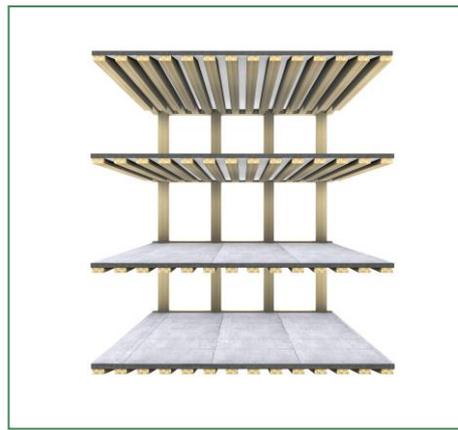


# MASTERARBEIT



## **WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG VON HOLZ-BETON-VERBUNDDECKEN**

Stefan Hölzl

Vorgelegt am  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

Mitbetreuender Assistent  
Dipl.-Ing. Jörg Koppelhuber

Graz, am 04. Jänner 2014

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am ..... ..

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, ..... ..

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck und Herrn Dipl.-Ing. Jörg Koppelhuber.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte.

Graz, am ..... ..

## Kurzfassung

Holz-Beton-Verbunddecken, kurz HBV-Decken, vereinigen die Konzepte des Holzbaus und des Betonbaus mit dem Ziel, synergetische Effekte zu erzielen. Die bisherigen Hauptanwendungsgebiete sind Sanierungen, der allgemeine Hochbau und der Brückenbau. Die Forschung konnte die konstruktive und bauphysikalische Eignung dieser Bauweise für die breite Anwendung wiederholt beweisen, wirtschaftliche Aspekte wurden jedoch nur geringfügig untersucht. Ziel dieser Arbeit ist die Analyse und Bewertung der wirtschaftlichen Aspekte von HBV-Decken und ein Vergleich zu konventionellen Systemen. Um dies zu ermöglichen, war zunächst eine Auswahl der zu untersuchenden Systeme notwendig. Mit Hilfe eines Fragebogens konnten aus der Vielzahl an möglichen HBV-Decken zehn für die Praxis relevante Systeme gefunden werden. Danach wurden die Kosten für diese Systeme gemäß ÖNORM B 2061 kalkuliert und miteinander verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass HBV-Decken mit Rippelementen als Basis günstiger herzustellen sind als jene mit Brettstapelelementen. Im Zuge der Auswertung der Kalkulationen stellte sich die Kerbe als preisgünstigstes Verbindungsmittel heraus. Sowohl *HBV-Schubverbinder* als auch *Würth ASSYplus VG* Schrauben erzeugen unabhängig von der Herstellungsmethode und der Art des Holzbauteils höhere Kosten. Sämtliche Decken, bei denen das Verbindungsmittel im Werk vorbereitet wird und bei denen der Betonvorgang auf der Baustelle erfolgt, sind laut Kalkulation wirtschaftlicher als HBV-Fertigteildecken oder HBV-Decken, bei denen das Holzbauteil und ein Betonfertigteil auf der Baustelle miteinander verbunden werden. Die vergleichende Kalkulation der Kosteneffizienz ergab, dass nur das günstigste HBV-Deckensystem mit einer Stahlbetondecke konkurrieren kann. Im Schnitt sind die Herstellkosten der HBV-Decken etwas höher als jene der Stahlbetondecke, jedoch variieren diese abhängig von der Art des Holzbauteils, des Verbindungsmittels und der Herstellmethode stark. Die kalkulierten Kosten einer Brettsperrholzdecke liegen in etwa im Bereich der durchschnittlichen Kosten der HBV-Decken. Mit Hilfe eines Fragebogens wurden weitere Kriterien für die Entscheidungsfindung bei der Deckenauswahl analysiert und bewertet. Damit konnten Vor- und Nachteile bezüglich der Wirtschaftlichkeit erörtert werden. Mit Hilfe des letzten Teiles des Fragebogens wurde ein Ausblick in die Zukunft der HBV-Bauweise gewagt. Damit konnten neueste Materialentwicklungen bewertet sowie Potenziale und Entwicklungsbedürfnisse aufgedeckt werden.

## Abstract

Timber-Concrete-Composite (TCC) Ceilings bring together the concepts of constructions in timber and concrete with the objective to achieve synergetic effects. The main applications of this composite construction method are structures such as multi-storey buildings and bridges and their renovation. Researchers have confirmed the suitability of this ceiling system in terms of its structural characteristics and physical properties, but economic aspects have hardly been taken into account so far. The aim of this master thesis is to assess the economic efficiency of TCC-Ceilings and to compare them with conventional ceiling systems. In order to realize this aim, it was necessary to select a manageable number of different systems of TCC-Ceilings. A questionnaire was used for drawing up the required short list. The costs were calculated according to the Austrian standard ÖNORM B 2061 for both the conventional systems and the TCC-Ceiling Systems mentioned above. It turned out that systems on a basis of wooden beams are more economic than systems based on solid timber e.g. Vertically-Laminated-Timber-Decks. According to the calculations, the most favorable connection system is the shear key with anchor, which is cheaper than the HBV-Shear Connector and the *Würth ASSYplus VG* screw. Furthermore, the manufacturing methods were analyzed. Systems in which the connectors are prepared in the factory and the concreting is executed on the building site are cheaper than floor systems which use prefabricated concrete components. Compared with reinforced concrete floors only the most economic TCC-Ceiling system is competitive. The average costs of TCC-Floors are higher than those of Reinforced-Concrete-Floors. However, the costs vary depending on the manufacturing method, the nature of the wooden part and the connection itself. Compared with solid Cross-Laminated-Timer (CLT) Ceilings, the average costs of TCC-Ceilings are competitive. Additional questions regarding economic aspects were answered. Thereby other important decision criteria could be assessed and pros and cons of TCC-Floors could be presented. The last part of the questionnaire was used to evaluate the latest technologies in this field in order to dare a view into the future of this construction method.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Fragestellung und Zielsetzung .....	1
1.2	Vorgehen .....	2
1.3	Fragebogen .....	3
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Holz-Beton-Verbundbauweise</b>	<b>6</b>
2.1	Holzbau allgemein .....	6
2.1.1	Geschichtliche Entwicklung .....	6
2.1.2	Bedeutung des Holzbaus in der Bauwirtschaft .....	13
2.2	Verbundbau allgemein .....	23
2.2.1	Verbundbauweise allgemein .....	23
2.2.2	Holz-Beton-Verbundbauweise .....	25
2.3	Holz-Beton-Verbunddecken .....	30
2.3.1	Aktueller Stand der Forschung .....	31
2.3.2	Verwendete Baustoffe .....	34
2.3.3	Verbindungsmitel und bauaufsichtliche Zulassungen .....	44
2.3.4	Berechnungsverfahren .....	56
2.3.5	Anwendungsbereiche .....	64
2.3.6	Herstellungsmethoden .....	67
<b>3</b>	<b>Wirtschaftliche Analyse</b>	<b>73</b>
3.1	Holz-Beton-Verbunddecken: Aktuelle Marktsituation .....	73
3.1.1	Gesetzliche Einschränkungen .....	73
3.1.2	Systemanbieter .....	80
3.1.3	Ausgeführte Deckenarten und eingesetzte Verbindungsmitel .....	89
3.1.4	Ausgeführte Projekte .....	92
3.2	Systemauswahl .....	102
3.2.1	Potenzial von Holz-Beton-Verbunddecken .....	102
3.2.2	Wirtschaftlich günstigste Deckenart .....	104
3.2.3	Bauphysikalische Eignung von Holz-Beton-Verbunddecken .....	105
3.2.4	Bevorzugte Verbindungsmitel .....	107
3.2.5	Bevorzugte Herstellungsmethode .....	109
3.2.6	Bevorzugte Systemanbieter .....	111
3.2.7	Zusammenfassung der Umfrageergebnisse zur Systemauswahl .....	111
3.2.8	Weiter betrachtete Varianten von Holz-Beton-Verbunddecken .....	113
3.3	Analyse der Herstellungsprozesse: Vom Ausgangsmaterial zur fertigen Decke .....	116
3.3.1	HBV-Rippendecken .....	119
3.3.2	HBV-Brettstapeldecken .....	120
3.3.3	Stahlbetondecke .....	121
3.3.4	Brettsperrholzdecke .....	121
3.4	Kostenberechnung .....	122
3.4.1	Randbedingungen und Dimensionierung .....	122
3.4.2	Kostenkomponenten, Aufwands- und Leistungswerte .....	125
3.4.3	HBV-Rippendecken .....	143
3.4.4	HBV-Brettstapeldecken .....	150
3.4.5	Stahlbetondecke .....	158
3.4.6	Brettsperrholzdecke .....	159
3.4.7	Zusammenfassung der Kalkulationsergebnisse .....	160
3.5	Wirtschaftliche Gegenüberstellung .....	161
3.5.1	Vergleich der HBV-Deckensysteme untereinander .....	161

3.5.2	Vergleich von HBV-Decken mit der Stahlbetondecke .....	173
3.5.3	Vergleich von HBV-Decken mit der Brettsper Holzdecke .....	176
3.6	Kostensenkenden Faktoren und Optimierungsmöglichkeiten .....	179
3.6.1	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option C .....	179
3.6.2	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option C .....	181
3.6.3	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben, Herstellungsmethode: Option B.....	183
3.6.4	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option A .....	184
3.6.5	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option C .....	186
3.6.6	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option C .....	187
3.6.7	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben, Herstellungsmethode: Option B.....	189
3.6.8	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option A .....	190
3.6.9	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option A .....	192
<b>4</b>	<b>Potenziale und künftige Entwicklungen von Holz- Beton-Verbunddecken</b>	<b>193</b>
4.1	Faktor Bauzeit .....	194
4.1.1	Bewertung der Bauzeit .....	194
4.2	Hindernisse und Möglichkeiten .....	199
4.2.1	Gründe der geringen Anwendung der Bauweise .....	199
4.2.2	Qualitäten von HBV-Decken .....	201
4.2.3	Abschätzung der Vor- und Nachteile von HBV-Decken .....	205
4.2.4	Akzeptanz von HBV-Decken .....	208
4.3	Zukünftige Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise.....	210
4.3.1	Künftige Einsatzgebiete von HBV-Decken.....	210
4.3.2	Entwicklungspotenzial von HBV-Decken .....	212
4.3.3	Forschungs- und Entwicklungspotenzial von HBV-Decken.....	215
4.4	Einstufung von neuesten Entwicklungen .....	221
4.4.1	Einstufung von neuesten Materialtechnologien in Zusammenhang mit HBV-Decken.....	222
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>224</b>
<b>A.1</b>	<b>K-Blätter</b>	<b>230</b>
A.1.1	K3-Blatt für Arbeiten in überwiegender Holzbauweise .....	230
A.1.2	K3-Blatt für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise .....	234
A.1.3	K4-Blatt.....	238
A.1.4	K6-Blatt Baustützen.....	239
A.1.5	K6-Blatt Schalung.....	240
A.1.6	K6E-Blatt Elektrohandbohrmaschine .....	241
<b>A.2</b>	<b>Fragebogen</b>	<b>242</b>
<b>A.3</b>	<b>Unterscheidung von HBV-Decken und Zusammenfassung der Kalkulationsansätze</b>	<b>249</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>250</b>
	<b>Konsultationsverzeichnis</b>	<b>261</b>

## Abbildungsverzeichnis

Bild 2.1	Vergleich zweier Dachkonstruktionen (links: ca. 2000 Jahre v.Ch., rechts: 1810 n.Ch.).....	8
Bild 2.2	Beispiel zweier Zimmermannsverbindungen .....	8
Bild 2.3	Vergleich der Leicht- und Massivbauweise bei vertikalen Tragstrukturen .....	11
Bild 2.4	Prozentualer Anteil des Holzbaus in Österreich .....	13
Bild 2.5	Prozentualer Anteil des Holzbaus in Österreich bei Wohnbauten .....	14
Bild 2.6	Prozentualer Anteil des Holzbaus in Österreich bei Zu- und Umbauten .....	15
Bild 2.7	Prozentualer Anteil des Holzbaus bei Einfamilienhäuser in Österreich .....	15
Bild 2.8	Prozentualer Anteil des Holzbaus bei Mehrfamilienhäusern in Österreich .....	16
Bild 2.9	Anteil der fertiggestellten Einfamilienhäuser in Holzbauweise im Jahr 2005 in Deutschland .....	19
Bild 2.10	Anteil der fertiggestellten Mehrfamilienhäuser in Holzbauweise im Jahr 2005 in Deutschland .....	20
Bild 2.11	Wichtigste Konstruktionselemente im Stahl-Beton-Verbundbau .....	24
Bild 2.12	Im Mittelalter verwendete zusammengesetzte Holzquerschnitte .....	26
Bild 2.13	Holzsteindecke nach Sperle .....	27
Bild 2.14	Holz-Beton-Verbunddecke nach Otto Schaub .....	27
Bild 2.15	Zu beachtende Richtungen beim Holzbau aufgrund des anisotropen Verhaltens des Holzes .....	34
Bild 2.16	Keilstück eines Holzstammes .....	35
Bild 2.17	Schematische Darstellung des Holzaufbaus .....	36
Bild 2.18	Abhängigkeit der Holzfestigkeit vom Belastungs- und Faserwinkel ...	37
Bild 2.19	Spannungs-Dehnungslinie (Arbeitslinie) von fehlerfreiem Holz .....	38
Bild 2.20	Sieblinien für Gesteinskörnungen mit Größtkorn 32mm .....	41
Bild 2.21	Wirklichkeitsnahes Spannungs-Dehnungsdiagramm von Beton .....	42
Bild 2.22	Ideale Arbeitslinie eines Verbindungsmittels .....	44
Bild 2.23	<i>Würth ASSYplus VG</i> Schraube .....	47
Bild 2.24	<i>SFS Schraube</i> .....	47
Bild 2.25	<i>TCC Schraube</i> .....	47
Bild 2.26	<i>Timco Schraube</i> .....	47
Bild 2.27	<i>HBV-Schubverbinder</i> .....	48
Bild 2.28	HBV-Brettstapeldecke mit Flachstahlschloss .....	49
Bild 2.29	System <i>Peter Cox</i> .....	50
Bild 2.30	System <i>Tecnaria</i> mit Setzbolzen und aufgeschweißten Kopfbolzen ..	51
Bild 2.31	Kerven zur Schubkraftübertragung .....	52
Bild 2.32	Entstehung der abhebenden Kräfte zwischen Holz und Beton bei Kerven .....	53

Bild 2.33	Brettstapelelemente mit Schubkerven .....	54
Bild 2.34	Glatte, versetzte und profilierte Haftverbindung .....	55
Bild 2.35	Schnittgrößen bei einem Holz-Beton-Einfeldträger .....	56
Bild 2.36	Verschiedene Auflagerbedingungen und ihre Umsetzung im ideellen System .....	58
Bild 2.37	Stabwerksmodell .....	59
Bild 2.38	Kriechen im Beton- und Holzbauteil bei Verbundträgern .....	62
Bild 2.39	Fertiggestellte Holz-Beton-Verbundbrücke im niederländischen Winschoten .....	66
Bild 2.40	Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil .....	67
Bild 2.41	Versetzen von HBV-Fertigteilelementen auf der Baustelle .....	67
Bild 2.42	Beispiel einer Holz-Beton-Fertigteildecke des Herstellers ERNE .....	68
Bild 2.43	Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteile auf der Baustelle verbinden.....	69
Bild 2.44	Herstellen einer HBV-Decke mit Herstellungsmethode B .....	69
Bild 2.45	<i>Würth FT-Verbinder</i> .....	70
Bild 2.46	Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle .....	70
Bild 2.47	Betonvorgang bei einer HBV-Decke .....	71
Bild 2.48	Option D: Sämtliche Arbeiten auf der Baustellen ausführen .....	72
Bild 2.49	Betonvorgang einer Holz-Beton-Verbunddecke .....	72
Bild 3.1	Anforderungen an tragende Konstruktionen bezüglich des Brandschutzes in der Schweiz, Österreich, Deutschland und Schweden .....	78
Bild 3.2	<i>Elascon V-HB-S</i> Decke .....	81
Bild 3.3	Versetzen von Betonfertigteilen des Herstellers <i>Häring</i> .....	81
Bild 3.4	Holz-Beton-Verbunddecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> .....	83
Bild 3.5	Systeme von <i>Pirmin Jung Ingenieure</i> : Links HBV-Decke Kerbe und rechts HBV-Decke PlusMinus .....	84
Bild 3.6	Herstellung von SupraFloor Elements im Werk .....	85
Bild 3.7	System von <i>Kaufmann Oberholzer: Optiholz forte</i> .....	86
Bild 3.8	HBV-Decke des Herstellers <i>n'H</i> .....	87
Bild 3.9	Beispiel eines Holz-Beton-Verbund <i>Wey-Pi</i> Kastenelementes mit Aufbau .....	88
Bild 3.10	Prozentuale Verteilung der Deckentypen der analysierten Projekte...	90
Bild 3.11	Holz-Beton-Stahl-Verbunddecke .....	90
Bild 3.12	Prozentuale Verteilung der Verbindungsmittelarten der analysierten Projekte .....	91
Bild 3.13	Life Cycle Tower One .....	92
Bild 3.14	Holz-Beton-Verbund Rippendeckenelemente beim Life Cycle Tower One in Dornbirn .....	93
Bild 3.15	Campus Kuchl der Fachhochschule Salzburg .....	94
Bild 3.16	Deckenaufbau der Holz-Beton-Verbund Brettstapeldecke beim Holztechnikzentrum Kuchl .....	95

Bild 3.17	Kaufhaus Junglinster .....	96
Bild 3.18	Holz-Beton-Verbund Decke und Unterzug beim Kaufhaus Langwies .....	97
Bild 3.19	Fertiggestelltes Wohnhaus e3 in Berlin .....	98
Bild 3.20	Deckenaufbau des Wohngebäude e3 in Berlin .....	99
Bild 3.21	Mehrfamilienhaus an der Lorze .....	100
Bild 3.22	Deckenaufbau der Holz-Beton-Brettstapeldecke beim Mehrfamilienhaus an der Lorze in Zug .....	101
Bild 3.23	Frage bezüglich Potenzial von HBV-Decken.....	102
Bild 3.24	Welche Art von HBV-Decken besitzt laut Ihrer Meinung das höchste Potenzial?.....	102
Bild 3.25	Frage bezüglich der Wirtschaftlichkeit von HBV-Decken .....	104
Bild 3.26	Welche HBV-Deckenart ist für einen m <sup>2</sup> Rohbaudecke laut Ihrer Erfahrung insgesamt die wirtschaftlich Günstigste? .....	104
Bild 3.27	Frage bezüglich der bauphysikalischen Eignung von HBV-Decken .	105
Bild 3.28	Welche HBV - Deckenart ist hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften Ihrer Meinung nach am besten? .....	105
Bild 3.29	Frage zur Eignung der Verbindungsmittel.....	107
Bild 3.30	Welche Verbindungsmittel würden Sie bei HBV-Rippendecken bevorzugen? .....	107
Bild 3.31	Welche Verbindungsmittel würden Sie bei HBV-Brettstapeldecken bevorzugen? .....	107
Bild 3.32	Welche Verbindungsmittel würden Sie bei HBV- Brettsperrholzdecken bevorzugen? .....	108
Bild 3.33	Frage zur Eignung der Herstellungsmethoden.....	109
Bild 3.34	Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bei HBV- Rippendecken bevorzugen? .....	109
Bild 3.35	Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bei HBV- Brettstapeldecken bevorzugen? .....	109
Bild 3.36	Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bei HBV- Brettsperrholzdecken bevorzugen? .....	110
Bild 3.37	Frage zur Einstufung von Systemanbietern .....	111
Bild 3.38	Kostengliederung nach ÖNORM B 2061.....	126
Bild 3.39	Einheitspreise HBV-Rippendecken .....	161
Bild 3.40	Prozentualer Anteil von Lohnkosten und Sonstige Kosten zu den Gesamtkosten bei HBV-Rippendecken .....	162
Bild 3.41	Einheitspreise HBV-Brettstapeldecke .....	164
Bild 3.42	Prozentualer Anteil von Lohn und Sonstige Kosten zu den Gesamtkosten bei HBV-Brettstapeldecken .....	165
Bild 3.43	Vergleich der Kosten von HBV-Rippendecken und HBV- Brettstapeldecken bei gleichem Verbindungsmittel und gleicher Herstellungsmethode .....	167
Bild 3.44	Erhöhte Kosten bei Verwendung von Brettstapelelementen anstatt von Rippelementen bei HBV-Decken .....	168
Bild 3.45	Vergleich der Kosten von Herstellungsmethode A und Herstellungsmethode C bei ansonsten identischen Deckenparametern .....	169

Bild 3.46	Erhöhte Kosten bei Anwendung der Herstellungsmethode A anstatt der Herstellungsmethode C .....	170
Bild 3.47	Vergleich der Kosten von Decken mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Kerven als Verbindungsmittel bei ansonsten identischen Deckenparametern .....	171
Bild 3.48	Erhöhte Kosten bei Verwendung von <i>HBV-Schubverbindern</i> anstatt von Kerven als Verbindungsmittel .....	172
Bild 3.49	Prozentuale Kosten der HBV-Decken im Vergleich zur Stahlbetondecke .....	173
Bild 3.50	Anteil von Lohnkosten und Sonstige Kosten bei HBV-Decken und bei der Stahlbetondecke.....	174
Bild 3.51	Prozentuale Kosten der HBV-Decken im Vergleich zur Brettsper Holzdecke .....	176
Bild 3.52	Anteil von Lohnkosten und Sonstige Kosten bei HBV-Decken bei der Brettsper Holzdecke .....	177
Bild 3.53	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode C.....	180
Bild 3.54	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit Kerven und Herstellungsmethode C .....	181
Bild 3.55	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben und Herstellungsmethode B.....	183
Bild 3.56	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke, mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode A.....	185
Bild 3.57	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode C.....	186
Bild 3.58	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kerven und Herstellungsmethode C.....	188
Bild 3.59	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben und Herstellungsmethode B.....	189
Bild 3.60	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode A.....	190
Bild 3.61	Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kerven und Herstellungsmethode A.....	192
Bild 4.1	Frage bezüglich der Bauzeit von HBV-Decken .....	194
Bild 4.2	Wie bewerten Sie die verschiedenen HBV-Rippendecken bezüglich der Bauzeit auf der Baustelle im Vergleich zu einer Stahlbetondecke? .....	195
Bild 4.3	Wie bewerten Sie die verschiedenen HBV-Brettstapeldecke bezüglich der Bauzeit auf der Baustelle im Vergleich zu einer Stahlbetondecke? .....	197
Bild 4.4	Allgemein Frage zum Status Quo des geringen Einsatzes von HBV-Decken in der Praxis.....	199
Bild 4.5	Neu entwickelte, getrennt vorgefertigte HBV-Deckenelemente .....	200
Bild 4.6	Frage bezüglich der Qualitäten von HBV-Decken .....	201

Bild 4.7	Wie schätzen Sie die Qualität von HBV-Rippendecken im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ein? .....	202
Bild 4.8	Wie schätzen Sie die Qualität von HBV-Brettstapeldecke im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ein? .....	204
Bild 4.9	Frage bezüglich Vor- und Nachteile von HBV-Decken .....	205
Bild 4.10	Welche sind Ihrer Einschätzung nach die größten Vor- und Nachteile einer HBV-Decke im Vergleich zu einer Stahlbetondecke? .....	206
Bild 4.11	Frage bezüglich der Akzeptanz der am Bau Beteiligten gegenüber HBV-Decken .....	208
Bild 4.12	Wie hoch schätzen Sie die Akzeptanz der folgenden am Bau Beteiligten in Hinblick auf HBV-Decken ein? .....	209
Bild 4.13	Frage bezüglich der zukünftigen Einsatzgebiete von HBV-Decken..	210
Bild 4.14	Wie schätzen Sie die Chance ein, dass in Zukunft HBV-Decken vermehrt in folgenden Bauwerkstypen zum Einsatz kommen werden? .....	211
Bild 4.15	Frage bezüglich künftiger Entwicklungspotenziale von HBV-Decken	212
Bild 4.16	Wie schätzen Sie das künftige Entwicklungspotenzial von HBV-Decken bezüglich folgender Aspekte ein? .....	213
Bild 4.17	Frage bezüglich des Forschungs- und Entwicklungsbedarfes .....	215
Bild 4.18	Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV-Decken? Bereich Technik.....	216
Bild 4.19	Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV-Decken? Bereich Wirtschaft .....	218
Bild 4.20	Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV-Decken? Bereich Ausbildung.....	220
Bild 4.21	Frage bezüglich neuer Technologien .....	222
Bild 4.22	Wie schätzen Sie die Chance ein, dass folgende Technologien in Zusammenhang mit HBV-Decken Einzug in die Praxis finden werden? .....	222
Bild 5.1	Baupraktisch relevante HBV-Deckenarten laut Fragebogen .....	224

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Holzbauweisen ' ' .....	12
Tabelle 2	Vergleich des Holzbauanteils in Gesamtösterreich, der Steiermark und Kärnten ' .....	17
Tabelle 3	Wirtschaftliche Spannweiten von Holzdecken .....	30
Tabelle 4	Allgemeine Brandschutzanforderungen .....	76
Tabelle 5	Herstellungsprozesse von HBV-Rippendecken .....	119
Tabelle 6	Herstellungsprozesse von HBV-Brettstapeldecken .....	120
Tabelle 7	Zusammenfassung der Mittellohnkosten.....	127
Tabelle 8	Zusammenfassung der Gerätekosten .....	129
Tabelle 9	Zusammenfassung der angebotenen, empfohlenen und gewählten Materialkosten.....	132
Tabelle 10	Zusammenfassung der im K4-Blatt berechneten Materialkosten .....	133
Tabelle 11	Zusammenfassung der Kosten der Fertigteile .....	136
Tabelle 12	Gesamtzuschlag .....	137
Tabelle 13	Zusammenfassung der Aufwandswerte .....	141
Tabelle 14	Zusammenfassung Leistungswerte .....	142
Tabelle 15	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option C.....	143
Tabelle 16	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option C.....	145
Tabelle 17	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben, Herstellungsmethode: Option B .....	147
Tabelle 18	HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option A .....	149
Tabelle 19	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option C.....	150
Tabelle 20	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option C.....	152
Tabelle 21	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben, Herstellungsmethode: Option B .....	154
Tabelle 22	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: <i>HBV-Schubverbinder</i> , Herstellungsmethode: Option A .....	156
Tabelle 23	HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option A .....	157
Tabelle 24	Stahlbetondecke .....	158
Tabelle 25	Brettsperrholzdecke .....	159
Tabelle 26	Zusammenfassung der Kalkulationsergebnisse .....	160
Tabelle 27	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode C.....	179
Tabelle 28	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit Kerfen und Herstellungsmethode Option C .....	181
Tabelle 29	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben und Herstellungsmethode B.....	183

Tabelle 30	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke, mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode A.....	184
Tabelle 31	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode C.....	186
Tabelle 32	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kerven und Herstellungsmethode C .....	187
Tabelle 33	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit <i>Würth ASSYplus VG</i> Schrauben und Herstellungsmethode B.....	189
Tabelle 34	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit <i>HBV-Schubverbindern</i> und Herstellungsmethode A.....	190
Tabelle 35	Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kerven und Herstellungsmethode A .....	192

## 1 Einleitung

In der Einleitung werden die wichtigsten Fragestellungen und Zielsetzungen dieser Arbeit angeführt. Sie dient der Orientierung des Lesers, beschreibt die inhaltliche Ausrichtung der Arbeit und erläutert die Relevanz des behandelten Themas. In der Einleitung wird beschrieben, wie die der Arbeit zugrunde liegenden Fragestellungen zu beantworten versucht werden und welche wissenschaftlichen Methoden dazu verwendet werden. Auch werden die systematische Entwicklung des verwendeten Fragebogens und die damit befragten Personen angeführt.

### 1.1 Fragestellung und Zielsetzung

Holz-Beton-Verbunddecken (HBV-Decken) stehen in der Bauwirtschaft in Konkurrenz zu anderen Deckensystemen, wie Stahlbetondecken, reine Holzbalkendecken, Brettsper Holzdecken oder auch Stahl-Beton-Verbunddecken. Konstruktive und bauphysikalische Hürden konnte das HBV-Deckensystem in den letzten Jahren dank einiger Forschungsanstrengung zum Großteil überwinden. Dennoch werden HBV-Decken in der Praxis wenig eingesetzt. Eine mögliche Begründung für diese Tatsache könnte die bis dato wenig untersuchte Wirtschaftlichkeit dieser Decken sein. Die These der höheren Kosten im Vergleich zu konventionellen Systemen wurde in der Forschung bisher weder bestätigt noch widerrufen. Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene HBV-Deckensysteme hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu untersuchen und sie mit konventionellen Deckensystemen zu vergleichen. Die genaue Kostenanalyse der einzelnen Decken soll aufzeigen, durch welche Vorgänge Kosten entstehen und ob es Einsparungsmöglichkeiten gibt. Um diese Forschungsziele zu erreichen, werden die Kosten und Einheitspreise verschiedener Decken mit Hilfe der ÖNORM B 2061<sup>1</sup> berechnet und die einzelnen Kostenkomponenten analysiert. Als Vergleichsdecken wurden die konventionelle Stahlbetondecke und die Brettsper Holzdecke gewählt. Auch für diese werden die Kosten ermittelt und jenen der HBV-Decken gegenübergestellt. Neben den Kosten gibt es noch eine Reihe weiterer wirtschaftlicher Entscheidungskriterien bei der Wahl des Deckensystems. Darunter können unter anderem die Bauzeit, die Ästhetik und die Nachhaltigkeit genannt werden. Ein weiteres Forschungsziel dieser Arbeit ist es daher, die Eignung von HBV-Decken bezüglich dieser sekundären wirtschaftlichen Aspekte zu überprüfen. Da diese Kriterien der Entscheidungsfindung bei HBV-Decken nur schwer

<sup>1</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSIINSTITUT: ÖNORM B 2061. Norm. S. 1ff.

konkret beziffert werden können, werden diese mit Hilfe eines Fragebogens bewertet. Die Analyse und Bewertung der Antworten gibt einen Einblick in die in der Praxis vorherrschende Meinung zu HBV-Decken und rundet die wirtschaftliche Betrachtung ab. Dadurch kann diese zurzeit eher alternative Deckenbauweise bezüglich ihrer wirtschaftlichen Eignung umfassend bewertet werden.

## 1.2 Vorgehen

Um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen, werden im ersten Teil der Arbeit (Kapitel 2) die Grundlagen der HBV-Bauweise erläutert. Es werden zunächst einige bedeutende Aspekte der Holzbauweise, vor allem deren geschichtliche Entwicklung und wirtschaftliche Bedeutung früher und heute, angeführt. Um einen nahtlosen Übergang zur HBV-Bauweise zu schaffen, werden im weiteren Verlauf des zweiten Kapitels die Grundlagen der Verbundbauweise dargelegt. Im abschließenden Teil werden spezifische Grundlagen der HBV-Bauweise angeführt. Neben den neuesten Forschungserkenntnissen werden Spezifikationen zu den einzelnen Baustoffen, den eingesetzten Verbindungsmitteln und den Herstellungsmethoden gegeben. Des Weiteren werden die anwendbaren Berechnungsverfahren beschrieben und die prädestinierten Anwendungsgebiete genauer betrachtet.

Im dritten Kapitel dieser Arbeit (Wirtschaftliche Analyse) wird zunächst die aktuelle Marktsituation beschrieben. Durch die Analyse der wichtigsten Systemanbieter und der primär ausgeführten Deckenarten wird ein erster Bezug zur Praxis hergestellt. Diese wird vertieft, indem Gesetzmäßigkeiten und deren Einschränkungen dargelegt werden. Durch die Analyse einiger wichtiger Projekte, bei denen HBV-Decken zum Einsatz kamen, wird die Beschreibung der aktuellen Marktsituation abgerundet. Kombiniert man die verschiedenen Ausführungsarten des Holzbauteils mit der Vielzahl von Verbindungsmitteln und zusätzlich mit den verschiedenen Herstellungsmethoden, so ergibt sich eine schier unüberschaubare Anzahl an möglichen Deckentypen welche, bezogen auf ihre Wirtschaftlichkeit, alle unterschiedlich bewertet werden müssen. Eine Begrenzung auf die wichtigsten Systeme scheint sinnvoll, da in der Praxis nur eine begrenzte Anzahl von Systemen eingesetzt wird. Damit die Systemauswahl nachvollziehbar und begründbar durchgeführt werden kann, wird eine Expertenbefragung durchgeführt. Die durch die Systemauswahl definierten Decken werden mit konstanten Randbedingungen (Auflagerbedingungen, Spannweite, Belastung) dimensioniert. Mit den daraus erhaltenen Abmessungen und Baustoffspezifikationen werden die Einheitspreise nach ÖNORM B2061<sup>2</sup>

<sup>2</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSIINSTITUT: ÖNORM B 2061. Norm. S. 1ff.

berechnet. Die K7-Blätter der Kalkulation sind die Essenz dieser Arbeit und bieten die Basis der weiteren wirtschaftlichen Auswertung. Um die kalkulierten Kosten zu verifizieren, werden die Baukosten verschiedener realisierter Projekte, bei denen HBV-Decken eingesetzt wurden, ermittelt. Bei der Auswertung werden in einem ersten Schritt die Gesamtkosten der HBV-Decken mit jenen der Stahlbetondecke und der Brettsperrholzdecke verglichen. In einem zweiten Schritt werden die einzelnen Kostenkomponenten jeder HBV-Decke angeführt und dadurch mögliche kostensenkende Faktoren erarbeitet.

Im letzten Teil dieser Arbeit (Kapitel 4) werden weitere Kriterien, welche bei der Entscheidungsfindung für die Deckenauswahl eine Rolle spielen, bewertet und Potenziale und künftige Einsatzgebiete eingehend betrachtet. Hierfür wird der zweite Teil des Fragebogens herangezogen. Mit Hilfe dessen Auswertung kann die Bauzeit, einer der wichtigsten Faktoren der baubetrieblichen Abwicklung, eingeschätzt und bewertet werden. Zusätzlich können die wichtigsten Hindernisse und Möglichkeiten der HBV-Bauweise erörtert und dadurch Potenziale aufgezeigt werden. Im weiteren Teil dieses abschließenden Kapitels werden die, laut Experten, bedeutendsten Entwicklungspotenziale aufgezeigt, sowie der Bedarf an Forschung und Weiterentwicklung analysiert. Damit sollen die primären zukünftigen Trends dieser Bauweise erörtert werden. Zum Abschluss des vierten Kapitels wird die praktische Notwendigkeit von neuesten Materialentwicklungen in Bezug auf HBV-Decken bewertet.

### 1.3 Fragebogen

Einige Ziele dieser Arbeit sind praxisnah und können somit nur durch die Analyse der in der realen Bauwirtschaft vorwiegenden Meinung geklärt werden. Deshalb wurde ein Fragebogen erstellt, mit dessen Hilfe diese Ziele erreicht werden können. Die Befragung wurde im Juni und Juli 2013 durchgeführt. Der erstellte Fragebogen ist im Anhang zu finden. Der Fragebogen beinhaltet 15 Fragen und ist in fünf Hauptpunkte unterteilt:

- Allgemeine Fragen zu HBV-Decken
- Fragen bezüglich Kosten
- Fragen bezüglich Bauzeit
- Fragen bezüglich Entscheidungskriterien
- Fragen bezüglich künftiger Entwicklungen

Der erste Teil des Fragebogens wird zur Systemauswahl herangezogen. Dadurch können die in der Praxis relevantesten Deckensysteme erörtert werden. Das Ergebnis ist eine Liste von Deckenarten, welche im Weiteren wirtschaftlich betrachtet werden. Die Antworten auf die Fragen

bezüglich der Baukosten werden zur Verifizierung der kalkulierten Deckenkosten herangezogen. Des Weiteren wird der Fragebogen verwendet, um die im Kapitel 4 angeführte Bewertung der weiteren Entscheidungskriterien durchführen zu können und einen Ausblick auf mögliche und künftig nötige Entwicklungen zu wagen. Bei sämtlichen Fragen war das Ankreuzen mehrerer Antwortmöglichkeiten erlaubt, deshalb ist es möglich, dass die Summe der Stimmen die Teilnehmeranzahl übersteigt. Bei Stimmenthaltungen unterschreitet die Summe der Stimmen die Anzahl der Teilnehmer.

Damit eine umfassende Meinung eingeholt werden kann, welche die heutige Realität des Bauwesens in Bezug auf HBV-Systeme widerspiegelt, wurden sowohl Personen aus dem Bereich der Planung, Mitarbeiter ausführender Unternehmen, als auch Experten aus der Forschung befragt. Insgesamt wurden zehn Experteninterviews geführt.

Aus der Forschung wurden folgende Personen befragt:

- Dipl.-Ing. Katrin Stephan: Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Universität Stuttgart; Forschungsschwerpunkt Holz-Beton-Verbunddecken.
- DI Dr. Jörg Schänzlin: Ehemaliger Mitarbeiter der Universität Stuttgart; Doktorarbeit zum Thema: Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken.
- DI Dr. Martin Teibinger: Mitarbeiter der *Holzforschung Austria*, Bereich: Holzbau, Autor verschiedener Forschungsprojekte im Holzbau.

Folgende Mitarbeiter ausführender Unternehmen wurden befragt:

- Dipl.-Ing. Frank Miebach: Gründer der *Schaffitzel + Miebach GmbH*; Realisierung von Brücken in Holzbauweise in Zusammenarbeit mit führenden Planungsbüros und Bauunternehmen.
- Dipl.-Ing. Christian Standl: Mitarbeiter der *Cree GmbH*; Verantwortlich für Systematisierung und Entwicklung; Hilfeleistung bei der Kalkulation; Unternehmen entwickelte das Life Cycle Tower Konzept und konnte mit diesem bereits zwei Projekte realisieren (LTC One, Illwerke Zentrum Montafon).
- Dipl.-Ing. Christian Rätz: Senior Engineer bei *Häring Projekt AG* (Schweiz); Unternehmen verwendet ein getrennt vorgefertigtes Fertigteilsystem, bei dem das Holzbauteil und ein Betonfertigteile auf der Baustelle mit Schrauben verbunden werden.

Folgende Planer wurden konsultiert:

- Dipl.-Ing. Rainer Bahmer: Leiter des Ingenieurbüros für innovativen Holzbau *i-rb*; Mitentwickler der *HBV-Schubverbinder*.

- Dipl.-Ing. Kurt Pock: Ziviltechniker für Bauingenieurwesen; spezialisiert auf Holzbrücken.
- Dipl.-Ing. David Volk: Mitarbeiter von *Pirmin Jung Ingenieure* für Holzbau AG (Schweiz); beschäftigte sich bei seiner universitären Abschlussarbeit mit HBV-Decken; Unternehmen entwickelte eigenes HBV-System und realisierte eine Vielzahl an Projekten.
- Dipl.-Ing. Christoph Dünser: Mitarbeiter von *Hermann Kaufmann ZT GmbH*; Projektleiter beim Life Cycle Tower One und beim Illwerke Zentrum Montafon, bei denen zum Thema HBV-Decken im Mehrgeschossbau Pionierarbeit geleistet wurde.

## 2 Grundlagen der Holz-Beton-Verbundbauweise

Die Holz-Beton-Verbundbauweise (HBV-Bauweise) basiert auf den Ideen des Holzbaus, des Betonbaus und des Verbundbaus. Erst durch die Entwicklung geeigneter Verbindungsmittel, welche in der Lage sind, Schubkräfte zwischen Holz und Beton zu übertragen, konnten die etablierten Sparten des Bauwesens zu einer neuen Bauweise kombiniert werden. Um den heutigen Stand der Technik zu verstehen, bedarf es einiger technischen und geschichtlichen Grundlagen, weshalb im folgenden Kapitel die wichtigsten geschichtlichen Entwicklungen und technischen Grundlagen erläutert werden. Daneben werden die heutigen Möglichkeiten und Varianten beschrieben, sowie der Stand der Forschung zum Thema HBV angeführt.

### 2.1 Holzbau allgemein

Die verschiedenen Bauweisen und Techniken im Holzbau haben sich im Laufe der Zeit stark verändert und wurden stark von den Möglichkeiten der Werkzeugtechnik beeinflusst.<sup>3</sup> Darüber hinaus war und ist der Holzbau, genauso wie die gesamte Bauwirtschaft, von den wirtschaftlichen Möglichkeiten und Anforderungen der Gesellschaft beeinflusst. Wie diese Prozesse den Holzbau beeinflussten und welche Bedeutung er in der modernen Bauwirtschaft hat, ist Gegenstand des nachfolgenden Kapitels.

#### 2.1.1 Geschichtliche Entwicklung

Die Geschichte des Holzbaus beginnt schon in prähistorischer Zeit, in der sich der Mensch, zum Schutze vor Naturgewalten, mit den sich ihm umgebenden Ressourcen erste Behausungen baute. Diese einfachen Gebäude wurden meist von einem Stützgerüst aus dünnen, kaum bearbeiteten Ästen getragen. Mit der Zeit wurden diese Konstruktionen immer wieder verfeinert und passten sich an die häuslichen und kulturellen Bedürfnissen und Gewohnheiten ihrer Bewohner an. Dennoch waren diese Gebäude auch nach der Auflösungsphase der prähistorischen Gesellschaft geprägt durch Nützlichkeit und Zweckbestimmtheit. Aufgrund mangelnder Vorbilder und Kenntnisse waren Architektur und Konstruktion dieser Bauwerke der Natur nachempfunden. Danke seiner einfachen Bearbeitbarkeit, seines

<sup>3</sup> Vgl. SCHINDLER, C.: Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus. Dissertation. S. 92

geringen Gewichtes und des günstigen Verhältnisses zwischen Masse und Festigkeit wurde Holz als primärer Rohstoff zum Bauen verwendet.<sup>4</sup>

Die Weiterentwicklung der Gebäude ging Hand in Hand mit der Entwicklung von Handwerkzeugen, welche handwerkliche Tätigkeiten und die Holzverarbeitung erleichterten.<sup>5</sup> So wird auch der Übergang vom Nomadismus zur Sesshaftigkeit mit der Entwicklung erster Handwerkzeuge in Verbindung gebracht.<sup>6</sup> In der Steinzeit, der Bronzezeit, der Eisenzeit, den verschiedenen Hochkulturen der Antike, im Mittelalter und selbst in der Moderne wurden immer wieder neue Handwerkzeuge erfunden oder verfeinert. Stellvertretend für viele andere Werkzeuge sollen hier die Axt und das Messer (Steinzeit), der Handbohrer (Bronzezeit), das Ziehmesser (Eisenzeit), der Hobel (Griechen- und Römerzeit) und die Säge (Mittelalter) genannt werden.<sup>7</sup>

Da Holz schon immer ein universell einsetzbarer Rohstoff war und bis heute ist, zog sich die Knappheit an Bauholz durch die verschiedenen Epochen der Menschheitsgeschichte. Holz als Handelsware gewann vor allem gegen Ende des Mittelalters an Bedeutung. Zeitgleich begann das Zeitalter der Schifffahrt, was die Knappheit des Holzes und den damit verbundenen Handel weiter antrieb. In dieser Zeit wurden erste Qualitätsstandards und Qualitätskontrollen eingeführt, um die unterschiedliche Beschaffenheit und Qualität der Fernhandelsware einzustufen und zu bewerten.<sup>8</sup>

Aus der einfachen Blockbauweise, welche bis ins späte Mittelalter verbreitet war<sup>9</sup>, entstanden weiterentwickelte Konstruktionen, wie die Holzbalkendecke, das Pfetten- und Sparrendach, Sprengwerke bei Brücken oder das Fachwerk. Durch Intuition, Erfahrung und Modellbildung der Baumeister sind schon in der Antike und im Mittelalter erstaunliche Konstruktionen entstanden. Besondere Bedeutung hatte der Holzbau immer schon in Gebieten mit großen Holzvorkommen: in Skandinavien, Mitteleuropa, Russland, Japan und zahlreichen anderen Ländern.<sup>10</sup>

<sup>4</sup> Vgl. RUG, W.; SCHMIDT, H.: Zur Entwicklung des Holzbaus. In: Holztechnologie, 04/1989. S. 186

<sup>5</sup> Vgl. SCHINDLER, C.: Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus. Dissertation. S. 95

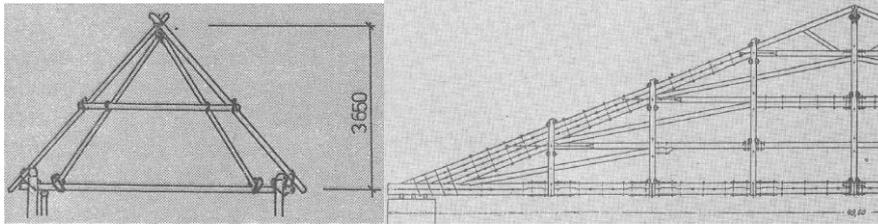
<sup>6</sup> Vgl. a.a.O., S. 95

<sup>7</sup> Vgl. a.a.O., S. 94

<sup>8</sup> Vgl. RADKAU, J.; SCHÄFER, I.: Holz: Ein Naturstoff in der Technikgeschichte. S. 70f.

<sup>9</sup> Vgl. a.a.O., S. 74

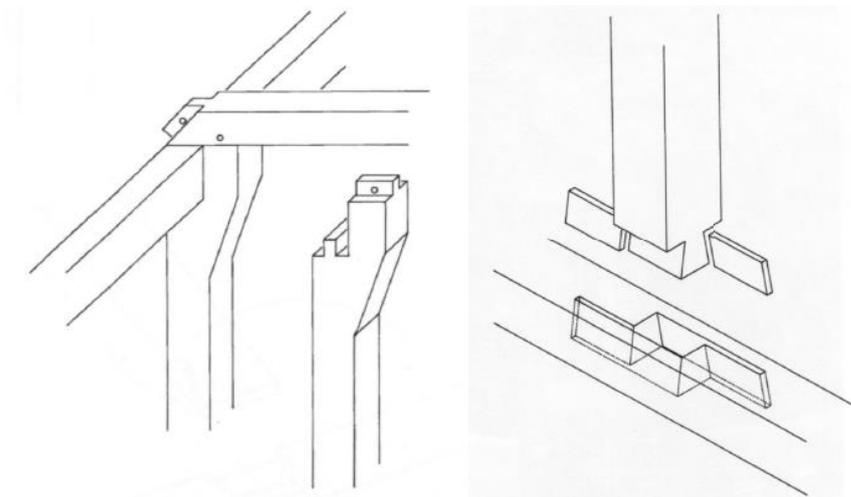
<sup>10</sup> Vgl. RUG, W.; SCHMIDT, H.: Zur Entwicklung des Holzbaus. In: Holztechnologie, 04/1989. S. 187



**Bild 2.1** Vergleich zweier Dachkonstruktionen (links: ca. 2000 Jahre v.Ch., rechts: 1810 n.Ch.)<sup>11</sup>

Ein wichtiger Schritt zum modernen Holzbau war der Übergang vom Geschoss- zum Stockwerkbau. Im Gegensatz zum Geschossbau, bei dem die vertikalen Ständer vom Fundament bis zum Dach reichen, werden beim Stockwerkbau die einzelnen Geschosse gezimmert und auf die darunterliegende Konstruktion aufgesetzt. Dadurch wurden größere Gebäudehöhen möglich.<sup>12</sup>

Im Spätmittelalter und der darauf folgenden Zeit entwickelten sich parallel dazu die Zimmermannskunst und die Kunst der Verbindungen immer weiter. Eine Entwicklung, die ab dem 17. und 18. Jahrhundert wieder rückgängig ist, da die Konstruktion an sich immer wichtiger wurde und dadurch die Verbindung weniger im Mittelpunkt stand. Zudem gewannen Eisenelemente auch im Holzbau immer mehr an Bedeutung. Von den unzähligen Zimmermannsverbindungen werden heute nur mehr sehr wenige eingesetzt.<sup>13</sup>



**Bild 2.2** Beispiel zweier Zimmermannsverbindungen<sup>14</sup>

<sup>11</sup> RUG, W.; SCHMIDT, H.: Zur Entwicklung des Holzbaus. In: Holztechnologie, 04/1989. S. 187

<sup>12</sup> Vgl. RADKAU, J.; SCHÄFER, I.: Holz: Ein Naturstoff in der Technikgeschichte. S. 76

<sup>13</sup> Vgl. a.a.O., S. 79

<sup>14</sup> ZWARGER, K.: Das Holz und seine Verbindungen: Traditionelle Bautechniken in Europa, Japan und China. 2. Auflage. S. 162

Der Weg zum modernen Holzbau wurde durch die industrielle Revolution in Europa geebnet. Die handwerklich geprägte und auf den Erfahrungsschatz des Zimmermanns basierende Arbeit wurde durch den Ingenieurholzbau abgelöst. Vorreiter erster Berechnungsmethoden der Statik waren etwa Carl Culmann (1821-1887) und Claude Navier (1785-1836), die erstmals innere Beanspruchungen mit Festigkeiten verglichen, sowie Sicherheitskonzepte und Fachwerktheorien anwendeten. Durch ihre Arbeiten entstanden schlankere und wirtschaftlichere Konstruktionen mit Spannweiten bis über 60 m.<sup>15</sup>

Auch die Technik der Maschinenwerkzeuge für die Holzbearbeitung wurde im Zuge der industriellen Revolution stark vorangetrieben. Erste Maschinen zur Bearbeitung von Holz gab es bereits ab dem 14. Jahrhundert. Die ersten Sägemühlen wurden in Laufe der Jahrhunderte weiterentwickelt, jedoch war deren Leistung im Vergleich zu modernen Maschinen sehr bescheiden. Durch den erstmaligen Einsatz von Kohle als fossilen Brennstoff in Maschinen und der Dampfmaschine als Energiewandler konnte das Potenzial der Maschinenwerkzeuge stark gesteigert werden. Zusätzlich beschleunigte der neu vorhandene Werkstoff Stahl die Maschinenentwicklung beträchtlich. Die mit Wasserkraft angetriebenen Sägewerke wurden von Dampfsägewerken abgelöst. Mitte des 19. Jahrhunderts setzten sich Dampfsägewerke auf dem gesamten europäischen Kontinent und in Nordamerika durch. Dieser Prozess löste einen rapiden Anstieg des Holzverbrauchs aus.<sup>16</sup>

*„Die Steigerung des Holzverbrauchs in den USA liest sich eindrücklich: 100 % Steigerung von 1830-40, 350 % von 1840-50, dann jeweils ca. 50 % in den Folgejahrzehnten“<sup>17</sup>*

Kreissäge, Hobelmaschine, Fräsmaschine und Bandsäge sind nur wenige Beispiele von Holzbearbeitungsmaschinen, die in dieser Zeit entwickelt wurden.<sup>18</sup>

Stagnierende Entwicklungen, vor allem in der Verbindungstechnik, negative Einschätzungen zum Brandverhalten und zur Dauerhaftigkeit sowie eine starke Konkurrenz durch neuartige Stahlerzeugnisse verdrängten Holz als Material für das Bauwesen am Ende des 19. Jahrhunderts jedoch zunehmend. Erst die Stahlverknappung im Zuge des ersten Weltkrieges konnte diesen Prozess umkehren. In dieser Zeit wurden außerdem neue Entwicklungen bezüglich der

<sup>15</sup> Vgl. RUG, W.; SCHMIDT, H.: Zur Entwicklung des Holzbaus. In: Holztechnologie, 04/1989. S. 187f.

<sup>16</sup> Vgl. SCHINDLER, C.: Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus. Dissertation. S. 130ff.

<sup>17</sup> a.a.O., S. 142ff.

<sup>18</sup> a.a.O., S. 143ff.

Verbindungstechnik, den Konstruktionsprinzipien und den Herstellungsverfahren erarbeitet. Zusätzlich wurden die Möglichkeiten des konstruktiven Holzbaus durch die Erfindung der Holzklebetechnik zu Beginn des 20. Jahrhunderts stark erweitert.<sup>19</sup>

In der Zwischenkriegszeit änderte sich das Bauwesen kontinuierlich. Der neue Baustoff Beton wurde vor allem auf dem europäischen Kontinent rasch als primärer Baustoff in Konstruktionen des industriellen und sozialen Wohnungsbaus eingesetzt. In den USA wurde der Holzbau stark industrialisiert und konnte sich daher gegenüber anderen Baustoffen besser durchsetzen. Auch heute noch lebt in den meisten Dörfern, Kleinstädten und Vororten eine große Anzahl Amerikanern in Holzhäusern. In Nordamerika setzte sich auch erstmals die industrielle Holzrahmen-, Platten-, und Tafelbauweise durch.<sup>20</sup>

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde der Holzbau auch auf dem europäischen Kontinent immer stärker industrialisiert. Der Marktanteil konnte dadurch aber bis heute nicht signifikant gesteigert werden. Stahl und Beton sind nach wie vor die dominierenden Baustoffe im konstruktiven Ingenieurbau. In der skandinavischen und nordamerikanischen Bauindustrie konnte der Holzbau jedoch seine Spitzenposition bis in die Gegenwart behalten.<sup>21</sup>

Die Industrialisierung des Holzbaus nach dem zweiten Weltkrieg war von der bisher letzten Revolution in der Werkzeugtechnik begleitet. Ab den 1960er Jahren kamen erstmals Maschinen mit elektronischer Lochkartensteuerung zum Einsatz. Aus den NC (Numerical-Control) Maschinen entstanden ein Jahrzehnt später die CNC (Computerized-Numerical-Control) Maschinen mit Mikroprozessortechnik. Obwohl hohe Investitionskosten für diese Anlagen erforderlich sind, wurde deren Einsatz aufgrund steigender Lohnkosten immer wirtschaftlicher. Heute bietet der Markt eine Vielzahl verschiedener CNC Maschinen, wie die Bandsäge-, Bohr-, Dreh-, Fräs- und Nagelmaschine oder auch die Abbundmaschine. In letzter Zeit tendiert die moderne Holzindustrie grundsätzlich zu großen Abbundanlagen, ebenso wie zu Robotertechnologien, ähnlich wie das in der Autoindustrie vor einigen Jahrzehnten der Fall war.<sup>22</sup>

Heute eingesetzte Holzbauweisen sind sehr vielfältig und können individuell angepasst und variiert werden. Generell kann zwischen der Holzleichtbauweise und der Holzmassivbauweise unterschieden

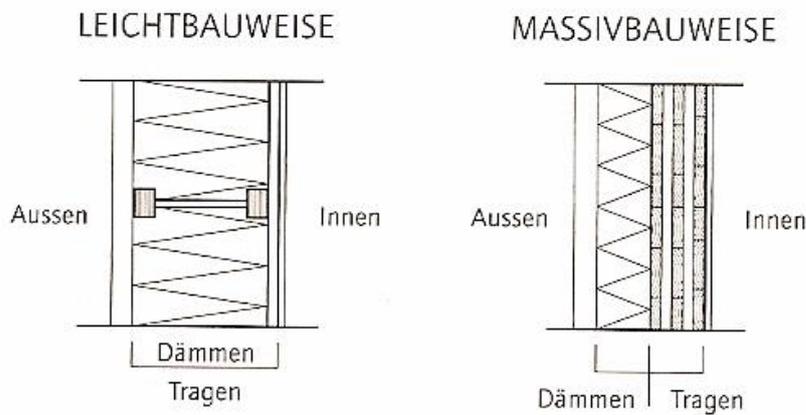
<sup>19</sup> Vgl. RUG, W.; SCHMIDT, H.: Zur Entwicklung des Holzbaus. In: Holztechnologie, 04/1989. S. 189

<sup>20</sup> Vgl. a.a.O., S. 189f.

<sup>21</sup> Vgl. a.a.O., S. 190f.

<sup>22</sup> Vgl. SCHINDLER, C.: Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus. Dissertation. S. 189f.

werden.<sup>23</sup> Ergänzt werden diese durch die in den letzten Jahren entwickelten Hybridbauweisen.<sup>24</sup> Bei der Holzleichtbauweise werden als tragende Elemente stabförmige Bauteile verwendet. Durch eine Beplankung kann die Scheiben- oder Plattenwirkung dieser Bauteile aktiviert werden. Im Gegensatz dazu werden bei der Holzmassivbauweise zur Lastabtragung großformative, massive Holzelemente eingesetzt. Die Massivbauweise ist zusätzlich durch die Trennung von Trag- und Dämmebene gekennzeichnet. Im Unterschied dazu wird bei der Leichtbauweise die Dämmung im Allgemeinen zwischen den tragenden Holzelementen angeordnet. Deshalb stellen die Leichtbauweise und die Massivbauweise statisch und bauphysikalisch sehr unterschiedliche Systeme dar.<sup>25</sup>



**Bild 2.3** Vergleich der Leicht- und Massivbauweise bei vertikalen Tragstrukturen<sup>26</sup>

Zu der klassischen Holzleichtbauweise und Holzmassivbauweise sind in den letzten Jahrzehnten Hybridformen hinzugekommen, die den Baustoff Holz mit anderen Baustoffen kombinieren. Dazu zählen die HBV-Bauweise und die Holz-Glas-Verbundbauweisen.<sup>27</sup>

Die nachfolgend angeführte Tabelle gibt einen detaillierteren Überblick über die verschiedenen Bauweisen im Holzbau.

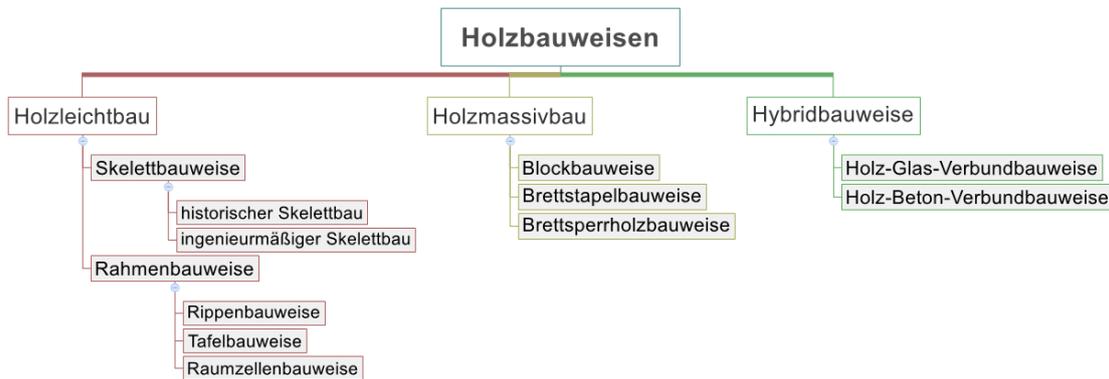
<sup>23</sup> Vgl. HOFMANN, A.: Analyse technischer und wirtschaftlicher Aspekte der Holz-Massivbauweise mit Brettspertholz. Diplomarbeit. S. 29ff.

<sup>24</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 25ff.

<sup>25</sup> Vgl. HOFMANN, A.: Analyse technischer und wirtschaftlicher Aspekte der Holz-Massivbauweise mit Brettspertholz. Diplomarbeit. S. 29ff.

<sup>26</sup> a.a.O., S. 31

<sup>27</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 25ff.

Tabelle 1 Holzbauweisen<sup>28, 29, 30</sup>

In Österreich wird bei Holzbauvorhaben mit überwiegender Mehrheit in Holzleichtbauweise gebaut, wobei der Anteil der Rahmenbauweise dominant ist. Bei Einfamilienhäusern wurde im Jahr 2008 bei 84 % aller Bauvorhaben in Holzbauweise die Rahmenbauweise verwendet. Die Skelettbauweise machte einen verschwindend kleinen Anteil von 1 % und die Massivbauweise in Summe einen Anteil von 15 % aus. Ähnlich sieht die Verteilung bei Mehrfamilienhäusern aus: Hier nimmt die Rahmenbauweise mit 94 % eine noch dominantere Rolle ein. Die Skelettbauweise (annähernd null Prozent) und die Massivbauweise (6 %) spielen eine untergeordnete Rolle. Bei Zu- und Umbauten sieht die Verteilung anders aus: 62 % wurden im Jahr 2008 in Skelettbauweise errichtet, 26 % in Rahmenbauweise und 12 % in Massivbauweise. Bei öffentlichen Bauten (37 % Skelettbau, 55 % Rahmenbau, 8 % Massivbau) sind die Anteile der jeweiligen Bauweisen etwas gleichmäßiger verteilt.<sup>31</sup>

Der Fokus und die größten Herausforderungen im Holzbau liegen zurzeit im mehrgeschossigen Wohnungs- und Verwaltungsbau. Verschiedene Forschungsvorhaben prüfen die Möglichkeit der Realisierung von Hochhäusern bis zu 20 Stockwerken in Holz. Erste Pilotprojekte, wie der achtgeschossige Life Cycle Tower One in Dornbirn, sind bereits realisiert. Die neu entwickelte HBV-Bauweise und die serielle und digital gesteuerte Produktion eröffnen neue Perspektiven im Holzbau. Jedoch gibt es immer noch offene Fragen zur technischen und rechtlichen Realisierbarkeit solcher Projekte.<sup>32</sup>

<sup>28</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 21ff.

<sup>29</sup> Vgl. HOFMANN, A.: Analyse technischer und wirtschaftlicher Aspekte der Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz. Diplomarbeit. S. 30

<sup>30</sup> Vgl. <http://www.proholz.at/>. Datum des Zugriffs: 02.08.2013

<sup>31</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 12ff.

<sup>32</sup> Vgl. MÖLLER, E.: Tendenzen im Holzbau. In: Bautechnik, 01/2013. S. 42ff.

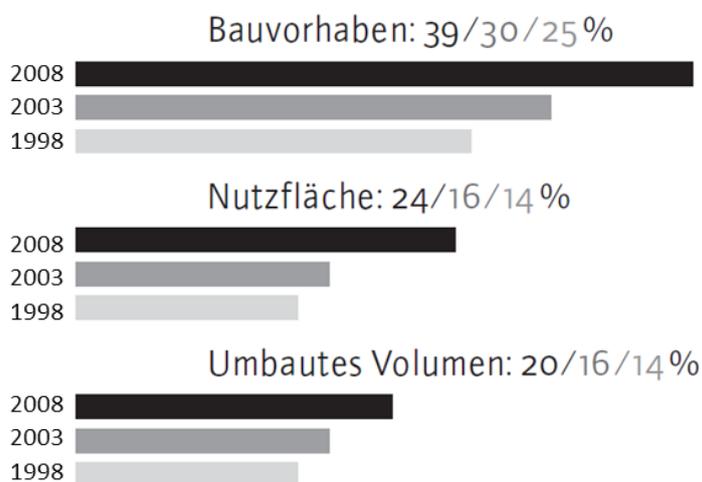
## 2.1.2 Bedeutung des Holzbaus in der Bauwirtschaft

Die Verwendung von Holz als tragendes Material variiert regional, national und international. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, wird in diesem Kapitel der aktuelle Holzbauanteil bei Tragstrukturen in Österreich, Deutschland und der Schweiz betrachtet.

### 2.1.2.1 Österreich

Zunächst wird der Holzbauanteil aller genehmigungspflichtigen Bauvorhaben in Österreich betrachtet. Dieser liegt im Jahr 2008 bei 39 %. Dies wiederum entspricht 24 % der erbauten Nutzfläche und 20 % des umbauten Raumes. Ausgehend von 1998 konnte der Holzbauanteil um 14 % gesteigert werden. Der Anteil des Holzbaus in den Städten fällt um einiges geringer aus. Als Beispiel kann hier Wien mit 22 % aller bewilligungspflichtigen Bauvorhaben genannt werden. In der österreichischen Hauptstadt wurden 5 % der Nutzfläche und 5 % des umbauten Raumes in Holzbauweise errichtet. Bei Betrachtung der Projektgröße ist eine Steigerung von 60 % zu erkennen, die durchschnittliche Nutzfläche pro Holzbauprojekt stieg von 1998 bis 2008 von 135 m<sup>2</sup> auf 200 m<sup>2</sup>. Die im Jahr 2008 erstellten Gebäude in Holz waren zu 77 % Wohnbauten, zu 16 % landwirtschaftliche Nutzbauten, zu 5 % Gewerbe- und Industriebauten und lediglich zu 2 % öffentliche Gebäude.<sup>33</sup>

Bild 2.4 zeigt den prozentualen Anteil des Holzbaus in Österreich:



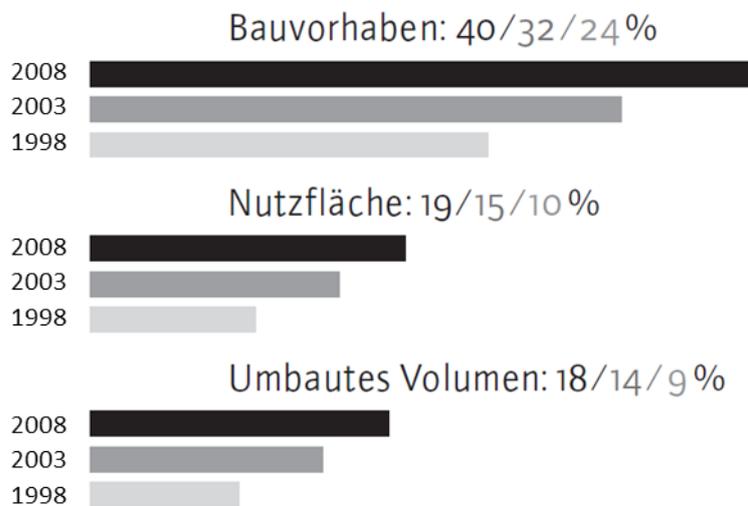
**Bild 2.4** Prozentualer Anteil des Holzbaus in Österreich <sup>34</sup>

<sup>33</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 8

<sup>34</sup> Vgl. a.a.O., S. 8

Betrachtet man ausschließlich die realisierten Wohnbauten, so liegt der Holzbauanteil in Österreich bezogen auf das Jahr 2008 bei 40 %. Bei 80 % davon handelte es sich um Zu- und Umbauten. Auch im Einfamilienhausbau ist der Holzbau stark vertreten, im Gegensatz dazu ist der Anteil an Holzbauten bei Mehrfamilienhäusern und im mehrgeschossigen Wohnungsbau deutlich geringer. Deshalb fällt der Holzbauanteil bei Wohnbauten bezogen auf die Nutzfläche (19 %) und das umbaute Volumen (18 %) ebenfalls geringer aus. Im Zeitraum von 1998 bis 2008 konnte der Holzbauanteil bei Wohnbauten ähnlich gesteigert werden wie bei den oben genannten Zahlen aller Bauvorhaben. Die Steigerung der Baugenehmigungen liegt bei 16 %.<sup>35</sup>

In Bild 2.5 ist der prozentuale Anteil des Holzbaus in Österreich im Wohnbau dargestellt:



**Bild 2.5** Prozentualer Anteil des Holzbaus in Österreich bei Wohnbauten<sup>36</sup>

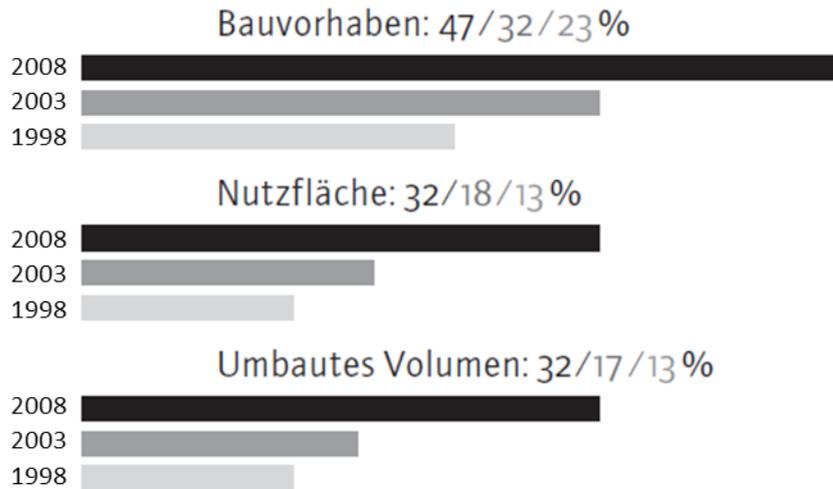
Den höchsten Marktanteil erreicht der Holzbau bei Zu- und Umbauten. Hier konnte 2008 ein Marktanteil von 47 % erreicht werden. Verglichen mit anderen Bauweisen kann der Holzbau in diesem Segment als führendes konstruktives Material angesehen werden. Die Steigerung im Vergleichszeitraum von 10 Jahren beträgt 14 %.<sup>37</sup>

<sup>35</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 10

<sup>36</sup> Vgl. a.a.O., S. 10f.

<sup>37</sup> Vgl. a.a.O., S. 16

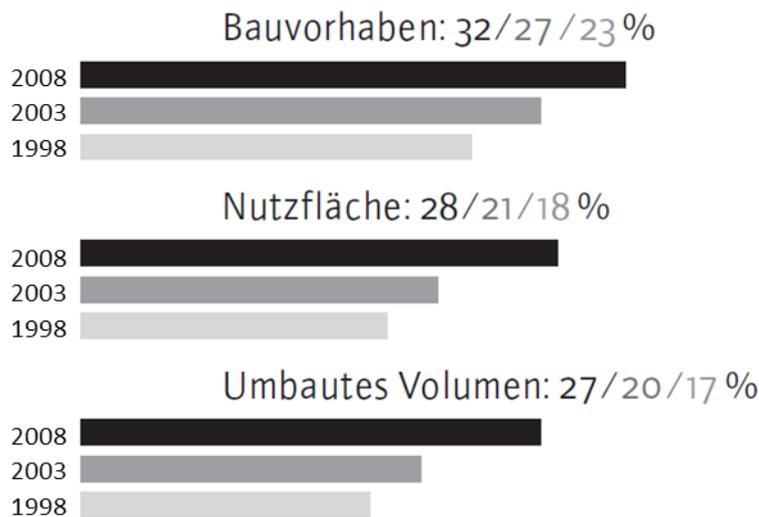
Die folgende Darstellung zeigt den Anteil des Holzbaus bei Zu- und Umbauten:



**Bild 2.6** Prozentualer Anteil des Holzbaus in Österreich bei Zu- und Umbauten <sup>38</sup>

Auch beim Einfamilienhausbau ist der Holzbau stark vertreten. In diesem Segment wurden 32 % aller genehmigten Bauvorhaben in Holzbauweise ausgeführt.<sup>39</sup>

Die folgende Darstellung zeigt den Anteil des Holzbaus bei Einfamilienhäusern in Österreich über die verschiedenen Jahre:



**Bild 2.7** Prozentualer Anteil des Holzbaus bei Einfamilienhäusern in Österreich <sup>40</sup>

<sup>38</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 16f.

<sup>39</sup> Vgl. a.a.O., S. 14

<sup>40</sup> Vgl. a.a.O., S. 14f.

Bei Doppel- und Reihenhäusern sowie mehrgeschossigen Wohnbauten ist der Holzbauanteil noch sehr gering, jedoch gewann auch hier die Holzbauweise im Zeitraum von 1998 bis 2008 an Anteilen.<sup>41</sup>

Die folgende Darstellung zeigt den Anteil des Holzbaus bei Doppel- und Reihenhäusern, sowie bei mehrgeschossigen Wohnbauten in Österreich.

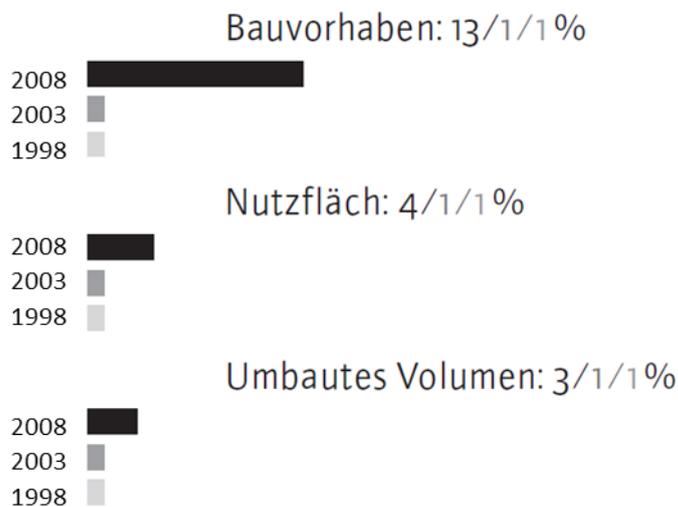


Bild 2.8 Prozentualer Anteil des Holzbaus bei Mehrfamilienhäusern in Österreich<sup>42</sup>

Bei öffentlichen Bauten ist ein ähnlicher Trend zu erkennen, wobei hier insgesamt 26 % aller genehmigten Bauten in Holzbauweise ausgeführt wurden. Wie bei den Wohnbauten wurden auch in dieser Kategorie vor allem die kleineren Bauvorhaben mit Holz umgesetzt. Der Holzanteil bezogen auf die erbaute Nutzfläche liegt bei 5 %, bezogen auf das errichtete umbaute Volumen ebenfalls bei 5 %. Bei Gewerbe- und Industriebauten (19 %) und vor allem bei landwirtschaftlichen Zweckbauten (54 %) hat der Holzbau eine stärkere Bedeutung.<sup>43</sup>

Bei näherer Betrachtung der Holzbauanteile der einzelnen Bundesländer sind teilweise erhebliche Unterschiede zum gesamtösterreichischen Durchschnitt zu erkennen.<sup>44</sup> Um dies zu veranschaulichen wird ein Vergleich zwischen den Bundesländern Steiermark und Kärnten gezogen. In der folgenden Tabelle sind die Holzbauanteile aller genehmigten Bauvorhaben im gesamten Staatsgebiet von Österreich, der Steiermark und Kärnten dargestellt. Die Daten für Österreich wurden teilweise in den oben dargestellten Bildern bereits genannt.

<sup>41</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 12

<sup>42</sup> Vgl. a.a.O., S. 12f.

<sup>43</sup> Vgl. a.a.O., S. 18ff.

<sup>44</sup> Vgl. PROHOLZ STEIERMARK: Gegenüberstellung der ermittelten Holzbauanteile: Österreich - Steiermark - Kärnten. PowerPoint Präsentation. S. 1ff.

Tabelle 2 Vergleich des Holzbauanteils in Gesamtösterreich, der Steiermark und Kärnten<sup>45, 46</sup>

Gebäudekategorie	Österreich			Steiermark			Kärnten		
	1998	2003	2008	1998	2003	2008	1998	2003	2008
Gesamt	25,0%	30,0%	39,0%	26,6%	35,1%	38,4%	37,1%	47,0%	52,9%
Zu- und Umbauten	23,0%	32,0%	47,0%	28,7%	38,8%	46,1%	43,7%	50,1%	55,1%
Einfamilienhäuser	23,0%	27,0%	32,0%	26,5%	33,3%	27,3%	19,8%	34,4%	40,4%
Mehrfamilienhäuser	1,0%	1,0%	13,0%	6,9%	2,3%	15,8%	26,7%	16,7%	35,3%
Öffentliche Bauten	12,0%	14,0%	26,0%	25,0%	42,1%	33,3%	25,0%	50,0%	57,1%
Nutzbauten	39,0%	40,0%	54,0%	31,8%	53,8%	57,1%	46,3%	59,3%	61,0%
Gewerbebauten	14,0%	14,0%	19,0%	18,8%	19,8%	26,4%	26,6%	37,8%	52,7%

Aus dieser Gegenüberstellung ist zu erkennen, dass dem Holzbau vor allem in Kärnten eine besondere Rolle zukommt: Mehr als jedes zweite Bauvorhaben im Hochbau wurde im Jahr 2008 in Holzbauweise ausgeführt. Dies ist um ca. 14 % mehr als im gesamtösterreichischen Durchschnitt. Bei allen Gebäudekategorien war der Holzbau in Kärnten überdurchschnittlich stark vertreten, wobei die öffentlichen Gebäude speziell zu nennen sind. Während in ganz Österreich nur jedes vierte öffentliche Bauvorhaben in Holz ausgeführt wurde, war dies in Kärnten jedes zweite. Dies ist ein deutliches Zeichen, dass in Kärnten die öffentliche Hand stärker auf den Holzbau setzt. Ein eklatanter Unterschied ist auch beim Holzbauanteil der Mehrfamilienhäuser zu finden. Mit etwa 36 % ist dieser in Kärnten ca. dreimal so hoch wie im gesamtösterreichischen Durchschnitt. In der Steiermark hingegen werden ähnliche Holzbauanteile erreicht wie im österreichischen Schnitt. Allen Daten gemeinsam ist ein allgemeiner Aufwärtstrend über den Vergleichszeitraum von 1998 und 2008. Der Holzbau ist, mit wenigen Ausnahmen, in ganz Österreich deutlich auf dem Vormarsch.<sup>47</sup>

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Holzbau die wichtigste Rolle bei Zu- und Umbauten und bei landwirtschaftlichen Zweckbauten spielt. Etwas geringere Anteile wurden bei Wohnbauten erreicht. Der Holzbau konnte in einem Vergleichszeitraum von 10 Jahren stark an Marktanteilen gewinnen, eine Steigerung ist unabhängig von der Gebäudeart zu erkennen. Es muss angemerkt werden, dass Holz als tragendes Material vor allem bei kleineren Projekten eingesetzt wird.

<sup>45</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 1ff.

<sup>46</sup> Vgl. PROHOLZ STEIERMARK: Gegenüberstellung der ermittelten Holzbauanteile: Österreich - Steiermark - Kärnten. PowerPoint Präsentation. S. 5ff.

<sup>47</sup> Vgl. a.a.O., S. 1ff.

Dies kann folgendermaßen begründet werden: Unabhängig von der Gebäudeart, ist der Anteil bezogen auf die Anzahl der genehmigten Bauvorhaben höher als der Anteil der errichteten Nutzfläche oder des verbauten Volumens. Daraus lässt sich schließen, dass die Gebäudegröße von Holzbauten unterdurchschnittlich ist. Der hohe Anteil der Holzbauweise bei Einfamilienhäusern und der geringe Anteil bei Mehrfamilienhäusern bestätigen diese Aussage.<sup>48</sup> Regional kann der Holzbauanteil teilweise stark streuen, sodass die Durchschnittswerte für Österreich nur begrenzt für ein einzelnes Bundesland zutreffen. Ein Beispiel dafür ist Kärnten: Hier wurde je nach Gebäudekategorie teilweise ein bis zu dreimal höherer Holzbauanteil erreicht als im österreichischen Durchschnitt.<sup>49</sup>

### 2.1.2.2 Deutschland

Daten für Deutschland aus dem gleichen Zeitraum konnten leider nicht gefunden werden, deshalb beziehen sich die folgenden Daten auf das Jahr 2005.

Als Vergleich kann der Anteil der im Jahr 2005 fertiggestellten Einfamilienhäuser herangezogen werden. Der gesamtdeutsche Durchschnittswert liegt bei 13,1 %.<sup>50</sup> Der durch lineare Interpolation ermittelte Wert für Österreich für das Jahr 2005 liegt bei 35,2 %.<sup>51</sup> Der sehr viel höhere Wert in Österreich kann zum Teil durch das deutlich zu erkennende Nord-Süd Gefälle in Deutschland erklärt werden. Während im norddeutschen Bremen lediglich 5,7 % der Gebäude in Holz erstellt wurden, liegt derselbe Wert in Baden-Württemberg bei 21,9 %.<sup>52</sup>

<sup>48</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 1ff.

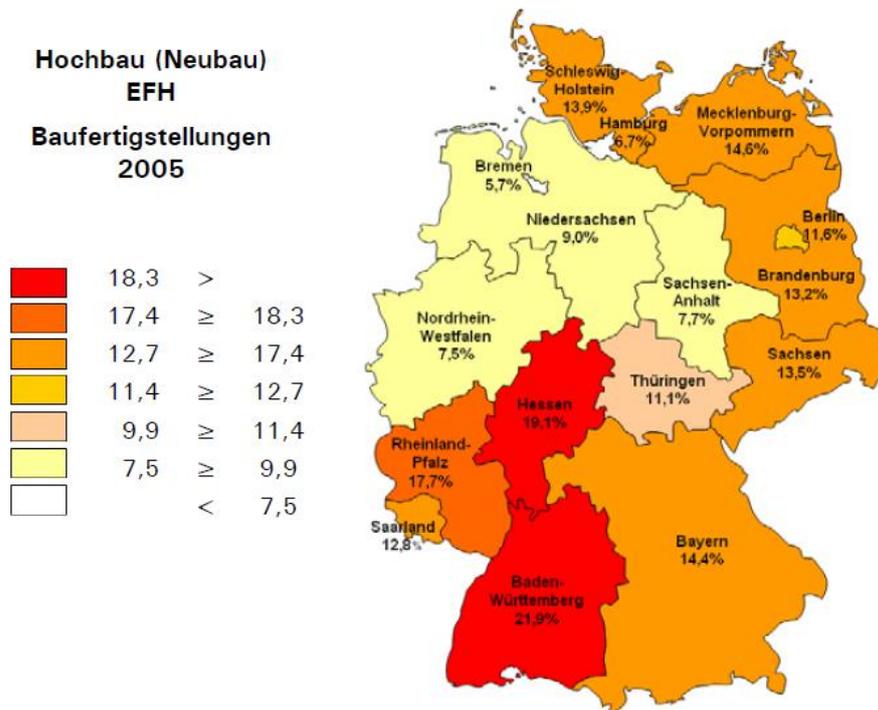
<sup>49</sup> Vgl. PROHOLZ STEIERMARK: Gegenüberstellung der ermittelten Holzbauanteile: Österreich - Steiermark - Kärnten. PowerPoint Präsentation. S. 1ff.

<sup>50</sup> Vgl. KÖSTER, H.; WEHNER, M.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 08: Marktforschung und Markterschließung. Abschlussbericht. S. 66

<sup>51</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 14

<sup>52</sup> Vgl. KÖSTER, H.; WEHNER, M.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 08: Marktforschung und Markterschließung. Abschlussbericht. S. 66

Bild 2.9 verdeutlicht das Nord-Süd Gefälle:



**Bild 2.9** Anteil der fertiggestellten Einfamilienhäuser in Holzbauweise im Jahr 2005 in Deutschland<sup>53</sup>

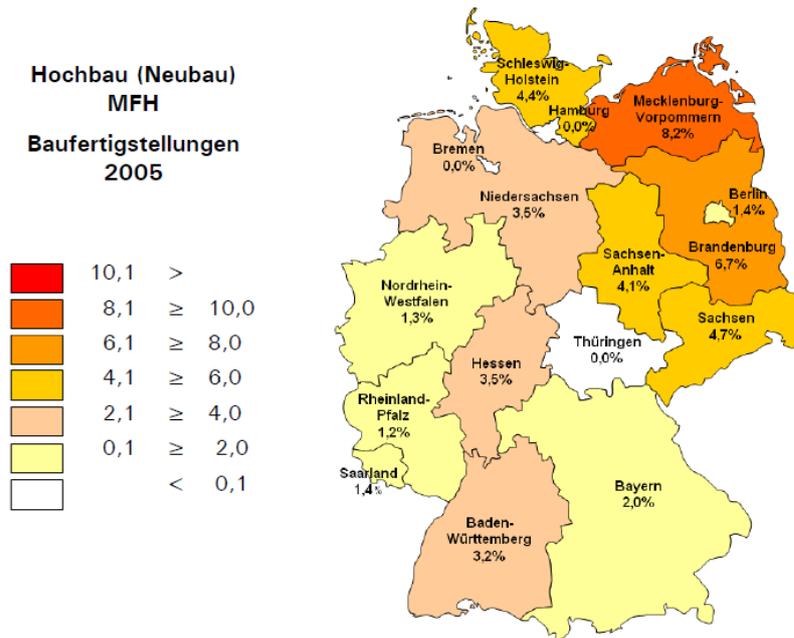
Wie in Österreich ist auch in Deutschland zu erkennen, dass der Holzbau bei kleineren Bauvorhaben eine größere Rolle spielt. Dementsprechend niedriger liegt der Anteil der Holzbauten bei Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu Einfamilienhäusern. Der Anteil der im Jahr 2005 fertiggestellten Mehrfamilienhäuser in überwiegender Holzbauweise in Deutschland ist mit 2,5 %<sup>54</sup> sehr gering; der interpolierte Vergleichswert für Österreich liegt bei 5,8 %<sup>55</sup>.

<sup>53</sup> KÖSTER, H.; WEHNER, M.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 08: Marktforschung und Markterschließung. Abschlussbericht. S. 66

<sup>54</sup> Vgl. a.a.O., S. 68

<sup>55</sup> Vgl. STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011. S. 18ff.

Bild 2.10 detailliert die Werte für Mehrfamilienhäuser für die deutschen Bundesländer.



**Bild 2.10** Anteil der fertiggestellten Mehrfamilienhäuser in Holzbauweise im Jahr 2005 in Deutschland<sup>56</sup>

Genau wie in Österreich ist in Deutschland ein kontinuierlicher Anstieg der in Holzbauweise errichteten Gebäude zu erkennen. Der Anteil aller fertiggestellten Gebäude in Holzbauweise stieg zwischen 2000 und 2005 von 10,8 % auf 12,8 %.<sup>57</sup>

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auch in Deutschland der Holzbauanteil von Bundesland zu Bundesland stark variiert. Bei Einfamilienhäusern ist ein Nord-Süd Gefälle zu erkennen, wobei im Süden höhere Anteile erreicht werden. Sowohl bei den Einfamilienhäusern als auch bei den Mehrfamilienhäusern ist zudem ein West-Ost Gefälle zu erkennen, wobei in den „neuen“ deutschen Bundesländern höhere Holzbauanteile erreicht werden. Deshalb kann im Allgemeinen gesagt werden, dass der Anteil an Holzbauten im Osten und Süden am höchsten, im Norden und Westen am geringsten ist. Der Holzbau spielt in Deutschland bei Einfamilienhäusern eine größere Rolle als bei Mehrfamilienhäusern. Wie in Österreich konnten die Marktanteile des Holzbaus auch in Deutschland zwischen 2000 und 2005 im Allgemeinen gesteigert werden.<sup>58</sup>

<sup>56</sup> KÖSTER, H.; WEHNER, M.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 08: Marktforschung und Markterschließung. Abschlussbericht. S. 68

<sup>57</sup> Vgl. a.a.O., S. 65

<sup>58</sup> Vgl. a.a.O., S. 65ff.

### 2.1.2.3 Schweiz

Für die Schweiz konnten Daten für die Jahre zwischen 2005 und 2011 gefunden werden. Damit können Daten aus Österreich und der Schweiz direkt miteinander verglichen werden.

