

Schlussbericht

Appendix

zum Vorhaben

Thema:

EnOB: HLBhybrid – Entwicklung innovativer (schlanker und hochwärmedämmender) Fassaden-Sandwichelemente unter Verwendung von Holzleichtbeton und ligninbasierter, hochporöser Aerogel-Dämmung sowie nanostrukturierter Dämmung auf Basis von synthetisch amorpher Kieselsäure

Zuwendungsempfänger:

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm [THN] (Projektleitung), Technische Universität Hamburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik (V-8) [TUHH-TVT]

Förderkennzeichen

03EN1072A, 03EN1072B

Laufzeit:

01.01.2023 – 30.06.2025

Monat der Erstellung:

Nürnberg, März 2026

(kbp/ Roland Krippner)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) über den Projektträger Jülich, Fachbereich Energieeffizienz in Gebäuden (ESN1)/ Energieoptimierte Gebäude und Quartiere – dezentrale und solare Energieversorgung im Förderprogramm „7. Energieforschungsprogramm“ unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Schlussbericht

Appendix

zum Vorhaben

Thema:

EnOB: HLBhybrid – Entwicklung innovativer (schlanker und hochwärmedämmender) Fassaden-Sandwichelemente unter Verwendung von Holzleichtbeton und ligninbasierter, hochporöser Aerogel-Dämmung sowie nanostrukturierter Dämmung auf Basis von synthetisch amorpher Kieselsäure

Zuwendungsempfänger:

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm [THN] (Projektleitung), Technische Universität Hamburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik (V-8) [TUHH-TVT]

Förderkennzeichen

03EN1072A, 03EN1072B

Laufzeit:

01.01.2023 – 30.06.2025

Monat der Erstellung:

Nürnberg, März 2026

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWE) über den Projektträger Jülich, Fachbereich Energieeffizienz in Gebäuden (ESN1)/ Energieoptimierte Gebäude und Quartiere – dezentrale und solare Energieversorgung im Förderprogramm „7. Energieforschungsprogramm“ unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Projektpartner*innen/ Bearbeiter*innen

III. Appendix

Teilvorhaben 1: (THN)

Förderkennzeichen: 03ET1636A

- Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Architektur (THN-AR)
Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Projektleitung), Dr.-Ing. Peter Bonfig, M.A. Alina
Burose, M.A. Markus Schilcher
- Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik/ Institut für Energie und Gebäude –
rieg (THN-MB-VS/ieg)
Prof. Dr. Pooyan Jahangiri , Dipl.-Ing. (FH) Mario Franz

Unteraufträge

- Kauer | Brodmeier | Peter, Architekten & Ingenieure GmbH, Regensburg
Dipl.-Ing. Architekt Thomas Kauer, Dipl.-Ing. (FH) Architekt Bernhard Brodmeier
- Hofmann & Tibad Beratende Ingenieure, PartG mbB, Regensburg
Dipl. Ing. Univ. Marius Peter Tibad
- Möhler + Partner Ingenieure AG - Beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik,
München
Dipl.- Ing. (FH) Rudolf Liegl
- Meier Betonwerke GmbH, Lauterhofen
Christian Franke, Dipl. Ing. (FH) Architektur
- Kingspan Insulation GmbH & Co.KG, Ibbenbüren
Dr.-Ing. Gabriele Gärtner (Evonik)

Kooperationen

- AGITEC AG (Aerogel-Produkte)
Königstraße 27, 70173 Stuttgart
Jürgen Mandry
- Carbon Cycle GmbH & Co. KG (Pflanzenkohle)
Schwandorfer Straße 30, 92286 Rieden-Vilshofen
Michael Wiederer
- Consulta AG (Alternatives Bindemittel (Römerbeton))
Nußbergerstraße 31, 94234 Viechtach
Jürgen Weber, Ivo Fuchs
- rothycon – Roy Thyroff Consulting (Textile Bewehrung)
Selbitzer Straße 28, 95119 Naila
Roy Thyroff
- solidian keltex / solidian GmbH (Textile Bewehrung)
Sigmaringer Straße 150, 72458 Albstadt
Thomas Bischoff, Johann Josef Pfaff
- Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Bauingenieurwesen/ Labor für Beton- und Baustofftechnologie
(Materialexperimente ((Holz-)Leichtbeton))
Kesslerplatz 12, 90489 Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann

Teilvorhaben 2: (TUHH-TV)T

Förderkennzeichen: 03ET1636B

- Technische Universität Hamburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik (V-8)
Prof. Dr.-Ing. Irina Smirnova, Dr.-Ing. Carsten Zetzi, Razan Altarabeen

A1	Entwicklung von Lösungsstrategien	8	III. Appendix Inhalt
A2	Material- und Bauteilentwicklung	12	
A2.1	Materialentwicklung ((Holz-)Leichtbeton)	12	
A2.1.1	Leichtbeton – MBW Mischung 1 (05.08.2024)	13	
A2.1.2	Leichtbeton – MBW Mischung 2 (02.08.2024)	14	
A2.1.3	Leinenschäben – MBW Mischung 1 (14.03.2023)	15	
A2.1.5	Leinenschäben – MBW Mischung 3 (15.03.2023)	17	
A2.1.6	Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 1 (15.03.2023)	18	
A2.1.7	Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 2 (03.04.2023)	19	
A2.1.8	Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 3 (04.04.2023)	20	
A2.1.9	Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 4 (05.04.2023)	21	
A2.1.10	Holz – MBW Mischung 1 (28.10.2024)	22	
A2.1.11	Holz – MBW Mischung 2 (11.04.2023)	23	
A2.1.12	Gärrest (Digestat) – MBW Mischung 1 (28.06.2023)	24	
A2.1.13	Leichtbeton-Rezepturen für Funktionsmodelle	25	
A2.1.14	E-Modul und Zylinderdruckfestigkeit der Leichtbeton-Rezepturen	27	
A2.2	Bauteilentwicklung (Fassaden-Sandwichelement)	28	
A3	Funktionsmodelle und Untersuchungen zum Leistungsprofil	29	
A3.1	Entwicklung und Realisierung von Funktionsmodellen	29	
A3.2	Bauakustische Bewertung der Lösungsstrategien	42	
A3.2.1	Bauakustische Grundlagen	42	
A3.2.2	Vergleich erforderlicher bewerteter Schalldämm-Maße in Abhängigkeit von der Außenlärmbelastung	43	
A3.2.3	Ableitung der Erwartungswerte für bewertetes Schalldämm-Maß R_w	44	
A3.2.4	Funktionsmodell I – Messung der Luftschalldämmung im Prüfstand	45	
A3.2.5	Flankenschalldämmung	46	
A3.2.6	Untersuchungen für biegeeweiche Vorsatzschale Lösungsstrategie II	47	
A3.3	Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient)	51	
A3.3.1	Hot-Box	51	
A3.3.2	Messprinzip	51	
A3.4	Prüfungen zum Brandverhalten	53	
A3.4.1	Heizwertermittlung	53	
A3.4.2	SBI-Test	53	
A4	Ökologische Bewertungen	54	
A4.1	Ökologische Bewertung des Lignin-Aerogel-Dämmstoffs	54	
A4.2	Ökologische Bewertung Funktionsmodelle	55	
A4.2.1	Referenzmischung / Normalbeton – IZB Mischung 1 (26.01.2025)	63	
A4.2.2	Referenzmischung / Leichtbeton – IZB Mischung 1 (26.01.2025)	64	
A4.2.3	Referenzmischung / Infraleichtbeton – IZB Mischung 1 (26.01.2025)	65	
A4.3	Beurteilung des Einsatzes der prototypischen Lösung (Funktionsmodell fm.I.d) in einem Bauprojekt	66	
A4.4	Weiterführende Untersuchungen zur Potentialabschätzung	71	
A4.5	Ökozertifizierung eines Musterbauvorhabens nach dem Bewertungssystem für nachhaltiges Bauen (BNB) bei Einsatz des Funktionsmodells fm.I.d	72	
A4.6	Umwelt-Produktdeklaration für ein Fassaden-Sandwichelement (Lösungsstrategie I, Funktionsmodell fm.I.d)	74	
A4.6.1	Produkt	74	
A4.6.2	LCA-Rechenregeln	77	
A4.6.3	LCA: Szenarien und weitere technische Informationen	78	
A4.6.4	LCA: Ergebnisse	79	
A4.6.5	LCA: Interpretation	79	

A5	Optimierungen zu 'prototypischem' Fassadenbauteil	83	III. Appendix
			Inhalt
A5.1	Untersuchungen zur Eignung der Lösungsstrategien im baulichen Kontext	83	
A5.2	„Praxisbeispiel“ „kompaktes Hofhaus“	95	
A5.3	Materialexperimente ((Holz-)Leichtbeton)	96	
A5.3.1	Organische Zusätze	100	
A5.3.1.1	Hanf – HJSA Mischung 1 (WS 2024/25)	101	
A5.3.1.2	Hanf – HJSA Mischung 2 (WS 2024/25)	102	
A5.3.1.3	Hanf – HJSA Mischung 3 (WS 2024/25)	103	
A5.3.1.4	Hanf – HJSA Mischung 4 (WS 2024/25)	104	
A5.3.1.5	Hanf – EEH Mischung 1 (WS 2025/26)	105	
A5.3.1.6	Hanf – EEH Mischung 2 (WS 2025/26)	106	
A5.3.1.7	Hanf – EEH Mischung 3 (WS 2025/26)	107	
A5.3.1.8	Hanf – EEH Mischung 4 (WS 2025/26)	108	
A5.3.1.9	Vergleich Betonmischungen mit Hanfschäben bzw. -spänen	109	
A5.3.1.10	Holz – ND Mischung 1 (WS 2024/25)	111	
A5.3.1.11	Holz – ND Mischung 2 (WS 2024/25)	112	
A5.3.1.12	Holz – FH Mischung 1 (WS 2024/25)	113	
A5.3.1.13	Holz – FH Mischung 2 (WS 2024/25)	114	
A5.3.1.14	Holz – BHK Mischung 1 (WS 2025/26)	115	
A5.3.1.15	Holz – BHK Mischung 2 (WS 2025/26)	116	
A5.3.1.16	Holz – BHK Mischung 3 (WS 2025/26)	117	
A5.3.1.17	Holz – BHK Mischung 4 (WS 2025/26)	118	
A5.3.1.18	Vergleich Betonmischungen mit Holz	119	
A5.3.1.19	Kork – LM Mischung 1 (M18) (WS 2024/25)	121	
A5.3.1.20	Kork – LM Mischung 2 (M19) (WS 2024/25)	122	
A5.3.1.21	Kork – LM Mischung 3 (M20) (WS 2024/25)	123	
A5.3.1.22	Kork – LM Mischung 4 (M22) (WS 2024/25)	124	
A5.3.1.23	Kork – LM Mischung 5 (M23) (WS 2024/25)	125	
A5.3.1.24	Kork – BKS Mischung 1 (WS 2025/26)	126	
A5.3.1.25	Kork – BKS Mischung 2 (WS 2025/26)	127	
A5.3.1.26	Kork – BKS Mischung 3 (WS 2025/26)	128	
A5.3.1.27	Kork – BKS Mischung 4 (WS 2025/26)	129	
A5.3.1.28	Vergleich Betonmischungen mit Korkreststoffen	130	
A5.3.2	Anorganische Zusätze	132	
A5.3.2.1	Normalbeton/ RC Sand – SBS Mischung 1 (WS 2024/25)	133	
A5.3.2.2	Flugasche – AMH Mischung 1 (WS 2024/25)	134	
A5.3.2.3	Flugasche – AMH Mischung 2 (WS 2024/25)	135	
A5.3.2.4	Flugasche/ Pflanzenkohle – RW Mischung 1 (WS 2024/25)	136	
A5.3.2.5	Pflanzenkohle – KK Mischung 1 (WS 2024/25)	137	
A5.3.2.6	Pflanzenkohle – KK Mischung 2 (WS 2024/25)	138	
A5.3.2.7	Pflanzenkohle/ Syscompound – SL Mischung 1 (WS 2024/25)	139	
A5.3.2.8	Pflanzenkohle/ Syscompound – SL Mischung 2 (WS 2024/25)	140	
A5.3.2.9	Pflanzenkohle – BHS Mischung 1 (WS 2025/26)	141	
A5.3.2.10	Pflanzenkohle – BHS Mischung 2 (WS 2025/26)	142	
A5.3.2.11	Pflanzenkohle – BHS Mischung 3 (WS 2025/26)	143	
A5.3.2.12	Pflanzenkohle – BHS Mischung 4 (WS 2025/26)	144	
A5.3.3	Vergleich Betonmischungen mit Pflanzenkohle	145	
A5.3.3.1	Tonmehl – GL Mischung 1 (WS 2024/25)	147	
A5.3.3.2	Tonmehl – GL Mischung 2 (WS 2024/25)	148	
A5.3.3.3	Tonmehl/ Pflanzenkohle – RW Mischung 1 (WS 2024/25)	149	
A5.3.3.4	Tonmehl – BKW Mischung 1 (WS 2025/26)	150	
A5.3.3.5	Tonmehl – BKW Mischung 2 (WS 2025/26)	151	
A5.3.3.6	Tonmehl – BKW Mischung 3 (WS 2025/26)	152	
A5.3.3.7	Tonmehl – BKW Mischung 4 (WS 2025/26)	153	
A5.3.3.8	Tonmehl – BKW Mischung 5 (WS 2025/26)	154	
A5.3.4	Vergleich Betonmischungen mit Tonmehl (calciniertes Ton)	155	
A5.3.5	Ökobilanzierung Materialexperimente Leichtbeton-Rezepturen	157	
A6	Anhang / Literatur	158	

III. Appendix

III. Appendix Projektstruktur

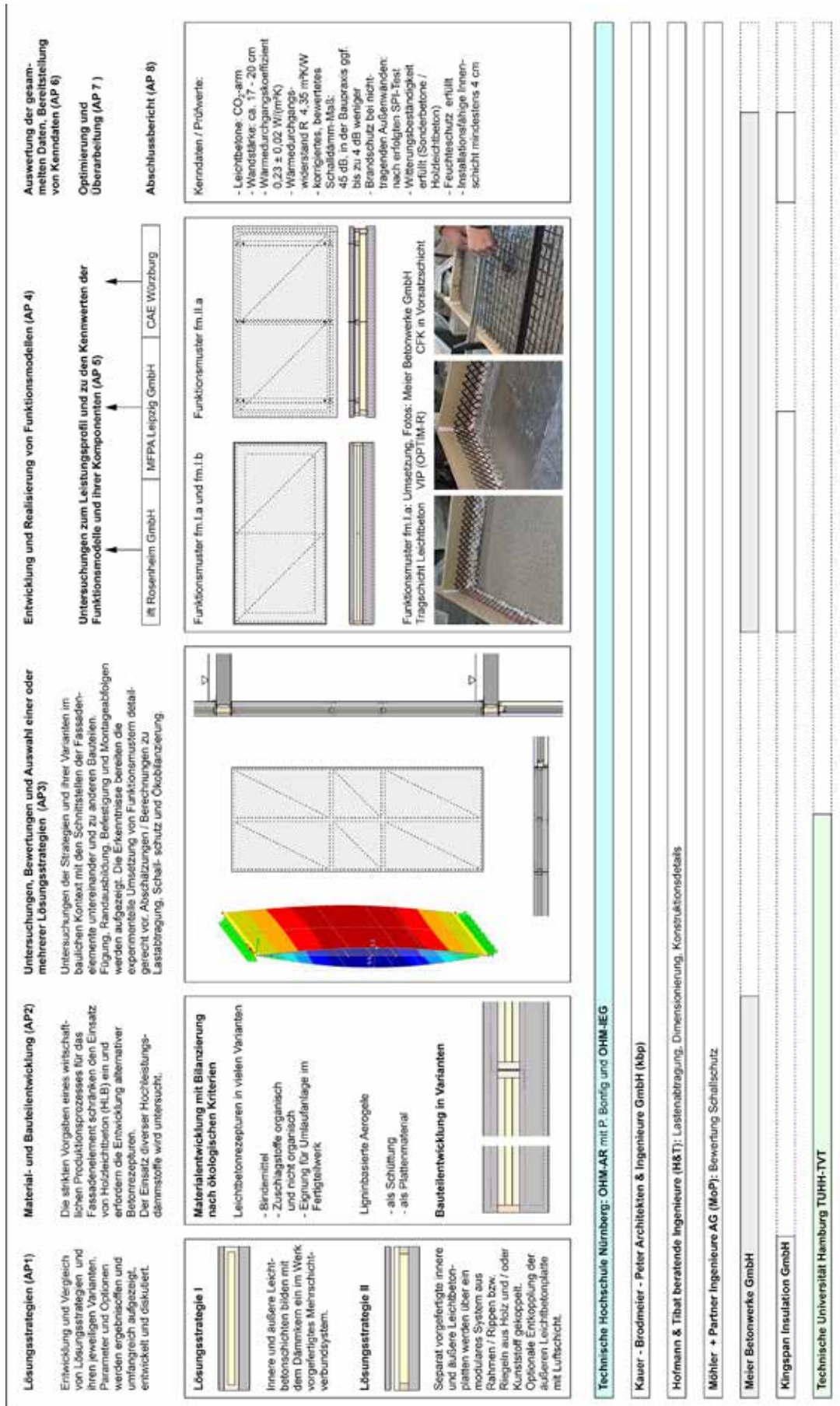


Abb. A1 Projektstruktur mit Arbeitspaketen und Bearbeitern (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

A1 Entwicklung von Lösungsstrategien

III. Appendix Lösungsstrategien

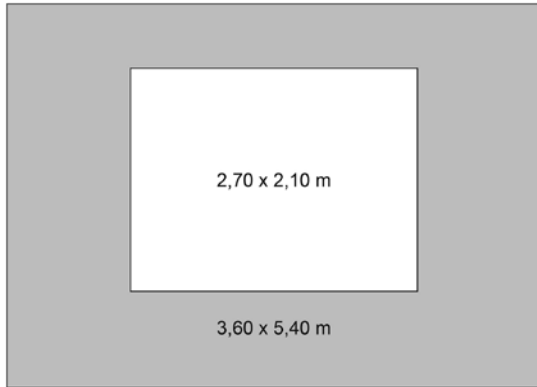


Abb. A2 Fassaden-Sandwichelemente (FSE), Anordnung der Öffnung im Wandbauteil (OHM-AR)



Abb. A3 Halle-Neustadt, Plattenbau Wohnblock (1968); Richard Paulick (1903-1979) u. a. (Roland Krippner)



Abb. A4 Fassaden-Sandwichelemente (FSE), Anordnung der Öffnung zwischen Wandbauteilen (OHM-AR)

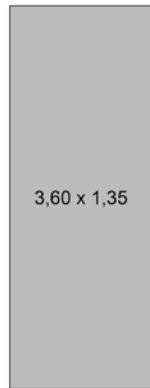


Abb. A5 Berlin, Wohnhaus "Hoch 6" (2018); roedig schop architekten, Berlin (Roland Krippner)

III. Appendix
Lösungsstrategien


Darstellung Standards	Schnitte Farben, Strichstärken, Deckungsgrade	Ansichten Farben, Strichstärken, Deckungsgrade	Schnitte Farben, Strichstärken, Deckungsgrade	Ansichten Farben, Strichstärken, Deckungsgrade
Maßstäbe 1:1, 1:5, 1:10, 1:25, 1:50	Leichtbeton LB / Holz. HLB R: 192, G: 192, B: 192 Deckung: 100 %	Holzleichtbeton HLB R: 238, G: 238, B: 238 Deckung: 100 %	Stahlbeton R: 160, G: 160, B: 160 Deckung: 100 %	Stahlbeton R: 160, G: 160, B: 160 Deckung: 30 %
Schrift Arial (regulär, fett) 9 Pkt.	Holz / Holzwerkstoff R: 234, G: 212, B: 191 Deckung: 100 %	Holz / Holzwerkstoff R: 234, G: 212, B: 191 Deckung: 60 %	Putzsystem R: 227, G: 228, B: 233 Deckung: 100 %	Putzsystem R: 227, G: 228, B: 233 Deckung: 50 %
Benennung 	Dämmung: AlphaCore R: 221, G: 210, B: 163 Deckung: 30 %	Dämmung: AlphaCore R: 238, G: 232, B: 204 Deckung: 30 %	Elektroinstallation R: 230, G: 160, B: 0 (nur Linie) Deckung: 100 %	
Strichstärke 0,18	Dämmung: VIP R: 255, G: 255, B: 204 Deckung: 100 %	Dämmung: VIP R: 255, G: 255, B: 204 Deckung: 50 %	Dichtung Folie R: 204, G: 85, B: 0 (nur Linie) Deckung: 100 % Strichstärke abweichend 0,25	
Abkürzungen LB Leichtbeton HLB Holzleichtbeton a außen i innen s starr l lösbar D Dämmung D v V/VP D ac AlphaCore D la Lignin Aerogel F Fuge	Dämmung: Aerogel - Platte R: 222, G: 230, B: 222 Deckung: 100 %	Dämmung: Aerogel - Platte R: 222, G: 230, B: 222 Deckung: 30 %	Schubgitter R: 153, G: 85, B: 153 (nur Linie) Deckung: 100 % Strichstärke abweichend 0,25	
	Dämmung: Aerogel - Schüttung R: 247, G: 238, B: 229 Deckung: 100 %	Dämmung: Aerogel - Schüttung R: 247, G: 238, B: 229 Deckung: 100 %	Textilbewehrung R: 149, G: 89, B: 89 (nur Linie) Deckung: 100 % Strichstärke abweichend 0,25	
	Glas transparent R: 220, G: 255, B: 255 Deckung: 100 %	Glas transparent R: 220, G: 255, B: 255 Deckung: 40 %	Dämmung: Sonstige R: 204, G: 170, B: 153 Deckung: 40 %	
	Kunststoff R: 204, G: 170, B: 204 Deckung: 100 %	Kunststoff R: 204, G: 170, B: 204 Deckung: 30 %	Dämmung: Kooltherm K20 R: 255, G: 204, B: 153 Deckung: 60 %	
	Metall R: 0, G: 0, B: 187 Deckung: 100 %	Metall R: 0, G: 0, B: 187 Deckung: 10 %		
	Dichtungselement / -profil R: 255, G: 170, B: 153 Deckung: 60 %	Dichtungselement / -profil R: 255, G: 170, B: 153 Deckung: 30 %		

Abb. A6 Legende zur einheitlichen Beschreibung und farbigen Darstellung der variantenreichen Aufbauten der Fassadenelemente. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

Varianten im Aufbau der Schichten als Beispiele	Lösungsstrategie I Varianten als Beispiele			7. März 2024 – 26. Februar 2025 Dr.-Ing. Peter Bonfig
<p>(außen)</p> <p>170: LBa30 - Dac80 - LBi60</p> <p>180: LBa30 - Dv40 - Dac40 - LBi70</p>	<p>I.a.1 Flächige / teilflächige kraftschlüssige Verbindung mittels Verklebung von LB i, D und LB a. Dies setzt ausreichend schubfeste Dämmmaterialien voraus und schließt Schüttungen aus. Stumpfer Stoß der Wandelemente. Montage von Fensterelementen von innen mit Anschlag und Abdeckprofil.</p> <p>I.a.2 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Montage von Fensterelementen von innen mit Anschlag und Abdeckprofil. Außen- und Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p>	<p>I.a.5 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Montage von Fensterelementen mit stumpfem Stoß. Drei Dämmschichten mit geschützter Vakuumdämmung im Kern.</p> <p>I.b.1 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Stöße mit Kompribändern und Versatz. Ausbildung des Versatzes kann Einfluss auf Abfolge von Montage und Demontage zur Folge haben.</p>	<p>I.b.4 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Fügungen mit Versatz und Dichtbändern, in der Variante teils unflexible Abfolge von Montage und Demontage. Integration von Elektronisolationen.</p> <p>I.b.5 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Fügungen mit Versatz und Dichtungsprofilen, teils unflexible Abfolge von Montage und Demontage. Außen- und Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p>	<p>I.c.2 Kraftschlüssige Kopplung von LB i und LB a über Profile, z. B. aus GFK-verstärktem Kunststoff. Stumpfer Stoß der Elemente. Außen- und Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p> <p>I.d.1 Für mehr Materialeffizienz und eine erhöhte Tragwirkung wird LB i mit Aufkantung am Rand und Rippen ausgeführt. LB a wird auf Schalung betoniert, Füllkörper z. B. aus AlphaCore als verlorene Schalung / Füllung. Innenseite LB i wird geglättet. Außenfuge mit plastischem Mörtel verfügt. Verbindung LB a und LB i z. B. mittels Biegel.</p> <p>I.d.2 Für mehr Materialeffizienz und eine erhöhte Tragwirkung wird LB i mit Aufkantung am Rand und Rippen ausgeführt. LB a wird auf Schalung betoniert, Füllkörper z. B. aus VIP als verlorene Schalung / Füllung. Innenseite LB i wird geglättet. Außenfuge mit plastischem Mörtel verfügt. Verbindung LB a und LB i z. B. mittels Biegel.</p> <p>I.d.3 Für mehr Materialeffizienz und eine erhöhte Tragwirkung wird LB i mit Aufkantung am Rand und Rippen ausgeführt. LB i wird separat erstellt, mit Aerogel als Schüttung gefüllt und mit AlphaCore-Platten geschlossen. Herstellung LB a im Negativ- oder Positivverfahren.</p>
<p>170: LBa30 - Dac30 - Dac40 - LBi60 (HLBi mit Rippen / erhöhtem Rand)</p> <p>170: LBa30 - Dac30 - Dv40 - LBi60 (LB i mit Rippen / erhöhtem Rand)</p> <p>175: LBa25 - Dac60 - Dv30 - LBi70</p>	<p>I.a.3 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit stumpfen Stößen von innen oder außen, mit zusätzlichem Abdeckprofilen bei Fensteranschluss.</p> <p>I.a.4 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Montage von Fensterelementen (z. B. Systemfenster mit integrierten Sonnenschutz) mit stumpfem Stoß. Fugen bei Wandelementstößen mit plastischem Mörtel verfügt.</p>	<p>I.b.2 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Fügungen mit Versatz und Dichtungsprofil und ggf. Dichtstoffen bei den Stößen der LB-Platten. Unflexible Abfolge von Montage und Demontage.</p> <p>I.b.3 Lineare oder punktförmige kraftschlüssige Verbindung von D, LB i und LB a, z. B. mit Schubgittern oder Ankern. Fügung der Elemente untereinander nach dem Nut- und Feder-Prinzip mit unflexibler Abfolge von Montage und Demontage.</p>	<p>I.c.1 Kraftschlüssige Kopplung von LB i und LB a über Profile, z.B. aus GFK-verstärktem Kunststoff. Stumpfer Stoß der Elemente. Außen- und Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p>	

III. Appendix
Lösungsstrategien

Abb. A7 Lösungsstrategie I. Varianten als Beispiele. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

Parameter / Variable	Varianten im Aufbau der Schichten bzw. Lagen als Beispiele	Lösungsstrategie II Varianten als Beispiele (Horizontalanschnitte, schematisch), im Regelfall ist die Dämmung mehrschichtig, auch wenn nicht dargestellt
<ul style="list-style-type: none"> - Bauteilstärke d - LB: Leichtbeton - HLB: Holzeichtbeton - LB a: außen - LB i: innen - LB a: 30 mm - LB a: 35 mm - LB a: 40 mm - LB i: 60 mm - LB i: 70 mm - LB i: 80 mm - LB s: starr (s) - LB l: lösbar (l) - LB: schalungsflatt - LB: profiliert - LB: abgezogen - LB: gegliedert - LB: angedröhrt - D: 1 Schicht - D: 2 Schichten - D: 3 Schichten - D: Platte - D: Schüttung - D v: VIP - D ac: AlphaCore - D la: Lignin Aerogel - Profil: ohne - Profil: in Kunststoff - Profil: in Holz - Profil: sonstige - Montage von außen - Montage von innen - Montage von außen und innen - Fuge: Dichtstoff - Fuge: Dichtband - Fuge: Dichtprofil - Fuge: plast. Mörtel - Fugung: stumpf - Fugung: Überlappen - Fugung: Anpressen - usw. 	<p>170: LBa30 - F5 - D80 - LBi60</p> <p>165: HLBa1 - F15 - D70 - LBi60</p> <p>160: HLB a 30 - F 10 - D 80 - HLB i 60</p> <p>175: HLB a 25 - F 20 - D 20 - D 50 - HLB i 50</p> <p>175: HLB a 20 - F 15 - D 50 - D 30 - HLB i 60</p> <p>170: HLB a 50 - F 10 - D 30 - D 50 - HLB i 30</p> <p>160: HLB a 30 - F 10 - D 30 - D 50 - HLB i 60</p>	<p>II.a.1 Kopplung von LB i und LB / HLB a beide separat gegen Schalung betoniert) mit Profilen aus Kunststoff (z. B. Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem komplett vorgefertigten Element (ohne Luftspalt). Dämmung, ob ein- oder mehrschichtig in den Gefäßen, Stumpfer Wandelementstoß, Anschlag Fensterelement von innen.</p> <p>II.a.2 Kopplung von LB i und LB / HLB a beide separat gegen Schalung betoniert) mit Profilen aus Holz (z. B. Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem komplett vorgefertigten Element (ohne Luftspalt). Dämmung zweischichtig mit versetzten Stoßen. Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p> <p>II.b.1 Kopplung von LB i und LB / HLB a über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem Element mit LB / HLB a als lösbares Weitterschale. Montage mit Anschlüssen / Fugungen / Windsperre von außen. Zwei Dämmebenen mit versetzten Stoßen. Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p> <p>II.b.2 Kopplung von LB i und LB / HLB a über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem Element mit LB / HLB a als lösbares Weitterschale. Montage mit Anschlüssen / Fugungen / Windsperre von außen. Zwei Dämmebenen mit Schutzung und Plattenmaterial.</p> <p>II.b.3 Kopplung von LB i und LB / HLB a (beide separat gegen Schalung betoniert) über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem Element mit LB / HLB a als identeilige lösbare Weitterschale. Montage mit Anschlüssen / Fugungen / Windsperre von außen.</p> <p>II.b.4 Kopplung von LB i und LB / HLB a über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem Element mit LB / HLB a als lösbares Weitterschale. Montage mit Anschlüssen / Fugungen / Windsperre von außen. Zwei Dämmebenen mit versetzten Stoßen. Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p> <p>II.b.5 Kopplung von LB i und LB / HLB a über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem Element mit LB / HLB a als lösbares Weitterschale. Montage mit Anschlüssen / Fugungen / Windsperre von außen. Dämmung als Schüttung. Innenfuge mit plastischem Mörtel verfügt.</p> <p>II.b.6 Kopplung von LB i und LB / HLB a über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippen) zu einem Element mit LB a als lösbares Weitterschale. Montage mit Anschlüssen / Fugungen / Windsperre von außen. Innenfuge mit Nut-Feder-Verbindung. Fenster auch von innen montierbar.</p> <p>II.c.1 Für mehr Materialeffizienz und eine erhöhte Tragwirkung wird LB i mit Aufkantung am Rand und Rippen ausgeführt. LB i und LB / HLB a werden separat betoniert. Zwei Dämmebenen aus AlphaCore-Platten und Schutzung mit Aerogel. Riegel aus Holz (zwischen Dämmplatten) mit lösbarer akustisch „federnder“ Weitterschale.</p> <p>II.c.2 Für mehr Materialeffizienz und eine erhöhte Tragwirkung wird LB i mit Aufkantung am Rand und Rippen ausgeführt. LB i und LB / HLB a werden separat betoniert. Zwei Dämmebenen aus AlphaCore-Platten und Schutzung mit Aerogel. Riegel aus Holz (zwischen Dämmpl.) mit lösbarer akustisch „federnder“ Weitterschale. Fenster von außen montiert.</p> <p>II.c.3 Für mehr Materialeffizienz und eine erhöhte Tragwirkung wird LB i mit Aufkantung am Rand und Rippen ausgeführt. LB / HLB a wird auf Schalung betoniert. Füllkörper z. B. aus VIP optional als verlorene Schalung / Füllung. Zweite Dämmebene aus AlphaCore-Platten und Riegeln aus Holz mit lösbarer akustisch „federnder“ Weitterschale, separat gegen Schalung betoniert. Montage mit Windsperre von außen, Innenfuge mit plastischem Mörtel von innen geschlossen.</p>

III. Appendix
Lösungsstrategien

Abb. A8 Lösungsstrategie II, Varianten im Aufbau der Fassadenelemente und Fügung untereinander und mit Fensterelementen. Die schematischen Darstellungen gehen nur untergeordnet auf Materialeigenschaften und Schichtdicken ein, vielmehr geht es in der Entwicklungsphase um das Aufzeigen von Kombinationsmöglichkeiten im Aufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

A2 Material- und Bauteilentwicklung

A2.1 Materialentwicklung ((Holz-)Leichtbeton)

III. Appendix Material- und Bauteilentwicklung



Abb. A9 Betonlabor – Zuschlagsstoff: Holzspäne / Hobelspäne (Meier)



Abb. A10 Betonlabor – Zuschlagsstoff: Hackschnitzel (Meier)



Abb. A11 Betonlabor – Zuschlagsstoff: Leinschäben (Meier)



Abb. A12 Betonlabor – Zuschlagsstoff: Pflanzkohle (Meier)

A2.1.1 Leichtbeton – MBW Mischung 1 (05.08.2024)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,09	3,00	0,28	0,09
2 Wasser		0,15	1,00	0,15	0,15
3 Rohmann	0/2	0,22	2,63	0,57	0,22
4 Kalksplitt	0,25	0,04	1,32	0,05	0,04
5 Kalksplitt	0,5	0,06	1,32	0,08	0,06
6 Liapor	4,5	0,18	1,23	0,22	0,18
7 Kalksteinmehl		0,01	2,80	0,02	0,01
8 Pflanzkohle		0,02	0,26	0,01	0,02
9 Fließmittel		0,001	1,08	0,001	0,001
w/z (eq)					
Gesamt		0,768		1,376	0,768
Festbetonrohddichte				1,740	

Tab. A1 Prüfprisma

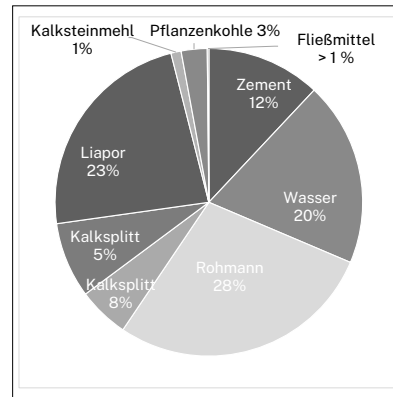


Abb. A13 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		120	3,00	360	120
2 Wasser		194	1,00	194	194
3 Rohmann	0/2	281	2,63	738,0	281
4 Kalksplitt	0,25	54	1,32	71	54
5 Kalksplitt	0,5	80	1,32	105	80
6 Liapor	4,5	233	1,23	285	233
7 Kalksteinmehl		11	2,80	30	11
8 Pflanzkohle		27	0,26	7	27
9 Fließmittel		2	1,08	1,8	2
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		1,791,9	1,000
Festbetonrohddichte				1,740	

Tab. A2 Hochrechnung auf 1 m³

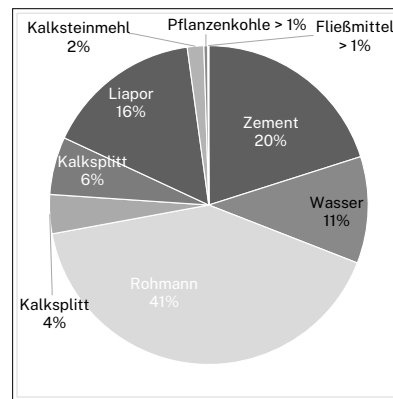


Abb. A14 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Rohmann Pollanten 0/2
- 4 Kalksplitt Trolius Hermann 2/8
- 5 Kalksplitt Trolius Hermann 8/16
- 6 Liapor Pautzfeld F 4,5
- 7 Pflanzkohle Granulat Carbon Cycle Rieden
- 8 Kalksteinmehl Sebald
- 9 Fließmittel VC 1095 BV/FM

