhe	h_{h1}	0,045 m
Rippe Höhe	h_{h2}	0,166 m
Rippe Breite	b_{h2}	0,039 m
Rippe Breite x2	$2 * b_{h2}$	0,078 m
Untergurt Höhe	b_{h3}	0,036 m
Untergurt Breite gesamt	b_{h3}	0,113 m
Abstand zwischen LVL- Rippen	t	0,035 m
Untergurt Breite netto	$b_{h3} - t$	0,078 m
Abstand UK- Rippe zu Schale		0,010 m
Querschnittsfläche	A_h	630,06 cm ²
SP- Abstand zu UK- Schale	z_{h0}	0,207 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	24176,8 cm ⁴

Bauteil 2: Stahlblechschale

Blechdicke	t_s	0,003 m
Untergurt Breite	b_s	1,05 m
Steghöhe	h_{s1}	0,19 m
Blechdicke Kontakt	$2 * t_s$	0,006 m
Querschnittsfläche	A_s	42,60 cm ²
SP- Abstand zu UK- Schale	z_s	0,025 m
Flächenträgheitsmoment	I_y	1443,7 cm ⁴

Verbindungsmitel

Passbolzen (Stahlklasse 8.8)		
Rohdichte des Materials	ρ_m	7850 kg/m ³
Durchmesser	d_{vBM}	20 mm
Anzahl Scherfugen		2
Verschiebemodul je Schraube	K_{ser}	1209585,7 N/mm

ULS t = 0

Materialkennwerte:

Holz	LVL X-grade	Stahl	Baustahl S355
E-Modul	13800 N/mm ²	E-Modul	210000 N/mm ²
Y_M	1,2	Y_M	1
k_{mod}	0,8		

Passbolzen

$K_{ser} =$	806390 N/mm	$s_{min} =$	700 mm
$K_U =$	537594 N/mm	$s_{max} =$	1500 mm
$k_{def} =$	0,6	$s_{eff} =$	900 mm
$k_{vBM} =$	0,67	$n_v =$	1
		$s_i =$	900 mm

LVL- Konstruktion

A1	0,0630 m ²	Stahlblechschale	0,004 m ²
EA1	8,69E+05 kN	EA2	8,95E+05 kN
I1	0,0002418 m ⁴	I2	0,0000144 m ⁴
EI1	3336,40 kNm ²	EI2	3031,69 kNm ²

Steifigkeit, Schwerpunktsabst.

Y_1	0,7462	Schnittgrößen	
eff EI	18744,1 kNm ²	im Gesamtsystem	
		M_d	46,16 kNm
$a =$	0,181 m	V_d	28,41 kN
$a_1 =$	0,105 m	in den Teilquerschnitten	
$a_2 =$	0,076 m	$M_{1,d}$	8,22 kNm
		$M_{2,d}$	7,47 kNm
		$N_{1,d}$	168,03 kN

Nachweise - LVL- Querschnitt

Randspannung oben	26,0 N/mm ²	= f_{yk}
$\sigma_{1do} =$	0,9 N/mm ² < 17,3 N/mm ²	= f_{yd}
Randspannung unten	32,0 N/mm ²	= f_{m0k}
$\sigma_{1du} =$	9,2 N/mm ² < 21,3 N/mm ²	= f_{mod}

Nachweise - Stahlblechschale

Schwerpunktspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{c0k}
$\sigma_{2do} =$	39,4 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{c0d}
Biegerandspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{m0k}
$\sigma_{2md} =$	52,5 N/mm ² < 355,0 N/mm ²	= f_{mod}
Schubspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{v0k}
$T_{max,d} =$	4,5 N/mm ² < 205,0 N/mm ²	= f_{v0d}

Abb. 10.184 Vorbemessung der Deckenkonstruktion - Detaillierte Bemessung mit der Grundlage von „Nudge“ in Paris (Teil 1)

10

Abb. 10.185 Vorbemessung der Deckenkonstruktion - Detaillierte Bemessung mit der Grundlage von „Nudge“ in Paris (Teil 2)

ULS $t = \infty$

Materialkennwerte:			
Holz	BSH GL24h	Stahl	Baustahl S355
E-Modul	8625 N/mm ²	E-Modul	210000 N/mm ²
γ_M	1,2	γ_M	1
k_{mod}	0,8		
Passbolzen		Passbolzen	
K_{ser}	358396 N/mm	s_{min}	700 mm
K_u	238931 N/mm	s_{max}	1500 mm
k_{def}	0,6	s_{eff}	900 mm
k_{VBM}	0,67	n_v	1
		s_i	900 mm
LVL- Konstruktion		Stahlblechschaale	
A1	0,0630 m ²	A2	0,004 m ²
EA1	5,43E+05 kN	EA2	3,67E+04 kN
I1	0,0002418 m ⁴	I2	0,0000144 m ⁴
EI1	2085,25 kNm ²	EI2	3031,69 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Schnittgrößen	
γ_1	0,6765	im Gesamtsystem	
eff EI	6216,2 kNm ²	M_d	46,16 kNm
		V_d	28,41 kN
a	0,181 m	in den Teilquerschnitten	
a_1	0,016 m	$M_{1,d}$	15,49 kNm
a_2	0,165 m	$M_{2,d}$	22,51 kNm
		$N_{1,d}$	45,00 kN

Nachweise - LVL- Querschnitt

Randspannung oben	26,0 N/mm ²	= f_{yk}
σ_{1do}	-2,7 N/mm ²	< 17,3 N/mm ² = f_{yd}
Randspannung unten	32,0 N/mm ²	= $f_{t0k,0,05}$
σ_{1du}	13,1 N/mm ²	< 21,3 N/mm ² = f_{t0d}

Nachweise - Stahlblechschaale

Schwerpunktspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{c0k}
σ_{2do}	10,6 N/mm ²	< 355,0 N/mm ² = f_{c0d}
Biegerandspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{m0k}
σ_{2md}	49,9 N/mm ²	< 355,0 N/mm ² = f_{m0d}
Schubspannung:	355,0 N/mm ²	= f_{v0k}
$T_{max,d}$	31,8 N/mm ²	< 205,0 N/mm ² = f_{v0d}

SLS

$t = 0$

$t = \infty$

Materialkennwerte:			
Stahl: E-Modul	210000 N/mm ²		210000 N/mm ²
Holz: E-Modul	13800 N/mm ²		8625 N/mm ²
Passbolzen		Passbolzen	
K_{ser}	1209586 N/mm	K_{ser}	806390 N/mm
K_u	806390 N/mm	K_u	537594 N/mm
k_{def}	0,6	k_{def}	0,6
k_{VBM}	0,67	k_{VBM}	0,67
s_{min}	700 mm	s_{min}	700 mm
s_{max}	1500 mm	s_{max}	1500 mm
s_{eff}	900 mm	s_{eff}	900 mm
n_v	1	n_v	1
s_i	900 mm	s_i	900 mm
LVL- Konstruktion		LVL- Konstruktion	
A1	0,1444 m ²	A1	0,1444 m ²
EA1	1,99E+06 kN	EA1	1,25E+06 kN
I1	0,0002418 m ⁴	I1	0,0002418 m ⁴
EI1	3336,40 kNm ²	EI1	2085,25 kNm ²
Stahlblechschaale		Stahlblechschaale	
A2	0,004 m ²	A2	0,004 m ²
EA2	8,95E+05 kN	EA2	8,95E+05 kN
I2	0,0000144 m ⁴	I2	0,0000144 m ⁴
EI2	3031,69 kNm ²	EI2	3031,69 kNm ²
Steifigkeit, Schwerpunktsabst.		Steifigkeit, Schwerpunktsabst.	
γ_1	0,7428	γ_1	0,7549
eff EI	24715,7 kNm ²	eff EI	20200,8 kNm ²
Bemessungssituation		Bemessungssituation	
g_k	4,73 kN/m	g_k	4,73 kN/m
p_k	1,58 kN/m	p_k	1,58 kN/m

Nachweis Anfangsdurchbiegung

$w_{inst,G,1}$	4,4 mm	k_{def}	0,22
$w_{inst,Q,1}$	1,5 mm	ψ_2	0,3
w_{inst}	5,9 mm	w_{fin}	7,0 mm
Grenzwert l/x	400	Grenzwert l/x	300
	16,3 mm		21,7 mm

Bemessung der Komponenten

Die Ausbildung eines Untergurts in der Holzkonstruktion erweist sich ab Spannweiten von 10m als sinnvolle Lösung um die Beplankung und Rippen schlanker bemessen zu können.

Grundsätzlich hat die Gesamthöhe der Deckenkonstruktion und daraus folgend die statische Höhe maßgeblichen Einfluss auf das Tragverhalten.

Ebenso wird die Tragfähigkeit der Konstruktion durch das Hochziehen der Stahlblechrippen zwischen den LVL- Rippen verbessert. Somit ist zu empfehlen diese bis möglichst an die Unterkante der Beplankung zu führen, um die Biegezugspannungen in den LVL Rippen zu verringern. Diese sind für die Tragfähigkeitsnachweise maßgeblich.

Die Stahlbleche verbessern sowohl die Tragfähigkeit, als auch die Gebrauchstauglichkeit. Hierbei ist das, über die Zeit, konstante E- Modul des Stahls entscheidend, da der Stahl im Gegensatz zu Holz und holzbasierten Werkstoffen keine Kriechverformungen aufweist.

Die Deckenkonstruktion ist aufgrund der zarten Stahlprofile und Holzelementen sehr leicht und verfügt über wenig Masse. Somit ist die Deckenkonstruktion anfällig im Schwingungsverhalten. Dies kann durch zusätzliche Masse in den Hohlräumen oder im Fußbodenaufbau verbessert

werden. Dieser Aspekt wurde nicht berechnet und müsste im Falle einer Anwendung noch untersucht werden.

Die Deckenkonstruktion muss zusätzlich für den Brandfall bemessen werden. Diesem Thema widmet sich das folgende Kapitel.

10.6. TRAGFÄHIGKEIT IM BRANDFALL

Brandschutz als konstruktives Konzept

Da der Brandschutz ein essentieller Entwurfsansatz ist, wird er in diesem Unterkapitel behandelt. Als Referenz diene das Deckensystem Cofradal, bei welchem die Tragschale und eine Dämmschicht die Betonkonstruktion schützen. Diese tragwerkstechnischen Veränderungen sind in der Bemessung zu berücksichtigen. In weiterer Folge werden das Cofradal- sowie Entwurfsdeckensystem betrachtet.

Abb. 10.186 COFRADAL-
Decken - statisch wirksamer
Querschnitt im Brandfall

Abb. 10.187 COFRADAL-
Decken - Nachweis für den
Brandfall

Cofradal- Deckensystem

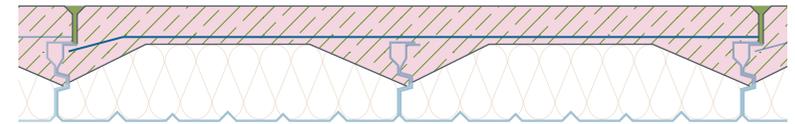
Im Brandfall erwärmt sich die Tragschale aus Stahl rasch. Bereits bei einem Temperaturanstieg von 100°C fällt das E-Modul von Stahl, die Zugfestigkeit ab 250°C.

In Kombination mit der Mineralfaserdämmung schützt sie allerdings die Stahlbetonschicht. Diese ist so dimensioniert, dass sie im Brandfall den Einwirkungen standhält.

Von Vorteil ist, dass die Gefahr des Abplatzens des Betons durch den Schutz aus Stahlschale samt Dämmung an der Unterseite zusätzlich verringert wird, wodurch die Bewehrung besser geschützt ist.

Die Stahlblechschalen sind über ihre Rippen mit dem Beton kraftschlüssig verbunden. Im Brandfall stellen diese eine Wärmebrücke dar, welche für den Beton keine negativen Auswirkungen hat, da er über eine hohe Speichermasse verfügt und ein Erwärmen der Betonkörpertemperatur lange dauert.

Da für die Bemessung im Brandfall geringere Absolutwerte für die Lasten und Sicherheitsfaktoren auf Materialseite angewendet werden, können verminderte Bauteile und Querschnitte ausreichen.