Im Jahr 2011 wurden in der Schweiz 11 % aller Neubauten in Holzbauweise ausgeführt. Seit dem Jahr 2005 konnte der Holzbauanteil insgesamt nicht gesteigert werden. Bei den genehmigten Zu- und Umbauten hingegen konnte zwischen 2005 und 2011 der Anteil von 20,8 % auf 23,9 % gesteigert werden. Vergleicht man die Daten mit jenen aus Österreich, ist zu erkennen, dass die Bedeutung des Holzbaues in Österreich größer ist als in der Schweiz. Selbiges wurde im vorherigen Abschnitt für Deutschland festgestellt. Jedoch bestätigen die Daten, dass der Anteil bei Sanierungen im Allgemeinen höher ausfällt als bei Neubauten. Der Holzbauanteil bei Mehrfamilienhäusern in der Schweiz betrug im Jahr 2011 etwa 6 %. Dieser Wert konnte im Vergleichszeitraum von 2005 bis 2011 um 2 % gesteigert werden. Bei Zu- und Umbauten von Mehrfamilienhäusern konnte der Wert im Vergleichszeitraum verdoppelt werden (von 13,3 % auf 26,1 %). Bezogen auf Einfamilienhäuser stagnierte der Anteil der Neubauten zwischen 2005 und 2011 bei etwa 12 %. Tragende Konstruktionen bei Zu- und Umbauten von Einfamilienhäusern wurden 2011 in der Schweiz zu ca. 26 % in Holz ausgeführt, was einer Steigerung von 4 % seit 2005 entspricht.<sup>59</sup>

### 2.1.2.4 Zusammenfassung

Als Ergebnis der Marktanalyse von Österreich, Deutschland und der Schweiz können einige Kernaussagen zusammengefasst werden. Der Holzbau spielt in Österreich eine besonders große Rolle. Die Anteile bei den verschiedenen Bauvorhaben waren in der Schweiz und in Deutschland im Vergleichszeitraum geringer. Im Allgemeinen konnten die Anteile der Gebäude, bei denen Holz als Material bei tragenden Strukturen eingesetzt wird, über die Jahre gesteigert werden. Besonders eklatant sind die gestiegenen Marktanteile in Österreich. Lediglich in der Schweiz konnte der Holzbau bei Neubauten seine Marktanteile nicht steigern. In allen drei Staaten ist der Holzbau bei kleineren Projekten wichtiger als bei größeren. So war der Anteil der Holzbauweise bei Mehrfamilienhäusern jeweils signifikant geringer als der Anteil bei Einfamilienhäusern. Eine besondere Bedeutung kommt dem Holzbau bei Zu- und Umbauten zu. Sowohl in Österreich, als auch in Deutschland

<sup>59</sup> Vgl. [http://www.baumeister.ch/no\\_cache/news-einzelansicht/news/jeder-neunte-neubau-ist-aus-holz/](http://www.baumeister.ch/no_cache/news-einzelansicht/news/jeder-neunte-neubau-ist-aus-holz/). Datum des Zugriffs: 26.09.2013

und der Schweiz waren die Anteile bei Zu- und Umbauten am höchsten. Es wird jedoch angemerkt, dass die Bedeutung des Holzbaus regional stark variieren kann. So waren die Holzbauanteile in Kärnten, je nach Gebäudekategorie, bis zu dreimal höher als im österreichischen Durchschnitt. Weitere Beispiele für die regionalen Unterschiede sind das Nord-Süd und das West-Ost Gefälle in Deutschland. Es kann angenommen werden, dass bei Betrachtung der einzelnen Kantone der Schweiz eine ähnliche Ungleichverteilung zu erkennen ist.

## 2.2 Verbundbau allgemein

Verbundbau bezeichnet eine Bauweise, bei der zwischen mindestens zwei Bauteile aus mindestens zwei verschiedenen Materialien mit Hilfe eines Verbindungsmittels ein schubfester Formschluss erzeugt wird.<sup>60, 61, 62</sup> Auch wenn diese allgemeine Definition auf eine Vielzahl von Querschnitten und Materialien angewendet werden kann, wird der Verbundbau in der Praxis fast ausschließlich in Form von Stahl-Beton-Verbund oder als Holz-Beton-Verbund umgesetzt. Im alltäglichen Sprachgebrauch wird unter dem Begriff Verbundbau auch heute noch meist Stahl-Beton-Verbund gemeint. Weitere Grundlagen der beiden gängigsten Bauarten des Verbundbaus werden im folgenden Kapitel angeführt.

### 2.2.1 Verbundbauweise allgemein

Eine erste Methode zur Berechnung von Verbundkonstruktionen veröffentlichte im Jahr 1953 Konrad Sattler. Mit seiner Methode konnten bereits statisch bestimmte und unbestimmte Systeme berechnet werden und auch die Berücksichtigung von Kriechen, Schwinden und Vorspannungen war ohne weiteres möglich.<sup>63</sup> Auch wenn es heute deutlich einfachere Berechnungsmethoden (n-Ziffern Methode, Finite-Elemente-Methode) gibt, haben die Ansätze von Sattler immer noch ihre Gültigkeit.

Die neue Baumethode, welche zunächst in Form von Stahl-Beton-Verbund umgesetzt wurde, konnte anfangs noch nicht wirtschaftlich eingesetzt werden. Leistungsfähige Verbindungsmittel und Herstellungsmethoden mussten erst entwickelt werden. Ein erster Meilenstein war die Einführung der Bolzenschweißtechnik, mit der erstmals Verbindungsmittel kostengünstig mit Stahlprofilen verbunden werden konnten. In den folgenden Jahrzehnten wurden Systeme entwickelt, deren Prinzipien auch heute noch angewendet werden, unter anderem die Kopfbolzendübel für Stahl-Beton-Verbundträger und hinterschnittene Stahlbleche für Stahl-Beton-Verbunddecken. Ein großer Vorteil dieser Bauweise war unter anderem der verbesserte Bauablauf durch Trennung der Stahlskelett- und Deckenstruktur.<sup>64</sup>

<sup>60</sup> Vgl. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Verbundbauweise>. Datum des Zugriffs: 26.09.2013

<sup>61</sup> Vgl. SATTLER, K.: Theorie der Verbundkonstruktionen: 1. Theorie. S. XIII.

<sup>62</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 16

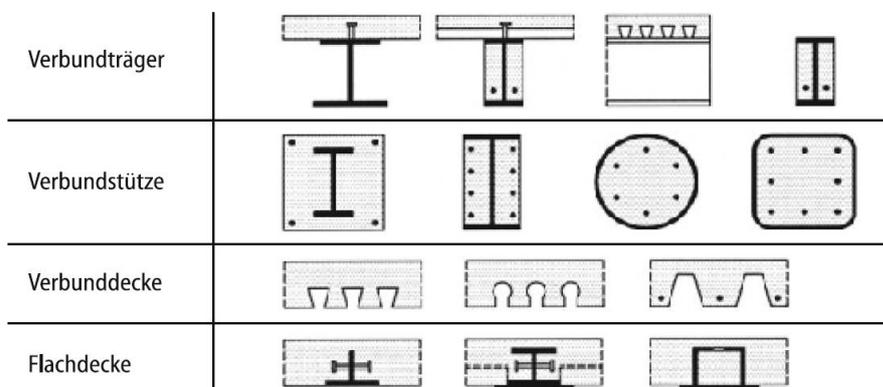
<sup>63</sup> Vgl. SATTLER, K.: Theorie der Verbundkonstruktionen: 1. Theorie. S. Iff.

<sup>64</sup> Vgl. MÜSS, H.; SAUERBORN, N.; SCHMITT, J.: Höhepunkte im modernen Verbundbau - eine beispielhafte Entwicklungsgeschichte. In: Stahlbau, 10/2004. S. 791f.

Als weiterer Meilenstein kann die Entwicklung des Verbundträgers mit seitlich ausbetonierten Kammern gesehen werden. Dadurch konnten erstmals Stahltragwerke ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen errichtet werden, was vor allem im Gewerbe- und Industriebau signifikante Vorteile hatte. Da die Tragstruktur unabhängig von zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen war, musste durch diese Technik der Stahl nicht mehr hinter Brandschutzverkleidungen oder Anstrichen versteckt werden. Die immer wieder nötigen Umbau- und Anpassungsmaßnahmen der Gebäude konnten so wirtschaftlicher realisiert werden. Durch diese Vorteile fand der Stahl-Beton-Verbund auch bei anderen Gebäudearten Einzug.<sup>65</sup>

Stahl-Beton-Verbundelemente werden hauptsächlich beim Brücken-, Geschoss-, Hochhaus-, Industriebau, sowie beim Hallen- und Parkhausbau verwendet.<sup>66</sup>

In Bild 2.11 sind die am häufigsten gebauten Konstruktionselemente dieser Bauweise dargestellt.



**Bild 2.11** Wichtigste Konstruktionselemente im Stahl-Beton-Verbundbau<sup>67</sup>

Durch eine optimale Dimensionierung können beim Verbundbau alle in der Konstruktion enthaltenen Materialien effizient eingesetzt werden. Die folgenden Vorteile gelten sowohl für die Stahl-Beton-Verbundbauweise als auch für die Holz-Beton-Verbundbauweise.

<sup>65</sup> Vgl. MÜSS, H.; SAUERBORN, N.; SCHMITT, J.: Hohepunkte im modernen Verbundbau - eine beispielhafte Entwicklungsgeschichte. In: Stahlbau, 10/2004, S. 793f.

<sup>66</sup> Vgl. HANSWILLE, G.: Konstruktiver Ingenieurbau und Hochbau - Verbundbau. In: Handbuch für Bauingenieure: Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit - Fachwissen in einer Hand, S. 1229

<sup>67</sup> a.a.O., S. 1229

Vorteile:<sup>68</sup>

- Optimale Ausnutzung des Holzes bzw. Stahles auf der Zugseite und des Betons auf der Druckseite
- Hohe Tragfähigkeit, Steifigkeit und Dauerhaftigkeit
- Hohe Maßgenauigkeit und Bauzeitverkürzung durch Vorfertigung
- Reduzierte Querschnittsabmessungen, dadurch größere Nutzflächen und Flexibilität
- Finanzielle Vorteile durch raschere Nutzungsmöglichkeit

Die Stahl-Beton-Verbundbauweise wurde sehr oft durch einzelne Unternehmen, Universitäten oder Planer vorangetrieben und Theorien mussten über Pilotprojekte ihre Praxistauglichkeit beweisen.<sup>69</sup> Dadurch ist es zu der heute üblichen und häufig eingesetzten Bauweise gekommen. Ein ähnliches Vorgehen kann heute bei der Weiterentwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise beobachtet werden.

## 2.2.2 Holz-Beton-Verbundbauweise

Verbundkonstruktionen aus Holz haben bereits eine lange Tradition. Das natürliche Holzwachstum beschränkt die maximalen Querschnittsabmessungen eines Holzbalkens ohne Verbund. Je nach Baumdurchmesser können aus heimischen Baumstämmen normalerweise maximale Querschnitte von 30 mal 30 cm herausgeschnitten werden.<sup>70</sup> Die ersten nachgewiesenen Versuche mit Holz-Holz-Verbundbauteilen stammen aus der Römerzeit.<sup>71</sup> Auch im Mittelalter wurden Holzträger mechanisch miteinander verbunden und so als erste Verbundträger eingesetzt. Schon damals erkannte man die Möglichkeit, durch vergrößerte Querschnittsabmessungen die Steifigkeit zu erhöhen. Durch die schubsteife Verbindung zweier Holzträger wurde man unabhängig vom natürlichen Wuchs des Baumes und konnte somit größere Querschnitte und längere Balken mit höheren Steifigkeiten und Tragfähigkeiten erreichen.<sup>72</sup>

<sup>68</sup> Vgl. HANSWILLE, G.: Konstruktiver Ingenieurbau und Hochbau - Verbundbau. In: Handbuch für Bauingenieure: Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit - Fachwissen in einer Hand. S. 1229

<sup>69</sup> Vgl. MÜSS, H.; SAUERBORN, N.; SCHMITT, J.: Höhepunkte im modernen Verbundbau - eine beispielhafte Entwicklungsgeschichte. In: Stahlbau, 10/2004. S. 795

<sup>70</sup> Vgl. HOLSCHEMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 1f.

<sup>71</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 1

<sup>72</sup> Vgl. HOLSCHEMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 1f.

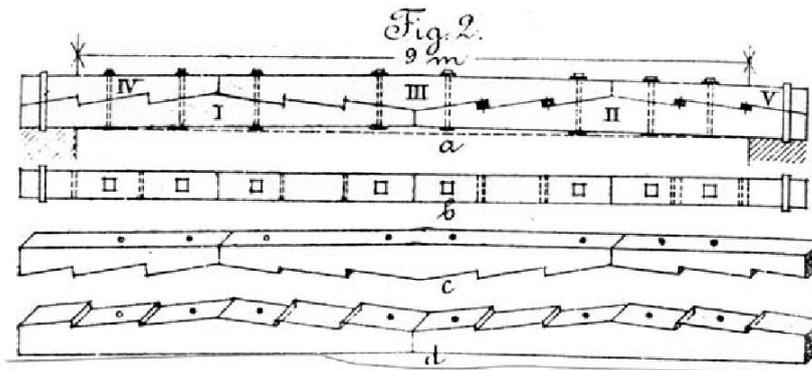


Bild 2.12 Im Mittelalter verwendete zusammengesetzte Holzquerschnitte <sup>73</sup>

Mit Hilfe der Holzklebetechnik bietet der Markt heutzutage eine Fülle von Holz-Holz-Verbundsystemen, wie zum Beispiel Brettstapel-, Brettschichtholz- und Brettsperrholzelemente.<sup>74</sup>

HBV-Konstruktionen wurden in der Neuzeit erstmals in den 1930er Jahren erprobt. Antrieb für die Entwicklung dieser Konstruktionsweise war die Einsparung an Stahl und Holz, welche durch die schubfeste Verbindung von Holz und Beton und der daraus resultierenden statischen Wirkungsweise erreicht werden konnte. Die HBV-Decke des Österreicher Eugen Sperle war ein erster Versuch, die Zugkräfte in Betonplatten über Dachlatten aufzunehmen.<sup>75</sup>

<sup>73</sup> HOLSCHMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 2

<sup>74</sup> Vgl. a.a.O., S. 2

<sup>75</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 1

In nachfolgender Abbildung sind die Konstruktionszeichnungen Sperles dargestellt:

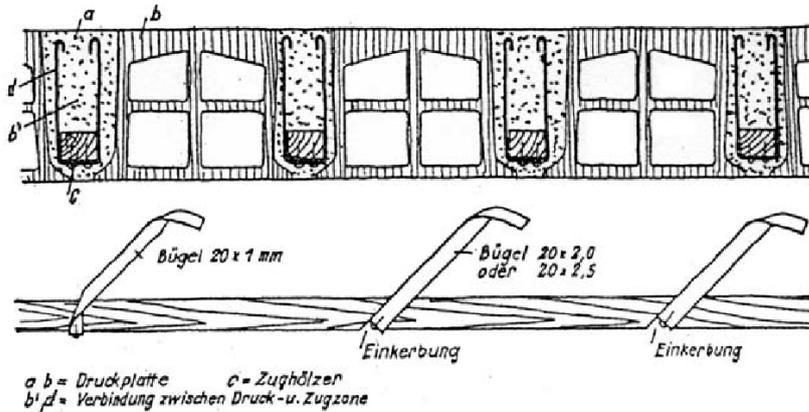


Bild 2.13 Holzsteindecke nach Sperle <sup>76</sup>

Otto Schaub ließ sich die Idee einer HBV-Decke im Jahr 1939 patentieren, als Verbindungsmittel setzte er Z-, oder I-Eisen ein.<sup>77</sup>

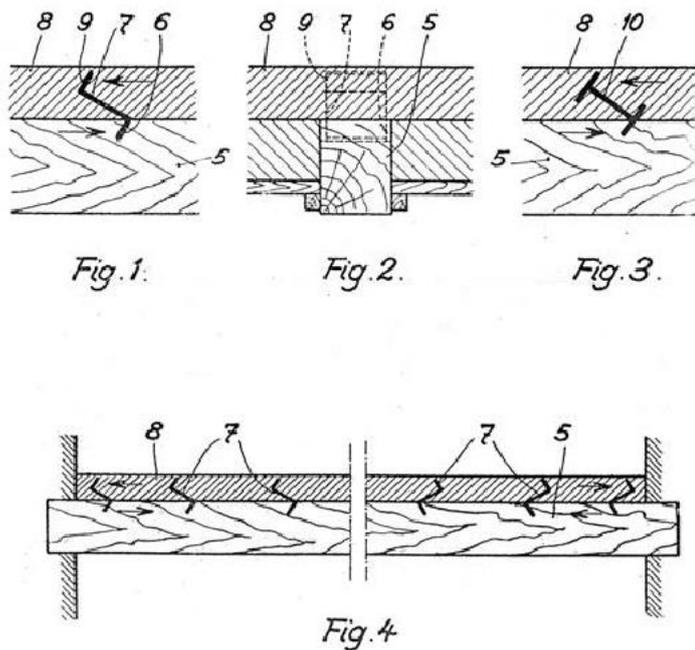


Bild 2.14 Holz-Beton-Verbunddecke nach Otto Schaub <sup>78</sup>

<sup>76</sup> RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 2

<sup>77</sup> Vgl. HOLSCHMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 3

<sup>78</sup> a.a.O., S. 3

Durch die sinkenden Stahlpreise nach Ende des zweiten Weltkrieges kam die Weiterentwicklung der HBV-Bauweise ins Stocken. Erst Mitte der 1980er Jahre wurde wieder verstärkt in diesem Bereich geforscht.<sup>79</sup> Die Forschung wurde dabei hauptsächlich außerhalb des deutschsprachigen Raumes durchgeführt. Vor allem in den Ländern Kanada, USA, Australien, Neuseeland, Polen und der Tschechoslowakei konnten zunächst große Fortschritte in der Forschung erzielt werden. In Folge wurde verstärkt auch in den deutschsprachigen und skandinavischen Ländern, sowie in Frankreich und Italien, im Bereich der HBV-Decken geforscht. Das Augenmerk der Forschung lag hier vor allem auf der Entwicklung steifer, duktiler, wirtschaftlicher, einfach herzustellender und einfach einzubauender Verbindungsmittel, Verbindungselemente und Verbundmaßnahmen.<sup>80</sup> Darüber hinaus fokussierte sich die Forschung auf den Einsatz von flächigen Massivholzelementen, auf dem Verhalten von Holz und Beton im Verbund (vor allem in Bezug auf ihr Langzeitverhalten), den Einsatz von innovativen Baustoffen und deren statische Berechenbarkeit.<sup>81</sup> Für die Hauptanwendungsgebiete Neubau, Sanierung und Brückenbau konnten den Anforderungen entsprechende Systeme entwickelt werden. Jedoch muss angemerkt werden, dass die Forschung auf dem Gebiet der HBV-Bauweisen noch nicht als abgeschlossen angesehen werden kann. Der Forschungsbedarf wird durch die fortlaufend veröffentlichten Forschungsergebnisse bestätigt.<sup>82</sup>

Die HBV-Bauweise weist bei korrekter Anwendung einige allgemeine Vorteile auf.

Vorteile:<sup>83, 84, 85, 86</sup>

- Beton unter Druck, Holz unter Zug: ideale Nutzung der jeweiligen Festigkeitseigenschaften
- Einfache Möglichkeit zur Sanierung bestehender Holzdecken in statischer Hinsicht

<sup>79</sup> Vgl. HOLSCHEMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 3

<sup>80</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 2f.

<sup>81</sup> Vgl. DEHN, F.; WINTER, S.: Holz-Beton-Verbund - Stand der Technik und Potenziale. In: BFT Betonwerk- und Fertigertechnik, 02/2004. S. 24

<sup>82</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 2f.

<sup>83</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 44f.

<sup>84</sup> Vgl. BATHON, ; LEANDER, : Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 2/2009. S. 48f.

<sup>85</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 4

<sup>86</sup> HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. S. 1f.

- Duktilen Bauteilverhalten
- Freie Raumgestaltung durch große Spannweiten
- Ideale Querverteilung der Lasten durch Betonplatte
- Horizontale Aussteifung durch Betonplatte, erhöhte Gebäudestabilität
- Hoher Vorfertigungsgrad
- Geringe Schwingungsanfälligkeit durch höhere Masse
- Gute Schallschutzeigenschaften
- Gute Brandschutzeigenschaften durch Beton als nicht brennbares Material
- Holzuntersicht kann als architektonisches Element eingesetzt werden
- Holzschutz durch obenliegende Betonplatte

Neben den oben genannten Vorteilen weist die HBV-Bauweise jedoch auch einige allgemeine Nachteile auf.

Nachteile:<sup>87, 88, 89</sup>

- Aufwendige Fertigung
- Detaillierte Planung und Berechnung
- Holz muss vor Betonfeuchte geschützt werden
- Unterstützung der Holzkonstruktion bis zur Herstellung der fertigen Verbunddecke notwendig
- Teilweise unklare bauordnungsrechtliche Grundlagen

Es können noch eine Vielzahl von Vor- und Nachteilen der HBV-Bauweise im Vergleich zu konventionellen Bauweisen des Stahlbetonbaus und des Holzbaus gefunden werden. Diese sind aber stark vom Vergleichssystem abhängig. Im Laufe der Arbeit werden Vor- und Nachteile der HBV-Decke gegenüber der Brettsperrholzdecke und der Stahlbetondecke erörtert.

<sup>87</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 45

<sup>88</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 4

<sup>89</sup> HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. S. 1f.

### 2.3 Holz-Beton-Verbunddecken

Die HBV-Bauweise wird vor allem bei Decken eingesetzt. Bei Wänden oder als Stützen angewendete Systeme sind bislang, bis auf wenige Ausnahmen, nicht bekannt. Gerade bei Decken werden durch den Einsatz der HBV-Bauweise Vorteile generiert. Um den Einsatz von HBV-Decken hier nochmals expliziert zu begründen soll auf einen Vorteil näher eingegangen werden: die ideale Ausnutzung der Baustoffeigenschaften von Holz und Beton. Laut Teibinger werden dadurch höhere wirtschaftliche Spannweiten im Vergleich zu reinen Holzkonstruktionen möglich. Die folgende Tabelle fasst dies zusammen.

Tabelle 3      Wirtschaftliche Spannweiten von Holzdecken <sup>90</sup>

Bauweise	wirtschaftliche Spannweite [m]
Holzrahmendecke	bis 4
Brettsperrholzdecke	bis 5
Brettsperrholzdecke als Durchlaufträger	bis 6
Rippendecke (Plattenbalken) Brettsperrholzelement mit aufgeklebten Rippen	bis 10
Holz-Beton-Verbunddecken	bis 10

Bei den HBV-Decken kann zwischen Decken mit Holzrippenelementen und jenen mit Brettstapelelementen als Basis unterschieden werden. Die theoretische Möglichkeit der Verwendung einer Brettsperrholzdecke als Grundelement ist in der Praxis kaum vorzufinden. Alternativ können HBV-Decken nach der Art des Verbindungsmittels und nach der Art der Herstellungsmethode unterschieden werden. Um zu verstehen, welche Möglichkeiten man heute und in Zukunft mit diesem Deckensystem hat und haben wird, werden im folgenden Kapitel Grundlagen behandelt und näher beschrieben.

<sup>90</sup> TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau - Fokus Bauphysik. Planungsbroschüre. S. 4

### 2.3.1 Aktueller Stand der Forschung

Eines der Hauptgebiete der Forschung im Bereich von HBV-Decken war und ist die Verbindungsmitteltechnik. Dadurch gibt es heute eine Vielzahl möglicher Varianten von Verbindungsmitteln. Neben den üblichen, im Holzbau eingesetzten Schrauben, Bolzen, Nagelplatten oder Gewindestangen, können auch Spezialbauteile aus Stahl, speziell zugelassene Verbundschrauben oder in das Holzbauteil eingearbeitete Kerfen, Einschnitte oder Versätze die Verbundwirkung zwischen Holz und Beton herstellen.<sup>91</sup> Die einzelnen Systeme werden im Kapitel 2.3.3 näher beschrieben.

Daneben fokussiert sich die Forschung in Bereich HBV auch noch auf weitere Gebiete, welche folgendermaßen zusammengefasst werden können:<sup>92</sup>

- Entwicklung von Verbindungsmitteln: Tragfähigkeit, Steifigkeit, Wirtschaftlichkeit, Handhabung, Herstellungsaufwand, Vorfertigungsmöglichkeit
- Herleitung von Berechnungs- und Modellierungsansätzen: Stabwerksmodellierung, Finite Elemente Methode,  $\gamma$ -Verfahren, Lösung über Differentialgleichung, Differenzenverfahren, Schubanalogie
- Verwendung hochwertiger Baustoffe: Stahlfaserbeton, Leichtbeton, ultrahochfester oder selbstverdichtender Beton, Calciumsulfatestrich, Polymerbeton, Brettstapelelemente, Brettschichtholz, Brettspertholz
- Langzeitverhalten: unterschiedliches Kriech- und Schwindverhalten, Dauerhaftigkeit
- Bauphysikalische Eigenschaften und Einflüsse: Brandschutz, Schallschutz, Wärmeschutz, Schwingungsverhalten, Dampfdiffusion, Untersuchungen zum Verlauf der Ausgleichsfeuchte in Holzquerschnitten bei HBV-Decken ohne Feuchtigkeitsschutz

Eine Zusammenfassung sämtlicher Forschungsergebnisse würde den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen. Unter anderen veröffentlichten Rautenstrauch<sup>93, 94, 95</sup>, Barthl und Simon<sup>96</sup>, Winter<sup>97, 98</sup>,

<sup>91</sup> Vgl. BATHON, L.; BLETZ, O.: Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 02/2009. S. 50

<sup>92</sup> Vgl. a.a.O., S. 50

<sup>93</sup> RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 1ff.

<sup>94</sup> RAUTENSTRAUCH, K.; GROSSE, M.; LEHMANN, S.: Forschungsvorhaben Brettstapel - Beton-Verbund: Untersuchung des Tragverhaltens von Brettstapel-Beton-Verbunddeckenplatten mit neuartigen Verbindungsmitteln aus Flachstahlschlössern. Forschungsvorhaben. S. 1ff.

Kuhlmann<sup>99, 100</sup>, Schönborn<sup>101</sup>, Schäfers und Seim<sup>102</sup>, Fastabend<sup>103</sup>, Heller<sup>104</sup>, Bathon und Bletz<sup>105, 106</sup>, Holschemacher<sup>107, 108, 109</sup>, Becker und Götz<sup>110</sup>, Natterer und Hoef<sup>111, 112</sup>, Möller<sup>113</sup>, Hollenbach<sup>114</sup>, König<sup>115</sup>, Feix<sup>116</sup>, Teibinger<sup>117</sup>, Michelfelder<sup>118</sup>, Glaser<sup>119</sup>, Zangerl<sup>120</sup> und Krabbe und Schluder<sup>121</sup> wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Holz-Beton-Verbund.

- 
- <sup>95</sup> RAUTENSTRAUCH, K. et al.: Entwicklung eines Hochleistungsverbundträgersystems für den Ingenieurholzbau. In: Bautechnik, 01/2013. S. 18ff.
- <sup>96</sup> BARTHL, J.; SIMON, A.: Entwicklung und Planung einer innovativen Systemlösung für hölzerne Straßenbrücken in Holz-Beton-Verbundbauweise: (Phase 1) ; Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt. Abschlussbericht. S. 1ff.
- <sup>97</sup> WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 1ff.
- <sup>98</sup> WINTER, S.; TUE, N. V.; DEHN, F.: Optimierte Holz-Beton-Verbund-Bauteile aus Hochleistungsbetonen und flächigen Holzbauelementen aus Massivholz oder Hochleistungs-Holzwerkstoffen: Schlussbericht. S. 1ff.
- <sup>99</sup> KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.: Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken nach DIN und Euronorm. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 55ff.
- <sup>100</sup> KUHLMANN, U. et al.: Ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei Verbundbrücken unter Berücksichtigung des Bauverfahrens und der Nutzungsdauer. In: Stahlbau, 02/2007. S. 105ff.
- <sup>101</sup> SCHÖNBORN, F.; FLACH, M.; FEIX, J.: Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkerven im Holz-Beton-Verbundbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 06/2011. S. 385ff.
- <sup>102</sup> SCHÄFERS, M.; SEIM, W.: Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen. In: Bautechnik, 03/2011. S. 165ff.
- <sup>103</sup> FASTABEND, M.; DEWALD, S.; B, S.: Hohlkörperdecken als Fertigteilelementplatten. In: Beton- und Stahlbetonbau, 11/2003. S. 645ff.
- <sup>104</sup> HELLER, H.: Holz-Beton-Verbunddecken (HBV) – Neue Deckensanierungssysteme mit Vollgewindeschrauben, Stahlfaserbeton und Online-Bemessungstools. In: Bautechnik, 10/2008. S. 667ff.
- <sup>105</sup> BATHON, ; LEANDER, : Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 2/2009. S. 48ff.
- <sup>106</sup> BATHON, L.; BLETZ, O.: Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern. In: Bautechnik, 05/2005. S. 332ff.
- <sup>107</sup> HOLSCHMACHER, K.; DEHN, F.: Innovative Betone für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: Bautechnik, 11/2004. S. 874ff.
- <sup>108</sup> HOLSCHMACHER, K.; KLOTZ, S.; KÖHLER, S.: Verbunddecken aus Stahlfaserbeton und Holz. In: Beton- und Stahlbetonbau, 01/1999. S. 10ff.
- <sup>109</sup> HOLSCHMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 1ff.
- <sup>110</sup> BECKER, W.; GÖTZ, T.: Konstruktive und brandschutztechnische Untersuchungen von Rippendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Bautechnik, 06/2012. S. 394ff.
- <sup>111</sup> NATTERER, J.: Einfach- und Hightech-Konstruktionen aus Holz. In: Bautechnik, 01/2013. S. 47ff.
- <sup>112</sup> NATTERER, J.; HOEFT, M.: Zum Tragverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. S. 1ff.
- <sup>113</sup> MÖLLER, E.: Tendenzen im Holzbau. In: Bautechnik, 01/2013. S. 42ff.
- <sup>114</sup> HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. S. 1ff.
- <sup>115</sup> KÖNIG, G.; HOLSCHMACHER, K.; DEHN, F.: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 1ff.
- <sup>116</sup> FEIX, J. et al.: Entwicklung eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbund Deckensystems. In: Bauingenieur, 04/2010. S. 141ff.
- <sup>117</sup> TEIBINGER, M.: Deckenkonstruktionen für den mehrgeschoßigen Holzbau: Schall- und Brandschutz ; Detailkatalog. Planungsbroschüre. S. 1ff.
- <sup>118</sup> MICHELFELDER, B. C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 1ff.
- <sup>119</sup> GLASER, R.: Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation. S. 1ff.
- <sup>120</sup> ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 1ff.
- <sup>121</sup> Vgl. KRABBE, P.; SCHLUDER, M.: Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum. Projektbericht. S. 1ff.

Es haben sich durch die Forschung und die Erfahrung aus der Praxis in den letzten Jahren allgemeine konstruktive Regeln zur Ausführung von HBV-Decken durchgesetzt. Der Beton, mit einer Mindestdruckfestigkeitsklasse von C20/25<sup>122</sup>, hat, bedingt durch die beidseitige Mindestbetondeckung, eine minimale Dicke von 6 cm. Die Mindestbewehrung wird in Plattenmitte angeordnet und meist in Form einer Baustahlmatte ausgeführt. Da es, je nach System, zu einer Zugbeanspruchung der unteren Faser des Betonbauteils kommen kann, muss teilweise eine zusätzliche Bewehrung zur Aufnahme dieser Kräfte eingebaut werden. Falls eine Herstellungsmethode gewählt wird, bei der auf der Baustelle betoniert wird, muss das Holzbauteil vor Feuchtigkeitseinflüssen geschützt werden. Der Schutz wird in der Regel in Form einer Folie oder Imprägnierung umgesetzt. Um die Anforderungen der Gebrauchstauglichkeit zu erfüllen, muss die Holzkonstruktion während des Betonierens unterstützt werden. Generell werden die Lasten der HBV-Decke über das Holzbauteil in die vertikalen Tragstrukturen übertragen. Es besteht auch die Möglichkeit der Ableitung über das Betonbauteil, jedoch müssen in diesem Fall zusätzliche Verbindungsmittel die Kraftübertragung vom Holz in den Beton im Auflagerbereich garantieren.<sup>123</sup>

---

<sup>122</sup> 20 N/mm<sup>2</sup> Würfeldruckfestigkeit; 25 N/mm<sup>2</sup> Zylinderdruckfestigkeit

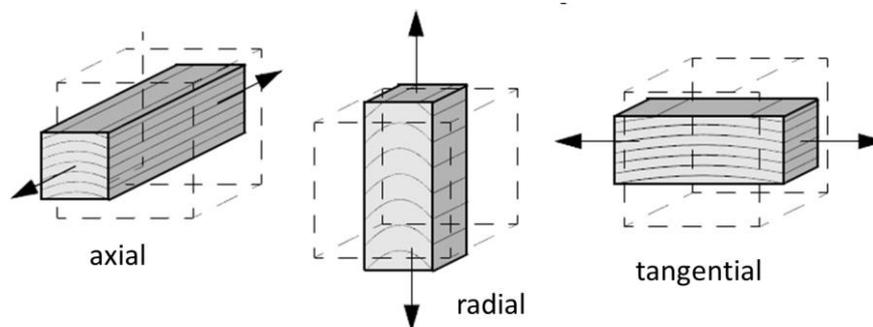
<sup>123</sup> Vgl. BATHON, L.; BLETZ, O.: Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 02/2009. S. 49

### 2.3.2 Verwendete Baustoffe

Die Materialeigenschaften von Holz und Beton beeinflussen die Tragwirkung und das bauphysikalische Verhalten von HBV-Decken signifikant. Die Grundlagen im Folgenden sind deshalb wichtig, um die Wirkungsweise dieser Bauart zu verstehen.

#### 2.3.2.1 Holz

Holz, als einer der ältesten Baustoffe der Welt, ist heute neben Naturstein das einzig noch verwendete natürliche Baumaterial. Als Vollholz wird es so verwendet, wie es in der Natur wächst. Darin liegt auch eines der Nachteile von Holz als Baustoff. Es hat von Natur aus Strukturfehler wie Äste, Risse, Krümmungen und Drehwuchs. Diese werden auch als Inhomogenität bezeichnet. Zusätzlich erschwert die Anisotropie, also die Richtungsabhängigkeit der Eigenschaften, den Umgang mit natürlichem Holz. Dabei ist die axiale, tangentiale und radiale Richtung zu beachten.



**Bild 2.15** Zu beachtende Richtungen beim Holzbau aufgrund des anisotropen Verhaltens des Holzes<sup>124</sup>

Die Holzwirtschaft unternahm in den vergangenen Jahrzehnten große Anstrengungen, um diese natürlichen Fehler zu eliminieren, so dass es heute entsprechende Behandlungs-, Sortierungs- und Verarbeitungsverfahren und -kriterien gibt, mit deren Hilfe gleichbleibende Qualitäten erzielt werden können. Vor allem im konstruktiven Ingenieurbau wird natürlich gewachsenes Vollholz immer mehr von industriell hergestellten Holzprodukten (Brettsperrholz, Brettschichtholz, usw.) abgelöst.<sup>125</sup>

Betrachtet man den Querschnitt eines Holzstammes von außen nach innen, stößt man zuerst auf die Borke, die äußere Hülle des Baumes, und danach auf den Bast. Weiter innen liegend ist das Kambium zu

<sup>124</sup> Vgl. SCHICKHOFER, G.: Vorlesungsskriptum: Holzbau - Der Roh- und Werkstoff Holz. Vorlesungsskriptum. S. A.4/35

<sup>125</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 173

finden, in welchem sich die lebenden Zellen tangential teilen und nach innen hin zu Holzzellen werden. Das Kambium als „Holzfabrik“ schiebt sich somit von innen nach außen als eine dünne Schicht mit. Weiter Richtung Mark (vgl. nachfolgende Abbildung) findet man eine stete Abfolge von Früh- und Spätholz. Je nach klimatischen Bedingungen und Feuchtigkeitsangebot entstehen im Kambium unterschiedliche Zellen. Bei günstigen Temperaturen und einem hohen Feuchtigkeitsangebot entstehen weite, dünnwandige Zellen. Diese hellen Zellen bilden das sogenannte Frühholz und sind vor allem für den Flüssigkeitstransport zuständig. Die dunkleren Spätholzzellen entstehen bei ungünstigeren Bedingungen, sind dickwandig und liegen eng beieinander. Sie geben dem Stamm seine Festigkeit. Frühholz und Spätholz bilden zusammen einen Jahresring, mit dessen Hilfe man das Alter eines Baumes bestimmen kann. Ganz innen in der Stammachse verläuft der Markstrang.<sup>126</sup>

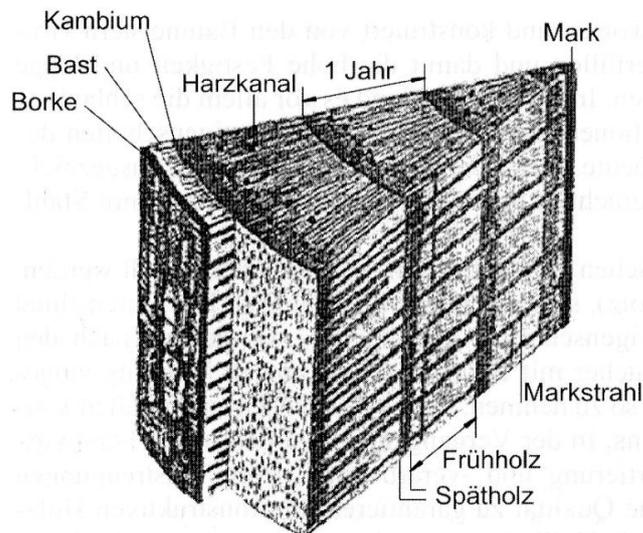


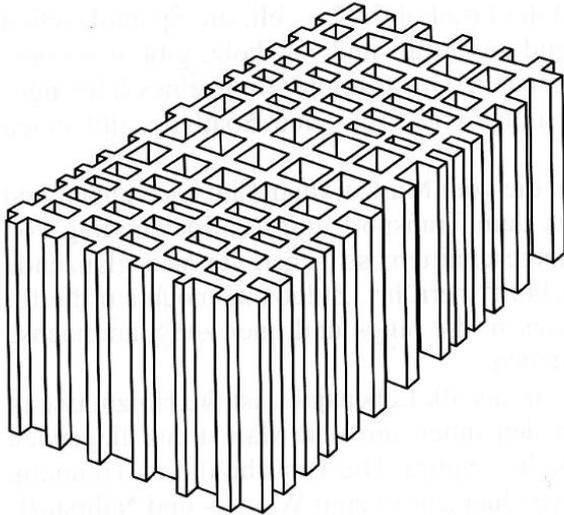
Bild 2.16 Keilstück eines Holzstammes<sup>127</sup>

Evolutionär gesehen entstanden Laubbäume sehr viel später als Nadelbäume und sind deshalb komplizierter aufgebaut. Während Nadelhölzer aus zwei Zellarten, den Tracheiden und den Parenchymzellen, bestehen, besitzen Laubhölzer eine Vielzahl weiterer Zellarten. Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, bestehen jedoch beide aus vertikalen, nebeneinander stehenden Röhren. Dieser Aufbau erklärt die anisotropen Eigenschaften des Holzes in axialer, tangentialer und radialer Richtung und auch wenn Holz bei statischen Berechnungen zumindest teilweise als homogener Baustoff betrachtet wird, so ist er, makroskopisch und mikroskopisch betrachtet, stark inhomogen.

<sup>126</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 174f.

<sup>127</sup> STRASBURGER, E.: Lehrbuch für Botanik. S.

Belastungsrichtung und Faserrichtung sind wichtige Grundangaben einer jeder Berechnung im Holzbau.<sup>128</sup>



**Bild 2.17** Schematische Darstellung des Holzaufbaus<sup>129</sup>

Chemisch gesehen besteht Holz aus folgenden Bestandteilen:<sup>130</sup>

- 40-60 % Cellulose
- 20-30 % Lignin
- 20 % Hemicellulose
- 6 % zelluloseähnliche Polysaccharide
- 2,5 % Harz und anorganische Bestandteile

Ein wichtiger Faktor bei der Verwendung von Holz ist die Beachtung der Feuchtigkeit, von der sämtliche Holzeigenschaften abhängen. Nimmt Holz Feuchtigkeit auf, spricht man von einem Quellvorgang, bei einer Feuchtigkeitsabnahme spricht man von Schwinden. Bevor Holz als Baumaterial eingesetzt werden kann, muss es auf die Ausgleichsfeuchte<sup>131</sup> von 10-18 % gebracht werden. Dieser Vorgang geht mit einem Schwindvorgang in tangentialer, radialer und axialer Richtung einher, was zu Verwerfungen, Rissen oder Verziehen im Holz führen kann.<sup>132</sup> Als Richtwerte für das Quell- und Schwindmaß können

<sup>128</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 176

<sup>129</sup> a.a.O., S. 175

<sup>130</sup> Vgl. a.a.O., S. 176

<sup>131</sup> Jene Holzfeuchte, die sich im Holz nach längerer Lagerung bei gleichbleibender Temperatur und gleichbleibender Luftfeuchte einstellt

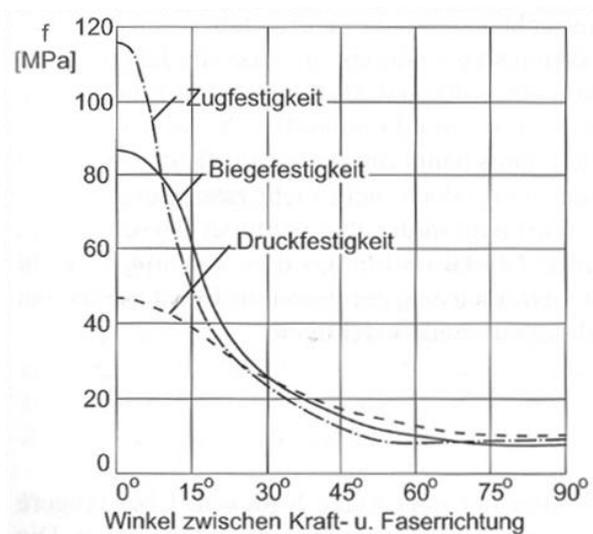
<sup>132</sup> Vgl. a.a.O., S. 182

folgende Werte herangezogen werden. Sie beziehen sich jeweils auf eine Feuchteänderung von 0 bis 30 %.<sup>133</sup>

- Tangential: Nadelholz 5-10 %, Laubholz 12 %
- Radial: Nadelholz 3-5%, Laubholz 6 %
- Axial: Nadelholz 0,2-0,5 %, Laubholz 0,2-0,5 %

Auch die Festigkeit des Holzes wird von der vorherrschenden Feuchte beeinflusst. Die Druckfestigkeit nimmt bis zum Fasersättigungspunkt<sup>134</sup> bei ca. 28-32 % Holzfeuchte linear ab, an diesem Punkt hat das Holz nur mehr 20-30 % seiner ursprünglichen Druckfestigkeit bei absoluter Trockenheit. Die Zugfestigkeit erreicht bei einer Holzfeuchte von 12% ein Maximum und fällt dann wiederum annähernd linear bis zum Fasersättigungspunkt ab (ca. 70 % der ursprünglichen Festigkeit).<sup>135</sup>

Weitere Einflussfaktoren der Holzfestigkeit sind die Rohdichte, die Holzart, die Wuchseigenschaften, die Temperatur, die Belastungsdauer und -art und die Größe des Bauteils.<sup>136</sup> Hervorzuheben ist die Abhängigkeit zwischen Kraft- und Faserrichtung, welche im folgenden Bild veranschaulicht wird.



**Bild 2.18** Abhängigkeit der Holzfestigkeit vom Belastungs- und Faserwinkel<sup>137</sup>

<sup>133</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 181

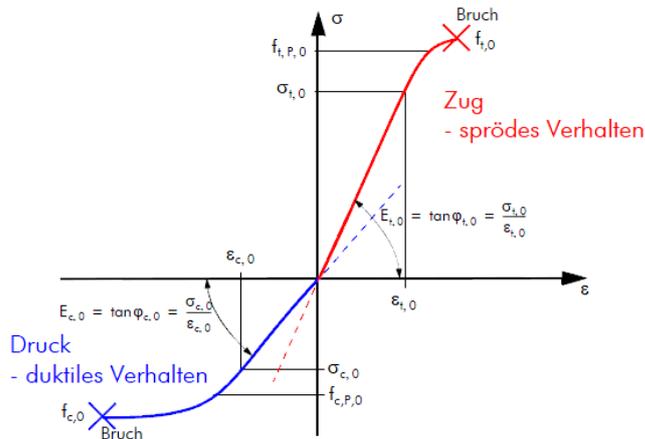
<sup>134</sup> Holzfeuchtigkeit, bei dem die maximale Menge an gebundenen Wasser auftritt, jedoch kein freies Wasser im Holz enthalten ist

<sup>135</sup> Vgl. a.a.O., S. 187f.

<sup>136</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. S.38

<sup>137</sup> REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 189

Auch die Arbeitslinie <sup>138</sup> ist von den oben genannten Parametern beeinflusst.



**Bild 2.19** Spannungs-Dehnungslinie (Arbeitslinie) von fehlerfreiem Holz <sup>139</sup>

Bei HBV-Konstruktionen sind neben den oben genannten Eigenschaften auch das Kriech- und Relaxationsverhalten wichtig. Als Kriechen werden die lastabhängigen Verformungen bezeichnet, welche bei gleichbleibender Belastung zeitabhängig entstehen. Als Relaxation wird hingegen die zeitabhängige Abnahme der Spannungen bei gleichbleibenden Verformungen bezeichnet. <sup>140</sup> Je nach Holzart und Holzprodukt gibt es komplexe Zusammenhänge, welche Kriechen und Relaxation beeinflussen. Unter anderem spielen Belastungsdauer, Belastungsgrad, Holzfeuchte, Temperatur und bei Holzprodukten der eingesetzte Klebstoff eine Rolle. <sup>141</sup>

Einige der oben genannten Parameter werden bereits bei der Sortierung und Klassifizierung beachtet, andere müssen vom Tragwerksplaner bei der statischen Berechnung berücksichtigt werden. Zur Klassifizierung werden Normen herangezogen, die Schrankenwerte festlegen und Holzklassen für die verschiedenen Holzprodukte definieren. Generell können die Holzprodukte in Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe eingeteilt werden. Zu den Ersteren gehören das Rundholz, das Vollholz, und das Konstruktionsvollholz. Zu den Holzwerkstoffen zählen unter anderem Brettschichtholz, Duo- und Triobalken, Brettsperrholz, Furniersperrholz, Furnierschichtholz, OSB-Platten, Spanplatten, Holzfaserverleimplatten und Holzwole Leichtbauplatten. <sup>142</sup>

<sup>138</sup> Funktion der Spannungen in Abhängigkeit von den Verzerrungen

<sup>139</sup> SCHICKHOFER, G.: Vorlesungsskriptum: Holzbau - Der Roh- und Werkstoff Holz. Vorlesungsskriptum. S. 10

<sup>140</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 320

<sup>141</sup> Vgl. SCHICKHOFER, G.: Vorlesungsskriptum: Holzbau - Der Roh- und Werkstoff Holz. Vorlesungsskriptum. S. 79f.

<sup>142</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 38f.

Zusammengefasst hat Holz folgende mechanische und physikalische Eigenschaften:<sup>143</sup>

- Anisotropes Verhalten bezüglich der Festigkeit, des Schwindens, des Quellens, des Kriechens, der Relaxation, der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmeausdehnung
- Rohdichte bei Ausgleichsfeuchte von 12 % zwischen 450 und 700 kg/m<sup>3</sup>
- Geringe Rohdichte im Verhältnis zur Festigkeit
- Geringe Wärmeleitfähigkeit
- Geringer Wärmeausdehnungskoeffizient
- Elektrisch nicht leitfähig
- Brennbarkeit

### 2.3.2.2 Beton als Baustoff

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts begann man Beton als tragendes Material im Bauwesen einzusetzen. Joseph Aspdin ließ sich 1824 den sogenannten Portlandzement patentieren. James Parker erkannte die Wichtigkeit von Brenntemperatur und Erhärtungsgeschwindigkeit und schuf den ersten Zement mit Eigenschaften, wie wir sie heute kennen.<sup>144</sup> Doch Baustoffe, welche unter Wasser härten, gab es bereits in der Antike. Römer mengten Sand, Steine, Wasser, gebrannten Kalk und Puzzolane zusammen und konnten so die gewünschten hydraulischen Eigenschaften erreichen. Auch Phönizier und Griechen verwendeten ähnliche Baustoffe.<sup>145</sup> Im 20. Jahrhundert wurde großer theoretischer und praktischer Forschungsaufwand betrieben, um die Betontechnologie voranzutreiben. Erste wissenschaftliche Arbeiten auf diesem Gebiet beschäftigen sich vor allem mit dem gezielten Mischentwurf von Beton. Später beschäftigte sich die Forschung dann unter anderem mit Bruchverhalten, Zug- und Druckfestigkeit, der Mikrostruktur von Zement und Beton, Schwinden, Kriechen, den mechanischen Eigenschaften und den jeweiligen Stoffgesetzen. In den letzten Jahrzehnten waren die Dauerhaftigkeit, das Schwinden und Kriechen, der Transport von Flüssigkeiten und Gasen in Beton, selbstverdichtende Betone, Faser-

<sup>143</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 36f.

<sup>144</sup> Vgl. HILSDORF, H.: 100 Jahre Forschung in der Betontechnologie - Von der Empirie zur Werkstoffwissenschaft. In: Beton- und Stahlbetonbau, 12/1998. S. 358

<sup>145</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 221

und Leichtbetone, ultrahochfeste und hochfeste Betone die Hauptthemen zahlreicher Forschungsarbeiten.<sup>146</sup>

Seit dem letzten Jahrhundert ist Beton einer der dominantesten Baustoffe. Seine drei Hauptbestandteile sind auch heute noch Wasser, Zement und Gesteinskörnung (Betonzuschlag). Zusätzlich werden oft Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe beigemischt. Letztere werden bei der Zusammenstellung der Rezeptur als Volumenbestandteil miteinkalkuliert. Die Eigenschaften des Betons werden maßgeblich vom Mischverhältnis und von den Eigenschaften der einzelnen Bestandteile beeinflusst. Durch Hydratation entsteht aus Wasser und Zement der Zementstein. Er ist mit sehr feinen Poren durchzogen und weist in Abhängigkeit von Zusammensetzung und Alter einen unterschiedlichen Porositätsgrad auf. Das Porensystem des Zementsteins beeinflusst mechanische Eigenschaften, Dauerhaftigkeit und Dichtheit des Betons maßgeblich. Es kann durch die Variation des w/z-Werts<sup>147</sup> bzw. w/b-Werts<sup>148</sup> und den Hydratationsgrad<sup>149</sup> beeinflusst werden. Zusätzlich wird der Zementstein durch die Nachbehandlung, den Standort- und Klimaverhältnissen, die Zementklasse sowie die Betonzuschlagstoffe und Betonzuschlagmittel beeinflusst.<sup>150</sup>

Der volumemäßig größte Bestandteil des erhärteten Betons ist mit ca. 70 % die beigemischte Gesteinskörnung. Festigkeit, Dichte und Elastizitätsmodul der Körnung beeinflussen die mechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften des Betons. Die Festigkeit der Körnung spielt vor allem bei ultrahochfesten- und hochfesten Betonen eine Rolle, da deren Zementstein eine höhere Festigkeit als die Körnung aufweist. Struktur und mechanische Eigenschaften der Gesteinskörnung sind nur durch erheblichen Aufwand beeinflussbar, jedoch kann durch die Variation der Korngrößenverteilung Einfluss auf die Eigenschaften des späteren Betons genommen werden. Die Korngrößen reichen dabei von Bruchteilen von Millimetern bis zu mehreren Zentimetern und können mit Hilfe einer Sieblinie zu gewünschten Gesteinskörnungen zusammengestellt werden.<sup>151</sup>

<sup>146</sup> Vgl. HILSDORF, H.: 100 Jahre Forschung in der Betontechnologie - Von der Empirie zur Werkstoffwissenschaft. In: Beton- und Stahlbetonbau, 12/1998. S. 358, S.360, S.366

<sup>147</sup> Wasser-Zement-Wert: Gewichtsverhältnis von Wasser zu Zement

<sup>148</sup> Wasser-Bindemittel-Wert: Gewichtsverhältnis von Wasser zu Bindemittel

<sup>149</sup> Gewichtsanteil des Zements, welches mit Wasser reagiert

<sup>150</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 221

<sup>151</sup> Vgl. a.a.O., S. 221

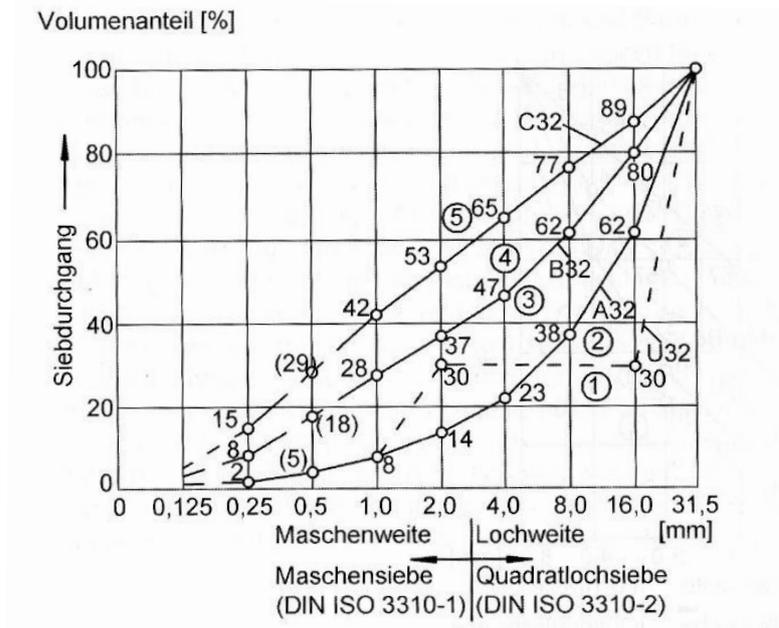


Bild 2.20 Sieblinien für Gesteinskörnungen mit Größtkorn 32mm <sup>152</sup>

Betonzusatzmittel wirken chemisch oder physikalisch und verändern die Eigenschaften des Betons. Da sie nur in geringen Mengen beigelegt werden, wird ihnen bei der Betonrezeptur kein prozentualer Anteil angerechnet. Die genormten oder mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung gekennzeichneten Mittel können je nach Wirkung folgendermaßen eingeteilt werden:<sup>153</sup>

- Betonverflüssiger
- Fließmittel
- Verzögerer
- Beschleuniger
- Luftporenbildner

Im Gegensatz dazu müssen die sogenannten Betonzusatzstoffe bereits bei der Betonrezeptur berücksichtigt werden. Die sehr fein verteilten Stoffe beeinflussen bestimmte Eigenschaften des Betons, dürfen jedoch nicht das Ansteifungsverhalten, das Erhärten, das Erstarren, die Festigkeit, die Dauerhaftigkeit oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinflussen.

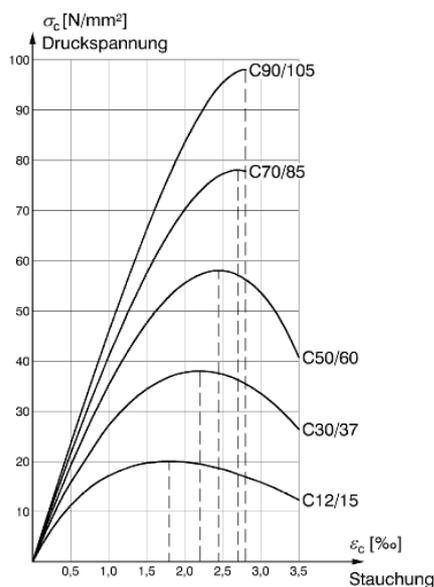
<sup>152</sup> REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 238

<sup>153</sup> Vgl. a.a.O., S. 240

Unter anderem kann zwischen folgenden Betonzusatzstoffen unterschieden werden:<sup>154</sup>

- Inaktive Zusatzstoffe
- Puzzolanische Stoffe
- Latent-hydraulische Stoffe
- Organische Stoffe

Durch die Hydratation kann Beton auch unter Wasser härten, eine Eigenschaft, welche bei sehr vielen Bauprojekten von entscheidender Wichtigkeit ist. Für die statische Berechnung von Beton ist vor allem seine hohe Druckfestigkeit wichtig; die Zugfestigkeit ist im Gegensatz dazu so gering, dass sie bei konstruktiven Berechnungen zu Null angenommen wird. Beim Stahlbeton wird deshalb zur Aufnahme dieser Kräfte in den Zugzonen Stabstahl oder Spannstahl eingebracht.<sup>155</sup> Auch bei HBV-Tragwerken kann es im Beton zu Zugkräften kommen, der Widerstand des Betons darf in diesen Bereichen nicht berücksichtigt werden. Dies wurde in der Vergangenheit von allgemeinen Softwareprogrammen oder Angeboten von Verbindungsmittelherstellern in einigen Fällen missachtet.<sup>156</sup>



**Bild 2.21** Wirklichkeitsnahes Spannungs-Dehnungsdiagramm von Beton<sup>157</sup>

<sup>154</sup> Vgl. REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. S. 240

<sup>155</sup> Vgl. a.a.O., S. 240

<sup>156</sup> Vgl. BRÜNINGHOF, H.; KREUZINGER, H.: HBV-Decken richtig berechnen. In: Bauen mit Holz, 12/2011. S. 42f.

<sup>157</sup> FEIX, J.; WALKNER, R.: Vorlesungsskriptum: Betonbau 1. Vorlesungsskriptum. S. 57

Durch Kriechen und Schwinden kann es bei Betonbauteilen zu Oberflächenrissen und bei Verbundbauteilen zu Zwangskräften kommen. Bei Beton setzt sich das Schwinden aus dem autogenen Schwinden und dem Trocknungsschwinden zusammen. Ersteres entsteht durch die Volumenabnahme der Zementmatrix im Vergleich zum Ausgangsvolumen von Wasser und Zement. Es ist unabhängig von den äußeren Einflussfaktoren und kann nicht beeinflusst werden. Das Trocknungsschwinden entsteht durch Verdunstung des nicht zur Hydratation benötigten Wassers. Da es abhängig ist von Faktoren wie dem Wasser-Zement-Wert, der Luftfeuchtigkeit der Umgebung, der Oberfläche, der Zementsteinporosität und dem Zementsteingehalt, kann das Trocknungsschwinden während der Trocknungsphase durch geeignete Maßnahmen minimiert werden. Diese Form des Schwindens beginnt nach Ende der Nachbehandlungszeit und kann bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte einige Jahre dauern. Falls die Umgebungsbedingungen eine höhere Feuchte aufweisen als der Beton, spricht man vom sogenannten Quellen.<sup>158</sup>

Bei konstant gehaltener Spannung nehmen die Verformungen im Beton zu. Dieser Vorgang wird als Kriechen bezeichnet. Es wird unterschieden zwischen Grundkriechen und Trocknungskriechen und beide Phänomene haben je nach Belastungsniveau einen linearen oder nicht-linearen Verlauf. Daneben beeinflussen die Dauer der Belastung, das Betonalter, der Zementsteingehalt, die Zementsteinporosität, der w/z-Wert bzw. w/b-Wert, die trockenbare Oberfläche, die Umgebungsfeuchte und die Umgebungstemperatur den Kriechvorgang des Betons.<sup>159</sup>

Zusammengefasst hat Beton folgende mechanische und physikalische Eigenschaften:<sup>160</sup>

- Rohdichte von 2000 bis 2500 kg/m<sup>3</sup>
- Hohe Druckfestigkeit und vernachlässigbar kleine Zugfestigkeit
- Hohe Wärmeleitfähigkeit
- Ähnlicher Wärmeausdehnungskoeffizient wie Stahl
- Durch Schalung kann eine beliebige Form erzeugt werden (formbarer Kunststein)
- Kriechen und Schwinden führen zu Formänderungen und Zwangsspannungen

<sup>158</sup> Vgl. FEIX, J.; WALKNER, R.: Vorlesungsskriptum: Betonbau 1. Vorlesungsskriptum. S. 71f.

<sup>159</sup> Vgl. a.a.O., S. 61f.

<sup>160</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 41

### 2.3.3 Verbindungsmittel und bauaufsichtliche Zulassungen

Das Verbindungsmittel einer HBV-Konstruktion ist einer der wesentlichen Faktoren in konstruktiver und bauwirtschaftlicher Hinsicht. Auch wenn ein möglichst starrer Verbund gewünscht wird, ist dieser aufgrund der Nachgiebigkeit des Holzes nur annähernd realisierbar. Beim vollkommen starren Verbund kommt es zu keiner Relativverschiebung zwischen Beton und Holz, statisch gesehen wirken sie wie ein einziges Bauteil. Beim nachgiebigen Verbund kommt es zu einer Relativverschiebung in der Schubfuge, die Größe der Nachgiebigkeit wird mit Hilfe des Verschiebungsmoduls  $k_{ser}$  definiert. Es gibt an, welche Kraft benötigt wird, um eine definierte Verschiebung zu erzeugen. Neben einem hohen Verschiebungsmodul ist ein duktileres Verhalten bei Verbindungsmitteln gewünscht. Dadurch kann es zu einem Kraftausgleich zwischen den Verbindungsmitteln und infolgedessen zur Reduzierung von Kraftspitzen kommen. Zudem kommt es zu keinem spröden Versagen des Bauteils, eine Eigenschaft, die von jedem Bauteil im Bauwesen verlangt wird.<sup>161</sup>

In Bild 2.22 ist die ideale Arbeitslinie eines Verbindungsmittels dargestellt:

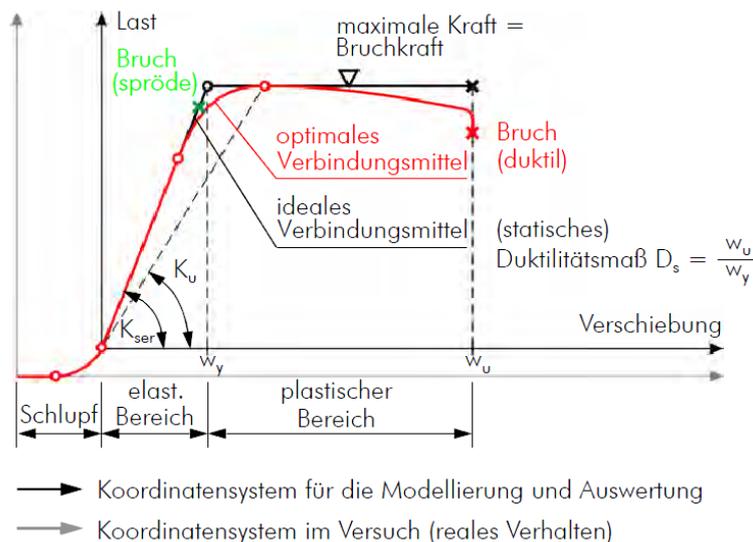


Bild 2.22 Ideale Arbeitslinie eines Verbindungsmittels <sup>162</sup>

Grundsätzlich kann zwischen Verbindungsmitteln mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung und jenen ohne allgemeine bauaufsichtliche Zulassung unterschieden werden. Bei zugelassenen Systemen sind

<sup>161</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 49

<sup>162</sup> SCHICKHOFER, G.: Vorlesungsskriptum: Holzbau - Nachweisführung für Konstruktionen in Holz. Vorlesungsskriptum. S. B/4

Rechenwerte und Parameter durch Behörden bzw. Prüfinstitute<sup>163</sup> im Vorhinein fixiert, eine zusätzliche Genehmigung ist nicht notwendig. Wird ein Verbindungsmittel ohne allgemeine bauaufsichtliche Zulassung gewählt, ist eine Zustimmung der Behörden bzw. Prüfinstitute im Einzelfall notwendig. Dies kann zu einem erhöhten Planungsaufwand und einem erhöhten Planungsrisiko führen.<sup>164</sup>

Folgende Verbindungsmittel mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung sind derzeit am Markt erhältlich:<sup>165</sup>

- SFS<sup>166</sup> Verbundschrauben nach Z-9.1-342<sup>167</sup>
- Timco Il<sup>168</sup> Schrauben nach Z-9.1-445<sup>169</sup>
- Würth ASSYplus VG<sup>170</sup> Schrauben nach Z-9.1-648<sup>171</sup>
- TCC<sup>172</sup> Schrauben nach Z-9.1-603<sup>173</sup>
- TiComTec<sup>174</sup> HBV-Schubverbinder nach Z-9.1-557<sup>175</sup>
- Bauer<sup>176</sup> Flachstahlschlösser nach Z-9.1-473<sup>177</sup>
- Veit Dennert Holz-Beton-Verbundelemente<sup>178</sup> nach Z-9.1-474<sup>179</sup>

Unter anderem sind folgende Verbindungsmittel ohne allgemeine bauaufsichtliche Zulassung in der Praxis gebräuchlich:<sup>180</sup>

- Eingeklebte Stahlstäbe
- Verbindungen mittels Nägel oder Sechskantschrauben
- Nagelplattenverbindungen

<sup>163</sup> Zum Beispiel: Deutsches Institut für Bautechnik, Österreichische Institut für Bautechnik, Centre Scientifique Et Technique Du Batiment

<sup>164</sup> Vgl. HOLSCHMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. S. 6

<sup>165</sup> Vgl. RUG, W.: Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: 17. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2010. S. 1.2

<sup>166</sup> SFS intec GmbH FasteningSystems, <http://www.sfsintec.biz/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>167</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-342. Zulassung. S. 1ff.

<sup>168</sup> Timco Schweiz GmbH, <http://www.timco.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>169</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-445. Zulassung. S. 1ff.

<sup>170</sup> Adolf Würth GmbH und Co. KG, <http://www.wuerth.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>171</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-648. Zulassung. S. 1ff.

<sup>172</sup> Com-Ing AG, <http://www.com-ing.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>173</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-603. Zulassung. S. 1ff.

<sup>174</sup> TiComTec GmbH, <http://ticomtec.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>175</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-557. Zulassung. S. 1ff.

<sup>176</sup> Hubert Schmidt Bauunternehmen GmbH, <http://www.hubert-schmid.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>177</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-473. Zulassung. S. 1ff.

<sup>178</sup> Veit Dennert KG, <http://www.dennert.de/de.html>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>179</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-474. Zulassung. S. 1ff.

<sup>180</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 50ff.

- System *Peter Cox*<sup>181</sup>
- *Tecnaria Conector*<sup>182</sup>
- Dübelleisten
- *BVD-Bertsche-Verbundanker*<sup>183</sup>
- Balkenschuhe
- Unbewehrte, bewehrte oder vorgespannte Betonnocken
- Kerfen
- Klebeverbindungen
- Haftverbindungen

Im Folgenden werden einige Verbindungsmittel näher beschrieben.

#### 2.3.3.1 Schrauben mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

*Würth*, *SFS*, *TCC* und *Timco* bieten Verbindungsmittelsysteme mit selbstbohrenden Holzschrauben an. *SFS* Schrauben werden paarweise, mit einem Winkel von 45° und 135° bzw. 90° überkreuzt angeordnet, in das Holz eingedreht. Bei den anderen drei Systemen werden jeweils einzelne Schrauben unter einem Winkel von 45° eingeschraubt. Im Allgemeinen ist eine vorwiegende Zugbeanspruchung der Schraube gewünscht, weil dadurch höhere Steifigkeiten erreicht werden können. Das mittlere Verschiebungsmodul einer Verbundschraube liegt bei ca. 12,5 kN/mm.<sup>184</sup>

<sup>181</sup> Peter Cox Interventi Speciali S.r.l., <http://petercoxitalia.it/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>182</sup> Tecnaria S.p.A., <http://www.tecnaria.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>183</sup> Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Peter Bertsche, <http://www.bertsche-system.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>184</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 51

Die Schrauben weisen folgende Spezifikationen und Abmessungen auf:<sup>185</sup>

Würth ASSYplus VG:

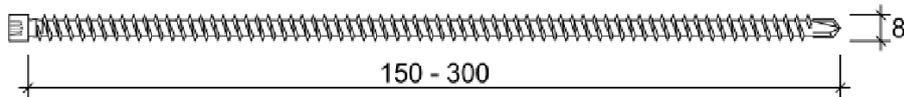


Bild 2.23 Würth ASSYplus VG Schraube<sup>186</sup>

SFS:

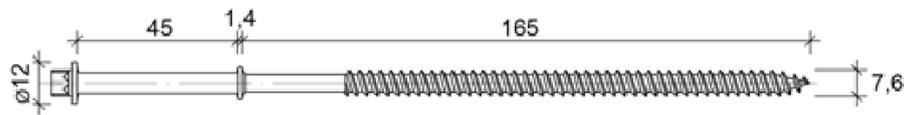


Bild 2.24 SFS Schraube<sup>187</sup>

TCC:

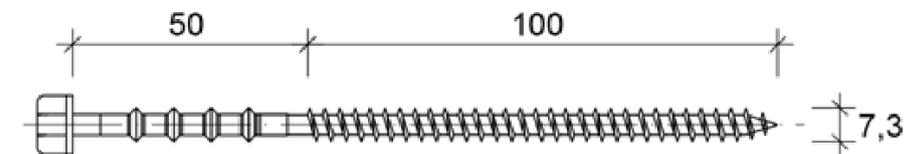


Bild 2.25 TCC Schraube<sup>188</sup>

Timco:

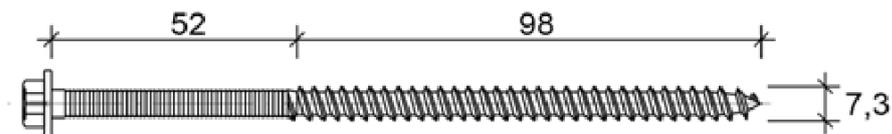


Bild 2.26 Timco Schraube<sup>189</sup>

<sup>185</sup> Vgl. RUG, W.: Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: 17. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2010. S. 1.3

<sup>186</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-648. Zulassung. S. 1ff.

<sup>187</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-342. Zulassung. S. 1ff.

<sup>188</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-557. Zulassung. S. 1ff.

<sup>189</sup> DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-445. Zulassung. S. 1ff.

### 2.3.3.2 HBV-Schubverbinder von TiComTec

Spezielle Lochbleche, welche in einen gefrästen Schlitz in Achsrichtung im Holzbauteil eingeklebt werden, dienen bei diesem System als Verbindungsmittel zwischen Holz und Beton. Im Gegensatz zu den anderen zugelassenen Verbindungsmitteln können die *HBV-Schubverbinder* auch bei Durchlaufträgern und Kragträgern eingesetzt werden. Ebenso ist laut Hersteller der Einsatz bei Wand- und Dachkonstruktionen vorgesehen.<sup>190</sup> Für die Bemessung zum Zeitpunkt null ( $t_0$ ) kann mit einem Verschiebungsmodul von 250-825 kN/mm und zum Zeitpunkt unendlich ( $t_\infty$ ) mit einem Modul von 125-412 kN/mm gerechnet werden.<sup>191</sup> Die genannten Werte beziehen sich auf jeweils einen Millimeter Lochblech, hängen jedoch zusätzlich von der Stärke der Zwischenschicht ab.<sup>192</sup>

In Bild 2.27 sind Spezifikationen und Abmessungen des Schubverbinders dargestellt:

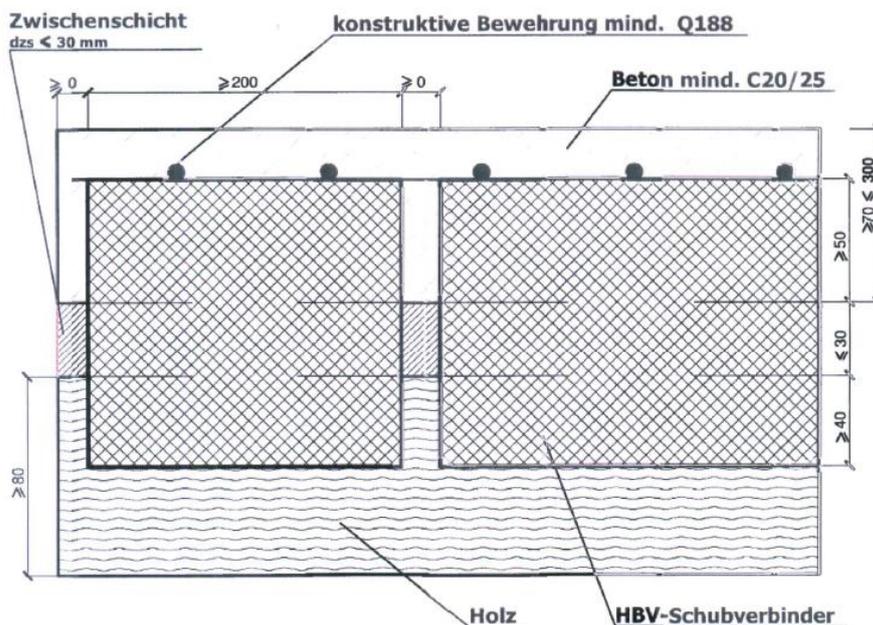


Bild 2.27 *HBV-Schubverbinder*<sup>193</sup>

<sup>190</sup> Vgl. DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-557. Zulassung. S. 1ff.

<sup>191</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 54

<sup>192</sup> Vgl. DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-557. Zulassung. S. 7

<sup>193</sup> a.a.O., S. 11, Anlage 2

### 2.3.3.3 Flachstahlschlösser

Bei diesem System werden Stahlbleche quer zur Achsrichtung in das Holz eingebracht. Es wird kein Klebstoff benötigt, die mechanischen Kräfte reichen zur Befestigung im Holz aus. Die Bleche werden meist leicht geneigt, mit einem Winkel von  $5^\circ$ , in das Holzbauteil eingearbeitet. Im Gegensatz zu den anderen Systemen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, eignet sich dieses System ausschließlich in Verbindung mit flächigen Holzbauteilen (Brettstapelelementen). Bei einer Breite von einem Meter und einer Flachstahlschlossneigung von  $5^\circ$  kann pro Verbindungsmittel mit einem Verschiebungsmodul von 530 kN/mm gerechnet werden.<sup>194</sup>

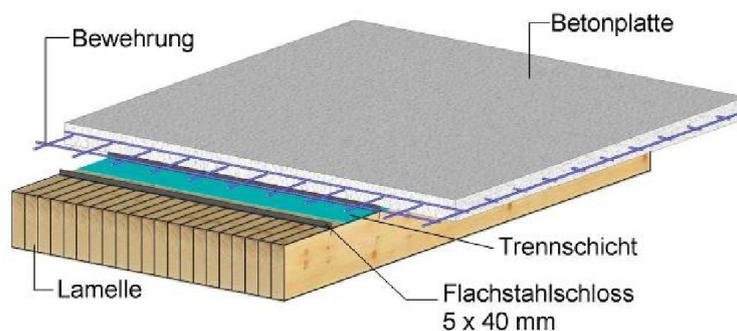


Bild 2.28 HBV-Brettstapeldecke mit Flachstahlschloss<sup>195</sup>

### 2.3.3.4 Veit Dennert Holz-Beton-Verbundelemente

Laut bauaufsichtlicher Zulassung sind diese Verbindungsmittel nur für umgekehrte HBV-Dächer mit Beton in der Biegezugzone und Holz in der Biegedruckzone geeignet.<sup>196</sup> Deshalb ist dieses System für die vorliegende Arbeit nicht relevant und wird auch nicht näher behandelt.

### 2.3.3.5 Eingeklebte Stahlstäbe

Durch eine Vorbohrung und die Verwendung eines Klebers können auch Stahlstäbe mit verschiedenen Durchmessern als Verbindungsmittel bei HBV-Konstruktionen verwendet werden. Durch stärkere Durchmesser und geeignete Anordnung können größere Verschiebungsmodul als mit vergleichbaren Schrauben erreicht werden (bis zu 98 kN/mm).<sup>197</sup>

<sup>194</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, K.; GROSSE, M.; LEHMANN, S.: Forschungsvorhaben Brettstapel - Beton-Verbund: Untersuchung des Tragverhaltens von Brettstapel-Beton-Verbunddeckenplatten mit neuartigen Verbindungsmitteln aus Flachstahlschlössern. Forschungsvorhaben. S. 7f., S. 20f.

<sup>195</sup> RUG, W.: Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: 17. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2010. S. 1.3

<sup>196</sup> Vgl. DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-473. Zulassung. S. 1ff.

<sup>197</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 51

### 2.3.3.6 Nägel und Sechskantschrauben

Unter einem Winkel von 90° zur Deckenachse eingebrachte Nägel oder Sechskantschrauben können als schubfeste Verbindung zwischen Beton und Holz verwendet werden.<sup>198</sup> Um die Wirtschaftlichkeit und die Steifigkeit möglichst zu optimieren, ist bei dieser Anordnung auf ein möglichst biegesteifes Verbindungsmittel zu achten. Im Allgemeinen können jedoch durch schräg angeordnete Verbindungsmittel größere Steifigkeiten und Verschiebungsmodule erreicht werden als mit vergleichbaren vertikalen Anordnungen.<sup>199</sup>

### 2.3.3.7 Nagelplattenverbindung

Versuche mit aufgebogenen Nagelplatten an der Universität Delft ergaben eine hohe Steifigkeit, jedoch verhindern wirtschaftliche Aspekte den breiten Einsatz dieser Verbindungsmittelmöglichkeit in der Praxis. Ein ähnliches System ist vom finnischen Unternehmen *Laatta* bekannt.<sup>200</sup>

### 2.3.3.8 System *Peter Cox*

Speziell geformte Stahlbleche übertragen beim System des italienischen Herstellers *Peter Cox* die Kräfte zwischen Beton und Holz. Das System wurde von der Universität Venedig umfangreich getestet.<sup>201</sup>



Bild 2.29 System *Peter Cox*<sup>202</sup>

<sup>198</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 52

<sup>199</sup> Vgl. GLASER, R.: Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation. S. 43

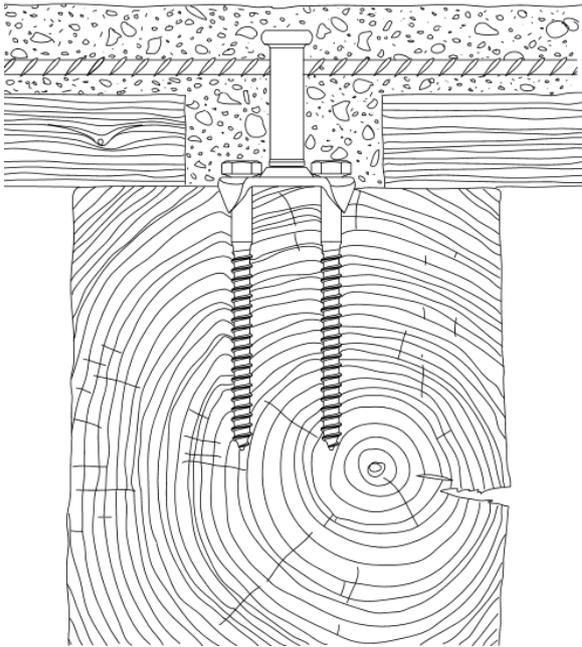
<sup>200</sup> Vgl. WIELAND, H.: Holz-Beton-Verbundsysteme. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 197

<sup>201</sup> Vgl. a.a.O., S. 195

<sup>202</sup> <http://www.petercoxitalia.it/rinforzo%20solai.asp>. Datum des Zugriffs: 12.08.2013

### 2.3.3.9 Kopfbolzendübel und Dübelleisten

Das System des italienischen Herstellers *Tecnaria*, bei dem Setzbolzen mit aufgeschweißten Kopfbolzen verwendet werden, erreicht ein Verschiebungsmodul von 17,2 kN/mm pro Verbindungsmittel.<sup>203</sup> Dieses System wurde von der Universität Cremona geprüft. Die Literatur bewertet dieses System jedoch als wenig wirtschaftlich. Bei Brückenbauten in der Schweiz wurden außerdem Dübelleisten mit mehreren, auf einer Stahlplatte aufgeschweißten Kopfbolzen verwendet.<sup>204</sup>



**Bild 2.30** System *Tecnaria* mit Setzbolzen und aufgeschweißten Kopfbolzen<sup>205</sup>

### 2.3.3.10 Balkenschuhe und BVD-Bertsche-Verbundanker

Verschraubte oder vernagelte Balkenschuhe sind ebenfalls in der Lage Schubkräfte zwischen Holz und Beton zu übertragen. Ein spezielles System mit zusätzlichen Bewehrungseisen zur Übertragung der Kräfte ist von *Bertsche* erhältlich.<sup>206</sup>

<sup>203</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 55

<sup>204</sup> Vgl. WIELAND, H.: Holz-Beton-Verbundsysteme. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 194f.

<sup>205</sup> <http://www.floor-reinforcement.com/>. Datum des Zugriffs: 12.08.2013

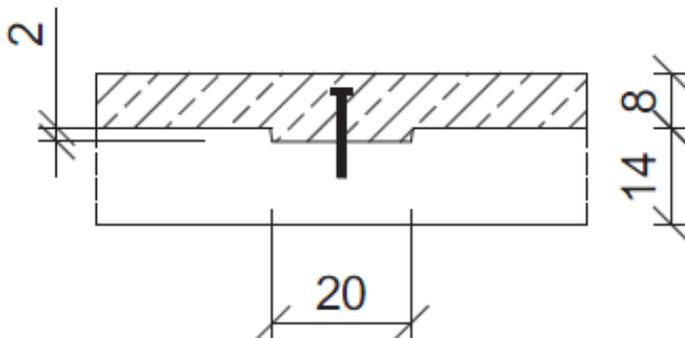
<sup>206</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 55

### 2.3.3.11 Betonnocken

Unbewehrte, bewehrte oder vorgespannte Betonnocken sind in der Lage große Kräfte zu übertragen. Das Verbindungsmittelsystem besteht aus einer Ausnehmung im Holz, welche ausbetoniert wird. Wird eine Bewehrung in der Ausnehmung angeordnet, spricht man von einer bewehrten Nocke. Werden zusätzlich Schrauben angeordnet, welche nachträglich angezogen werden können, spricht man von einer vorgespannten Betonnocke. Mit 79 kN/mm (unbewehrt), 184 kN/mm (bewehrt) und 350 kN/mm (vorgespannt) kann die Anzahl der Verbindungsmittel im Vergleich zu anderen Systemen stark reduziert werden. Die Kräfte werden über Druck an der Verbundfuge oder über die Bewehrung übertragen. Auch bei der unbewehrten Variante werden zusätzliche Maßnahmen zur Aufnahme der abhebenden Kräfte benötigt.<sup>207</sup> Es besteht die theoretische Möglichkeit, ausschließlich die Betonnocke auf der Baustelle zu betonieren und damit das Holzbauteil und ein Betonfertigteile zu verbinden. Die generelle mechanische Wirksamkeit eines solchen Systems wurde an der Universität Innsbruck erprobt.<sup>208</sup>

### 2.3.3.12 Kerven

Für flächige Decken mit Brettstapelelementen können die Prinzipien der Betonnocken erweitert und dadurch Kerven zur Kraftübertragung genutzt werden. Kerven sind 3-5 cm tiefe Vertiefungen quer zur Spannrichtung der Decke.



**Bild 2.31** Kerven zur Schubkraftübertragung<sup>209</sup>

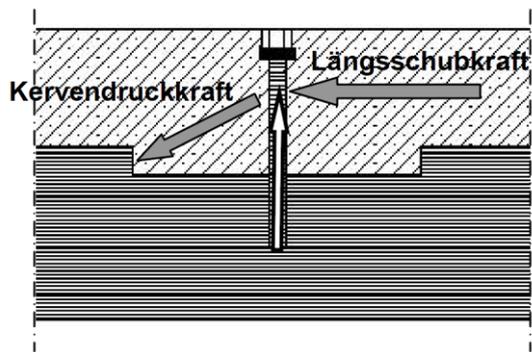
<sup>207</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 56

<sup>208</sup> Vgl. FEIX, J. et al.: Entwicklung eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbund Deckensystems. In: Bauingenieur, 04/2010. S. 141ff.

<sup>209</sup> SCHÖNBORN, F.; FLACH, M.; FEIX, J.: Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkerven im Holz-Beton-Verbundbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 06/2011. S. 385

Durch Druck werden Kräfte an der Kontaktfläche übertragen. Infolge einer lastexzentrischen Übertragung der Druckkräfte muss ein zugbeanspruchtes, senkrecht stehendes, stiftförmiges Verbindungsmittel zur lokalen Abhebesicherung des Betons eingebaut werden.

Nachfolgendes Bild veranschaulicht dieses Phänomen:



**Bild 2.32** Entstehung der abhebenden Kräfte zwischen Holz und Beton bei Kerven<sup>210</sup>

Bei einer Deckenbreite von einem Meter kann pro Kerwe ein Verschiebungsmodul von bis zu 429 kN/mm erreicht werden. Deshalb sind auch bei bis zu 10 m Spannweite nur beidseitig drei Kerven notwendig.<sup>211</sup> Durch eine geeignete Anordnung und entsprechender Kervertiefe können auch höhere Werte von  $k_{ser}$  erreicht werden.<sup>212</sup> Je nach verwendeten Materialien, geometrischen Anordnungen und Belastung können verschiedene Versagensmechanismen auftreten:<sup>213</sup>

- Druckversagen des Holzes
- Abscheren des Vorholzes
- Konsolenversagen des Betons
- Schubversagen des Betons

Die Herstellung der Kerwe ist mit Hilfe einer Abbundanlage sehr einfach und erzeugt nur geringe Kosten. Ein weiterer Faktor, welcher die Wirtschaftlichkeit beeinflusst, ist die Anzahl und die Art der benötigten Schrauben zur Abhebesicherung. Forschungsvorhaben hinterfragen generell die Notwendigkeit der Schraube und konnten die Überflüssigkeit bei geeigneten Randbedingungen im Labor auch beweisen.<sup>214</sup> Durch das

<sup>210</sup> MICHELFELDER, B. C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 3

<sup>211</sup> Vgl. RUG, W.: Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: 17. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2010. S. 1.9

<sup>212</sup> Vgl. MICHELFELDER, B. C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 14

<sup>213</sup> Vgl. SCHÖNBORN, F.; FLACH, M.; FEIX, J.: Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkerven im Holz-Beton-Verbundbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 06/2011. S. 386f.

<sup>214</sup> Vgl. MICHELFELDER, B. C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 147

Weglassen der Schraube könnten die Kosten dieser ohnehin sehr einfachen Art der Verbindung weiter gesenkt und die Wirtschaftlichkeit erhöht werden.

Feix <sup>215</sup> ist der Ansicht, dass die mangelnde Integration der Bemessungsregeln der HBV-Bauweise in der Normung die weitere Verbreitung zurzeit hindert.