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A2.1.2 Leichtbeton – MBW Mischung 2 (02.08.2024)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,11	3,00	0,32	0,11
2 Wasser		0,16	1,00	0,16	0,16
3 Liaporsand	0,5	0,26	0,64	0,16	0,26
4 Liapor	4,5	0,16	1,23	0,20	0,16
5 Kalksteinmehl		0,08	2,80	0,21	0,08
6 Fließmittel		0,007	1,08	0,007	0,007
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		1,066	0,768
Festbetonrohddichte				1,330	

Tab. A3 Prüfprisma

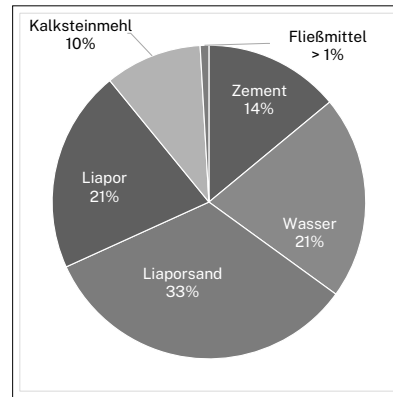


Abb. A15 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		140	3,00	420	140
2 Wasser		210	1,00	210	210
3 Liaporsand		332	0,64	211	332
4 Liapor	4,5	209	1,23	257	209
5 Kalksteinmehl		100	2,80	280	100
6 Fließmittel		9	1,08	9,7	9
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		1,387,5	1,000
Festbetonrohddichte				1,330	

Tab. A4 Hochrechnung auf 1 m³

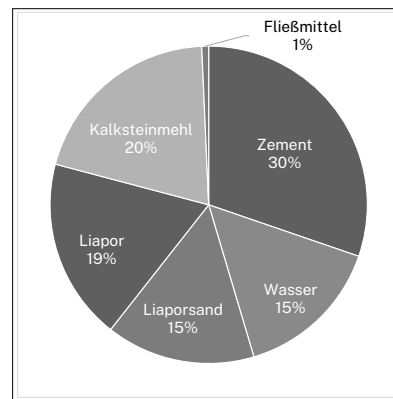


Abb. A16 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Liaporsand Pautzfeld SMT
- 4 Liapor Pautzfeld F 4,5
- 5 Kalksteinmehl Sebald
- 6 Pflanzkohle Granulat Carbon Cycle Rieden
- 7 Fließmittel VC 1095 BV/FM

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A2.1.3 Leinenschäben – MBW Mischung 1 (14.03.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,12	3,00	0,37	0,12
2 Wasser		0,41	1,00	0,41	0,41
3 Leinenschäben		0,23	0,50	0,12	0,23
w/z (eq)					
Gesamt		0,768		0,901	0,768
Festbetonrohddichte				1,120	

Tab. A5 Prüfprisma

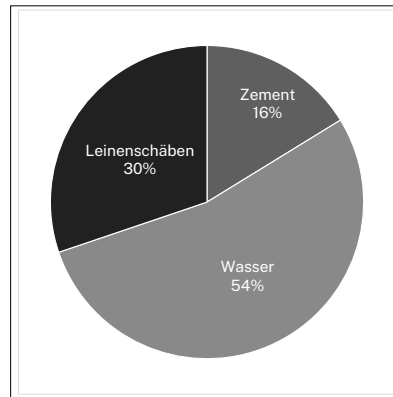


Abb. A17 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		162	3,00	487	162
2 Wasser		535,7	1,00	535,7	535,7
3 Leinenschäben		301,95	0,50	150,97	301,95
w/z (eq)		1,1			
Gesamt		1,001		1,173,7	1,000
Festbetonrohddichte				1,120	

Tab. A6 Hochrechnung auf 1 m³

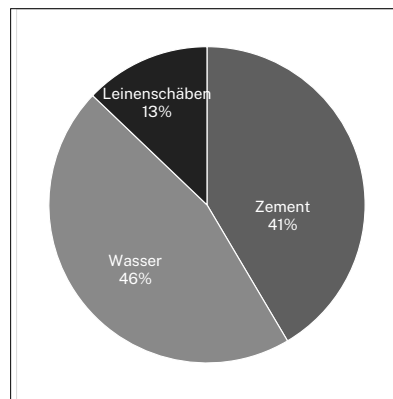


Abb. A18 Gewicht

Anmerkungen

1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A19 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

2.1.4 Leinenschäben – MBW Mischung 2 (15.03.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,15	3,00	0,45	0,15
2 Wasser		0,40	1,00	0,40	0,40
3 Leinenschäben		0,22	0,50	0,11	0,22
w/z (eq)					
Gesamt		0,768		0,959	0,768
Festbetonrohddichte				1,190	

Tab. A7 Prüfprisma

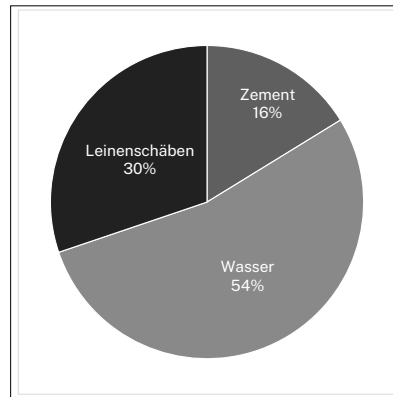


Abb. A20 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		195	3,00	584	195
2 Wasser		525,3	1,00	525,3	525,3
3 Leinenschäben		280,16	0,50	140,08	280,16
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,000		1,249,0	1,000
Festbetonrohddichte				1,190	

Tab. A8 Hochrechnung auf 1 m³

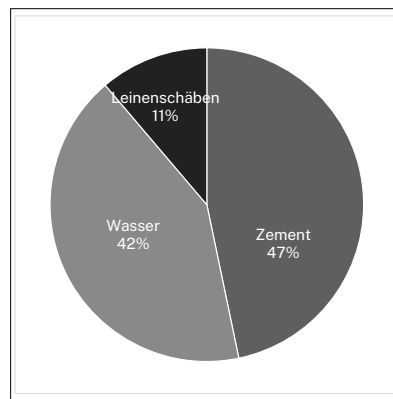


Abb. A21 Gewicht

Anmerkungen

1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A22 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.5 Leinenschäben – MBW Mischung 3 (15.03.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,05	3,00	0,16	0,05
2 Wasser		0,14	1,00	0,14	0,14
3 Leinenschäben		0,57	0,50	0,29	0,57
w/z (eq)					
Gesamt		0,768		0,588	0,768
Festbetonrohddichte				710	

Tab. A9 Prüfprisma

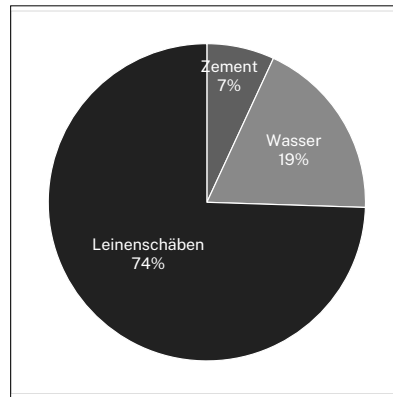


Abb. A23 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		69	3,00	207	69
2 Wasser		186	1,00	186	186
3 Leinenschäben		744,80	0,50	372,40	744,80
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,001		765,5	1,000
Festbetonrohddichte				710	

Tab. A10 Hochrechnung auf 1 m³

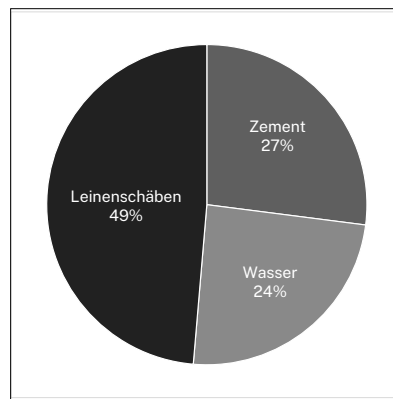


Abb. A24 Gewicht

Anmerkungen

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
 Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)
 Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
 Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
 bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A25 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.6 Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 1 (15.03.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung	Stoffraum	Stoffrohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,13	3,00	0,40	0,13
2 Wasser		0,30	1,00	0,30	0,30
3 Holzschüttung		0,26	0,50	0,13	0,26
4 Leinenschäben		0,07	0,50	0,04	0,07
w/z (eq)		0,75			
Gesamt		1,518		0,866	0,768
Festbetonrohddichte				1,070	

Tab. A11 Prüfprisma

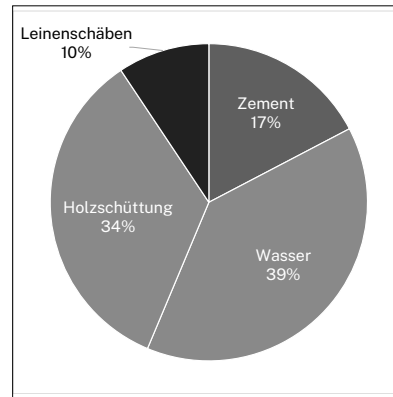


Abb. A26 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoffrohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		173	3,00	520	173
2 Wasser		389,9	1,00	389,9	389,9
3 Holzschüttung		343,15	0,50	171,58	343,15
4 Leinenschäben		93,59	0,50	46,79	93,59
w/z (eq)		0,75			
Gesamt		1.001		1.128,3	1.000
Festbetonrohddichte				1,070	

Tab. A12 Hochrechnung auf 1 m³

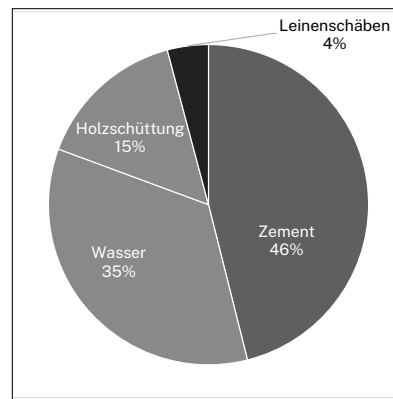


Abb. A27 Gewicht

Anmerkungen

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
 Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)
 Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
 Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
 bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A28 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.7 Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 2 (03.04.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,10	3,00	0,32	0,11
2 Wasser		0,22	1,00	0,23	0,23
3 Sand	0,5	0,13	2,63	0,34	0,13
4 Holzschüttung		0,13	1,00	0,13	0,13
5 Leinenschäben		0,17	0,50	0,09	0,17
w/z (eq)		0,7			
Gesamt		1,451		1,106	0,768
Festbetonroh-dichte				1,320	

Tab. A13 Prüfprisma

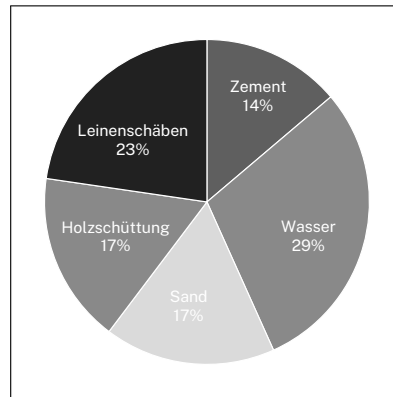


Abb. A29 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		131	3,05	400	131
2 Wasser		290	1,00	290	290
3 Sand	0-4	162	2,63	425,4	162
4 Holzschüttung		162	1,00	162	162
5 Leinenschäben		216	0,50	108	216
w/z (eq)		0,7			
Gesamt		951		1.374,8	950
Festbetonroh-dichte				1,320	

Tab. A14 Hochrechnung auf 1 m³

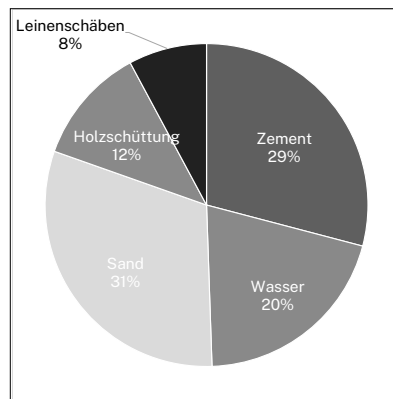


Abb. A30 Gewicht

Anmerkungen

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
 Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonroh-dichte (Zuschläge trocken)
 Festbetonroh-dichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
 Frischbetonroh-dichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
 bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A31 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.8 Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 3 (04.04.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,08	3,00	0,24	0,08
2 Liament		0,03	3,05	0,06	0,03
3 Wasser		0,22	1,00	0,23	0,23
3 Sand	0,5	0,22	2,63	0,57	0,22
4 Holzschüttung		0,13	1,00	0,13	0,13
5 Leinenschäben		0,09	0,50	0,04	0,09
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,686		1,293	0,768
Festbetonrohddichte				1,550	

Tab. A15 Prüfprisma

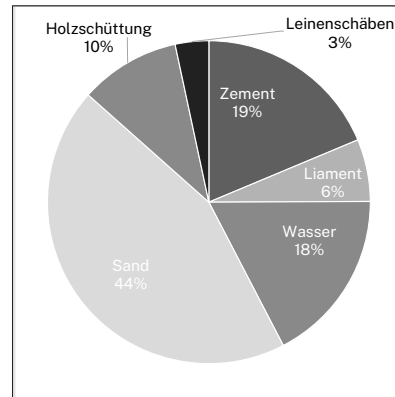


Abb. A32 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		98	3,05	300	98
2 Liament		33	3,05	100	33
3 Wasser		290	1,00	290	290
4 Sand	0-4	269	2,63	709,0	269
5 Holzschüttung		162	1,00	162	162
6 Leinenschäben		108	0,50	54	108
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		951		1,604,6	950
Festbetonrohddichte				1,550	

Tab. A16 Hochrechnung auf 1 m³

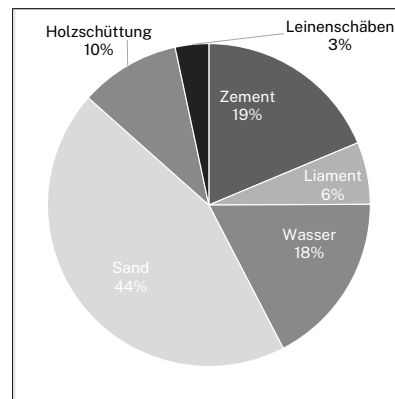


Abb. A33 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Sebald CEM III/A-LL 52,5 N SEB
- 4 Rohmann Sand 0-4 tr
- 5 Holzschüttung CEMWood CW1000

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A34 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.9 Leinenschäben/ Holz – MBW Mischung 4 (05.04.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,10	3,00	0,32	0,11
2 Wasser		0,31	1,00	0,32	0,32
3 Holzschüttung		0,17	1,00	0,17	0,17
4 Leinenschäben		0,17	0,50	0,08	0,17
w/z (eq)		1,0			
Gesamt		1,747		0,895	0,768
Festbetonroh-dichte				1,060	

Tab. A17 Prüfprisma

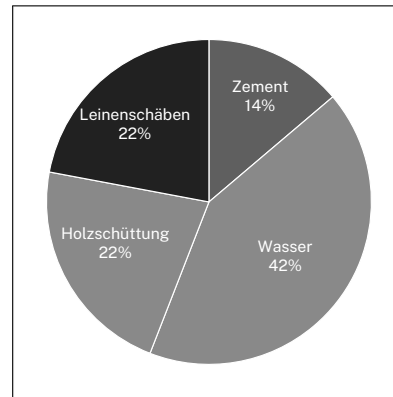


Abb. A35 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		131	3,05	400	131
2 Wasser		400	1,00	400	400
3 Holzschüttung		209	1,00	209	209
4 Leinenschäben		209	0,50	105	209
w/z (eq)		1,0			
Gesamt		951		1.114,1	950
Festbetonroh-dichte				1,060	

Tab. A18 Hochrechnung auf 1 m³

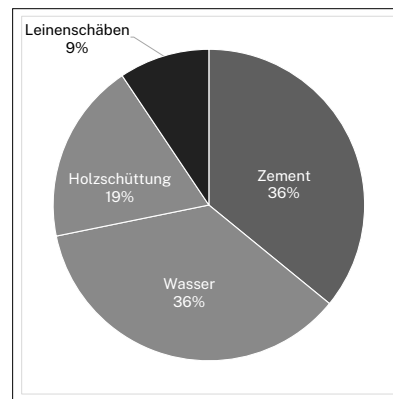


Abb. A36 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Heidelberger 52,5 R
- 3 Holzschüttung CEMWood CW1000

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonroh-dichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonroh-dichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonroh-dichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A37 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.10 Holz – MBW Mischung 1 (28.10.2024)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
	mm				
1 Zement		0,15	3,00	0,45	0,15
2 Wasser		0,35	1,00	0,35	0,35
3 Holzschüttung 1		0,12	1,00	0,12	0,12
4 Holzschüttung 2		0,15	1,00	0,15	0,15
w/z (eq)		0,76			
Gesamt		1,529		1,070	0,768
Festbetonrohddichte				1.350	

Tab. A19 Prüfprisma

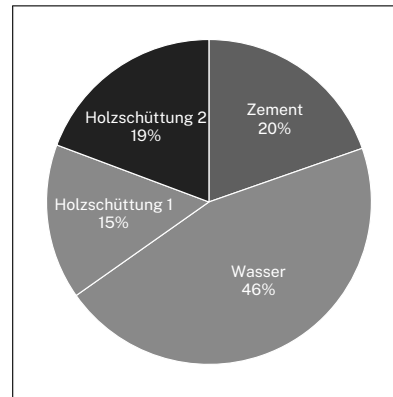


Abb. A38 Volumen

	Körnung	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
	mm				
1 Zement		196	3,05	599	196
2 Wasser		456	1,00	456	456
3 Holzschüttung 1		155	1,00	155	155
4 Holzschüttung 2		193	1,00	193	193
w/z (eq)		0,76			
Gesamt		1.001		1.402,8	1.000
Festbetonrohddichte				1.350	

Tab. A20 Hochrechnung auf 1 m³

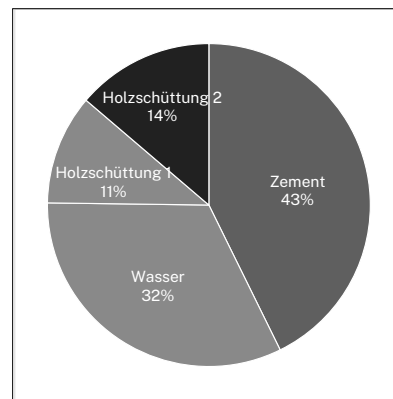


Abb. A39 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Holzschüttung CEMWood CW1000 Holzanteil
44,5 Gew-%
- 4 Holzschüttung CEMWood CW1000 Zementanteil
55,5 Gew-%

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A2.1.11 Holz – MBW Mischung 2 (11.04.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,10	3,00	0,32	0,11
2 Wasser		0,22	1,00	0,23	0,23
3 Holzspäne		0,44	0,59	0,26	0,44
w/z (eq)		0,7			
Gesamt		1,451		0,801	0,768
Festbetonroh-dichte				940	

Tab. 21 Prüfprisma

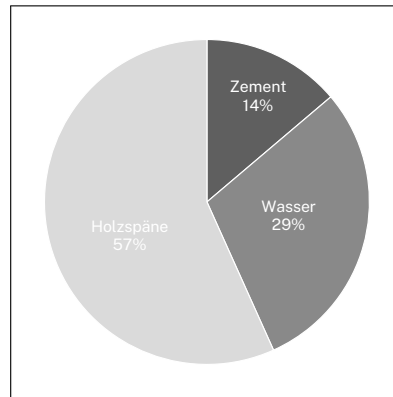


Abb. A40 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (um ³)
c Zement		131	3,05	400	131
2 Wasser		290	1,00	290	290
3 Holzspäne		539	0,59	317	539
w/z (eq)		0,7			
Gesamt		951		997,0	950
Festbetonroh-dichte				940	

Tab. 22 Hochrechnung auf 1 m³

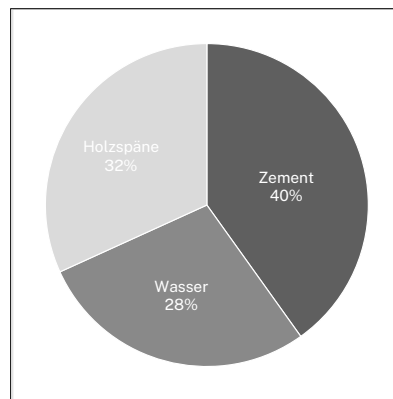


Abb. A41 Gewicht

Anmerkungen

1 Zement Heidelberg 52,5 R

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonroh-dichte
(Zuschläge trocken)

Festbetonroh-dichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonroh-dichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A42 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.12 Gärrest (Digestat) – MBW Mischung 1 (28.06.2023)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung	Stoffraum	Stoffrohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,15	3,00	0,48	0,16
2 Wasser		0,46	1,00	0,49	0,49
3 Digestat		0,12	0,52	0,06	0,12
w/z (eq)		1,0			
Gesamt		1,736		1,027	0,768
Festbetonrohddichte				1,220	

Tab. A23 Prüfprisma

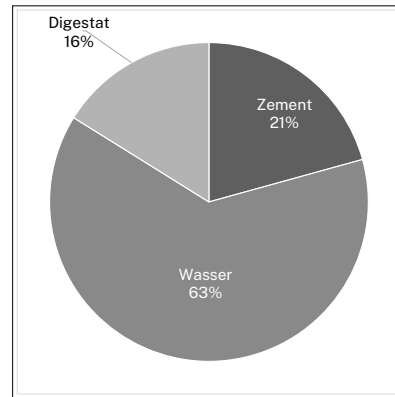


Abb. A43 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoffrohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		197	3,05	600	197
2 Wasser		600	1,00	600	600
3 Digestat		153	0,52	80	153
w/z (eq)		1,0			
Gesamt		951		1,279,7	950
Festbetonrohddichte				1,220	

Tab. A24 Hochrechnung auf 1 m³

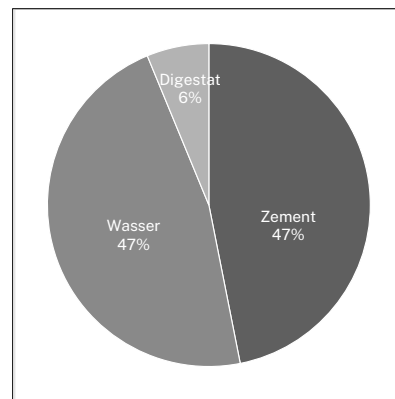


Abb. A44 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Digestat trocken

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)



Abb. A45 Plattenmuster (Ausschnitt) (Meier)

A2.1.13 Leichtbeton-Rezepturen für Funktionsmodelle

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung	Stoffraum	Stoffrohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		120	3,00	360	120
2 Wasser		194	1,00	194	194
3 Rohmann	0/2	281	2,63	738,0	281
4 Kalksplitt	0,25	54	1,32	71	54
5 Kalksplitt	0,5	80	1,32	105	80
6 Liapor	4,5	233	1,23	285	233
7 Kalksteinmehl		11	2,80	30	11
8 Pflanzenkohle		27	0,26	7	27
9 Fließmittel		2	1,08	1,8	2
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1.001		1.791,9	1.000
Festbetonrohddichte				1.740	

Tab. A25 Leichtbeton-Rezeptur (Lösungsstrategie I)
Raumseitige Deckschicht (Innenschicht / Tragschicht) (Meier / OHM-AR)

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Rohmann Pollanten 0/2
- 4 Kalksplitt Trolius Hermann 2/8
- 5 Kalksplitt Trolius Hermann 8/16
- 6 Liapor Pautzfeld F 4,5
- 7 Kalksteinmehl Sebald
- 8 Pflanzenkohle Granulat Carbon Cycle Rieden
- 9 Fließmittel VC 1095 BV/FM

	Körnung	Stoffraum	Stoffrohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		140	3,00	420	140
2 Wasser		210	1,00	210	210
3 Liaporsand		332	0,64	211	332
4 Liapor	4,5	209	1,23	257	209
5 Kalksteinmehl		100	2,80	280	100
6 Fließmittel		9	1,08	9,7	9
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1.001		1.387,5	1.000
Festbetonrohddichte				1.330	

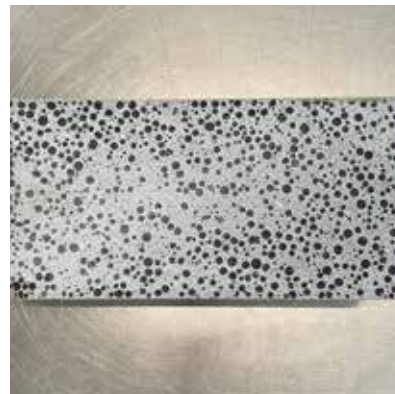


Abb. A46 Außenschicht / "Blähton" Schnitt Prüfzylinder (Ohm-AR)

Tab. A26 Leichtbeton-Rezeptur (Lösungsstrategie I)
Äußere Deckschicht (Vorsatzschicht / Fassade) (Meier / OHM-AR)

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Liaporsand Pautzfeld SMT
- 4 Liapor Pautzfeld F 4,5
- 5 Kalksteinmehl Sebald
- 6 Fließmittel VC 1095 BV/FM

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen
 Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)
 Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
 Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
 bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

III. Appendix
 Material- und Bauteilentwicklung

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		118	3,05	360	118
2 Wasser		180	1,00	180	180
3 Liapor F 2,9 E		167	0,60	100	167
4 Liapor 1/4 CS		93	0,97	90	93
5 Rohmann Sand		134	2,58	345	134
6 Trollius Splitt 2/8		202	2,53	510	202
7 Pflanzkohle		93	0,29	27	93
8 Fließmittel		4	1,08	4,320	4
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		992		1.617,1	991
Festbetonrohddichte				1.660	

 Tab. A27 Leichtbeton-Rezeptur (Lösungsstrategie II)
 Raumseitige Deckschicht (Innenschicht / Trag-
 schicht) (Meier / OHM-AR)

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Liapor Pautzfeld
- 4 Liapor Pautzfeld
- 5 Rohmann Pollanten 0/2
- 6 Kalksplitt Trollius Hermann
- 7 Pflanzkohle Granulat Carbon Cycle Rieden
- 8 Fließmittel VC 1095 BV/FM

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		118	3,05	360	118
2 Wasser		180	1,00	180	180
3 Liapor F 2,9 E		333	0,60	200	333
4 Liapor 1/4 CS		154	0,97	150	154
5 Rohmann Sand		199	2,58	515	199
6 Fließmittel		4	1,08	4,320	4
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		989		1.408,9	988
Festbetonrohddichte				1.350	

 Tab. A28 Leichtbeton-Rezeptur (Lösungsstrategie II)
 Äußere Deckschicht (Vorsatzschicht / Fassade)
 (Meier / OHM-AR)

- 1 Zement Sebald CEM II/A-LL 52,5 N SEB
- 3 Liapor Pautzfeld
- 4 Liapor Pautzfeld
- 5 Rohmann Pollanten 0/2
- 6 Fließmittel VC 1095 BV/FM

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

 Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte
 (Zuschläge trocken)

 Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
 Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
 bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A2.1.14 E-Modul und Zylinderdruckfestigkeit der Leichtbeton-Rezepturen

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

Bezeichnung		Höhe	Durchmesser	Masse	Rohdichte	Druckkraft	Druckfestigkeit	Statisch. E-Modul
Prüfkörper		[mm]	[mm]	[kg]	[kg/m ³]	[kN]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
25506/1	Z 1.4A	297,1	149,7	7.514,8	1.438	194,6	11,06	10.877
25506/2	Z 1.4B	296,1	149,7	7.484,8	1.437	215,1	12,23	10.513
25506/3	Z 1.4C	295,1	149,7	7.429,5	1.429	212,1	12,06	12.249
25507/1	Z 1.6A	295,4	149,7	9.399,6	1.809	330,4	18,78	21.533
25507/2	Z 1.6B	295,4	149,6	8.801,0	1.696	279,5	15,91	15.036
25507/3	Z 1.6C	295,1	149,6	8.961,0	1.728	310,4	17,67	18.457

Tab. A29 Ergebnisse der Prüfungen des statischen E-Moduls sowie der Zylinderdruckfestigkeit der Leichtbetonmischungen äußere Deckschicht (Vorsatzschicht / Fassade) (PK 25506/1-3) (Tab. A25) und raumseitige Deckschicht (Innenschicht / Tragschicht) (PK 25507/1-3) von Funktionsmodell fm.l.d (Tab. A26) (IAB Weimar, 17.06.2025, Anlage 1)



Abb. A47 Oberflächen der vorbereiteten Proben. (PK 25507/1-3) (links) (PK 25506/1-3) (rechts) (IAB Weimar, 17.06.2025, S. 2)



Abb. A48 Prüfkörper PK 25507/1-3 nach der Druckprüfung (IAB Weimar, 17.06.2025, S. 3)

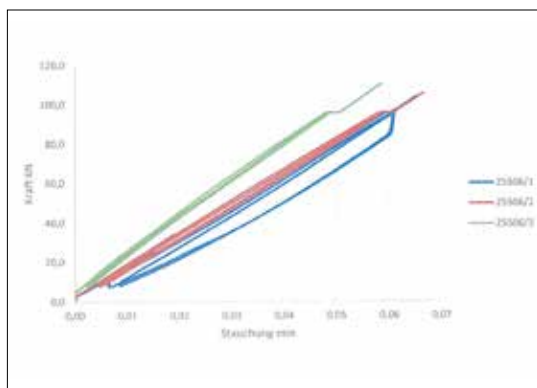


Abb. A49 Statischer Elastizitätsmodul DIN 1048-5 – Kraft - Weg Diagramm (Z 1.4 A-C / PK 25506/1-3) (IAB Weimar, 17.06.2025, S. 5)

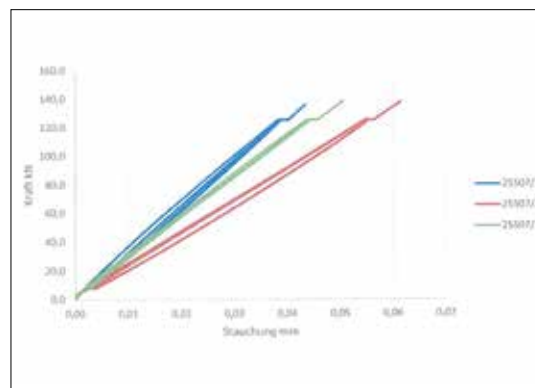


Abb. A50 Statischer Elastizitätsmodul DIN 1048-5 – Kraft - Weg Diagramm (Z 1.6 A-C / PK 25507/1-3) (IAB Weimar, 17.06.2025, S. 6)

A2.2 Bauteilentwicklung (Fassaden-Sandwichelement)

III. Appendix
Material- und Bauteilentwicklung

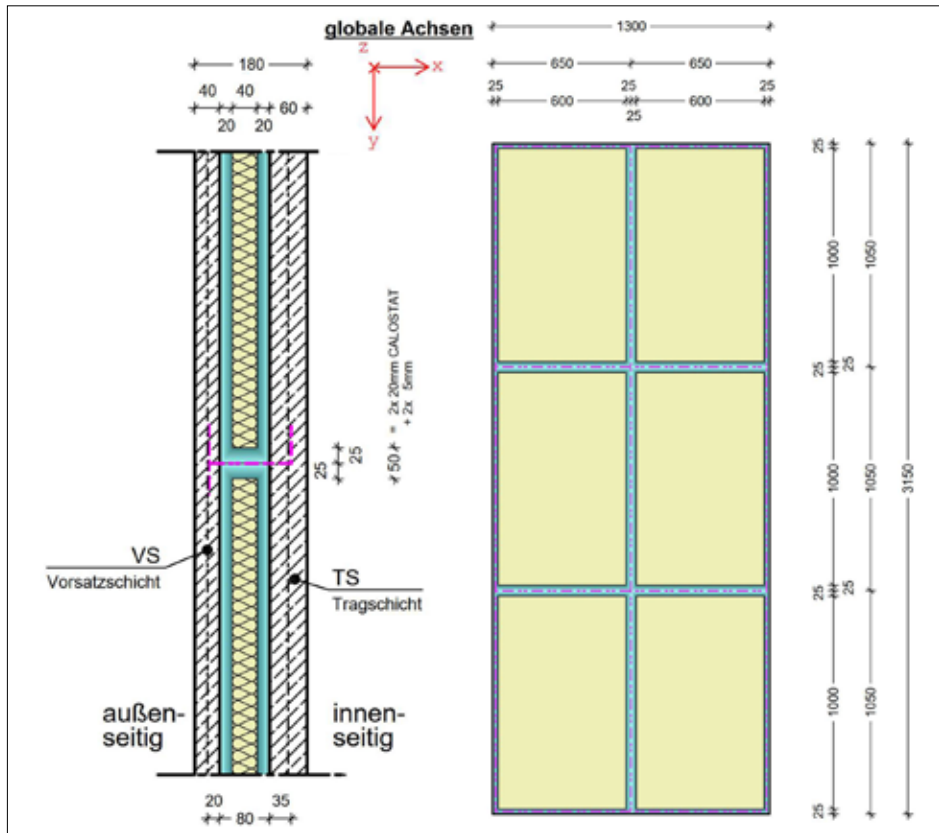


Abb. A51 Fassadensandwichelement (FSE) / ursprünglicher Schichtaufbau (Lösungsprinzip I.a.1) (links) mit Anordnung der VIPs von va-Q-tec (HT) (rechts)

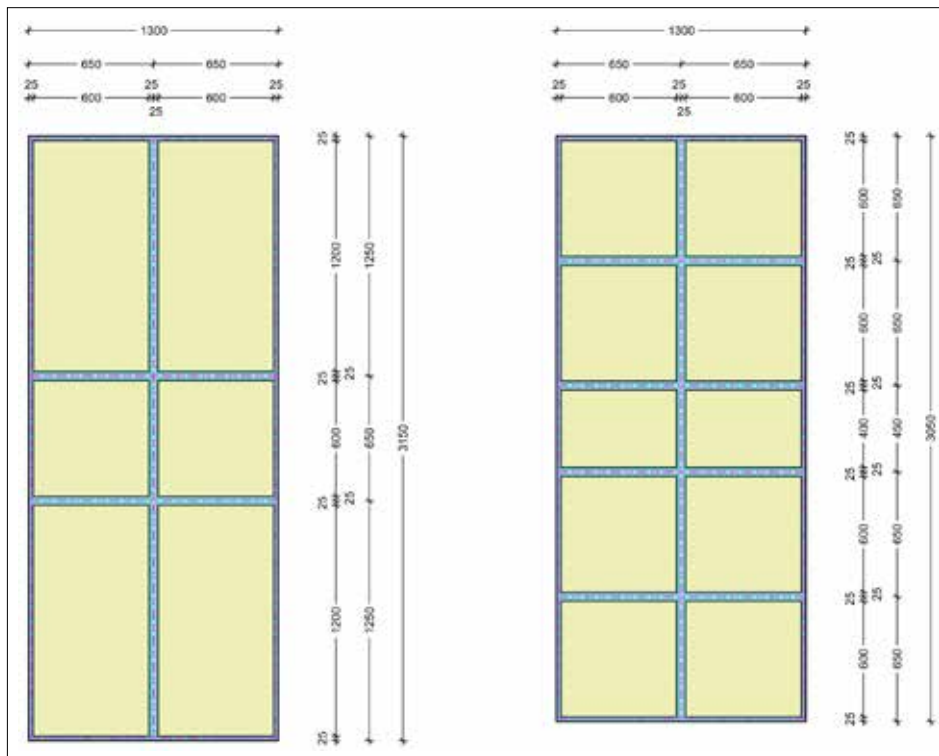


Abb. A52 Fassadensandwichelement (FSE) / alternative Anordnungen von Kingspan OTIM-R (HT)