Brandfall - Cofradal

Rippenabstand	e	0,60 m
Einwirkungen Kaltbemessung	E_d	5,0 kN/m
Abminderungsbeiwert	η_{fi}	0,60
Einwirkungen Brandfall	$E_{d,fi}$	3,00 kN/m
Biegemoment Brandfall	M_{Ed}	15,83 kNm
	V_{Ed}	9,74 kN

Überprüfung Betondruckzone

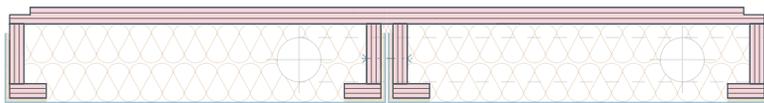
Gesamthöhe Betonplatte	h	0,070 m
Nutzhöhe	d	0,055 m
Materialbeiwert Brand	k_{fi}	1,15
Betondruckfestigkeit	f_{ck}	30,0 N/mm ²
Bemessungswert	f_{cd}	34,5 N/mm ²
$\mu_d < \mu_{d,gr}$	$\mu_{d,gr}$	0,25 < 0,362

erforderliche Bewehrung

Baustahl BSt550	ζ	0,85
erf. Querschnittsfläche	f_{sd}	550,0 N/mm ²
	A_s	6,18 cm²

Entwurfskonstruktion

Verkleidungen oder Überdimensionierung der Tragkonstruktion sind die gebräuchlichsten Brandschutzlösungen



Brandfall - Entwurfskonstruktion

Rippenabstand	e	1,05 m
Einwirkungen Kaltbemessung	E_d	8,74 kN/m
Abminderungsbeiwert	η_{fi}	0,60
Einwirkungen Brandfall	$E_{d,fi}$	5,24 kN/m
Biegemoment Brandfall	M_{Ed}	27,70 kNm
	V_{Ed}	17,05 kN

ULS zufolge Biegung

Trägheitsmoment LVL	I_y	24176,8 cm ⁴
Randabstand	z_u	0,19 m
	f_{mk}	32,00 N/mm ²
	k_{fi}	1,10
	f_{md}	35,20 N/mm ²
Biegerandspannungen	σ_{myd}	22,18 N/mm² < 35,20 N/mm ²

ULS zufolge Querkraft

Querschnittsfläche LVL	A	630,06 cm ²
	f_{vk}	4,50 N/mm ²
	k_{fi}	1,10
	f_{vd}	4,95 N/mm ²
Biegerandspannungen	τ_{Ed}	0,41 N/mm² < 4,95 N/mm ²

im Holzbau.

Eine Überdimensionierung der zarten LVL- Elemente würde die Querschnitte deutlich vergrößern. Zur Anwendung kommt eine „Verkleidung“, die im Alltag tragend wirkt und im Brandfall die Holzkonstruktion schützt.

Da dieser Ansatz essentiell für die Entwicklung und den Standpunkt der Entwurfskonstruktion ist, wurde die Deckenkonstruktion für den Brandfall nachgewiesen.

Die Konstruktion, welche im Kapitel „Vorbemessung Deckenkonstruktion“ zufolge Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen wurde, ist zusätzlich für den Brandfall berechnet worden.

Bei der Bemessung für den Brandfall können im Vergleich zur Kaltbemessung die Einwirkungen, Festigkeiten und Querschnitte abgeändert angesetzt werden.

Letzteres ist hierbei nicht zutreffend, da davon ausgegangen wird, dass die Holzkonstruktion durch den Brand geschützt ist und nicht geschwächt wird. Die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen können auf 1,0 gesetzt werden, wodurch die Lasten, auf welche das System zu bemessen ist, geringer werden. Analog können die Festigkeitswerte im Vergleich zur Kaltbemessung höher angesetzt werden.

Es zeigt sich, dass die Rippenkonstruktion aus LVL hinsichtlich der Tragfähigkeit im Brandfall ausreicht.

Abb. 10.188 Entwurfskonstruktion - statisch wirksamer Querschnitt im Brandfall

Abb. 10.189 Entwurfskonstruktion - Bemessung im Brandfall

10.7.AUSBAUKOMPONENTEN

Wie weit wird die Vorfertigung vollzogen?
Dies ist im Bereich des Fußbodenaufbaus leichter zu beantworten als für die Deckenuntersicht.

Fußbodenaufbau

Die Vorfertigung des Fußbodenaufbaus ist bei Raumzellen wirtschaftlich, nicht aber bei der Fabrikation von flächigen Deckenelemente. An die Fußbodenkonstruktion werden hohe Trittschallanforderungen gestellt und die Optik in Form eines weitestgehend fugenfreien Belags wird gefordert. Da der Aufbau aus mehreren Schichten besteht, ist eine Verbindung dieser untereinander, nur verbunden mit hohen Aufwänden, erzielbar.

Aus diesen Gründen gibt es keine Überlegungen zur Vorfertigung des Fußbodenbelags. Unberücksichtigt darf der Aufbau bei der Entwicklung eines Deckensystems nicht bleiben, da aufgrund der leichten Konstruktion und somit geringen Masse das System anfällig für Schwingungen ist. Diese werden von Menschen subjektiv wahrgenommen und wirken für jeden unterschiedlich störend.

Die ÖNORM EN & B 1995-1-1 sieht die Führung eines Nachweises für die Berücksichtigung der Schwingungen vor. Zuerst werden, abhängig von der Nutzung, die Deckenkonstruktionen in eine von drei Deckenklassen eingeordnet. Über diese, sowie die Art der Deckenkonstruktion, beispielsweise Holzbalkendecke oder flächige Holzmas-

sivdecke, kann die konstruktive Anforderung an den Fußbodenaufbau abgelesen werden. Des Weiteren sind das Frequenz-, Steifigkeitskriterium und die Schwingbeschleunigung zu berechnen, die ähnlich dem Nachweis der Verformung, Grenzwerte einhalten müssen.

Anwendungsbereiche nach Deckenklassen

Nutzungskategorien nach ÖNORM B 1991-1-1	Deckenklasse 1	Deckenklasse 2	Deckenklasse 3
	A1, B, C1, C3.1, D		A2
Typische Anwendungsfälle	Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten Nutzung als Wohnungstrenndecken in Mehrfamilienwohnhäusern Decken in Büros mit PC-Nutzung oder Besprechungsräumen Flure mit kurzen Spannweiten	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit Decken in Einfamilienwohnhäusern mit üblicher Nutzung	Decken unter nicht zu Wohnzwecken genutzten Räumen oder unter nicht ausgebauten Dachräumen Decken ohne Schwingungsanforderungen

Konstruktive Anforderungen nach Deckenklassen

Konstruktive Anforderungen		Deckenklasse 1	Deckenklasse 2	Deckenklasse 3
Holzbalkendecken	mit Nass-estrich	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung ($m > 60 \text{ kg/m}^3$)	Aufbau schwimmend (auch ohne Schüttung)	-
	mit Trockenestrich	spezieller Nachweis erforderlich	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung	-
flächige Massivholzdecken	mit Nass-estrich	Aufbau schwimmend auf schwerer und leichter Schüttung	Aufbau schwimmend (auch ohne Schüttung)	-
	mit Trockenestrich	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung	Aufbau schwimmend auf schwerer Schüttung	-

Abb. 10.190 Einordnung der Deckenkonstruktionen in Deckenklassen nach ÖNORM B 1991-1-1

Abb. 10.191 Konstruktive Anforderungen an den Fußbodenaufbau nach ÖNORM B 1991-1-1

Deckenuntersicht

Schalldämmung, Raumakustik, Installationsführung und Oberflächengestaltung sind die wichtigsten Funktionen bei der Betrachtung der Unterseite von Deckenkonstruktionen.

Im Falle der entworfenen Deckenkonstruktion bildet die Tragschale aus Stahlblech die Unterseite. Abhängig vom Projekt und den Ansprüchen kann diese gleichzeitig die Untersicht sein. Dabei können unterschiedliche Ausführungen und Oberflächenbehandlungen, die für Stahlbleche auf dem Markt verfügbar sind, zur Anwendung kommen.

Über Perforationen im Stahlblech kann die dahinterliegende Dämmung akustische Funktionen und Wirkung übernehmen. Durch das Einlegen eines Vlieses ist diese im Raum nicht sichtbar. Es ist zu beachten, dass durch Perforationen die Tragfähigkeit der Schale reduziert wird und dies muss in der Bemessung eingerechnet werden.

Abgehängte Deckenkonstruktionen kommen im Büro- und Wohnbau oftmals zum Einsatz um akustische Anforderungen zu erfüllen und oberhalb die Haustechnik verlegen zu können. Letzteres fällt ebenso wie die akustische Funktion weg, da Leitungen oder Rohre zwischen Rippen verlegt werden können. Somit ist das Hauptargument für die Anordnung einer zusätzlichen Untersicht die gefor-

derte Optik. Abgehängte Konstruktionen stellen Mehraufwände und Materialbedarf dar, aus denen zusätzliche Kosten resultieren. Da die Wirtschaftlichkeit meist das führende Kriterium ist, kann ebenso angemerkt werden, dass durch die Anordnung einer abgehängten Ebene rentables Volumen verloren geht.

Standardmäßige Systeme werden mittels Selbstbohrschrauben befestigt. Diese können, wie bei Gipskartonwänden mit Stahlunterkonstruktionen, einfach auf die Tragschale befestigt werden.

Ebenso ist vorstellbar, dass ein abgestimmtes Deckensystem verwendet wird, deren Tragkonstruktion rasch und einfach in eine gewalzte Profilierung der Stahlblechschaale eingehängt werden kann. Ähnliches wird bereits bei Gipskartondeckensystemen angewendet, um die Tragprofile in die abgehängten Halter einhängen zu können.



Abb. 10.192 Knauf Plattendecke als Referenzkonstruktion für abgehängte Decke
Bild aus: <https://www.knauf.de/profi/sortiment/systeme/knauf-plattendecken.html>

Abb. 10.193 Auflagermöglich-
keit 01 über RippenAbb. 10.194 Auflagermöglich-
keit 02 mittels RandträgerAbb. 10.195 Auflagermöglich-
lichkeit 03 über oberseitige
Beplankung

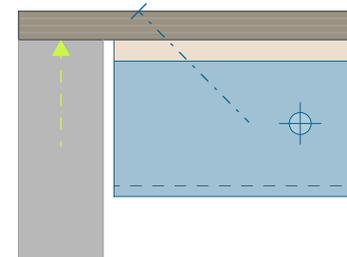
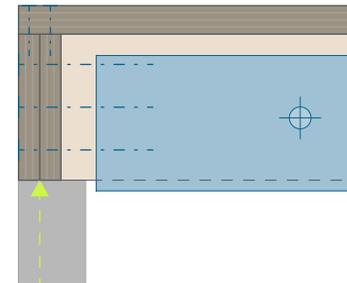
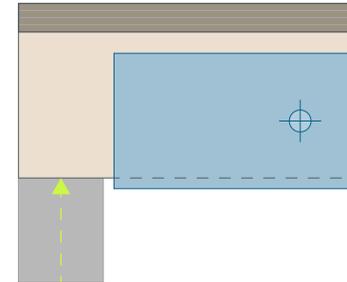
10.8.KONSTRUKTIONSDetails

Auflager

Die Auflagerung der entworfenen Deckenkonstruktion kann auf unterschiedlichste Art und Weise erfolgen. Diese drei Prinzipien sind denkbar:

- Auflagerung der **Rippen**: Die Rippen der Deckenelemente liegen auf den Wänden oder Trägern auf. Je nach lastabtragendem Bauteil kann die Ausbildung unterschiedlich aussehen, beispielsweise durch passende Ausschnitte für das Einführen der Rippen.
- Auflagerung mittels **Randträger**: An den Hirnhölzern der Rippen werden Bretter aufgeschraubt. Die Beplankung kann über die Bretter verlaufen. Es können nur das Brett oder auch Brett und Rippen aufliegen.
- Auflagerung der **oberseitigen Beplankung**: Die Kraftübertragung erfolgt über die Beplankung. Es ist zu beachten, dass die Spannungen aus den Rippen über die Beplankung in die lastabtragenden Bauteile geleitet werden müssen. Hierfür können Verstärkungen in Form von Schrauben notwendig sein.

Ein wichtiger Aspekt bei der Planung des Auflagers ist, dass die Tragschale nicht aufliegt, um Kräfte zu übertragen. Aufgrund des abstandhaltenden Dämmstreifens zwischen Holz und Stahlblech würde es zu Verformungen und Pressungen in den Deckenelementen kommen.