*„Für eine Bemessung liegen sowohl lokale Nachweisverfahren für das Verbindungsmittel sowie globale Nachweisverfahren am Biegeträger vor. Künftig sollte eine Übernahme der Bemessungsregeln im Bereich des Holz-Beton-Verbundbaus in die Normung angestrebt werden, da nur so eine weite Verbreitung der Bauart sichergestellt werden kann.“* <sup>216</sup>



Bild 2.33 Brettstapelelemente mit Schubkerven <sup>217</sup>

### 2.3.3.13 Klebeverbindungen

Zweikomponentenkleber auf Epoxidharzbasis eignen sich zur Übertragung großer Kräfte. Durch den flächigen und starren Verbund wird eine sehr leistungsfähige Verbindung hergestellt. Die Kraftübertragung erfolgt bevorzugt über Druck- oder Scherbeanspruchungen, da Beton, wie in Kapitel 2.3.2.2 erklärt, nur sehr begrenzt Zugkräfte aufnehmen kann. <sup>218</sup> Durch faserbewehrte Hochleistungsbetone kann dieser scheinbare Nachteil allerdings größtenteils behoben werden. Versuche haben gezeigt, dass es bei entsprechenden Decken ausschließlich zu Schubversagen im Holzbauteil kommt. <sup>219</sup> Durch die Verdrängung des Klebstoffs während

<sup>215</sup> SCHÖNBORN, F.; FLACH, M.; FEIX, J.: Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkerven im Holz-Beton-Verbundbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 06/2011. S. 393

<sup>216</sup> Vgl. a.a.O., S. 393

<sup>217</sup> <http://www.inholz.de/planungsbereich/konstruktionsprinzipien/holz-beton-verbunddecken>. Datum des Zugriffs: 12.08.2013

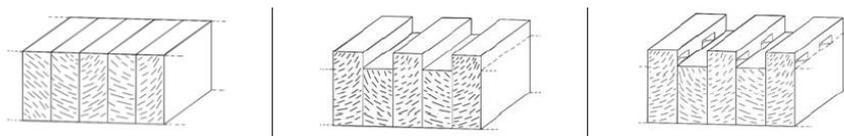
<sup>218</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 58

<sup>219</sup> Vgl. SCHÄFFERS, M.; SEIM, W.: Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen. In: Bautechnik, 03/2011. S. 175

des Betoniervorganges kann ein Einsatz dieser Technik auf der Baustelle problematisch sein. Auch örtliche und klimatische Bedingungen beeinflussen die Klebewirkung stark, deshalb ist dieses Verbindungsmittel vor allem für vorgefertigte Fertigteildecken geeignet. Ein weiterer Nachteil ist das mögliche spröde Versagen der Klebeverbindung.<sup>220</sup> Der Einsatz von Klebtechnik ist zwar eine sehr vielsprechende Methode, dennoch sind einige Aspekte der Technik noch ungeklärt. Darunter fallen, neben den bereits oben angeführten Schwierigkeiten bei der Bauausführung, der Einfluss des Kriechens, jener der hygrothermischen Bedingungen sowie der Umgang mit Spannungsspitzen an den Lasteinleitungspunkten.<sup>221</sup>

#### 2.3.3.14 Haftverbindungen

Durch Adhäsion und Reibung zwischen Holz und Beton oder durch eine Endverankerung kann auch ohne jegliches mechanisches Hilfsmittel ein Verbund hergestellt werden. Die Höhe der übertragbaren Schubkraft hängt unter anderem von der Rauigkeit des Betons und des Holzes, der Oberflächenstruktur und der Profilierung ab. Bei Brettstapelelementen kann durch eine versetzte Anordnung der Bretter oder eine Profilierung die Verbindungswirkung erhöht werden.<sup>222</sup>



**Bild 2.34** Glatte, versetzte und profilierte Haftverbindung<sup>223</sup>

Forschungsvorhaben bestätigen die generelle Eignung dieses Verbindungsmittelsystems. Dabei wurde nachgewiesen, dass dieses Verbindungsmittelsystem in der Lage ist sowohl Anforderungen an die Tragfähigkeit als auch jene an die Gebrauchstauglichkeit zu erfüllen. Auch eine duktile Versagensweise wurde belegt.<sup>224</sup> In der Praxis werden Brettstapelelemente mit versetzter Anordnung der Bretter in Kombination mit Flachstahlschlössern vor allem in der Schweiz eingesetzt (siehe 3.1.2.6 und 3.1.2.8).

<sup>220</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 58

<sup>221</sup> Vgl. SCHÄFFERS, M.; SEIM, W.: Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen. In: Bautechnik, 03/2011. S. 175

<sup>222</sup> Vgl. LEHMANN, S.: Untersuchungen zur Bewertung von Verbundbauteilen aus Brettstapelelementen im Flächenverbund mit mineralischen Deckschichten. Dissertation. S. 37

<sup>223</sup> Vgl. a.a.O., S. 37

<sup>224</sup> Vgl. a.a.O., S. 220

### 2.3.4 Berechnungsverfahren

Mit Ausnahme der Klebeverbindung fallen alle der oben genannten Verbindungsmittel in die Kategorie der nachgiebigen Verbindungen. Die Nachgiebigkeit beeinflusst das Trag- und Verformungsverhalten von HBV-Decken maßgeblich und muss deshalb bei der Nachweisführung beachtet werden. Durch die Kenntnis der einzelnen Materialparameter, der Randbedingungen und der Kennwerte der Verbindung kann das Kurzzeitverhalten mit verschiedenen Methoden berechnet werden.<sup>225</sup> In diesem Kapitel werden zunächst die Methoden zur Berechnung des Kurzzeitverhaltens von HBV-Konstruktionen vorgestellt. Durch das unterschiedliche Kriech- und Schwindverhalten von Holz und Beton kommt es bei Konstruktionen, bei denen diese Baustoffe im Verbund wirken, im Laufe der Zeit zu Umlagerungseffekten. Diese Langzeiteffekte und deren Berechenbarkeit sollen in einem zweiten Schritt näher erläutert werden. Die verschiedenen Berechnungsmethoden müssen bei den Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit verwendet werden. Am Ende des Kapitels wird erläutert, welche Nachweise zu erfüllen sind.

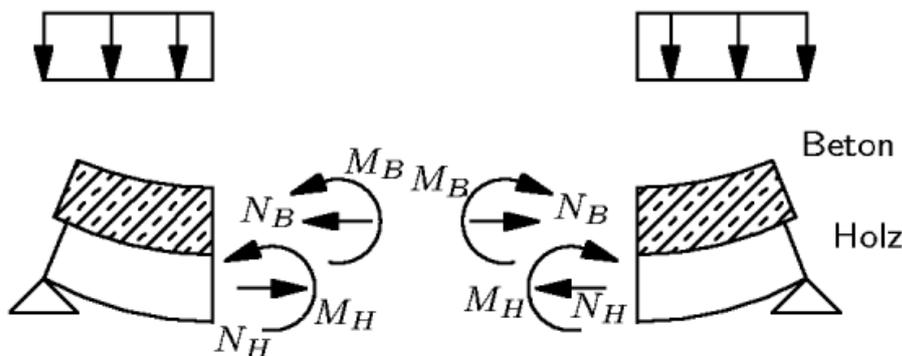


Bild 2.35 Schnittgrößen bei einem Holz-Beton-Einfeldträger<sup>226</sup>

<sup>225</sup> Vgl. KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.; MICHELFELDER, B.: Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Beton- und Stahlbetonbau, 04/2004. S. 262

<sup>226</sup> a.a.O., S. 262

### 2.3.4.1 Berechnung des Kurzzeitverhalten

#### $\gamma$ -Verfahren:

Das  $\gamma$ -Verfahren ist ein vereinfachtes, analytisches Berechnungsverfahren zur Berechnung von Schnittgrößen und Verformungen von Verbundquerschnitten mit nachgiebigen Verbindungsmitteln. Die exakte Lösung liefert dieses Verfahren ausschließlich unter folgenden Bedingungen:<sup>227</sup>

- Statisch bestimmter Einfeldträger
- Sinusförmige Belastung
- Maximal drei, unveränderliche, Querschnitte
- Gültigkeit der Bernoulli-Hypothese in den einzelnen Teilquerschnitten
- Linear elastisches Materialverhalten
- Kontinuierlicher, konstanter Verbund
- Vernachlässigung der Schubverformungen in den Teilquerschnitten

Da eine sinusförmige Belastung in der Baupraxis tatsächlich nicht auftritt, liefert diese Berechnungsmethode selten exakte Werte, jedoch ist die Näherungslösung für Gleichlasten ausreichend genau.<sup>228</sup> Eine weitere Einschränkung dieses Berechnungsverfahrens liegt im teilweise nicht vorhandenen kontinuierlichen und konstanten Verbund. Werden die Verbindungsmittelabstände dem Querkraftverlauf angepasst oder kann durch sehr große Verbindungsmittelabstände kein kontinuierlicher Verbund angenommen werden, eignet sich das  $\gamma$ -Verfahren nicht zur Berechnung von Schnittgrößen oder Verformungen. Als Faustregel gilt: Übersteigt der Verbindungsmittelabstand 3 % der Trägerlänge, ist kein kontinuierlicher Verbund gegeben.<sup>229</sup>

Die Einschränkung auf Einfeldträger kann durch die Berechnung einer modifizierten Spannweite für Tragsysteme mit mehreren Feldern und Kragarmen aufgehoben werden.<sup>230</sup>

Aufgrund der Nachgiebigkeit der Verbundfuge wird bei diesem Berechnungsverfahren die Biegesteifigkeit des Verbundquerschnitts reduziert, was durch den Faktor  $\gamma$  berücksichtigt wird. Reduziert werden lediglich die Steineranteile der Teilquerschnitte und nicht die

<sup>227</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 13

<sup>228</sup> Vgl. a.a.O., S. 13

<sup>229</sup> Vgl. a.a.O., S. 197

<sup>230</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 72

Eigenanteile. Bei der Berechnung von  $\gamma$  fließt neben dem Elastizitätsmodul  $E$ , der Fläche  $A$ , dem Verschiebungsmodul  $K$  und dem Verbindungsmittelabstand  $s$  auch die Spannweite  $l$  mit ein.<sup>231</sup>

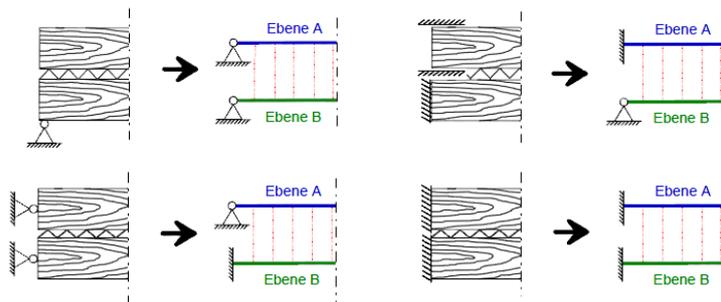
Folgende Formel wird zur Berechnung von  $\gamma$  herangezogen:

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 * E_i * A_i * s_i}{K_i * l^2}}$$

Falls die Verbindungsmittel nicht kontinuierlich angeordnet werden, kann mit einem mittleren Verbindungsmittelabstand, abhängig vom maximalen und minimalen Abstand der Verbindungsmittel, gerechnet werden. Bei mehreren Verbindungsmittelreihen wird eine Reihe gedanklich ineinander geschobener Verbindungsmittel angenommen.<sup>232</sup>

Schubanalogie:

Beim Verfahren mit Hilfe der Schubanalogie wird ein fiktiver Querschnitt aus zwei Einzelquerschnitten, welche durch unendlich dehnstarre Pendelstäbe miteinander verbunden sind, simuliert. Diese Pendelstäbe (Koppelungsstäbe) garantieren eine gleichmäßige Verformung beider Einzelquerschnitte. Einem Teilsystem werden die Eigenanteile der Biegesteifigkeiten der Einzelquerschnitte des Betons und des Holzes zugewiesen. Das zweite Teilsystem repräsentiert das Zusammenwirken des Verbundquerschnittes. Deshalb werden ihm die Steineranteile der Biegesteifigkeiten und die Schubnachgiebigkeit des Verbundquerschnittes zugewiesen. Schnittgrößen und Verformungen werden an einem ideellen System, in dem die Randbedingungen der Auflagerung beachtet werden müssen, berechnet.<sup>233</sup>



**Bild 2.36** Verschiedene Auflagerbedingungen und ihre Umsetzung im ideellen System<sup>234</sup>

<sup>231</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 13

<sup>232</sup> Vgl. a.a.O., S. 13f.

<sup>233</sup> Vgl. a.a.O., S. 16ff.

<sup>234</sup> a.a.O., S. 18

Da bei der Berechnung die auftretenden Schubverformungen berücksichtigt werden, wird bei dem Verfahren nach der Schubanalogie die Verwendung eines Stabwerkprogramms empfohlen. Mit Hilfe des Formelapparates dieses Verfahrens müssen die Schnittgrößen aus dem ideellen System rücktransformiert werden. Dadurch erhält man die Schnittgrößen für den Verbundquerschnitt.<sup>235</sup>

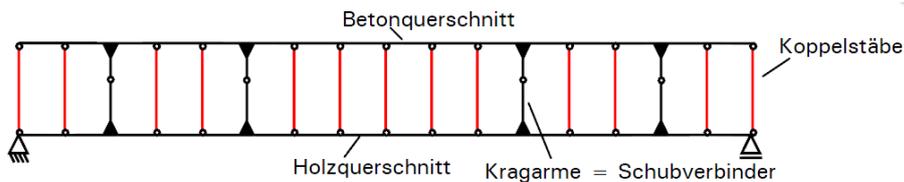
Auch beim Verfahren nach der Schubanalogie gibt es einige Einschränkungen:<sup>236</sup>

- Schwerpunkte der Teilquerschnitte liegen auf einer Linie
- Teilquerschnitte sind schubstarr
- Verbundschichten besitzen keine Biegesteifigkeit
- Symmetrischer Querschnittsaufbau
- Konstante Schichtdicken
- Gleichmäßig verteilte Fugensteifigkeit über die Querschnittshöhe

Aufgrund der geringeren Einschränkungen geht hervor, dass das Verfahren nach der Schubanalogie eine höhere Anwendbarkeit besitzt als das  $\gamma$ -Verfahren.

#### Stabwerkmodell:

Eine sehr anschauliche Modellierungsmethode von Holz-Beton-Verbundelementen sind Stabwerksmodelle.



**Bild 2.37** Stabwerksmodell<sup>237</sup>

Das Holzbauteil und das Betonbauteil werden in zwei Einzelquerschnitten modelliert, welche durch unendlich dehnbare Pendelstäbe miteinander verbunden sind. Damit ist deren Eigenschaft der gleichmäßigen Verformungen korrekt simuliert. Die Verbindungsmittel sind durch rechtwinklig angeschlossene Kragarme modelliert, welche in der Schwerachse der Trägers durch Momentengelenke angeschlossen sind. Das Verschiebungsmodul der realen Verbindungsmittel wird durch die Biegesteifigkeit der Kragarme

<sup>235</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsper Holz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 18f.

<sup>236</sup> Vgl. a.a.O., S. 20

<sup>237</sup> a.a.O., S. 200

repräsentiert. Das Stabwerkmodell ist sehr gut bei Holz-Beton-Verbunddecken mit wenigen Verbindungsmitteln und großen Verbindungsmittelabständen geeignet. Ein Beispiel für ein solches Verbindungsmittel ist die Kerbe.<sup>238</sup>

#### Finite-Elemente-Methode:

Bei Berechnungen mit der Finiten-Elemente-Methode ist eine realitätsnahe Berechnung von Schnittgrößen und Verformungen von Verbundbalken und kompletten Verbunddecken möglich. Lokale Einflüsse, wie konzentrierte Einzellasten, genaue Art und Position der Verbindungsmittel und spezielle Randbedingungen lassen sich durch diese Methode einfacher modellieren als mit den vorher genannten Berechnungsverfahren. Jedoch ist die exakte Kenntnis der Arbeitslinie des Verbindungsmittels und der Materialkennwerte für die Finite Elemente Methode Voraussetzung.<sup>239</sup> Diese sehr flexible Methode erfordert einen hohen Modellierungsaufwand mit computergestützten Methoden. Die Ergebnisse sind aber präzise und nachvollziehbar.

---

<sup>238</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsperholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 200

<sup>239</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 81

### 2.3.4.2 Berechnung des Langzeitverhaltens

#### Kriechen:

Durch Kriechen entziehen sich die Teilquerschnitte in einer Verbundkonstruktion ihrer Beanspruchung. Vor allem bei Konstruktionen, bei denen die verwendeten Materialien ein unterschiedliches Kriechverhalten aufweisen, hat dies Auswirkungen auf das Langzeitverhalten.<sup>240</sup> Untersuchungen haben gezeigt, dass Kriechprozesse im Beton nach rund sieben Jahren größtenteils abgeschlossen sind, wogegen Holz zu diesem Zeitpunkt erst 60% seiner Endkriechzahl erreicht hat. Deshalb kann der Nachweis des Holzquerschnittes drei bis sieben Jahre nach Herstellung der Decke maßgebend werden. Daneben muss der Anfangszeitpunkt ( $t = 0$ ) und der Endzeitpunkt ( $t = \text{unendlich}$ ) berücksichtigt werden.<sup>241</sup>

Die Berücksichtigung des Kriechens war in der Vergangenheit Forschungsthema verschiedener Hochschulen, deshalb haben sich unterschiedliche Modelle und Berechnungsverfahren entwickelt. Unter anderem ist die Weimarer<sup>242</sup>, Leipziger<sup>243</sup>, Stuttgarter<sup>244</sup> und Cottbuser<sup>245</sup> Methode zu nennen. Das Kriechen wird in der Praxis durch Abminderung des Elastizitätsmoduls der einzelnen Baustoffe berücksichtigt und beeinflusst somit die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit.<sup>246</sup>

#### Schwinden:

Holz und Beton weisen ein unterschiedliches Schwindverhalten auf. Durch Eigenspannungszustände kommt es zu einer zusätzlichen Belastung der Einzelquerschnitte und des Verbundquerschnittes. Bei statisch unbestimmten Systemen kommt es außerdem zu Zwangsbeanspruchungen. Bei statisch bestimmten Systemen führt das Schwinden des Betons zu einer Verkürzung der oberen Faser des Verbundquerschnittes und dadurch zu einem zusätzlichen Biegemoment in Belastungsrichtung. Beim Holzschwinden tritt die exakt umkehrte Situation auf. Die untere Faser verkürzt sich und es bilden sich

<sup>240</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 201

<sup>241</sup> Vgl. KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.: Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken nach DIN und Euronorm. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 71f.

<sup>242</sup> Vgl. LEHMANN, S.: Untersuchungen zur Bewertung von Verbundbauteilen aus Brettstapelelementen im Flächenverbund mit mineralischen Deckschichten. Dissertation. S. 1ff.

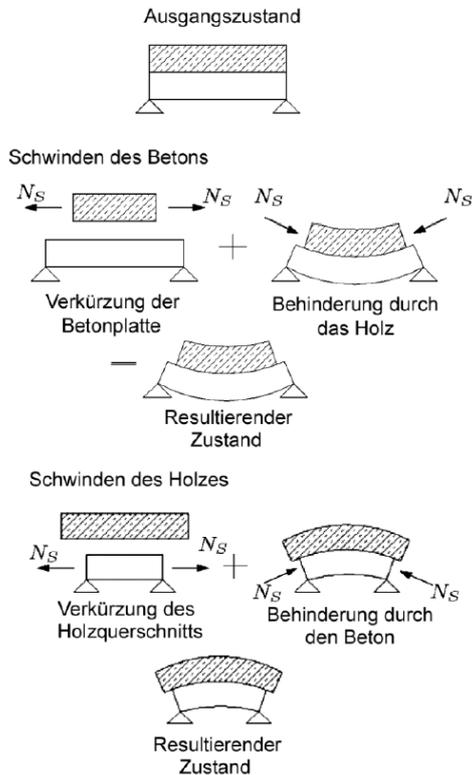
<sup>243</sup> Vgl. SCHINDLER, C.: Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus. Dissertation. S. 1ff.

<sup>244</sup> Vgl. SCHÄNZLIN, J.: Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 1ff.

<sup>245</sup> Vgl. GLASER, R.: Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation. S. 1ff.

<sup>246</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 201

Biegemomente entgegengesetzt des durch die äußere Belastung induzierten Momentes.<sup>247</sup>



**Bild 2.38** Kriechen im Beton- und Holzbauteil bei Verbundträgern<sup>248</sup>

Auch zur Berücksichtigung des Schwindens gibt es mehrere Ansätze in der Literatur. Gelöst wird das Problem meist durch die Simulation der Eigenspannungszustände mit Hilfe von Temperaturbeanspruchungen oder äußeren Ersatzlasten. Schänzlin<sup>249</sup> berücksichtigt zudem die Interaktion von Kriechen und Schwinden und den durch Kriechen erzeugten Schlupf in der Verbundfuge.<sup>250</sup>

Auch die verschiedenen bauaufsichtlichen Zulassungen erlauben die Berücksichtigung des Schwindens durch eine Abkühlung des Betonbauteils, wodurch Normalkräfte und Biegemomente in den Einzelquerschnitten erzeugt werden. Dadurch werden die Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit beeinflusst.<sup>251</sup>

<sup>247</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 201f.

<sup>248</sup> KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.; MICHELFELDER, B.: Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Beton- und Stahlbetonbau, 04/2004. S. 263

<sup>249</sup> Vgl. SCHÄNZLIN, J.: Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 1f.

<sup>250</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsperrholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 201f.

<sup>251</sup> Vgl. a.a.O., S. 203

### 2.3.4.3 Nachweise

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit den oben erläuterten Methoden für eine normgerechte Berechnung folgende Nachweise geführt werden müssen:

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit müssen Nachweise für den Anfangs- und den Endzustand geführt werden. Theoretisch kann, wie bereits erwähnt, auch der Zeitraum von drei bis sieben Jahre nach dem Bau maßgebend werden. Durch die Minderung des Elastizitätsmoduls und somit der Steifigkeit können Kriecheffekte berücksichtigt werden. Durch eine Temperaturbeanspruchung kann das Schwinden im Beton simuliert werden. Beim Zuggurt eines zusammengesetzten Bauteils im Holzbau müssen die Randspannungen, die Schwerpunktspannungen und die Schubspannungen nachgewiesen werden. Je nach Verbindungsmittel werden verschiedene lokale Nachweise im Holzbauteil gefordert. Beim Betonbauteil müssen die Randspannungen nachgewiesen werden. Je nach Konstruktion kann es zu Zugbeanspruchungen im Randbereich kommen. Falls die Mindestbewehrung diese nicht aufnehmen kann, ist eine zusätzliche Bewehrung erforderlich.<sup>252</sup> In diesem Fall darf nur der gedrückte Teil des Betonquerschnitts als wirksam betrachtet werden.<sup>253</sup> Falls es sich um eine HBV-Rippendecke handelt, muss der Beton zusätzlich in der Nebentragrichtung nachgewiesen werden. Die Verbindungsmittel müssen, falls vorhanden, nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung nachgewiesen werden. Für die Vielzahl nicht zugelassener Verbindungsmittel gibt es Ansätze aus der Literatur.<sup>254</sup>

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit dürfen die maximalen Verformungen im Anfangs- und Endzustand nicht überschritten werden. Die Durchbiegungen der Querschnitte mit zeitlich veränderlichen Steifigkeitskennwerten dürfen Grenzwerte in der charakteristischen und quasi-ständigen Bemessungssituation nicht überschreiten. Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit werden durch die Schwingungsnachweise komplettiert. Auch hierfür gibt es Durchbiegungsgrenzwerte für die quasi-ständige Bemessungssituation.<sup>255</sup> Bei Überschreitung dieser Grenzwerte ist die Konstruktion nicht a priori untauglich, viel mehr werden genauere

<sup>252</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsper Holz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 203f.

<sup>253</sup> Vgl. BRÜNINGHOF, H.; KREUZINGER, H.: HBV-Decken richtig berechnen. In: Bauen mit Holz, 12/2011. S. 42

<sup>254</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettsper Holz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 204

<sup>255</sup> Vgl. a.a.O., S. 204f.

Untersuchungen der Geschwindigkeit, Beschleunigung und Resonanz der Konstruktion bei personeninduzierten Lasten verlangt.<sup>256</sup>

### 2.3.5 Anwendungsbereiche

HBV-Decken finden neben den klassischen Einsatzgebieten des Holzbaus eine erweiterte Anwendung, da durch den Verbund mit Beton konstruktive, bauphysikalische und baubetriebliche Vorteile entstehen.

#### 2.3.5.1 Sanierungen

Die bis vor wenigen Jahrzehnten vorwiegend eingesetzte Bauweise bei Decken war die Holzbauweise. Dabei kamen verschiedene Arten von Konstruktionen zum Einsatz. Zu nennen sind unter anderem die Holzbalkendecke oder Tramedecke<sup>257</sup>, die Fehltramedecke<sup>258</sup>, die Einschubdecke<sup>259</sup> und die Dippelbaumdecke.<sup>260, 261, 262</sup>

In Zusammenhang mit Nutzung und Verschleiß setzte der Faktor Zeit diesen Decken zu und so treten heute verschiedenste Schäden auf. Erhöhte Schwingungen und Durchbiegungen, Holzschäden durch biologische Angriffe oder mangelnde Tragfähigkeit sind nur einige von vielen Problemen. Falls es zur Sanierung kommt, müssen die Decken erhöhte Anforderungen bezüglich Schallschutz, Brandschutz, Tragfähigkeiten und Gebrauchstauglichkeit erfüllen.<sup>263</sup> Um diese zu gewährleisten, stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:<sup>264, 265</sup>

- Rückbau der bestehenden Substanz und kompletter Deckenneubau
- Verstärkung durch Stahl-Holz-Verbund
- Verstärkung durch Holz-Holz-Verbund
- Verstärkung durch HBV

<sup>256</sup> Vgl. WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. S. 21f.

<sup>257</sup> Holzdecken, bei denen Holzbalken, auch Trame genannt, die tragende Funktion übernehmen

<sup>258</sup> Holzdecke, bei der der Deckenaufbau und die Unterkonstruktion von zwei verschiedenen Balken getragen werden

<sup>259</sup> Holzdecke, bei der in den Balkenzwischenräumen ein Fehlboden „ingeschoben“ ist

<sup>260</sup> Holzdecke, bei der dreiseitig bearbeitete Holzstämmen massiv verlegt werden

<sup>261</sup> Vgl. PECH, A. et al.: Baukonstruktionen Band 5: Decken. S. 87

<sup>262</sup> Vgl. BATHON, L.: Eine innige Verbindung. In: Bauen mit Holz, 04/2008. S. 23

<sup>263</sup> Vgl. METAMORPHOSE 02/09: Belastbare Beziehung: Deckensanierung in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Metamorphose, 02/2009. S. 50

<sup>264</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 99

<sup>265</sup> Vgl. METAMORPHOSE 02/09: Belastbare Beziehung: Deckensanierung in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Metamorphose, 02/2009. S. 50f.

Durch den Einsatz der HBV-Bauweisen entstehen einige konstruktive und bauphysikalische Vorteile. Gegenüber den Varianten mit Holz-Holz-Verbund und Holz-Stahl-Verbund sind bei Sanierungen mit HBV-Systemen in den meisten Fällen keine zusätzlichen Maßnahmen zur Einhaltung bauphysikalischer Grenzwerte nötig.<sup>266</sup> Falls sich die vorhandenen Holzdielen und die Schüttung in einem guten Zustand befinden, müssen diese nicht rückgebaut werden. Der Bauaufwand kann dadurch weiter minimiert werden.<sup>267</sup> Im Vergleich zum vollständigen Rückbau halten sich Kosten und Bauzeit in Grenzen. Durch die HBV-Bauweise kommt es zu einer minimalen Erhöhung der Deckenstärke und die Untersicht der historischen Deckenbalken kann in den meisten Fällen erhalten bleiben.<sup>268</sup> Um die Belastung der darunterliegenden vertikalen Tragstrukturen minimal zu halten, sollte auch bei HBV-Decken auf eine minimale Betondicke geachtet werden.<sup>269</sup>

### 2.3.5.2 Neubau

HBV-Decken können bei allen Neubauten eingesetzt werden. Neben klassischen Ein- und Zweifamilienhäusern sind bereits einige Projekte im mehrgeschossigen Wohnbau bzw. Bürobau realisiert worden. In der Schweiz, Berlin, Dornbirn, Wien und London sind bereits Gebäude mit bis zu neun Stockwerken in Holzbauweise entstanden<sup>270, 271</sup>, bei einigen kamen HBV-Decken zum Einsatz. Der Holzbau hat sich in den letzten Jahren in Europa stets weiterentwickelt und konnte so an Bedeutung in der Bauwirtschaft gewinnen - eine Entwicklung, die auch vor urbanen Räumen und Großstädten nicht Halt macht. Im Zuge dieser Entwicklungen hat auch die HBV-Bauweise bei Neubauten an Bedeutung gewonnen.<sup>272</sup> Durch die bereits genannten bauphysikalischen, konstruktiven, baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Vorteile fällt die Wahl immer häufiger auf diese Bauweise.

<sup>266</sup> Vgl. METAMORPHOSE 02/09: Belastbare Beziehung: Deckensanierung in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Metamorphose, 02/2009. S. 51

<sup>267</sup> Vgl. HELLER, H.: Holz-Beton-Verbunddecken (HBV) – Neue Deckensanierungssysteme mit Vollgewindeschrauben, Stahlfaserbeton und Online-Bemessungstools. In: Bautechnik, 10/2008. S. 667

<sup>268</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 99

<sup>269</sup> Vgl. HOLSCHMACHER, K.; DEHN, F.: Innovative Betone für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: Bautechnik, 11/2004. S. 875

<sup>270</sup> Vgl. KRABBE, P.; SCHLUDER, M.: Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum. Projektbericht. S. 1ff.

<sup>271</sup> Vgl. ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 1ff.

<sup>272</sup> Vgl. KRABBE, P.; SCHLUDER, M.: Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum. Projektbericht. S. 11

### 2.3.5.3 Brückenbau

HBV-Decken für Brücken wurden in der Schweiz schon in den 1990er Jahren umgesetzt. 40 m lange und für den Schwerverkehr zugelassene Tragwerke wurden errichtet. Auch beim Brückenbau bestechen die Vorteile des hohen Vorfertigungsgrades und der dadurch resultierenden kurzen Bauzeit. So konnten die Holzelemente einer 40 m langen HBV-Brücken in den Niederlanden in wenigen Stunden versetzt werden. Innerhalb weniger Tage konnten Schalung und Bewehrung angebracht werden und bereits drei Wochen nach dem Versetzen der Holzsegmente konnte mit den Ausbauarbeiten der Brücke begonnen werden. Nach fünf Wochen Bauzeit wurde bereits asphaltiert. Neben der kurzen Bauzeit sind der sehr gute bauliche Holzschutz durch die Betondecke und die dadurch erhöhte Lebensdauer, die Anwendbarkeit von bewährten und gebräuchlichen Anschlüssen der Betonfahrbahn und eine positive Umweltbilanz im Vergleich zu Brücken in Stahl- oder Betonbauweise Vorteile von Brücken in HBV-Bauweise.<sup>273</sup> Da bei einer klassischen Holzbrücke in der Regel eine mineralische Deckschicht aufgebracht wird, ist eine schubfeste Verbindung mit dieser eine technisch naheliegende Lösung. Da HBV-Brücken nur bei Einfeldträgern konstruktiv ideal wirken, ist deren Anwendbarkeit jedoch eingeschränkt. Bereits bei Zweifeldträgern werden das Holz und der Beton über dem Auflager nicht mehr ideal beansprucht.<sup>274</sup>



**Bild 2.39** Fertiggestellte Holz-Beton-Verbundbrücke im niederländischen Winschoten<sup>275</sup>

<sup>273</sup> Vgl. MIEBACH, F.: Holzbrückenbau 3.0 als Weiterentwicklung - Neue Hybridstruktur im niederländischen Winschoten. In: Brückenbau, 02/2012. S. 27ff.

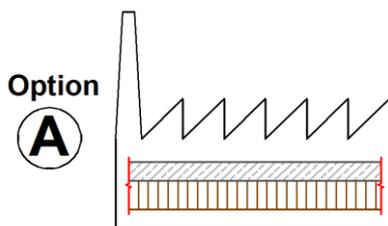
<sup>274</sup> Vgl. a.a.O., S. 30f.

<sup>275</sup> a.a.O., S. 31

### 2.3.6 Herstellungsmethoden

Eine HBV-Decke besteht aus den drei Hauptkomponenten: dem Holzbauteil, dem Betonbauteil und dem Verbindungsmittel. Beim Holzbauteil gibt es die Möglichkeit, Holzbalken oder Brettstapelelemente zu verbauen, die Verwendung von Brettsperrholzelementen ist zurzeit noch nicht Regel der Technik. Das Betonbauteil wird in Form einer Platte ausgebildet, kann aber entweder als Fertigteil angeliefert oder auf der Baustelle hergestellt werden. Die Vielfalt an Verbindungsmitteln wurde bereits in Kapitel 2.3.3 ausführlich beschrieben. Je nachdem, ob diese drei Hauptkomponenten im Werk oder auf der Baustelle miteinander verbunden werden, lassen sich vier Herstellungsmethoden unterscheiden, welche im Folgenden näher erläutert werden.

#### 2.3.6.1 Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil



**Bild 2.40** Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil

Eine Möglichkeit der Herstellung ist es, das gesamte Bauteil im Fertigteilwerk vorzuproduzieren und es dann die Baustelle zu liefern. Auf der Baustelle müssen die Fertigteile versetzt, Knotenanschlüsse ausgeführt, und Fugen geschlossen werden.



**Bild 2.41** Versetzen von HBV-Fertigteilelementen auf der Baustelle <sup>276</sup>

<sup>276</sup> <http://www.modemconclusa.de/fileadmin/presseservice/cree/2012/1ct-one-deckenmontage.jpg>. Datum des Zugriffs: 29.09.2013

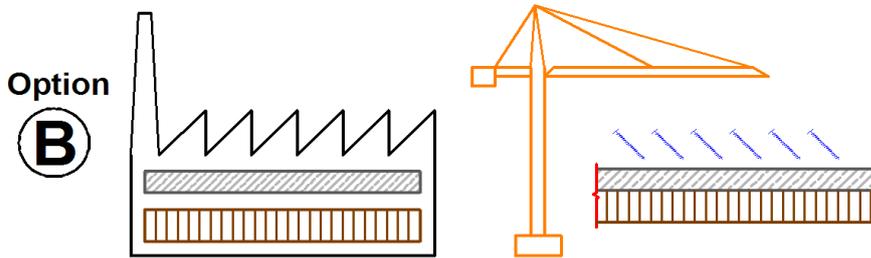
Auch weitere Deckenaufbauten können bereits im Werk mit den tragenden Elementen der HBV-Decke verbunden werden. Vorteile sind die wirtschaftlichen Produktionsbedingungen im Werk und die schnelle und vor allem rechtzeitige Montage vor Ort. Als Nachteile können die Notwendigkeit einer genauen Planung und das hohe Transportgewicht genannt werden. Dieses System scheitert derzeit oft noch an mangelnden Fertigteilwerken, welche in der Lage sind, Holz und Beton unter einem Dach fachgerecht zu verarbeiten.



**Bild 2.42** Beispiel einer Holz-Beton-Fertigteildecke des Herstellers ERNE <sup>277</sup>

<sup>277</sup> <http://www.erne.net/de/leistungen/systeme/verbundbau-holzverbundbauweise/>. Datum des Zugriffs: 17.08.2013

2.3.6.2 Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden



**Bild 2.43** Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden

Eine zweite Möglichkeit der Herstellung ist es, das Holzbauteil und eine im Betonwerk hergestellte Fertigteilplatte auf der Baustelle miteinander zu verbinden. Die Holzbauteile werden in einem ersten Schritt auf der Baustelle versetzt und Knotenanschlüsse hergestellt. In einem zweiten Schritt werden die Betonfertigteile versetzt. Danach werden die beiden Bauteile miteinander verbunden.



**Bild 2.44** Herstellen einer HBV-Decke mit Herstellungsmethode B <sup>278</sup>

Bisher ist nur ein Verbindungsmittelsystem des Herstellers *Würth* bekannt, welches sich für diese Herstellungsweise eignet. Dieses System besteht aus zwei Bestandteilen: den sogenannten *Würth FT-Verbindern* und den bauaufsichtlich zugelassenen *Würth ASSYplus VG* Schrauben. *FT-Verbinder* sind Leerrohre, welche in das Betonfertigteil einbetoniert werden. Eine Stahlplatte garantiert die Kraftübertragung zwischen Schraube und Beton. Um das Holzbauteil zu entlasten, wird es bis zur Herstellung des Verbundes unterstützt. Somit nimmt die HBV-Decke als Ganzes das gesamte Eigengewicht auf. Vorteile sind die

<sup>278</sup> [http://www.haring.ch/typo3temp/pics/hb\\_rapid\\_aabe21b0e9.jpg](http://www.haring.ch/typo3temp/pics/hb_rapid_aabe21b0e9.jpg), Datum des Zugriffs: 29.09.2013

schnelle Montage, der hohe Vorfertigungsgrad, das Vorhandensein von nutzbaren Fertigteilwerken zur Herstellung des Holzbauteils und des Betonfertigteils und die kurze Dauer der Unterstützung. Nachteile sind der hohe Aufwand zur Herstellung der Schraubverbindung und die Benötigung eines Leerrohres. Die Tatsache, dass Betonfertigteileplatten mit speziellen Einbauten derzeit noch nicht zur Standardware eines Werkes gehören, treibt die Kosten zusätzlich in die Höhe.



Bild 2.45 Würth FT-Verbinders <sup>279</sup>

### 2.3.6.3 Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

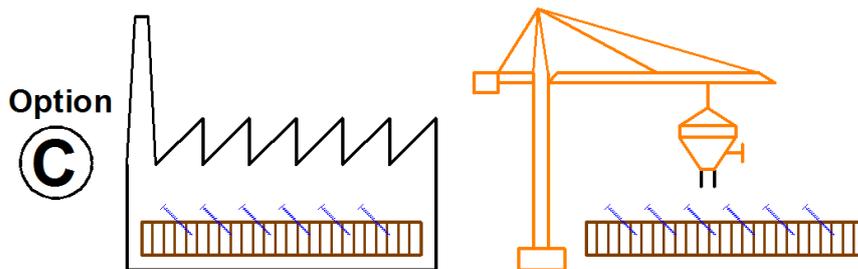


Bild 2.46 Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

Bei dieser Herstellungsvariante werden sämtliche Arbeiten bezüglich der Verbindung zwischen Holz und Beton im Werk vorbereitet. Das weiterverarbeitete Holzbauteil wird auf die Baustelle transportiert, dort versetzt und die Knotenanschlüsse werden fixiert. Nach Errichtung der Randschalung und nach der Bewehrungsverlegung kann der Betoniervorgang erfolgen. Die Decke muss aber bis zur vollständigen Aushärtung des Betons unterstützt bleiben.

<sup>279</sup> MÜNCH, D.; TREHKOPF, H.: Holz-Beton Verbunddecken mit dem Würth FT (Fertigteil)-Verbinders. In: ql2/8 - Das Magazin für Ingenieure, Architekten und Planer, 07/2012. S. 4



Bild 2.47 Betoniervorgang bei einer HBV-Decke <sup>280</sup>

Je nach Verbindungsmittel variiert die Eignung dieser Herstellungsmethode. Werden Kerben zur schubfesten Verbindung verwendet, kann diese Herstellungsmethode ideal sein, da die Kerben mit Hilfe der Abbundmaschine im Werk einfach herzustellen sind. Bei Verwendung einiger anderer Verbindungsmittel, wie etwa Schrauben, ist die Transportierbarkeit eingeschränkt. Im Allgemeinen ist die einfache Herstellung ein Vorteil dieses Herstellungsverfahrens. Es sind keine speziellen Anlagen notwendig und so kann es von den meisten ausführenden Unternehmen ohne Probleme realisiert werden. Holzbau- und Betonbaubetriebe können jeweils in ihren Fachgebieten arbeiten und so eine hohe Qualität garantieren. Nachteile sind die lange Unterstellzeit der Decke, der Feuchteintrag in das Bauwerk, die Schnittstellenproblematik zwischen Holzbau und Betonbau und die Beschränkung auf eine begrenzte Anzahl von geeigneten Verbindungsmittel.

<sup>280</sup> [http://www.beton.org/uploads/RTEmagicC\\_estrich-3\\_01.jpg.jpg](http://www.beton.org/uploads/RTEmagicC_estrich-3_01.jpg.jpg), Datum des Zugriffs: 29.09.2013

## 2.3.6.4 Option D: Sämtliche Arbeiten auf der Baustellen ausführen

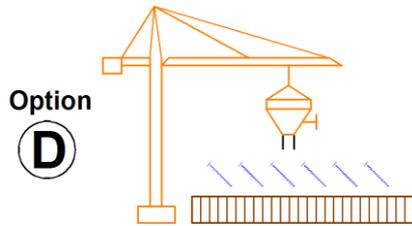


Bild 2.48 Option D: Sämtliche Arbeiten auf der Baustellen ausführen

Werden sämtliche Vorgänge, auch jene, welche das Verbindungsmittel betreffen, auf der Baustelle ausgeführt, kann von einer vierten Herstellungsmethode gesprochen werden. Vorteil ist die geringe Komplexität der Vorgänge auf der Baustelle, welche für sehr viele Betriebe durchführbar sind. Durch die getrennte Fertigung ist auch eine hohe Flexibilität gegeben. Nachteile sind die bereits unter Option C genannten Aspekte. Auch bei dieser Variante wirken sich die langen Unterstellzeiten, der Feuchteintrag, die Schnittstellenproblematik und die Beschränkung auf einige Verbindungsmittel negativ aus. Baubetrieblich und bauwirtschaftlich problematisch ist der hohe Arbeitsaufwand auf der Baustelle.

Bild 2.49 Betoniervorgang einer Holz-Beton-Verbunddecke <sup>281</sup>

<sup>281</sup> HOLSCHMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig, S. 4

### 3 Wirtschaftliche Analyse

Im Planungsprozess eines Gebäudes haben die Verantwortlichen tagtäglich eine Vielzahl von Entscheidungen zu treffen. Neben technischen und ästhetischen Aspekten spielt die Wirtschaftlichkeit eine entscheidende Rolle in der Entscheidungsfindung. Da die einzelnen Entscheidungen, je nach Wichtigkeit, einen kleineren oder größeren Einfluss auf die nachfolgenden baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Prozesse haben, muss jede davon systematisch durchdacht werden. Im folgenden Kapitel sollen die wirtschaftlichen Aspekte von HBV-Decken erörtert werden, damit die Entscheidungsfindung bei der Deckenwahl erleichtert wird. Durch den Vergleich mit der konventionellen Stahlbetondecke und der Brettspertholzdecke sollen wirtschaftliche Vor- und Nachteile der HBV-Decken gegenüber konkurrierenden Systemen angeführt werden.

#### 3.1 Holz-Beton-Verbunddecken: Aktuelle Marktsituation

Wie in Kapitel 2.3.3, 2.3.5 und 2.3.6 angeführt, gibt es verschiedene Arten und Möglichkeiten, HBV-Decken zu konstruieren und herzustellen. Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen ist deren Anwendbarkeit zum Teil eingeschränkt und die Planungsaufgabe erschwert. Andererseits kann der Planungsaufwand durch die Verwendung von Herstellersystemen verringert werden. Im Folgenden sollen gesetzliche Aspekte bezüglich HBV-Decken erläutert, sowie die verschiedenen Systeme der Hersteller beschrieben werden. Neben der Verwendung von Herstellersystemen hat der Planer auch die Möglichkeit, selbst Lösungen zu konstruieren. Welche Verbindungsmittelsysteme und Herstellungsmethoden in der Praxis vorherrschend sind, soll ebenso in diesem Kapitel angeführt werden. Zusätzlich wird die aktuelle Marktsituation durch die nähere Beschreibung einiger Projekte, bei denen HBV-Decken verbaut wurden, beschrieben.

##### 3.1.1 Gesetzliche Einschränkungen

Die Dimensionierung und Ausführung von HBV-Decken ist durch konstruktive Normen und bauphysikalische Mindestanforderungen beeinflusst. Der Mangel an genormten Berechnungsverfahren und die Anforderungen bezüglich des Schall- und Brandschutzes an die Materialien Holz und Beton schränken eine Anwendung der HBV-Bauweise zum Teil ein. Dies wird im Folgenden näher erläutert.

### 3.1.1.1 Einschränkungen durch mangelnde konstruktive Normung

Konstruktiv können HBV-Decken wie jede andere Art von Decken bemessen werden. Je nach Spannweite und statischem System kann das Holzbauteil, das Betonbauteil und das Verbindungsmittel dimensioniert werden. Jedoch sind die im Kapitel 2.3.4 vorgestellten Berechnungsverfahren nur teilweise in der deutschen, österreichischen und Schweizer Normung verankert. In der DIN 1052 und dem Eurocode 5 ist lediglich das  $\gamma$ -Verfahren angeführt. Da dieses Verfahren ausschließlich die elastischen Zustände zum Zeitpunkt null ( $t_0$ ) erfasst und nur für geringe Verbindungsmittelabstände geeignet ist, beschränkt sich die Anwendung in der Praxis auf einige wenige Typen von HBV-Decken.<sup>282</sup> Bereits die Anwendung bei Decken mit Kerven als Verbindungsmittel kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen, da die Annahme eines kontinuierlichen-konstanten Verbundes nicht zutrifft. Deshalb muss bei der Bemessung von HBV-Decken oft auf nicht genormte Berechnungsverfahren zurückgegriffen werden. Darunter fallen die im Kapitel 2.3.4 genannten Methoden. Bezüglich des Langzeitverhaltens sind in der Normung Materialgesetze der einzelnen Baustoffe verankert, deren Zusammenwirken und gegenseitige Beeinflussung sind jedoch nicht enthalten.<sup>283</sup> So müssen laut Kuhlmann folgende zusätzlichen Effekte bei der Berechnung des Langzeitverhaltens von HBV-Konstruktionen berücksichtigt werden:

- „Auswirkungen des Schwindens auf die effektive Steifigkeit führt zu einer Modifikation der effektiven Verbundträgersteifigkeit.
- Berücksichtigung des Schwindens durch eine dauernd wirkende Ersatzlast, die mit den anderen Lasten überlagert werden muß.
- Berücksichtigung der Verbundtragwirkung und der unterschiedlichen zeitlichen Entwicklung des Kriechens durch einen modifizierten E-Modul.“<sup>284</sup>

Durch den Mangel an genormten Berechnungsverfahren kommt es für den planenden Ingenieur zu einem erhöhten Planungsrisiko und einem erhöhten Planungsaufwand. Auch wenn Berechnungsverfahren für globale und lokale Nachweise vorhanden sind, müssen diese für die Vielzahl der am Markt verfügbaren Systeme in die Normung aufgenommen werden. Dieser Schritt würde sich positiv auf die weitere Verbreitung dieser Bauart auswirken.<sup>285</sup>

<sup>282</sup> Vgl. KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.: Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken nach DIN und Euronorm. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 80

<sup>283</sup> Vgl. a.a.O., S. 71

<sup>284</sup> KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.; MICHELFELDER, B.: Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Beton- und Stahlbetonbau, 04/2004. S. 266

<sup>285</sup> Vgl. SCHÖNBORN, F.; FLACH, M.; FEIX, J.: Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkerven im Holz-Beton-Verbundbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 06/2011. S. 393

### 3.1.1.2 Einschränkungen durch bauphysikalische Mindestanforderungen

Bezüglich des Luftschallschutzes müssen Geschossdecken in Österreich nach der OIB Richtlinie 5 folgende Anforderungen erfüllen (angegeben werden jeweils die Mindestanforderungen bezüglich der Standard Schallpegeldifferenz):<sup>286</sup>

- Zu Aufenthaltsräumen aus Räumen anderer Nutzungseinheiten sowie aus allgemein zugänglichen Bereichen: 55 dB
- Zu Hotel-, Klassen-, Krankenzimmern oder Wohnräumen in Heimen aus Räumen derselben Kategorie sowie aus allgemein zugänglichen Bereichen: 55 dB
- Zu Nebenräumen aus Räumen anderer Nutzungseinheiten sowie aus allgemein zugänglichen Bereichen: 50 dB
- Zu Hotel-, Klassen-, Krankenzimmern oder Wohnräumen in Heimen aus Nebenräumen: 50 dB

Im Falle des Trittschalles dürfen folgende Mindestanforderungen nicht unterschritten werden:<sup>287</sup>

- Aus Räumen angrenzender Nutzungseinheiten: 48 dB
- Aus allgemein zugänglichen Bereichen: 50 dB
- Aus nutzbaren Terrassen, Dachgärten, Balkonen, Loggien und Dachböden: 53 dB

Die oben genannten Werte aus der OIB Richtlinie 5 sind bereits im Großteil Österreichs in Kraft getreten, lediglich in Salzburg und Oberösterreich sind diese noch nicht umgesetzt.<sup>288</sup> Die DIN 4109 legt ähnliche Grenzwerte für den Schallschutz fest. Prinzipiell kann Schall über Festkörper oder über die Luft übertragen werden. Die Körperschallübertragung kann durch drei wesentliche Strategien begrenzt werden: die Reduzierung der Einleitung, der Weiterleitung und der Abstrahlung des Schalls. Die Einleitung des Schalls kann durch entsprechende Deckenaufbauten, wie z.B. schwimmende Estriche (Trittschalldämmung), reduziert werden. Die Weiterleitung kann durch den Einbau von elastischen Schichten und Dämpfungsschichten minimiert werden und das Problem der Abstrahlung kann etwa durch Beplankungen, Vorsatzschalen oder abgehängten Unterdecken gelöst werden.<sup>289</sup> Zur Begrenzung der Luftschallübertragung kommen im Allgemeinen zwei Strategien zum Einsatz. Einerseits geschieht sie durch

<sup>286</sup> ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: OIB Richtlinie 5 - Schallschutz. Richtlinie. S. 3

<sup>287</sup> Vgl. a.a.O., S. 4

<sup>288</sup> Vgl. <http://www.oib.or.at/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

<sup>289</sup> Vgl. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperholz im Geschößbau - Fokus Bauphysik. Planungsbroschüre. S. 30

eine Erhöhung der Masse und andererseits durch den Einbau mehrschaliger Bauteile.<sup>290</sup> Da HBV-Decken durch die Betonschicht eine erhöhte Masse im Vergleich zu reinen Holzdecken aufweisen, sind weniger zusätzliche Maßnahmen zur Einhaltung der Schallschutzanforderungen notwendig. Vor allem tiefe Frequenzen werden durch die erhöhte Masse stärker gedämpft.<sup>291</sup> Da jedoch Luft- und Körperschalldämpfmaße stark vom jeweiligen System abhängen und keineswegs lineares Verhalten aufweisen, muss auch hier jedes System im Einzelfall bewertet werden.

Bezüglich des Brandschutzes regeln in Österreich die OIB Richtlinien 2, 2.1, 2.2 und 2.3 die Mindestanforderungen an die Bauteile. Auch diese Richtlinien sind außer in den Bundesländern Salzburg und Oberösterreich bereits in ganz Österreich in Kraft getreten.<sup>292</sup>

In der folgenden Tabelle sind die Mindestanforderungen für Decken angegeben:

**Tabelle 4** Allgemeine Brandschutzanforderungen<sup>293</sup>

	Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2 <sup>(1)</sup>	GK 3 <sup>(1)</sup>	GK 4 <sup>(1)</sup>	GK 5
<b>3</b>	<b>brandabschnittsbildende Wände und Decken</b>					
3.1	brandabschnittsbildende Wände an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 EI 60	REI 90 <sup>(5, 6)</sup> EI 90 <sup>(5, 6)</sup>	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90
3.2	sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	nicht zutreffend	REI 90 <sup>(6)</sup> EI 90 <sup>(6)</sup>	REI 90 <sup>(6)</sup> EI 90 <sup>(6)</sup>	REI 90 <sup>(6)</sup> EI 90 <sup>(6)</sup>	REI 90 EI 90
<b>4</b>	<b>Decken und Dachschrägen mit einer Neigung von nicht mehr als 60 Grad gegenüber der Horizontalen</b>					
4.1	Decken über dem obersten Geschoß	ohne	R 30	R 30	R 30	R 60 <sup>(2)</sup>
4.2	Trenndecken über dem obersten Geschoß	ohne	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60 <sup>(2)</sup>
4.3	Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	ohne	REI 30	REI 60	REI 60	REI 90
4.4	Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30 <sup>(3)</sup>	R 30	R 30	R 30	R 90 <sup>(2)</sup>
4.5	Decken über unterirdischen Geschoßen	R 60	REI 60 <sup>(7)</sup>	REI 90	REI 90	REI 90
<b>5</b>	<b>Balkonplatten</b>					
		ohne	ohne	ohne	R 30 oder mindestens A2	R 30 und mindestens A2
(1)	Sofern das Fluchtniveau nicht mehr als 11 m beträgt und jeder Aufenthaltsraum zumindest an einer Stelle nicht mehr als 7 m über dem angrenzenden Gelände liegt, (a) haben Gebäude der GK 1, die lediglich aufgrund der Hanglage in GK 4 fallen, nur die Bauteilanforderungen für GK 2 zu erfüllen, (b) haben Gebäude der GK 2 oder GK 3, die lediglich aufgrund der Hanglage in GK 4 fallen, nur die Bauteilanforderungen für GK 2 oder GK 3 zu erfüllen;					
(2)	Bei Gebäuden mit nicht mehr als sechs oberirdischen Geschoßen genügt für die beiden obersten Geschoße die Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten;					
(3)	Nicht erforderlich bei Gebäuden, die nur Wohnzwecken oder der Büronutzung bzw. büroähnlichen Nutzung dienen;					
(4)	Für tragende Trennwände gelten zusätzlich die Anforderungen an tragende Bauteile gemäß Punkt 1 der Tabelle 1;					
(5)	Bei Reihenhäusern genügt für die Wände zwischen den Wohnungen bzw. Betriebseinheiten auch an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze eine Ausführung in der Feuerwiderstandsklasse von REI 60 bzw. EI 60;					
(6)	Die Bauteile müssen nicht aus Baustoffen der Euroklasse des Brandverhaltens mindestens A2 bestehen;					
(7)	Für Reihenhäuser sowie Gebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen oder zwei Betriebseinheiten mit Büronutzung bzw. büroähnlicher Nutzung genügt die Anforderung R 60.					

Sofern keine Ausnahmen angegeben werden, müssen Bauteile mit einer Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten aus Baustoffen mit

<sup>290</sup> Vgl. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperholz im Geschoßbau - Fokus Bauphysik. Planungsbrochüre. S. 25ff.

<sup>291</sup> Vgl. BARTLOMÉ, O.: Bauakustische Eigenschaften einer Holz-Beton-Verbunddecke. Projektbericht. S. 2

<sup>292</sup> Vgl. <http://www.oib.or.at/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

<sup>293</sup> ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: OIB Richtlinie 2 - Brandschutz. Richtlinie. S. 12



Brandverhalten A1<sup>294</sup> oder A2<sup>295</sup> der Euroklasse<sup>296</sup> bestehen.<sup>297</sup> Laut Tabelle 4 ist das insbesondere bei Gebäuden der Klasse 5 der Fall. Sowohl Baustoffe der Klasse A1, als auch jene der Klasse A2 fallen in die Kategorie der nicht brennbaren Baustoffe. Da Holz als brennbares Material gilt, ist dessen Verwendung bei Gebäuden der Klasse 5 demzufolge nicht erlaubt. Eine Maßnahme dagegen kann die vollkommene Umschließung der Holzbauteile mit Brandschutzbekleidungen sein.<sup>298</sup> Dies wird als Kapselung bezeichnet. Diesbezüglich können HBV-Decken gegenüber reinen Holzdecken vorteilhaft sein, da die Geschosse durch die Betondecke als nicht brennbare Schicht brandschutztechnisch voneinander getrennt sind und dadurch HBV-Decken zwei Brandabschnitte voneinander trennen können. Zudem ist das Holzbauteil durch die Betonplatte von oben mit einem nicht brennbaren Material umschlossen. Jedenfalls erlaubt die OIB Richtlinie eine Abweichung von den oben genannten Anforderungen wenn durch ein Brandschutzkonzept die sogenannten Schutzziele (Vorbeugung der Gefährdung von Leben und Gesundheit von Personen durch Brand und Einschränkung der Brandausbreitung) erreicht werden. Die Erstellung eines solchen Brandschutzkonzeptes ist ebenfalls in der OIB Richtlinie geregelt.<sup>299</sup> Um diese Schutzziele zu erreichen sind beim mehrgeschossigen Holzbau der Gebäudeklasse 5 auf alle Fälle Kompensationsmaßnahmen<sup>300</sup> erforderlich.

Brandschutz ist und bleibt ein wesentliches Element bei der Genehmigungsfähigkeit von mehrgeschossigen Hochbauten in Holz. Jedoch konnte durch die stetige Weiterentwicklung auch eine Erweiterung der Regelwerke erzielt werden, so dass heute bereits mehr möglich ist als noch vor 20 Jahren. Waren im Jahre 1990 auf dem Großteil des europäischen Kontinents nur Holztragwerke mit maximal zwei Stockwerken zulässig, war im Jahr 2000 in einigen Ländern (Spanien, Frankreich, Schweden, Norwegen, Großbritannien, Griechenland, etc.) bereits der Bau von Holzgebäuden mit mehr als fünf Geschossen erlaubt. Derzeit dürfen, außer in einigen wenigen Ländern, in ganz Europa Gebäude mit mehr als fünf Geschossen in Holz realisiert werden, auch wenn teilweise noch aufwendige Kompensations- und Schutzauflagen erfüllt werden müssen. Das Ausmaß dieser Maßnahmen hängt in starkem Maße von der Gesetzgebung der einzelnen Länder

<sup>294</sup> Laut EN 13501-1: *Nicht brennbar, ohne Anteile von brennbaren Baustoffen*

<sup>295</sup> Laut EN 13501-1: *Nicht brennbar, mit Anteile von brennbaren Baustoffen*

<sup>296</sup> Baustoffklassen definiert laut EN 13501-1

<sup>297</sup> Vgl. KADEN, T.: *Holzbau mit sieben Geschossen - Experiment außerhalb der Bauordnung*. In: *Detail*, 11/2008. S. 1304

<sup>298</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: *OIB Richtlinie 2 - Brandschutz*. Richtlinie. S. 12

<sup>299</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: *OIB Richtlinie 2 - Brandschutz*. Richtlinie. S. 1ff.

<sup>300</sup> Z.B.: Kapselung, automatische Löschanlage, automatische sichern von Brandabschnitten, Druckanlage zum Belüften, automatische Branderkennungs- und Meldeanlage etc.

ab.<sup>301</sup> In Österreich und in Deutschland werden die Brandschutzanforderungen nach den Gebäudeklassen von 1 bis 5 zugeordnet, in der Schweiz hingegen erfolgt dies über die Geschossanzahl. Während in Österreich (Gebäudeklasse 5, Fluchtniveau 22 m), Deutschland (Gebäudeklasse 4, Fluchtniveau 13 m) und der Schweiz (sechs Geschosse) die maximale Höhe von Gebäuden in Holzbauweise beschränkt ist<sup>302</sup>, existiert in einigen Ländern, wie Großbritannien, Schweden oder Italien, keine Höhenbeschränkung für den mehrgeschossigen Holzbau.<sup>303</sup> Die großen Unterschiede der Brandschutzanforderungen für den mehrgeschossigen Holzbau werden mit folgender Abbildung nochmals verdeutlicht. Die Anforderungen beziehen sich jeweils auf die maximal erlaubte Gebäudeklasse bzw. Geschossanzahl.

SCHWEIZ		ÖSTERREICH	DEUTSCHLAND		SCHWEDEN	
sechs Geschosse		GK 5	GK 4	GK 5	∞	∞
baulich	Sprinkler				baulich	Sprinkler
R 60 / EI 30 <sup>1</sup>	R 60 <sup>1</sup>	REI 90 (A2)	K 60 <sup>2</sup>	F 90 AB <sup>3</sup>	REI 90	REI 90
<p> Holzbauteile beidseitig EI30 (nbb) verkleidet. Dies entspricht im wesentlichen einer K30 Beplankung. In Bauten mit brennbaren Tragwerken müssen die Dämmschichten der Holzbauteile nicht brennbar sein.</p> <p><sup>1</sup> Voraussetzungen: Brandschutzkonzept vor Baubeginn, Begleitung durch anerkannten Fachingenieur, Qualitätssicherungsprogramm des ausführenden Unternehmens.</p> <p> Bei sieben Geschossen kann das oberste Geschöß in Holz mit einem Feuerwiderstand von 60 Minuten ausgeführt werden. Bei in Summe maximal sechs Geschößen gilt dies für die obersten beiden Geschöße.</p> <p> MHFHolzR</p> <p><sup>2</sup> K60 für raumabschließende tragende Wände und Decken. Zusätzliche Anforderungen an die Ausführung der Brandschutzbekleidung und der Wahl der eingesetzten Dämmstoffe (Mineralwolle, Schmelzpunkt &gt; 1000°C)</p> <p> nach Musterbauordnung [MBO02]</p> <p><sup>3</sup> Anforderungen je nach Landesbauordnungen verschieden, Berlin F90 AB (wesentliche Teile der Konstruktion nicht brennbar) zB.: Saarland, Sachsen und Thüringen F60-BA (Konstruktion brennbar, mit gekapselter K60* Verkleidung).</p>						

**Bild 3.1** Anforderungen an tragende Konstruktionen bezüglich des Brandschutzes in der Schweiz, Österreich, Deutschland und Schweden<sup>304</sup>

Eine generelle Aussage über die Genehmigungsfähigkeit von Holzgebäuden bezüglich des Brandschutzes kann aufgrund der regional, national und international unterschiedlichen Bestimmungen nur schwer getroffen werden.<sup>305</sup> Bauprojekte in Holz müssen daher in der Praxis meistens als Einzelfall genau betrachtet und analysiert werden. Ein

<sup>301</sup> Vgl. ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 27

<sup>302</sup> Vgl. TEIBINGER, M.; BUSCH, T.: Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5. Machbarkeitsstudie. S. 16

<sup>303</sup> Vgl. DIE SCHREINERZEITUNG: Holz strebt in die Höhe. In: Die Schreinerzeitung, 15/2012. S. 42

<sup>304</sup> TEIBINGER, M.; BUSCH, T.: Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5. Machbarkeitsstudie. S. 16

<sup>305</sup> Vgl. ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 27

Beispiel ist das siebengeschossige Wohngebäude aus Holz in Berlin des Architekturbüros *Kaden Klingbein*<sup>306</sup>, bei dem HBV-Decken zum Einsatz kamen. Da die Berliner Bauordnung nur Holzgebäude mit maximal fünf Geschossen erlaubt, musste um eine Genehmigung im Einzelfall angesucht werden. Um diese zu erhalten, wurde bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt ein Brandschutzkonzept erarbeitet, welches neben extrem kurzen, rauchfreien Fluchtwegen auch erhöhte Brandwiderstände der tragenden und aussteifenden Bauteile sowie eine spezielle Rauchmeldeanlage vorsah. Die Holzbauteile wurden durch eine lückenlose, hohlraumfreie Brandschutzbekleidung komplett gekapselt ausgeführt. Mit Hilfe von Gutachten und aufwendiger Verhandlungsarbeit mit den zuständigen Behörden wurde schließlich eine Baugenehmigung erteilt.<sup>307</sup>

### 3.1.1.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Verwendung von HBV-Decken durch die lückenhafte konstruktive Normung und die Einschränkungen bezüglich des Brandschutzes vor allem bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 (höher als 13 m oder Nutzungseinheiten größer als 400 m<sup>2</sup>)<sup>308</sup> stark eingeschränkt ist. Gegenüber reinen Holzdecken haben HBV-Decken jedoch den Vorteil, dass die Geschosse durch die durchgehende, nicht brennbare Betondecke brandschutztechnisch voneinander getrennt sind. Durch die höhere Masse sind zudem die Schallschutzanforderungen leichter zu erfüllen.

<sup>306</sup> Vgl. Kaden und Klingbeil Architekten, <http://www.kaden-klingbeil.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>307</sup> Vgl. KADEN, T.: Holzbau mit sieben Geschossen - Experiment außerhalb der Bauordnung. In: *Detail*, 11/2008. S. 1306

<sup>308</sup> Vgl. WABL, A.: Brandschutz im mehrgeschossigen Holz-Massivbau. Masterarbeit. S. 32

### 3.1.2 Systemanbieter

Die Möglichkeiten einer Verbindung zwischen Holz und Beton, wurden bereits im Kapitel 2.3.3 näher beschrieben. Einige Hersteller entwickelten aus diesen Verbundmöglichkeiten Deckensysteme, welche sie nun kommerziell anbieten. Die Verwendung solcher Systeme hat den Vorteil, dass man die Erfahrung und das Know-How des Herstellers nutzen kann und dadurch das Planungsrisiko minimiert wird. Zusätzlich erfüllen die Decken der Systemanbieter oftmals erhöhte Anforderungen an die Bauphysik, da bereits weitere Deckenaufbauten miteingeplant wurden. Vor allem bei Planern ohne Erfahrung im Bereich der Konstruktion von HBV-Decken können dadurch Planungsfehler vermieden werden. Rein wirtschaftlich können sich bei der Kooperation mit Systemanbietern Vorteile durch die bereits bestehende Infrastruktur zur Herstellung der Decken ergeben. Im Folgenden werden einige Systemanbieter vorgestellt.

#### 3.1.2.1 *Elascon*

Der Hersteller *Elascon*<sup>309</sup> mit Sitz im Baden-Württembergischen Waldkirch hat sich vor allem auf die Ertüchtigung bestehender Holzbalkendecken mit Hilfe von *TCC* Schrauben mit der bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-603 spezialisiert.<sup>310</sup> Es werden drei Arten von Deckensystemen angeboten. Beim System *V-HB-S* wird auf die intakten Holzdielen betoniert, wodurch nur ein minimaler Rückbau nötig ist. Falls sich die Holzdielen in einem maroden Zustand befinden oder schalldämmende Schichten im Zwischenbalkenbereich unzureichend vorhanden sind, können die Holzdielen auch entfernt und ersetzt werden. Nachteilig ist der Raumhöhenverlust von mindestens 6 cm pro Geschossdecke. Dieser Nachteil wird beim zweiten System *V-HB-F* aufgehoben, da Beton bei dieser Lösung in den Balkenzwischenraum gegossen wird. Die Verbundfuge liegt in diesem Fall vertikal. Nachteilig bei diesem System sind die zusätzliche Belastung des Fehlbodens, der eventuell verstärkt werden muss, der fehlende Brandschutz auf der Holzoberkante, und die reduzierte Quertragwirkung. Das dritte System, *V-HB-V*, kombiniert die beiden erstgenannten Arten. Der Beton wird sowohl in die Balkenzwischenschicht, als auch darüber eingebaut. Die Verbundschrauben werden dreidimensional angeordnet.<sup>311</sup>

<sup>309</sup> Elascon GmbH, <http://www.elascon.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>310</sup> Vgl. KIEFER, ; MARIE-ISABEL, : Nachhaltiges Bauen mit Weitblick. In: Mikado, 05/2005. S. 21

<sup>311</sup> Vgl. <http://www.elascon.de/tragsysteme>. Datum des Zugriffs: 27.08.13



Bild 3.2 *Elascon V-HB-S* Decke <sup>312</sup>

### 3.1.2.2 *Häring hp\_rapid*

Der Schweizer Hersteller *Häring* <sup>313</sup> verwendet *Würth ASSYplus VG* Schrauben zusammen mit den *Würth FT-Verbindern* zur Herstellung von HBV-Decken. Das Verbindungsmittel und die Herstellungsmethode wurden bereits in den Kapiteln 2.3.3 und 2.3.6 erläutert. Es ist anzumerken, dass dieses System laut Firmenangaben bis jetzt erst einmal eingesetzt wurde. <sup>314</sup>



Bild 3.3 Versetzen von Betonfertigteilen des Herstellers *Häring* <sup>315</sup>

<sup>312</sup> <http://www.elascon.de/tragsysteme>. Datum des Zugriffs: 27.08.13

<sup>313</sup> Häring und Co. AG, <http://www.haring.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>314</sup> Vgl. <http://www.haring.ch/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

<sup>315</sup> a.a.O.

### 3.1.2.3 *Bresta*

Der Schweizer Hersteller *Tschopp Holzbau AG*<sup>316</sup> bietet eine breite Palette an Holzbauprodukten und Bauteilen in Holzbauweise an. Darunter sind Lösungen für den allgemeinen Holzbau, für Umbauten, für den Innenausbau und für den Holzhausbau zu finden. Hergestellt werden neben Holzbauprodukten (wie z.B. Türen, Treppen, Akustikverkleidungen) auch Dachkonstruktionen, Brücken und ganze Gebäude in Holzbauweise.<sup>317</sup> Die HBV-Bauweise wird von diesem Unternehmen mit zwei Systemen umgesetzt: Beim ersten System wird die versetzte Anordnung der Bretter von Brettstapelelementen zur Herstellung eines Haftverbundes verwendet und beim zweiten System verbinden Kerven die Brettstapelelementen und den Beton schubfest miteinander. In Abhängigkeit vom Kundenwunsch, den logistischen Bedingungen und der Ausführungsplanung kann der Betoniervorgang entweder auf der Baustelle erfolgen oder es werden ganze HBV-Fertigteile auf die Baustelle geliefert. Die Brettstapelelemente, welche im Jahr 1994 entwickelt wurden, kommen ohne Leim oder metallischen Verbindungsmittel aus und werden unter dem Produktnamen *Bresta* verkauft.<sup>318</sup>

### 3.1.2.4 *TiComTec*

Das deutsche Unternehmen *TiComTec*<sup>319</sup>, dessen Inhaber zusammen mit anderen Wissenschaftlern die *HBV-Schubverbinder* entwickelte und auf dessen Namen auch die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung dieses Verbindungsmittels ausgestellt ist, bietet sieben verschiedene Deckensysteme für den Geschossbau an.<sup>320</sup>

- *HBV-Akustikdecke*: eine Rippendecke mit aufgeklebten Akustikelementen und fertiger Untersicht
- *HBV-Balkendecke*: die klassische HBV-Rippendecke, welche entweder als Fertigteile auf die Baustelle transportiert wird oder wo die Betonschicht auf der Baustelle aufgebracht wird
- *HBV-Hohlkastendecke*: eine HBV-Brettstapeldecke mit einbetonierten Styroporquadern zur Gewichtsreduktion

<sup>316</sup> Tschopp Holzbau AG, <http://www.tschopp-holzbau.ch/>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013

<sup>317</sup> Vgl. <http://www.tschopp-holzbau.ch/>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013

<sup>318</sup> Vgl. [http://www.tschopp-holzbau.ch/w\\_1/site/s\\_page\\_bresta.asp?NID=47](http://www.tschopp-holzbau.ch/w_1/site/s_page_bresta.asp?NID=47). Datum des Zugriffs: 21.11.2013

<sup>319</sup> TiComTec GmbH, <http://ticomtec.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>320</sup> Vgl. <http://www.hbv-systeme.de/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

- *HBV-Kastendecke*: eine HBV-Rippendecke mit pressverleimter Holzplatte als Untersicht; der Balkenzwischenraum kann mit Dämmung ausgefüllt werden
- *HBV-Plattendecke*: die Klassische HBV-Brettstapeldecke
- *HBV-Variodecke*: eine HBV-Rippendecke, bei der als Rippen flachliegende Brettschichtholzträger verwendet werden



**Bild 3.4** Holz-Beton-Verbunddecke mit *HBV-Schubverbindern*<sup>321</sup>

### 3.1.2.5 *Lignotrend*

Der deutsche Hersteller *Lignotrend*<sup>322</sup>, welcher Decken-, Wand- und Dachsysteme, sowie Wärmedämmungen und Fassadenbekleidungen herstellt, führt in seinem Sortiment auch HBV-Decken. In Zusammenarbeit mit *TiComTec* werden Decken mit fertiger Untersicht, welche speziellen akustischen Anforderungen entsprechen, hergestellt. Zusätzliche Aufbauten für spezielle bauphysikalische und konstruktive Anforderungen können bei Bedarf ebenso hergestellt werden.<sup>323</sup>

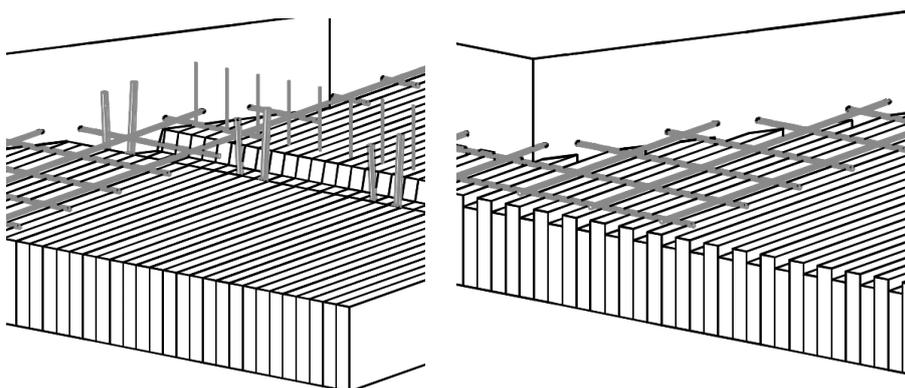
<sup>321</sup> <http://www.hbv-systeme.de/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

<sup>322</sup> Lignotrend Produktions GmbH, <http://www.lignotrend.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>323</sup> Vgl. <http://www.lignotrend.de/home/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

### 3.1.2.6 Systeme *Pirmin Jung*

Das Schweizer Ingenieurbüro *Pirmin Jung*<sup>324</sup>, spezialisiert auf Ingenieurleistungen im Holzbau, hat laut Referenzliste bereits 28 Mehrfamilienhäuser, eine Heimanlage, sechs Schulen / Kindergärten, sieben Bürogebäude, zwei Industriebauten und eine Sanierung mit HBV-Decken realisiert (Stand August 2013). Dabei wurden zwei Systeme entwickelt. Die *HBV-Decke Kerve* ist laut Unternehmensangaben geeignet für 4,0-8,0 m Spannweite und stellt über Schubkerven die Verbindung zwischen Brettstapelelementen und dem Beton her. Die *HBV-Decke PlusMinus* hingegen nutzt die versetzte Anordnung der Bretter bei Brettstapelelementen zur Maximierung des Haftverbundes zwischen Holz und Beton. Zusätzlich werden sogenannte Flachstahlschlösser senkrecht zur Spannrichtung eingebracht, um die übertragbaren Schubkräfte weiter zu steigern. Dadurch können auch bei diesem System Spannweiten bis zu 8,0 m erreicht werden. Beide Systeme können mit und ohne Deckenuntersicht in Sichtqualität hergestellt werden. Wird keine Sichtqualität gewählt, müssen die Brettstapelelemente zusätzlich mit Akustikverkleidungen, Gipskarton-, oder Gipsfaserplatten beplankt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Brettstapelelemente nicht flächig zu verlegen, damit in den Zwischenräumen Installationen und Schichten zur Steigerung bauphysikalischer Eigenschaften eingebaut werden können (*HBV-Decke Akustik*).<sup>325</sup>



**Bild 3.5** Systeme von *Pirmin Jung Ingenieure*: Links HBV-Decke Kerve und rechts HBV-Decke PlusMinus<sup>326</sup>

<sup>324</sup> PIRMIN JUNG Ingenieure für Holzbau AG, <http://www.pirminjung.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>325</sup> Vgl. <http://www.pirminjung.ch/>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013

<sup>326</sup> a.a.O.

### 3.1.2.7 Erne

Der Schweizer Hersteller *Erne*<sup>327</sup> bietet eine Palette an Holzbaulösungen an. Darunter auch HBV-Decken mit *HBV-Schubverbindern* als Verbindungsmittel. Es werden vier Deckentypen angeboten. Die Hohlkastendecke mit integrierter Schalldämmung und fertiger Untersicht, die Rippenplatte mit Brettschichtholzträgern, das Flachelement mit einer Brettstapelplatte und die Rippenplatte mit U-Trägern. Verkauft werden die Decken unter den Namen *SupraFloor Stix* und *SupraFloor Elements*. Bei der ersten Variante wird das Holzbauteil inklusive Verbindungsmittel angeboten, betoniert wird auf der Baustelle. Bei der zweiten Variante handelt es sich um ein im Werk hergestelltes Fertigteil inklusive Betonschicht.<sup>328</sup>



Bild 3.6 Herstellung von SupraFloor Elements im Werk<sup>329</sup>

<sup>327</sup> Erne AG Holzbau, <http://www.erne.net/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>328</sup> Vgl. <http://www.erne.net/de/startseite/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

<sup>329</sup> a.a.O.

### 3.1.2.8 Kaufmann Oberholzer

Das Unternehmen *Kaufmann Oberholzer*<sup>330</sup> aus der Schweiz hat HBV-Decken mit dem Markennamen *Optiholz forte* im Sortiment. Auch dieser Hersteller setzt dabei auf zwei Möglichkeiten, einen formschlüssigen Verbund zwischen Brettstapelelementen und Beton herzustellen: einerseits Kerven mit Verbundschrauben zur Abhebesicherung und andererseits profilierte Brettstapelelemente. Mit beiden Verbindungsarten kann eine Feuerwiderstandsdauer von bis zu 60 Minuten erreicht werden.<sup>331</sup>

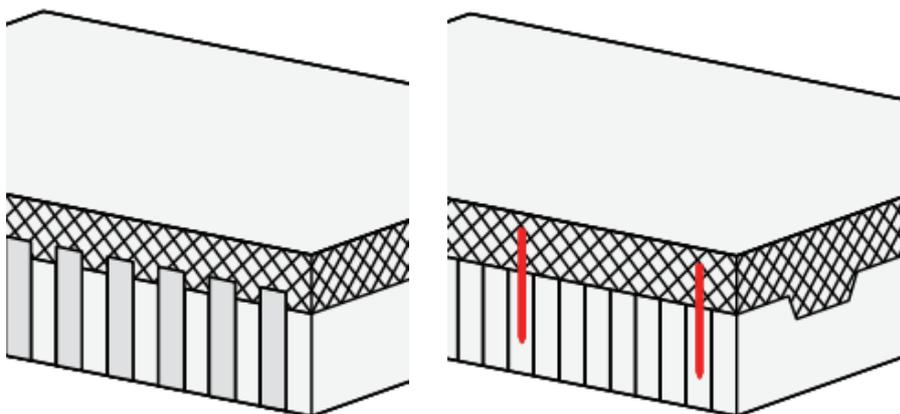


Bild 3.7 System von Kaufmann Oberholzer: *Optiholz forte*<sup>332</sup>

### 3.1.2.9 Sidler BST

Neben Brettstapelmodulen und speziellen Dämm- und Akustikprofilen bietet der Hersteller *Sidler BST*<sup>333</sup> die *Holzbetonverbunddecke* an. Wie die anderen Schweizer Hersteller nutzt auch dieser das Prinzip der Kerbe und sieht das Anwendungsgebiet vor allem bei erhöhten konstruktiven und bauphysikalischen Anforderungen. Es besteht die Möglichkeit, vor Ort zu betonieren oder industriell hergestellte Fertigteilelemente auf die Baustelle zu liefern.<sup>334</sup>

<sup>330</sup> Kaufmann Oberholzer Schönenberg AG und Kaufmann Oberholzer, <http://www.kaufmann-oberholzer.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>331</sup> Vgl. <http://www.kaufmann-oberholzer.ch/>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013

<sup>332</sup> a.a.O.

<sup>333</sup> Sidler Holz AG, <http://www.sidlerbst.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>334</sup> Vgl. <http://www.sidlerbst.ch/index.php/sidlerbst-holzbetonverbund-hbv.html>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013

### 3.1.2.10 *n'H*

Die *neue Holzbau AG*<sup>335</sup> bietet ein HBV-Deckensystem an, bei dem die HBV-Bauweise mit der Halbfertigteilbauweise des Betonbaus kombiniert wird. Auf der Baustelle wird eine Elementdecke aus Beton auf die vorher versetzten Holzrippen verlegt. Die Betonelemente dienen als verlorene Schalung und sind nach Ende der Herstellung der Decke ein Teil des tragenden Deckensystems. Alternativ können auch Furniersperrholzplatten oder OSB-Platten verwendet werden. Je nach System kann ein maximales Trittschalldämmmaß von 45 dB und ein maximales Luftschalldämmmaß von 66 dB erreicht werden. Im nachfolgenden Bild ist die Herstellung einer solchen Decke abgebildet. Nach dem Verlegen der Halbfertigteile aus Beton erfolgt der Betoniervorgang.<sup>336</sup>



Bild 3.8 HBV-Decke des Herstellers *n'H*<sup>337</sup>

### 3.1.2.11 *Wey Modulbau*

Der Schweizer Hersteller *Wey Modulbau*<sup>338</sup> bietet zwei HBV-Deckensysteme an. Beim System *Holz-Beton-Verbund* kommt ein Brettstapelelement mit Kerven und Zugschrauben zur Abhebesicherung zum Einsatz. Das Tragsystem *Holz-Beton-Verbund Wey-Pi* fällt in die Kategorie HBV-Rippendecken. Die weiterverarbeiteten Brett-schichtholzträger und die industriell gefertigten Betonplatten werden mit Hilfe eines Vergussmörtels miteinander verbunden. Geliefert werden auch gesamte Kasten-elemente mit eingebauten Dämmschichten zur

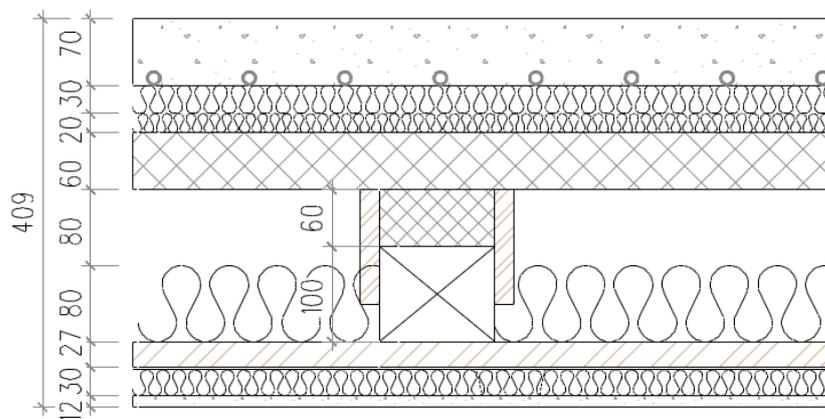
<sup>335</sup> neue Holzbau AG, <http://www.neueholzbau.ch/>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013

<sup>336</sup> Vgl. <http://www.neueholzbau.ch/produkte/hbv-decken-holz-beton-verbund>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013

<sup>337</sup> a.a.O.

<sup>338</sup> Wey Modulbau AG, <http://www.weyag.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

Erfüllung erhöhter bauphysikalischer Ansprüche. Bei beiden Systemen werden die vorgefertigten Deckenelemente inklusive Betonschicht auf die Baustelle transportiert und dort versetzt. Spezielle Ringanker, welche in die Betonplatte einbetoniert werden, verbinden die einzelnen Elemente miteinander, damit die Scheibenwirkung der Decke aktiviert wird.<sup>339</sup>



**Bild 3.9** Beispiel eines Holz-Beton-Verbund *Wey-Pi* Kastenelementes mit Aufbau<sup>340</sup>

<sup>339</sup> Vgl. <http://www.veyag.ch/dienstleistungen/Holz-Beton-Verbund-Wey-Pi>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013

<sup>340</sup> a.a.O.

### 3.1.3 Ausgeführte Deckenarten und eingesetzte Verbindungsmittel

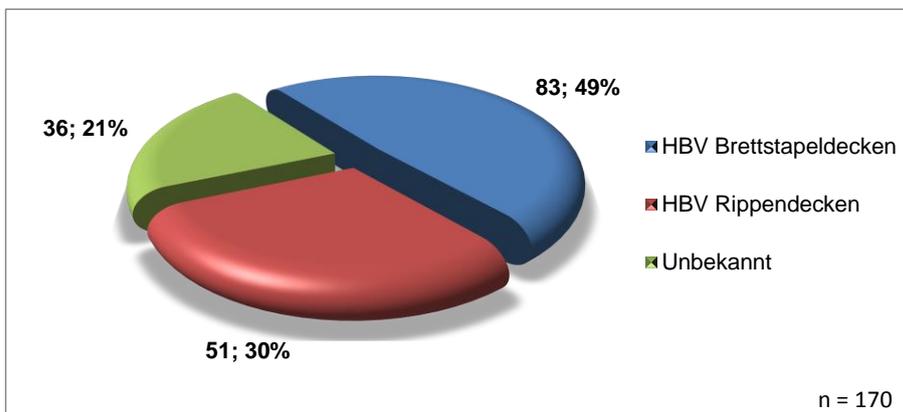
Um die aktuelle Marktsituation von HBV-Decken einzuschätzen, wurden realisierte Projekte recherchiert, analysiert und ausgewertet. Die Untersuchung beschränkte sich dabei auf die Länder Deutschland, Österreich und Schweiz und erfolgte über zwei Wege: einerseits über das Internet und andererseits über Fachzeitschriften. Über das Internet wurden verschiedene Suchanfragen ausgewertet und die Referenzlisten der wichtigsten Architekten, Ingenieure, Bauunternehmen, Hersteller und Systemanbieter analysiert. Zusätzlich wurden folgende Fachzeitschriften konsultiert:

- *Bauen mit Holz*
- *Detail*
- *Metamorphose*
- *Beton und Fertigteilbau*
- *Der Zimmermann*
- *Zuschnitt*
- *Mikado*
- *Architektur und Technik*
- *Der Bauingenieur*
- *Stahl- und Stahlbetonbau*
- *Bautechnik*
- *Stahlbau*
- *Holzbau: Die neue Quadriga*

Dadurch konnten insgesamt 170 realisierte Projekte mit HBV-Decken gefunden werden. Es ist anzumerken, dass noch weitere Quellen herangezogen werden müssten, um eine lückenlose Projektliste zu erhalten. Dies war jedoch nicht Ziel dieser Recherche. Vor allem kleinere Projekte, wie Einfamilienhäuser, Aufstockungen oder Sanierungen haben einen zu geringen Prestigewert, um in Referenzlisten oder Fachzeitschriften aufzuscheinen. Da eine solche Recherche den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, und eine Anzahl von 170 Projekten bereits als statisch repräsentativ angesehen werden kann, wurde die Recherche nur bis zu diesem Punkt durchgeführt. Es konnten die in der Praxis wichtigsten HBV-Deckentypen, sowie die wichtigsten Verbindungsmittel ausfindig gemacht werden.

Mit Hilfe der ermittelten Daten wurden zunächst die Deckentypen untersucht. Dabei wurde zwischen den zwei Hauptdeckentypen HBV-Rippendecke und HBV-Brettstapeldecke unterschieden. Bei 36 Projekten (21 %) konnten nicht ausreichend genaue Details gefunden werden, um

den HBV-Deckentyp zu bestimmen. Bei 51 Projekten (30 %) kamen HBV-Rippendecken und bei 83 (49 %) HBV-Brettstapeldecken zum Einsatz.