A3 Funktionsmodelle und Untersuchungen zum Leistungsprofil

III. Appendix

A3.1 Entwicklung und Realisierung von Funktionsmodellen

 Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

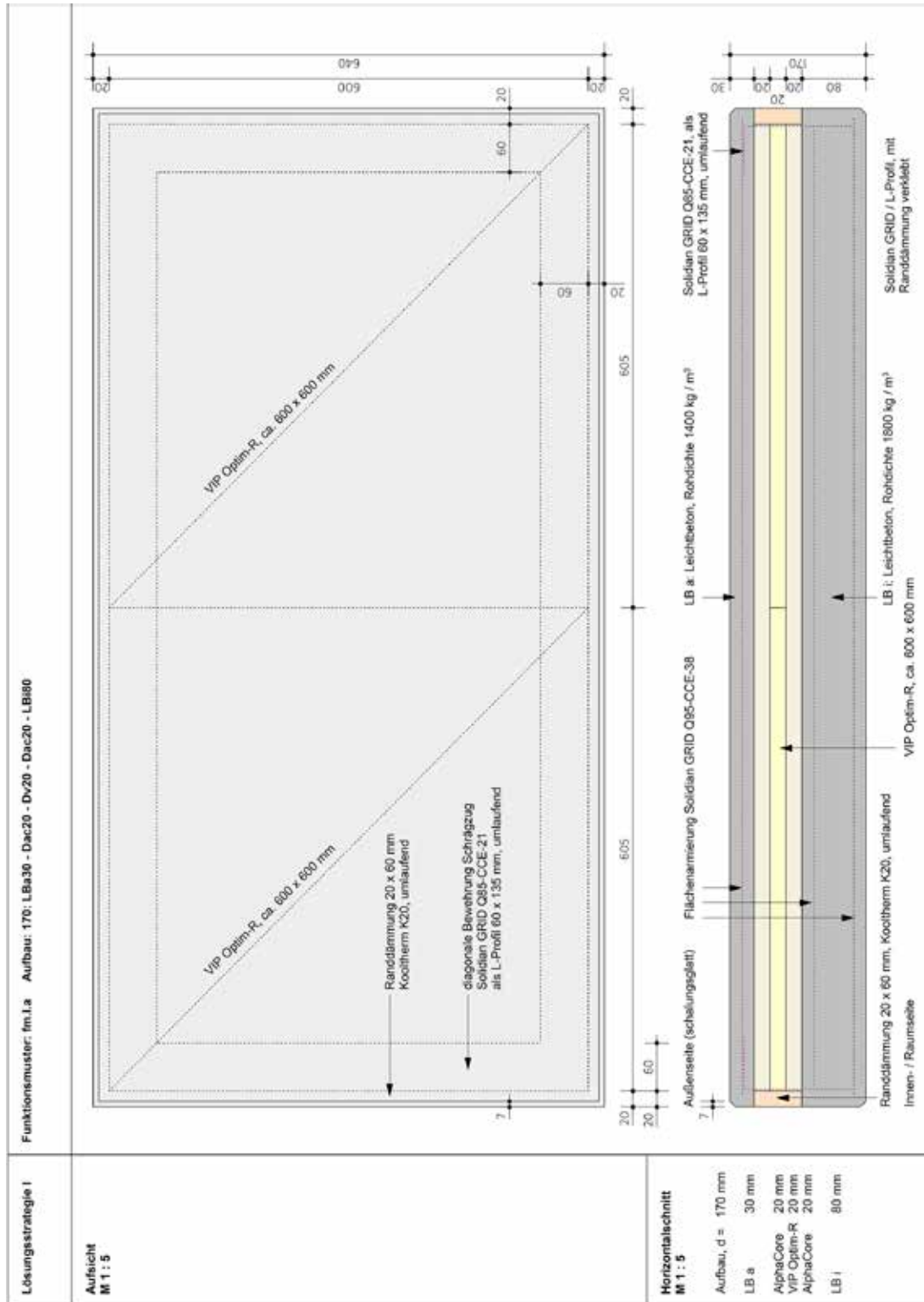
		Merkmale
Lösungsstrategie I		Innere und äußere Leichtbetonschicht (LB i und LB a) bilden mit dem Dämmkern ein im Werk vorgefertigtes Mehrschichtverbundsystem.
1 Funktionsmodell fm.I.a	realisiert U-Wert Bauakustik	Aufbau gesamt 170 mm. Dreischichtige Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen (VIP, 20mm) im Kern, kombiniert mit zwei Schichten mikroporöser Siliziumdioxid-basierender Dämmung (AlphaCore, je 20 mm). Die beiden Leichtbetonschichten (LB a, 30 mm und LB i 80 mm) mit bündigem Abschluss an den Rändern werden über L-förmige Karbonfasermatten kraftschlüssig gekoppelt.
2 Funktionsmodell fm.I.b		Aufbau gesamt 170 mm. Dreischichtige Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen (VIP, 20mm) im Kern, kombiniert mit zwei Schichten mikroporöser Siliziumdioxid-basierender Dämmung (AlphaCore, je 20 mm). Die beiden Leichtbetonschichten (LB a, 30 mm und LB i 80 mm) werden über L-förmige Glasfasermatten kraftschlüssig gekoppelt, ihre Außenkanten sind teils zum dreischichtigen Dämmkern um 15 mm nach außen versetzt, um Anschlüsse zu anderen Wand- und/oder Fensterelementen zu erleichtern. Zur besseren Wasserführung werden Tropfnasen und geneigte Kanten ausgebildet.
3 Funktionsmodell fm.I.c		Aufbau gesamt 170 mm. Dreischichtige Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen (VIP, 20mm) im Kern, kombiniert mit zwei Schichten mikroporöser Siliziumdioxid-basierender Dämmung (AlphaCore, je 20 mm). Die beiden Leichtbetonschichten (LB a, 30 mm und LB i 80 mm) werden über L-förmige Glasfasermatten kraftschlüssig gekoppelt, ihre Außenkanten sind gänzlich zum dreischichtigen Dämmkern um 15 mm nach außen versetzt, um Anschlüsse zu anderen Wand- und/oder Fensterelementen zu erleichtern. Zur besseren Wasserführung werden Tropfnasen und Stufenfälze ausgebildet.
4 Funktionsmodell fm.I.d	realisiert U-Wert	(Weiterentwicklung von fm.I.a) Aufbau gesamt 170 mm. Dreischichtige Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen (VIP, 30mm) im Kern, kombiniert mit zwei Schichten mikroporöser Siliziumdioxid-basierender Dämmung (AlphaCore, je 20 mm). Die beiden Leichtbetonschichten (LB a, 30 mm und LB i 70 mm) mit bündigem Abschluss an den Rändern werden über L-förmige Glasfasermatten abschnittsweise kraftschlüssig gekoppelt.
5 Funktionsmodell fm.I.e		(Variante von fm.I.d) Anstelle AlphaCore Dämmung mit Lignin-Dämmung in ökologischem Bewertungsmodell eingesetzt.

Tab. A30 Übersicht entwickelter und realisierter Funktionsmodelle (Lösungsstrategie I) / (OHM-AR / Peter Bonfig)

		Merkmale
Lösungsstrategie II		Innere und äußere vorgefertigte Leichtbetonplatten (LB i und LB a / HLB a) werden über ein modulares System aus Rahmen / Rippen bzw. Riegeln aus Holz gekoppelt.
1 Funktionsmodell fm.II.a	realisiert Bauakustik	Aufbau gesamt 175 mm. Umlaufender an LB i (60 mm) befestigter Holzrahmen / Riegel mit dazwischen angeordneten Vakuumisulationspaneelen (VIP, 50 mm), kombiniert mit Konterlattung 30 x 30 mm und mikroporöser Siliziumdioxid-basierender Dämmung (AlphaCore, 30 mm) in den Feldern. Die äußere Leichtbetonschicht (LB a, 30 mm) wird mit Abstand auf Elastomerstreifen (5 mm) thermisch und akustisch möglichst 'entkoppelt' an der Konterlattung befestigt. Das Funktionsmuster zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. Der Versatz, der durch das Zurücksetzen der Randdämmung von den Außenkanten der Betonschichten entsteht, verbessert die Möglichkeiten beim Fügen der Bauteile.
2 Funktionsmodell fm.II.b		Aufbau gesamt 175 mm. Umlaufender an LB i (60 mm) befestigter Holzrahmen / Riegel mit dazwischen angeordneten Vakuumisulationspaneelen (VIP, 50 mm), kombiniert mit Konterlattung 30 x 30 mm und mikroporöser Siliziumdioxid-basierender Dämmung (AlphaCore, 30 mm) in den Feldern. Die äußere Leichtbetonschicht (LB a, 30 mm) wird mit Abstand auf Elastomerstreifen (5 mm) thermisch und akustisch möglichst 'entkoppelt' an der Konterlattung befestigt. Im Gegensatz zu fm.II.a ist LB a mit regelmäßigen Vertiefungen / Nuten versehen.
3 Funktionsmodell fm.II.c		Aufbau gesamt 180 mm. Umlaufender an LB i (60 mm) befestigter Holzrahmen / Riegel mit dazwischen angeordneten Vakuumisulationspaneelen (VIP, 40 mm). Darauf folgt eine Lage mit Silikaerogel-Blankets (10 mm). Die äußere Leichtbetonschicht (LB a 30 mm) wird auf vertikal angeordneten Holzlatten (35 mm) und Elastomerstreifen (5 mm) befestigt und ist somit durchgehend hinterlüftet. Das Funktionsmuster zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. LB a ist mit regelmäßigen horizontalen Vertiefungen / Nuten versehen.
4 Funktionsmodell fm.II.d		Aufbau gesamt 200 mm. Umlaufender an LB i (70 mm) befestigte Holzrahmen bzw. Riegel mit dazwischen eingebrachter Schüttung aus lignin-basiertem Aerogel (80 mm), die durch geeignete Wabengitterstrukturen aus Kunststoff in ihrer Lage stabilisiert wird. Darauf folgen zwei Schichten Silikaerogel-Blankets (2 x 10 mm). Die äußere Leichtbetonschicht (LB a, 30 mm) wird über druckfeste Auflagen, z. B. aus Neopren, hohlraumfrei an der Unterkonstruktion aus Holz befestigt. Das Funktionsmuster zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf.
5 Funktionsmodell fm.II.e		Aufbau gesamt 200 mm. Umlaufender an LB i (70 mm) befestigte Holzrahmen bzw. Riegel mit dazwischen eingebrachter Schüttung aus lignin-basiertem Aerogel (70 mm), die durch geeignete Wabengitterstrukturen aus Karton in ihrer Lage stabilisiert wird. Darauf folgen drei Schichten Silikaerogel-Blankets (3 x 10 mm). Die äußere Leichtbetonschicht (LB a, 30 mm) wird über druckfeste Auflagen, z. B. aus Neopren, hohlraumfrei an der Unterkonstruktion aus Holz befestigt. Das Funktionsmuster zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf.

 III. Appendix
 Funktionsmodelle
 + Leistungsprofil

Tab. A31 Übersicht entwickelter und realisierter Funktionsmodelle (Lösungsstrategie II) / (OHM-AR / Peter Bonfig)



III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Abb. A53 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie I: Funktionsmodell fm.I.a Regelschichtaufbau (Zeichnungen basieren auf Angaben Plan "FM HLB 01" vom 12.07.2024 der Meier Betonwerke GmbH, Christian Franke (OHM-AR / Peter Bonfig)

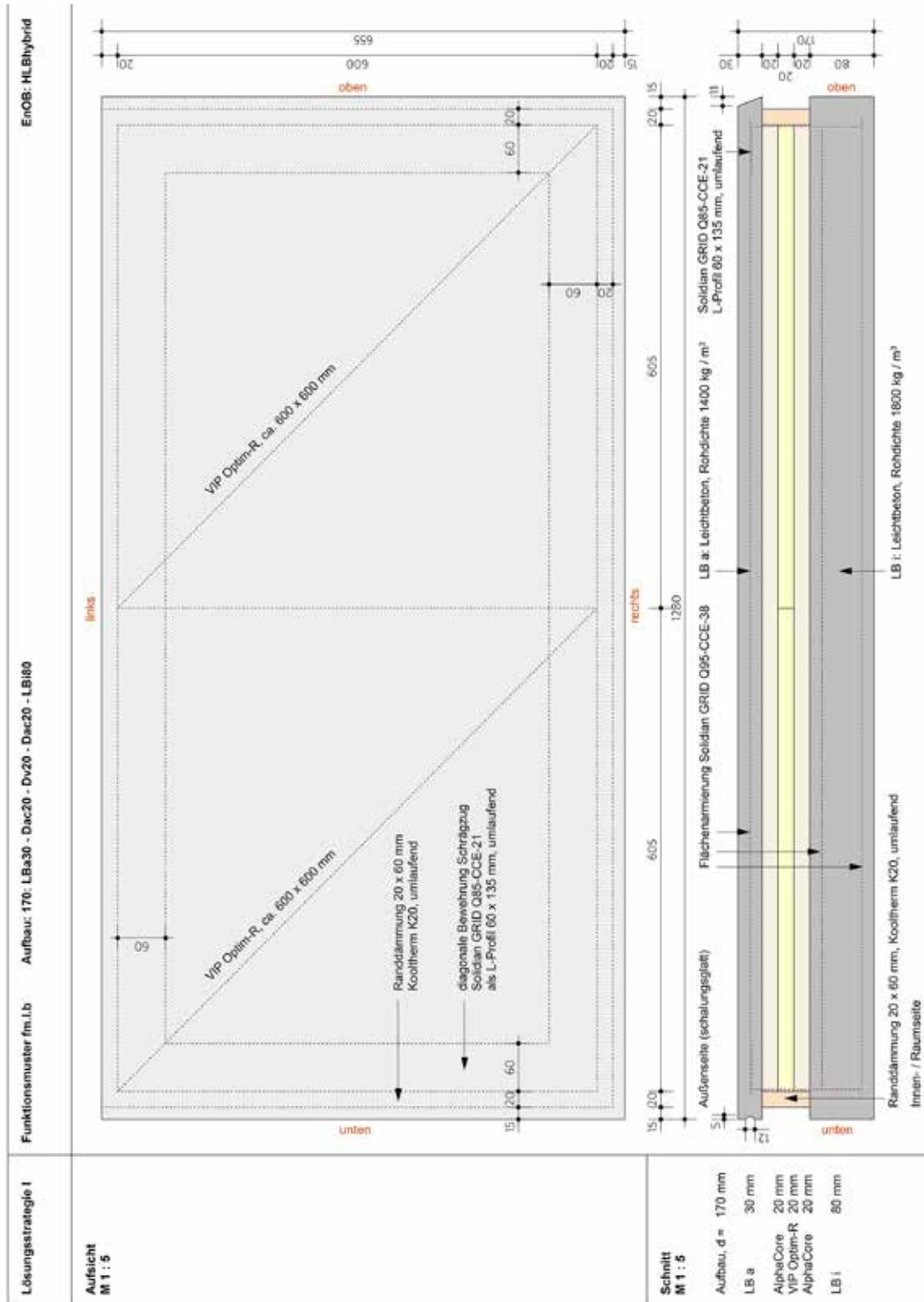
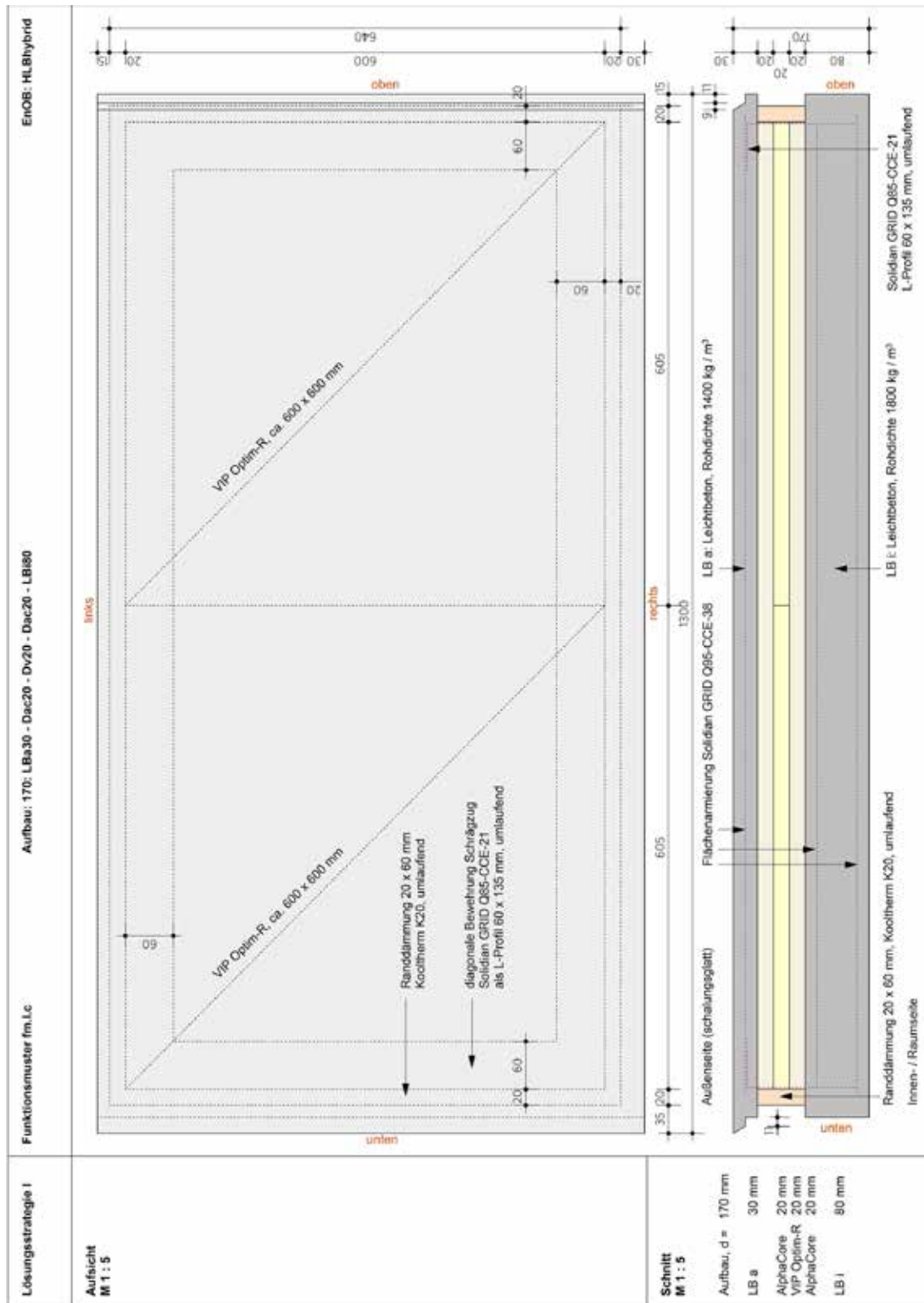


Abb. A54 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie I / Funktionsmodell fm.I.b Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

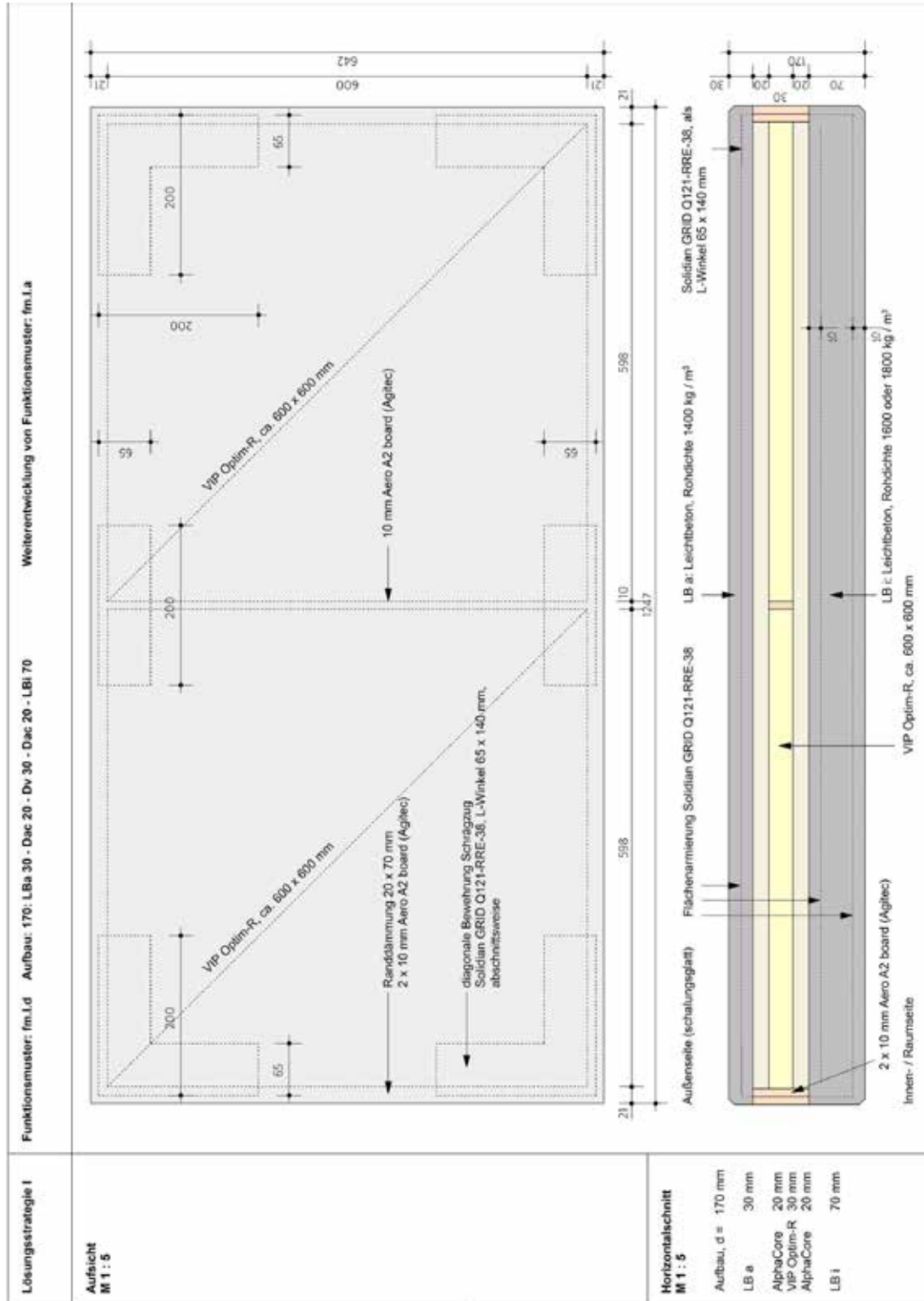
Das Funktionsmodell zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. Der Versatz, der durch das Zurücksetzen der Randdämmung von den Außenkanten der Betonschichten entsteht, verbessert die Möglichkeiten beim Fügen der Bauteile. Zusätzliche Metallwinkel an den Flanken der Längsseiten können als Anschlag für Fensterrahmen dienen.



III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Abb. A55 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie I / Funktionsmodell fm.l.c
Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

Das Funktionsmodell zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. Der Versatz, der durch das Zurücksetzen der Randdämmung von den Außenkanten der Betonschichten entsteht, verbessert die Möglichkeiten beim Fügen der Bauteile. Ein Überstand von LB a an den Flanken der Längsseiten kann als Anschlag für Fensterrahmen dienen.



III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Abb. A56 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie I: Funktionsmodell fm.I.d (Weiterentwicklung von fm.I.a) Regelschichtaufbau (Zeichnungen basieren auf Angaben Plan "FM HLB 04" vom 12.07.2024 der Meier Betonwerke GmbH, Christian Franke. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

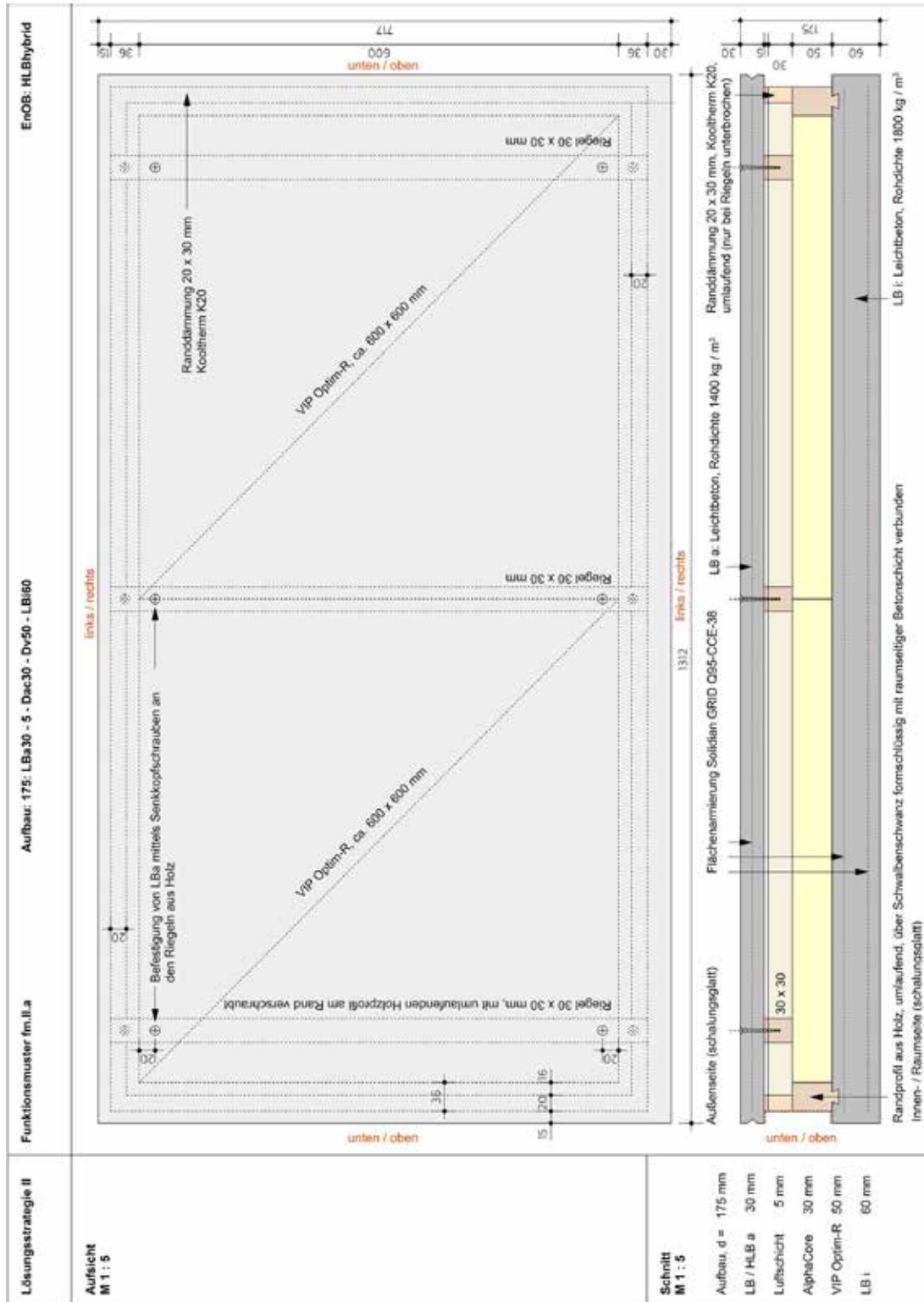
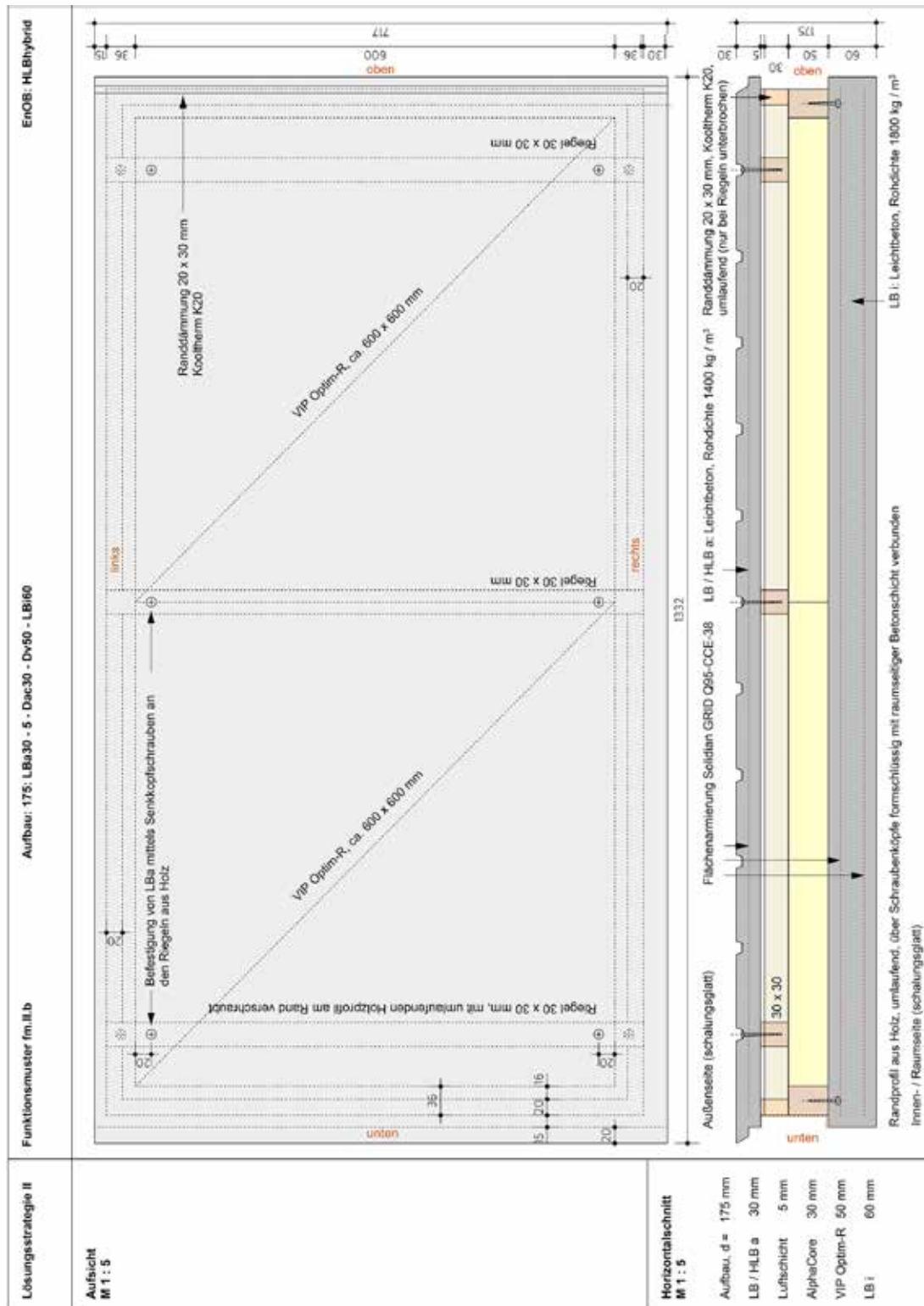


Abb. A57 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie II / Funktionsmodell fm.II.a Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

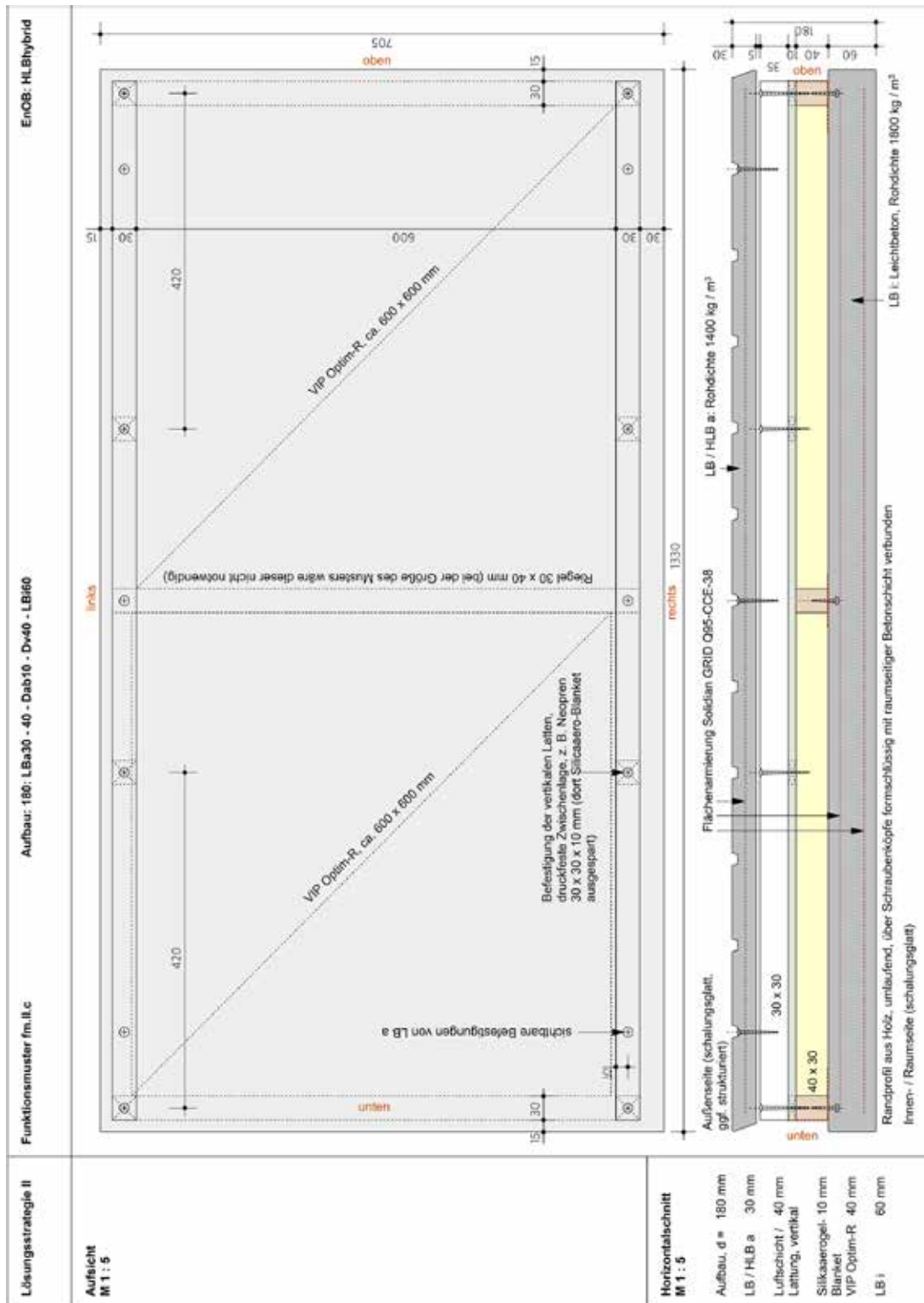
Das Funktionsmodell zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. Der Versatz, der durch das Zurücksetzen der Randdämmung von den Außenkanten der Betonschichten entsteht, verbessert die Möglichkeiten beim Fügen der Bauteile.