Konstruktive Ausbildung

Der Einsatz des Deckensystems ist projektabhängig und kann an die Gegebenheiten angepasst werden. Mit 4 Leit-details sollen Einsatz- und Ausführungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Bei der Ausarbeitung der Darstellungen wurde darauf geachtet, dass diese Details unterschiedliche Lösungskombinationen hinsichtlich Wand-, Auflager-, Fußbodenkonstruktion und Deckenuntersicht widerspiegeln. Ebenso wurde ein möglichst hoher Vorfertigungsgrad der Bauteile angestrebt.

Detail 01	Detail 02	Detail 03	Detail 04
<p>Referenz: Illwerke Zentrum, Montafon</p>	<p>Referenz: Nudge, Paris</p>	<p>Außenwand: CLT- Konstruktion mit Gipskarton- Vorsatzschale Deckenaufleger über, an die Rippen angepasste, Ausschnitte</p> <p>Deckenuntersicht: abgehängte Gipskartondecke mit Installationszone</p> <p>Fußbodenaufbau: Trockenestrich</p> <p>Mittelaufleger: als BSH- Träger Deckenelemente liegen mit der oberseitigen Beplankung auf dem Träger auf</p>	<p>Außenwand: CLT- Konstruktion mit Sichtoberfläche Deckenaufleger mittels im Werk montiertem Randträger</p> <p>Deckenuntersicht: Tragschale der Deckenkonstruktion sichtbar Installationen in Hohlräumen möglich</p> <p>Fußbodenaufbau: Nassestrich</p> <p>Mittelaufleger: als CLT- Trennwände mit beidseitiger Vorsatzschale Deckenelemente liegen mittels Randträger auf</p>
<p>Außenwand: Rahmenbauwand mit teilweise sichtbaren BSH- Stützen Deckenaufleger über oberseitige Beplankung auf Randträger (bauseits versetzt)</p> <p>Deckenuntersicht: Gipskarton- Platten direkt auf Tragschale geschraubt Installationen in Hohlräumen möglich</p> <p>Fußbodenaufbau: Nassestrich</p> <p>Mittelaufleger: Stahlträger mit breiteren unterem Flansch Deckenelemente liegen über Rippen auf den Flanschen auf</p>	<p>Außenwand: Rahmenbauwand mit integrierten BSH- Stützen Deckenaufleger mittels im Werk montiertem Randträger</p> <p>Deckenuntersicht: Gipskarton- Platten direkt auf Tragschale geschraubt Installationen in Hohlräumen möglich</p> <p>Fußbodenaufbau: Nassestrich laut Ausschreibung</p> <p>Mittelaufleger: Holz- Verbundträger bestehend aus BSH und IPE 240 Deckenelemente liegen mit der oberseitigen Beplankung auf dem Träger auf</p>		

Abb. 10.196 Übersichtstabelle der Detailkonzeptionen

DETAIL 01

Die **Außenwandkonstruktion** besteht aus einem massiven CLT- Element mit hinterlüfteter Fassade. Diese soll bereits im Werk auf die CLT- Platte montiert werden. Die raumseitige Vorsatzschale inklusive Installationen wird bauseits hergestellt.

Die CLT- Wände verfügen über Ausschnitte, in welche auf der Baustelle die Rippendeckenelemente eingesetzt werden. Diese liegen auf den LVL- Rippen und der oberseitigen Beplankung auf. Die Tragschale endet vor dem Auflager, um Verformungen, welche durch Pressung der Dämmung entstehen würden, zu vermeiden.

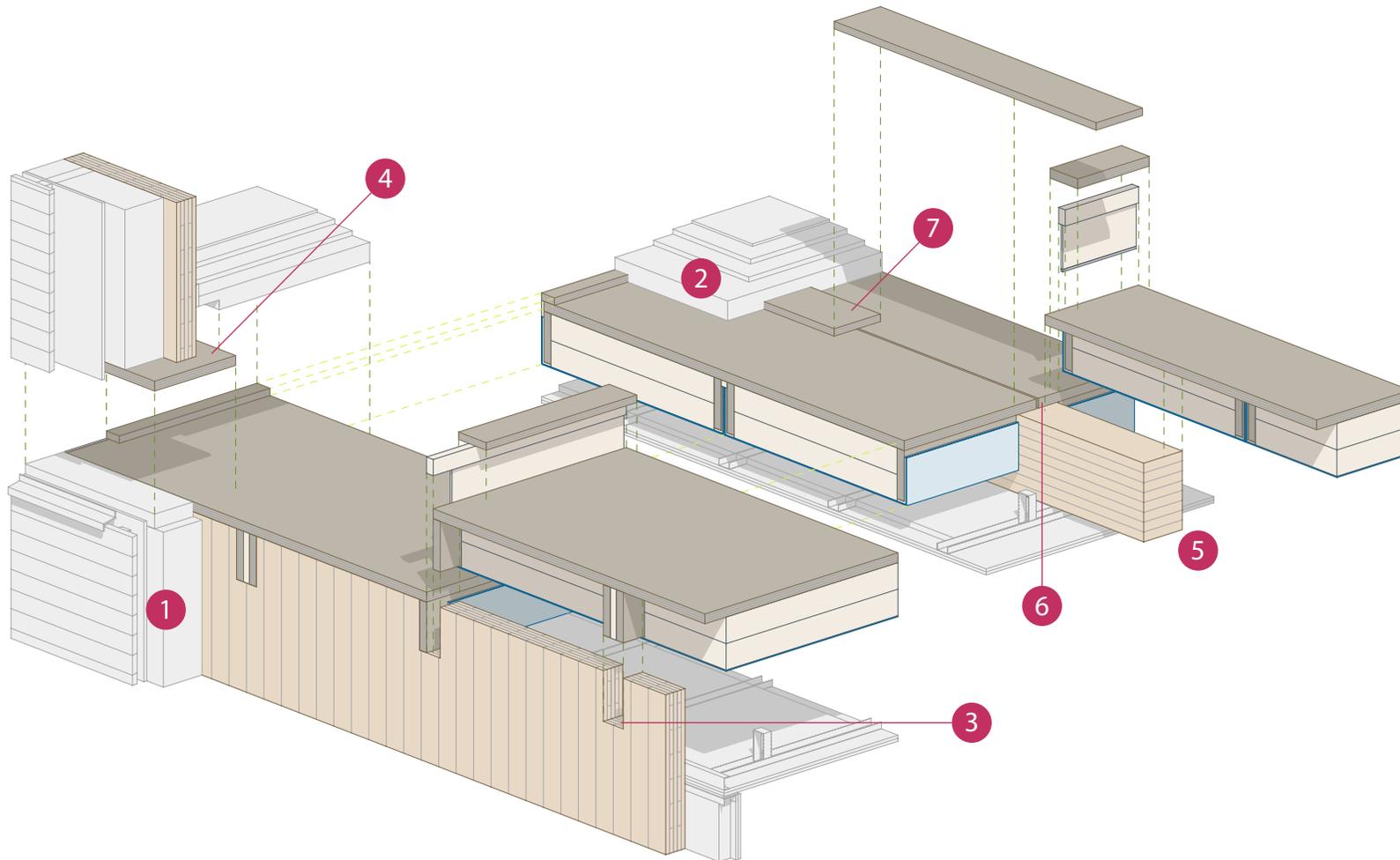
Zwischen den Deckenelementen werden Dichtungsbänder und Dämmstoffelemente eingelegt. Die Einzelbauteile werden über oberseitige Bretter miteinander verbunden. Das darauf folgende Wandelement verfügt wiederum über die im Werk vorgefertigte Fassade. Am Fuß ist eine Schwelle situiert, über welche die Bauteile besser miteinander verbunden werden können.

Im Bereich des **Mittelauflegers** wird die Möglichkeit der Auflagerung auf einem BSH- Träger dargestellt. Dabei liegen die Deckenelemente mit der Beplankung auf dem Balken auf und ein oberseitiges, verschraubtes Brett verbindet diese.

Der **Fußbodenaufbau** ist als Trockenkonstruktion dargestellt, da eine solche Lösung den rascheren Baufortschritt im Holzbau unterstützt.

Die **Deckenuntersicht** bildet eine abgehängte Deckenkonstruktion, die das Verkleiden des BSH- Trägers ermöglicht. Bei Gebäuden mit öfterer Nutzungsänderung bietet diese Lösung einfachen Zugang sowie Adaptierbarkeit der Haustechnik.

Abb. 10.197 Detail 01 (Axonometrie)

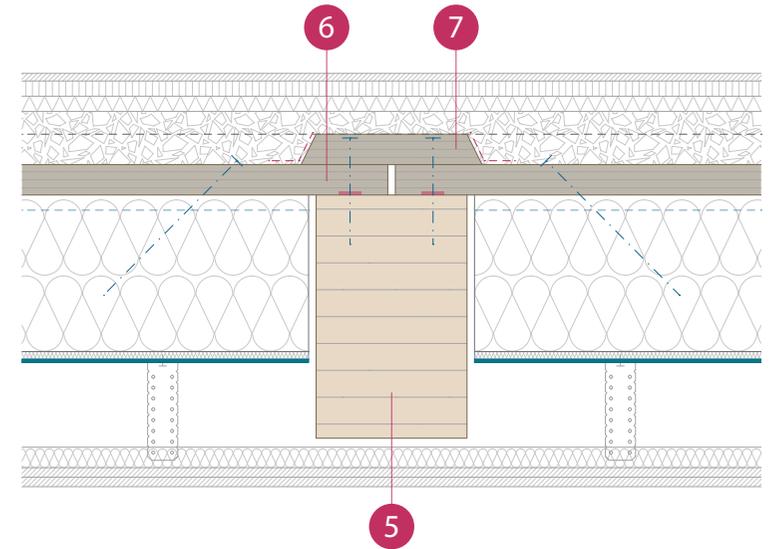
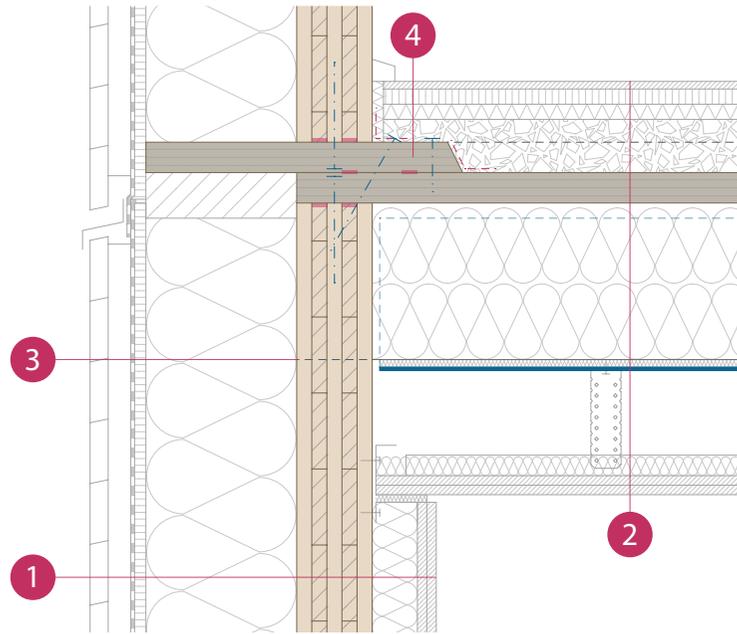


10

ENTWURF FÜR EINE HOLZ-STAHL DECKENKONSTRUKTION

Abb. 10.198 Detail 01 -
Auflager Außenwand (Vertikal-
schnitt)

Abb. 10.199 Detail 01 -
Auflager Mittelträger (Vertikal-
schnitt)



- 1 2,4 cm Verkleidung
3,0 cm Lattung
Windbremse
1,5 cm Spanplatte
18 cm Mineralwolldämmung
zwischen Konstruktionsholz
12,0 cm CLT- Wandelement
Vorsatzschale (bauseits) aus
7,0 cm Holzkonstruktion
ausgedämmt
2x 1,25 cm Gipskarton

- 2 12,0 cm Fußbodenaufbau als
Trockenestrich:
1,0 cm Belag
2,0 cm Trockenestrich
2,0 cm Holzfaserdämmplatte
7,0 cm CW 2000 (zement-
gebundene Holzspäne) mit
Verbundbretterlage
4,0 cm LVL- Beplankung
20,6 cm LVL- Rippen (ausge-
dämmt)
1,0 cm Mineralwolle
0,4 cm Stahlblech Tragschale
abgehängte Gipskarton-
decke mit Installationszone

- 3 Ausschnitt in CLT- Tafel als
Rippenaufleger
- 4 Fußschwelle zur Verbindung
der Konstruktionselemente
- 5 BSH- Träger als Mittelauf-
lager (verkleidet durch
abgehängte Decke)
- 6 Auflager der Deckenele-
mente durch oberseitige
Beplankung

- 7 oberseitiges Brett zur
Verbindung der Deckenele-
mente mittels Schrauben in
Schüttung eingelegt

Die **Außenwandelemente** sind mit der Fassadenkonstruktion vorgefertigt, welche bis an die Oberkante der später folgenden Deckenkonstruktion reicht. Die CLT- Tafeln sind im Bereich der späteren Rippeneinfassungen ausgeschnitten, wodurch diese passgenau eingelegt werden können. Die Fugen werden mittels Dichtbändern ausgeführt. Das darauffolgende Wandelement ist so ausgeführt, das die Schwelle zur mechanischen Verbindung herangezogen wird, aber gleichzeitig den unteren Abschluss der Dämmebene schafft.

