

Fakultät Architektur | Fakultät Bauingenieurwesen

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung – Verbundwerkstoff für plattenförmige Bauteile

Roland Krippner | Thomas Freimann



Antragsteller, Projektleitung

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner
Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg
Fakultät Architektur
Lehrgebiet Konstruktion und Technik
Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg
Telefon: 0911 / 5880-1885, Telefax: 0911 / 5880-5195
roland.krippner@ohm-hochschule.de
<http://www.ohm-hochschule.de>

Bearbeiter

Mitarbeiter

Dr.-Ing. Peter Bonfig, München (Bearbeitung Kapitel 5, 6 und 7)
Dipl.-Ing. Anna Koepchen
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Rothenberger

Wolfgang Bauer (B.A.), Svenja Burger (B.A.), Jörg Falk (B.A.), Ertan
Karaköse (B.A.), Stefanie Lemke (B.A.), Peter Nowak, Markus Thoma,
Orhan Tutav (B.A.), Anne Zambelli (B.A.)

Die Bearbeiter bedanken sich bei der
STAEDTLER Stiftung Nürnberg und ihrem
Vorsitzenden Herrn Dieter Schoch
für Förderung und finanzielle Unterstützung
der Projektarbeiten

Kooperations-Partner

Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann
Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg
Fakultät Bauingenieurwesen
Lehrgebiet Baustofftechnologie, Straßenbau
Leiter Labor für Baustofftechnologie
Kesslerplatz 12, 90489 Nürnberg
Telefon: 0911 / 5880-1413, Telefax: 0911 / 5880-5164
thomas.freimann@ohm-hochschule.de
<http://www.baustoffOHM.de>

Mitarbeiter

Michael Weinmann (B.Eng.) (Bearbeitung Kapitel 3 und 4)
Dipl.-Ing.(FH) Thomas Killing

Florian Johnscher

Nürnberg, November 2011

Inhalt

1	Ziele des Vorhabens	4	Holzleichtbeton mit Textilbewehrung
1.1	Ausgangslage	4	
1.2	Projektziele	5	Inhalt
2	Stand der Wissenschaft und Technik	7	
2.1	Beschreibung des aktuellen Standes	7	
2.2	Eigene Vorarbeiten	8	
3	Untersuchungen von Holzleichtbetonen	10	
3.1	Versuchsspezifische Ausgangsstoffe	10	
3.1.1	Wasser	10	
3.1.2	Zement	10	
3.1.3	Holz	13	
3.1.4	Erhärteter Holzleichtbeton	14	
3.2	Herstellung der Mischungen und Durchführung der Versuche	15	
3.2.1	Mischvorgang	15	
3.2.2	Konsistenzermittlung	15	
3.2.3	Aufzeichnung der Temperaturentwicklung	15	
3.3	Unbewehrter Holzleichtbeton: Materialkenngrößen	17	
3.3.1	Physikalische Kenngrößen	17	
3.3.2	Festigkeitskenngrößen	21	
3.3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	28	
4	Bewehrter Holzleichtbeton	30	
4.1	Bewehrungsarten	30	
4.2	Materialkenngrößen	36	
4.2.1	Physikalische Kenngrößen	36	
4.2.2	Festigkeitskenngrößen	39	
4.2.3	Temperaturentwicklung	45	
4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	46	

5	Awendungsmöglichkeiten im Innenausbau	50	6.5	Demonstrationsprojekt	77	Holzleichtbeton mit Textilbewehrung
5.1	Grundsätzliches	50	6.5.1	Plattenherstellung und Montage	77	
5.1.1	An die Platten gekoppelte Funktionen	50	6.5.2	Studentische Arbeiten	79	
5.1.2	Herstellungstechnik	51	6.5.3	Betonmöbelbau	83	Inhalt
5.1.3	Plattengrößen und -formate	51				
5.1.4	Oberflächen, Kanten	51	7	Abschätzung von Marktpotentialen	85	
5.1.5	Weitere geometrische Aspekte	52	7.1	Zielsetzung und Strategie	85	
5.1.6	Befestigung	53	7.1.1	Qualitative Einschätzung	85	
5.1.7	Fugenausbildung	53	7.1.2	Quantitative Einschätzung	85	
5.2	Bekleidung von Wänden und Dachkonstruktionen	56	7.1.3	Quellen und aktuelle Daten	85	
5.3	Deckenbekleidungen	59	7.2	Anwendungen, qualitative Aspekte	87	
5.3.1	Besondere Aspekte	59	7.2.1	Entscheidungskriterien	87	
5.3.2	Einbausituationen und Aufbauten	60	7.2.2	Ambivalenz des Materialmixes	88	
5.3.3	Fügung und Befestigung	61	7.2.3	Massivbau - Leichtbau	88	
5.3.4	Bewertung von Anwendungsfällen	61	7.2.4	Nassbauweise - Trockenbauweise	88	
			7.2.5	Außen- und Innenanwendungen	89	
			7.2.6	Ästhetik bei der Kombination mit anderen Materialien		
6	Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt	63	7.3	Anwendungen, qualitative Abschätzungen im Einzelnen	89	
6.1	Situation, Vorgehen und Zielsetzung	63				
6.1.1	Lastenheft	63	8	Zusammenfassung und Ausblick	92	
6.1.2	Arbeitsraum B46	64				
6.2	'Musterkästen' und Varianten für die Demonstrationswand	65	9	Anhang	97	
6.2.1	Varianten zu Typ A	66				
6.2.2	Varianten zu Typ B	67	9.1	Abkürzungsverzeichnis	97	
6.2.3	Varianten zu Typ C	68	9.2	Literaturverzeichnis	98	
6.3	Ausführungs- und Detailplanung Wandelement	71	9.3	Abbildungsverzeichnis	99	
6.3.1	Lösungsfindung	71	9.4	Firmenkooperationen und Arbeitskontakte	100	
6.3.2	Details für die Ausführung	71				
6.4	Deckenelement	74				
6.4.1	Prinzip	74				
6.4.2	Details für die Ausführung	74				

1 Ziele des Vorhabens

1.1 Ausgangslage

Der nachwachsende Baustoff Holz war über Jahrhunderte wesentlicher Bestandteil der Primärkonstruktion von Bauten. Erst im Zuge der Entwicklung moderner Materialien in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts, insbesondere des Stahlbetons, wurde das Material zeitweise in den Hintergrund gedrängt. Im Vergleich zu heute wurde um 1900 in Mitteleuropa etwa die 10fache Menge an Holz in der Baukonstruktion eingesetzt. Durch Neubewertung von Energie- und Stoffströmen, des Primärenergiegehalts baulicher Systeme und des Energiehaushalts von Gebäuden, gewinnen die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Holz in unterschiedlicher Zusammensetzung wieder an Bedeutung.

Neben Fragen von Ressourcen- und Energieeffizienz spielt bei der Auswahl von Baumaterialien die Wertschätzung von gestalterisch anspruchsvollen Oberflächen eine zunehmend stärkere Rolle. Gerade im Hochbau finden Materialien mit funktionalen und ästhetisch hochwertigen Oberflächen bei Architekten und Designern ein besonderes Interesse und werden auch von einer breiteren Öffentlichkeit nachgefragt. Gerade Holz und Holzverbund-/Holzwerkstoffe weisen für den Einsatz im Innenraum und im Bereich der Gebäudefassaden eine Vielzahl von positiven Eigenschaften auf.

Ein für den sichtbaren Einsatz im Hochbau neuartiges Material stellt in diesem Zusammenhang der Holzleichtbeton dar. Dieser Verbundwerkstoff setzt sich aus Zement, Sägespänen bzw. -mehl, Wasser und Additiven zusammen. Das organische Zuschlagsmaterial bilden Abfälle aus der Holzverarbeitung; Reststoffe von regionalen Holzarten sind im Vergleich zu vielen technischen Materialien

bei der Leichtbetonherstellung sowohl ein kostengünstiger Roh- als auch Zuschlagsstoff. Gute Verarbeitungs- und variierbare Wärme-, Schall- und Festigkeitseigenschaften kennzeichnen das Komposit-Material.

Untersuchungen von Holzleichtbeton zeigen, dass die Kombination von Zement mit Holz ein interessantes und breites Entwicklung- und Einsatzpotential aufweist.¹ Insbesondere erste Anwendungen in Demonstrationsprojekten (Fachhochschule Rosenheim, Landesgartenschau Neu Ulm 2008; Abb. 1 + Abb. 2) bestätigen diese Einschätzungen. Auch zeigte sich während der Abschluss-Präsentation der Projektarbeiten zu "Holzleichtbeton im Hochbau"² eine starke Nachfrage von Holzleichtbeton als Bekleidungsmaterial, sowohl für die Fassade als auch für den Innenausbau.

Trotzdem bleiben eine Reihe von Fragestellungen offen. Es fehlen weitergehende Forschungen hinsichtlich der Verfeinerung materialspezifischer Grundlagen, der Untersuchung von Anwendungsbereichen und der Klärung herstellungs- und fertigungstechnischer Randbedingungen, insbesondere da die Verarbeitung von Holzleichtbeton deutliche Unterschiede gegenüber der von Normalbeton aufweist. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass Holzleichtbeton als Material für plattenförmige Holzverbundwerkstoffe sowohl im Neubau wie im Gebäudebestand eingesetzt werden kann.

Bei der Weiterentwicklung von Holzleichtbeton ist neben der Optimierung bauphysikalischer Eigenschaften vor allem der Einsatz

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Ziele des Vorhabens

1 Gliniorz, Natterer (2000); Krippner (2004); Heinz, Urbonas; TU München (2008); Krippner et al. (2008)

2 Stand "Holzbau der Zukunft" auf der BAU 2009 in München im Januar 2009

von Textilbewehrung ein wesentlicher und viel versprechender Arbeitsschwerpunkt.

1.2 Projektziele

Ziel des Forschungsprojektes ist es, die positive Leistungscharakteristik von Fasern und Geweben zur Herstellung optimierter Bauteilabmessungen von Holzleichtbeton-Platten zu nutzen. Dieser neuartige Ansatz,³ zwei innovative Baustoffwelten zu kombinieren, verspricht verbesserte Materialeigenschaften und eröffnet neue Anwendungsbereiche. Mit den erweiterten Versuchs- und Messreihen sollen wichtige Schritte auf dem Weg zur Optimierung von Holzleichtbeton als Material für plattenförmige Bauteile geleistet werden.

Zunächst fehlen belastbare statistische Angaben zu möglichen Flächenpotentialen von Holzleichtbeton sowohl im Innenausbau als auch im Bereich der Gebäudefassaden (Neubau und Bestand). Eine Vorab-‘Marktstudie’ zur Abschätzung des Flächenpotentials im Innenraum und im Bereich von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden soll als Grundlage für weitere Optimierungen für Holzleichtbeton dienen. Auch können auf dieser Basis die materialspezifischen Eigenschaften des Holzverbundwerkstoffs auf die jeweiligen Einsatzmöglichkeiten besser abgestimmt werden.

Die daran anknüpfenden ersten Optimierungsschritte dienen zur Klärung und Verfeinerung materialspezifischer Grundlagen zu Holzleichtbeton als Material für plattenförmige Bauteile. Dabei ist es notwendig, zunächst

³ Im Rahmen des Projektes “Holzleichtbeton als Material für Außenwände” (TU München, Lehrstuhl Gebäudetechnologie; 09/2000 – 02/2001) wurde einige Musterplatten hergestellt. Weitergehende Versuche erfolgten indes nicht.



Abb. 1: Holzleichtbeton als Lamellen-Absorber (Fachhochschule Rosenheim 7/2008)



Abb. 2: Musterfläche Holzleichtbeton in Betonfertigteilwand (Landesgartenschau Neu-Ulm 4/2008)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Ziele des Vorhabens

anhand von ausgewählten Zusammensetzungen insbesondere die mechanischen Eigenschaften des Frisch- und Festbetons mit den bereits vorliegenden Resultaten zu validieren. Erst nach der Überprüfung des betontechnologischen Verhaltens und der Baustoffuntersuchungen kann die Erweiterung funktionaler und konstruktiver Werkstoff-Parameter durch den Einsatz von textiler Bewehrung erfolgen.

Optimierungsbedarf besteht insbesondere bei der Herstellung von (großformatigen) Platten im Bereich von (Außen-)Wand und Decke hinsichtlich des Verhältnisses von Plattendicke und (Maximal-)Abmessung (u.a. Durchbiegung, Rissbildung). Untersuchungen haben gezeigt,⁴ dass bei moderaten Dimensionen (100 x 50 x 3 cm) Platten aus Holzleichtbeton die erforderlichen Belastungen aufnehmen können. Die Platten weisen eine gute Stabilität auf, haben jedoch zum Teil ein verhältnismäßig hohes Flächengewicht, was die Handhabung bei der Montage als Decklage für den Innenraum eher schwierig gestaltet. Auch war die Kantenausbildung häufig nicht ausreichend stabil, um eine schadensfreie Montage in herkömmliche Decken- und Wandsysteme zu gewährleisten. Ferner besteht in Bezug auf Maßhaltigkeit und Schwindverhalten Verbesserungsbedarf.

In diesem Zusammenhang stellt die Kombination von Holzleichtbeton mit Fasern oder textilen Geweben eine viel versprechende Option dar. Da besonders bei der Herstellung größerer Plattenformate in Verbindung mit schlanken Bauteilabmessungen die genannten Problemen auftraten, soll im Rahmen des Forschungsprojektes untersucht werden, in-

wieweit diese durch Einsatz von Fasern und/oder textiler Bewehrung unterbunden werden können. Gerade die Kombination mit einer innovativen Bewehrungstechnik verspricht die Optimierung der mechanischen Eigenschaften und die Erweiterung des Einsatzspektrums von plattenförmigen Wand- und Deckenbauteilen aus Holzleichtbeton.

Darüber hinaus sollen zur Evaluierung der konzeptionellen Ansätze anwendungsbezogene praxisnahe Untersuchungen durchgeführt werden und insbesondere Grundprinzipien für Anwendungen im Innenausbau, z.B. Wandplatten bzw. -tafeln, abgehängte Decken(-elemente) erarbeitet werden (Plattenaufbauten, Schichtenfolgen, Kantenausbildung). Im Rahmen des Demonstrations-Projektes ("Bürraum" Ohm-Hochschule, Fakultät Architektur) soll die Funktionsfähigkeit und Alltagstauglichkeit dieses Holzverbundwerkstoffs aufgezeigt werden.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Ziele des Vorhabens

⁴ Prüfung von Biegefestigkeit und E-Modul nach ÖNORM EN 310; vgl. Krippner et al., 2008, S. 72-75

2 Stand der Wissenschaft und Technik

2.1 Beschreibung des aktuellen Standes

2.1.1 Holzleichtbeton

In ersten Untersuchungen konnte aufgezeigt werden, dass Holzleichtbeton ein zukunftsweisendes und leistungsfähiges Material darstellt.¹ Das viel versprechende Leistungsprofil ist in weiterführenden FuE-Arbeiten bestätigt und ergänzt worden. Im Rahmen des Forschungs-Verbundes "Holzbau der Zukunft"² wurden an der Technischen Universität München innerhalb zweier Arbeitsgruppen Grundlagen zu Holzbeton (Teilprojekt 16) erforscht³ und Anwendungen für Fassade und Innenausbau (Teilprojekt 17) untersucht.⁴ Trotz dieser breiten und fundierten Datenlage zum betontechnologischen Verhalten und zu den funktionalen, konstruktiven Eigenschaften, sowie erfolgreich durchgeführten Erstanwendungen besteht weiter Forschungsbedarf, um in weiteren Schritten den Weg vom Baustofflabor hin zum marktreifen Bauprodukt zu verkürzen. Der Bedarf erstreckt sich einerseits auf materialspezifisches Verhalten und verbesserte Herstellungsverfahren, andererseits müssen durch Anwendungen in situ Erfahrungen und Randbedingungen aus der Praxis gewonnen werden.

2.1.2 Textilbewehrung

Im Bereich der Betontechnologie gewinnt die Kombination von Normalbeton mit korrosi-

onsbeständigen textilen Fasern als Bewehrungsmaterial (Abb. 3) zunehmend an Bedeutung. Dieser neue Konstruktionswerkstoff "Textilbewehrter Beton" ermöglicht durch den Einsatz von Fasern und Geweben die Fertigung relativ dünnwandiger Bauteile, da nur mehr eine geringe Bewehrungsüberdeckung zur Verbundwirkung und zum Schutz vor Hitzeversagen im Brandfall erforderlich ist. Von den mechanischen Eigenschaften bis zur Bauteilentwicklung werden seit Jahren unter anderem an der RWTH Aachen⁵ und der TU Dresden⁶ in experimentellen Untersuchungen Grundlagen für die Entwicklung dieser Technologie erarbeitet.

Der Vergleich von Probekörpern mit Kurzfaserbewehrung und mit textiler Bewehrung zeigt deutliche Verbesserungen der Trageigenschaften des textilbewehrten Normalbetons. Bei den Untersuchungen wurde allerdings deutlich, dass "durch den Einbau des Gewebes in den Beton ein Verbundwerkstoff entsteht, dessen Tragverhalten nicht aus den Eigenschaften der einzelnen Komponenten hergeleitet werden kann, sondern neu ermittelt werden muss."⁷ Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass textilbewehrter Beton über die Substitution herkömmlicher Materialien und vorhandener Konstruktionen hinaus auch für den Betonbau neue Einsatzmöglichkeiten erschließen kann.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Stand der Wissenschaft
und Technik

¹ Deutscher Holzbaupreis 2005. Engere Wahl "Innovative Bauprodukte"

² <http://www.holzbauderzukunft.de/> <11.10.2011>

³ cbm Centrum Baustoffe und Materialprüfung, Technische Universität München, Fachgebiet Gesteinshüttenkunde

⁴ Technische Universität München, EBB - Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde, Prof. Florian Musso

⁵ Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereiches (SFB) 532 "Textilbewehrter Beton". <http://sfb532.rwth-aachen.de> <11.10.2011>

⁶ Sonderforschungsbereich 528 "Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung"

⁷ <http://www.beton.org> <11.10.2011>

2.1.3 Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bisher sind derartige systematische Untersuchungen im Bereich von Leichtbetonen auf Basis organischer Zuschlagsstoffe noch nicht erfolgt. Durch das Einbringen von Fasern, Matten, Gelegen oder Geweben in die Holzleichtbetonfläche ist eine verbesserte statische Wirkung zu erwarten. Die Fasern bzw. die textile Bewehrung kann sehr genau innerhalb des Bauteils positioniert werden und auch oberflächennah zum Einsatz kommen. Die positiven Erkenntnisse und experimentellen Ansätze aus den Sonderforschungsbereichen gilt es in ersten Schritten auf den Holzleichtbeton zu übertragen. Im Rahmen der Projekt-Arbeiten besteht die Möglichkeiten für das "innovative Bauprodukt" Holzleichtbeton neue Erkenntnisse und Erfahrungen zu funktionalen und konstruktiven Eigenschaften zu erschließen, d.h. vor allem verbessertes Tragverhalten bei optimierten Bauteil-Abmessungen und die Abschätzung neuer Anwendungsfelder.

2.2 Eigene Vorarbeiten

Anknüpfend an Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Holzkonstruktionen der EPF Lausanne/I-Bois (Prof. Julius Natterer), dort seit Mitte der 1990er Jahre vor allem zu baukonstruktiven Grundlagen von Holzleichtbeton durchgeführt, wurde im Rahmen kleinerer Verbundprojekte an der Technischen Universität München⁸ an der Entwicklung von thermisch aktiven Bauteilen in Massivholz-Holzleichtbeton-Verbundbauweise gearbeitet und die Kombination von Holzleichtbeton mit PCM untersucht.

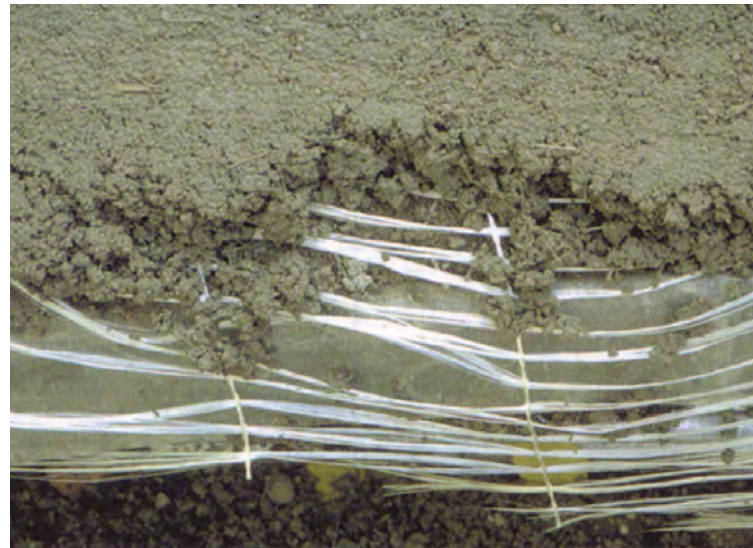


Abb. 3: Verwendung von alkaliresistenten Glasfasern (Textilbewehrung) in Normalbeton

Hinsichtlich der spezifischen Wärmekapazität liegt Holzleichtbeton zwischen Ziegelstein oder Beton und Schaumkunst- bzw. pflanzlichen Faserdämmstoffen. Daraus resultiert, dass die volumenbezogene Wärmekapazität etwa 60 bis 70 % von Normalbeton erreicht. Dies erschien ausreichend um Holzleichtbeton als Material für thermisch aktive Bauteile zu untersuchen. Die experimentellen Arbeiten ließen letztlich jedoch nur ein eingeschränktes Potenzial erkennen.

Trotz einer relativ hohen volumenbezogenen Wärmespeicherfähigkeit von Holzleichtbeton (Rohdichte 1300 kg/m³) wird dies beim thermischen Verhalten nicht wirksam. Dennoch liegt eine gute Datenlage zu weiteren Untersuchungen von Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Bauteiltemperierung vor.

- ZAE Verbundprojekt: Entwicklung von thermisch aktiven Bauteilen in Massivholz-Leichtbeton-Verbundbauweise (07/1999 – 02/2001; Projektleitung: Roland Krippner) Förderung: Landesmittel, BayStMWVT; Partner (u.a.): ZAE-Bayern, Würzburg; IEZ Natterer, Saulburg; Bayern Zement, München

Holzleichtbeton lässt sich in ein- sowie mehrschaligen und/oder mehrschichtigen Konstruktionen mit konventionellen, hinterlüfteten Bekleidungen als Witterungsschutz bzw. als raumseitiger Abschluss verwenden. Das Kompositmaterial hat, trotz sehr offener Struktur, eine hohe Witterungsbeständigkeit. Das organische, feinkörnige Zuschlagsmaterial ermöglicht ästhetisch reizvolle Oberflächen, die mit weiteren Zusätzen noch akzentuiert

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Stand der Wissenschaft
und Technik

⁸ Fakultät für Architektur, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog

werden können. Holzleichtbeton eignet sich im besonderen Maße für sichtbare Anwendungen.

- Holzleichtbeton als Material für Außenwände (09/2000 – 02/2001; Projektleitung: Roland Krippner)
Förderung: Holzabsatzfond, Bonn Partner: ZAE-Bayern, Würzburg; IEZ Natterer, Wiesenfelden

Die Kombination von Holzleichtbeton mit PCM zeigt funktionale und baukonstruktive Vorteile auf, die leichtere und dünnere Wandelemente bei gleichzeitig thermodynamisch besseren Stoffeigenschaften ermöglichen. Die erreichten Rohdichten der Mischungen liegen etwa zwischen 1000 und 1450 kg/m³. Untersuchungen zur Druckfestigkeit lassen höhere Festigkeitswerte wie bei 'normalem' Holzleichtbeton erkennen. Erste Versuche zur Feuerwiderstandsdauer in einem Kleinbrandofen und ein Brandschachttest ergaben ausreichende Brandschutzeigenschaften. Anhand von Frost-Tau-Wechsel-Prüfungen zeigt sich die sehr gute Dauerhaftigkeit und hohe Witterungsbeständigkeit von Holzleichtbeton. Ebenfalls ermittelte bauphysikalische Kenngrößen zu Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherkapazität und zum Feuchteausgleichsverhalten zeigen, dass sich das Material sowohl für Anwendungen im Außenbereich als auch im Innenraum eignet. Die Ergebnisse zeigen, dass Verbundwerkstoffe aus Holz und anorganischen Bindemitteln eine Reihe interessanter Optionen vor allem im Bereich des Ressourcen schonenden Bauens aufweisen und aufgrund der positiven Materialeigenschaften für den Einsatz im Mehrgeschossbau sowie im Fertigteilebau geeignet sind.

- ZAE Verbundprojekt: Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton mit Latentwärmespeichermaterialien im

Bereich von Gebäudefassaden (07/2001 – 02/2002; Projektleitung: Roland Krippner)
Förderung: Landesmittel, BayStMWVT; Partner (u.a.): ZAE-Bayern, Würzburg; Fa. RUBITHERM GmbH, Hamburg

- ZAE Verbundprojekt: Untersuchungen zur Optimierung des Verbunds von Holzleichtbeton mit Latentwärmespeichermaterialien (03/2002 – 02/2003; Projektleitung: Roland Krippner)
Förderung: Landesmittel, BayStMWVT; Partner: ZAE-Bayern, Würzburg; Fa. Odenwald - Faserplattenwerk/ Amorbach

Diese Arbeiten bildeten – und sind in der Arbeit weit reichend dokumentiert – auch die Basis für die Dissertation:

- Roland Krippner: Zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich von Gebäudefassaden. Dissertation. München: TU München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Mai 2004

Im Rahmen des Verbundvorhabens "Holzbau der Zukunft"⁹ erfolgte eine Vertiefung und Erweiterung der begonnenen Forschungsarbeiten an der Technischen Universität München¹⁰ in dem Teilprojekt 17:

Schwerpunkt der Arbeiten waren materialspezifische Untersuchungen zu Schallabsorption und Brandschutz sowie die Durchführung erster Demonstrationsprojekte zur Verwendung von Holzleichtbeton als Bauteil für Decklagen und zum Einsatz im Bereich der Gebäudefassade. (Vgl. 1+2)

⁹ Gilt als der größte deutsche Holzbau-Forschungsverbund. Gefördert vom Bayerischen Forschungsministerium kooperieren die Technische Universität München, Hochschule Rosenheim und das Institut für Fenstertechnik, Rosenheim bei 20 Teilprojekten (08/2005 – 07/2007)

¹⁰ Lehrstuhl für Baukonstruktion und Baustoffkunde, Prof. Florian Musso

Hinsichtlich der Schallabsorption zeigen erste Ergebnisse, dass Bauteile aus Holzleichtbeton gute akustische Eigenschaften aufweisen. Im Bereich des Brandschutzes erreichen Mischungen mit einem Holzmasseanteil bis ca. 20 % die Baustoffklasse A2. Insbesondere für Innenräume ergeben sich dadurch auch Einsatzmöglichkeiten für den baulichen Brandschutz. Bei der Nutzung von Tageslicht wirken Holzleichtbetonoberflächen als guter Lichtmodulator und erreichen ein homogenes Farbspektrum, das das Lichtmilieu im Raum positiv beeinflusst. Im Bereich von Gebäudefassaden weist der Holzleichtbeton eine Wärmeleitfähigkeit auf, die im Bereich von Porenbeton liegt.

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen zeigen Bauteile für Decklagen von Unterdecken und als Wandbekleidung von Vorsatzschalen, dass bzgl. Kantenfestigkeit, Stabilität und Oberflächenstruktur der Holzleichtbeton für den Innenraum gut geeignet ist. (Abb. 9+10) Für den Bereich der Gebäudehülle liegen erste Einschätzungen zu tragenden Außenwandelementen aus Holzleichtbeton im Verbund mit Massivholz und Normalbeton vor. Darüber hinaus erfolgten Testreihen hinsichtlich der Eignung als Material für Elementwände und Fassadenplatten für hinterlüftete Konstruktionen.

- Holzleichtbeton im Hochbau (10/2005 – 09/2007; Bearbeiter: Dagmar Niebler (Projektleitung), Roland Krippner)
Förderung: Landesmittel, BayStMUKWK, innerhalb der High-Tech-Offensive Bayern, Regionalprojekte Oberbayern; Partner: u.a. BetonBauteileBayern, München

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Stand der Wissenschaft
und Technik

3 Untersuchungen von Holzleichtbetonen

3.1 Versuchsspezifische Ausgangsstoffe

Nachfolgende Untersuchungen erfolgten im Hinblick der Optimierung einer möglichst ursprünglichen Holzleichtbetonrezeptur. Auf Vorbehandlung der verwendeten Holzspäne oder Zugabe von chemischen Zusätzen wurde bewusst verzichtet, um die beeinflussenden Parameter zu begrenzen.

3.1.1 Wasser

Als Zugabewasser wurde Nürnberger Leitungswasser in Trinkwasserqualität verwendet. (Genauere Analysewerte unter http://www.n-ergie.de/N-ERGIE/dokumente/zentral_2010-05.pdf). Der Wasseranteil des Holzleichtbetons betrug etwa 42 Masse-Prozent (M.-%) bzw. 62 Volumen-Prozent (Vol.-%). Um den Einfluss der Temperatur des Zugabewassers konstant zu halten, wurde für sämtliche Betonvorgänge Wasser verwendet, das mindestens 7 Tage vor Verwendung bei gleich bleibender Raumtemperatur in Wassertanks (Volumen 60 Liter) gelagert wurde. Dadurch wies das Wasser zum Verwendungszeitpunkt, unabhängig von jahreszeitlichen Temperaturschwankungen, eine weitgehend konstante Temperatur auf. Die Dichte des Wassers wurde mit 1000 kg/m^3 angenommen.

3.1.2 Zement

Auswahl einer geeigneten Zementart

Während der Vorbereitungsphase standen insgesamt vier Portlandzemente (CEM I) bzw. ein Portlandhüttenzement (CEM II/B-S) unterschiedlicher Hersteller zur Auswahl. Portlandzemente mit einem geringen Alkaligehalt gelten für die Holzleichtbetonherstellung

Zement	Zementbezeichnung
Z 1	Portlandzement CEM I 52,5 R (sp)
Z 2	Portlandzement CEM I 52,5 R (fc)
Z 3	Portlandzement CEM I 52,5 R (sz)
Z 4	Portlandzement CEM I 52,5 N
Z 5	Portlandhüttenzement CEM II /B-S 52,5 R

Tab. 1: Verwendete Zemente

als besonders gut geeignet¹. Alle 5 Zemente entsprachen der Festigkeitsklasse 52,5. Es handelte sich um 4 Zemente mit hoher Anfangsfestigkeit (R-Zemente) und 1 Zement mit üblicher Anfangsfestigkeit (N-Zement) (Tab. 1).

Die Zemente wurden in Vorversuchen auf ihre Verwendbarkeit in Verbindung mit Holzspänen untersucht. Vor dem Hintergrund plattenförmige Bauteile aus Holzleichtbeton zu erstellen, wurden die 5 Zemente in Mischungen mit jeweils gleicher Rezeptur verwendet. Holzleichtbetone sind durch hohe Bindemittelgehalte gekennzeichnet. Der Zementanteil der Holzleichtbeton-Mischungen betrug ca. 46 M.-% bzw. 22 Vol.-%. Die Werte der Zementdichte bewegten sich zwischen 3050 kg/m^3 und 3100 kg/m^3 .

Z 1 und Z 2 zeigten nach Entformen an der Oberfläche sowie auch im Bruchbild (Abb. 4) eine typisch graue Betonfarbe. Unmittelbar nach Entformen fiel Z 2 durch eine im Vergleich zu Z 1 dunklere Grautönung auf, welcher sich im Laufe des Trocknens an der Luft anglich. Z 3 und Z 5 zeigten sowohl

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Untersuchungen von Holzleichtbetonen

¹ Schubert et al. (1990), S. 423

an Oberfläche als auch im Kern temporäre Blaufärbungen², welche im Laufe der Zeit bei Luftkontakt vollständig zurückgingen. Bei Z 4 handelte es sich um einen Weißzement, welcher, abgesehen von seiner sehr intensiven Weißfärbung, in seinen Eigenschaften Normalzementen entsprach.

Qualitätssicherung

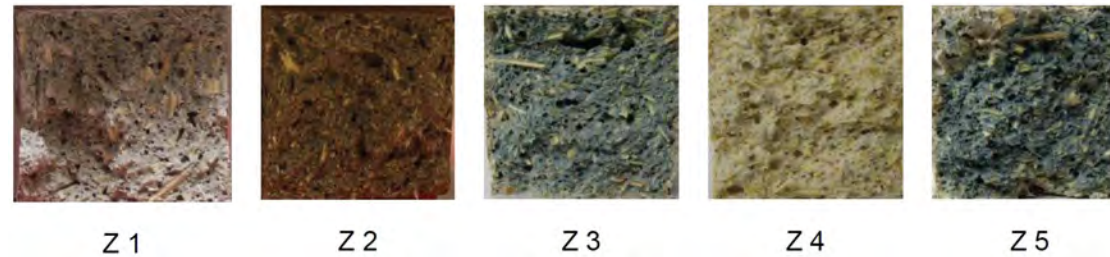
Als wichtigste Eigenschaften des Zements gelten Wasseranspruch, Erstarren und Festigkeitsentwicklung. Diese Faktoren sind in entscheidendem Maße abhängig von Mahlfeinheit und Korngrößenverteilung der Hauptbestandteile eines Zementes³. Vor Verwendung wurde deshalb jeder Zement entsprechend DIN EN 196 Prüfverfahren für Zement hinsichtlich spezifischer Oberfläche (Mahlfeinheit), Erstarrungsbeginn bei festgelegter Konsistenz (Normsteife) und Normfestigkeit untersucht, um eine vergleichbare Basis für Folgeuntersuchungen zu schaffen. Die Mahlfeinheit kann gemäß DIN EN 196-6:2010 durch das Luftdurchlässigkeitsverfahren nach Blaine angegeben werden (Abb. 5, links). Z 4 gilt an Hand der Messwerte > 4000 cm²/g als fein⁴, die Zemente Z 1 bis Z 3 und Z 5 entsprechen sehr feinen Zementen mit Mahlfeinheiten 5000 cm²/g (Tab. 2).

Das Verfahren zur Prüfung der Normsteife wurde nach den Vorgaben aus DIN EN 196-3:2009 durchgeführt. Als Maß für die Normsteife gilt die Eindringtiefe eines Tauchstabes in ein Bett aus Zementleim

² Auf Grund einseitig luftdichter Lagerung in nicht-saugender Schalung und geringer Sulfidgehalte im Zement (nach Freimann (2008): Sichtbetonbauwerke – Besonderheiten für Planung und Ausführung nach aktuellem Regelwerk)

³ VDZ (2008), S. 137

⁴ VDZ (2008), S. 137



Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Untersuchungen von Holzleichtbetonen

Abb. 4: Bruchflächen unterschiedlicher Zemente (Z 1 bis Z 5)

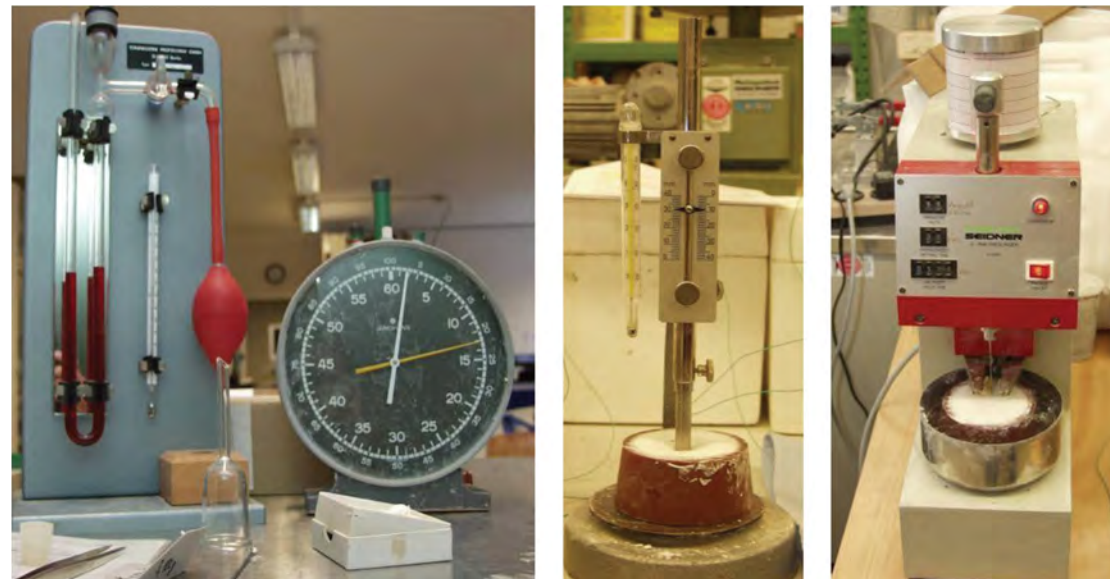


Abb. 5: Bestimmung von Mahlfeinheit (links), Normsteife (mittig) und Erstarrungsbeginn (rechts)

(Abb. 5, mittig). Normsteife wird erreicht, wenn sich innerhalb eines Zeitintervalls von maximal 30 Sekunden zwischen Tauchstab und Grundplatte ein Abstand von 6 ± 2 mm einstellt.⁵ Wird dieser Wert nicht erreicht,

muss der Wasseranteil in 1 g-Schritten erhöht bzw. verringert werden, um die für die Normsteife nötige Konsistenz zu erzielen.

Es stellte sich heraus, dass die Normsteife nicht bei allen Zementen sicher herstellbar war. Bei gleichen Wassergehalten und

⁵ DIN EN 196-3 (2009), S. 8

gleicher Bearbeitungszeit war bei sehr feinen Zementen die Normsteife vereinzelt in Folge-durchgängen nicht sicher reproduzierbar (z. B. Z 1 und Z 2).

Die R-Zemente Z 1, Z 2, Z 3 und Z 5 erforderten die größten Wassergehalte (40,8 %, 39,2 %, 34,0 % und 34,0 %), um Normsteife zu erreichen (Tab. 3). Der N-Zement Z 4 benötigte den geringsten Wassergehalt (31 %). Die Erstarrungszeiten wurden gemäß DIN EN 196-3 mit einem automatischen Vicat-Gerät bestimmt (Abb. 5, rechts). Erstarrungsbeginn und -ende ab Nullzeit, d. h. dem Zeitpunkt nach vollständiger Wasserzugabe, werden mittels der Eindringtiefe einer Stahl-nadel bestimmt.⁶

Der schnellste Erstarrungsbeginn wurde bei Z 1 (120 Minuten) gemessen, gefolgt von Z 4 (140 Minuten), Z 2 (180 Minuten), Z 5 (240 Minuten) und Z 3 (250 Minuten). Die kürzeste Dauer zwischen Erstarrungsbeginn und -ende erreichten die R-Zemente Z 1 und Z 2 mit jeweils 90 Minuten. Es folgten Z 4 (100 Minuten) sowie Z 3 und Z 5 (150 und 160 Minuten) (Tab. 4).

Die Festigkeit der einzelnen Zemente wurde nach DIN EN 196-1:2005 ermittelt. Dazu wurden prismenförmige Prüfkörper (Mörtelmischung) entsprechend der Normvorgaben hergestellt⁷ und deren Festigkeiten nach 3 Tagen ermittelt (Mittelwerte, n = 6). Die Mindestwerte der Festigkeitsklassen (Anfangsfestigkeit nach 2 Tagen und Normfestigkeit nach 28 Tagen) sind DIN EN 197-1 entnommen. Die ermittelten Druckfestigkeiten nach 3 Tagen erreichten bereits annähernd die geforderten Werte der Normfestigkeit nach 28 Tagen (Tab. 5). Z 1 wies den mit Abstand höchsten Wert von 52,1 N/mm² auf. Eine ebenfalls

Zement	Spezifische Oberfläche [cm ² /g]	Mahlfeinheit
Z 1	9000	sehr fein
Z 2	7900	sehr fein
Z 3	7000	sehr fein
Z 4	4300	fein
Z 5	7700	sehr fein

Tab. 2: Mahlfeinheiten gemäß DIN EN 196-6

Zement	Menge Zement [g]	Menge Wasser [g]	w/z-Wert	Wassergehalt [%]
Z 1	500	204	0,41	40,8
Z 2	500	196	0,39	39,2
Z 3	500	170	0,34	34,0
Z 4	500	155	0,31	31,0
Z 5	500	170	0,34	34,0

Tab. 3: Wasserzusatz zur Normsteife nach DIN EN 196-3

Zement	Erstarrungsbeginn [min]	Erstarrungsende [min]	Dauer [min]
Z 1	120	210	90
Z 2	180	270	90
Z 3	250	400	150
Z 4	140	240	100
Z 5	240	400	160

Tab. 4: Erstarrungszeiten nach DIN EN 196-3

⁶ DIN EN 196-3 (2009), S. 10 f

⁷ DIN EN 196-1 (2005)

hohe Druckfestigkeit von 47,5 N/mm² wurde bei Z 2 gemessen. Die Festigkeiten von Z 3, Z 4 und Z 5 lagen bei 42,4 N/mm², 43,6 N/mm² und 43,8 N/mm². Z 4 trat als N-Zement mit vergleichbar hoher 3 Tage-Festigkeit gegenüber den R-Zementen hervor. Die weitere stichprobenartige Überprüfung der Festigkeitsklasse des Zementes Z 1 aus unterschiedlichen Lieferungen bestätigte das hohe Festigkeitsniveau in den Wiederholungsprüfungen mit Mittelwerten zwischen 52,2 N/mm² bis 52,6 N/mm² nach 3 Tagen.

Für die weiteren Untersuchungen galt es einen Zement auszuwählen. Der Kompromiss aus hoher Oberflächenqualität sowie physikalisch-chemischer Funktion (Verarbeitbarkeit, Rohdichte, Abbindeverhalten) wurde mit Z 1 erzielt. Dieser Zement wurde für alle im Folgenden dargestellten Versuche verwendet.

3.1.3 Holz

Auswahl einer geeigneten Holzart

Auf Grund der theoretischen Erkenntnisse wurde für die Untersuchungen Fichtenholz verwendet. Das Holz wurde von einem größeren regionalen Sägewerk bezogen. Die Rohdichte von Fichtenholz (Restfeuchte von 12 % bis 15 %) beträgt 430 kg/m³ bis 470 kg/m³. Schwindverformungen von 2 % bis 4 % bei Lufttrocknung sind möglich.⁸ Der Anteil der Holzspäne in der Beton-zusammensetzung lag bei 12 M.-% bzw. 16 Vol.-%.

Qualitätssicherung

Um speziell bei kleinformatigen Laborprüfkörpern partielle Querschnittsschwächungen zu vermeiden, wurde lediglich der Siebrückstand des 4 mm-Prüfsiebes (Maschenweite 4 mm x

⁸ GD-Holz (2010): Merkblattreihe Holzarten – Fichte, <http://www.holzhandel.de/fichte.html>

Zement	Druckfestigkeit [N/mm ²]		
	Geforderte Anfangsfestigkeit nach 2 Tagen	Ermittelte Festigkeit nach 3 Tagen	Geforderte Normfestigkeit nach 28 Tagen
Z 1	≥ 30,0	52,1	≥ 52,5
Z 2	≥ 30,0	47,5	≥ 52,5
Z 3	≥ 30,0	42,4	≥ 52,5
Z 4	≥ 20,0	43,6	≥ 52,5
Z 5	≥ 30,0	43,8	≥ 52,5

Tab. 5: Ermittelte 3 Tage-Druckfestigkeit (Mörtelprismen)

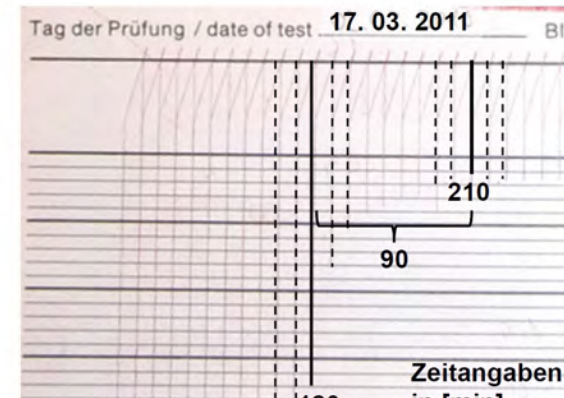


Abb. 6: Messprotokoll (Vicat-Gerät) zur Ermittlung der Erstarrungszeiten [min] (hier für Z 1)

4 mm, Siebdauer 60 Sekunden) verwendet. Der Feuchtigkeitsgehalt von Holzspänen konnte mit bekannten Verfahren⁹ nicht hinreichend genau bestimmt werden. Die Bestimmung der Feuchtigkeit über Ofentrocknung führte zu genauen, aber um die Dauer des Trocknungsprozesses versetzten, Ergeb-

⁹ z. B. Feuchtemessgerät, CM-Methode

nissen. Deshalb wurde generell mit darrtrockenen Spänen aus vorweg durchgeführter Ofentrocknung (105 °C; 48 h) gearbeitet. Auf diese Weise konnte der für den w/z-Wert benötigte Wassergehalt genau eingehalten werden.

Die Abstufung der Sieblinie über die Spanfraktionen zeigte sich in mehreren Sieb-

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Untersuchungen von Holzleichtbetonen

ferung wurden Siebungen mit getrockneten Spänen durchgeführt (Abb. 7, 8).

3.1.4 Erhärteter Holzleichtbeton

Aus den vorgestellten Ausgangsstoffen wurde Holzleichtbeton mit Wasser-Zement-Werten von $w/z = 0,88$ bzw. $0,95$ erstellt, d. h. 100 g Zement wurden 88 g bzw. 95 g Wasser zugegeben. Zum Vergleich liegen herkömmliche Betone hinsichtlich ihres w/z -Wertes im Bereich von $0,45$ bis $0,75$.¹⁰ Die höheren w/z -Werte des Holzleichtbetons ergeben sich aus dem höheren Wasserbedarf durch die Zugabe von Holzspänen. 100 g Zement wurden 24 g Holzspäne zugegeben, wodurch ein Holz-Zement-Verhältnis von $h/z = 0,24$ erreicht wurde.

Bedingt durch verschiedene Rohdichten unterscheiden sich die einzelnen Anteile bei der Betrachtung der Anteile in Masse-Prozent (M.-%) und Volumen-Prozent (Vol.-%) (Abb.9). Bezogen auf ein Volumen von 1 m^3 werden unter Berücksichtigung des Luftporenanteils (Porosität) zur Holzleichtbetonherstellung etwa 410 kg Wasser, 449 kg Zement und 108 kg Holzspäne benötigt.



Abb. 7: Spanfraktionen [mm] nach Siebung

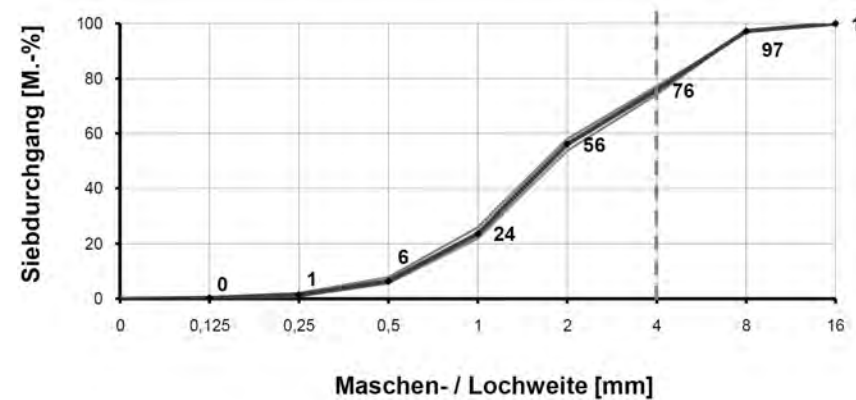


Abb. 8: Mittlere Sieblinie der getrockneten Späne

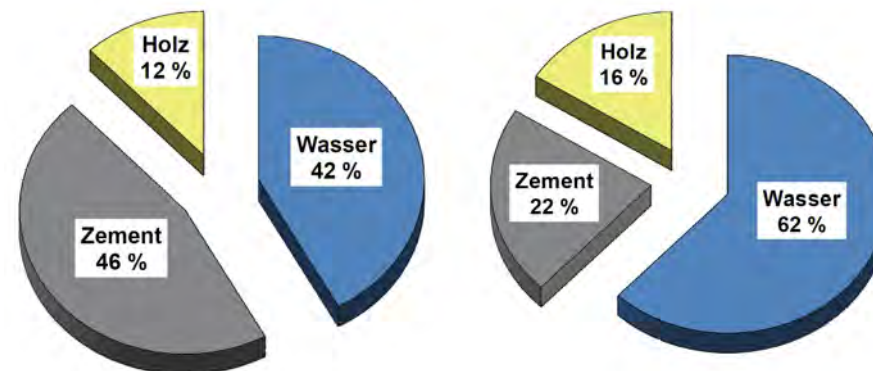


Abb. 9: Anteile der Ausgangsstoffe Wasser, Zement und Holz: Masse-% (links) und Volumen-% (rechts)

¹⁰ DIN 1045 (2008), S. 47

3.2 Herstellung der Mischungen und Durchführung der Versuche

3.2.1 Mischvorgang

Mischungen für kleine Betonmengen (z. B. für Prismenformen) wurden im Labormischer hergestellt, größere Mengen mit einem Handrührwerk. Durch Vorversuche wurde nachfolgender Mischvorgang (Abb. 10) entwickelt, welcher unabhängig vom Mischertyp angewandt wurde.

Analog zu Teilprojekt 16 an der TU München¹¹ erwies sich als vorteilhaft vor der Wasserzugabe zunächst Holzspäne und Zement für 60 Sekunden trocken zu mischen, um eine gute Durchmischung zu erreichen. Dies führte später zu weicheren Konsistenzen bei gleichem w/z-Wert. Der Zeitpunkt nach Wasserzugabe und Mischung bei langsamer Geschwindigkeit innerhalb von 20 Sekunden wird als Nullpunkt bezeichnet. Es folgten die Aufmischung bei schneller Geschwindigkeit für 60 Sekunden, eine Pause zum Abschaben von Mischgut an den Rändern des Mischgefäßes für 20 Sekunden sowie das abschließende Mischen für 60 Sekunden. Die Gesamtdauer des Mischvorganges betrug 220 Sekunden. Das Holz-Zement-Gemisch zeigte sich bei geeignetem w/z-Wert ($w/z = 0,88$ bis $0,95$) als sehr gut mischbar und neigte nicht zu Entmischungen. Die Späne wurden augenscheinlich gut vereinzelt und es traten keine Spankonglomerate auf, wie sich auch später an den Bruchflächen bestätigte (Abb. 12 auf Seite 17).