III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Abb. A58 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie II / Funktionsmodell fm.II.b
Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

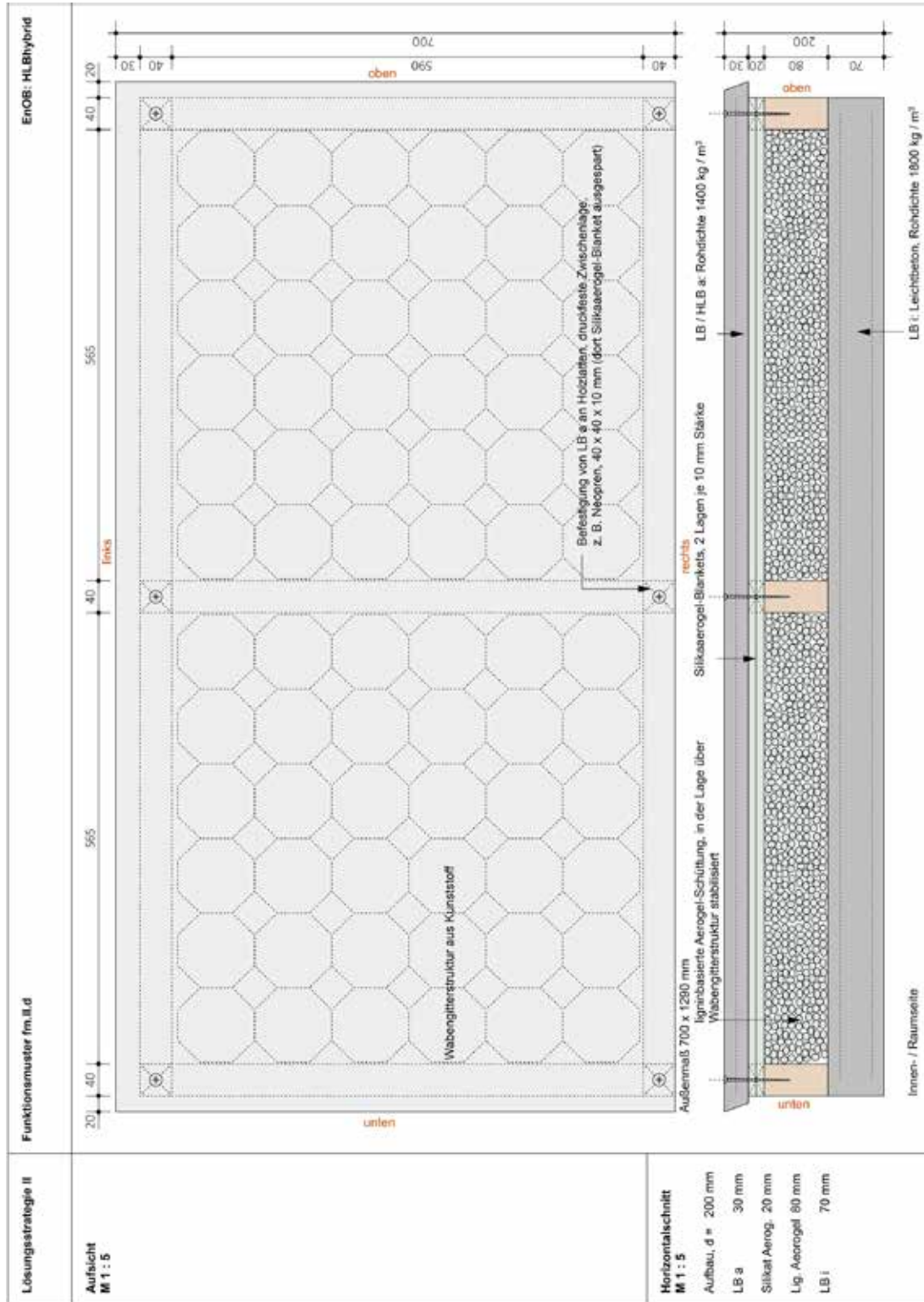
Das Funktionsmodell zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. Zusätzlich wird LB / HLB a mit horizontalen Vertiefungen profiliert, in denen auch die Senkkopfschrauben angeordnet sind.



III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

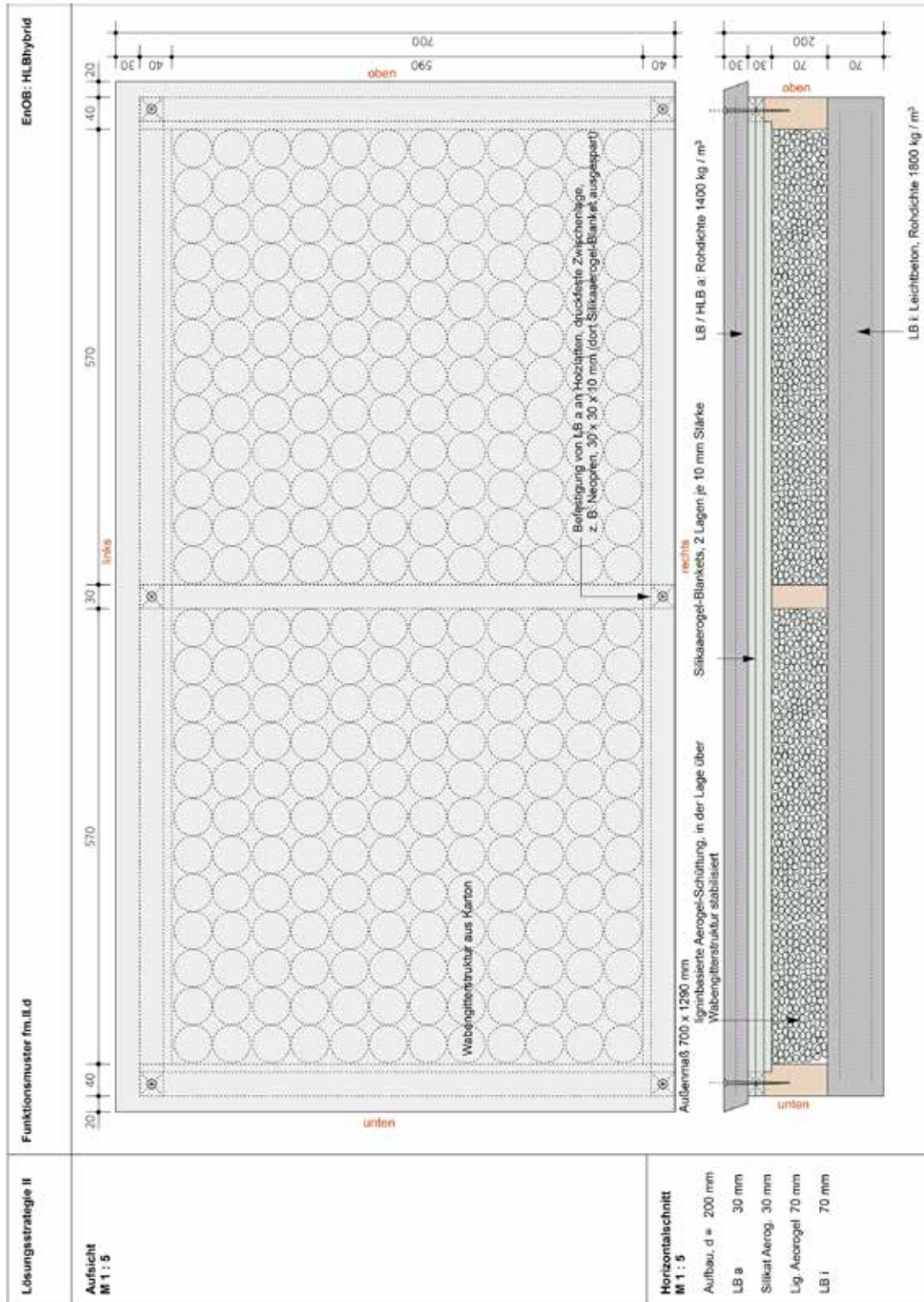
Abb. A59 Fassaden-Sandwechelement / Lösungsstrategie II / Funktionsmodell fm.II.c
Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

Das Funktionsmodell zeigt Varianten der Ränder gemäß den unterschiedlichen Einbausituationen und Anforderungen bei der Wasserableitung und Fügung auf. Zusätzlich kann LB / HLB a mit horizontalen Vertiefungen profiliert werden, in denen auch die Senkkopfschrauben angeordnet sind.



III. Appendix
 Funktionsmodelle
 + Leistungsprofil

Abb. A60 Fassaden-Sandwichelement / Lösungsstrategie II / Funktionsmodell fm.II.d
 Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)



III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Abb. A61 Fassaden-Sandwechelement / Lösungsstrategie II / Funktionsmodell fm.II.e
Regelschichtaufbau. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

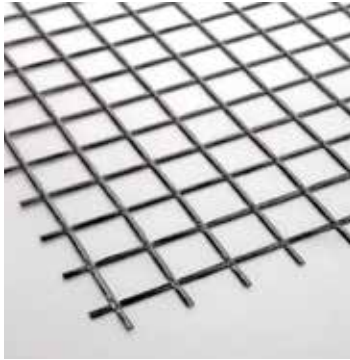


Abb. A62 CFK (Carbonfaserverstärkter Kunststoff)-Bewehrung (solidian keltexs)

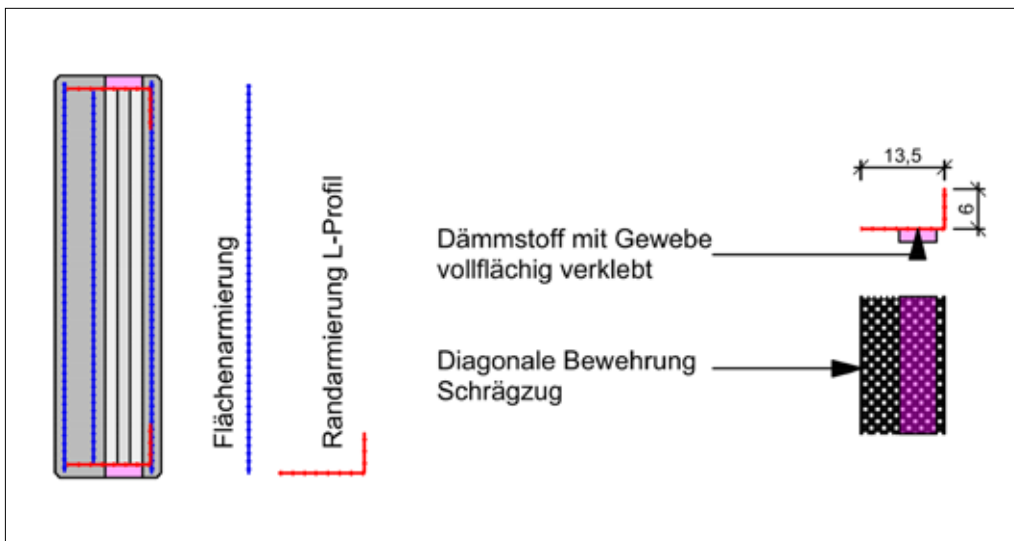


Abb. A63 Funktionsmodell I (fm.I.a) - Bewehrungsaufbau (Meier)

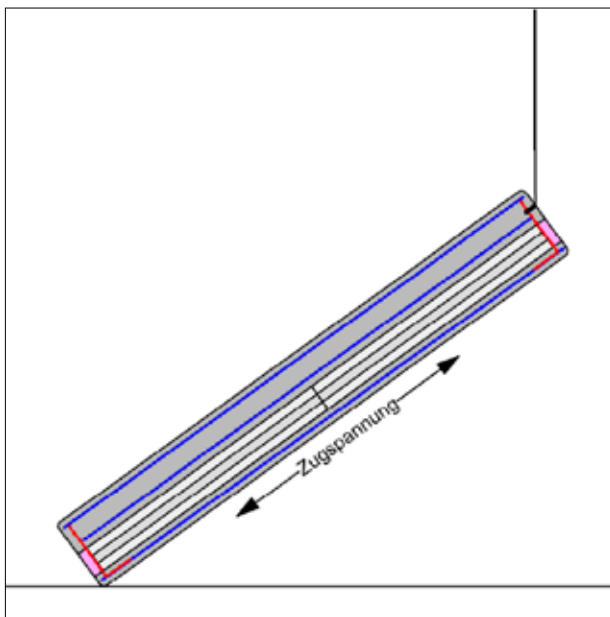


Abb. A64 Funktionsmodell I (fm.I.a) – Durchgeführte Entschalung mit der Folge von Rissbildung aufgrund der Zugspannung (Meier)

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil



Abb. A65 Randarmierung mit Abhebeanker (Meier)



Abb. A66 Erste Lage Alpacore Pure (Meier)



Abb. A67 Dritte Lage Alpacore Pure (Meier)



Abb. A68 Einarbeiten erste Bewehrungslage (Meier)



Abb. A69 Betonage Tragschicht (Meier)



Abb. A70 Abziehen der Betonoberfläche Tragschicht (Meier)



Abb. A71 Funktionsmodell I (fm.I.a) – Aufbau von der Schmalseite: Tragschicht (links), Randdämmung (mitte), Vorsatzschicht (rechts) (Ohm-AR)

A3.2 Bauakustische Bewertung der Lösungsstrategien

III. Appendix

A3.2.1 Bauakustische Grundlagen

Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Die Nomenklatur dieses Kapitels entspricht der aktuellen DIN 4109, Schallschutz im Hochbau¹ und der DEGA-Empfehlung 101, Akustische Wellen und Felder².

Bergersches Massengesetz

Eine der wichtigsten Größen der Bauakustik ist das Schalldämmmaß R, das u. a. von der flächenbezogenen Masse m' einer trennenden Schicht und der Tonfrequenz f abhängig ist. Die grundlegenden bauphysikalischen Zusammenhänge hat Richard Berger in seiner Dissertation an der Technischen Hochschule München bereits im Jahr 1911³ beschrieben:

$$R = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\pi f m' \cos \delta}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right] \text{ dB}$$

Darin ist:

- R das Schalldämm-Maß, d.h. der zehnfache dekadische Logarithmus des Verhältnisses der auf ein Prüfbauteil auftreffenden Schalleistung, W1, zu der durch das Prüfbauteil auf die andere Seite abgestrahlten Schalleistung, W2: $R = 10 \lg W1/W2$
- f die Frequenz in Hz
- m' die flächenbezogene Masse in kg/m²
- ρ_0 die Dichte von Luft, bei +20 °C mit $\rho_0 = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- c₀ die Schallgeschwindigkeit in Luft, bei +20 °C mit $c_0 = 343 \text{ m/s}$
- δ der Schalleinfallswinkel (Winkel zum Lot auf das Prüfobjekt) in Grad (°)

Wie die das Bergersche Massengesetz zeigt, steigt die Schalldämmung des Prüfbauteils mit ansteigender Tonfrequenz und flächenbezogener Masse stark an. Zum Schalleinfallswinkel ist anzumerken, dass die Schallwellen in der Praxis aus verschiedenen Winkeln auf das i. d. R. plattenförmige Prüfobjekt auftreffen und sich insoweit Überlagerung der Energiebeiträge in den verschiedenen Winkelbereich ergibt.

Grenzfrequenz

Das Bergersche Massengesetz trifft nur für Frequenzbereiche zu, die vom Bereich der sogenannten Spuranpassung in der Nähe der Grenzfrequenz f_{gr} ausreichend weit entfernt liegen. Bei der Grenzfrequenz und benachbarten Frequenzbereichen tritt gegenüber dem Bergerschen Massengesetz eine erhebliche Verschlechterung der Schalldämmung auf. Diese ist auch die Ursache für das „Abknicken“ von Kurve a) in Abb. A1. Die Lage der Grenzfrequenz ergibt sich rechnerisch für homogene Platten mit einer im Rahmen des Vorhabens ausreichenden Genauigkeit zu:

$$f_{gr} = \frac{6,4 \cdot 10^4}{d} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{E}} \text{ Hz}$$

Darin ist:

- f_{gr} die Grenzfrequenz in Hz
- d die Dicke einer Wand oder eines Bauteils in m
- ρ die Dichte der Wand oder des Bauteils in kg/m³
- E der Elastizitätsmodul (E-Modul) in N/m²

Als biegeweich werden Konstruktionen eingestuft, deren Grenzfrequenz $f_{gr} > \text{ca. } 1.600 \text{ Hz}$ beträgt. Günstig zu bewerten sind somit geringe Schichtdicken, hohe Dichten und niedrige E-Module.

Resonanzfrequenz zweischaliger Wandaufbauten mit Luftschicht

Die Resonanzfrequenz berechnet sich nach DIN 4109-34

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s'_L \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \text{ Hz}$$

1 DIN 4109-1:2018-01 und DIN 4109-2, 2018-01

2 DEGA-Empfehlung 101, 2006

3 Berger 1911

Darin ist:

- f₀ die Resonanzfrequenz der zweischaligen Wand in Hz
- s'_L die dynamische Steifigkeit der Luftschicht in MN/m³
- m'1 die flächenbezogene Masse einer Wandschale in kg/m²
- m'2 die flächenbezogene Masse der anderen Wandschale in kg/m²

Die dynamische Steifigkeit der Luftschicht ist darin berechnet zu:⁴

$$s'_L = \frac{\rho \cdot c_L^2}{d_L} \text{ MN/m}^3$$

Darin ist:

- s'_L die dynamische Steifigkeit der Luftschicht in MN/m³
- ρ₀ die Dichte von Luft, bei +20 °C mit ρ₀ = 1,25 kg/m³
- c₀ die Schallgeschwindigkeit in Luft, bei +20 °C mit c₀ = 343 m/s
- d_L die Dicke der Luftschicht in m

Bewertete Verbesserung der Direktschalldämmung durch biegeweiche Vorsatzschalen

Die bewertete Verbesserung der Direktschalldämmung berechnet sich für Resonanzfrequenzen 30 ≤ f₀ ≤ 160 Hz nach DIN 4109-34:⁵

$$\Delta R_w = 74,4 - 20 \lg f_0 - 0,5 R_w \text{ dB}$$

Darin ist:

- ΔR_w die bewertete Verbesserung der Direktschalldämmung
- f₀ die Resonanzfrequenz der Vorsatzkonstruktion
- R_w das bewertete Schalldämm-Maß des Grundbauteils

A3.2.2 Vergleich erforderlicher bewerteter Schalldämm-Maße in Abhängigkeit von der Außenlärmbelastung

In Tab. A1 wird das zum Erreichen der jeweiligen SSK erforderliche bewertete Schalldämm-Maß R_w am Bau angegeben. Zur Einordnung ist jeweils eine Beschreibung enthalten, welche Außenlärmsituationen damit größenordnungsmäßig abgedeckt werden können.

SSK	erf. R _w in dB*	Technische Einordnung
1	≥ 25 dB	In ruhiger Umgebung ggfs. ausreichend
2	≥ 30 dB	Bei geringer Außenlärmbelastung
3	≥ 35 dB	Bei mäßiger Außenlärmbelastung, z. B. in 25 m Abstand zu einer Innerortsstraße mit Verkehrsbelastung ca. 5.000 Kfz/Tag
4	≥ 40 dB	Bei hoher Außenlärmbelastung, z. B. in 15 m Abstand zu einer Innerortsstraße mit Verkehrsbelastung ca. 10.000 Kfz/Tag
5	≥ 45 dB	Bei sehr hoher Außenlärmbelastung
6	≥ 50 dB	Bei äußerst hoher Außenlärmbelastung

Tab. A32 Schallschutzklassen (SSK) von Fenstern nach VDI-Richtlinie 2719 * (am Bau)

⁴ Universität Stuttgart <24.01.2026>
⁵ Tabelle 1, Zeile 1

A3.2.3 Ableitung der Erwartungswerte für das bewertete Schalldämm-Maß R_w

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Die folgenden Abbildungen zeigen die von Karl Gösele erarbeiteten Beziehungen zwischen der flächenbezogenen Masse von biegeweichen und biegesteifen Platten (Abb. A1) und den im Vorhaben darauf abgeleiteten Erwartungswerten R_w für die Lösungsstrategien I (Abb. A3) und II (Abb. A2 und Abb. A4).

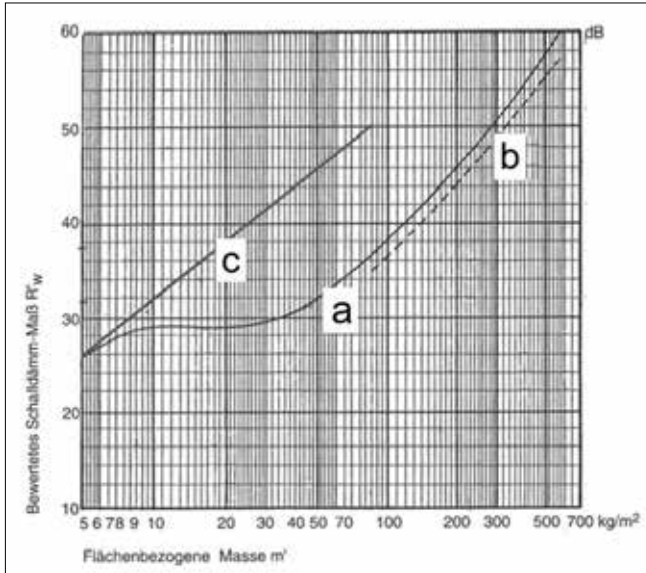


Abb. A72 Abhängigkeit R'_w (im Vorhaben R_w) von der flächenbezogenen Masse m' (Gösele et al., 1997)

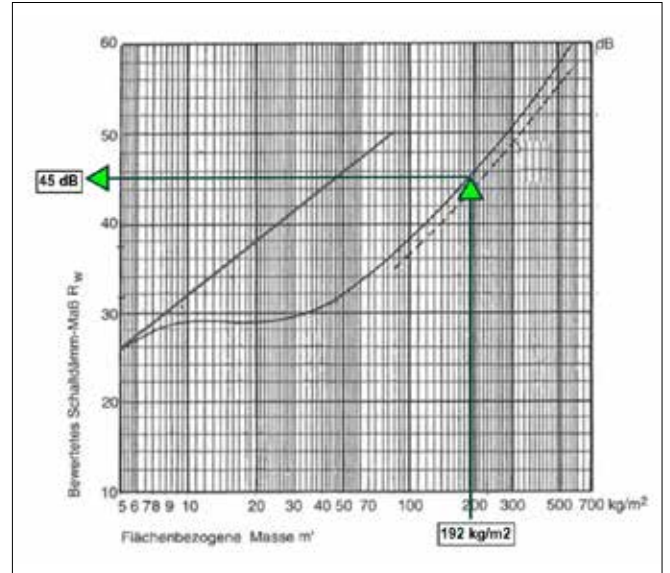


Abb. A73 Lösungsstrategie I, $R_w = 45$ dB ohne Berücksichtigung der Unsicherheit und des Abschlags für die Elementgröße am Bau (Gösele et al., 1997)

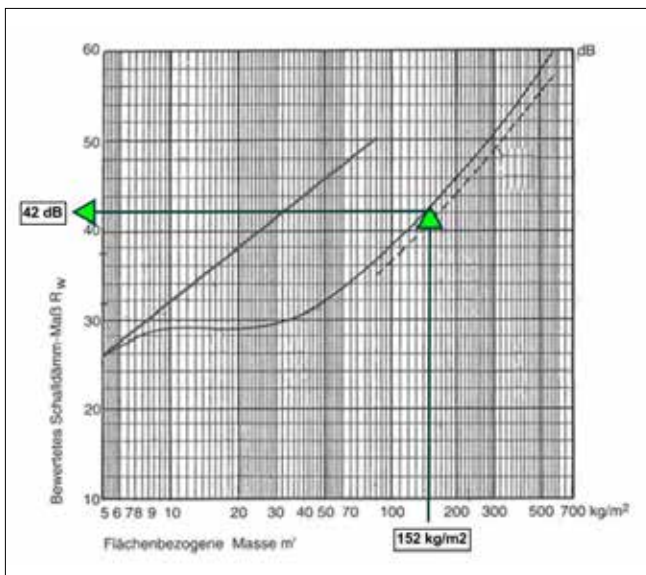


Abb. A74 Lösungsstrategie II – Gesamter Schichtaufbau Tragschicht + Vorsatzschale, $R_w = 42$ dB ohne Berücksichtigung der Unsicherheit und des Abschlags für die Elementgröße am Bau (Gösele et al., 1997)

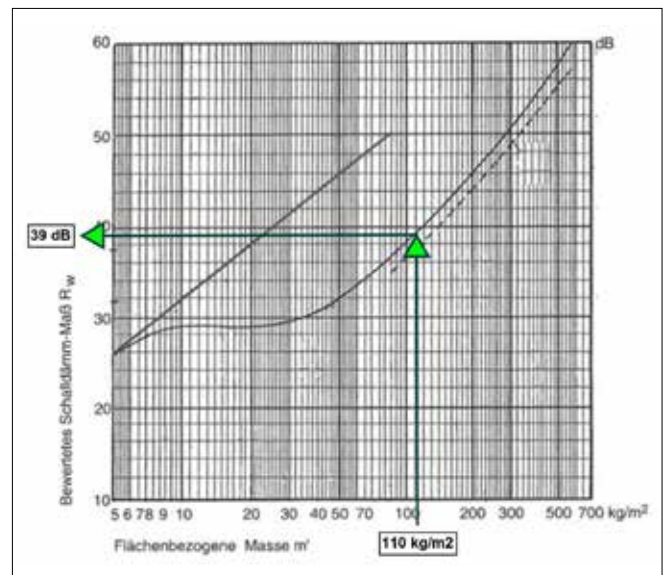


Abb. A75 Lösungsstrategie II – nur Tragschicht, $R_w = 39$ dB ohne Berücksichtigung der Unsicherheit und des Abschlags für die Elementgröße am Bau (Gösele et al., 1997)

A3.2.4 Funktionsmodell I – Messung der Luftschalldämmung im Prüfstand

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

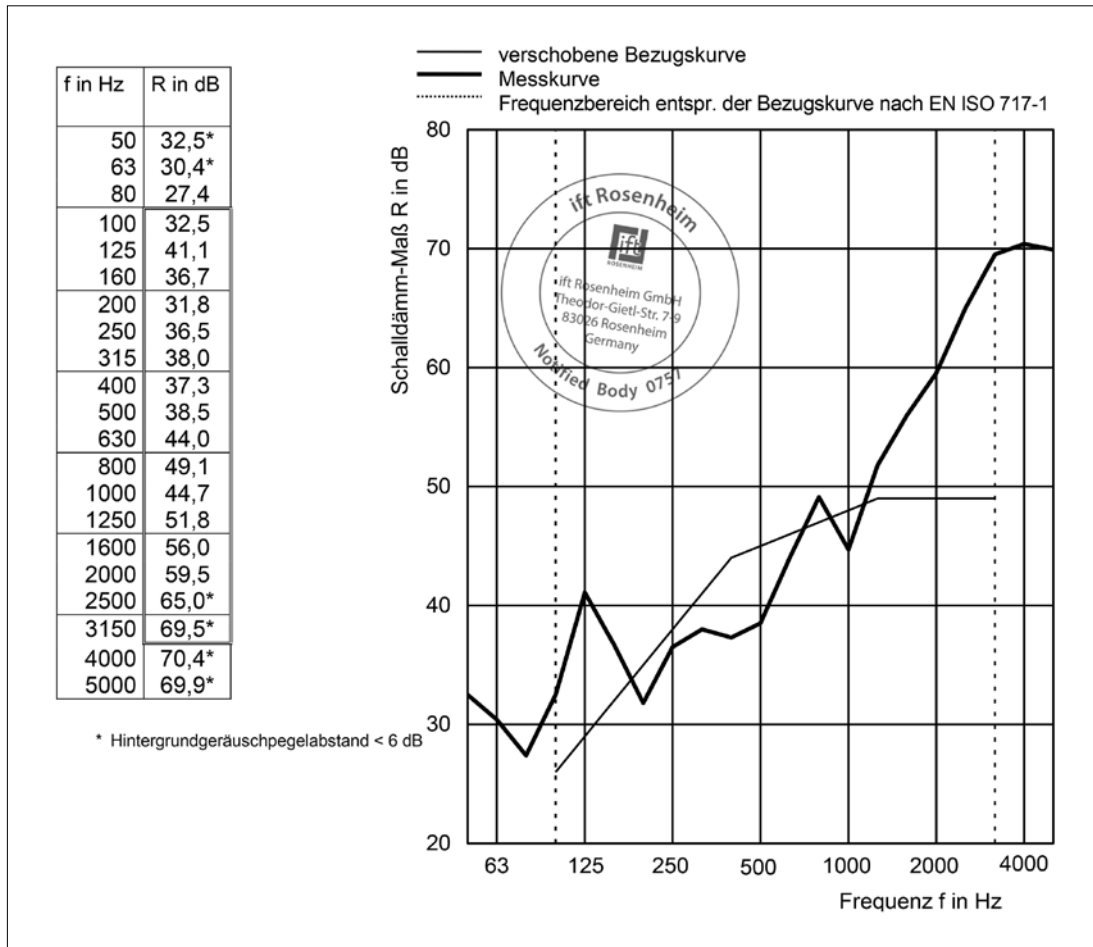


Abb. A76 Schalldämmung-Maß nach ISO 10140-2. Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand. Prüfbericht Nr. 24-004192-PR01 (PB A01-F02-04-de-01). ift Rosenheim, 12.11.2024, S. 11



Abb. A77 Rosenheim, Prüfstand Senderaum, Messung Luftschalldämmung am Funktionsmodell I, 06.11.2024 (MoPa)



Abb. A78 Rosenheim, Prüfstand Senderaum, Messung Luftschalldämmung am Funktionsmodell I, 06.11.2024 (OHM-AR)



Abb. A79 Rosenheim, Prüfstand Empfängerraum, Messung Luftschalldämmung am Funktionsmodell I, 06.11.2024 (OHM-AR)

A3.2.5 Flankenschalldämmung

Die folgenden Tabellen A.2 (Lösungsstrategie I) und A.3 (Lösungsstrategie II) enthalten Abschätzungen zur erreichbaren Schalldämmung $R'w$ zwischen benachbarten Wohnungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen sowie eine Abschätzung der erforderlichen Verbesserung der Flankenschalldämmung, um zwischen benachbarten Wohnungen einen Mindestschallschutz herstellen zu können.

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

	Trennwand	Fassadenanschluss	$R'w$ am Bau [dB]	Kopplung Fassadenelemente (FE) Einordnung
1	Stahlbeton d = 20 cm	Starrer Stoß	53	FE fest gekoppelt Mindestschallschutz DIN 4109-1 gerade eingehalten
2	Stahlbeton d = 20 cm	Elastisch entkoppelt	46	FE fest gekoppelt Mindestschallschutz DIN 4109-1 um 7 dB verfehlt
3	Stahlbeton d = 20 cm	Elastisch entkoppelt	53	FE elastisch entkoppelt Bewertete Verbesserung Flankenschalldämm-Maß ≥ 13 dB Mindestschallschutz DIN 4109-1 gerade eingehalten
4	Metallständerwand mit GK*-Platten $Rw \geq 58$ dB	Elastisch entkoppelt	53	FE elastisch entkoppelt Bewertete Verbesserung Flankenschalldämm-Maß ≥ 13 dB Mindestschallschutz DIN 4109-1 gerade eingehalten

Tab. A33 Lösungsstrategie I: Bauakustische Verhältnisse für unterschiedliche bauliche Ausführungen der Trennwand (massiv / Leichtbau) und des Fassadenanschlusses (starr verbunden / entkoppelt) und Relevanz der Stoßstellendämmung (MoPa)

Fiktive bauliche Randbedingungen:

- Trenndecken aus Stahlbeton d = 22 cm
- Schwimmende Zementestriche 60 mm auf Trittschalldämmschicht $s' = 20$ MN/m³
- Trennwände aus Stahlbeton d = 20 cm bzw. Metallständerwände mit Gipskartonplatten
- Innenwände als Metallständerwände mit Gipskartonplatten.

	Trennwand	Fassadenanschluss	$R'w$ am Bau [dB]	Kopplung Fassadenelemente (FE) Einordnung
1	Stahlbeton d = 20 cm	Starrer Stoß	51	FE fest gekoppelt Mindestschallschutz DIN 4109-1 um 2 dB verfehlt
2	Stahlbeton d = 20 cm	Elastisch entkoppelt	41	FE fest gekoppelt Mindestschallschutz DIN 4109-1 um 12 dB verfehlt
3	Stahlbeton d = 20 cm	Elastisch entkoppelt	53	FE elastisch entkoppelt Bewertete Verbesserung Flankenschalldämm-Maß ≥ 19 dB Mindestschallschutz DIN 4109-1 gerade eingehalten
4	Metallständerwand mit GK*-Platten $Rw \geq 58$ dB	Elastisch entkoppelt	53	FE elastisch entkoppelt Bewertete Verbesserung Flankenschalldämm-Maß ≥ 19 dB Mindestschallschutz DIN 4109-1 gerade eingehalten

Tab. A34 Lösungsstrategie II: Bauakustische Verhältnisse für unterschiedliche bauliche Ausführungen der Trennwand (massiv / Leichtbau) und des Fassadenanschlusses (starr verbunden / entkoppelt) (MoPa)

Fiktive bauliche Randbedingungen:

- Trenndecken aus Stahlbeton d = 22 cm
- Schwimmende Zementestriche 60 mm auf Trittschalldämmschicht $s' = 20$ MN/m³
- Trennwände aus Stahlbeton d = 20 cm bzw. Metallständerwände mit Gipskartonplatten
- Innenwände als Metallständerwände mit Gipskartonplatten

A3.2.6 Untersuchungen für biegeweiche Vorsatzschale Lösungsstrategie II

Messsysteme:

- MessSystem Soundbook 8L MK2 der Fa. SINUS Messtechnik GmbH
- Beschleunigungsaufnehmer KS78C.100 der Fa. MMF, Serien-Nr. 25121, Kalib.10.10.2025
- Signalanalyse Software SAMURAI der Fa. SINUS Messtechnik GmbH

Beschleunigungsaufnehmer KS78C.100 (m = 23,5 g) auf Stahlplatte 100 mm x 100 mm x 8 mm (m = 610 g), aufgestellt in Mitte der Prüfobjekte; Impulsanregung, mit Hartkunststoff-Hammer (m = 250 g).

Die verwendeten Messgeräte wurden vor und nach der Messung auf ihre einwandfreie Funktion überprüft. Die Messgeräte sind Bestandteil des unter D-PL-19432-01-00 nach DIN EN ISO/EC 17025:2018 von der DAkkS akkreditierten Prüflaboratoriums der Möhler + Partner Ingenieure GmbH. In diesem Rahmen werden die Messgeräte regelmäßig überwacht und auf nationale Normale zurückgeführt. Vor den Messungen wurden die Messkanäle abgeglichen und die Messkette durch Abklopfen der Messaufnehmer für den Messeinsatz auf eine Funktionskontrolle geprüft. Zu Beginn und nach der Messreihe wurden Nullmessungen zur Ermittlung etwaiger Störeinflüsse durchgeführt.