Im Bereich des **Mittelauflegers** ist ein BSH- Träger mit Rechteckquerschnitt vorgesehen. Die Deckenelemente werden über ihre Beplankungen aufgelagert. Verschraubungen im Bereich der Rippen helfen aus den Rippen, über die Beplankung in den Auflagerbereich zu leiten und verhindern ein Versagen der Deckenkonstruktion. Verschraubte oberseitige Bretter bilden die Verbindung der Deckenelemente und sind in die Ebene der Schüttung eingebunden. Die abgehängte Deckenkonstruktion ermöglicht ein Verblenden des höher ausgeführten Deckenträgers. Diese kann mittels Montageelemente und Schnellbohrschrauben auf die Tragschale befestigt werden.

Für den **Fußbodenaufbau**, in Form eines Trockenestrichs, kommt CEMWOOD, eine Trockenschüttung aus mineralisierten Holzspänen zum Einsatz. Durch die Spanform verfügt sie über eine hohe Formstabilität, wirkt wie eine

gebundene Schüttung und kann sofort belastet werden. Auf diese folgen die Trittschalldämmung aus Holzfaserdämmplatten sowie Phonestar Tri- Platten. Bei Letzterem handelt es sich um Platten aus Wellpappe und hochverdichtetem Quarzsand. In Summe stellt dieser Aufbau einen raschen Baufortschritt sicher, vermeidet Austrocknungszeiten, kann sofort belastet werden und ist umweltfreundlicher als konventionelle Fußbodenaufbauten.

DETAIL 02

Die **Außenwandkonstruktion** besteht wie in Detail 01 aus einem massiven CLT- Element mit hinterlüfteter Fassade. Diese soll bereits im Werk auf die CLT- Platte befestigt werden. Raumseitig ist die CLT- Oberfläche in Sichtqualität ausgeführt.

Die Deckenelemente liegen mittels Randträgern und einer Schwelle, welche für die Montage verwendet wird, auf der Oberkante der Wandelemente auf. Sowohl Randträger als auch Schwelle sind bereits im Werk auf das Element montiert worden. Die Tragschale endet wiederum vor dem Auflager, um Verformungen, welche durch Pressung der Dämmung entstehen würden, zu vermeiden.

Zwischen den Deckenelementen werden Dichtungsbänder und Dämmstoffelemente eingelegt. Die Einzelbauteile werden über oberseitige Bretter miteinander verbunden. Das darauf folgende Wandelement verfügt wiederum über die im Werk vorgefertigte Fassade, welche über die Höhe der Deckenkonstruktion nach unten reicht. Am Fuß ist eine Schwelle situiert. Diese verbessert die Möglichkeit des Verbundes der Elemente miteinander.

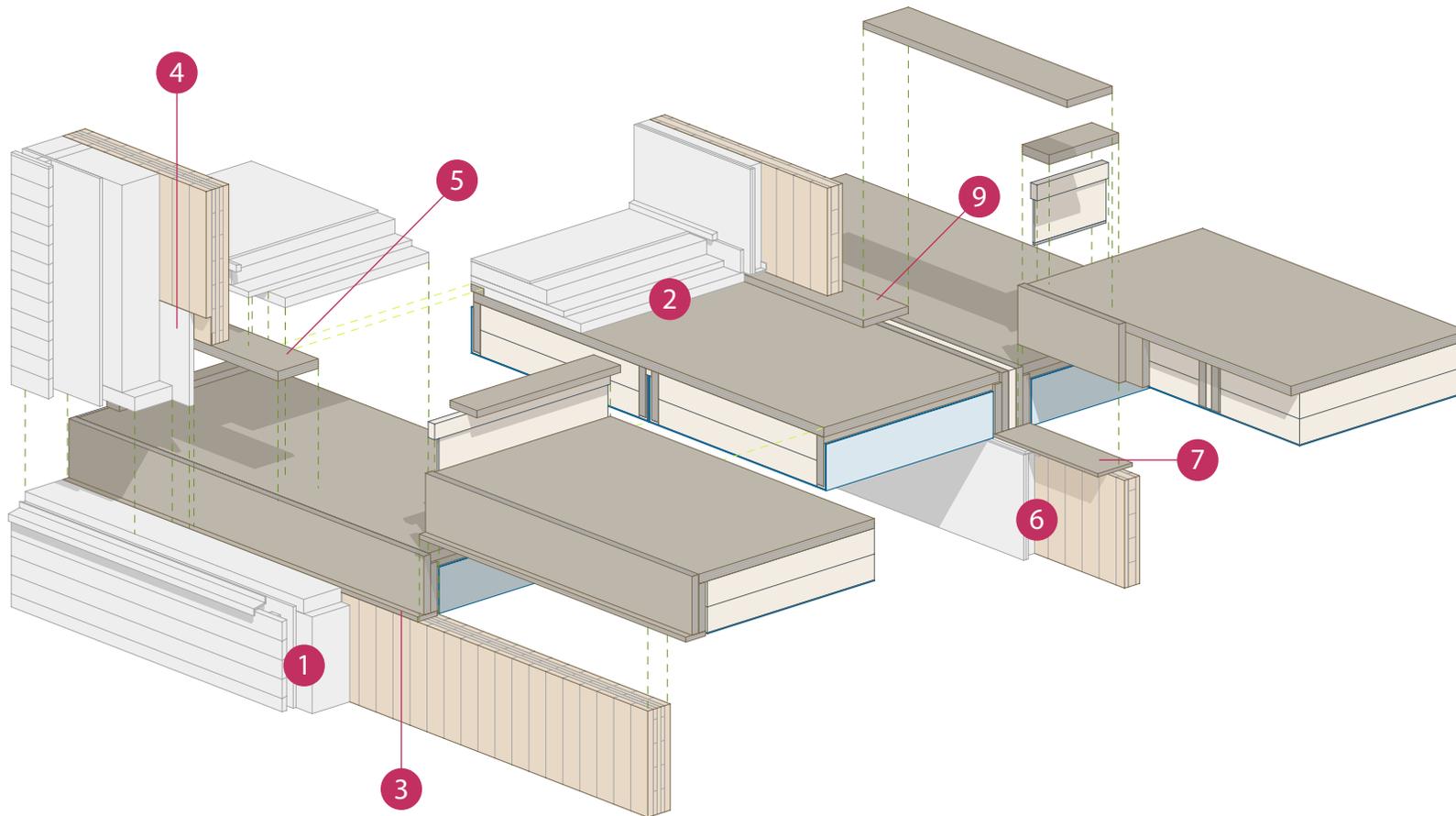
Im Bereich des **Mittelauflegers** wird die Möglichkeit der Auflagerung auf einer CLT- Trennwand mit beidseitigen Vorsatzschalen aufgezeigt. Wie beim fassadenseitigen Auflager sind Randträger an den Deckenelementen angeordnet. Die Schwelle ist auf die Oberkante der Trennwand

fixiert, wodurch die Deckenelemente über Schrauben von unten fixiert werden können. Verbunden sind die Bretter abschließend über ein oberseitiges Brett, welches bereits im Werk mit dem Wandelement des Obergeschosses verschraubt wurde.

Der **Fußbodenaufbau** ist als konventioneller Nassestrich dargestellt.

Die **Deckenuntersicht** wird in diesem Beispiel über die Tragschale realisiert. Diese kann unterschiedlich behandelt sein, sowie bauphysikalische Aufgaben übernehmen. Sowohl auf die Sichtoberfläche der CLT- Wand sowie jene der Deckenelemente ist im Bauprozess speziell Rücksicht zu nehmen, um Beschädigungen zu verhindern.

Abb. 10.200 Detail 02 (Axonometrie)

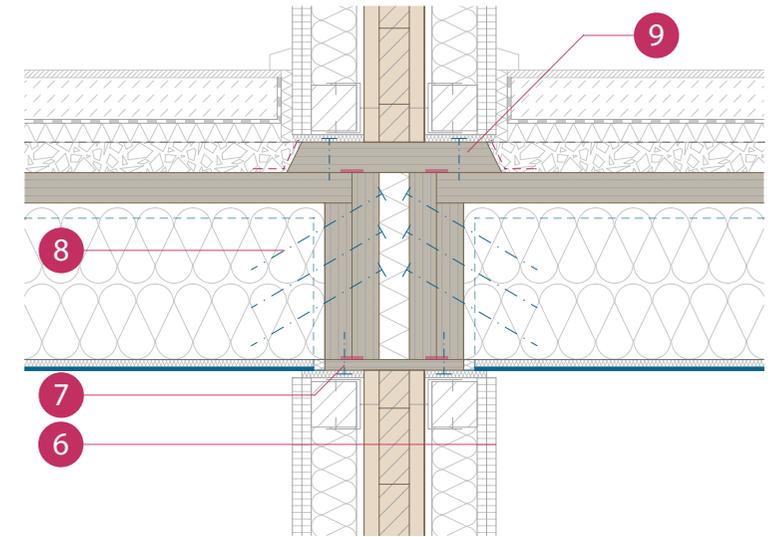
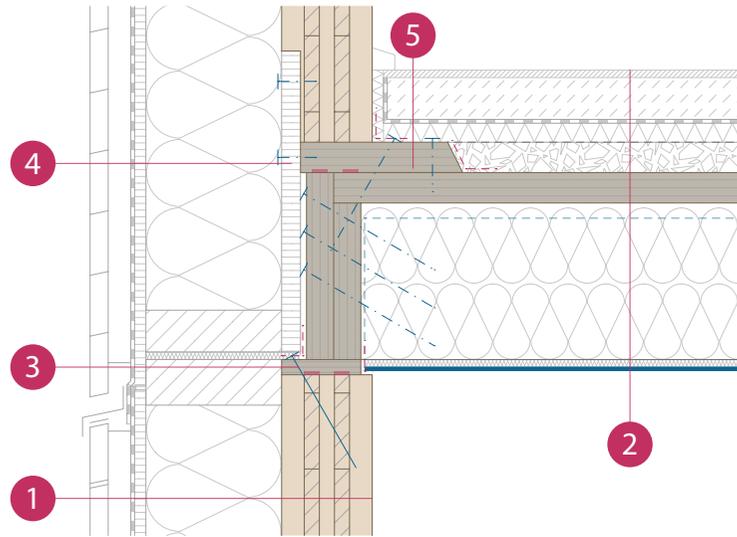


10

ENTWURF FÜR EINE HOLZ-STAHL- DECKENKONSTRUKTION

Abb. 10.201 Detail 02 -
Auflager Außenwand (Vertikal-
schnitt)

Abb. 10.202 Detail 02 -
Auflager Mittelwand (Vertikal-
schnitt)



- 1** 2,4 cm Verkleidung
3,0 cm Lattung
Windbremse
1,5 cm Spanplatte
18 cm Mineralwolldämmung
zwischen Konstruktionsholz
12,0 cm CLT- Wandelement
mit Sichtoberfläche

- 2** 14,5 cm Fußbodenaufbau
mit Zementestrich
Rippendecke mit
4,0 cm LVL- Beplankung
20,6 cm LVL- Rippen (ausge-
dämmt)
1,0 cm Mineralwolle
0,4 cm Stahlblech Tragschale

- 3** Schwelle und Randrippen im
Werk verbunden - Schwelle
zur Verbindung der Decken-
und Wandkonstruktion
- 4** Überdämmung der Decken-
konstruktion mittels oberem
Wandelement

- 5** CLT mit Fußschwelle
verleimt, um Wand- und
Deckenkonstruktion zu
verschrauben

- 6** Gipskartonvorsatzschale aus
2x 1,25 cm Gipskarton
7,0 cm Holzkonstruktion
ausgedämmt
8,0 cm CLT- Wandelement
7,0 cm Holzkonstruktion
ausgedämmt
2x 1,25 cm Gipskarton

- 7** Kopfbrett auf Wandelement
im Werk geleimt, als Auflager
und Verbindung von Wand-
und Deckenkonstruktion

- 8** Randträger im Werk mit
Rippen verschraubt

- 9** Fußschwelle im Werk mit
CLT- Wand verleimt
zur Verbindung des aufge-
setzten Wandelement mit
der Deckenkonstruktion

Die **Außenwandelemente** sind mit der Fassadenkonstruktion vorgefertigt. Auf die Oberkante des CLT- Elements wird die Rippendeckenkonstruktion mittels Fußschwelle aufgesetzt und über Schrauben mit dem Wandelement verbunden. Durch die Schwelle ist die Verbindung einfacher zu realisieren und ermöglicht eine optisch und bauphysikalisch ansprechende Ecklösung.