Vorgang	Dauer [s]	Zeitliche Abfolge
1. Mischung Holz, Zement (v_{langsam})	60	[Gitterdiagramm: 60 Sekunden lang blauer Balken]
2. Zugabe Wasser (v_{langsam})	20	[Gitterdiagramm: 20 Sekunden lang blauer Balken]
3. Mischung Holz, Zement, Wasser (v_{schnell})	60	[Gitterdiagramm: 60 Sekunden lang blauer Balken, beginnt nach 20s]
4. Pause (Abschaben der Ränder)	20	[Gitterdiagramm: 20 Sekunden lang weißer Balken]
5. Mischung Holz, Zement, Wasser (v_{schnell})	60	[Gitterdiagramm: 60 Sekunden lang blauer Balken]
Gesamt	220	

Abb. 10: Ablauf des Mischvorganges

3.2.2 Konsistenzermittlung

Die Konsistenz des Frischbetons wurde unmittelbar nach dem Mischvorgang gemäß DIN EN 1015-3 Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel an Hand des Ausbreitmaßes a [cm] mit dem Haegermann-Ausbreittisch bestimmt.

Eine Kegelstumpfform wurde auf der Glasplatte des Ausbreittisches platziert. Anschließend wurde der frische Holzleichtbeton in zwei Lagen in die Form gefüllt. Jede Lage wurde mit dem Stampfer durch 10 kurze Stöße verdichtet. Überstehender Beton wurde abgezogen und die Kegelstumpfform senkrecht angehoben und entfernt. Der Ausbreittisch wurde maschinell 15-mal angehoben und fallen gelassen. Das Ausbreitmaß entsprach dem mittleren Durchmesser des ausgebreiteten Holzleichtbetons.¹²

3.2.3 Aufzeichnung der Temperaturentwicklung

Die Messung der Temperaturentwicklung fand im Kern einer zylindrischen Holzleichtbeton-Prüfkörper (Volumen: $0,2 \text{ dm}^3$) statt. Dazu

wurde nach Verdichtung des frischen Holzleichtbetons in der Prüfkörperschalung ein Messdraht eingebracht und der Prüfkörper so gelagert, dass es vor äußeren Temperatureinwirkungen geschützt ist. Die Temperaturaufzeichnung mit Hilfe des Datenloggers erfolgte digital über einen Zeitraum von mindestens 48 Stunden.

3.2.4 Verdichtung

Die Vorbereitung der Schalungsformen, das Verdichten des Betons sowie das Abziehen der Betonoberfläche wurden im Wesentlichen nach DIN EN 12390-2.

Während einer Verdichtungsdauer von 90 Sekunden wurde der Holzleichtbeton in zwei Lagen auf dem Vibrationstisch nach festgelegtem Verdichtungsablauf in die Prismenformen eingebaut.

Der Betoneinbau bei würfelförmigen Prüfkörpern erfolgte in gleicher Weise, wobei innerhalb der Verdichtungszeit von 90 Sekunden 3 bis 4 Lagen Holzleichtbeton eingebaut wurden.

Die Verdichtung und der Betoneinbau bei der Herstellung der Platten aus Holzleichtbeton wichen vom dargestellten Verdichtungsablauf

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Untersuchungen von Holzleichtbetonen

¹¹ Heinz et al. (2009), S. 22

¹² DIN 1015-3 (2007), S. 5f

ab, da der Aufwand bei Einbau und Verdichtung von Bewehrungen unterschiedlich lange Verarbeitungszeiten erforderte. Zudem wurde der Beton nicht lagenweise, sondern von einer Ecke der Schalung ausgehend, eingebaut. Die Fasern waren nach dem Verdichten gleichmäßig im Beton verteilt (Abb. 12) Abschließend wurde bei den Prismen- und Würfelprüfkörpern die Frischbetonrohichte bestimmt. Die gefüllten Prismenformen wurden mit Folie abgedeckt gelagert. In den ersten Stunden nach Betonherstellung waren Setzungen von bsp. 2 mm bis 3 mm bei zylindrischen Prüfkörpern (Höhe 300 mm) festzustellen.

3.2.5 Lagerung

Anhaltspunkte zu Lagerungstemperatur und Entformungszeitpunkt von Betonprobekörpern werden in DIN EN 12390-2 dargelegt. Die Lagerung der Prüfkörper fand an temperaturgeschützter und erschütterungsfreier Stelle statt. Sämtliche Lagerungswechsel fanden mit einer Genauigkeit von ± 1 Stunde statt.

Prismen und Würfel

Nach der Betonherstellung wurden die Prüfkörper für 2 Tage bei Raumtemperatur (ca. 20 °C) gelagert. Anschließend folgte das Entformen. Die Probekörper wurden unmittelbar nach dem Entformen in Folie verpackt und für weitere 2 Tage gelagert, bevor die Folie entfernt wurde und die Luftlagerung folgte. Die Lagerung an der Luft erstreckte sich über einen Zeitraum von 3 Tagen, sodass sich eine Gesamtlagerungsdauer von 7 Tagen vor Prüfung ergab. Sowohl nach Entformen, als auch nach Ende der Luftlagerung wurde die Festbeton- und Trockenrohichte (Luftlagerung) an Prismen und Würfeln.

Vorgang	Dauer [d]	Zeitliche Abfolge						
1. Lagerung in Schalung	2							
2. Lagerung in Folie	2							
3. Lagerung an der Luft	3							
Gesamt	7							

Abb. 11: Ablauf der Lagerung

Vorgang	Dauer [s]
1. Lage	30
2. Lage	60
Gesamt	90

Tab. 6: Ablauf Verdichtung Prismen

Plattenstreifen

Die Lagerung der Plattenstreifen verlief hinsichtlich der Lagerungszeiten in gleicher Weise wie bei Prismen oder würfelförmigen Prüfkörpern. Ein prinzipieller Unterschied war dennoch vorhanden. Da die Streifen aus einer Platte Holzleichtbeton gewonnen wurden, mussten diese nach dem Entformen in gleichmäßige Streifen (500 mm x 100 mm x 20 mm) geschnitten werden. Dies erfolgte mit Hilfe einer wassergekühlten Steinsäge im Nassverfahren, d.h. unter Wasserbeaufschlagung. Anschließend folgten Folien- und Luftlagerung wie vorab dargestellt.

Zylindrische Probekörper

Die zylindrischen Probekörper wurden ähnlich wie die Prismen und Würfel gelagert. Nach 2-tägiger Lagerung in der Schalung war die Folienlagerung allerdings auf eine Dauer von

5 Tagen angesetzt, die Luftlagerung auf 21 Tage. Somit ergab sich eine Gesamtlagerungsdauer von 28 Tagen. Zwischen Folien- und Luftlagerung nach 7 Tagen wurden die Zylinder für spätere Versuche im Nassverfahren angeschliffen um ebene und parallele Oberflächen zu erhalten.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

3.3 Unbewehrter Holzleichtbeton: Materialkenngrößen

Plattenförmige Bauteile für Wand- und Deckenelementstellen stellen einen potentiellen Anwendungsbereich für Holzleichtbetone dar. Unbewehrte Wandbauplatten aus Leichtbeton sind bereits in DIN 18162 genormt. Dabei werden analog zu Holzleichtbetonen Plattenrohrichten in einer Spannweite von 710 kg/m^3 bis 1400 kg/m^3 erfasst. Die Norm ist jedoch nicht auf Holzleichtbetone anwendbar, da Holz als Zuschlagstoff für Leichtbetone in DIN 1045-2 nicht vorgesehen ist.

Sämtlichen in diesem Kapitel dargestellten Materialkenngrößen liegt, sofern nicht anders angegeben, die gleiche Holzleichtbetonmischung zu Grunde. Als Ausgangsstoffe wurden die in Kapitel 3.1 dargestellten Materialien verwendet. Der Verhältniswerte der Ausgangsstoffe betragen, soweit nicht anders beschrieben, $w/z = 0,95$ und $h/z = 0,24$. Nachfolgend soll die Materialcharakteristik dieser Referenzmischung an Hand wichtiger Kennwerte dargestellt werden.

3.3.1 Physikalische Kenngrößen

Konsistenz

Die Konsistenz wurde an Hand des Ausbreitmaßes des frischen Holzleichtbetons sofort nach Herstellung des Holzleichtbetons bestimmt. Nach dem Mischvorgang wurden Einzelwerte mit $w/z = 0,90$ von $a = 12,1 \text{ cm}$, mit $w/z = 0,95$ von $14,3 \text{ cm}$ bzw. $14,4 \text{ cm}$ (Mittelwert $a = 14,4 \text{ cm}$) und mit $w/z = 1,00$ von $a = 15,8 \text{ cm}$ gemessen. Die Variationen des w/z -Verhältnisses von $\pm 0,05$ um den w/z -Wert der Referenzmischung ($w/z = 0,95$) zeigten somit deutliche Auswirkungen auf das Ausbreitmaß (Tab. 7).

Die Werte des Ausbreitmaßes entsprachen einer weichen Konsistenz (Abb. 18) unter den Randbedingungen einer Raumtemperatur T_R zwischen $24,0 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $24,2 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. einer Anmachwassertemperatur $T_{\text{H}_2\text{O}}$ von jeweils $22,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (relative Luftfeuchtigkeit zwischen 52% und 60%). Die Holzleichtbetonmischungen waren sehr gut verarbeitbar und verdichtbar.

Als Vergleichsgröße erreichte eine Mischung aus Normalbeton¹³ ($w/z = 0,65$) einen Mittelwert des Ausbreitmaßes von $a = 13,8 \text{ cm}$ ($T_R = 19,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{\text{H}_2\text{O}} = 20,8 \text{ }^\circ\text{C}$) bei ebenfalls sehr guter Verarbeit- und Verdichtbarkeit.

Porosität

Als wichtiger Strukturparameter für die Eigenschaften von Beton wurde die Porosität an zwei Holzleichtbetonbalken ($400 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) bestimmt. Als Verfahren wurde die Wasserfüllung des Betons bei Atmosphärendruck gewählt. Zu Beginn der Porositätsbestimmung hatten die Balken ein Alter von 3 Monaten bei Luftlagerung erreicht. Bei Balken 1 betrug die Masse $m_1 = 3157 \text{ g}$ und bei Balken 2 $m_2 = 2985 \text{ g}$. Um die jeweiligen Trockenmassen m [trocken] zu bestimmen, wurden die Balken bei einer Temperatur von $105 \text{ }^\circ\text{C}$ im Ofen gelagert. Die Dauer der Ofentrocknung ergab sich aus kontinuierlicher Messung der Massen. Zwischen dem 5. und 6. Tag konnte in mehreren Messungen bei beiden Balken kein weiterer Masseverlust mehr gemessen werden. Die Trockenmasse war erreicht. Als Trockenmasse wurden $m_{1, \text{ trocken}} = 2952 \text{ g}$ (Balken 1) und $m_{2, \text{ trocken}} = 2796 \text{ g}$ (Balken 2) gemessen. Als Trockenrohrichten $\rho_{\text{HLB, trocken}}$ errechneten

¹³ $w = 198 \text{ kg/m}^3$, $z = 304 \text{ kg/m}^3$ (CEM III A 32,5 N/LH-NA), $g = 1827 \text{ kg/m}^3$ (Sieblinie B8)



Abb. 12: Bruchfläche von Holzleichtbeton (unbewehrt) bei Ausbreitversuch



Abb. 13: Konsistenz von Holzleichtbeton (unbewehrt) bei Ausbreitversuch

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

sich, aus dem Verhältnis der Trockenmasse zum Volumen der Holzleichtbeton-Balken. Es ergaben sich zu diesem Zeitpunkt Werte von

$\rho_{\text{HLB 1, trocken}} = 794 \text{ kg/m}^3$ (Balken 1) und

$\rho_{\text{HLB 2, trocken}} = 758 \text{ kg/m}^3$ (Balken 2).

Im Anschluss folgte die Wasserlagerung nach gleichem Prinzip wie bei der Ofenlagerung bis zur Massenkonstanz. Nach 26 Tagen konnte keine weitere Massezunahme der Holzleichtbetonbalken mehr festgestellt werden. Die Massen nach Wasserlagerung betragen

$m_{1, \text{nass}} = 4207 \text{ g}$ (Balken 1) und

$m_{2, \text{nass}} = 4074 \text{ g}$ (Balken 2).

Als Porosität P_f [%] ergibt sich nach Formel 1 für $P_{f,1} = 33,8 \%$ (Balken 1) und für $P_{f,2} = 34,7 \%$ (Balken 2).

Zum Vergleich hierzu lag die Porosität nach gleichem Messverfahren bei Normalbetonen in eigenen Messungen deutlich niedriger zwischen 8 bis 10 %.

Dichte

Die Ermittlung der Rohdichten erfolgte unmittelbar nach Betonherstellung (Frischbetonroh-dichte), nach 2 Tagen (Festbetonroh-dichte) und nach weiteren 3 Tagen Luftlagerung (in diesem Fall als Trockenroh-dichte definiert). Übliche Rohdichten (ofentrocken) von Normalbetonen liegen zwischen 2000 kg/m^3 bis 2600 kg/m^3 ¹⁴, von Leichtbetonen zwischen 800 kg/m^3 bis 2000 kg/m^3 ¹⁵.

Frischbetonroh-dichte

Die Frischbetonroh-dichte wurde direkt nach Herstellung der Prüfkörper in Anlehnung an DIN EN 12350-6¹⁶ bestimmt. Dazu wurde Frischbeton in ein Gefäß mit bekanntem Volumen V [m³] und zuvor ermittelter Masse

$$P_f = \frac{(m_{\text{nass}} - m_{\text{trocken}}) \times \rho_{\text{HLB, trocken}}}{m_{\text{trocken}} \times \rho_{\text{Wasser}}} \text{ in [\%]} \text{ mit } \rho_{\text{HLB, darrtrocken}} = \frac{m_{\text{trocken}}}{V_{\text{trocken}}} \text{ in [\text{kg/m}^3]$$

Formel 1: Berechnung der Porosität (Balken)

$$\rho_{\text{HLB, frisch}} = \frac{m_1 - m_2}{V} \text{ in [\text{kg/m}^3]$$

Formel 2: Berechnung der Frischbetonroh-dichte

h/z	0,24			
w/z	0,90	0,95	1,00	
Einzelwerte a [cm]	12,1	14,3	14,4	15,8
Mittelwert a [cm]	-	14,4	-	-

Tab. 7: Messwerte des Ausbreitmaßes (Holzleichtbeton, unbewehrt)

m_1 [kg] gegeben, verdichtet und anschließend die Gesamtmasse von Gefäß und Frischbeton m_2 [kg] bestimmt. Die Frischbetonroh-dichte $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ [kg/m³] wurde anschließend gemäß Formel 2 berechnet.

Die nachfolgenden Werte stammen aus Messungen an Prismen- bzw. Würfelprüfkörpern von unterschiedlichen Betonierzeitpunkten. Die gemessenen Einzelwerte der Frischbetondichte $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ bei $w/z = 0,95$ lagen zwischen 1092 kg/m^3 und 1238 kg/m^3 . Der Mittelwert aller Einzelmessungen bei $w/z = 0,95$ entsprach $\rho_{\text{HLB, frisch}} = 1172 \text{ kg/m}^3$. Eine Verringerung des w/z -Wertes von 0,95

um 0,05 auf 0,90 führte zu einer geringfügig erhöhten mittleren Rohdichte $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ von 1204 kg/m^3 . Wurde der w/z -Wert auf 1,00 erhöht, sank die durchschnittliche Rohdichte $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ auf 1130 kg/m^3 . Die Werte der w/z -Wert-Variationen befanden sich innerhalb der Spannweite der Einzelmesswerte von $w/z = 0,95$ (Tab. 8).

Festbetonroh-dichte

Die Festbetonroh-dichte wurde direkt nach Entformen der Prismen- bzw. Würfel-Prüfkörper im Alter von 2 Tagen ermittelt. Grundlage des Verfahrens bildete DIN EN 12390-7. Das

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

14 DIN EN 206-1 (2001), S. 33

15 DIN EN 206-1 (2001), S. 22

16 DIN EN 12350-6 (2011), S. 5

Volumen V [m³] der Prüfkörper wurde mittels eines Messschiebers gemessen und die Masse m [kg] durch Wiegen bestimmt. Das Verhältnis von Masse zu Volumen ergab die Festbetonrohddichte $\rho_{\text{HLB, fest}}$ [kg/m³] (Tab. 9).

Die aus verschiedenen Betonierzeitpunkten ermittelten Einzelwerte für $w/z = 0,95$ umfassten eine Spannweite für $\rho_{\text{HLB, fest}}$ zwischen 1075 kg/m³ bis 1226 kg/m³. Der Durchschnittswert aller Einzelmessungen betrug $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1191$ kg/m³. Gegenüber dem Mittelwert der Frischbetonrohddichte von 1172 kg/m³ lag kein wesentlicher Unterschied vor (Tab. 8).

Die Reduktion von $w/z = 0,95$ auf 0,90 führte zu einem tendenziell höheren Mittelwert von $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1191$ kg/m³. Eine Erhöhung des w/z -Wertes auf 1,00 ergab einen niedrigeren Durchschnittswert von $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1138$ kg/m³. Die Werte dieser w/z -Wert-Variationen lagen innerhalb der Spannweite der Messwerte von $w/z = 0,95$.

Im Vergleich zur Festbetonrohddichte der Prismen aus Holzleichtbeton wurde für Prismen aus Normalbeton¹⁷ eine Dichte von $\rho_{\text{NB, fest}} = 2321$ kg/m³ gemessen.

Trockenrohddichte

Auf Grund des hohen Wassergehalts der Holzleichtbeton-Mischungen wurde das Materialverhalten bei Luft- bzw. Ofentrocknung untersucht. Die Messwerte stammen von Prismen- bzw. Würfelprüfkörpern aus unterschiedlichen Betonierzeitpunkten nach 3 Tagen Lufttrocknung. Die Einzelwerte der 3d-Trockenrohddichte $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ lagen zwischen 983 kg/m³ bis 1156 kg/m³. Der Durchschnittswert der Einzelmessungen entsprach

¹⁷ $w = 198$ kg/m³, $z = 304$ kg/m³ (CEM III A 32,5 N/LH-NA), $g = 1827$ kg/m³ (Sieblinie B8)

h/z	0,24									
w/z	0,90	0,95								1,00
Einzelwerte	1187	1092	1098	1108	1161	1163	1165	1176	1176	1113
$\rho_{\text{HLB, frisch}}$ [kg/m ³]	1221	1178	1178	1189	1193	1203	1206	1228	1238	1147
Mittelwerte	1204	1172								1130
$\rho_{\text{HLB, frisch}}$ [kg/m ³]										

Tab. 8: Messwerte der Frischbetonrohddichte (Prismen/Würfel, unbewehrt)

h/z	0,24									
w/z	0,90	0,95								1,00
Einzelwerte	1180	1075	1102	1103	1113	1118	1134	1165	1166	1131
$\rho_{\text{HLB, fest}}$ [kg/m ³]	1202	1175	1176	1177	1195	1197	1202	1215	1226	1144
Mittelwerte	1191	1159								1138
$\rho_{\text{HLB, fest}}$ [kg/m ³]										

Tab. 9: Messwerte der Festbetonrohddichte (Prismen/Würfel, unbewehrt)

h/z	0,24									
w/z	0,90	0,95								1,00
Einzelwerte	1101	983	983	1015	1046	1046	1052	1054	1054	1055
$\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ [kg/m ³]	1063	1073	1085	1096	1117	1126	1140	1145	1156	1085
Mittelwert	1128	1073								1070
$\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ [kg/m ³]										

Tab. 10: Messwerte der 3d-Trockenrohddichte (Prismen/Würfel, unbewehrt)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

$\rho_{\text{HLB, 3d trocken}} = 1073 \text{ kg/m}^3$. Dieser Wert liegt $\Delta\rho = 86 \text{ kg/m}^3$ bzw. 7,4 % unter dem Mittelwert der von $\rho_{\text{HLB, fest}}$ und $\Delta\rho = 99 \text{ kg/m}^3$ bzw. 8,4 % (= Gesamtreduzierung der Dichte) unter dem Mittelwert von $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ (Tab. 10). Die Verringerung von $w/z = 0,95$ auf $0,90$ ergab einen erhöhten Mittelwert $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}} = 1128 \text{ kg/m}^3$. Die Erhöhung um $0,05$ auf $w/z = 1,00$ hatte kaum Auswirkungen auf den Mittelwert mit $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}} = 1070 \text{ kg/m}^3$. Die Variationen der w/z -Werte befanden sich somit im Bereich der Messwerte von $w/z = 0,95$ (Abb.14).

Im Gegensatz zu den Holzleichtbeton-Trockenrohddichten wurde für Normalbeton¹⁸ $\rho_{\text{NB, 3d trocken}} = 2255 \text{ kg/m}^3$ an Prismenprüfkörpern gemessen.

Ausgleichsfeuchte

Nach 2-tägiger Lagerung in der Schalung und 2-tägiger Folienlagerung mit anschließender Luftlagerung von zwei Balken aus Holzleichtbeton (400 mm x 100 mm x 100 mm) ergab sich eine Ausgleichsfeuchte nach insgesamt 48 Tagen, d. h. die messbare Masseabnahme durch Verdunstung von Überschusswasser der Balken war nicht mehr signifikant.

Die Rohdichte verringerte sich nach 3 Tagen Lufttrocknung:

$\rho_{\text{HLB, fest}} = 1134 \text{ kg/m}^3$ auf
 $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}} = 1063 \text{ kg/m}^3$ (Balken 1)
 $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1084 \text{ kg/m}^3$ auf
 $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}} = 1010 \text{ kg/m}^3$ (Balken 2).
 Die gemessenen Werte lagen um
 $\Delta\rho_{\text{Balken 1}} = 71 \text{ kg/m}^3$ (6,3 %) bzw. $\Delta\rho_{\text{Balken 2}} = 74 \text{ kg/m}^3$ (6,8 %) unter $\rho_{\text{HLB, fest}}$ *

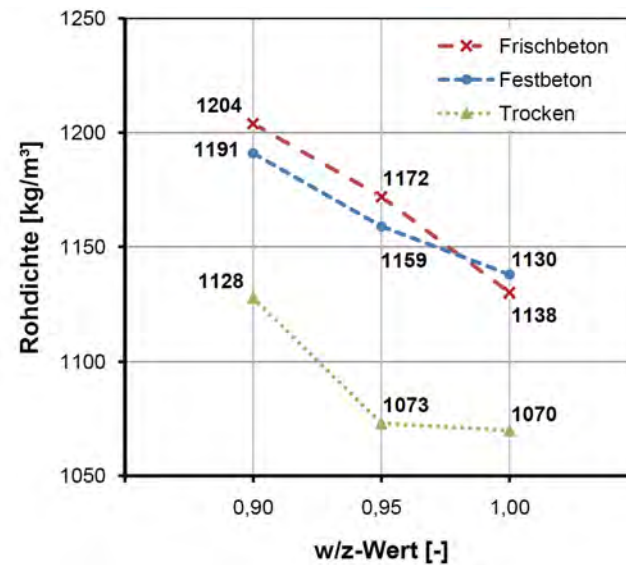


Abb. 14: Überblick der Rohdichten (Prismen/Würfel, unbeehrt) bei unterschiedlichen w/z -Werten

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

¹⁸ $w = 198 \text{ kg/m}^3$, $z = 304 \text{ kg/m}^3$ (CEM III A 32,5 N/LH-NA), $g = 1827 \text{ kg/m}^3$ (Sieblinie B8)

Während der gesamten 48 Tage Luftlagerung reduzierten sich die Rohdichten:

$$\rho_{\text{HLB, fest}} = 1134 \text{ kg/m}^3 \text{ auf}$$

$$\rho_{\text{HLB, 48d trocken}} = 943 \text{ kg/m}^3 \text{ (Balken 1)}$$

$$\rho_{\text{HLB, fest}} = 1084 \text{ kg/m}^3 \text{ auf}$$

$$\rho_{\text{HLB, 48d trocken}} = 897 \text{ kg/m}^3 \text{ (Balken 2).}$$

Die Dichteänderung durch Lufttrocknung lag bei den beiden Balken im Bereich von $\Delta\rho = 190 \text{ kg/m}^3$. Dies entspricht einer Abnahme um 17 %.

Die anschließende Ofentrocknung¹⁹ führte zu weiteren Reduzierungen:

$$\rho_{\text{HLB, 34d darrtrocken}} = 840 \text{ kg/m}^3 \text{ (Balken 1)}$$

$$\rho_{\text{HLB, 34d darrtrocken}} = 802 \text{ kg/m}^3 \text{ (Balken 2).}$$

Dadurch erfolgte eine weitere Verringerung der Dichte um etwa $\Delta\rho = 100 \text{ kg/m}^3$ pro Balken bzw. um 9 % bezogen auf $\rho_{\text{HLB, fest}}$.

Durch Luft- und Ofentrocknung reduzierte sich die Dichte der Holzleichtbeton-Balken insgesamt um durchschnittlich $\Delta\rho_{\text{HLB, gesamt}} = 288 \text{ kg/m}^3$ bzw. 26 % (Tab. 11).

3.3.2 Festigkeitskenngrößen

Festigkeitskenngrößen stellen einen bedeutenden Materialparameter dar. Um die nicht unbewehrten Referenzmischungen zu charakterisieren und die Vergleichbarkeit gegenüber bewehrten Mischungen zu ermöglichen wurden die Druck-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeiten bestimmt und der E-Modul ermittelt.

Biegezugfestigkeit

Die Biegezugfestigkeit der Bauteile wurde an Prüfprismen nach 7 Tagen (7d) sowie an Plattenstreifen nach 7 und 28 Tagen (28d) bestimmt. Die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit erfolgte an Prüfzylindern im Alter von 28 Tagen.

¹⁹ Lagerung bei 105 °C; 34 Tage

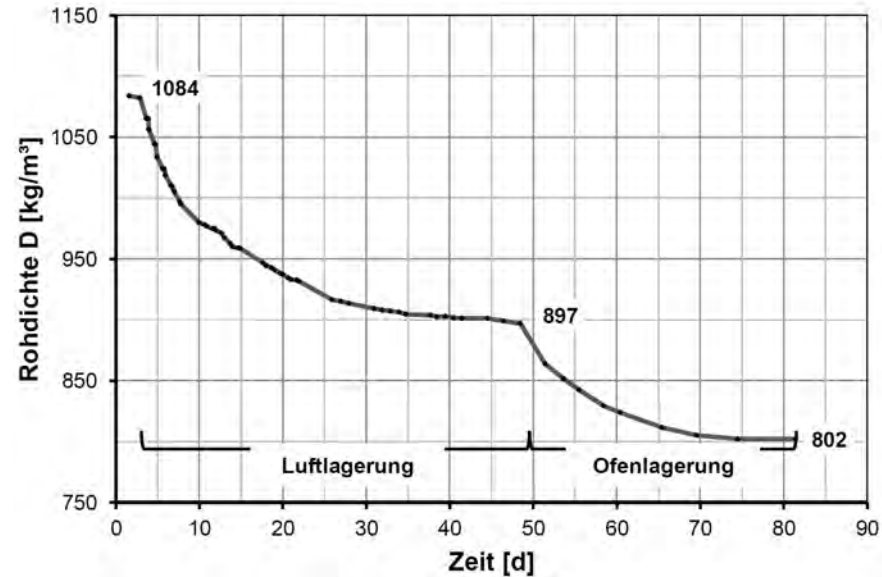


Abb. 15: Dichteänderung durch Trocknung (Balken 2, unbewehrt)

	Balken 1	Balken 2
$\rho_{\text{HLB, fest}}$ nach Entformen [kg/m³]	1134	1084
$\rho_{\text{HLB, 48d trocken}}$ nach Luftlagerung [kg/m³]	943	897
$\rho_{\text{HLB, 34d darrtrocken}}$ nach Ofentrock. [kg/m³]	840	802
$\Delta\rho_{\text{HLB, gesamt}}$ [kg/m³]	294	282
$\Delta\rho_{\text{HLB, gesamt}}$ [%]	-26	-26

Tab. 11: Messwerte der Trockenrohddichte (Balken, unbewehrt)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

Die Biegezugfestigkeiten üblicher Normalbetone liegen etwa im Bereich zwischen $f_{ct} = 3 \text{ N/mm}^2$ bis 8 N/mm^2 ²⁰. Eigene Versuche ergaben mittlere Biegezugfestigkeiten von $f_{ct} = 3,5 \text{ N/mm}^2$ bei Normalbeton²¹ bzw. $f_{ct} = 6,5 \text{ N/mm}^2$ bei Mörtel²² für Prismenprüfkörper und $f_{ct} = 2,0 \text{ N/mm}^2$ für Plattenstreifen. Vorangegangene Forschungsarbeiten mit Holzleichtbetonen vergleichbarer Zusammensetzung²³ erreichten Biegezugfestigkeiten an Prismen von $f_{ct} = 1,6 \text{ N/mm}^2$ ²⁴.

Prismen

Die Biegezugfestigkeit von Holzleichtbeton-Prismenprüfkörpern (nach gleicher Mischung zu unterschiedlichen Zeitpunkten hergestellt) wurde im Alter von 7 Tagen geprüft. Die Einzelwerte bei $w/z = 0,95$ lagen in einer Spanne zwischen $f_{ct,7d} = 2,4 \text{ N/mm}^2$ bis $3,2 \text{ N/mm}^2$. Der Mittelwert der Biegezugfestigkeiten betrug $f_{ct,7d} = 2,9 \text{ N/mm}^2$.

Die Modifikation des w/z -Wertes der Ursprungsmischung um $\pm 0,05$ von $w/z = 0,95$ auf $0,90$ führte zu erhöhten Biegezugfestigkeiten bei einem Mittelwert von $f_{ct,7d} = 3,3 \text{ N/mm}^2$. Die Steigerung auf $w/z = 1,00$ ergab geringere Biegezugfestigkeiten mit einem Durchschnittswert von $f_{ct,7d} = 2,6 \text{ N/mm}^2$.

Die tendenziell höheren Biegezugfestigkeiten von Prismen durch Verringerung des w/z -Wertes der Mischungen führte bei $w/z = 0,90$ zu einer 27 % größeren durchschnittlichen

Biegezugfestigkeit als bei $w/z = 1,00$. (Tab. 12)

Nach der Biegezugfestigkeitsprüfung zeigten die Prismenprüfkörper einen mittigen, relativ gerade verlaufenden Bruch ähnlich dem Bruchbild einer Mörtelprismenprüfung. Die Prismen wurden durch die Biegezugfestigkeitsprüfung vollständig getrennt und zeigten annähernd trockene Bruchflächen (Abb. 16).

Plattenstreifen

Die Biegezugfestigkeit von Plattenstreifen aus Holzleichtbeton wurde an Streifen gleicher Mischungszusammensetzung im Alter von 7 Tagen und 28 Tagen geprüft. Die Plattenstreifen besaßen die Abmessungen $500 \times 100 \times 20 \text{ mm}$ und wurden in den Drittelpunkten auf Biegung beansprucht. Die Einzelwerte (siehe Tabelle 13) mit $w/z = 0,95$ lagen bei $f_{ct,7d} = 1,5 \text{ N/mm}^2$ und $f_{ct,7d} = 2,1 \text{ N/mm}^2$, der Mittelwert bei $f_{ct,7d} = 1,8 \text{ N/mm}^2$. Nach 28 Tagen ergaben sich Einzelwerte von $f_{ct,28d} = 2,2 \text{ N/mm}^2$ bis $2,6 \text{ N/mm}^2$ und ein Mittelwert von $f_{ct,28d} = 2,4 \text{ N/mm}^2$. Der Mittelwert der Prüfung nach 7 Tagen lag 38 % unter der mittleren Biegezugfestigkeit der Prismenprüfkörper gleichen Alters.

Eine Änderung der w/z -Verhältnisse von $w/z = 0,95$ auf $0,90$ bzw. $1,00$ wirkte sich auf die ermittelten Biegezugfestigkeiten aus. Die Verringerung auf $w/z = 0,90$ führte zu erhöhten Festigkeiten bei einem Mittelwert von $f_{ct,7d} = 2,4 \text{ N/mm}^2$ bzw. $f_{ct,28d} = 3,0 \text{ N/mm}^2$. Die Erhöhung auf $w/z = 1,00$ ergab gleich hohe, bzw. geringfügig niedrigere Mittelwerte der Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d} = 1,8 \text{ N/mm}^2$ und $f_{ct,28d} = 2,3 \text{ N/mm}^2$.

Die Verringerung des w/z -Wertes der Mischungen führte bei $w/z = 0,90$ zu einem 33 % (7d) bzw. 30 % (28d) höheren Mittelwert f_{ct} gegenüber dem Wert bei $w/z = 1,00$.

h/z	0,24			
w/z	0,90	0,95		1,00
Einzelwerte f_{ct} [N/mm ²]	3,3	2,4	3,1	2,6
	3,3	2,5	3,1	2,6
	3,4	3,1	3,2	2,7
Mittelwerte f_{ct} [N/mm ²]	3,3	2,9		2,6

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

Tab. 12: Messwerte der 7d-Biegezugfestigkeiten (Prismen $4 \times 4 \times 16$, unbewehrt nach DIN EN 196)



Abb. 16: Prismenprüfkörper (unbewehrt) nach Biegezugfestigkeitsprüfung

20 VDZ (2008), S. 312

21 $w = 198 \text{ kg/m}^3$, $z = 304 \text{ kg/m}^3$ (CEM III A 32,5 N/LH-NA), $g = 1827 \text{ kg/m}^3$ (Sieblinie B8)

22 $w = 225 \text{ g}$, $z = 450 \text{ g}$ (Z1), $g = 1350 \text{ g}$ (Normensand) gemäß DIN EN 196-1

23 Nadelholzspäne $< 6 \text{ mm}$, Trockenrohddichte 690 kg/m^3 , $h/z = 0,26$, $w/z = 0,89$, weiche bis plastische Konsistenz

24 Krippner et al. (2009), S. 9

Die lagerungsbedingte Zunahme der Biegezugfestigkeiten zwischen $f_{ct,7d}$ und $f_{ct,28d}$ war je w/z -Variation relativ konstant und betrug im Durchschnitt 28 %. (Tab. 13, Abb. 17)

Durch die Prüfung der Biegezugfestigkeit entstand eine Bruchstelle in Streifenmitte oder im Bereich unter den Belastungsrollen. Der gerade verlaufende Bruch führte bei den Plattenstreifen zu einer vollständigen Durchtrennung. Der Probekörper zeigte bereits bei Prüfung nach 7 Tagen trockene Querschnittsflächen (Abb. 18).

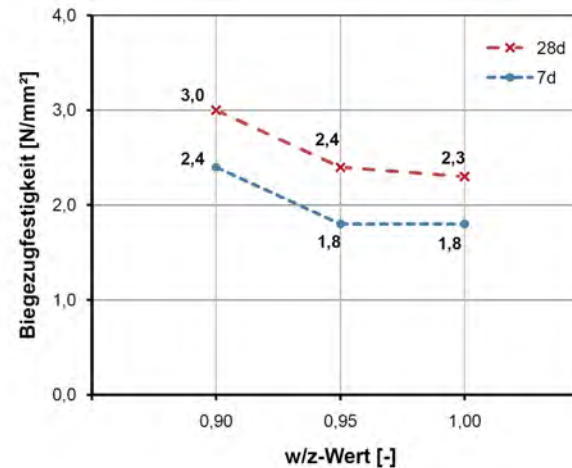
Last-Verformungskurven

Der Vergleich des Last-Verformungsverhaltens von unbewehrten Plattenstreifen aus Holzleichtbeton und Normalbeton²⁵ zeigte den wesentlichen Unterschied beider Betone, speziell im Nachbruchverhalten. Exemplarisch wird dies an Hand zweier Kurvenverläufe von Einzelmessungen an Prüfkörpern im Alter von 7 Tagen dargestellt. (Die Kurven der Einzelmessungen werden auf Grund des vergleichbaren Materialverhaltens an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt.)

Die erreichbaren Maximallasten beider Betone (HLB unbewehrt, Normalbeton unbewehrt) lag auf ähnlich hohem Niveau, wobei der Normalbeton-Prüfkörper annähernd 200 kN und der Holzleichtbeton-Prüfkörper etwa 170 kN erreichten. Bei Normalbeton betrug die mittige Durchbiegung zum Zeitpunkt der Maximallast zirka 0,4 mm, bei unbewehrtem Holzleichtbeton wurde eine annähernd 9-fache Verformung von 3,5 mm gemessen. Nach Erreichen der Bruchlast war der Normalbeton nicht mehr in der Lage weitere

²⁵ $w = 198 \text{ kg/m}^3$, $z = 304 \text{ kg/m}^3$ (CEM III A 32,5 N/LH-NA), $g = 1827 \text{ kg/m}^3$ (Sieblinie B8)

Alter [d]	7			28		
h/z	0,24			0,24		
w/z	0,90	0,95	1,00	0,90	0,95	1,00
Einzelwerte f_{ct} [N/mm ²]	2,3	1,5	1,8	2,6	2,2	2,1
	2,5	2,1	1,8	3,0	2,5	2,4
	-	-	-	3,3	2,6	2,5
Mittelwerte f_{ct} [N/mm ²]	2,4	1,8	1,8	3,0	2,4	2,3



Tab. 13: Messwerte der 7d- und 28d-Biegezugfestigkeiten (Plattenstreifen, unbewehrt)

Abb. 17: Überblick der Biegezugfestigkeiten (Plattenstreifen, unbewehrt) in Abhängigkeit von Lagerungsdauer und w/z -Wert

Abb. 18: Plattenstreifen (unbewehrt) nach Biegezugfestigkeitsprüfung

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

Lasten aufzunehmen. Im Nachrissbereich verringerten sich die aufnehmbaren Lasten des unbewehrten Holzleichtbetons mit zunehmender Verformung deutlich, wobei das Material mit geringer Resttragfähigkeit in Höhe von 10 % der Bruchlast bedingt leistungsfähig blieb. (Abb. 19)

Die Steigungen der Messkurven bis zur Bruchlast deuten bereits Unterschiede beim E-Modul von Normalbeton gegenüber Holzleichtbeton an.

Spaltzugfestigkeit

Spaltzugfestigkeiten f_{ct} bei Normalbetonen liegen zwischen 2,0 N/mm² bis 6,0 N/mm²²⁶. Für Holzleichtbetone lagen hinsichtlich der Spaltzugfestigkeiten noch keine Werte vor und betragen dabei etwa 8 % bis 10 % der Druckfestigkeiten²⁷. Die Bestimmung der Spaltzugfestigkeit nach DIN EN 12390 von zylindrischen Prüfkörpern aus Holzleichtbeton wurde im Alter von 28 Tagen durchgeführt. Die Einzelwerte lagen zwischen $f_{ct,28d} = 1,4$ N/mm² bis 1,5 N/mm² und der Mittelwert bei $f_{ct,28d} = 1,4$ N/mm². Dieser Wert entspricht 17 % der Druckfestigkeit f_c . (Tab. 14)

Ein gerader Spalt trennte die zylindrischen Prüfkörper in gleiche Hälften wie bei Normalbetonen. Die Hälften zeigten, dass der Kernbereich des Zylinders zum Prüfzeitpunkt nach 28 Tagen noch feucht war (Abb.20).

Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit wurde an Prüfprismen und -würfeln nach 7 Tagen sowie an einem zylindrischen Prüfkörper nach 28 Tagen ermittelt. Versuche mit Prismenprüfkörpern führten zu Druckfestigkeiten zwischen $f_c = 19,1$ N/mm² und 20,3 N/mm² (Mittelwert: $f_c = 19,7$ N/mm²)

26 VDZ (2008), S. 310

27 Bonzel (1986), S. 34

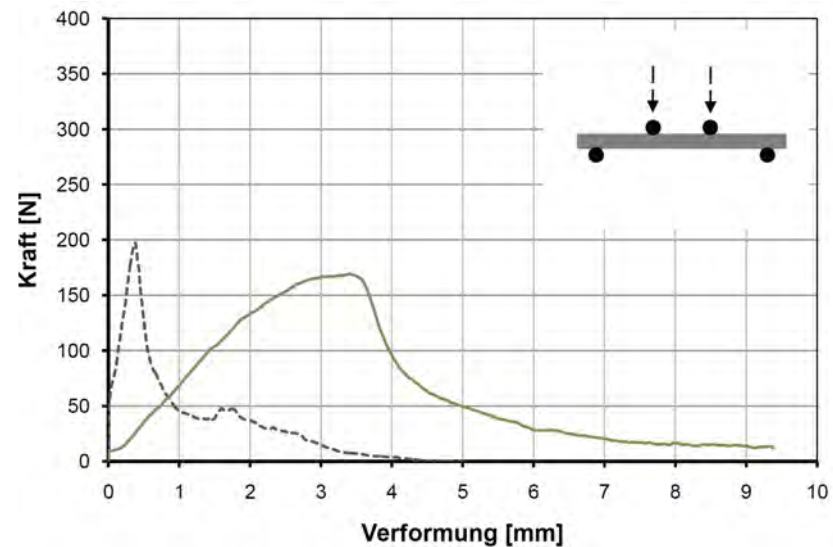


Abb. 19: Last-Verformungskurven Normalbeton (blau, gestrichelt), Holzleichtbeton (grün, durchgezogen), Prüfung von Plattenstreifen

h/z	0,24
w/z	0,95
Einzelwerte f_{ct} [N/mm²]	1,4
	1,4
	1,5
Mittelwert f_{ct} [N/mm²]	1,4

Tab. 14: Messwerte der 28d-Spaltzugfestigkeiten (Zylinder, unbewehrt)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

bei Normalbeton²⁸ bzw. $f_c = 52,4 \text{ N/mm}^2$ bei Mörtel²⁹. Die charakteristischen Mindestdruckfestigkeiten an Würfeln bewegen sich bei Normalbetonen zwischen etwa $f_{ck, cube} = 10 \text{ N/mm}^2$ bis 115 N/mm^2 bzw. bei Leichtbetonen zwischen $f_{ck, cube} = 9 \text{ N/mm}^2$ bis 88 N/mm^2 . Zylindrische Prüfkörper aus Normalbeton erreichen charakteristische Mindestdruckfestigkeiten von zirka $f_{ck, cyl} = 8 \text{ N/mm}^2$ bis 100 N/mm^2 , aus Leichtbetonen von $f_{ck, cyl} = 8 \text{ N/mm}^2$ bis 80 N/mm^2 ³⁰. Holzleichtbetone ähnlicher Mischungszusammensetzung³¹ erreichen Druckfestigkeiten von $f_c = 3,7 \text{ N/mm}^2$ ³².

Prismen

Prismenprüfkörper aus Holzleichtbeton gleicher Mischung wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten hinsichtlich ihrer Druckfestigkeit im Alter von 7 Tagen untersucht. Die Messwerte lagen bei $w/z = 0,95$ innerhalb einer Spannweite der Einzelwerte von $f_{c, 7d} = 9,7 \text{ N/mm}^2$ bis $10,5 \text{ N/mm}^2$. Der Mittelwert der gemessenen Druckfestigkeiten betrug $f_{c, 7d} = 10,2 \text{ N/mm}^2$.

Die Variation von $w/z = 0,95$ auf $0,90$ bzw. $1,00$ zeigte Auswirkungen auf die Druckfestigkeiten. Eine Verringerung auf $w/z = 0,90$ führte zu erhöhten Einzelwerten zwischen $f_{c, 7d} = 10,5 \text{ N/mm}^2$ bis $11,5 \text{ N/mm}^2$ bei einem Mittelwert von $f_{c, 7d} = 11,0 \text{ N/mm}^2$. Bei Steigerung der Wassermenge auf $w/z = 1,00$ wurden geringere Druckfestigkeiten von

$f_{c, 7d} = 8,2 \text{ N/mm}^2$ bis $8,7 \text{ N/mm}^2$ gemessen. Der Mittelwert betrug $f_{c, 7d} = 8,5 \text{ N/mm}^2$. Die Verringerung des w/z -Wertes der Mischungen äußerte sich somit in tendenziell höheren Festigkeiten. Der gemessene Mittelwert bei $w/z = 0,90$ lag 29% über dem Mittelwert von $f_{c, 7d}$ bei $w/z = 1,00$ (Tab. 15). Der Prismenprüfkörper zeigte nach der Druckfestigkeitsprüfung ein ähnliches Bruchbild wie der übliche Bruchtyp einer Mörtelprismenprüfung. Im Gegensatz zu Mörtelprismen war der Verbund des getesteten Prismenprüfkörpers aus unbewehrtem Holzleichtbeton groß genug, um der vollständigen Ausprägung eines Bruchbildes bzw. einem Auseinanderbrechen des Prüfkörpers zu widerstehen (Abb. 22).

Würfel

Würfelprüfkörper der gleichen Holzleichtbeton-Mischung wurden auf ihre Druckfestigkeit nach 7 Tagen geprüft. Die gemessenen Einzelwerte bei $w/z = 0,95$ lagen zwischen $f_{c, 7d} = 7,8 \text{ N/mm}^2$ bis $8,2 \text{ N/mm}^2$ und damit 16% bis 22% unter den gemessenen Druckfestigkeiten der Prismen. Der Durchschnittswert der Würfel-Druckfestigkeiten lag etwa 20% unter dem mittleren Druckfestigkeitswert der Prismen und entsprach $f_{c, 7d} = 8,1 \text{ N/mm}^2$.

Variationen der w/z -Werte von $0,90$ und $1,00$ wurden in Form zweier Einzelversuche hergestellt. Der niedrigere Wert $w/z = 0,90$ führte zu einer höheren Druckfestigkeit von $f_{c, 7d} = 8,6 \text{ N/mm}^2$, das höhere Verhältnis $w/z = 1,00$ zu einer geringeren Festigkeit von $f_{c, 7d} = 6,7 \text{ N/mm}^2$ (Abb. 21).

Die Reduktion des w/z -Wertes zeigte, unter Berücksichtigung des geringen Stichprobenumfanges, eine Tendenz zu höheren Druckfestigkeiten. Der gemessene Einzelwert bei



Abb. 20: Holzleichtbeton-Zylinder (unbewehrt) nach Spaltzugfestigkeitsprüfung

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Untersuchungen von Holzleichtbetonen

h/z	0,24			
w/z	0,90	0,95	1,00	
Einzelwerte f_c [N/mm ²]	10,5	9,7	10,3	8,2
	11,0	9,8	10,3	8,4
	11,1	9,8	10,4	8,4
	11,1	10,1	10,5	8,4
	11,2	10,1	10,5	8,6
11,5	10,2	10,5	8,7	
Mittelwerte f_c [N/mm ²]	11,0	10,2	8,5	

Tab. 15: Messwerte der 7d-Druckfestigkeiten (Prismen, unbewehrt, Prüfung nach DIN EN 196)

28 $w = 198 \text{ kg/m}^3$, $z = 304 \text{ kg/m}^3$ (CEM III A 32,5 N/LH-NA), $g = 1827 \text{ kg/m}^3$ (Sieblinie B8)

29 $w = 225 \text{ g}$, $z = 450 \text{ g}$ (Z1), $g = 1350 \text{ g}$ (Normensand) gemäß DIN EN 196-1

30 DIN EN 206-1 (2001), S. 21

31 Nadelholzspäne < 6 mm, Trockenrohddichte 690 kg/m^3 , $h/z = 0,26$, $w/z = 0,89$, weiche bis plastische Konsistenz

32 Krippner et al. (2009), S. 9

$w/z = 0,90$ lag 28 % über dem Wert bei $w/z = 1,00$.

Das Bruchbild der Würfelproben nach Prüfung der Druckfestigkeit entsprach dem Bruchtyp von Normalbetonen. Dabei war festzustellen, dass der Kern des Würfels zum Zeitpunkt der Prüfung nach 7 Tagen noch feucht war (Abb. 23).

Zylinder

Die Druckfestigkeit wurde an einem zylindrischen Prüfkörper (Einzelwert) im Alter von 28 Tagen gemessen. Die Maximallast von 148 kN ergab eine Druckfestigkeit von $f_{c,28d} = 8,4$ N/mm² und entsprach dem 7d-Festigkeitsniveau der Würfelprüfkörper.

Es bildete sich ebenfalls der von Normalbetonen bekannte pyramidenförmige Bruchtyp aus. Wie bereits bei der Spaltzugfestigkeit war im Kern des Zylinders nach der Prüfung im Alter von 28 Tagen noch Feuchtigkeit festzustellen (Abb. 24).

Elastizitätsmodul

Bei Normalbetonen liegt das E-Modul im Alter von 28 Tagen im Bereich von $E_{cm} = 20000$ N/mm² bis 40000 N/mm². Der E-Modul der Matrix liegt entsprechend zwischen 5000 N/mm² bis 20000 N/mm²³³, der E-Modul der Gesteinskörnung bei 10000 N/mm² bis 100000 N/mm² bzw. bei Leichtbetonen zwischen 3000 N/mm²³⁴ und 20000 N/mm². Im Rahmen der Projektarbeiten durchgeführten Holzbetone wurden E-Modul-Werte zwischen 2210 N/mm² bis 3000 N/mm². Die Ermittlung des E-Moduls anhand zylindrischen Probekörpern ergab Werte zwischen 1600 N/mm² und 2200 N/mm²³⁵. Bei den Versuchen wurden im Vorfeld die Maximallast

33 VDZ (2008), S. 343

34 Krippner (2004), S. 34 f

35 Krippner (2004), S. 48, 107

h/z	0,24					
w/z	0,90	0,95				1,00
Einzelwerte f_c [N/mm ²]	8,6	7,8	8,1	8,1	8,2	6,7
Mittelwert f_c [N/mm ²]	-	8,1				-

Abb. 21: Messwerte der 7d-Druckfestigkeiten (Würfel, unbewehrt, Prüfung DIN EN 12390)

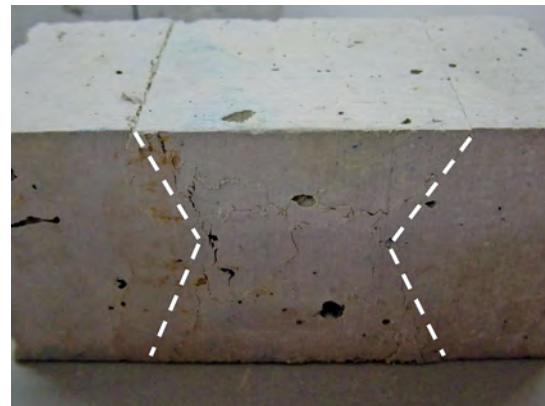


Abb. 22: Prismenprüfkörper (Hälfte, unbewehrt) nach Druckfestigkeitsprüfung

Abb. 23: Würfelprüfkörper (unbewehrt) nach Druckfestigkeitsprüfung

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

eines zylindrischen Prüfkörpers aus Holzleichtbeton ermittelt. Zur Bestimmung des E-Moduls wurden Prüfzylinder der gleichen Mischung bis ca. 30 % der Bruchlast (148 kN), d. h. 50 kN, mit konstanter Geschwindigkeit (0,5 mm/min) belastet. Die Messungen der Kraft-Verformungs-Beziehung zeigten nach kurzer Anfangsphase einen annähernd linearen Verlauf (durch die beiden Wegaufnehmer Weg 1 und Weg 2). Für die weiteren Berechnungen wurde deshalb der Mittelwert beider Wegmessungen verwendet.