**Bild 3.10** Prozentuale Verteilung der Deckentypen der analysierten Projekte

Eine Ausnahme ist das *Hugo Boss Competence Center*<sup>341</sup> im schweizerischen Colrerio. Bei diesem Bauwerk wurde ein Deckensystem eingesetzt, wo Holz, Beton und Stahl im Verbund wirken. Die HBV-Brettstapeldecke mit Flachstahlschlössern als Verbindungsmittel lagern auf HEA-Stahlträger auf. Die Betonschicht ist 12 cm dick und schubfest mit dem Holz über die Flachstahlschlösser und mit dem Stahlträger über Kopfbolzendübel verbunden.<sup>342</sup>



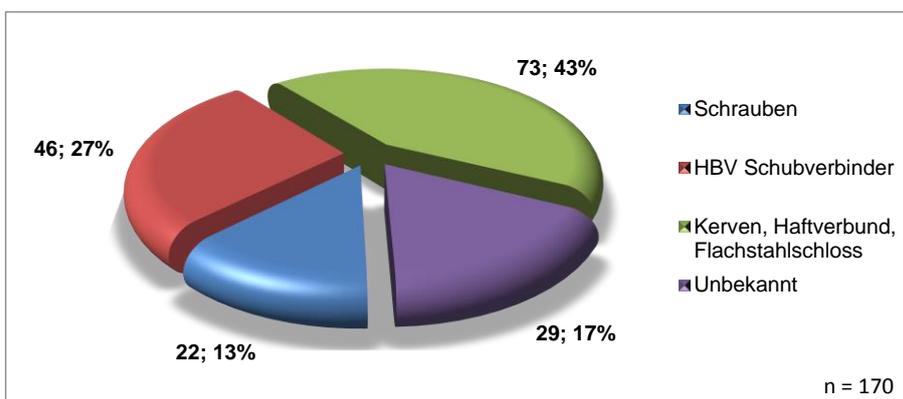
**Bild 3.11** Holz-Beton-Stahl-Verbunddecke<sup>343</sup>

<sup>341</sup> Hugo Boss AG, <http://group.hugoboss.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>342</sup> Vgl. <http://www.proholz.at/zuschnitt/40/hybridkonstruktionen/>. Datum des Zugriffs: 29.08.2013

<sup>343</sup> a.a.O.

Die 170 gefundenen Projekte wurden zusätzlich auf die verwendeten Verbindungsmittel hin untersucht. Dabei wurden drei Verbindungsmittelgruppen unterschieden. In die erste Gruppe fallen alle Decken, bei denen Schrauben oder stiftförmige Verbindungsmittel verbaut wurden. In der zweiten Gruppe befinden sich alle Decken, bei denen *HBV-Schubverbinder* verwendet wurden, und in der letzten Gruppe sind alle Decken zusammengefasst, bei denen Kerfen, Flachstahlschlösser oder der Haftverbund zwischen Holz und Beton zur Herstellung der Verbundwirkung verwendet wurden. Bei 29 Projekten (27 %) waren keine Angaben zu den Verbindungsmitteln zu finden. Bei 22 Projekten (13 %) kamen Schrauben und bei 46 Projekten (27 %) *HBV-Schubverbinder* zum Einsatz. Bei den restlichen 73 Projekten (43 %) wurden Kerfen, Flachstahlschlösser oder der Haftverbund zur Herstellung der Verbundwirkung genutzt.



**Bild 3.12** Prozentuale Verteilung der Verbindungsmittelarten der analysierten Projekte

### 3.1.4 Ausgeführte Projekte

Um einen Einblick in die Baupraxis hinsichtlich HBV-Decken zu bekommen, wurden aus den 170 recherchierten Projekten einige, nach Einschätzung des Autors, wichtige ausgewählt. Diese werden im Folgenden näher beschrieben.

#### 3.1.4.1 Life Cycle Tower One, Dornbirn

Der achtstöckige Life Cycle Tower One<sup>344</sup> in Dornbirn ist der erste Prototyp des im Forschungsprojekt Life Cycle Tower<sup>345</sup> entworfenen Holzhochhauses. Dieses Forschungsvorhaben bestätigt die theoretische und technische Realisierbarkeit eines Hochhauses mit bis zu 20 Geschossen in Holzbauweise.<sup>346</sup>



Bild 3.13 Life Cycle Tower One<sup>347</sup>

HBV-Decken waren bei diesem Projekt entscheidend, da der Beton als eine nicht brennbare Schicht die Geschosse brandtechnisch abtrennt. Der Vorschlag des Forschungsprojektes, auch den Kern des Treppenhauses in Holz auszuführen, konnte aufgrund gesetzlicher Einschränkungen nicht realisiert werden. Der Kern besteht aus massivem Stahlbeton, an diesen wurden die HBV-Deckenelemente angeschlossen. Außen liegen die Deckenelemente auf Doppelstützen in

<sup>344</sup> Life Cycle Tower One, [http://www.creebyrhomborg.com/de/referenzen/lct\\_one/](http://www.creebyrhomborg.com/de/referenzen/lct_one/). Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>345</sup> Vgl. ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 1ff.

<sup>346</sup> Vgl. a.a.O., S. 46

<sup>347</sup> [http://www.hermann-kaufmann.at/images/420\\_hires/10\\_21-24.jpg](http://www.hermann-kaufmann.at/images/420_hires/10_21-24.jpg). Datum des Zugriffs: 28.09.2013

Holz auf. Um eine Feuerwiderstandsklasse von REI90 zu erreichen und um die Lasten der Holzträger zu den Stützen zu leiten, wurden im Randbereich Sturzträger in Betonbauweise ausgeführt. Der Verbund zwischen Holz und Beton wurde mittels Schubkerven hergestellt. Die Struktur besteht aus Brettschichtholzträgern mit einer Breite von 24 cm und einer Höhe von 28 cm und einer Betonschicht von 8 cm. Im Werk vorproduzierte HBV-Fertigteilelemente mit einer Länge von 8,1 m und einer Breite von 2,7 m konnten auf der Baustelle innerhalb von fünf Minuten eingebaut werden. In den Zwischenschichten der Brettschichtholzträger wurden sämtliche Installationen der Belüftung, Beleuchtung, Kühlung, Heizung und des Brandschutzes angeordnet. Dadurch konnte die Deckenhöhe minimiert werden. Das Architekturbüro *Hermann Kaufmann ZT GmbH*<sup>348</sup> konnte in Zusammenarbeit mit dem *Bauunternehmen Cree GmbH*<sup>349</sup> mit dem Bürogebäude der Illwerke Montafon<sup>350</sup> bereits ein zweites Projekt in dieser Bauweise realisieren.<sup>351</sup>

Architekt:	<i>Hermann Kaufmann ZT GmbH</i>		
Tragwerksplaner:	<i>merz kley partner</i> <sup>352</sup>		
Deckentyp:	HBV-Rippendecke		
Herstellungsmethode:	Option A:	Gesamte	Holz-Beton- Verbunddecke als Fertigteil
Verbindungsmittel:	Schubkerven		



**Bild 3.14** Holz-Beton-Verbund Rippendeckenelemente beim Life Cycle Tower One in Dornbirn<sup>353</sup>

<sup>348</sup> Architekten Hermann Kaufmann ZT GbmH, <http://www.hermann-kaufmann.at/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>349</sup> Cree GmbH, <http://www.creebyrhomburg.com/de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>350</sup> Vorarlberger Illwerke AG, <http://www.illwerke.at/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>351</sup> Vgl. PFEIFER STEINER, M.: Der Schlüssel zum Hochhaus - Life Cycle Tower in Dornbirn. In: *Zuschnitt* 45, 1/2012, S. 22f.

<sup>352</sup> merz kley partner ZT GmbH, <http://www.mkp-ing.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

### 3.1.4.2 Campus Kuchl der Fachhochschule Salzburg

Beim Neubau von Hörsälen und Laborräumlichkeiten der Fachhochschule Salzburg in Kuchl kamen neben Stahlbetonkonstruktionen auch Holz- und HBV-Bauteile zum Einsatz.



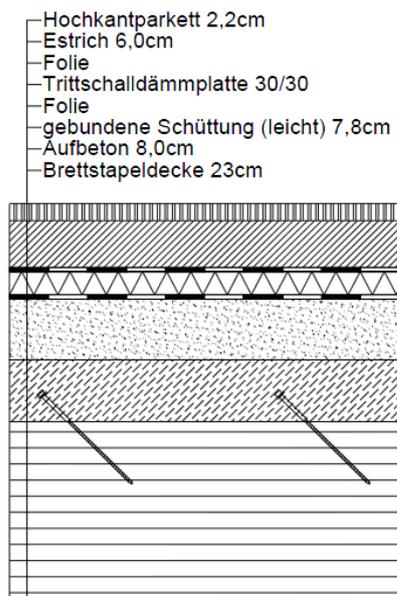
**Bild 3.15** Campus Kuchl der Fachhochschule Salzburg <sup>354</sup>

Umgesetzt wurde die Decke in Form einer HBV-Brettstapeldecke. Die einzelnen Holzelemente haben eine Breite von 50 cm, eine Dicke von 23 cm und eine Länge von 8,5 m auf. Auf der Baustelle wurde eine Betonschicht von 8 cm mit Hilfe von SFS Verbundschrauben mit der Brettstapeldecke verbunden. <sup>355</sup>

<sup>353</sup> Vgl. PFEIFER STEINER, M.: Der Schlüssel zum Hochhaus - Life Cycle Tower in Dornbirn. In: Zuschnitt 45, 1/2012. S. 23

<sup>354</sup> TRUMMER, A.; POCK, K.: Holzbetonverbund Konstruktion - Bemessung - Überprüfung. Festschrift Konrad Bergmeister. S. 2

<sup>355</sup> Vgl. a.a.O., S. 2ff.



**Bild 3.16** Deckenaufbau der Holz-Beton-Verbund Brettstapeldecke beim Holztechnikzentrum Kuchl<sup>356</sup>

Fassadenseitig lagern die Elemente auf Holzstützen, innen wurde das Auflager in Form eines in den Stahlbeton eingelassenen Stahlprofils ausgebildet. Um die maximale Durchbiegung der Decken nicht zu überschreiten, musste die Decke in den Drittelpunkten unterstützt und zusätzlich überhöht werden. Da die Überhöhung von 17,5 mm bis zur Aushärtung des Betons sichergestellt werden musste, war die Dauer der Unterstützung vergleichbar mit der einer konventionellen Stahlbetondecke.<sup>357</sup>

Architekt:	<i>Dietrich-Untertrifaller Architekten</i> <sup>358</sup>
Tragwerksplaner:	<i>Gaderer und Partner ZT GmbH</i> <sup>359</sup> , <i>Kurt Pock ZT</i> <sup>360</sup>
Deckentyp:	HBV-Brettstapeldecke
Herstellungsmethode:	Option D: Sämtliche Arbeiten auf der Baustellen ausführen
Verbindungsmittel:	SFS Verbundschauben

<sup>356</sup> TRUMMER, A.; POCK, K.: Holzbetonverbund Konstruktion - Bemessung - Überprüfung. Festschrift Konrad Bergmeister. S. 2

<sup>357</sup> Vgl. a.a.O., S. 2ff..

<sup>358</sup> Dietrich - Untertrifaller Architekten ZT GmbH, <http://www.dietrich.untertrifaller.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>359</sup> Gaderer und Partner ZT GmbH,

<sup>360</sup> Kurt Pock ZT, <http://www.holz-tragwerk.at/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

### 3.1.4.3 Kaufhaus Langwies, Junglinster

Im luxemburgischen Junglinster entstand im Jahr 2005 ein zweigeschossiges Kaufhaus mit HBV-Decken. Zunächst war ein Bau in Stahlbetonbauweise mit Stahlunterzügen vorgesehen, jedoch konnte der Alternativvorschlag mit Holzbauelementen den Bauherrn überzeugen. Ein Hauptargument war dabei die verbesserte Ästhetik durch die Holzuntersicht.<sup>361</sup>



**Bild 3.17** Kaufhaus Junglinster<sup>362</sup>

Die Decke mit einer Fläche von 3300 m<sup>2</sup> lagert dabei auf Brettschichtholzträgern, welche die Lasten auf Betonstützen übertragen. Die Spannweite der Decken beträgt 8,2 m und jene der Brettschichtholzträger 7,5 m. Die blockverleimten Brettschichtholzträger weisen eine Breite von 48 cm und eine Höhe von 60 cm auf und wirken, ebenso wie die Deckenelemente, im Verbund mit dem Beton. Die Decken bestehen auf der Zugseite aus einem massiven, 9 cm hohen und 62,5 cm breiten, Holzbauteil, auf den vier Holzstege mit einer Breite von 11 cm und einer Höhe von 7,8 cm aufgebracht wurden. Druckseitig wurde eine 14 cm dicke Betonschicht ausgeführt. Da die Zwischenräume der Holzstege mit nicht brennbarer Mineralwolle ausgefüllt wurden, konnte eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten erreicht werden. Als Verbindungsmittel zwischen Holz und Beton wurden sowohl bei den

<sup>361</sup> Vgl. BATHON, L.; BLETZ, O.: Gewerbebau in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holzbau quadriga, 6/2008. S. 14

<sup>362</sup> [http://www.hbv-systeme.de/hbv/images/referenzen/gewerbe/langwies/Langwies04\\_gr.jpg](http://www.hbv-systeme.de/hbv/images/referenzen/gewerbe/langwies/Langwies04_gr.jpg). Datum des Zugriffs: 28.09.2013

Deckenelementen, als auch bei den Brettschichtholzträgern die *HBV-Schubverbinder* verwendet.<sup>363</sup>

Architekt: *Moreno Architecture*<sup>364</sup>

Tragwerksplaner: *SGI Ingenierie S.A. Luxembourg*<sup>365</sup>

Deckentyp: HBV-Kastendecken und HBV-Unterzüge

Herstellungsmethode: Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittel im Werk vorbereiten, Betoniervorgang auf der Baustelle

Verbindungsmittel: *HBV-Schubverbinder*



**Bild 3.18** Holz-Beton-Verbund Decke und Unterzug beim Kaufhaus Langwies<sup>366</sup>

<sup>363</sup> Vgl. BATHON, L.; BLETZ, O.: Gewerbebau in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holzbau quadriga, 6/2008. S. 14

<sup>364</sup> Moreno Architecture, <http://www.moreno.lu/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>365</sup> SGI Ingénierie SA Luxembourg, beratende Ingenieure, <http://www.sgigroupe.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

<sup>366</sup> Vgl. [http://www.brettspertholz.org/seo.cfm?cmsfkt=viewfull&objectid=Brettspertholz\\_kaufhaus\\_junglinster](http://www.brettspertholz.org/seo.cfm?cmsfkt=viewfull&objectid=Brettspertholz_kaufhaus_junglinster). Datum des Zugriffs: 02.09.2013

### 3.1.4.4 e3, Berlin

Das siebenstöckige Wohnhaus im Berliner Stadtteil Prenzlauer Berg besteht, mit Ausnahme des Kellergeschosses, der Kerne und der Brandwände, welche an die Nachbargebäude grenzen, ausschließlich aus Holz. Die Skelettstruktur wurde zur Erhöhung der Steifigkeit vertikal mit Brettsperrholzelementen und horizontal mit HBV-Decken verstärkt.

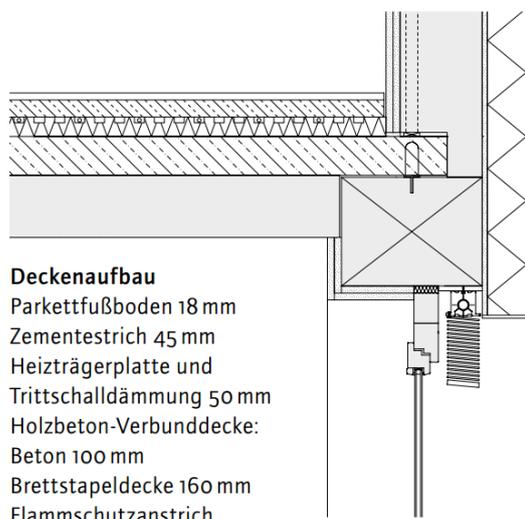


**Bild 3.19** Fertiggestelltes Wohnhaus e3 in Berlin <sup>367</sup>

Die Stützen mit Querschnittsabmessungen von 32 cm mal 36 cm und die Massivholzwände mit einer Stärke von 16 cm mussten aufgrund gesetzlicher Bestimmungen gänzlich verkleidet (gekapselt) werden. Ausschließlich die Holzuntersicht der Decken konnte beibehalten werden. Durch die Kapselung der restlichen Holzelemente konnte eine Genehmigung des Gebäudes der Klasse 5 errungen werden, auch wenn laut Berliner Bauordnung die tragenden Bauteile bei Gebäuden dieser Klasse aus nicht brennbarem Material bestehen müssten. Die HBV-Brettstapeldecke mit einer Spannweite von 6,5 m hat eine Höhe von 26 cm, wobei das Holzbauteil 16 cm und das Betonbauteil 10 cm Stärke aufweist. Verbunden sind die beiden Materialien über sechs

<sup>367</sup> Vgl. <http://www.virserumkonsthall.com/php/index.php?press&id=187&catid=17&l=->. Datum des Zugriffs: 02.09.2013

Schubkerven mit einer Breite von 20 cm und einer Tiefe von 2 cm. Schrauben nehmen die auftretenden abhebenden Kräfte zwischen Holz und Beton auf. Der Deckenaufbau besteht zusätzlich aus einer Trittschalldämmung und einem Zementestrich mit Fußbodenheizung.



**Bild 3.20** Deckenaufbau des Wohngebäude e3 in Berlin <sup>368</sup>

Um die statischen Berechnungen zu überprüfen, wurden vom Prüfenieur zwei zusätzliche Untersuchungen gefordert. Erstens musste über die Technische Universität München ein Vier-Punkt-Biege-Versuch durchgeführt werden, zweitens wurde ein Belastungstest am Gebäude selbst gefordert. Beide Versuche lieferten positive und vielversprechende Ergebnisse, so dass die statische Berechnung verifiziert und der Bau ausgeführt werden konnte. <sup>369</sup>

Architekt:	<i>Kaden Klingbeil Architekten</i>
Tragwerksplaner:	<i>Bois Consult Natterer</i> <sup>370</sup>
Deckentyp:	HBV-Brettstapeldecke
Herstellungsmethode:	Option D: Sämtliche Arbeiten auf der Baustellen ausführen
Verbindungsmittel:	Schubkerven

<sup>368</sup> PROHOLZ AUSTRIA: Lückenfüller mit Distanz - Eine Bauintiative am Prenzlauer Berg. In: Zuschnitt 33, 1/2009. S. 66

<sup>369</sup> Vgl. KADEN, T.: Holzbau mit sieben Geschossen - Experiment außerhalb der Bauordnung. In: Detail, 11/2008. S. 1304f.

<sup>370</sup> Bois Consult Natterer SA, <http://www.nattererbcn.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

### 3.1.4.5 Mehrfamilienhaus an der Lorze, Zug

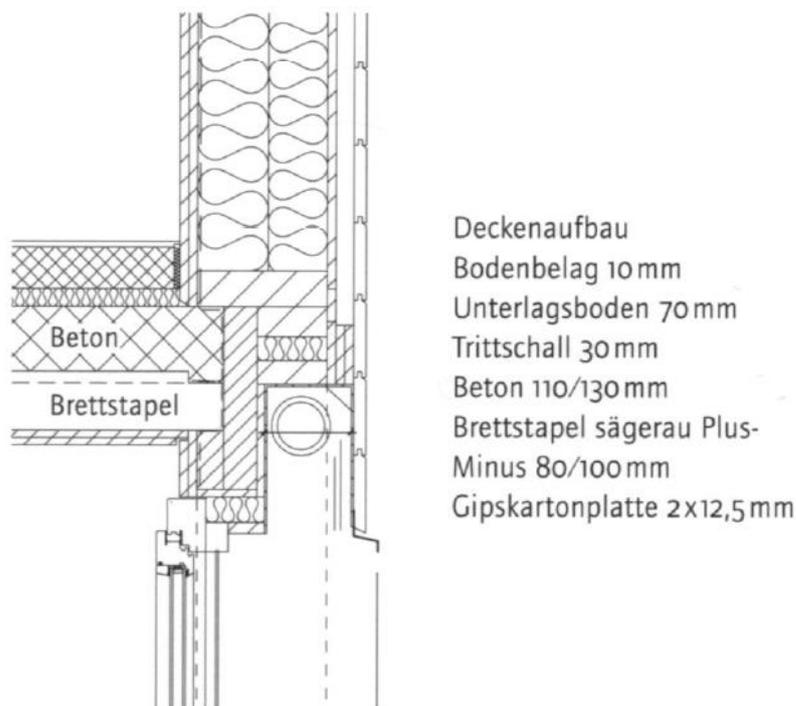
Das vierstöckige Mehrfamilienhaus im schweizerischen Zug wird stellvertretend für eine Vielzahl von Projekten des Ingenieurbüros *Pirmin Jung* genannt. Die dabei verwendeten HBV-Brettstapelelemente wurden bereits im Kapitel 3.1.2 näher erläutert. Bei diesem Projekt waren bereits in der Wettbewerbsphase besondere Anforderungen an die Planung gestellt. So waren unter anderem die Energie- und Wartungskosten, sowie die Möblierbarkeit, der Tageslichteinfall, die Flexibilität des Grundrisses und die Sicht ins Freie wettbewerbsentscheidend.



**Bild 3.21** Mehrfamilienhaus an der Lorze <sup>371</sup>

Die vertikalen Tragstrukturen, auf denen die Deckenelemente lagern, bestehen ausschließlich aus zwei Betonkernen und einer Stütze pro Wohnung. Da so keine tragenden Innenwände eingeplant werden mussten, war eine sehr hohe Flexibilität der Grundrissgestaltung und der Einrichtung möglich. Für die HBV-Brettstapeldecke wurde in diesem Fall das System *PlusMinus* verwendet, bei dem die Lamellen des Holzbauteils abwechselnd eine Stärke von 10 cm und 12 cm aufweisen. Darüber wurde eine 10 cm dicke Betonschicht angebracht.

<sup>371</sup> [http://www.pirminjung.ch/cache/AWZanderLorzeFassadegrau-PJ.04\\_db21486f908177322e289c35718c9ff8.jpg](http://www.pirminjung.ch/cache/AWZanderLorzeFassadegrau-PJ.04_db21486f908177322e289c35718c9ff8.jpg). Datum des Zugriffs: 28.09.2013



**Bild 3.22** Deckenaufbau der Holz-Beton-Brettstapeldecke beim Mehrfamilienhaus an der Lorze in Zug<sup>372</sup>

Mit dieser 22 cm dicken Decke konnten sämtliche konstruktive und bauphysikalische Anforderungen erfüllt werden.<sup>373</sup>

Architekt:	<i>Hegi Koch Kolb</i> <sup>374</sup>
Tragwerksplaner:	<i>Pirmin Jung-Ingenieure für Holzbau</i>
Deckentyp:	HBV-Brettstapeldecke
Herstellungsmethode:	Option D: Sämtliche Arbeiten auf der Baustellen ausführen
Verbindungsmittel:	Haftverbund mit versetzten Brettstapelementen, System <i>Pirmin Jung HBV-Decke PlusMinus</i>

<sup>372</sup> SIMON, A.: Ruhe in der Kiste - Mehrfamilienhaus an der Lorze. In: Zuschnitt 18, 1/2005. S. 15

<sup>373</sup> Vgl. SIMON, A.: Ruhe in der Kiste - Mehrfamilienhaus an der Lorze. In: Zuschnitt 18, 1/2005. S. 14f.

<sup>374</sup> Hegi Koch Kolb und Partner Architekten AG, <http://www.hegikochkolb.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013

### 3.2 Systemauswahl

Kombiniert man die verschiedenen Ausführungsarten des Holzbauteils mit der Vielzahl von Verbindungsmitteln und den vier Herstellungsmethoden, so ergibt sich eine nahezu unüberschaubare Anzahl an Variationen von HBV-Decken. Um die Kosten dieser Variationen zu kalkulieren, muss jede für sich betrachtet werden, da sich bei detaillierter Betrachtung die Berechnungsparameter ändern.

Bei genauerer Analyse der 170 Decken, welche in Kapitel 3.1.3 angeführt sind, ist ersichtlich, dass aus der Vielzahl an möglichen Deckenarten nur eine begrenzte Anzahl in der Praxis verwendet wird. Um die in der Praxis relevantesten und vielversprechendsten Arten von HBV-Decken zu finden, wird der erste Teil des Fragebogens herangezogen. Dieser wurde in Kapitel 1.3 erklärt und ist in vollständiger Fassung im Anhang dieser Arbeit zu finden.

#### 3.2.1 Potenzial von Holz-Beton-Verbunddecken

1.1) Welche Art von HBV - Decken besitzt laut Ihrer Meinung das höchste Potential?

- HBV - Rippendecke
- HBV - Brettstapeldecke
- HBV - Brettsperrholzdecke
- Andere: \_\_\_\_\_

Warum?

---

Bild 3.23 Frage bezüglich Potenzial von HBV-Decken

Die Experten wurden zunächst gefragt, welche HBV-Deckenart ihrer Meinung nach das größte Potenzial hätte. Die Antworten wurden graphisch dargestellt.

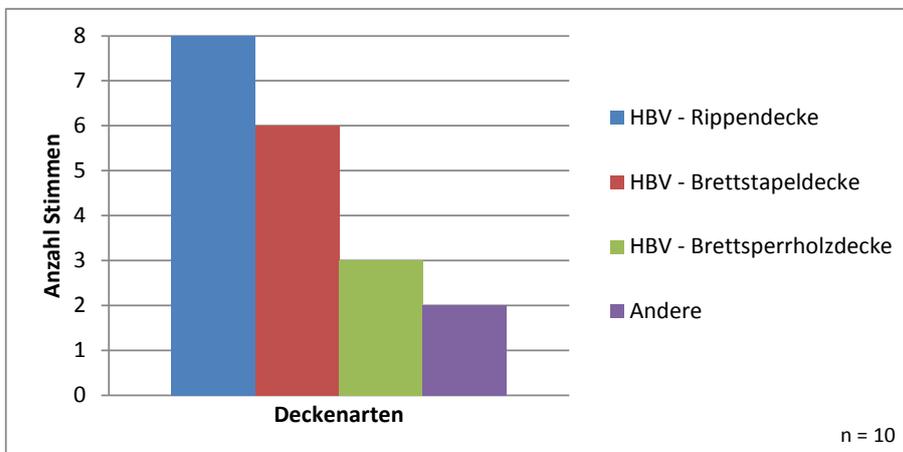


Bild 3.24 Welche Art von HBV-Decken besitzt laut Ihrer Meinung das höchste Potenzial?

Unter *Andere* wurde zwei Mal die Sanierung genannt. Fiel die Wahl auf die *HBV-Rippendecke*, wurden unter anderem als Begründung die hohen Kosten der Brettstapel- und Brettsperrholzelemente, das geringere Gewicht und der geringere Ressourceneinsatz genannt. Bei den Decken mit flächigen Holzbauteilen wurden als Vorteile die Einsparung der Schalung, die erhöhte Formstabilität und die gute Scheibenwirkung erwähnt.<sup>375</sup>

Folgendes kann aus den Antworten geschlossen werden:

- Aufgrund der höheren Kosten von Brettstapelelementen und Brettsperrholzelementen besitzen laut Experten HBV-Rippendecken das höchste Potenzial.
- Je günstiger das Holzbauteil, desto höher das Potenzial der HBV-Decke.
- Werden flächige Holzbauelemente verwendet, gibt es einige konstruktive, bauphysikalische und baubetriebliche Vorteile, jedoch überwiegen die wirtschaftlichen Nachteile.

---

<sup>375</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

### 3.2.2 Wirtschaftlich günstigste Deckenart

1.2) Welche HBV - Deckenart ist für einen m<sup>2</sup> Rohbaudecke laut Ihrer Erfahrung insgesamt die wirtschaftlich Günstigste?

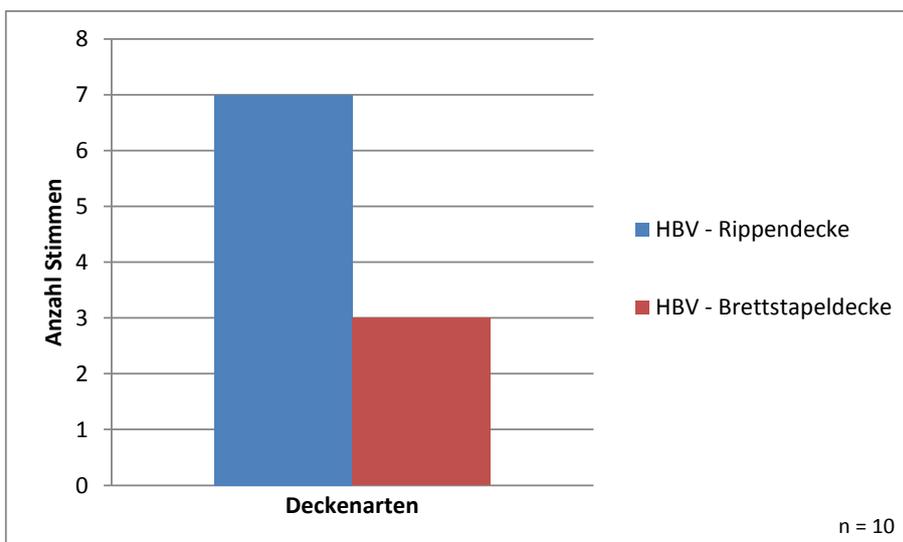
HBV - Rippendecke  
 HBV - Brettstapeldecke  
 HBV - Brettsper Holzdecke  
 Andere: \_\_\_\_\_

Warum?

---

**Bild 3.25** Frage bezüglich der Wirtschaftlichkeit von HBV-Decken

Die zweite Frage bezog sich auf die wirtschaftlich günstigste Deckenart bezogen auf einen Quadratmeter Rohbaudecke. Auf diese Frage wurde folgendermaßen geantwortet:



**Bild 3.26** Welche HBV-Deckenart ist für einen m<sup>2</sup> Rohbaudecke laut Ihrer Erfahrung insgesamt die wirtschaftlich Günstigste?

Laut Experten<sup>376</sup> sind *HBV-Rippendecken* vor allem aufgrund des geringen Holzverbrauchs am günstigsten. Ein Experte<sup>377</sup> wies auf den Kostenvorteil von *HBV-Brettstapeldecken* bei geringen Spannweiten hin.

Daraus ergibt sich folgende Erkenntnis:

- Vor allem die HBV-Rippendecke, aber auch die HBV-Brettstapeldecke sind der HBV-Brettsper Holzdecke wirtschaftlich überlegen.

<sup>376</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>377</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

### 3.2.3 Bauphysikalische Eignung von Holz-Beton-Verbunddecken

1.3) Welche HBV - Deckenart ist hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften Ihrer Meinung nach am besten?

HBV - Rippendecke  
 HBV - Brettstapeldecke  
 HBV - Brettsperrholzdecke  
 Andere: \_\_\_\_\_

Warum?

---

Bild 3.27 Frage bezüglich der bauphysikalischen Eignung von HBV-Decken

Danach wurde gefragt, welche HBV-Deckenart bezüglich ihrer bauphysikalischen Aspekte bevorzugt wird.

Die befragten Experten<sup>378</sup> antworteten folgendermaßen:

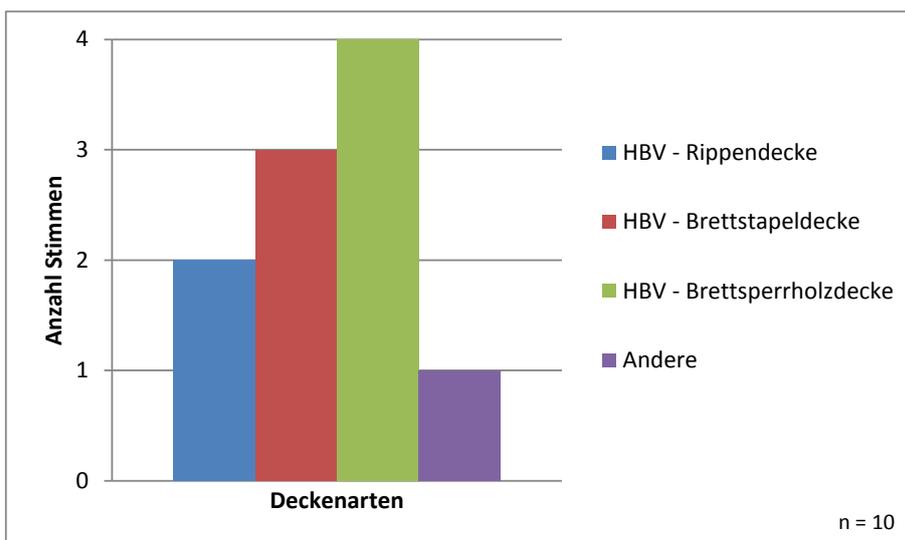


Bild 3.28 Welche HBV - Deckenart ist hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften Ihrer Meinung nach am besten?

Unter *Andere* wurde einmal die *HBV-Kastendecke* genannt, welche von verschiedenen Herstellern angeboten wird. In den Balkenzwischenräumen dieser Decke können Schichten zur Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften eingebaut werden. Als Vorteil der Decken mit flächigem Holzbauteil wurden der erhöhte Widerstand gegenüber Schall, Feuchte und Feuer und die hohe Formstabilität genannt. Jedoch wurde von einigen Experten betont, dass jede Deckenart bezüglich spezifischer bauphysikalischer Anforderungen dimensioniert werden kann und durch zusätzliche Deckenaufbauten die geforderten Widerstände erreicht werden können.<sup>379</sup>

<sup>378</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>379</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

Basierend auf den Experteneinschätzungen können folgende Kernaussagen getroffen werden:

- HBV-Decken mit flächigem Holzbauteil sind HBV-Rippendecken in bauphysikalischen Aspekten überlegen.
- Aufgrund ihrer Formbeständigkeit hat gerade die HBV-Brettsperrholzdecke Vorteile gegenüber anderen Systemen.
- Durch zusätzliche Aufbauten kann jede HBV-Deckenart die bauphysikalischen Anforderungen erfüllen.

### 3.2.4 Bevorzugte Verbindungsmittel

1.4) Welche Verbindungsmittel würden Sie bei den verschiedenen HBV-Deckenarten bevorzugen?

	mit Zulassung						ohne Zulassung		
	SFS SFS intec	Timco Schrauben Timco Schweiz	Würth Schrauben Würth ASSY VG	TCC Schrauben TCC	TICOMTEC® HBV - Schubverbinder	Flachstahlschlösser	Verbund über Kerven	Kopfdübel - Schubleisten	andere:
HBV - Rippendecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettstapeldecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettsperholzdecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Warum?

Bild 3.29 Frage zur Eignung der Verbindungsmittel

Die vierte Frage bezog sich auf die bevorzugten Verbindungsmittel. Die Frage wurde für alle drei Deckenarten gestellt und ausgewertet.

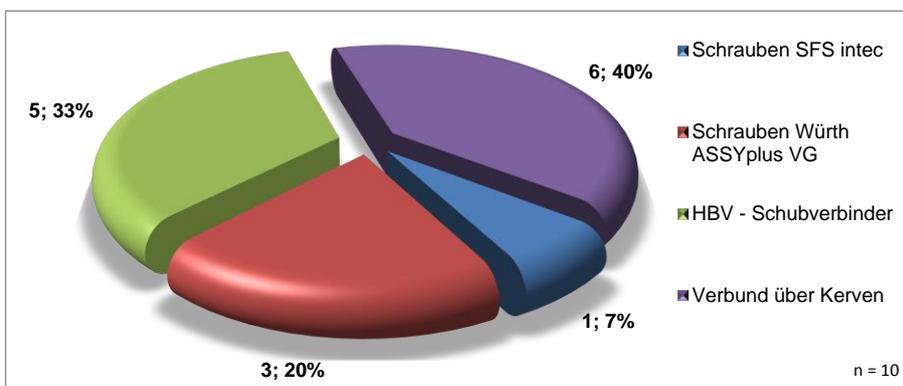


Bild 3.30 Welche Verbindungsmittel würden Sie bei HBV-Rippendecken bevorzugen?

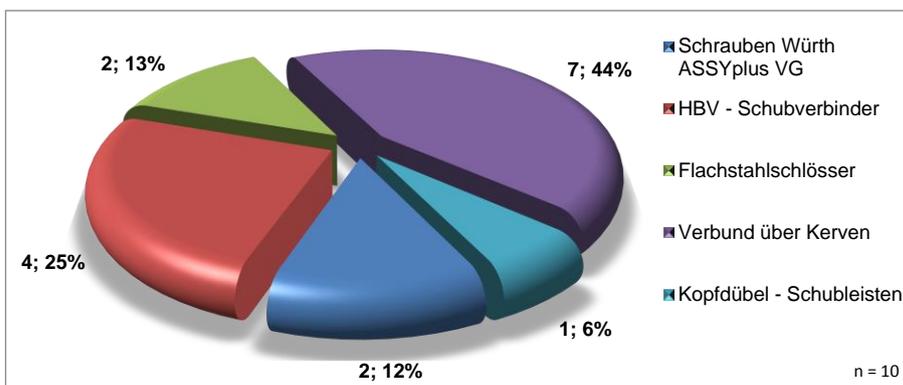
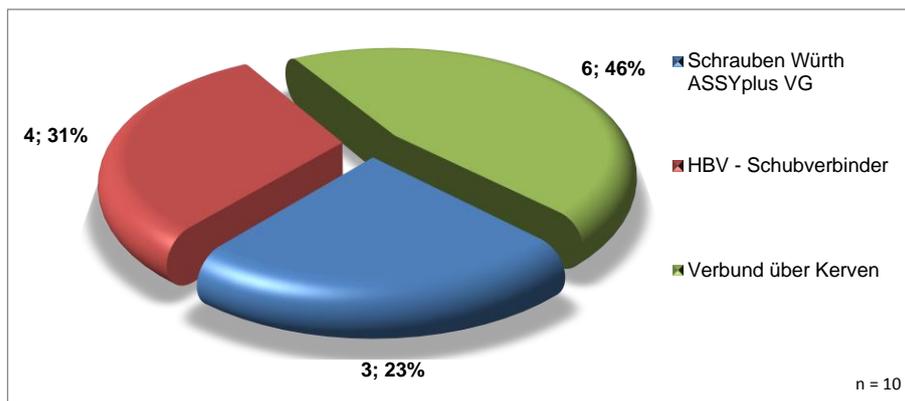


Bild 3.31 Welche Verbindungsmittel würden Sie bei HBV-Brettstapeldecken bevorzugen?



**Bild 3.32** Welche Verbindungsmittel würden Sie bei HBV-Brettsperrholzdecken bevorzugen?

Laut Experten kommen die Vorteile der *SFS Schrauben* vor allem bei Sanierungen zum Tragen. Der Vorteil der *Würth ASSY VG Schrauben* etwa liegt darin, dass sie sich für die Herstellungsvariante B, bei der ein Holzbauteil und ein Betonfertigteil auf der Baustelle miteinander verschraubt werden, eignen. Bei dieser Art der Verbindung wurden die professionell vorgefertigten Betonplatten, die trockene Bauweise auf der Baustelle und der Zeitgewinn positiv gesehen. *HBV-Schubverbinder* wurden als effizient, kostengünstig, steif, leistungsfähig und tragfähig eingestuft, außerdem seien Erfahrungswerte vorhanden. *Kerven* werden in der Praxis aufgrund der hohen Steifigkeit, Tragfähigkeit und Wirtschaftlichkeit verwendet. Es fallen, bis auf die CNC gesteuerte Ausfräsung, keine Zusatzkosten an. Die Tatsache, dass bei *Kerven* im Vergleich zu anderen Verbindungsmittelsystemen ein größerer Teil der Wertschöpfung beim Holzbauer anfällt, kann laut Expertenmeinung auch als positiv angesehen werden.<sup>380</sup>

Damit können folgende Aussagen getroffen werden:

- In der Praxis werden Kerven unabhängig von der HBV-Deckenart bevorzugt.
- Von den vier bauaufsichtlich zugelassenen Verbundschrauben werden die *Würth ASSYplus VG Schrauben* präferiert.
- Von allen bauaufsichtlich zugelassenen Verbindungsmitteln werden die *HBV-Schubverbinder* als am besten geeignet empfunden.

<sup>380</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

### 3.2.5 Bevorzugte Herstellungsmethode

1.5) Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bevorzugen?

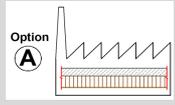
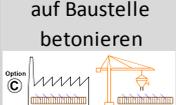
	Gesamte HBV-Decke als Fertigteil 	Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden 	Verbindungsmitel im Werk fixieren, auf Baustelle betonieren 	Sämtliche Arbeiten auf Baustelle ausführen 
HBV - Rippendecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettstapeldecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettsperholzdecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Warum?				

Bild 3.33 Frage zur Eignung der Herstellungsmethoden

Um die in der Praxis vorrangige Herstellungsmethode zu erörtern, wurden die Experten in Frage fünf dazu befragt. Dabei wird die Auswertung wiederum getrennt für jede Deckenart dargestellt.

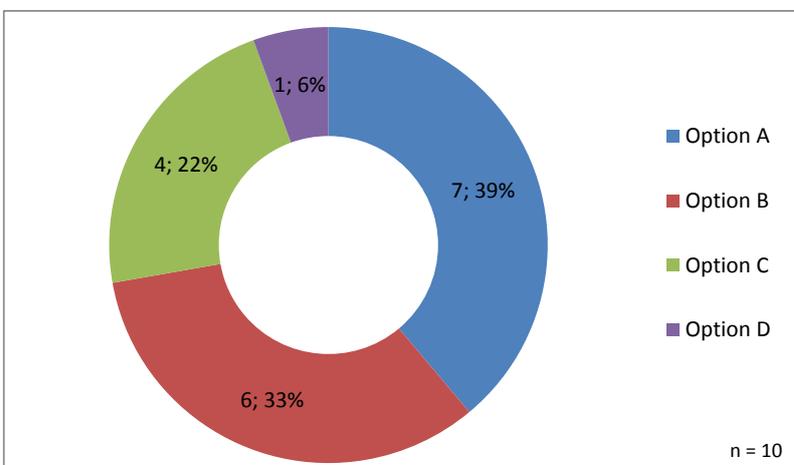


Bild 3.34 Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bei HBV-Rippendecken bevorzugen?

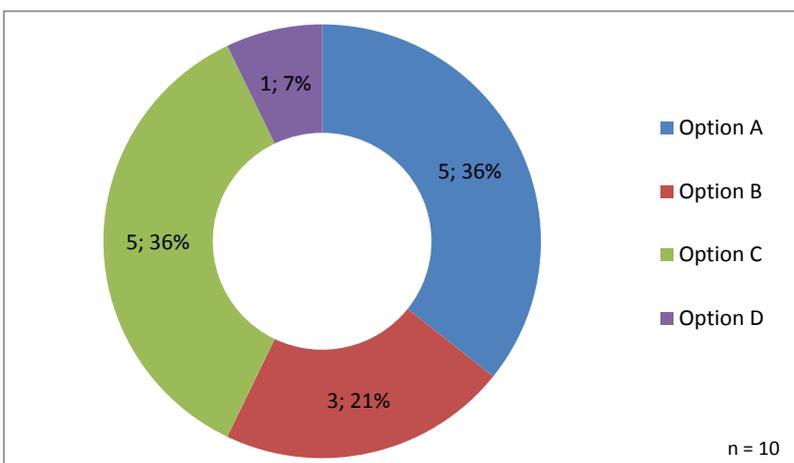
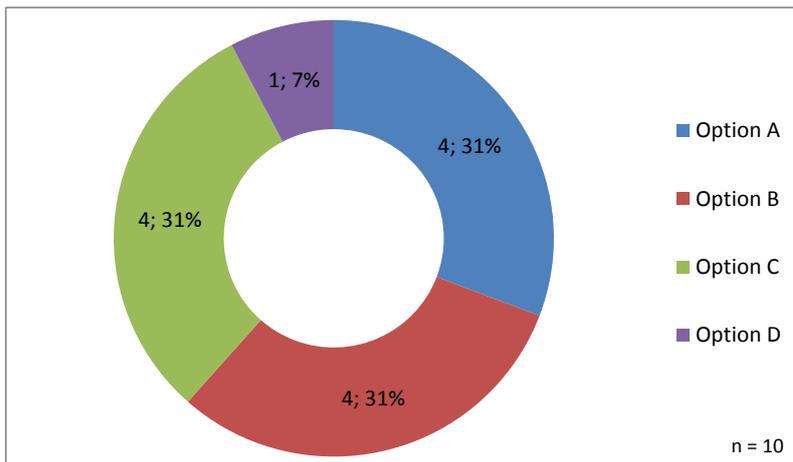


Bild 3.35 Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bei HBV-Brettstapeldecken bevorzugen?



**Bild 3.36** Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bei HBV-Brettsperrholzdecken bevorzugen?

Als Begründung für *Option A* und *Option B* wurden der günstige Bauablauf, die trockene Bauweise, die kurze Montagezeit und die kurze Dauer der Hilfsunterstützung genannt. Ein Experte äußerte konstruktive Bedenken bei *Option B*, da eine Überhöhung schwer herzustellen sei, und deshalb die Anforderungen der Gebrauchstauglichkeit schwerer zu erfüllen seien. Auch bei *Option A* kann es laut Experten Probleme bei der Herstellung im Werk geben, da die Schalung schwer abdichtbar sei und der Umgang mit Holz in Sichtqualität für Betonbauer problematisch sein kann. Außerdem können die Logistik und der Schutz des Fertigteils zu Problemen führen. *Option A* und *B* haben beide den Nachteil, dass die Elementgröße durch den Transport beschränkt ist. Option D wurde von einigen Experten als zu teuer eingestuft.<sup>381</sup>

Die Antworten auf die Frage können in folgenden Kernaussagen zusammenfasst werden:

- Je höher der Vorfertigungsgrad der Decke, desto eher wird eine Herstellungsmethode in der Praxis bevorzugt.
- Herstellungsmethode D, bei der alle Arbeiten auf der Baustelle ausgeführt werden, kann als nicht relevant für die Praxis angesehen werden.

<sup>381</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

### 3.2.6 Bevorzugte Systemanbieter

1.6) Gibt es Systemanbieter (z.B. Häring hp\_rapid, Erne Suprafloor, Pirmin Jung Plus/Minus, optiholz forte, wey-pi, oder andere), welche Sie bevorzugen?

	Nein	Ja	Wenn ja, welche:
HBV - Rippendecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
HBV - Brettstapeldecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
HBV - Brettsperrholzdecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Warum?			

Bild 3.37 Frage zur Einstufung von Systemanbietern

Bei der letzten Frage wurde gefragt, ob Systemanbieter bei HBV-Decken bevorzugt werden. Dies wurde von den meisten Experten mit Nein beantwortet. Zwei Experten nannten bei den HBV-Brettstapeldecken die Systeme von Pirmin Jung, ein Experte nannte bei der HBV-Rippendecke und der HBV-Brettsperrholzdecke das System Häring hp\_rapid. Es kann zusammengefasst werden, dass Systemanbieter nur vereinzelt bevorzugt werden.<sup>382</sup>

### 3.2.7 Zusammenfassung der Umfrageergebnisse zur Systemauswahl

Aus den vorliegenden Resultaten können vorerst folgende Schlüsse gezogen werden.<sup>383</sup>

- HBV-Brettsperrholzdecke werden von einigen Experten als positiv eingeschätzt. Jedoch zeigt die Praxis, dass diese Deckenart bisher noch kaum eingesetzt wurde (siehe Kapitel 3.1.3). Es fehlen Berechnungsmethoden und Verbindungsmittel, welche Holz und Beton zweiachsig und schubfest miteinander verbinden. Auch wenn Brettsperrholzelemente den bauphysikalischen Anforderungen am besten gewachsen zu sein scheinen, schränken die hohen Kosten das Potenzial stark ein. Aufgrund dessen wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht mehr auf die HBV-Brettsperrholzdecke eingegangen.
- Das Potenzial von HBV-Rippendecken und HBV-Brettstapeldecken wird von Experten in etwa gleich hoch eingeschätzt. Der Vorteil von HBV-Rippendecken im Vergleich zu HBV-Brettstapeldecken liegt laut Expertenmeinung bei den Kosten, der Nachteil bei den bauphysikalischen Aspekten.

<sup>382</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>383</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

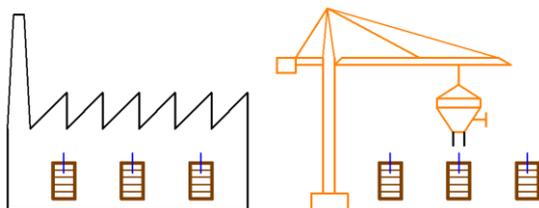
Deshalb sind beide Deckenarten für die Praxis relevant und werden in der vorliegenden Arbeit weiterhin berücksichtigt.

- Bei den HBV-Rippendecken werden als Verbindungsmittel Kerven, *HBV-Schubverbinder* und teilweise auch *Würth ASSY* Schrauben bevorzugt. Deshalb werden diese drei Verbindungsmittel kalkulatorisch erfasst. Die Experten betonten, dass *Würth ASSY* Schrauben nur in Verbindung mit der Herstellungsvariante B sinnvoll seien.
- Bei den HBV-Brettstapeldecken wurden wiederum die Kerven und die *HBV-Schubverbinder* als bestes Verbindungsmittel gewählt. Deshalb werden diese auch weiterhin betrachtet. Zwei Experten nannten wiederum *Würth ASSY* Schrauben in Verbindung mit Herstellungsvariante B als bevorzugte Ausführungsart. Deshalb soll auch dieses System kalkulatorisch erfasst werden. Da Flachstahlschlösser bei den 170 recherchierten Projekten, welche in Kapitel 3.1.3 angeführt sind, kaum eingesetzt wurden und dieses Verbindungsmittel nur zweimal ausgewählt wurde, ist eine weitere Betrachtung nicht vorgesehen.
- Bei den Herstellungsmethoden wurden sowohl bei der HBV-Rippendecke, als auch bei der HBV-Brettstapeldecke relativ gleichmäßig Option A, Option B und Option C gewählt. Deshalb kann nur Option D ausgeschlossen werden. Die Tatsache, dass Option B nur mit Hilfe der *Würth ASSY* Schrauben realisiert werden kann, schränkt die Anzahl an Kombinationen jedoch auf eine übersichtliche Zahl ein.

### 3.2.8 Weiter betrachtete Varianten von Holz-Beton-Verbunddecken

Aufgrund der durchschnittlichen Expertenmeinung konnten aus der Vielzahl an möglichen HBV-Deckenarten zehn Arten ausgemacht werden, welche als sinnvoll eingeschätzt werden. Um die Umfrageergebnisse zu kontrollieren wurden Quellen gesucht, bei denen bereits eine Systemauswahl von HBV-Decken durchgeführt wurde. Unter anderem bestätigen Schönborn<sup>384</sup>, Klotz<sup>385</sup>, Rautenstrauch<sup>386</sup>, Hollenbach<sup>387</sup>, Feix,<sup>388</sup> Michelfelder<sup>389</sup> und Glaser<sup>390</sup> die Umfrageergebnisse. Die mit Hilfe des Fragebogens als sinnvoll eingestufen Systeme werden hier kurz beschrieben und in den folgenden Kapiteln kalkulatorisch bewertet und verglichen.

- HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: *HBV-Schubverbinder*, Herstellungsmethode: Option C



- HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: *Kerbe*, Herstellungsmethode: Option C



<sup>384</sup> SCHÖNBORN, F.: Holz-Beton-Fertigteilelemente. Dissertation. S. 1f.

<sup>385</sup> KLOTZ, S.; HOLSCHEMACHER, K.; KÖHLER, S.: Wirtschaftlichkeit von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 278

<sup>386</sup> RAUTENSTRAUCH, K.; DÖHRER, A.; SCHAFFITZEL, J.: Moderne Brücken in Holz-Beton-Verbundbauweise - Eine Projektskizze. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 319

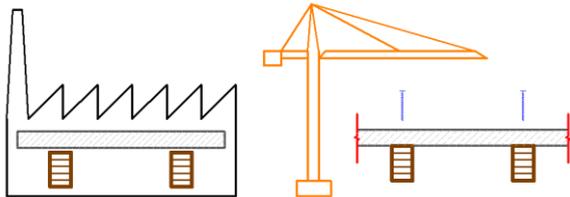
<sup>387</sup> HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. S. 22

<sup>388</sup> FEIX, J. et al.: Entwicklung eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbund Deckensystems. In: Bauingenieur, 04/2010. S. 142

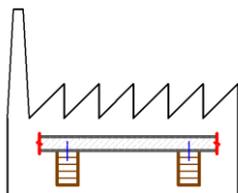
<sup>389</sup> MICHELFELDER, B. C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kerben bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. S. 2

<sup>390</sup> GLASER, R.: Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation. S. 53

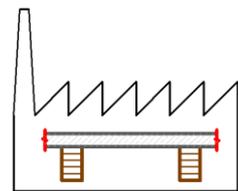
- HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Würth ASSYplus VG Schrauben, Herstellungsmethode: Option B



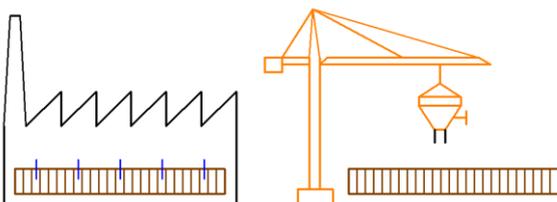
- HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: HBV-Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option A



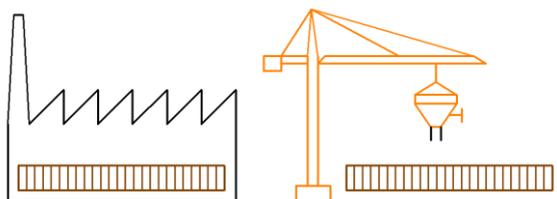
- HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option A



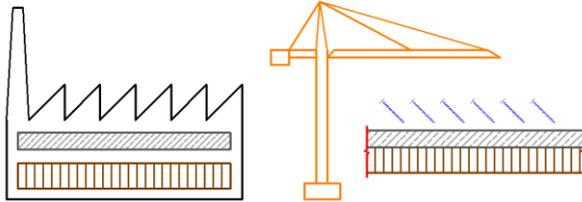
- HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: HBV-Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option C



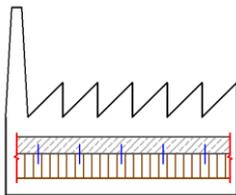
- HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option C



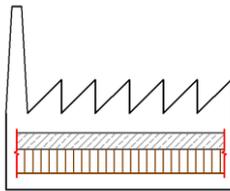
- HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Würth ASSYplus VG Schrauben, Herstellungsmethode: Option B



- HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: HBV-Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option A



- HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerve, Herstellungsmethode: Option A



Um in den weiteren Kapiteln einen Vergleich zur konventionellen Stahlbetondecke und zur Brettsperrholzdecke durchführen zu können, werden auch diese kalkulatorisch erfasst.

### 3.3 Analyse der Herstellungsprozesse: Vom Ausgangsmaterial zur fertigen Decke

Die Kalkulation der Decken ist eines der Hauptziele dieser Arbeit. Um diese systematisch durchführen zu können, müssen zunächst die Herstellungsprozesse analysiert werden. Da es vor allem in den Details Unterschiede bei der Herstellung der verschiedenen Decken gibt, müssen diese getrennt voneinander betrachtet werden. Bei der Kalkulation können verschiedene Detailstufen des Bauprozesses betrachtet werden.

REFA <sup>391</sup> unterscheidet sieben verschiedene Detailstufen des Bauprozesses:

- Gesamtablauf, z.B. Erstellung eines Mehrfamilienhauses
- Teilablauf, z.B. Holzbauarbeiten ausführen
- Ablaufstufe, z.B. Dach herstellen
- Vorgang, z.B. Sparrenlage herstellen
- Teilvorgang, z.B. Sparren mit Kran versetzen
- Vorgangsstufe, z.B. Hebesystem anbringen
- Vorgangselement, z.B. Schlaufe greifen

In der vorliegenden Arbeit werden die einzelnen Vorgänge des Herstellungsprozesses analysiert. Eine detailliertere Betrachtung scheint aufgrund mangelnder Aufwandswerte und Erfahrungswerte nicht sinnvoll. Eine gröbere Unterteilung würde die Kalkulation verfälschen, da die detaillierten Divergenzen der Herstellungsprozesse der Decken nicht berücksichtigt werden könnten.

In Summe konnten zur Herstellung der selektierten HBV-Decken, der Stahlbetondecke und der Brettsperrholzdecke zwölf Vorgänge gefunden werden, welche zur Herstellung der Rohbaudecken benötigt werden.

#### Holzbauteil liefern und versetzen:

Das tragende Holzbauteil, je nach Herstellungsmethode mit oder ohne Verbindungsmittel, wird auf die Baustelle geliefert und dort versetzt. Bei der HBV-Brettstapeldecke und der Brettsperrholzdecke werden die Elemente in den Fugen miteinander verbunden. Das Holzbauteil wird mit dem Auflagerpunkt verbunden.

<sup>391</sup> Vgl. <http://www.refa-lexikon.de/artikel/171/gesamtablauf>. Datum des Zugriffs: 04.09.2013

Betonfertigteil liefern und versetzen:

Die Betonfertigteilplatte wird zur Baustelle geliefert und dort versetzt. Da das darunterliegende Holzbauteil bereits versetzt und fixiert wurde, kann das Betonfertigteil einfach auf dieses gelegt werden. Weitere Arbeiten sind in diesem Vorgang nicht enthalten.

HBV-Fertigteil liefern und versetzen:

Das HBV-Fertigteil, bei dem Holz und Beton bereits schubfest miteinander verbunden sind, wird auf die Baustelle geliefert und dort versetzt.

Verlorene Schalung verlegen:

Die auf die Baustelle gelieferte, verlorene Schalung wird versetzt, manipuliert und in die Balkenzwischenräume gelegt. Zur Lagesicherung muss die Schalung mit den Holzbalken verbunden werden.

Randschalung herstellen:

An den Deckenaußenkanten wird die Randschalung hergestellt. Die Höhe der Schalung richtet sich nach der Höhe der Betonschicht.

Abdichtungsfolie anbringen:

Die Abdichtungsfolie wird auf die bereits vorbereitete Holzfläche verlegt. Um eine ausreichende Dichtheit zu garantieren, sind die Herstellerangaben, vor allem bezüglich Verklebung und Überlappung, zu beachten.

Zugbeanspruchte Schrauben zu Abhebesicherung:

Werden Kerven zur Übertragung der Schubkräfte verwendet, entstehen planmäßig abhebende Kräfte zwischen Holz und Beton. Um diese aufzunehmen, ist eine zugbeanspruchte Schraube anzubringen. Im Vorgang ist die Lieferung und Montage der Schrauben beinhaltet. Die Schrauben werden mit Hilfe einer Handbohrmaschine fixiert.

Verbundschrauben fixieren:

Lieferung der Verbundschrauben und Montage mit Hilfe einer Handbohrmaschine. Im Betonfertigteil sind bereits die Leerrohre einbetoniert, so dass Winkel und Position vorgegeben sind.

Baustützen aufstellen:

Die Baustützen werden laut Angabe des Tragwerkplaners aufgestellt und fixiert. Sie bleiben im Tragwerk, bis der Verbund zwischen Holz und Beton vollkommen hergestellt ist. Im Vorgang sind auch die Entfernung und der Abtransport der Stützen enthalten.

Schalen:

Die gelieferte Schalung wird auf der Baustelle aufgestellt und fixiert. Die Schaloberfläche wird vorbereitet. Sobald der Beton seine volle Tragfähigkeit erreicht hat, wird die Schalung entfernt und abtransportiert.

Bewehren:

Die gelieferte Bewehrung wird versetzt und laut Bewehrungsplan des Tragwerkplaners verlegt.

Betonieren:

Der Beton wird mit Hilfe eines Fahrmischers auf die Baustelle gebracht und dort eingebaut. Im Vorgang sind zudem das Abziehen zur Herstellung der gewünschten Oberfläche, die Verdichtung und die Nachbehandlung enthalten.

Fugen schließen:

Um die Scheibenwirkung der HBV-Decken zu aktivieren, müssen die Betonfugen geschlossen werden. Der Fugenvergussmörtel wird laut Herstellerangaben angemacht und zwischen den Betonplatten eingebracht.

Um die verschiedenen Decken herzustellen, werden jeweils einige der zwölf genannten Vorgänge benötigt. Im Folgenden wird dargestellt, welche Vorgänge zum Bau der zehn HBV-Deckenarten, der Stahlbetondecke und der Brettsperrholzdecke benötigt werden.

### 3.3.1 HBV-Rippendecken

Die für die verschiedenen HBV-Rippendecken notwendigen Vorgänge sind in der Tabelle 5 mit einem x gekennzeichnet:

**Tabelle 5** Herstellungsprozesse von HBV-Rippendecken

Deckenart	HBV - Rippendecke	HBV - Rippendecke	HBV - Rippendecke	HBV - Rippendecke	HBV - Rippendecke
Herstellungsmethode	Option C	Option C	Option B	Option A	Option A
Verbindungsmitel	HBV Schubverbinder	Kernen	Würth ASSYplus VG	HBV Schubverbinder	Kernen
Holzbauteil liefern und versetzen	X	X	X		
Betonfertigteil liefern und versetzen			X		
HBV - Fertigteil liefern versetzen				X	X
Verlorene Schalung verlegen	X	X			
Randschalung herstellen	X	X			
Abdichtungsfolie anbringen	X	X			
Zugbeanspruchte Schrauben fixieren		X			
Verbundschrauben fixieren			X		
Baustützen aufstellen	X	X	X		
Bewehren	X	X			
Betonieren	X	X			
Betonfugen verschließen			X	X	X

### 3.3.2 HBV-Brettstapeldecken

Die für die verschiedenen HBV-Brettstapeldecken notwendigen Vorgänge sind in der Tabelle 6 mit einem x gekennzeichnet:

**Tabelle 6** Herstellungsprozesse von HBV-Brettstapeldecken

Deckenart	Herstellungsmethode	Verbindungsmitel	Holzbauteil liefern und versetzen	Betonfertigteil liefern und versetzen	HBV - Fertigteil liefern versetzen	Verlorene Schalung verlegen	Randschalung herstellen	Abdichtungsfolie anbringen	Zugbeanspruchte Schrauben fixieren	Verbundschrauben fixieren	Baustützen aufstellen	Bewehren	Betonieren	Betonfugen verschließen
HBV - Brettstapeldecke	Option C	HBV Schubverbinder	X				X	X			X	X	X	
HBV - Brettstapeldecke	Option C	Kernen		X					X					
HBV - Brettstapeldecke	Option B	Würth ASSYplus VG		X	X					X				X
HBV - Brettstapeldecke	Option A	HBV Schubverbinder			X									X
HBV - Brettstapeldecke	Option A	Kernen												X

### 3.3.3 Stahlbetondecke

Die zur Herstellung einer Stahlbetondecke benötigten Vorgänge sind:

- Schalen
- Bewehren
- Betonieren

### 3.3.4 Brettsper Holzdecke

Bei einer Brettsper Holzdecke sind in einem ersten Schritt die Elemente zu liefern und zu versetzen. Im Anschluss müssen diese miteinander verbunden werden. Je nachdem, wie die einzelnen Elemente gestoßen werden, müssen diese entweder verschraubt oder genagelt werden.

### 3.4 Kostenberechnung

Neben dem Verbindungsmittel und der Herstellungsmethode werden die Kosten von Decken noch von einer Reihe anderer Faktoren beeinflusst. Damit die Decken hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Aspekte gegenübergestellt werden können, müssen die technischen Einflussfaktoren möglichst gleichgesetzt werden. Im ersten Teil dieses Kapitels werden deshalb die Annahmen zur Dimensionierung der Decken angeführt und begründet und die effektiv gewählten Querschnitte beschrieben. Außerdem werden die Werte der einzelnen Kostenkomponenten und die Aufwands- und Leistungswerte angeführt. Anhand dieser Daten ist es möglich, die Kosten und Preise der in Kapitel 3.2 gewählten Decken zu berechnen. Die Kalkulationsblätter sind in den weiteren Teilen dieses Kapitels zu finden. Es soll angemerkt werden, dass bei einer Kostenkalkulation in der Praxis immer die spezifischen Randbedingungen und Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Herstellerangaben können zeitlich und örtlich stark variieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich Angebotspreise bezüglich eines realen Projektes von den Angeboten für wissenschaftliche Zwecke unterscheiden. Um die berechneten Kosten zu kontrollieren, wurden Angaben von realisierten und abgerechneten Projekten ermittelt. Damit konnte die Größenordnung der berechneten Daten verifiziert werden.

#### 3.4.1 Randbedingungen und Dimensionierung

Die Deckensysteme werden zunächst statisch berechnet, dadurch erhält man die Querschnittsabmessungen. Als System wurde eine einachsige gespannte Decke mit 6 m Spannweite gewählt. Die Spannweite wird damit begründet, dass laut einer wissenschaftlichen Studie 86 % aller Decken eine geringere Spannweite als 6,50 m haben.<sup>392</sup> Ein System mit 6 m Spannweite kann deshalb als ein für die Praxis relevantes und repräsentatives System angesehen werden. Als statisches System wurde ein Einfeldträger angenommen. Das Eigengewicht der Decken wurde immer vollständig eingerechnet und da alle Systeme zusätzliche Aufbauten benötigen, wurde ein mittlerer Deckenaufbau mit einer zusätzlichen, ständigen Belastung von 1,60 kN/m<sup>2</sup> mit berücksichtigt. Für die veränderlichen Lasten wurde laut EN 1991-1-1 die Gebäudekategorie A2 (Wohn- und Aufenthaltsräume) mit einer Belastung von 1,50 kN/m<sup>2</sup> gewählt. Zusätzlich wurde ein Trennwandzuschlag von 0,80 kN/m<sup>2</sup> bei der Berechnung berücksichtigt. Gemäß Eurocode wurde bei den Holzbauberechnungen mit einer

<sup>392</sup> Vgl. VOLK, D.: Optimierte HBV-Decken im Bauprozess - Ortconweise im Fokus. Präsentation beim 11. Techniker Tag VGO. S. 15

Lasteinwirkungsdauer (KLED) von *mittel* und einer Nutzungsklasse 1 gerechnet.<sup>393</sup> Als Auflagerbreiten wurden beidseitig 10 cm angenommen.

Als Hilfsmittel für die Berechnung wurden verschiedenen Quellen herangezogen.

- <http://www.windimnet.de/>: ein Webservice zur Lösung verschiedener statischer Probleme, unter anderem HBV-Decken mit *HBV-Schubverbindern* oder *Würth ASSYplus VG* Schrauben als Verbindungsmittel<sup>394</sup>
- *StaProHBV-V111101*: ein freies Excel Bemessungsprogramm des Herstellers *TiComTec* zur Berechnung von Decken mit *HBV-Schubverbindern*<sup>395</sup>
- *WallnerMild Holz-Bau-Software*©: entwickelt in Zusammenarbeit mit dem Hersteller *Storaenso*, eignet sich diese Software zur Berechnung von Decken aus Brettspertholz<sup>396</sup>
- Berechnungssoftware der Bautabellen für Ingenieure (Schneider) zur Berechnung von Stahlbetonbalken mit Platten- oder Rechteckquerschnitten ohne Druckbewehrung in Beton<sup>397</sup>

Mit diesen Berechnungshilfen wurden die Decken, die in dieser Arbeit bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit untersucht werden, dimensioniert. Um die Ergebnisse zu verifizieren, wurden die Querschnittsabmessungen von gebauten Decken mit ähnlicher Spannweite ermittelt und verglichen. Diese Ergebnisse konnten bestätigt werden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die statische Berechnung mit dem Ziel der maximalen Vergleichbarkeit durchgeführt wurde. Um Abmessungen für ein konkretes Projekt zu erhalten, müssen detailliertere Berechnungen durchgeführt werden. Für konstruktive Zwecke können diese Berechnungen ausschließlich als Vorbemessung angesehen werden.

<sup>393</sup> Vgl. SCHNEIDER, K. J.; GORIS, A.; ALBERT, A.: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 19. Auflage. S. 9.1ff.

<sup>394</sup> <http://www.windimnet.de/>. Datum des Zugriffs: 09.09.2013

<sup>395</sup> <http://www.hbv-systeme.de/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013

<sup>396</sup> <http://www.clt.info/>. Datum des Zugriffs: 09.09.2013

<sup>397</sup> SCHNEIDER, K. J.; GORIS, A.; ALBERT, A.: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 19. Auflage. S. 1ff.

Folgende Querschnittsabmessungen wurden für die Kostenermittlung festgelegt:

- HBV-Rippendecken:
  - Holzbauteil: GI24h, b/h = 14/24 cm, i = 62,5 cm
  - Beton: C25/30 XC1, h = 6 bei Kerven oder *HBV-Schubverbindern* als Verbindungsmittel, h = 7 bei Schrauben als Verbindungsmittel:
  - Bewehrung: ÖMAT CSQ60
  - Bei Kerven: Beidseitig drei Kerven, t/b = 2/14 cm
  - Bei *HBV-Schubverbinder*: durchschnittlich 115 cm Verbinderlänge pro Quadratmeter Deckenfläche
  - Bei *Würth ASSYplus VG*: durchschnittlich 20 Schrauben pro Quadratmeter
  
- HBV-Brettstapeldecken:
  - Holzbauteil: GI24h, h = 16 cm
  - Beton: C25/30 XC1, h = 6 bei Kerven oder *HBV-Schubverbindern* als Verbindungsmittel, h = 7 bei Schrauben als Verbindungsmittel:
  - Bewehrung: ÖMAT CSQ60
  - Bei Kerven: beidseitig drei Kerven, t/b = 2/20 cm
  - Bei *HBV-Schubverbinder*: durchschnittlich 100 cm Verbinderlänge pro Quadratmeter Deckenfläche
  - Bei *Würth ASSYplus VG*: durchschnittlich 25 Schrauben pro Quadratmeter
  
- Stahlbetondecke:
  - Beton: h = 25 cm, C25/30 XC1
  - Bewehrung: Baustahl B550, Bewehrungsgrad 85 kg/m<sup>3</sup>
  
- Brettsper Holzdecke:
  - h = 23 cm, C24

### 3.4.2 Kostenkomponenten, Aufwands- und Leistungswerte

Eine Methode zur ganzheitlichen, wirtschaftlichen Betrachtung einer Bauweise, eines Projektes oder eines Gebäudes ist die Analyse der Lebenszykluskosten. Um diese zu berechnen, müssen neben den Errichtungskosten zusätzlich die Grund-, Finanzierungs-, Nutzungs- und Beseitigungskosten berücksichtigt werden.<sup>398, 399</sup> In dieser Arbeit werden ausschließlich die Anteile der Errichtungskosten monetär bewertet, welche die verschiedenen Decken betreffen. Dies hat mehrere Gründe. Zunächst kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten für Grund und Nutzung bei den verschiedenen Decken annähernd gleich sind und somit einen sehr viel geringeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben als die Errichtungskosten. Die Berücksichtigung der Beseitigungskosten wäre kalkulatorisch möglich, jedoch wären sämtliche Annahmen und Prognosen mit einer hohen Unsicherheit behaftet, da die zukünftigen Entsorgungsmöglichkeiten heute noch weitgehend unbekannt sind. Aus diesem Grund wird auf die Berücksichtigung der Beseitigungskosten verzichtet. Auch die Berücksichtigung des letzten Faktors, die Finanzierungskosten, ist nur durch das Treffen von einigen Annahmen und Prognosen (Anteil Fremd- und Eigenkapital, zukünftige Nutzung des Gebäudes, Bauzeit, Zinsfuß, statisches oder dynamisches Berechnungsverfahren etc.) möglich. Auch dadurch würden die kalkulierten Kosten mit einer höheren Unsicherheit behaftet werden. Da dies nicht gewünscht ist, wird darauf verzichtet.

Die Kosten zur Herstellung der Decken können gemäß ÖNORM B 2061 berechnet werden<sup>400</sup>. In dieser Verfahrensnorm sind Kalkulationsblätter beschrieben, mit deren Hilfe man systematisch die Kosten einzelner Bauleistungen berechnen kann. Dadurch erhält man eine einheitliche, übersichtliche und nachvollziehbare Kalkulation. Das K3-Blatt dient zur Berechnung der Personalkosten, als Ergebnis erhält man den Mittelohnpreis, also jenen Betrag, der für einen Arbeiter der betrachteten Arbeitsgruppe im Durchschnitt anfällt. Beachtet werden dabei unter anderem der kollektivvertraglich festgelegte Lohn, sowie Umlagen, Aufzahlungen, Mehrlöhne und Lohnnebenkosten. Mit Hilfe des K4-Blattes können Materialkosten ermittelt werden, in denen der Transport, die Verladung, die Manipulation und der Verlust enthalten sind. Das K5-Blatt ermöglicht die Kalkulation einzelner Leistungen und Produkte. Das K6-Blatt erleichtert die Berechnung von Gerätekosten, wobei Kosten für die Abschreibung, die Verzinsung, die Reparatur, die Bedienung und den Betrieb, aber auch sonstige Kosten anfallen können. Die einzelnen Kostenkomponenten, aufgeteilt in Lohnkosten und Sonstige Kosten,

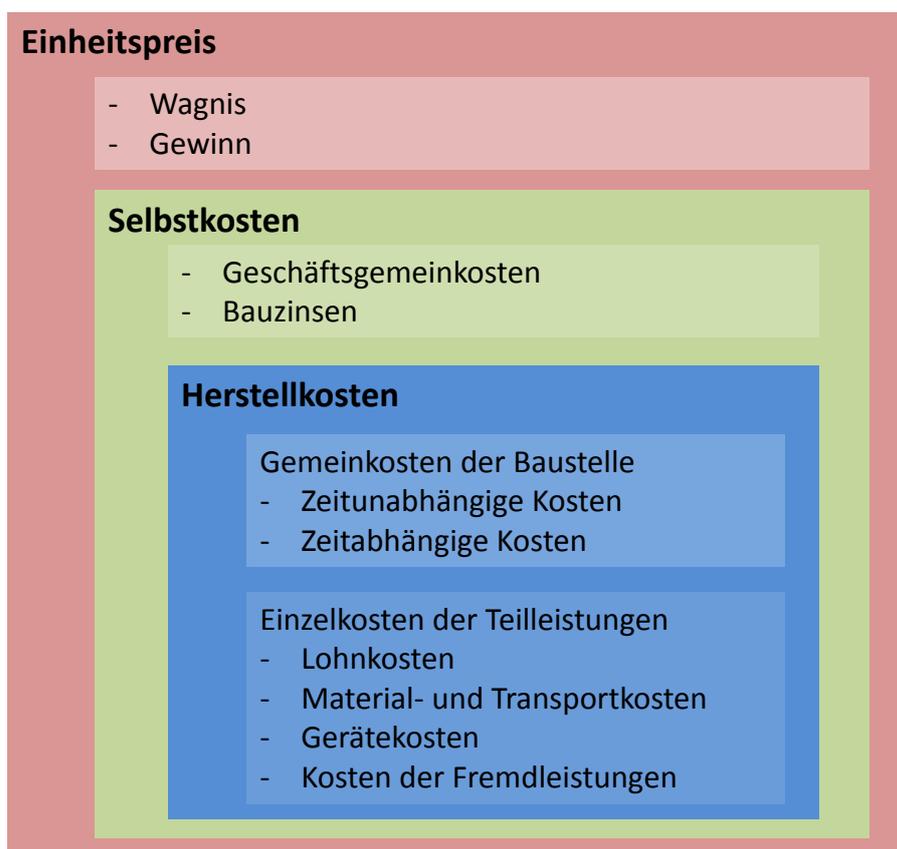
<sup>398</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 1801-1. Norm. S. 26

<sup>399</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 1801-2. Norm. S. 5f.

<sup>400</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 2061. Norm. S. 1ff.

werden im K7-Blatt zusammengefasst. Dadurch erhält man die Herstellkosten laut ÖNORM B 2061. Nachdem diese mit dem Gesamtzuschlag beaufschlagt werden, erhält man den Einheitspreis. Im Gesamtzuschlag sind die Geschäftsgemeinkosten, die Bauzinsen, das Wagnis und der Gewinn enthalten.<sup>401</sup> Ein weiterer, zu berücksichtigender Faktor sind die Baustellengemeinkosten. Diese können, je nach Ausschreibung, als eigene Position berechnet werden, oder als Zuschlag auf die einzelnen Positionen aufgeteilt werden.<sup>402</sup> In dieser Arbeit werden die Baustellengemeinkosten nicht über einen prozentualen Zuschlag berücksichtigt, da angenommen wird, dass sie für alle Deckenarten in etwa gleich hoch sind und deshalb nicht kostenrelevant sind.

In der folgenden Abbildung ist die Kostengliederung nach ÖNORM B 2061 graphisch dargestellt.



**Bild 3.38** Kostengliederung nach ÖNORM B 2061<sup>403</sup>

Zusammenfassend soll gesagt werden, dass es sich bei sämtlichen in dieser Arbeit kalkulierten Kosten um Einheitspreise handelt. Allerdings

<sup>401</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 2061. Norm. S. 1ff.

<sup>402</sup> Vgl. GRAU, H.; NEUENHAGEN, H.: Plümecke - Preisermittlung im Holzbau. S. 38

<sup>403</sup> Vgl. ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 2061. Norm. S.

werden in den Herstellkosten lediglich die Einzelkosten der Teilleistungen berücksichtigt, da angenommen wird, dass die Gemeinkosten der Baustelle in einer gesonderten Position berücksichtigt werden.

Im Folgenden wird die Ermittlung der für die Kalkulation benötigten Grundgrößen detailliert beschrieben.

### 3.4.2.1 Lohnkosten

Die Lohnkosten wurden mit Hilfe des K3-Blattes und dessen Hilfsblätter berechnet. Für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise und Arbeiten in überwiegender Holzbauweise wurden zwei verschiedene Löhne berechnet. Bei den Betonarbeiten wurde mit einer Arbeitspartie mit einem Facharbeiter, zwei angelernten Bauarbeitern und drei Bauhilfsarbeitern gerechnet. Als Basis wurde die Lohn tafel des Kollektivvertrages Bauindustrie und Baubetriebe<sup>404</sup> mit Gültigkeit ab 01.05.2013 herangezogen. Bei den Holzbauarbeiten ging man von einem Vorarbeiter, einem Bundzimmerer und zwei Hilfsarbeitern aus. Hier wurde als Basis die Lohn tafel des Kollektivvertrages der Zimmermeistergewerbe<sup>405</sup> mit Gültigkeit ab 01.05.2013 verwendet. Als unproduktives Personal wurde jeweils ein Hilfspolier angenommen. Aufzahlungen für Erschwernisse gab es keine. Als Arbeitszeitmodell wurde die Normalarbeitszeit mit 40 Arbeitsstunden gewählt, sodass Aufzahlungen für eine Stunde Mehrarbeit anfielen. Dienstreisevergütungen wurden nur in Form des *Taggeldes Klein* ausgezahlt. Die sich damit ergebenden Mittellohnkosten betragen für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise 35,88 € und für Arbeiten in überwiegender Holzbauweise 38,63 € pro Arbeiter und Stunde. Um die Werte zu kontrollieren wurden in Gesprächen mit Mitarbeitern von ausführenden Unternehmen<sup>406</sup> Erfahrungswerte recherchiert. Mit 36 € für Arbeiten in überwiegender Holzbauweise und 39 € für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise können die berechneten Werte bestätigt werden.

**Tabelle 7 Zusammenfassung der Mittellohnkosten**

Kalkuliert	Empfehlung	Gewählt	Beschreibung
38,63 €/Std	39,00 €/Std	38,63 €/Std	Mittellohn für Arbeiten in überwiegender Holzbauweise
35,88 €/Std	36,00 €/Std	35,88 €/Std	Mittellohn für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise

<sup>404</sup> Vgl. <https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Geschaefsstelle-Bau/RS018-Blg-KV-Abschluss-171-CW.pdf>. Datum des Zugriffs: 20.08.2013

<sup>405</sup> Vgl. [https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Holzbau/2013\\_KV\\_Beilage\\_Zimmerer\\_NEU\\_7.pdf](https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Holzbau/2013_KV_Beilage_Zimmerer_NEU_7.pdf). Datum des Zugriffs: 20.08.2013

<sup>406</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

### 3.4.2.2 Gerätekosten

Für die Herstellung der HBV-Decken, der Stahlbetondecke und der Brettsper Holzdecke konnten vier Geräte gefunden werden, welche direkt den Leistungspositionen zugeordnet werden können. Alle Vorhaltegeräte, welche nicht den einzelnen Leistungspositionen zugeordnet werden können, wurden in die Baustellengemeinkosten mit eingerechnet. Folgende Leistungsgeräte werden benötigt:

- a. Handbohrmaschine: Zur Kostenberechnung wurde die Österreichische Baugeräteliste<sup>407</sup> herangezogen. Als Gerät wurde eine elektronische Handbohrmaschine mit 0,9 kW (Gerätenummer: W.0.14.0013) gewählt. Die Reparatur wurde zu 50 % auf Lohnkosten und 50 % auf Sonstige Kosten aufgeteilt. Die Angaben der ÖBGL wurden um jeweils 40 % reduziert. Inklusive Bedienung fallen bei der Verwendung pro Stunde 42,52 € für Lohn und 0,06 € für die Sonstigen Kosten an. Die Werte konnten in Absprache mit Mitarbeitern von ausführenden Unternehmen verifiziert werden.
- b. Schalung: Um die Kosten für die Schalung zu berechnen, wurde ebenso die Österreichische Baugeräteliste<sup>408</sup> herangezogen. Als Schalungssystem wurde ein Deckentisch mit fertig montierter Schalungseinheit inklusive Stützen, Tischköpfen, Quer- und Jochträgern und Schalhaut gewählt (Gerätenummer: U.0.28.1108). In Absprache mit mehreren Mitarbeitern von Unternehmen aus der Bauwirtschaft müssen die Werte für die Schalung der ÖBGL nicht reduziert werden. Die Reparatur wurde zu 40 % den Lohnkosten und 60 % den Sonstigen Kosten zugerechnet. Pro Quadratmeter Schalung fallen pro Monat somit 0,99 € Lohn und 4,75 € Sonstige Kosten an.
- c. Mobilkran: Es wird angenommen, dass zum Versetzen der Fertigteilelemente auf der Baustelle ein Mobilkran verwendet wird. Um den Kran zu dimensionieren, wurde ein fünfstöckiges Gebäude mit einer durchschnittlichen Deckenspannweite von 6 m angenommen. Aus diesen Daten können rechnerisch oder graphisch die für die Dimensionierung des Mobilkrans benötigten Parameter (maximale Ausladung und maximale Hubhöhe) ermittelt werden. Zusätzlich wird das maximale Hubgewicht benötigt. Hierfür wird das Gewicht eines Fertigteils mit 3,5 Tonnen angenommen (HBV-Brettstapelemente, Höhe Holzbauteil 16 cm, Höhe Beton 6 cm, Elementabmessungen

<sup>407</sup> Vgl. FACHVERBAND DER BAUINDUSTRIE DER WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: ÖBGL 2009 - Österreichische Baugeräteliste. S. 1ff.

<sup>408</sup> Vgl. a.a.O., S. 1ff.

b/l = 2,5/6 m). Als Beispiel eines Mobilkranes, welcher sich für diese Aufgabe eignen würde, kann der Liebherr LTM1030 genannt werden. In diesem Fall wurden die Kosten direkt am Markt recherchiert. Es wurden Angebote von insgesamt vier Unternehmen eingeholt, die Kosten für eine Stunde inklusive Fahrer betragen im Durchschnitt 86,75 €. Zusätzlich wurden einige Empfehlungswerte von ausführenden Unternehmen<sup>409</sup> eingeholt. Diese gaben an, einen Wert von 78,38 € bei Kalkulationen zu verwenden. Für die vorliegende Arbeit werden deshalb Kosten in Höhe von 82,57 € pro Stunde angenommen.

- d. Baustützen: Als viertes Gerät werden Baustützen benötigt. Hier wurde wiederum die Österreichische Baugeräteliste<sup>410</sup> verwendet. Gewählt wurde eine Deckenstütze in Aluminium mit einer maximalen Auszugslänge von 3,50 m (Gerätenummer: U.1.00.4548). Die Reparatur wird zu jeweils 50 % zwischen Lohn und Sonstige Kosten aufgeteilt. Die Angaben der ÖBGL wurden um jeweils 40 % reduziert. Pro Stütze fallen im Monat Lohnkosten von 1,15 € und Sonstige Kosten von 4,59 € an.

Zusammenfassend wird bei der Kalkulation von folgenden Gerätekosten ausgegangen:

**Tabelle 8 Zusammenfassung der Gerätekosten**

Bezeichnung	Lohn	Sonstige Kosten	Beschreibung
a	42,52 €/Std	0,06 €/Std	Handbohrmaschine, inklusive Bedienung
b	0,99 €/m <sup>2</sup>	4,75 €/m <sup>2</sup>	Schalung
c	-	82,57 €/h	Mobilkran, inklusive Fahrer
d	1,15 €/Stk	4,59 €/Stk	Baustützen

### 3.4.2.3 Materialkosten

Für sämtliche einzusetzende Materialien wurden Angebote von Unternehmen<sup>411</sup> und Empfehlungen von ausführenden Unternehmen<sup>412</sup> eingeholt. Je nach Produktsortiment mussten bei einigen Materialien zunächst die gewünschte Herstellermarke gewählt werden. Um die durchschnittlichen Materialkosten zu erhalten, wurde auch hier versucht, keine Marke zu bevorzugen, sondern eine möglichst breitgefächerte Auswahl zu treffen. In den Kostenberechnungen werden zur Wahrung

<sup>409</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>410</sup> Vgl. FACHVERBAND DER BAUINDUSTRIE DER WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: ÖBGL 2009 - Österreichische Baugeräteliste. S. 1ff.

<sup>411</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>412</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

der Anonymität jedoch keine Produktnamen oder Markennamen genannt. Um eine praxisnahe Bestellmenge angeben zu können, wurde der Materialbedarf für ein fünfstöckiges Gebäude mit 300 m<sup>2</sup> Deckenfläche pro Geschoss errechnet. Es wurde immer für Materialkosten frei Baustelle <sup>413</sup> angefragt. Als angenommene Transportstrecke wurde 50 km gewählt. Bei einigen Vorgängen werden verschiedene Hilfsmaterialien benötigt, diese werden im K7-Blatt pauschal hinzugerechnet. Können die Hilfsmaterialien keiner einzelnen Position zugeordnet werden, fallen diese Materialkosten in die Baustellengemeinkosten und somit in eine eigene Position.