Das darauffolgende Wandelement ist so ausgeführt, dass die Fassade über die Deckenkonstruktion reicht. Wiederrum wird die Verbindung Wand zu Decke über eine Fußschwelle verbunden. Die Anschlussfugen sind mittels Dicht- und Klebebändern zu verschließen.

Im Bereich des **Mittelauflegers** ist eine Trennwand aus Massivholz mit beidseitigen Vorsatzschalen vorgesehen. Die Vorsatzschalen werden bauseits hergestellt. Auf die CLT Wand ist ein Brett als Auflager für die folgenden Rippendecken vorgesehen. Von unten können über Schrauben die Bauteile miteinander verbunden werden.

Die Verbindung der Deckenelemente erfolgt über oberseitige Bretter die wiederum im Werk auf die CLT- Tafeln geschraubt wurden.

DETAIL 03

Die Ausbildung des Details 03 orientiert sich an den Projektbedingungen und der konstruktiven Ausbildung des **Illwerke Zentrum Montafon**.

Die **Außenwandkonstruktion** besteht aus tragenden Stützen, die mittels Rahmenbauelementen ausgefüllt, und vollständig mit raumseitiger Verkleidung sowie hinterlüfteter Fassade vorgefertigt sind. Die Stützen verfügen über Ausschnitte im Stützenkopfbereich, um als Auflager für die Randträger zu fungieren. Unter der Annahme, dass die Stützen in einem Raster, welcher jenem der Deckenelemente entspricht, angeordnet sind, können Deckenelemente und Randträger vorgefertigt und in einem Arbeitsschritt versetzt werden.

Wiederum lagern die Deckenelemente nicht auf den Tragschalen auf, um Verformungen durch Pressungen zu verhindern und die Einzelbauteile sind im Stoßbereich mit Dichtungsbändern und Dämmstoffelementen ausgefüllt. Die Einzelbauteile werden über oberseitige Bretter miteinander verbunden

Stahlverbindungen stellen die Verbindung der in die Außenwand integrierten Stützen her. Hierfür kann die Verbindung des Brock Common in Vancouver als Referenz dienen, die mittels ineinander greifenden Hüllrohren funktioniert, ohne die Deckenelemente zu belasten und somit

Querpressungen zu erzeugen. Die Deckenelemente werden mit den Stützen auf der Baustelle verschraubt.

Im Bereich des **Mittelauflegers** ist der Stahlträger des Referenzprojektes übernommen worden. Auf den breiteren Untergurt lagern die Deckenelemente auf ihren Rippen auf, ohne die Tragschale zu belasten. Zur Überbrückung des Stahlträgers werden Bretter in eingefräste Fälze in der Beplankung eingesetzt.

Der **Fußbodenaufbau** ist als konventioneller Nassestrich dargestellt.

Die **Deckenuntersicht** bilden Gipskartonplatten, welche direkt auf die Tragschale montiert sind. Im Bereich des Stahlträgers nützen diese dem Brandschutz und sind mit Bewegungsfugen eingebaut.

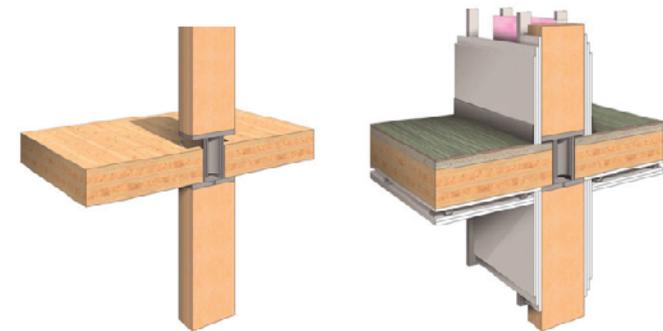
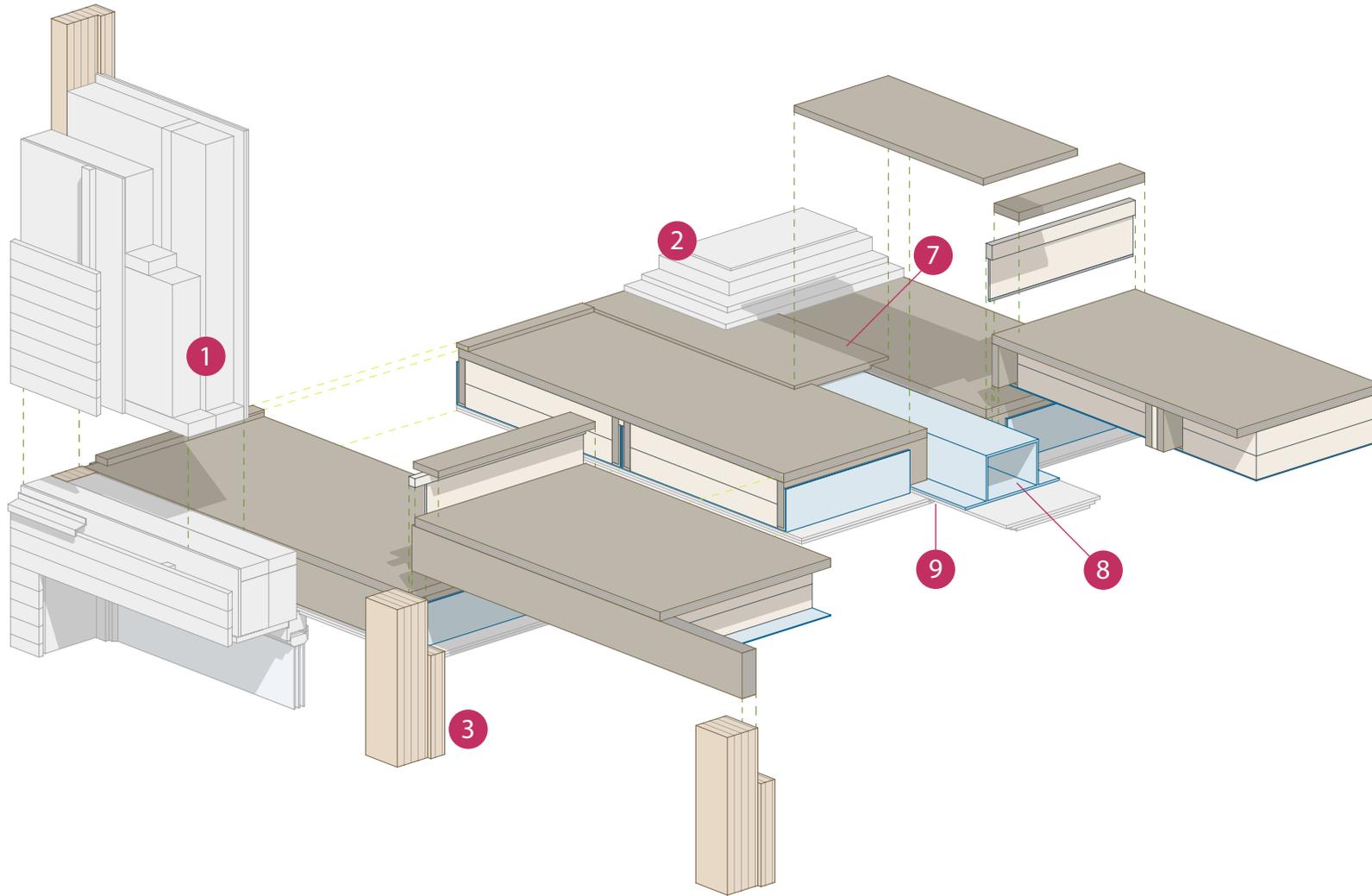


Abb. 10.203 Stützendetail
Brock Common in Vancouver
Bild aus: Mehrgeschossiger
Holzbau Atlas - DETAIL (2017),
S.169

10

ENTWURF FÜR EINE HOLZ- STAHL- DECKENKONSTRUKTION

Abb. 10.204 Detail 03 (Axonometrie)



10

ENTWURF FÜR EINE HOLZ-STAHL DECKENKONSTRUKTION

Abb. 10.205 Detail 03 -
Auflager Außenwand (Vertikal-
schnitt)

Abb. 10.206 Detail 03 -
Auflager Mittelträger (Vertikal-
schnitt)

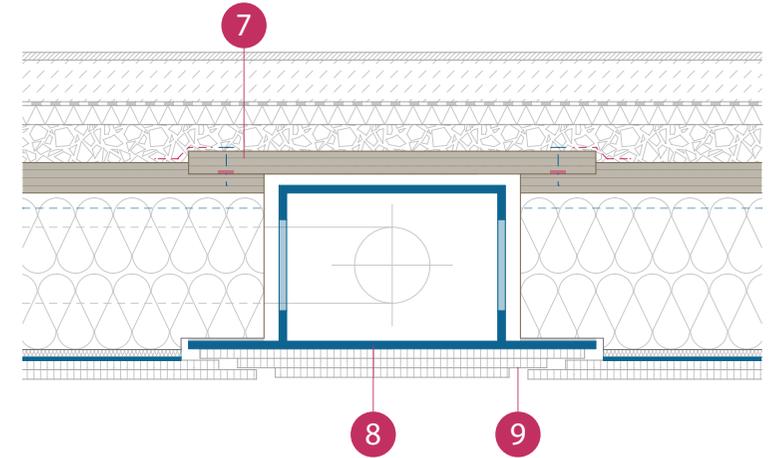
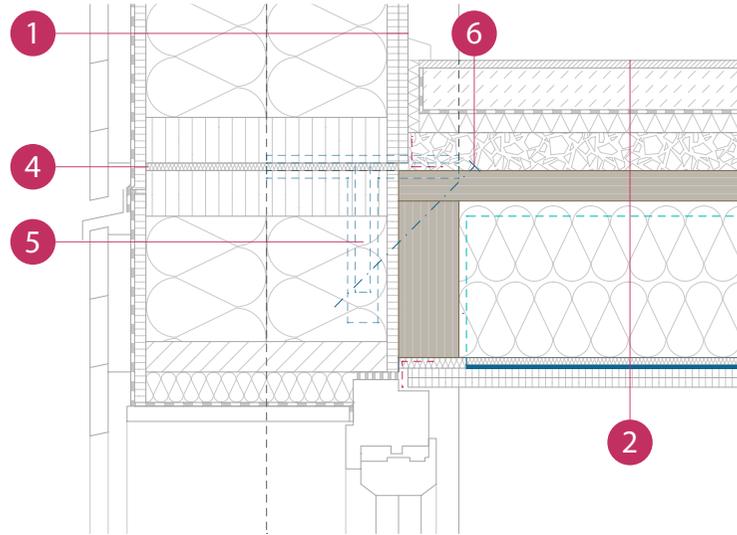
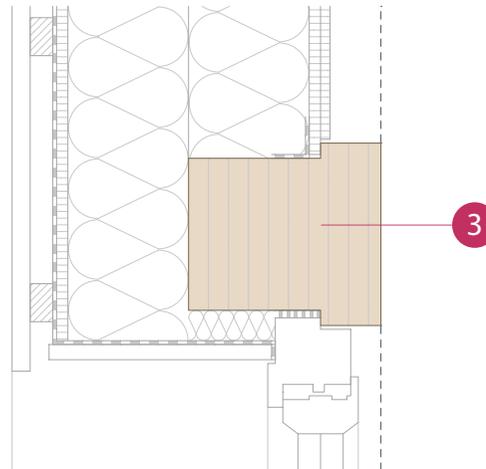