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

Antwortspektren der Schwingbeschleunigung

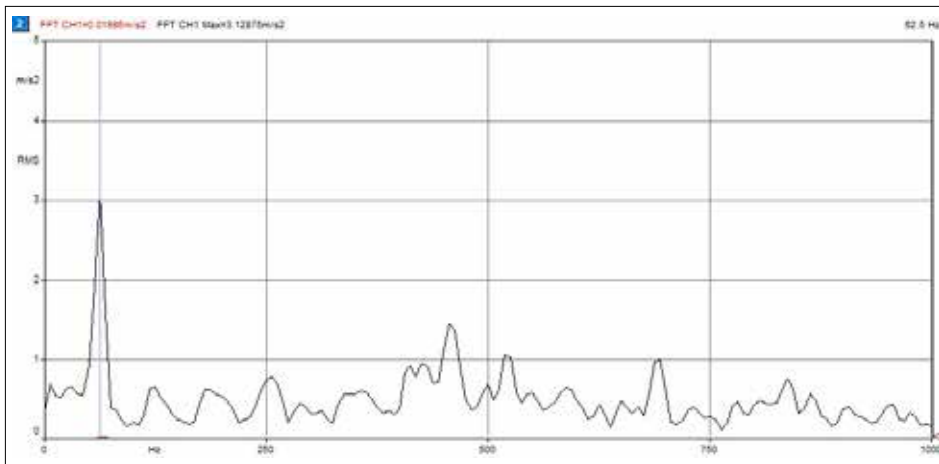


Abb. A80 FMII.b_VSS.1_V3-02 (MoPa)

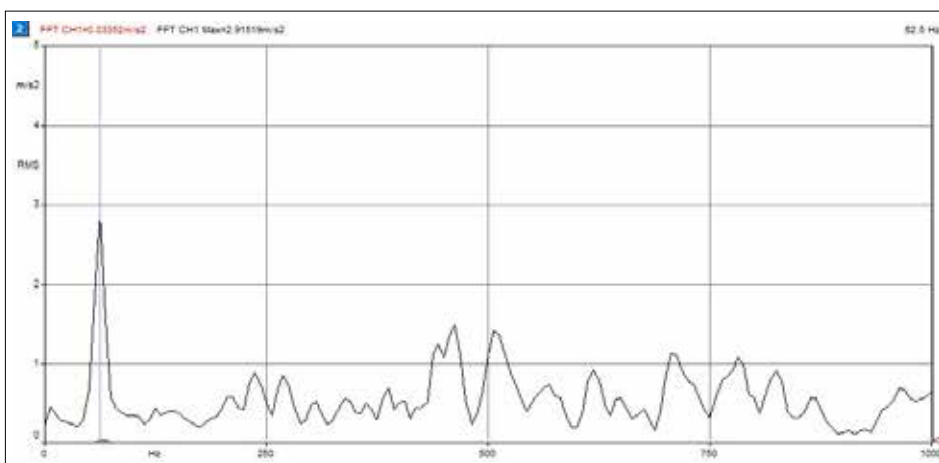


Abb. A81 FMII.b_VSS.1_V3-03 (MoPa)

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

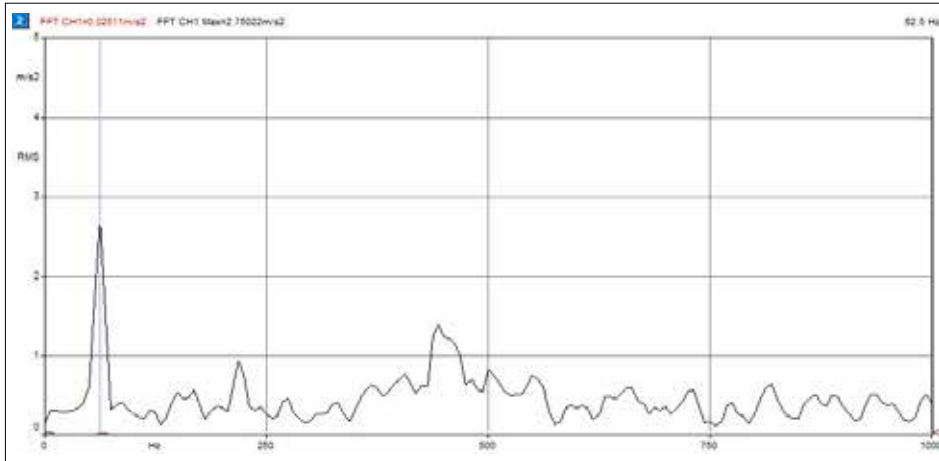


Abb. A82 FMII.b_VSS.1_V3-04 (MoPa)

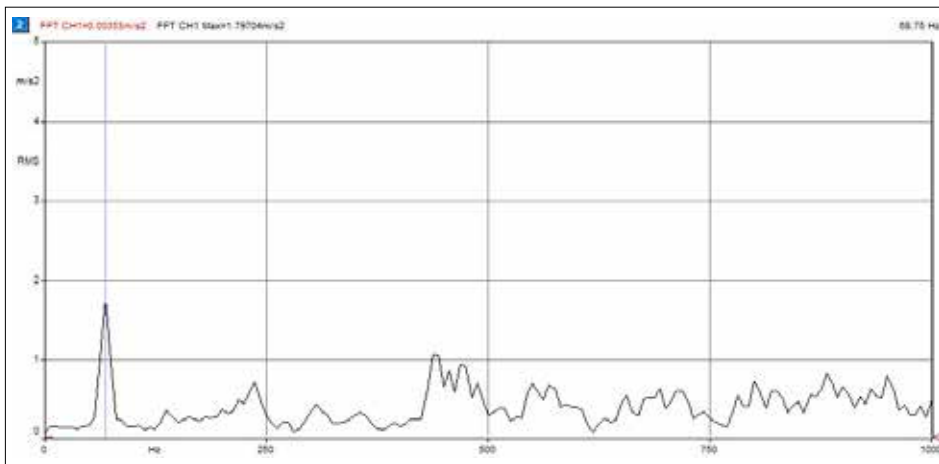


Abb. A83 FMII.b_VSS.2_V3-04 (MoPa)

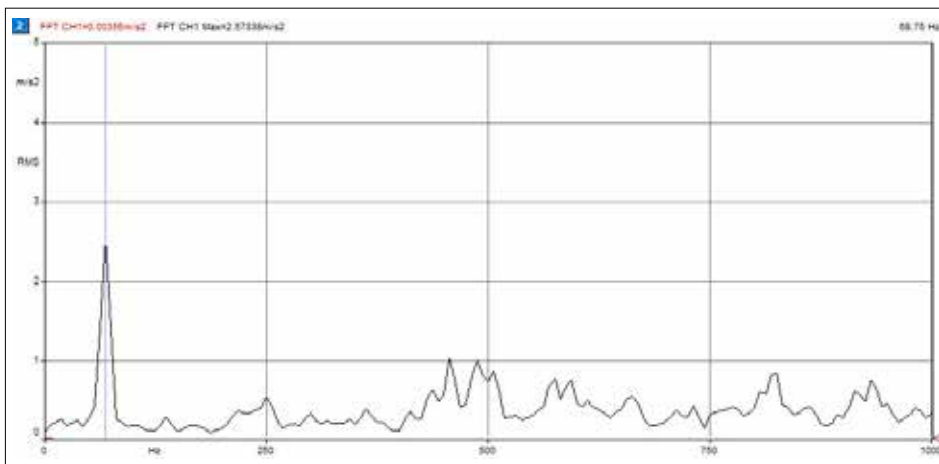


Abb. A84 FMII.b_VSS.2_V3-05 (MoPa)

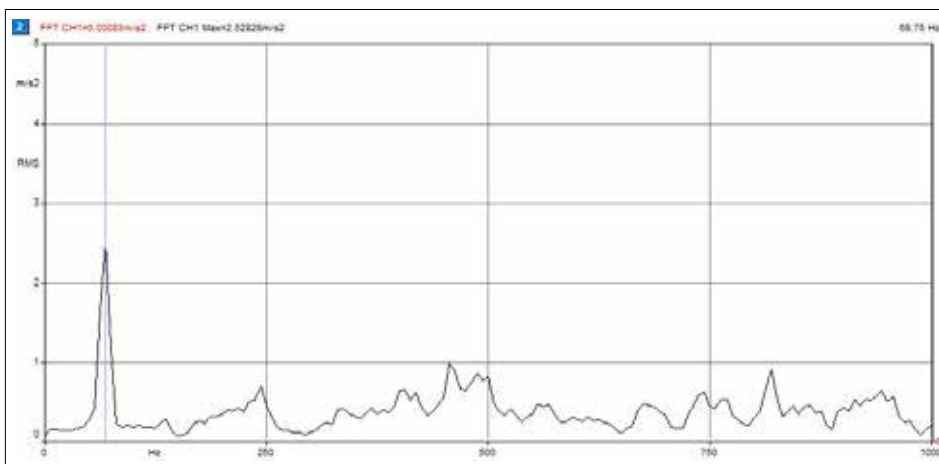


Abb. A85 FMII.b_VSS.2_V3-06 (MoPa)

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil

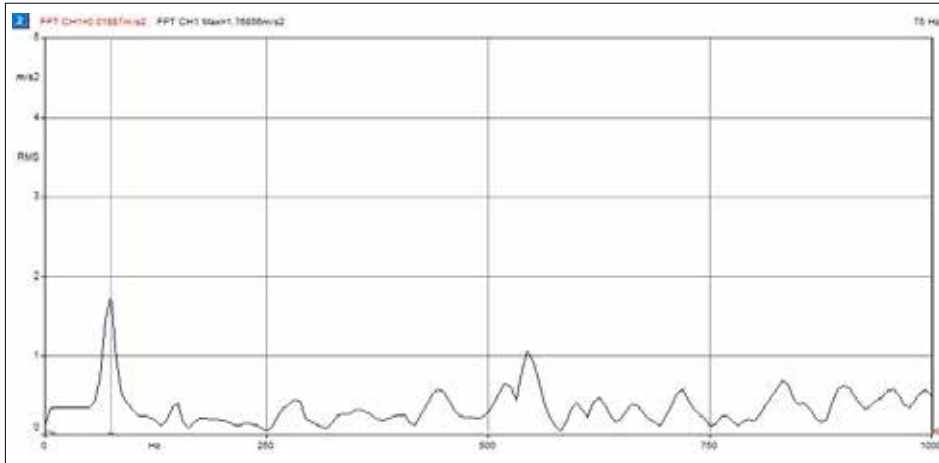


Abb. A86 FMII.b_VSS.3_V3-01 (MoPa)

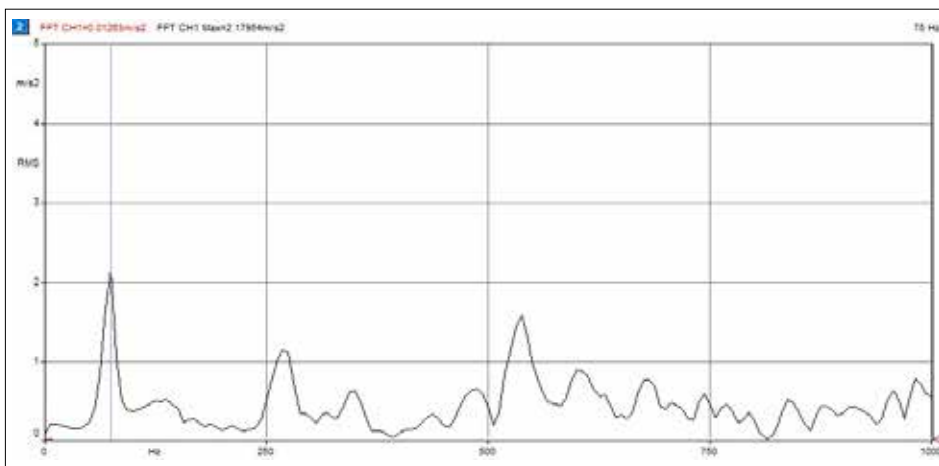


Abb. A87 FMII.b_VSS.3_V3-02 (MoPa)

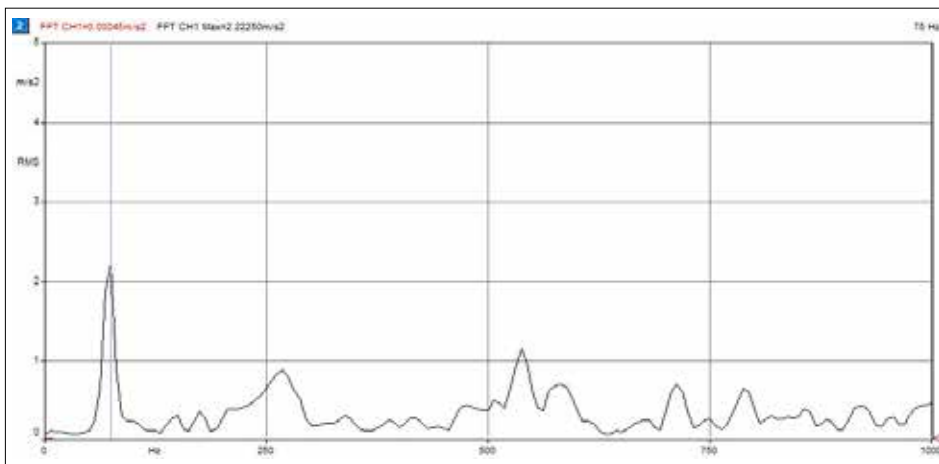


Abb. A88 FMII.b_VSS.3_V3-04 (MoPa)

III. Appendix
 Funktionsmodelle
 + Leistungsprofil

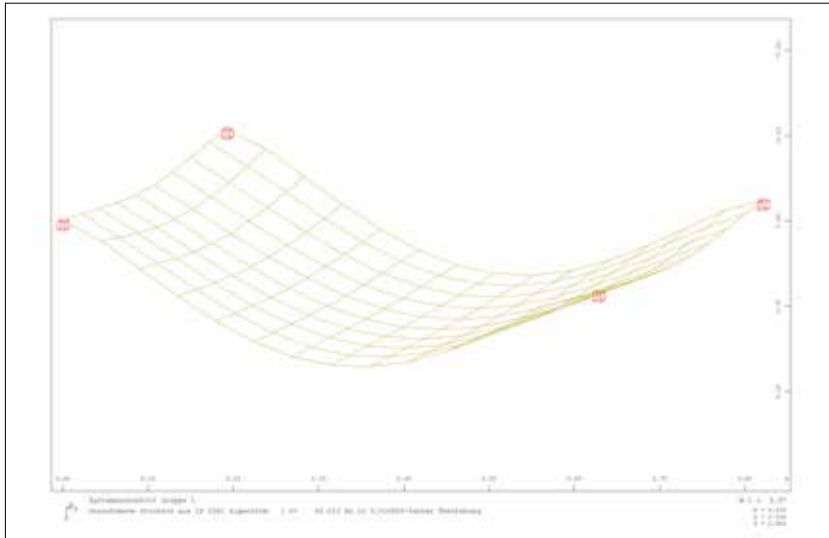


Abb. A89 FMII.b_VSS.1 (MoPa)

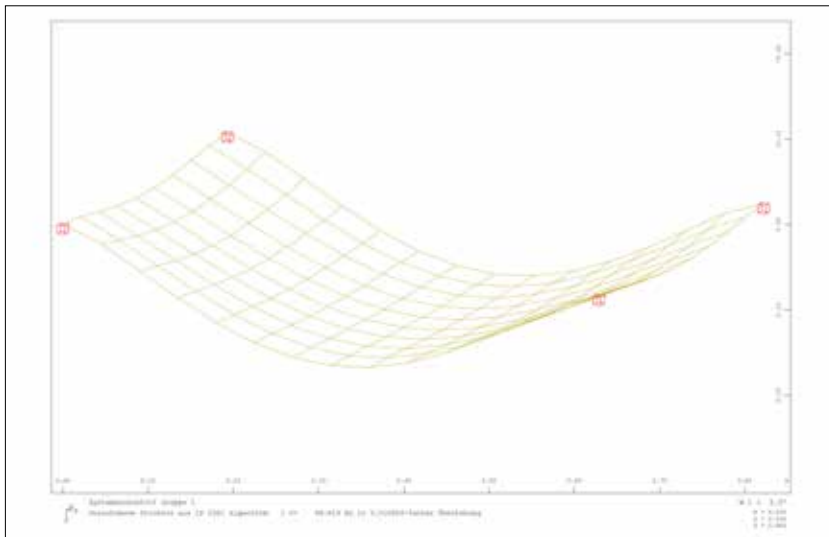


Abb. A90 FMII.b_VSS.2 (MoPa)

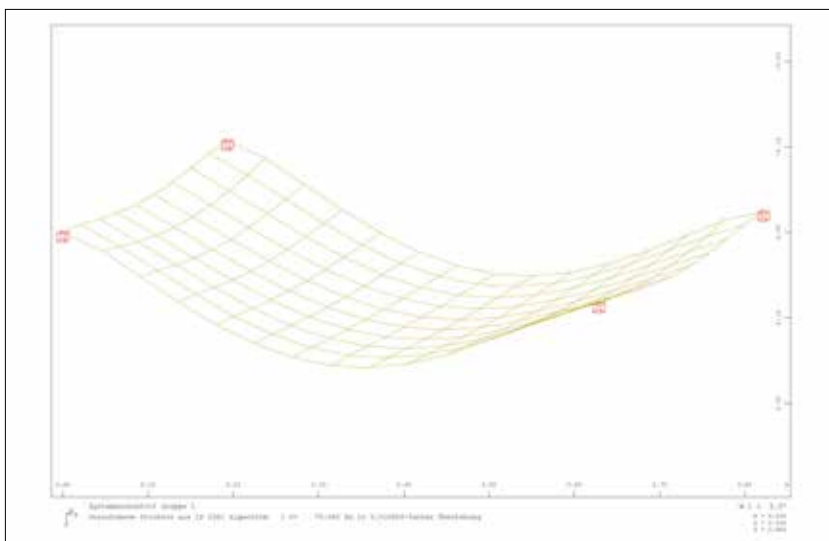


Abb. A91 FMII.b_VSS.3 (MoPa)

A3.3 Bestimmung des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient)

III. Appendix

A3.3.1 Hot-Box

Funktionsmodelle + Leistungsprofil

“Zur Charakterisierung und Optimierung von Fassadenelementen und Wärmedämmsystemen wie z. B. Fenstern bedarf es eines experimentellen Verfahrens zur genauen Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert). Hierfür steht am CAE eine rechnergesteuerte „Guarded Hot-Box“ zur Verfügung, die den Wärmetransport in Anlehnung an die Norm EN ISO 8990 ... im stationären Fall misst. Dieses Messverfahren ist auch für inhomogene Proben (z. B. komplettes Fenster aus Verglasung plus Rahmen) geeignet.

Die Messfläche der Hot-Box hat eine Höhe von 1,48 m und eine Breite von 1,23 m. Im Fall von kleineren bzw. nicht rechteckigen Prüfkörpern kann die Probe mit einer Isolation mit bekanntem Wärmewiderstand umgeben werden. Die Probendicke darf 25 cm nicht übersteigen. Die Temperatur auf der warmen Seite kann von 20 °C bis 35 °C variiert werden, auf der kalten Seite von 6 °C bis 20 °C. Die Strömungsgeschwindigkeit ist gemäß den Anforderungen der DIN 4108 voreingestellt, so dass auf der kalten Seite der thermische Übergangswiderstand etwa 0,04 m²K/W und auf der warmen Seite etwa 0,13 m²K/W beträgt.”¹

A3.3.2 Messprinzip

“Der Probekörper wird zwischen zwei Räumen mit unterschiedlichen Temperaturen eingebaut (Abb. A50, Seite 53 im Schlussbericht). Im stationären Fall fließt ein konstanter Wärmestrom von der warmen Seite durch den Probekörper auf die kalte Seite.

Da in der idealen Hot-Box die Temperatur in der Messkammer exakt der Temperatur der umgebenden Schutzkammer entspricht, kann Wärme nur durch den Probekörper abfließen. Die Wärmestromdichte im Probekörper wird durch die elektrische Leistung P_{el} von Heizung und Lüfter in der Messkammer, die nötig ist, um die Temperatur der Messkammer konstant zu halten und durch die von der Messkammer bedeckte Probenoberfläche A bestimmt. Mit den Lufttemperaturen T_w und T_k auf der warmen und der kalten Seite kann dann der Wärmedurchgangskoeffizient U (U-Wert) der Probe bei den gewählten Umgebungsbedingungen nach

$$U = \frac{P_{el}}{A \cdot (T_w - T_k)}$$

berechnet werden. Durch eine Kalibrierung der Hot-Box und des Probenrahmens mit einem Prüfkörper mit bekanntem Wärmewiderstand können eventuelle Temperaturabweichungen zwischen Messkammer und Schutzkammer oder laterale Wärmeströme korrigiert werden.

Durch die Vermessung der Prüfkörper bei verschiedenen Temperaturgradienten und konstanter Mitteltemperatur können laterale Wärmeströme im Prüfkörper und Konvektionseffekte berücksichtigt werden.”²

1 Manara/Stark, 09.01.2025, S. 7
2 Manara/Stark, 09.01.2025, S. 7ff.

III. Appendix
Funktionsmodelle
+ Leistungsprofil



Abb. A92 Hot-Box des Center for Applied Energy Research e.V. (CAE) mit eingebautem Funktionsmodell (12.06.2025) (Ohm/AR)



Abb. A93 Funktionsmodell mit Passepartout (180 mm PUR) in Probenrahmen eingeschäumt (Manara/Stark, 29.07.2025, S. 5)

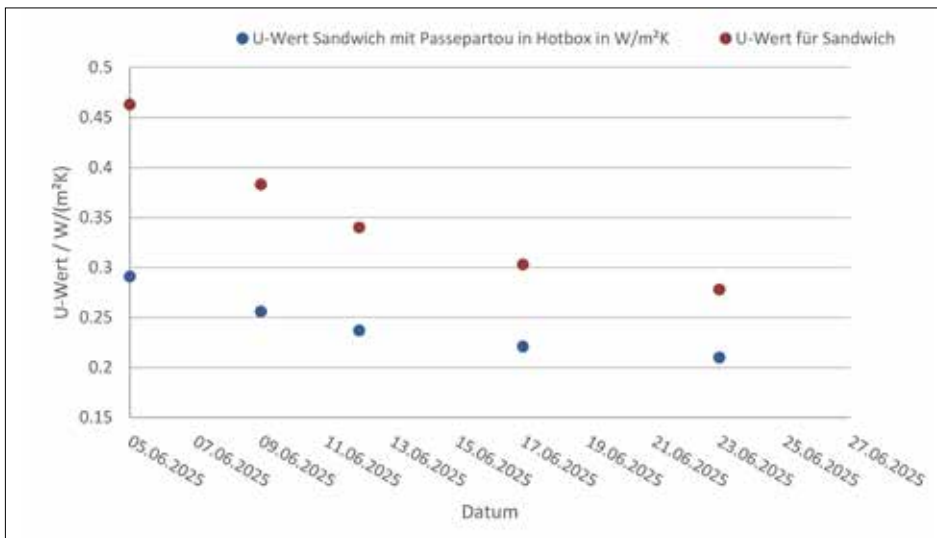


Abb. A94 U-Wert-Messung bei Temperaturdifferenz. Blaue Punkte Funktionsmodell mit Passepartout, rote Punkte Funktionsmodell (Manara/Stark, 29.07.2025, S. 9)

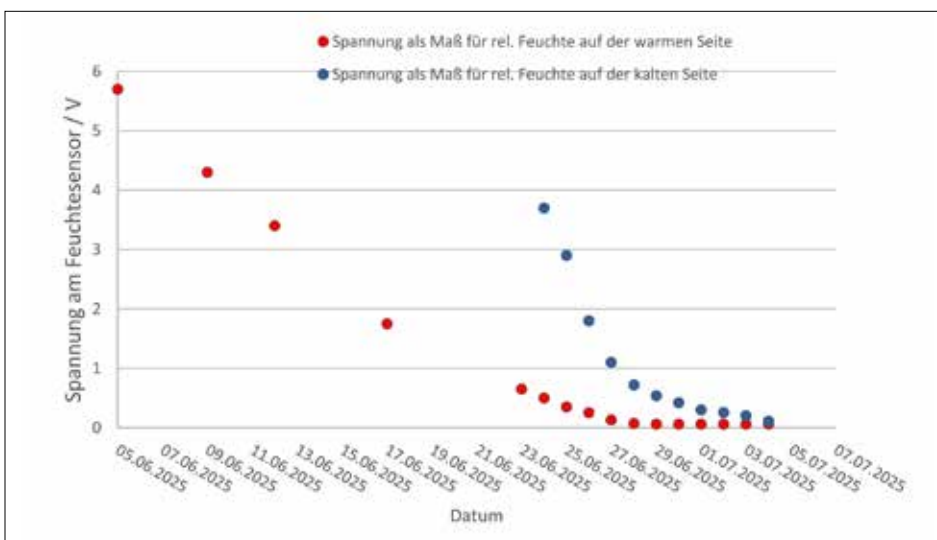


Abb. A95 Spannung am Feuchtesensor auf warmer Seite (Rot) und kalter Seite (Blau) als Maß für Feuchte der Luft (Manara/Stark, 29.07.2025, S. 10)

A3.4 Prüfungen zum Brandverhalten

III. Appendix

A3.4.1 Heizwertermittlung

Funktionsmodelle + Leistungsprofil

Angaben gemäß DIN EN ISO 1716		Kern „Optim R“	Vlies „Optim R“	Folie „Optim R“	Kern „Kooltherm“	Vlies „Kooltherm“
Flächenmasse	[kg/m ²]	4,4	0,1204	0,2824	0,7	-
Einzelwerte der Verbrennungswärme Q _{Pcs}	[MJ/kg]	1,4	21,7	33,2	26,3	8,9
		1,4	21,8	33,1	26,2	9,3
		1,6	22,3	33,3	26,1	9,3
Mittelwert des Q_{Pcs}-Wertes	[MJ/kg]	1,5	21,9	33,2	26,2	9,2
Q_{Pcss}-Wert	[MJ/m²]	6,6	2,6	9,4	18,3	-

Tab. A35 Bestimmung der Q_{Pcs}-Werte in MJ/kg und in MJ/m² gemäß DIN EN ISO 1716:2010-11. (MFPA Leipzig, 7. Mai 2025)

Kernmaterial „Optim R“ als substantieller Bestandteil
 Vlies „Optim R“ als nichtsubstantieller Bestandteil
 Folie „Optim R“ als nichtsubstantieller Bestandteil
 Kernmaterial „Kooltherm“ als substantieller Bestandteil
 Vlies „Kooltherm“ als nichtsubstantieller Bestandteil

Angaben gemäß DIN EN ISO 1716		Tragschicht „Leichtbeton 1800 kg/m ³ “	Vorsatzschicht „Leichtbeton 1400 kg/m ³ “
Flächenmasse	[kg/m ²]	144	56
Einzelwerte der Verbrennungswärme Q _{Pcs}	[MJ/kg]	-0,1	-0,2
		-0,1	-0,5
		-0,1	-0,2
Mittelwert des Q_{Pcs}-Wertes	[MJ/kg]	0,0	0,0
Q_{Pcss}-Wert	[MJ/m²]	0,0	0,0

Tab. A36 Bestimmung der Q_{Pcs}-Werte in MJ/kg und in MJ/m² gemäß DIN EN ISO 1716:2010-11. (MFPA Leipzig, 7. Mai 2025)

Tragschicht „Leichtbeton 1800 kg/m³“ als substantieller Bestandteil
 Vorsatzschicht „Leichtbeton 1400 kg/m³“ als nichtsubstantieller Bestandteil.

A3.4.2 SBI-Test



Abb. A96 Brandprüfstelle der MFPA Leipzig GmbH / Prüfungen nach dem SBI-Verfahren. (Ohm/AR)



Abb. A97 Prüfkörper DZ3.1/25-141B / Ansicht des großen Flügels vor der Brandprüfung. (MFPA Leipzig, 17. September 2025b)



Abb. A98 Prüfkörper DZ3.1/25-141B / Ansicht nach der Brandprüfung. (MFPA Leipzig, 17. September 2025b)

A4 Ökologische Bewertungen

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

A4.1 Ökologische Bewertung des Lignin-Aerogel-Dämmstoffs

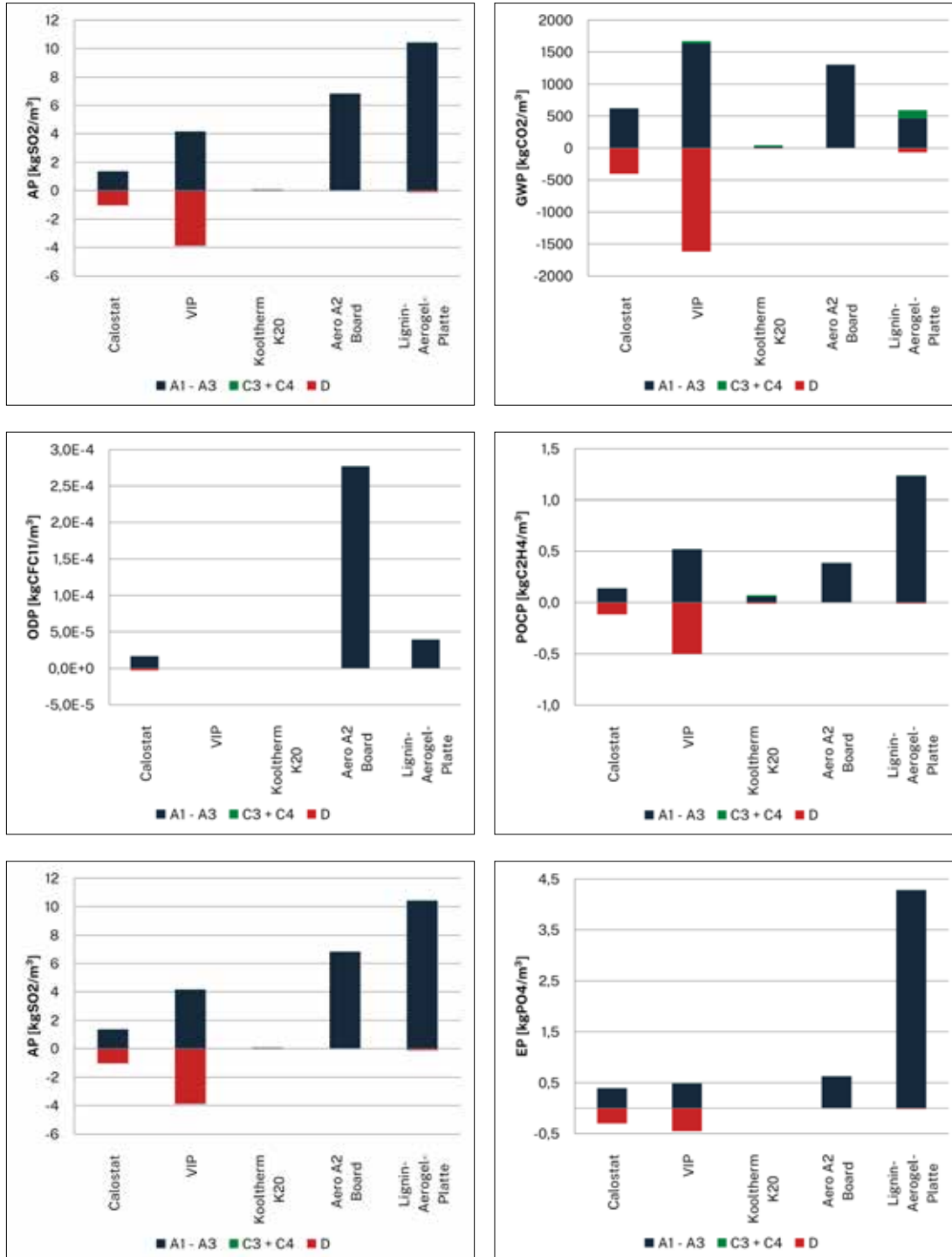


Abb. A99 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für das Lignin-Aerogel in Plattenform für die Module A1 bis A3 (Produktion), C3 und C4 (Entsorgung) und D (Potentiale) pro Kubikmeter im Vergleich zu vier marktüblichen Hochleistungsdämmstoffen (OHM-MB-VS-ieg)

A4.2 Ökologische Bewertung Funktionsmodelle

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

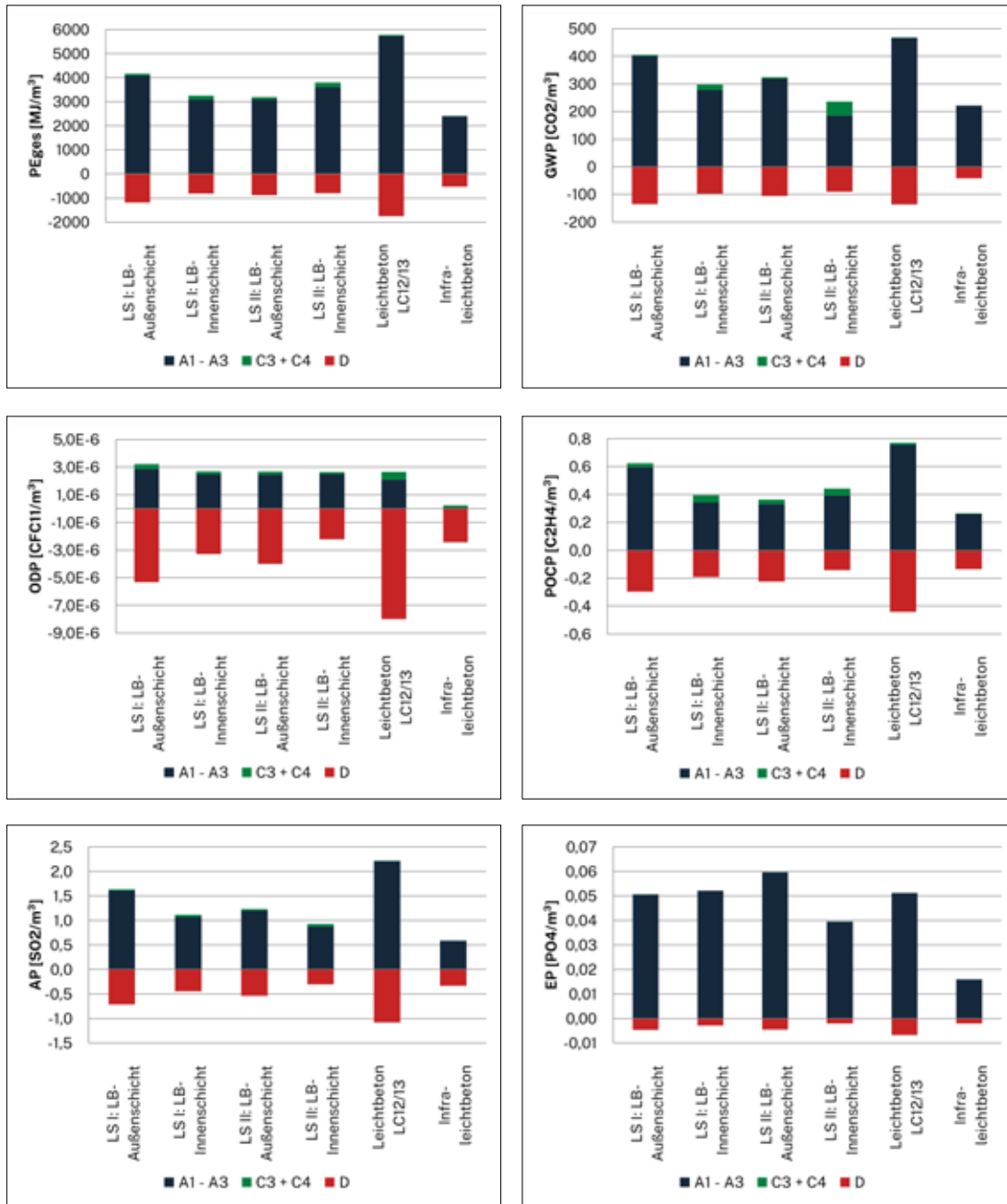


Abb. A100 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Leichtbeton-Außen- und Innenschicht der Lösungsstrategien I und II für die Module A1 bis A3 sowie C3 + C4 und D (Produktion, Ende Lebensweg, Potentiale) pro Kubikmeter im Vergleich zu zwei marktüblichen Leichtbetonsorten (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [MJ/m³]	PEe [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ m³]	ODP [kgCFC ₁₁ /m³]	POCP [kgC ₂ H ₄ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]	EP [kgPO ₄ /m³]
LS I – AS	3.378	788	404	3,2E-06	0,623	1,63	5,1E-02
LS I – IS	2.407	844	297	2,7E-06	0,395	1,11	5,2E-02
LS II – AS	2.648	543	325	2,7E-06	0,372	1,24	6,0E-02
LS II – IS	2.112	1.686	236	2,6E-06	0,443	0,93	4,0E-02
Leichtbeton LC 12/13	4.716	1.058	468	2,7E-06	0,770	2,22	5,1E-02
Infraleichtbeton	1.888	520	222	2,3E-07	0,265	0,59	1,6E-02

 III. Appendix
 Ökologische
 Bewertungen

Tab. A37 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Leichtbeton-Außen- und Innenschicht der Lösungsstrategien I und II für die Module A1 bis A3 (Produktion) inkl. C3 und C4 (Entsorgung) pro Kubikmeter im Vergleich zu zwei marktüblichen Leichtbetonsorten (AS: Außen-, IS: Innenschicht) (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [MJ/m³]	PEe [MJ/m³]	GWP [kgCO ₂ m³]	ODP [kgCFC ₁₁ /m³]	POCP [kgC ₂ H ₄ /m³]	AP [kgSO ₂ /m³]	EP [kgPO ₄ /m³]
LS I – AS	-929	-254	-134	-5,3E-06	-0,297	-0,72	-4,6E-03
LS I – IS	-634	-184	-98	-3,3E-06	-0,191	-0,45	-2,9E-03
LS II – AS	-700	-192	-106	-4,0E-06	-0,225	-0,54	-4,5E-03
LS II – IS	-603	-199	-91	-2,2E-06	-0,142	-0,30	-2,0E-03
Leichtbeton LC 12/13	-1.373	-373	-136	-8,0E-06	-0,440	-1,08	-6,7E-03
Infraleichtbeton	-420	-114	-42	-2,4E-06	-0,135	-0,33	-2,1E-03

Tab. A38 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Leichtbeton-Außen- und Innenschicht der Lösungsstrategien I und II für das Modul D (Potentiale) pro Kubikmeter im Vergleich zu zwei marktüblichen Leichtbetonsorten (AS: Außen-, IS: Innenschicht) (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