Die Umrechnung von Kraft und Verformung in Spannung und Dehnung zeigte, dass auch die Spannungs-Dehnungs-Verläufe aller 3 Prüfkörper (jeweils 2 Messungen) auf Grund vergleichbarer Steigung weitgehend parallel zueinander liegen (Abb. 26).

Im linearen Bereich wurden die Werte der Spannungen zwischen $\sigma = 1,0 \text{ N/mm}^2$ bis $2,0 \text{ N/mm}^2$ für $\Delta\sigma = 1,0 \text{ N/mm}^2$ herausgegriffen. Die Schnittpunkte der gestrichelten horizontalen Linien in Abbildung 30 mit dem jeweiligen Spannungs-Dehnungs-Verlauf dienen zur Bestimmung der Werte der Dehnungsänderung $\Delta\varepsilon$. Auf diese Weise ergaben sich für die beiden Messungen an Prüfkörper 1 Einzelwerte des E-Moduls von 1750 N/mm^2 bzw. 1600 N/mm^2 , für Prüfkörper 2 1430 N/mm^2 bzw. 1480 N/mm^2 und Prüfkörper 3 1640 N/mm^2 bzw. 1660 N/mm^2 . Daraus ein Mittelwert aller Prüfkörper resultiert von $E_c = 1590 \text{ N/mm}^2$ für die Holzleichtbeton-Mischung (Tab. 16).

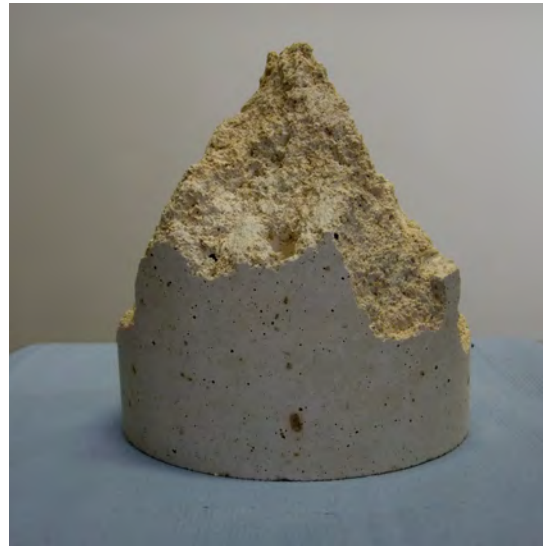


Abb. 24: Prüfzylinder (untere Hälfte, unbewehrt) nach Druckfestigkeitsprüfung

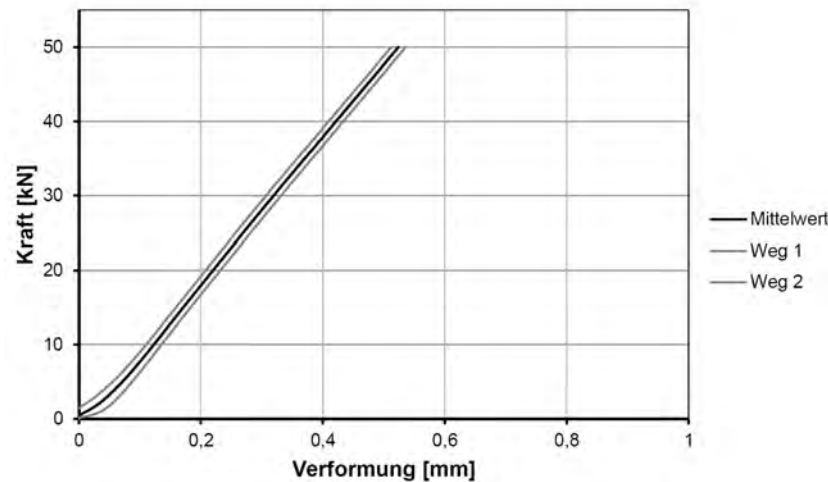


Abb. 25: Verlauf Kraft-Verformung (beispielhafte Messung)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Untersuchungen von
Holzleichtbetonen

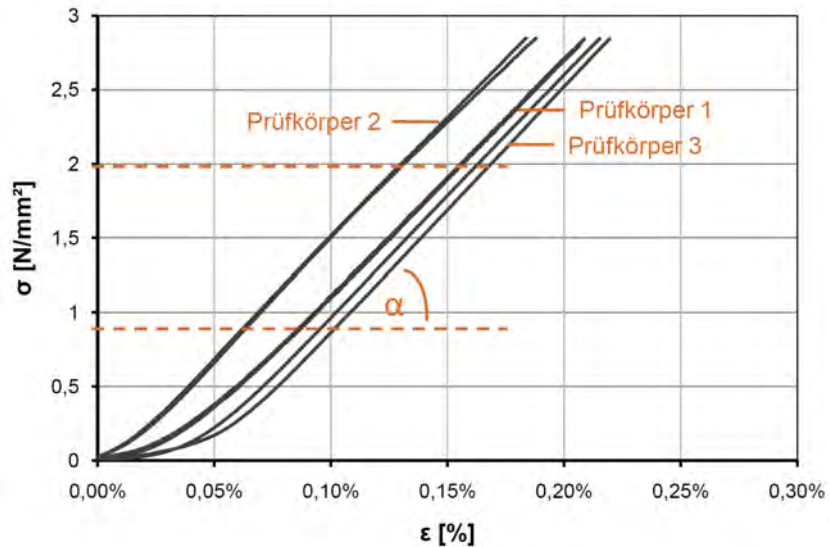


Abb. 26: Verlauf Spannung-Dehnung (gesamt)

		Prüfkörper 1	Prüfkörper 2	Prüfkörper 3
Einzelwerte [N/mm ²]	1. Messung	1750	1430	1640
	2. Messung	1600	1480	1660
Mittelwert [N/mm ²]	gesamt	1590		

Tab. 16: Messwerte des 28d-E-Moduls

3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Materialkenngrößen von unbewehrtem Holzleichtbeton mit gleicher Mischungszusammensetzung ($h/z = 0,24$; $w/z = 0,95$) an Hand von teilweise gerundeten Mittelwerten. Die Holzleichtbetonmischungen ließen sich bei einer weichen Konsistenz mit einem mittleren Ausbreitmaß von $a = 14,4$ cm gut verarbeiten und verdichten.

Dadurch konnte ein Beton mit einer vergleichsweise hohen Porosität von $P_f = 34$ % und dementsprechend geringen Dichten hergestellt werden. Der Dichteunterschied zwischen Frisch- und Festbeton war sehr gering. Die 3-tägige Luftlagerung reichte bereits aus um die Rohdichte gegenüber der Frischbetonrohichte $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ um 8,4 % auf $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}} = 1070$ kg/m^3 zu senken. Durch weitere Luftlagerung konnte eine Reduzierung auf $\rho_{\text{HLB, 48d trocken}} = 920$ kg/m^3 (Ausgleichsfeuchte) herbeigeführt werden. Bezogen auf die Festbetonrohichte entsprach dies einer Abnahme von etwa 21 % bzw. $\Delta\rho = 240$ kg/m^3 . Eine minimale Holzleichtbetondichte von $\rho_{\text{HLB, 34d darrtrocken}} = 820$ kg/m^3 konnte durch Ofentrocknung erreicht werden. Die resultierende maximal mögliche Dichtereduzierung betrug somit etwa $\Delta\rho = 350$ kg/m^3 bzw. 30 %. Dieser Wert entsprach annähernd der ermittelten Porosität. Die minimale Holzleichtbetondichte (820 kg/m^3) stimmt damit mit der Untergrenze der kleinsten Rohdichteklasse (D1,0) für Leichtbetone gemäß DIN EN 206-1³⁶ überein. Trotz geringer Dichte und hoher Porosität wurde eine geschlossene Oberfläche in Sichtbetonqualität erreicht.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung
Untersuchungen von Holzleichtbetonen

Die 7d-Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d}$ der Mischung betragen bei Prismen $2,9 \text{ N/mm}^2$ und bei schlanken Plattenstreifen $1,8 \text{ N/mm}^2$. Durch längere Lagerungszeiten (28d) war eine Steigerung der Biegezugfestigkeiten $f_{ct,28d}$ der Plattenstreifen auf $2,4 \text{ N/mm}^2$ feststellbar. Die Kraft-Verformungskurven zeigten ein hohes elastisches Verformungsvermögen von unbewehrtem Holzleichtbeton. Die Bruchlast wurde erst bei einer mittigen Verformung von etwa $3,5 \text{ mm}$ erreicht. 10% der Bruchlast konnten bei einer Durchbiegung von 10 mm noch aufgenommen werden. (Tab. 17)

Es wurde eine Spaltzugfestigkeit von $f_{ct,28d} = 1,4 \text{ N/mm}^2$ nach 28 Tagen festgestellt. Die höchsten Druckfestigkeiten nach 7 Tagen wurden an Prismen bei einem Mittelwert von $f_{c,7d} = 10,2 \text{ N/mm}^2$ gemessen. Der Durchschnittswert von Würfeln lag mit $f_{c,7d} = 8,1 \text{ N/mm}^2$ etwas niedriger. Die Einzelprüfung der Zylinderdruckfestigkeit ergab einen Wert von $f_{c,28d} = 8,4 \text{ N/mm}^2$ nach 28 Tagen. Bei den Messungen des E-Moduls wurde nach 28 Tagen ein mittlerer Wert von 1590 N/mm^2 gemessen. Es zeigte sich generell ein sehr elastisches Materialverhalten des Holzleichtbetons.

h/z		0,24	
w/z		0,95	
		Mittelwert	Zeitpunkt
Physikalische Kenngrößen	Ausbreitmaß a [cm]	14,4	unmittelbar
	Porosität P_f [%]	34	-
	Rohdichte ρ_{HLB} [kg/m ³]	1170	unmittelbar
	- Frischbeton	1160	nach 2d in Schalung
	- Festbeton	1070	nach 3d Lufttrocknung
	- Lufttrocken	920	nach 48d Lufttrocknung
	- Ausgleichsfeuchte	820	nach 34d Ofentrocknung
	- Ofentrocken		
Festigkeitskenngrößen	Biegezugfestigkeit f_{ct} [N/mm ²]	2,9	nach 7d
	- Prismen	1,8	nach 7d
	- Plattenstreifen	2,4	nach 28d
	Spaltzugfestigkeit f_{ct} [N/mm ²]	1,4	nach 28d
	Druckfestigkeit f_c [N/mm ²]	10,2	nach 7d
- Prismen	8,1	nach 7d	
- Würfel	8,4	nach 28d	
- Zylinder			
E-Modul [N/mm ²]	1590	nach 28d	

Tab. 17: Übersicht der Materialkenngrößen (Holzleichtbeton, unbewehrt)

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Untersuchungen von Holzleichtbetonen

4 Bewehrter Holzleichtbeton

Vorrangige Ziele des Bewehrungseinsatzes sind die Erhöhung der Biegezugfestigkeit und die Verbesserung der Dimensionsstabilität. Allen Materialkenngrößen der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen liegt die gleiche Referenzmischung wie bei unbewehrtem Holzleichtbetonen zu Grunde. Das w/z-Verhältnis betrug in der Regel $w/z = 0,95$ bzw. zum Teil 1,18. Der h/z-Wert lag stets bei 0,24.

4.1 Bewehrungsarten

Bereits die länglichen Holzspäne in der Ausgangsmischung des Holzleichtbetons lassen eine Bewehrungswirkung vermuten. Zusätzlich wurden aus einer Vielzahl von Fasern für den Einsatz in Betonen Textilfasern gewählt, um die Holzleichtbeton-Mischungen zu optimieren. Es wurden sowohl pflanzliche Natur-

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

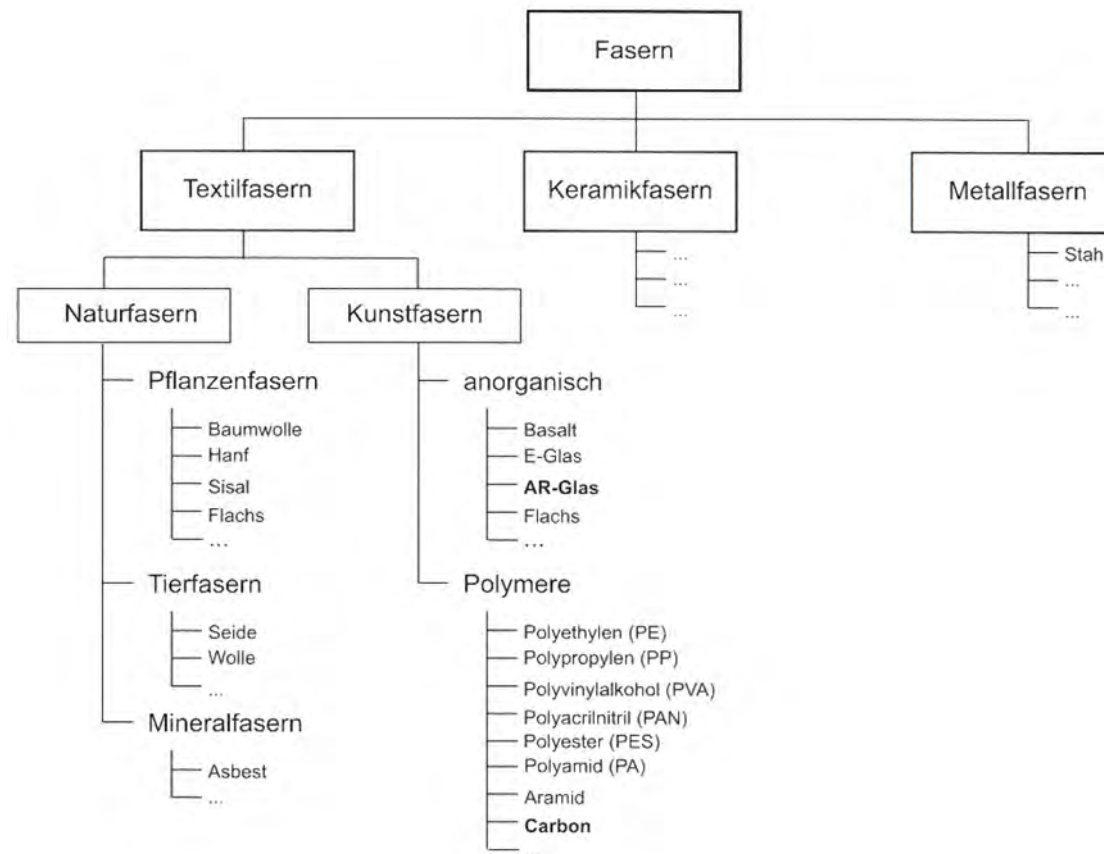


Abb. 27: Einteilung der Faserarten

fasern als auch anorganische Kunstfasern verwendet (Abb. 27).

Als Bewehrungssysteme wurden Textilbewehrungen in Form von Geweben sowie Kurzfasern verwendet. Dadurch konnten zwei- bzw. dreidimensionale Faserausrichtungen in den Bauteilen zielsicher hergestellt werden (Abb. 28).

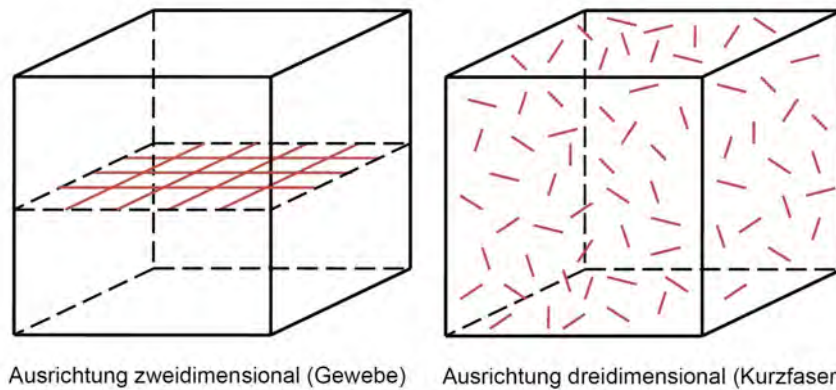
Um neben der Hinauszögerung der Mikrorissbildung auch den schlagartigen Verlust der Zugtragfähigkeit unbewehrter Bauteile zu unterbinden, wurde vor allem die Verbesserung des Nachbruchverhaltens angestrebt.

Der Einfluss der Bewehrung ist dabei abhängig vom Fasergehalt V_f [kg/m³ oder Vol.-%]. Sofern die Fasern im Stande sind die Zugbeanspruchungen, welche durch den Beton nicht mehr übertragen werden können, gerade noch aufzunehmen, liegt ein kritischer Fasergehalt V_{crit} vor. Höhere Fasergehalte führen bei zunehmender Verformung zu einer Laststeigerung ($V_f > V_{crit}$). Bei niedrigeren Gehalten sinkt die Arbeitslinie ($V_f < V_{crit}$). Spannungserhöhung bzw. -abfall werden zudem durch das Auszugverhalten der Fasern aus der Betonmatrix beeinflusst³⁷. (Abb. 29)

Naturfasern

Neben den herkömmlichen Bewehrungsmöglichkeiten für Betone gibt es eine Reihe von Naturfasern, wie sie bereits heutzutage in der Bauindustrie zur Bewehrung z. B. im Lehm- oder als Dämmstoff eingesetzt werden. Für die Untersuchungen wurden Hanf-, Jute- und Flachsfasern eingesetzt. (Abb. 30)

Die nachfolgend genannten Festigkeitskenngrößen sind der fachlichen Literatur entnom-



Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bewehrter Holzleichtbeton

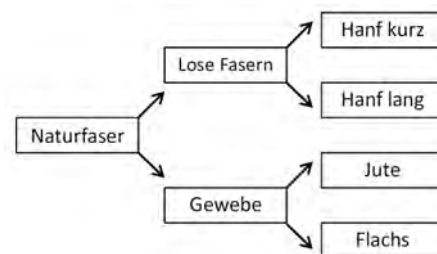
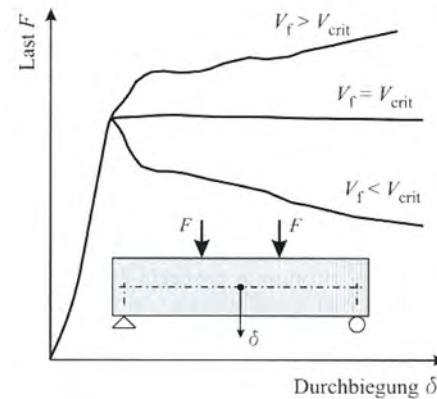


Abb. 28: Schematische Darstellung der Faserausrichtung

Abb. 29: Kritischer Fasergehalt V_{crit}

Abb. 30: Übersicht über natürliche Faserarten

37 Holschemacher et al. (2011), S. 43

men und wurden durch Festigkeitsmessung an Einzelprüfmustern gewonnen.

Lose Hanffasern

Bauprodukte Nutzhanfpflanzen sind in erster Linie Dämmstoffe oder Geotextilien. 2006 wurde zudem über erste Erfahrungen mit „Hanfbeton“ berichtet³⁸.

Die Rohdichten von Hanffasern entsprechen $1,50 \text{ g/cm}^3$ und die Bruchdehnung beträgt $7,8 \%$. Die Zugfestigkeit des Hanfes liegt bei etwa 600 N/mm^2 , der E-Modul bei 8300 N/mm^2 .³⁹

Die Kombination mit Holzleichtbeton wurde durch Zugabe von losen Hanffasern getestet. Kurzfasern mit einer Länge von $10 - 15 \text{ mm}$ (Grobfasern) (Abb. 31) oder lose vliesfähige⁴⁰ Hanffasern mit $60 - 80 \text{ mm}$ (technische Fasern) (Abb. 32) wurden frischen Holzleichtbetonmischungen zugegeben.

Da sich in Vorversuchen eine starke Tendenz zur Knäuelbildung zeigte, konnten je Hanffaservariante maximal $0,29 \text{ M.-%}$ bzw. $0,27 \text{ Vol.-%}$ als Faseranteile eingesetzt werden. Der Fasergehalt entsprach somit zirka $4,11 \text{ kg/m}^3$.

Jutegewebe

Die Leistungsfähigkeit der Fasern der Jute-pflanze wurde früh erkannt und wird bereits seit Jahrhunderten durch die Verwendung als Verpackungsmaterial (z. B. Säcke) bzw. als Befestigungsmittel (z. B. Taue, Seile) genutzt. Jute zählt heute nach Baumwolle zu den bedeutendsten Naturfasern.⁴¹



Abb. 31: Hanf-Kurzfasern, Länge $10 - 15 \text{ mm}$;
M 1:1



Abb. 32: Vliesfähige Hanffasern, Länge $60 - 80 \text{ mm}$;
M 1:1

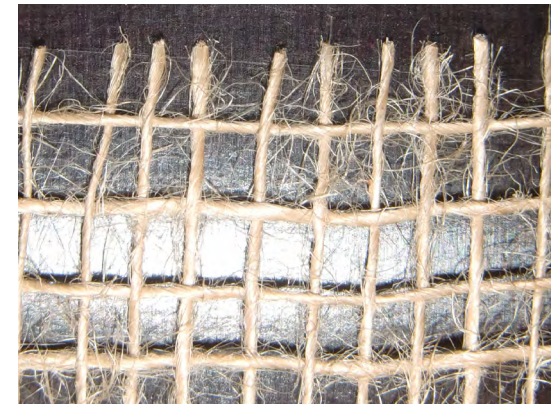


Abb. 33: Jutegewebe, Maschenweite $4,5 \text{ mm}$;
M 2:1



Abb. 34: Jutegewebe, Maschenweite $4,5 \text{ mm}$;
M 5:1

Das Flächengewicht des Jutegewebes liegt bei 125 g/m^2 , die Rohdichte der Jutefasern bei zirka $1,42 \text{ g/cm}^3$. Die Bruchdehnung beträgt $3,1 \%$ und die Zugfestigkeit etwa 540 N/mm^2 . Der E-Modul entspricht 16400 N/mm^2 .⁴²

Für die Untersuchungen wurde ein Jutegewebe mit $4,5 \text{ mm}$ Maschenweite verwendet (Abb. 33, 34). Auf Grund des Materialgewichtes ergab sich ein Bewehrungsgehalt (einlagig) von $0,27 \text{ M.-%}$ bzw. $0,27 \text{ Vol.-%}$. Der zugegebene Fasergehalt lag bei etwa $3,91 \text{ kg/m}^3$.

38 <http://www.bauinfo24.de/thema~folder~1~branche~631~letter~O~news~649.asp>

39 FNR (2008), S. 95

40 Bezeichnung für Zustand der Faser (Fasergeometrie)

41 FNR (2008), S. 130

42 FNR (2008), S. 95

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

Flachsgewebe

Flachs wird in zunehmendem Maß als Bauprodukt verwendet z. B. in Form von Flachvlies als Trittschallprodukt oder Flachsdämmplatten für die Zwischensparrendämmung.⁴³ Das Flächengewicht des Flachsgewebes beträgt 60 g/m² bei einer Faserrohddichte von 1,47 g/cm³. Die Bruchdehnung dieser Naturfaser liegt bei etwa 5,0 %, die Festigkeit zwischen 500 bis 800 N/mm² sowie der E-Modul bei etwa 13000 N/mm².⁴⁴

Flachsfasern wurden in Form eines verklebten Flachsgewebes mit 5 mm Maschenweite verwendet (Abb. 35). Durch den Einbau einer Bewehrungslage ergab sich ein Bewehrungsgehalt von 0,13 M.-% bzw. 0,13 Vol.-%, was einem Fasergehalt von 1,89 kg/m³ entsprach.

Kunstfasern

Parallel zu den Naturfasern wurde der Einfluss von künstlichen Bewehrungsarten, den Glasfasern (GF) auf die Materialkenngrößen untersucht. Glasfasern werden bereits industriell als Zusatzstoff für Beton verwendet um dessen Gefügeeigenschaften zu verbessern.⁴⁵ Glasfaserbetone werden vorrangig bei sehr dünnen Bauteilen wie beispielsweise Fassadenelementen eingesetzt. Daher sind Glasfasern für den geplanten Anwendungsbereich von Holzleichtbeton besonders gut geeignet.

Die verwendeten Glasfasern bestanden aus Faserglas, welches gemäß DIN 1259-1: als AR-Glas bezeichnet wird. Es handelt sich dabei um alkaliwiderstandsfähiges Natriumzirkonsilicatglas.⁴⁶ Zirkonoxidanteile

von 15 M.-% bis 20 M.-% verhindern die lochfraßähnliche Korrosion der Glasfasern im alkalischen Betonmilieu.⁴⁷

Die einzelnen Glasfaser-Spinnfäden (strands) bestehen aus bis zu 200 Filamenten (Abb. 36).⁴⁸ Als Kriterium für die Qualität wird das Gewicht eines Spinnfadens in Gramm pro Kilometer in der Einheit tex [g/km] angegeben.⁴⁹

Da der Einsatz von Glasfasern als Betonzusatzstoff etabliert ist, sind gegenüber den Naturfasern umfangreichere Materialkennwerte bekannt. Die Rohddichte beträgt 2,68 g/cm³, der E-Modul 72.000 N/mm². Die Bruchdehnung der Glasfasern liegt bei 2,4 % und die Wasseraufnahme der Fasern unter 0,1 %⁵⁰. Gegenüber Fasern aus anderen Werkstoffen erreichen Glasfasern relativ hohe Zugfestigkeiten von 2000 N/mm² bis 3700 N/mm². Glasfasern gelten als nicht brennbar, sodass unter hohen Temperaturen weder Dämpfe noch giftige Gase freigesetzt werden.⁵¹

Der Unterschied der verwendeten integralen und dispersiblen Glasfasern wird durch deren Verhalten bei Wasserkontakt im Frischbeton deutlich. Integrale Glasfasern werden während des Mischvorganges zusammen gehalten während sich dispersible Fasern unter Beeinflussung des Anmachwassers in Einzel-filamente auflösen.⁵² (Abb. 37)

Für die Untersuchungen mit Holzleichtbeton wurden sowohl lose Glasfasern als auch Glasfasergewebe verwendet. (Abb. 38)

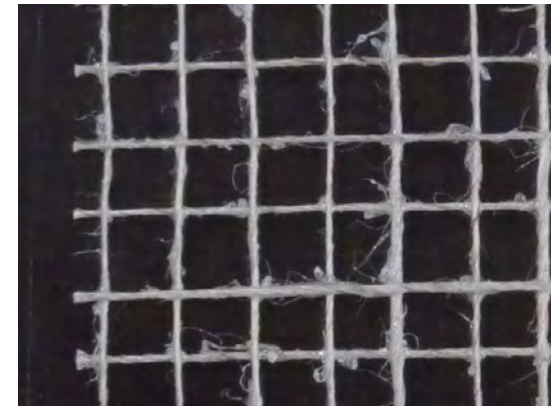


Abb. 35: Flachsgewebe, Maschenweite 5,0 mm
M 2:1

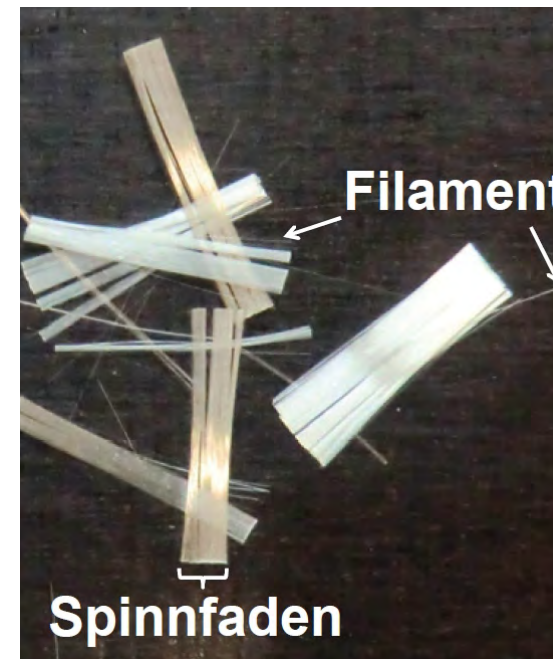


Abb. 36: Elemente einer Glasfaser M 3:1

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

43 Holzmann et al. (2009), S. 54

44 FNR (2008), S. 95

45 FVF (2000), S. 1

46 DIN 1259-1 (2001), S. 7

47 Holschemacher et al. (2011), S. 27

48 Holschemacher et al. (2011), S. 28

49 Zorn (2003), S. 7

50 Daten aus Produktinformation der Fa. Ostrakon
GmbH Baustofftechnologie

51 Holschemacher et al. (2011), S. 28

52 Holschemacher et al. (2011), S. 28

Lose Glasfasern

Als lose Fasern wurden sowohl hochintegrale als auch dispersible Glasfasern mit einer Länge von jeweils 12 mm verwendet. Der Einsatz erfolgte in beiden Fällen mit einer Dosierung von 1,47 M.-% bzw. 0,8 Vol.-%. Dies entsprach einem Glasfasergehalt von 20,66 kg/m³.

Die hochintegralen Glasfasern waren durch 102 Filamente pro Spinnfaden bei 38 tex gekennzeichnet (Abb. 39). Die verwendeten dispersiblen Glasfasern beinhalteten 800 Filamente pro Spinnfaden bei 660 tex pro Spinnfaden (Abb. 40).

Glasfasergewebe

Das Flächengewicht beider Glasfasergewebe betrug jeweils 120 g/m². Dadurch ergab sich für beide Gewebe ein Fasergehalt von 0,26 M.-% bzw. 0,14 Vol.-%, welcher einem Fasergehalt von 3,75 kg/m³ entsprach. Geordnete Fasern mit einer Maschenweite von 10 x 10 mm bilden das Glasfasergitter (Abb. 41).

Die verwendete Glasfasermatte setzt sich aus regellos angeordneten Fasern zusammen. Entsprechend den hoch integralen losen Glasfasern besteht die verwendete Glasfasermatte aus Spinnfäden mit 102 Filamenten bei 38 tex (Abb. 42) (Tab. 18).

Im Vergleich zum E-Modul des Holzleichtbeton von 1590 N/mm² wiesen alle verwendeten Bewehrungsvarianten deutlich höhere E-Moduln zwischen 7200 N/mm² und 16400 N/mm² auf. Daneben konnte bei den Bewehrungen von ausreichenden Zugfestigkeiten zwischen 500 N/mm² bis 3700 N/mm² und Bruchdehnungen zwischen 2,4 % bis 7,8 % ausgegangen werden.

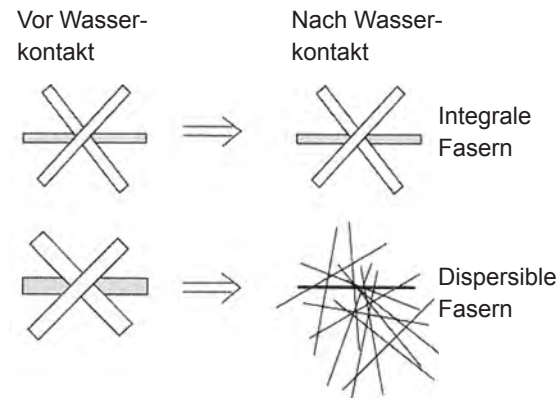


Abb. 37: Unterschied zwischen integralen und dispersiblen Fasern

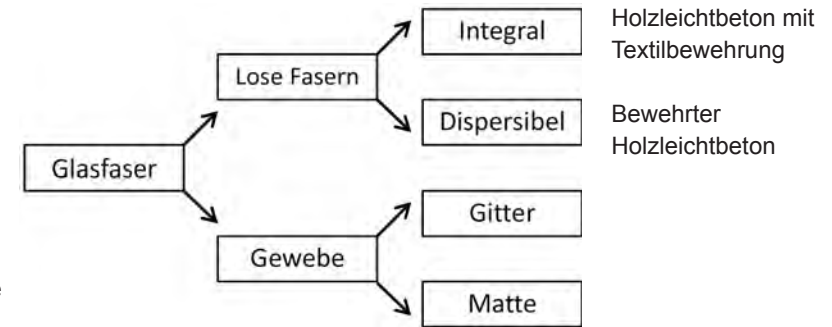


Abb. 38: Übersicht über künstliche Glasfaserarten

Bezeichnung	Bewehrungsart	Rohdichte [g/cm ³]	Bruchdehnung [%]	Festigkeit [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]
G1 (NF)	Jute, Gewebe, Maschenweite 4,5 mm	1,42	3,1	540	16400
G2 (NF)	Flachs, Gewebe, Maschenweite 5 mm	1,47	5,0	500...800	13000
G3 (GF)	AR-Glas, Gitter, Maschenweite 10 mm	2,68	2,4	2000...3700	7200
G4 (GF)	AR-Glas, Matte, Faserorientierung regellos	2,68	2,4	2000...3700	7200
K1 (NF)	Hanf, Kurzfaser, Länge 10 – 15 mm	1,50	7,8	600	8300
K2 (NF)	Hanf, vliesfähige Faser, Länge 60 – 80 mm	1,50	7,8	600	8300
K3 (GF)	AR-Glas, hoch integrale Faser, Länge 12 mm	2,68	2,4	2000...3700	7200
K4 (GF)	AR-Glas, lose dispersible Faser, Länge 12 mm	2,68	2,4	2000...3700	7200

Tab. 18: Bezeichnungen der Bewehrungen



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

Abb. 39: Lose, hoch integrale Glasfasern, Länge
12 mm links M 2:1 / rechts M 5:1

Abb. 40: Lose, dispersible Glasfasern, Länge
12 mm links M 2:1 / rechts M 5:1

Abb. 41: Glasfasergitter, Maschenweite 10 mm
M 2:1

Abb. 42: Glasfasermatte, Faserorientierung regel-
los M 2:1

4.2 Materialkenngrößen

4.2.1 Physikalische Kenngrößen

Konsistenz

Die Bestimmung der Frischbeton-Konsistenz unmittelbar nach dem Mischvorgang erfolgte. Die Ausbreitmaße wurden bei Raumtemperaturen T_R zwischen 19,2 °C bis 23,5 °C (relative Luftfeuchtigkeit 36 % bis 68 %) bzw. Anmachwassertemperaturen T_{H_2O} zwischen 17,7 °C und 23,1 °C gemessen.

Unabhängig von der Faserart muss zwischen Betonierdurchgängen mit Bewehrungsgeweben und losen Fasern unterschieden werden, da hierdurch die Konsistenz, gemessen durch das Ausbreitmaß, stark beeinträchtigt war.

Da im Ausbreitversuch bei den Varianten mit Naturfaser- und Glasfaser-Geweben kein Gewebe eingebaut wurde, waren die Konsistenzen und Ausbreitmaße von G1 bis G4 unbeeinflusst. Analog den Holzleichtbeton-Mischungen ohne Bewehrung wurden Einzelwerte zwischen $a = 14,1$ cm bis $14,9$ cm gemessen. Der Mittelwert von $a = 14,4$ cm entsprach demjenigen des unbewehrten Holzleichtbetons. Die Holzleichtbetonmischungen ließen sich sehr gut verarbeiten und verdichten.

Unter Beibehaltung von $w/z = 0,95$ führte die Zugabe von Naturfasern (Hanf) zur Referenzmischung zu deutlich steiferen Konsistenzen bei Ausbreitmaßen von $a = 11,3$ cm bei K1 und $a = 12,3$ cm bei K2. Der Mittelwert betrug $a = 11,8$ cm. Die Verarbeitung und Verdichtbarkeit des Holzleichtbetons wurde hierdurch erschwert. Die Erweiterung des Verdichtungs-umfanges von der reinen Verdichtung durch den Vibrationstisch mit einer zusätzlichen Verdichtung durch einen Flexiroller wurde erforderlich.

Mischungen mit Glasfaser-Kurzfasern ergaben selbst nach signifikanter Erhöhung auf $w/z = 1,18$ deutlich steifere, erdfeuchte Konsistenzen (Abb. 43) und geringere Ausbreitmaße von $a = 10,1$ cm (K3) und $a = 10,8$ cm (K4). Der Mittelwert lag bei $a = 10,5$ cm. (Tab. 19)

Dichte

Die Rohdichten wurden unmittelbar nach Betonherstellung (Frischbetonrohddichte), nach 2 Tagen (Festbetonrohddichte) und nach weiteren 3 Tagen Luftlagerung (hier als Trockenrohddichte definiert) bestimmt. Um mögliche Einflüsse durch Bewehrungen darzustellen werden im Folgenden die Dichten für die einzelnen Gewebe G 1 bis G 4 und Kurzfasern K 1 bis K 4 getrennt betrachtet.

Frischbetonrohddichte

Die an Prismen und Würfeln gemessenen Werte der Frischbetonrohddichte $\rho_{HLB, frisch}$ an bewehrten Bauteilen bewegten sich insgesamt innerhalb einer Spanne der Einzelwerte von 1090 kg/m^3 bis 1272 kg/m^3 .

Im Bereich der Gewebe wurden tendenziell



Abb. 43: Konsistenz von Holzleichtbeton (bewehrt mit K3 (GF)) bei Ausbreitversuch

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bewehrter Holzleichtbeton

h/z	0,24							
w/z	0,95						1,18	
Faser	G1 bis G4				K1, K2		K3, K4	
Einzelwerte a [N/mm ²]	14,1	14,2	14,2	14,9	11,3	12,3	10,1	10,8
Mittelwerte a [N/mm ²]	14,4				11,8		10,5	

Tab. 19: Messwerte der Konsistenz (Holzleichtbeton, bewehrt)

die geringsten Frischbetonrohddichten erreicht. Die Werte von G 1 (Jutegewebe) und G 2 (Flachsgewebe) lagen auf gleichem Niveau zwischen 1090 kg/m³ und 1103 kg/m³ mit einem Mittelwert $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ von 1096 kg/m³. Die Verwendung der Kunstfasergewebe G 3 (Glasfasergitter) und G 4 (Glasfasermatte) führte zu geringfügig höheren Frischbetonrohddichten $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ von 1161 kg/m³ bis 1178 kg/m³ mit 1170 kg/m³ als Durchschnittswert.

Die höchsten Messwerte für die Frischbetonrohddichte $\rho_{\text{HLB, frisch}}$ wurden bei den verwendeten Kurzfasern gemessen. Bei K 1 (Hanf, Kurzfaser) und K 2 (Hanf, vliesfähig) bewegten sich diese bei gleicher Größenordnung zwischen 1156 kg/m³ und 1227 kg/m³. Der Mittelwert entspricht 1192 kg/m³. Die Glasfasern K 3 (lose Glasfaser, integral) und K 4 (lose Glasfaser, dispersibel) führten zu den größten Frischbetonrohddichten von 1211 kg/m³ bis 1272 kg/m³ und einem Mittelwert von 1236 kg/m³. (Tab. 20)

Festbetonrohddichte

Insgesamt lagen die Einzelwerte der Festbetonrohddichte $\rho_{\text{HLB, fest}}$ bewehrter Holzleichtbetonbauteile in einem Bereich von 1075 kg/m³ bis 1213 kg/m³.

Bei den Geweben wurden die kleinsten Festbetonrohddichten gemessen. Die Naturfasergewebe G 1 und G 2 bewegten sich zwischen $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1075 \text{ kg/m}^3$ und 1105 kg/m³. Der Mittelwert errechnete sich zu 1094 kg/m³.

Die Kunstfasergewebe G 3 und G 4 ergaben Festbetonrohddichten von 1165 kg/m³ bis 1177 kg/m³ bzw. einem Mittelwert 1173 kg/m³.

Die Kurzfasern führten erneut zu höheren Messwerten. Bei K1 und K2 lagen die Festbetonrohddichten von $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1164 \text{ kg/m}^3$ und 1189 kg/m³, bei einem Mittelwert von 1178 kg/m³.

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte	1092	1090	1161	1163	1156	1180	1224	1211
$\rho_{\text{HLB, frisch}}$ [kg/m ³]	1098	1103	1176	1178	1206	1227	1237	1272
Mittelwerte	1096		1170		1192		1236	
$\rho_{\text{HLB, frisch}}$ [kg/m ³]	1096		1170		1192		1236	

Tab. 20: Messwerte der Frischbetonrohddichte (Holzleichtbeton, bewehrt)

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte	1075	1094	1175	1165	1164	1183	1176	1176
$\rho_{\text{HLB, fest}}$ [kg/m ³]	1103	1105	1176	1177	1175	1189	1207	1213
Mittelwerte	1094		1173		1178		1193	
$\rho_{\text{HLB, fest}}$ [kg/m ³]	1094		1173		1178		1193	

Tab. 21: Messwerte der Festbetonrohddichte (Holzleichtbeton, bewehrt)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

Die größten Festbetonrohndichten wurden bei K3 und K4 $\rho_{\text{HLB, fest}} = 1176 \text{ kg/m}^3$ und 1213 kg/m^3 und einem Mittelwert von 1193 kg/m^3 gemessen (Tab. 21).

Gegenüber den Frischbetonrohndichten waren somit kaum Abweichungen festzustellen. Lediglich die Kurzfasern zeigten geringfügig kleinere Mittelwerte gegenüber den Werten der Frischbetonrohndichte.

Trockenrohndichte

Die Trockenrohndichten nach 3 Tagen Luftlagerung von bewehrten Prismen und Würfeln bewegten sich insgesamt zwischen Einzelwerten $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ von 983 kg/m^3 bis 1151 kg/m^3 .

Im Bereich der Gewebe wurden die geringsten 3d-Trockenrohndichten erreicht. Die Werte von G1 und G2 $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ lagen zwischen 983 kg/m^3 und 1052 kg/m^3 , bei einem Mittelwert von 1024 kg/m^3 . Der Einsatz der Kunstfasergewebe G3 und G4 ergab Frischbetonrohndichten $\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ von 1054 kg/m^3 bis 1126 kg/m^3 bei durchschnittlich 1090 kg/m^3 .

Vergleichbare 3d-Trockenrohndichten wurden bei den Kurzfasern festgestellt. Die Messwerte bei K1 und K2 bewegten sich zwischen 1046 kg/m^3 und 1107 kg/m^3 . Der Mittelwert betrug 1075 kg/m^3 . K3 und K4 ergaben die größten 3d-Trockenrohndichten von 1062 kg/m^3 bis 1151 kg/m^3 bei einem Mittelwert von 1117 kg/m^3 . (Tab. 22)

Insgesamt verringerte sich die Frischbetonrohndichte gegenüber der Trockenrohndichte bei den Geweben um zirka $\Delta\rho = 76 \text{ kg/m}^3$ bzw. 6,7 % und den Kurzfasern um etwa $\Delta\rho = 118 \text{ kg/m}^3$ bzw. 9,7 %. Die Dichtereduzierung lag auf gleichem Niveau wie bei unbewehrtem Holzleichtbeton mit 8,4 %.

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte	983	1015	1054	1063	1046	1062	1088	1062
$\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ [kg/m ³]	1052	1046	1117	1126	1086	1107	1151	1065
Mittelwerte	1024		1090		1075		1117	
$\rho_{\text{HLB, 3d trocken}}$ [kg/m ³]	1024		1090		1075		1117	

Tab. 22: Messwerte der 3d-Trockenrohndichte (Holzleichtbeton, bewehrt)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

4.2.2 Festigkeitskenngrößen

Die Untersuchung der Festigkeitskenngrößen erfolgte im Gegensatz zu den physikalischen Kenngrößen getrennt für jede Bewehrungsvariante von Geweben und Kurzfasern.

Biegezugfestigkeit

Wie bereits bei unbewehrten Prüfkörpern wurde die Biegezugfestigkeit der bewehrten Prüfprismen nach 7 Tagen sowie der Plattenstreifen nach 7 Tagen und nach 28 Tagen ermittelt.

Prismen

Die Einzelwerte der Biegezugfestigkeiten aller Holzleichtbeton-Prismenprüfkörper mit Bewehrung bewegten sich innerhalb einer relativ großen Spanne von $f_{ct,7d} = 1,8 \text{ N/mm}^2$ bis $5,1 \text{ N/mm}^2$.

Bei Bewehrung mittels Geweben wurden im Verhältnis zur Gesamtheit der Werte kleinere Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d}$ von $1,8 \text{ N/mm}^2$ bis $3,1 \text{ N/mm}^2$ gemessen. Die Naturfasergewebe G1 und G2 lagen mit Mittelwerten von $f_{ct,7d}$ von $2,1 \text{ N/mm}^2$ auf jeweils gleicher Höhe. Höhere Mittelwerte wurden bei den Kunstfasergeweben ermittelt. Die mittleren Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d}$ betragen $2,7 \text{ N/mm}^2$ bei G4 und $3,0 \text{ N/mm}^2$ bei G3.

Tendenziell höhere Biegezugfestigkeiten wurden bei Prismen, die mit Kurzfasern bewehrt waren, mit $f_{ct,7d}$ von $2,7 \text{ N/mm}^2$ bis $5,1 \text{ N/mm}^2$, festgestellt. Ebenso wie bei den Geweben erreichten Prüfprismen mit natürlicher Kurzfaserbewehrung (K1; K2) Mittelwerte auf gleichem Niveau von jeweils $3,2 \text{ N/mm}^2$. Die mit Abstand höchsten Biegezugfestigkeiten wurden bei den Kurzfasern aus AR-Glas erreicht. Die Mittelwerte $f_{ct,7d}$ bei K3 und K4 betragen $4,2 \text{ N/mm}^2$ und $4,7 \text{ N/mm}^2$. (Tab. 23)

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte f_{ct}	1,8	2,1	3,0	2,5	2,7	2,9	3,7	4,5
	2,1	2,1	3,0	2,8	3,2	3,3	4,4	4,6
[N/mm ²]	2,3	2,2	3,1	2,9	3,6	3,3	4,5	5,1
Mittelwerte f_{ct}	2,1	2,1	3,0	2,7	3,2	3,2	4,2	4,7
[N/mm ²]								

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bewehrter Holzleichtbeton

Tab. 23: Messwerte der 7d-Biegezugfestigkeiten (Prismen, bewehrt)

Zwischen den geringsten Mittelwerten $f_{ct,7d}$ bei G1 bzw. G2 mit $2,1 \text{ N/mm}^2$ und dem Maximalwert bei K4 mit $4,7 \text{ N/mm}^2$ ergab sich ein Festigkeitsunterschied in Form einer Biegezugfestigkeitssteigerung um 124 %.

Nach dem Bruch bei der Biegezugfestigkeitsprüfung zeigten die Prismen in Abhängigkeit vom Bewehrungstyp bei den Geweben einen mittigen und bei den Kurzfasern einen schräg verlaufenden Bruch. Die Prismen wurden durch die Biegezugfestigkeitsprüfung meist nicht vollständig getrennt und mussten für weitere Untersuchungen per Hand geteilt werden. Die Bruchflächen waren relativ trocken (Abb. 44).

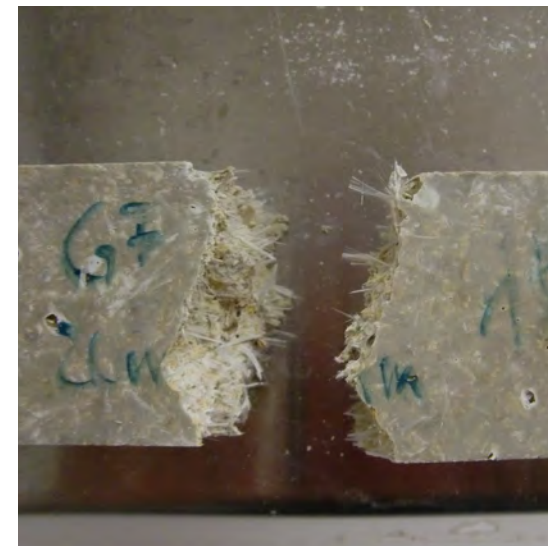


Abb. 44: Prismenprüfkörper (bewehrt mit K3) nach Biegezugfestigkeitsprüfung

Plattenstreifen

Plattenstreifen aus Holzleichtbeton mit Bewehrung wiesen insgesamt Einzelwerte der Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d}$ zwischen 1,7 N/mm² und 2,9 N/mm², bzw. $f_{ct,28d}$ 2,1 N/mm² bis 3,3 N/mm² auf.

Die Bewehrung durch Gewebe ergab Einzelwerte $f_{ct,7d}$ zwischen 1,9 N/mm² und 2,6 N/mm² bzw. $f_{ct,28d}$ von 2,5 N/mm² bis 3,0 N/mm². Die kleinsten Werte bei Prüfung nach 7 Tagen wurden bei den Naturfasergeweben durch $f_{ct,7d}$ Mittelwerte von 1,9 N/mm² bei G1 und $f_{ct,7d}$ = 2,1 N/mm² bei G2 festgestellt. Höhere Mittelwerte $f_{ct,7d}$ wurden bei den Glasfasergeweben G3 und G4 mit jeweils 2,6 N/mm² ermittelt. (Tab. 24)

Die Prüfung nach 28 Tagen ergab den kleinsten $f_{ct,28d}$ Wert bei G1 2,5 N/mm², den größten für G2 mit 3,0 N/mm². Die Kunstfasergewebe lagen mit $f_{ct,28d}$ Mittelwerten von = 2,6 N/mm² bei G4 und 2,9 N/mm² bei G3 zwischen den Werten der Naturfasern.

Durch Bewehrung mit Kurzfasern wurden $f_{ct,7d}$ Einzelwerte von 2,0 N/mm² bis 2,7 N/mm² bzw. $f_{ct,28d}$ von 2,6 N/mm² bis 2,9 N/mm² erreicht. Bei den natürlichen Kurzfasern wurden $f_{ct,7d}$ Mittelwerte mit 2,3 N/mm² (K1) und 2,2 N/mm² (K2) gemessen. Die künstlichen Kurzfasern führten zu $f_{ct,7d}$ Mittelwerten von 2,7 N/mm² (K3) und 2,0 N/mm² (K4).

Die Prüfung nach 28 Tagen ergab für die Kurzfasern Werte auf annähernd gleichem Niveau. Es wurden $f_{ct,28d}$ Mittelwerte von 2,6 N/mm² (K1) und 2,8 N/mm² (K2) bestimmt. K3 und K4 ergaben Werte von 2,7 N/mm² und 2,9 N/mm² (Tab. 25).

Generell war bei den Plattenstreifen kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Biegezugfestigkeiten bei der Bewehrung mit Gewebe gegenüber Kurzfasern feststellbar.

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte f_{ct}	1,7	2,0	2,5	2,5	2,2	1,9	2,4	1,7
	1,8	2,1	2,6	2,6	2,4	2,4	2,9	2,3
[N/mm ²]	2,2	-	-	-	-	-	-	-
Mittelwerte f_{ct}	1,9	2,1	2,6	2,6	2,3	2,2	2,7	2,0
[N/mm ²]								

Tab. 24: Messwerte der 7d-Biegezugfestigkeiten (Plattenstreifen, bewehrt)

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte f_{ct}	2,2	3,0	2,8	2,5	2,3	2,7	2,1	2,7
	2,7	3,0	3,0	2,7	2,7	2,9	2,8	3,0
[N/mm ²]	-	-	-	-	2,9	2,9	3,3	3,1
Mittelwerte f_{ct}	2,5	3,0	2,9	2,6	2,6	2,8	2,7	2,9
[N/mm ²]								

Tab. 25: Messwerte der 28d-Biegezugfestigkeiten (Plattenstreifen, bewehrt)

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bewehrter Holzleichtbeton

Zwischen dem $f_{ct,7d}$ Minimalwert von G1 mit 1,9 N/mm² und dem Maximalwert von K3 mit 2,7 N/mm² zeigte sich eine Steigerung der Biegezugfestigkeit um 42 % in Abhängigkeit von der Bewehrungsvariante. Die Festigkeitswerte von Plattenstreifen bei Prüfung nach 7 Tagen lagen auf ähnlicher Höhe wie diejenigen der Prismenprüfkörper gleichen Alters (Gewebe) bzw. bis zu 49 % niedriger (Kurzfasern).