Abb. 10.207 Detail 03 - Außen-
wand (Horizontalschnitt)



- | | |
|---|---|
| <p>1 2,4 cm Verkleidung
3,0 cm Lattung
Windbremse
1,5 cm Spanplatte
2x 16 cm Konstruktionsholz
dazwischen Mineralwolle
1,5 cm OSB (luftdicht
verklebt)
1,25 cm Gipskarton</p> | <p>3 BSH Stütze (h = 26 cm)
mit Fälzen für Anschluss
luftdichte Ebene</p> |
| <p>2 14,5 cm Fußbodenaufbau
mit Zementestrich
Rippendecke mit
4,0 cm LVL- Beplankung
20,6 cm LVL- Rippen (ausge-
dämmt)
1,0 cm Mineralwolle
0,4 cm Stahlblech Tragschale
2x 1,25 cm Gipskarton</p> | <p>4 Bauteilfuge mit Dämmstoff-
einlage, raumseitiges
Klebeband & Überlappung
Windbremse</p> |
| | <p>5 stiftförmige Stahlver-
bindung der BSH- Stützen</p> |
| | <p>6 Verschraubung der Decken-
elemente im Bereich der
Stützen</p> |
| | <p>7 Überbrückung des Stahl-
trägers mittels oberseitigem
Brett</p> |

8 Brandschutzverkleidung aus Gipskarton an der Unterseite des Untergurts

9 Anschluss der Gipskartonverkleidungen über Bewegungsfugen mit Schattennuten

Die BSH- Stützen sind in die **Außenwand** integriert und am Stützenkopf mit einem Ausschnitt als Auflager für die Deckenelemente versehen. Die luftdichte Ebene in Form von verklebten OSB- Platten verlaufen im Bereich des Randträgers der Deckenelemente durch, um aufwändige Anschlüsse auf der Baustelle zu vermeiden.

Die Anschlussfugen zwischen Wände und Decken werden mittels Klebebändern geschlossen. Diese sind durch den Fußbodenaufbau bzw. der Gipskartonbeplankung an der Deckenunterseite verdeckt. Im Bereich der Stoßfuge der Außenwandelemente werden Dämmelemente eingelegt, die Ungenauigkeiten ausgleichen sollen.

Die Stützenverbindung ist so zu gestalten, dass sowohl die Verbindung zwischen den Stützen, als auch das Verschrauben des Deckenelements mit der Stütze auf der Baustelle möglich ist.

Der Stahlträger des **Mittelauflegers** verfügt über einen breiten Untergurt, auf welchen die Rippendeckenelemente aufgesetzt werden. Oberseitige Bretter, welche in über Fälze vertieft eingesetzt werden, überbrücken den Stahlträger und erzeugen eine flächige Beplankung. Die Fugen werden mittels eingelegter Dicht- und Klebebänder verschlossen.

Im Bereich der **Deckenuntersicht** wird eine zweischalige Gipskartondecke angeordnet, die den Brandschutz des Stahlträgers herstellt. Durch eine dreilagige Ausführung im Bereich des Trägers, sowie Bewegungsfugen und Schattennuten, können Verformungen, Bewegungen und anfallende Ungenauigkeiten ausgeglichen werden.

DETAIL 04

Aufgrund der tiefreichenden Behandlung des Projekt „Nudge“ in Paris und der Adaptierung des Tragsystems, lag es nahe, das entwickelte Deckensystem für dieses Projekt ebenso anzuwenden. Daher orientiert sich die Ausbildung des Details 04 an dessen Projekt- und konstruktiven Rahmenbedingungen.

Die **Außenwandkonstruktion** ist ein Rahmenbau, in welchen tragende BSH- Stützen integriert sind. Diese verschwinden in der Wandkonstruktion und sind raumseitig nicht mehr sichtbar. An der Fassade wurde eine hinterlüftete Fassade angenommen. Der Vorfertigungsgrad der Außenwandelemente kann sich über den vollständigen Wandaufbau erstrecken.

Die Stützen verfügen, wie bei Detail 03 über Ausschnitt im Stützenkopfbereich, um als Auflager für die Randträger zu fungieren. Aufgrund der zahlreichen Öffnungen im Architektorentwurf, wurde davon ausgegangen, dass die Stützen nicht im Raster der Deckenelemente angeordnet sind. Dies bedeutet, dass Deckenelemente und Randträger separat versetzt werden. Die Träger können somit unterschiedliche Längen überbrücken.

Wiederum lagern die Deckenelemente nicht auf den Tragschalen auf, um Verformungen durch Pressungen zu verhindern und die Einzelbauteile sind im Stoßbereich mit Dichtungsbändern und Dämmstoffelementen ausgefüllt.

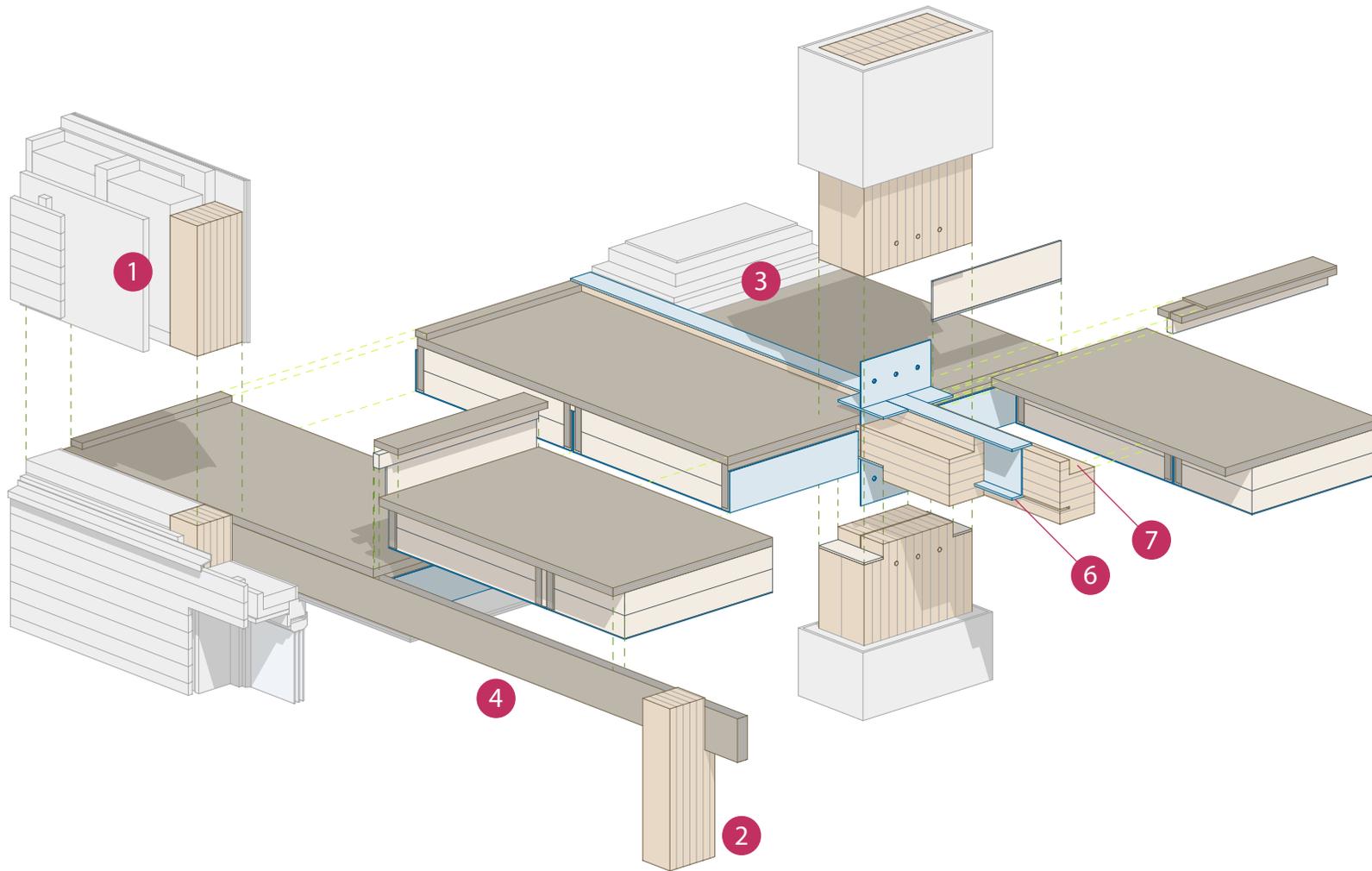
Die Einzelbauteile werden über oberseitige Bretter miteinander verbunden

Die Außenwände werden über die Stützen mithilfe einer Stahlverbindung verbunden. Hierfür kann die Stützenverbindung des Brock Common in Vancouver als Referenz dienen, die mittels ineinandergreifenden Hüllrohren funktioniert, ohne die Deckenelemente zu belasten und somit Querpressungen zu erzeugen. Die Randträger sind mit den Stützen und die Deckenelemente anschließend mit den Randträgern verschraubt.

Im Bereich des **Mittelauflegers** ist der entworfene und im vorangegangenen Kapitel berechnete Holz- Verbundträger übernommen worden. Die Deckenelemente lagern mittels ihrer oberseitigen Beplankungen auf dem BSH- Elementen auf. Rippen und Tragschale enden an den Seitenflächen des Verbundträgers. Im Bereich der Stützen sind die Köpfe so ausgebildet, dass die Stahlverbindung die Kräfte weiterleitet, die Tragschale wiederum nicht belastet wird. Hierfür sind Dämmelemente im Bereich des Stützenkopfs vorgesehen.

Der **Fußbodenaufbau** ist aus der Ausschreibung übernommen worden. Die **Deckenuntersicht** bilden Gipskartonplatten, welche direkt auf die Tragschale montiert sind.

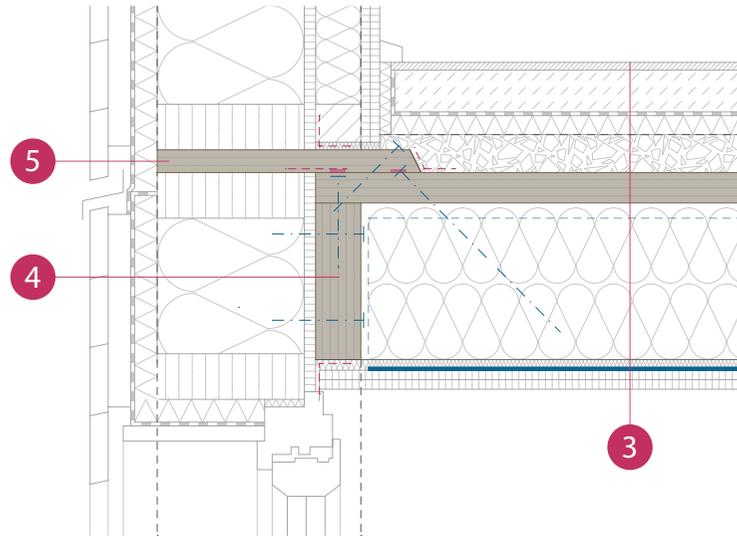
Abb. 10.208 Detail 04 (Axonometrie)



10

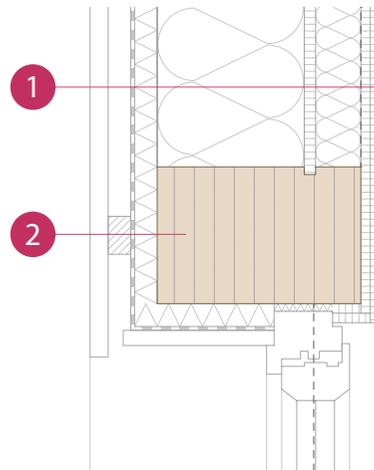
ENTWURF FÜR EINE HOLZ- STAHL DECKENKONSTRUKTION

Abb. 10.209 Detail 04 -
Auflager Außenwand (Vertikal-
schnitt)



- 1 2,4 cm Verkleidung
3,0 cm Lattung
Windbremse
3,0 cm Holzfaserdämm-
platten
20 cm Konstruktionsholz
dazwischen Mineralwolle
1,5 cm OSB (luftdicht
verklebt)
6,0 cm Installationszone mit
Lattung ausgedämmt
2x 1,25 cm Gipskarton
- 2 BSH Stütze 18/28 cm
- 3 14,5 cm Fußbodenaufbau
mit Zementestrich
Rippendecke mit
4,0 cm LVL- Beplankung
20,6 cm LVL- Rippen (ausge-
dämmt)
1,0 cm Mineralwolle
0,4 cm Stahlblech Tragschale
2x 1,25 cm Gipskarton
- 4 Randträger LVL 6/21 cm vor
Ort als Einzelbauteil versetzt
- 5 Fußschwelle LVL zur
Verbindung der Bauteile

Abb. 10.210 Detail 04 - Außen-
wand (Horizontallschnitt)



Die **Außenwände** bestehen aus Rahmenbauelementen, in welche die tragenden BSH- Stützen integriert sind. Im Bereich der Stützenköpfe sind Ausnehmungen ausgeschnitten, in welche die LVL- Träger eingelegt und anschließend mit den Stützen verschraubt sind. Die Randträger stellen Einzelelemente dar, welche nicht im Werk an die Deckenelemente montiert sind. Somit kann der Stützenraster von jenem der Deckenkonstruktion abweichen. Nach dem Auflegen der Deckenelemente über die oberseitige Beplankung werden die Wandelemente des darauf folgenden Geschosses versetzt und über die Fußschwellen verbunden.