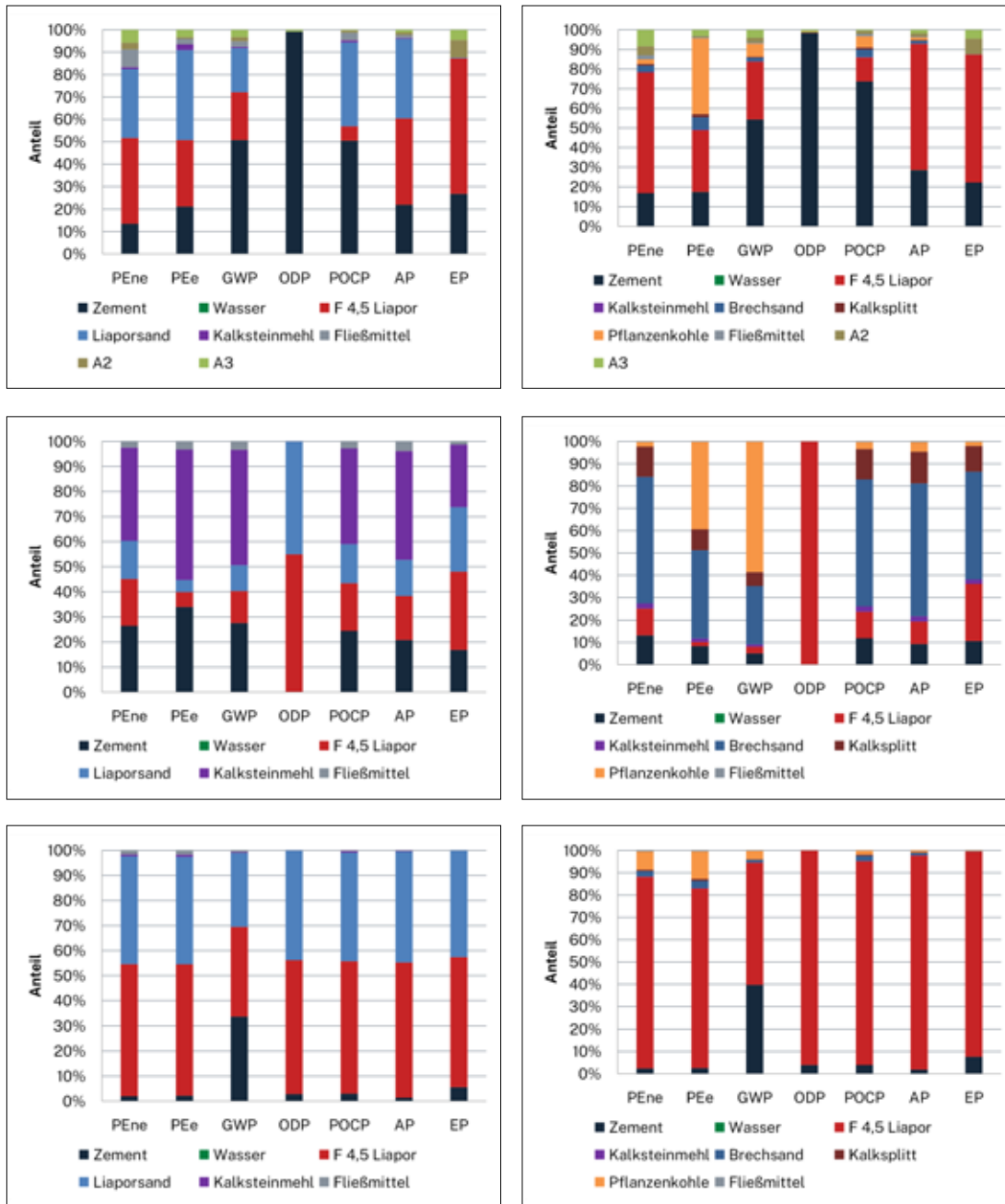


Abb. A101 Prozentuale Anteile der eingesetzten Materialien hinsichtlich der betrachteten Indikatoren für die Leichtbeton-Schichten der Lösungsstrategie I (links: Außenschicht, rechts: Innenschicht) für die Module A1 bis A3 (oben) sowie C3 + C4 (mitte) und D (unten) (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

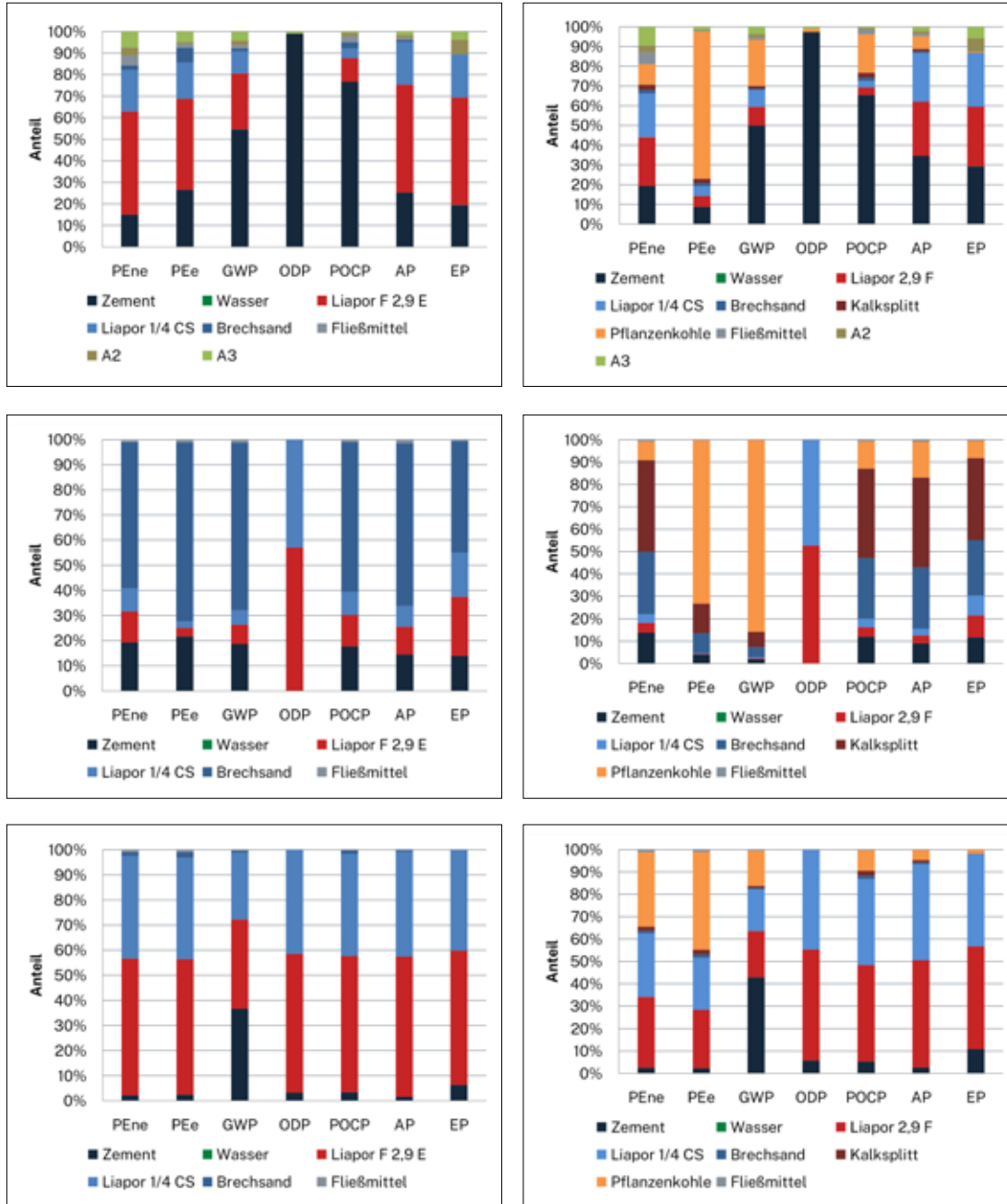


Abb. A102 Prozentuale Anteile der eingesetzten Materialien hinsichtlich der betrachteten Indikatoren für die Leichtbeton-Schichten der Lösungsstrategie II (links: Außenschicht, rechts: Innenschicht) für die Module A1 bis A3 (oben) sowie C3 + C4 (mitte) und D (unten) (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

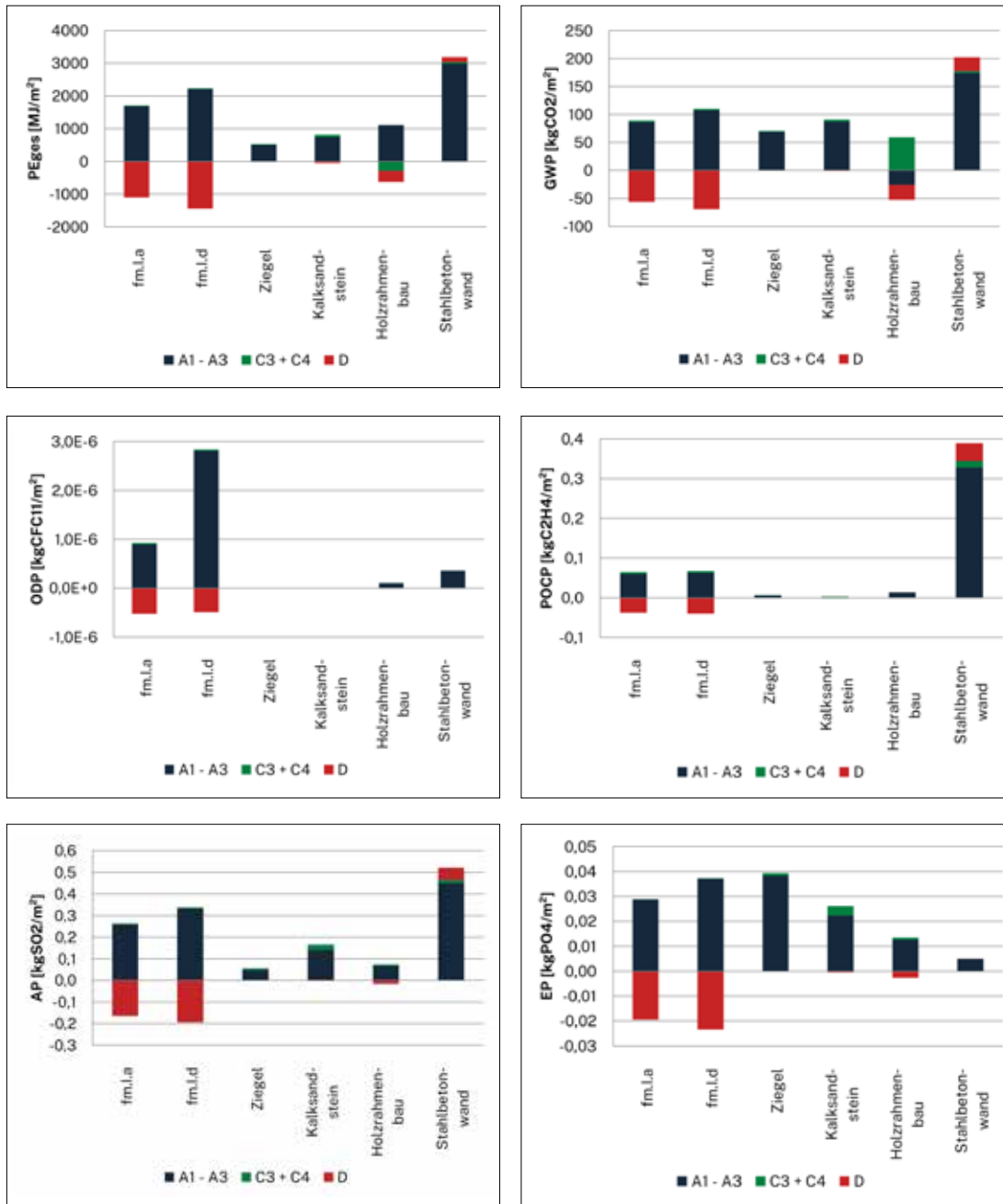


Abb. A103 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Funktionsmodelle fm.l.a und fm.l.d für die Module A1 bis A3 sowie C3 + C4 und D (Produktion, Ende Lebensweg, Potentiale) pro Quadratmeter im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [kWh/m²a]	PEe [kWh/m²a]	GWP [kgCO ₂ /m²a]	ODP [kgCFC ₁₁ /m²a]	POCP [kgC ₂ H ₄ /m²a]	AP [kgSO ₂ /m²a]	EP [kgPO ₄ /m²a]
fm.l.d	111,4	57,4	24,2	2,4E-08	3,3E-03	0,035	5,6E-03
Ziegel	112,0	57,8	24,9	1,6E-08	3,2E-03	0,035	5,8E-03
Kalksand- stein	112,2	57,7	24,8	1,6E-08	3,2E-03	0,035	5,8E-03
Holz- rahmen- bauwand	102,4	51,9	24,0	1,4E-08	3,1E-03	0,033	5,5E-03
Stahlbeton- wand	116,4	60,7	25,2	1,7E-08	4,3E-03	0,036	5,7E-03

 III. Appendix
 Ökologische
 Bewertungen

Tab. A39 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Funktionsmodelle fm.l.a und fm.l.d für die Module A1 bis A3 (Produktion) inkl. C3 und C4 (Entsorgung) pro Quadratmeter im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [kWh/m²a]	PEe [kWh/m²a]	GWP [kgCO ₂ /m²a]	ODP [kgCFC ₁₁ /m²a]	POCP [kgC ₂ H ₄ /m²a]	AP [kgSO ₂ /m²a]	EP [kgPO ₄ /m²a]
fm.l.d	-11,1	-8,7	-1,2	-1,4E-09	-2,0E-04	-0,002	-1,5E-04
Ziegel	-7,1	-6,1	-1,0	-1,3E-13	-8,4E-05	-0,001	-9,1E-05
Kalksand- stein	-7,2	-6,1	-1,0	-1,3E-13	-8,3E-05	-0,001	-9,2E-05
Holz- rahmen- bauwand	-6,4	-6,0	-1,0	-2,1E-13	-5,2E-05	-0,001	-7,3E-05
Stahlbeton- wand	-6,7	-5,5	-0,9	-3,2E-13	-5,1E-05	-0,001	-9,1E-05

Tab. A40 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Funktionsmodelle fm.l.a und fm.l.d für das Modul D (Potentiale) pro Quadratmeter im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

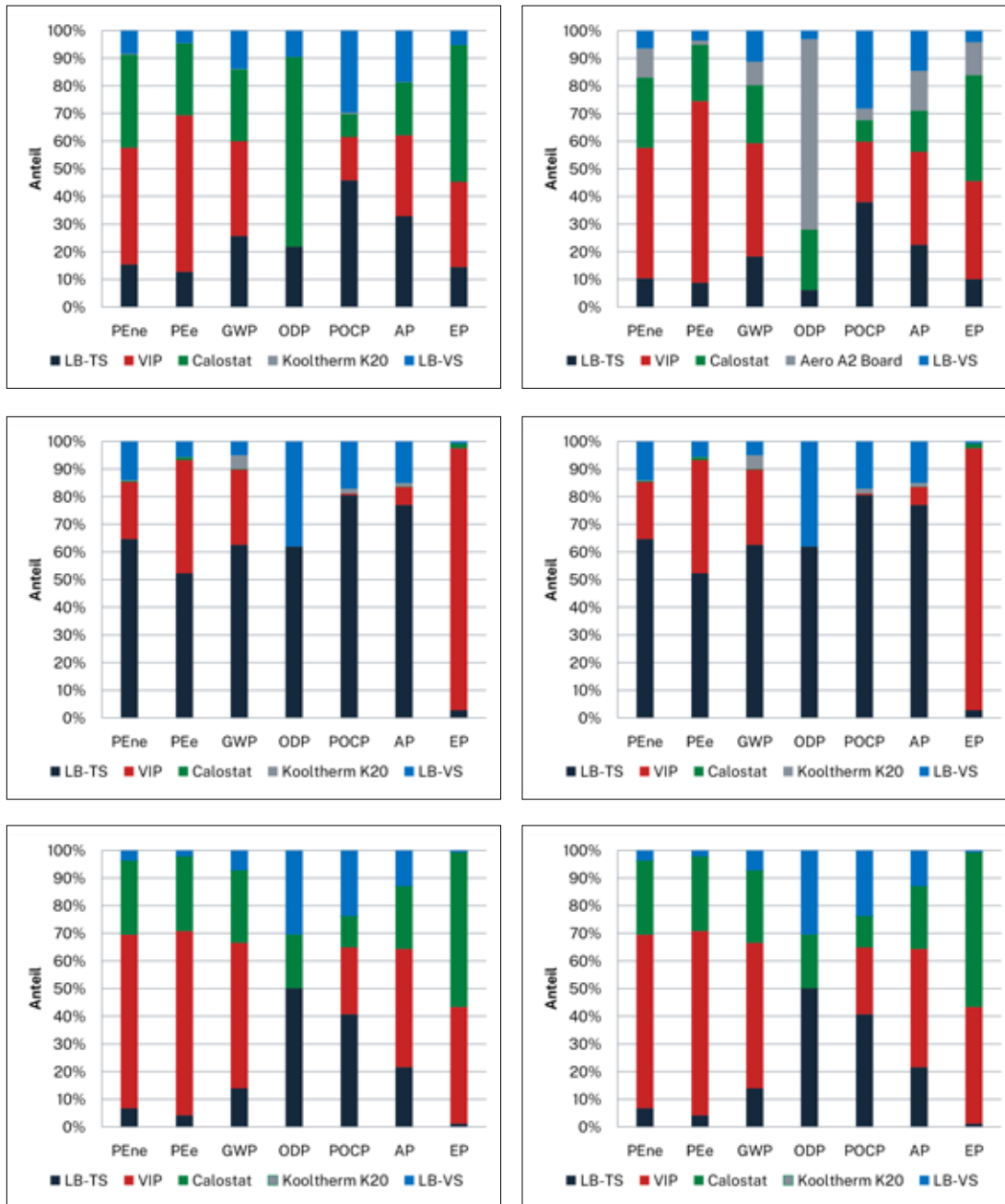


Abb. A104 Prozentuale Anteile der eingesetzten Materialien hinsichtlich der betrachteten Indikatoren für das Funktionsmodell fm.l.a (links) bzw. fm.l.d (rechts) für die Module A1 bis A3 (oben) sowie C3 + C4 (mitte) und D (unten) (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

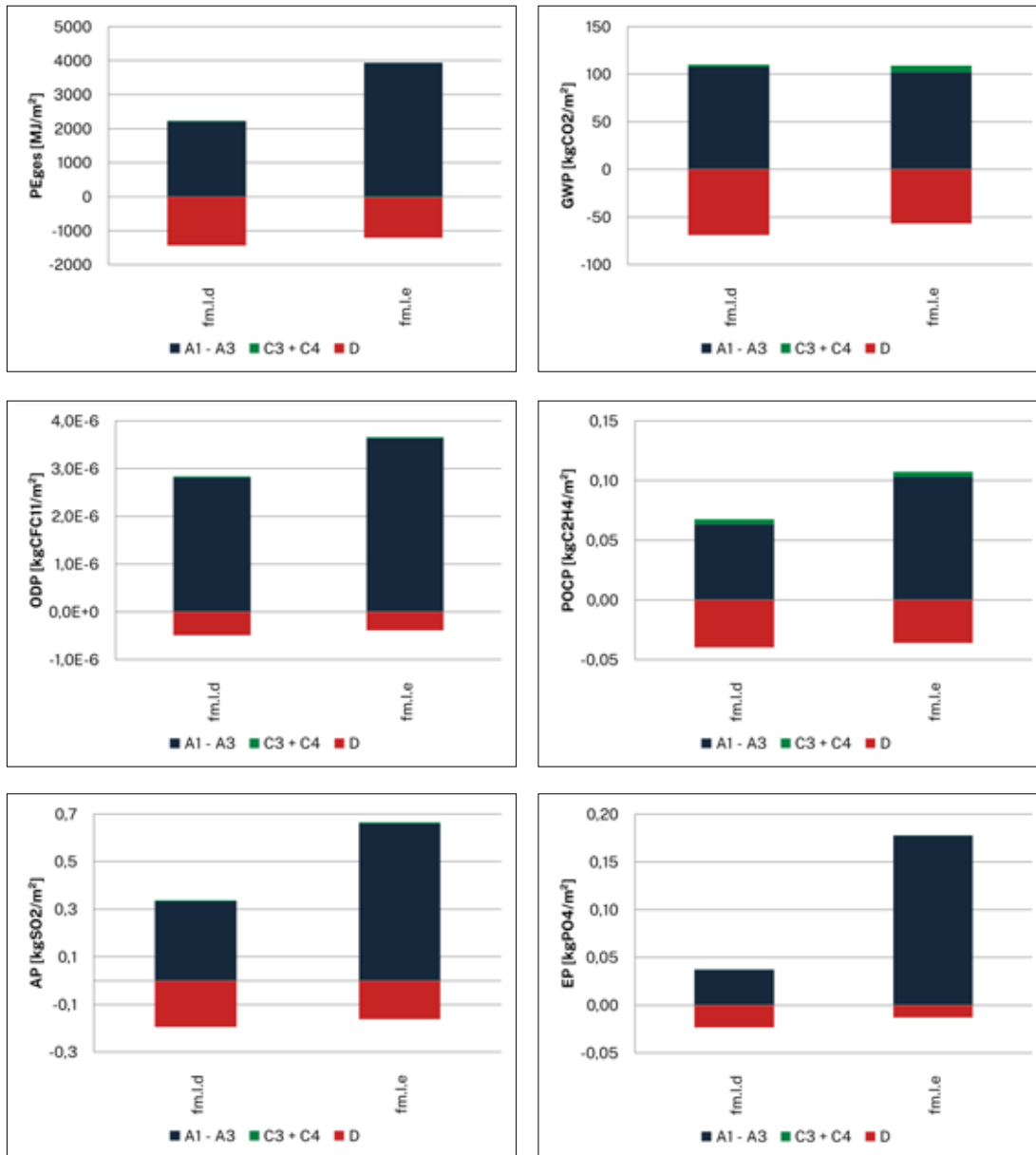


Abb. A105 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die Funktionsmodelle fm.l,d und fm.l,e für die Module A1 bis A3 sowie C3 + C4 und D (Produktion, Ende Lebensweg, Potentiale) pro Quadratmeter (OHM-MB-VS-ieg)

A4.2.1 Referenzmischung / Normalbeton – IZB Mischung 1 (26.01.2025)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,08	3,00	0,23	0,08
2 Wasser		0,12	1,00	0,12	0,12
3 Kies	0,25	0,14	2,65	0,37	0,14
4 Natursand	0-4	0,34	2,65	0,90	0,34
Restporen		0,10			0,10
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		1,616	0,768
Festbetonroh-dichte				2,000	

Tab. A41 Prüfprisma

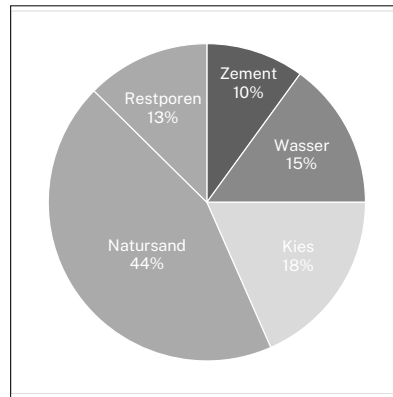


Abb. A106 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		100	3,00	300	100
2 Wasser		150	1,00	150	150
3 Kies	0,25	184	2,65	487,6	184
4 Natursand	0-4	440	2,65	1.166	440
Restporen		126			126
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1.001		2.103,6	1.000
Festbetonroh-dichte				2,000	

Tab. A42 Hochrechnung auf 1 m³

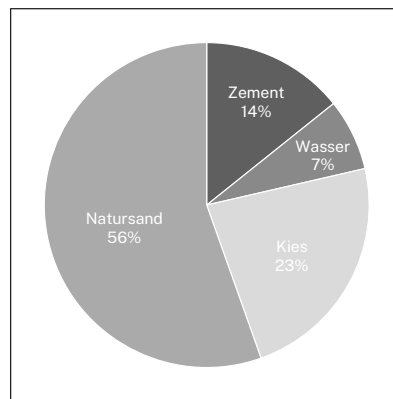


Abb. A107 Gewicht

Anmerkungen

1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N

InformationsZentrum Beton GmbH

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4, 73760 Ostfildern

Dipl.-Ing. (FH) Albrecht Richter

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonroh-dichte (Zuschläge trocken)

Festbetonroh-dichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonroh-dichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A4.2.2 Referenzmischung / Leichtbeton – IZB Mischung 1 (26.01.2025)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,10	3,00	0,29	0,10
2 Wasser		0,15	1,00	0,15	0,15
3 Liapor	0,25	0,31	0,67	0,21	0,31
4 Liaporsand	0-2	0,20	1,77	0,35	0,20
Restporen		0,01			0,01
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,276		1,000	0,768
Festbetonrohddichte				1,250	

Tab. A43 Prüfprisma

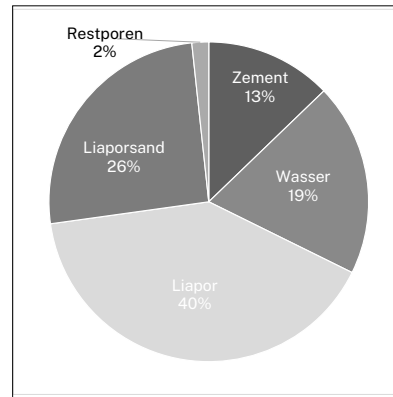


Abb. A108 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		128	3,00	384	128
2 Wasser		195	1,00	195	195
3 Liapor	0,25	405	0,67	271,4	405
4 Liaporsand	0-2	255	1,77	451	255
Restporen		17			17
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		1,301,7	1,000
Festbetonrohddichte				1,250	

Tab. A44 Hochrechnung auf 1 m³

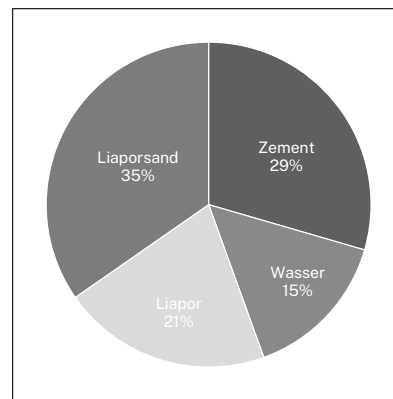


Abb. A109 Gewicht

Anmerkungen

1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N

InformationsZentrum Beton GmbH

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4, 73760 Ostfildern

Dipl.-Ing. (FH) Albrecht Richter

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A4.2.3 Referenzmischung / Infraleichtbeton – IZB Mischung 1 (26.01.2025)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,08	3,00	0,23	0,08
2 Wasser		0,13	1,00	0,13	0,13
3 Liapor	0,25	0,11	0,54	0,06	0,11
4 Blähglassand	1-4	0,34	0,33	0,11	0,34
5 Flugasche		0,02	2,30	0,05	0,02
Restporen		0,10			0,10
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,315		0,579	0,768
Festbetonrohddichte				700	

Tab. A45 Prüfprisma

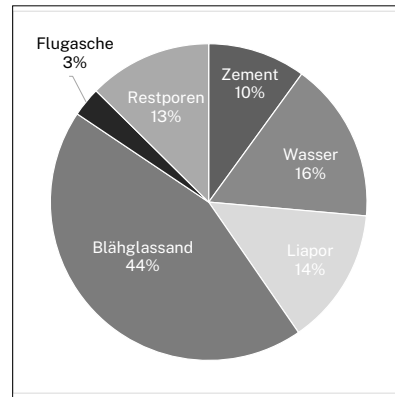


Abb. A110 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		100	3,00	300	100
2 Wasser		164	1,00	164	164
3 Liapor	0,25	140	0,54	75,6	140
4 Blähglassand	1-4	440	0,33	145	440
5 Flugasche		30	2,30	69	30
Restporen		126			126
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1.001		753,8	1.000
Festbetonrohddichte				700	

Tab. A46 Hochrechnung auf 1 m³

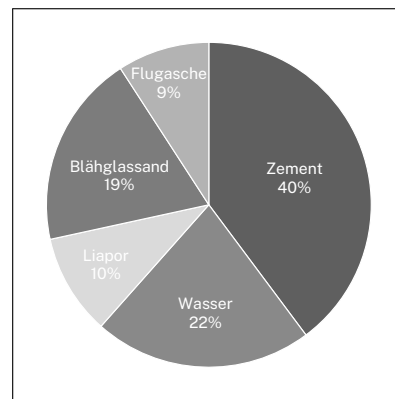


Abb. A111 Gewicht

Anmerkungen

1 Zement Schwenk CEM III 32,5 N2

InformationsZentrum Beton GmbH

Gerhard-Koch-Straße 2 + 4, 73760 Ostfildern

Dipl.-Ing. (FH) Albrecht Richter

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte (Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)
Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)
bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

A4.3 Beurteilung des Einsatzes der prototypischen Lösung (Funktionsmodell fm.I.d) in einem Bauprojekt

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

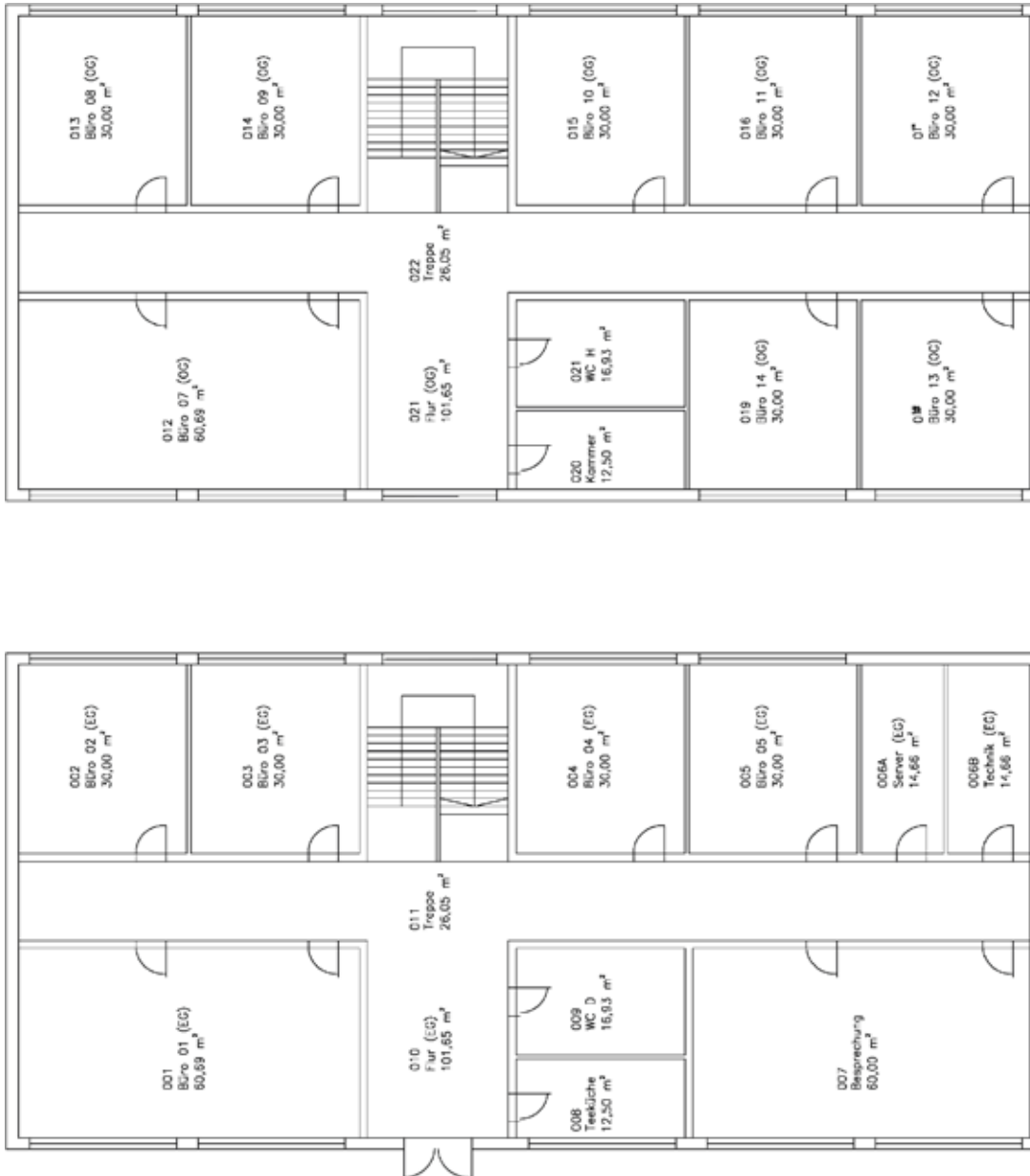


Abb. A112 Grundriss eines zweigeschossigen Bürogebäudes (unten: Erdgeschoss, oben: Obergeschoss) (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [MJ/m²a]	PEe [MJ/m²a]	GWP [kgCO ₂ /m²a]	ODP [kgCFC ₁₁ /m²a]	POCP [kgC ₂ H ₄ /m²a]	AP [kgSO ₂ /m²a]	EP [kgPO ₄ /m²a]
fm.l.d – Ziegel, BGF	147,3	56,8	14,5	3,6E-08	3,6E-03	0,028	3,8E-03
fm.l.d – Ziegel, NGF	149,4	58,2	14,6	3,7E-08	3,6E-03	0,028	3,9E-03
Ziegel	142,3	53,4	14,7	7,4E-09	3,1E-03	0,026	4,0E-03
fm.l.d – Kalksandstein, BGF	147,6	57,0	14,5	3,6E-08	3,6E-03	0,028	3,8E-03
fm.l.d – Kalksandstein, NGF	149,3	58,2	14,6	3,7E-08	3,6E-03	0,028	3,9E-03
Kalksandstein	144,0	53,7	14,9	7,3E-09	3,1E-03	0,027	3,9E-03
fm.l.d – Holzrahmenbauwand, BGF	148,1	57,3	14,5	3,7E-08	3,6E-03	0,028	3,8E-03
fm.l.d – Holzrahmenbauwand, NGF	149,4	58,2	14,6	3,7E-08	3,6E-03	0,028	3,9E-03
Holzrahmenbauwand	140,1	56,4	14,1	8,4E-09	3,2E-03	0,026	3,7E-03
fm.l.d – Stahlbetonwand, BGF	147,6	57,0	14,5	3,6E-08	3,6E-03	0,028	3,8E-03
fm.l.d – Stahlbetonwand, NGF	149,3	58,2	14,6	3,7E-08	3,6E-03	0,028	3,9E-03
Stahlbetonwand	151,5	61,1	15,2	1,1E-08	6,5E-03	0,029	3,5E-03

 III. Appendix
 Ökologische
 Bewertungen

Tab. A47 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) durch den Einsatz des Funktionsmodells fm.l.d als Außenwand für die Module A1 bis A3 (Produktion) inkl. B4 (Ersatz), C3 + C4 (Entsorgung) pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [MJ/m ² a]	PEe [MJ/m ² a]	GWP [kgCO ₂ /m ² a]	ODP [kgCFC ₁₁ /m ² a]	POCP [kgC ₂ H ₄ /m ² a]	AP [kgSO ₂ /m ² a]	EP [kgPO ₄ /m ² a]
fm.l.d – Ziegel, BGF	-22,7	-8,2	-1,7	-5,1E-09	-5,4E-04	-0,004	-4,5E-04
fm.l.d – Ziegel, NGF	-23,1	-8,4	-1,7	-5,2E-09	-5,6E-04	-0,004	-4,6E-04
Ziegelwand	-13,2	-3,6	-1,0	-3,9E-14	-1,4E-04	-0,002	-2,2E-04
fm.l.d – Kalksandstein, BGF	-22,7	-8,2	-1,7	-5,1E-09	-5,5E-04	-0,004	-4,5E-04
fm.l.d – Kalksandstein, NGF	-23,1	-8,4	-1,7	-5,2E-09	-5,6E-04	-0,004	-4,6E-04
Kalksandsteinwand	-13,4	-3,6	-1,0	-4,3E-14	-1,4E-04	-0,002	-2,2E-04
fm.l.d – Holzrahmenbauwand, BGF	-22,8	-8,3	-1,7	-5,1E-09	-5,5E-04	-0,004	-4,5E-04
fm.l.d – Holzrahmenbauwand, NGF	-23,1	-8,4	-1,7	-5,2E-09	-5,6E-04	-0,004	-4,6E-04
Holzrahmenbauwand	-17,5	-2,8	-1,3	-2,8E-13	-1,4E-04	-0,002	-2,5E-04
fm.l.d – Stahlbetonwand, BGF	-22,7	-8,2	-1,7	-5,1E-09	-5,5E-04	-0,004	-4,5E-04
fm.l.d – Stahlbetonwand, NGF	-23,1	-8,4	-1,7	-5,2E-09	-5,6E-04	-0,004	-4,6E-04
Stahlbetonwand	-10,7	-3,7	-0,7	-6,9E-13	-3,3E-04	-0,001	-2,1E-04