Mit Ausnahme des Betons wurden die Kosten für Materialien mit Hilfe des K4-Blattes berechnet und ergeben folgende Werte:

- a. OSB-Platte, 22 mm: Es konnten fünf Angaben für die Kosten von 22 mm starken OSB-Platten gefunden werden. Der durchschnittliche Preis der Anbieter für dieses Bauteil beträgt 11,53 €/m<sup>2</sup>. Die Empfehlung von ausführenden Unternehmen liegt bei 7,03 €/m<sup>2</sup>. Es wird ein mittlerer Preis von 9,28 €/m<sup>2</sup> gewählt. Inklusive Verlade- und Manipulationsarbeit (0,04 Std/m<sup>2</sup>) und Verluste (5 %) betragen die Lohnkosten 1,55 €/m<sup>2</sup> und die Sonstigen Kosten 9,74 €/m<sup>2</sup>.
- b. PE-Baufolie, 0,2 mm: Bei fünf Unternehmen konnten Kostangaben für eine 0,2 mm Starke PE-Baufolie eingeholt werden. Die Verlade- und Manipulationsarbeit im Ausmaß von 0,01 Std/m<sup>2</sup> und die Verluste von 10 % wurden zu den durchschnittlichen Materialkosten von 0,46 €/m<sup>2</sup> hinzugerechnet. Die Empfehlung von ausführenden Unternehmen stimmt in diesem Fall mit dem am Markt recherchierten Preis überein. Somit ergeben sich Lohnkosten in Höhe von 0,39 €/m<sup>2</sup> und Sonstige Kosten in Höhe von 0,51 €/m<sup>2</sup>.
- c. Fugenvergussmörtel: Zum Schließen der Fugen der Betonfertigteile wird ein Fugenvergussmörtel benötigt. Dieser wurde von fünf Unternehmen im Durchschnitt zu einem Preis von 0,90 €/kg angeboten. Auch hier stimmen die Empfehlungen der ausführenden Unternehmen mit dem genannten Preis überein. Inklusive Verlade- und Manipulationsarbeit (0,04 Std/kg) und Verluste (12 %) können die Lohnkosten zu 1,55 €/kg und die Sonstigen Kosten zu 1,01 €/kg berechnet werden.
- d. Schalöl: Zur Herstellung einer konventionellen Stahlbetondecke wird Schalöl benötigt. Die durchschnittlichen Kosten, errechnet aus den Angeboten von fünf Anbietern, betragen 3,45 €/l. Wenn

<sup>413</sup> Materialkosten inklusive Lieferung bis zur Baustelle

- man 0,01 Std/l Verlade- und Manipulationsarbeit und 12 % Verlust mit einberechnet, kommt man auf 0,36 €/l Lohnkosten und 3,86 €/l Sonstige Kosten.
- e. *Würth ASSYplus VG* Schrauben: Die zur Erfüllung der konstruktiven Anforderungen (Schubverbund zwischen Beton- und Holzbauteil) benötigten Schrauben (SHR-SEKPF-FRT-HO-VG-AW40-(A2K)-8,0X240) wurden direkt bei verschiedenen *Würth* Standorten in Österreich, Deutschland, der Schweiz und Italien angefragt. Die durchschnittlichen Kosten der Schrauben liegen bei 0,93 €/Stück. Ausführende Unternehmen gaben an, bei Kalkulationen mit einem Schraubenpreis von 0,99 €/Stück zu rechnen. Deshalb wird bei der hier vorliegenden Kalkulation ein durchschnittlicher Schraubenpreis von 0,96 €/Stück verwendet. Es wird angenommen, dass mit einem Verlust von nur 1 % gerechnet werden kann. Verlade- und Manipulationskosten fallen keine an. Dadurch ergeben sich Sonstige Kosten in Höhe von 0,97 €/Stück.
- f. Baustahlgitter CSQ60: Der bei fünf Herstellern angefragte Preis für ein Baustahlgitter CSQ60 beträgt durchschnittlich 820,34 €/to. Ausführenden Unternehmen empfehlen mit 780 €/to zu rechnen. Um dies zu berücksichtigen wird ein durchschnittlicher Wert von 800,17 €/to verwendet. Durch Verladung und Manipulation (0,50 Std/to) und Verlust (5 %) ergeben sich Lohnkosten zu 17,94 €/to und Sonstige Kosten zu 840,18 €/to.
- g. Stabstahl B550: Die für die Stahlbetondecke benötigte Bewehrung wird von fünf Unternehmen zu durchschnittlich 758,36 €/to angeboten. Ausführende Unternehmen empfehlen den Stabstahl mit 740 €/to anzunehmen. Als Durchschnittswert wird 749,18 €/to verwendet. Diese Angaben sind auf den geraden Stabstahl bezogen, die Kosten für gebogenen und weiterverarbeiteten Stabstahl sind höher. Um dies zu berücksichtigen, wird bei diesem Material die Verlade- und Manipulationszeit genauer betrachtet. Im Bewehrungsatlas<sup>414</sup> sind mittlere Aufwandswerte für Schneide- und Biegearbeiten angegeben. Es wird angenommen, dass 25 % der Bewehrung kompliziert gebogen werden muss, 25 % einfach gebogen werden muss und 50 % gerade bleibt. Bei einem Durchmesser von 12 mm ergibt sich dadurch ein mittlerer Schneide- und Biegeaufwand von 3,75 Std/to<sup>415</sup>. Mit Hilfe dieses Wertes und

<sup>414</sup> Vgl. FRITSCHKE, G.; BLASY, R.: Bewehrungsatlas - Eurocode - ÖNORM EN 1992-1-1 - ÖNORM B1992-1-1. S. 1ff.

<sup>415</sup> Vgl. a.a.O., S. 144

einem Verlustwert von 5 % wird der Lohn zu 134,55 €/to und die Sonstigen Kosten zu 786,64 €/to angenommen.

- h. Lieferbeton C25/30, XC1: Fünf Hersteller wurden bei der Recherche der Kosten für Lieferbeton beachtet. Beim Beton für die HBV-Decken wurde als Transportfahrzeug ein Fahrmischer mit Betonpumpe gewählt, da bei diesen Decken im Baustelleneinrichtungsplan kein Kran vorgesehen ist. Auf der fiktiven Baustelle mit Stahlbetondecken ist in der Baustelleneinrichtung ein Kran eingeplant, deshalb wird der Beton mit einem normalen Fahrmischer transportiert. Da Verladekosten bereits eingerechnet wurden und keine Manipulations- oder Verlustkosten anfallen, wurde für den Beton kein K4-Blatt erarbeitet. Die Kosten aus den Angeboten werden direkt in die K7-Blätter eingetragen. Bei Verwendung eines Fahrmischers betragen die durchschnittlichen Kosten laut Angeboten 88,57 €/m<sup>3</sup>, wird ein Fahrmischer mit Betonpumpe benötigt, erhöhen sich die Kosten auf 104,71 €/m<sup>3</sup>. Mitarbeiter von ausführenden Unternehmen empfehlen für den Beton inklusive Fahrmischer einen Wert von 80 €/m<sup>3</sup> anzunehmen. Wird ein Fahrmischer mit Betonpumpe benötigt erhöhen sich die Kosten auf 90 €/m<sup>3</sup>. Für die vorliegende Arbeit wurden somit für den erstgenannten Beton 84,29 €/m<sup>3</sup> und für den zweitgenannten 97,36 €/m<sup>3</sup> angenommen.

In der nachstehenden Tabelle sind nochmals Angebote, Empfehlungen und gewählte Materialpreise zusammengefasst:

**Tabelle 9 Zusammenfassung der angebotenen, empfohlenen und gewählten Materialkosten**

Bezeichnung	Angebot	Empfehlung	Gewählt	Beschreibung
a	11,53 €/m <sup>2</sup>	7,03 €/m <sup>2</sup>	9,28 €/m <sup>2</sup>	OSB-Platten
b	0,46 €/m <sup>2</sup>	0,46 €/m <sup>2</sup>	0,46 €/m <sup>2</sup>	PE-Folie
c	0,90 €/kg	0,90 €/kg	0,90 €/kg	Fugenvergussmörtel
d	3,45 €/kg	3,45 €/kg	3,45 €/kg	Schalöl
e	0,93 €/kg	0,99 €/kg	0,96 €/Stk	Schrauben Würth ASSYplus VG
f	820,34 €/to	780,00 €/to	800,17 €/to	Baustahlgitter
g	758,36 €/to	740,00 €/to	749,18 €/to	Stabstahl
h	88,57 €/m <sup>3</sup>	80,00 €/m <sup>3</sup>	84,29 €/m <sup>3</sup>	Lieferbeton, inklusive Fahrmischer
i	104,71 €/m <sup>3</sup>	90,00 €/m <sup>3</sup>	97,36 €/m <sup>3</sup>	Lieferbeton, inklusive Fahrmischer mit Betonpumpe

Die im K4-Blatt berechneten Kosten, inklusive Verluste und Verlade- und Manipulationsarbeiten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Diese werden bei der Erstellung der K7-Blätter verwendet.

Tabelle 10 Zusammenfassung der im K4-Blatt berechneten Materialkosten

Bezeichnung	Lohn	Sonstige Kosten	Beschreibung
a	1,55 €/m <sup>2</sup>	9,74 €/m <sup>2</sup>	OSB-Platten
b	0,39 €/m <sup>2</sup>	0,51 €/m <sup>2</sup>	PE-Folie
c	1,55 €/kg	1,01 €/kg	Fugenvergussmörtel
d	0,36 €/kg	3,86 €/kg	Schalöl
e	-	0,97 €/Stk	Schrauben Würth ASSYplus VG
f	17,94 €/to	840,18 €/to	Baustahlgitter
g	134,55 €/to	786,64 €/to	Stabstahl
h	-	84,29 €/m <sup>3</sup>	Lieferbeton, inklusive Fahrmischer
i	-	97,36 €/m <sup>3</sup>	Lieferbeton, inklusive Fahrmischer mit Betonpumpe

#### 3.4.2.4 Fertigteile

Um die Kosten der Fertigteile in Holz oder Beton abschätzen zu können, wurden Angebote von führenden Herstellern<sup>416</sup> am Markt eingeholt. Wie schon bei den Materialien, wurden auch hier die Angebotsanfragen so gestaltet, dass der Transport mit einer Distanz von 50 km in den Kosten mit eingerechnet wurde. Damit eine Angabe zur Bestellmenge gemacht werden kann, wurde die benötigte Materialmenge für ein fünfgeschossiges Gebäude mit 300 m<sup>2</sup> Deckenfläche pro Geschoss berechnet. Da der fiktive Bauablauf vorsieht, dass die Fertigteillemente vor Ort direkt mit dem Mobilkran abgeladen und versetzt werden, sind keine zusätzlichen Kosten für Verladearbeiten in die Fertigteilkosten einzurechnen. Es wird von einem idealen Bauablauf ausgegangen (exakt gefertigte Fertigteile laut Ausführungsplanung, abgeschlossene Vorarbeiten, keine zusätzlichen Stehzeiten des Lastkraftwagens, keine Behinderung durch andere Gewerke), deshalb sind keine weiteren Manipulations- oder Verlustkosten einzurechnen. Die Angebotspreise der Fertigteile können somit im K7-Blatt übernommen werden, die Erstellung eines K4-Blatt ist in diesem Fall nicht notwendig. Es können folgende Fertigteilkosten angegeben werden:

- a. Betonfertigteil: l/h = 600/7 cm, C25/30 XC1, mit Bewehrungsmatte CSQ60, mit Würth FT-Verbinder. Dieses sehr spezielle Betonfertigteil konnte nur von zwei Herstellern angeboten werden, da Fertigteile mit Würth FT-Verbinder in den Standardsortimenten der Hersteller fehlen. Als durchschnittliche Kosten für einen Quadratmeter Fertigteilfläche kann ein Wert von 38,54 €/m<sup>2</sup> angegeben werden. Dies entspricht Kosten in Höhe von 550,57 €/m<sup>3</sup>.

<sup>416</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

- b. Brettschichtholz:  $l/b/h = 600/14/24$  cm, Gl24h, Sichtqualität: Laut drei Herstellerangaben betragen die durchschnittlichen Kosten für einen Kubikmeter Brettschichtholz 416,67 €/m<sup>3</sup>. Bei einem Balkenabstand von 62,5 cm und den oben genannten Spezifikationen fallen somit Kosten von 22,40 €/m<sup>2</sup> an.
- c. Brettschichtholz:  $l/b/h = 600/14/24$  cm, Gl24h, Sichtqualität, mit beidseitig drei Kerven: Mit Hilfe von Herstellerangaben war es möglich, die erhöhten Kosten der Balken inklusive Kerven abzuschätzen. Dabei nannte nur ein Hersteller direkt den Preis für den Abbund, die anderen Hersteller gaben prozentuale Zuschläge für den Abbund solcher Balken an, die auf die Kosten aufgeschlagen werden konnten. Damit ergeben sich die durchschnittlichen Kosten von 483,77 €/m<sup>3</sup>. Mit den angegebenen Querschnittsabmessungen und einem Balkenabstand von 62,5 cm betragen die Kosten 26,01 €/m<sup>2</sup>.
- d. Brettschichtholz:  $l/b/h = 600/14/24$  cm, Gl24h, Sichtqualität, mit *HBV-Schubverbindern*: Auch bei diesem Fertigteil war nur eine begrenzte Anzahl von Herstellern zu finden, dennoch konnten drei Angebote eingeholt werden. Bei einem Balkenabstand von 62,5 cm betragen die durchschnittlichen Kosten dieser weiterverarbeiteten Holzelemente 57,94 €/m<sup>2</sup>. Pro fiktiven Kubikmeter Holz mit *HBV-Schubverbindern* fallen somit Kosten von 1077,75 €/m<sup>3</sup> an.
- e. Brettstapelelement:  $l/h = 600/16$  cm, Gl24h, Sichtqualität, mit Elementverbindung: Die durchschnittlichen Kosten laut Angebot dreier Hersteller für die spezifizierten Brettstapelelemente betragen 73,78 €/m<sup>2</sup>. Pro Kubikmeter liegen die Kosten bei 461,11 €/m<sup>3</sup>. Als Elementverbindung wurde die Standardverbindung der jeweiligen Hersteller gewählt (z.B. Nut und Feder oder Stufenfalz).
- f. Brettstapelelement:  $l/h = 600/16$  cm, Gl24h, Sichtqualität, mit Elementverbindung, mit beidseitig drei Kerven: Von vier Unternehmen konnten Angebote für dieses weiterverarbeitete Holzbauteil eingeholt werden. Die durchschnittlichen Kosten betragen 83,68 €/m<sup>2</sup> bzw. 523,00 €/m<sup>3</sup>. Als Elementverbindung wurde die Standardverbindung der jeweiligen Hersteller gewählt (z.B. Nut und Feder oder Stufenfalz).
- g. Brettstapelelement:  $l/h = 600/16$  cm, Gl24h, Sichtqualität, mit Elementverbindung, *HBV-Schubverbindern*: Bei diesen speziellen Holzbauteilen war nur eine begrenzte Anzahl an Herstellern zu finden, von denen sich zwei bereit erklärten einen Angebotspreis anzugeben. Die durchschnittlichen Kosten betragen 783,25 €/m<sup>3</sup> bzw. 125,32 €/m<sup>2</sup>. Als Elementverbindung

- wurde die Standardverbindung der jeweiligen Hersteller gewählt (z.B. Nut und Feder oder Stufenfalz).
- h. Brettsperrholzelement:  $l/h = 600/23$  cm, C24, Sichtqualität, mit Elementverbindung; Drei der führenden Hersteller von Brettsperrholz in Österreich wurden befragt. Im Mittel gaben sie Kosten in der Höhe von  $117,21 \text{ €/m}^2$  bzw.  $509,63 \text{ €/m}^3$  an. Als Elementverbindung wurde die Standardverbindung der jeweiligen Hersteller gewählt (z.B. Nut und Feder oder Stufenfalz).
  - i. HBV-Rippendecke als Fertigteil: Holz  $l/b/h = 600/14/24$  cm,  $i = 62,5$  cm, GI24h, Sichtqualität; Beton  $l/h = 600/6$  cm, C25/30 XC1, mit Bewehrungsmatte CSQ60; Verbindungsmittel beidseitig drei Kerfen: Es konnte kein Hersteller gefunden werden, welcher eine Angabe zu den Kosten eines solchen Fertigteils machen konnte. Deshalb kann der zu diesem Fertigteil gehörende Deckentyp (HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Kerfe, Herstellungsmethode: Option A) nicht weiter betrachtet werden. Eine von zwölf Deckenkalkulationen, die als Teil der vorliegenden Arbeit vorgesehen waren, entfällt somit.
  - j. HBV-Rippendecke als Fertigteil: Holz  $l/b/h = 600/14/24$  cm,  $i = 62,5$  cm, GI24h, Sichtqualität; Beton  $l/h = 600/6$  cm, C25/30 XC1, mit Bewehrungsmatte CSQ60; Verbindungsmittel *HBV-Schubverbinder*. Zwei Hersteller, welche ein solches Deckensystem im Sortiment haben, gaben Auskünfte zu den Kosten, welche im Durchschnitt  $100,84 \text{ €/m}^2$  bzw.  $886,43 \text{ €/m}^3$  betragen.
  - k. HBV-Brettstapeldecke als Fertigteil:  $l/h = 600/16$  cm, GI24h, Sichtqualität, mit Elementverbindung; Beton  $l/h = 600/6$  cm, C25/30 XC1, mit Bewehrungsmatte CSQ60; Verbindungsmittel beidseitig drei Kerfen: Die mittleren Kosten für dieses Fertigteil belaufen sich laut zwei Herstellern auf  $122,89 \text{ €/m}^2$  bzw.  $558,59 \text{ €/m}^3$ .
  - l. HBV-Brettstapeldecke als Fertigteil:  $l/h = 600/16$  cm, GI24h, Sichtqualität, mit Elementverbindung; Beton  $l/h = 600/6$  cm, C25/30 XC1, mit Bewehrungsmatte CSQ60; Verbindungsmittel *HBV-Schubverbinder*. Ein Fertigteil mit den hier genannten Spezifikationen wurde von zwei Unternehmen im Durchschnitt zu Kosten in Höhe von  $153,81 \text{ €/m}^2$  angeboten. Bezogen auf einem Kubikmeter betragen die Kosten  $699,14 \text{ €/m}^3$ .

Zusammenfassend können folgende Kosten für die verschiedenen Fertigteile angenommen werden.

Tabelle 11 Zusammenfassung der Kosten der Fertigteile

Bezeichnung	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>3</sup>	Beschreibung
a	38,54	550,57	Betonfertigteil
b	22,40	416,67	Brettschichtholz
c	26,01	483,77	Brettschichtholz, inkl. Kerfen
d	57,94	1077,75	Brettschichtholz, inkl. HBV-Schubverbinder
e	73,78	461,11	Brettstapelelemente
f	83,68	523,00	Brettstapelelemente, inkl. Kerfen
g	125,32	783,25	Brettstapelelemente, inkl. HBV-Schubverbinder
h	117,21	509,62	Brettsperrholz
i	-	-	HBV-Rippendecke, Fertigteil mit Kerfen
j	100,84	886,43	HBV-Rippendecke, Fertigteil mit HBV-Schubverbindern
k	122,89	558,59	HBV-Brettstapeldecke, Fertigteil mit Kerfen
l	153,81	699,14	HBV-Brettstapeldecke, Fertigteil mit HBV-Schubverbindern

### 3.4.2.5 Baustellengemeinkosten

Um praxisnahe Kosten der Deckensysteme zu erhalten, müssen die Baustellengemeinkosten genau betrachtet werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese bei den verschiedenen Deckensystemen annähernd gleich sind und somit für den Kostenvergleich nicht relevant sind. Die Baustellengemeinkosten sollten grundsätzlich in einer eigenen Position berücksichtigt werden, da durch deren hohen Einfluss auf die Gesamtkosten eine möglichst genaue Berechnung angestrebt wird.<sup>417</sup> Die Baustelleneinrichtung enthält bei allen Deckenarten die klassischen Bestandteile wie die Baustraße, Zugänglichkeiten, Container, Werkstätten, Baufeldumschließung, Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen, Betriebs- und Lagerflächen, typische Kleingeräte, Gerüste usw. Bei den Baustellen in überwiegender Holzbauweise wird für die Produktionslogistik eine Hebebühne benötigt. Durch die höheren Ansprüche der Produktionslogistik bei Baustellen in überwiegender Betonbauweise wird auf dieser Baustelle ein Kran vorgesehen. In die Baustelleneinrichtung sind ebenso Absturzsicherungen, wie Gerüste und Netze, einzuplanen. Je nach Bauablauf werden zudem zusätzliche Treppentürme bzw. fahrbare Gerüste benötigt. Je nach Deckensystem werden verschiedene Hilfsmaterialien benötigt. Können diese keiner speziellen Position zugeordnet werden, fallen sie in die Baustellengemeinkosten und werden somit als eigenständige Position eingerechnet, anderenfalls werden sie pauschal den jeweiligen Vorgängen aufgeschlagen.

<sup>417</sup> HECK, D.; SCHLAGBAUER, D.: Vorlesungsskriptum: Bauwirtschaftslehre VU. Vorlesungsskriptum. S. 240

### 3.4.2.6 Gesamtzuschlag

Der Gesamtzuschlag wird am Ende jeder Deckenkalkulation den Kosten prozentual aufgeschlagen. Dadurch erhält man den Deckenpreis. Um die Vergleichbarkeit der Kalkulation nicht zu beeinflussen, wird für jede Decke derselbe Gesamtzuschlag gewählt. In Absprache mit ausführenden Unternehmen<sup>418</sup> setzt sich dieser für die vorliegende Arbeit aus Geschäftsgemeinkosten (6,0 %), Bauzinsen (1,5 %), Wagnis (2,0 %) und Gewinn (2,0 %) zusammen. Werden die einzelnen Prozentsätze zusammengezählt erhält man ein Wert von 11,50 %. Dieser Wert stellt einen Kalkulationsabschlag dar, jedoch wird für die Kostenkalkulation ein Kalkulationsaufschlag benötigt. Die Umrechnung erfolgt mit folgender Formel:

$$Kalkulationsaufschlag = \frac{100 * Kalkulationsabschlag}{100 - Kalkulationsabschlag}$$

Unabhängig vom Deckensystem beträgt der Gesamtzuschlag somit:

Tabelle 12 Gesamtzuschlag

Bezeichnung	%	Beschreibung
a	12,99	Gesamtzuschlag für alle Deckensysteme

### 3.4.2.7 Aufwandswerte

Zur Kalkulation des Arbeitsaufwands der einzelnen Vorgänge werden Aufwandswerte benötigt. Um diese praxisnah abschätzen zu können wurde einerseits die Literatur analysiert und andererseits wurden Empfehlungen von Mitarbeitern von ausführenden Unternehmen<sup>419</sup> eingeholt. Die Annahmen werden im Folgenden näher erläutert:

- a. Brettschichtholzträger versetzen und montieren: Plümecke<sup>420</sup> gibt für das Verlegen von Brettschichtholzträgern einen Aufwandswert von 0,07 Std/m<sup>2</sup> an. Darin enthalten sind die Montage der Hebegurte und die Herstellung der Auflagerverbindungen. Da die Querschnittsabmessungen in der Literaturangabe geringer sind als beim fiktiven Bauprojekt der vorliegenden Arbeit wurde der Wert entsprechend angepasst und auf 0,10 Std/m<sup>2</sup> festgelegt. Laut praxisnahen Angaben aus der Bauwirtschaft sollte ein Wert von 0,26 Std/m<sup>2</sup> angenommen

<sup>418</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>419</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>420</sup> Vgl. GRAU, H.; NEUENHAGEN, H.: Plümecke - Preisermittlung im Holzbau. S. 167: Zuschnitt und Auslegen von Deckenbalken (b/h = 10/24 cm, i = 65-70 cm), inklusive Montage der Hebegurte: 0,07 Std/m<sup>2</sup>. Der Wert wurde an die vorhandenen Randbedingungen angepasst.

werden. Um die Literaturwerte und die Empfehlung aus der Praxis zu berücksichtigen wird ein durchschnittlicher Aufwandswert von 0,18 Std/m<sup>2</sup> angenommen.

- b. Brettstapelelemente versetzen und montieren: Die Literatur gibt für das Verlegen von standardisierten Deckenplatten unabhängig von den Abmessungen einen Aufwandswert von 0,25 - 0,5 Std/m<sup>2</sup> an.<sup>421</sup> Bei Gesprächen mit Mitarbeitern von führenden Bauunternehmen in Österreich wurde für das Versetzen von Brettsperrholzelemente allerdings ein Aufwandswert von 0,15 Std/m<sup>2</sup> angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Wert aus der Praxis auch für das Versetzen und Montieren von Brettstapelelementen verwendet werden kann. Da diese im Allgemeinen eine geringe Dicke als Brettsperrholzelemente aufweisen, der Montageaufwand sich folglich leicht vermindert, wird ein Wert von 0,20 Std/m<sup>2</sup> für die Kalkulation in dieser Arbeit angesetzt.
- c. Brettsperrholzelemente versetzen und montieren: Auch für die Brettsperrholzelemente können die Literaturangabe von 0,25 - 0,5 Std/m<sup>2</sup><sup>422</sup> und die Angabe von mehreren Mitarbeitern führender Bauunternehmen aus Österreich von 0,15 Std/m<sup>2</sup> verwendet werden. Um das leicht höhere Gewicht der Brettsperrholzelemente im Vergleich zu den Brettstapelelementen zu berücksichtigen wird in diesem Fall ein Aufwandswert von 0,21 Std/m<sup>2</sup> angenommen.
- d. HBV-Rippendeckenfertigteile versetzen und montieren: Die oben genannten Werte aus Literatur können auch für das Versetzen und Montieren dieses Bauteils verwendet werden. Bauunternehmen empfehlen einen Aufwandswert von 0,25 Std/m<sup>2</sup> anzunehmen. Da hier Literaturangabe und Praxisangabe übereinstimmen wird ein Wert von 0,25 Std/m<sup>2</sup> angenommen.<sup>423</sup>
- e. HBV-Brettstapeldeckenfertigteile versetzen und montieren: Selbiges gilt für dieses Bauteil. Da das HBV-Brettstapeldeckenfertigteile nochmals schwerer ist als das oben genannte HBV-Rippendeckenfertigteile, wird der Aufwandswert auf 0,26 Std/m<sup>2</sup> erhöht.<sup>424</sup>

<sup>421</sup> Vgl. PICK, J.; STREIT, W.: Kalkulation. In: Zahlentafeln für den Baubetrieb. S. 1062: Standardisierte Deckenplatten verlegen, alle Größen: 0,25 – 0,50 Std/m<sup>2</sup>

<sup>422</sup> Vgl. a.a.O., S. 1062: Standardisierte Deckenplatten verlegen, alle Größen: 0,25 - 0,50 Std/m<sup>2</sup>

<sup>423</sup> Vgl. a.a.O., S. 1062: Standardisierte Deckenplatten verlegen, alle Größen: 0,25-0,50 Std/m<sup>2</sup>

<sup>424</sup> Vgl. PICK, J.; STREIT, W.: Kalkulation. In: Zahlentafeln für den Baubetrieb. S. 1062: Standardisierte Deckenplatten verlegen, alle Größen: 0,25-0,50 Std/m<sup>2</sup>

- f. Betonfertigteil versetzen und montieren: Die Angaben von 0,25 - 0,5 Std/m<sup>2</sup> aus der Literatur<sup>425</sup> können für dieses Bauteil nur bedingt verwendet werden. Auch wenn das dünne Betonbauteil ein vergleichbares Gewicht aufweist, sind die detaillierten Vorgänge beim Versetzen und Montieren zum Teil verschieden. So müssen die Holzbauteile mit den vertikalen Strukturen des Bauwerks verschraubt werden, während das Betonbauteil auf die bereits darunter liegende Holzstruktur gelegt wird. Die Verschraubung mit dieser wird mit einem eigenen Aufwandswert berücksichtigt. Deshalb wird für das Versetzen des Betonbauteils der empfohlene Wert von ausführenden Unternehmen verwendet. Dieser liegt bei 0,20 Std/m<sup>2</sup>.
- g. Verlorene Schalung verlegen und befestigen: Die Literatur gibt folgenden Aufwandswert an: 0,16 Std/m<sup>2</sup><sup>426</sup>. Mitarbeiter von ausführenden Unternehmen können diesen Wert nicht bestätigen, sie gaben einen Wert von 0,38 Std/m<sup>2</sup> an. Für die Kalkulation wird ein durchschnittlicher Aufwandswert von 0,27 Std/m<sup>2</sup> gewählt.
- h. Randschalung herstellen: Laut Aigner<sup>427</sup>, welcher in seiner Arbeit durchschnittliche Aufwandswerte aus der Literatur berechnete, liegt der Aufwandswert für die Herstellung von Randschalungen zwischen 0,59 und 2,50 Std/m<sup>2</sup>. Der ermittelte Durchschnittswert liegt bei 1,47 Std/m<sup>2</sup>. Dieser Wert wird für die Kalkulation in der vorliegenden Arbeit herangezogen.
- i. Abdichtungsfolie zuschneiden, verlegen und befestigen: Die Zahlentafeln für den Baubetrieb geben für das Verlegen von Folien unterschiedliche Werte an. Es wird ein mittlerer Wert von 0,10 Std/m<sup>2</sup><sup>428</sup> verwendet.
- j. Aufstellen Baustützen: 0,025 Std pro Stütze<sup>429</sup>
- k. Schließen der Vergussfuge zwischen Deckenfertigteilen: Für diesen Vorgang konnte in der Literatur kein Aufwandswert gefunden werden. Mitarbeiter von ausführenden Unternehmen empfehlen einen Wert von 0,10 Std/m. Dieser Wert für die Kalkulation herangezogen.

<sup>425</sup> Vgl. a.a.O., S. 1062: Standardisierte Deckenplatten verlegen, alle Größen: 0,25-0,50 Std/m<sup>2</sup>

<sup>426</sup> Vgl. GRAU, H.; NEUENHAGEN, H.: Plümecke - Preisermittlung im Holzbau. S. 137: Oberseitige Beplankung mit OSB-Platten, 22 mm: Zuschneiden und verlegen: 0,16 Std/m<sup>2</sup>

<sup>427</sup> AIGNER, M.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten. Diplomarbeit. S. 136ff.

<sup>428</sup> Vgl. PICK, J.; STREIT, W.: Kalkulation. In: Zahlentafeln für den Baubetrieb. S. 1066: Durchschnittswert aus: Folie lose auslegen (0,005 Std/m<sup>2</sup>), Schutzschicht (0,05-0,08 Std/m<sup>2</sup>) und Dichtungsbahn bituminös, heiß kleben (0,20-0,25 Std/m<sup>2</sup>)

<sup>429</sup> Annahme des Autors: Stütze zum Aufstellungsort bringen: 20 Sekunden, Stütze vorbereiten und ansetzen: 20 Sekunden, Stütze fixieren: 20 Sekunden, Stütze abbauen: 10 Sekunden: Stützen zurückbringen: 20 Sekunden

- l. Schalarbeiten, Decke bis 3,2 m: Für das Schalen werden die von Aigner <sup>430</sup> berechneten Durchschnittswerte aus neun Literaturangaben herangezogen. Als niedrigster Aufwandswert kann 0,41 Std/m<sup>2</sup> und als höchster Wert 0,80 Std/m<sup>2</sup> angegeben werden. Der Durchschnitt beträgt 0,70 Std/m<sup>2</sup>. Bei der Befragung mit Experten konnte ein Wert von 0,50 Std/m<sup>2</sup> ermittelt werden. Für die vorliegende Kalkulation wird ein praxisnaher Wert von 0,55 Std/m<sup>2</sup> verwendet.
- m. Bewehrungsarbeiten, Decke bis 3,2 m: Für die Bewehrungsarbeiten wurde ein Durchschnittswert von 23,70 Std/to aus sieben, von Aigner <sup>431</sup> verwendeten, Literaturquellen gebildet. Die Werte streuen dabei zwischen 14,00 Std/to und 28,98 Std/to. Mitarbeiter von ausführenden Unternehmen gaben einen Aufwandswert von 18,66 Std/to an. Um die beiden Angaben zu berücksichtigen wird ein Durchschnitt gebildet: 21,18 Std/to.
- n. Betonierarbeiten, Decke bis 3,2 m: Der durchschnittliche Aufwandswert von acht Literaturangaben, welcher Aigner <sup>432</sup> in seiner Arbeit analysiert hat, beträgt 1,62 Std/m<sup>3</sup>. Das Minimum der Literaturangaben beträgt dabei 0,55 Std/m<sup>3</sup>, das Maximum 3,73 Std/to. Experten aus der Praxis empfehlen bei Verwendung einer Betonpumpe mit einen Aufwandswert von 0,55 Std/m<sup>3</sup> zu kalkulieren. Hier wird ein praxisnaher Durchschnittswert aus Literaturangaben und Expertenangaben gebildet. Dieser liegt bei 0,80 Std/m<sup>3</sup>.

---

<sup>430</sup> Vgl. AIGNER, M.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten. Diplomarbeit. S. 160f.: Durchschnittswert aller Literaturwerte zu Schalarbeiten an Decken

<sup>431</sup> Vgl. a.a.O., S. 187f.: Durchschnittswert aller Literaturwerte zu Bewehrungsarbeiten an Decken

<sup>432</sup> Vgl. a.a.O., S. 208f.: Durchschnittswert aller Literaturwerte zu Betonarbeiten an Decken

Die zur Kalkulation der verschiedenen Deckensysteme benötigten Aufwandswerte sind in Tabelle 13 zusammengefasst:

Tabelle 13 Zusammenfassung der Aufwandswerte

Bezeichnung	Literatur	Empfehlung	Gewählt	Beschreibung
a	0,10 Std/m <sup>2</sup>	0,26 Std/m <sup>2</sup>	0,18 Std/m <sup>2</sup>	Brettschichtholzträger versetzen und montieren
b	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,15 Std/m <sup>2</sup>	0,20 Std/m <sup>2</sup>	Brettstapelelemente versetzen und montieren
c	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,15 Std/m <sup>2</sup>	0,21 Std/m <sup>2</sup>	Brettsperrholzelemente versetzen und montieren
d	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,25 Std/m <sup>2</sup>	HBV-Rippendeckenelemente versetzen und montieren
e	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,26 Std/m <sup>2</sup>	HBV-Brettstapelelemente versetzen und montieren
f	0,25 Std/m <sup>2</sup>	0,20 Std/m <sup>2</sup>	0,20 Std/m <sup>2</sup>	Betonfertigteile versetzen und montieren
g	0,16 Std/m <sup>2</sup>	0,38 Std/m <sup>2</sup>	0,27 Std/m <sup>2</sup>	Verlorene Schalung verlegen und befestigen
h	1,47 Std/m <sup>2</sup>	-	1,47 Std/m <sup>2</sup>	Randschalung herstellen
i	0,10 Std/m <sup>2</sup>	-	0,10 Std/m <sup>2</sup>	Abdichtungsfolie zuschneiden, verlegen und befestigen
j	-	0,025 Std/Stk	0,025 Std/Stk	Baustützen aufstellen
k	-	0,10 Std/m	0,10 Std/m	Schließen Vergussfuge zwischen Deckenfertigteilen
l	0,70 Std/m <sup>2</sup>	0,50 Std/m <sup>2</sup>	0,55 Std/m <sup>2</sup>	Schalarbeiten, Decke bis 3,2 m
m	23,70 Std/to	18,66 Std/to	21,18 Std/to	Bewehrungsarbeiten, Decke bis 3,2 m
n	1,62 Std/m <sup>3</sup>	0,55 Std/m <sup>3</sup>	0,80 Std/m <sup>3</sup>	Betonierarbeiten, Decke bis 3,2 m

### 3.4.2.8 Leistungswerte

Zur Herstellung der Decken werden zwei Leistungsgeräte eingesetzt: der Mobilkran zum Verladen der Fertigteile und die elektronische Handbohrmaschine zum Einschrauben der *Würth ASSYplus VG* Schrauben. Zur Abschätzung der Leistungswerte dieser Geräte wurden folgende Annahmen getroffen:

- a. Mobilkran: Je nach Fertigtteilgewicht ist der Mobilkran in der Lage, unterschiedlich viele Elemente pro Stunde zu verladen. Der Hersteller *KLH* gibt in seiner Anleitung zur Montage und Installation von Brettsperrholzelementen eine Hubleistung von 3 bis 6 Elementen pro Stunde<sup>433</sup> an. Experten<sup>434</sup> gaben eine Hubleistung von 3 bis 4 Elemente pro Stunde an. Abgeleitet von diesem Wert werden für die vorliegende Kalkulation folgende Werte herangezogen: Holzbalken: 15 pro Stunde, Brettstapelelemente: 5 pro Stunde, Brettsperrholzelemente: 5 pro Stunde, Betonfertigteile: 4 pro Stunde, HBV-Rippendecken Fertigteile: 3 pro Stunde, HBV-Brettstapeldecken Fertigteile: 3 pro Stunde. Als Anfahrts-, Aufstell-, Abbau- und Rückfahrtzeit wird eine Dauer von drei Stunden angenommen. Dieser zweite Kostenfaktor wird pauschal hinzugerechnet.

<sup>433</sup> KLH MASSIVHOLZ GMBH: Montage und Installation. Anleitung. S. 1ff.

<sup>434</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

- b. Elektronische Handbohrmaschine: Ein Arbeiter ist in der Lage 240 Schrauben pro Stunde einzuschrauben.<sup>435</sup> Dieser Wert konnte in Absprache mit ausführenden Unternehmen<sup>436</sup> bestätigt werden.

Die für die Kalkulation benötigten Leistungswerte sind in folgender Tabelle angeführt:

**Tabelle 14 Zusammenfassung Leistungswerte**

Bezeichnung	LW	Beschreibung
a.1	15 Stk/Std	Verladen Holzbalken mit Mobilkran
a.2	5 Stk/Std	Verladen Brettstapelelemente mit Mobilkran
a.3	5 Stk/Std	Verladen Brettsperrholzelemente mit Mobilkran
a.4	4 Stk/Std	Verladen Betonfertigteile mit Mobilkran
a.5	3 Stk/Std	Verladen HBV-Rippendecken Fertigteile mit Mobilkran
a.6	3 Stk/Std	Verladen HBV-Brettstapeldecken Fertigteile mit Mobilkran
b	240 Stk/Std	Elektrische Handbohrmaschine

<sup>435</sup> Annahme des Autors: Schraube nehmen und ansetzen: 4 Sekunden, Bohrer ansetzen: 1 Sekunden, Schraube eindrehen: 10 Sekunden

<sup>436</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

### 3.4.3 HBV-Rippendecken

Mit Hilfe der oben beschriebenen Werte konnten die Kosten und Preise der HBV-Rippendecken folgendermaßen berechnet werden:

Tabelle 15 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: *HBV-Schubverbinder*, Herstellungsmethode: Option C

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken					
Stefan Hölzl	Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
Ausführungsart: Betonier- vorgang auf Baustelle 		Deckenart: HBV - Rippendecke 			
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsschwort, Kostenentwicklung je Einheit		EH	Lohn [€/m²]	Sonstiges [€/m²]	Gesamt [€/m²]
<b>Holzbalken</b>					
<b>Material:</b> Brettschichtholz BSH;					
Gl24h SI; einschließlich HBV Schubverbinder;					
frei Bau;					
Balkenbreite b	0,14	m			
Balkenhöhe h	0,24	m			
Balkenlänge l	6,00	m			
Balkenabstand i	0,63	m			
Materialkosten	57,94	€/m²		57,94	57,94
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;					
Aufandswert AW	0,18	Std/m²			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	6,95		6,95
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;					
Kosten pro Stunde	82,57	€/h			
Leistung, Anzahl Balken pro Stunde	15,00	Stk/h		1,47	1,47
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt					
	0,78	€/m²		0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	3,00	€/m²		3,00	3,00
<b>Verlorene Schalung</b>					
<b>Material:</b> OSB Platte; frei Bau;					
Dicke d	22,00	mm			
Materialverbrauch	0,86	m²/m²			
K4: Lohn	1,55	€/m²	1,33		1,33
K4: Sonstige Kosten	9,74	€/m²		8,38	8,38
<b>Arbeit:</b> Verlegen und befestigen;					
Aufandswert AW	0,27	Std/m²			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	10,43		10,43
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	2,00	€/m²		2,00	2,00
<b>Randschalung</b>					
<b>Arbeit:</b> Randschalung herstellen;					
Schalungsfläche pro m² Deckenfläche	0,03	m²/m²			
Aufandswert AW	1,47	Std/m²			
K3: Mittelohn	35,88	€/Std	1,32		1,32
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m²		0,50	0,50

Die Tabelle wird auf der folgenden Seite fortgesetzt.

<b>Abdichtungsfolie</b>					
<b>Material:</b> PE Baufolie; frei Bau;					
Dicke d	0,20	mm			
K4: Lohn	0,39	€/m <sup>2</sup>	0,39		0,39
K4: Sonstige Kosten	0,51	€/m <sup>2</sup>		0,51	0,51
<b>Arbeit:</b> Zuschneiden, verlegen und befestigen;					
Aufandswert AW	0,10	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	3,86		3,86
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Stützung</b>					
<b>Gerät:</b> Deckenstütze Alu 480; U.1.00.4548;					
Anzahl Stützen pro Balken	2,00	Stk			
Stützen pro m <sup>2</sup>	0,53	Stk/m <sup>2</sup>			
Dauer Stützung	28,00	Tage			
K6: Lohn	1,15	€/Mo	0,57		0,57
K6: Sonstige Kosten	4,59	€/Mo		2,28	2,28
Masse m	0,00	to/Stk			
Transportkosten	18,00	€/to		0,02	0,02
<b>Arbeit:</b> Aufstellen Baustützen;					
Aufandswert AW	0,03	Std/Stk			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	0,48		0,48
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Bewehrung</b>					
<b>Material:</b> Baustahlmatte CQS 60; frei Bau;					
Masse m	3,11	kg/m <sup>2</sup>			
K4: Lohn	17,94	€/to	0,06		0,06
K4: Sonstige Kosten	840,18	€/to		2,61	2,61
<b>Arbeit:</b> Bewehrungsarbeiten;					
Aufandswert AW	21,18	Std/to			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	2,36		2,36
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	1,50	€/m <sup>2</sup>		1,50	1,50
<b>Beton</b>					
<b>Material:</b> Beton C25/30 XC1; frei Bau;					
Fahrnischer mit Betonpumpe;					
Betondicke d	0,06	m			
Materialkosten	97,36	€/m <sup>3</sup>		5,84	5,84
<b>Arbeit:</b> Betonierarbeiten;					
Aufandswert AW	0,80	Std/m <sup>3</sup>			
K3: Mittelohn	35,88	€/Std	1,72		1,72
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	1,00	€/m <sup>2</sup>		1,00	1,00
<b>Summe Kosten</b>					<b>118,32</b>
Gesamtzuschlag	12,99	%			<b>15,37</b>
Einheitspreis EP					<b>133,69</b>

Tabelle 16 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Kerne,  
Herstellungsmethode: Option C

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken						
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
Ausführungsart: Betonier- vorgang auf Baustelle			Deckenart: HBV - Rippendecke 			
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstichwort, Kostenentwicklung je Einheit			EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt €/m <sup>2</sup>
<b>Holzbalken</b>						
<b>Material:</b> Brettschichtholz BSH;						
Gl24h SI; einschließlich Kerfen; frei Bau;						
Balkenbreite b	0,14	m				
Balkenhöhe h	0,24	m				
Balkenlänge l	6,00	m				
Balkenabstand i	0,63	m				
Materialkosten	483,77	€/m <sup>3</sup>		26,01		26,01
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;						
Aufandswert AW	0,18	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		6,95		6,95
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;						
Kosten pro Stunde	82,57	€/h				
Leistung, Anzahl Balken pro Stunde	15,00	Stk/h		1,47		1,47
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt	0,78	€/m <sup>2</sup>		0,78		0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	3,00	€/m <sup>2</sup>		3,00		3,00
<b>Verlorene Schalung</b>						
<b>Material:</b> OSB Platte; frei Bau;						
Dicke d	22,00	mm				
Materialverbrauch	0,86	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>				
K4: Lohn	1,55	€/m <sup>2</sup>		1,33		1,33
K4: Sonstige Kosten	9,74	€/m <sup>2</sup>		8,38		8,38
<b>Arbeit:</b> Zuschneiden und verlegen;						
Aufandswert AW	0,27	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		10,43		10,43
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	2,00	€/m <sup>2</sup>		2,00		2,00
<b>Randschalung</b>						
<b>Arbeit:</b> Randschalung herstellen;						
Schalungsfläche pro m <sup>2</sup> Deckenfläche	0,03	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>				
Aufandswert AW	1,47	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittelohn	35,88	€/Std		1,32		1,32
<b>Diverses Material:</b>						
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50		0,50
<b>Abdichtungsfolie</b>						
<b>Material:</b> PE Baufolie; frei Bau;						
Dicke d	0,20	mm				
K4: Lohn	0,39	€/m <sup>2</sup>		0,39		0,39
K4: Sonstige Kosten	0,51	€/m <sup>2</sup>		0,51		0,51
<b>Arbeit:</b> Zuschneiden, verlegen und befestigen;						
Aufandswert AW	0,10	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		3,86		3,86
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50		0,50

Die Tabelle wird auf der folgenden Seite fortgesetzt.

<b>Abhebesicherung</b>					
<b>Material:</b> Zugbeanspruchte Schrauben; frei Bau;					
Anzahl Kerven pro Balken	6,00				
Abstand Balken	0,63	m			
Balkenlänge	6,00	m			
K4: Sonstige Kosten	0,97	€/Stk		1,55	1,55
<b>Arbeit und Gerät:</b>					
Elektrohandbohrmaschine; W.O.14.0013;					
Nutzleistung	240,00	Stk/h			
K6E: Lohn	42,52	€/h	0,28		0,28
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h		0,00	0,00
<b>Stützung</b>					
<b>Gerät:</b> Deckenstütze Alu 480; U.1.00.4548;					
Anzahl Stützen pro Balken	2,00	Stk			
Stützen pro m <sup>2</sup>	0,53	Stk/m <sup>2</sup>			
Dauer Stützung	28,00	Tage			
K6: Lohn	1,15	€/Mo	0,57		0,57
K6: Sonstige Kosten	4,59	€/Mo		2,28	2,28
Masse m	0,00	to/Stk			
Transportkosten	18,00	€/to		0,02	0,02
<b>Arbeit:</b> Aufstellen Baustützen;					
Aufwandswert AW	0,03	Std/Stk			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	0,48		0,48
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Bewehrung</b>					
<b>Material:</b> Baustahlmatte CQS 60; frei Bau;					
Masse m	3,11	kg/m <sup>2</sup>			
K4: Lohn	17,94	€/to	0,06		0,06
K4: Sonstige Kosten	840,18	€/to		2,61	2,61
<b>Arbeit:</b> Bewehrungsarbeiten;					
Aufwandswert AW	21,18	Std/to			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	2,36		2,36
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	1,50	€/m <sup>2</sup>		1,50	1,50
<b>Beton</b>					
<b>Material:</b> Beton C25/30 XC1; frei Bau;					
Fahrnischer mit Betonpumpe;					
Betondicke d	0,06	m			
Materialkosten	97,36	€/m <sup>3</sup>		5,84	5,84
<b>Arbeit:</b> Betonierarbeiten;					
Aufwandswert AW	0,80	Std/m <sup>3</sup>			
K3: Mittelohn	35,88	€/Std	1,72		1,72
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	1,00	€/m <sup>2</sup>		1,00	1,00
Summe Kosten					<b>88,22</b>
Gesamtzuschlag	12,99	%			<b>11,46</b>
Einheitspreis EP					<b>99,68</b>

Tabelle 17 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Würth ASSYplus  
VG Schrauben, Herstellungsmethode: Option B

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken						
Stefan Hölzl	Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 			
Ausführungsart: Fertigteile auf Baustelle verbinden			Deckenart: HBV - Rippendecke			
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstichwort, Kostenentwicklung je Einheit			EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt [€/m <sup>2</sup> ]
<b>Holzbalken</b>						
<b>Material:</b> Brettschichtholz BSH;						
Gl24h SI; frei Bau;						
Balkenbreite b	0,14	m				
Balkenhöhe h	0,24	m				
Balkenlänge l	6,00	m				
Balkenabstand i	0,63	m				
Materialkosten	416,67	€/m <sup>3</sup>			22,40	22,40
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;						
Aufandswert AW	0,18	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		6,95		6,95
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;						
Kosten pro Stunde	82,57	€/h				
Leistung, Anzahl Balken pro Stunde	15,00	Stk/h			1,47	1,47
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt						
	0,78	€/m <sup>2</sup>			0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	3,00	€/m <sup>2</sup>			3,00	3,00
<b>Stützung</b>						
<b>Gerät:</b> Deckenstütze Alu 480; U.1.00.4548;						
Anzahl Stützen pro Balken	2,00	Stk				
Stützen pro m <sup>2</sup>	0,53	Stk/m <sup>2</sup>				
Dauer Stützung	1,00	Tage				
K6: Lohn	1,15	€/Mo		0,02		0,02
K6: Sonstige Kosten	4,59	€/Mo			0,08	0,08
Masse m	0,00	to/Stk				
Transportkosten	18,00	€/to			0,02	0,02
<b>Arbeit:</b> Aufstellen Baustützen;						
Aufandswert AW	0,03	Std/Stk				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		0,52		0,52
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>			0,50	0,50

Die Tabelle wird auf der folgenden Seite fortgesetzt.

<b>Betonfertigteil</b>				
<b>Material:</b> Betonfertigteil mit FT Verbindern; C25/30 XC1; frei Bau; Matte CSQ 60;				
Fertigteilstärke d	0,07	m		
Fertigteillänge l	6,00	m		
Fertigteilbreite b	2,00	m		
Bauteilkosten lt. Angebot	38,54	€/m <sup>2</sup>	38,54	38,54
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;				
Aufwandswert AW	0,20	Std/m <sup>2</sup>		
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	7,73	7,73
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;				
Kosten pro Stunde	82,57	€/h		
Leistung, Anzahl Fertigteile pro Stunde	4,00	Stk/h	1,72	1,72
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt				
	0,78	€/m <sup>2</sup>	0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>				
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>	0,50	0,50
<b>Verbindungsmittel</b>				
<b>Material:</b> Schrauben Würth ASSYplus VG 8x260 frei Bau;				
Schraubendichte laut statischer Berechnung	20,00	Stk/m <sup>2</sup>		
K4: Sonstige Kosten	0,97	€/Stk	19,40	19,40
<b>Arbeit und Gerät:</b>				
Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;				
Nutzleistung	240,00	Stk/h		
K6E: Lohn	42,52	€/h	3,54	3,54
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h	0,01	0,01
<b>Fugen verschließen</b>				
<b>Material:</b> Vergussmörtel; frei Bau;				
Fugenbreite b	0,02	m		
Fugendicke d	0,07	m		
Fertigteilbreite	2,00	m		
Mörtelverbrauch pro Liter Hohlraum	1,80	kg/l HR		
K4: Lohn	1,55	€/kg	1,95	1,95
K4: Sonstige Kosten	1,01	€/kg	1,27	1,27
<b>Arbeit:</b> Schließen Vergussfuge;				
Aufwandswert AW	0,10	Std/m		
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	1,93	1,93
<b>Diverses Montagematerial:</b>				
Materialkosten	1,00	€/m <sup>2</sup>	1,00	1,00
Summe Kosten				114,11
Gesamtzuschlag	12,99	%		14,82
Einheitspreis EP				128,94

Tabelle 18 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: *HBV-Schubverbinder*, Herstellungsmethode: Option A

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken						
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
Ausführungsart: Gesamte Decke als Fertigteil			Deckenart: HBV - Rippendecke			
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstichwort, Kostenentwicklung je Einheit			EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt [€/m <sup>2</sup> ]
<b>Fertigteil</b>						
<b>Material:</b> HBV - Rippendecke als Fertigteil mit HBV Schubverbindern; frei Bau;						
Holz: Brettschichtholz BSH; Gl24h SI;						
Balkenbreite b		0,14	m			
Balkenhöhe h		0,24	m			
Balkenabstand i		0,63	m			
Balkenlänge l		6,00	m			
Beton: C25/30 XC1;						
Betondicke d		0,06	m			
Betonbreite b		2,00	m			
Bewehrung: Matte CSQ60;						
Masse m		3,11	kg/m <sup>2</sup>			
Bauteilkosten lt. Angebot		100,84	€/m <sup>2</sup>		100,84	100,84
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;						
Kosten pro Stunde		82,57	€/h			
Leistung, Anzahl Fertigteile pro Stunde		3,00	Stk/h		2,29	2,29
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt						
		0,78	€/m <sup>2</sup>		0,78	0,78
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;						
Aufwandswert AW		0,25	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn ML		38,63	€/Std	9,66		9,66
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten		3,00	€/m <sup>2</sup>		3,00	3,00
<b>Fugen verschließen</b>						
<b>Material:</b> Vergussmörtel; frei Bau;						
Fugenbreite b		0,02	m			
Fugendicke d		0,06	m			
Fertigteilbreite		2,00	m			
Mörtelverbrauch pro Liter Hohlraum						
		1,80	kg/l HR			
K4: Lohn		1,55	€/kg	1,67		1,67
K4: Sonstige Kosten		1,01	€/kg		1,09	1,09
<b>Arbeit:</b> Schließen Vergussfuge;						
Aufwandswert AW		0,10	Std/m			
K3: Mittelohn ML		38,63	€/Std	1,93		1,93
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten		1,00	€/m <sup>2</sup>		1,00	1,00
Summe Kosten						
						122,27
Gesamtzuschlag						
		12,99	%			15,88
Einheitspreis EP						
						138,15

### 3.4.4 HBV-Brettstapeldecken

Die Kosten und Preise der HBV-Brettstapeldecken ergeben sich folgendermaßen:

Tabelle 19 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: HBV-  
Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option C

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken					
Stefan Hölzl	Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
Ausführungsart: Betonier- vorgang auf Baustelle			Deckenart: HBV - Brettstapeldecke 		
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsstichwort, Kostenentwicklung je Einheit		EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt [€/m <sup>2</sup> ]
<b>Brettstapelelement</b>					
<b>Material:</b> Brettstapelelement; GI24h SI; mit					
Elementverbindung; einschließlich					
HBV Schubverbindern; frei Bau;					
Elementbreite b	2,00	m			
Elementlänge l	6,00	m			
Elementdicke d	0,16	m			
Materialkosten	125,32	€/m <sup>2</sup>		125,32	125,32
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;					
Aufwandswert AW	0,20	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	7,73		7,73
<b>Arbeit und Gerät:</b> Stufenfalz verbinden;					
Elektrohandbohrmaschine; W.O.14.0013;					
Schraubenabstand	0,20	m			
Nutzleistung	240,00	Stk/h			
K6E: Lohn	42,52	€/h	0,44		0,44
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h		0,00	0,00
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;					
Kosten pro Stunde	82,57	€/h			
Leistung, Anzahl Elemente pro Stunde	5,00	Stk/h		1,38	1,38
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt					
	0,78	€/m <sup>2</sup>		0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	3,00	€/m <sup>2</sup>		3,00	3,00
<b>Randschalung</b>					
<b>Arbeit:</b> Randschalung herstellen;					
Schalungsfläche pro m <sup>2</sup> Deckenfläche	0,03	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>			
Aufwandswert AW	1,47	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn	35,88	€/Std	1,32		1,32
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Abdichtungsfolie</b>					
<b>Material:</b> PE Baufolie; frei Bau;					
Dicke d	0,20	mm			
K4: Lohn	0,39	€/m <sup>2</sup>	0,39		0,39
K4: Sonstige Kosten	0,51	€/m <sup>2</sup>		0,51	0,51
<b>Arbeit:</b> Zuschneiden, verlegen und befestigen;					
Aufwandswert AW	0,10	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	3,86		3,86
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50

Die Tabelle wird auf der folgenden Seite fortgesetzt.

<b>Stützung</b>					
<b>Gerät:</b> Deckenstütze Alu 480; U.1.00.4548;					
Anzahl Stützen pro Element	2,00	Stk			
Abstand Stützen quer	1,00	m			
Elementlänge l	6,00	m			
Stützen pro m <sup>2</sup>	0,33	Stk/m <sup>2</sup>			
Dauer Stützung	28,00	Tage			
K6: Lohn	1,15	€/Mo	0,36		0,36
K6: Sonstige Kosten	4,59	€/Mo		1,43	1,43
Masse m	0,00	to/Stk			
Transportkosten	18,00	€/to		0,01	0,01
<b>Arbeit:</b> Aufstellen Baustützen;					
Aufwandswert AW	0,03	Std/Stk			
K3: Mittellohn ML	35,88	€/Std	0,30		0,30
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Bewehrung</b>					
<b>Material:</b> Baustahlmatte CQS 60; frei Bau;					
Masse m	3,11	kg/m <sup>2</sup>			
K4: Lohn	17,94	€/to	0,06		0,06
K4: Sonstige Kosten	840,18	€/to		2,61	2,61
<b>Arbeit:</b> Bewehrungsarbeiten;					
Aufwandswert AW	21,18	Std/to			
K3: Mittellohn ML	35,88	€/Std	2,36		2,36
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	1,50	€/m <sup>2</sup>		1,50	1,50
<b>Beton</b>					
<b>Material:</b> Beton C25/30 XC1; frei Bau;					
Fahrnischer mit Betonpumpe;					
Betondicke d	0,06	m			
Materialkosten	97,36	€/m <sup>3</sup>		5,84	5,84
<b>Arbeit:</b> Betonierarbeiten;					
Aufwandswert AW	0,80	Std/m <sup>3</sup>			
K3: Mittellohn ML	35,88	€/Std	1,72		1,72
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	1,00	€/m <sup>2</sup>		1,00	1,00
Summe Kosten					<b>163,42</b>
Gesamtzuschlag	12,99	%			<b>21,23</b>
Einheitspreis EP					<b>184,65</b>

Tabelle 20 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerne,  
Herstellungsmethode: Option C

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken					
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 	
Ausführungsart: Betonier- vorgang auf Baustelle 			Deckenart: HBV - Brettstapeldecke 		
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstichwort, Kostenentwicklung je Einheit		EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt [€/m <sup>2</sup> ]
<b>Brettstapelelement</b>					
<b>Material:</b> Brettstapelelement; Gl24h SI; mit Elementverbindung; einschließlich Kerven; frei Bau;					
Elementbreite b	2,00	m			
Elementlänge l	6,00	m			
Elementdicke d	0,16	m			
Materialkosten	83,68	€/m <sup>2</sup>		83,68	83,68
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;					
Aufandswert AW	0,20	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	7,73		7,73
<b>Arbeit und Gerät:</b> Stufenfalz verbinden; Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;					
Schraubenabstand	0,20	m			
Nutzleistung	240,00	Stk/h			
K6E: Lohn	42,52	€/h	0,44		0,44
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h		0,00	0,00
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;					
Kosten pro Stunde	82,57	€/h			
Leistung, Anzahl Elemente pro Stunde	5,00	Stk/h		1,38	1,38
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt	0,78	€/m <sup>2</sup>		0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	3,00	€/m <sup>2</sup>		3,00	3,00
<b>Randschalung</b>					
<b>Arbeit:</b> Randschalung herstellen;					
Schalungsfläche pro m <sup>2</sup> Deckenfläche	0,03	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>			
Aufandswert AW	1,47	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn	35,88	€/Std	1,32		1,32
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Abdichtungsfolie</b>					
<b>Material:</b> PE Baufolie; frei Bau;					
Dicke d	0,20	mm			
K4: Lohn	0,39	€/m <sup>2</sup>	0,39		0,39
K4: Sonstige Kosten	0,51	€/m <sup>2</sup>		0,51	0,51
<b>Arbeit:</b> Zuschneiden, verlegen und befestigen;					
Aufandswert AW	0,10	Std/m <sup>2</sup>			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	3,86		3,86
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50

Die Tabelle wird auf der folgenden Seite fortgesetzt.

<b>Abhebesicherung</b>					
<b>Material:</b> Zugbeanspruchte Schrauben; frei Bau;					
Anzahl Kerfen pro Balken	6,00				
Abstand Schrauben	0,40	m			
Elementlänge l	6,00	m			
K4: Sonstige Kosten	0,97	€/Stk		2,43	2,43
<b>Arbeit und Gerät:</b>					
Elektrohandbohrmaschine; W.O.14.0013;					
Nutzleistung	240,00	Stk/h			
K6E: Lohn	42,52	€/h	0,44		0,44
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h		0,00	0,00
<b>Stützung</b>					
<b>Gerät:</b> Deckenstütze Alu 480; U.1.00.4548;					
Anzahl Stützen pro Element	2,00	Stk			
Abstand Stützen quer	1,00	m			
Elementlänge l	6,00	m			
Stützen pro m <sup>2</sup>	0,33	Stk/m <sup>2</sup>			
Dauer Stützung	28,00	Tage			
K6: Lohn	1,15	€/Mo	0,36		0,36
K6: Sonstige Kosten	4,59	€/Mo		1,43	1,43
Masse	0,00	to/Stk			
Transportkosten	18,00	€/to		0,01	0,01
<b>Arbeit:</b> Aufstellen Baustützen;					
Aufwandswert AW	0,03	Std/Stk			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	0,30		0,30
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>		0,50	0,50
<b>Bewehrung</b>					
<b>Material:</b> Baustahlmatte CQS 60; frei Bau;					
Masse m	3,11	kg/m <sup>2</sup>			
K4: Lohn	17,94	€/to	0,06		0,06
K4: Sonstige Kosten	840,18	€/to		2,61	2,61
<b>Arbeit:</b> Bewehrungsarbeiten;					
Aufwandswert AW	21,18	Std/to			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	2,36		2,36
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	1,50	€/m <sup>2</sup>		1,50	1,50
<b>Beton</b>					
<b>Material:</b> Beton C25/30 XC1; frei Bau;					
Fahrnischer mit Betonpumpe;					
Betondicke d	0,06	m			
Materialkosten	97,36	€/m <sup>3</sup>		5,84	5,84
<b>Arbeit:</b> Betonierarbeiten;					
Aufwandswert AW	0,80	Std/m <sup>3</sup>			
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	1,72		1,72
<b>Diverses Material:</b>					
Materialkosten	1,00	€/m <sup>2</sup>		1,00	1,00
<b>Summe Kosten</b>					<b>124,65</b>
Gesamtzuschlag	12,99	%			<b>16,19</b>
<b>Einheitspreis EP</b>					<b>140,84</b>

Tabelle 21 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Würth ASSYplus VG Schrauben, Herstellungsmethode: Option B

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken						
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
Ausführungsart: Fertigteile auf Baustelle verbinden			Deckenart: HBV - Brettstapeldecke 			
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsschwort, Kostenentwicklung je Einheit			EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt [€/m <sup>2</sup> ]
<b>Brettstapelelement</b>						
<b>Material:</b> Brettstapelelement; GI24h SI; mit						
Elementverbindung; frei Bau;						
Elementbreite b	2,00	m				
Elementlänge l	6,00	m				
Elementdicke d	0,16	m				
Materialkosten lt. Angebot	73,78	€/m <sup>2</sup>			73,78	73,78
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;						
Aufandswert AW	0,20	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		7,73		7,73
<b>Arbeit und Gerät:</b> Stufenfalz verbinden;						
Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;						
Schraubenabstand	0,20	m				
Nutzleistung	240,00	Stk/h				
K6E: Lohn	42,52	€/h		0,44		0,44
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h			0,00	0,00
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;						
Kosten pro Stunde	82,57	€/h				
Leistung, Anzahl Balken pro Stunde	5,00	Stk/h			1,38	1,38
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt						
	0,78	€/m <sup>2</sup>			0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	3,00	€/m <sup>2</sup>			3,00	3,00
<b>Stützung</b>						
<b>Gerät:</b> Deckenstütze Alu 480; U.1.00.4548;						
Anzahl Stützen pro Balken	2,00	Stk				
Abstand Stützen quer	1,00	m				
Elementlänge l	6,00	m				
Stützen pro m <sup>2</sup>	0,33	Stk/m <sup>2</sup>				
Dauer Stützung	1,00	Tage				
K6: Lohn	1,15	€/Mo		0,01		0,01
K6: Sonstige Kosten	4,59	€/Mo			0,05	0,05
Masse m	0,00	to/Stk				
Transportkosten	18,00	€/to			0,01	0,01
<b>Arbeit:</b> Aufstellen Baustützen;						
Aufandswert AW	0,03	Std/Stk				
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std		0,32		0,32
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>			0,50	0,50

Die Tabelle wird auf der folgenden Seite fortgesetzt.

<b>Betonfertigteil</b>				
<b>Material:</b> Betonfertigteil mit FT Verbindern;				
C25/30 XC1; frei Bau; Matte CSQ 80;				
Fertigteilicke d	0,07	m		
Fertigteilbreite b	2,00	m		
Fertigteillänge l	6,00	m		
Bauteilkosten lt. Angebot	38,54	€/m <sup>2</sup>	38,54	38,54
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;				
Aufandswert AW	0,20	Std/m <sup>2</sup>		
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	7,73	7,73
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;				
Kosten pro Stunde	82,57	€/h		
Leistung, Anzahl Fertigteile pro Stunde	4,00	Stk/h	1,72	1,72
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt				
	0,78	€/m <sup>2</sup>	0,78	0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>				
Materialkosten	0,50	€/m <sup>2</sup>	0,50	0,50
<b>Verbindungsmittel</b>				
<b>Material:</b> Schrauben Würth ASSYplus VG 8x240;				
frei Bau;				
Schraubendichte laut statischer Berechnung	25,00	Stk/m <sup>2</sup>		
Materialkosten	0,97	€/Stk	24,25	24,25
<b>Arbeit und Gerät:</b>				
Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;				
Nutzleistung	240,00	Stk/h		
K6E: Lohn	42,52	€/h	4,43	4,43
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h	0,01	0,01
<b>Fugen verschließen</b>				
<b>Material:</b> Vergussmörtel; frei Bau;				
Fugenbreite b	0,02	m		
Fugendicke d	0,07	m		
Fertigteilbreite	2,00	m		
Mörtelverbrauch pro Liter Hohlraum	1,80	kg/l HR		
K4: Lohn	1,55	€/kg	1,95	1,95
K4: Sonstige Kosten	1,01	€/kg	1,27	1,27
<b>Arbeit:</b> Schließen Vergussfuge;				
Aufandswert AW	0,10	Std/m		
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	1,93	1,93
<b>Diverses Montagematerial:</b>				
Materialkosten	1,00	€/m <sup>2</sup>	1,00	1,00
<b>Summe Kosten</b>				
				<b>172,11</b>
<b>Gesamtzuschlag</b>				
	12,99	%		<b>22,36</b>
<b>Einheitspreis EP</b>				
				<b>194,47</b>

Tabelle 22 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: HBV- Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option A

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken					
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 	
Ausführungsart: Gesamte Decke als Fertigteil			Deckenart: HBV - Brettstapeldecke 		
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstichwort, Kostenentwicklung je Einheit		EH	Lohn [€/m²]	Sonstiges [€/m²]	Gesamt [€/m²]
<b>Fertigteil</b>					
<b>Material:</b> HBV - Brettstapeldecke als Fertigteil					
mit HBV Schubverbindern; frei Bau;					
Holz: Brettstapelelemente; Gl24h SI;					
mit Elementverbindung;					
Holzhöhe h	0,16	m			
Holzbreite b	2,00	m			
Beton: C25/30 XC1;					
Betondicke d	0,06	m			
Betonbreite b	2,00	m			
Bewehrung: Matte CSQ60;					
Masse m	3,11	kg/m²			
Bauteilkosten lt. Angebot	153,81	€/m²		153,81	153,81
<b>Arbeit und Gerät:</b> Stufenfalz verbinden;					
Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;					
Schraubenabstand	0,20	m			
Nutzleistung	240,00	Stk/h			
K6E: Lohn	42,52	€/h	0,44		0,44
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h		0,00	0,00
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;					
Kosten pro Stunde	82,57	€/h			
Breite Fertigteil	2,00	m			
Länge Fertigteil	6,00	m			
Leistung, Anzahl Fertigteile pro Stunde	3,00	Stk/h		2,29	2,29
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt					
	0,78	€/m²		0,78	0,78
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;					
Aufandswert AW	0,26	Std/m²			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	10,04		10,04
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	3,00	€/m²		3,00	3,00
<b>Fugen verschließen</b>					
<b>Material:</b> Vergussmörtel; frei Bau;					
Fugenbreite b	0,02	m			
Fugendicke d	0,06	m			
Fertigteilbreite	2,00	m			
Mörtelverbrauch pro Liter Hohlraum	1,80	kg/l HR			
K4: Lohn	1,55	€/kg	1,67		1,67
K4: Sonstige Kosten	1,01	€/kg		1,09	1,09
<b>Arbeit:</b> Schließen Vergussfuge;					
Aufandswert AW	0,10	Std/m			
K3: Mittelohn ML	38,63	€/Std	1,93		1,93
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten	1,00	€/m²		1,00	1,00
Summe Kosten					<b>176,07</b>
Gesamtzuschlag					<b>22,87</b>
Einheitspreis EP					<b>198,94</b>

Tabelle 23 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerne,  
Herstellungsmethode: Option A

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken					
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement	
Ausführungsart: Gesamte Decke als Fertigteil			Deckenart: HBV - Brettstapeldecke		
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsstichwort, Kostenentwicklung je Einheit			EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]
<b>Fertigteil</b>					
<b>Material:</b> HBV - Brettstapeldecke als Fertigteil;					
Verbund über Kerne; frei Bau;					
Holz: Brettstapelelemente; Gl24h SI; mit Elementverbindung;					
Holzhöhe h			0,16 m		
Holzbreite b			2,00 m		
Beton: C25/30 XC1;					
Betondicke d			0,06 m		
Betonbreite b			2,00 m		
Bewehrung: Matte CSQ60;					
Masse m			3,11 kg/m <sup>2</sup>		
Bauteilkosten lt. Angebot			122,89 €/m <sup>2</sup>	122,89	122,89
<b>Arbeit und Gerät:</b> Stufenfalz verbinden; Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;					
Schraubenabstand			0,20 m		
Nutzleistung			240,00 Stk/h		
K6E: Lohn			42,52 €/h	0,44	0,44
K6E: Sonstige Kosten			0,06 €/h	0,00	0,00
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;					
Kosten pro Stunde			82,57 €/h		
Breite Fertigteil			2,00 m		
Länge Fertigteil			6,00 m		
Leistung, Anzahl Fertigteile pro Stunde			3,00 Stk/h	2,29	2,29
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau und Rückfahrt			0,78 €/m <sup>2</sup>	0,78	0,78
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;					
Aufwandswert AW			0,26 Std/m <sup>2</sup>		
K3: Mittelohn ML			38,63 €/Std	10,04	10,04
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten			3,00 €/m <sup>2</sup>	3,00	3,00
<b>Fugen verschließen</b>					
<b>Material:</b> Vergussmörtel; frei Bau;					
Fugenbreite b			0,02 m		
Fugendicke d			0,06 m		
Fertigteilbreite			2,00 m		
Mörtelverbrauch pro Liter Hohlraum			1,80 kg/l HR		
K4: Lohn			1,55 €/kg	1,67	1,67
K4: Sonstige Kosten			1,01 €/kg	1,09	1,09
<b>Arbeit:</b> Schließen Vergussfuge;					
Aufwandswert AW			0,10 Std/m		
K3: Mittelohn ML			38,63 €/Std	1,93	1,93
<b>Diverses Montagematerial:</b>					
Materialkosten			1,00 €/m <sup>2</sup>	1,00	1,00
Summe Kosten					145,15
Gesamtzuschlag			12,99 %		18,85
Einheitspreis EP					164,00

### 3.4.5 Stahlbetondecke

Mit den dargelegten Kostenkomponenten, Aufwands- und Leistungswerten ergeben sich die Kosten zur Herstellung einer Stahlbetondecke folgendermaßen:

Tabelle 24 Stahlbetondecke

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken						
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
				Deckenart: Stahlbetondecke 		
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstschwort, Kostenentwicklung je Einheit		EH	Lohn [€/m²]	Sonstiges [€/m²]	Gesamt [€/m²]	
<b>Schalen</b>						
<b>Gerät:</b> Rahmenelement Alu Länge 0,76 - 1,20m;						
U.0.29.1136; Inklusive Träger und Stützen;						
Ausschfrist	28,00	Tage				
K6: Lohn	0,99	€/Mo	0,92			0,92
K6: Sonstige Kosten	4,75	€/Mo		4,43		4,43
Masse m	0,00	to/m²				
Transportkosten	18,00	€/to		0,05		0,05
<b>Material:</b> Schalöl; frei Bau;						
Materialbedarf	0,03	l/m²				
K4: Lohn	0,36	€/l	0,01			0,01
K4: Sonstige Kosten	3,86	€/l		0,10		0,10
<b>Arbeit:</b> Schalen, Decke bis 3,2m;						
Aufandswert AW	0,55	Std/m²				
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	19,73			19,73
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	2,00	€/m²		2,00		2,00
<b>Bewehren</b>						
<b>Material:</b> Stabstahl B550; frei Bau;						
Bewehrungsgrad	85,00	kg/m³				
Deckendicke d	0,25	m				
K4: Lohn	134,55	€/to	2,86			2,86
K4: Sonstige Kosten	786,64	€/to		16,72		16,72
<b>Arbeit:</b> Bewehren, Decke bis 3,2m;						
Aufandswert AW	21,18	Std/to				
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	16,15			16,15
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	1,50	€/m²		1,50		1,50
<b>Beton</b>						
<b>Material:</b> Beton C25/30 XC1; frei Bau;						
Fahrnischer;						
Betondicke d	0,25	m				
Materialkosten	84,29	€/m³		21,07		21,07
<b>Arbeit:</b> Betonieren, Decke bis 3,2m;						
Aufandswert AW	0,80	Std/m³				
K3: Mittelohn ML	35,88	€/Std	7,18			7,18
<b>Diverses Material:</b>						
Materialkosten	2,00	€/m²		2,00		2,00
<b>Summe Kosten</b>						
						<b>94,71</b>
<b>Gesamtzuschlag</b>						
12,99 %						<b>12,30</b>
<b>Einheitspreis EP</b>						
						<b>107,02</b>

### 3.4.6 Brettsperrholzdecke

Die Berechnung des Preises für eine Brettsperrholzdecke mit den berechneten Dimensionen ist in Tabelle 25 dargestellt:

Tabelle 25 Brettsperrholzdecke

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken						
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 		
				Deckenart: Brettsperrholzdecke 		
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsstichwort, Kostenwicklung je Einheit		EH	Lohn [€/m <sup>2</sup> ]	Sonstiges [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamt [€/m <sup>2</sup> ]	
<b>Brettsperrholzelement</b>						
<b>Material:</b> Brettsperrholzelement C24 S1; mit						
Elementverbindung; frei Bau;						
Elementbreite b	2,00	m				
Elementlänge l	6,00	m				
Elementdicke d	0,23	m				
Materialkosten	117,21	€/m <sup>2</sup>		117,21		117,21
<b>Arbeit:</b> Versetzen und montieren;						
Aufandswert AW	0,21	Std/m <sup>2</sup>				
K3: Mittellohn ML	38,63	€/Std	8,11			8,11
<b>Arbeit und Gerät:</b> Stufenfalz verbinden;						
Elektrohandbohrmaschine; W.0.14.0013;						
Schraubenabstand	0,20	m				
Nutzleistung	240,00	Stk/h				
K6E: Lohn	42,52	€/h	0,44			0,44
K6E: Sonstige Kosten	0,06	€/h		0,00		0,00
<b>Gerät:</b> Autokran mit Teleskopausleger;						
Kosten pro Stunde	82,57	€/h				
Leistung, Anzahl Elemente pro Stunde	5,00	El./h		1,38		1,38
Pauschale für Anfahrt, Aufbau, Abbau						
und Rückfahrt	0,78	€/m <sup>2</sup>		0,78		0,78
<b>Diverses Montagematerial:</b>						
Materialkosten	3,00	€/m <sup>2</sup>		3,00		3,00
<b>Summe Kosten</b>						
Gesamtzuschlag	12,99	%				17,01
<b>Einheitspreis EP</b>						
						147,93

### 3.4.7 Zusammenfassung der Kalkulationsergebnisse

Die kalkulierten Preise der verschiedenen Decken können mit folgender Tabelle zusammengefasst werden:

Tabelle 26 Zusammenfassung der Kalkulationsergebnisse

Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken				
Stefan Hölzl		Preisermittlung K7		<small>institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement</small> 
Deckenart		Verbindungs- mittel	Herstellungs- methode	Kosten [€/m <sup>2</sup> ]
HBV-Decken	Rippendecke	HBV-Schubverbinder	Option C	133,69
	Rippendecke	Kerve	Option C	99,68
	Rippendecke	Würth ASSYplus VG	Option B	128,94
	Rippendecke	HBV-Schubverbinder	Option A	138,15
	Brettstapeldecke	HBV-Schubverbinder	Option C	184,65
	Brettstapeldecke	Kerve	Option C	140,84
	Brettstapeldecke	Würth ASSYplus VG	Option B	194,47
	Brettstapeldecke	HBV-Schubverbinder	Option A	198,94
	Brettstapeldecke	Kerve	Option A	164,00
Stahlbetondecke		-	-	107,02
Brettsperrholzdecke		-	-	147,93

### 3.5 Wirtschaftliche Gegenüberstellung

In diesem Kapitel werden die kalkulierten Preise ausgewertet. In einem ersten Schritt werden die einzelnen HBV-Decken untereinander verglichen und dann werden deren Preise jenen der Stahlbetondecke und der Brettspertholzdecke gegenübergestellt.

#### 3.5.1 Vergleich der HBV-Deckensysteme untereinander

Zur Auswertung der in Kapitel 3.4.3 und 3.4.4 kalkulierten Deckenpreise werden zunächst die HBV-Rippendecken und die HBV-Brettstapeldecken untereinander verglichen. Die untersuchten HBV-Decken unterscheiden sich in drei Punkten: der Art des Holzbauteils, der Herstellungsmethode und dem Verbindungsmittel. In einem zweiten Schritt wird erläutert, wie sich die Preise verändern, wenn sich jeweils einer dieser Faktoren verändert.

##### 3.5.1.1 HBV-Rippendecken

In der nachfolgenden Abbildung sind die Einheitspreise für einen Quadratmeter Deckenfläche der HBV-Rippendecken dargestellt:

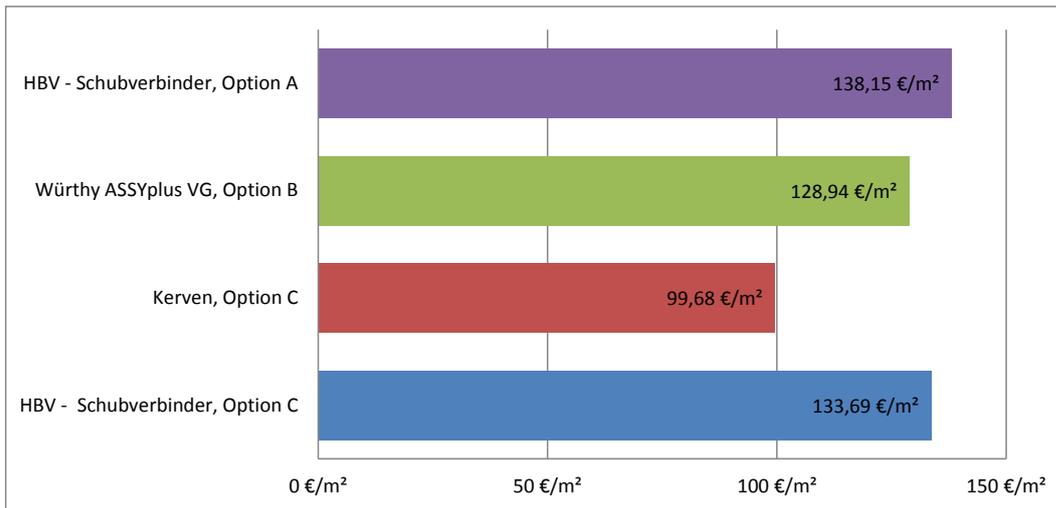


Bild 3.39 Einheitspreise HBV-Rippendecken <sup>437</sup>

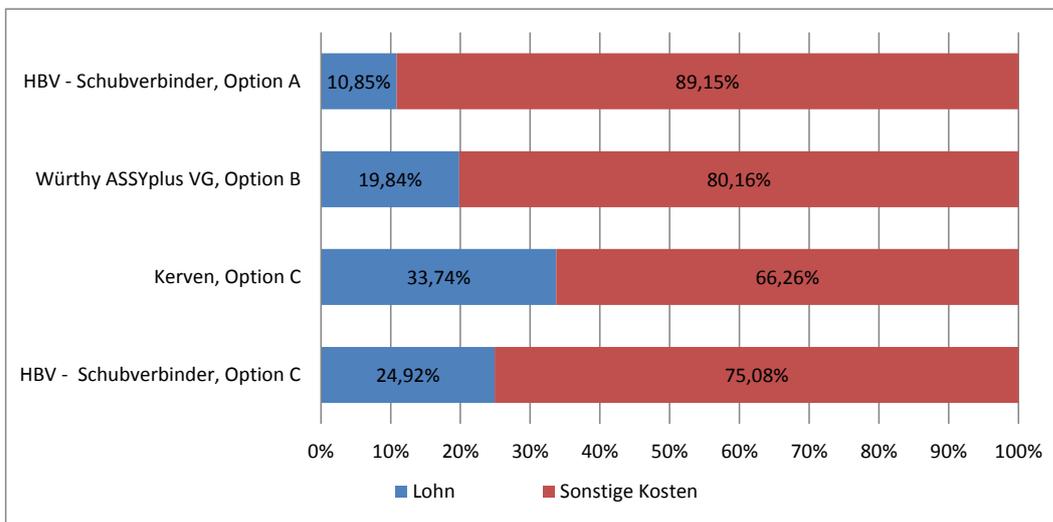
Mit 99,68 €/m<sup>2</sup> ist die HBV-Rippendecke mit Kerven und Schrauben zur Abhebesicherung als Verbindungsmittel, in Kombination mit der Herstellungsmethode C (Betonvorgang auf der Baustelle) die günstigste Deckenart. Bei derselben Herstellungsmethode, aber mit

<sup>437</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle

HBV-Schubverbindern als Verbindungsmittel, sind die Preise bereits um 34,41 % höher (133,69 €/m<sup>2</sup>). Werden die Brettschichtholzträger und ein Betonfertigteil mittels Würth ASSYplus VG Schrauben miteinander verbunden, sind die Kosten im Vergleich zur günstigsten Variante um 29,37 % erhöht. Der Einheitspreis beträgt hier 128,94 €/m<sup>2</sup>. Der Einheitspreis der teuersten Variante, ein Fertigteil mit HBV-Schubverbindern als Verbindungsmittel, liegt bei 138,15 €/m<sup>2</sup> und ist somit im Schnitt um 38,59 % teurer als der der erstgenannten, günstigsten Decke.

Die Kalkulation der Preise wurde in den K7-Blättern in Lohn und Sonstige Kosten aufgeteilt. Durch die prozentuale Darstellung dieser beiden Kostenkomponenten zu den Gesamtkosten kann abgeschätzt werden, wie hoch der Arbeitsaufwand auf der Baustelle zur Herstellung einer Decke ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser auf der Baustelle umso höher ist, je höher der Lohnkostenanteil ist.

In der folgenden Abbildung sind die prozentualen Anteile von Lohnkosten und Sonstige Kosten der jeweiligen HBV-Rippendecken dargestellt.



**Bild 3.40** Prozentualer Anteil von Lohnkosten und Sonstige Kosten zu den Gesamtkosten bei HBV-Rippendecken <sup>438</sup>

Es ist zu erkennen, dass vor allem die Herstellungsmethode einen hohen Einfluss auf die Verteilung zwischen Lohnkosten und Sonstige Kosten hat. Während bei Herstellungsmethode A, bei der ein Fertigteil verwendet wird, der Lohnkostenanteil bei etwa 11 % liegt, ist dieser Wert bei Option B (19,84 %) und bei Option C (durchschnittlich 29,33 %) deutlich höher. Auch das Verbindungsmittel beeinflusst den

<sup>438</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle

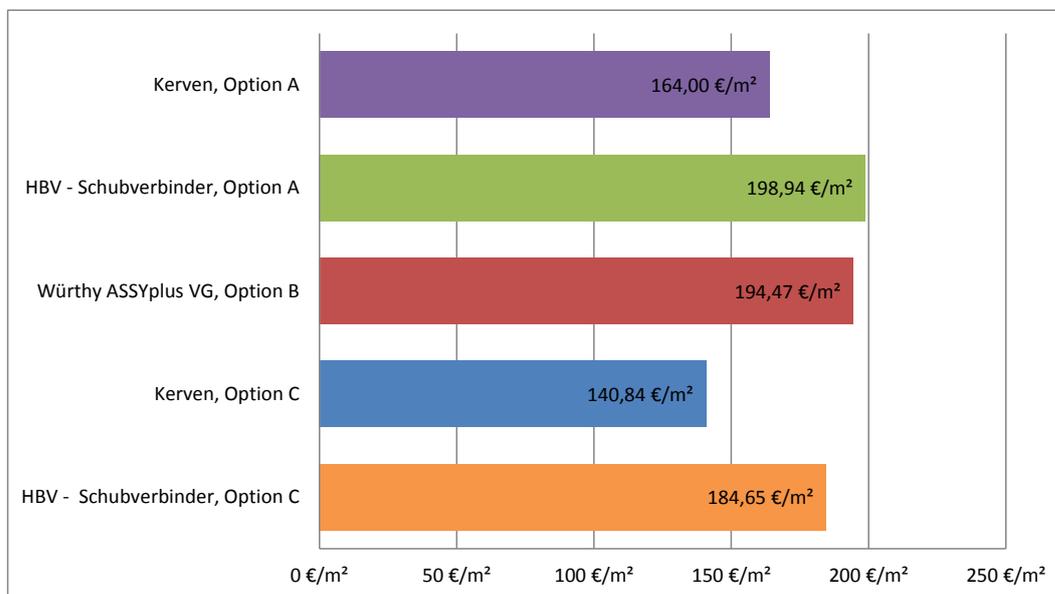
Lohnkostenanteil: Während dieser bei Kerven bei 33,74 % liegt, ist der Wert für HBV-Schubverbinder mit 17,89 % deutlich niedriger.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit von HBV-Rippendecken können folgende Kernaussagen getroffen werden:

- Als Verbindungsmittel können die Kerven als wirtschaftlich günstigste Alternative genannt werden. *HBV-Schubverbinder* und *Würth ASSYplus VG* Schrauben treiben die Kosten in die Höhe.
- Auch wenn der Lohnkostenanteil dabei am höchsten ist, ist die Herstellungsmethode C (Betonvorgang auf der Baustelle) wirtschaftlich zu bevorzugen. Grund dafür sind die niedrigeren Kosten im Vergleich zu Herstellungsmethode A (Fertigteil) und Herstellungsmethode B (Betonfertigteil und Holzbauteil auf der Baustelle miteinander verbinden).
- Der Arbeitsaufwand auf der Baustelle, welcher mit Hilfe des Anteils der Lohnkosten an den Gesamtkosten beziffert werden kann, ist für Herstellungsmethode A geringer als für Herstellungsmethode B und C. Wenn ein möglichst geringer Arbeitsaufwand auf der Baustelle erwünscht ist, sollte deshalb Herstellungsmethode A gewählt werden.