Die **Holz- Stahl Verbundmittelträger** liegen auf BSH- Stüt-

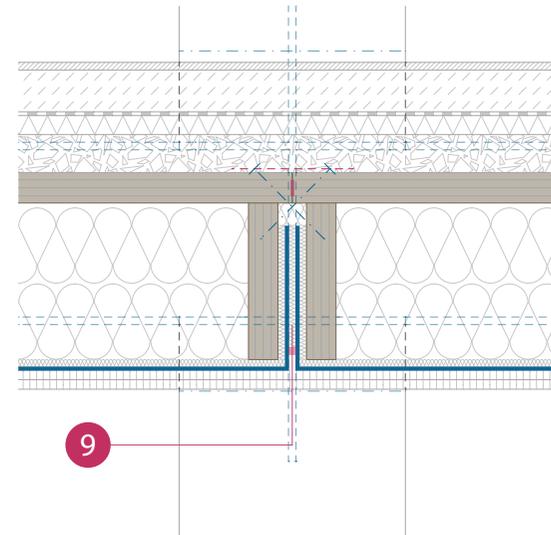
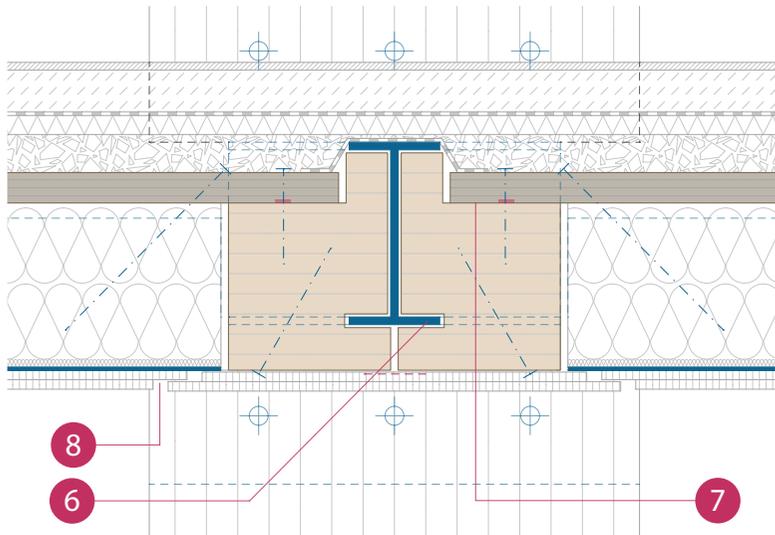


Abb. 10.211 Detail 04 -
Auflager Mittelträger (Vertikal-
schnitt durch Mittelträger)
Abb. 10.212 Detail 04 -
Auflager Mittelträger (Vertikal-
schnitt durch Elementstoß
Rippendecke)

zen auf. Dieser Knotenpunkt, wo Deckenelemente, Mittelträger und Stützen aufeinandertreffen, ist von besonderer Beachtung.

Das Auflager im Bereich der BSH- Stütze ist so konstruiert, dass die Stahlblech- Tragschale bis an die Seitenfläche des BSH- Elements reicht. Hierfür sind seitliche Ausschnitte des Stützenkopfs erforderlich.

Über eine Stahlverbindung werden die vertikalen Lasten der Stützen weitergeleitet, ohne dass die Deckenelemente belastet sind.

Die Auflagerung der Deckenelemente erfolgt über die oberseitige Beplankung. Zusätzlich sind Verschraubungen in den Deckenelementen und Verbundträger zur Verbesserung der Tragfähigkeit angeordnet.

6 Holz- Stahl Verbundträger bestehend aus IPE 240 und BSH- Seitenelementen

7 Auflager der Deckenkonstruktion über oberseitige Beplankung

8 Bewegungsfugen und Schattennut in der Deckenuntersicht

9 Integration des Stützenauflagers zwischen die Deckenelemente

Die **Deckenuntersicht** erfolgt durch Gipskartonplatten, welche direkt auf die Tragschalen sowie die Träger geschraubt sind. Mittels Schattennut und Bewegungsfugen wird der Übergang zwischen Deckenkonstruktion und Träger erreicht.

Der **Fußbodenaufbau** ist mit seiner Konstruktion aus der Ausschreibung übernommen worden.

10.9.RÜCKBAU UND RECYCLING

Rückbaupotenzial

Mit Holz und Stahl werden zwei Materialien verwendet, die sehr gute Eigenschaften hinsichtlich Rückbau und Recycling aufweisen.

Furnierschichtholz besteht mit Holz aus einem natürlich wachsenden Material. Die Verarbeitung zu Furnierschichtholz benötigt Energie, aber nach der erstmaligen Verwendung können die Bauteile zu einem anderen Produkt weiterverarbeitet werden. Diese Kaskadennutzung ist für die Umwelt sehr schonend und ressourcensparend.

Die Verleimung der Elemente untereinander stellt dabei keine Einschränkung dar.

Stahl benötigt in der Herstellung viel Energie, zeichnet sich allerdings durch seinen hohen Recyclinggrad aus. Somit kann das Material nach dem Rückbau eingeschmolzen und wiederverwendet werden.

Die Verbindung zwischen Furnierschichtholz und Tragschale sollte mechanisch erfolgen. Somit ist eine leichte, spätere Trennung wieder möglich und die Baustoffe können separat recycelt und wiederverwendet werden.

Um diese Trennbarkeit ebenso zwischen Mineralwolle und Tragschale zu gewährleisten, ist darauf zu achten, möglichst den Einsatz von Klebeverbindungen zu reduzieren.

Hierfür ist im erstmaligen Herstellungsprozess zu untersuchen, in wie weit die Lage und Formstabilität der Dämmung ohne den Einsatz von Klebern gegeben bleibt.

Sämtliche Verbindungen auf der Baustelle, seien es jene mit den Mittelauflagern oder Außenwandkonstruktionen, erfolgen über trennbare Verbindungen und ermöglichen einen einfachen Rückbau.

10.10. VERWENDUNG VON TRAGSCHALEN AUS DÜNNBLECH

Tragwerkstechnische Auswirkungen

Nach dem Gespräch mit Herrn Silbernagel ist die Überlegung entstanden, anstatt einer Blechdicken von 3mm, aus ausführungstechnischen Gründen Dünobleche mit einer Materialstärke von 1,5mm zu verwenden.

Für die konstruktive Ausbildung ergeben sich dadurch keinerlei Veränderungen. Die Details können ebenso wie zuvor dargestellt ausgeführt werden.

Tragwerkstechnisch verändern sich die Querschnittswerte und somit die durchgeführten Bemessungen. Diese wurden adaptiert, um die Auswirkungen abschätzen zu können. Die Ergebnisse sind in der angefügten Tabelle gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Konstruktionshöhe in nahezu allen Fällen erhöht werden muss, um die Grenzwerte einzuhalten. Der Rippenabstand wurde dabei nicht verändert, womit noch Spielraum besteht die Einwirkungen und Abmessungen der Bauteile zu reduzieren.

	Blechdicke 3-5mm				Blechdicke 1,5mm			
	l = 6,5 m	l = 8,0 m	l = 10,0 m	l = 12,0 m	l = 6,5 m	l = 8,0 m	l = 10,0 m	l = 12,0 m
max. M_{Ed}	46,16 kNm	69,93 kNm	109,27 kNm	157,34 kNm	46,16 kNm	69,93 kNm	109,27 kNm	157,34 kNm
max. V_{Ed}	28,41 kN	34,97 kN	43,71 kN	52,45 kN	28,41 kN	34,97 kN	43,71 kN	52,45 kN
Konstruktionshöhe	22 cm	26 cm	28 cm	30 cm	22 cm	27 cm	34 cm	41 cm
Beplankung LVL h_{h1}	4,5 cm	4,5 cm	4,8 cm	5,4 cm	4,2 cm	4,2 cm	4,5 cm	4,5 cm
Rippe LVL b_{h2} / h_{h2}	3,9 / 16,2 cm	3,9 / 20,2 cm	4,2 / 17,9 cm	4,5 / 19,2 cm	4,2 / 12,5 cm	4,2 / 17,8 cm	4,2 / 23,9 cm	4,5 / 30,9 cm
Untergurt LVL b_{h4} / h_{h3}			8,0 / 3,9 cm	10,0 / 3,9 cm	13,0 / 4,2 cm	10,0 / 3,9 cm	25,0 / 4,5 cm	25,0 / 4,5 cm
Stahlblechschale $b_s / h_{s1} / t_s$	105 / 15 cm 0,3 cm	105 / 19 cm 0,3 cm	105 / 20 cm 0,4 cm	105 / 22 cm 0,5 cm	105 / 15 cm 0,15 cm	105 / 20 cm 0,15 cm	105 / 27 cm 0,15 cm	105 / 34 cm 0,15 cm
ULS $t = \infty$ maßgebend: σ_{idu}	19,8 N/mm ² 93 %	19,8 N/mm ² 93 %	19,2 N/mm ² 90 %	20,1 N/mm ² 94 %	16,8 N/mm ² 79 %	19,0 N/mm ² 90 %	11,5 N/mm ² 54 %	20,1 N/mm ² 54 %
SLS $t = 0$ $w_{int} (l/400)$	10,6 mm 65 %	13,3 mm 66 %	20,7 mm 83 %	29,6 mm 99 %	16,0 mm 99 %	19,5 mm 98 %	23,2 mm 93 %	29,7 mm 99 %

Abb. 10.213 Vorbemessung der Deckenkonstruktion für unterschiedliche Spannweiten und die Auswirkungen geringerer Blechdicken

11. PRAXIS REPORT

Im Laufe der Erarbeitung der Diplomarbeit wurde immer wieder darauf geachtet vermehrt Bezug zur ausführenden Seite zu nehmen.

Hierfür wurde ein Gespräch mit zwei ausführenden Unternehmen gesucht, die die Gewerke Holzbau bzw. Metalltechnik abdecken. Diese wurden kurz vor Fertigstellung der Arbeit geführt, wodurch auf sämtliche Inhalte eingegangen werden konnte.

Zusammenfassung und Wissen aus dem Gespräch mit Herrn Bernhart Diesner, Geschäftsführer der Bernhart Diesner Holzbau GmbH vom 30.10.2018

11.1.HOLZBAU - BERNHART DIESNER

Seitens des Holzbaus konnte ich mit Herrn Bernhart Diesner einen Zimmermeister finden, der sich dankenswerterweise für ein ausführliches Gespräch Zeit nahm.

Vermehrt wurde auf die Holz- Stahl Verbundkonstruktionen sowie den Entwurf der Deckenkonstruktion eingegangen.