Bei Prüfung nach 28 Tagen zeigte sich eine Erhöhung der Biegezugfestigkeit von 18 % durch Bewehrungsvariation zwischen dem niedrigsten $f_{ct,28d}$ Wert von G1 mit 2,5 N/mm² gegenüber den höchsten Werten von 2,9 N/mm² und 3,0 N/mm² (G3 bzw. K4 und G2). Die lagerungsbedingte Zunahme der Mittelwerte der Biegezugfestigkeiten f_{ct} im Alter von 7 bzw. 28 Tagen lag in Abhängigkeit der verwendeten Bewehrungsvariante zwischen ± 0 % (G4; K3) und 45 % (K4). (Abb. 45)

Die bewehrten Plattenstreifen wurden durch die Biegezugfestigkeitsprüfung in der Regel nicht vollständig getrennt. Der Verbund der Gewebe mit dem umschließenden Holzleichtbeton war sehr gut. Die weitere Belastung von bereits geprüften Streifen führte sowohl bei Natur- als auch Glasfasergeweben zum Versagen der Bewehrung. Dagegen führte die weitere Beanspruchung der Kurzfasern zu deren Auszug aus dem Holzleichtbetongefüge. Die Plattenstreifen waren bereits bei der Prüfung nach 7 Tagen augenscheinlich trocken. (Abb. 46)

Last-Verformungsverhalten

Das Last-Verformungsverhalten wird anhand einer exemplarisch ausgewählten Messkurve pro Bewehrungsvariante erörtert. Die bewehrten Plattenstreifen hatten zum Prüfzeitpunkt ein Alter von 7 Tagen.

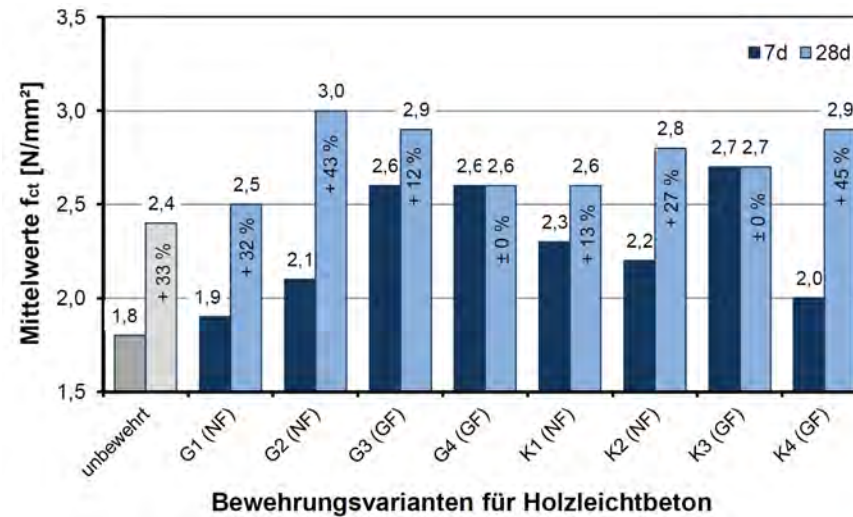


Abb. 45: Vergleich der 7d- und 28d-Biegezugfestigkeiten (Plattenstreifen, bewehrt)

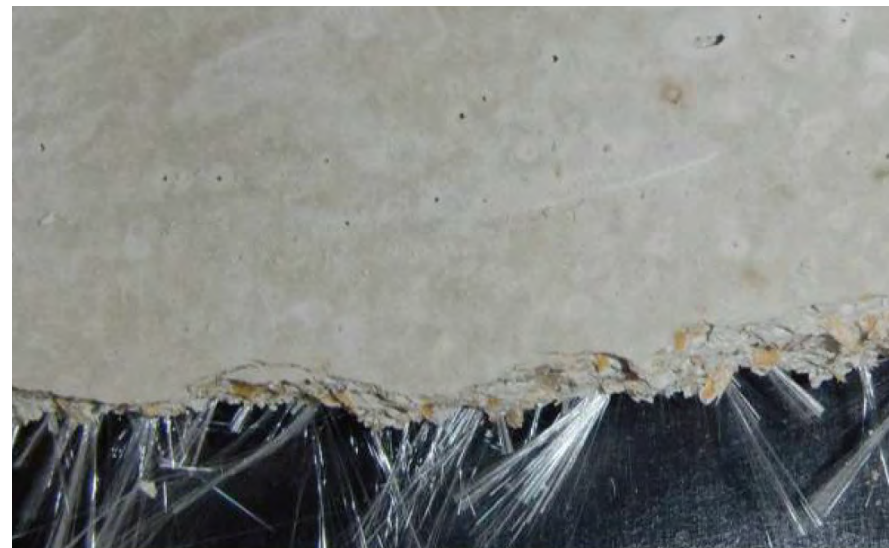
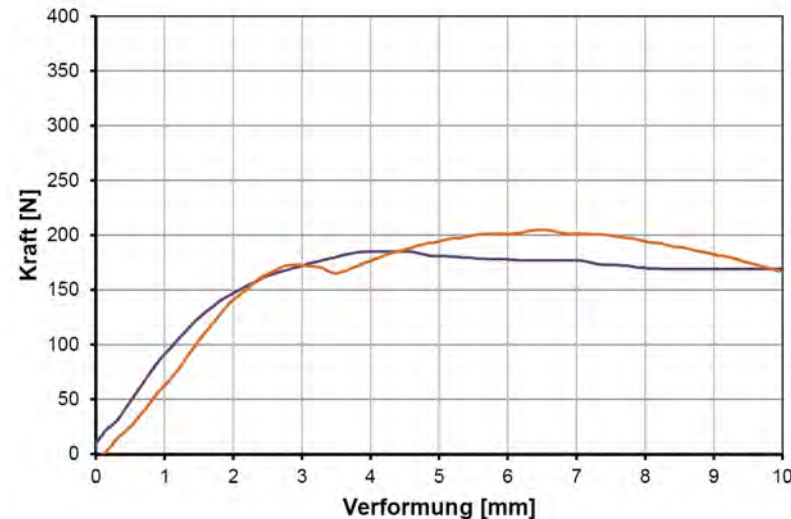
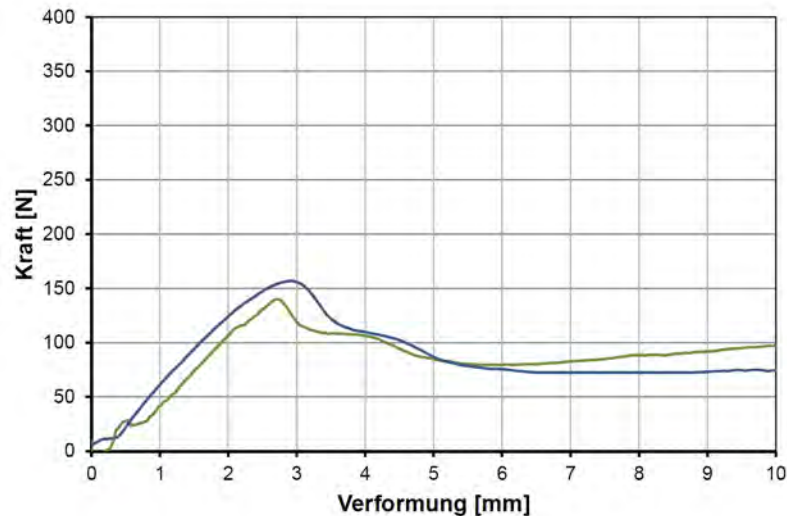


Abb. 46: Plattenstreifen (bewehrt mit G4) nach Biegezugfestigkeit M 2:1

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

Abb. 47: Kraft-Verformungskurven der Gewebe: Links G1 (grün) und G2 (blau), rechts G3 (lila) und G4 (orange)

Die beiden Naturfaserbewehrungen G1 (Jutegewebe) und G2 (Flachsgewebe) waren in ihrem Kurvenverlauf sehr ähnlich und führten zu vergleichbaren Maximallasten von etwa 150 kN, bei einer mittigen Durchbiegung des Plattenstreifens von zirka 3 mm (Abb. 47 links). Der anschließende Kurvenverlauf des Nachrissbereiches spiegelte einen unterkritischen Fasergehalt wider, d. h. die Fasern waren nicht in vollem Umfang in der Lage die Zugbeanspruchungen aufzunehmen. Die Prüfkörper waren bis zum Prüfeinde (zunehmende Verformung bis 10 mm) allerdings zur Aufnahme weiterer Lasten in Höhe von 70 % (G1) bzw. 50 % (G2) der Bruchlast in der Lage.

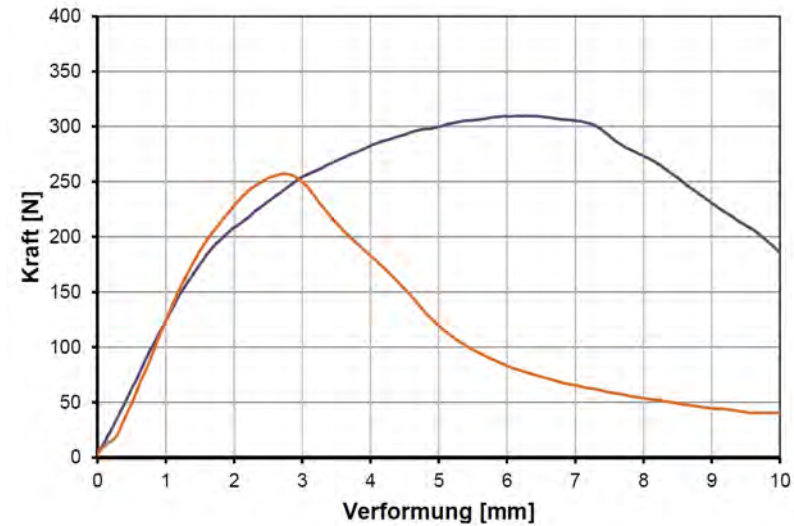
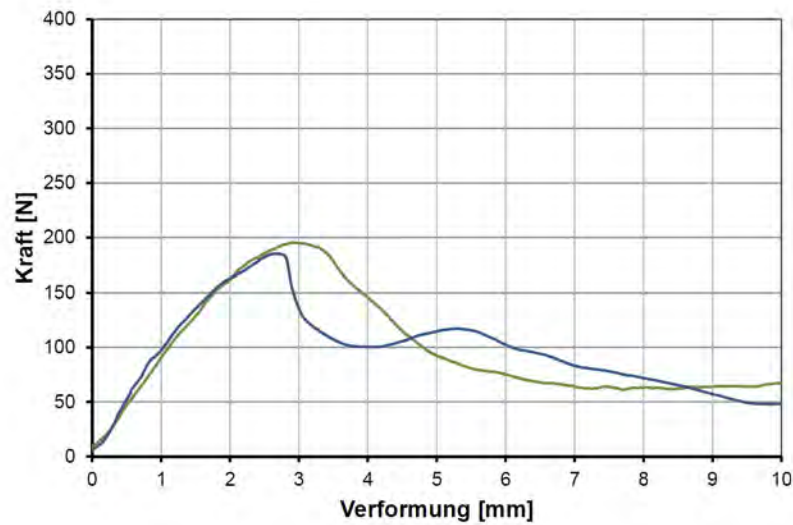
Die Kunstfasergewebe G3 (AR-Glas, Gitter) und G4 (AR-Glas, Matte) unterschieden sich in ihren Verläufen (Abb. 47 rechts). G3 er-

reichte eine Maximallast von etwa 190 kN bei einer mittigen Verformung von etwa 4 mm. Im Anschluss wurde eine Last von 90 % der maximalen Last bis Messende beibehalten. Der Kurvenverlauf ergab einen nahezu kritischen Fasergehalt wider, d. h. die Fasern waren in der Lage, die durch den Beton nicht mehr übertragbaren Zugbeanspruchungen gerade noch aufzunehmen. Die Bruchlast bei G4 lag bei 170 kN mit einer Durchbiegung von 3 mm in Streifenmitte. Nach kurzer Reduzierung der aufnehmbaren Last äußerte sich im ansteigenden Kurvenverlauf ein überkritischer Fasergehalt. Die Bruchlast wurde dabei um bis zu 18 % überschritten. Zum Ende der Messung war G4 in der Lage eine Last in Höhe der Bruchlast aufzunehmen.

Bei den Kurzfasern erreichten die Naturfaserbewehrungen vergleichbare Maximallasten

von etwa 200 kN bei K1 (Hanf, Kurzfasern) und 190 kN bei K2 (Hanf, vliesfähig) mit einer Plattenstreifenverformung von annähernd 3 mm. Im Nachrissbereich zeigte sich in beiden Fällen ein unterkritischer Fasergehalt. Die Prüfkörper konnten bei einer Durchbiegung von 10 mm (Ende der Messungen) Lasten von 35 % (K1) bzw. 26 % (K2) der Bruchlast aufnehmen (Abb. 48 links).

Die künstlichen Kurzfasern K3 (AR-Glas, hoch integrale Fasern) und K4 (AR-Glas, lose dispersible Fasern) zeigten deutliche Unterschiede in den jeweiligen Kurvenverläufen. Die Maximallast bei K3 betrug 310 kN bei einer mittigen Durchbiegung von etwa 6 mm. Die Kraft-Verformungskurve ließ auf einen überkritischen bis kritischen Fasergehalt schließen. Der Prüfkörper war bis zum Prüfeinde in der Lage Belastungen in Höhe



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

Abb. 48: Kraft-Verformungskurven der Kurzfasern: Links K1 (grün) und K2 (blau), rechts K3 (lila) und K4 (orange)

von 60 % der Bruchlast aufzunehmen. Bei K4 betrug die Bruchlast etwa 255 kN bei einer Durchbiegung von 2,8 mm. Es zeigte sich ein unterkritischer Fasergehalt. Am Ende der Messung, d. h. bei einer Verformung von 10 mm, wurden 18 % der Bruchlast aufgenommen (Abb. 48 rechts).

Eine Kombination⁵³ der beiden Bewehrungsarten G3 und K3 wurde auf Grund der Erfahrungen des Kraft-Verformungsverhaltens von G3 und K3 zusätzlich zu den bisherigen Bewehrungsvarianten untersucht (Abb. 49). Selbst bei einer einwirkenden Belastung von 330 kN und einer Durchbiegung von 10 mm (Messende) wurde hierbei die Bruchlast nicht erreicht. Es zeigte sich ein stark überkritischer Fasergehalt.

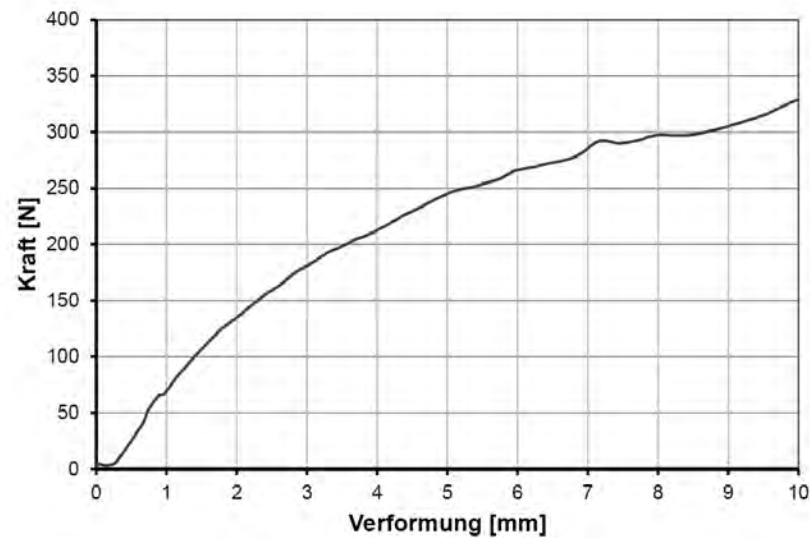


Abb. 49: Kraft-Verformungsverlauf bei Kombination G3 und K3

53 Erhöhte Fasergehalte: 1,83 M.-%, 0,99 Vol.-%, 26,38 kg/m³

Druckfestigkeit

Prismen

Bei den geprüften Holzleichtbeton-Prismen mit Bewehrung bewegten sich die Einzelwerte der Druckfestigkeiten $f_{c,7d}$ insgesamt innerhalb einer verhältnismäßig großen Spanne von 6,5 N/mm² bis 11,2 N/mm².

Die Bewehrung mit Geweben ergab Mittelwerte zwischen 6,9 N/mm² und 10,4 N/mm².

Die Naturfasergewebe lagen mit $f_{c,7d}$ Mittelwerten von 6,9 N/mm² (G1) und 7,3 N/mm² (G2) deutlich unter den Werten der künstlichen Gewebe mit 10,4 N/mm² (G3) bzw. $f_{c,7d} = 9,8$ N/mm² (G4).

Im Gegensatz dazu wurden bei kurzfaserbewehrten Prüfkörpern die höchsten Festigkeiten bei Naturfaserbewehrung gemessen. $f_{c,7d}$ Mittelwerte von 10,5 N/mm² (K1) und 10,3 N/mm² (K2) wurden ermittelt. Die Werte bei K3 und K4 mit $f_{c,7d} = 7,3$ N/mm² und $f_{c,7d} = 7,9$ N/mm² waren geringer.

Zwischen dem $f_{c,7d}$ Minimalwert von 6,9 N/mm² (G1) und dem Maximalwert 10,5 N/mm² (K1) zeigte sich, bedingt durch den Bewehrungstyp, eine Zunahme der Druckfestigkeit von 52 % (Tab. 26).

Das Bruchbild eines angedeuteten doppelten Pyramidenstumpfes glich demjenigen unbewehrter Bauteile (Abb. 26).

Wüfel

Die Messwerte der Druckfestigkeiten bei der Prüfung von Würfeln entsprachen in Ihrer Ausprägung denen der Prismenprüfung. Die Einzelwerte der Druckfestigkeiten der Prüfwüfel aus Holzleichtbeton mit Bewehrung lagen insgesamt zwischen $f_{c,7d} = 5,8$ N/mm² und 8,5 N/mm² und damit 16 % bis 19 % unter den erreichten Druckfestigkeiten der bewehrten Prismen.

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte f_c [N/mm ²]	6,5	7,0	9,8	9,3	9,9	9,7	7,0	7,3
	6,7	7,1	10,3	9,5	9,9	10,0	7,1	7,8
	6,9	7,3	10,3	9,5	10,1	10,0	7,2	7,9
	7,0	7,3	10,5	9,9	10,9	10,4	7,2	7,9
	7,1	7,4	10,6	10,3	10,9	10,8	7,3	8,2
Mittelwerte f_c [N/mm ²]	6,9	7,3	10,4	9,8	10,5	10,3	7,3	7,9

Tab. 26: Messwerte der 7d-Druckfestigkeiten (Prismen, bewehrt)

h/z	0,24							
w/z	0,95				1,18			
Bewehrung	Gewebe				Kurzfaser			
	G1 (NF)	G2 (NF)	G3 (GF)	G4 (GF)	K1 (NF)	K2 (NF)	K3 (GF)	K4 (GF)
Einzelwerte f_c [N/mm ²]	5,8	5,9	8,1	8,1	8,3	8,5	6,3	6,2

Tab. 27: Messwerte der 7d-Druckfestigkeiten (Wüfel, bewehrt)

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

Die Bewehrungsvariante mit Geweben führte zu Einzelwerten der Druckfestigkeiten $f_{c,7d}$ von 5,8 N/mm² bis 8,1 N/mm². Wie bereits bei den Prismen lagen die Naturfasergewebe mit $f_{c,7d}$ Werten von 5,8 N/mm² (G1) und $f_{c,7d}$ = 5,9 N/mm² (G2) signifikant unter denen der künstlichen Gewebe mit jeweils $f_{c,7d}$ = 8,1 N/mm² (G3; G4).

Bei Bewehrungen mit Kurzfasern erreichten dagegen die Prüfkörper mit Naturfaserbewehrung bei Einzelwerten von $f_{c,7d}$ = 8,3 N/mm² (K1) und $f_{c,7d}$ = 8,5 N/mm² (K2) die höchsten Festigkeiten. Werte von $f_{c,7d}$ = 6,3 N/mm² (K3) und $f_{c,7d}$ = 6,2 N/mm² (K4) wurden bei natürlichen Kurzfasern festgestellt. Zwischen dem minimalen $f_{c,7d}$ Einzelwert von 5,8 N/mm² (G1) und dem maximalen Wert von 8,5 N/mm² (K2) ergab sich in Abhängigkeit des gewählten Bewehrungstyps eine Erhöhung der Druckfestigkeit um bis zu 47 % (Tab. 27). Das Bruchbild der Würfelproben nach Prüfung der Druckfestigkeit entsprach dem Bruchtyp von Normalbetonen bzw. unbewehrter Würfel aus Holzleichtbeton (Abb. 27). Die Verwendung von Kurzfasern führte dazu, dass seitliche Bruchstücke mit dem Kern des Würfels verbunden blieben. Der Kern des Würfels war zum Zeitpunkt der Prüfung nach 7 Tagen noch feucht.

4.2.3 Temperaturentwicklung

Um Einflüsse der Bewehrungsarten auf den Hydratationsprozess festzustellen, wurde der Temperaturverlauf jeder Variante gemessen. Die Betrachtung der Temperaturverläufe von Holzleichtbetonen mit Gewebebewehrungen zeigte Unterschiede in Abhängigkeit des Materials. Künstliche Gewebe aus AR-Glas erreichten innerhalb kurzer Zeit verhältnismäßig hohe Maximaltemperaturen von

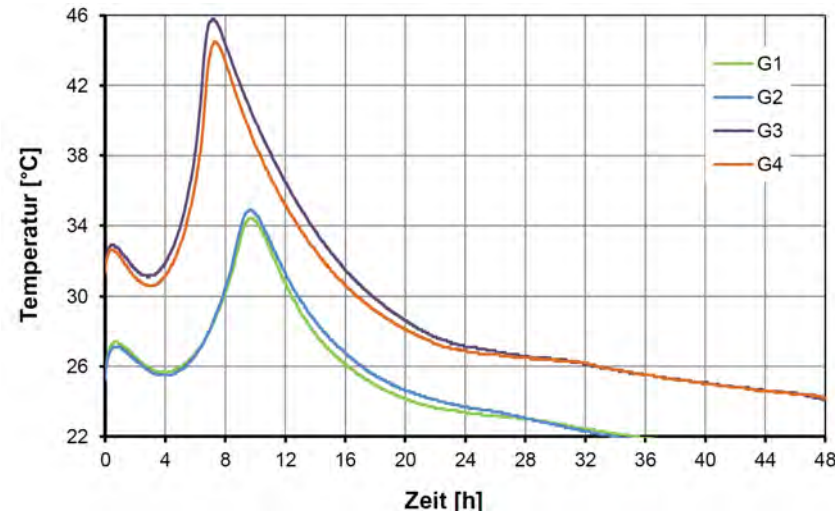


Abb. 50: Temperaturentwicklung mit Bewehrungsvarianten G1 bis G4

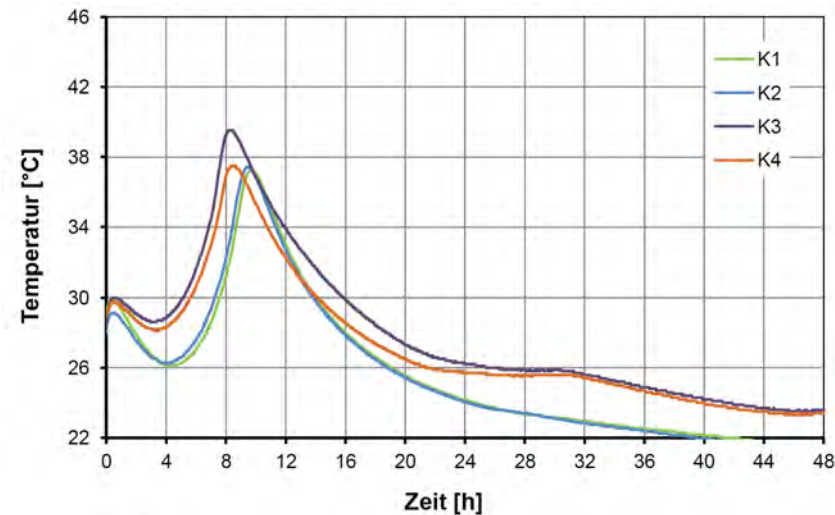


Abb. 51: Temperaturentwicklung mit Bewehrungsvarianten K1 bis K4

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

45,8 °C nach 430 Minuten (G3) bzw. 44,5 °C nach 440 Minuten (G4). Die Temperaturentwicklungen bei natürlichen Geweben verliefen in gleicher Weise, allerdings langsamer und, in Folge geringerer Starttemperaturen, bei niedrigeren Temperaturen. Die Maximaltemperatur bei Verwendung von Flachsgewebe (G2) betrug 34,9 °C nach 580 Minuten bzw. bei Jutegewebe (G1) 34,4 °C nach 580 Minuten. (Abb. 50)

Die Temperaturentwicklung der beiden Naturfasergewebe verlief hinsichtlich Größe und Zeitpunkt der Maximaltemperatur sehr ähnlich, ebenso wie die Temperaturkurven der Kunstfasergewebe aus AR-Glas.

Die Temperaturverläufe von Holzleichtbetonen mit Kurzfaserbewehrungen zeigten kaum Unterschiede trotz verschiedener Fasermaterialien. Künstliche Kurzfasern aus AR-Glas erreichten Maximaltemperaturen von 39,4 °C nach 500 Minuten (K3) bzw. 37,5 °C nach 510 Minuten (K4). Natürliche Kurzfasern aus Hanf führten zu Maximaltemperaturen von 37,4 °C nach 570 Minuten (K2) sowie 37,3 °C nach 580 Minuten (K1). (Abb. 51)

Wie bereits bei den Geweben verliefen die Temperaturentwicklungen der Naturfasern in nahezu gleicher Weise, wie auch die Temperaturkurven der Kunstfasern aus AR-Glas. Es lässt sich feststellen, dass hohe Maximaltemperaturen an frühe Zeitpunkte gekoppelt sind. Je niedriger die Spitzentemperaturen sind, desto später wurden diese erreicht. (Abb. 52)

4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Unbewehrte Wandbauplatten aus Leichtbeton sind ebenso wie (Stahl-)Faserbetone in den Normen geregelt. Dies gilt auch für den

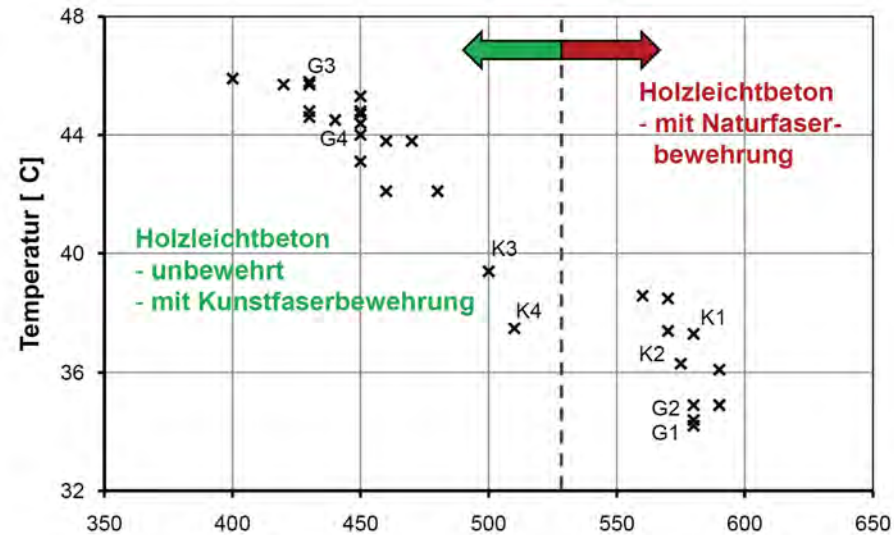


Abb. 52: Einzelwerte der Maximaltemperaturen zu deren Eintrittszeitpunkten in Abhängigkeit des Bewehrungsmaterials

Einsatz künstlicher Bewehrungen wie z. B. AR-Glas. Für die Kombination aus Holzleichtbeton mit natürlichen Fasern ist derzeit kein Regelwerk vorhanden (Abb. 53).

Die Holzleichtbetonmischungen mit Geweben als Bewehrung waren durch das späte Einlegen der Bewehrungsgewebe auf eine Holzleichtbetonschicht in ihrer Konsistenz unbeeinflusst. Dies äußerte sich durch eine weiche Konsistenz bei einem Ausbreitmaß von durchschnittlich $a = 14,4$ cm ca. zu den Ergebnissen der unbewehrten Holzleichtbeton. Die Mischungen mit Kurzfasern als Bewehrung wiesen, trotz Erhöhung des w/z-Wertes auf 1,18 bei den Glasfasermischungen, wesentlich steifere Konsistenzen auf mit einem gemittelten Ausbreitmaß von $a = 11,2$ cm. Die ungenügenden Verdichtungs-



Abb. 53: Übersicht Bewehrung HLB

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bewehrter Holzleichtbeton

erfolge bei Vibrationsverdichtung führten zur Notwendigkeit des zusätzlichen Einsatz eines Verdichtungsrollers, welcher den Verdichtungsaufwand entsprechend steigerte.

Die Frischbetonrohddichte $\rho_{HLB, frisch}$ lag bei den Geweben 1096 kg/m^3 (Naturfasern = NF) und 1170 kg/m^3 (Kunstfasern = KF) bzw. geringfügig erhöht bei den Kurzfasern mit 1192 kg/m^3 (NF) und 1236 kg/m^3 (KF).

Die Festbetonrohddichten bei den Mischungen mit Geweben waren mit Werten von $\rho_{HLB, fest} = 1094 \text{ kg/m}^3$ (NF) und 1173 kg/m^3 (KF) nahezu identisch mit den Frischbetonrohddichten. Die $\rho_{HLB, fest}$ Werte der kurzfaserbewehrten Bauteile wichen hingegen mit 1178 kg/m^3 (NF) und 1193 kg/m^3 (KF) geringfügig ab.

Die 3-tägige Luftlagerung führte zur Reduzierung der Dichten. Bei den Geweben wurden durch die Lufttrocknung Trockenrohddichten $\rho_{HLB, 3d trocken}$ von 1024 kg/m^3 (NF) und 1090 kg/m^3 (KF) erreicht, bei den Mischungen mit Kurzfasern 1075 kg/m^3 (NF) und 1117 kg/m^3 (KF). Gegenüber den Frischbetonrohddichten verringerten sich die Dichten durch Luftlagerung bei den Geweben um etwa 6,7 % und bei den Kurzfasern um 9,7 % auf gleichem Niveau wie unbewehrte Bauteile. (Tab. 28)

Tendenziell waren die Dichten bei Kurzfaserbewehrung höher als diejenigen bei Gewebewehrung. Daneben waren die Dichten insgesamt bei Naturfaserbewehrung geringer als bei Kunstfaserbewehrung. D.h. die Bewehrung durch Naturfasergewebe führt zu den kleinsten Rohdichten, der Einbau von künstlichen Kurzfasern zu den höchsten Rohdichten. Im Vergleich zu den Rohdichten unbewehrter Bauteile bewegten sich die Mittelwerte dicht ober- bzw. unterhalb. Die Mischungen der Prismenprüfkörpern unterschieden sich stark in Abhängigkeit von

		h/z	0,24		
		w/z	0,95 (bzw. 1,18 bei GF)		
		Mittelwert		Zeitpunkt	
		Naturfaser (NF)	Kunstfaser (KF)		
Physikalische Kenngrößen	Ausbreitmaß a [cm]				
	Gewebe	14,4			unmittelbar
	Kurzfaser	11,2			
	Rohichte ρ_{HLB} [kg/m ³]				
	- Frischbeton: Gewebe	1096	1170		unmittelbar
	Kurzfaser	1192	1236		
- Festbeton: Gewebe	1094	1173		nach 2d in Schalung	
Kurzfaser	1178	1193			
- Lufttrocken: Gewebe	1024	1090		nach 3d Lufttrocknung	
Kurzfaser	1075	1117			
Festigkeitskenngrößen*	Biegezugfestigkeit f_{ct} [N/mm ²]				
	- Prismen: Gewebe	2,1	2,9		nach 7d
	Kurzfaser	3,2	4,5		
	- Plattenstreifen: Gewebe	2,0	2,6		nach 7d
	Kurzfaser	2,8	2,8		nach 28d
	Kurzfaser	2,3	2,4		nach 7d
	Kurzfaser	2,7	2,8		nach 28d
	Druckfestigkeit f_c [N/mm ²]				
	- Prismen: Gewebe	7,1	10,1		nach 7d
	Kurzfaser	10,4	7,6		
- Würfel: Gewebe	5,9	8,1		nach 7d	
Kurzfaser	8,4	6,3			

*Werte z. T. gemittelt bzw. gerundet

Tab. 28: Übersicht der Materialkenngrößen (Holzleichtbeton, bewehrt)

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Bewehrter Holzleichtbeton

der Bewehrungsart. Bei Bewehrung mittels Geweben wurden Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d}$ von 2,1 N/mm² (NF) und 2,9 N/mm² (KF) gemessen. Deutlich höhere Festigkeiten wurden mit Kurzfaserbewehrungen bei $f_{ct,7d}$ Werten von 3,2 N/mm² (NF) und 4,5 N/mm² (KF) erreicht.

Die Biegezugfestigkeiten $f_{ct,7d}$ von Plattenstreifen waren etwas geringer als diejenigen der Prismen. Bei Geweben wurden Werte von 2,0 N/mm² (NF) und 2,6 N/mm² (KF) gemessen. Festigkeiten gleicher Größenordnung wurden mit Kurzfaserbewehrungen erzielt. Die $f_{ct,7d}$ Werte lagen gemittelt bei 2,3 N/mm² (NF) und 2,4 N/mm² (KF). (Abb. 54)

Bei Prüfung der Biegezugfestigkeiten nach 28 Tagen wurden bis zu 40 % höhere Werte erreicht. Die Biegezugfestigkeiten $f_{ct,28d}$ lagen bei den Gewebewehrungen im Durchschnitt mit jeweils 2,8 N/mm² (NF, KF) auf vergleichbarem Niveau zu den Kurzfaserbewehrungen mit Werten von 2,7 N/mm² (NF) und 2,8 N/mm² (KF). (Abb. 55)

Es zeigte sich, dass hinsichtlich der Biegezugbelastungen die höchsten Festigkeiten durch künstliche Kurzfaserbewehrungen erreicht wurden. Die geringsten Festigkeiten wurden durch Bewehrungen aus Naturfasergewebe erzielt. Gegenüber unbewehrtem Holzleichtbeton konnten Biegezugfestigkeitssteigerungen um bis zu 55 % (Prismen) und 17 % (Plattenstreifen) erreicht werden.

Bei den Kraft-Verformungskurven wurden Unterschiede weniger durch die Faserorientierung (zwei, oder dreidimensional) bestimmt, als durch das Material der Bewehrung. Bei Mischungen mit Zusatz von künstlichen Geweben oder Kurzfasern wurden überkritische Fasergehalte festgestellt. Der Einfluss der Faserform (Faserschlankheit) zeigte sich zwischen den künstlichen Kurzfasern K3 und

K4 deutlich, da trotz gleichem Fasergehalt unterschiedliche Kraft-Verformungsverläufe entstanden. Dies ermöglichte hohe Festigkeiten bei gleichzeitig hohem Verformungsvermögen. Bei Verwendung künstlicher Gewebe wurde die Bruchlast bei einer mittigen Durchbiegung von zirka 3 mm erreicht. Von den bewehrten Plattenstreifen konnten zum Teil noch 90 % bis 100 % der Bruchlast bei einer Durchbiegung von 10 mm aufgenommen werden.

Die nach 7 Tagen an Prismen gemessenen Druckfestigkeiten variierten. Am niedrigsten waren die Druckfestigkeitswerte $f_{ct,7d}$ von Naturfasergeweben mit 7,1 N/mm² und künstlichen Kurzfasern mit 7,6 N/mm². Die größten $f_{ct,7d}$ Werte wurden dagegen bei Kunstfasergeweben mit 10,1 N/mm² und natürlichen Kurzfasern mit 10,4 N/mm² gemessen. Diese Art der Zuordnung der Druckfestigkeiten wiederholte sich in ähnlicher Weise bei den Würfelprüfungen im Alter von 7 Tagen. Die kleinsten Druckfestigkeitswerte $f_{ct,7d}$ wurden bei Naturfasergeweben mit 5,9 N/mm² und künstlichen Kurzfasern mit 6,3 N/mm² festgestellt. Die größten Druckfestigkeiten $f_{ct,7d}$ wurden bei Kunstfasergeweben mit 8,1 N/mm² und natürlichen Kurzfasern mit 8,4 N/mm² gemessen. Hinsichtlich der Druckbelastungen zeigten sich die höchsten Festigkeiten durch natürliche Kurzfaserbewehrungen. Die geringsten Festigkeiten wurden bei Verwendung von Naturfasergeweben erzielt. Im Vergleich zu unbewehrtem Holzleichtbeton wurden durch die Bewehrungsvarianten Druckfestigkeitsverluste von maximal 30,4 % (Prismen) und 27,2 % (Würfel) gemessen.

Die Temperaturentwicklungen unterschieden sich vor allem bei den Gewebewehrungen. Der geringste Einfluss auf den Temperatur-

verlauf wurde bei Glasfasergeweben festgestellt. Die geringeren Temperaturen des Kurvenverlaufes bei Naturfasergeweben waren der Streubreite der beiden Einzelmessungen geschuldet. Die Temperaturentwicklung verlief hinsichtlich Größe und Zeitpunkt der Maximaltemperatur je nach Bewehrungsmaterial (Natur- bzw. Kunstfasern) und Bewehrungsform (Kurzfasern oder Gewebe) sehr ähnlich.

Im Vergleich zu unbewehrten Plattenstreifen konnte zur Einlage von textiler Bewehrung aus Naturfaser- bzw. Glasfasermatten eine geringfügige Erhöhung der Biegezugfestigkeiten erzielt werden. In den Abbildungen 59 und 60 sind beide Versuchsreihen zu unterschiedlichen Prüfzeitpunkten dargestellt. Die Matten wurden im unteren Drittel im Bereich der Zugzone eingelegt. Der Betoneinbau erfolgte in zwei Lagen. Keine signifikante Verbesserung wurde mit dem Jutegewebe erreicht, während Flachsgewebe ebenso wie das Glasfasergewebe die 28d-Biegezugfestigkeit um ca. 17 – 25 % steigerten. Eine positive Wirkung der Gewebeeinlagen findet im Wesentlichen im Nachrissbereich statt, weil bei gerissener Zugzone des Holzleichtbetons trotzdem ein Arbeitsvermögen aktiviert wird. Die Gewebeeinlagen verhindern dadurch ein plötzliches Bauteilversagen bei biegebeanspruchten Bauteilen wie z.B. Deckenplatten.

Bei Zugabe von Kurzfasern unterschiedlichen Typs ist der Einfluss auf die Biegezugfestigkeit erwartungsgemäß schwächer ausgeprägt, weil diese ungerichtet und gleichmäßig verteilt im Werkstoff vorliegen. Daher können in der beanspruchten Zugzone nur ein Teil der Fasern statisch wirksam werden. Vor allem bei den kurzen Glasfasern führte die hohe spezifische Oberfläche der Fasern zu einem höheren Wasseranspruch der Mischung.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

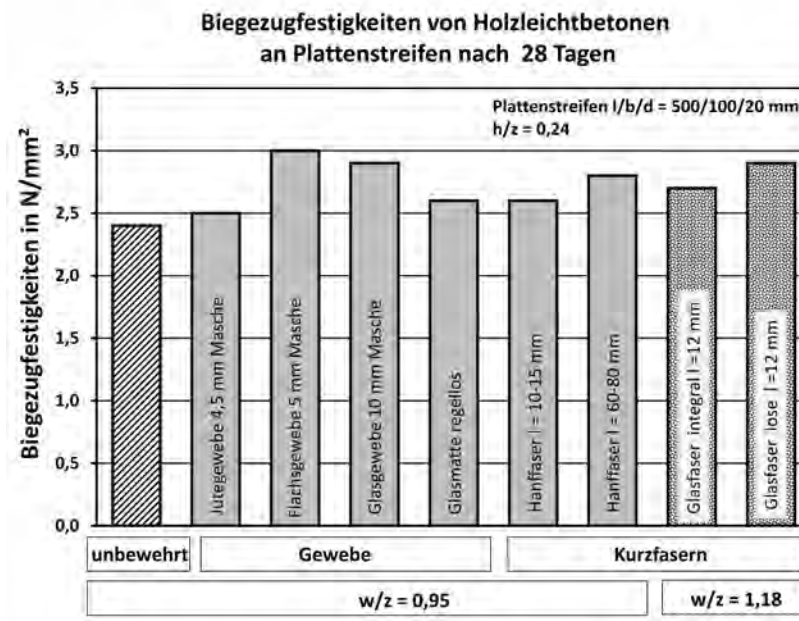
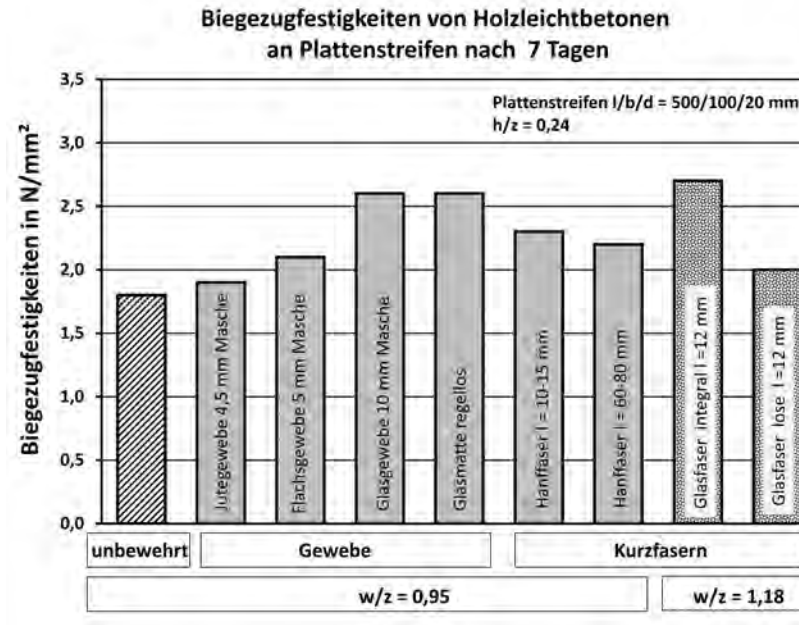
Bewehrter
Holzleichtbeton

Mit einem w/z-Wert von 0,95 war die Frischbetonmischung nicht verarbeitbar, so dass der Wasserzementwert auf $w/z = 1,18$ erhöht wurde. Eine leichte Erhöhung der Biegezugfestigkeiten nach 28 Tagen von durchschnittlich ca. 15 % konnte dennoch festgestellt werden. Auch bei den Kurzfasern entsteht im Nachrissbereich eine Restfestigkeit, die jedoch sehr von Fasertyp und Fasergehalt abhängt und bei Bedarf bis in den überkritischen Bereich gesteigert werden, um die volle Zugkraft nach Versagen des Betons aufnehmen zu können.

Beide Bewehrungsarten ermöglichen zusammenfassend betrachtet eine Absicherung gegenüber einem plötzlichen Bauteilversagen bei biegebeanspruchten Bauteilen. Die Erhöhung der Erstriss-Biegezugfestigkeit fällt hierbei eher gering aus. Im Nachrissbereich wurden jedoch teils erhebliche Traglastreserven beobachtet, die durch Fasertyp bzw. Gewebetyp und -gehalt nach Bedarf aktiviert werden können. Die hier verwendeten Glasfasern und -fasergewebe entwickelten im Vergleich zu den eingesetzten Naturfasern /-gewebe eine geringfügig höhere Leistungsfähigkeit, wobei der höhere Wasseranspruch zu beachten ist. Gute Erfolge konnten mit Flachgewebe (5 mm Maschenweite) erzielt werden. Die Steifigkeit des Gewebes erlaubt zudem einen gezielten Einbau in der Zugzone.

Abb. 54: Einfluss von Kurzfasern und textiler Bewehrung auf die Biegezugfestigkeiten nach 7 Tagen im Vergleich zu unbewehrten Plattenstreifen

Abb. 55: Einfluss von Kurzfasern und textiler Bewehrung auf die Biegezugfestigkeiten nach 28 Tagen im Vergleich zu unbewehrten Plattenstreifen



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Bewehrter
Holzleichtbeton

5 Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

5.1 Grundsätzliches

Bisherige Forschungsergebnisse zeigen mechanische und bauphysikalische Materialkennwerte und grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton auf. (Schnell erhärtendem) Holzleichtbeton wird eine gute Eignung für den Innenausbau bescheinigt.

Die nachfolgend beschriebenen systematischen Untersuchungen bauen darauf auf und führen diese weiter. Sie gehen ausschließlich von einer Verwendung von Holzleichtbeton als vorgefertigtes Plattenmaterial aus.

5.1.1 An die Platten gekoppelte Funktionen

Ein bestimmtes Leistungsprofil lässt sich durch die vielen Variationsmöglichkeiten der Komponenten des Verbundwerkstoffs im Rahmen der technischen Merkmale und Möglichkeiten einstellen. Die grundsätzlichen und wichtigsten Funktionen (auch in Kombination), die der Werkstoff erwiesenermaßen gut erfüllt, betreffen (Abb. 57):

- vielfältige Gestaltung von Oberflächen
- Schallschutz
- Akustik (mittlere Schallabsorptionsgrade, insbesondere bei offenporigen Oberflächenstrukturen)
- Brandschutz (Klasse A2, nicht brennbar nach DIN 4102)
- Wärmespeicherkapazität (die durch mikroverkapselte PCM-Materialien noch deutlich gesteigert werden kann)
- Regulierung der Raumfeuchtigkeit (die offenporigen Holzbestandteile sind in der Lage, Feuchtigkeit aus der Luft aufzunehmen und wieder abzugeben)

Anforderungen

konstruktiv mitwirkend
nicht konstruktiv mitwirkend
Teil von Feder-Masse-System
kein Feder-Masse-System
optimiert für Schallabsorption
durchschnittliche Schallabsorption
optimiert für Biegezug
geringe Biegezugfestigkeit
hohe Wärmespeicherung mit PCM
geringe Wärmespeicherung
optimiert für Brandschutz
geringe Feuerwiderstandsdauer
optimiert für Feuchteregulierung
durchschnittliche Feuchteregulierung

Abb. 56: Relevante funktionale Aspekte des Plattenmaterials im Innenausbau.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

Als im Innenausbau eher untergeordnete Aufgaben wären noch Wärme- und Feuchtigkeitsschutz und konstruktive Aspekte zu nennen. Durch Textilbewehrungen kann nachweislich die Biegezugfestigkeit angehoben werden, was vor allem bei der Verwendung von auf Biegung beanspruchten Platten als Unterdecken wichtig ist.

Dem bekleidenden Plattenmaterial ist grundsätzlich eine Unterkonstruktion zuzuweisen. Diese ist entweder selbst tragend (z.B. vorhandene Decke, Außenwand, Trennwand) oder bildet mit der Beplankung aus Holzleichtbeton eine konstruktive Einheit. Die Schnittstelle selbst dient dem Ausgleich von Unebenheiten und sollte keine Lasten aus dem Tragwerk an die Platten übertragen. Spielen Schallschutzanforderungen eine bedeutende Rolle, so sollten die Platten möglichst Bestandteil eines Feder-Masse-Systems werden, damit sie als biegeeweiche Plattenabsorber tiefere Frequenzen durch Schwingungen in Bewegungsenergie umwandeln und damit abbauen. Poröse und offenporige Oberflächenstrukturen helfen Schallwellen hoher und mittlerer Frequenz zu absorbieren, was dem Schallschutz (Bauakustik) und einer besseren Raumakustik dienlich ist.

5.1.2 Herstellungstechnik

Im Gegensatz zu zementgebundenen Faserplatten, die in der industriellen Serienfertigung mittels Pressung hergestellt werden, wurden in den Versuchen der letzten Jahre die Holzleichtbetonplatten in oberflächen- und formgebenden Schalungen in Kleinserien gegossen. Vorversuche zu anderen Herstellungstechniken wie Pressen und Strangpressen wurden

durchgeführt¹, aber eine für die Serienproduktion industriell entwickelte und erprobte Herstellungstechnik steht noch aus.

5.1.3 Plattengrößen und -formate

Wie bei anderen Plattenwerkstoffen sind absolute Plattengröße und Seitenverhältnis durch Materialkennwerte wie Schwindverhalten, Biegezugfestigkeit oder spezifisches Gewicht und Aspekte der Herstellung, des Transports und der Montage begrenzt. Größere Formate bedingen grundsätzlich auch größere Materialstärken. Momentan liegen für große (z.B. raumhohe) Plattenformate keine Erfahrungen vor. Materialstärke und Zusammensetzung des Kompositwerkstoffs lassen sich jedoch grundsätzlich darauf abstimmen.

Die Beanspruchung auf Biegung (bei Deckenplatten) erfordert andere Materialdicken und Biegezugfestigkeiten als bei einer Verwendung als Wandelement. Bei vollflächig mit dem Untergrund verklebten Platten lässt sich die Materialstärke allein nach Anforderungen des Transports minimieren.

Je nach Aufgabenstellung und gestalterischer Intention wird die Plattenanordnung und -aufteilung von kleinteilig bis großflächig variieren. Aus früheren Versuchen liegen Erfahrungen mit Plattengrößen bis ca. 50 x 120 cm vor².

5.1.4 Oberflächen, Kanten

Hochwertige und vielseitig gestaltbare Oberflächen legen den exponierten Einsatz des Plattenmaterials nahe, das seine Ästhetik aus der Eigenfarbigkeit und Struktur der miteinander vermischten Komponenten bezieht.

Geometrische Aspekte

eine Sichtseite
zwei Sichtseiten
flächig durchlaufend
partiell
einlagig
mehrlagig
parallel zur Wandfläche
nicht parallel zur Wand
plan
gekrümmt
offene Fugen
nicht offene Fugen
geschlossene Fläche
durchbrochene Fläche

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

Abb. 57: Geometrische Aspekte im Überblick

¹ Musso et al. (2009), S.105

² Musso et al. (2009), S.106

Plastisch strukturierte Schalungsoberflächen eröffnen zusätzliche Variationsmöglichkeiten. Nicht durch die Schalung beim Herstellen begrenzte Oberflächen werden vorzugsweise als 'Rückseite' eingesetzt oder müssen ggf. für eine sichtbare Verwendung nachbearbeitet werden.