### 3.5.1.2 HBV-Brettstapeldecken

Die Kalkulation der Einheitspreise der HBV-Brettstapeldecken kann mit folgender Abbildung zusammengefasst werden:

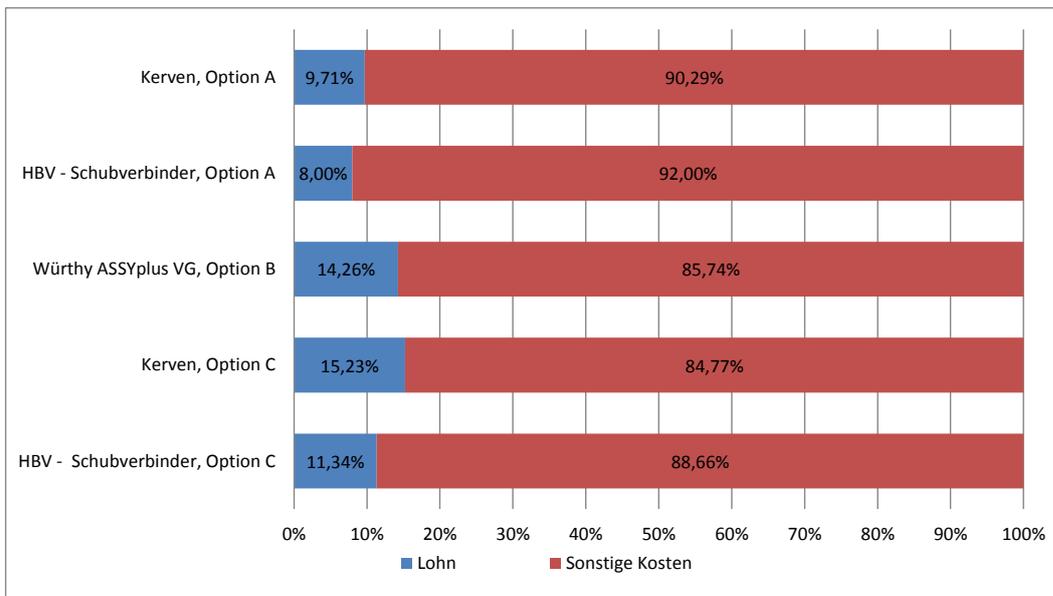


**Bild 3.41** Einheitspreise HBV-Brettstapeldecke <sup>439</sup>

Auch bei den HBV-Brettstapeldecken ist die Variante mit Kerven und Schrauben zur Abhebesicherung als Verbindungsmittel, gekoppelt mit dem Betoniervorgang auf der Baustelle, am günstigsten. Der Einheitspreis beträgt hier 140,84 €/m². Eine HBV-Brettstapeldecke mit derselben Herstellungsmethode, aber mit *HBV-Schubverbindern* als Verbindungsmittel, ist mit 184,65 €/m² um 31,10 % teurer als die wirtschaftlichste HBV-Brettstapeldecke. Wenn ein Betonfertigteile mit Hilfe von *Würth* Schrauben mit dem Holzbauteil auf der Baustelle verbunden wird, kann mit erhöhten Kosten (+38,08 %) gerechnet werden. Der für diese Decke kalkulierte Einheitspreis liegt somit bei 194,47 €/m². Besteht die Decke aus komplett im Werk gefertigten HBV-Fertigteilelementen, ist mit erhöhten Kosten von 41,18 % (*HBV-Schubverbinder* als Verbindungsmittel, 198,84 €/m²) bzw. 16,44 % (Kerven und Schraube zur Abhebesicherung als Verbindungsmittel, 164,00 €/m²) zu rechnen.

<sup>439</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteile auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

Betrachtet man bei den HBV-Brettstapeldecken die Anteile für Lohn und Sonstiges, so ergibt sich folgendes Bild:



**Bild 3.42** Prozentualer Anteil von Lohn und Sonstige Kosten zu den Gesamtkosten bei HBV-Brettstapeldecken <sup>440</sup>

Bei den HBV-Brettstapeldecken ist der Anteil der Lohnkosten beim Einsatz von Kerven als Verbindungsmittel in Verbindung mit Herstellungsmethode C am höchsten. Bei *HBV-Schubverbindern* ist dieser Anteil am geringsten. Bezogen auf die Herstellungsmethode ist der Lohnkostenanteil wiederum bei der Verwendung von Fertigteilen (Herstellungsmethode A) am geringsten. Erfolgt der Betoniervorgang auf der Baustelle (Herstellungsmethode C), sinkt der Lohnkostenanteil bei Verwendung von Brettstapelelementen als Basis im Vergleich zu Rippenenlementen von 29,33 % auf 13,29 %. Bei Herstellungsmethode A sinkt der Lohnkostenanteil bei verändertem Holzbauteil von 10,58 % (HBV-Rippendecke) auf durchschnittlich 8,86 % (HBV-Brettstapeldecke), bei Option B von 19,84 % auf 14,26 %. Die Differenzen sind bei Option A und B geringer als bei Option C, da für diese Deckentypen dieselben Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke und HBV-Brettstapeldecke benötigt werden und sich nur die reinen Materialpreise ändern. Bei Herstellungsmethode C hingegen ändern sich neben den Materialpreisen auch die Vorgänge: Eine Balkenzwischenschalung wird bei der HBV-Brettstapeldecke nicht benötigt und somit verringert sich der Arbeitsaufwand auf der Baustelle. Insgesamt liegt der Anteil an

<sup>440</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

Lohnkosten bei HBV-Rippendecken bei durchschnittlich 22,34 % und bei HBV-Brettstapeldecken bei durchschnittlich 11,71 %.

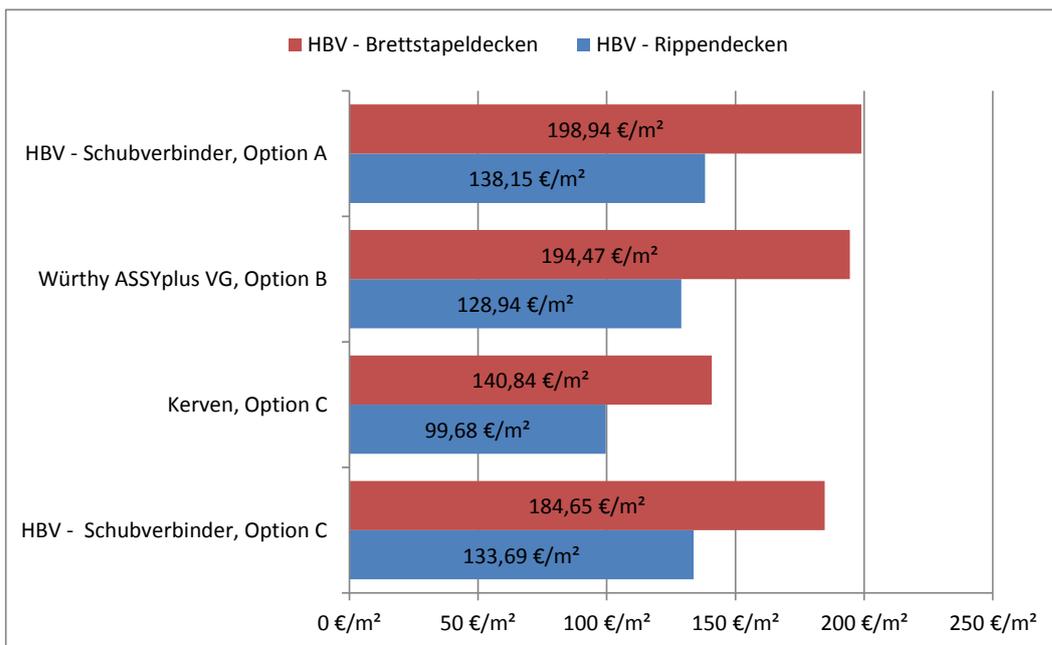
Zu den HBV-Brettstapeldecken können bezüglich der Kosten folgende zusammenfassende Aussagen getroffen werden:

- Die wirtschaftlich günstigste Verbindungsmittelart sind die Kerven. *HBV-Schubverbinder* und *Würth ASSYplus VG* Schrauben erhöhen den Einheitspreis.
- Herstellungsmethode C (Betonieren auf der Baustelle) ist die wirtschaftlich günstigste Variante. Herstellungsmethode B (Betonfertigteile und Holzbauteile auf der Baustelle miteinander verbinden) und A (Fertigteile) treiben den Einheitspreis in die Höhe.
- Der Aufwand zur Herstellung der Decke auf der Baustelle, welcher mit Hilfe des Lohnkostenanteiles bewertet werden kann, ist vor allem bei Herstellungsmethode B und C hoch. Herstellungsmethode A verursacht den geringsten Lohnkostenanteil.

### 3.5.1.3 Kostenvergleich durch Variation des Holzbauteils bei gleichbleibender Herstellungsmethode und gleichbleibendem Verbindungsmittel

Damit die Kostenunterschiede zwischen HBV-Decken mit Rippenelementen und Brettstapelelementen besser erkennbar werden, müssen die anderen Faktoren, welche die Deckenart bestimmen (Herstellungsmethode und Verbindungsmittel), festgehalten werden.

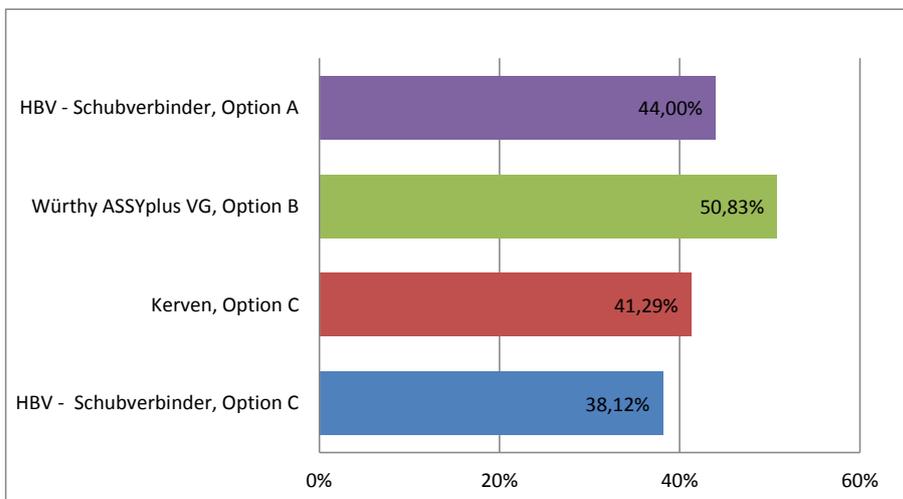
Es ergeben sich vier vergleichbare Deckenpaare, bei denen sich lediglich das Holzbauteil ändert.



**Bild 3.43** Vergleich der Kosten von HBV-Rippendecken und HBV-Brettstapeldecken bei gleichem Verbindungsmittel und gleicher Herstellungsmethode<sup>441</sup>

<sup>441</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

In Bild 3.44 sind die erhöhten Kosten von HBV-Brettstapeldecken im Vergleich zu HBV-Rippendecken bei gleicher Herstellungsmethode und gleichem Verbindungsmittel prozentuell dargestellt.



**Bild 3.44** Erhöhte Kosten bei Verwendung von Brettstapelelementen anstatt von Rippelementen bei HBV-Decken <sup>442</sup>

HBV-Decken auf Basis von Brettstapelelementen sind um durchschnittlich 43,56 % teurer als jene mit Rippelementen als Basis. Dabei beeinflusst vor allem die Herstellungsmethode den Preisunterschied. Bei Herstellungsmethode C (Betonvorgang auf der Baustelle) ist der Unterschied am geringsten. Bei Herstellungsmethode A (Fertigteil) und vor allem Herstellungsmethode B (Betonfertigteil und Holzbauteil auf der Baustelle miteinander verbinden) ist der Unterschied deutlich höher. Das Verbindungsmittel beeinflusst die Preisdifferenz nur geringfügig.

Folgende Punkte sind bei diesem Vergleich besonders wichtig:

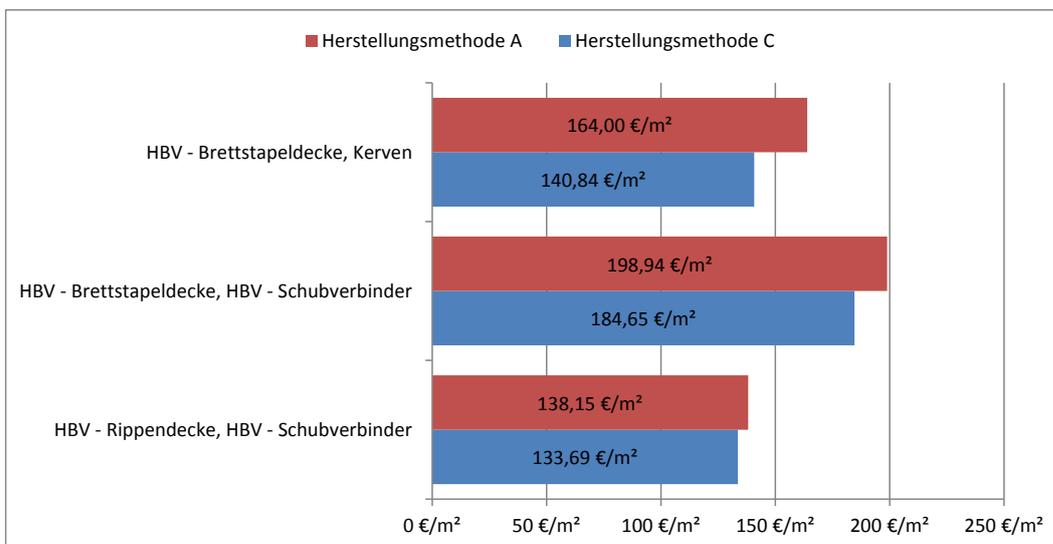
- HBV-Rippendecken sind bei gleichem Verbindungsmittel und gleicher Herstellungsmethode günstiger als HBV-Brettstapeldecken. Der Grund darin liegt im teureren Holzbauteil.
- Werden Kerven oder *HBV-Schubverbinder* als Verbindungsmittel verwendet, ist die Preisdifferenz geringer. Bei *Würth ASSYplus VG* Schrauben ist sie am höchsten.
- Die Preisdifferenz zwischen HBV-Decken mit Rippelementen und jenen mit Brettstapelelementen bei Herstellungsmethode C am geringsten.

<sup>442</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle

### 3.5.1.4 Kostenvergleich durch Variation der Herstellungsmethode bei gleich bleibendem Holzbauteil und Verbindungsmittel

Um zu beurteilen, welche Herstellungsmethode die wirtschaftlich günstigste ist, werden Einheitspreise von Decken miteinander verglichen, bei denen sich die Herstellungsmethode ändert, Holzbauteil und Verbindungsmittel jedoch gleich bleiben. Ein direkter Vergleich kann nur zwischen der Herstellungsmethode A und C gezogen werden, da bei der Herstellungsmethode B auch jeweils das Verbindungsmittel variiert, so dass höhere oder niedrigere Preise nicht explizit der Herstellungsmethode zugeordnet werden können. Für den Vergleich von Herstellungsmethode A und C konnten drei Deckenpaare gefunden werden, bei denen Holzbauteil und Verbindungsmittel nicht variieren.

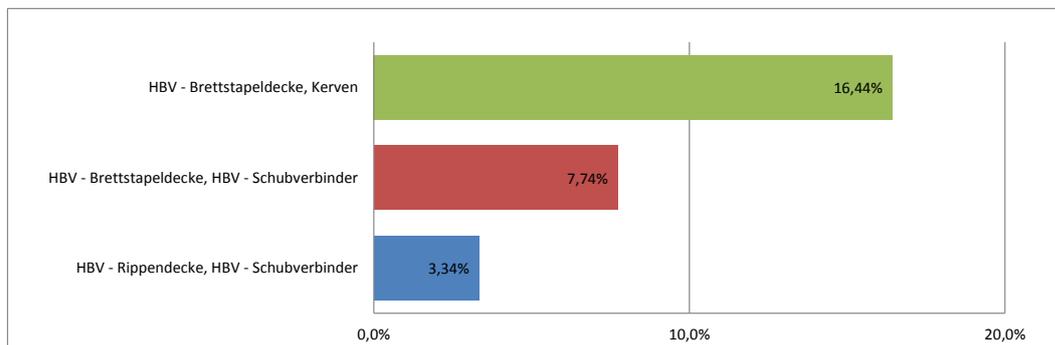
Der direkte Vergleich der Einheitspreise dieser drei Deckenpaare ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



**Bild 3.45** Vergleich der Kosten von Herstellungsmethode A und Herstellungsmethode C bei ansonsten identischen Deckenparametern<sup>443</sup>

<sup>443</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

In Bild 3.46 sind die erhöhten Kosten prozentuell dargestellt.



**Bild 3.46** Erhöhte Kosten bei Anwendung der Herstellungsmethode A anstatt der Herstellungsmethode C <sup>444</sup>

HBV-Decken, welche nach Herstellungsmethode C hergestellt werden, sind laut Kalkulation günstiger als jene, bei denen Fertigteilelemente verwendet werden. Die im Durchschnitt um 9,17 % höheren Kosten gründen vor allem auf die hohen Materialkosten der Fertigteilelemente, welche bei Herstellungsmethode A anfallen und sind unabhängig vom der Art des Holzbauteils. Bei Kerven als Verbindungsmittel ist der Unterschied der Kosten besonders hoch. Die geringe Anzahl an Herstellern und der nicht standardisierte Produktionsablauf verringern die Wirtschaftlichkeit der Herstellungsmethode A und sind somit der Grund für die höheren Kosten. Dennoch hat diese laut Expertenmeinung ein hohes Potenzial, da in Zukunft durch Standardisierung und Optimierung der Produktionsabläufe und Infrastrukturen der Fertigteilhersteller die Kosten gesenkt werden könnten.

Folgende Kernaussagen können aus diesem Vergleich getroffen werden:

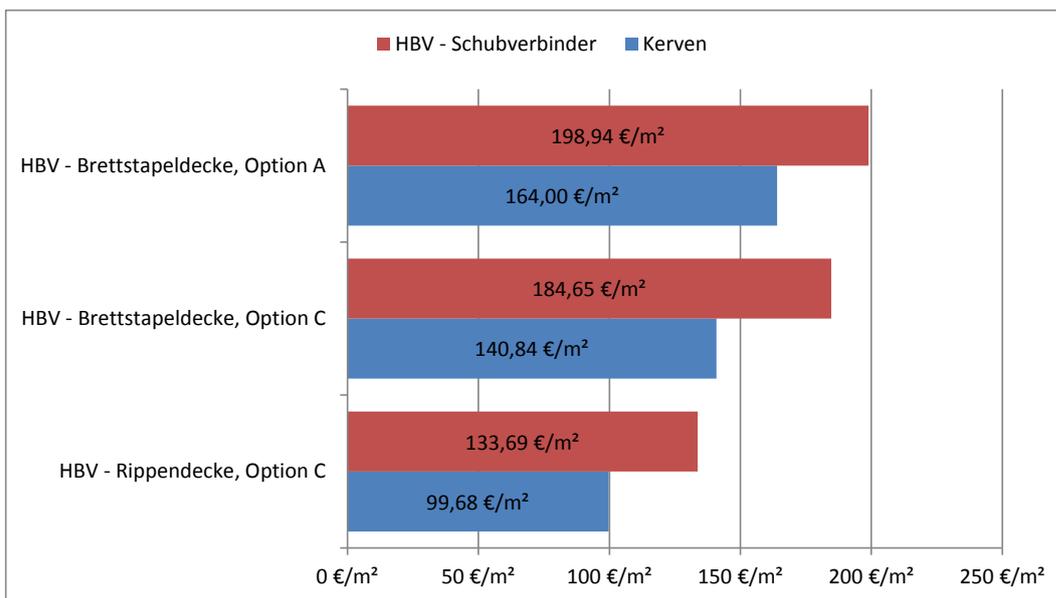
- Werden Fertigteile verwendet (Herstellungsmethode A), entstehen höhere Kosten, als wenn auf der Baustelle betoniert wird (Herstellungsmethode C). Der durchschnittliche Unterschied beträgt 9,17 %.
- Unabhängig von der Art des Holzbauteils sind die Einheitspreise der Decken mit Herstellungsmethode C immer höher als jene mit Herstellungsmethode A. Werden Kerven als Verbindungsmittel verwendet ist der Unterschied besonders hoch.
- Mit Blick in die Zukunft ist das Potential von Fertigteilen laut Experten groß. Noch sind die zur Verfügung stehenden Infrastrukturen zur Herstellung von HBV-Fertigteilen zwar begrenzt vorhanden, doch sind sie ausbaufähig. Künftig könnten HBV-Fertigteile durchaus den Markt erobern.

<sup>444</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

### 3.5.1.5 Kostenvergleich durch Variation des Verbindungsmittels bei gleich bleibendem Holzbauteil und gleichbleibender Herstellungsmethode

Das Verbindungsmittel ist eine wichtige wirtschaftliche Komponente bei HBV-Decken, deshalb ist ein näherer Vergleich der einzelnen Verbindungsmittelarten interessant. Um diese vergleichen zu können, wurden wiederum Deckenpaare gesucht, bei denen sich das Verbindungsmittel ändert, die Herstellungsmethode und das Holzbauteil jedoch gleich bleiben. Ein direkter Vergleich kann nur zwischen den Kernen und den *HBV-Schubverbindern* gezogen werden. Bei den kalkulierten Decken mit *Würth ASSYplus VG* Schrauben als Verbindungsmittel variiert zusätzlich die Herstellungsmethode, sodass höhere oder niedrigere Preise nicht direkt dem Verbindungsmittel zugeordnet werden können. Für den Kostenvergleich von Decken mit Kernen und solchen mit HBV-Schubverbinden sind unter den kalkulierten Decken drei Paare zu finden, bei denen sich die Art des Holzbauteils und die Herstellungsmethode nicht unterscheiden.

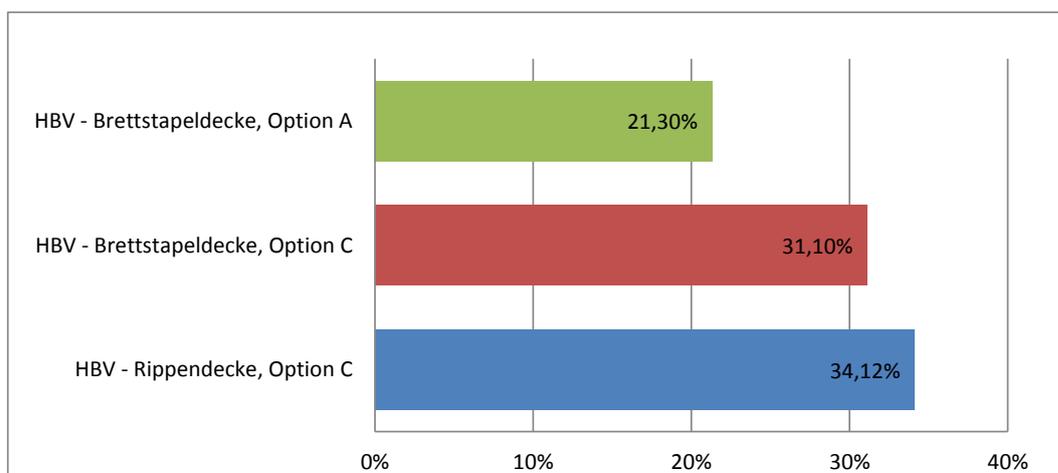
Der direkte Vergleich der Einheitspreise wird in folgendem Bild dargestellt:



**Bild 3.47** Vergleich der Kosten von Decken mit *HBV-Schubverbindern* und Kernen als Verbindungsmittel bei ansonsten identischen Deckenparametern<sup>445</sup>

<sup>445</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle

Die erhöhten Kosten für Decken mit *HBV-Schubverbindern* im Vergleich zu jenen mit Kerven als Verbindungsmittel sind in der nachfolgenden Darstellung graphisch dargestellt:



**Bild 3.48** Erhöhte Kosten bei Verwendung von *HBV-Schubverbindern* anstatt von Kerven als Verbindungsmittel <sup>446</sup>

HBV-Decken mit *HBV-Schubverbindern* als Verbindungsmittel sind im Durchschnitt um 28,84 % teurer als Decken mit Kerven. Die Preise sind vor allem bei HBV-Rippendecken erhöht. Dies kann damit begründet werden, dass Rippenelemente günstiger sind als Brettstapelelemente und deshalb der Materialanteil der *HBV-Schubverbinder* stärker ins Gewicht fällt. Bei Verwendung von Herstellungsmethode A (Fertigteil) ist der Unterschied geringer als bei Herstellungsmethode C (Betoniervorgang auf der Baustelle).

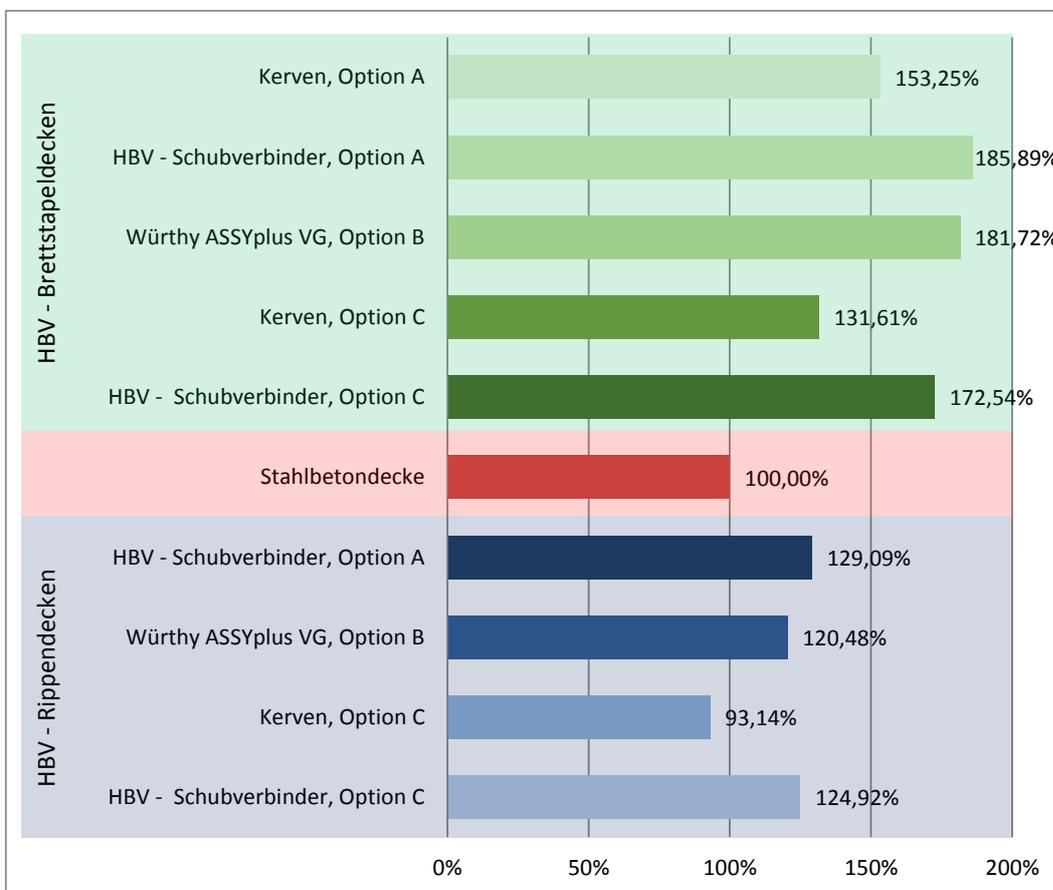
Zusammenfassend können folgende Schlüsse aus diesem Vergleich gezogen werden:

- HBV-Decken mit *HBV-Schubverbindern* sind im Durchschnitt um 28,84 % teurer als jene mit Kerven.
- Der Preisunterschied ist bei HBV-Brettstapeldecken geringer als bei HBV-Rippendecken.
- Der Preisunterschied ist bei Herstellungsmethode A geringer als bei Herstellungsmethode C

<sup>446</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

### 3.5.2 Vergleich von HBV-Decken mit der Stahlbetondecke

Der Preis für einen Quadratmeter Stahlbetondecke konnte mit 118,99 €/m<sup>2</sup> kalkuliert werden. In der folgenden Darstellung sind die prozentualen Unterschiede der Kosten der einzelnen HBV-Decken im Vergleich zu jenen der Stahlbetondecke dargestellt:



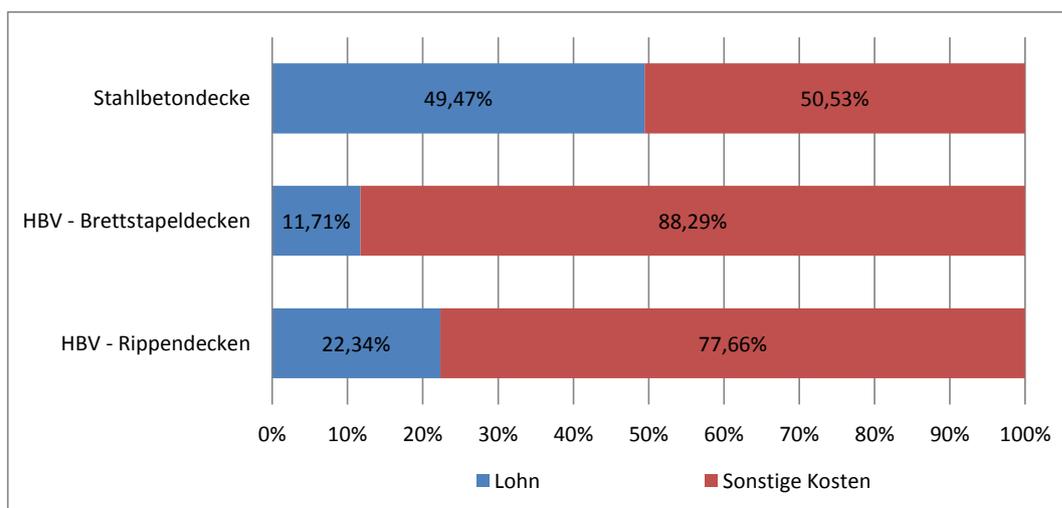
**Bild 3.49** Prozentuale Kosten der HBV-Decken im Vergleich zur Stahlbetondecke <sup>447</sup>

Die einzige Deckenart, die günstiger herzustellen ist als die Stahlbetondecke, ist die HBV-Rippendecke mit Kerven als Verbindungsmittel, bei der der Betoniervorgang auf der Baustelle erfolgt. Im Schnitt sind die HBV-Rippendecken 16,91 % teurer als die Stahlbetondecke. HBV-Brettstapeldecken liegen auf einem höheren Preisniveau, im Mittel konnte ein erforderlicher finanzieller Mehraufwand in Höhe von 65,00 % berechnet werden. Als Verbindungsmittel können Kerven als wirtschaftlichste Variante genannt werden, dennoch liegt der durchschnittliche Einheitspreis aller HBV-Decken, bei denen Kerven als

<sup>447</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle

Verbindungsmittel eingesetzt wurden, um 26,00 % über den Kosten einer Stahlbetondecke. Bei den *HBV-Schubverbindern* liegt derselbe Wert bei 53,11 %, bei den *Würth ASSYplus VG* Schrauben bei 51,10 %. Bezogen auf die Herstellungsmethode für HBV-Decken muss bei Umsetzung der Option C ein finanzieller Mehraufwand von 30,55 % betrieben werden. Wenn Betonfertigteile und Holzbauteile getrennt voneinander auf die Baustelle transportiert und dort miteinander verbunden werden, (Option B) sind die Kosten um 51,10 % höher. Kommen HBV-Fertigteile zum Einsatz, muss mit 55,98 % höheren Einheitspreisen gerechnet werden.

Vergleicht man den Anteil der Lohnkosten und der Sonstigen Kosten von HBV-Decken (für die HBV-Rippendecke und die HBV-Brettstapeldecke wurden jeweils Mittelwerte berechnet) mit jenen einer Stahlbetondecke, ergibt sich folgendes Bild:



**Bild 3.50** Anteil von Lohnkosten und Sonstige Kosten bei HBV-Decken und bei der Stahlbetondecke

Deutlich zu erkennen ist der signifikant höhere Lohnkostenanteil bei der Stahlbetondecke. Dieser liegt im Vergleich zu den durchschnittlichen Werten der HBV-Rippendecke um 27,13 % höher, bei HBV-Brettstapeldecken beträgt der mittlere Unterschied sogar 37,76 %. Grund dafür ist der höhere Vorfertigungsgrad der HBV-Decke und der dadurch reduzierte Arbeitsaufwand auf der Baustelle.

Folgende Aussagen fassen den Vergleich der HBV-Decken mit einer Stahlbetondecke zusammen:

- Die Herstellung einer HBV-Rippendecke mit Kerben als Verbindungsmittel und Herstellungsmethode C (Betoniervorgang auf der Baustelle) ist günstiger als jene einer Stahlbetondecke.
- Während HBV-Rippendecken wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber einer Stahlbetondecke sind, übersteigen die

Einheitspreise der HBV-Brettstapeldecken jene der Stahlbetondecke deutlich.

- Werden Kerven als Verbindungsmittel verwendet, befinden sich die Preise von HBV-Decken in einem konkurrenzfähigen Bereich. Die Wirtschaftlichkeit bei Verwendung von Sonderbauteilen ist geringer.
- Die Verwendung von Fertigteilen und Halbfertigteilen ist zurzeit wirtschaftlich noch nicht zu empfehlen. Wird der Betoniervorgang auf der Baustelle ausgeführt sind die Decken konkurrenzfähiger.
- Der Lohnkostenanteil von HBV-Decken ist unabhängig vom System signifikant geringer als bei Stahlbetondecken.

### 3.5.3 Vergleich von HBV-Decken mit der Brettsperrholzdecke

Der Einheitspreis einer Brettsperrholzdecke mit den berechneten Dimensionen konnte zu 148,14 €/m<sup>2</sup> kalkuliert werden.

Die prozentualen Kosten der HBV-Decken im Vergleich zur Brettsperrholzdecke sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

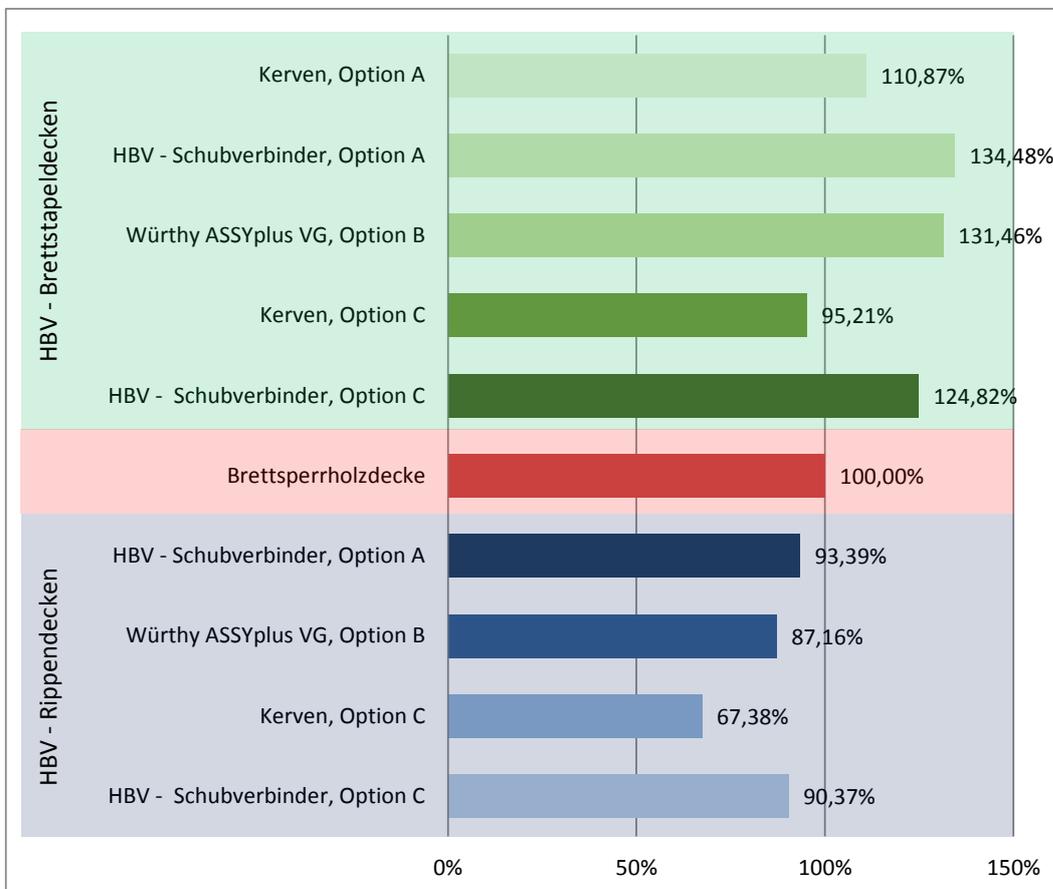


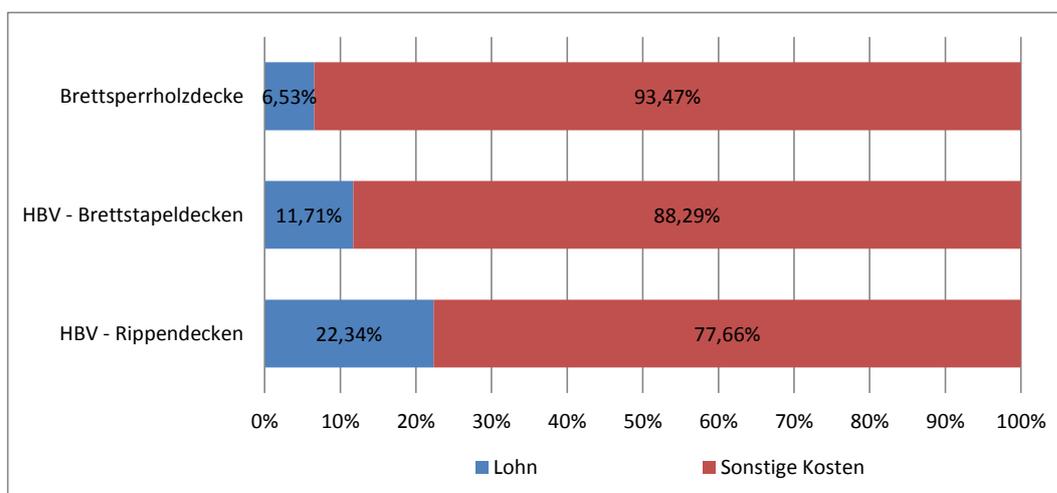
Bild 3.51 Prozentuale Kosten der HBV-Decken im Vergleich zur Brettsperrholzdecke<sup>448</sup>

Im Vergleich zur Brettsperrholzdecke ist die HBV-Rippendecke sehr wirtschaftlich. Unabhängig vom Verbindungsmittel und von der Herstellungsmethode entstehen bei der Herstellung von HBV-Rippendecken geringere Kosten als bei einer Brettsperrholzdecke. Im Schnitt über alle vier Deckenarten sind die Kosten für HBV-Rippendecken um 15,43 % niedriger als jene der Brettstapeldecke. Selbiges gilt jedoch nicht für die HBV-Brettstapeldecken; diese sind im Schnitt 19,37 % teurer als eine reine Holzdecke aus Brettsperrholz. Während sich die Einheitspreise einer Decke dieser Art mit Kerven als

<sup>448</sup> Option A: Gesamte Holz-Beton-Verbunddecke als Fertigteil; Option B: Holzfertigteil und Betonfertigteil auf der Baustelle verbinden; Option C: Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle

Verbindungsmittel, bei der auf der Baustelle betoniert wird, noch im konkurrenzfähigen Bereich befinden, übersteigen die Kosten einer HBV-Brettstapeldecke mit Fertigteilen und *HBV-Schubverbindern* die Kosten einer Brettsperrholzdecke um 34,48 %. Berechnet man die mittleren Kosten aller HBV-Decken, bei denen auf der Baustelle betoniert wird, so sind diese um 5,55 % niedriger als jene der Brettsperrholzdecke. Bei Option B sind die Kosten um 9,31 % und bei Option A um 12,91 % höher. Als kostengünstigstes Verbindungsmittel können wiederum die Kerven genannt werden. Die Kosten für Decken mit diesem Verbindungsmittel sind im Schnitt um 8,85 % niedriger. Decken mit *Würth ASSYplus VG* Schrauben als Verbindungsmittel sind bereits um 9,31 % teurer als Brettsperrholzdecken und jene mit *HBV-Schubverbindern* um 10,77 %.

Wie in Bild 3.52 dargestellt, können auch bei diesem Vergleich die Lohnkosten und Sonstigen Kosten der HBV-Systeme mit jenen der Brettsperrholzdecke verglichen werden.



**Bild 3.52** Anteil von Lohnkosten und Sonstige Kosten bei HBV-Decken bei der Brettsperrholzdecke

Der Anteil der Lohnkosten zur Herstellung einer Brettsperrholzdecke ist der niedrigste Wert im Vergleich, er liegt bei 6,53 %. Jener der HBV-Brettstapeldecke ist um 5,18 % höher, der Wert der HBV-Rippendecke übersteigt den Vergleichswert um 15,81 %. Zur Erstellung der Brettsperrholzdecke im Rohzustand sind auf der Baustelle nur sehr wenige Arbeiten notwendig, bei den HBV-Decken dagegen bedarf es mehrerer Arbeiten zur Vervollständigung. Auch wenn HBV-Fertigteile zum Einsatz kommen ist dies der Fall (siehe Kapitel 3.3.).

Um die Erkenntnisse dieses Vergleiches zusammenzufassen, werden folgende Kernaussagen getroffen:

- HBV-Rippendecken sind im Durchschnitt günstiger als eine Brettsperrholzdecke.

- Die Herstellung von HBV-Brettstapeldecken ist im Durchschnitt teurer als jene einer Brettsperrholzdecke. Die am günstigsten herzustellende HBV-Brettstapeldecke liegt jedoch im konkurrenzfähigen Bereich.
- Wird bei HBV-Decken auf der Baustelle betoniert, sind die Einheitspreise geringfügig niedriger als bei einer Brettsperrholzdecke. Werden Halbfertigteile oder Fertigteile verwendet, sind auch diese Decken aus wirtschaftlicher Sicht konkurrenzfähig.
- Werden zur Übertragung der Schubkräfte zwischen Holz und Beton Kerven verwendet, sind sich die Kosten der Decken geringer als bei einer Brettsperrholzdecke. Auch wenn die Kosten der Decken mit *HBV-Schubverbindern* und *Würth ASSYplus VG* Schrauben jene der Brettsperrholzdecke überschreiten befinden sie sich in einem konkurrenzfähigen Bereich.
- Der Lohnkostenanteil von HBV-Decken ist unabhängig vom System höher als jener der Brettsperrholzdecke.

### 3.6 Kostensenkenden Faktoren und Optimierungsmöglichkeiten

Die HBV-Verbundbauweise kann bei korrekter Wahl des Querschnittes, des Verbindungsmittels und der Herstellungsmethode wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber einer konventionellen Stahlbetondecke oder einer Brettsperrholzdecke sein. Dies konnte im vorherigen Kapitel nachgewiesen werden. Die Entscheidungskriterien bei der Auswahl des Deckensystems sind vielfältig. Neben objektiv bewertbaren Aspekten, wie konstruktive, bauphysikalische und wirtschaftliche Werte, fließen auch subjektive Aspekte mit ein. Unter die letztgenannten Kriterien fallen unter anderem die Ästhetik, das Raumklima, das Wohlbefinden oder auch eine positive Assoziation zu Naturbaustoffen. Als eine weitere Entscheidungsgrundlage kann eine positive CO<sub>2</sub>-Bilanz genannt werden. Deshalb kann die Wahl des Deckensystems durchaus auch auf die wirtschaftlich nicht günstigste HBV-Deckenart fallen. Um wirtschaftliche Aspekte dieser Bauweise besser zu analysieren, ist es sinnvoll die in dieser Arbeit kalkulierten Einheitspreise einer jeden HBV-Deckenart zu betrachten. Als Basis für die Analyse werden die Kosten der einzelnen Vorgänge, welche im Kapitel 3.3 genannt wurden, verwendet. Dadurch können kostentreibenden Vorgänge und das Potenzial an Einsparungen aufgezeigt werden.

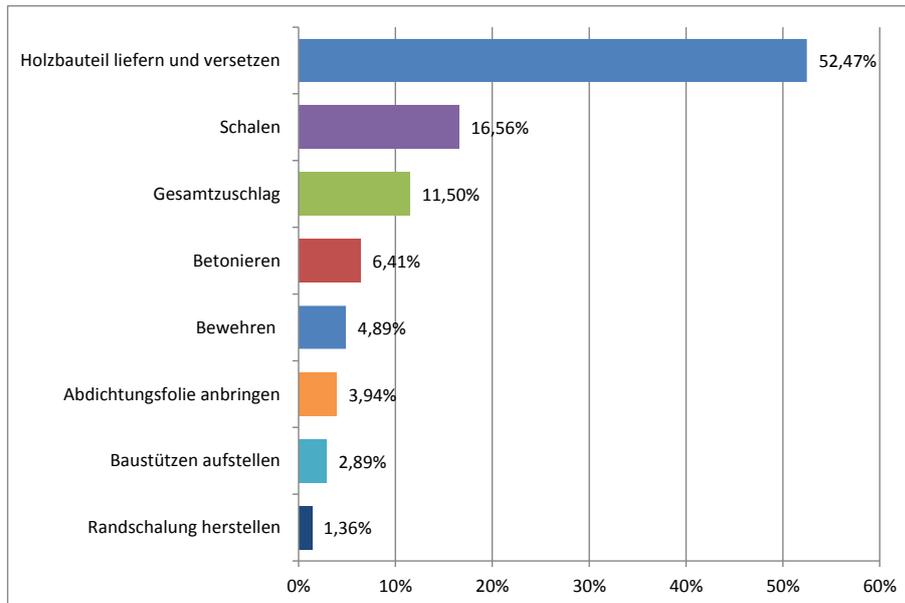
#### 3.6.1 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: HBV-Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option C

Die Kosten der Vorgänge zur Herstellung einer HBV-Rippendecke dieser Bauart ergeben sich folgendermaßen:

**Tabelle 27** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit HBV-Schubverbindern und Herstellungsmethode C

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
Holzbauteil liefern und versetzen	6,95 €/m <sup>2</sup>	63,19 €/m <sup>2</sup>	70,14 €/m <sup>2</sup>
Schalen	11,76 €/m <sup>2</sup>	10,38 €/m <sup>2</sup>	22,14 €/m <sup>2</sup>
Randschalung herstellen	1,32 €/m <sup>2</sup>	0,50 €/m <sup>2</sup>	1,82 €/m <sup>2</sup>
Abdichtungsfolie anbringen	4,25 €/m <sup>2</sup>	1,01 €/m <sup>2</sup>	5,26 €/m <sup>2</sup>
Baustützen aufstellen	1,05 €/m <sup>2</sup>	2,81 €/m <sup>2</sup>	3,86 €/m <sup>2</sup>
Bewehren	2,42 €/m <sup>2</sup>	4,11 €/m <sup>2</sup>	6,53 €/m <sup>2</sup>
Betonieren	1,72 €/m <sup>2</sup>	6,84 €/m <sup>2</sup>	8,56 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	3,83 €/m <sup>2</sup>	11,54 €/m <sup>2</sup>	15,37 €/m <sup>2</sup>
Summe	33,31 €/m <sup>2</sup>	100,38 €/m <sup>2</sup>	<b>133,69 €/m<sup>2</sup></b>

Die prozentualen Anteile der Kosten der einzelnen Vorgänge am Einheitspreis der Decke ergeben sich wie nachstehend:



**Bild 3.53** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit *HBV-Schubverbindern* und Herstellungsmethode C

Aus diesen beiden Darstellungen ist ersichtlich, dass die Lieferung und das Versetzen der Holzrippen die Gesamtkosten maßgeblich beeinflussen. Genauer betrachtet ist der Materialanteil dieses Vorganges bestimmend. Neben dem Holz sind in diesen Kostenanteil auch die Verbindungsmittel mit eingerechnet. Als zweiter kostentreibender Faktor kann, mit einem Prozentsatz von 16 %, das Schalen genannt werden. Die anderen Vorgänge haben nur einen geringen Anteil an den Gesamtkosten. Wird dieses Deckensystem in der Praxis eingesetzt, wird deshalb empfohlen, ein besonderes Augenmerk auf die Dimensionierung des Holzbauteiles und der *HBV-Schubverbinder* zu legen. Auch die Art und Weise der Balkenzwischenschalung kann einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtkosten haben.

Folgende Empfehlungen können zusammenfassend genannt werden:

- Bei der Dimensionierung sollte auf minimale Holzquerschnitte und eine minimale Anzahl an Verbindungsmitteln geachtet werden.
- Eine möglichst optimierte Balkenzwischenschalung kann die Kosten signifikant senken.
- Die Optimierung aller anderen Vorgänge hat nur einen marginalen Einfluss auf die Gesamtkosten.

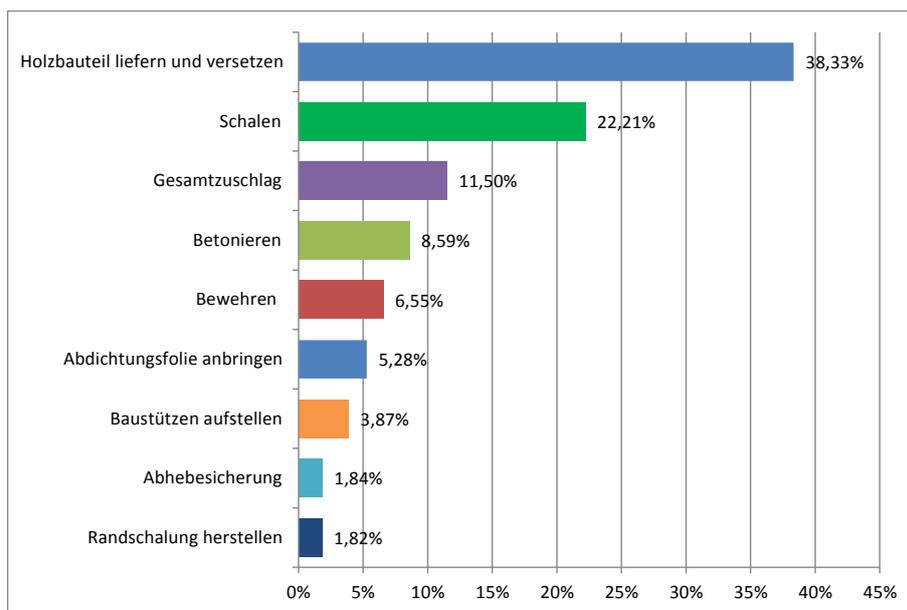
### 3.6.2 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Kerne, Herstellungsmethode: Option C

Auch für die zweite Decke, welche anstelle von *HBV-Schubverbindern* Kernen als Verbindungsmittel nutzt, wurden die Kosten der einzelnen Vorgänge tabellarisch aufgelistet.

**Tabelle 28** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit Kernen und Herstellungsmethode Option C

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
Holzbauteil liefern und versetzen	6,95 €/m <sup>2</sup>	31,26 €/m <sup>2</sup>	38,21 €/m <sup>2</sup>
Schalen	11,76 €/m <sup>2</sup>	10,38 €/m <sup>2</sup>	22,14 €/m <sup>2</sup>
Randschalung herstellen	1,32 €/m <sup>2</sup>	0,50 €/m <sup>2</sup>	1,82 €/m <sup>2</sup>
Abdichtungsfolie anbringen	4,25 €/m <sup>2</sup>	1,01 €/m <sup>2</sup>	5,26 €/m <sup>2</sup>
Abhebesicherung	0,28 €/m <sup>2</sup>	1,55 €/m <sup>2</sup>	1,84 €/m <sup>2</sup>
Baustützen aufstellen	1,05 €/m <sup>2</sup>	2,81 €/m <sup>2</sup>	3,86 €/m <sup>2</sup>
Bewehren	2,42 €/m <sup>2</sup>	4,11 €/m <sup>2</sup>	6,53 €/m <sup>2</sup>
Betonieren	1,72 €/m <sup>2</sup>	6,84 €/m <sup>2</sup>	8,56 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	3,87 €/m <sup>2</sup>	7,59 €/m <sup>2</sup>	11,46 €/m <sup>2</sup>
Summe	33,63 €/m <sup>2</sup>	66,05 €/m <sup>2</sup>	99,68 €/m <sup>2</sup>

Bezieht man die Kosten der einzelnen Vorgänge auf den Einheitspreis der Decke, so ergibt sich folgendes Bild:



**Bild 3.54** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit Kernen und Herstellungsmethode C

Auch bei dieser Decke beeinflussen die Material- und Lieferkosten sowie das Versetzen des Holzbauteils die Gesamtkosten am meisten, jedoch in einem geringeren Ausmaß als bei derselben Decke mit *HBV-Schubverbindern* als Verbindungsmittel. Dementsprechend größer sind die Anteile der anderen Vorgänge, vor allem jener des Schalens.

Deshalb kann gesagt werden, dass bei dieser Decke, neben dem Holzbauteil, verstärkt auf die richtige Wahl der Schalung geachtet werden muss.

Wird diese Deckenart in der Praxis eingesetzt, wird folgendes empfohlen:

- Die Minimierung des Holzquerschnittes hat einen größeren Einfluss auf die Gesamtkosten als die Minimierung des Betonquerschnitts.
- Einsparungen bei der Balkenzwischenschalung haben einen starken Einfluss auf die Gesamtkosten.

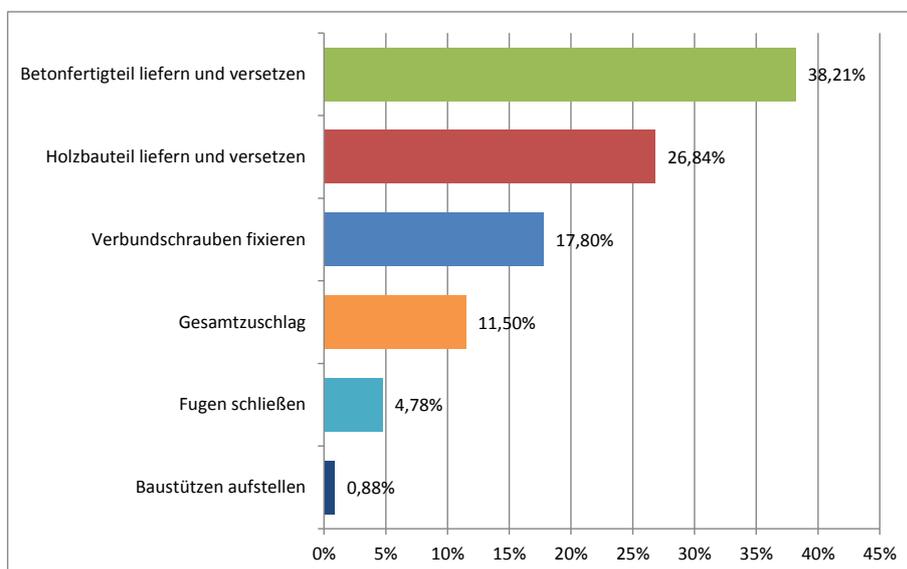
### 3.6.3 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: Würth ASSYplus VG Schrauben, Herstellungsmethode: Option B

Die Kosten für diese HBV-Decke können mit der nachstehenden Tabelle zusammengefasst werden:

**Tabelle 29** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit Würth ASSYplus VG Schrauben und Herstellungsmethode B

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
Holzbauteil liefern und versetzen	6,95 €/m <sup>2</sup>	27,65 €/m <sup>2</sup>	34,60 €/m <sup>2</sup>
Baustützen aufstellen	0,54 €/m <sup>2</sup>	0,60 €/m <sup>2</sup>	1,14 €/m <sup>2</sup>
Betonfertigteil liefern und versetzen	7,73 €/m <sup>2</sup>	41,54 €/m <sup>2</sup>	49,27 €/m <sup>2</sup>
Verbundschrauben fixieren	3,54 €/m <sup>2</sup>	19,41 €/m <sup>2</sup>	22,95 €/m <sup>2</sup>
Fugen schließen	3,88 €/m <sup>2</sup>	2,27 €/m <sup>2</sup>	6,16 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	2,94 €/m <sup>2</sup>	11,88 €/m <sup>2</sup>	14,82 €/m <sup>2</sup>
Summe	25,58 €/m <sup>2</sup>	103,35 €/m <sup>2</sup>	<b>128,94 €/m<sup>2</sup></b>

Auch bei diesem System können die Kostenanteile der Vorgänge mit Hilfe eines Balkendiagrammes dargestellt werden.



**Bild 3.55** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke mit Würth ASSYplus VG Schrauben und Herstellungsmethode B

Im Gegensatz zu den bisher genannten Deckenarten beeinflusst bei der betrachteten Decke das Betonbauteil die Gesamtkosten am stärksten. Hingegen ist der Kosteneinfluss des Holzbauteils mit rund 26 % stark gesunken. Die Fixierung der Verbundschraube ist mit ca. 18 % noch stark an den Kosten beteiligt, obwohl mit dem in die Betonplatte einbetonierten Leerrohr der Schraubvorgang bereits optimiert wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass die hohen Kosten der Betonplatte zum Teil durch die unkonventionelle Bauart dieses Fertigteils verursacht werden. In Zuge der Recherche konnte kein Hersteller

gefunden werden, welcher ein Fertigteil inklusive *Würth FT-Verbindern* im Standardsortiment hatte. Die Kosten für ein solches Leerrohr liegen laut Herstellerangaben im Bereich von 1,57 € pro Stück. Da bei diesem Deckentyp 20 Schrauben und folglich auch 20 Leerrohre pro Quadratmeter benötigt werden, ist für die FT-Verbinder mit Materialkosten in Höhe von 31,40 €/m<sup>2</sup> zu rechnen. Dazu kommen die Materialkosten der Schraube in Höhe von 0,97 € pro Schraube, so dass das Verbindungsmittel Kosten in Höhe von 50,80 €/m<sup>2</sup> verursacht. Wird eine solche Decke in der Praxis eingesetzt, ist deshalb auf eine maximale Ausnutzung der Verbindungsmittel zu achten und die Anzahl der benötigten Schrauben möglichst zu reduzieren.

Zusammenfassend werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Um Kosten zu sparen, sollte die Decke so bemessen werden, dass eine minimale Verbindungsmittelanzahl benötigt wird.
- Der kostentreibende Faktor dieser Decke ist das Verbindungsmittel. Eine Reduzierung des Holzquerschnitts oder des Betonquerschnitts senkt die Kosten nur geringfügig.

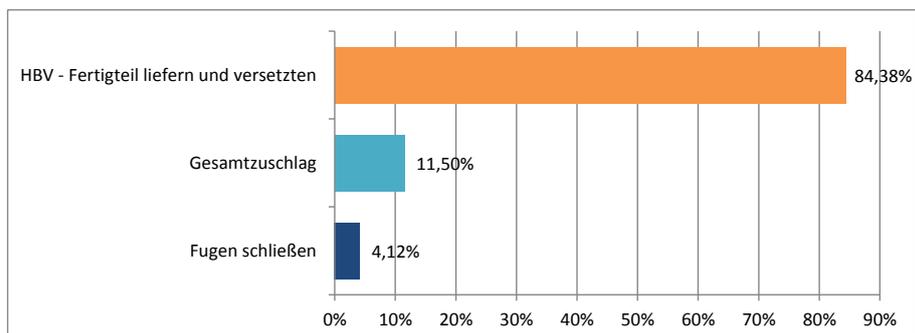
#### 3.6.4 HBV-Rippendecke, Verbindungsmittel: *HBV-Schubverbinder*, Herstellungsmethode: Option A

Die Kosten der Vorgänge zur Herstellung der letzten betrachteten HBV-Rippendeckenart, aufgeteilt in Lohn und Sonstige Kosten, sind in Tabelle 30 aufgelistet.

**Tabelle 30** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke, mit *HBV-Schubverbindern* und Herstellungsmethode A

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
HBV - Fertigteil liefern und versetzen	9,66 €/m <sup>2</sup>	106,91 €/m <sup>2</sup>	116,57 €/m <sup>2</sup>
Fugen schließen	3,61 €/m <sup>2</sup>	2,09 €/m <sup>2</sup>	5,70 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	1,72 €/m <sup>2</sup>	14,16 €/m <sup>2</sup>	15,88 €/m <sup>2</sup>
Summe	14,99 €/m <sup>2</sup>	123,16 €/m <sup>2</sup>	<b>138,15 €/m<sup>2</sup></b>

Die prozentualen Kosten der Vorgänge bezogen auf den Einheitspreis der Decke sind im folgenden Bild dargestellt:



**Bild 3.56** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Rippendecke, mit *HBV-Schubverbindern* und Herstellungsmethode A

Da bei dieser Deckenart ein Fertigteil verbaut wird, sind die Gesamtkosten fast ausschließlich durch die Materialkosten dieses Elementes beeinflusst. In der Praxis wird empfohlen, ein besonderes Augenmerk auf das Sortiment der Hersteller zu richten und die Projektierung an die Produktionsmöglichkeiten der Hersteller anzupassen. Damit eine hohe Wirtschaftlichkeit erreicht wird, müssen in Zusammenarbeit mit dem Fertigteilhersteller die Produktionsprozesse möglichst optimiert werden. Laut Herstellerangaben dürfen bei solchen Fertigteilen auch die Lieferkosten nicht unterschätzt werden, weshalb die geographische Distanz der Baustelle zum Hersteller die Gesamtkosten des Deckensystems signifikant beeinflussen kann. Es wird prognostiziert, dass bei vermehrtem Einsatz von HBV-Decken dieser Bauart der Markt dementsprechend reagieren wird und dass die Hersteller HBV-Fertigteilelemente in ihr Standardsortiment aufnehmen werden. Dadurch würden die Kosten zur Herstellung der Fertigteile sinken und diese Deckenart könnte wirtschaftlicher eingesetzt werden. Die derzeitige geringe Anzahl an Herstellern treibt die Preise der HBV-Fertigteile in die Höhe. Bei einer belebteren Nachfrage würden die Kosten der hier betrachteten HBV-Deckenart deshalb signifikant sinken.

Folgendes wird für diese Deckenart empfohlen:

- Um die Kosten zu senken, muss in enger Zusammenarbeit mit dem Fertigteilhersteller gearbeitet werden.
- Bereits in einem frühen Planungsstadium müssen die Fertigungsmöglichkeiten der Hersteller beachtet werden.
- Durch besseren Ausbau der Infrastruktur werden in Zukunft die Kosten dieser Deckenart sinken.

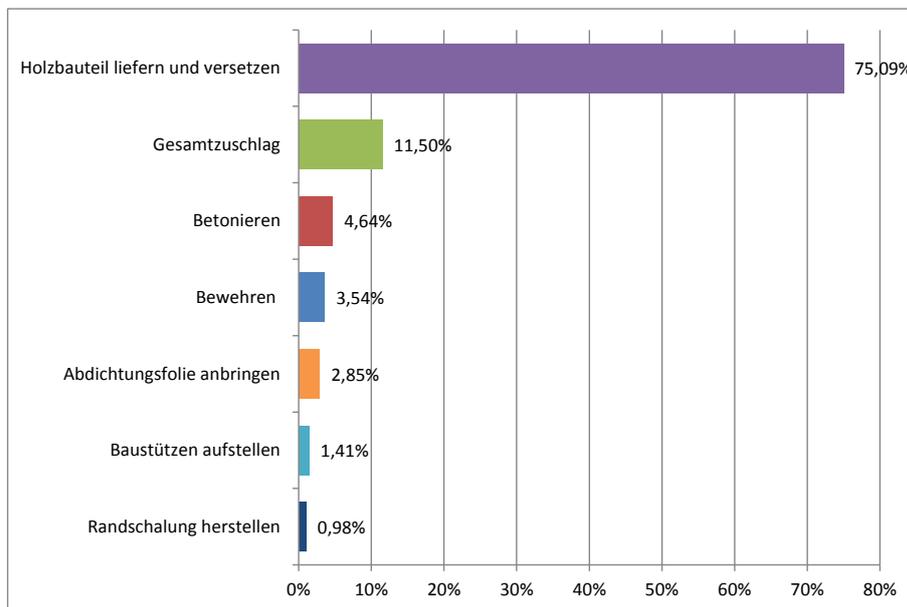
### 3.6.5 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: HBV-Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option C

Die in den K7-Blättern ermittelten Kosten der ersten HBV-Brettstapeldecke können wie folgt veranschaulicht werden:

**Tabelle 31** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit HBV-Schubverbindern und Herstellungsmethode C

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
Holzbauteil liefern und versetzen	8,17 €/m <sup>2</sup>	130,48 €/m <sup>2</sup>	138,65 €/m <sup>2</sup>
Randschalung herstellen	1,32 €/m <sup>2</sup>	0,50 €/m <sup>2</sup>	1,82 €/m <sup>2</sup>
Abdichtungsfolie anbringen	4,25 €/m <sup>2</sup>	1,01 €/m <sup>2</sup>	5,26 €/m <sup>2</sup>
Baustützen aufstellen	0,66 €/m <sup>2</sup>	1,94 €/m <sup>2</sup>	2,60 €/m <sup>2</sup>
Bewehren	2,42 €/m <sup>2</sup>	4,11 €/m <sup>2</sup>	6,53 €/m <sup>2</sup>
Betonieren	1,72 €/m <sup>2</sup>	6,84 €/m <sup>2</sup>	8,56 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	2,41 €/m <sup>2</sup>	18,82 €/m <sup>2</sup>	21,23 €/m <sup>2</sup>
Summe	20,95 €/m <sup>2</sup>	163,70 €/m <sup>2</sup>	<b>184,65 €/m<sup>2</sup></b>

Die prozentualen Werte der Vorgänge in Bezug auf den Einheitspreis der Decke werden in Bild 3.57 dargestellt:



**Bild 3.57** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit HBV-Schubverbindern und Herstellungsmethode C

Wie bei der HBV-Rippendecke mit demselben Verbindungsmittel und derselben Herstellungsmethode ist auch bei dieser Decke das Holzbauteil der Faktor, welcher die höchsten Kosten erzeugt. Da jedoch beim Einsatz von Brettstapelelementen der Vorgang des Schalens wegfällt und die Kosten für Brettstapelelemente höher sind als jene für Rippenelemente, ist der Kostenanteil des Holzbauteils zusätzlich höher. Vergleicht man die Materialkosten des Holzbauteils, so kommt man bei

der betrachteten Decke auf 130,48 €/m<sup>2</sup>, bei derselben Decke mit Rippen als Basis liegt der Wert bei 63,19 €/m<sup>2</sup>. Während bei den Rippenelementen die Kosten wesentlich von der Anzahl der *HBV-Schubverbinder* beeinflusst wird und weniger vom Holz selbst, wird bei Brettstapelelementen der Preis stärker von der Holzmenge beeinflusst. Deshalb wird empfohlen, dass beim Einsatz dieses Deckentyps besonders auf einen minimalen Holzquerschnitt geachtet wird. Die Ausnutzung der Schubverbinder sollte zur weiteren Steigerung der Wirtschaftlichkeit maximiert werden.

Für die Praxis wird folgendes empfohlen:

- Bei der Bemessung muss auf einen minimalen Holzquerschnitt geachtet werden. Daneben beeinflusst die Anzahl der *HBV-Schubverbinder* die Kosten.
- Alle anderen Vorgänge haben nur einen geringen Anteil an den Gesamtkosten.

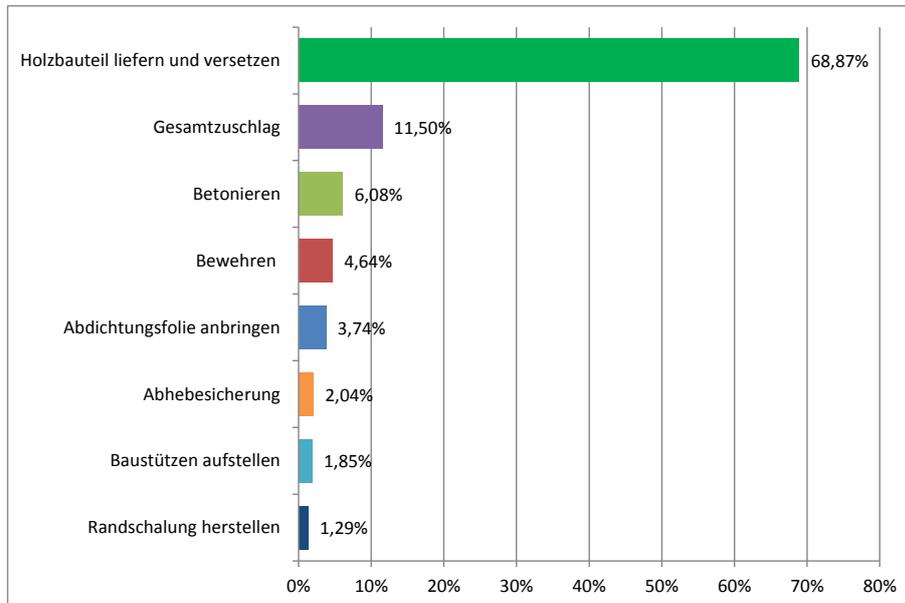
### 3.6.6 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerne, Herstellungsmethode: Option C

Die absoluten Kostenwerte der sieben Vorgänge zur Herstellung dieser HBV-Brettstapeldecke werden in der nachstehenden Tabelle präsentiert:

**Tabelle 32** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kernen und Herstellungsmethode C

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
Holzbauteil liefern und versetzen	8,17 €/m <sup>2</sup>	88,84 €/m <sup>2</sup>	97,01 €/m <sup>2</sup>
Randschalung herstellen	1,32 €/m <sup>2</sup>	0,50 €/m <sup>2</sup>	1,82 €/m <sup>2</sup>
Abdichtungsfolie anbringen	4,25 €/m <sup>2</sup>	1,01 €/m <sup>2</sup>	5,26 €/m <sup>2</sup>
Abhebesicherung	0,44 €/m <sup>2</sup>	2,43 €/m <sup>2</sup>	2,87 €/m <sup>2</sup>
Baustützen aufstellen	0,66 €/m <sup>2</sup>	1,94 €/m <sup>2</sup>	2,60 €/m <sup>2</sup>
Bewehren	2,42 €/m <sup>2</sup>	4,11 €/m <sup>2</sup>	6,53 €/m <sup>2</sup>
Betonieren	1,72 €/m <sup>2</sup>	6,84 €/m <sup>2</sup>	8,56 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	2,47 €/m <sup>2</sup>	13,73 €/m <sup>2</sup>	16,19 €/m <sup>2</sup>
<b>Summe</b>	<b>21,45 €/m<sup>2</sup></b>	<b>119,40 €/m<sup>2</sup></b>	<b>140,84 €/m<sup>2</sup></b>

Das kommende Bild zeigt die prozentualen Werte der Gesamtkosten der Vorgänge:



**Bild 3.58** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kerven und Herstellungsmethode C

Auch bei dieser Decke werden die Kosten wesentlich vom Holzbauteil beeinflusst. Alle anderen Vorgänge haben nur einen geringen Kostenanteil. Interessant ist die nähere Analyse der Materialkosten des Holzbauteils: Die erhöhten Kosten durch den Abbund zur Herstellung der Kerven im Holzwerk betragen laut Angaben verschiedener Hersteller im Durchschnitt 14 % der Materialkosten. Die restlichen 86 % der Bauteilkosten sind von der Holzmenge abhängig. Damit kann gezeigt werden, dass ein optimierter Holzquerschnitt die Kosten stärker beeinflusst als eine minimale Anzahl an Kerven. Es wird daher empfohlen, auch bei dieser Deckenart das Hauptaugenmerk auf einen minimalen Holzquerschnitt zu richten.

Zusammenfassend können folgende Punkte angeführt werden:

- Die Kosten zur Erzeugung der Kerven sind im Vergleich zu den Materialkosten des Holzbauteils gering. Deshalb beeinflusst eine Reduzierung des Querschnitts die Kosten stärker als die Reduzierung der Kervenanzahl.
- Alle anderen Vorgänge haben lediglich einen geringfügigen Einfluss auf die Gesamtkosten.

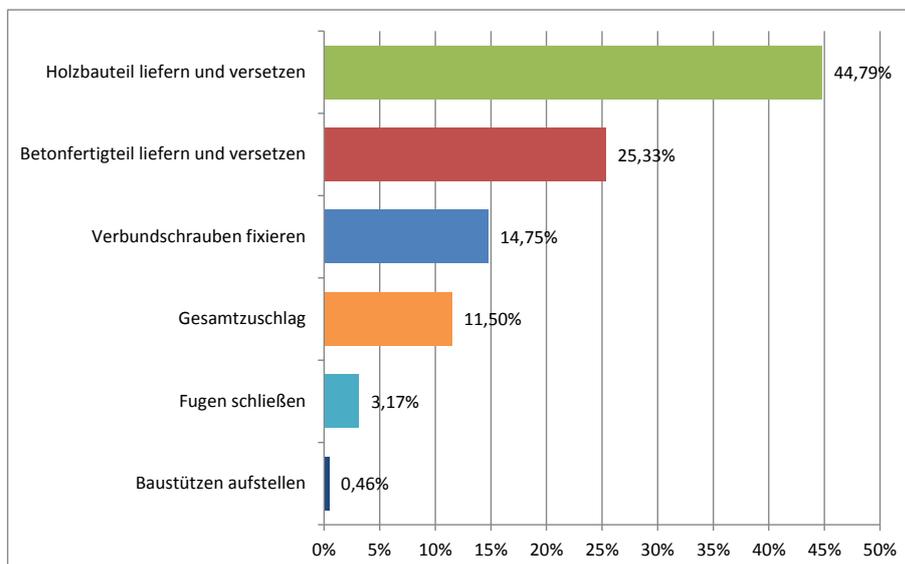
### 3.6.7 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Würth ASSYplus VG Schrauben, Herstellungsmethode: Option B

Bei einer HBV-Brettstapeldecke dieser Bauart verursachen fünf Vorgänge die folgenden Kosten:

**Tabelle 33** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Würth ASSYplus VG Schrauben und Herstellungsmethode B

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
Holzbauteil liefern und versetzen	8,17 €/m <sup>2</sup>	78,94 €/m <sup>2</sup>	87,11 €/m <sup>2</sup>
Baustützen aufstellen	0,33 €/m <sup>2</sup>	0,57 €/m <sup>2</sup>	0,90 €/m <sup>2</sup>
Betonfertigteil liefern und versetzen	7,73 €/m <sup>2</sup>	41,54 €/m <sup>2</sup>	49,27 €/m <sup>2</sup>
Verbundschrauben fixieren	4,43 €/m <sup>2</sup>	24,26 €/m <sup>2</sup>	28,69 €/m <sup>2</sup>
Fugen schließen	3,88 €/m <sup>2</sup>	2,27 €/m <sup>2</sup>	6,16 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	3,19 €/m <sup>2</sup>	19,17 €/m <sup>2</sup>	22,36 €/m <sup>2</sup>
Summe	27,73 €/m <sup>2</sup>	166,74 €/m <sup>2</sup>	194,47 €/m <sup>2</sup>

Auch bei dieser Decke werden zum besseren Verständnis die Kosten prozentual dargestellt:



**Bild 3.59** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Würth ASSYplus VG Schrauben und Herstellungsmethode B

Wie bei der HBV-Rippendecke mit demselben Verbindungsmittel und derselben Herstellungsmethode werden auch die Kosten dieser Decke, neben dem Holzbauteil, stark vom Betonbauteil beeinflusst. Daneben spielt auch die Fixierung der Verbundschrauben eine signifikante Rolle. Da jedoch die Anschaffungskosten der Brettstapelelemente höher sind als jene der Rippelemente, ist der prozentuale Anteil der Kosten der anderen Vorgänge bei dieser HBV-Brettstapeldecke geringer. Bei dieser Decke werden 25 Verbindungsmittel pro Quadratmeter zur Herstellung der Verbundwirkung benötigt, deshalb sind die Materialkosten für die

Würth ASSYplus VG Schrauben und die dazugehörigen FT-Verbinder umso höher (63,50 €/m²). Auch hier wird deshalb angeraten, den Fokus der statischen Dimensionierung auf das Verbindungsmittel zu legen, die Schraubenanzahl zu minimieren und die Schrauben maximal auszunutzen.

Die folgenden Kernaussagen sind für dieses Deckensystem wichtig:

- Die Kosten werden primär vom Holzbauteil und von der Anzahl der Schrauben beeinflusst.
- Ein optimierter Holzquerschnitt und eine minimale Schraubenanzahl senken die Kosten am stärksten.

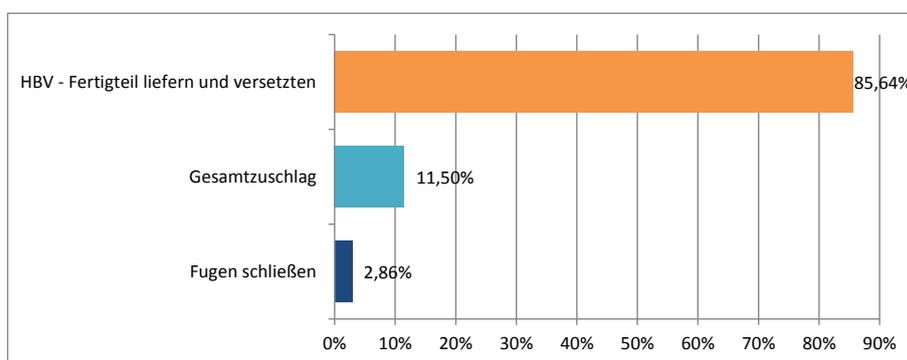
### 3.6.8 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: HBV-Schubverbinder, Herstellungsmethode: Option A

Für diese Decke können die Gesamtkosten folgenden Vorgängen zugeordnet werden:

**Tabelle 34** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit HBV-Schubverbindern und Herstellungsmethode A

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
HBV - Fertigteil liefern und versetzen	10,49 €/m²	159,88 €/m²	170,37 €/m²
Fugen schließen	3,61 €/m²	2,09 €/m²	5,70 €/m²
Gesamtzuschlag	1,83 €/m²	21,04 €/m²	22,87 €/m²
Summe	15,92 €/m²	183,02 €/m²	<b>198,94 €/m²</b>

Es ergeben sich folgende prozentualen Anteile der Vorgänge am Einheitspreis der Decke:



**Bild 3.60** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit HBV-Schubverbindern und Herstellungsmethode A

Da die Kosten dieses Deckentyps nahezu ausschließlich von den Fertigteilkosten verursacht werden, liegt die einzige Optimierungsmöglichkeit in diesem Bereich. Um eine solche zu realisieren, werden Maßnahmen wie in Kapitel 3.6.4 empfohlen. Um die Kosten zu senken, muss in enger Zusammenarbeit mit dem

Fertigteilhersteller der Produktionsprozess optimiert werden. Es können beispielsweise Deckenabmessungen und Querschnitte den Produktionsmöglichkeiten der Hersteller angepasst werden. Falls möglich, sollten möglichst Bauteile verwendet werden, welche im Produktsortiment des gewählten Herstellers enthalten sind, da diese Lagerwaren meist wirtschaftlicher angeboten werden. Durch das hohe Gewicht dieser Fertigteile und den damit verbundenen erhöhten Lieferkosten kann auch die Minimierung der Transportstrecke zu einer Kostenreduktion führen. Auch für diesen Deckentyp wird prognostiziert, dass bei steigender Marktnachfrage die Produktpreise für Fertigteile durch optimierte Produktionsbedingungen sinken werden und dadurch die betrachtete Deckenart kostengünstiger angeboten werden könnte.

Die hier genannten Empfehlungen können für die Praxis ausgesprochen werden:

- Es wird eine enge Zusammenarbeit mit den Fertigteilherstellern empfohlen.
- Die Fertigungsmöglichkeiten der Hersteller beeinflussen die Kosten signifikant. Die Planung sollte sich möglichst an diese anpassen.
- Durch besseren Ausbau der Infrastruktur werden die Kosten dieser HBV-Deckenart in Zukunft sinken.

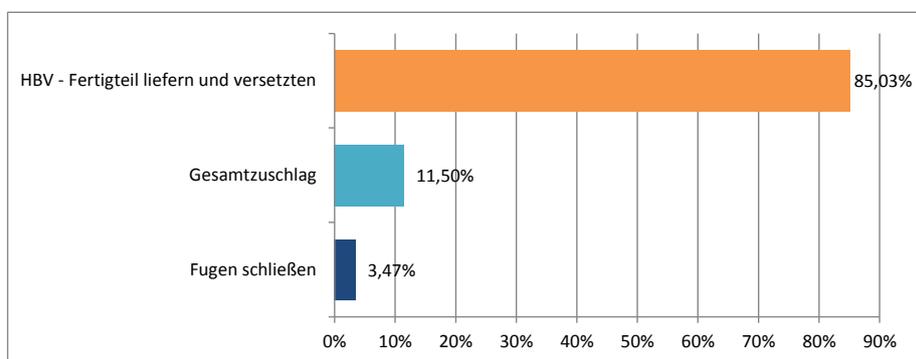
### 3.6.9 HBV-Brettstapeldecke, Verbindungsmittel: Kerne, Herstellungsmethode: Option A

Die Kostenzusammensetzung der letzten behandelten HBV-Decke sieht wie folgt aus:

**Tabelle 35** Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kernen und Herstellungsmethode A

Vorgang	Lohn	Sonstige Kosten	Gesamt
HBV - Fertigteil liefern und versetzen	10,49 €/m <sup>2</sup>	128,96 €/m <sup>2</sup>	139,45 €/m <sup>2</sup>
Fugen schließen	3,61 €/m <sup>2</sup>	2,09 €/m <sup>2</sup>	5,70 €/m <sup>2</sup>
Gesamtzuschlag	1,83 €/m <sup>2</sup>	17,02 €/m <sup>2</sup>	18,85 €/m <sup>2</sup>
Summe	15,92 €/m <sup>2</sup>	148,08 €/m <sup>2</sup>	<b>164,00 €/m<sup>2</sup></b>

Wie schon bei den oben analysierten Decken werden auch für diese die prozentualen Kosten der einzelnen Vorgänge in Bezug auf den Einheitspreis dargestellt:



**Bild 3.61** Prozentuale Anteile der Kosten der Vorgänge zur Herstellung der HBV-Brettstapeldecke mit Kernen und Herstellungsmethode A

Auch bei dieser Decke werden die Kosten mit überwiegender Mehrheit von den Fertigteilbaukosten beeinflusst, deshalb wird auf die Erkenntnisse und Empfehlungen in Kapitel 3.6.4 und 3.6.8 verwiesen.

## 4 Potenziale und künftige Entwicklungen von Holz-Beton-Verbunddecken

Die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von HBV-Decken gegenüber konventionellen Systemen konnte für einige Systeme im vorhergehenden Kapitel genauer dargestellt werden. Neben ökonomischen Aspekten beeinflussen den zukünftigen Markt viele weitere Faktoren. Die Entscheidungsfindung der einzelnen Bauherren wird von einer Reihe von Kriterien beeinflusst. Tichelmann fasst diese folgendermaßen zusammen:<sup>449</sup>

- *„Bauphysikalische Kriterien: Wärmeschutz, Feuchteschutz, Schallschutz, Brandschutz*
- *Technische und konstruktionsspezifische Kriterien: Bauteildicke, Gewicht, Tragfähigkeit, Beanspruchbarkeit, Flexibilität und Anpassbarkeit, Installationsfreundlichkeit*
- *Baubetriebliche und ökonomische Kriterien: Vorfertigung und Vorfertigungsgrad, Bauzeit, bauartspezifische Trocknungs- und Wartezeiten, Baukosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten*
- *Ökonomische Kriterien und Umweltverträglichkeit: Primärenergieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Äquivalent, NO-Äquivalent“*

Um zu bewerten, welche Faktoren einen positiven und welche einen negativen Einfluss auf die Angebots- und Nachfragesituation von HBV-Decken haben, wurden Experten in Form eines Fragebogens befragt. Dieser wurde im Kapitel 1.3 beschrieben und ist im Anhang zu finden. Mit Hilfe der Auswertung können Vor- und Nachteile gefunden und Potenziale aufgezeigt werden. Darüber hinaus wird die Frage beantwortet, worin das höchste Forschungs- und Entwicklungspotenzial und der größte Forschungs- und Entwicklungsbedarf liegen. In einem letzten Schritt werden die neuesten Materialentwicklungen bewertet und so deren Marktaussichten eingeschätzt.

<sup>449</sup> TICHELMANN, K. et al.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Wissenschaftliche Studie. S. 6

## 4.1 Faktor Bauzeit

Die Bauzeit spielt in der heutigen Bauwirtschaft eine immer größere Rolle, da Kunden auf eine schneller werdende Realisierung ihrer Wünsche drängen. Eine rasche Bauabwicklung kann zu einer Reduzierung von Baukosten führen und hat den Vorteil, dass der Auftraggeber das Gebäude früher nutzen kann. Die Baukosten können durch eine kurze Bauzeit verringert werden, da die Finanzierungskosten sinken. Beim Bau eines jeden Gebäudes wird vorerst Kapital, in Form eines Grundstückkaufes oder in Form von Abschlagszahlungen an Planer und an ausführenden Unternehmen, gebunden. Das erforderliche Kapital verursacht Zinsen, welche üblicherweise proportional mit der Bauzeit steigen. Genutzt werden kann das Gebäude erst nach Fertigstellung der gesamten Arbeiten. Vor allem bei Investitionsprojekten ist daher die Bestrebung groß, das Kapital so kurz wie möglich zu binden und so rasch wie möglich Einnahmen zu erhalten. Die Rendite und der Gewinn können dadurch erhöht werden.<sup>450</sup>

Um die Bauzeit von HBV-Decken zu bewerten, wurden Fachleute der Bauwirtschaft mit Hilfe eines Fragebogens befragt. Als Basis für die Befragung wurden die vier Herstellungsmethoden, welche bereits in Kapitel 2.3.6 beschrieben wurden, verwendet. Als Bewertungssystem wurde das österreichische Schulnotensystem verwendet.