Entwurfsdeckenkonstruktion - Haustechnik

Die Zusammensetzungen der Bauteile aus Holz- Stahl Verbundkonstruktionen erweckten das Interesse des Fachmanns. Die Entwurfskonstruktion sah er als innovativen Ansatz im Holzbau, wobei sein Unternehmen sich im Bereich der Wandkonstruktionen spezialisiert hat. Dies hat zunehmend mit der Haustechnik zu tun, welche über die Jahre markant zunimmt und sein Betrieb daher CLT-Deckenelemente einsetzt, auf welche in weiterer Folge die Haustechnik- Gewerke ihre Leistungen erbringen können. Aus diesem Grund lobte Herr Diesner den Ansatz die Haustechnik in die Deckenkonstruktion zu integrieren, somit könnten auch Trockenestriche herstellbar sein. Die Reduzierung der Gesamtkonstruktionshöhe ist für ihn sehr wichtig, um mit den vergleichsweise dünnen Deckenstärken der Massivkonstruktionen konkurrieren zu können.

Das Holzbauunternehmen stellt bei Außenwandkonstruktionen meist die Wände inklusive raumseitiger Beplankung im Werk fertig. Dies bedeutet gleichzeitig, dass sie die Leitungen verlegen bzw. Auslässe für andere Gewerke

ebenso berücksichtigen müssen. Bei Wandkonstruktionen ist dies einfacher möglich, da diese hauptsächlich einen Raum versorgen und der Großteil Leerverrohrung für die Elektrik umfasst.

Hingegen sieht Herr Diesner die Problematik bei Deckenkonstruktionen, dass diese mehrere Räume oder sogar Wohnungen abdecken. Somit ist die Führung aufwändiger und umfangreicher. Dass der Holzbauer im Werk diese vielen Leitungen, Rohre, etc. vorfertigt, sieht der Gesprächspartner nicht als Option. Ebenso glaubt er nicht daran, dass die Firmen in die Werkshallen kommen würden, um diese einzubauen, da dies erhöhte Kosten verursachen würde. Eine Integration der Haustechnik in die offenen Hohlräume auf der Baustelle ist für ihn vorstellbar.

Entwurfsdeckenkonstruktion - Vorfertigung

Dass Holzbaufirmen Komponenten von anderen Betrieben zukaufen, ist für Bernhart Diesner bereits weitreichend etabliert, da diese einsehen, dass sie konkurrenzfähiger sind, wenn sie günstigere Leistungen beanspruchen.

Den Herstellungsprozess kann sich der Holzfachmann auf die zuvor dargestellte Art und Weise vorstellen. Für eine Etablierung bedarf es aus seiner Sicht einen Produzenten, der an das System glaubt und die Stahlblechschalen in einem standardisierten Prozess und größerer Stückzahl anfertigt. Somit könnte der Preis gedrückt, Erfahrungen gesammelt und sich Wirtschaftlichkeit ergeben.

Entwurfsdeckenkonstruktion - Stahlblechschale

Hinsichtlich der Anwendung der Stahlblechschale gibt es keine Bedenken. Die Überlegung, dass die Schale sichtbar, oder direkt als Unterkonstruktion für eine Deckenuntersicht dient, sieht Herr Diesner je nach Nutzung des Projekts sinnvoll. Beispielsweise bei Hallen oder auch in Nebenräume könnte er sich die Stahlblechuntersicht vorstellen.

Wirtschaften von kleineren Betrieben

Ein Grundgedanke zu Beginn dieser Arbeit war, dass durch die Splittung der Holzbauleistungen und der Zusammenarbeit von mehreren Unternehmen, kleinere Betriebe bei größeren Projekten zum Zug kommen. Dies würde gleichzeitig den Markt an potenziellen ausführenden Firmen vergrößern und den Markt antreiben.

Für Herrn Diesner ist es wichtig einen Projektpartner an seiner Seite zu haben, mit dem die Zusammenarbeit funktioniert. Diese positive Erfahrung hat er in den letzten Jahren gemacht und kann sogar ein Beispiel dafür liefern, dass er eine Arbeitsgemeinschaft im Holzbau gebildet hat. In dieser erfüllte sein Betrieb die Leistung der Wandkonstruktionen und der Kooperationspartner stellte die Deckenkonstruktionen zur Verfügung.

„Jeder soll sich darauf spezialisieren, was er am besten kann.“ Dieses Zitat ist der Grund für die Spezialisierung seines Unternehmens, mit welchem er sehr gut wirtschaftet und hochwertige Leistungen erbringen kann.

Vergabe von Leistungen und Generalunternehmer

Dass die späte Vergabe der Leistungen oftmals problematisch ist, bestätigt Herr Diesner. Dass der Holzbau eine andere Planung als das konventionelle Bauen benötigt, ist natürlich. Er kann am etablierten Vergabemodell wenig ändern, wobei er aber versucht, bei für sein Unternehmen geeigneten Projekten, durch eine frühzeitige Legung eines Angebots, den Holzbau ins Gespräch zu bringen.

Oftmals ist es aber schwer möglich dem Preisdruck, welcher von vielen Genossenschaften kommt, gerecht zu werden und gegenüber dem konventionellen Bauen ein günstigeres Angebot zu legen.

Als Generalunternehmer tritt die Bernhart Diesner GmbH bei manchen Projekten auf. Diese sind in einer Größenordnung von 12 Einfamilienhäusern. Vorteil dabei ist, dass somit die Subunternehmen von der Holzbauseite ausgewählt werden können, und Firmen heranziehbar sind, wo man von einer guten Zusammenarbeit ausgehen kann.

Conclusio

Das Gespräch erwies sich als sehr aufschlussreich, hat vieles des Erarbeiteten bestätigt und unterstrichen, sowie neue Eindrücke gebracht. Vielen Dank an Herrn Bernhart Diesner für die Zeit die er sich genommen hat und das umfangreiche übermittelte Fachwissen.

11.2.SILBERNAGEL METALLTECHNIK

Herr Stefan Silbernagel von Silbernagel Metalltechnik hat sich dankenswerterweise für ein Gespräch, über das entworfene Deckensystem, Zeit genommen.

Wirtschaftlichkeit

Für mich war die zentrale Frage, wie und ab wann man die Produktion der Tragschalen wirtschaftlich gestalten kann. Herr Silbernagel bestätigte, dass die Stückanzahl eine zentrale Rolle. Zusätzlich gab er zu bedenken, dass die Verwendung von Standardrohelemente bei der angenommenen Blechdicke von 3mm, die weiter bearbeitet werden, preissenkend wirken würde. Diese sind aber in ihrer Abmessung auf 3 bis 4m Länge begrenzt. Ebenso spielt der Maschinenpark der Unternehmen eine Rolle. Die Frage ist, wie viele Produzenten in der Lage sind, solche langen Elemente zu Formen.

Seine Empfehlung war, wenn es tragwerkstechnische möglich ist, die Materialstärke auf 1 bis 1,5mm zu senken. Dies sind Blechdicken die Spenglerbetriebe verarbeiten, leichter geformt werden können und in ihren Abmessungen weniger eingeschränkt sind.

Herr Silbernagel sieht es ähnlich wie Herr Diesner, dass es am wirtschaftlichsten sein würde, wenn ein großer Produzent die Elemente herstellt, hierfür bereits Formate vorgibt und diese anschließend von den Holzbaubetrieben zugekauft werden.

Ausführung der Profile

Die Tragschalen könnten zur Verbesserung ihrer Steifigkeit mit einer Profilierung ausgestattet sein. In der Praxis sind die zuvor dargestellten Profilierungen bei einer Blechdicken von 3mm solche Biegeradien nicht realisierbar sind. Herr Silbernagel erklärte mir, dass aufgrund der Materialstärke größere Abwicklungen entstehen und somit solche kleine Kantungen nicht möglich sind und grundsätzlich von der Profilierung aus Kostengründen abrät.

Anders würde dies wiederum bei der Verwendung eines dünneren Materials aussehen. Alternativen für eine zusätzliche Steifigkeit bei einer Materialstärke von 3mm sieht er durch das Einschweißen von zusätzlichen Profilen auf der Innenseite oder mittels Hochhängen der Schalen über Bolzen in die Holzkonstruktion, wobei all diese Lösungen aufgrund ihres Aufwands eher unwirtschaftlich sein würden.

Empfehlung

Den Konstruktionsansatz sah Herr Silbernagel sehr interessant und kann sich diese Konstruktion auch gut vorstellen. Seine Empfehlung lag darin zu versuchen, die Blechdicken so zu reduzieren, dass 1 bis 1,5mm Materialstärke ausreichen würden.

Diesem Feedback wurde kurzerhand in einem zusätzlichen Unterkapitel im Abschnitt „Entwurf für eine Holz-Stahl Deckenkonstruktion“ nachgegangen.

12. CONCLUSIO

Neun Monate Arbeit stecken in dieser Arbeit und sollen abschließend analysiert und ein Resümee gezogen werden.

12.1. RÜCKBLICK & FAZIT

Professor Winter erklärte sich im September 2017 bereit, mich bei der Erarbeitung meiner Diplomarbeit im Bereich des Holzbaus zu unterstützen.

Nach Ablegen der letzten Lehrveranstaltungen stand im Februar 2018 ein Treffen an, bei dem Themen und Interessen abgewogen wurden.

Im März wurde die Arbeit mit dem Titel: „Vorgefertigtes Deckensystem in Holz- Verbundbauweise - Fokus: Anwendungsunterlagen für Planer und Ausführende“ titulierte.

Dieser beinhaltet die wichtigsten Keypoints, wobei noch nicht genau klar war, welches Ergebnis die Arbeit bringen wird. Feststand, dass **ein offenes Bausystems, welches aus Holz- Stahl Verbund vorgefertigt ist**, das zentrale Thema bildet. Die Arbeit soll Planern und Ausführenden eine Grundlage für einen möglichen Einsatz bieten und eine Basis bilden, auf welcher Deckenkonstruktionen aus Holz- und Stahlelementen erstellt werden können.

Der Systemgedanke spielte dabei eine zentrale Rolle, weshalb untersucht wurde, wie Bauen mit System funktionieren kann und welche historischen Meilensteine und Entwicklungen es gegeben hat und heutzutage gibt.

Der Übergang zu den Deckenkonstruktionen erfolgte, indem innovative Deckensysteme gesucht, aufgelistet und analysiert wurden. Hierfür bestand der Bedarf nach Fachwissen zu Materialien, tragwerkstechnischen sowie bauphysikalischen Aspekten.

Neben Konstruktionen, die ausschließlich auf Holz setzen, sind ebenso Systeme entdeckt worden, die als Hybridbauweise ausgeführt sind.

Das Thema der Entwicklung von Anwendungsunterlagen konnte in diesem Schritt mitbearbeitet werden. Die Hersteller müssen mittels dieser ihre Produkte präsentieren und bewerben. Dabei wurde auf den Aufbau und Zweck, den Inhalt sowie die Darstellungen geachtet.

Mit dem **Projekt „Nudge“ in Paris** stellte mir Herr Professor Winter Unterlagen zur Verfügung, die essentiell für den weiteren Verlauf der Arbeit waren.

Das Projekt befindet sich momentan in der Planungsphase. Herr Professor Winter entwickelte in Zusammenarbeit mit der Firma Rubner Holzbau ein alternatives Tragsystem in Holz- Stahl Verbundbauweise. Nach Analyse der Unterlagen, Verstehen und Darstellung der Konstruktionssysteme lag der Fokus in der konstruktiven Lösung der Holz- Stahl Komponenten. Damit konnte ein praxisnaher Bezug sowie das Verständnis für den Vorgang der Entwicklung eines Tragwerks erlernt werden.

Die Kombination aus Analyse, aktuellen Entwicklungen von Systemdeckenkonstruktionen sowie die Veranschaulichung der Entwicklung eines Tragwerks aus Holz- Stahl Verbundelementen führten zum Abschluss der Diplomarbeit in Form eines **Entwurfs einer Holz- Stahl Verbunddeckenkonstruktion**.

Die Definition von Entwurfsansätzen erfolgte basierend auf Referenz-Deckenkonstruktionen, die zuvor untersucht und somit bekannt waren. Erfahrungen und Wissen aus dem Projekt „Nudge“ halfen bei der Entwicklung. Dieses diente in weiterer Folge für die Erprobung der Entwurfskonstruktion.

Der Aspekt der Anwendungsunterlagen wurde in die Entwicklung des Systems eingebunden, indem die Entwurfsansätze sowie der Nutzen und die Vorteile grafisch dargestellt wurden. Priorität lag in weiterer Folge in der Anwendung, welche die Herstellung und Montage, sowie der bautechnischen Ausführung abdecken.