Die konventionell geschalteten Platten müssen nach dem Ausschalen aushärten und trocknen, dabei treten Schwindprozesse auf, die teils erst nach Wochen zum Füllstand kommen.

Grundsätzlich lassen sich alle Oberflächen bzw. Kanten durch weitere geeignete Verfahren, die sowohl der Holz- wie auch der Biontechnologie entstammen können, bearbeiten u.a.:

- Sägeschnitte
- Sandstrahlen
- Schleifen
- Bürsten
- Stocken
- Ansäuern

Mittels Sägeschnitte lassen sich nach dem Austrocknen und Schwinden maßgenaue Plattenformate und nachträgliche Falze schneiden. Das partielle Entfernen von abgebundenem Zementleim an den Oberflächen lässt die Zuschlagstoffe visuell und funktional stärker zur Geltung kommen. So verbessert eine poröse Oberflächenstruktur das Vermögen zur Schallabsorption und zur Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit durch die Zuschlagstoffe aus Holz³.

Durch Wahl des (schnell erhärtenden) Zements und durch Zugabe von Pigmenten ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der Farbgebung.

Bei allen folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Werkstoffplatten mit exponierten Oberflächen und somit nicht mit deckenden Beschichtungen oder Spachtelungen oder weiteren Bekleidungen im Gebäudeinneren zur Anwendung kommen. Davon ausgenommen sind transparente Beschichtungen, welche die Haftung von möglichen Verunreinigungen herabsetzen und eine bessere Reinigung und Pflege der Oberflächen gewährleisten.

5.1.5 Weitere geometrische Aspekte

Verwendung von Holzleichtbetonplatten im Innenausbau bedeutet, dass die Platten Bestandteil von inneren Hüllen (Decken und Innenwände) und auch äußeren Hüllen (Außenwände, Dächer), sofern innenseitig angeordnet, werden.

Eine von der Raumseite sichtbare, exponierte Plattenlage weist der Platte eine geometrisch eindeutige Lage zu, als Bodenbelag, Unterseite einer Decken- oder Dachkonstruktion, einseitige oder zweiseitige Beplankung einer Innenwand oder als innenseitige Bekleidung einer Aussenwand. Auch wenn schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts sogen. Steinholz⁴ als Bodenbelag verwandt wurde, soll der Anwendungsfall als Bodenbelag in diesen Untersuchungen ausgeklammert bleiben.

Bei Einsatz der Platten nicht parallel zur Ebene der Unterkonstruktion (z.B. als Schallbrechende und absorbierende Lamellen) werden voraussichtlich beide Seiten sichtbar angeordnet.

Mehrlagige Anordnungen überdecken auch Oberflächen, die dann nur geringen Anforderungen genügen müssen.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

³ Krippner (2004) und Musso et al. (2009)

⁴ Krippner (2004)

Neben ebenen flächigen Geometrien sind auch einachsig oder zweiachsig gekrümmte Bekleidungen denkbar.

Da bisher keine Materialunverträglichkeiten bekannt sind Holzleichtbetonlatten auch mit anderem Plattenmaterial kombinierbar.

5.1.6 Befestigung

Ergänzend zu trockenen Montageweisen kann es auch sinnvoll sein, die Holzleichtbetonplatten in einem nassen Mörtel- bzw. Klebebett zu befestigen. Nach Abbinden und Trocknen der Platten sind nur geringe thermische und hygri-sche Volumenänderungen zu erwarten. Die daraus resultierenden Spannungen werden voraussichtlich gering sein und durch die elasto-mechanischen Eigenschaften des Materials aufgenommen. Dabei entfallen sichtbare Befestigungsteile und bei vollflächigem Mörtelbett entstehen keine Hohlräume.

Muss mit Längenänderungen z.B. aus der Unterkonstruktion gerechnet werden, sind entsprechend gleitende Befestigungen (mit Fixpunkt und Gleitpunkt) vorzusehen.

Befestigungen der Platten sind mit Schrauben und Rillennägeln möglich, vorzugsweise mittels vorgebohrter Löcher, um Abplatzungen zu vermeiden.

Wie im Montagebau oft üblich, kann die Befestigung mit der Fügung gekoppelt werden. So können z.B. sichtbare Abdeckungen der Fuge gleichzeitig die Halterung der Platten übernehmen oder es werden versteckte Halteklammern in gefalzten Fugenstößen verwendet.

Die Aufnahme von Vertikalkräften bei Wandbekleidungen kann zusätzlich Konsolen erfordern.

In jedem Fall sollte die Befestigung auch eine gute Justierung der Platten ermöglichen, insbesondere wenn ein gleichmäßiges Fugenbild gefordert ist (Abb. 58).

Lamellenartig, senkrecht oder schräg zu Flächen angeordnete Platten erfordern eigene Befestigungslösungen. Ebenfalls haben Brandschutzanforderungen Einfluß auf die Art der Befestigung.

5.1.7 Fugenausbildung

Alle im Montagebau üblichen Techniken beim Fügen von Plattenmaterial sind grundsätzlich anwendbar.

Die Ausbildung und Anordnung der Fugen prägen maßgeblich das Erscheinungsbild einer aus einzelnen Platten gefügten Fläche. Je nach Situation und Anforderungen sind offene oder geschlossene Fugen sinnvoll bzw. notwendig.

So erfordern Schallschutzanforderungen in aller Regel geschlossene Fugen, welche mittels Dichtmassen oder -profilen, am besten in Verbindung mit überlappenden Geometrien umgesetzt werden. Weitergehende Anforderungen an die Fugen leiten sich aus Brandschutzanforderungen her, bezüglich Brennbarkeit, Rauchdichtigkeit und ggf. Feuerwiderstandsdauer.

Dem Wunsch nach Schattenfugen kann durch geeignetes Hinterlegen der Fuge entsprochen werden, um die Schwachstelle zu überbrücken bzw. zu kompensieren. Materialien mit hoher Feuerwiderstandsdauer wie z.B. Promat-Platten bieten sich in diesem Zusammenhang an (siehe dazu Fallbeispiele der Abb. Abb. 60) Fallunterscheidungen zur Ausführung von Plattenstößen. Teils sind die Stöße 'fliegend' ausgeführt, teils sind sie

Befestigung

trocken
naß
sichtbar
verdeckt
punktuell
linear
flächig
gut lösbar
aufwendig lösbar
nicht zerstörungsfrei lösbar

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

Abb. 58: Merkmale von Befestigungen im Überblick

durch eine Unterkonstruktion (ob z.B. Pfosten, Platte oder Wandbauteil) hinterlegt.“ auf Seite 55). Decken sich die Plattenstöße mit einer Unterkonstruktion, die vergleichbare bauphysikalische Eigenschaften wie das Plattenmaterial besitzt, so werden die geforderten Eigenschaften z.B. hinsichtlich Brand- oder Schallschutz noch einfacher im Fugenstoß garantiert.

Bei der Fügung und dem Anschluß zu angrenzenden Bauteilen gelten ähnliche Gesetzmäßigkeiten. Die aus dem Trockenbau (z.B. mit Gipskartonwänden) bekannten Standardlösungen zeigen auf, wie bei Anschlüssen Toleranzen aufgenommen, gleitende Bewegungen ermöglicht, Wandstärken reduziert und auch bei Schattenfugen gestalterisch anspruchsvolle Lösungen beschriftet werden, bei gleichzeitiger Einhaltung normierter Schall- und Brandschutzanforderungen.

Bei sogenannten 'fliegenden' (nicht hinterlegten) Stößen stellt die Dichtigkeit grundsätzlich ein technisch größeres Problem dar, gerade in Verbindung mit der Notwendigkeit, Bewegungstoleranzen aufnehmen zu können. Hierbei ist eine Schwachstelle bezüglich Schall- und Brandschutz oft kaum zu vermeiden. Wie weit sie nachteilig zum Tragen kommt, hängt ganz vom Fugenteil im Verhältnis zur Fläche ab.

Für Verfugungen mittels Dichtmasse bieten sich Produkte auf Silikonbasis an, die auch die Anforderung B1 (schwer entflammbar) erfüllen. Vorher müssen die Flanken für eine bessere Haftung grundiert (mit sogenannten Primern) und der Flächenstoß z.B. mit vorkomprimierten Fugenbändern hinterfüllt werden.⁵

⁵ Plattenstöße in Verbindung mit Brandschutzanforderungen dauerelastisch zu schließen. empfiehlt die Firma Otto-Chemie die als Dichtmasse das Produkt

Im Gegensatz zu Anforderungen, die im Außenbereich durch den Feuchtigkeitsschutz entstehen, erlaubt die Anwendung im Innenausbau viel größeren Gestaltungsspielraum bezüglich Fugenausbildung und Oberflächenbehandlung (Abb. Abb. 60).

offener Flächenstoß

einfacher Spalt
schräger Spalt
gestaffelter Spalt

geschlossener Flächenstoß

Platten überlappend
Falz überlappend
gespundet
Nut und Feder
mit Profil(en) abgedeckt
Dichtmasse
Dichtungsprofil

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

Abb. 59: Merkmale von Flächenstößen im Überblick die meisten Prinzipien sind miteinander kombinierbar

S94 (auf Silikonbasis), das die Anforderung B1, schwer entflammbar, erfüllt. Als Hinterfüllmaterial sind vorkomprimierte Fugenbänder, Produkt BG1 Telefonat mit Herrn Bechmann, 25.11.2010 Kontakt: Tel. 08686 / 908-0 E-Mail: frank.bechmann@otto-chemie.de

Plattenstoß selbst
offen



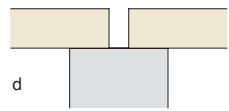
a



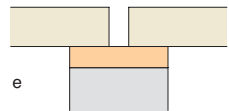
b



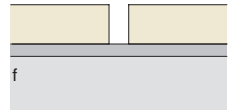
c



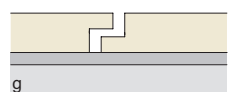
d



e

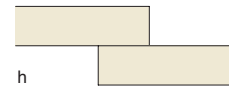


f

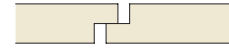


g

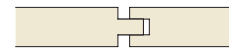
überlappender
Plattenstoß



h



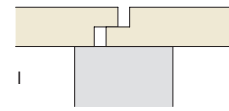
i



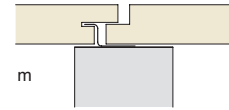
j



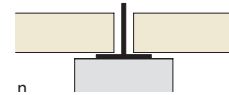
k



l

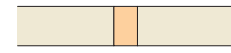


m



n

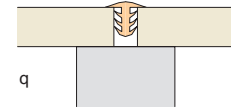
Plattenstoß mit
Dichtelement



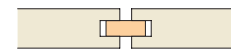
o



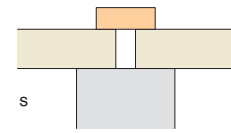
p



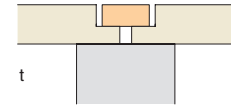
q



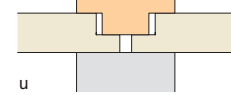
r



s



t



u

Abb. 60: Fallunterscheidungen zur Ausführung von Plattenstößen. Teils sind die Stöße 'fliegend' ausgeführt, teils sind sie durch eine Unterkonstruktion (ob z.B. Pfosten, Platte oder Wandbauteil) hinterlegt.

- Linke Spalte (a - g): Plattenstoß offen, erst eine Überlappung mit der Unterkonstruktion schließt die Fuge.
- Mittlere Spalte: (h - n): Platten selbst überlappend, einfach oder mehrfach, in einer oder zwei Ebenen.
- Rechte Spalte (o - u): Die Fugenschluss mit Dichtelementen (a, p, q, f) oder mittels Deckprofile und Anpreßdruck. Zwischen den überlappenden Flächen zusätzlich eingelegte Dichtelemente wie Fugenprofile oder komprimierbare Bänder erhöhen die Dichtigkeit der Stöße.

Im Einzelnen:

- a offene Fugen mit parallelen Kanten
- b offene Fuge mit schrägem Spalt
- c offene Fuge mit überlappendem Falz
- d offener Fugenstoß, von der Unterkonstruktion abgedeckt
- e offener Fugenstoß, von der Unterkonstruktion und zusätzlich mit leistungsfähigem Material (z.B. Promat-Werkstoff für den Brandschutz) hinterlegt
- f offener Fugenstoß vor flächiger Unterkonstruktion (z.B. massive Wand oder Decke), Platten vollflächig ohne Hohlräume vermörtelt / verklebt. Die Fuge könnte zusätzlich noch mit geeignetem Material verfügt werden
- g offener Fugenstoß mit überlappenden gefalzten Plattenrändern vor flächiger Unterkonstruktion, Platten vollflächig ohne Hohlräume vermörtelt / verklebt.
- h überlappende Platten, ohne zusätzliche Abdichtung, Dichtwirkung abhängig von Toleranzen der Plattenoberflächen, kann durch Anpreßdruck verbessert werden (dann aber geht gleitende Wirkung verloren)
- i überlappende gefalzte Platten, ohne zusätzliche Abdichtung, Dichtwirkung abhängig von Toleranzen der Plattenoberflächen, kann durch Anpreßdruck verbessert werden (dann aber geht gleitende Wirkung verloren)
- j gespundete Fügung, Schwächung des Querschnitts erfordert eine feste Abfolge von Montage und zerstörungsfreier Demontage
- k durch Z- oder H-Profile wird die Fuge überdeckt, gleitende Bewegungen möglich
- l überlappende gefalzte Platten vor Unterkonstruktion
- m überlappende gefalzte Platten vor Unterkonstruktion, über verdeckte Halteklammern Fixierung einer Plattenkante, während die andere gleitend gelagert wird, Montage und zerstörungsfreie Demontage müssen in fester Reihenfolge ausgeführt werden
- n Plattenstoß, mittels T-Profil in der Fuge und Unterkonstruktion hinterlegt
- o Fuge mit dauerelastischer Dichtmasse, die geringfügige Relativbewegungen zulässt
- p Fuge mit Kammerprofil, das sich an die Plattenkanten anlegt und Relativbewegungen der Platten zulässt
- q Fuge mit Tannenbaumprofil, das geringfügige Relativbewegungen der Platten zulässt
- r Nut und Feder-Lösung, Schwächung des Querschnitts, gleitende Bewegungen möglich
- s Plattenstoß vor Unterkonstruktion, mit Deckprofil abgedeckt, gute Aufnahme von Bauteiltoleranzen und Bewegungen
- t Plattenstoß vor Unterkonstruktion, gefalzte Plattenränder, mit bündigem Deckprofil, Aufnahme von Bauteiltoleranzen und Bewegungen möglich
- u Plattenstoß vor Unterkonstruktion, gefalzte Plattenränder, mit T-förmigem Deckprofil, mehrstufige Überlappung bei guter Aufnahme von Bauteiltoleranzen und Bewegungen

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Anwendungsmöglich-
keiten im Innenausbau

5.2 Bekleidung von Wänden und Dachkonstruktionen

Die Bekleidung von Wänden und Dachschrägen hat von allen Anwendungsmöglichkeiten für Holzleichtbetonplatten voraussichtlich flächenmäßig den größten Anteil. Bei der Entscheidung für eine exponierte, dem Innenraum zugewandte Holzleichtbetonplatte werden neben vorab beschriebenen funktionalen Schwerpunkten vor allem die gestalterischen Möglichkeiten des Kompositwerkstoffes den Ausschlag geben. Die Ausbildung der Fügung der Platten ist gleichermaßen gestaltungswirksam wie entscheidend für Schall- und Brandschutzverhalten der Holzleichtbeton-Bekleidungen.

Plattenmaterial aus Holzleichtbeton lässt sich grundsätzlich verwenden als Bekleidung von:

- leichten Montageständerwänden
- massiven Innenwänden als Vorsatzschalen
- leichten oder massiven Außenwänden auf der Raumseite
- Decken und Dachkonstruktionen auf der Raumseite

Sofern typische Leichtbaukonstruktionen vorliegen, können die Platten direkt mit den linearen Traggliedern wie Rippen und Ständer verbunden sein.

Mit einem flächigen Untergrund (z.B. Massivkonstruktion oder auch Beplankung einer Montagewand) werden die Platten entweder direkt z.B. mittels Verklebung oder Verschraubung befestigt oder mittelbar über eine zusätzliche lineare Unterkonstruktion. Im letzteren Fall wirkt die Platte als (biege-weiche) Vorsatzschale. Der dabei entstehende Zwischenraum kann Wärmedämmung oder Hohlraumdämpfung aufnehmen und der

Integration von Installationen dienen. Sofern Schall- und Brandschutzanforderungen vorliegen, sind die Platten gesamtflächig und mit geschlossenen Fugen zu verwenden. Ist nur eine Verbesserung der Raumakustik und/oder Regulierung der Raumfeuchtigkeit gewünscht, ist auch ein teilflächiger, partieller Einsatz der Platten möglich (Abb. Abb. 61 + Abb. 62).

Bei der Verwendung als Beplankung von linearen Traggliedern sind meist Fügungsthematik und Befestigung geometrisch und funktional miteinander gekoppelt.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Anwendungsmöglich-
keiten im Innenausbau

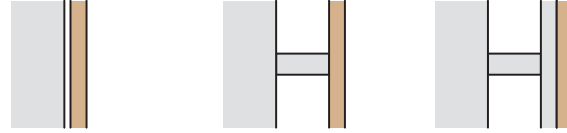
Holzleichtbetonplatten als raumseitige Bekleidung von:

Trennwänden

Ständerwände



Massivbau



**Außenwänden,
Dachkonstruktionen**

Leichtbau

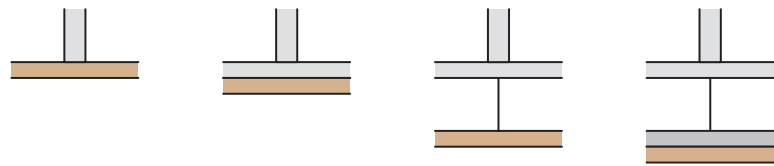


Massivbau

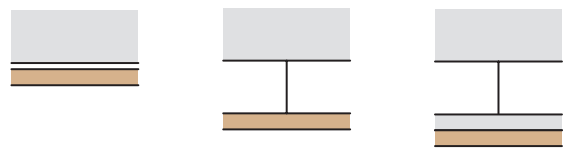


Decken

Leichtbau



Massivbau



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Anwendungsmöglich-
keiten im Innenausbau

Abb. 61: Geometrische Fallunterscheidungen bei der Verwendung von Holzleichtbetonplatten als Bekleidung. Eine direkte vollflächige oder auch partielle Verklebung der Platten mit dem Untergrund (z.B. Betonwand, Mauerwerk, Putzflächen, Leichtbauplatten, Mehrschichtleichtbauplatten mit Dämmkern) kann eine effiziente Lösung sein, sofern Zwangskräfte keine Schäden verursachen und nicht eine zerstörungsfreie Demontage gefordert ist.

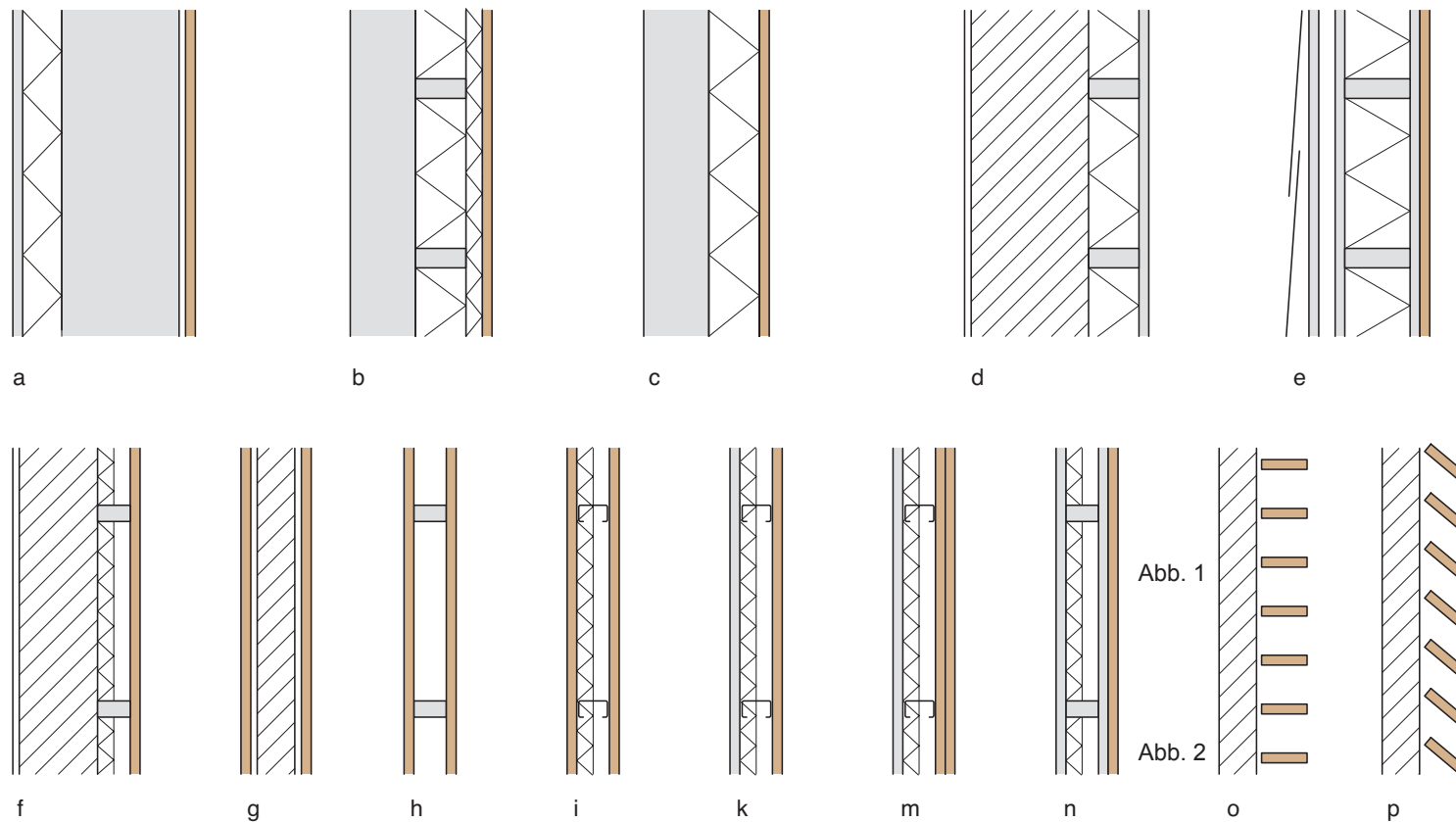


Abb. 62: Fallunterscheidungen von Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbetonplatten bei Wandkonstruktionen mit typischen Aufbauten. Bei allen Beispielen werden meist mehrere Aufgaben gleichzeitig erfüllt.

- a Innenseitige Bekleidung, z.B. flächig mit Untergrund verklebt, zur Bekleidung von Wandinnenseiten (z.B. Betonwänden), Abdeckung von Dampfsperren usw.
- b Innenseitige Vorsatzschale bei nachträglicher Dämmung einer Außenwand aus Beton, bei gleichzeitigem Erhalt der Charakteristik von Sichtbetonflächen
- c Innenseitige Bekleidung von Mehrschichtleichtbauplatten mit Dämmkern, befestigt durch Klebung
- d Innenseitige Vorsatzschale bei nachträglicher Dämmung einer Außenwand aus Mauerwerk
- e Innenseitige Beplankung einer gedämmten Leichtbauwand, ggf. auch zur Verbesserung von Wärmespeicherfähigkeit und Raumakustik
- f Einseitige Beplankung einer vorhandenen Trennwand aus Mauerwerk, zur Verbesserung des Schallschutzes und der Raumakustik
- g Zweiseitige Beplankung einer vorhandenen Trennwand zur Verbesserung des Schall und Brandschutzes sowie der Raumakustik
- h Direkt und zweiseitig beplankte Ständerwand
- i Direkt und zweiseitig beplankte Ständerwand mit Hohlraumdämmung
- k Einseitig beplankte Ständerwand mit Hohlraumdämmung
- m wie bei k, zur deutlichen Verbesserung des Brand- und Schallschutzes wird eine Seite mit zwei Lagen bekleidet
- n Einseitige zusätzliche Beplankung einer leichten Trennwand, Verbesserung von Schallschutz und Raumakustik
- o Verwendung von Lamellen zur Verbesserung der Raumakustik, ggf. Speicherfähigkeit und Regulierung der Raumfeuchtigkeit; Lamellen in engen Abständen stellen große Oberflächen bereit
- p wie bei o, jedoch geneigte Anordnung

5.3 Deckenbekleidungen

Für raumseitige Bekleidungen bzw. Belegungen von Deckenkonstruktionen sind grundsätzlich ähnliche funktionale Aspekte wie bei Wandbekleidungen wirksam. Im Gegensatz zu Wandaufbauten ist der Lagenaufbau von Decken allerdings asymmetrischer Natur und es kommen einige besondere Aspekte dazu, die sich auch auf die bekleidenden Platten selbst auswirken können.

5.3.1 Besondere Aspekte

Durch die horizontale Lage von unterseitigen Deckenlagen ergeben sich konstruktive Besonderheiten:

- die Bekleidungen können über Hänger an Tragprofilen (Grundprofilen) befestigt werden und wirken somit uneingeschränkt als biegeweiße Schalen, mit guter Wirksamkeit für den Schallschutz
- die Platten werden zusätzlich auf Biegung beansprucht dabei ist die Spannweite mit der zweiten Potenz zu beachten

Bei fast allen Bauaufgaben stellen Deckenkonstruktionen Brandabschnitte dar, meist wird bei mehrgeschossigen Gebäuden von den Decken eine Brandwiderstandsdauer von F90 gefordert.

Bei Leichtbaukonstruktionen und aufgelösten Deckenkonstruktionen (z.B. Rippendecken) aus Stahlbeton erfüllen Unterdecken wichtige Aufgaben beim Schall- und Brandschutz.

Der sogen. Unterdeckenraum eignet sich sehr gut für die vom Rauminnern nicht sichtbare Integration von Installationen, besonders für Lüftung und Beleuchtung.

Wärmeschutzmaßnahmen sind gegen unbeheizte (Keller-)Räume gefordert.

Bei thermisch aktivierten Decken ergeben

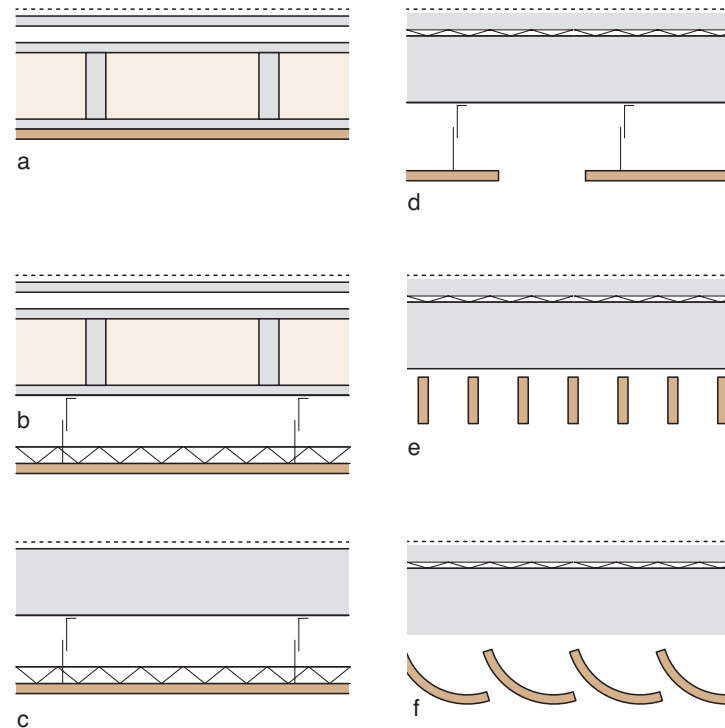


Abb. 63: Schematische Darstellung von typischen Einbausituationen

- a direkt und hohlraumfrei mit dem Deckenaufbau gekoppelte Platte, z.B zur Verbesserung der Raumakustik und des Brandschutzes
- b biegeweich abgehängte Lage, mit Hohlraumdämpfung, Raum für Installationen
- c biegeweich abgehängte Lage, mit Hohlraumdämpfung, Raum für Installationen
- d partiell abgehängte Einzelflächen
- e Lamellen zur Verbesserung der Raumakustik, auch bei thermisch aktivierten Decken einsetzbar
- f gekrümmte Geometrien, um Schallwellen zu streuen bzw. zu absorbieren

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

sich mit Unterdecken Konflikte, der Einsatz von z.B. Lamellen zur Schallabsorption schließt sich aber grundsätzlich nicht aus.

Bei Unterdecken ist im Gegensatz zu Wandflächen die Gefahr von Verschmutzungen von reliefartigen Oberflächen durch Staubablagerungen äußerst gering.

5.3.2 Einbausituationen und Aufbauten

Die Holzleichtbetonplatten werden direkt an der Deckenkonstruktion befestigt oder von Grundprofilen, die von der tragenden Decke abgehängt sein können, unterstützt. Dabei werden Einlegesysteme, Klemmsysteme und Einhängesysteme unterschieden. Grundsätzlich sind die meisten am Markt angebotenen Halterungssysteme für Plattenmaterial (z.B. Gipskartonplatten) auch mit Holzleichtbetonplatten umsetzbar.

Da die Montage von Deckenelementen über Kopf erfolgt, spielt das absolute Flächengewicht und somit die Größe des Formats im Gegensatz zu Wandelementen eine größere Rolle. So kann das Einlegen oder Einhängen von Platten eine deutliche Montageer-

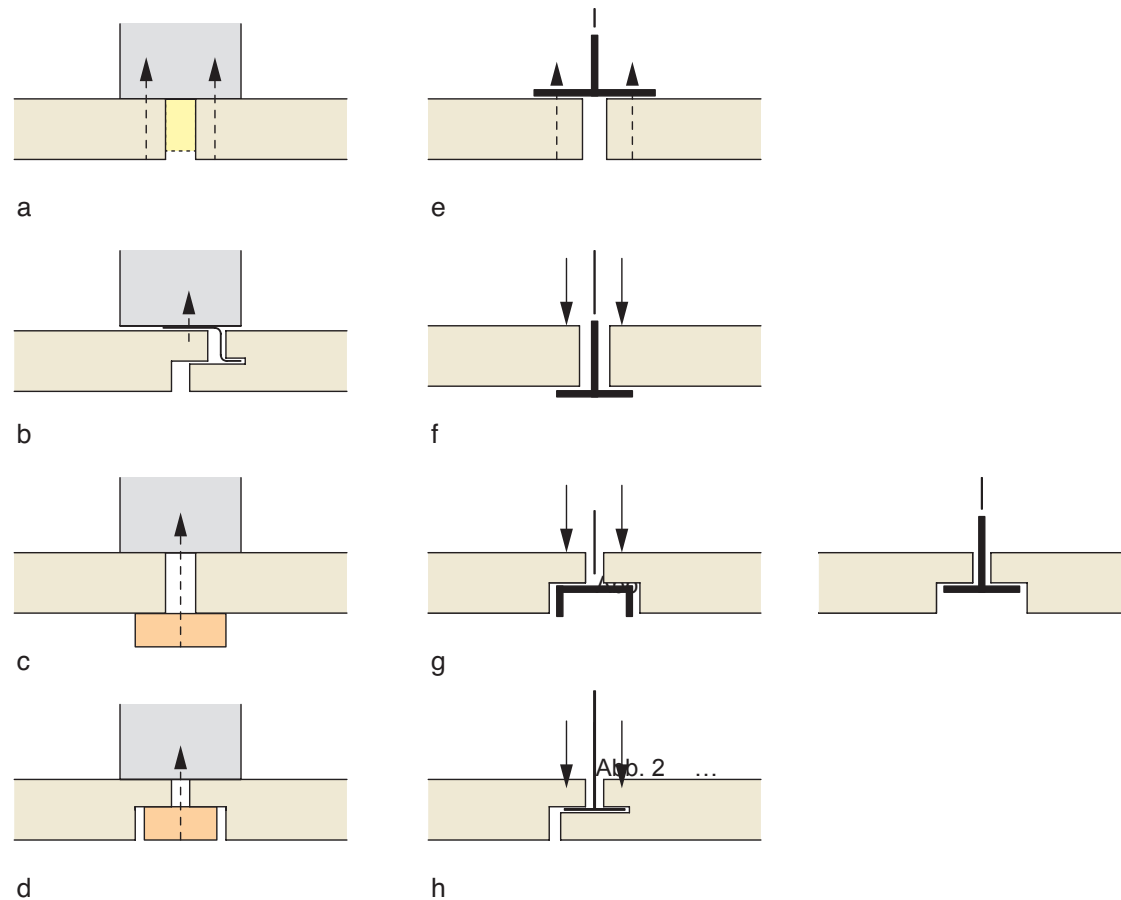


Abb. 64: Fügung und Befestigung von Deckenplatten, Fallunterscheidungen in schematischer Darstellung

Fig. a bis e: Die Platten müssen von unten gegen die Schwerkraft mit auf Zug beanspruchbaren Verbindungen befestigt werden

Fig. g bis h: Die Platten werden durch ihre eigene Schwerkraft in ihrer Lage gesichert.

a Stoß auf Unterkonstruktion (z.B. Holzrippen einer Deckenkonstruktion), sichtbare Verschraubung, Schattenfuge oder Fugen mit Dichtmasse

b Stoß auf Unterkonstruktion, gefaltete und überlappende, nicht sichtbare Befestigung mit Schattenfuge, die Platten selbst können formschlüssig eingeschoben werden und sind dann sofort stabilisiert, was die Überkopfmontage erleichtert (Einhängesystem)

c Stoß auf Unterkonstruktion, ggf. direkte Befestigung, Abdeckung der Fuge mit einem Profil

d Stoß auf Unterkonstruktion, ggf. direkte Befestigung, Platten mit Falz, Abdeckung der Fuge mit einem zur Plattenebene bündigen Profil

e hängendes Tragprofil (Grundprofil) mit unterseitiger sichtbarer Befestigung der Deckenplatten, Schatten-

fuge oder Fuge mit Hinterlegeband und Dichtmasse verfüllt

f hängendes sichtbares Tragprofil (Grundprofil), das die Fuge abdeckt, Platten werden von oben eingelegt (Einlegesystem)

g hängendes sichtbares Tragprofil (Grundprofil), das die Fuge abdeckt, Einlegesystem, Platten gefaltzt, akzentuiertes profiliertes Grundprofil

h nicht sichtbare Befestigung, genutete bzw. gefaltete Platten werden von der Seite eingehängt (Einhängesystem)

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

leichterung darstellen, da die Platte sofort in ihrer Lage stabilisiert ist; ist die Geometrie formschlüssig angelegt, erübrigen sich meist weitere Befestigungen.

Fugen und ggf. sichtbare Tragprofile gliedern die Unterseiten der Decken.

Perforierte Platten mit Auflagen aus weichen, Schall absorbierenden Matten verbessern Schallschutz und Raumakustik. Geht es nur um die Verbesserung der Raumakustik, können die Platten auch teilflächig und in anderen Lagen als nur parallel zur Deckenfläche angeordnet werden.

Als Lamellen senkrecht zur Deckenfläche verwendet, ergeben sich je nach Blickwinkel sehr unterschiedliche Ansichten mit ganz, teilweise oder überhaupt nicht sichtbaren Deckenunterseiten. Beleuchtungskörper lassen sich weitgehend blendfrei in den Zwischenräumen anordnen.

5.3.3 Fügung und Befestigung

Die Fugen sind offen oder geschlossen gehalten, je nachdem ob Brand- und/oder Schallschutzmaßnahmen gefordert sind. Die Ausbildung der Fugen kann nach den selben Prinzipien wie bei Wandbekleidungen erfolgen. Die Option der hängenden Tragprofile, die Möglichkeit gravitationsschlüssiger Verbindungen, aber auch der Umstand der Überkopfmontage führen allerdings zu teils anderen Montage- und Befestigungslösungen (Abb. 64).

5.3.4 Bewertung von Anwendungsfällen

Zugunsten der Übersichtlichkeit der tabellarischen Aufstellung wird auf eine Differenzierung nach offenen und geschlossenen Fugen verzichtet. Es wird vorausgesetzt, dass die

Fügungen den Anforderungen entsprechend ausgeführt sind.

Die vorgenommenen Einschätzungen bedeuten:

- + deutliche Verbesserung der Funktion
- o keine deutliche Verbesserung der Funktion
- keine Verbesserung der Funktion

Grundsätzlich können viele der aufgezeigten Anwendungen auch mit anderen Plattenmaterialien wie Gipskartonplatten oder Holzwerkstoffplatten ausgeführt werden. Allerdings zeigt der Verbundwerkstoff Holzleichtbeton sehr ausgewogene (universelle) Merkmale, die sowohl dem Schallschutz, der Raumakustik, der Regulierung der Raumfeuchtigkeit und in bestimmten Fällen auch der Wärmespeicherfähigkeit zugute kommen.

All diesen funktionalen Aspekten sind die Gestaltungsmöglichkeiten und ästhetischen Merkmale als wichtigstes Entscheidungskriterium vorangestellt und deshalb auch nicht eigens in der Tabelle aufgelistet.

Die vorgenommenen Klassifizierungen und Fallunterscheidungen verdeutlichen, dass der Verbundwerkstoff als (faserbewehrtes) Plattenmaterial grundsätzlich bei allen typischen Aufgabenstellungen des Innenausbau einsetzbar ist.

Nach jetzigem Stand der Untersuchungen und experimentellen Arbeiten kann gesagt werden, dass die Materialzusammensetzungen, Oberflächenbeschaffenheiten, Plattenformate, Fugenausbildungen und -anordnungen sowie die Befestigungsmöglichkeiten sich sehr vorteilhaft und zielgenau für die gewünschten Funktionen und gestalterischen Absichten kombinieren lassen.

Praktische Anwendungen in kleinen Versuchsanordnungen und das Demonstrationsobjekt an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg sollen die Einschätzungen überprüfen und veranschaulichen.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anwendungsmöglichkeiten im Innenausbau

Bauteil***	Anwendung als	Neubau	Sanierung	Wärmeschutz	Schallschutz	Raumakustik	Regulierung der Raumfeuchte	Wärmespeicherfähigkeit	Brandschutz	Integration von Installidioten
Trennwände										
Leichte Ständerwände	direkte Beplankung der linearen Unterkonstruktion	+	o	-	+	+	+	+	+	-
	ergänzende Bekleidung	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	partielle Belegung, auch andere Lagegeometrien als parallel zur Wandfläche	+	+	-	-	+	+	+	-	o
Massive Innenwände	direkte Bekleidung ohne zusätzliche Unterkonstruktion	o	+	-	+	+	+	-	o	-
	Bekleidung als Vorsatzschale	o	+	-	+	+	o	o	o	+
	partielle Belegung, auch andere Lagegeometrien als parallel zur Wandfläche	+	+	-	-	+	+	o	-	o
Außenwände Dachkonstruktionen										
Leichtbau	direkte innenseitige Beplankung der linearen Unterkonstruktion	+	o	-	+	+	+	+	+	-
	ergänzende innenseitige Bekleidung	+	+	-	+	+	+	+	+	-
Massivbau	innenseitige direkte Bekleidung ohne zusätzliche Unterkonstruktion	+	+	-	+	+	o	o / -	+	-
	innenseitige Bekleidung von formstabilen Dämmplatten ohne weitere Unterkonstruktion	o	+	+	+	+	o	o	+	-
	innenseitige Vorsatzschale mit Unterkonstruktion, ohne Innendämmung	o	+	-	+	+	+	o / -	+	+
	innenseitige Vorsatzschale mit Unterkonstruktion, mit Innendämmung	o	+	+	-	+	+	o	+	+
	Innenseitige partielle Belegung, auch andere Lagegeometrien als parallel zur Wandfläche	+	+	-	-	+	+	o	-	o
Decken										
Leichtbau	direkte unterseitige Beplankung der linearen Unterkonstruktion	+	o	-	+	+	+	o	+	-
	ergänzende unterseitige Bekleidung	+	+	-	+	+	+	o	+	-
Massivbau	direkte unterseitige Bekleidung ohne zusätzliche Unterkonstruktion	o	+	-	+	+	+	+	+	-
Leichtbau / Massivbau	abgehängte Deckenlage	+	+	o	+	+	+	o / -	+	+
	ergänzende Deckenlage einer abgehängten Unterdecke	+	+	o	+	+	+	o / -	o	+
	partielle Belegung, auch andere Lagegeometrien als parallel zur Deckenunterseite	+	+	-	-	+	+	+	-	o

6 Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

6.1 Situation, Vorgehen und Zielsetzung

Das Demonstrationsprojekt soll typische Materialeigenschaften und charakteristische ästhetische Gestaltungsmerkmale von Holzleichtbetonplatten in Abgrenzung zu der großen Bandbreite vorhandener Produkte für plattenförmige Wand- und Deckenbekleidungen signifikant aufzeigen. Dabei ist ein günstiges Verhältnis von Aufwand und erzielter Wirkung anzustreben.

Aufbauend auf der bisher geleisteten Forschungsarbeit und den getroffenen Einschätzungen werden in einem ersten Schritt mit den zur Verfügung stehenden technischen Einrichtungen der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg Bemusterungen in Varianten vorgenommen und in sogen. Musterkästen dokumentiert. Sie bestehen aus Kombinationen unterschiedlicher Holzleichtbetonplatten mit variierenden Lösungen bei Fügung und Befestigung. Die daraus resultierenden Fallstudien sind wiederum Grundlage für die Ausführung des Demonstrationsprojekts als Wand- und Deckenbekleidung für das Arbeitszimmer B46.

Zusätzliche Anforderung: Charakteristika des Raumes sollen sich in der Lösung widerspiegeln; gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die Wandelemente auch in andere Räumlichkeiten der Fakultät für Architektur transloziert werden und auch dort auf spezifische örtliche Merkmale antworten können.

Daher liegt es nahe, ein Baukastensystem zu entwickeln, das effektiv und unproblematisch den verschiedenen Anforderungen gerecht wird.

6.1.1 Lastenheft

Folgende Anforderungen an das Demonstrationsprojekt lassen sich in Kurzform als Lastenheft zusammenfassen:

- keine 'Musterwand', die mit zu vielen Varianten der Anwendung überfrachtet wird
- Bekleidung nur einer Längswand ausreichend
- einfache Montage und Demontage sollen möglich sein
- Translozierbarkeit, die modulare Ordnung soll flexibel gewählt sein
- die Integration von Ablagen, zumindest bis Tischhöhe, ist zu untersuchen
- die Integration von Vorrichtungen zum Aufhängen, Befestigen von Plänen, Plakaten etc. ist zu untersuchen
- Deckenbekleidung, nur abschnittsweise; Behandlung der Decke spielt im Vergleich zur Wandbekleidung eine untergeordnete Rolle
- technische und gestalterische Charakteristika von (faserbewehrtem) Holzbeton als Plattenmaterial für den Innenausbau sollen aufgezeigt werden
- die Fugen können offen sein, ohne weitere funktionale Anforderungen
- Plattenformate im Rahmen der Herstellungsmöglichkeiten des Betonlabors an der OHM-Hochschule, keine Vorgaben
- Plattenstärke mind. 15 mm, je nach Format und Fugenausbildung
- faserbewehrte Mischungen, mit Weißzement oder grauem Zement (ggf. auch mit Einfärbung)
- plastische Oberflächengestaltungsmöglichkeit(en) sollen aufgezeigt werden
- Oberflächen und Farbgebung: keine Vorgaben
- zwängungsfreie Lagerung und Fugenausbildung (Schwinden/Quellen der Holz-

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und
Demonstrationsprojekt

- leichtbetonplatten)
- leichte Austauschbarkeit ist wünschenswert, um ggf. auch schnell Varianten der Anordnung testen und dokumentieren zu können
- Ränder: Stufenfalz und Nuten sind möglich, auch durch nachträgliche Bearbeitung (Sägeschnitte)
- Integration von weiteren Plattenmaterialien soll untersucht werden, auch um Kombinationsmöglichkeiten aufzuzeigen

6.1.2 Arbeitsraum B46

Der schmal geschnittene Arbeitsraum liegt im dritten Obergeschoss des B-Baus. Er öffnet sich mit einer großzügigen Verglasung ab Brüstungshöhe nach Südwesten. Auf der Zugangsseite befinden sich farblich zur Wand abgesetzte Wandschränke (als Garderobe und für Bücher und Akten) und ein Handwaschbecken. Mittig zentriert dominieren zwei großzügige Tischplatten auf Stahlrohrgestellen den Raum. An ihnen kann gearbeitet werden, viele kleine einfache Hocker erlauben auch Beprechungen mit mehreren Personen. Die dunklen Tischflächen dienen auch als temporäre Ablagen, solange es kaum ein Angebot an offenen Regalen gibt. Muster zu Holzleichtbeton-Anwendungen werden auf einer Wandseite gelagert. Der Gesamteindruck ist als sehr 'sachlich' zu charakterisieren.

Markante Höhenbezugspunkte sind:

- Tischkanten
- Abschluss des graublauen Einbauschranks
- Fensterbrüstung
- Kämpfer des Fensters
- Unterkante Fenstersturz



Abb. 65: Arbeitsraum B46 an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg, Blick in Mittelachse zum Fenster



Abb. 66: Arbeitsraum B46, Blick vom Fenster zur Zugangsseite mit Wandschrank und Waschbecken.

Die Decke wird durch zwei Leuchten etwas gegliedert, mittig quert auf der Deckenunterseite eine sichtbar verlegte Leitung mit einem in der Mitte zentrierten Rauchmelder.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

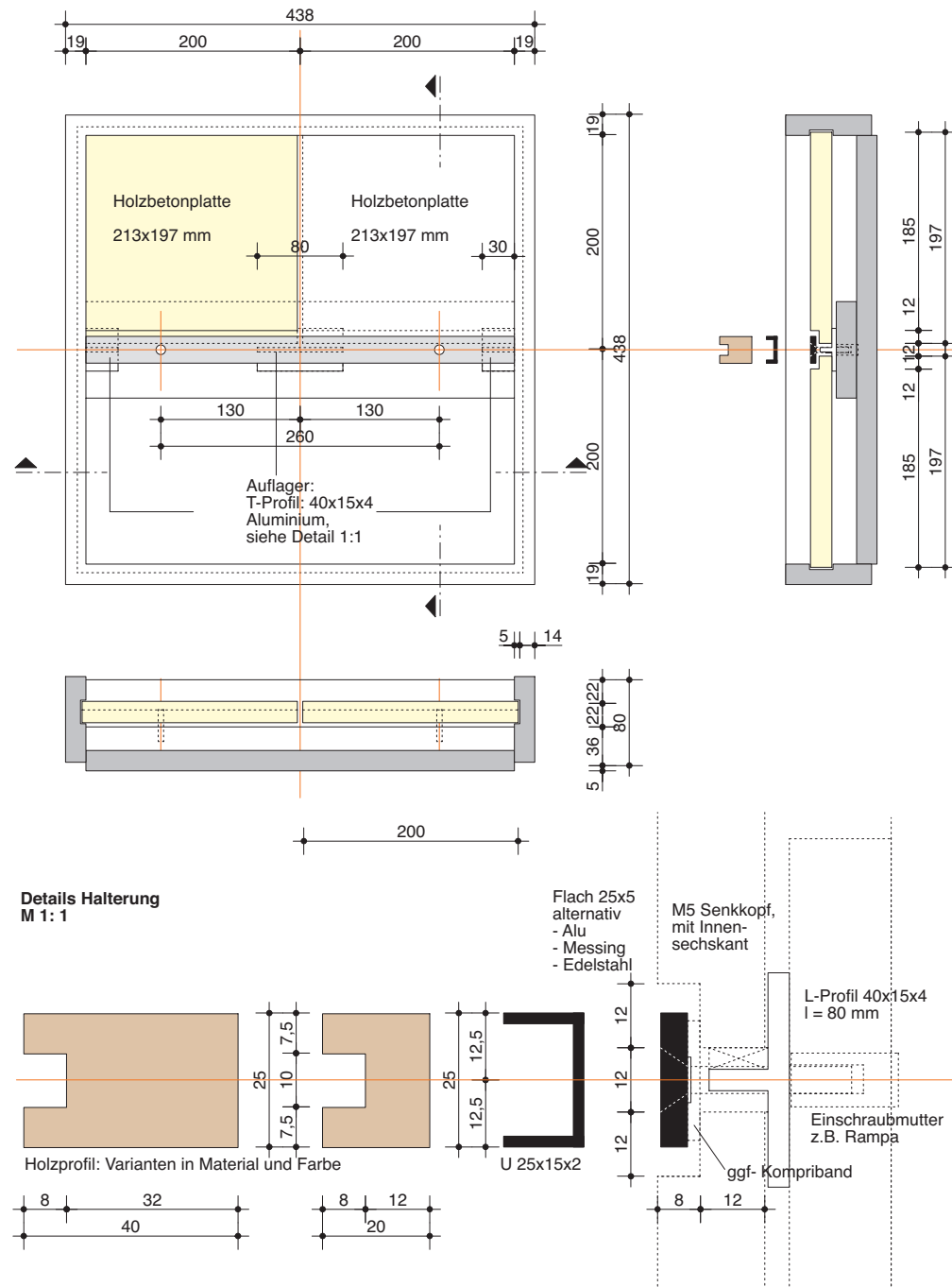
6.2 'Musterkästen' und Varianten für die Demonstrationswand

Die handlichen und quadratischen Musterkästen (insgesamt sechs Stück) mit einer Seitenlänge von 438 mm nehmen ausgewählte Kombinationen aus Holzleichtbetonplatten auf und verdeutlichen grundsätzlich unterschiedliche Lösungsprinzipien für Plattenbefestigungen und offene Fugenausbildungen im Maßstab 1:1. Sie bestehen aus MDF-Platten, über Dübelverbindungen miteinander verleimt, sind stapelbar und so vereinheitlicht, dass nur die Halterungen für die Holzbetonplatten und die Platten selbst variieren.

Im Vorfeld der Entscheidungen werden zahlreiche Befestigungsmöglichkeiten für die Platten diskutiert, aus denen drei Lösungsprinzipien für die weitere Untersuchung in Variationen ausgewählt werden.

Im Sinne einer einfachen Montage und schneller Austauschbarkeit wird auf aufwendige, nicht sichtbare Halterungssysteme für die Platten verzichtet. In allen drei Varianten (A, B und C) liegt das Eigengewicht der Platten auf abschnittsweise in den Lagerfugen angeordneten T-Profilen. Über sichtbare und von außen angebrachte Halterungen erfolgt die Fixierung in horizontaler Richtung; diese ist linear (Typ C) oder punktförmig (Typen A und B). Je nach gewünschter Gliederung und Fugenbild sind Unterkonstruktion und ggf. vorhandene Deckprofile vertikal oder horizontal ausgerichtet.