 III. Appendix
 Ökologische
 Bewertungen

Tab. A48 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) durch den Einsatz des Funktionsmodells fm.l.d als Außenwand für das Modul D (Potentiale) pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

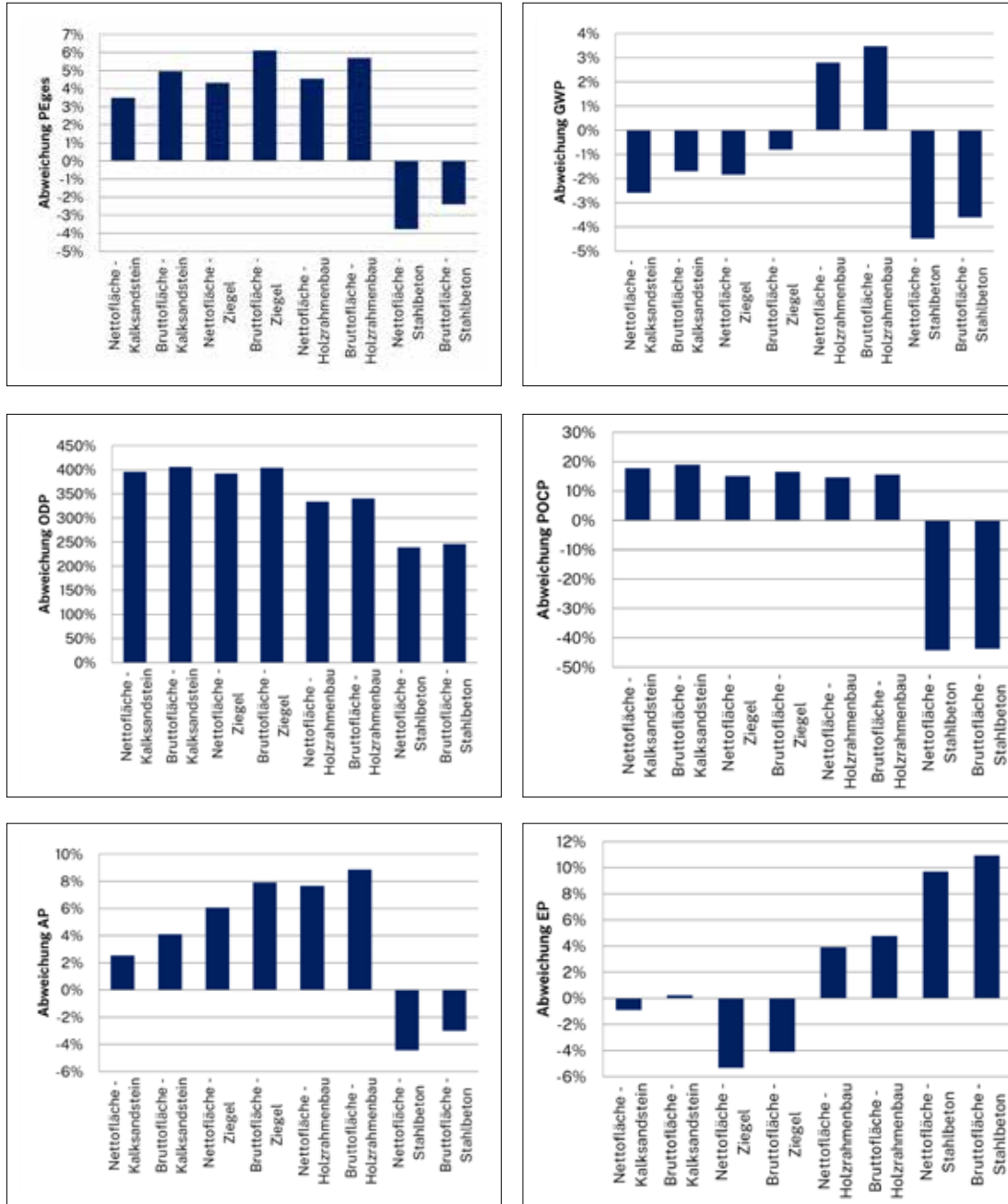


Abb. A113 Abweichung der Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) durch den Einsatz des Funktionsmodells fm.l.d als Außenwand für die Module A1 bis A3 mit B4 und inkl. C3 + C4 (Produktion, Ersatz, Ende Lebensweg) bei gleicher Brutto- bzw. Nettogrundfläche im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

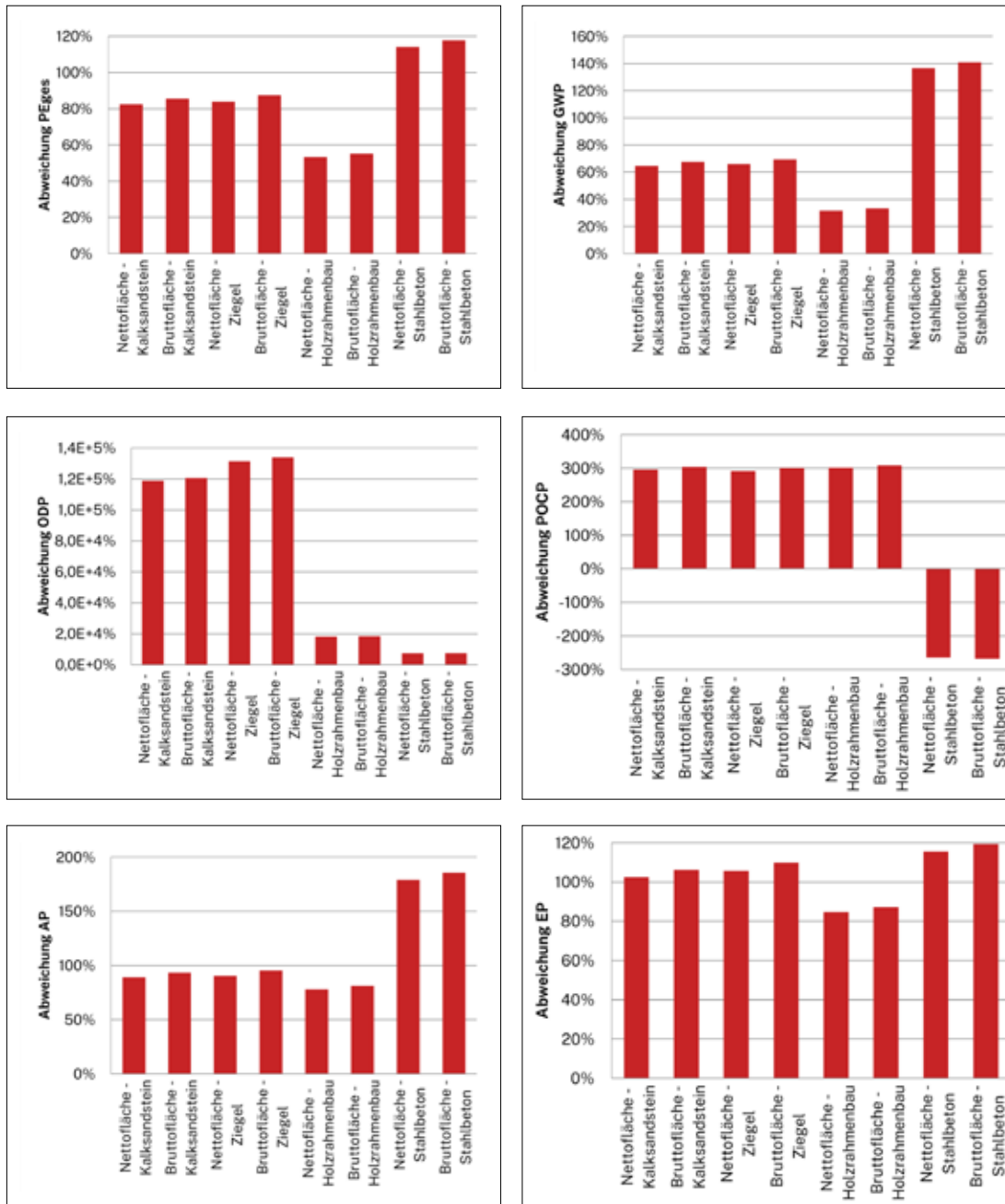


Abb. A114 Abweichung der Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) durch den Einsatz des Funktionsmodells fm.l.d als Außenwand für das Modul D (Potentiale) bei gleicher Brutto- bzw. Nettogrundfläche im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

A4.4 Weiterführende Untersuchungen zur Potentialabschätzung

III. Appendix Ökologische Bewertungen

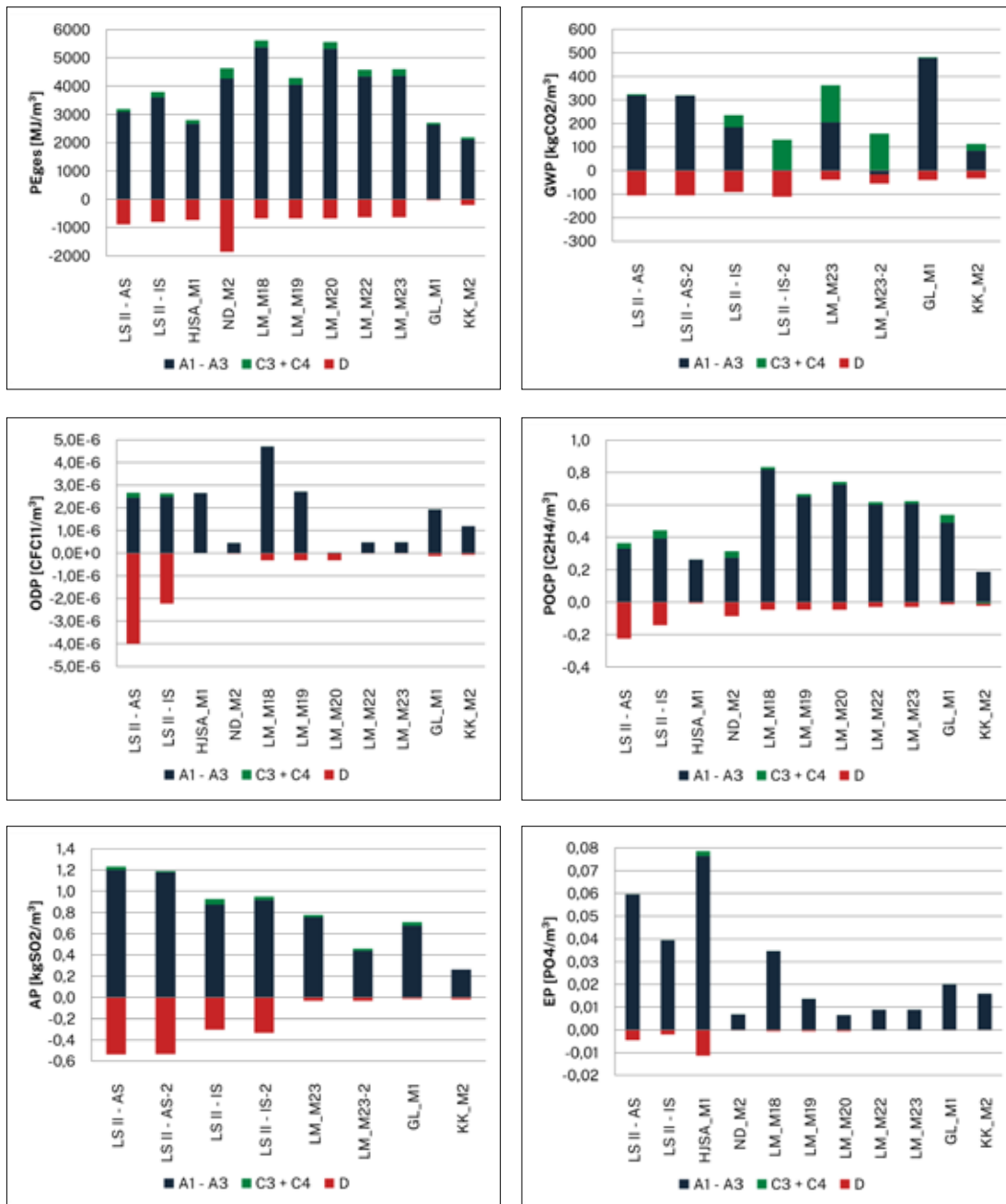


Abb. A115 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die weiterführende Betrachtung einiger Betonrezepturen aus den Materialexperimenten für die Module A1 bis A3, C3 und C4 sowie D (Produktion, Ende Lebensweg, Potentiale) pro Kubikmeter (OHM-MB-VS-ieg)

A4.5 Ökozertifizierung eines Musterbauvorhabens nach dem Bewertungssystem für nachhaltiges Bauen (BNB) bei Einsatz des Funktionsmodells fm.I.d

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

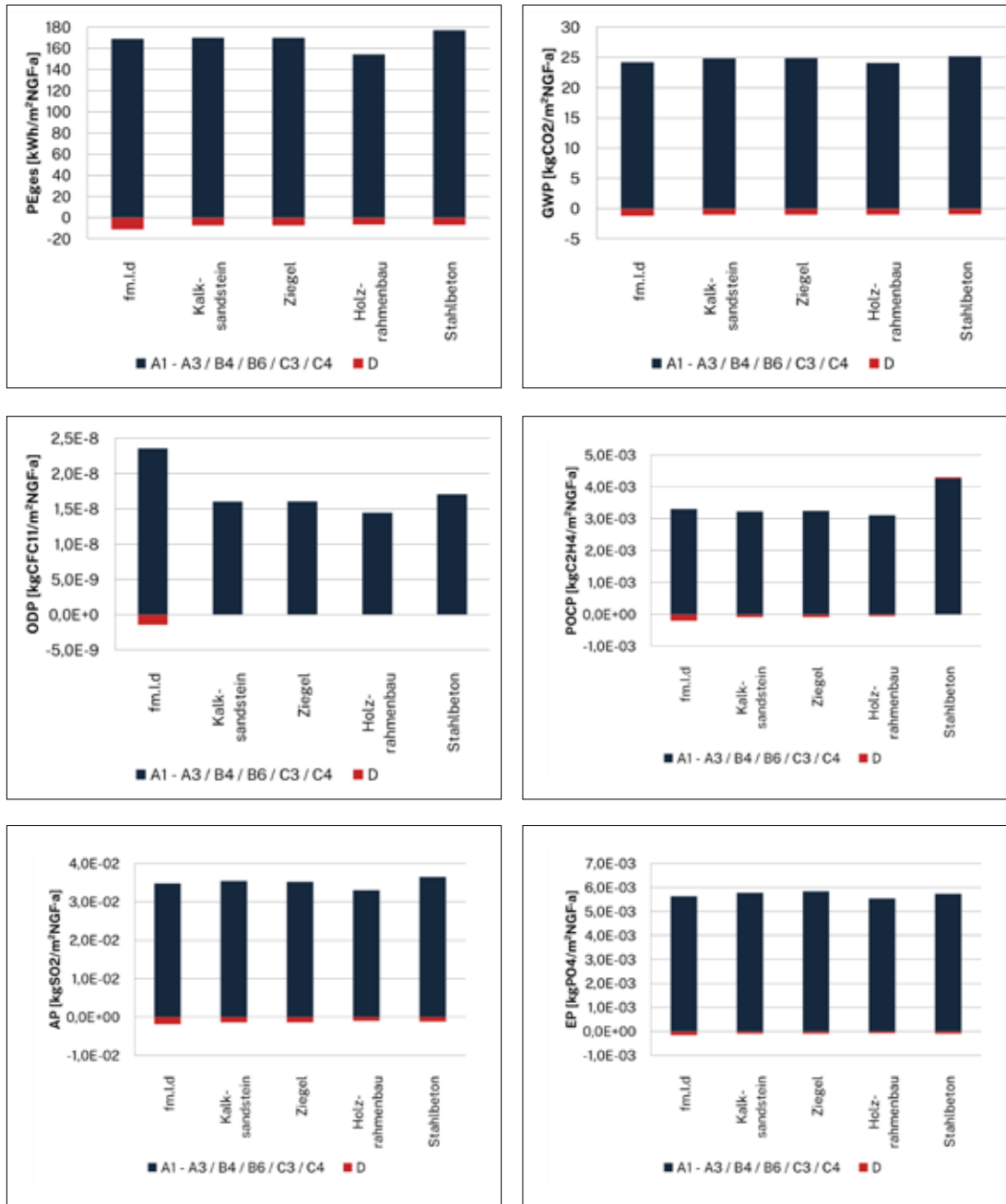


Abb. A116 Indikatoren für den Einsatz des Funktionsmodells fm.I.d als Außenwand für die Module A1 bis A3 mit B4, B6, C3 + C4 (Produktion, Ersatz, Energieeinsatz TGA, Ende Lebensweg) sowie D (Potentiale) pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr bei gleicher Bruttogrundfläche im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [kWh/m²a]	PEe [kWh/m²a]	GWP [kgCO₂/m²a]	ODP [kgCFC₁₁/m²a]	POCP [kgC₂H₄/m²a]	AP [kgSO₂/m²a]	EP [kgPO₄/m²a]
fm.l.d	111,4	57,4	24,2	2,4E-08	3,3E-03	0,035	5,6E-03
Ziegel	112,0	57,8	24,9	1,6E-08	3,2E-03	0,035	5,8E-03
Kalksandstein	112,2	57,7	24,8	1,6E-08	3,2E-03	0,035	5,8E-03
Holzrahmenbauwand	102,4	51,9	24,0	1,4E-08	3,1E-03	0,033	5,5E-03
Stahlbetonwand	116,4	60,7	25,2	1,7E-08	4,3E-03	0,036	5,7E-03

 III. Appendix
 Ökologische Bewertungen

Tab. A49 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für das Bürogebäude durch den Einsatz des Funktionsmodells fm.l.d als Außenwand für die Module A1 bis A3 (Produktion) inkl. B4 (Ersatz), B6 (Energieeinsatz TGA), C3 und C4 (Entsorgung) pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr bei gleicher Bruttogrundfläche im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

System	PEne [kWh/m²a]	PEe [kWh/m²a]	GWP [kgCO₂/m²a]	ODP [kgCFC₁₁/m²a]	POCP [kgC₂H₄/m²a]	AP [kgSO₂/m²a]	EP [kgPO₄/m²a]
fm.l.d	-11,1	-8,7	-1,2	-1,4E-09	-2,0E-04	-0,002	-1,5E-04
Ziegel	-7,1	-6,1	-1,0	-1,3E-13	-8,4E-05	-0,001	-9,1E-05
Kalksandstein	-7,2	-6,1	-1,0	-1,3E-13	-8,3E-05	-0,001	-9,2E-05
Holzrahmenbauwand	-6,4	-6,0	-1,0	-2,1E-13	-5,2E-05	-0,001	-7,3E-05
Stahlbetonwand	-6,7	-5,5	-0,9	-3,2E-13	-5,1E-05	-0,001	-9,1E-05

Tab. A50 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für das Bürogebäude durch den Einsatz des Funktionsmodells fm.l.d als Außenwand für das Modul D (Potentiale) pro Quadratmeter Nettogrundfläche und Jahr bei gleicher Bruttogrundfläche im Vergleich zu den vier marktüblichen Wandaufbauten (OHM-MB-VS-ieg)

A4.6 Umwelt-Produktdeklaration für ein Fassaden-Sandwichelement (Lösungsstrategie I, Funktionsmodell fm.I.d)

III. Appendix
Ökologische
Bewertungen

A4.6.1 Produkt

Produktbeschreibung / Produktdefinition

Bei dem Produkt handelt es sich um ein hochwärmedämmendes, schlankes sowie raumhohes Fassaden-Sandwichelement, bestehend im Wesentlichen aus zwei Leichtbetonschichten (Trag- bzw. Vorsatzschicht) sowie nano- bis mikrostrukturierten Hochleistungsdämmstoffen im Mehrschichtverbundsystem. Als Dämmstoffe kommen Vakuum-Isolationspaneele, mikroporöse silika-basierte Dämmplatten sowie Aerogel-Dämmplatten zum Einsatz. (Abb. A117)

Die beiden Leichtbetonschichten setzen sich aus den nachstehend aufgeführten Bestandteilen zusammen:

- Außenschicht (Vorsatzschicht):
 - Zement - CEM II A LL 52,5 N SEB (Bindemittel)
 - Kalksteinmehl (Füller)
 - Liaporsand SMT (Zuschlag)
 - F 4,5 Liapor (Zuschlag)
 - Frisch- und Saugwasser
 - Sika ViscoCrete-1095 BV/FM (Fließmittel)
- Innenschicht (Tragschicht):
 - Zement - CEM II A LL 52,5 N SEB (Bindemittel)
 - Pflanzkohle Granulat (Füller)
 - Kalksteinmehl (Füller)
 - 0/2 Rohmann Sand (Zuschlag)
 - 2/8 Kalksplitt (Zuschlag)
 - 8/16 Kalksplitt (Zuschlag)
 - F 4,5 Liapor (Zuschlag)
 - Frisch- und Saugwasser
 - Sika ViscoCrete-1095 BV/FM (Fließmittel)

Bei den eingesetzten Dämmstoffen handelt es sich im Wesentlichen um die Produkte AlphaCore Pure, eine hydrophobe mikroporöse silika-basierte Dämmplatte und Optim-R, ein Vakuum-Dämmstoff. Beide Dämmstoffe werden von der Firma Kingspan hergestellt. Weiterhin werden Aerogel-Dämmplatten vom Typ Aerogel A2 der Firma Agitec GmbH eingesetzt. Diese Dämmplatten dienen zum Schutz der eingebauten Vakuum-Isolationspaneele im Randbereich. Als Rand- bzw. Schubbewehrung sowie als Flächenbewehrung wird von der Firma Solidian das Produkt GRID Q121-RRE-38 (Glasfaserverbundwerkstoff) herangezogen.

Da zum Zeitpunkt der Erstellung keine gültigen Umweltproduktdeklarationen (EPD) für die Produkte AlphaCore und Optim-R vorlagen, wurde zum einen auf die Umweltproduktdeklaration des AlphaCore Vorgängerprodukts Calostat (Fa. Evonik Operations GmbH, 2021) sowie zum anderen auf die EPD für das Vakuum-Isolationspaneel Vacupor NT-B2-S (Fa. Porextherm Dämmstoffe GmbH, 2020) zurückgegriffen.

Anwendung

Das Produkt (Tab. A51 – A54) findet als Fassaden-Sandwichelement für nichttragende Wände im Geschößwohnungs- und Bürobau sowohl für die Sanierung als auch für den Neubau Verwendung. Die Ausführung erfolgt als im Werk vorgefertigtes Mehrschichtverbundsystem aus innerer und äußerer Leichtbetonschale mit einem Dämmkern bestehend aus unterschiedlichen Dämmstoffen. Dieser besteht zum einen aus einer hydrophoben mikroporösen silika-basierten Dämmplatte (AlphaCore) und zum anderen aus einer Vakuum-Dämmpaneel-Schicht (Optim-R). Beide Dämmstoffe werden von Aerogel-Dämmplatten (Aerogel A2 Board) umrandet und geschützt.

Herstellung / Herstellungsprozess

Der Leichtbeton wird zunächst selbstverdichtend in die Schalung eingebracht. Um ein Aufschwimmen der Flächenbewehrung zu vermeiden ist das Bewehrungsgitter vor der Betonage am L-Profil fixiert. Der Leichtbeton der Außenschicht wird nach der Betoneinfüllung abgezogen und zur Belegung mit den entsprechenden Dämmstofflagen (AlphaCore, Optim-R) vorbereitet. Die einzelnen Dämmstofflagen werden anschließend möglichst dicht

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

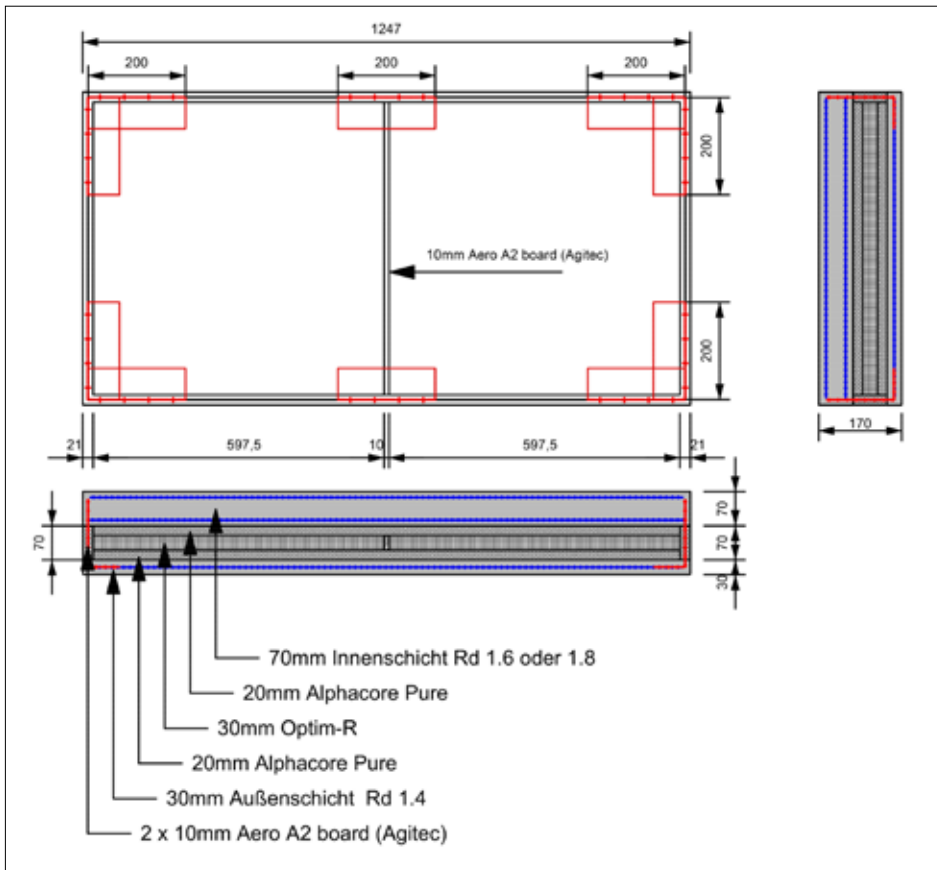


Abb. A117 Fassaden-Sandwichelement/ Funktionsmodell fm.l.d (Meier)

Bezeichnung	Wert	Einheit
(Roh-) Dichte	1.100	kg/m ³
Wärmeleitfähigkeit	0,039	W/(m K)
Wärmedurchgangskoeffizient ¹	0,23 ± 0,02	W(m ² K)
Wärmedurchgangswiderstand	4,35	(m ² K)/W
Bewertetes Schalldämmmaß gemäß Einstufung der Steinrohichte in der Messkurve der DIN 4109	40	dB
Flächengewicht	187,0	kg/m ²
Materialdicke	0,17	m

Tab. A51 Fassaden-Sandwichelement (LB-VS: Vorsatzschicht, LB-TS: Tragschicht) (OHM-MB-VS-ieg)

Bezeichnung	Wert	Einheit
Zement (CEM II A-LL 52,5 N SEB)	30,3	M.-%
Wasser	15,1	M.-%
Liaporsand SMT	15,2	M.-%
F 4,5 Liapor	18,5	M.-%
Kalksteinmehl	20,2	M.-%
Fließmittel (Sika ViscoCrete-1095 BV/FM)	0,7	M.-%

Tab. A52 Außenschicht (Vorsatzschicht) – Massenanteile (OHM-MB-VS-ieg)

Bezeichnung	Wert	Einheit
Zement (CEM II A-LL 52,5 N SEB)	20,1	M.-%
Wasser	10,8	M.-%
F 4,5 Liapor	15,9	M.-%
0/2 Brechsand (Rohmann)	41,2	M.-%
2/8 Kalksplitt	4,0	M.-%
8/16 Kalksplitt	5,8	M.-%
Pflanzkohle	0,4	M.-%
Kalksteinmehl	1,7	M.-%
Fließmittel (Sika ViscoCrete-1095 BV/FM)	0,1	M.-%

 III. Appendix
 Ökologische
 Bewertungen

Tab. A53 Innenschicht (Tragschicht) – Massenanteile (OHM-MB-VS-ieg)

Bezeichnung	Wert	Einheit
Innenschicht	67,1	M.-%
AlphaCore	3,8	M.-%
Optim-R (VIP)	3,2	M.-%
Aerogel A2 Board	0,7	M.-%
Außenschicht	22,3	M.-%
Bewehrung (solidian)	3,0	M.-%

Tab. A54 Fassaden-Sandwichelement – Massenanteile (OHM-MB-VS-ieg)

in die vorbereitete Randdämmung (Aero A2) eingelegt. Im Laufe des Betonierfortschritts werden die beiden Bewehrungslagen in die Innenschicht (Tragschicht) eingebettet. Es kann entweder das Negativ- oder das Positivverfahren zum Einsatz kommen, je nachdem welche der beiden Leichtbetonoberflächen schalungsglatt sein soll. Die Kopplung der Leichtbetonschichten mit den Dämmstoffen kann über Gewebe bzw. Gitter oder auch über Formteile aus verstärkten Kunststoffen bzw. Verbundwerkstoffen erfolgen.

Produktverarbeitung / Installation

Im Standardfall wird das Fassaden-Sandwichelement im Geschossbau mit Stahlbetondecken und einer Geschosshöhe von etwa drei Metern eingesetzt.

Nutzungszustand

Während der Nutzungsphase können durch das Fassaden-Sandwichelement aufgrund des geringen Wärmedurchgangskoeffizienten große Energiemengen durch die erhebliche Verminderung der Wärmeverluste über das Bauteil eingespart werden. Die stoffliche Zusammensetzung bleibt hierbei unverändert und entspricht den bereits beschriebenen Grundstoffen.

Umwelt und Gesundheit während der Nutzung

Bei sachgemäßer Verarbeitung sowie Nutzung ergeben sich keine Gesundheitsbeeinträchtigungen.

Referenz-Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer von Fassaden-Sandwichelemente ist abhängig von vielen Faktoren und theoretisch unbegrenzt. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) legt die Nutzungsdauer von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse für das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) fest. Demnach beläuft sich die Nutzungsdauer für Betonwände auf größer gleich 50 Jahre.

Außergewöhnliche Einwirkungen (Brand, Brandschutz, Wasser, mechanische Zerstörung)

Brand

Im Brandfall können keine toxischen Gase und Dämpfe entstehen. AlphaCore ist nach

DIN EN 13501-1 als A2-s1-d0 klassifiziert. Damit erfüllt dieses Produkt höchste Anforderungen an eine geringe Rauchentwicklung und hat keine brennenden oder brennend abfallenden Teile. Optim-R zeigt im Brandfall das Verhalten E / Efl (hinnehmbares Brandverhalten) nach DIN EN 13501-1. Das Aero A2 Board ist nach DIN EN 13501-1 als C-s1-d0 klassifiziert und zeigt dementsprechend lediglich einen begrenzten Beitrag zum Brand. Solidian GRID Gitter aus Carbon oder Glas erfüllen die Mindestanforderung der Klasse E (normal entflammbar) nach DIN EN 13501-1. Die beiden Leichtbetonschichten zeigen keinerlei Brandverhalten.

Nach dem SBI-Prüfverfahren gemäß DIN EN 13823 zeigt das gesamte Fassaden-Sandwich-element kein Brandverhalten (Klasse A1) auf. Nach geraumer Zeit (ca. sieben Minuten) sind jedoch Abplatzungen mit anschließender Freilegung der Bewehrungsgitter zu erwarten.

Wasser

Unter Wassereinwirkung (z. B. Hochwasser) reagiert Leichtbeton neutral. Es werden hierbei keine wassergefährdenden Stoffe ausgewaschen. AlphaCore zeigt dampfdiffusionsoffenes Verhalten und unterstützt somit die Feuchtigkeitsregulierung. Es ist im Kontakt mit Wasser formstabil und hydrophob, wodurch es auch undurchlässig für flüssiges Wasser ist. Dieses Verhalten ist hilfreich bei der Schimmelbildung. Optim-R wird durch Wasser nicht angegriffen, wobei ebenso keine wassergefährdenden Stoffe ausgewaschen werden. Das Aero A2 Board ist wasserdampfdurchlässig, wasserabweisend und nicht kapillaraktiv. Es ist weiterhin inert und eine Abgabe von wassergefährdenden Substanzen bei Wassereinwirkung ist nicht zu befürchten. Auch bei der Bewehrung der Fa. Solidian ist keine Abgabe von wassergefährdenden Stoffen bei Wassereinwirkung zu erwarten.

Mechanische Zerstörung

Das Fassaden-Sandwich-element birgt keinerlei Gefahren durch Austreten toxischer Gase oder durch Splintern bei mechanischer Zerstörung. Dies gilt auch für die Dämmstoffe AlphaCore sowie Optim-R als auch für die Bewehrung. Es ist jedoch bei Optim-R durch den Verlust des Vakuums bei mechanischer Verletzung der Barrierefolie eine wesentliche Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit zu erwarten.

Das Aero A2 Board sollte während der Installation vor Schlägen oder Fußverkehr geschützt werden, um eine Minderung der Dämmleistung zu vermeiden. Eine Verwendung von ungeeignetem Schneidwerkzeug sowie grobe Handhabung können dazu führen, dass Aerogel-Staub freigesetzt wird. Dieser Staub ist jedoch nicht gesundheitsschädigend, kann aber in geschlossenen, schlecht belüfteten Räumen eine unangenehme Wirkung zeigen.

Nachnutzungs-Phase / Entsorgung

Es lassen sich ganze Komponenten, wie die eingesetzten Dämmplatten (AlphaCore, Optim-R) wiederverwerten.

A4.6.2 LCA-Rechenregeln

Deklarierte Einheit

Die deklarierte Einheit bezieht sich auf einen Quadratmeter für das Fassaden-Sandwich-element mit einer Gesamt-Wanddicke von 17,0 cm. Umrechnungsfaktoren ermöglichen die Berechnung der LCA-Ergebnisse von m² auf m³ bzw. von m² auf kg. (Tab. A53)

Systemgrenze (betrachtete Module - Beschreibung, Typ der EPD)

Der Typ dieser Umweltproduktdeklaration ist als "Wiege bis Werkstor mit

Optionen" festgelegt. Die Ökobilanz berücksichtigt dabei folgende Lebenszyklusphasen:

- Herstellung und Bereitstellung der Vorprodukte (Modul A1)
- Transport der Vorprodukte zum Werk (Modul A2)
- Produktion inkl. Bereitstellung der Energie und Produktionsprozesse (Modul A3)
- Abfallbehandlung (Modul C3)
- Entsorgung (Modul C4)
- Nachnutzungsphase / Recycling (Modul D)

Allokation

Allokation ist die Zuordnung der Input- und Outputflüsse eines Ökobilanzmoduls auf das untersuchte Produktsystem nach DIN EN ISO 14040.