### 4.1.1 Bewertung der Bauzeit

3.1) Wie bewerten Sie die verschiedenen Deckenarten und Ausführungsarten bezüglich der Bauzeit auf der Baustelle im Vergleich zu einer Stahlbetondecke? (Bitte Noten eintragen: 1 = sehr gut, 5 = ungenügend)

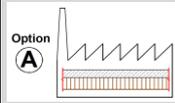
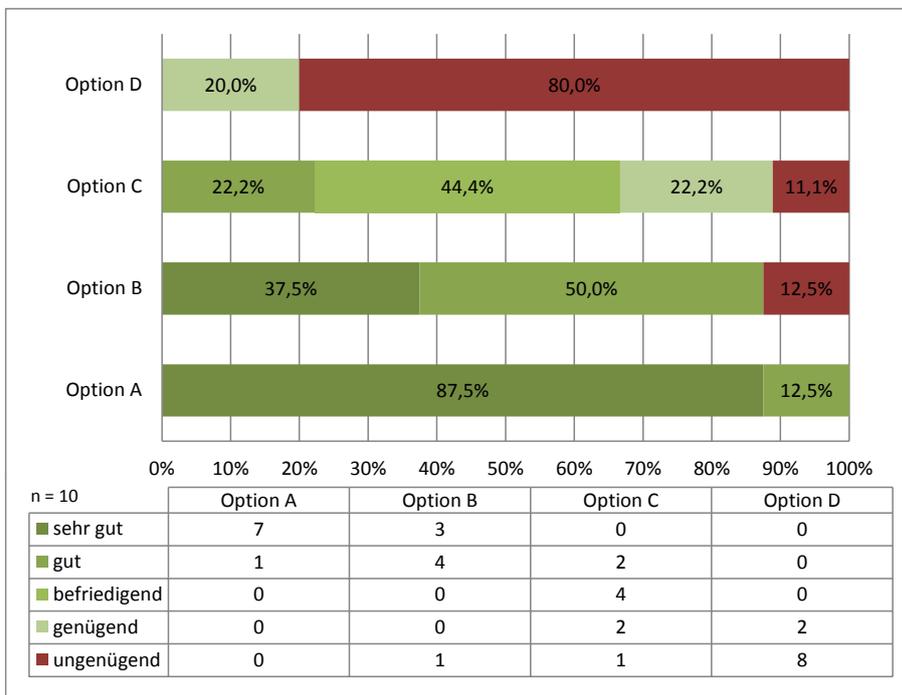
	Gesamte HBV-Decke als Fertigteil  Option A	Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden  Option B	Verbindungs mittel im Werk fixieren, auf Baustelle betonieren  Option C	Sämtliche Arbeiten auf Baustelle ausführen  Option D
HBV - Rippendecke				
HBV - Brettstapeldecke				
HBV - Brettsperrholzdecke				
Kommentar:				

Bild 4.1 Frage bezüglich der Bauzeit von HBV-Decken

<sup>450</sup> GIRMSCHIED, ; GERHARD, : Projektabwicklung in der Bauwirtschaft. 3. Auflage. S. 8ff.

#### 4.1.1.1 Bewertung der Bauzeit von HBV-Rippendecken

Folgende Grafik zeigt die Ergebnisse der Frage bezogen auf die Bauzeit einer HBV-Rippendecke. In den Abbildungen wurden alle positiven Bewertungen (1-4) zur besseren Übersicht in grün eingefärbt, eine negative Beurteilung (5) ist mit rot gekennzeichnet.



**Bild 4.2** Wie bewerten Sie die verschiedenen HBV-Rippendecken bezüglich der Bauzeit auf der Baustelle im Vergleich zu einer Stahlbetondecke?

Es ist deutlich zu erkennen, dass Option A bei dieser Frage am besten bewertet wurde. Da bei dieser Ausführungsvariante nur sehr wenige Vorgänge auf der Baustelle benötigt werden, kann diese Decke sehr schnell hergestellt werden. Es handelt sich um ein reines Fertigteil, bei dem nur mehr die Knotenanschlüsse vor Ort hergestellt und die Fertigteilfugen geschlossen werden müssen. Sieben von acht Experten (87,5 %) benoteten diese Herstellungsmethode deshalb mit *Sehr Gut*. Einer (12,5 %) gab das Urteil *Gut* ab. Die Durchschnittsbewertung für diese Decke beträgt 1,125. Bei Option B handelt es sich nicht mehr um ein reines Fertigteil, da hierbei mehrere Vorgänge auf der Baustelle ausgeführt werden müssen. Vor allem die Herstellung der schubfesten Verbindung zwischen Holz und Beton verlängert dabei die Bauzeit. Dies spiegeln auch die Antworten der Experten wieder. Auch wenn die Bewertung mit einem Durchschnitt von 2,00 zum Großteil positiv ausfällt (drei Stimmen (37,5 %) *Sehr Gut*, vier Stimmen (50,0 %) *Gut*), hat auch ein Experte (12,5 %) das System als *Ungenügend* gegenüber der Stahlbetondecke bewertet. Bei Option C wird der Beton auf der Baustelle eingebracht. Dass eine verlängerte Bauzeit sowie die Notwendigkeit einer Unterstützung der Decke bis zu ihrer Aushärtung einen möglichen

(wirtschaftlichen) Nachteil darstellt, geht auch aus den im Fragebogen kundgetanen Expertenmeinungen hervor: die Durchschnittsbewertung dieser Decke liegt bei 3,22. Kein Experte hat diese Herstellungsmethode mit *Sehr Gut* bewertet, zwei (22,2 %) mit *Gut*, vier mit (44,4 %) *Befriedigend*, zwei (22,2 %) mit *Genügend* und einer mit (11,1 %) *Nicht Genügend*. Die Option D, bei der alle Arbeiten auf der Baustelle ausgeführt werden, wird von acht Experten als *Ungenügend* eingestuft (80,0 %), lediglich zwei (20,0 %) bewerteten diese mit *Genügend*. Die durchschnittliche Bewertung von 4,80 spiegelt die negative Bewertung dieser Herstellungsmethode bezüglich der Bauzeit wieder.

Wird bei einem Projekt eine besonders kurze Bauzeit benötigt, kann durch die Wahl der Herstellungsmethode A oder B die Zeit zur Herstellung der Decken reduziert werden. Je nach Dringlichkeit muss der Bauherr abwägen, ob die erhöhten Kosten, welche bei diesen beiden Herstellungsmethoden entstehen, durch die Verkürzung der Bauzeit gerechtfertigt sind. Die Herstellungsmethode D wird nicht empfohlen, da zur Herstellung der Verbindung auf der Baustelle sehr viel Zeit benötigt wird und zusätzlich die Dauer zur Aushärtung des Betons eingerechnet werden muss.

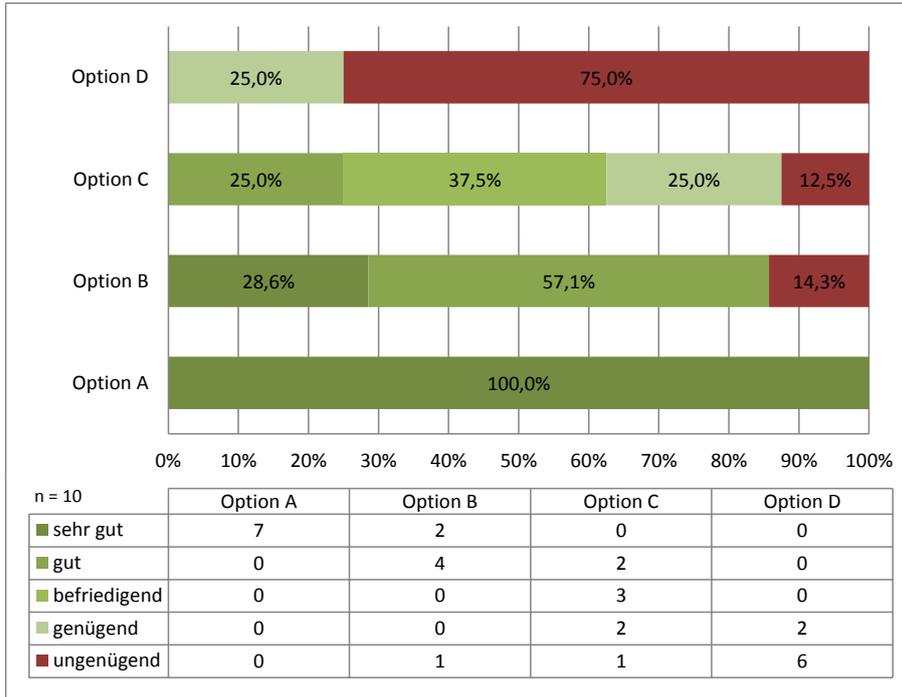
Einen weiteren Vorteil bezüglich der Bauzeit haben HBV-Decken bei denen das Holzbauteil in Sichtqualität geliefert wird, da bei den Ausbuarbeiten keine zusätzlichen Maßnahmen zur Herstellung der Untersicht durchgeführt werden müssen. Durch diese Qualitätsanforderung erhöhen sich allerdings die Kosten für die Rohbaudecke. Da die in dieser Arbeit ermittelten Materialkosten für Holz jedoch immer auf die Sichtqualität bezogen sind, wurde dieser Umstand bereits berücksichtigt.

Zusammenfassend können folgende Vor- und Nachteile gegenüber einer Stahlbetondecke genannt werden:

Vorteile	Nachteile
Stark reduzierte Bauzeit bei Herstellungsmethode A	Stark erhöhte Bauzeit bei Herstellungsmethode D
Reduzierte Bauzeit bei Herstellungsmethode B	Erhöhte Bauzeit bei Herstellungsmethode C
Verkürzung der Bauzeit bei Verwendung von Holz in Sichtqualität bei allen Herstellungsmethoden	

#### 4.1.1.2 Bewertung der Bauzeit von HBV-Brettstapeldecken

Im folgenden Bild sind die Antworten der Frage, welche in Kapitel 4.1.1 dargestellt ist, bezogen auf HBV-Brettstapeldecken dargestellt.



**Bild 4.3** Wie bewerten Sie die verschiedenen HBV-Brettstapeldecke bezüglich der Bauzeit auf der Baustelle im Vergleich zu einer Stahlbetondecke?

Die Verteilung der Antworten für die HBV-Brettstapeldecken sieht sehr ähnlich aus wie jene für die HBV-Rippendecken, wobei Option A und D leicht positiver und Option B und C geringfügig schlechter bewertet wurden. Nichtsdestotrotz werden auch bei diesen Deckentypen die Option A und B viel höher bewertet als die Option C und D. Option A wird von allen sieben Experten, welche eine Antwort abgaben, mit *Sehr Gut* bewertet, dementsprechend ergibt sich ein Durchschnitt von 1,00. Option C bekam von zwei Fachleuten (28,6 %) *Sehr Gut*, von vier (57,5 %) *Gut* und von einer Person *Ungenügend* (14,3 %), damit ergibt sich eine Durchschnittsbewertung von 2,14. Option C hingegen erhielt kein *Sehr Gut*, jeweils zwei (25,0 %) *Gut* und *Genügend*, drei (37,5 %) *Befriedigend* und ein *Nicht Genügend* (12,5 %). Der berechnete Durchschnitt für die HBV-Brettstapeldecke mit Herstellungsmethode C beträgt 3,25. Wie auch bei den HBV-Rippendecken wurde Option D überwiegend negativ beurteilt: Sechs Experten empfinden diese Herstellungsmethode gegenüber einer Stahlbetondecke als *Nicht Genügend* (75,0 %), lediglich zwei (25,0 %) gaben ein knapp positives Urteil ab (*Genügend*). Die durchschnittliche Bewertung von 4,75 ist um 0,05 besser als jener der HBV-Rippendecke mit derselben Herstellungsmethode.

Wie bei den HBV-Rippendecken können auch hier Empfehlungen ausgesprochen werden. Werden die höheren Baukosten toleriert, empfiehlt es sich, Herstellungsmethode A oder B zu wählen, da dadurch die Bauzeit reduziert werden kann. Ansonsten sollte Option C gewählt werden, da sich die Herstellungsmethode D, bei der alle Arbeiten auf der Baustelle ausgeführt werden, laut überwiegender Expertenmeinung nicht eignet. Wie bei den HBV-Rippendecken verkürzt sich die Bauzeit aller Herstellungsmethoden bei Verwendung von Holz in Sichtqualität

Für HBV-Brettstapeldecken können, bezogen auf die Bauzeit, folgende Vor- und Nachteile gegenüber einer Stahlbetondecke genannt werden.

Vorteile	Nachteile
<p>Kürzere Bauzeit bei Anwendung von Herstellungsmethode A und B</p> <p>Verkürzung der Bauzeit bei Verwendung von Holz in Sichtqualität unabhängig von der Herstellungsmethode</p>	<p>Höhere Bauzeit bei Anwendung von Herstellungsmethode C und D</p>

## 4.2 Hindernisse und Möglichkeiten

Neben den Kosten und der Bauzeit bestimmen eine Reihe weiterer Aspekte die Vor- und Nachteile der HBV-Bauweise. Eine generelle Aussage dazu wurde bereits in Kapitel 2.2.2 getroffen; die Vor- und Nachteile sollen hier mit Hilfe des Fragebogens im Detail betrachtet werden.

### 4.2.1 Gründe der geringen Anwendung der Bauweise

Um die aktuelle Angebots- und Nachfragesituation von HBV-Decken praxisnah einstuft zu können, wurde in den Gesprächen mit den Experten gefragt, welche Gründe sie für den geringen Einsatz der HBV-Bauweise in der Praxis nennen können.

5.1) Warum sind HBV - Decken Ihrer Meinung nach zurzeit so wenig in Planung/Bau?

---



---



---



---

**Bild 4.4** Allgemein Frage zum Status Quo des geringen Einsatzes von HBV-Decken in der Praxis

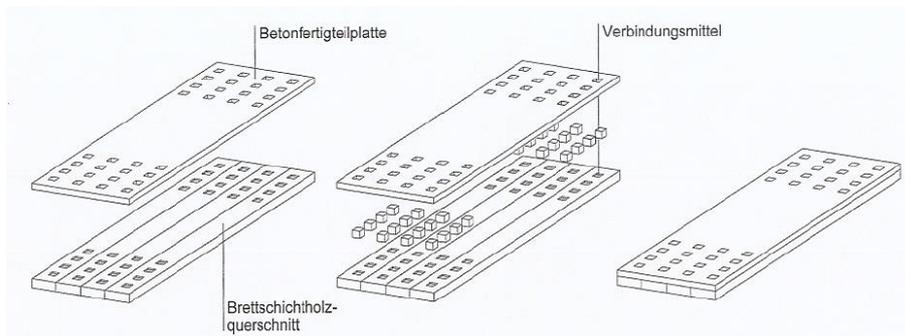
Abgeleitet aus den Antworten ergeben sich neben den Vorteilen auch einige Nachteile der HBV-Bauweise. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass die im Folgenden genannten Punkte subjektive Meinungen von Einzelpersonen darstellen und daher wissenschaftlich nicht fundiert sind. Dennoch stellen sie den Status Quo der Praxis zum Thema dar und weisen auf einige zu beachtende Problematiken hin:<sup>451</sup>

- *Kosten der HBV-Decken zu hoch*
- *Eintragung von Feuchte in Holztragwerke*
- *Lange Zulassungsprozedur*
- *Zwei verschiedene Gewerke mit zwei verschiedenen Philosophien*
- *Bauweise erfordert Zusammenarbeit zwischen Holzbauer und Betonbauer (gewerkeübergreifend)*
- *Holzbauer will / kann mit Beton nicht umgehen*
- *Betonbauer will / kann mit Holz nicht umgehen*

<sup>451</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

- *Bauweise und Technik ist für Fachplaner und ausführende Unternehmen unbekannt*
- *Bauweise hat sich noch nicht etabliert*
- *Normen und Gesetze behindern die Umsetzung*
- *Aufwändige Planung mit hohen Anforderungen an den Fachplaner*

Von diesen genannten Punkten soll vor allem die problematische Zusammenarbeit zwischen Holzbauern und Betonbauern genauer betrachtet werden. Da es sich beim Holzbau generell um eine trockene Bauart handelt und beim Betonbau um eine „nasse“, ist deren Kombination in der Praxis laut Expertenmeinung oft nicht gewünscht. Vor allem bei Verwendung von Holz in Sichtqualität kann es bei unsauberer Betonierarbeit zu Materialschäden kommen, welche nur schwer zu beheben sind. Dieses Problem wird zurzeit nur vom Verbindungsmittel *Würth ASSYplus VG* gelöst, bei dem der bereits gehärtete Beton mit dem Holz in Verbindung gebracht wird. Laut Expertenaussagen tritt dieses Problem auch bei der Herstellung von HBV-Fertigteilen im Werk auf, sodass die Entwicklung eines neuen, getrennt vorgefertigten Fertigteilsystems angestrebt wird.<sup>452</sup> Ein erster Schritt in diese Richtung wurde an der Universität Innsbruck getan. Dort wurde ein System entwickelt, bei dem ein flächiges Holzbauteil mit einem Betonfertigteile über einer sog. Fugenvergussverbindung verbunden wird. Das Verbindungssystem besteht aus rechteckigen Ausfräsungen im Holzbauteil, entsprechenden Löchern im Betonbauteil und einem handelsüblichen Fugenvergussmörtel. Die generelle Eignung dieses Systems konnte in Versuchen bestätigt werden.<sup>453</sup>



**Bild 4.5** Neu entwickelte, getrennt vorgefertigte HBV-Deckenelemente <sup>454</sup>

<sup>452</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>453</sup> Vgl. FEIX, J. et al.: Entwicklung eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbund Deckensystems. In: Bauingenieur, 04/2010, S. 141ff.

<sup>454</sup> Vgl. a.a.O., S. 142

### 4.2.2 Qualitäten von HBV-Decken

Konstruktive und bauphysikalische Eigenschaften von Deckensystemen werden oft als Entscheidungskriterien bei der Auswahl herangezogen. Darüber hinaus können die Ästhetik und die Nachhaltigkeit eine Rolle spielen. Um diese Eigenschaften zu bewerten, wurden Fachleute nach ihrer Beurteilung der Qualität von HBV-Rippendecken und HBV-Brettstapeldecken im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke gefragt.

4.1) Wie schätzen Sie die Qualität der verschiedenen HBV - Decken im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ein? (1 = sehr gut, 5 = ungenügend)

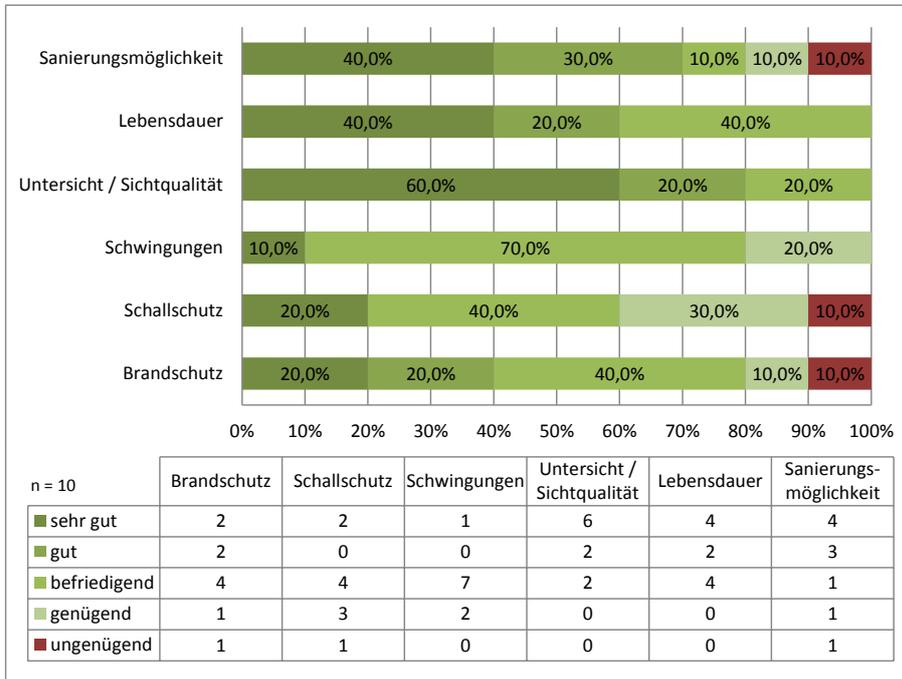
	1	2	3	4	5
<b>HBV - Rippendecke</b>					
Brandschutz	<input type="checkbox"/>				
Schallschutz	<input type="checkbox"/>				
Schwingungen	<input type="checkbox"/>				
Untersicht / Sichtqualität	<input type="checkbox"/>				
Lebensdauer	<input type="checkbox"/>				
Sanierungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>				
<b>HBV - Brettstapeldecke</b>					
Brandschutz	<input type="checkbox"/>				
Schallschutz	<input type="checkbox"/>				
Schwingungen	<input type="checkbox"/>				
Untersicht / Sichtqualität	<input type="checkbox"/>				
Lebensdauer	<input type="checkbox"/>				
Sanierungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>				
Kommentar:					

Bild 4.6 Frage bezüglich der Qualitäten von HBV-Decken

Als Benotungssystem wurden wiederum die Schulnoten von 1 bis 5 verwendet. Positive Bewertungen sind an der Farbe Grün zu erkennen, die Farbe Rot signalisiert die Bewertung mit *Ungenügend*.

#### 4.2.2.1 Qualitäten von HBV-Rippendecken

Das Feedback zu den HBV-Rippendecken kann folgendermaßen zusammengefasst werden:



**Bild 4.7** Wie schätzen Sie die Qualität von HBV-Rippendecken im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ein?

Stellvertretend für bauphysikalische Eigenschaften wurde nach der Qualität des Brandschutzes und des Schallschutzes gefragt. Diese wurden mit einer durchschnittlichen Bewertung von 2,70 (Brandschutz) und 3,10 (Schallschutz) bewertet. Auch wenn die Benotung generell positiv ist, können diese Punkte weder als eindeutiger Vorteil, noch als eindeutiger Nachteil für die HBV-Rippendecke gewertet werden. Selbiges gilt für die Schwingungseigenschaften, welche zur Beurteilung der konstruktiven Eigenschaften gewählt wurden und mit einer mittleren Bewertung von 3,00 als vollkommen gleichwertig mit denen der Stahlbetondecke eingeschätzt wurden. Hingegen zählt die Ästhetik als großer Vorteil von HBV-Rippendecken, da die Untersicht und Sichtqualität mit über 50 % als *Sehr Gut* eingeschätzt wurde. Die berechnete Durchschnittsbewertung dieser Eigenschaft liegt bei 1,60. Die Nachhaltigkeit der HBV-Rippendecken, welche hier über die Lebensdauer (Durchschnittsbewertung 2,00) und die Sanierungsmöglichkeit (Durchschnittsbewertung 2,20) beurteilt wird, kann als geringfügig besser als jener einer Stahlbetondecke angesehen werden. Jedoch sind die Umfrageergebnisse zu wenig signifikant, um diese Qualitätseigenschaften als tatsächlicher Vor- oder Nachteil

einzustufen. Wird die Nachhaltigkeit mit Hilfe des ökologischen Fingerabdrucks bewertet, ist die HBV-Rippendecke im Vorteil. So konnte bei einem Forschungsprojekt <sup>455</sup> nachgewiesen werden, dass der erzeugte CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines Hochhauses in Holz um 90 % geringer ist als jener eines vergleichbaren Gebäudes in konventioneller Massivbauweise. Beim angesprochenen Forschungsprojekt kamen HBV-Decken zum Einsatz.

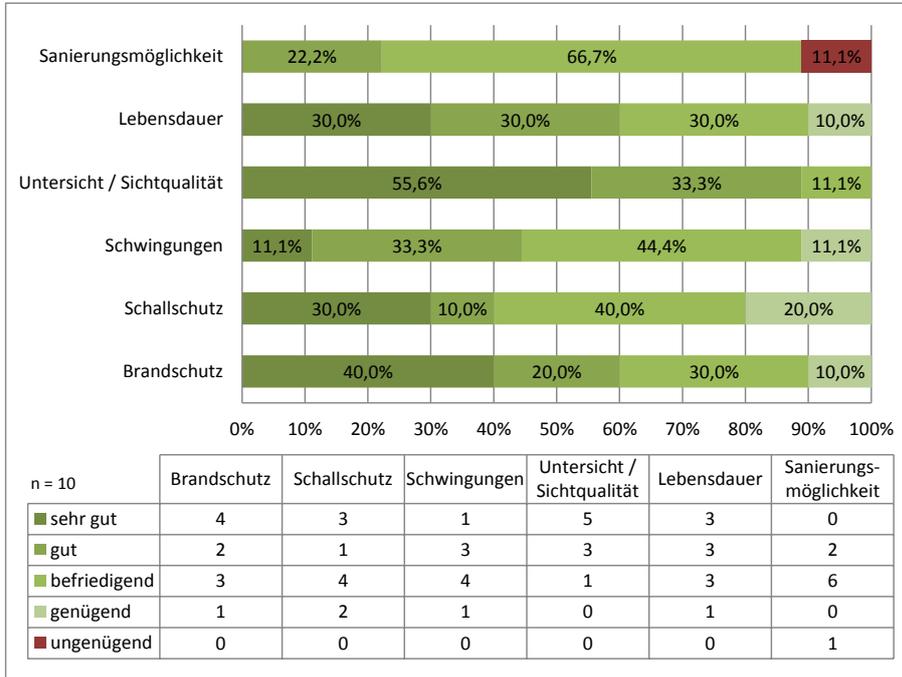
Laut den befragten Experten können folgende Vor- und Nachteile von HBV-Rippendecken gegenüber einer Stahlbetondecke genannt werden:

Vorteile	Nachteile
Bessere Ästhetik durch hochwertigere Untersicht	
Höhere Nachhaltigkeit durch geringeren ökologischen Fußabdruck bei vergleichbarer Lebensdauer und Sanierungsmöglichkeit	

<sup>455</sup> Vgl. ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 20

#### 4.2.2.2 Qualitäten von HBV-Brettstapeldecken

Die folgende Darstellung fasst die Ergebnisse der Frage in Kapitel 4.2.2 bezogen auf die Qualitäten von HBV-Brettstapeldecken zusammen:



**Bild 4.8** Wie schätzen Sie die Qualität von HBV-Brettstapeldecke im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ein?

Die Tendenz der Ergebnisse für die HBV-Brettstapeldecke ist ähnlich jener der HBV-Rippendecke. Bezogen auf die Bauphysik wird die Qualität dieser Decke sehr positiv bewertet. Der Brandschutz wurde von 40,0 % der Experten als *Sehr Gut* bezeichnet, der Schallschutz von 30,0 %, sodass dies als geringer Vorteil gegenüber der Stahlbetondecke genannt werden kann. Die Durchschnittswerte betragen für den Brandschutz 2,10 und für den Schallschutz 2,50. Auch die Bewertung der Schwingungen fällt mit durchschnittlich 2,56 positiv und in einem mit der Stahlbetondecke vergleichbaren Rahmen aus. Auch bei der HBV-Brettstapeldecke kann die Untersicht und Sichtqualität mit einem Schnitt von 1,56 als eindeutiger Vorteil gegenüber der Stahlbetondecke identifiziert werden. Die Nachhaltigkeit von HBV-Decken, welche mit den Qualitätseigenschaften der Lebensdauer (Durchschnittsbewertung 2,20) und Sanierungsmöglichkeit (Durchschnittsbewertung 3,00) erörtert wurde, kann als vergleichbar angesehen werden. Wie bereits bei der HBV-Rippendecke angesprochen, ist die Nachhaltigkeit in Summe als Vorteil anzusehen, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen über die Lebensdauer einer solchen Konstruktion einen Bruchteil derer einer Stahlbetondecke ausmachen.

Folgende Vor- und Nachteile von HBV-Brettstapeldecken gegenüber einer Stahlbetondecke können zusammengefasst werden:

Vorteile	Nachteile
Hochwertigerer Brandschutz und vergleichbarer Schallschutz	
Hochwertigere Untersicht durch Holz in Wohnsichtqualität	
Höhere Nachhaltigkeit durch geringeren ökologischen Fußabdruck bei vergleichbarer Lebensdauer und Sanierungsmöglichkeit	

#### 4.2.3 Abschätzung der Vor- und Nachteile von HBV-Decken

Eine weitere Frage bezog sich direkt auf die Vor- und Nachteile von HBV-Decken im Vergleich zu einer Stahlbetondecke.

4.2) Welche sind Ihrer Einschätzung nach die größten Vor- und Nachteile einer HBV - Decke im Vergleich zu einer Stahlbetondecke?

	Vorteil	eher Vorteil	weder - noch	eher Nachteil	Nachteil
Rohbaukosten	<input type="checkbox"/>				
Bauzeit	<input type="checkbox"/>				
Angebotsrisiko	<input type="checkbox"/>				
Bauzeitrisiko	<input type="checkbox"/>				
Baubetriebliche Abwicklung	<input type="checkbox"/>				
Materialkombination Holz - Beton	<input type="checkbox"/>				
Ausschreibungsunterlagen	<input type="checkbox"/>				
Kalkulationsansätze	<input type="checkbox"/>				
Normung / Regelung	<input type="checkbox"/>				
Konstruktive Anforderungen	<input type="checkbox"/>				
Gewährleistung	<input type="checkbox"/>				
Modulbau	<input type="checkbox"/>				
Andere:	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

Bild 4.9 Frage bezüglich Vor- und Nachteile von HBV-Decken

Als Benotungsmöglichkeit standen *Vorteil*, *eher Vorteil*, *weder-noch*, *eher Nachteil* und *Nachteil* zur Verfügung. Zur besseren Darstellung wurden in der Auswertung alle positiven Abschätzungen in Grün, alle negativen in Rot, und die neutrale Bewertung in Blau gekennzeichnet.

Bezogen auf alle HBV-Deckenarten gaben die Experten folgende Wertungen ab:

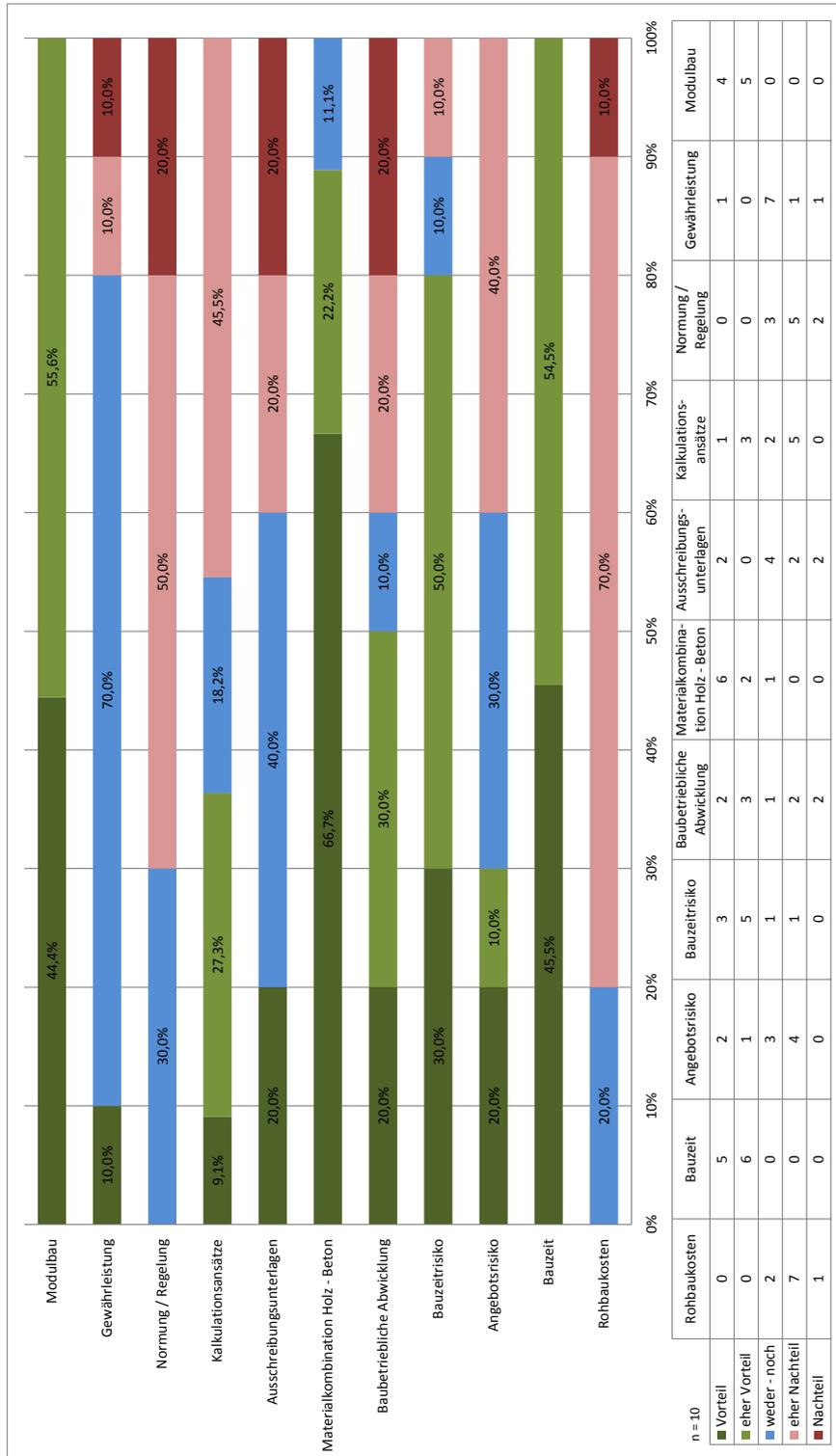


Bild 4.10 Welche sind Ihrer Einschätzung nach die größten Vor- und Nachteile einer HBV-Decke im Vergleich zu einer Stahlbetondecke?

Werden den Bewertungen Schulnoten von *Sehr Gut* bis *Ungenügend* zugewiesen<sup>456</sup>, können durchschnittliche Beurteilungen für die einzelnen Bewertungskriterien berechnet werden. Die Rohbaukosten, bei denen der Balken in der Abbildung überwiegend rot gefärbt ist, bekommt so die durchschnittliche Bewertung von 3,90, werden also von den Experten als Nachteil angesehen. Da die kalkulierten Kosten und Einheitspreise für HBV-Decken in dieser Arbeit im Schnitt höher sind als jene der Stahlbetondecke, kann dies bestätigt werden. Der Balken der Bauzeit hingegen ist überwiegend grün gefärbt und wird im Schnitt mit 1,55 bewertet. Die Bauzeit kann somit als Vorteil der HBV-Decken gesehen werden. Eine detailliertere Betrachtung dieses Kriteriums ist in Kapitel 4.1 zu finden. Das Angebotsrisiko, welches mit 2,90 bewertet wurde, ist laut Experten als gleichwertig mit dem einer Stahlbetondecke anzusehen. Hingegen ist das Bauzeitrisiko bei HBV-Decken geringer, dieses Merkmal erhielt im Schnitt die Note 2,20. Die baubetriebliche Abwicklung kann weder als Vorteil noch als Nachteil angesehen werden, da die Stimmen sehr gleichmäßig verteilt sind und die Bewertung im Schnitt 2,95 beträgt. Die Materialkombination von Holz und Beton wird von den Experten als sehr positiv eingeschätzt, die Note dafür lautet 1,44. Somit kann gesagt werden, dass die konsultierten Experten die Verbindung dieser beiden Baustoffe in Summe als sehr positiv ansehen. Hingegen wurden die Merkmale Ausschreibungsunterlagen (3,20) und die Kalkulationsansätze (3,00) als gleichwertig zu jenen einer Stahlbetondecke bewertet. Neben den bereits genannten Rohbaukosten wird auch das Kriterium Normung / Regelung mit 3,90 als Nachteil eingeschätzt. Die detaillierte Beschreibung dieser Problematik ist im Kapitel 3.1.1 dieser Arbeit zu finden. Das Kriterium Gewährleistung wird mit einer Note von 3,10 etwas negativer als bei einer Stahlbetondecke bewertet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die Zusammenarbeit zweier Gewerke die Gewährleistung vertraglich genau festgelegt werden muss. Wird dies nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt, kann es im Schadensfall zu rechtlichen Streitfällen kommen. Diese Problematik tritt bei Stahlbetondecken nicht auf, da der Rohbau meist von einem einzigen verantwortlichen Unternehmen hergestellt wird. Die Möglichkeit, HBV-Elemente in ein Modulbaukonzept<sup>457</sup> zu integrieren, wird von den meisten Experten als Vorteil angesehen, dementsprechend fällt die Benotung mit durchschnittlich 1,55 positiv aus.

<sup>456</sup> Vorteil = 1; eher Vorteil = 2; weder - noch = 3, eher Nachteil = 4; Nachteil = 5;

<sup>457</sup> Bei der Modulbauweise, auch als Systembauweise oder Raumzellenbauweise genannt, werden einzelne Gebäudeteile (sog. Module) im Werk vorgefertigt und auch der Baustelle nach dem Baukastenprinzip miteinander verbunden. Häufig besteht ein Modul aus Wänden, Decken, Böden, Innenausbau, Installationen, Fenster und Türen. Die Bauweise ist verwandt mit der Containerbauweise.

Für diese Frage können hier zusammenfassend folgende Vor- und Nachteile von HBV-Decken gegenüber Stahlbetondecken genannt werden:

Vorteile	Nachteile
Kürzere Bauzeit	Durchschnittlich höhere Rohbaukosten
Vergleichbares Angebotsrisiko und geringeres Bauzeitrisiko	Weniger Ausschreibungsunterlagen und Kalkulationsansätze vorhanden
Kombination von Holz und Beton	Unklare Normung und Regelung
Möglichkeit der Integration in ein Modulbaukonzept	Höheres Gewährleistungsrisiko

#### 4.2.4 Akzeptanz von HBV-Decken

Aus den Punkten, welche im Kapitel 4.2.1 genannt wurden, geht hervor, dass die Akzeptanz gegenüber HBV-Decken bei den am Bau Beteiligten unterschiedlich groß ist. Dies wurde im Fragebogen mit einer weiteren Frage genauer untersucht.

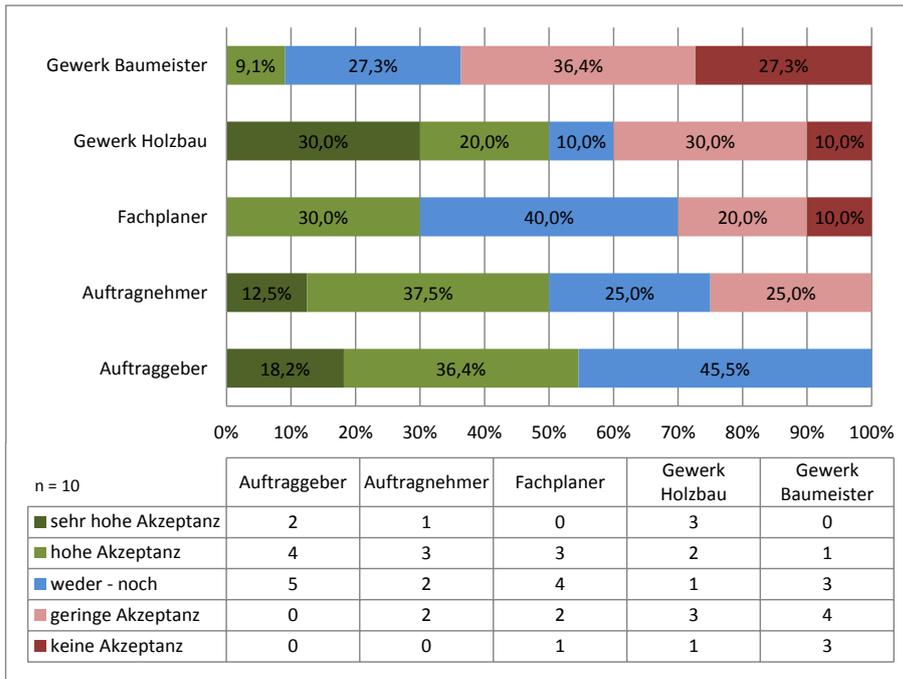
4.3) Wie hoch schätzen Sie die Akzeptanz der folgenden am Bau Beteiligten in Hinblick auf HBV - Decken ein? (1 = sehr hohe Akzeptanz, 5 = keine Akzeptanz)

	1	2	3	4	5
Auftraggeber	<input type="checkbox"/>				
Auftragnehmer	<input type="checkbox"/>				
Fachplaner	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Holzbau	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Baumeister	<input type="checkbox"/>				
Andere: _____	<input type="checkbox"/>				
Kommentar:					

**Bild 4.11** Frage bezüglich der Akzeptanz der am Bau Beteiligten gegenüber HBV-Decken

Als Antwortmöglichkeiten standen *sehr hohe Akzeptanz*, *hohe Akzeptanz*, *weder-noch*, *geringe Akzeptanz* und *keine Akzeptanz* zur Verfügung. In der auswertenden Darstellung wurden die ersten beiden Antwortmöglichkeiten in Grün gefärbt, die Möglichkeit *weder-noch* ist durch die Farbe Blau zu erkennen. Die Farbe Rot signalisiert die Antwortmöglichkeiten *keine* und *geringe Akzeptanz*.

Die Ergebnisse dieser Frage können mit folgender Abbildung zusammengefasst werden:



**Bild 4.12** Wie hoch schätzen Sie die Akzeptanz der folgenden am Bau Beteiligten in Hinblick auf HBV-Decken ein?

Die Auftraggeber und Auftragnehmer stehen im Allgemeinen HBV-Decken nicht negativ gegenüber. Werden den Benutzungsöglichkeiten wiederum die Schulnoten von 1 bis 5 zugewiesen<sup>458</sup>, kann die Akzeptanz der Auftraggeber mit 2,27 und jener der Auftragnehmer mit 2,63 angegeben werden. Somit werden HBV-Decken vor allem bei Auftraggebern akzeptiert. Die Fachplaner sind gegenüber diesen Deckensystemen bereits etwas skeptischer, die Durchschnittsnote beträgt 3,10. Gravierender ist dies beim Gewerk Betonbau, bei dem die Akzeptanz mit durchschnittlich 3,81 als sehr gering eingeschätzt wird. Hingegen sind die Experten aus der Befragung der Meinung, dass das Gewerk Holzbau die HBV-Bauweise eher akzeptiert. Die Durchschnittsnote mit einem Schnitt von 2,70 liegt zwischen *hoher Akzeptanz* und *weder-noch*.

Daraus abgeleitet ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
Hohe Akzeptanz von Auftraggebern und dem Gewerk Holzbau	Geringe Akzeptanz von Fachplanern und dem Gewerk Betonbau

<sup>458</sup> sehr hohe Akzeptanz = 1; hohe Akzeptanz = 2; weder - noch = 3; geringe Akzeptanz = 4; keine Akzeptanz = 5;

**4.3 Zukünftige Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise**

Mit Hilfe der Kalkulation in dieser Arbeit und den bisher ausgewerteten Fragebögen wird der Status Quo der Forschung und der Praxis erläutert. Wie bereits erwähnt, sind einige Experten der Meinung, dass die Bauweise zurzeit noch zu wenig etabliert ist, um in der Realität breiter eingesetzt zu werden. Um abschätzen zu können, für welche Bereiche sich HBV-Decken besonders eignen, welche Potenziale noch ausgeschöpft werden können und in welchen Bereichen noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf herrscht, werden drei gesonderte Fragen des Fragebogens ausgewertet.

**4.3.1 Künftige Einsatzgebiete von HBV-Decken**

Die HBV-Bauweise wurde bisher bei sehr unterschiedlichen Bauwerkstypen eingesetzt, unter anderem bei Einfamilienhäusern, Sanierungen, Brücken, Mehrfamilienhäusern, Bürogebäuden, und auch öffentlichen Gebäuden. Hier konnte sich noch kein Bauwerkstyp als wichtigstes bzw. typisches Einsatzgebiet für HBV-Decken hervorheben. Wie sich dies in Zukunft entwickeln wird, ist noch unbekannt. Die folgende Frage dient zur Abschätzung des Potenzials von HBV-Decken in verschiedenen Bauwerksarten, mit deren Hilfe die künftigen Einsatzgebiete eruiert werden sollen.

5.3) Wie schätzen Sie die Chance ein, dass in Zukunft HBV - Decken vermehrt in folgenden Bauwerkstypen zum Einsatz kommen werden? (1 = sehr hoch, 5 = sehr niedrig)

	1	2	3	4	5
Fertighäuser	<input type="checkbox"/>				
Mehrgeschosswohnbau	<input type="checkbox"/>				
Bürobau	<input type="checkbox"/>				
Sanierungen	<input type="checkbox"/>				
Einfamilienhäuser	<input type="checkbox"/>				
Öffentliche Gebäude	<input type="checkbox"/>				
Brückenbau	<input type="checkbox"/>				

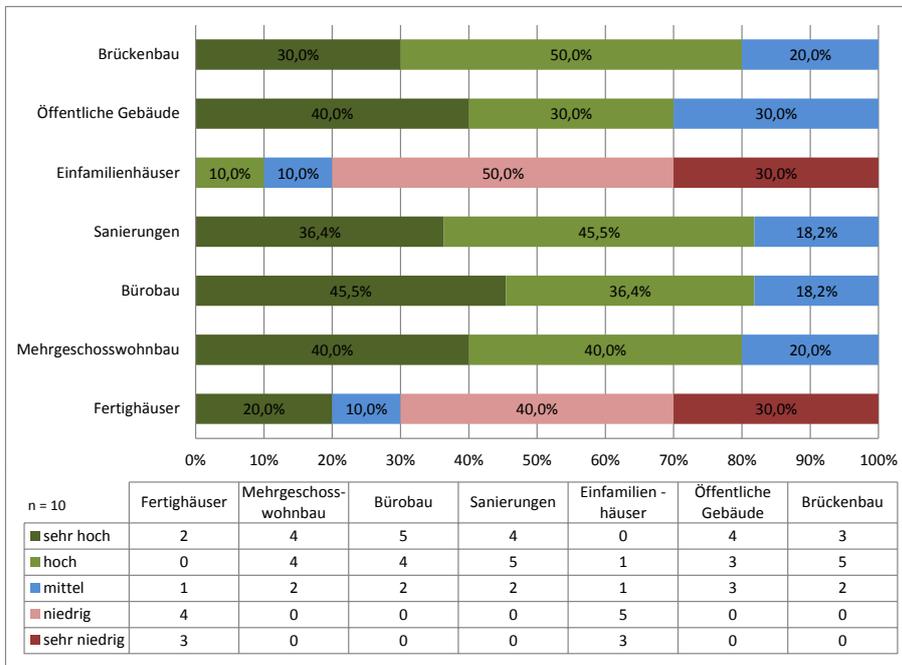
Kommentar:

---

Bild 4.13 Frage bezüglich der zukünftigen Einsatzgebiete von HBV-Decken

Als Antwortmöglichkeiten standen *sehr hoch*, *hoch*, *mittel*, *niedrig* und *sehr niedrig* zur Verfügung. In der Graphik wurden die Stimmen für *sehr hoch* und *hoch* grün gefärbt, die mittlere Antwort blau und die beiden letztgenannten Antwortmöglichkeiten rot.

Folgende Antworten wurden abgegeben:



**Bild 4.14** Wie schätzen Sie die Chance ein, dass in Zukunft HBV-Decken vermehrt in folgenden Bauwerkstypen zum Einsatz kommen werden?

Laut Experten sind prädestinierte Einsatzgebiete der HBV-Decken der Mehrgeschossbau, der Bürobau, Sanierungen, öffentliche Gebäude und der Brückenbau. Hingegen werden die Chancen, dass HBV-Decken bei Fertighäusern oder Einfamilienhäusern in Zukunft vermehrt zu Einsatz kommen, als gering eingeschätzt. Werden den Wahlmöglichkeiten dieser Frage Zahlen von 1 bis 5 zugeordnet<sup>459</sup>, kann die Chance mit Hilfe einer Zahl genau bewertet werden. In diesem Fall bedeutet eine niedrige Zahl eine hohe Chance. Demnach haben HBV-Decken mit 1,73 die höchste Chance im Bürobau. Auch der mehrgeschossige Wohnungsbau mit 1,80 und Sanierungen mit 1,82 sind laut Experten für einen breiteren Einsatz dieser Bauweise geeignet. Mit 1,90 im Schnitt wurden knapp dahinter die öffentlichen Gebäude und der Brückenbau genannt. Da die Unterschiede zwischen diesen Einsatzgebieten eher gering sind, kann davon ausgegangen werden, dass sich alle hier genannten Einsatzgebiete in gleichem Ausmaß für die HBV-Bauweise eignen. Dagegen ist die Chance, dass diese Bauweise vermehrt bei Fertigteilhäusern eingesetzt wird, laut Fragebogen sehr viel geringer. Im Schnitt kann der Bewertung die Zahl 3,60 zugewiesen werden, diese liegt somit zwischen *mittel* und *gering*. Noch schlechter stehen die Chancen bei Einfamilienhäusern; hier

<sup>459</sup> sehr hoch = 1; hoch = 2; mittel = 3; gering = 4; sehr gering = 5;

wurde im Schnitt mit 4,00 bewertet, sodass die Chance als *gering* eingeschätzt werden kann.

Die von den Experten abgegebene Bewertung kann in den hier folgenden Vor- und Nachteilen zusammengefasst werden:

Vorteile	Nachteile
Möglicher Einsatz beim mehrgeschossigem Hochbau, bei öffentlichen Gebäuden, bei Sanierungen und im Bürobau	Geringe Chancen für den Einsatz beim Fertighausbau und bei Einfamilienhäusern

### 4.3.2 Entwicklungspotenzial von HBV-Decken

Bei der nächsten Frage wurde versucht zu erörtern, in welchen Aspekten der HBV-Bauweise Entwicklungspotenzial steckt. Dadurch kann abgeschätzt werden, in welchen Bereichen in Zukunft Weiterentwicklungen oder Neuerungen zu erwarten sind.

5.4) Wie schätzen Sie das künftige Entwicklungspotenzial von HBV - Decken bezüglich folgender Aspekte ein? (1 = hohes Potential, 5 = kein Potential)

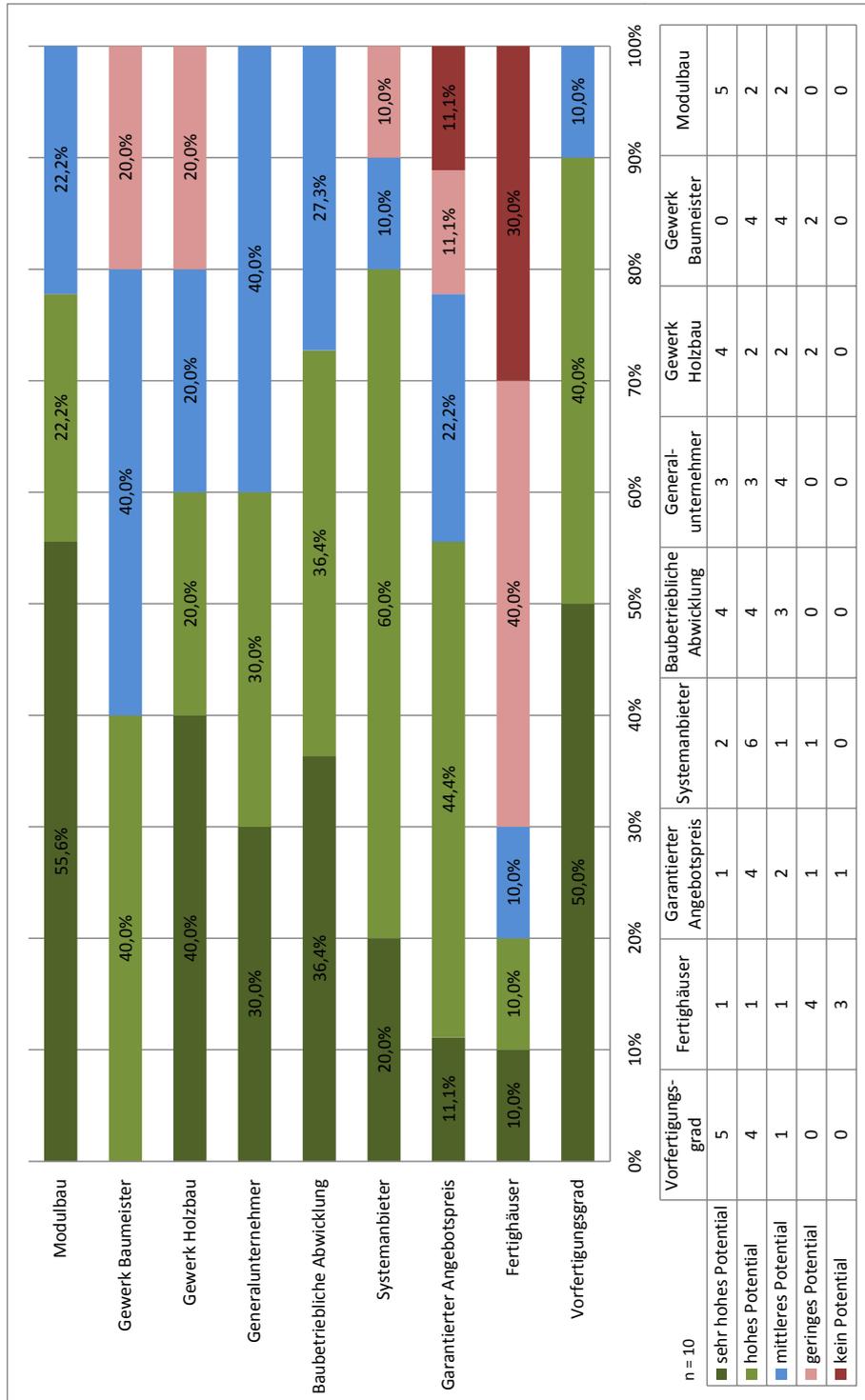
	1	2	3	4	5
Vorfertigungsgrad	<input type="checkbox"/>				
Fertighäuser	<input type="checkbox"/>				
Garantierte Angebotspreis	<input type="checkbox"/>				
Systemanbieter	<input type="checkbox"/>				
Baubetriebliche Abwicklung	<input type="checkbox"/>				
Generalunternehmer	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Holzbau	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Baumeister	<input type="checkbox"/>				
Modulbau	<input type="checkbox"/>				
Andere: _____	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

Bild 4.15 Frage bezüglich künftiger Entwicklungspotenziale von HBV-Decken

Die fünf Antwortmöglichkeiten, welche zur Verfügung standen, sind: *Sehr hohes Potenzial, hohes Potenzial, mittleres Potenzial, geringes Potenzial* und *kein Potenzial*. Wie bei den vorhergehenden Auswertungen sind in der Abbildung die beiden ersten Antwortmöglichkeiten an der Farbe Grün zu erkennen, die Dritte an Blau und die Stimmen für *geringes* und *kein Potenzial* an der Farbe Rot.

Die Ergebnisse dieser Frage können folgendermaßen zusammengefasst werden:



**Bild 4.16** Wie schätzen Sie das künftige Entwicklungspotenzial von HBV-Decken bezüglich folgender Aspekte ein?

Werden den Antwortmöglichkeiten wiederum die Zahlen 1 bis 5 zugewiesen, kann das Entwicklungspotenzial mit Hilfe einer Ziffer angegeben und bewertet werden.<sup>460</sup> Demnach liegt das höchste Entwicklungspotenzial der HBV-Bauweise im Bereich Modulbau (1,60) und im Vorfertigungsgrad (1,67). Dies wird durch die Aussagen einiger Experten<sup>461</sup> unterstrichen: Die Produktionsprozesse der Fertigteilerwerke sind heute noch selten auch HBV-Decken abgestimmt. Dadurch ist deren Herstellung heute oft noch unwirtschaftlich. Jedoch steckt in der Verbesserung der Produktionsprozesse ein hohes Potenzial. Der Einsatz von HBV-Decken beim Modulbau konnte mit Hilfe des Fragebogens bereits im vorherigen Kapitel als Vorteil bewertet werden. Dies kann durch das bei dieser Frage bestätigte hohe Entwicklungspotenzial nochmals bekräftigt werden. Bei den Fertighäusern wird das Entwicklungspotenzial mit einer mittleren Bewertung von 3,70 als *gering* eingeschätzt. Diese Meinung stimmt mit der Bewertung für Fertighäuser der ersten Frage dieses Kapitels überein. Das Potenzial des garantierten Angebotspreises<sup>462</sup> für HBV-Decken wird von den Experten zwischen *hoch* und *mittel* eingeschätzt. Auch die Systemanbieter haben, dem Fragebogen nach zu urteilen, ihr Potenzial noch nicht voll ausgeschöpft. Ihre Möglichkeiten zur Weiterentwicklung werden mit 2,10 bewertet. Durch den geringen Einsatz dieser Deckenart ist auch die baubetriebliche Abwicklung noch nicht ideal. Diese muss erst den spezifischen Anforderungen angepasst werden, dadurch entsteht ein Potenzial, welches von den Experten mit 2,10 bewertet wird. Die Möglichkeit, dass HBV-Decken in Zukunft vermehrt über Generalunternehmen verbaut werden, wird mit 2,10 bewertet. Bei den beiden wichtigsten Gewerken der HBV-Bauweise, den Holzbauern und den Baumeistern, wird das Entwicklungspotenzial zwischen *hoch* und *mittel* eingeschätzt. Mit 2,20 wird dies jedoch für den Holzbau höher eingeschätzt als für das Gewerk Baumeister mit 2,80.

<sup>460</sup> sehr hohes Potenzial = 1; hohes Potenzial = 2; mittleres Potenzial = 3; niedriges Potenzial = 4; kein Potenzial = 5;

<sup>461</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

<sup>462</sup> Der garantierte Angebotspreis ist eine Art des Bauvertrages, welcher auf dem Pauschalpreisvertrag aufbaut. Leistungssoll des Auftragnehmers ist definiert und der vom Auftraggeber zu bezahlende Festpreis ist im Vorhinein definiert. Eng verwandt ist das Model des garantierten Maximalpreises, bei dem das Leistungssoll vorgegeben und ein Maximalpreis definiert wird. Treten Mehr- oder Minderkosten auf, werden diese nach einem im Vorhinein festgelegten Schlüssel aufgeteilt.

Das Entwicklungspotenzial von HBV-Decken kann mit der folgenden Tabelle zusammengefasst werden.

Vorteile	Nachteile
In Bezug auf den Modulbau, den Vorfertigungsgrad und die baubetriebliche Abwicklung besteht hohes Entwicklungspotenzial	Entwicklungen im Bereich von HBV-Decken vom Gewerk Baumeister sind keine zu erwarten
Das Gewerk Holzbau und die Systemanbieter haben das Potenzial weite Entwicklungen hervorzubringen	

### 4.3.3 Forschungs- und Entwicklungspotenzial von HBV-Decken

Einhergehend mit dem Entwicklungspotenzial ist der Forschungs- und Entwicklungsbedarf ähnlich anzusehen. Dieser wird mit Hilfe der nächsten Frage abgeschätzt. Es werden die Bereiche Technik, Wirtschaft und Ausbildung getrennt voneinander betrachtet.

5.5) Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV - Decken? (1 = hoher Bedarf, 5 = kein Bedarf)

		1	2	3	4	5
Technik	Beton	<input type="checkbox"/>				
	Holz	<input type="checkbox"/>				
	Abdichtung	<input type="checkbox"/>				
	Verbindungstechnik	<input type="checkbox"/>				
	Knotenanschlüsse	<input type="checkbox"/>				
	Langzeitverhalten	<input type="checkbox"/>				
Wirtschaft	Wirtschaftlichkeit	<input type="checkbox"/>				
	Ausschreibungsunterlagen	<input type="checkbox"/>				
	Kalkulationsansätze	<input type="checkbox"/>				
	Normung / Regelung	<input type="checkbox"/>				
	Baubetriebliche Abwicklung	<input type="checkbox"/>				
	Gewährleistung	<input type="checkbox"/>				
	Fachplanung	<input type="checkbox"/>				
Ausb.	Ausbildung Ausführende	<input type="checkbox"/>				
	Ausbildung Statiker	<input type="checkbox"/>				
	Ausbildung Fachplaner	<input type="checkbox"/>				
	Andere:	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

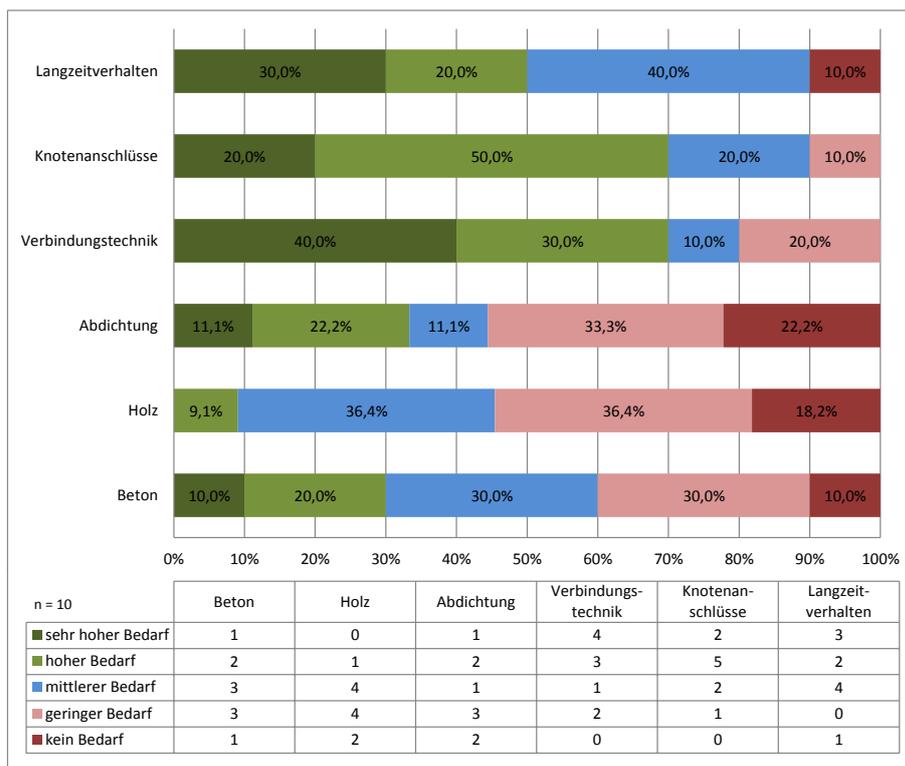
Bild 4.17 Frage bezüglich des Forschungs- und Entwicklungsbedarfes

Bei allen drei Bereichen standen die Auswahlmöglichkeiten *sehr hoher Bedarf, hoher Bedarf, mittlere Bedarf, geringer Bedarf* und *kein Bedarf*

zur Verfügung. Die Farbe Grün in den Darstellungen signalisiert einen *hohen oder sehr hohen Bedarf*, Blau einen *mittleren* und Rot *keinen oder einen geringen Bedarf*. In der Auswertung wurden den Bewertungen wiederum die Zahlen 1 bis 5 zugewiesen, sodass der Forschungs- und Entwicklungsbedarf mit Hilfe einer Ziffer bewertet werden kann.<sup>463</sup>

#### 4.3.3.1 Forschungs- und Entwicklungspotenzial von HBV-Decken: Bereich Technik

Die Experten beantworteten die Frage zum Bereich Technik folgendermaßen:



**Bild 4.18** Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV-Decken? Bereich Technik

Im Bereich Technik liegt mit 2,10 nach wie vor der höchste Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Bereich der Verbindungstechnik. Auch die Knotenanschlüsse unterliegen mit 2,20 einem *hohen* Entwicklungsbedarf. Beim Langzeitverhalten, bei dem der Wert bei 2,40 liegt, kann man von einem *hohen bis mittleren Bedarf* sprechen. Diese Angaben stimmen mit den Forschungsschwerpunkten zum Thema HBV der letzten Jahre überein. Geringerer Bedarf hingegen wird im Material

<sup>463</sup> sehr hoher Bedarf = 1; hoher Bedarf = 2; mittlerer Bedarf = 3; niedriger Bedarf = 4; kein Bedarf = 5;

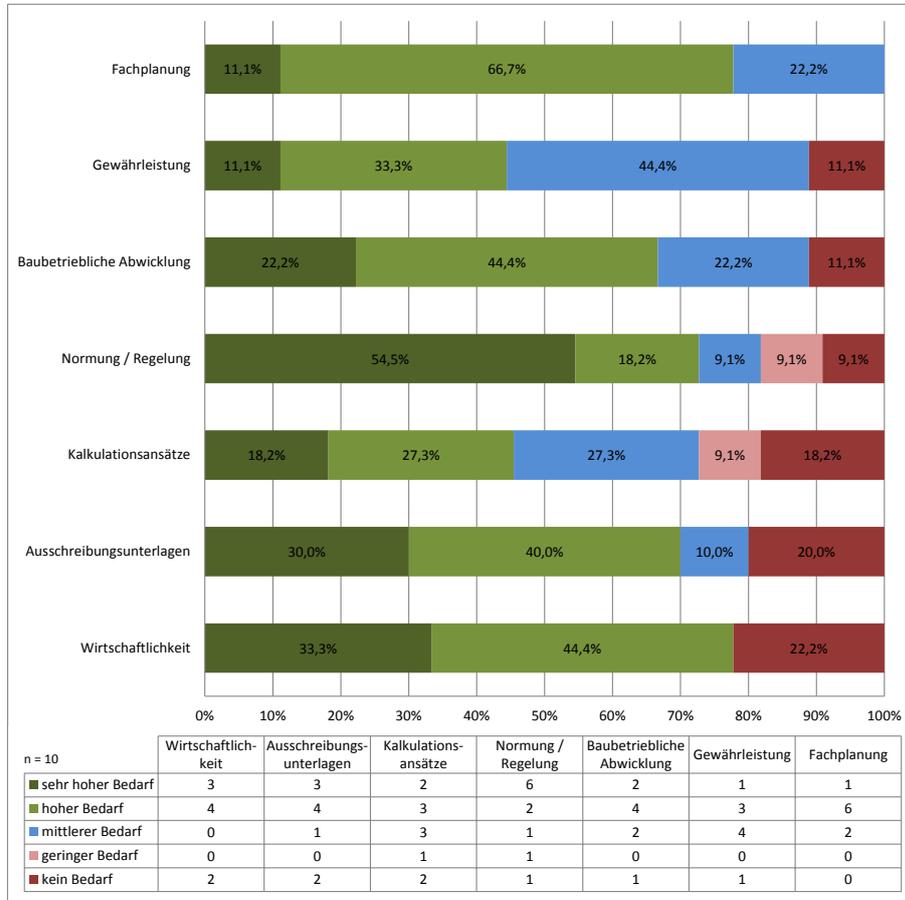
Holz (3,64) und im Material Beton (3,10) gesehen. Da die beiden wichtigsten Baustoffe der HBV-Bauweise bereits seit Jahrzehnten getrennt voneinander im Bauwesen im Einsatz sind, ist der Entwicklungsstand bereits weiter fortgeschritten und der Bedarf darum geringer. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf der Abdichtung wird von den Experten ebenfalls als *gering* eingeschätzt, die durchschnittliche Bewertung beträgt 3,33.

Auch hier können folgende Vor- und Nachteile von HBV-Decken genannt werden:

Vorteile	Nachteile
Die Forschung im Bereich des Holzes, des Betons und der Abdichtung für HBV-Decken kann als weitgehend abgeschlossen angesehen werden	Die Verbindungsmittel, die Knotenanschlüsse und das Langzeitverhalten bedürfen weiterer Forschung

### 4.3.3.2 Forschungs- und Entwicklungspotenzial von HBV-Decken: Bereich Wirtschaft

Die Antworten der im Kapitel 4.3.3 beschriebenen Frage bezüglich des Bereiches Wirtschaft sind in folgender Abbildung dargestellt:



**Bild 4.19** Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV-Decken? Bereich Wirtschaft

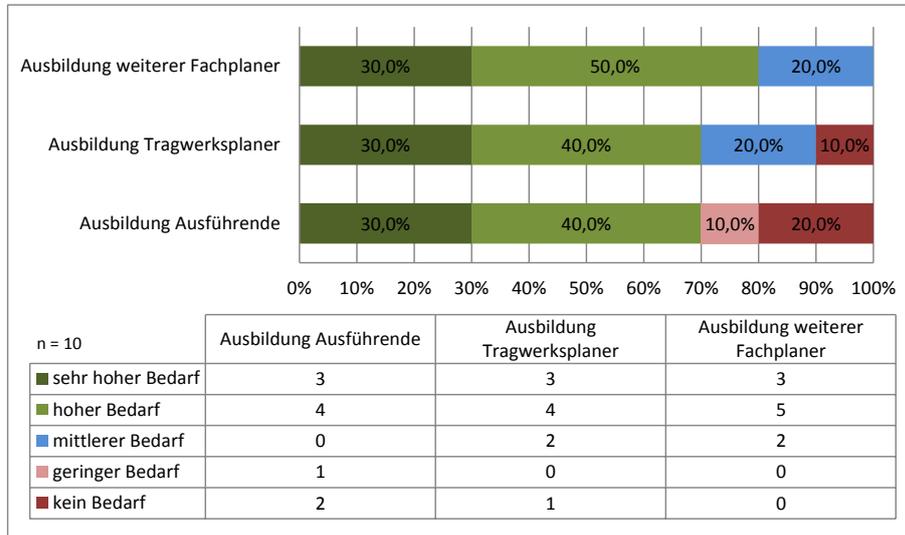
Im Bereich Wirtschaft wird der Forschungs- und Entwicklungsbedarf im Allgemeinen zwischen *mittel* und *hoch* bewertet. Der höchste Bedarf liegt demnach in der Normung und Regelung, dieser wird mit 2,00 als *hoch* eingeschätzt. Auch im Bereich der Fachplanung werden Weiterentwicklungen benötigt, deren Bedarf liegt bei 2,11. Laut Experten müssen auch Anstrengungen im Bereich der Wirtschaftlichkeit und der baubetrieblichen Abwicklung unternommen werden, um diese Bauweise voranzutreiben. Diese beiden wirtschaftlichen Aspekte wurden jeweils mit 2,33 bewertet. Mit 2,40 wird ein etwas geringerer Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei den Ausschreibungsunterlagen und mit 2,67 beim Thema Gewährleistung gesehen. Den Kalkulationsansätzen wurde im Bereich Wirtschaft der geringste Bedarf zugeordnet, dennoch liegt dieser mit einem Wert von 2,82 im *mittleren* Bereich.

Der Forschungsbedarf im Bereich Wirtschaft wird durch folgende Vor- und Nachteile wiedergespiegelt:

Vorteile	Nachteile
	<p data-bbox="707 488 1129 618">Die Normung und Regelung von HBV-Decken sowie die Fachplanung erfordern zukünftige Forschung</p> <p data-bbox="707 683 1129 907">Auch bei den Kalkulationsansätzen, den Ausschreibungsunterlagen, der baubetrieblichen Abwicklung und der Regelung der Gewährleistung besteht ein mittlerer Forschungsbedarf</p>

### 4.3.3.3 Forschungs- und Entwicklungspotenzial von HBV-Decken: Bereich Ausbildung

Im letzten Abschnitt der im Kapitel 4.3.3 angeführten Frage wurde der Forschungs- und Entwicklungsbedarf in der Ausbildung der ausführenden Unternehmer, der Tragwerksplaner und weiterer Fachplaner bewertet.



**Bild 4.20** Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV-Decken? Bereich Ausbildung

Der höchste Bedarf an Weiterentwicklung und Forschung liegt laut Fragebogen in der Ausbildung der einzelnen Fachplaner. Der Wert von 1,90 liegt zwischen *hoch* und *sehr hoch*. Die Ausbildung der Tragwerksplaner zum Thema HBV-Decken weist mit 2,20 einen *mittleren* bis *hohen* Weiterentwicklungs- und Forschungsbedarf auf, genauso wie jene der ausführenden Unternehmen mit 2,50.

Für diese Frage können folgende Vor- und Nachteile genannt werden:

Vorteile	Nachteile
	Sehr hoher Bedarf an Ausbildung der Tragwerksplaner und weiterer Fachplaner
	Die Ausbildung der ausführenden Unternehmen bedarf in Zukunft vermehrter Anstrengungen

#### 4.4 Einstufung von neuesten Entwicklungen

In den letzten Jahren gab es einige wissenschaftliche Arbeiten, welche sich mit dem Einsatz von Hochleistungsbetonen bei HBV-Konstruktionen beschäftigen. So beschäftigte sich Winter<sup>464</sup> mit dem Einsatz von selbstverdichtendem Beton und selbstverdichtendem Leichtbeton. Rautenstrauch<sup>465</sup> beschäftigte sich mit der Entwicklung eines Hochleistungsverbundträgersystems, bei dem die Druckzone mit einer Polymerbetonmischung basierend auf Epoxidharz verstärkt wurde. Auch Erler<sup>466</sup> veröffentlichte eine Arbeit über den Einsatz von Polymerbetonen bei HBV-Decken. Schäfers<sup>467</sup> veröffentlichte eine Arbeit zur Berechnung von biegebeanspruchten HBV-Konstruktionen, bei denen ultrahochfeste und hochfeste Betone zum Einsatz kommen. Holschemacher und Dehn<sup>468</sup> bewerteten den Einsatz von selbstverdichtendem Beton, Stahlfaserbeton, Leichtbeton, sowie ultrahochfestem und hochfestem Beton. Schmidt<sup>469</sup> weist auf die Möglichkeit hin, anstatt einer zementgebundenen eine auf Calciumsulfat basierende Tragschicht zu verwenden. Die konstruktive und bauphysikalische Eignung dieser Baustoffe bei Anwendung in der HBV-Bauweise konnte zum Teil bestätigt werden, deren Wirtschaftlichkeit und der Bedarf des Marktes wurden jedoch vernachlässigt. Um dies zu bewerten, wurde im Fragebogen untersucht, ob es in der Praxis einen Bedarf an solchen innovativen Deckensystemen gibt und ob es eine Chance für deren Einsatz gibt.

<sup>464</sup> Vgl. WINTER, S.; TUE, N. V.; DEHN, F.: Optimierte Holz-Beton-Verbund-Bauteile aus Hochleistungsbetonen und flächigen Holzbauelementen aus Massivholz oder Hochleistungs-Holzwerkstoffen: Schlussbericht. S. 1ff.

<sup>465</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, K. et al.: Entwicklung eines Hochleistungsverbundträgersystems für den Ingenieurholzbau. In: Bautechnik, 01/2013. S. 18ff.

<sup>466</sup> Vgl. ERLER, K.: Verstärkung von Holzbalkendecken mit Polymerbeton. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 133ff.

<sup>467</sup> Vgl. SCHÄFERS, M.; SEIM, W.: Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen. In: Bautechnik, 03/2011. S. 165ff.

<sup>468</sup> Vgl. HOLSCHMACHER, K.; DEHN, F.: Innovative Betone für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: Bautechnik, 11/2004. S. 874ff.

<sup>469</sup> Vgl. SCHMIDT, J.; THIELE, R.; KALISKE, M.: Holz/Calciumsulfatfließestrich - Verbunddecken. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 143ff.

### 4.4.1 Einstufung von neuesten Materialtechnologien in Zusammenhang mit HBV-Decken

5.2) Wie schätzen Sie die Chance ein, dass folgende Technologien in Zusammenhang mit HBV - Decken Einzug in die Praxis finden werden? (1 = sehr hoch, 5 = sehr niedrig)

	1	2	3	4	5
Ultrahochfester Beton	<input type="checkbox"/>				
Hochfester Beton	<input type="checkbox"/>				
Faserbeton	<input type="checkbox"/>				
Selbstverdichtender Beton	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

Bild 4.21 Frage bezüglich neuer Technologien

Als Antwortmöglichkeiten standen den Experten *sehr hoch*, *hoch*, *mittel*, *niedrig* und *sehr niedrig* zur Verfügung. In der Darstellung wurden die Stimmen *sehr hoch* und *hoch* grün, die Stimmen *mittel* blau und die stimmen *niedrig* und *sehr niedrig* rot eingefärbt.

Daraus ergibt sich folgende Verteilung der Antworten:

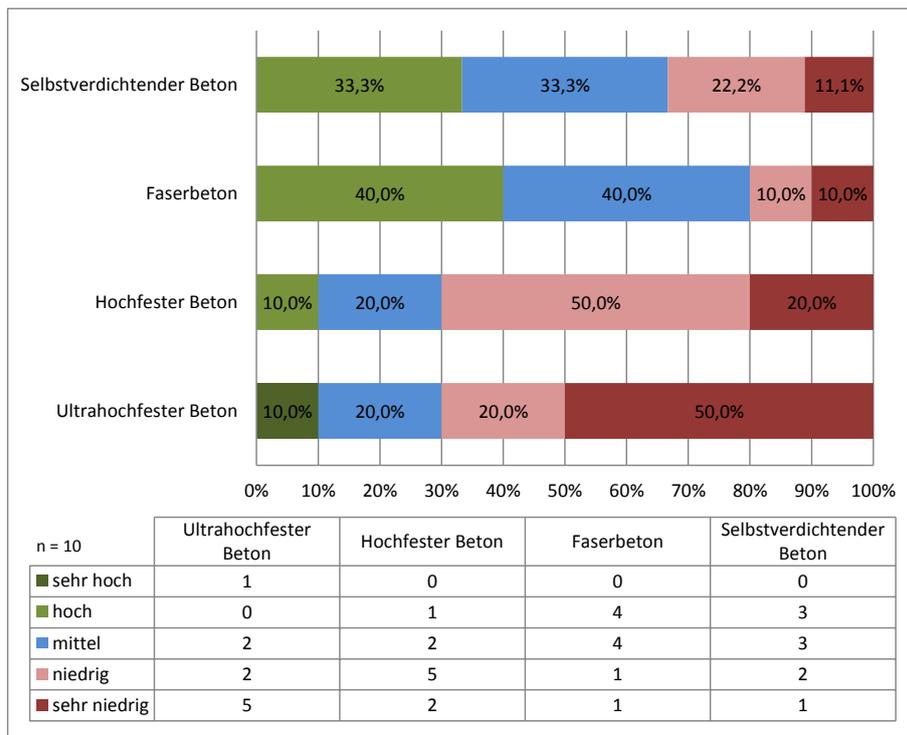


Bild 4.22 Wie schätzen Sie die Chance ein, dass folgende Technologien in Zusammenhang mit HBV-Decken Einzug in die Praxis finden werden?

Der Trend lässt deutlich erkennen, dass die Sinnhaftigkeit des Einsatzes von innovativen Baustoffen bei HBV-Konstruktionen eher bezweifelt wird. Vor allem betrifft dies die ultrahochfesten und hochfesten Betone. Weist man den Bewertungspunkten Ziffern zu<sup>470</sup>, bekommen diese die Noten 4,00 und 3,80. Damit werden diesen Baustoffen niedrige Chancen zugestanden, in der Praxis vermehrt zum Einsatz zu kommen. Faserbetone haben laut Experten eine etwas bessere Chance im Zusammenhang mit HBV-Decken den Einzug in die Praxis zu erhalten. Mit einer Bewertung von 2,90 liegen die Chancen im *mittleren* bis *hohen* Bereich. Etwas schlechter, aber mit 3,11 dennoch im *mittleren* Bereich, sehen die befragten Experten die Chancen für selbstverdichtenden Beton. Als Begründung ihrer Antworten gaben einige der Befragten die hohen Kosten der jeweiligen Betone an. Zudem wurde erwähnt, dass selbstverdichtende Betone ungünstige Schwindeigenschaften aufweisen, welche für HBV-Konstruktionen nachteilig sind. Vor allem aber wurde betont, dass das Betonbauteil bei HBV-Decken nicht das entscheidende Bauteil sei, sondern dass die Zukunft dieser Bauart viel mehr durch die Weiterentwicklungen im Bereich des Holzes und des Verbindungsmittels entschieden werden würde.<sup>471</sup>

Die Frage bezüglich der neuesten Entwicklungen der HBV-Bauweise kann mit folgenden Vor- und Nachteilen zusammengefasst werden:

Vorteile	Nachteile
Möglichkeit des Einsatzes von Faserbeton und selbstverdichtendem Beton	Die Chancen für den Einsatz von ultrahochfesten und hochfesten Betonen bei HBV-Decken ist sehr gering  Ungünstige Schwindeigenschaften von selbstverdichtendem Beton

<sup>470</sup> sehr hohe Chance = 1; hohe Chance = 2; mittlere Chance = 3; niedrige Chance = 4; sehr niedrige Chance = 5;

<sup>471</sup> Die genauen Daten der hier verwendeten Quellen werden aus Gründen des Datenschutzes an dieser Stelle nicht genannt.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Masterarbeit mit dem Titel „Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken“ wurden HBV-Decken hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Aspekte analysiert und bewertet und mit konventionellen Deckensystemen verglichen. In einem ersten Schritt wurde mit Hilfe eines Fragebogens eine Systemauswahl getroffen. Dies war notwendig, da die Kombination von verschiedenen Deckenparametern eine Vielzahl von Deckenarten ergibt, welche jedoch in der Praxis nicht alle baupraktisch relevant sind. Parameter, welche die Deckenart bestimmen, sind dabei die Art des Holzbauteils, das Verbindungsmittel und die Herstellungsmethode. Es konnten zehn Deckenarten gefunden werden, welche die Experten als wirtschaftlich, bauphysikalisch, konstruktiv und baubetrieblich relevant erachten.

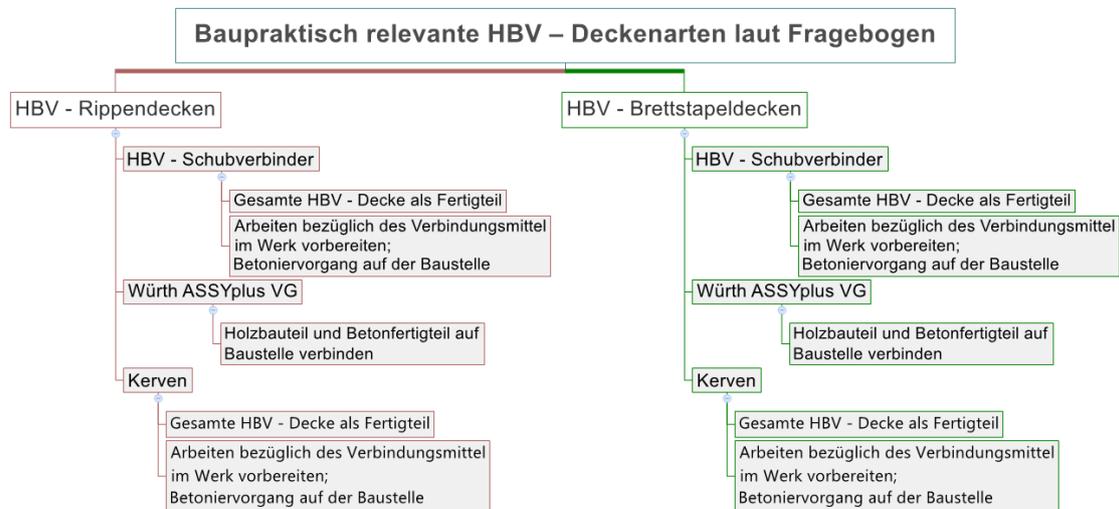


Bild 5.1 Baupraktisch relevante HBV-Deckenarten laut Fragebogen

Von diesen zehn Deckenarten wurden die Kosten und Einheitspreise nach ÖNORM B 2061<sup>472</sup> kalkuliert. Als wirtschaftlich günstigste Deckenart konnte die HBV-Rippendecke mit Kerven, bei der der Betoniervorgang auf der Baustelle erfolgt, ermittelt werden. Kommen anstelle von Rippenelementen Brettstapелеlemente zum Einsatz, sind die Kosten im Schnitt um rund 43 % höher. Bei Verwendung von *HBV-Schubverbindern* anstatt Kerven als Verbindungsmittel sind diese bei sonst gleichbleibenden Deckenparametern im Durchschnitt um ca. 29 % höher. Wird anstelle der Herstellungsmethode der günstigsten HBV-Deckenart (Betoniervorgang auf der Baustelle) ein HBV-Fertigteil verwendet, sind die Kosten um ca. 7 % höher. Die Kosten für eine HBV-Decke mit *Würth ASSYplus VG* Schrauben als Verbindungsmittel, mit

<sup>472</sup> ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSMINISTERIUM: ÖNORM B 2061. Norm. S. 1ff.

deren Hilfe das Holzbauteil und ein Betonfertigteile auf der Baustelle miteinander verbunden werden, sind im Schnitt um rund 34 % höher als jene derselben Decke, bei der Kerven als Verbindungsmittel eingesetzt und der Beton auf der Baustelle eingebracht wird. Die Rohbaukosten der günstigsten HBV-Decke betragen im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ca. 93 %. Bei allen anderen HBV-Deckenarten sind die Herstellkosten höher als jene der Stahlbetondecke. Im Schnitt sind die Kosten bei den HBV-Rippendecken um 17 %, jene der HBV-Brettstapeldecke um 65 % höher. Im Vergleich zu einer Brettsperrholzdecke sind die HBV-Rippendecken preislich konkurrenzfähig, durchschnittlich sind die Rohbaukosten um rund 15 % niedriger. Die Kosten der günstigsten HBV-Deckenart betragen ca. 68 % der Kosten einer Brettsperrholzdecke. Die durchschnittlichen Kosten der HBV-Brettstapeldecken sind um 19 % höher.

In einem weiteren Schritt wurden die Kosten der einzelnen HBV-Decken genauer analysiert. Dadurch konnte ermittelt werden, welche Vorgänge die meisten Kosten verursachen und es war möglich, entsprechende Empfehlungen und Optimierungsmöglichkeiten für die Ausführung in der Praxis zu formulieren. Je nach Art des Holzbauteils, der Herstellungsmethode und des Verbindungsmittels muss dabei auf ein möglichst minimales Holz- oder Betonbauteil, auf eine minimale Verbindungsmittellanzahl oder auf einen möglichst optimal abgestimmten Produktionsprozess geachtet werden.

Im letzten Teil der Arbeit konnten weitere entscheidungsrelevante Kriterien für die Deckenauswahl bewertet werden. Dies geschah wiederum mit Hilfe des Fragebogens. Um die Ergebnisse zusammenzufassen, sollen hier, zusammen mit einigen Literaturangaben, die wichtigsten Vor- und Nachteile von HBV-Decken bezogen auf wirtschaftliche Aspekte angeführt werden.

Vorteile:<sup>473, 474, 475, 476, 477, 478</sup>

- Je nach Deckenart wirtschaftlich konkurrenzfähig im Vergleich mit Stahlbetondecken und Brettsper Holzdecken
- Ideale Ausnutzung der spezifischen Baustoffeigenschaften und dadurch minimale Querschnitte
- Keine zusätzlichen statischen Maßnahmen zur Herstellung der Scheibenwirkung und zur Herstellung der Quertragwirkung
- Geringere Maßnahmen zur Einhaltung schalltechnischer und brandschutztechnischer Anforderungen als bei vergleichbaren Holzdecken, Möglichkeit zur Überwindung brandschutztechnischer Auflagen im Mehrgeschossbau
- Vergleichbarer Brand- und Schallschutz wie bei Stahlbetondecken
- Keine zusätzlichen Maßnahmen zur Herstellung einer optisch hochwertigen Untersicht notwendig
- Je nach Ausführungsvariante kürzere Bauzeit im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Geringere Belastung der vertikalen Strukturen im Vergleich zu einer Stahlbetondecke und somit wirtschaftlichere Querschnitte der vertikalen Tragstruktur (tragende Wände und Stützen)
- Geringeres Transportgewicht und somit geringere Transportkosten im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Höhere Wertschätzung der Decke durch natürliche Ästhetik
- Höherer baulicher Holzschutz durch Betonplatte im Vergleich zu einer vergleichbaren Holzdecke
- Je nach Herstellungsmethode minimaler Montageaufwand auf der Baustelle
- Einfachere Baustelleneinrichtung im Vergleich zu einer Baustelle mit Stahlbetondecken

<sup>473</sup> Vgl. BATHON, ; LEANDER, : Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 2/2009. S. 48f.