Abb. 67: Ausführungszeichnung für Musterkästen, Darstellung der Befestigungsvarianten zu Typ C mit aufgesetzten Deckprofilen (ohne Maßstab)



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

6.2.1 Varianten zu Typ A

Bei diesem unkonventionellen, aber einfachen Prinzip ragen die Auflager (T-Profil 40x40 mm, Aluminium) mit einem Schenkel etwa 10 mm über die Vorderkanten der Holzleichtbetonplatten hinaus. Dort werden die Platten quer zur Wandfläche mittels konischer Stifte gehalten, die leicht mit der Hand ohne Werkzeug in Bohrungen gesteckt und wieder entfernt werden können. Bei der Umsetzung hat sich gezeigt, dass die Bohrungen kaum Toleranzen aufweisen dürfen, wenn alle konischen Stifte in einer einheitlichen Höhenlage ihre Klemmwirkung entfalten sollen.

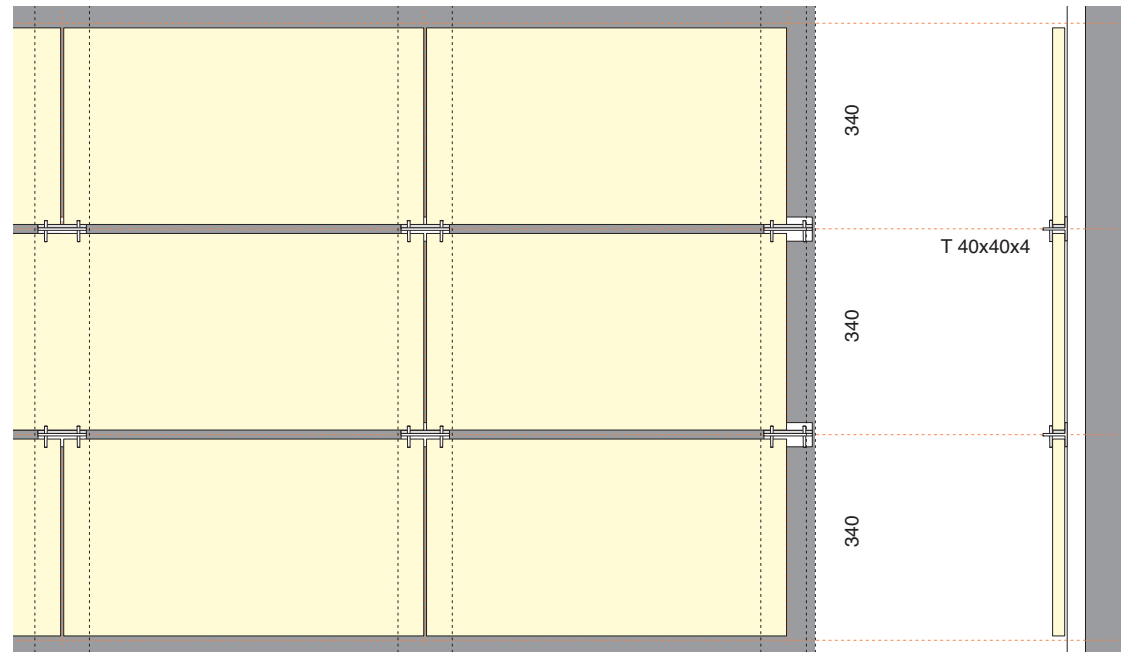
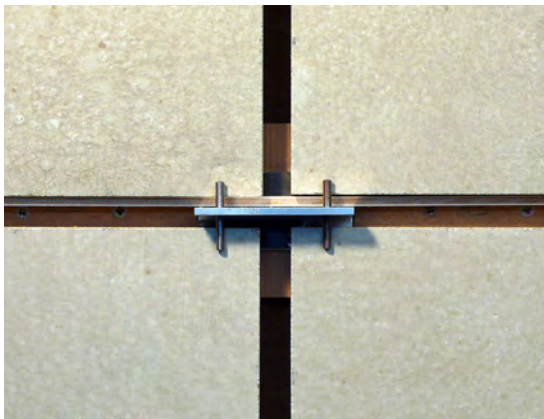
Abb. 68: (rechts oben) Variante A-1.0

- vertikale Unterkonstruktion im Raster von 600 mm
- T-Profile mit konischen Stiften zur Halterung jeweils in den Schrittkanten der Fugen,
- Lagerfugen im Raster, z.B. ca. 300 bis 350 mm
- Horizontalfugen gegenüber den Vertikalfugen betont
- Vertikalfugen sind nur im vertikalen Raster möglich
- Integration von kastenartigen Ablagemöglichkeiten

Abb. 69: (rechts unten) Variante A-2.0

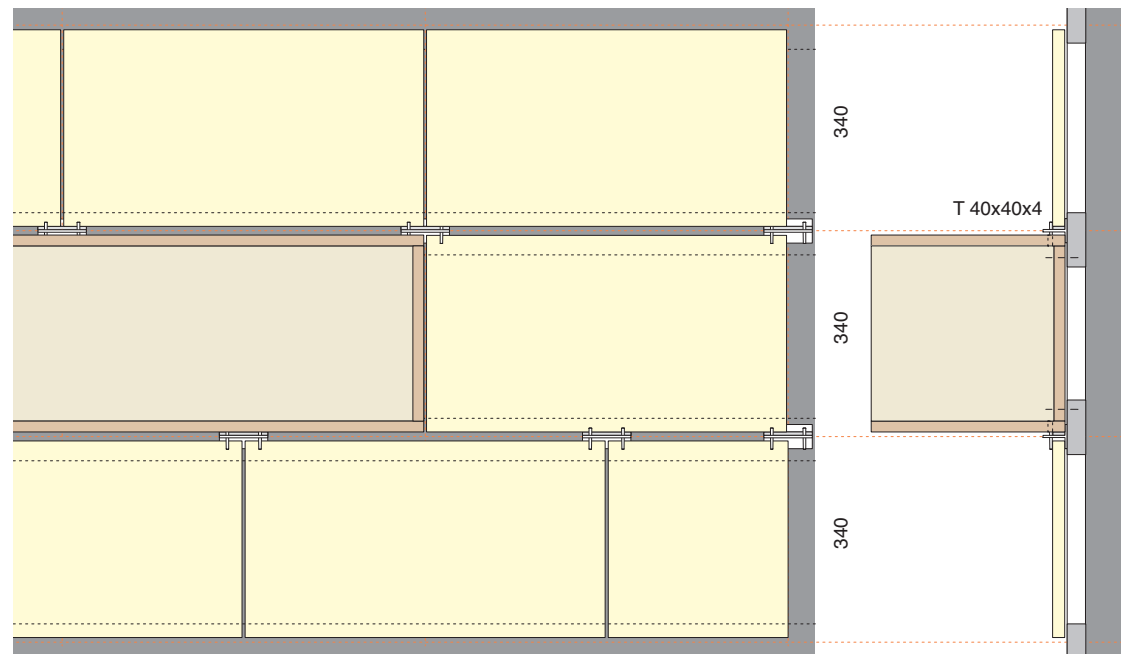
- horizontale Unterkonstruktion im Raster
- Vertikalfugen können versetzt angeordnet sein

Abb. 70: (links unten) Detail Variante A-1.0



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt



6.2.2 Varianten zu Typ B

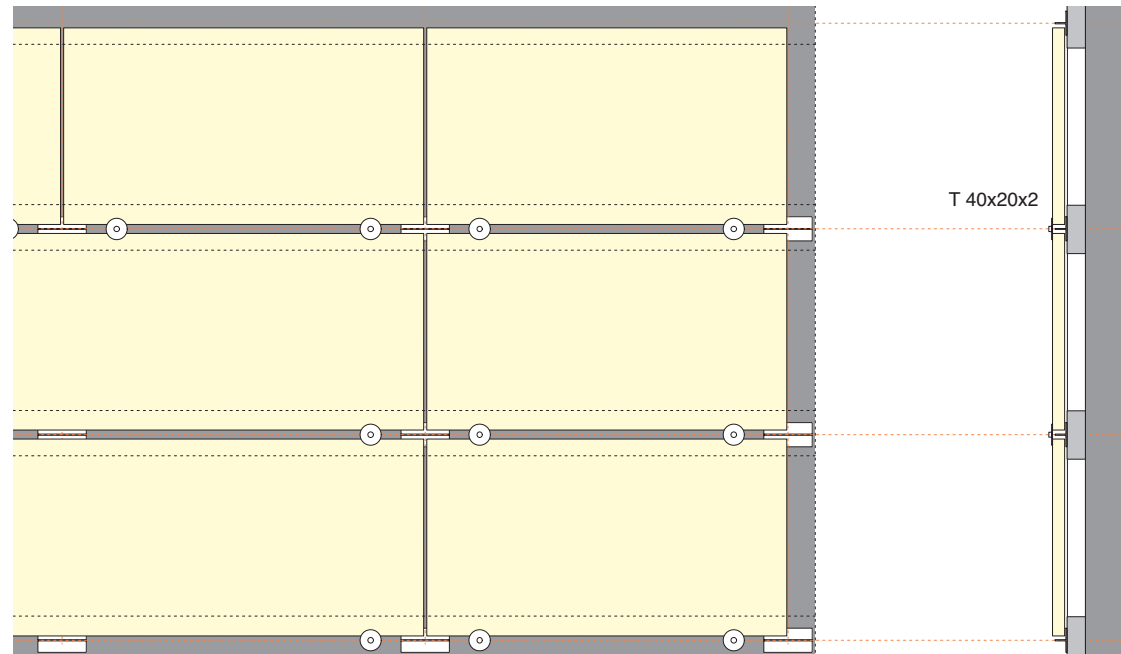
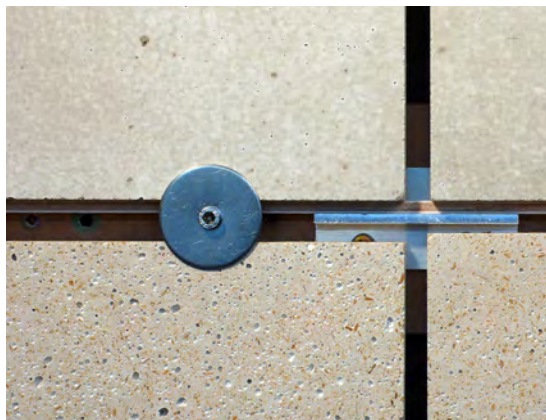
Die Halterung der Platten übernehmen Scheiben, die mittels Maschinenschrauben und Einschraubmutter in der horizontal angeordneten Unterkonstruktion befestigt sind.

Abb. 71: (rechts oben) Variante B-1.0

- horizontale Unterkonstruktion im Raster von z.B. 340 mm
- Auflager mittels T-Profilen, z.B. 40x20 in den Fugen
- Punktuelle Halterungen über Scheiben, paarweise symmetrisch zu den Auflagerprofilen angeordnet
- Horizontalfugen können gegenüber den Vertikalfugen betont werden (15 oder 20 mm)
- Vertikalfugen sind unabhängig vom vertikalen Raster möglich und können auch versetzt angeordnet sein
- Plattenformate (Rastermaß): 340 x 600, 340 x 1200, 680 x 1200 mm, grundsätzlich sind auch andere Längenmaße möglich
- Integration von kastenartigen Ablagemöglichkeiten gut möglich

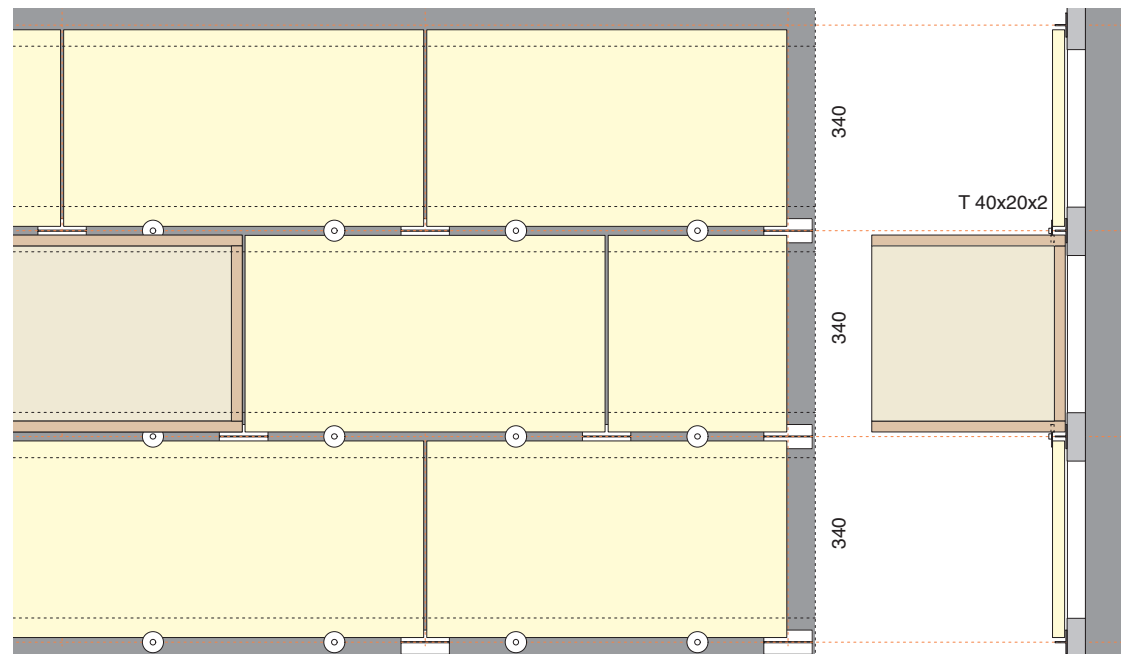
Abb. 72: (rechts unten) Variante B-2.0 punktuelle Halterungen in regelmäßigen Abständen, unabhängig von der Lage der Auflagerprofile

Abb. 73: (links unten) Detail Variante B-1.0



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt



6.2.3 Varianten zu Typ C

Lineare Deckprofile, überdecken die Lagerfugen und fixieren sie in ihrer Lage. Es stehen Flachstangen, U-Profile aus Metall oder Profile aus Holz, ggf. mit Schattenfuge zur Aufnahme des Schraubenkopfes, zur Auswahl.

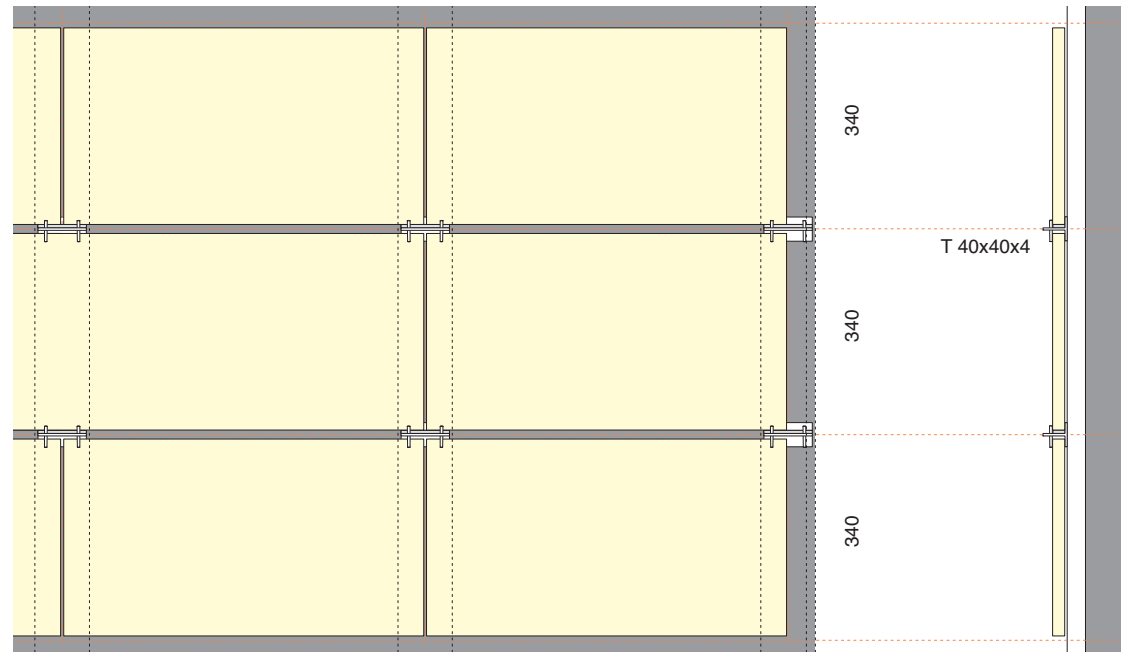
Abb. 74: (rechts oben) Variante C-1.0

- horizontale Unterkonstruktion im Raster von z.B. 340 mm, alternativ auch andere Höhen
- Auflager mittels T Profile, z.B. 40x20 in den Fugen
- lineare Deckprofile die mittels Schrauben und Einschraubmutter in der Unterkonstruktion fixiert sind
- Deckprofile als Holzprofile mit Nut, auf den Platten ohne Stufenfalz an den Längskanten
- Vertikalfugen unabhängig vom Raster möglich
- Plattenformate (Rastermaß): jedes beliebige Plattenformat in den Höhen des horizontalen Rasters
- Integration von kastenartigen Ablagemöglichkeiten, in dieser Variante ersetzen die Kästen die Deckprofile

Abb. 75: (rechts unten) Variante C-2.0

- Deckprofile in dieser Variante als Flachstangen aus Metall, Platten mit Stufenfalz an den Längskanten
- Integration von kastenartigen Ablagemöglichkeiten gut möglich, Kästen werden in dieser Variante geklemmt, bei durchlaufenden Deckprofilen

Abb. 76: (links unten) Foto zu Variante C-1.0



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

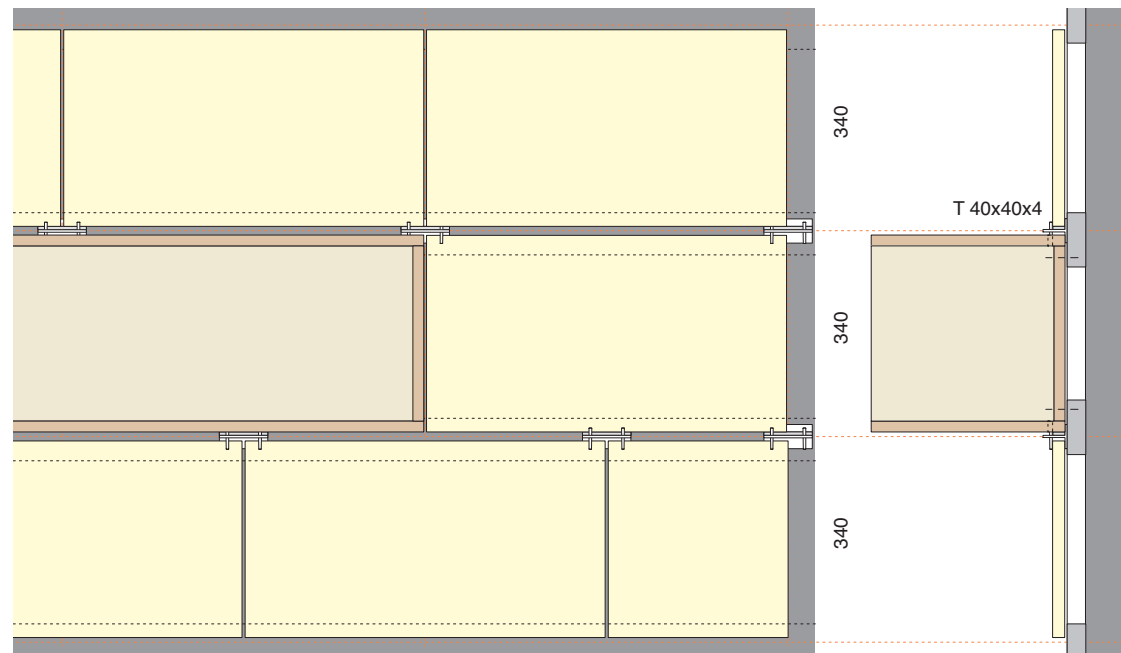


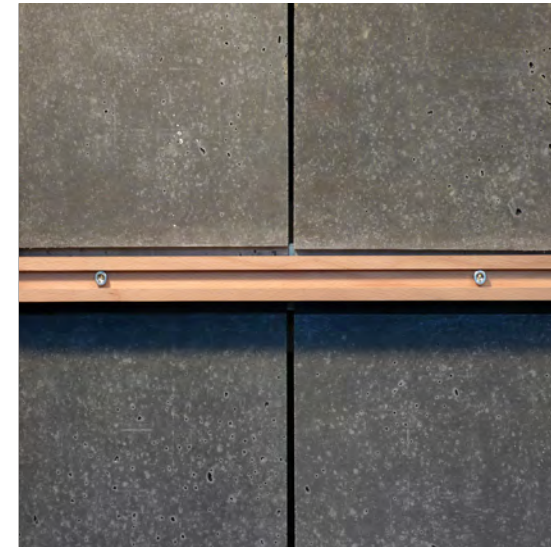
Abb. 77: (links unten) Ansicht Musterkasten, Befestigungsvariante Typ C mit U-förmigen Deckprofil in Nut, die durch gefalzte Plattenkanten gebildet wird. Sichtbare Verschraubung mit Innensechskantschrauben

Abb. 78: (mitte oben) Detail (aus Abb. 77), Befestigungsvariante Typ C mit U-förmigen Deckprofil in Nut

Abb. 79: (rechts oben) wie Abb. 83, jedoch mit Abdeckprofil aus Rotbuche (25x40 mm)

Abb. 80: (mitte unten) Detail mit reliefartigen und rot eingefärbten Holzleichtbetonplatten, gesägter Falz, um plane Ebene für Anschlag des gebürsteten Flachprofils aus Edelstahl zu schaffen

Abb. 81: (rechts unten) Detail wie nach Abb. 80, jedoch mit Abdeckprofil aus Rotbuche (25x40 mm)



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

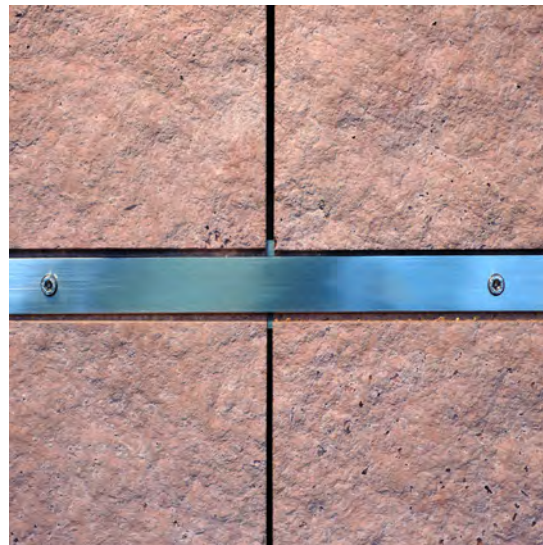


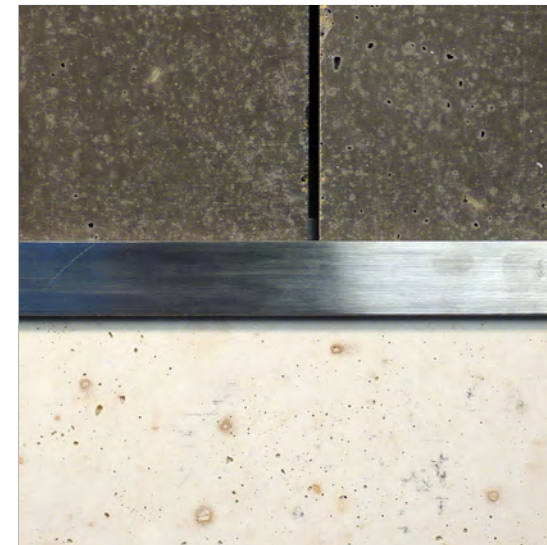
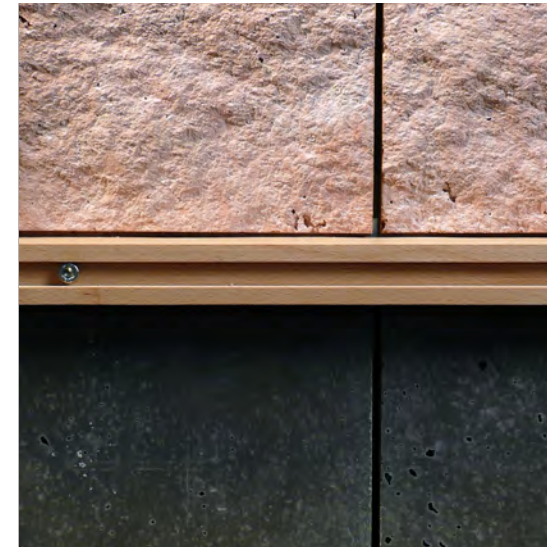
Abb. 82: (links unten) Ansicht Musterkasten, Befestigungsvariante Typ C mit Flachstange aus gebürstetem Edelstahl als Deckprofil

Abb. 83: (mitte oben) Detail Befestigungsvariante Typ C, mit auf den Platten aufsitzendem Abdeckprofil aus Rotbuche (25x40 mm), dunkle Platten mit Pigmenten eingefärbt, untere Platten Mischung mit schnell abbindendem Weißzement

Abb. 84: (rechts oben) Detail Variante Typ C, rot strukturierte Platte (mit Reckli-Strukturschalung) mit gesägtem Falz, Abdeckprofil aus Rotbuche (25x40 mm)

Abb. 85: (mitte unten) Detail Befestigungsvariante Typ C mit Flachstange aus gebürstetem Edelstahl als Deckprofil, untere Platten mit angeschliffenen Oberflächen

Abb. 86: (rechts unten) Detail Befestigungsvariante Typ C mit Flachstange aus gebürstetem Edelstahl als Deckprofil, Stoßfugen versetzt, obere Platte mit dunklen Pigmenten eingefärbt, untere Platte mit Weißzement



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

6.3 Ausführungs- und Detailplanung Wandelement

Untersuchungen zu Plattenformaten, Raster und Aufteilung gehen Hand in Hand mit Vorüberlegungen zu Fugenausbildung und Befestigung. Eine abschließende Entscheidung für die Belegung und Ausführung der Wandbekleidung wird erst mit den Ergebnissen der Bemusterung (Musterkästen) gefällt.

6.3.1 Lösungsfindung

An die Befestigungsvarianten A, B und C sind Studien mit diversen Fallunterscheidungen gekoppelt. Sie sind hier in einer Auswahl (Abb. Abb. 89 bis Abb. 101) dokumentiert. Folgende Parameter werden betrachtet und variiert:

- Halterung der Platten
- vertikales und horizontales Raster
- Fugenanordnung und -ausbildung
- Plattenformate und -größen
- Oberflächen
- Farben
- Integration von Ablagen

6.3.2 Details für die Ausführung

Das offene Baukastensystem bedient sich eines Horizontal- und Vertikalrasters auf der Basis von 300 mm¹. Um vorhandene Höhenbezüge wie Tischhöhe und Oberkante Wandschrank aufzunehmen sowie Ablagekästen für DIN A4-Leitzordner zu integrieren, gibt es Felder mit vom Raster abweichenden Maßen. Ein schmales 'Relief' mit plastischer Oberflächenstruktur und ggf. kontrastierender Pigmentierung soll die Fläche akzentuieren. Die Horizontalfugen verlaufen jeweils ohne

Höhenversprung und werden mit prägnanten Holzprofilen abgedeckt. So lassen sich Maßungenaugkeiten der Platten und ggf. beschädigte Ecken überdecken.

Die von Reihe zu Reihe versetzten Stoßfugen sind offen und schmal (2 bis 5 mm), ggf. mit überlappendem Falz ausgeführt. Ein Band mit 600 mm Höhe nimmt größere Plattenformate auf, so z.B. ein aus früheren Versuchen vorhandenes Element (Maße 600x848 mm) mit sechseckigen, unregelmäßig angeordneten Aussparungen.

Oberflächen und Farben werden variiert, das Reliefband mit rötlichen, die Platten in der Reihe mit Ablagekästen mit grauen Pigmenten gefärbt. Die übrigen Platten bilden ohne weitere Zusätze die Eigenfarben von schnell abbindendem Zement und Holzzuschlagstoffen ab.

An den seitlichen Rändern können Platten optional aus der vorgegebenen Flucht ragen und dem Erscheinungsbild mehr Dynamik verleihen. Darüber hinaus bei dieser Anordnung auch die Schnittflächen, Kantenstabilität ablesbar. Weitere Akzente lassen sich durch weitere Farben und/oder ganz aus der modularen Ordnung fallende Formate setzen. Alternativ können andere Plattenmaterialien wie Holzwerkstoffe, Kunststoffe, Metalle und Glas aufgenommen werden, um ästhetische Wechselwirkungen zu Holzleichtbeton zu erfahren und aufzuzeigen. Mit der Demonstrationswand sollen einerseits die unterschiedlichen Plattengrößen kombiniert werden und hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften (u.a. Maßhaltigkeit, Ebenheitstoleranz) sowie Anforderungen an die Montage (Handhabung Plattengewicht) analysiert werden. Ferner galt es aus der Vielzahl von Möglichkeiten der



Abb. 87: Schrägaufnahme von Variante Typ C (mit Flachprofil aus Edelstahl)



Abb. 88: Schrägaufnahme von Variante C-1.0

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

¹ Vorzugsmaß nach DIN 18000 (1984)

Abb. 89: (links oben) Variante mit gleichmäßigem Fugenbild, ein Plattenformat, Befestigungsvariante Typ A-1, vertikale Unterkonstruktion im Raster von 600 mm

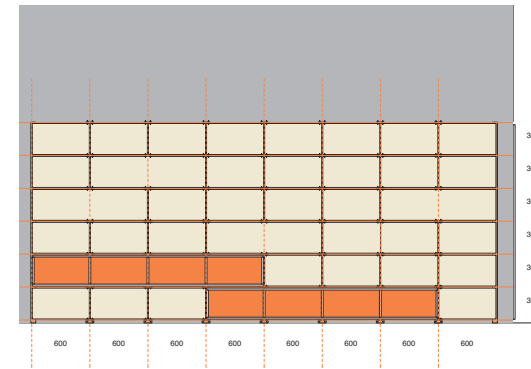
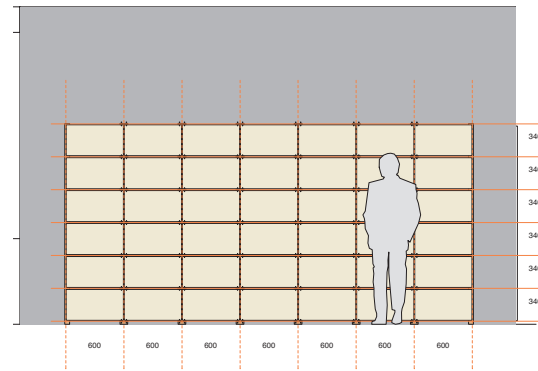


Abb. 90: (links mitte) Variante mit zwei Plattenformaten und Varianz in Oberflächen/Farben. Befestigungsvariante Typ A-1, vertikale Unterkonstruktion, horizontal und vertikal durchlaufende Fugen, ange-dockte Ablage für Bücher

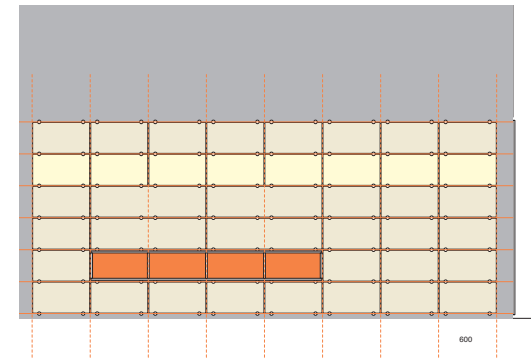
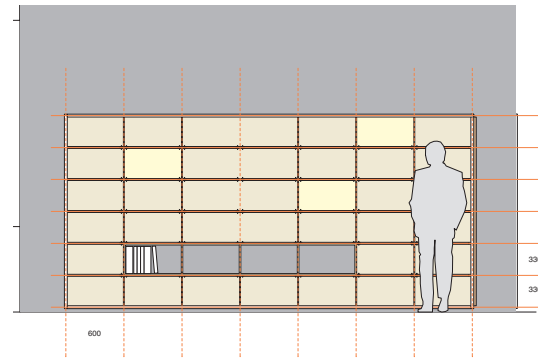


Abb. 91: (links unten) Variante mit zwei Plattenformaten, Befestigungsvariante Typ A-1, vertikale Unterkonstruktion, vertikal und horizontal durchlaufende Fugen, ange-dockte Ablage für Bücher

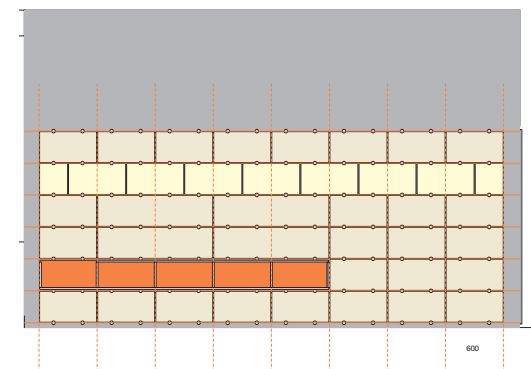
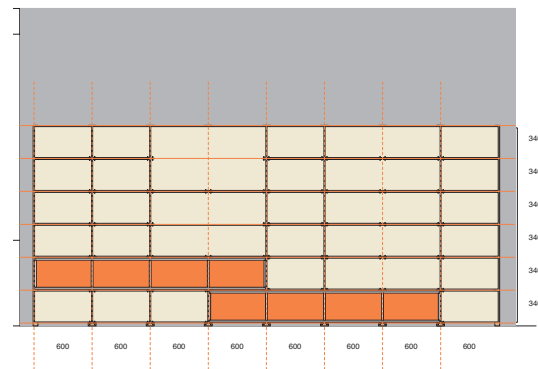


Abb. 92: (rechts oben) Variante mit zwei Plattenformaten, Befestigungsvariante Typ A-1, vertikale Unterkonstruktion, horizontal durchlaufende Fugen, vertikale Fugen im Raster teils versetzt, angedockte Ablagen für Bücher

Abb. 93: (rechts mitte) Variante mit zwei Plattenformaten, Befestigungsvariante Typ B-1, horizontale Unterkonstruktion, horizontal durchlaufende Fugen, vertikale Fugen teils versetzt, angedockte Ablage für Bücher, Band mit weiterer Oberfläche/Farbe

Abb. 94: (rechts unten) Variante mit zwei Plattenformaten, Befestigungsvariante Typ B-2, horizontale Unterkonstruktion, horizontal durchlaufende Fugen, vertikale Fugen teils versetzt, angedockte Ablage für Bücher, Band mit weiterer Oberfläche/Farbe

Abb. 95: (links oben) Variante mit diversen variierenden Plattenformaten, Befestigung Typ B-2, horizontale Unterkonstruktion, horizontal durchlaufende Fugen, angedockte Ablage für Bücher, schmales Band mit weiterer Oberfläche/Farbe

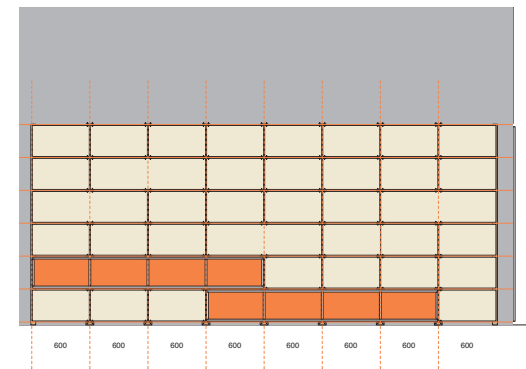
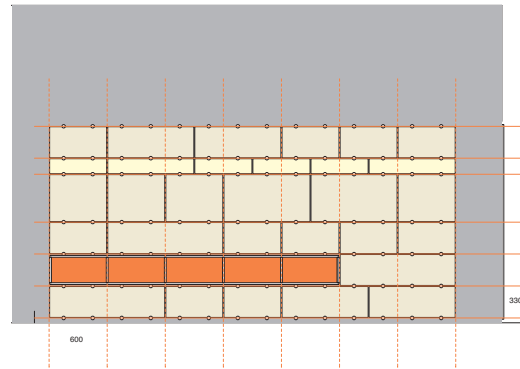


Abb. 96: (links mitte) wie Variante (Abb. 33), jedoch mit 'aufgebrochener' Ordnung durch unregelmäßigen seitlichen Abschluß

Abb. 97: (links unten) ähnlich zu Variante (Abb. 34), Wandfeld um eine Achse erhöht, schmales Band nimmt Bezug zu Oberkante des Wandschranks auf

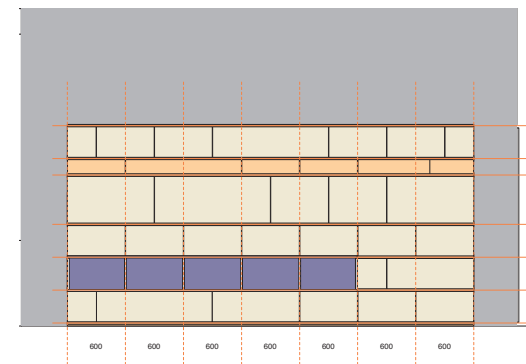
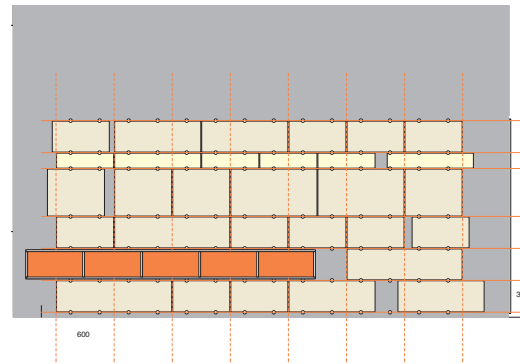


Abb. 98: (rechts oben) Variante mit Befestigung Typ C, durchlaufende horizontale Deckprofile, ruhiges Fugenbild mit versetzten Stoßfugen, angedockte Ablagen in zwei verschiedenen Höhen und ggf. Farben

Abb. 99: (rechts mitte) Variante mit Befestigung Typ C, durchlaufende horizontale Deckprofile, diverse Plattenformate, versetzte Stoßfugen, schmales Band mit eingefärbten Relief-Platten

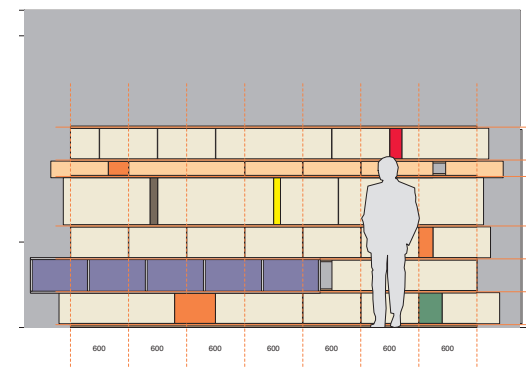
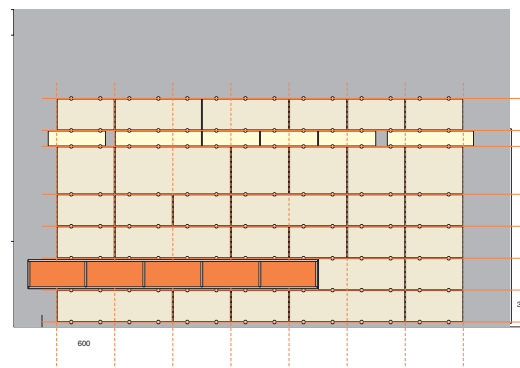


Abb. 100: (rechts unten) Variante mit Befestigung Typ C, durchlaufende horizontale Deckprofile, diverse Plattenformate, versetzte Stoßfugen, schmales Band mit eingefärbten Relief-Platten, 'aufgebrochene' Ordnung durch unregelmäßigen seitlichen Abschluß, einzelne Platten in kontrastierenden anderen Plattenmaterialien (z.B. Holzwerkstoff, Kunststoff, Metall, Glas etc.) für weitere Akzente und um Zusammenspiel zu demonstrieren

Ausbildung von Oberflächen, Rändern und Farbigkeit einen repräsentativen Querschnitt innerhalb eines in sich stimmigen Konzepts aufzuzeigen.

Ausführungsplanung

Zur Ausführung kommt eine auf 3600 mm (Achismaß) verkürzte Wandbekleidung, die Bezug zur Tischhöhe nimmt und etwa mit der Höhe des blaugrau gestrichenen Wandschranks abschließt.

Die Unterkonstruktion besteht aus horizontal verlaufenden Holzlatten, die entweder direkt mit der Wand verdübelt werden oder auf zusätzlichen Latten im Abstand von 600 oder 900 mm verschraubt werden. Letztere Variante empfiehlt sich, falls sich die Wand als nicht ausreichend tragfähig herausstellt, die zusätzlichen Pfosten können ihre vertikalen Lasten direkt auf dem Boden abgeben. Auf den liegenden Tragprofilen werden die T-förmigen Auflager einjustiert und verschraubt, ebenso verfährt man mit den regelmäßig angeordneten Einschraubmutter für die Befestigung der hölzernen Deckprofile aus Rotbuche.

Ein Ablageelement, das etwa auf Tischhöhe abschließt, kann auch Leitzordner aufnehmen und ersetzt dort die Deckprofile.

Die Plattenstärke und somit die Falztiefe der Klemmverbindung beträgt 20 mm. Stärkere (vorhandene) Platten werden zur Anpassung mittels Sägeschnitten an ihren Längsseiten gefalzt, was bei plastisch strukturierten Platten grundsätzlich aus geometrischen Gründen zwingend ist. Die Differenz der Plattenstärke wird durch Versprünge der Vorder- oder Rückseite ausgeglichen.

Das schmale Band mit plastischen, reliefartigen Oberflächen soll zusätzlich mit rötlichen Pigmenten eingefärbt sein (ähnlich der

Strukturplatte für die Musterkästen). In der Zone der vorspringenden Ablagen sind die Holzleichtbetonplatten grau eingefärbt (ähnlich zu den Bemusterungen). Das zusätzliche Anschleifen der Oberfläche bringt den Farbton der hölzernen Zuschlagstoffe bei einigen Platten besser zur Geltung.

Die Stoßfugen sind mit 2 bis 4 mm sehr knapp gehalten, können aber auf leicht abweichende Plattenmaße (Fertigungstoleranzen, Volumenveränderungen durch Schwinden und Quellen) ausreichend reagieren und sollten gut ausgemittelt werden (Abb. 101).

6.4 Deckenelement

Die horizontalen abgehängten Elemente korrespondieren modular und farblich mit der Wandbekleidung. Der technische Aufwand soll gering bleiben.

6.4.1 Prinzip

Die Elemente nehmen ebenso Bezüge zum Raum und seiner Möblierung auf. Sie sollen entweder in Kämpferhöhe des Fensters(alternativ Sturzhöhe) positioniert werden. Die Proportionen von 1:2 antworten auf den schmalen Raum und die schlanken Tischformate. Die Elemente lassen sich längs und quer anordnen. Liegende und stehende Platten (Lamellen) wechseln sich ab. Im Fensterbereich streuen liegende Platten Tageslicht an die Decke und helfen, den Lichtabfall in der Raumtiefe etwas zu reduzieren. Auch können sie als zusätzliche Ablagen genutzt werden.

Sowohl in den liegenden Platten als auch zwischen den Lamellen lassen sich Strahler anordnen, zur effektvollen Beleuchtung der

Demonstrationswand und bei Bedarf zur Beleuchtung der Tischflächen. So kann das kontrastarme Licht der Deckenleuchten durch eine abwechslungsreicheres Lichtmilieu ersetzt werden.

6.4.2 Details für die Ausführung

Einfache verleimte Holzrahmen aus gehobelten Rechteckprofilen 30x90mm, ebenso wie die Deckprofile der Wandbekleidung in Rotbuche ausgeführt, nehmen die Holzleichtbetonplatten auf. Innenseitig aufgeleimte Leisten dienen als Auflager. Die als vertikale Lamellen verwendeten Holzleichtbetonplatten liegen mittels eines Versatzes formschlüssig auf den Rahmen. Beispielsweise mit gebräuchlichen Hängern für abgehängte Decken werden die Rahmen justierbar an der Decke befestigt (Abb. 102).

Allerdings ergaben sich nach eingehender Prüfung der bauseitigen Bedingungen im Arbeitsraum B46 an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg eine Reihe von konstruktiven Schwierigkeiten. Bei der sichtbaren Deckenausbildung handelt es sich nicht wie zunächst angenommen um eine Massivkonstruktion, sondern nur um eine abgehängte Unterdecke. Um das Deckenelement ausreichend zu befestigen, wäre entweder die Abhängung bis auf die Stahlbeton-Rippendecke zu führen oder eine separate Tragstruktur zu planen und vor die Längsseiten der Bürowände einzustellen gewesen. Beide Lösungsansätze wurden letztlich aufgrund einer aufwändigen und kostenintensiven Realisierung nicht weiter verfolgt.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

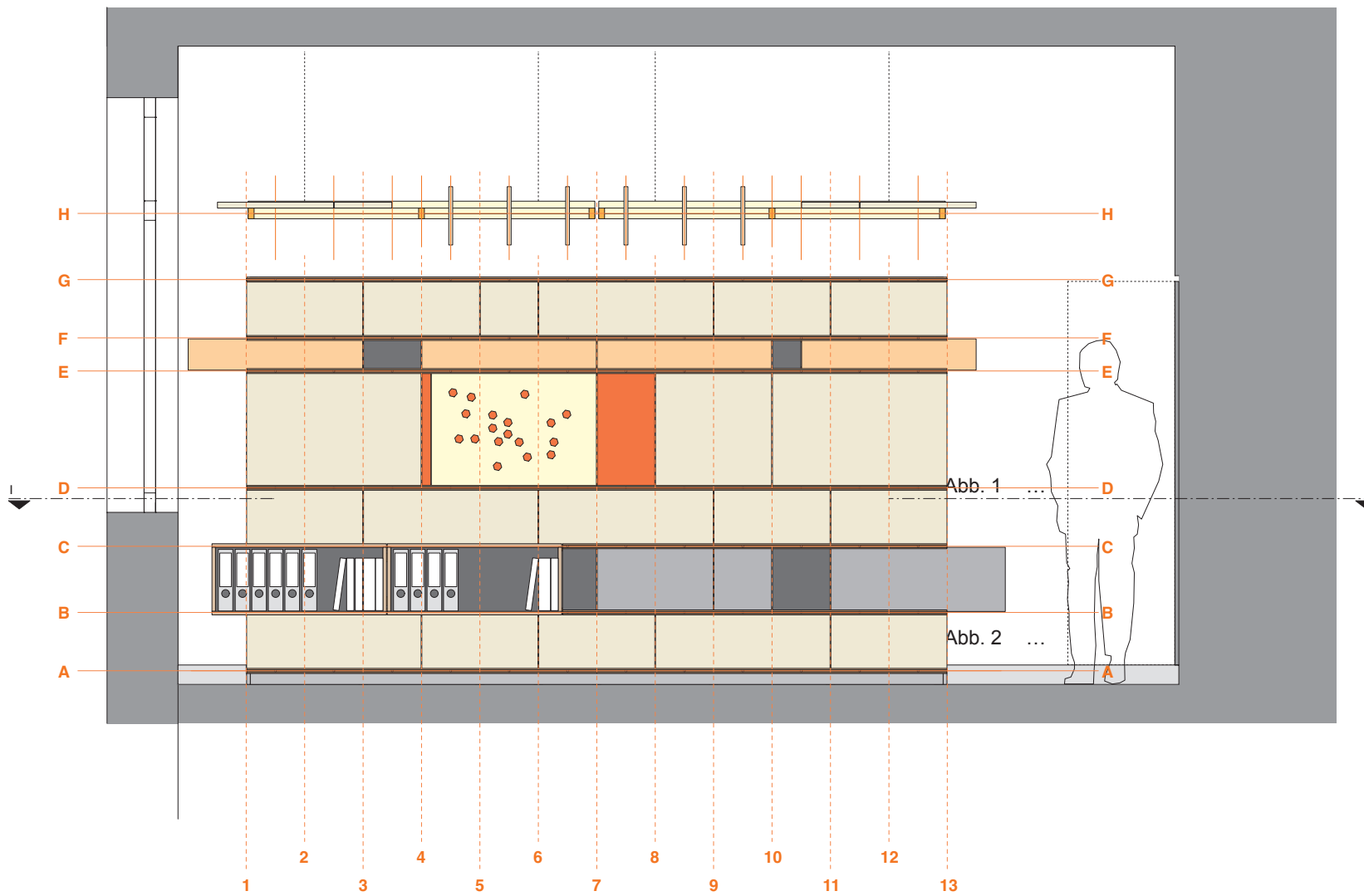


Abb. 101: Längsschnitt durch den Raum mit Ansicht Wandfläche und Deckenelement M 1:30
Ausführungszeichnung vom 04.12.2010

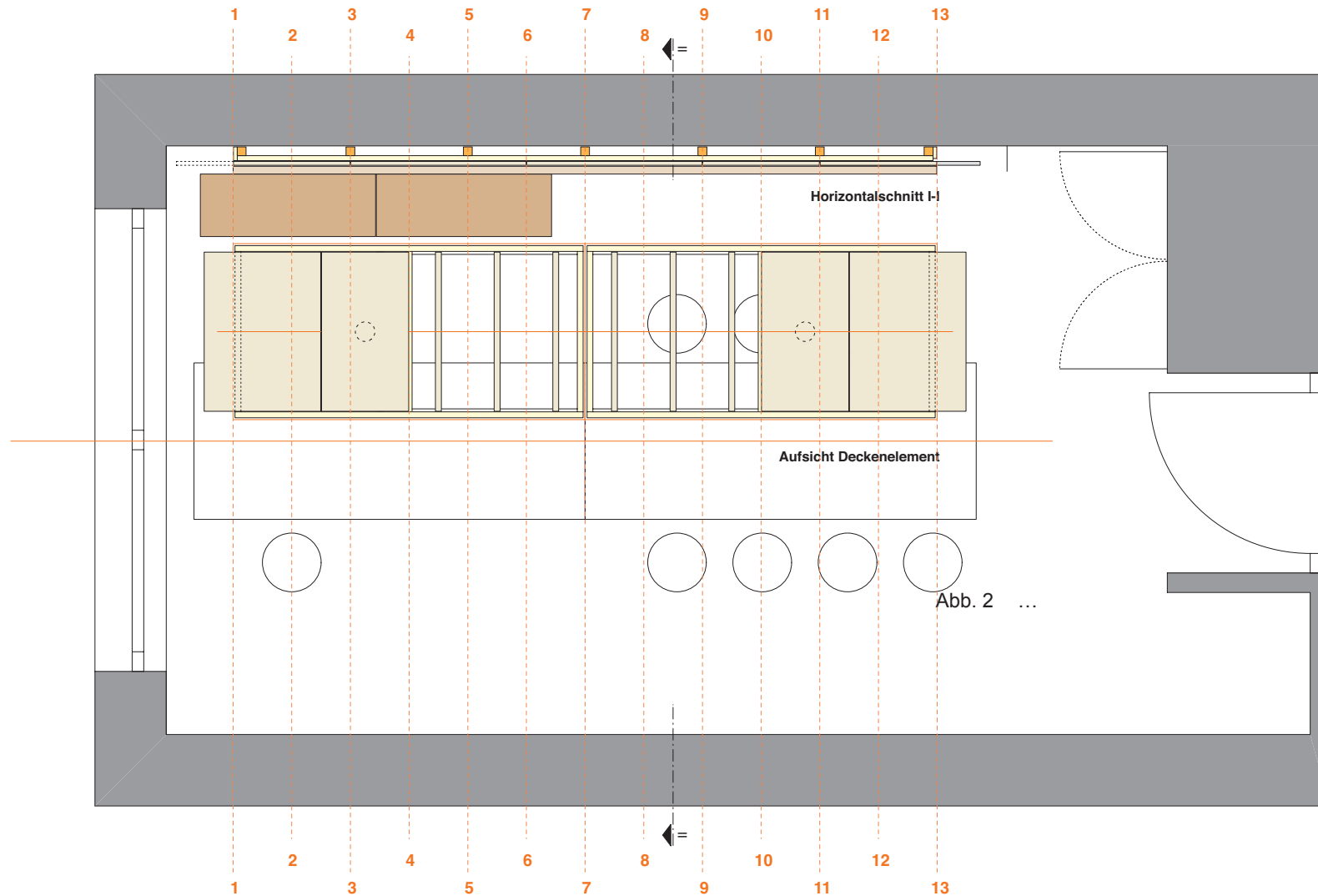


Abb. 102: Horizontalschnitt durch Wandelement kombiniert mit Aufsicht Deckenelement M 1:30
Auführungszeichnung vom 04.12.2010

6.5 Demonstrationsprojekte

6.5.1 Plattenherstellung und Montage

Für den Einsatz in der Demowand wurden 20 mm dünne Holzleichtbetonplatten mit einer Gesamtfläche von 9 m² hergestellt. Dazu wurden unbewehrte Bauteile für die Wandverkleidungen bzw. bewehrte Bauteile für die Deckenelemente hergestellt. Der Großteil der Platten wurde mit glatten betongrauen Sichtbetonflächen gefertigt. Daneben wurden einzelne Elemente mit Farbpigmenten anthrazit bzw. rot eingefärbt und strukturierte Schalungsmatrizen verwendet. Die Schlankheiten λ der Platten bewegten sich zwischen 15 bis 45. Eine im Zuge der Betonherstellung gesondert angefertigte Platte (270 cm x 62 cm x 2,5 cm) erreichte eine Schlankheit von $\lambda = 108$. Je höher die Schlankheit, desto geringer war die Dimensionsstabilität der Platten, sodass sich die Ecken unterschiedlich stark aufwölbten (Abb. 50, rechts). Formate mit Schlankheiten bis maximal 30 erwiesen sich als unkritisch.

Die Verformungen traten sowohl bei hochkanter Lagerung auf reibungsarmen Untergrund (Folie) mit allseitigem Luftkontakt, als auch bei liegender Lagerung (Abb. 60, links) mit einseitigem Luftkontakt auf. Bei liegender Lagerung war es nicht maßgeblich, ob die schalungsglatte oder die abgezogene Plattenfläche Luftkontakt hatte.

Als beste Lagerungsmethode erwies sich die liegende Lagerung mit täglichem Wenden (schalungsglatt/abgezogen) innerhalb der ersten 14 Tage. Dabei war zu beachten, dass der Lagerraum vor direkter Sonneneinstrahlung und ständiger Zugluft geschützt wurde, um ein gleichmäßiges Trocknen der Platten sicherzustellen. Bei Bedarf, d. h. bei weiterer

Aufwölbung der Ecken, wurden die Platten weitere 14 Tage gewendet. Das Eigengewicht der Platten reichte auch hier zur Rückverformung aus. Es zeigte sich, dass die zusätzliche Belastung durch Gewichte nicht erforderlich war und lediglich zu Rissen führte. Nach insgesamt 4 Wochen Lagerung waren bei dünnwandigen Bauteilen keine nennenswerten Verformungen mehr festzustellen.

Zusammenfassung der Erfahrungen

Bei der Herstellung von Bauteilen aus Holzleichtbeton bestätigte sich dessen gute und unempfindliche Verarbeitbarkeit, allerdings bleiben eine schwierige und aufwändige Lagerung festzuhalten. (Abb. 103)

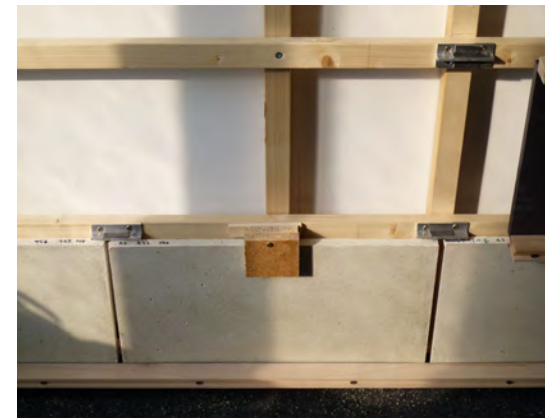
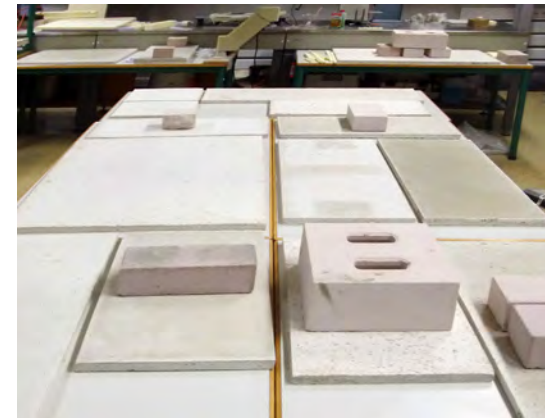
Die Verdichtung mittels Vibrationstisch erwies sich als am besten geeignet. Die Ansichtsflächen der hergestellten Elemente zeigten geschlossene Oberflächen in Sichtbetonqualität auf.

Generell war die Abschätzung der Maßhaltigkeit schwierig. Speziell bei Formaten mit einer Schlankheit $\lambda \geq 30$ musste mit reversiblen Verformungen gerechnet werden. Die genaue Beobachtung und das Wenden der Holzleichtbetonelemente während der ersten 4 Wochen Lagerungsdauer erwies sich als gute Möglichkeit, um die Verformungen auszugleichen bzw. rückgängig zu machen.

Abb. 103: Lagerung und Beschwerung von Holzleichtbetonplatten

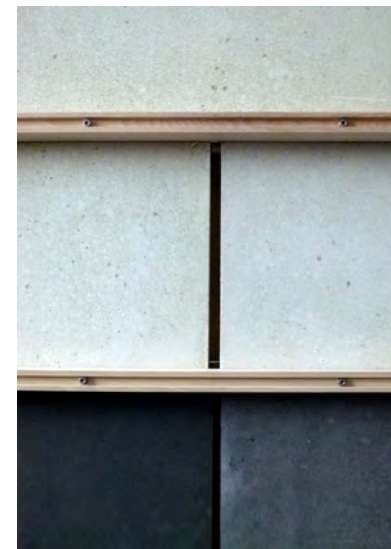
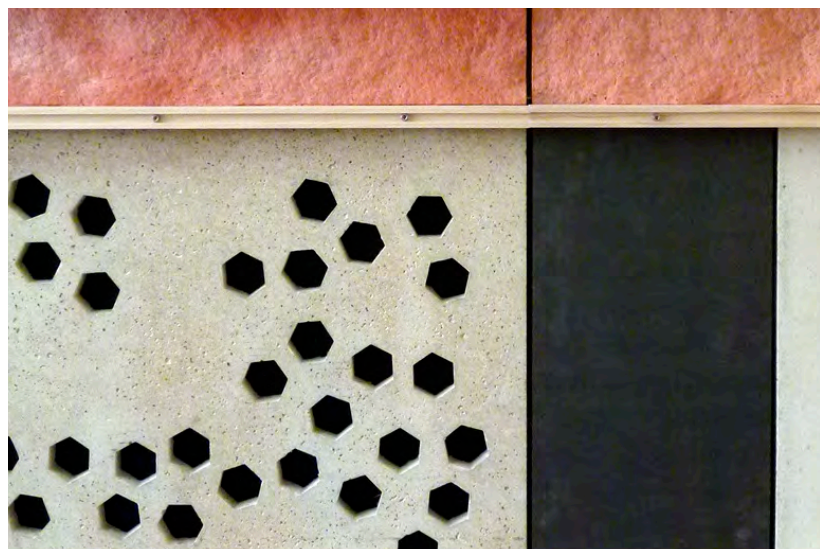
Abb. 104: Ausschnitt Unterkonstruktion Demonstrationswand mit Montage der ersten Plattneriehe

Abb. 105: Detail Befestigung Holzleichtbetonplatten mit Abdeckprofil aus Rotbuche



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

Abb. 106: (links) Demonstrationswand im Arbeitsraum B46 an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg

Abb. 107: (oben) Unterschiedlich farbige Holzleichtbeton (HLB)-Platten

Abb. 108: (unten, mitte) Strukturierte (Reckli-Strukturschalung) und rot eingefärbte HLB-Platten mit schwarzer MDF-Platte

Abb. 109: (unten, rechts) HLB-Platten schwarz und mit Weißzement

6.5.2 Studentische Arbeiten

Parallel zur Vorplanung für die Arbeiten an dem Demonstrationsprojekt wurde im Sommersemester 2010 im Rahmen einer Lehrveranstaltung¹ für Masterstudenten der Fakultät Architektur sich mit neuen Materialwelten plattenförmiger Bauteile beschäftigt. Neben dem Büroraum im B-Gebäude der OHM-Hochschule sollten für einen Klassenraum des Sigmund-Schuckert Gymnasiums, in Nürnberg Wand- und / oder Deckenbekleidungen konzeptionell und konstruktiv aus Holzleichtbeton erarbeitet werden. Dabei galt es räumliche Randbedingungen und funktionale Besonderheiten ebenso zu untersuchen wie Fragen von Konfektionierung, Art der Unterkonstruktion, Befestigung der Platten, ggf. auch Wechselwirkung mit der Leitungsführung von technischen Installationen zu klären. Die Arbeiten umfassten Entwurfsstudien und baukonstruktive Lösungsansätze, Darstellung der räumlichen Wirkung und Oberflächenbeschaffenheit sowie die Herstellung von Platten-Mustern.

Dabei wurden von den Studenten in Anknüpfung an eine Vorab-Analyse eines Referenz-Beispiels sehr unterschiedliche Ansätze gleichermaßen hinsichtlich Plattenabmessungen und -proportionen, plastischer Ausbildung wie farblicher Gestaltung der Oberflächen gewählt.

Das Spektrum reichte von linearen wie auch flächigen Bauteilen bis zu raumbildenden Elementen. Ebenso erfolgte in einigen Arbeiten die Untersuchung von (neuartigen) Materialkombinationen, die mögliche funktionale Erweiterungen des Anwendungsspektrums

¹ MA-2220 Technikwissenschaften 2 "Smart-Materials / Materialexperimente"; Die Arbeiten erfolgten in der zweiten Junihälfte 2010

von Holzleichtbeton als Plattenwerkstoff aufzeigen.

Der Schalungsbau erfolgte in der Regel mit Bau-Furniersperrholz-Platten (BFU) mit beidseitiger Filmbeschichtung ($d = 18 \text{ mm}$); je nach Oberflächengestaltung wurden auch Sperrholz- und OSB Standard-Platten eingesetzt. (Abb. 110) Für die plastische Formgebung der Oberflächen und lineare Aussparungen (Abb. 111) sind entsprechende Plattenteile aus Polystyrol-Hartschaumstoff eingesetzt worden. Styrodur lässt sich leicht bearbeiten und ermöglicht hervorragende, gefügedichte Oberflächen.

Bei den Holzleichtbetonmischungen handelt es sich um die in Kapitel 3.3 beschriebenen Zusammensetzungen², die zum einen mit der Zementart (Weißzement) (Abb. 112) variiert und bei einigen Arbeiten noch mit gelb-ocker (Eisenoxid), roten (Eisenoxid) oder grünen (Chromoxid) Farbpigmenten kombiniert wurden.

Lineare Bauteile

Mit dem Einsatz von Holzleichtbeton in linearen, stabförmigen Bauteilen im Bereich der Wand- und Deckenbekleidung lassen sich interessante strukturelle Lösungen bei unterschiedlichen geometrischen Zuschnitten und Anordnungen erzielen. Lamellen ($0,80 \text{ m}$, $d = 40 \text{ mm}$) mit paralleler ($b = 60, 120 \text{ mm}$) und abgeschrägte Längsseite wurden auf eine Trägerplatte ($0,30 \times 1,60 \text{ m}$) angeordnet.

² w/z -Wert = 0,95 und h/z -Wert = 0,22

Abb. 110: Schalungsbau mit BFU-Platten in der Modellwerkstatt der Fakultät Architektur

Abb. 111: Betonage eines quadratischen und permeablen Plattenmusters

Abb. 112: Verdichtungsarbeiten auf Rütteltisch am Plattenmuster mit Kuppelschale



Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

Der Einsatz ist als modulares Wand- und Deckenelement denkbar.³

Im Bereich der Deckenbekleidung wurden unterschiedliche Ausbildungen von Holzleichtbetonplatten als abgehängte Lamellen untersucht. Die Anforderung nach beidseitig schalungsglatten Oberflächen erforderte die Arbeit mit stehenden Schalungen, die auch eine optimierte Herstellung im ‚Schalungsblock‘ ermöglichen. Die ‚Lamellendecke‘ besteht aus Modulen einer Trägerplatte (0,125 x 1,00 m; grau beschichtete Bau-Furniersperrholz-Platten (BFU)) mit jeweils fünf darauf befestigten Holzleichtbeton-Lamellen (0,95 x 0,175 m, d = 2,5 cm) und integrierten Einbauleuchten mit Reflektor. Ein plausibler Ansatz, der neben Vorteilen bei der Montage weitreichende Kombinationsmöglichkeiten eröffnet.⁴

Flächige und strukturierte Platten

In modularen Schritten (h = 0,95 cm, b = 0,40 bis 1,20 m, d = 20 mm) wurde ein Plattensystem angedacht, in dem das Bauteil durch Integration von Metallstreifen auch als Präsentationswand genutzt werden. Erstmals wurden Formen der Oberflächenbearbeitung auf Basis von Absäuern erprobt. Versuche mit Salpeter- und Essigsäure zeigten unterschiedliche Ergebnisse. Für die feine Freilegung der Holzpartikel ist bereits Essigessenz (25%ige Essigsäurelösung in Wasser) gut geeignet, während Salpetersäure bei stark kalkhaltigen Oberflächen nur wirksam ist. Gleichmäßiges Entfernen, Ablösen der oberen Zementsteinschicht erfordert großflächige Arbeitsmittel.⁵

Bei dem gießbaren Material lassen sich rela-

tiv einfach unterschiedliche, z.B. ebene und strukturierte Platten (d = 20 mm) miteinander kombinieren. Neben der Differenzierung in der Oberfläche wurde der Holzleichtbeton mit gelben Farbpigmenten eingefärbt, einerseits in Anlehnung an den Zuschlagsstoff Holz, andererseits als eigenständige Akzentsetzung.⁶ (Abb. 113)

Weitere Einfärbungen erfolgten mit grünen und roten Farbpigmenten. (Abb. 114) Bei unterschiedlichen Plattenformaten (0,36 x 1,16 m / grün, 0,53 x 0,85 m / rot, d = 30 mm) konnten sehr gleichmäßige farbige Oberflächen erzielt werden und die feinen Farbpigmenten führten zusätzlich zu einwandfrei ausgebildeten Bauteilkanten. Das Konzept für die Gestaltung einer Klassenraumwand zeigt, dass der Holzverbundwerkstoff sich hervorragend mit Holzwerkstoff-Plattenmaterialien wie OSB und Furnierschichtholz kombinieren lässt.⁷

Neben quadratischen und rechteckigen Platten arbeitete eine Gruppe auch mit einem ‚Bausatz‘ aus kreisförmigen Platten unterschiedlicher Durchmesser (0,25, 0,375, 0,50 m) und Dicke (30, 40, 50 mm). Seitliche Randeinfassungen aus Edelstahlblech (d = 2 mm) dienen zur nicht sichtbaren Befestigung und Halterung an der Geschoßdecke und verdeutlichen die Bandbreite an Materialkombinationen und geometrischer Formen.⁸

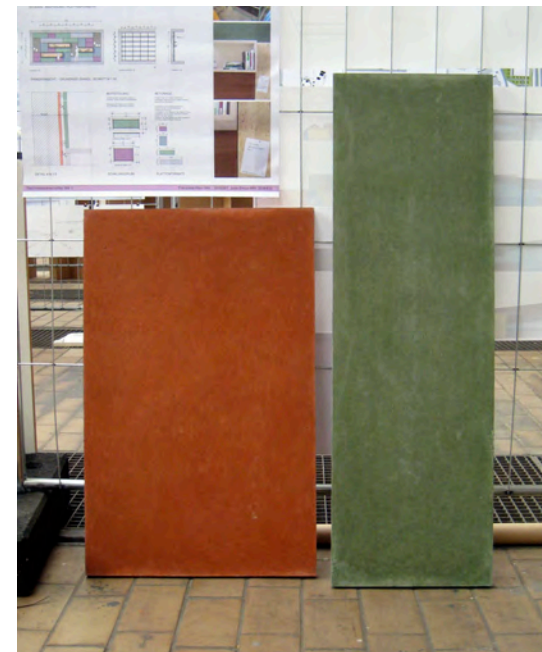
⁶ Sabrina Heinlein und Melanie Ohr

⁷ Franziska Klein und Julia Simon

⁸ Eileen Luisa Müller und Marion Werner

Abb. 113: Ebene und rippenförmige Holzleichtbetonplatten, eingefärbt mit gelb-ocker (Eisenoxid) Farbpigmenten

Abb. 114: Ebene Holzleichtbetonplatten, eingefärbt mit roten (Eisenoxid) oder grünen (Chromoxid) Farbpigmenten



Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

³ Amela Biscic und Tobias Weigel

⁴ Eva Brendel und Madeleine Kugler

⁵ Julia Priti Müller und Cathérine Schulz

Ein „Akustik-Relief“ wurde an Platten in den Abmessungen 1,20 x 0,45 m, die Bauteildicke variiert zwischen 25 und 50 mm, erarbeitet. Neben der plastischen gestaffelten Ausbildung der Oberfläche, die eine verbesserte Schallabsorption verspricht, ermöglichen derartige modulare Ansätze, es wurden zwei Relief-Varianten hergestellt, durch unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten eine große gestalterische Vielfalt bei der Ausbildung von Wand- und Deckenbekleidungen. Bei der anspruchsvollen Plattenstruktur zeigten sich die guten Verarbeitungseigenschaften von Holzleichtbeton, der auch die Ausbildung von sehr gefügichten Oberflächen ermöglicht.⁹ (Abb. 115)

Ein weiteres Projekt beschäftigte sich mit Lichtkuppelschalen aus Acrylglas oder Polycarbonat (PC), mit quadratischen Außenabmessungen (0,60 x 0,60 m) und ausgeprägter Wölbung im Plattenfeld. Neben ebenfalls anspruchsvollem Schalungsbau zeigte sich bei der Umsetzung in Holzleichtbeton die enormen Potentiale bei räumlich plastischen Gestaltungen, die auch im Zusammenhang mit Anforderungen an verbesserte Schallabsorption eine Erweiterung des Einsatzspektrums versprechen. Hierbei sind sowohl geschlossene als auch permeable Oberflächen denkbar.¹⁰ (Abb. 118, Abb. 119)

Eine Arbeitsgruppe suchte ausgehend von Pyramidschaumstoff (Polyurethan-Weichschaumstoff) dreifach flachgeneigte Paneele (0,625 x 0,93 x 0,10 m) als schallabsorbierendes Wandelemente herzustellen. Dabei zeigten sich angesichts der komplexen Schalungsgeometrie Probleme bei der stehend durchgeführten Betonage. Es waren u.a.

⁹ Natalia Borgardt, Nina Pröpster und Marina Wenzel

¹⁰ Johanna Beigel und Jörg Falk

Entmischungstendenzen festzustellen, die zu einer ungleichmäßigen Oberflächenbildung führten. Gleichwohl ein interessanter Ansatz, der jedoch die Erprobung neuer Fertigungsverfahren erfordert.¹¹

Bei einem anderen Lösungsansatz wurden für eine strukturierte Deckenbekleidung die ebenen Platten (0,65 x 1,32 m, d = 30 mm) mit einem Kunstharzkleber auf der Längsseite im Winkel von 15 ° gefügt. Eine weitere Option, den Plattenwerkstoff für unterschiedliche Einbausituationen anpassen zu können. Allerdings stellt die erforderliche exakte Kantenausbildung höhere Anforderungen an den Schalungsbau.¹²

Permeable Bauteile

In einem Projekt wurde das Maß einer weitreichenden linearen ‚Perforation‘ untersucht, um so eine effektvolle Hinterleuchtung mit verdeckt angeordneten Kunstlichtquellen zu ermöglichen. Die Plattenmuster (0,60 x 0,60, d= 30mm) zeigen die grundsätzliche Eignung des Materials zur anspruchsvollen Formgebung, aber der Holzleichtbeton bedarf für derartige Anwendungsbereiche höherer Rohdichten und einem aufwändigeren Bewehrungseinsatz.¹³ (Abb. 116)

¹¹ Florian Bader und Patrick Hesse

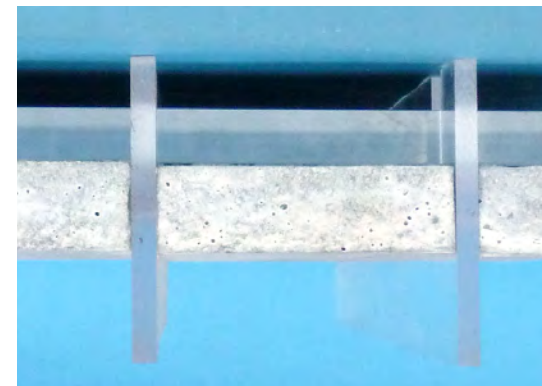
¹² Beatriz Carreto Font und Marta Lopez Illan

¹³ Laura Puertollano

Abb. 115: „Akustik-Relief“-Platte für Wandbekleidungen (1,20 x 0,45 m, d = variiert zwischen 25 und 50 mm)

Abb. 116: Lineare ‚Perforation‘ von Deckenplatten für Hinterleuchtung mit verdeckt angeordneten Kunstlichtquellen

Abb. 117: Holzleichtbeton-Platten (0,10 x 0,80 m, d = 30 mm) verbunden mit Plexiglasstreifen (d = 8 mm) als „Deckensegel“



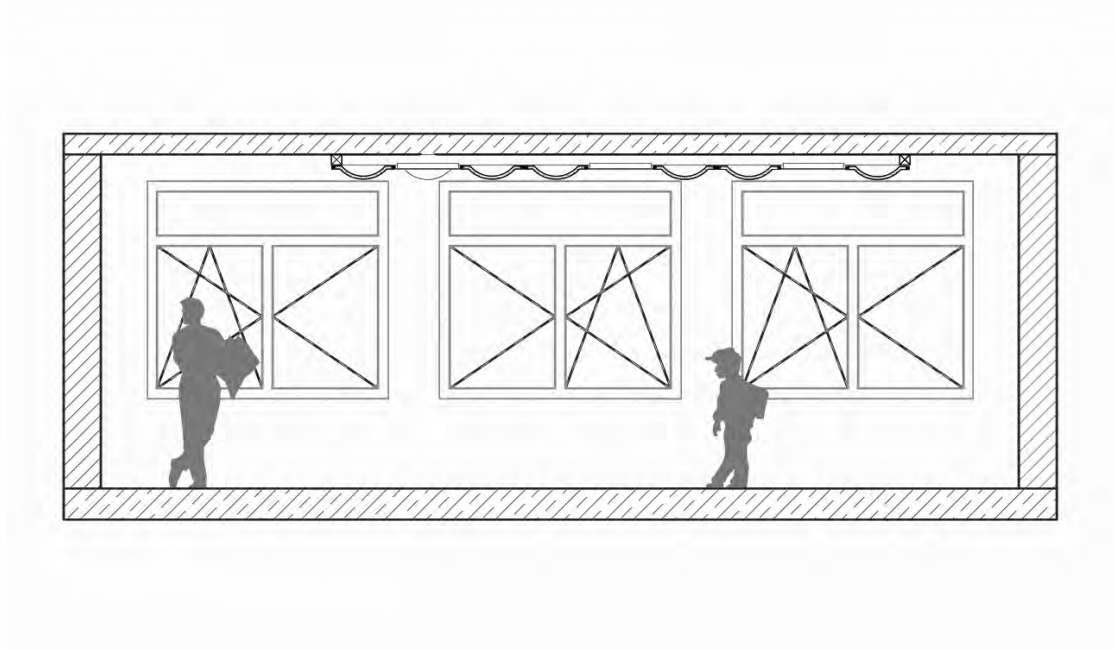
Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt



Abb. 118: Deckenplatte mit ausgeprägter Wölbung im Plattenfeld

Abb. 119: für räumlich plastische Gestaltungen von Klassenraumdecken



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

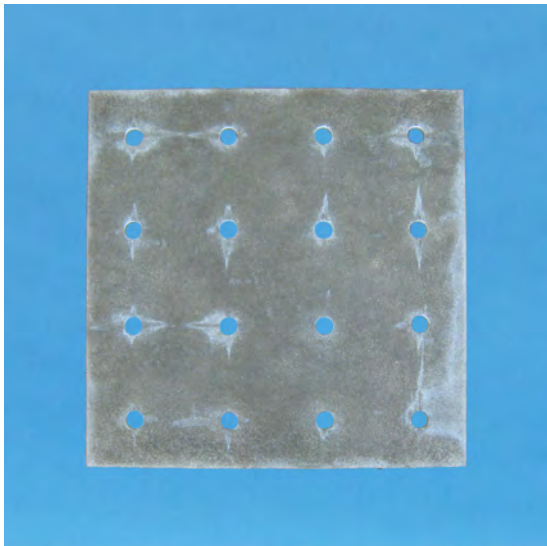


Abb. 120: Permeable quadratische Platte als

Abb. 121: horizontal verschiebbares Element in einem Büroraum-Regalsystem



Deshalb beschäftigte sich eine Gruppe mit der Kombination mit lichtleitenden Elementen. Platten aus Holzleichtbeton (0,10 x 0,80 m, d = 30 mm) werden mittels 8 mm dünnen Plexiglasstreifen (0,10 x 0,80 m, quer angeordnet) und Aluminium-U-Profilen zu Deckenpaneelen verbunden. Eine rückseitige Beleuchtung mit LED-Aufsätzen ermöglicht großflächige „Deckensegel“ mit betont linearen räumlichen Licht-Strukturen.¹⁴ (Abb. 117) Einen weiteren Ansatz bildete permeable Strukturen in den Wand- und Deckenplatten, für Belichtung, Sichtbezüge und Belüftung. Quadratische Platten (0,60 x 0,60 m, d = 25 mm) sind mit einem regelmäßigen Muster (runde Öffnungen $\varnothing = 28$ mm) versehen. Neben zusätzlichen gestalterischen Effekten in der ebenen Fläche waren hier vor allem Fragen an Herstellung und Ausschalung zu untersuchen. Das Ergebnis zeigt sowohl in der Musterplatte die hervorragende Eignung des Holzleichtbetons, gleichermaßen was Oberflächengüte wie Kantenausbildung betrifft, als auch als horizontal verschiebbares Element in einem Regalsystem die breiten Einsatzmöglichkeiten.¹⁵ (Abb. 120, Abb. 121)

Ein weitgehende Auflösung in gitterartige (Regal-)Strukturen aus Holzleichtbeton (Außenabmessungen wurde ebenfalls untersucht. Die Bauteile sind modular auf einer Trägerplatte (0,68 x 0,78 m, d = 40 mm) befestigt und zu einer Art Regalwand zusammengesetzt. Auch gerade in Verbindung mit textiler Bewehrung zeigt dies Potentiale und Grenzen des Kompositbaustoffs. Einerseits gelang die Herstellung schlanker scharfkantiger orthogonaler Strukturen, andererseits ist die Handhabung ohne Trägerplatte problematisch.¹⁶

14 Martin Lutz und Adrian Schwarz

15 Svenja Burger und Ertan Karaköse

16 Eduard Klotz

6.5.3 Betonmöbelbau

In weiteren experimentellen Arbeiten konnte ebenfalls die Eignung von Holzleichtbeton für den Betonmöbelbau untersucht werden. Das Unternehmen „t quadrat ideenwerk“ aus Bubenreuth realisiert seit Jahren Betonmöbel für den Innen- und Aussenbereich. Dabei eröffnet das amorphe, gießbare Material vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten für Einrichtungsgegenstände im Aussenraum wie auch im Wohnbereich.¹⁷ Aber gerade Sitzmöbel wie Hocker oder Bänke aus Normalbeton weisen zwar eine hohe Robustheit und Dauerhaftigkeit auf, jedoch mit der Folge hoher Objektivgewichte und relativ kalter Oberflächen, was physisch von den Nutzern häufig als unangenehm wahrgenommen wird.

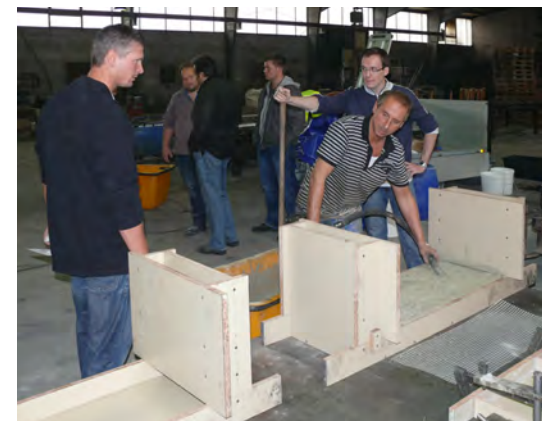
Hier kann Holzleichtbeton aufgrund seiner Materialeigenschaften in mehrfacher Hinsicht eine Alternative beim Möbelbau darstellen: Gewichtsreduktion, körperwarme Oberflächen sowie ein hellerer Grundton, für eine insgesamt angenehmere, behagliche Ausstrahlung. Die Herausforderung stellten neue Dimensionen der Objekte dar, was besonders Blockhaftigkeit (Abb. 122) und Schlankheit (Abb. 123, 124) betrifft.

17 Vgl. <http://www.tquadrat.net> <31.10.2011>

Abb. 122: Verdichtung mit Rüttelflasche bei Herstellung eines Hockers (0,30 x 0,30 x 0,47 m); Holzleichtbetonmischung mit Weißzement

Abb. 123: Betonage der Sitzbänke (1,20 x 0,40 x 0,47 m, d = 60 mm)

Abb. 124: Regalbretter (2,00 x 0,30 m, d = 60 mm) aus anthrazit eingefärbtem Holzleichtbeton



Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Praktische Unter-
suchungen und
Demonstrationsprojekt

Im Rahmen der Projektarbeiten wurden aus unbewehrtem Holzleichtbeton zwei Sitzbänke (1,20 x 0,40 x 0,47 m, d = 60 mm), zwei Hocker (0,30 x 0,30 x 0,47 m) und zwei Regalbretter (2,00 x 0,30 m, d = 60 mm) erstellt. Diese Experimente ermöglichten eine Übertragung und Adaption der im Labor an kleinformatigen Bauteilen gewonnenen Zwischenergebnisse auf andere Randbedingungen (z.B. wesentlich größere Mischungsmenge, andere Verdichtungstechnik, schwankende Luft-/Wassertemperaturen). Die gewählten Mischungszusammensetzungen¹⁸ aus den Vorversuchen mit unterschiedlichen Zementen bewährten sich dabei auch bei den größeren Volumina.

Die Herstellung des Holzleichtbetons erfolgte in Mörtelkübeln (200 Liter) bei gleichzeitiger Verwendung von zwei Handrührwerken. Dabei wurden weiche Konsistenzen, vergleichbar zu den im Labor hergestellten, erreicht. Vereinzelt waren Bluten und Entmischungen des Holzleichtbetons in geringem Umfang festzustellen. Die Verdichtung erfolgte durch einen kleinen Innenrüttler (Rüttelflasche, $\varnothing = 30$ mm). An Stellen, an denen der Rüttler während der Verdichtungsmaßnahmen die Schalung berührte ergaben sich Grauschleier („Wolken“) an der anthrazit eingefärbten Festbetonoberfläche.

Die monolithische Sitzbank erwies sich nach Entformen und während des Trocknens als sehr robust und dimensionsstabil. Die Schlankheit λ ($= l/d = 120 \text{ cm}/6 \text{ cm}$) der Sitzfläche betrug 20. (Abb. 125, 126) Bei den blockartigen Hockern war ein sehr langsames Austrocknungsverhalten festzustellen. Mit einer Schlankheit von $\lambda = 200 \text{ cm}/6 \text{ cm} = 33$ neigten die Regalbretter (Abb. 15) bei

vertikaler Lagerung zur Verformung bzw. Krümmung und Rissbildung an den Flanken (Rissbreite etwa 0,25 mm). Die Verformung war jedoch reversibel und bildete sich bei liegender Lagerung durch das Eigengewicht nahezu vollständig zurück.

Die Resultate der hergestellten unterschiedlichen Bauteile waren grundsätzlich sehr positiv. Dabei zeigte sich ein problemloses Mischverhalten und eine gute Verarbeitung des Frischbetons. Neben den Vorteilen geringerer Gewichte der einzelnen Bauteile überzeugte vor allem die "sehr gute" Optik der Holzbetonoberfläche, die teils auch bei komplexen Geometrien erzielt werden können (Abb. 127).

Ein Problem bleiben auch beim Möbelbau die auftretenden Verformungen beim Austrocknen bzw. die Fehleranfälligkeit bei unsachgemäßer Lagerung. Vereinzelt waren nach längerer Zeit Veränderungen auf der Außenseite, Fleckenbildungen an der Oberfläche zu verzeichnen sowie traten gelegentlich Rissbildungen auf.

Abb. 125: Ausgeschaltete monolithische Sitzbank zeigte sich dimensionsstabil

Abb. 126: Insbesondere bei den Schalungsseiten war eine "sehr gute" Optik der Holzbetonoberfläche festzustellen

Abb. 127: Ergänzende Versuche: Vase aus Holzleichtbeton; auch bei komplexer geometrische Formgebung konnten hochwertige Bauteiloberflächen erzielt werden



Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Praktische Untersuchungen und Demonstrationsprojekt

¹⁸ w/z = 0,95, h/z = 0,24

7 Abschätzung von Marktpotentialen

7.1 Zielsetzung und Strategie

Die technischen und geometrischen Rahmenbedingungen für die Anwendung von Holzleichtbetonplatten im Innenausbau wurden in diversen Fallunterscheidungen aufgezeigt. Auf dieser Grundlage sollte neben einer ersten qualitativen Einschätzung des Marktpotenzials auch eine quantitative Bewertung erfolgen, um mögliche zukünftige Marktanteile benennen zu können.

Die Systematik der qualitativen Einschätzung dient dabei als Gerüst und Denkstruktur auf der Suche nach brauchbaren Datensätzen aus dem Gebiet des Innenausbau, über die dann erste Rückschlüsse auf den möglichen zukünftigen Einsatz von Holzleichtbetonplatten ableitbar sind.

7.1.1 Qualitative Einschätzung

Es ist zu untersuchen, in welchen Segmenten Holzleichtbeton als Plattenmaterial für Bekleidungen besonders seine Vorteile zur Geltung bringen kann. Nicht die Summe möglicher Fallunterscheidungen ist das Ziel, sondern eine auf die Charakteristik des Kompositwerkstoffs fokussierende Bewertung aus der Sicht von Architekten. Diese kann keine neutrale Allgemeingültigkeit für sich beanspruchen, gibt aber ein offenes System vor, das mit jedem weiteren Arbeitsschritt überprüft, ergänzt und auch korrigiert werden kann.

Der Zusatznutzen durch den Einsatz von Platten aus Holzleichtbeton sollte gut begründet und möglichst signifikant sein (Alleinstellungsmerkmal), so dass auch höhere Herstellungskosten gegenüber konventionellen Plattenwerkstoffen und Systemen in Kauf genommen werden. Je breiter gestreut die Anwendungsfälle sind, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit und der Umfang

für eine Verwendung. Auch außerhalb klassischer Trockenbauarbeiten mit Trennwänden und Vorsatzschalen sind weitere Optionen für Einsatzmöglichkeiten denkbar.

7.1.2 Quantitative Einschätzung

Vorab der qualitativen Beurteilung sollte abgeschätzt werden, wie hoch der prozentuale Anteil von Lösungen mit Holzleichtbetonplatten bei vergleichbaren Aufgabenstellungen mit anderen Bekleidungsmaterialien sein kann. Darüber hinaus galt es das Volumen von zusätzlichen Aufgabenstellungen zu beziffern.

Dafür wären aktuelle Daten zum Volumen (Flächenanteile, Umsatz) im Innenausbau-gewerbe erforderlich, die regional oder auch überregional erhoben werden, und darüber hinaus ebenfalls andere bekannte Statistiken und Datensätze zu sondieren gewesen. Eine zusätzliche Problematik ergab sich daraus, dass die Anwendungen teils neuartigen Charakter haben, weit gestreut sind und mehrere Gewerke und Branchen umfassen.

7.1.3 Quellen und aktuelle Daten

Als mögliche Quellen boten sich an:

- Institutionen zur Datenerhebung und Datenauswertung
- Firmen aus dem Marktsegment Innenausbau und Trockenbau
- Handwerkskammern und Bauinnungen

Zu diesem Zweck wurden ab Herbst 2010 Internetrecherchen durchgeführt und diverse Personen und Institutionen kontaktiert und befragt. Es stellte sich bald als schwierig heraus – ohne eine konkrete Beauftragung und somit kostenfrei – an umfassende Datensätze zum Volumen im Innenausbau zu gelangen.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

Das Baugewerbe ist sehr fragmentiert und Zahlen zum Volumen von Trockenbauarbeiten sind voraussichtlich nur indirekt (z.B. über Konjunkturdaten des Bauhauptgewerbes) abzuschätzen.

Folgende Institutionen und Personen wurden in die Fragestellung miteinbezogen:

- Heinze GmbH, Celle (www.baudatenonline.de)
- Docugroup, München
- benchmarking-trockenbau, Wolfratshsn.
- VHT - Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau GmbH, Darmstadt
- Knauf / Knauf Akademie, Iphofen
- BIG Trockenbau – Interessengemeinschaft Trockenbau e.V., Berlin
- Fachverband Baustoffe und Bauteile für vorgehängte hinterlüftete Fassaden e.V. (FVHF), Berlin
- Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken, Nürnberg
- LBB – Landesverband Bayerischer Bauinnungen, München

Die direkte Fragestellung fokussierte auf die Menge (z.B. Flächenmaß oder Kostenvolumen) von folgenden baulichen Anwendungen in einem bestimmten Zeitraum (z.B. im Jahre 2009), bezogen auf eine Region oder Bundesland oder auch ganz Deutschland:

- leichte Trennwände (Ständerwandkonstruktionen)
- Vorsatzschalen zu Wänden (Abb. 128)
- innenseitige Bekleidungen von Dachkonstruktionen
- Unterdecken (Abb. 129)

Dabei wurde auch nach dem jeweiligen prozentualen Anteil an besonders für die Schallabsorption optimierten Bekleidungen zur Verbesserung der Raumakustik gefragt. Dabei

wäre auch eine Aufgliederung der Daten nach folgenden Nutzungstypen von Vorteil:

- Wohnungsbau
- Bürobau / Verwaltungsbau
- Gewerbe / Industrie
- Bildungseinrichtungen

Die verschiedensten Recherchestrategien erbrachten jedoch nicht die gewünschten Ergebnisse, weder konkrete Datensätze noch Hinweise zu anderen Quellen.

So werden zwar z.B. bei der Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau (VHT) in Darmstadt, die als „führende(s) deutsche(s) Institut im Trocken- und Leichtbau“¹ gilt, umfangreiche „Markterhebungen und Potenzialabschätzungen für unterschiedliche Bauweisen, Materialien und Systeme berechnet“, allerdings können diese erhobenen Grunddaten², in aller Regel „im Rahmen von Auftragsforschung oder konkreten Marktstudien“ erstellt, nur „an den Auftraggeber kommuniziert und durch diesen selbst publiziert werden.“³

Herr Depping von benchmarking-trockenbau, der durch seine Tätigkeit über viele Kontakte in der Branche des Trockenbaus verfügt, bestätigte in ausführlichen Gesprächen⁴ ebenfalls die Schwierigkeit, aussagekräftige Daten als Grundlage einer Abschätzung zu recherchieren.

Über folgende übergeordnete Datensätze (so weit zur Verfügung) könnte grundsätzlich der Versuch unternommen werden, Rückschlüsse

1 <http://www.vht-darmstadt.de> <28.01.2010>

2 Diese „stammen aus einem Monitoring, bei dem kontinuierlich die Veränderungen der Bautätigkeit für den mitteleuropäischen Raum (vorrangig Deutschland, Österreich, Schweiz und die Beneluxstaaten) durchgeführt werden.“ Prof. Dr.-Ing. Karsten Tichelmann, Darmstadt; vgl. E-Mail v. 25.10.2010

3 Prof. Dr.-Ing. Karsten Tichelmann, Darmstadt; vgl. E-Mail v. 25.10.2010

4 Im Herbst 2010, u.a. München, 26.11.2010

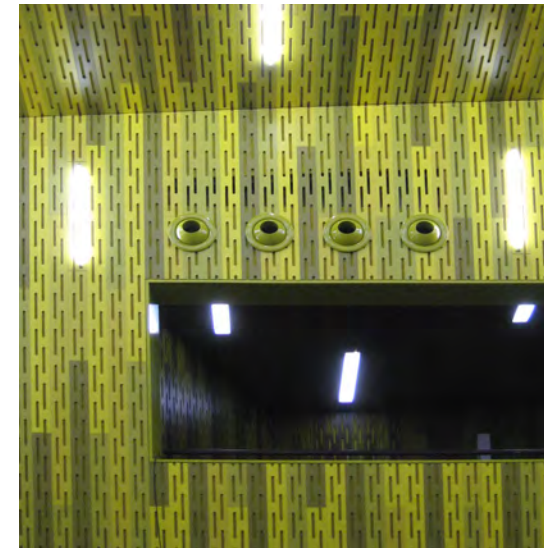


Abb. 128: Wandbekleidung – Amriswil, Festhütte (2007); Müller Sigrüst, Zürich



Abb. 129: Unterdecken – München, Stachus-Passagen (2011); Allmann Sattler Wappner, München

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

zum Volumen im Innenausbau vorzunehmen (immer bezogen auf eine bestimmte Region und Zeitraum):

- Kostenvolumen Bauhauptgewerbe (über Statistisches Bundesamt)
- Anzahl von genehmigungspflichtigen Baumaßnahmen (über Bauämter)
- Anzahl der Beschäftigten im Trockenbau (über Bundesamt für Arbeit)

Darüber hinaus war festzustellen, dass die Datenlage bzgl. Markterhebungen auch hinsichtlich der Konstruktionen unterschiedlich erfasst bzw. zugänglich ist. Im Bereich der Deckenbekleidungen, Unterdecken etc. können hier gegenüber Trennwänden, Montagewänden, Wandbekleidungen etc. doch Aussagen getroffen werden.

Nach Erhebungen zum Marktvolumen im Bereich "abgehängter Decken" aus dem Jahr 2008⁵ betrug das aufkumulierte Marktvolumen 2005 24,2 mio qm. Marktführer sind hierbei – nicht wirklich überraschend – Platten aus Mineralfasern (41 %) und aus Gipskarton (38 %). Die Fläche verteilt sich in etwa jeweils zur Hälfte in Neubau-Maßnahmen bzw. Maßnahmen beim Bauen im Gebäudebestand.

Mineralfaser-Platten	10,0	41,4%
Gipskarton-Platten	9,2	38,0%
Metall-Platten	2,5	10,3%
Holzwolleleichtbau-Platten	0,6	2,5%
Blähgranulat-Platten (Fa. sto)	0,5	2,1%
Verschiedene	1,4	5,7%
Summe	24,2	100,0%

Festzustellen ist ferner eine einsetzende Verlagerung in der Schwerpunktsetzung. Aufgrund nachgefragter funktionaler Aspekte, wie

Schallschutz/Akustik, Brandschutz, Heizen und Kühlen werden z.B. Gipskartonplatten stärker nachgefragt, während bei Mineralfaserplatten in der Tendenz eine leichte Abnahme zu verzeichnen war.⁶

Bei den Ausführungsqualitäten nehmen konventionelle Deckenkonstruktionen mit normalen bauphysikalischen Anforderungen etwa 50 % am Marktvolumen von Unterdecken ein. Hochwertig gestaltete Decken bewegen sich im Bereich von etwa 35 bis 40 %, während auf Akustikdecken 10 bis 15 % entfallen.

In den bei den letztgenannten Segmenten von Deckenbekleidungen mit gestalterisch anspruchsvollen Oberflächen und zusätzlichen funktionalen Besonderheiten sind letztlich die Potentiale von Platten aus Holzleichtbeton zu sehen. Auch ohne spezifisch dargestellte Flächenpotentiale lassen die genannten Zahlen ein weitreichendes quantitatives Marktvolumen erwarten.

Als weitere Einschätzung ist zu berücksichtigen, dass für eine Implementierung eines neuen Baumaterials bzw. -produkts das Marktsegment immer auch eingehend zu "bearbeiten" ist, um entsprechende Potentiale überhaupt erschließen zu können. Für die (Trockenbau-)Branche heißt es, dass eine "aktive Vermarktung" mindestens die Kosten einer Produktentwicklung umfaßt.

Aufgrund der genannten Probleme bei der Abschätzung von einschlägigen Marktpotentialen wurde entschieden, eine quantitative Sichtung von Marktdaten einerseits zugunsten der Betrachtung qualitativer Aspekte, andererseits für eine inhaltliche Erweiterung der experimentellen und anwendungsbezogenen Arbeiten zurückzustellen.

7.2 Anwendungen, qualitative Aspekte

Die bisherigen Ausführungen haben aufgezeigt, dass Holzleichtbetonplatten sich grundsätzlich für die Bekleidung von allen inneren Hüllen und auch raumseitig von äußeren Hüllen eignet. Eine Beanspruchung mit Kräften aus dem Primärtragwerk, auch nur zur Weiterleitung von horizontalen Kräften in Zusammenhang mit der Aussteifung eines Gebäudes, ist allerdings bei derzeitigem Stand der Entwicklung nicht möglich. Besonders die ästhetischen Merkmale mit ihren vielfältigen Variationen sind im Vergleich zu marktüblichem Plattenmaterial äußerst signifikant und können als ein Alleinstellungsmerkmal auf dem Markt gelten.

Bei der Bewertung der konkurrierenden Marktfähigkeit müssen vorläufig Aspekte, die in Zusammenhang mit einer großtechnischen Produktion und der damit verbundenen Kostenseite stehen, ausgeklammert bleiben. Auf dem Stand der jetzigen Untersuchungen fehlen qualitative und quantitative Aussagen. Eine konventionelle Herstellung in z.B. liegenden Schalungen und lange Trocknungsvorgänge (bis Schwindprozesse zum Erliegen kommen) ist kostenintensiv und kann mit zementgebundenen Faserplatten oder Gipskartonbekleidungen, für die seit Jahrzehnten Erfahrungen mit großtechnischen Produktionsanlagen vorliegen, nicht konkurrieren. Grundsätzlich sind bei hochwertigen Bekleidungen zusätzlich Vergleiche mit Sichtbetonwänden, Holz-/Holzwerkstoffen oder Natursteinbekleidungen angebracht.

7.2.1 Entscheidungskriterien

Die Varianten der Musterkästen und das Demonstrationsobjekt spiegeln ganz besonders

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

⁵ Der betrachtete Untersuchungszeitraum erstreckte sich über die Jahre 1998 bis 2005

⁶ Herr Dipl.-Ing. Harald Hünting, Knauf Gips KG – Akademie Iphofen, 07.02.2011

auch die 'weichen' aber nicht weniger relevanten Aspekte des Plattenmaterials wider. Sie werden bei nachfolgend aufgelisteten signifikanten Entscheidungskriterien beim Einsatz von Holzleichtbetonplatten neben den bauphysikalischen und mechanischen Fakten gleichermaßen berücksichtigt:

- ökologisch unbedenkliche Materialien
- hochwertige, materialgerechte Oberflächen ohne Beschichtungen und Anstriche
- Anmutung, die durch die Ambivalenz der Werkstoffe Zement (Beton) und Holz gespeist wird und ganz neue Optiken / visuelle Erfahrungen sowie haptische Erlebnisse ermöglicht
- weitgehend frei gestaltbare Sichtbetonoberflächen
- Sichtbetonoberflächen, die im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen mehr 'Wohnlichkeit' ausstrahlen
- höhere gefühlte Oberflächentemperaturen durch geringere Wärmeleitfähigkeit des Materials
- Sichtbetonoberflächen, die auch im Nachhinein in einem bestehenden Gebäude leicht in Trockenbauweise verwirklichtbar sind
- Sichtbetonoberflächen, die erst in der Ausbauphase in ein Gebäude eingebracht werden und dadurch besser vor Beschädigungen und Nachbesserungen durch andere Gewerke geschützt sind
- Sichtbetonoberflächen, deren Qualität und Eigenschaft werkseitig kontrollierbar sind
- brauchbare bis gute Raumakustik
- Einhaltung von Brandschutzanforderungen
- Verbesserung Ausgleich Raumfeuchtigkeit
- Verbesserung Wärmespeicherfähigkeit bei Leichtbauten (durch Einsatz von PCM⁷ = Phase change materials = Latentwärmespeichermaterialien)

- Verwendung in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit möglich, Spritzwasser stellt kein Problem dar
- Alle Kriterien sind sowohl bei Neubau- wie auch Sanierungsmaßnahmen relevant.

Nachteilig können sich folgende Faktoren auf den Entscheidungsprozess auswirken:

- Verschmutzungen können sich in den porösen Oberflächenstrukturen leichter festsetzen und sind schwierig zu entfernen
- mechanische Beanspruchbarkeit und Abrasivität sind nicht stark ausgeprägt, exponierte Kanten bedürfen eines besonderen Schutzes (besonders beim Transport)
- Volumenveränderungen durch Quell- und Schwindprozesse
- energetischer Aufwand beim Herstellen von Zement

7.2.2 Ambivalenz des Materialmixes

Holzleichtbeton vereinigt zwei Materialwelten, die für sehr gegensätzliche technische und bauphysikalische Merkmale und auch Assoziationen stehen, die viele Menschen mit den Materialien verbinden.