<sup>474</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 44f.

<sup>475</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 1ff.

<sup>476</sup> Vgl. ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. S. 20

<sup>477</sup> Vgl. KADEN, T.: Holzbau mit sieben Geschossen - Experiment außerhalb der Bauordnung. In: Detail, 11/2008. S. 1304f.

<sup>478</sup> HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. S. 1f.

- Hohe Akzeptanz von Auftraggebern und dem Gewerk Holzbau
- Höhere Nachhaltigkeit in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der Sanierungsmöglichkeit und der Lebensdauer im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Geringeres Bauzeitrisiko im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Gute Möglichkeit zur Integration in die Modulbauweise
- Noch bestehendes Entwicklungspotenzial im Bereich der Vorfertigung, des Modulbaus und der baubetrieblichen Abwicklung
- Hohes Entwicklungspotenzial durch Verwendung innovativer Baustoffe, wie Faserbeton oder selbstverdichtendem Beton
- Möglichkeit zur weiteren Optimierung der Bauweise, vor allem bezogen auf den Vorfertigungsgrad und die baubetriebliche Abwicklung

Nachteile: <sup>479, 480, 481</sup>

- Höhere Belastung der vertikalen Struktur im Vergleich zu einer reinen Holzkonstruktion und somit unwirtschaftlichere Querschnitte der vertikalen Tragstruktur (tragende Wände und Stützen)
- Höheres Transportgewicht und dadurch höhere Transportkosten im Vergleich zu einer reinen Holzdecke
- Längere Bauzeit als bei einer reinen Holzdecke, je nach Ausführungsvariante auch im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Aufwändige Fertigung in den Fertigteilwerken
- Bisher nur eine begrenzte Anzahl an Fertigteilherstellern
- Schwierig zu gewährleistender Holzschutz durch Eintragung von Feuchtigkeit in die Tragstruktur während des Betoniervorganges
- Lückenhafte Normung und Regelungen erschweren die Planung, Genehmigung und Ausführung und verlängern das Zulassungsprozedere
- Weitreichendere Maßnahmen zur Einhaltung schall- und brandschutztechnischer Anforderungen als bei einer Stahlbetondecke

<sup>479</sup> Vgl. PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. S. 45

<sup>480</sup> Vgl. RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. S. 1ff.

<sup>481</sup> HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. S. 1f.

- Je nach Deckenart teilweise höhere Rohbaukosten als bei einer Stahlbeton- oder einer Brettsperrholzdecke
- Größere Unsicherheiten in Bezug auf die Ausschreibungsunterlagen und dadurch erhöhtes Ausschreibungsrisiko im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Höhere Unsicherheiten bezüglich der Kalkulationsansätze, dadurch erhöhtes Angebotsrisiko im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Höhere Unsicherheiten bezüglich der baubetrieblichen Abwicklung, dadurch erhöhtes Ausführungsrisiko im Vergleich zu einer Stahlbetondecke
- Höhere Gewährleistungsproblematik, da zwei Gewerke die tragende Deckenstruktur erstellen
- Geringe Akzeptanz der Bauweise vor allem von Seiten des Gewerkes Baumeister und der Fachplaner
- Zusammenarbeit zweier Gewerke notwendig
- Bauweise zum Teil noch unbekannt bzw. nicht etabliert
- Es bedarf an Weiterentwicklungen im Bereich der Normung / Regelung, der Kalkulationsansätze und der Ausschreibungsunterlagen
- Aufwendige und detaillierte Planung stellt hohe Anforderungen an die Fachplanung
- Fehlende Ausbildung der Tragwerksplaner, weiterer Fachplaner und der ausführenden Unternehmen im Bereich HBV

Aus der persönlichen Sicht des Autors ist die zukünftige Marktentwicklung für HBV-Decken durchaus vielversprechend. Dabei muss der Fokus mit Sicherheit auf den mehrgeschossigen Gebäudebau gerichtet werden: zum einen, weil in den urbanen Räumen der Platz nach oben immer mehr genutzt wird und dadurch höhere Gebäude entstehen werden, und zweitens, weil die HBV-Bauweise in Bezug auf die hohen brandschutztechnischen Anforderungen beim mehrgeschossigen Hochbau Vorteile gegenüber der reinen Holzbauweise mit sich bringt. Durch HBV-Konstruktionen hat der Holzbau schon heute Höhen erreicht, welche ohne Verbundkonstruktionen nicht möglich gewesen wären. Ein zweiter Fokus bei der Weiterentwicklung von HBV-Konstruktionen muss bei der Produktion von Fertigteilen und Halbfertigteilen liegen. In der wirtschaftlichen Herstellung der HBV-Bauteile liegt der Schlüssel zum Erfolg dieser Bauweise. Erst dadurch werden die Voraussetzungen für eine volle Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionellen Deckensystemen geschaffen: Eine kürzere Bauzeit bei gleichen Kosten! Die HBV-Bauweise wurde in den letzten Jahren von einzelnen

Unternehmen und Forschern vorangetrieben. Ihnen ist es zu verdanken, dass dieses Deckensystem heute überhaupt am Markt erhältlich ist. Wird dieser stete Weiterentwicklungsaufwand noch einige Jahre weiter betrieben, werden sich HBV-Decken gegenüber konventionellen Deckensystemen etablieren und eine gefestigt Marktposition einnehmen können.

Die in dieser Arbeit ermittelten Werte einzelner Kosten beziehen sich jeweils auf die reine Rohbaudecke. Je nach gewünschten bauphysikalischen und ästhetischen Anforderungen variieren die Aufbaukosten bei verschiedenen Decken stark. Dies wurde in dieser Arbeit nicht beachtet. Zur Vervollständigung wäre laut Ansicht des Autors ein Vergleich der Deckenaufbaukosten von HBV-Decken mit konventionellen Systemen interessant. Durch die Variation von Deckenbelastungen und Spannweiten könnte der wirtschaftliche Vergleich zusätzlich abgerundet werden.

Ein weiterer Faktor, welcher in dieser Arbeit vernachlässigt wurde, ist der Einfluss der geographischen Lage der Einbaustelle auf die Rohbaukosten von HBV-Konstruktionen. Da es derzeit nur eine begrenzte Anzahl von Herstellern gibt, welche die für HBV-Decken benötigten Bauteile herstellen und liefern, können die Kosten je nach örtlicher Lage variieren. Um die Wirtschaftlichkeit dieser Bauweise vollständig zu beleuchten, muss auch dieser Umstand berücksichtigt werden.

Ein alternativer Ansatz zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist die Analyse der Lebenszykluskosten. Zu den in dieser Arbeit berechneten Einheitspreisen müssen noch die Einflüsse der Finanzierung, der Nutzung und der Beseitigung addiert werden. Auch Unterschiede in der Baustelleneinrichtung und der Sekundärstruktur des Gebäudes (Fundamente, Stützen etc.) müssen bei dieser Betrachtung berücksichtigt werden.

Die Erstellung dieser Arbeit war nur durch die Zusammenarbeit mit einigen Unternehmen und vielen Fachleuten möglich, welche bereit waren, ihr Wissen und ihre Erfahrungen mit dem Autor zu teilen. Ihnen allen soll an dieser Stelle gedankt werden. Ein besonderer Dank gilt allen Experten, die an der Befragung teilnahmen und somit eine unverzichtbar wertvolle Basis für diese Arbeit schufen.

**A.1 K-Blätter**

**A.1.1 K3-Blatt für Arbeiten in überwiegender Holzbauweise**

<b>MITTELLOHNPREIS</b> <input type="checkbox"/>	<b>Firma:</b>	<b>FORMBLATT K 3 NEU</b>			
<b>REGIELOHNPREIS</b> <input type="checkbox"/>	Technische Universität Graz	<small>institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement</small> 			
<b>GEHALTPREIS</b> <input type="checkbox"/>	Arbeitszeitmodell	Erstellt am:	Seite:		
	Normalarbeitszeit (40)	02.12.2013			
Masterarbeit Stefan Hölzl: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken	FÜR MONTAGE <input type="checkbox"/>	Preisbasis laut Angebotsunterlagen			
	FÜR VORFERTIGUNG <input type="checkbox"/>	Dez 13			
		Währung:	€		
<b>Beschäftigungsgruppe laut KV.:</b>		Kalkulierte Beschäftigte	Anzahl: 5		
KV-Gruppe:	II.a/III.d/IV	Kalkulierte Wochenarbeits-Zeit,	h: 5		
KV-Lohn:	14,60/11,99/10,97				
Anteil in %:	50/25/25 = 100 %				
		%	Betrag		
<b>A Kollektivvertraglicher MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT</b>		100,00	11,80		
B Umlage unproduktives Personal	% von A		3,56		
C Aufzahlungen aus Zusatzkollektivverträgen	% von A + B (A + B = 15,36)				
D Überkollektivvertraglicher Mehrlohn	% von A + B		0,00		
E Aufzahlung für Mehrarbeit	% von A + B	1,63	0,25		
F Aufzahlung für Erschwernisse	% von A + B	0,00	0,00		
G Andere abgabenpflichtige Lohnbestandteile	% von A + B		0,00		
<b>H MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT</b> (% = Betrag H * 100 / Betrag A)		(Betrag = A bis G)	15,61		
I Andere nicht abgabenpflichtige Lohnbestandteile	% von H		1,31		
J Direkte Lohnnebenkosten	% von H	26,90	4,20		
K Umgelegte Lohnnebenkosten	% von H	98,48	15,37		
L Andere lohngebundene Kosten	% von H	13,70	2,14		
<b>M MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT - KOSTEN</b> (% = M * 100 / Betrag A)		(Betrag = H bis L)	38,63		
<b>Gesamtzuschlag in % auf:</b>		Gerät	Material	Fremdl.	<b>Lohn / Gehalt</b>
N Geschäftsgemeinkosten	.....	.....	.....	.....	6
O Bauzinsen	.....	.....	.....	.....	1,5
P Wagnis	.....	.....	.....	.....	2
Q Gewinn	.....	.....	.....	.....	2
R	.....	.....	.....	.....	
S Summe ( % ) N bis R	.....	.....	.....	.....	11,5
<b>T Gesamtzuschlag: S*100/(100-S) %</b>		.....		.....	12,99 (% auf M) ..... 5,02
<b>U MITTELLOHN-REGIELOHN-GEHALT-PREIS</b> (% = U * 100 / A)		(Betrag = M + T)			43,63
<b>In Sonderfällen: Umlage der Baustellen-Gemeinkosten auf Leistungsstunden</b>					
auf MLP - RLP - GP ( Baustellen-Gemeinkosten / h = Betrag in V) bzw. in Prozent vom Mittellohn					
V Umgelegt sind:					
<b>W MLP - RLP - GP mit Umlage der Gemeinkosten</b> (% = W * 100 / A)		(Betrag = U + V)			
<b>In Sonderfällen: Umlage auf Preisanteile in %</b>					
		Lohn			Sonstiges
1	.....	.....	.....		.....
2	.....	.....	.....		.....
3	.....	.....	.....		.....
4	.....	.....	.....		.....
5	.....	.....	.....		.....
6	.....	.....	.....		.....
<b>X UMLAGEPROZENTSATZ</b>		Summe 1 bis 6	0	0	

KALKULIERTE MANNSCHAFT				institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement		TU Graz		HILFSBLATT 1	
Masterarbeit Stefan Hölzl						Datum		02.12.2013	
Arbeitnehmer				KV-Lohn Währung (€)		Überkollektivvertraglicher Mehrlohn			
KV-Gruppe	Bezeichnung	%	Anzahl	je Std.	Betrag	% von KV-Lohn	je Std.	Betrag	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
-	Vorarbeiter	0,25	1,00	13,15	13,15	0	0	0,00	
-	Bundzimmerer	0,25	1,00	12,65	12,65	0	0	0,00	
-	Hilfsarbeiter	0,50	2,00	10,70	21,4	0	0	0,00	
A Lohnsumme produktives Personal			4,00	XXXXXX	47,2	XXXX	XXXX	0,00	
	unproduktives Personal	Hilfspolier	XX	1	14,24	14,24	0	0	0,00
		Lehrling	XX	0	5,16	0	0	0	0,00
B Lohnsumme unproduktives Personal					14,24			0,00	
C Lohnsumme einschl. unproduktives Personal					61,44			0,00	
Kollektivvertraglicher Mittellohn					A6:A4	K 3 Zeile A	11,80		
Umlage unproduktives Personal					B6:A4	K 3 Zeile B	3,56		
Überkollektivvertragliche Mehrlöhne					C9:A4	K 3 Zeile D	0,00		

AUFZAHLUNGEN FÜR MEHRARBEIT				HILFSBLATT H2A NEU			
AUFZAHLUNGEN FÜR ERSCHWERNISSE				institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement		TU Graz	
				Datum:		02.12.2013	
Aufzahlung für Mehrarbeit	Anzahl der Arb.-Std.	Anzahl der Verr.-Std.	% Aufzählg.	Faktor	Summe % 1(2)x3x4	% je Arb.-Std	
	1	2	3	4	5	6	
A Normalarbeitszeit/*	39	xxxxxxxxxxxxxxxx					
B1 Überstunden/*		xxxxxxxxxxxxxxxx					
B2 Überstunden/*	0	xxxxxxxxxxxxxxxx					
C1 Aufzahlung/* für Gutstunden	xxxxxxx						
C2 Aufzahlung/* für	xxxxxxx						
C3 Aufzahlung/* für	xxxxxxx						
D Mehrarbeit	1		50	1,3	65,00		
E Summe Aufzahlung für Mehrarbeit in %	40				65,00	1,63	
						K3 Zeile E	
Aufzahlung für Erschwernisse	% der Zeit	% des Arbeiterstandes	% des KV Lohnes	7x8x9 100x100			
	7	8	9	10			
F				0			
G				0			
H							
I							
J Summe Aufzahlung für Erschwernisse in %	Summe F10 bis I10				0,00		
						K3 Zeile F	



HILFSBLATT 2B NEU															
institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektenwicklung + projektmanagement 										Datum: 02.12.2013 Masterarbeit: Stefan Hölzl					
Anmerkung: * ..... Bezugsdauer einzutragen (z.B.: Woche, Dekade)															
Baudauer gesamt:		[Mo]	[Di]	[Mi]	[Do]	[Fr]	[Sa]	[So]	Summe*	Anzahl Tage Taggeld groß [t/Woche]	Anzahl Tage Taggeld mittel [t/Woche]	Anzahl Tage Taggeld klein [t/Woche]			
AZM: Lange Woche		12							51,96	363,72					
AZM: Kurze Woche															
AZM: Restliche Zeit															
AZM: 39h + 1h MA		12							51,96	363,72					
AZM: Dekade															
Tägliche Arbeitszeit		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Summe*	Anzahl Tage Taggeld groß [t/Woche]	Anzahl Tage Taggeld mittel [t/Woche]	Anzahl Tage Taggeld klein [t/Woche]			
verwendetes AZM:		[h]													
Lange Woche									0						
Kurze Woche									0						
Restliche Zeit									0						
39h + 1h MA		8	8	8	8	8			40			5			
Dekade									0						
SUMME:										0		259,8			
Σ Dauer [*] * Anzahl Tage Taggeld [t/*] = Anzahl Tage mit Anspruch [t]															
Dienstreisevergütungen		% d. Beleg-schaft v. prod. Arb.		Betrag		Anzahl der Arbeitstage mit Anspruch		Anz.d.Arbeits-tage mit Anspruch*		Ausfallzeit		Tatsächlicher Anspruch (14-15)		Betrag/*	
				Währung [....€....]		[t]		[t/*]		[%]		[t/*]		[€/t]	
				tats. Betrag		lt. KV									
M	Taggeld groß						0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	
N	Taggeld mittel						0,00	0,00	0,00			0,00		0,00	
O	Taggeld klein	100					10,10	10,10	5,00	20,00		4,00		0,00	40,40
P	Übernachtungsgeld								7,00			7,00		0,00	
Q	Fahrtkostenvergütung	100					4,50		0,00	20,00		0,00		0,00	
R	Heimfahrten									Wochen					
S	Heimfahrten									Wochen					
T	An- und Rückreise									Wochen					
U															
V	Summe M17 bis U16												je *	0,00	40,40
W	Zuschlag für unproduktives Personal									30,17			% v. V	0,00	12,19
X	Summe V17 + W17, V18 + W18												je *	0,00	52,59
Y	SUMME SONDERERSTATTUNGEN JE MITTELLOHNSTUNDE X17:E1; X18:E1												je Std.	0,00	1,31
													K3 Zeile G	K3 Zeile I	

ANDERE LOHNGEBUNDENE KOSTEN					HILFSBLATT 3			
Masterarbeit:		<small>institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement</small>			Datum: <b>02.12.2013</b>			
<b>Stefan Hölzl</b>								
	<b>ZUSCHLAGSATZ für lohngebundene Kosten</b>	direkte Lohnneben- kosten <small>1</small>	umgelegte Lohnneben- kosten <small>2</small>	auf Lohn <small>3</small>	auf Gehalt <small>4</small>	auf Stoffe (Sonstiges) <small>5</small>	auf Gerät <small>6</small>	auf Fremd- leistung <small>7</small>
A	Lohnnebenkosten	26,90	98,48			xxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxxx
B	Andere lohngebundene Kosten	Kommunalabgabe		3,00		xxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxxx
C		Haftpflichtversicherung		2,70				
D		Kleingerät und Kleingerüst		5,00				
E		Nebenstoffe		1,00				
F		Lohnverrechnung		1,00		xxxxxxxx	xxxxxx	xxxxxxxx
G	Sonstige allgemeine Nebenkosten		1,00					
H	.....							
I	Summe B bis H			13,70	0,00	0,00	0,00	0,00

**Umgelegte Lohnnebenkosten:**

MAF, FZF, MLF in Abhängigkeit vom Arbeitszeitmodell

MAF = Normalarbeitszeit/Ges. Stunden Pro Woche      MAF =

FZF = Normalarbeitszeit/Kollektivertragliche Arbeitszeit      FZF =

MLF = KV-Mittelohn+Umlage unprod. Personal / Mittelohn (K3 Zelle C / H)      MLF =

KVAZ = Kollektivertragliche Arbeitszeit (39 Std./Wo)  
 NAZ = Betriebliche Normalarbeitszeit (H2A Neu Zelle A1)  
 GES = Gesamtstunden / Wo (H2A NEU E1)

**Hochmaierformel**

$\Sigma$  (USK 1 \* MAF \* FZF) =   %

(USK 2 \* MLF \* FZF)  
 (USK 3 \* MAF \* MLF)

USK 1 =	19,59 %	
USK 2 =	19,29 %	
USK 3 =	60,88 %	

**Direkte Lohnnebenkosten:**

Höchstbeitragsgrundlage	4.110,00 €	DLNK	FLAF
		26,90	4,5

(K3 ZelleH \* H2A NEU Zelle A1 \* 4,33) =  €

abgeminderter Prozentsatz   %

SVMOL > 3450   %

wenn DLNK < 3.450 € dann keine Abminderung des % Satzes  
sonst Interpolation (ausg. FLAF)

**A.1.2 K3-Blatt für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise**

<b>MITTELLOHNPRESIS</b>	<input type="checkbox"/>	Firma:	<b>FORMBLATT K 3 NEU</b>	
	<input type="checkbox"/>	Technische Universität Graz	institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement	
<b>REGIELOHNPRESIS</b>	<input type="checkbox"/>	Arbeitszeitmodell		
	<input type="checkbox"/>	Normalarbeitszeit (40)	Erstellt am:	Seite:
<b>GEHALTPRESIS</b>	<input type="checkbox"/>		02.12.2013	
Masterarbeit Stefan Hölzl: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken		FÜR MONTAGE <input type="checkbox"/> FÜR VORFERTIGUNG <input type="checkbox"/>	Preisbasis laut Angebotsunterlagen Dez 13 Währung: €	
<b>Beschäftigungsgruppe laut KV.:</b> KV-Gruppe: II.a/III.d/IV KV-Lohn: 14,60/11,99/10,97 Anteil in %: 40/40/20 = 100 %		Kalkulierte Beschäftigte Kalkulierte Wochenarbeits-Zeit, h: 5	Anzahl: 5 h: 5	
			%	Betrag
<b>A Kollektivvertraglicher MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT</b>			100,00	11,84
B Umlage unproduktives Personal		% von A		2,43
C Aufzahlungen aus Zusatzkollektivverträgen		% von A + B (A + B = 14,27)		
D Überkollektivvertraglicher Mehrlohn		% von A + B		0,00
E Aufzahlung für Mehrarbeit		% von A + B	1,63	0,23
F Aufzahlung für Erschwernisse		% von A + B	0,00	0,00
G Andere abgabenpflichtige Lohnbestandteile		% von A + B		0,00
<b>H MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT</b> (% = Betrag H * 100 / Betrag A)		(Betrag = A bis G)		14,50
I Andere nicht abgabenpflichtige Lohnbestandteile		% von H		1,22
J Direkte Lohnnebenkosten		% von H	26,90	3,90
K Umgelegte Lohnnebenkosten		% von H	98,48	14,28
L Andere lohngebundene Kosten		% von H	13,70	1,99
<b>M MITTELLOHN - REGIELOHN - GEHALT - KOSTEN</b> (% = M * 100 / Betrag A)		(Betrag = H bis L)		35,88
<b>Gesamtzuschlag in % auf:</b>		Gerät	Material	Fremdl.
N Geschäftsgemeinkosten				6
O Bauzinsen				1,5
P Wagnis				2
Q Gewinn				2
R				
S Summe (%) N bis R				11,5
<b>T Gesamtzuschlag: S*100/(100-S) %</b>				12,99 (% auf M) 4,66
<b>U MITTELLOHN-REGIELOHN-GEHALT-PREIS</b> (% = U * 100 / A)		(Betrag = M + T)		40,54
<b>In Sonderfällen: Umlage der Baustellen-Gemeinkosten auf Leistungsstunden</b>				
auf MLP - RLP - GP ( Baustellen-Gemeinkosten / h = Betrag in V) bzw . in Prozent vom Mittellohn				
V Umgelegt sind:				
<b>W MLP - RLP - GP mit Umlage der Gemeinkosten</b> (% = W * 100 / A)		(Betrag = U + V)		
<b>In Sonderfällen: Umlage auf Preisanteile in %</b>				
		Lohn	Sonstiges	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
<b>X UMLAGEPROZENTSATZ</b>		Summe 1 bis 6	0	0

KALKULIERTE MANNSCHAFT					institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement		TU Graz		HILFSBLATT 1	
Masterarbeit Stefan Hölzl							Datum		02.12.2013	
Arbeitnehmer				KV-Lohn Währung (€)		Überkollektivvertraglicher Mehrlohn				
KV-Gruppe	Bezeichnung	%	Anzahl	je Std.	Betrag	% von KV-Lohn	je Std.	Betrag		
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
II.a	Facharbeiter	0,17	1,00	14,16	14,16	0	0	0,00		
III.d	Angelernte Bauarbeiter	0,33	2,00	11,99	23,98	0	0	0,00		
IV	Bauhilfsarbeiter	0,50	3,00	10,97	32,91	0	0	0,00		
A Lohnsumme produktives Personal			6,00	XXXXXX	71,05	XXXX	XXXX	0,00		
unproduktives Personal		Hilfspolier	XX	1	14,55	14,55	0	0	0,00	
		Lehrling	XX	0	5,16	0	0	0	0,00	
B Lohnsumme unproduktives Personal					14,55			0,00		
C Lohnsumme einschl. unproduktives Personal					85,6			0,00		
Kollektivvertraglicher Mittellohn					A6:A4	K 3 Zeile A	11,84			
Umlage unproduktives Personal					B6:A4	K 3 Zeile B	2,43			
Überkollektivvertragliche Mehrlöhne					C9:A4	K 3 Zeile D	0,00			

AUFZAHLUNGEN FÜR MEHRARBEIT AUFZAHLUNGEN FÜR ERSCHWERNISSE				HILFSBLATT H2A NEU			
				institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement		TU Graz	
				Datum:		02.12.2013	
Aufzahlung für Mehrarbeit	Anzahl der Arb.-Std.	Anzahl der Verr.-Std.	% Aufzählg.	Faktor	Summe % 1(2)x3x4	% je Arb.-Std	
	1	2	3	4	5	6	
A Normalarbeitszeit/*	39	xxxxxxxxxxxxxxxx					
B1 Überstunden/*		xxxxxxxxxxxxxxxx					
B2 Überstunden/*	0	xxxxxxxxxxxxxxxx					
C1 Aufzahlung/* für Gutstunden	xxxxxxx						
C2 Aufzahlung/* für	xxxxxxx						
C3 Aufzahlung/* für	xxxxxxx						
D Mehrarbeit	1		50	1,3	65,00		
E Summe Aufzahlung für Mehrarbeit in %	40				65,00	1,63	
						K3 Zeile E	
Aufzahlung für Erschwernisse	% der Zeit	% des Arbeiterstandes	% des KV Lohnes	7x8x9 100x100			
	7	8	9	10			
F				0			
G				0			
H							
I							
J Summe Aufzahlung für Erschwernisse in %	Summe F10 bis I10				0,00		
						K3 Zeile F	

HILFSBLATT 2B NEU															
institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektenwicklung + projektmanagement 										Datum: 02.12.2013 Masterarbeit: Stefan Hölzl					
Anmerkung: * ..... Bezugsdauer einzutragen (z.B.: Woche, Dekade)															
Baudauer gesamt:		[Mo]	[Di]	[Mi]	[Do]	[Fr]	[Sa]	[So]	[Wo]	[t]	[DeK]				
AZM: Lange Woche		12							51,96	363,72					
AZM: Kurze Woche															
AZM: Restliche Zeit															
AZM: 39h + 1h MA		12							51,96	363,72					
AZM: Dekade															
Tägliche Arbeitszeit		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Summe/*	Anzahl Tage Taggeld groß [t/Woche]	Anzahl Tage Taggeld mittel [t/Woche]	Anzahl Tage Taggeld klein [t/Woche]			
verwendetes AZM:															
Lange Woche									0						
Kurze Woche									0						
Restliche Zeit									0						
39h + 1h MA		8	8	8	8	8			40			5			
Dekade									0						
SUMME:										0		259,8			
Σ Dauer [*] * Anzahl Tage Taggeld [t/*] = Anzahl Tage mit Anspruch [t]															
Dienstleistungsvergütungen		% d. Beleg- schaft v. prod. Arb.		Betrag Währung [....€.....]		Anzahl der Arbeitstage mit Anspruch [t]		Anz.d.Arbeits- tage mit Anspruch/* [t/*]		Ausfallzeit [%]		Tatsächlicher Anspruch (14-15) [t/*]		Betrag/*	
		11		tats. Betrag	lt.KV	13	14	15	16	17	18				
M	Taggeld groß					0,00	0,00		0,00						0,00
N	Taggeld mittel					0,00	0,00		0,00						0,00
O	Taggeld klein	100		10,10	10,10	259,80	5,00	20,00	4,00					0,00	40,40
P	Übernachtungsgeld					363,72	7,00		7,00						0,00
Q	Fahrtkostenvergütung	100		4,50	4,50	0,00	0,00	20,00	0,00						0,00
R	Heinfahrten														
S	Heinfahrten														
T	An- und Rückreise														
U															
V	Summe M17 bis U16													0,00	40,40
W	Zuschlag für unproduktives Personal							20,48						0,00	8,27
X	Summe V17 + W17, V18 + W18													0,00	48,67
Y	SUMME SONDERERSTATTUNGEN JE MITTELLOHNSTUNDE X17:E1; X18:E1													0,00	1,22
											K3 Zeile G	K3 Zeile I			

ANDERE LOHNGEBUNDENE KOSTEN						HILFSBLATT 3		
Masterarbeit:		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement 				Datum: 02.12.2013		
Stefan Hölzl								
	ZUSCHLAGSATZ für lohngebundene Kosten	direkte Lohnneben- kosten 1	umgelegte Lohnneben- kosten 2	auf Lohn 3	auf Gehalt 4	auf Stoffe (Sonstiges) 5	auf Gerät 6	auf Fremd- leistung 7
A	Lohnnebenkosten	26,90	98,48			XXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXXXX
B	Andere lohngebundene Kosten	Kommunalabgabe		3,00		XXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXXXX
C		Haftpflichtversicherung		2,70				
D		Kleingerät und Kleingerüst		5,00				
E		Nebenstoffe		1,00				
F		Lohnverrechnung		1,00		XXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXXXX
G	Sonstige allgemeine Nebenkosten		1,00					
H	.....							
I	Summe B bis H			13,70	0,00	0,00	0,00	0,00

Umgelegte Lohnnebenkosten:	
MAF, FZF, MLF in Abhängigkeit vom Arbeitszeitmodell	
MAF = Normalarbeitszeit/Ges. Stunden Pro Woche	MAF = 1
FZF = Normalarbeitszeit/Kollektivertragliche Arbeitszeit	FZF = 1,00
MLF = KV-Mittelohn+Umlage unprod. Personal / Mittelohn (K3 Zelle C / H)	MLF = 0,98
KVAZ = Kollektivertragliche Arbeitszeit (39 Std./Wo)	
NAZ = Betriebliche Normalarbeitszeit (H2A Neu Zelle A1)	
GES = Gesamtstunden / Wo (H2A NEU E1)	
<b>Hochmaierformel</b>	
$\Sigma (USK 1 * MAF * FZF) =$ $(USK 2 * MLF * FZF)$ $(USK 3 * MAF * MLF)$	Umgelegte Lohnnebenkosten: 98,48 %
USK 1 =	19,59 %
USK 2 =	19,29 %
USK 3 =	60,88 %

Direkte Lohnnebenkosten:					
Höchstbeitragsgrundlage	4.110,00 €				
(K3 ZelleH * H2A NEU Zelle A1 * 4,33) =	2.448,36 €				
abgeminderter Prozentsatz					
SVMOL > 3450	26,90 %				
	<table border="1"> <tr> <th>DLNK</th> <th>FLAF</th> </tr> <tr> <td>26,90</td> <td>4,5</td> </tr> </table>	DLNK	FLAF	26,90	4,5
DLNK	FLAF				
26,90	4,5				
	wenn DLNK < 3.450 € dann keine Abminderung des % Satzes sonst Interpolation (ausg. FLAF)				

A.1.3 K4-Blatt

Technische Universität Graz		institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement										Formblatt K4											
Student:	Stefan Hölzl	Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken										Gesamtzuschlag:	12,99										
Betreuer:	Prof. Detlef Heck	Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken										Währung	EURO										
Materialbezeichnung	Einheit	Preis ab Lieferer	Masterarbeit			Ladearbeiten und Manipulation			Verlust			Materialkosten											
			Betrag/EH	h/EH	€/h	Betrag/EH	h/EH	€/h	Betrag/EH	%	Betrag/EH	Lohn	Betrag / EH	Sonst.	Gesamt								
Lfd. Nr.			Betrag/EH	h/EH	€/h	Betrag/EH	h/EH	€/h	Betrag/EH	%	Betrag/EH	6 x 10	7 x 8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	OSB - Platte, 22mm	m <sup>2</sup>	-	-	38,63	0,04	1,55	5,00	0,46	11	L	1,55	9,74	11,29	12 + 13	12 + GZ	13+GZ	14 + GZ					
2	PE - Folie, 0,2mm	m <sup>2</sup>	-	-	38,63	0,01	0,39	10,00	0,05		S	0,39	0,51	0,89									
3	Fugenvergussmörtel	kg	-	-	38,63	0,04	1,55	12,00	0,11		L	1,55	1,01	2,55									
4	Schaliöl	l	-	-	35,88	0,01	0,36	12,00	0,41		L	0,36	3,86	4,22									
5	Würth ASSYplus VG 8x240	Stück	-	-	38,63			1,00	0,01		L		0,97	0,97									
6	Baustahlgitter CSQ60	to	-	-	35,88	0,50	17,94	5,00	40,01		L	17,94	840,18	858,12									
7	Stabstahl B550	to	-	-	35,88	3,75	134,55	5,00	37,46		L	134,55	786,64	921,19									

**A.1.4 K6-Blatt Baustützen**

Lfd. Nr.		Anzahl		Nr. der Baugerteileliste		Mittlerer Neuwert		Monatssatz		Verrechnungsmonat		Gerätekosten		Summe		Gewicht							
								Einzel (e)		Insgesamt (I)		Abschreibung u. Verzinsung		Reparatur		Masch.-Leist.		Einzel		Insgesamt			
								€		€		S		S		EI		t		t			
								5		1 x 5		6 x 7		6 x 7		10		12		13			
												8		9		11		12		13			
												6 x 7		6 x 7		ges		ges		1 x 12			
Allfälliger Übertrag aus K 6A Seite 1																							
1	1	1	1	U.1.00.45	48	189,00	A&V	5,10	5,10	1,00	5,10	5,10	8	9	10	11	12	13	0,02	0,02	0,02	0,02	
2							Rep	3,40	3,40		3,40	3,40											
3							A&V																
4							Rep																
5							A&V																
6							Rep																
7							A&V																
8							Rep																
A		Summen:				189,00							5,10	3,40							0,0		
B				112,50 %		GHPI - Index							5,74	3,83									
C		Abschreibung und Verzinsung:		A <sub>g</sub>		A <sub>e</sub>		x		60 %		Lohn		Stoff		Gerät		3					
D		Reparatur:		A <sub>g</sub>		x		4		50,00 %		Lohn		1,15		1,15		1,15					
E		Gerätekosten C + D								5,74													
F		Gesamtzuschlag								%		auf Lohn		%		auf Stoff							
G		GERÄTEPREIS								Σ G14 + G 15 + G16		5,74											
H		Mittelpreis je Monat:		G / Baudauer in Monaten:		1,00		Mo		5,74		1,15		1,15		1,15		3,44		€ / mo		€ / mo	
I		Mittelpreis je Monat:								Lohn		1,15		1,15		1,15		4,59		€ / mo		€ / mo	



**A.1.5 K6-Blatt Schalung**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ										FORMBLATT K6			
Student:		Stefan Hölzl			institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement			TU Graz			Datum: 02.12.2013		
Betreuer:		Prof. Detlef Heck											
Masterarbeit		Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken								Preisbasis: EURO			
Lfd. Nr.	Anzahl	Nr. der Baugerteileliste	Mittlerer Neuwert	Monatssatz		Verrechnungsmonat	Gerätekosten		Summe		Gewicht		
				Einzel (e) €	Insgesamt (I) €		Abschreibung u. Verzinsung S	Reparatur S	El kW	D kW	Einzel t	Insges. t	
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
					1 x 5		6 x 7	6 x 7	ges	ges		1 x 12	
Allfälliger Übertrag aus K 6A Seite 1													
1	1	Deckentischmodul 2008	121,00	2,20	2,20	1,00	2,90	2,20			0,00	0,00	
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
<b>A</b>	<b>Summen:</b>		121,00				2,90	2,20				0,0	
<b>B</b>		112,50	%	GHI - Index			3,26	2,48					
<b>C</b>	Abschreibung und Verzinsung:		A <sub>g</sub>	x	100 %		Lohn					3	
<b>D</b>	Reparatur:	A <sub>g</sub>	2	x	100 % dav.	40,00 %	0,99	1,49					
<b>E</b>	Gerätekosten C + D				% auf Lohn		0,99	1,49					
<b>F</b>	Gesamzuschlag				% auf Stoff	5,74						3,26	
<b>G</b>	GERÄTEPREIS				Σ G14 + G 15 + G16	5,74							
<b>H</b>	Mittelpreis je Monat:				G / Baudauer in Monaten:	1,00	0,99	1,49			3,26	€/mo	
<b>I</b>	Mittelpreis je Monat:				Lohn	0,99	0,99				4,75	€/mo	



**A.1.6 K6E-Blatt Elektrohandbohrmaschine**

<b>Gerätekosten</b>			institut für baubetrieb + bauwirtschaft projektentwicklung + projektmanagement				<b>Formblatt K6E</b>			
Masterarbeit: Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken			Student: Stefan Hölzl			Datum: #####		Seite		
			Preisbasis:					1		
A	ÖBGL-Nr.:	W.0.14.0013	Gerät:	<b>BOHRMASCH HAND E</b>						
	Nutzl.: Ln =	<b>240 Stk/h</b>	Masse:	<b>0,02 to</b>			mittl. NW:	301,00		
B										
							A+V		Reparatur	
Stk	ÖBGL - Nr	Bezeichnung	kW	Masse	Mittl.NW.	%	€	%	€	
1	W.0.14.0013	BOHRMASCH HAND E	0,90	0,02	301,00	2,59	7,80	4,32	13,00	
C Summe :			0,90	0,02 to	301,0		7,8	4,3	13,00	
D GHP - Index			112,50%		338,6		8,8		14,6	
E Abminderung A+V und REP			60,00%	60,00%			5,3		8,8	
Aufteilung Reparatur nach Lohn / Stoff							50,00%	50,00%		
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S	
F Beistellkosten je Monat							4,4	4,4	5,3	
G Beistellkosten je Stunde			169,0 h/mon				0,03	0,03	0,03	
H Bedienung			incl. Wartung			1,10				
I Betriebsstoffe			€/l:							
J Sonstige Kosten, Verschleißteile										
K Mittellohnkosten			38,63 €/Std							
L Gerätekosten je Stunde			Summe: F bis J			42,49	0,03	0,03	0,03	
M Eintragung in K7 Blatt						Lohn	42,52	Sonstiges:	0,06	

## A.2 Fragebogen

Masterarbeit Stefan Hölzl:  
Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken

institut für baubetrieb + bauwirtschaft  
projektentwicklung + projektmanagement



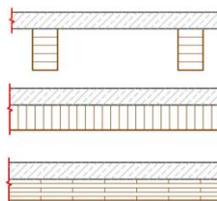
Sehr geehrte Damen und Herren,  
im Zuge meiner Masterarbeit mit dem Titel *Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken* führe ich eine Expertenbefragung durch. Deshalb ist mir Ihre Meinung wichtig. Bitte nehmen Sie sich daher kurz Zeit und geben Sie mir ein Feedback. Selbstverständlich werden sämtliche Daten anonym und vertraulich behandelt. Für Ihre wertvolle Unterstützung danke ich Ihnen bereits im Voraus.  
Ich würde Sie bitten den ausgefüllten Fragebogen einzuscannen und per E-Mail an [hoelzl@student.tugraz.at](mailto:hoelzl@student.tugraz.at) zu senden.

Stefan Hölzl

### Erläuterungen

1. Holz - Beton - Verbund wird im folgendem mit HBV abgekürzt.
2. Bei einigen Fragen werden folgende **Deckenarten** unterschieden:

- HBV - Rippendecke: Holzbalkendecke im Verbund mit Betondecke
- HBV - Brettstapeldecke: Hochkant verleimte Holzbretter im Verbund mit Betondecke
- HBV - Brettsperrholzdecke: Mehrere über Kreuz flach aufeinander liegende und verleimte Brettlagen im Verbund mit Betondecke



3. Bei einigen Fragen werden folgenden **Ausführungsarten** unterschieden:

<p>Gesamte HBV-Decke als Fertigteil: HBV-Fertigteilelemente werden im Werk produziert und als Ganzes auf die Baustelle gebracht. Die Elemente werden vor Ort versetzt und eventuelle Fugen werden geschlossen.</p> <p><b>Option A</b></p>	<p>Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden: Holzfertigteil und Betonfertigteil werden getrennt im Werk produziert und auf die Baustelle geliefert. Der Verbund der beiden Bauteile wird auf der Baustelle hergestellt.</p> <p><b>Option B</b></p>
<p>Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betoniervorgang auf der Baustelle: Das im Werk weiterverarbeitete Holzbauteil wird auf die Baustelle geliefert. Dort erfolgt der Betoniervorgang.</p> <p><b>Option C</b></p>	<p>Sämtliche Arbeiten auf der Baustelle ausführen: Holzbauteil, Verbindungsmittel und Beton werden getrennt voneinander auf die Baustelle geliefert und dort miteinander verbunden.</p> <p><b>Option D</b></p>

1) Allgemeine Fragen zum Thema HBV

1.1) Welche Art von HBV - Decken besitzt laut Ihrer Meinung das höchste Potential?

HBV - Rippendecke  
 HBV - Brettstapeldecke  
 HBV - Brettsperrholzdecke  
 Andere: \_\_\_\_\_

Warum?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

1.2) Welche HBV - Deckenart ist für einen m<sup>2</sup> Rohbaudecke laut Ihrer Erfahrung insgesamt die wirtschaftlich Günstigste?

HBV - Rippendecke  
 HBV - Brettstapeldecke  
 HBV - Brettsperrholzdecke  
 Andere: \_\_\_\_\_

Warum?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

1.3) Welche HBV - Deckenart ist hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften Ihrer Meinung nach am besten?

HBV - Rippendecke  
 HBV - Brettstapeldecke  
 HBV - Brettsperrholzdecke  
 Andere: \_\_\_\_\_

Warum?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

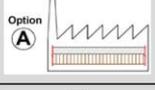
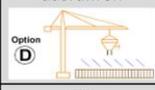
1.4) Welche Verbindungsmittel würden Sie bei den verschiedenen HBV-Deckenarten bevorzugen?

	mit Zulassung						ohne Zulassung		
	 SFS Schrauben SFS intec	 Timco® Schrauben Timco Schweiz	 Würth Schrauben Würth ASSYVG	 TCC Schrauben TCC	 TICOMTEC® HBV - Schubverbinder	 Flachstahlschlosser	Verbund über Kerfen	Kopfübel - Schubleisten	andere:
HBV - Rippendecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettstapeldecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettsperrholzdecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Warum?  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Masterarbeit Stefan Hölzl:  
Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken

1.5) Welche Ausführungsart würden Sie in der Praxis bevorzugen?

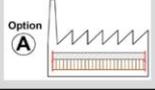
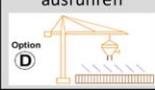
	Gesamte HBV-Decke als Fertigteil 	Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden 	Verbindungsmitel im Werk fixieren, auf Baustelle betonieren 	Sämtliche Arbeiten auf Baustelle ausführen 
HBV - Rippendecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettstapeldecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HBV - Brettsperrholzdecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Warum?	<hr/> <hr/>			

1.6) Gibt es Systemanbieter (z.B. Häring hp\_rapid, Erne Suprafloor, Pirming Jung Plus/Minus, optiholz forte, wey-pi, oder andere), welche Sie bevorzugen?

	Nein	Ja	Wenn ja, welche:
HBV - Rippendecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<hr/>
HBV - Brettstapeldecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<hr/>
HBV - Brettsperrholzdecke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<hr/>
Warum?	<hr/> <hr/>		

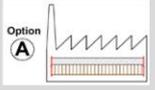
**2) Fragen bezüglich Kosten**

2.1 Wie schätzen Sie die Kosten für 1m<sup>2</sup> Rohbaudecke für die verschiedenen Deckenarten und verschiedenen Ausführungsarten ein?

	Gesamte HBV-Decke als Fertigteil 	Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden 	Verbindungsmitel im Werk fixieren, auf Baustelle betonieren 	Sämtliche Arbeiten auf Baustelle ausführen 
HBV - Rippendecke				
4 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
6 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
HBV - Brettstapeldecke				
4 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
6 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
8 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
HBV - Brettsperrholzdecke				
4 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
6 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
8 m Spannweite	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>	€ / m <sup>2</sup>
Kommentar:	<hr/> <hr/>			

**3) Fragen bezüglich Bauzeit**

3.1) Wie bewerten Sie die verschiedenen Deckenarten und Ausführungsarten bezüglich der Bauzeit auf der Baustelle im Vergleich zu einer Stahlbetondecke? (Bitte Noten eintragen: 1 = sehr gut, 5 = ungenügend)

	Gesamte HBV-Decke als Fertigteil 	Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden 	Verbindungsmittel im Werk fixieren, auf Baustelle betonieren 	Sämtliche Arbeiten auf Baustelle ausführen 
HBV - Rippendecke				
HBV - Brettstapeldecke				
HBV - Brettsperrholzdecke				
Kommentar:				

**4) Fragen bezüglich Entscheidungskriterien**

4.1) Wie schätzen Sie die Qualität der verschiedenen HBV - Decken im Vergleich zu einer konventionellen Stahlbetondecke ein? (1 = sehr gut, 5 = ungenügend)

	1	2	3	4	5
HBV - Rippendecke					
Brandschutz	<input type="checkbox"/>				
Schallschutz	<input type="checkbox"/>				
Durchbiegung	<input type="checkbox"/>				
Schwingungen	<input type="checkbox"/>				
Untersicht / Sichtqualität	<input type="checkbox"/>				
Lebensdauer	<input type="checkbox"/>				
Sanierungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>				
HBV - Brettstapeldecke					
Brandschutz	<input type="checkbox"/>				
Schallschutz	<input type="checkbox"/>				
Durchbiegung	<input type="checkbox"/>				
Schwingungen	<input type="checkbox"/>				
Untersicht / Sichtqualität	<input type="checkbox"/>				
Lebensdauer	<input type="checkbox"/>				
Sanierungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>				
HBV - Brettsperrholzdecke					
Brandschutz	<input type="checkbox"/>				
Schallschutz	<input type="checkbox"/>				
Durchbiegung	<input type="checkbox"/>				
Schwingungen	<input type="checkbox"/>				
Untersicht / Sichtqualität	<input type="checkbox"/>				
Lebensdauer	<input type="checkbox"/>				
Sanierungsmöglichkeit	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Masterarbeit Stefan Hölzl:  
Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken

institut für baubetrieb + bauwirtschaft  
projektentwicklung + projektmanagement



4.2) Welche sind Ihrer Einschätzung nach die größten Vor- und Nachteile einer HBV - Decke im Vergleich zu einer Stahlbetondecke?

	Vorteil	eher Vorteil	weder - noch	eher Nachteil	Nachteil
Rohbaukosten	<input type="checkbox"/>				
Bauzeit	<input type="checkbox"/>				
Angebotsrisiko	<input type="checkbox"/>				
Bauzeitrisiko	<input type="checkbox"/>				
Baubetriebliche Abwicklung	<input type="checkbox"/>				
Materialkombination Holz - Beton	<input type="checkbox"/>				
Ausschreibungsunterlagen	<input type="checkbox"/>				
Kalkulationsansätze	<input type="checkbox"/>				
Normung / Regelung	<input type="checkbox"/>				
Konstruktive Anforderungen	<input type="checkbox"/>				
Gewährleistung	<input type="checkbox"/>				
Modulbau	<input type="checkbox"/>				
Andere: _____	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

4.3) Wie hoch schätzen Sie die Akzeptanz der folgenden am Bau Beteiligten in Hinblick auf HBV - Decken ein? (1 = sehr hohe Akzeptanz, 5 = keine Akzeptanz)

	1	2	3	4	5
Auftraggeber	<input type="checkbox"/>				
Auftragnehmer	<input type="checkbox"/>				
Fachplaner	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Holzbau	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Baumeister	<input type="checkbox"/>				
Andere: _____	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

**5) Fragen bezüglich künftiger Entwicklungen**

5.1) Warum sind HBV - Decken Ihrer Meinung nach zurzeit so wenig in Planung/Bau?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



Masterarbeit Stefan Hölzl:  
Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken



5.2) Wie schätzen Sie die Chance ein, dass folgende Technologien in Zusammenhang mit HBV - Decken Einzug in die Praxis finden werden? (1 = sehr hoch, 5 = sehr niedrig)

	1	2	3	4	5
Ultrahochfester Beton	<input type="checkbox"/>				
Hochfester Beton	<input type="checkbox"/>				
Faserbeton	<input type="checkbox"/>				
Selbstverdichtender Beton	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

---

5.3) Wie schätzen Sie die Chance ein, dass in Zukunft HBV - Decken vermehrt in folgenden Bauwerkstypen zum Einsatz kommen werden? (1 = sehr hoch, 5 = sehr niedrig)

	1	2	3	4	5
Fertighäuser	<input type="checkbox"/>				
Mehrgeschosswohnbau	<input type="checkbox"/>				
Bürobau	<input type="checkbox"/>				
Sanierungen	<input type="checkbox"/>				
Einfamilienhäuser	<input type="checkbox"/>				
Öffentliche Gebäude	<input type="checkbox"/>				
Brückenbau	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

---

5.4) Wie schätzen Sie das künftige Entwicklungspotenzial von HBV - Decken bezüglich folgender Aspekte ein? (1 = hohes Potential, 5 = kein Potential)

	1	2	3	4	5
Vorfertigungsgrad	<input type="checkbox"/>				
Fertighäuser	<input type="checkbox"/>				
Garantierte Angebotspreis	<input type="checkbox"/>				
Systemanbieter	<input type="checkbox"/>				
Baubetriebliche Abwicklung	<input type="checkbox"/>				
Generalunternehmer	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Holzbau	<input type="checkbox"/>				
Gewerk Baumeister	<input type="checkbox"/>				
Modulbau	<input type="checkbox"/>				
Andere: _____	<input type="checkbox"/>				

Kommentar:

---



Masterarbeit Stefan Hölzl:  
Wirtschaftliche Betrachtung von Holz-Beton-Verbunddecken

5.5) Wo sehen Sie noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf HBV - Decken? (1 = hoher Bedarf, 5 = kein Bedarf)

	1	2	3	4	5	
Technik	Beton	<input type="checkbox"/>				
	Holz	<input type="checkbox"/>				
	Abdichtung	<input type="checkbox"/>				
	Verbindungstechnik	<input type="checkbox"/>				
	Knotenanschlüsse	<input type="checkbox"/>				
	Langzeitverhalten	<input type="checkbox"/>				
Wirtschaft	Wirtschaftlichkeit	<input type="checkbox"/>				
	Ausschreibungsunterlagen	<input type="checkbox"/>				
	Kalkulationsansätze	<input type="checkbox"/>				
	Normung / Regelung	<input type="checkbox"/>				
	Baubetriebliche Abwicklung	<input type="checkbox"/>				
	Gewährleistung	<input type="checkbox"/>				
Ausb.	Fachplanung	<input type="checkbox"/>				
	Ausbildung Ausführende	<input type="checkbox"/>				
	Ausbildung Statiker	<input type="checkbox"/>				
	Ausbildung Fachplaner	<input type="checkbox"/>				
Andere:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Kommentar:

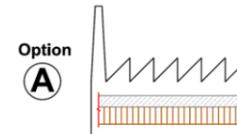
Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben, die Fragen zu beantworten und bei dieser Expertenbefragung Ihre Meinung und Erfahrung mit mir teilen.

*Stefan Hölzl*

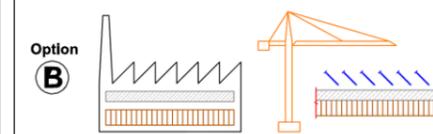
### A.3 Unterscheidung von HBV-Decken und Zusammenfassung der Kalkulationsansätze

#### Unterscheidung von Holz-Beton-Verbund Decken nach der Herstellungsmethode:

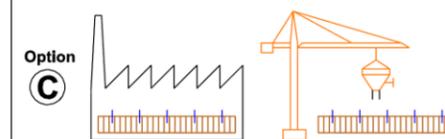
Gesamte HBV-Decke als Fertigteil: HBV-Fertigteilelemente werden im Werk produziert und als Ganzes auf die Baustelle gebracht. Die Elemente werden vor Ort versetzt und eventuelle Fugen werden geschlossen.



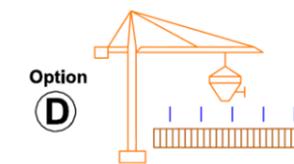
Holzfertigteil und Betonfertigteil auf Baustelle verbinden: Holzfertigteil und Betonfertigteil werden getrennt im Werk produziert und auf die Baustelle geliefert. Der Verbund der beiden Bauteile wird auf der Baustelle hergestellt.



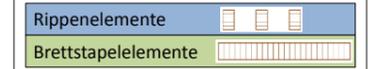
Arbeiten bezüglich des Verbindungsmittels im Werk vorbereiten; Betonvorgang auf der Baustelle: Das im Werk weiterverarbeitete Holzbauteil wird auf die Baustelle geliefert. Dort erfolgt der Betonvorgang.



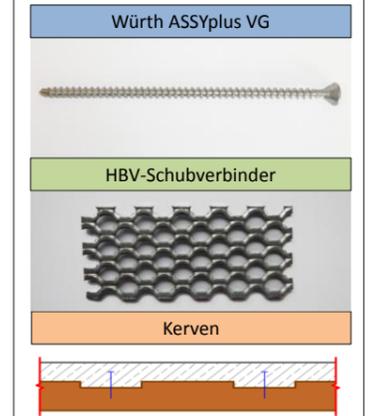
Sämtliche Arbeiten auf der Baustelle ausführen: Holzbauteil, Verbindungsmittel und Beton werden getrennt voneinander auf die Baustelle geliefert und dort miteinander verbunden.



Unterscheidung nach der Art des Holzbauteils:



Unterscheidung nach der Art des Verbindungsmittels:



#### Zusammenfassung der Kalkulationsansätze

-	Lohn	Sonstige	Beschreibung
Gerätekosten	42,52 €/Std	0,06 €/Std	Handbohrmaschine, inklusive Bedienung
	0,99 €/m <sup>2</sup>	4,75 €/m <sup>2</sup>	Schalung
	-	82,57 €/h	Mobilkran, inklusive Fahrer
	1,15 €/Stk	4,59 €/Stk	Baustützen
	1,55 €/m <sup>2</sup>	9,74 €/m <sup>2</sup>	OSB-Platten
Materialkosten	0,39 €/m <sup>2</sup>	0,51 €/m <sup>2</sup>	PE-Folie
	1,55 €/kg	1,01 €/kg	Fugenvergussmörtel
	0,36 €/kg	3,86 €/kg	Schalöl
	-	0,97 €/Stk	Schrauben Würth ASSYplus VG
	17,94 €/to	840,18 €/to	Baustahlgitter
	134,55 €/to	786,64 €/to	Stabstahl
	-	84,29 €/m <sup>3</sup>	Lieferbeton, inklusive Fahrmischer
	-	97,36 €/m <sup>3</sup>	Lieferbeton, inklusive Fahrmischer mit Betonpumpe
	38,54	550,57	Betonfertigteil
	22,40	416,67	Brettschichtholz
Fertigteilkosten	26,01	483,77	Brettschichtholz, inkl. Kerven
	57,94	1077,75	Brettschichtholz, inkl. HBV-Schubverbinder
	73,78	461,11	Brettstapelelemente
	83,68	523,00	Brettstapelelemente, inkl. Kerven
	125,32	783,25	Brettstapelelemente, inkl. HBV-Schubverbinder
	117,21	509,62	Brettsperrholz
	-	-	HBV-Rippendecke, Fertigteil mit Kerven
	100,84	886,43	HBV-Rippendecke, Fertigteil mit HBV-Schubverbindern
	122,89	558,59	HBV-Brettstapeldecke, Fertigteil mit Kerven
	153,81	699,14	HBV-Brettstapeldecke, Fertigteil mit HBV-Schubverbindern

-	Werte	Beschreibung
Aufwandswerte	0,18 Std/m <sup>2</sup>	Brettschichtholzträger versetzen und montieren
	0,20 Std/m <sup>2</sup>	Brettstapelelemente versetzen und montieren
	0,21 Std/m <sup>2</sup>	Brettsperrholzelemente versetzen und montieren
	0,25 Std/m <sup>2</sup>	HBV-Rippendeckenelemente versetzen und montieren
	0,26 Std/m <sup>2</sup>	HBV-Brettstapelelemente versetzen und montieren
	0,20 Std/m <sup>2</sup>	Betonfertigteil versetzen und montieren
	0,27 Std/m <sup>2</sup>	Verlorene Schalung verlegen und befestigen
	1,47 Std/m <sup>2</sup>	Randschalung herstellen
	0,10 Std/m <sup>2</sup>	Abdichtungsfolie zuschneiden, verlegen und befestigen
	0,025 Std/Stk	Baustützen aufstellen
	0,10 Std/m	Schließen Vergussfuge zwischen Deckenfertigteilen
	0,55 Std/m <sup>2</sup>	Schalarbeiten, Decke bis 3,2m
	Leistungswerte	21,18 Std/to
0,80 Std/m <sup>3</sup>		Betonierarbeiten, Decke bis 3,2m
15 Stk/Std		Verladen Holzbalken mit Mobilkran
5 Stk/Std		Verladen Brettstapelelemente mit Mobilkran
5 Stk/Std		Verladen Brettsperrholzelemente mit Mobilkran
4 Stk/Std		Verladen Betonfertigteil mit Mobilkran
3 Stk/Std		Verladen HBV-Rippendecken Fertigteil mit Mobilkran
3 Stk/Std		Verladen HBV-Brettstapeldecken Fertigteil mit Mobilkran
240 Stk/Std		Elektrische Handbohrmaschine - Schrauben von Würth ASSYplus VG Schrauben
ML		38,63 €/Std
	35,88 €/Std	Mittelohn für Arbeiten in überwiegender Betonbauweise
GZ	12,99 %	Gesamtzuschlag für alle Deckensysteme

## Literaturverzeichnis

[http://www.brettsperrholz.org/seo.cfm?cmsfkt=viewfull&objectid=Brettsperrholz\\_kaufhaus\\_junglinster](http://www.brettsperrholz.org/seo.cfm?cmsfkt=viewfull&objectid=Brettsperrholz_kaufhaus_junglinster). Datum des Zugriffs: 02.09.2013.

<http://www.clt.info/>. Datum des Zugriffs: 09.09.2013.

<http://www.detail.de/inspiration/kindergarten-und-feuerwehrhaus-in-thueringerberg-106341.html>. Datum des Zugriffs: 02.09.2013.

<http://www.elascon.de/tragsysteme>. Datum des Zugriffs: 27.08.13.

<http://www.erne.net/de/leistungen/systeme/verbundbauholzverbundbauweise/>. Datum des Zugriffs: 17.08.2013.

<http://www.erne.net/de/startseite/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013.

<http://www.floor-reinforcement.com/>. Datum des Zugriffs: 12.08.2013.

<http://www.haring.ch/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013.

<http://www.hbv-systeme.de/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013.

<http://www.inholz.de/planungsbereich/konstruktionsprinzipien/holz-betonverbunddecken>. Datum des Zugriffs: 12.08.2013.

<http://www.kaufmann-oberholzer.ch/>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013.

<http://www.lignotrend.de/home/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013.

<http://www.oib.or.at/>. Datum des Zugriffs: 27.08.2013.

<http://www.petercoxitalia.it/rinforzo%20solai.asp>. Datum des Zugriffs: 12.08.2013.

<http://www.pirminjung.ch/>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013.

<http://www.proholz.at/>. Datum des Zugriffs: 02.08.2013.

<http://www.proholz.at/zuschnitt/40/hybridkonstruktionen/>. Datum des Zugriffs: 29.08.2013.

<http://www.refa-lexikon.de/artikel/171/gesamtablauf>. Datum des Zugriffs: 04.09.2013.

<http://www.sidlerbst.ch/index.php/sidlerbst-holzbetonverbund-hbv.html>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013.

<http://www.virserumskonsthall.com/php/index.php?press&id=187&catid=17&l=>. Datum des Zugriffs: 02.09.2013.

<http://www.weyag.ch/dienstleistungen/Holz-Beton-Verbund-Wey-Pi>. Datum des Zugriffs: 28.08.2013.

<http://www.windimnet.de/>. Datum des Zugriffs: 09.09.2013.

[http://www.rhombergbau.at/uploads/media/rendering\\_04\\_Etageninnen\\_tragwerk\\_klein\\_02.jpg](http://www.rhombergbau.at/uploads/media/rendering_04_Etageninnen_tragwerk_klein_02.jpg). Datum des Zugriffs: 25.09.2013.

- <http://www.inholz.de/wp-content/uploads/holz-beton-verbunddecken001.jpg>. Datum des Zugriffs: 25.09.2013.
- [http://www.hbv-systeme.de/hbv/ref\\_schul\\_vancouver.htm](http://www.hbv-systeme.de/hbv/ref_schul_vancouver.htm). Datum des Zugriffs: 25.09.2013.
- <http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2010/10/new-262.jpg>. Datum des Zugriffs: 25.09.2013.
- [http://www.baumeister.ch/no\\_cache/news-einzelansicht/news/jeder-neunte-neubau-ist-aus-holz/](http://www.baumeister.ch/no_cache/news-einzelansicht/news/jeder-neunte-neubau-ist-aus-holz/). Datum des Zugriffs: 26.09.2013.
- <http://www.duden.de/rechtschreibung/Verbundbauweise>. Datum des Zugriffs: 26.09.2013.
- <http://www.kaden-klingsbeil.de/>. Datum des Zugriffs: 28.09.2013.
- [http://www.hermann-kaufmann.at/images/420\\_hires/10\\_21-24.jpg](http://www.hermann-kaufmann.at/images/420_hires/10_21-24.jpg). Datum des Zugriffs: 28.09.2013.
- [http://www.hbv-systeme.de/hbv/images/referenzen/gewerbe/langwies/Langwies04\\_gr.jpg](http://www.hbv-systeme.de/hbv/images/referenzen/gewerbe/langwies/Langwies04_gr.jpg). Datum des Zugriffs: 28.09.2013.
- [http://www.pirminjung.ch/cache/AWZanderLorzeFassadengrau-PJ.04\\_db21486f908177322e289c35718c9ff8.jpg](http://www.pirminjung.ch/cache/AWZanderLorzeFassadengrau-PJ.04_db21486f908177322e289c35718c9ff8.jpg). Datum des Zugriffs: 28.09.2013.
- <http://www.modemconclusa.de/fileadmin/presseservice/cree/2012/lct-one-deckenmontage.jpg>. Datum des Zugriffs: 29.09.2013.
- [http://www.haring.ch/typo3temp/pics/hb\\_rapid\\_aabe21b0e9.jpg](http://www.haring.ch/typo3temp/pics/hb_rapid_aabe21b0e9.jpg). Datum des Zugriffs: 29.09.2013.
- [http://www.beton.org/uploads/RTEmagicC\\_estrich-3\\_01.jpg.jpg](http://www.beton.org/uploads/RTEmagicC_estrich-3_01.jpg.jpg). Datum des Zugriffs: 29.09.2013.
- <http://www.sfsintec.biz/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.timco.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.wuerth.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.com-ing.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://ticomtec.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.hubert-schmid.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.dennert.de/de.html>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://petercoxitalia.it/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.tecnaria.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.bertsche-system.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.kaden-klingsbeil.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.elascon.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.

- <http://www.haring.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.erne.net/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.lignotrend.de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.pirminjung.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.kaufmann-oberholzer.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.sidlerbst.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.weyag.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://group.hugoboss.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- [http://www.creebyrhomborg.com/de/referenzen/lct\\_one/](http://www.creebyrhomborg.com/de/referenzen/lct_one/). Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.hermann-kaufmann.at/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.creebyrhomborg.com/de/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.illwerke.at/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.mkp-ing.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.dietrich.untertrifaller.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.holz-tragwerk.at/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.moreno.lu/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.sgigroupe.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.nattererbcn.com/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.hegikochkolb.ch/>. Datum des Zugriffs: 30.09.2013.
- <http://www.tschopp-holzbau.ch/>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013.
- <http://www.neueholzbau.ch/>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013.
- <http://www.neueholzbau.ch/produkte/hbv-decken-holz-beton-verbund>. Datum des Zugriffs: 21.11.2013.
- [http://www.tschopp-holzbau.ch/w\\_1/site/s\\_page\\_bresta.asp?NID=47](http://www.tschopp-holzbau.ch/w_1/site/s_page_bresta.asp?NID=47). Datum des Zugriffs: 21.11.2013.
- <https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Geschaefsstelle-Bau/RS018-Blg-KV-Abschluss-171-CW.pdf>. Datum des Zugriffs: 20.08.2013.
- [https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Holzbau/2013\\_KV\\_Beilage\\_Zimmerer\\_NEU\\_7.pdf](https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Holzbau/2013_KV_Beilage_Zimmerer_NEU_7.pdf). Datum des Zugriffs: 20.08.2013.
- AIGNER, M.: Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten. Diplomarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2003.
- BARTHL, J.; SIMON, A.: Entwicklung und Planung einer innovativen Systemlösung für hölzerne Straßenbrücken in Holz-Beton-

Verbundbauweise: (Phase 1) ; Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt. Abschlussbericht. Setzpfandt. Ingenieurgesellschaft Setzpfandt, 2009.

BARTLOMÉ, O.: Bauakustische Eigenschaften einer Holz-Beton-Verbunddecke. Projektbericht. Zürich. Lignum Holzwirtschaft Schweiz, 2011.

BATHON, L.: Eine innige Verbindung. In: Bauen mit Holz, 04/2008.

BATHON, L.; BLETZ, O.: Gewerbebau in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holzbau quadriga, 6/2008.

BATHON, L.; BLETZ, O.: Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 02/2009.

BATHON, L.; BLETZ, O.: Holz-Beton-Verbundsystem mit eingeklebten HBV-Schubverbindern. In: Bautechnik, 05/2005.

BATHON, ; LEANDER, : Holz-Beton-Verbunddecken im Neubau - Aktueller Stand der Technik. In: Holzbau quadriga, 2/2009.

BECKER, W.; GÖTZ, T.: Konstruktive und brandschutztechnische Untersuchungen von Rippendecken in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Bautechnik, 06/2012.

BRÜNINGHOF, H.; KREUZINGER, H.: HBV-Decken richtig berechnen. In: Bauen mit Holz, 12/2011.

BRUNNER, R.: Verwaltungs- und Entwicklungsgebäude Hugo Boss Coldrerio. In: Holzbulletin Kanton Tessin, 81/2006.

DEHN, F.; WINTER, S.: Holz-Beton-Verbund - Stand der Technik und Potenziale. In: BFT Betonwerk- und Fertigteiletechnik, 02/2004.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-342. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-445. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-557. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-603. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-648. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-473. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Z-9.1-474. Zulassung. Berlin. Deutsches Institut für Bautechnik, 2011.

DIE SCHREINERZEITUNG: Holz strebt in die Höhe. In: Die Schreinerzeitung, 15/2012.

ERLER, K.: Verstärkung von Holzbalkendecken mit Polymerbeton. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.

FACHVERBAND DER BAUINDUSTRIE DER WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: ÖBGL 2009 - Österreichische Baugeräteliste. Gütersloh. Bauverlag, 2009.

FASTABEND, M.; DEWALD, S.; B, S.: Hohlkörperdecken als Fertigteilelementplatten. In: Beton- und Stahlbetonbau, 11/2003.

FEIX, J. et al.: Entwicklung eines getrennt vorgefertigten Holz-Beton-Verbund Deckensystems. In: Bauingenieur, 04/2010.

FEIX, J.; WALKNER, R.: Vorlesungsskriptum: Betonbau 1. Vorlesungsskriptum. Innsbruck. Universität Innsbruck, 2009.

FRITSCHKE, G.; BLASY, R.: Bewehrungsatlas - Eurocode - ÖNORM EN 1992-1-1 - ÖNORM B1992-1-1. St. Margarethen. Fritsche/Blasy, 2009.

GIRMSCHEID, ; GERHARD, : Projektabwicklung in der Bauwirtschaft. 3. Auflage. Zürich. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

GLASER, R.: Zum Kurz- und Langzeitverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Dissertation. Cottbus. Technische Universität Cottbus, 2005.

GRAU, H.; NEUENHAGEN, H.: Plümecke - Preisermittlung im Holzbau. Köln. Bruderverlag, 2009.

HANSWILLE, G.: Konstruktiver Ingenieurbau und Hochbau - Verbundbau. In: Handbuch für Bauingenieure: Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit - Fachwissen in einer Hand. Hrsg.: ZILCH, K. et al.: Heidelberg. Springer Verlag, 2012.

HECK, D.; SCHLAGBAUER, D.: Vorlesungsskriptum: Bauwirtschaftslehre VU. Vorlesungsskriptum. Graz. Technische Universität Graz, 2012.

HELLER, H.: Holz-Beton-Verbunddecken (HBV) – Neue Deckensanierungssysteme mit Vollgewindeschrauben, Stahlfaserbeton und Online-Bemessungstools. In: Bautechnik, 10/2008.

HILSDORF, H.: 100 Jahre Forschung in der Betontechnologie - Von der Empirie zur Werkstoffwissenschaft. In: Beton- und Stahlbetonbau, 12/1998.

HOFMANN, A.: Analyse technischer und wirtschaftlicher Aspekte der Holz-Massivbauweise mit Brettsperholz. Diplomarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2010.

- HOLLENBACH, J.: Vergleichende Untersuchung von Holz-Beton-Verbunddecken hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit. Diplomarbeit. Stuttgart. Universität Stuttgart, 2000.
- HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Innovative Betone für Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: Bautechnik, 11/2004.
- HOLSCHEMACHER, K.; KLOTZ, S.; KÖHLER, S.: Verbunddecken aus Stahlfaserbeton und Holz. In: Beton- und Stahlbetonbau, 01/1999.
- HOLSCHEMACHER, K. et al.: Holz-Beton-Verbundbauweise. Tagungsbericht Holzbauforum Leipzig. Berlin. Verlag für Bauwesen, 2001.
- HOLZ-BETON-VERBUNDDECKEN, B. v.: Kuhlmann, Ulrike; Schänzlin, Jörg; Michelfelder, Birgit. In: Beton- und Stahlbetonbau, 04/2004.
- KADEN, T.: Holzbau mit sieben Geschossen - Experiment außerhalb der Bauordnung. In: Detail, 11/2008.
- KIEFER, ; MARIE-ISABEL, : Nachhaltiges Bauen mit Weitblick. In: Mikado, 05/2005.
- KLH MASSIVHOLZ GMBH: Montage und Installation. Anleitung. Katsch an der Mur. KLH Massivholz GmbH, 2012.
- KLOTZ, S.; HOLSCHEMACHER, K.; KÖHLER, S.: Wirtschaftlichkeit von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.
- KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Berlin. Bauwerk, 2004.
- KÖSTER, H.; WEHNER, M.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 08: Marktforschung und Markterschließung. Abschlussbericht. Rosenheim. Fachschule Rosenheim, 2008.
- KRABBE, P.; SCHLUDER, M.: Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum. Projektbericht. Wien. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2009.
- KUHLMANN, U. et al.: Ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei Verbundbrücken unter Berücksichtigung des Bauverfahrens und der Nutzungsdauer. In: Stahlbau, 02/2007.
- KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.: Bemessung von Holz-Beton-Verbunddecken nach DIN und Euronorm. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.

KUHLMANN, U.; SCHÄNZLIN, J.; MICHELFELDER, B.: Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Beton- und Stahlbetonbau, 04/2004.

LEHMANN, S.: Untersuchungen zur Bewertung von Verbundbauteilen aus Brettstapelelementen im Flächenverbund mit mineralischen Deckschichten. Dissertation. Weimar. Bauhaus Universität Weimar, 2004.

METAMORPHOSE 02/09: Belastbare Beziehung: Deckensanierung in Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Metamorphose, 02/2009.

MICHELFELDER, B. C.: Trag- und Verformungsverhalten von Kerven bei Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. Stuttgart. Universität Stuttgart, 2006.

MIEBACH, F.: Holzbrückenbau 3.0 als Weiterentwicklung - Neue Hybridstruktur im niederländischen Winschoten. In: Brückenbau, 02/2012.

MÖLLER, E.: Tendenzen im Holzbau. In: Bautechnik, 01/2013.

MÜNCH, D.; TREHKOPF, H.: Holz-Beton Verbunddecken mit dem Würth FT (Fertigteil)-Verbinder. In: ql2/8 - Das Magazin für Ingenieure, Architekten und Planer, 07/2012.

MÜSS, H.; SAUERBORN, N.; SCHMITT, J.: Höhepunkte im modernen Verbundbau - eine beispielhafte Entwicklungsgeschichte. In: Stahlbau, 10/2004.

NATTERER, J.: Einfach- und Hightech-Konstruktionen aus Holz. In: Bautechnik, 01/2013.

NATTERER, J.; HOEFT, M.: Zum Tragverhalten von Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. Lausanne. Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, 1987.

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: OIB Richtlinie 2 - Brandschutz. Richtlinie. Wien. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: OIB Richtlinie 5 - Schallschutz. Richtlinie. Wien. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 2061. Norm. Wien. Österreichisches Normungsinstitut, 1999.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 1801-1. Norm. Wien. Österreichisches Normungsinstitut, 2009.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT: ÖNORM B 1801-2. Norm. Wien. Österreichisches Normungsinstitut, 2009.

PECH, A. et al.: Baukonstruktionen Band 5: Decken. Wien. Springer Verlag, 2006.

PFATTNER, M.: Holz-Beton-Verbundsysteme im Ingenieurholzbau - Gegenüberstellung der Verbundlösungen und Einsatz als Verstärkungsmaßnahme für Holzdecken im Bestand. Diplomarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2007.

PFEIFER STEINER, M.: Der Schlüssel zum Hochhaus - Life Cycle Tower in Dornbirn. In: Zuschnitt 45, 1/2012.

PICK, J.; STREIT, W.: Kalkulation. In: Zahlentafeln für den Baubetrieb. Hrsg.: HOFFMANN, M.; KRAUSE, T.: 8. Auflage. Wiesbaden. Springer, 2011.

PROHOLZ AUSTRIA: Lückenfüller mit Distanz - Eine Bauinitiative am Prenzlauer Berg. In: Zuschnitt 33, 1/2009.

PROHOLZ STEIERMARK: Gegenüberstellung der ermittelten Holzbauanteile: Österreich - Steiermark - Kärnten. PowerPoint Präsentation. Graz. proHolz Steiermark, 2012.

RADKAU, J.; SCHÄFER, I.: Holz: Ein Naturstoff in der Technikgeschichte. Reinbek bei Hamburg. Rowohlt, 1987.

RAUTENSTRAUCH, K.; DÖHRER, A.; SCHAFFITZEL, J.: Moderne Brücken in Holz-Beton-Verbundbauweise - Eine Projektskizze. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.

RAUTENSTRAUCH, K.; GROSSE, M.; LEHMANN, S.: Forschungsvorhaben Brettstapel - Beton-Verbund: Untersuchung des Tragverhaltens von Brettstapel-Beton-Verbunddeckenplatten mit neuartigen Verbindungsmitteln aus Flachstahlschlössern. Forschungsvorhaben. Weimar. Bauhaus Universität Weimar, 2000.

RAUTENSTRAUCH, ; KARL, : Entwicklung der Holz-Beton-Verbundbauweise. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauweise - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHEMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.

RAUTENSTRAUCH, K. et al.: Entwicklung eines Hochleistungsverbundträgersystems für den Ingenieurholzbau. In: Bautechnik, 01/2013.

REINHARDT, H.: Ingenieurbaustoffe. 2. Auflage. Berlin. Ernst und Sohn, 2010.

RUG, W.: Entwicklung der Holzhausindustrie. Tagungsband der 10. Holzbautagung Berlin Brandenburg. Berlin. Fachhochschule Potsdam, 2006.

RUG, W.: Holz-Beton-Verbundkonstruktionen. In: 17. Brandenburgischer Bauingenieurtag BBIT 2010. Hrsg.: STEINBRECHER, D.: Cottbus. Technische Universität Cottbus, 2010.

- RUG, W.; SCHMIDT, H.: Zur Entwicklung des Holzbaus. In: Holztechnologie, 04/1989.
- SATTLER, K.: Theorie der Verbundkonstruktionen: 1. Theorie. Berlin. Ernst und Sohn, 1959.
- SCHÄFFERS, M.; SEIM, W.: Geklebte Verbundbauteile aus Holz und hoch- bzw. ultrahochfesten Betonen. In: Bautechnik, 03/2011.
- SCHÄNZLIN, J.: Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. Stuttgart. Universität Stuttgart, 2003.
- SCHICKHOFER, G.: Vorlesungsskriptum: Holzbau - Der Roh- und Werkstoff Holz. Vorlesungsskriptum. Graz. Technische Universität Graz, 2006.
- SCHICKHOFER, G.: Vorlesungsskriptum: Holzbau - Nachweisführung für Konstruktionen in Holz. Vorlesungsskriptum. Graz. Technische Universität Graz, 2009.
- SCHINDLER, C.: Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus. Dissertation. Zürich. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2009.
- SCHMIDT, J.; SCHNEIDER, W.; THIELE, R.: Zum Kriechen von Holz/Betonverbundkonstruktionen. In: Beton- und Stahlbetonbau, 07/2003.
- SCHMIDT, J.; THIELE, R.; KALISKE, M.: Holz/Calciumsulfatfließestrich - Verbunddecken. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.
- SCHNEIDER, K. J.; GORIS, A.; ALBERT, A.: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 19. Auflage. Neuwied. Werner Verlag, 2010.
- SCHÖNBORN, F.: Holz-Beton-Fertigteilelemente. Dissertation. Innsbruck. Universität Innsbruck, 2006.
- SCHÖNBORN, F.; FLACH, M.; FEIX, J.: Bemessungsregeln und Ausführungshinweise für Schubkerven im Holz-Beton-Verbundbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 06/2011.
- SIMON, A.: Ruhe in der Kiste - Mehrfamilienhaus an der Lorze. In: Zuschnitt 18, 1/2005.
- STANDOP, E.; MEYER, M. L.: Die Form der wissenschaftlichen Arbeit : ein unverzichtbarer Leitfaden für Studium und Beruf. Wiebelsheim. Quelle und Meyer, 2004.

STINGL, R.; ZUKAL, M. L.; TEISCHINGER, A.: Holzbauanteil in Österreich - Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben. In: att.Zuschnitt, 09/2011.

STRASBURGER, E.: Lehrbuch für Botanik. Heidelberg. Spektrum, 2012.

TEIBINGER, M.: Deckenkonstruktionen für den mehrgeschoßigen Holzbau: Schall- und Brandschutz ; Detailkatalog. Planungsbroschüre. Wien. Holzforschung Austria, 2009.

TEIBINGER, M.; BUSCH, T.: Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5. Machbarkeitsstudie. Wien. Holzforschung Austria, 2007.

TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettspertholz im Geschoßbau - Fokus Bauphysik. Planungsbroschüre. Wien. Holzforschung Austria, 2013.

TICHELMANN, K. et al.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Wissenschaftliche Studie. Wien. BAU.GENIAL, 2007.

TRUMMER, A.; POCK, K.: Holzbetonverbund Konstruktion - Bemessung - Überprüfung. Festschrift Konrad Bergmeister. Wien. Universität für Bodenkultur, 2003.

VOLK, D.: Optimierte HBV-Decken im Bauprozess - Ortbetonweise im Fokus. Präsentation beim 11. Techniker Tag VGO. EMPA Akademie Dübendorf. VGQ Schweizerischer Verband für geprüfte Qualitätshäuser, EMPA Materials Science and Technology, FHB forum-holzbau, 2013.

WABL, A.: Brandschutz im mehrgeschossigen Holz-Massivbau. Masterarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2012.

WIELAND, H.: Holz-Beton-Verbundsysteme. In: Holz-Beton-Verbund: Innovationen im Bauwesen - Beiträge aus Praxis und Wissenschaft. Hrsg.: KÖNIG, G.; HOLSCHMACHER, K.; DEHN, F.: Berlin. Bauwerk, 2004.

WINTER, S.; KREUZINGER, H.; MESTEK, P.: Holzbau der Zukunft - Teilprojekt 15: Flächen aus Brettstapeln, Brettspertholz und Verbundkonstruktionen. Abschlussbericht. Rosenheim. Fachhochschule Rosenheim, 2008.

WINTER, S.; TUE, N. V.; DEHN, F.: Optimierte Holz-Beton-Verbund-Bauteile aus Hochleistungsbetonen und flächigen Holzbauelementen aus Massivholz oder Hochleistungs-Holzwerkstoffen: Schlussbericht. Stuttgart. Fraunhofer-IRB-Verlag, 2008.

ZANGERL, M.: LifeCycle Tower: Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise. Projektbericht. Wien. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2010.

ZWERGER, K.: Das Holz und seine Verbindungen: Traditionelle Bautechniken in Europa, Japan und China. 2. Auflage. Berlin. Birkhäuser Berlin, 2012.

## Konsultationsverzeichnis

Fragebogen:

**Dipl.-Ing. Christian Rätz**

Häring Projekt AG  
Sisslerstraße 15  
5074 Eiken (CH)

**Dipl.-Ing. Christian Standl**

Cree GmbH  
Färbergasse 17b  
6850 Dornbirn (AT)

**Dipl.-Ing. Christoph Dünser**

Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH  
Sportplatzweg 5  
6858 Schwarzach (AT)

**Dipl.-Ing. David Volk**

PIRMIN JUNG Deutschland GmbH  
Entenweiherweg 12  
53489 Sinzig (D)

**Dipl.-Ing. Dr. Jörg Schänzlin**

Konstruktionsgruppe Bauen AG, Ingenieurbüro für Bauwesen  
Bahnhofplatz 1  
87435 Kempten (D)

**Dipl.-Ing. Dr. Martin Teibinger**

Holzforschung Austria  
Franz Grill-Straße 7  
1030 Wien (AT)

**Dipl.-Ing. Frank Miebach**

IB-MIEBACH, Holzbau & Holzbrückenbau  
Haus Sülz 7  
53797 Lohmar (D)

**Dipl.-Ing. Katrin Stephan**

Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf  
Pfaffenwaldring 7  
70569 Stuttgart (D)

**Dipl.-Ing. Kurt Pock**

Alter Platz 30  
9020 Klagenfurt (AT)

**Dipl.-Ing. Rainer Bahmer**

i-rb, Ingenieurbüro für Holzbau  
Goethestraße 60  
63808 Haibach (D)

Kostenermittlung:**Asamer Holding AG**

Unterthalhamstraße 2  
4694 Ohlsdorf (AT)

**BauKreis Der Werkzeug-Bautechnik-Direktvertrieb GmbH & Co. KG**

Esslinger Straße 45  
73207 Plochingen (D)

**bausep GmbH**

Am Haag 4  
74838 Limbach (D)

**Baustoffshop.at**

Mitterfeldzeile 14  
2483 Ebreichsdorf (AT)

**BBG Foliengesellschaft mbH Berlin**

Waldstraße 96/97  
13403 Berlin (D)

**BE Baustoffe Einsiedeln AG**

Schnabelsbegstraße 10  
8840 Einsiedeln (CH)

**BEST – Baueisen- und Stahl - Bearbeitungsgesellschaft m.b.H.**

Industriestraße 25  
4053 Haid (AT)

**Beton & Kieswerke GmbH Braunau**

Gewerbepark Hinterholz 4  
4933 Wildenau (AT)

**Binderholz GmbH**

Zillertalstraße 39  
6263 Fügen/Zillertal (AT)

**Brüder Theurl GmbH**

Thal-Aue 128  
9911 Assling (AT)

**BSZ Beton-Stahl-Zentrum**

4310 Mauthausen  
Gewerbestraße 3 (AT)

**dm-folien gmbh**

Hans-Böckler-Str. 21  
72770 Reutlingen (D)

**ERNE AG Holzbau**

Werkstraße 3  
5080 Laufenburg (CH)

**Escher Schalungszubehör GmbH**

Ossa 53a  
04657 Narsdorf / OT Ossa (D)

**Felbermayr Holding GmbH**

Machstraße 7  
4600 Wels (AT)

**Felix Forster GmbH**

Raitfeldstraße 25  
5280 Braunau (AT)

**Franz Großschädl Stahlgroßhandel GesmbH**

Südbahnstraße 10  
8020 Graz (AT)

**Güteschutzverband für Bewehrungsstahl**

Postfach 3  
1015 Wien (AT)

**Hasenörl GMBH**

Wagram 1  
4303 St. Pantaleon (AT)

**HOBA Baustoffhandel GmbH**

Greifswalder Straße 80c  
10405 Berlin (D)

**Holz Wicharz GmbH**

Wikingerstraße 22  
51107 Köln (D)

**J.u.A. Frischeis GmbH**

A-2000 Stockerau  
Gerbergasse 2 (AT)

**Karl Bachl GmbH & Co KG**

Deching 3  
94133 Röhrnbach (D)

**Kaufmann Oberholzer Roggwil AG**

St.Gallerstraße 19  
9325 Roggwil TG (CH)

**Kaufmann Oberholzer Schönenberg AG**

Feldstraße 6  
9215 Schönenberg an der Thur (CH)

**KLH Massivholz GmbH**

Mur 202  
8842 Katsch (AT)

**Lignotrend Produktions GmbH**

Landstraße 25  
79809 Weilheim-Bannholz (D)

**MAPEI SUISSE SA**

Route Principale 127  
1642 Sorens (CH)

**Menzel Betonbausysteme GmbH**

Brößnitzer Straße 15a  
04932 Großthiemig (D)

**NA-LOG GmbH**

Backsteinhof 33  
21339 Lüneburg (D)

**Öbau Egger GmbH**

Kirchengasse 50  
9021 Klagenfurt (AT)

**OTTO KNECHT GmbH & Co. KG**

Ziegeleistraße 10  
72555 Metzingen (D)

**Prangl GmbH**

Industriestraße B 10  
2345 Brunn/Gebirge (AT)

**Sidler Holz AG**

Zugerstraße 26  
8917 Oberlunkhofen (CH)

**Stora Enso WP Bad St. Leonhard GmbH**

Wisperndorf 4  
9642 Bad St. Leonhard (AT)

**Würth AG**

Dornwydenweg 11  
4144 Arlesheim (CH)

**Würth GmbH**

Würth Straße 1  
3071 Böheimkirchen (AT)

**Würth Srl**

Bahnhofsstraße 51-53  
39044 Auer (IT)

**Yohammada GmbH & Co. KG**

Heinrichstraße 73  
40239 Düsseldorf (D)

**Holzbau Gröber GmbH**

Biberacher Straße 19  
88436 Eberhardzell-Füramoos (D)

**R. Aigner GmbH**

Haagerstraße 56  
4400 Steyr (AT)

**CEMEX Austria AG**

Lagerstraße 1-5  
2103 Langenzersdorf (AT)

**Fritz Peham GmbH**

Pebering Straße 11-13  
5301 Eugendorf (AT)

**BSS Baustahlservice GmbH**

Feldkirchenstraße 8-12  
8401 Kalsdorf bei Graz (AT)

**Adolf Würth GmbH & Co. KG**

Reinhold-Würth-Straße 12-17  
74653 Künzelsau-Gaisbach (D)

**Lieb Bau Weiz GmbH & Co KG**

Arndorf 37  
8181 St. Ruprecht/Raab (AT)

**Mayr-Melnhof Holz Holding AG**

Turmgasse 67  
8700 Leoben (AT)

**Rubner Holding AG**

Handwerkerzone 2  
39030 Kiens (IT)

**Strobl Bau - Holzbau AG**

Bundesstraße 85  
8160 Weiz (AT)