Eine Auswahl:
 warm - kalt
 leicht - schwer
 trocken - naß (in Bezug auf Bauweise)
 organisch (belebt) - anorganisch (unbelebt)
 CO₂-neutral - nicht CO₂-neutral
 brennbar - nicht brennbar
 weich - hart
 elastisch - spröde
 dämpfend - hallend
 haptisch angenehm - haptisch unangenehm
 nicht technisch - technisch
 traditionell - modern

Die Liste ließe sich noch weiter fortsetzen. Genau diese Ambivalenz lässt sich als tragende Besonderheit und Stärke interpretieren, die beim Innenausbau Relevanz besitzt. Dort sind Oberflächen gewünscht, die von den meisten Menschen als für die Raumatmosphäre wohltuend und angenehm empfunden werden und meist mit den Merkmalen bzw. Interpretationen zu Holz- und Holzwerkstoffen (linke Spalte) in Verbindung gebracht werden.

Im übertragenen Sinne kann dem Verbundwerkstoff sogar eine Vermittlungsrolle zwischen den beiden unterschiedlichen 'Baustoffwelten' zugesprochen werden.

7.2.3 Massivbau - Leichtbau

Da das Kompositmaterial sowohl Charakteristika des Massiv- wie des Leichtbaus besitzt, eignet sich der naß hergestellte, aber meist trocken montierbare Plattenwerkstoff gleichermaßen für beide Segmente und erhöht somit auch quantitativ Anwendungsfälle und Volumen.

7.2.4 Nassbauweise - Trockenbauweise

In beiden Bauweisen ist Holzleichtbeton zu Hause und somit erhöhen sich ebenfalls die Einsatzmöglichkeiten und somit das Marktpotenzial. Man kann sagen, dass der Werkstoff sehr unabhängig von der Bauweise eines Gebäudes eingeschätzt werden kann, egal ob es in Mauerwerk, Beton, Stahl oder Holz erstellt wurde. Die Nichtbrennbarkeit von Holzleichtbeton ermöglicht die Bekleidung von (gedämmten) tragenden Stahl- oder Holzstrukturen. Die mögliche Verlegung im Mörtelbett vereinfacht den Einsatz in Zusammenhang mit Konstruktionen in Naßbauweise aus Mauerwerk oder Beton.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

7.2.5 Außen- und Innenanwendungen

Für die Positionierung von Holzleichtbeton auf dem Markt, ist es sicherlich von Vorteil, dass das Produkt – wie Versuche gezeigt haben – nicht nur für den Innenbereich sondern auch für den bewitterten Außenbereich geeignet ist.⁸ Hier können sich Firmen jeweils einen neuen Markt erschließen.

7.2.6 Ästhetik bei der Kombination mit anderen Materialien

Die mittels der Musterkästen zusammengestellten Kombinationen zeigen, dass sich Holzleichtbetonplatten gut mit anderen Materialien und Werkstoffen, ob angleichend oder kontrastierend, kombinieren lassen. So ergeben sich sowohl mit Holz- wie Metalloberflächen anregende und auch neuartige Seherfahrungen auf hohem ästhetischen Niveau. Die Wirkung der Platten auf den Betrachter ist zwischen der von (zementgebundenen) Holzwerkstoffplatten, Sichtbetonwänden und Natursteinbekleidungen (poröse Steinsorten, Kalksteinplatten) angesiedelt.

7.3 Anwendungen, qualitative Abschätzungen im Einzelnen

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, für verschiedene Bautypen und Nutzungen konkrete Anwendungen gemäß der signifikanten Charakteristik des Plattenwerkstoffs aufzuzeigen, auf dieser Basis kann eine quantitative Beurteilung aufgebaut werden. Weiter werden Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt, die außerhalb des Bauwesens liegen. Der Vereinfachung halber werden nur die Volumenanteile der prognostizierten Schwerpunkte abgeschätzt, als mögliche untere Grenze des Marktanteils.

Wohnungsbau

Die individuell gestaltbaren Oberflächen und die ökologisch unbedenklichen Ausgangsmaterialien sind für eine Anwendung in Räumen zum Wohnen gut geeignet. Allerdings lassen sich die offenporigen Oberflächen schlecht reinigen, so dass Anwendungen in den kritischen Bereichen von Küchen, Bädern und Toiletten fraglich erscheinen.

Der Anwendungsfall Unterdecke hat im Wohnungsbau eine untergeordnete Bedeutung. Auch nur in Teilbereichen eines Raumes verwendete Holzleichtbetonplatten können dem ganzen Raum als Blickfang einen besonderen Charakter verleihen. Gute Montage und Demontage erhöhen die Einsatzmöglichkeiten. Grundsätzlich ist in Zusammenhang mit energetischen Gebäudesanierungen gute Verwendung und auch ein großes Volumen zu erwarten.

Prognostizierte Schwerpunkte

- dekorative Wandbekleidungen in Wohnräumen mit gehobenen Ansprüchen
- Bekleidung von nachträglich angebrachten Innendämmungen, wenn Sichtqualitäten

gewünscht sind, z.B. bei Beton(fertigbau)weise

- Sanierung von Sichtbetonwänden, auch zur Verbesserung der Raumakustik
- Sanierung von Dachgeschoßwohnungen, nicht brennbare Bekleidung von Dachkonstruktionen mit bestimmter Feuerwiderstandsdauer
- mehrgeschossiger Holzbau, Bekleidung von tragenden Strukturen

Büro- und Verwaltungsbau

Für repräsentative Räumlichkeiten wie für die Büroräume selbst eignet sich das Material für Bekleidungen, um eine angenehmere Atmosphäre herzustellen und vor allem um die Raumakustik zu verbessern. So können Sichtbetonoberflächen, wie sie in Büro- und Verwaltungsbauten oft anzutreffen sind, mit einem wesensverwandten Material, das aber differenzierter gestaltbar ist, renoviert und neu gestaltet werden. Auch partielle Belegungen von Decke oder Wand sind zielführend. Der Wert eines einladenden Arbeitsplatzes mit angenehmen Farben und Oberflächen wird von vielen Firmen geschätzt und mit steigender Produktivität der Mitarbeiter gleichgesetzt. Tageslicht wird durch Reflexion an den Oberflächen der Holzleichtbetonplatten in seiner spektralen Farbzusammensetzung moduliert und kann angenehme Lichtstimmungen hervorrufen.

Obwohl abgehängte Decken in zeitgemäßen Konzepten mit thermisch aktivierten Deckenkonstruktionen in den Hintergrund treten, so werden abgehängte Unterdecken noch lange z.B. für die Integration und Abdeckung von Installationen eine große Rolle spielen. Bei Deckenbekleidungen tritt die Gefahr der Verschmutzung und der mechanischen Beschädigung in den Hintergrund.

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

⁸ Krippner (2004), S. 119-121 und Krippner et al. (2009), S. 19-23

Prognostizierte Schwerpunkte:

- dekorative Wand- und Deckenbekleidungen in Foyers, Fluren und repräsentativen Besprechungsräumen, auch zur Verbesserung der Raumakustik und des Schallschutzes, insbesondere in Zusammenhang mit der Sanierung von Sichtbetonwänden
- dekorative Wand- und Deckenbekleidungen in Büroräumen
- Bekleidung von nachträglich angebrachten Innendämmungen, insbesondere bei der Sanierung von Wänden mit Sichtbetonqualität

Industrie- und Gewerbebau

Bei Nutzbauten, die der Fertigung dienen, tritt die Repräsentation eher in den Hintergrund. Eine Verwendung in Fertigungshallen ist möglich, vor allem in Zusammenhang mit Schallschutz- und raumakustischen Maßnahmen, ist aber voraussichtlich von untergeordneter Bedeutung.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Wand- und Deckenbekleidungen in Foyers und repräsentativen Räumen sowie in Räumen zum Erholen der Mitarbeiter, auch zur Verbesserung der Raumakustik und des Schallschutzes,

Schul- und Hochschulbauten

Die akustischen Eigenschaften des Kompositmaterials erlauben eine vorteilhafte Verwendung in Unterrichts- und Vortragsräumen. Die vielen Möglichkeiten der Individualisierung der Oberflächen und Farben der Platten eignet sich gut, um z.B. jedem Klassenraum einer Schule einen eigenen Charakter zu verleihen, mit denen sich die Schüler identifizieren können.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Wand- und Deckenbekleidungen, ggf. auch nur partiell in Unterrichtsräumen, Foyers, Fluren auch zur Verbesserung der Raumakustik und des Schallschutzes
- Bekleidung von nachträglich angebrachten Innendämmungen, insbesondere bei der Sanierung von Wänden mit Sichtbetonqualität

Forschungs- und Laborgebäude

Hier gelten ähnliche Verwendungsmöglichkeiten wie bei Büro- und Verwaltungsgebäuden. Der hohe Installationsgrad erhöht die Wahrscheinlichkeit von Bekleidungen als Vorsatzschale bei Wänden und Decken. Der Sanierungsbedarf bei solchen sehr beanspruchten und immer wieder neu installierten Gebäuden ist regelmäßig gegeben.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- dekorative Wand- und Deckenbekleidungen in Foyers, Fluren und repräsentativen Besprechungsräumen, auch zur Verbesserung der Raumakustik, insbesondere in Zusammenhang mit der Sanierung von Sichtbetonwänden
- dekorative Wand- und Deckenbekleidungen in Arbeitsräumen
- Bekleidung von nachträglich angebrachten Innendämmungen, insbesondere bei der Sanierung von Wänden mit Sichtbetonqualität

Sportbauten

Die eingeschränkte mechanische Beanspruchbarkeit schränkt die Verwendung in Sporthallen für Ballspiele womöglich ein.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Bekleidung von Decken und Wänden in Eingangsbereichen, Fluren und Umkleiden

Verkehrsbauten

Für Hallen und Anlagen mit großer Staub- und Schmutzbelastung wird der offenporige und schwer zu reinigende Werkstoff ungeeignet sein.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Bekleidung von Decken und Wänden für Foyers, Wartezonen, Flure etc.

Geschäfte, Ladenbau

Insbesondere Einzelhandelsgeschäfte mit schnell wechselnden Umbauzyklen sind eine Domäne des Trockenbaus. Gerade hier kann das vielfältig gestaltbare Kompositmaterial seine Alleinstellungsmerkmale zur Geltung bringen.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Bekleidung von Decken und Wänden mit Plattenmaterial
- sonstige Anwendungen wie skulpturale Elemente und Einbauten, Ablagen, Sitzflächen etc.

Messebau

Ähnlich dem Ladenbau wird auch hier der Variationsreichtum von Holzleichtbeton umfassende neue Einsatzmöglichkeiten mit großem Gestaltungsspielraum erschließen.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Dekorativer Einsatz von Plattenmaterial
- sonstige Anwendungen wie skulpturale Elemente und Einbauten, Ablagen, Sitzflächen etc.

Hotelbau und Gastronomie

Der Hotelbau bietet ebenfalls breite Anwendungsmöglichkeiten, nicht nur für Empfangsbereiche, Gasträume, Flure und Veranstaltungsräume. Auch Hotelzimmern kann das

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

Material mit seinen angenehmen und hochwertigen Oberflächen eine angenehme Atmosphäre verbreiten. Kurze Renovierungszyklen mit wechselnden modischen Strömungen können vielfältig bedient werden. Der angenehme Charakter von Holzleichtbetonflächen in Verbindung mit guten raumakustischen Eigenschaften verspricht gute Einsatzmöglichkeiten bei der Gestaltung von Gasträumen.

Prognostizierte Schwerpunkte:

- Wand- und Deckenbekleidungen in fast allen Räumlichkeiten

Museumsbauten

Die hochwertigen und vielfältig gestaltbaren Oberflächen finden sicherlich leicht Zugang als Bekleidungen in musealen Räumen.

Krankenhausbau

Probleme mit einer hygienischen Reinigung verwehren dem Material voraussichtlich einen großflächigen Einsatz in diesem Segment.

Möbelbau

Wie erste Versuche schon gezeigt haben, eignet sich der Werkstoff auch für die Herstellung von Sitzmöbeln, wie die experimentellen Arbeiten gezeigt haben.

Abb. 130: Tabelle stellt, die qualitative Eignung einfach und übersichtlich mit einfachen Bewertungen dar und ermöglicht erste Rückschlüsse auf die damit verbundene Quantität als Anteil am Kostenvolumen des gesamten Innenausbaus.

- + gut geeignet
- o bedingt geeignet
- nicht geeignet

Bautyp (unten) und Nutzung (rechts)	Neubau	Sanierung	Wandbekleidungen	Deckenbekleidungen	Sonstige Elemente	Gestaltung	Energetische Sanierung	Verbesserung Akustik	Brandschutzmaßnahmen	Integration Installationen	Eignung gesamt	Möglicher Anteil am Innenausbau in %
Wohnungsbau	+	+	+	o	-	+	+	o	+	o	+	
Büro- und Verwaltungsbau	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	
Industrie- und Gewerbebau	o	o	+	+	-	o	+	+	+	+	o	
Schul- und Hochschulbau	+	+	+	+	o	+	+	+	+	o	+	
Forschungs- und Laborbau	+	+	+	+	-	o	+	+	+	+	+	
Sportbauten	o	o	o	o	-	o	+	o	o	o	-	
Verkehrsbauten	o	o	o	+	-	o	+	o	o	o	o	
Ladenbau	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Messebau	+	-	+	+	+	+	-	o	-	o	+	
Gastronomie	+	+	+	+	o	+	+	+	+	+	+	
Hotelbau	+	+	+	+	o	+	+	+	+	+	+	
Krankenhausbau	o	o	-	+	-	+	o	+	+	+	o	

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Abschätzung von Marktpotentialen

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Projektes bestand die Möglichkeit, die Baustoffwelt der Holz-Zement-Wasser-Mischungen erstmals an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg zu erforschen. Vorrangiges Ziel der Arbeiten war die baustofftechnologische Untersuchung von Holzleichtbeton durch Überprüfung bzw. Verifikation vorhandener Materialkennwerte sowie die Erweiterung um neue Kennwerte.

Dabei konnten zum einen die bisherigen positiven mechanischen Eigenschaften von Holzleichtbeton auch in leicht geänderten Mischungszusammensetzungen reproduziert werden. Zum anderen wurden neue Erkenntnisse und Erfahrungen zu funktionalen und konstruktiven Eigenschaften erarbeitet, d.h. vor allem hinsichtlich verbesserten Tragverhaltens bei optimierten Bauteil-Abmessungen und der Bestätigung neuer Anwendungsfelder.

Aufgrund der in diesem Arbeitszusammenhang erstmals durchgeführten Materialexperimente zum Holzleichtbeton wurden die Arbeitsschritte, von der Herstellung einzelner Mischungen bis zur Durchführung der Baustoffprüfungen, ausführlich beschrieben, um für Folgeprojekte die Ergebnisse möglichst exakt unter anderen Randbedingungen oder mit größerem Stichprobenumfang überprüfen und erweitern zu können.

Generell war eine Vielzahl verschiedener Untersuchungen nötig, um den Baustoff Holzleichtbeton zu charakterisieren. Bedingt durch die Anzahl der untersuchten Materialeigenschaften wurden unterschiedlich große Stichprobenumfänge untersucht, sodass die Ergebnisse mit wenigen Proben als Tendenz zu verstehen sind. In den Versuchen bestätigten sich physikalische Materialkennwerte früherer Forschungsarbeiten unbewehrter

Holzleichtbetone. Darüber hinaus konnten eine Reihe neuer Erkenntnisse, speziell hinsichtlich des Einsatzes von künstlichen und natürlichen textilen Bewehrungen, gewonnen werden.

Holzleichtbetone besitzen aufgrund der hohen Porosität des Holzes Festbetonrohddichten zwischen 800 und 1000 kg/m³. Die in früheren Forschungsarbeiten beschriebenen weichen Frischbetonkonsistenzen von Holzleichtbetonmischungen wurden bestätigt. Mit Ausbreitmaßen von 14,4 cm ließ sich Holzleichtbeton gut verarbeiten und verdichten. Es wurden hohe Porositäten von etwa 34 % gemessen. Die Holzleichtbetonrohddichten konnten über mehrere Versuche gleichbleibend erreicht werden.

Die lufttrocknen bestimmten Festbetonrohddichten lagen auf einem ähnlichen Niveau wie diejenigen vergleichbarer Zusammensetzungen aus Untersuchungen des Teilprojekts 16 der TUM¹. In beiden Untersuchungen wurden Holzanteile mit $h/z = 0,24$ bzw. $0,26$ in den Holzleichtbetonmischungen verwendet. Die Mischungen mit einem $w/z = 0,89$ (TP 16) bzw. $0,90$ (OHM) sind am ehesten miteinander vergleichbar. (Abb. 131)

Die Festbetonrohddichten der OHM-Versuche wurden bereits nach 3 Tagen ermittelt, weil auch die Festigkeitsversuche zu frühen Zeitpunkten erfolgten. Insbesondere die vom Austrocknungsgrad abhängigen Rohddichten sind daher nicht direkt miteinander in Beziehung zu setzen. Nach 28 Tagen Trocknungszeit reduzierten sich die am OHM untersuchten Festbetonrohddichten von 1100 auf etwa 900 kg/m³ (-18 %) und lagen etwa auf vergleichbarem Niveau.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Zusammenfassung
und Ausblick

¹ Vgl. Heinz/Urbonas (2009)

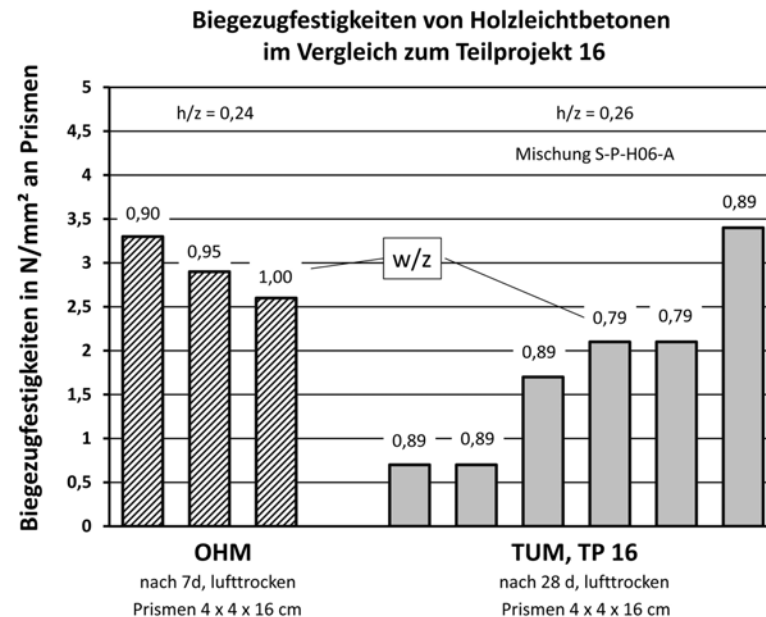
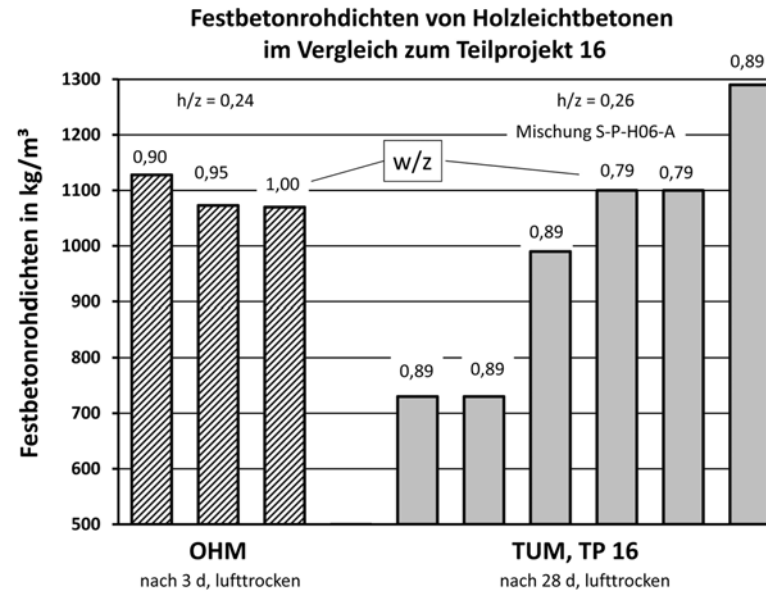
Die gemessenen Biegezug- und Druckfestigkeiten $f_{ct, 7d}$ der unbewehrten Mischungen liegen mit 2,9 N/mm² und 10,2 N/mm² höher gegenüber Holzleichtbetonfestigkeiten früherer Untersuchungen.

Bei der Biegezugfestigkeit (Prismen) wurden die am OHM untersuchten Mischungen bereits nach 7 Tagen geprüft, während im TP 16 Ergebnisse für 28 Tage alte Probekörper aufgeführt sind. Trotz des früheren Prüfzeitpunktes sind die Biegezugfestigkeiten des TP 16 erreicht bzw. übertroffen worden. Das Ziel, an den Grundlagen und Eigenschaften von Holzleichtbetonen aus früheren Untersuchungen anzuschließen, wurde somit erreicht. (Abb. 132)

Die Ursache für die hohen Biegezugfestigkeiten liegt vermutlich auch in der Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Schnellzemente. Dem verzögernden Einfluss des Holzzuckers lässt sich umso besser begegnen, je höher die Anfangsfestigkeit der verwendeten Zemente ausfällt. Die erzielten Biegezugfestigkeiten sind auch im Vergleich zu Normalbetonen als sehr positiv einzustufen. Das Verhältnis Biegezug- zu Druckfestigkeit fällt beim HLB mit etwa 1/4 bis 1/3 deutlich höher als beim Normalbeton aus. Die Ursache liegt in der Faserwirkung der Holzspäne. Aufgrund einer größeren Duktilität des Werkstoffes kön-

Abb. 131: Festbetonrohndichten im Vergleich zu Ergebnissen aus dem Teilprojekt 16 (Untersuchungen an der TU München; vgl. Heinz/Urbonas (2009))

Abb. 132: Biegezugfestigkeiten an Prismen im Vergleich zu Ergebnissen aus dem Teilprojekt 16 (Untersuchungen an der TU München; vgl. Heinz/Urbonas (2009))



nen die Holzfasern einen Anteil der Zugkraft frühzeitig übernehmen.

Die im Verhältnis zum Eigengewicht vergleichsweise hohen Biegezugfestigkeiten bestätigen die Annahme, dass die Verwendung von Holzleichtbeton vor allem in plattenartigen, auf Biegung beanspruchten Bauteilen vorteilhaft sein kann.

Bereits nach 7 Tagen wurden bei luftgetrockneten Probekörpern deutlich höhere Druckfestigkeiten erzielt als im TP 16 an vergleichbaren Mischungen nach 28 Tagen. (Abb. 133) Auch hier sind die Ergebnisse dem speziellen Schnellzement mit sehr hoher Anfangsfestigkeit geschuldet.

Durchschnittlich 10 N/mm² Druckfestigkeit nach 7 Tagen stellen eine hinreichende Eigenfestigkeit der Bauteile dar und erlauben zahlreiche baupraktische Verwendungen. Eine hohe Elastizität bestätigte sich durch den geringeren E-Modul von 1590 N/mm² sowie einem hohen Verformungsvermögen bei Biegezugprüfung der Plattenstreifen.

Das Ziel dieser orientierenden Untersuchungen, geeignete Holzleichtbetone mit ausreichenden mechanischen und physikalischen Eigenschaften für eine praktische Verwendung in plattenartigen Bauteilen zu entwickeln, wurde mit dem Projekt weitgehend erreicht. Die physikalisch-mechanischen Materialkennwerte bestätigen die Einsatzmöglichkeit des Kompositmaterials für nicht tragende Strukturen in Gebäuden. In Abhängigkeit der Plattenabmessungen weisen bereits ca. 1,5 cm dicke Bauteile Biegezugfestigkeiten auf, die eine Lastabtragung infolge Eigenwicht hinreichend ermöglichen.

Eine Anwendung als Wandbekleidung oder der Einsatz als Deckenelement ist mit Einla-

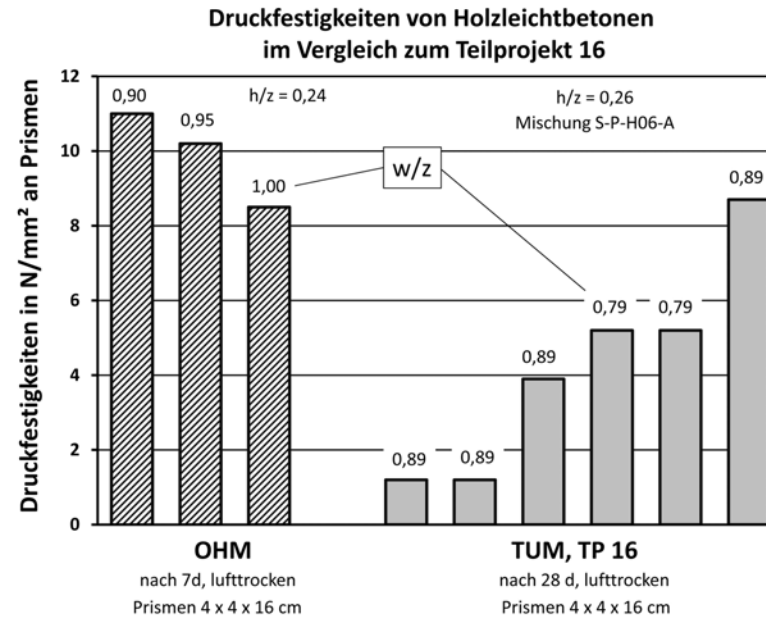


Abb. 133: Druckfestigkeiten an Prismen im Vergleich zu Ergebnissen aus dem Teilprojekt 16 (Untersuchungen an der TU München; vgl. Heinz/Urbanas (2009))

ge einer textilen Bewehrungslage möglich. Durch Einsatz von künstlichen Kurzfaserbewehrungen, aber auch mit textilen Bewehrungseinlagen kann die Biegezugfestigkeit gesteigert werden. Dies erhöht zusätzlich die Kanten- und Formstabilität der Platten.

Die Bewehrungsvarianten mit natürlichen und künstlichen Materialien in loser Form oder als Gewebe führten hinsichtlich ihrer Eignung zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die Verwendung von Kurzfaserbewehrungen hatte starken Einfluss auf die Konsistenz. Trotz Erhöhung des w/z-Wertes waren durch die hohe spezifische Oberfläche der Kurzfa-

sern bis zu 27 % geringere Ausbreitmaße und steife Konsistenzen die Folge.

Durch Bewehrungen mit Naturtextilien wie Hanf, Jute und Flachs wurden zum Teil nur marginale Festigkeitssteigerungen erzielt. Bei Verwendung von künstlichen Kurzfasern als Bewehrung sind gegenüber unbewehrten Holzleichtbeton- (Plattenstreifen) Steigerungen der Biegezugfestigkeit um bis zu 31 % vor allem im jungen Betonalter (7 Tage) möglich. Hier wurden maximale Biegezugfestigkeiten $f_{ct, 7d}$ von 4,5 N/mm² (Prismen) erreicht.

Auf Grund des starken Einflusses der Kurzfaserbewehrung auf die Verarbeitbarkeit des

Holzleichtbetons ist der w/z-Wert möglichst genau anzupassen. Dieser muss jedoch auf Grundlage der Bestimmung von spezifischen Oberflächen der verwendeten Holzspäne sowie der eingesetzten Fasern in weiteren Untersuchungen erfolgen.

Eine Überlagerung inhibitorischer Einflüsse aus Holzspänen und natürlichen Bewehrungsmaterialien auf die Hydratationsprozesse ist auf Grund verzögerter Temperaturverläufe mit niedrigeren Maximaltemperaturen anzunehmen. Die durchgeführten Versuche zeigen die Notwendigkeit einer chemischen Analyse von Holzspänen und der unbehandelten Naturfaserbewehrungen als nächsten Schritt, um die Ursachen inhibitorischer Inhaltsstoffe in ein Verhältnis zu den ermittelten Wirkungen setzen zu können.

Die durchgeführten baustofftechnologischen Untersuchungen bestätigen die Eignung von Holzleichtbeton als Material für plattenförmige Bauteile. Verbesserungen der Dimensionsstabilität und Biegezugfestigkeiten wurden durch geeignete Bewehrungen erzielt. Ferner konnte im Rahmen der Untersuchungen das Wissen über die Materialeigenschaften von Holzleichtbetonen um neue Aspekte erweitert werden. Da die Untersuchungen der Materialeigenschaften eines Baustoffs ein sehr breites Spektrum umfassen und durch die dargestellten Untersuchungen nur Teilaspekte geklärt werden konnten, sind jedoch auch hinsichtlich der Verbesserung der statistischen Aussagekraft anknüpfende Folgeuntersuchungen erforderlich.

Die experimentellen Arbeiten an verschiedenen Einsatzmöglichkeiten im Wand- bzw. Deckenbereich (Büro- bzw. Schulclassenraum) zeigen ein vielfältiges Spektrum an Gestaltungsmöglichkeiten mit plattenförmigen

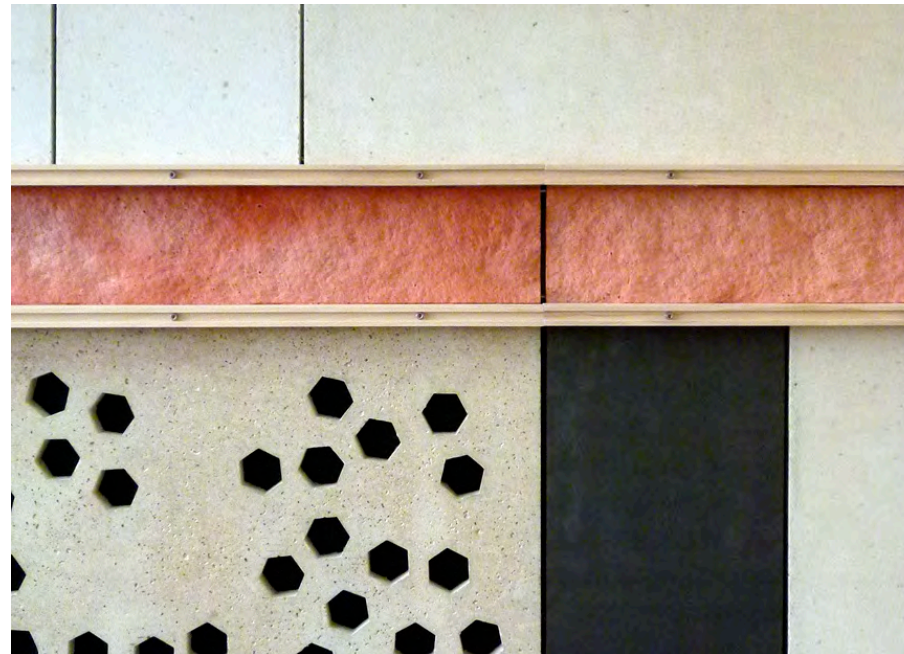


Abb. 134: Demonstrationswand (Ausschnitt) im Arbeitsraum B46 an der Georg-Simon-Ohm-Hochschule Nürnberg

Bauteilen aus Holzleichtbeton. Auch lässt sich anhand der hergestellten Musterplatten belegen, dass das Kompositmaterial für Bekleidungen gut mit den unterschiedlichen markt gängigen Unterkonstruktionen, Befestigungsprinzipien und Fügungstechniken zu verarbeiten ist.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass das Spektrum an Plattenformaten mit den unterschiedlichsten Konfektionen von Bauteilgeometrie und Abmessungen, Oberflächenstruktur sowie Farbigkeit für gängige Anwendungen groß ist. (Abb. 134) Allerdings sind bei zum Beispiel raumhohen Platten eine Reihe von herstellungsbedingten Beson-

derheiten zu berücksichtigen. Die Versuchsreihen machten deutlich, dass besonders für großformatige, dünne Platten (Schlankheit $\lambda = \geq 30$) die Lagerung nach dem Ausschalen von großer Bedeutung ist, weil während der Trocknung mit Verformungen gerechnet werden muss.

Die erstmals in dieser ausführlichen Form durchgeführte Systematisierung und Darstellung von Anordnungsmöglichkeiten und Befestigungsprinzipien bildet eine profunde Grundlage für weitere praxisnahe experimentelle Untersuchungen mit plattenförmigen Bauteilen aus Holzleichtbeton.

Besonders positiv sind die aufgezeigten Kombinationsmöglichkeiten von Holzleichtbe-

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Zusammenfassung
und Ausblick

ton mit verschiedenen Bauteilen aus unterschiedlichen Holzarten und Holzwerkstoffen. Dies eröffnet sowohl im Innenraum als auch im Bereich der Gebäudefassade ein weitreichendes Potential an Einsatzmöglichkeiten. Die Demonstrationswand zeigt ferner, wie wichtig Fragen der Fugenausbildung (offen, geschlossen; Einsatz von Deckprofilen) zur Aufnahme der noch bestehenden Maßungenauglichkeiten ist.

Nicht zuletzt bestand die Möglichkeit, im Rahmen der Projektarbeiten in beiden Fakultäten (Master-)Studierende in die Materialeexperimente zum Holzleichtbeton mit einzubeziehen: im Rahmen des Forschungsmasters (Fakultät Bauingenieurwesen) sowie im Modul 2220 Technikwissenschaften 2 – Smart-Materials des Masterstudiengangs (Fakultät Architektur).

Als unerwartet schwierig und in der geplanten Form nicht durchführbar, zeigte sich die Erhebung von Marktpotentialen. Die Sichtung und Auswertung statistischer Daten im Bereich des Trockenbaus sowohl hinsichtlich Flächen im Gebäudebestand und Neubau, als auch funktionaler Parameter erschweren einerseits sehr unterschiedliche methodische Aufbereitungen und sind andererseits kaum zugänglich. Dies gilt ebenfalls für den Bereich vorgehängter hinterlüfteter Fassaden (Bauteilgewichte, Formate, Oberflächenqualität, Befestigung etc.).

Daher wurden zunächst allgemeine qualitative Einschätzungen zu den Einsatzpotentialen von Holzleichtbeton vorgenommen und eine grundlegende Übersicht erstellt. Bei weiterführenden Projektarbeiten kann diese je nach Anwendungsfall und Einsatzbereich quantitativ ergänzt werden.

Holzleichtbeton stellt eine Art 'Low Tech'-Ansatz im Bauwesen dar: Einsatz von Reststoffen bei energie- und ressourcensparamen Herstellungsprozessen. Das Material ist neben den aufgezeigten Anwendungen im Innenausbau aufgrund der guten Witterungsbeständigkeit² ebenfalls für den Einsatz im Außenbereich, z.B. bei der Sanierung von Außenwänden / Fassaden geeignet. Gerade für die energetische Ertüchtigung des Gebäudebestandes fehlen in der Breite 'nachhaltige', gleichermaßen ökologische wie architektonische Alternativen zu gängigen Lösungen im sogenannten "Vollwärmeschutz" mit Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS). Hier versprechen plattenförmige Bauteile aus Holzleichtbeton durch funktionale wie konstruktive Leistungsmerkmale und gestalterisch anspruchsvolle Oberflächen neue Einsatzpotentiale für Holzverbundwerkstoffe; auch können diese das Spektrum an Fassadenlösungen mit Holz und Holzwerkstoffen im Bauwesen erweitern.

Auf Basis der durchgeführten Projektarbeiten bilden die vorliegenden Ergebnisse eine gute Basis für eine folgerichtige Fortsetzung der Untersuchungen mit Schwerpunkt Außenwand und energetische Sanierung.

Da Holzleichtbeton auch gerade für das Bayerische Zimmererhandwerk die Erschließung neuer Arbeitsbereiche (stoffliche Nutzung von Abfällen der Holzverarbeitung) und Anwendungsfelder (Plattenwerkstoff in der energetischen Sanierung) eröffnet, konnte beim Landesinnungsverband des Bayerischen Zimmererhandwerks in München

ein Antrag³ für ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt eingereicht werden, der bereits eine direkte Weiterführung der begonnenen Arbeiten ermöglichen könnte. Darüber hinaus ist vorgesehen, die Arbeiten und Ergebnisse zu "Holzleichtbeton mit Textilbewehrung" in einschlägigen Fachpublikationen zu kommunizieren. Aktuell besteht die Möglichkeiten über die Internetplattform "DETAIL⁴ research - Building the Future" zusätzlich zu den dort bereits dokumentierten vorangegangenen Untersuchungen⁵ über die Projektarbeiten zu berichten.

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Zusammenfassung
und Ausblick

² Untersuchungen zur Frost-Tau-Wechselbeständigkeit zeigten eine besondere 'Zähigkeit' des Gefüges von Holz-Zement-Wasser-Mischungen, die trotz offener Oberflächen Abplatzungen verhindert. Vgl. Krippner, Mai 2004, S. 119-121

³ "Holzleichtbeton als Material für die Sanierung von Außenwänden", November 2011

⁴ DETAIL ist eine international renommierte Zeitschrift für Architektur. <http://www.detail.de>

⁵ <http://www.detailresearch.de/im-gespraech/spotlight/artikel/holzleichtbeton-mit-textilbewehrung/>

AR-Glas	Alkaliwiderstandsfähiges Glas
E-Modul	Elastizitätsmodul [N/mm ²]
ε	Dehnung [%]
G	Gewebe
GF	Glasfaser(n)
NF	Naturfaser
NF 1	Naturfaser: Jute, Gewebe, Maschenweite 4,5 mm
NF 2	Naturfaser: Flachs, Gewebe, Maschenweite 5 mm
GF 1	Glasfaser: AR-Glas, Gitter, Maschenweite 10 mm
GF 2	Glasfaser: AR-Glas, Matte, Faserorientierung regellos
f_{ct}	Biegezugfestigkeit [N/mm ²]
f_c	Druckfestigkeit [N/mm ²]
HLB	Holzleichtbeton
H/z-Wert	Holz-Zement Verhältnis
K	Kurzfaser
KF	Kunstfaser
kN	Kilo-Newton
K1	Naturfaser: Hanf, Kurzfaser, Länge 10 - 15 mm
K2	Naturfaser: Hanf, vliesfähige Faser, Länge 60 - 80 mm
K3	Glasfaser: AR-Glas, hoch integrale Faser, Länge 12 mm
K4	Glasfaser: AR-Glas, lose dispersible Faser, Länge 12 mm
λ	Schlankheit
M.-%	Masse-Prozent
m_{trocken}	Trockenmasse [g]
m_{nass}	Nassmasse [g]
NF	Naturfaser
P_f	Porosität [%]
σ	Spannung [N/mm ²]
T_R	Raumtemperatur [°C]
T_{H_2O}	Anmachwassertemperatur [°C]
tex	Einheit für Gewicht [g/km]
V	Volumen [kg/m ³]
Vol.-%	Volumen-Prozent
V_f	Fasergehalt [kg/m ³]
V_{crit}	kritischer Fasergehalt [kg/m ³]
w/z-Wert	Wasser-Zement Verhältnis
$\rho_{\text{NB, fest}}$	Rohdichte Normalbeton [kg/m ³]
$\rho_{\text{HLB, frisch}}$	Frischbetonrohddichte Holzleichtbeton [kg/m ³]
$\rho_{\text{HLB, trocken}}$	Trockenrohddichte Holzleichtbeton [kg/m ³]

9.2 Literaturverzeichnis

Normen

DIN 196-1 (2005): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 196-1:2005 Prüfverfahren für Zement – Teil 1: Bestimmung der Festigkeit, Beuth Verlag GmbH, Berlin; Mai 2005

DIN 196-3 (2009): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 196-3:2009 Prüfverfahren für Zement – Teil 3: Bestimmung der Erstarungszeiten und der Raumbeständigkeit, Beuth Verlag GmbH, Berlin; Februar 2009

DIN 206-1 (2001): Deutsches Institut für Normung e.V.; Entwurf DIN EN 206-1:2001 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Beuth Verlag GmbH, Berlin; Juli 2001

DIN 1015-3 (2007): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1015-3:2007 Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Teil 3: Bestimmung der Konsistenz von Frischmörtel (mit Ausbreittisch); Beuth Verlag GmbH, Berlin; Mai 2007

DIN 1045-2 (2008): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1045-2:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Beuth Verlag GmbH, Berlin; August 2008

DIN 1259-1 (2001): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 1259-1:2001 Glas – Teil 1: Begriffe für Glasarten und Glasgruppen, Beuth Verlag GmbH, Berlin; September 2001

DIN 12350-6 (2011): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 12350-6:2011 Prüfung von Frischbeton – Teil 6: Frischbetondichte, Beuth Verlag GmbH, Berlin; März 2011

DIN 12390-7 (2009): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 12390-7:2009 Prüfung von Festbeton – Teil 7: Dichte von Festbeton, Beuth Verlag GmbH, Berlin; Juli 2009

DIN 18000 (1984): Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 18000 Modulordnung im Bauwesen, Beuth Verlag GmbH, Berlin; Mai 1984

Veröffentlichungen

Becker, Klausjürgen; Pfau, Jochen; Tichelmann, Karsten (3/2004): Trockenbau-Atlas. Grundlagen, Einsatzbereiche, Konstruktionen, Details. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 3/2004

Becker, Klausjürgen; Pfau, Jochen; Tichelmann, Karsten: Trockenbau-Atlas. Teil II (2005). Einsatzbereiche, Sonderkonstruktionen, Gestaltung, Gebäude. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 2005

Betonfasertechnik (2001). Betonfasertechnik mit alkaliresistenten Glasfasern. Sonderdrucke aus: BWI - BetonWerk International. Zürich 2001

Bonzel, Justus (1986): Beton, Beitrag in Beton-Kalender 1986, Taschenbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau sowie die verwandten Fächer, Teil I, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1986

FNR (2008): Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.; Studie zu Markt- und Konkur-

renzsituation bei Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen (Deutschland und EU); Gülzow 2008

Freimann, Thomas (2010): Vorlesungsskript Sondergebiete der Betontechnologie: Bauwerke aus Massencement, Nürnberg 2010

GD-Holz (2010): Gesamtverband Deutscher Holzhandel e. V.: Merkblattreihe Holzarten – Fichte, <http://www.holzhandel.de/fichte.html>, Aschaffenburg 2010, <05. Mai 2011>

Giebler, Georg; Fisch, Rainer; Krause, Harald; Musso, Florian; Petzinka, Karl-Heinz; Rudolphi, Alexander (2008): Atlas Sanierung. Instandhaltung, Umbau, Ergänzung. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, München 2008

Hausladen, Gerhard; Tichelmann, Karsten (2009): Ausbau Atlas. Integrale Planung, Innenausbau, Haustechnik. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, München 2009

Hegger, Manfred; Auch-Schwelk, Volker; Fuchs, Matthias; Rosenkranz, Thorsten (2005): Baustoff Atlas. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, München 2005

Heinz, Detlef; Urbonas, Liudvikas (2009): Centrum für Baustoffe und Materialprüfung, TU München, Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 16. Holzbeton, Reihe Holzbau Forschung H 007/16, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009

Holschemacher, Klaus; Dehn, Frank; Klug, Yvette (2011): Grundlagen des Faserbetons, Fachbeitrag in: Beton-Kalender 2011 – Kraftwerke, Faserbeton, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2011

Holzleichtbeton mit Textilbewehrung

Anhang

Stand: 29.11.2011

Holzmann, Gerhard; Wangelin, Matthias (2009): Natürliche und pflanzliche Baustoffe: Rohstoff – Bauphysik – Konstruktion, 1. Auflage 2009, Vieweg + Teubner GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2009

Jesse, Frank; Curbach, Manfred (2010): Verstärken mit Textilbeton, Fachbeitrag in: Beton-Kalender 2010 – Brücken, Betonbau im Wasser, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2010

Kind-Barkauskas, Friedbert; Kauhsen, Bruno; Polónyi, Stefan; Brandt, Jörg (2/2009): Beton Atlas. Entwerfen mit Stahlbeton im Hochbau. Verlag Bau+Technik / Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, Düsseldorf / München 2/2009

Krippner, Roland (2004): Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Fakultät Architektur, TU München, Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich von Gebäudefassaden, München 2004

Krippner, Roland; Niebler, Dagmar; Urbonas, Liudvikas; Heinz, Detlef (5/2009): Schnell erhärtender Holzleichtbeton. Teil II: Mögliche Anwendungsgebiete. In: holztechnologie, 50. Jg., 5/2009, S. 19–23

Krippner, Roland; Niebler, Dagmar; Issig, Holger (2009): Lehrstuhl für Baustoffkunde und Baukonstruktion, TU München, Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 17. Holzleichtbeton im Hochbau; Reihe Holzbauforschung, Band H 007/17, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009

Natterer, Julius; Winter, Wolfgang; Herzog, Thomas; Schweitzer, Roland; Volz, Michael (4/2003): Holzbau Atlas. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, München 4/2003

Schubert, B.; Wienhaus, O.; Bloßfeld, O. (1990): VEB Kombinat Bauelemente und Faserbaustoffe Leipzig, TU Dresden; Holz als Roh- und Werkstoff: Untersuchungen zum System Holz-Zement; Holz als Roh- und Werkstoff 48; S. 423 – 428; Springer online 2011

Urbonas, Liudvikas; Heinz, Detlef; Krippner, Roland; Niebler, Dagmar (4/2009): Schnell erhärtender Holzleichtbeton. Teil I: Hydratationsmechanismen und physikalisch-technische Eigenschaften der Holzbetone. In: holztechnologie, 50. Jg., 4/2009, S. 16–21

VDZ (2008): Verein Deutscher Zementwerke e. V.; Zement Taschenbuch, 51. Ausgabe, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2008

Wikipedia (2011): Suchbegriff Corchorus capsularis, <http://de.wikipedia.org/wiki/Corchorus>, aufgerufen am 30. Mai 2011

Zorn, Holger (2003): Tagungsbeitrag zu 2nd Colloquium on Textile Reinforced Structures (CTRS2), Alkali-resistente Glasfasern – Von der Herstellung bis zur Anwendung, Herzogenrath 2003

9.3 Abbildungsverzeichnis

Betonfasertechnik (2001)

Abb. 3

Johanna Beigel und Jörg Falk, Fakultät Architektur

Abb. 119

Peter Bonfig, München

Abb. 56-102, 130

Svenja Burger und Ertan Karaköse, Fakultät Architektur

Abb. 121

Jörg Falk, Fakultät Architektur

Abb. 115-117

Thomas Freimann,

Fakultät Bauingenieurwesen

Abb. 54-55, 131-133

Jesse et al. (2010)

Abb. 27 (S. 467)

Holschemacher et al. (2011)

Abb. 29 (S. 43), Abb. 37 (S. 43)

Roland Krippner, Fakultät Architektur

Abb. Titel, 1, 2, 105-114, 118, 120, 128-129, Abb. 134

t quadrat ideenwerk, Bubenreuth

Abb. 122-127

Michael Weinmann,

Fakultät Bauingenieurwesen

Abb. 4-26, 28, 30-36, 38-53, 103;

Tab. 1-28

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Anhang

9.4 Firmenkooperationen und Arbeitskontakte

BAFA Badische Naturfaseraufbereitung GmbH
Herr Bernd Frank
Stephanstraße 2
76316 Malsch
Tel.: 07246 / 925 75-0
Fax.: 07246 / 925 75-23
E-Mail: info@bafa-gmbh.de
<http://www.bafa-gmbh.de>

benchmarking-trockenbau
Herr Dipl.-Ing.(FH) Michael Depping
Josef-Schnellrieder-Weg 4
82515 Wolfratshausen
Tel: 08171 / 27020
Fax: 08171 / 27029
E-mail: info@michael-depping.de
www.benchmarking-trockenbau.de

BIG Trockenbau – Interessengemeinschaft
Trockenbau e.V.
Frau Franziska Plessner, Herr Jens Renkwitz
Olivaer Platz 16, 10707 Berlin
Tel: 030 / 88 72 74 6-6
Fax: 030 / 88 72 74 6-77
E-Mail: kontakt@big-trockenbau.de
<http://www.big-trockenbau.de>

CLAYTEC e.K.
Frau Christiane Baude
Nettetaler Straße 113-117
41751 Viersen
Tel.: 02153 / 918 - 0
Fax.: 02153 / 918 - 18
E-Mail: service@claytec.de
<http://www.claytec.de>

Dyckerhoff AG
Hauptverwaltung
Biebricher Straße 69

65203 Wiesbaden
Postfach 2247
65012 Wiesbaden
Tel.: 0611 676-0
Fax.: 0611 676-1040
E-Mail: info@dyckerhoff.com
<http://www.dyckerhoff.com>

Fachverband Baustoffe und Bauteile für vor-
gehängte hinterlüftete Fassaden e.V. (FVHF)
Herr Gert Moegenburg
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin
Tel: 030 / 21 28 62 81
Fax: 030 / 21 28 62 41
E-Mail: info@fvhf.de
<http://www.fvhf.de>

HeidelbergCement AG
Konzernzentrale
Herr Dipl.-Ing. Hilpert Atze
Berliner Straße 6
69120 Heidelberg
Tel.: 06221 - 481-0
Tel. H. Atze: 0172 / 630 12 16
Fax.: 06221 - 481-540
E-Mail: info@heidelbergcement.com
<http://www.heidelbergcement.com>

Knauf Gips KG
Akademie
Herr Dipl.-Ing. Harald Hünting
Am Bahnhof 7, 97346 Iphofen
Tel.: 09323 / 31488
Fax.: 09323 / 31 1912
E-Mail: huenting.harald@knauf.de
<http://www.knauf.de>

Naturbaustoffe Erhard Rietz
Werkstättenstraße 2
01157 Dresden
Tel.: 0351 / 421 61 76

Fax.: 0351 / 421 61 77
E-Mail: info@naturbaustoffe-rietz.de
<http://www.naturbaustoffe-rietz.de>

Ostrakon GmbH
Herr Jürgen Kristokat
Maria-Hilf-Straße 9
92334 Berching
Tel.: 08462 / 952 97 63
Fax.: 08462 / 952 97 65
E-Mail: info@ostrakon.com
<http://www.ostrakon.com>

SCHWENK Zement KG
Herrn Wolfgang Hemrich
Werk Mergelstetten
Hainenbachstraße 30
89522 Heidenheim-Mergelstetten
Tel.: 073 21 / 310 – 0
Tel. W. Hemrich: 0171 / 30 25 237
Fax.: 073 21 / 310 -113
E-Mail: info@schwenk.de
<http://www.schwenk.de>

t quadrat ideenwerk
rumpler & lorenz gdr
Hauptstraße 3
91088 Bubenreuth
Tel: 09131 / 9232025
Fax: 09131 / 9232024
E-Mail: info@tquadrat.net
<http://www.tquadrat.net>

VHT - Versuchsanstalt für Holz- und
Trockenbau GmbH
Prof. Dr.-Ing. Karsten Tichelmann
Annastraße 18
64285 Darmstadt
Tel.: 06151 / 5 99 49-0
Fax: 06151 / 5 99 49-40
E-Mail: info@vht-darmstadt.de
<http://www.vht-darmstadt.de>

Holzleichtbeton mit
Textilbewehrung

Anhang