Die ökologischen Vorteile durch die Verwertung einzelner Komponenten (z. B. AlphaCore bzw. Calostat, Optim-R bzw. Vacupor) werden in Modul D berücksichtigt. Bei dem Produktionsstandort handelt es sich um Deutschland, deshalb beziehen sich alle gutgeschriebenen Prozesse auf diesen Bezugsraum. Die Zuteilung erfolgte anhand von produktspezifischen

Bezeichnung	Wert	Einheit
Deklarierte Einheit	1	m ²
Umrechnungsfaktor (von m ² auf m ³)	5,88	-
Umrechnungsfaktor (von m ² auf kg)	6.470,58	-
Dichte (Mittelwert)	1.100	kg/m ³
Materialdicke	0,17	m
Flächengewicht	187,0	kg/m ²

Tab. A55 Fassaden-Sandwichelement – Deklarierte Einheit, Umrechnungsfaktoren (OHM-MB-VS-ieg)

Bezeichnung	Wert	Einheit
Biogener Kohlenstoff im Produkt (Pflanzenkohle)	1,031	kg C/m ²

 Tab. A56 Biogener Kohlenstoff in einem Quadratmeter Fassaden-Sandwichelement
 Anmerkung: 1 kg biogener Kohlenstoff entspricht 3,67 kg CO₂ (OHM-MB-VS-ieg)

Daten der jeweiligen Hersteller.

Geographische Repräsentativität

Land oder Region, in dem das deklarierte Produkt hergestellt und ggf. genutzt sowie am Lebensende behandelt wird ist Deutschland.

Vergleichbarkeit

Generell ist ein Vergleich oder eine Beurteilung der Daten aus der Umweltproduktdeklaration nur möglich, wenn alle zu vergleichenden Datensätze nach DIN EN 15804 erstellt worden sind und der Gebäudekontext bzw. die produktspezifischen Leistungsmerkmale berücksichtigt werden.

A4.6.3 LCA: Szenarien und weitere technische Informationen

Die folgenden technischen Informationen sind Grundlage für die deklarierten Module und können für die Entwicklung von spezifischen Szenarien im Kontext einer Gebäudebewertung genutzt werden.

Charakteristische Produkteigenschaften biogener Kohlenstoff

Bei der Herstellung des Leichtbetons für die Tragschicht kommt als biobasierter Stoff Pflanzenkohle zum Einsatz. Dies führt zu einer Speicherung von biogenem Kohlenstoff im Produkt.

Informationen zur Beschreibung des biogenen Kohlenstoffgehalts am Werkstor

Der Anteil an biogenem Kohlenstoff im Produkt resultiert aus der eingesetzten Pflanzenkohle in der Tragschicht des Fassaden-Sandwichelements. Dabei wird von einem Kohlenstoffgehalt von etwa 0,854 kg pro kg Pflanzenkohle ausgegangen. (Tab. A54)

Produktionsstadium (A1 bis A3)

Das Modul A1 umfasst die Bereitstellung aller Materialien, Produkte und Energie sowie die Abfallbehandlung bis zum Ende des Abfallstatus bzw. die Entsorgung von Abfällen während der Herstellungsphase.

Das Modul A2 beinhaltet den Transport der eingesetzten Materialien zur Produktionsstätte, in diesem Fall die Firma Meier Betonwerke GmbH in Lauterhofen. Das Modul A3 berücksichtigen ebenso die Herstellung aller eingesetzten Rohstoffe und die Produktionsprozesse des untersuchten Produkts.

Entsorgungsstadium - Ende des Lebenswegs (C3 / C4)

In diesem Szenario wird von einer Sammelquote von 100 % ausgegangen. Bei der Aufbereitung wird hierbei eine Verlustrate von 3 % berücksichtigt.

Für die einzelnen Bestandteile des Leichtbetons erfolgt eine Bauschutttaufbereitung, d. h. ein Aufbrechen und eine Zerkleinerung des Bauschutts zu dessen Wiederverwendung (C3), nicht recycelbare Komponenten des Leichtbetons werden deponiert (C4).

Es wird eine vollständige (100 %) stoffliche Wiederverwendung für die silika-basierten Dämmplatten (AlphaCore bzw. Calostat) und für die Vakuum-Isolationspaneele (Optim-R bzw. Vacupor) berücksichtigt (C3). Für die gebrauchten Dämmplatten wird angenommen, dass diese sortenrein vorliegen. Aufwendungen für das Recycling von Calostat werden über Energieaufwendungen berücksichtigt. Das Material kann als Stützkern für Vakuum-Isolationspaneele eingesetzt werden und ersetzt dort einen Teil der primären Rohstoffe, wie z. B. Kieselsäure und Siliziumcarbid. Hinsichtlich des Vakuum-Isolationspaneels wird der Stützkern recycelt (95 %) und das Hüllsystem thermisch verwertet (5 %).

Der Verbleib des Aero A2 Boards kann im Moment laut den Herstellerangaben noch nicht genau bestimmt werden, da ein etabliertes Sammelsystem noch nicht existiert. Daher ist die Annahme, dass dieses Material nach der Nutzungsphase zu 100 % auf einer Deponie abgelagert wird, der konservativste Ansatz (C4).

Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze (D)

Alle Stoffe erreichen nach der Bauschutttaufbereitung in Modul C3 bzw. nach der Deponierung in Modul C4 das Ende des Abfallstatus. Gutschriften für die vermiedene Produktion von Primärmaterial am Lebensende durch den Einsatz der Stoffe als Recyclingmaterial sind dem Modul D zugeordnet.

A4.6.4 LCA: Ergebnisse

Umweltauswirkungen

Einschränkungshinweis gilt für die Indikatoren 'Potential für die Verknappung abiotischer Ressourcen - nicht fossile Ressourcen' (ADPE), 'Potential für die Verknappung abiotischer Ressourcen - fossile Brennstoffe' (ADPF) sowie 'Wasser- Entzugspotential (Benutzer)' (WDP). Die Ergebnisse dieser Indikatoren müssen mit Bedacht angewendet werden, da die Unsicherheiten bei diesen Ergebnissen hoch sind und es mit diesen Indikatoren nur begrenzte Erfahrungen gibt.

A4.6.5 LCA: Interpretation

Primärenergiebedarf (PEne, PEE)

Der Primärenergiebedarf setzt sich aus dem Anteil, der direkt als Energiequelle genutzt werden kann (z. B. Strom aus erneuerbaren bzw. fossilen Energiequellen, Treibstoffe) und dem Anteil, welcher als Materialeinsatz (erneuerbar, fossil) verwendet wird, zusammen.

Der Primärenergiebedarf in der Herstellungsphase wird im Wesentlichen durch die Vakuum-Isolationspaneele und der mineralischen Dämmplatten (Calostat bzw. Aero A2) bestimmt. (Abb. A118)

In der Entsorgungsphase bilden die Leichtbeton-Tragschicht und die Vakuum-Isolationspaneele den größten Anteil. (Abb. A119)

Das größte Wiederverwertungspotential zeigen entsprechend die Vakuum-Isolationspaneele. (Abb. A120)

Treibhauspotential (GWP)

Das Treibhauspotential ist als Beitrag eines Stoffes zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten (Treibhauseffekt) definiert.

Das Treibhauspotential wird ebenso in der Herstellungsphase durch die Aufwendungen der Vakuum-Isolationspaneele bestimmt. Ebenso spielen die mineralischen Dämmplatten eine wesentliche Rolle.

In der Entsorgungsphase liefern wiederum die Leichtbeton-Tragschicht und die Vakuum-Isolationspaneele den größten Beitrag.

Auch hier beinhalten die Vakuum-Isolationspaneele das größte Recyclingpotential.

Ozonschichtabbaupotential (ODP)

Das Ozonschichtabbaupotential beschreibt den Beitrag eines Stoffes zum Abbau der Ozonschicht.

Hier bildet die Aerogel-Dämmplatte den größten Anteil in der Herstellungsphase, auch die mineralische Dämmplatte trägt einen größeren Anteil.

Das ODP in der Entsorgungsphase setzt sich im Wesentlichen aus der Leichtbeton-Tragschicht und der Leichtbeton-Vorsatzschicht zusammen.

Das Recyclingpotential prägen zum größten Teil durch die beiden Leichtbetonschichten.

Angabe der Systemgrenzen (X = in Ökobilanz enthalten; MND = Modul oder Indikator nicht aktiviert; MNR = Modul nicht relevant)																
Produktionsstadium			Stadium der Errichtung des Bauwerks		Nutzungsstadium							Entsorgungsstadium			Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenze	
Rostoffversorgung	Transport	Herstellung	Transport vom Hersteller zum Verwendungsort	Montage	Nutzung / Anwendung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Erneuerung	Energieeinsatz für das Betreiben des Gebäudes	Wassereinsatz für den Betrieb des Gebäudes	Rückbau / Abriss	Transport	Abfallbehandlung	Beseitigung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- oder Recyclingpotential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	MND	X	X	X

Umweltauswirkungen: 1 m² Fassaden-Sandwichelement (Wanddicke 17,0 cm, Flächengewicht 187,0 kg/m²)					
Indikator	Einheit	A1 - A3	C3	C4	D
GWP-total	kg CO2-Äq.	1,07E+02	2,40E+00	1,07E-01	-6,90E+01
GWP-fossil	kg CO2-Äq.	1,09E+02	2,39E+00	8,06E-02	-6,90E+01
GWP-biogenic	kg CO2-Äq.	-1,70E+00	1,37E-04	1,29E-02	-9,70E-03
GWP-luluc	kg CO2-Äq.	1,09E-02	6,54E-03	1,30E-02	-4,04E-03
ODP	kg CFC11-Äq.	2,81E-06	2,02E-12	2,64E-08	-4,91E-07
AP	kg SO2-Äq.	3,32E-01	4,28E-03	6,92E-04	-1,95E-01
EP-freshwater	kg P-Äq.	3,71E-02	1,07E-04	1,91E-06	-2,33E-02
EP-marine	kg N-Äq.	1,55E-02	1,25E-03	1,32E-02	-1,55E-02
EP-terrestrial	mol N-Äq.	2,79E-01	1,38E-02	1,54E-02	-8,34E-02
POCP	kg NMVOC-Äq.	6,31E-02	3,75E-03	7,64E-04	-3,99E-02
ADPE	kg Sb-Äq.	1,03E-03	5,22E-07	1,30E-02	-1,03E-03
ADPF	MJ	1,28E+03	1,38E+01	1,69E+00	-8,92E+02
WDP	kg Welt-Äq. entzogen	5,60E+00	1,74E-01	9,66E+00	-1,20E+02

GWP: Globales Erwärmungspotential, ODP: Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht, AP: Versauerungspotential von Boden und Wasser, EP: Eutrophierungspotential, POCP: Bildungspotential für troposphärisches Ozon, ADPE: Potential für die Verknappung von abiotischen Ressourcen - nicht fossile Ressourcen (ADP-Stoffe), ADPF: Potential für die Verknappung abiotischer Ressourcen - fossile Brennstoffe (ADP-fossile Energieträger), WDP: Wasser-Entzugspotential (Benutzer)

Tab. A57 Umweltauswirkungen (OHM-MB-VS-ieg)

Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes: 1 m² Fassaden-Sandwichelement (Wanddicke 17,0 cm, Flächengewicht 187,0 kg/m²)					
Indikator	Einheit	A1 - A3	C3	C4	D
PERE	MJ	6,08E+02	1,29E+01	8,31E-02	-4,64E+02
PERM	MJ	4,51E+01	-7,75E+00	1,30E-02	0
PERT	MJ	6,53E+02	5,20E+00	9,61E-02	-4,64E+02
PENRE	MJ	1,54E+03	2,49E+01	1,75E+00	-9,73E+02
PENRM	MJ	1,59E+01	-9,96E+00	6,78E-03	0
PENRT	MJ	1,56E+03	1,49E+01	1,76E+00	-9,73E+02
SM	kg	1,49E+00	0	1,37E-02	5,86E+00
RSF	MJ	6,13E+01	0	1,42E-02	-4,63E-01
NRSF	MJ	5,67E+01	0	1,55E-02	-3,63E-01
FW	m³	1,74E+00	7,73E-03	1,50E-02	-1,53E+00

PERE: Erneuerbare Primärenergie als Energieträger, PERM: Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung, PERT: Total erneuerbare Primärenergie, PENRE: Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger, PENRM: Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung, PENRT: Total nicht-erneuerbare Primärenergie, SM: Einsatz von Sekundärstoffen, RSF: Erneuerbare Sekundärbrennstoffe, NRSF: Nicht-erneuerbare Sekundärbrennstoffe, FW: Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen

Tab. A58 Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes (OHM-MB-VS-ieg)

Abfallkategorien und Outputflüsse: 1 m² Fassaden-Sandwichelement (Wanddicke 17,0 cm, Flächengewicht 187,0 kg/m²)					
Indikator	Einheit	A1 - A3	C3	C4	D
HWD	kg	8,79E-02	6,58E-09	1,31E-02	-7,15E-03
NHWD	kg	1,17E+01	1,94E+01	7,46E+00	-1,26E+01
RWD	kg	5,93E-02	4,92E-04	1,30E-02	-2,84E-02
CRU	kg	1,46E-02	0	1,30E-02	0
MFR	kg	3,52E-02	8,76E+01	1,36E-02	-7,75E-02
MER	kg	1,37E-02	0	1,30E-02	-4,65E-03
EEE	MJ	0	2,08E+00	1,40E-02	-1,01E-02
EET	MJ	0	4,83E+00	7,34E+00	-1,53E-01

HWD: Gefährlicher Anteil zur Deponie, NHWD: Entsorgter nicht gefährlicher Abfall, RWD: Entsorgter radioaktiver Abfall, CRU: Komponenten für die Wiederverwendung, MFR: Stoffe zum Recycling, MER: Stoffe für die Energierückgewinnung, EEE: Exportierte Energie - elektrisch, EET: Exportierte Energie - thermisch

Tab. A59 Abfallkategorien und Outputflüsse (OHM-MB-VS-ieg)

Ozonbildungspotential (POCP)

Das Ozonbildungspotential definiert die Menge an schädlichen Spurengase, wie z. B. Stickoxid und Kohlenwasserstoff, die in Kombination mit UV-Strahlung zur Bildung von bodennahem Ozon führen.

Hinsichtlich des Ozonbildungspotentials steuern die beiden Leichtbeton-Schichten den größten Anteil in der Herstellungsphase und der Entsorgungsphase.

Das größte Wiederverwertungspotential zeigen die beiden Leichtbetonschichten sowie die Vakuum-Isolationspaneele.

Versauerungspotential (AP)

Das Versauerungspotential ist als Beitrag eines Stoffes zur Versauerung der Umwelt definiert.

Das Versauerungspotential wird am meisten durch die Vakuum-Isolationspaneele in der Herstellungsphase und in der Entsorgungsphase durch die Leichtbeton-Tragschicht bestimmt.

Auch hier haben die Vakuum-Isolationspaneele das größte Potential zur Wiederverwertung.

Überdüngungspotential (EP)

Das Überdüngungspotential bezeichnet, wie stark ein Stoff Gewässer aber auch Böden überdüngt.

Das Überdüngungspotential wird stark durch die Vakuum-Isolationspaneele sowie durch die mineralischen Dämmplatten in der Herstellungsphase und im Wesentlichen nur durch die VIP in der Entsorgungsphase beeinflusst.

Das Recyclingpotential wird zum größten Teil durch die Leichtbeton-Tragschicht bestimmt.

III. Appendix

Ökologische Bewertungen

III. Appendix
Ökologische Bewertungen

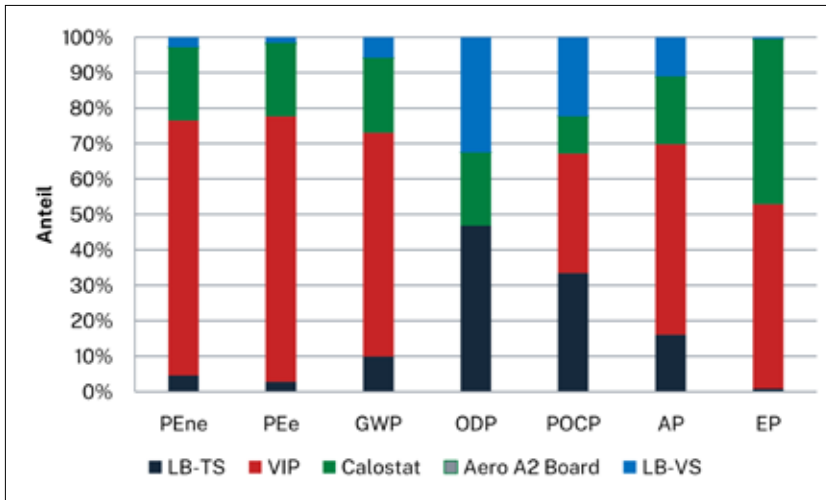


Abb. A118 Materialanteil - Herstellungphase (A1 bis A3)

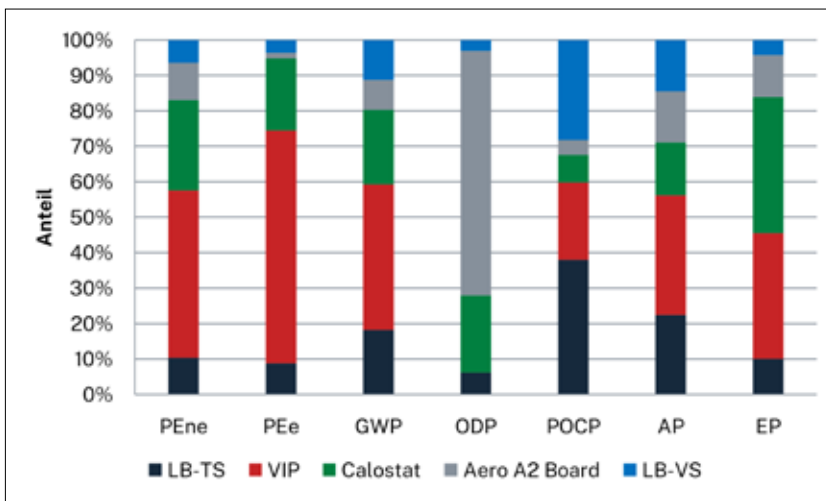


Abb. A119 Materialanteil - Entsorgungsphase (C3 + C4)

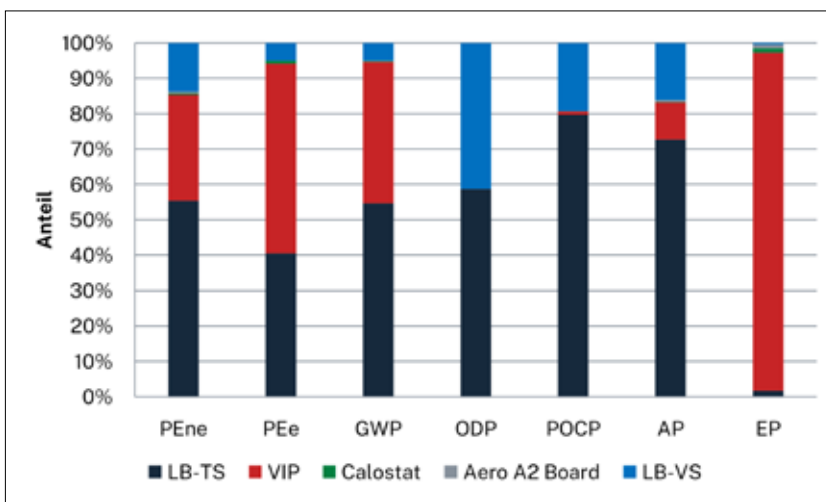


Abb. A120 Materialanteil - Wiederverwertung / Recyclingpotential (D)

A5 Optimierungen zu 'prototypischem' Fassadenbauteil

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

A5.1 Untersuchungen zur Eignung der Lösungsstrategien im baulichen Kontext

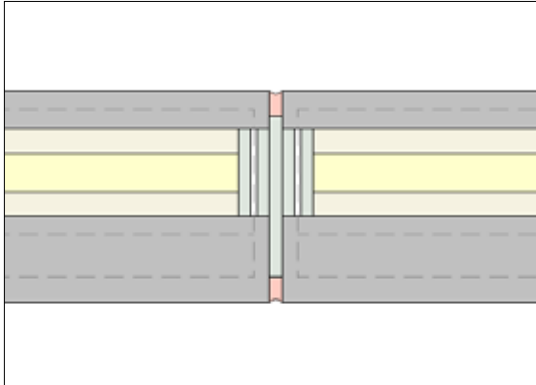


Abb. A121 Fassaden-Sandwich-elemente (FSE), Bauteilstoß / Vertikale Fuge (kbp)

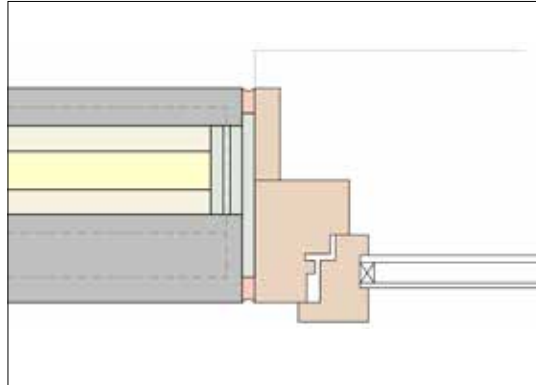


Abb. A122 Fassaden-Sandwich-elemente (FSE), Einbindung Fenster (kbp)

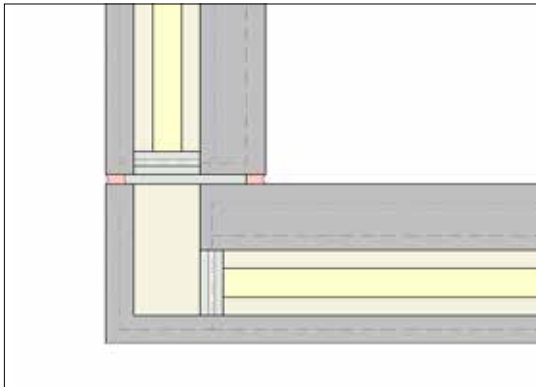


Abb. A123 Fassaden-Sandwich-elemente (FSE), Außenecke (kbp)

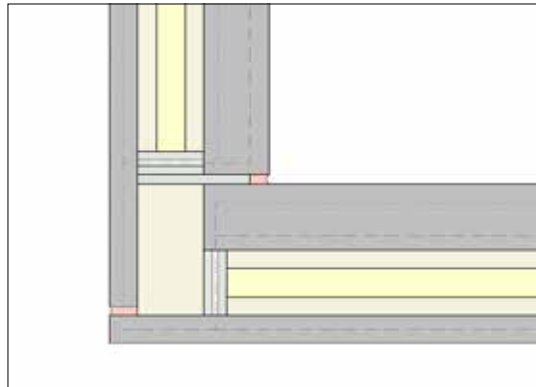


Abb. A124 Fassaden-Sandwich-elemente (FSE), Außenecke (kbp)

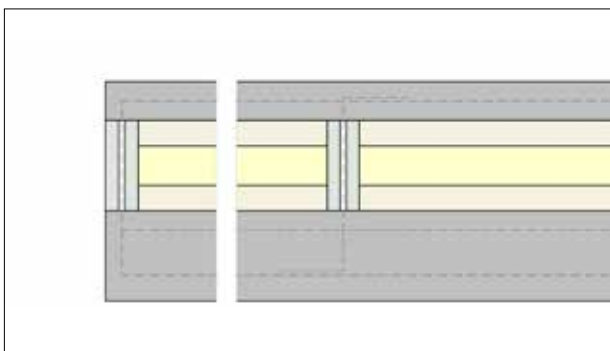


Abb. A125 Fassaden-Sandwich-elemente (FSE), Aufbauvariante (kbp)
Aufbau d = 170 mm

HLB aussen 30 mm
textile Bewehrung
AlphaCore 20 mm
VIP 30 mm
AlphaCore 20 mm
textile Bewehrung
HLB innen 70 mm
Stirnseitig bei VIP
AERO A2 10 mm

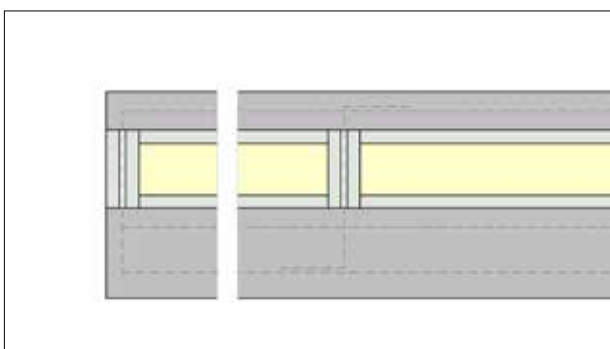


Abb. A126 Fassaden-Sandwich-elemente (FSE), Aufbauvariante (kbp)
Aufbau d = 160 mm

HLB aussen 30 mm
textile Bewehrung
AlphaCore 10 mm
VIP 40 mm
AlphaCore 10 mm
textile Bewehrung
HLB innen 70 mm
Stirnseitig bei VIP
AERO A2 10 mm

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

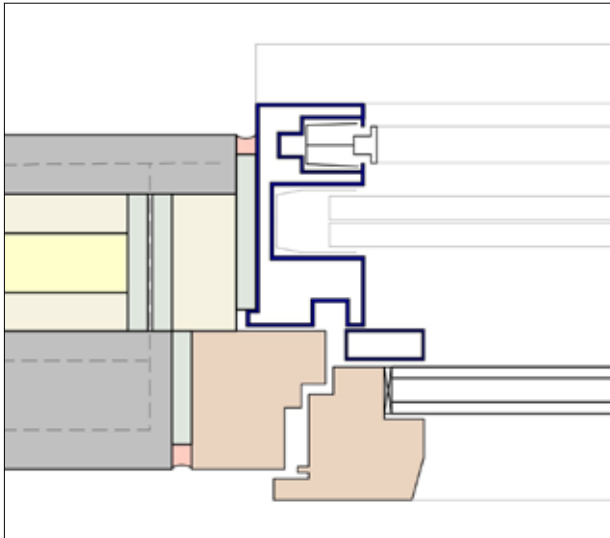


Abb. A127 Fassaden-Sandwichelemente (FSE), Einbindung Fenster/ Sonderelement Absturz- siche- rung und Sonnenschutz (kbp)

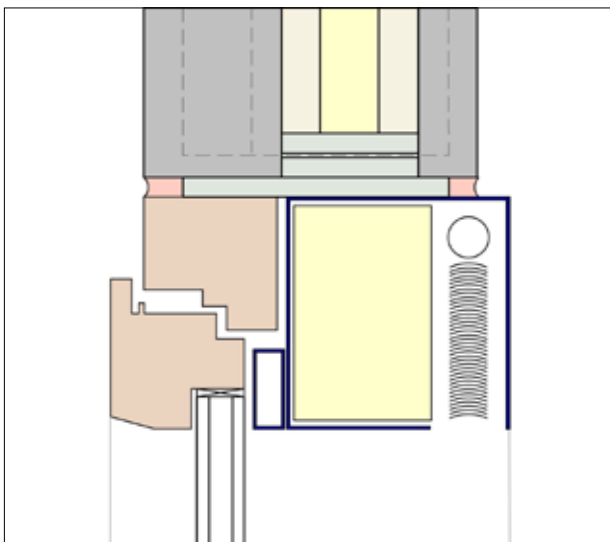


Abb. A128 Fassaden-Sandwichelemente (FSE), Einbindung Fenster/ Son- derelement Absturz- siche- rung und Sonnenschutz (kbp)



Abb. A129 Fassaden-Sandwichelemente (FSE), mehrschichtig, geschosshoch (Rendering kbp)

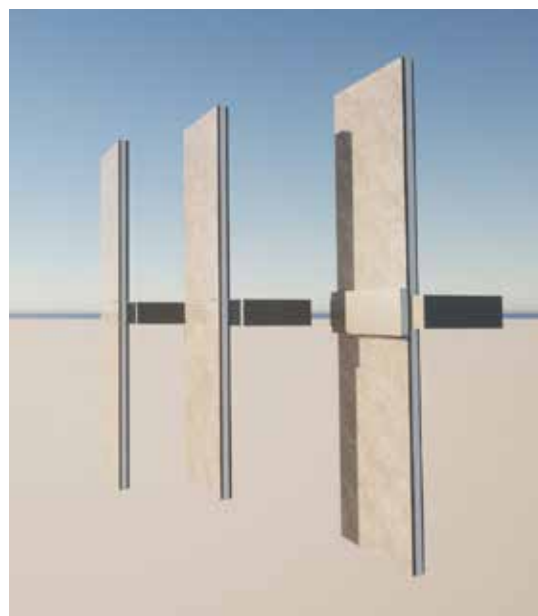
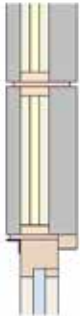
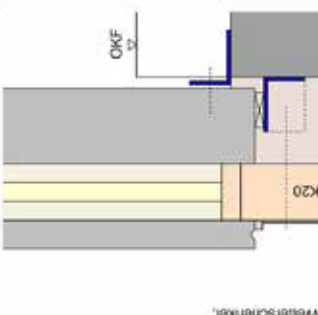
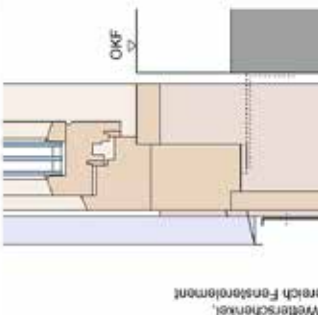
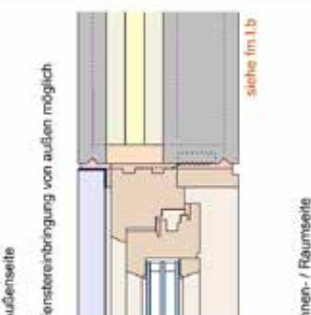


Abb. A130 FSE, Lage zum Tragwerk – davor durchlaufend, Deckenblende (inte- griert) / (additiv) (v. l. n. r.) (Rendering kbp)

Lösungsstrategie I	Funktionsmuster fm.Lb Varianten zu Randausbildung / Fügung	Aufbau: 170: LBA30 - Dec20 - Dv20 - Dec20 - LBI80			
<p>Schema M 1 : 10</p>  <p>Mehrschichtverbundelement mit schalungs-glätteter dünner Außenschicht und ca. 80 mm starker Innenschicht aus Leichtbeton LB (mit Blähton und ggf. Pflanzkohle), mit Vakuum-isolationsdämmung im Kern, beidseitig mit Platten aus synthetisch amorpher Kohlenäsure geschnitten, Verbindung von LB a und LB i über korrektonierte Gitter aus Glasfaser / Kunst-stoff. Umlaufender Randstreifen mit Kooltherm K20.</p>	 <p>Variante horizontale Außenfugen: Metalprofile mit Wetterschenkel, wo erfordert, Andichtung mit Füllstoff, Schnitt im Bereich Fensterenkell</p> <p>Variante horizontale Außenfugen: Ausbildung von Tropfrinnen und geneigten Abschlüssen, wo erfordert, zusätzlich Andichtung mit Füllstoff, Vorgehängtes Sandwichelement vor Decke.</p> <p>Metallwinkel zur Befestigung durchlaufend oder abschrittweise</p> <p>CKF</p>	<p>Vertikalschnitte M 1 : 5</p> <p>Bei den dargestellten Varianten liegen die Außenkanten der beiden Betonschichten jeweils in einer Ebene.</p> <p>Bei den Fügungen (Horizontalfugen) kann es von Vorteil sein, wenn der umlaufende Dämmstreifen aus Kooltherm K20 von den Außenkanten etwas nach innen gesetzt wird, um einen Versatz beim Fügen zu erhalten (z. B. gemäß Nut-und-Feder-Prinzip). Bei einer Montage von Fensterelementen von Außen helfen Metallwinkel-profile bei der Andichtung.</p> <p>Mit Vertiefungen in den Flanken von LB a lassen sich Tropfkanten bilden.</p>	 <p>Variante Außenfuge: Verfügen mit Dichtband (+ ggf. Füllstoff) Dämmung Nut-und-Feder</p> <p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dämmung Nut-und-Feder</p> <p>Metallwinkel zur Befestigung durchlaufend oder abschrittweise</p> <p>Innenputz</p> <p>Kooltherm K20</p> <p>CKF</p>	<p>Horizontalschnitte M 1 : 5</p> <p>Aufbau, d = 170 mm</p> <p>LB a 30 mm</p> <p>AlphaCore 20 mm</p> <p>VIP Optim-R 20 mm</p> <p>AlphaCore 20 mm</p> <p>LB i 80 mm</p> <p>Bei den dargestellten Varianten liegen die Außenkanten der beiden Betonschichten jeweils in einer Ebene.</p> <p>Bei den Fügungen (Vertikalfugen) kann es von Vorteil sein, wenn der umlaufende Dämmstreifen Kooltherm K20 teils von den Außenkanten nach innen abgesetzt wird, um einen Versatz zu erhalten (Nut-und-Feder-Prinzip). Die Befestigung der Blendrahmen kann konventionell über Bandbleisen an den Stirnseiten der inneren Leichtbetonschicht LB i erfolgen (ggf. mit Schraubgrund).</p> <p>Umlaufende (Holz-) Profile dienen als innen-seitige Anschlag der Rahmen und decken auch Befestigungsteile ab. Luftdichte An-schlüsse der Fensterrahmen mittels Dicht-stoffe, Komptänder unelodler Dichtungsga-tteln.</p>	 <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p> <p>Metallwinkel zur Befestigung durchlaufend oder abschrittweise</p> <p>Innen- / Raumseite</p> <p>CKF</p>

III. Appendix
Lösungsstrategien

Abb. A132 Lösungsstrategie I, Varianten, Montage vor oder hinter der Deckenkante mit Sonderelementen im Deckenbereich, Befestigungen und Fügungen in Horizontal- und Vertikalschnitten, Maßstab 1:10 und 1:5. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

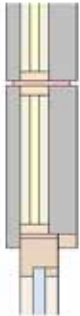
Lösungsstrategie I		Aufbau: 170: LBA30 - Dec20 - Dy20 - Dec20 - LB180	
<p>Schema M 1 : 10</p> 	<p>Funktionsmuster mit Lb und fm.l.c Varianten zu Randausbildung / Fügung</p>	<p>Variante horizontale Außenfugen: Sonderelement (Betonsticht mit Kooltherm z.B. verklebt) nach dem Nut- und Feder-Prinzip</p> <p>Variante horizontale Außenfugen: Überdeckung der äußeren Betonschichten mit Tropfassen, Anbringung von Dichtungskolben für Luftdichtheit im Deckenbereich, dort lösliche Meterschale</p>	<p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dämmung Nut- und Feder</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p>
<p>Vertikalschnitte M 1 : 5</p>	<p>Mehrschichtverbundelement mit schalungsglatte teils überstehender dünner Außenschicht und ca. 80 mm starker Innenschicht aus Leichtbeton LB / Sonderbeton mit Vakuumwärmedämmung im Kern, beidseitig mit Platten aus synthetisch amorpher Kieselsäure geschützt, Verbindung der beiden Betonschichten über korrelierte Gitter aus z. B. kunststoffarmierten Glasfasern, Umlaufendes Randprofil aus z. B. Kooltherm.</p> <p>Bei den dargestellten Varianten steht die äußere Betonschicht teils über der inneren und bildet so einen Anschlag für Fensterelemente und optional Überstände bei den horizontalen Fügungen.</p> <p>Bei den Fügungen kann es zudem von Vorteil sein, wenn das umlaufende Dämmprofil Kooltherm K20 von der äußeren Flanke nach innen rückt, um einen Versatz zu erhalten (z. B. nach dem Nut- und Feder-Prinzip).</p> <p>Zusätzlich Bildung von Überlappungen und geneigten Flanken zum Ableiten von Regenwasser.</p>	<p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dichtband</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p>	<p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dämmung Nut- und Feder</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p>
<p>Horizontalschnitte M 1 : 5</p> <p>Aufbau, d = 170 mm</p> <p>LB a 30 mm</p> <p>AlphaCore 20 mm</p> <p>VIP Optim-R 20 mm</p> <p>AlphaCore 20 mm</p> <p>LB i 80 mm</p>	<p>Außenfuge Fenstermontage von innen</p> <p>Innen- / Raumseite</p>	<p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dichtband</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p>	<p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dichtband</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband Verfügen mit plastischem Zement</p>

Abb. A133 Lösungsstrategie I, Varianten, Montage vor oder hinter der Deckenkante mit Sonderelementen im Deckenbereich, Befestigungen und Fügungen in Horizontal- und Vertikalschnitten, Maßstab 1:10 und 1:5. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

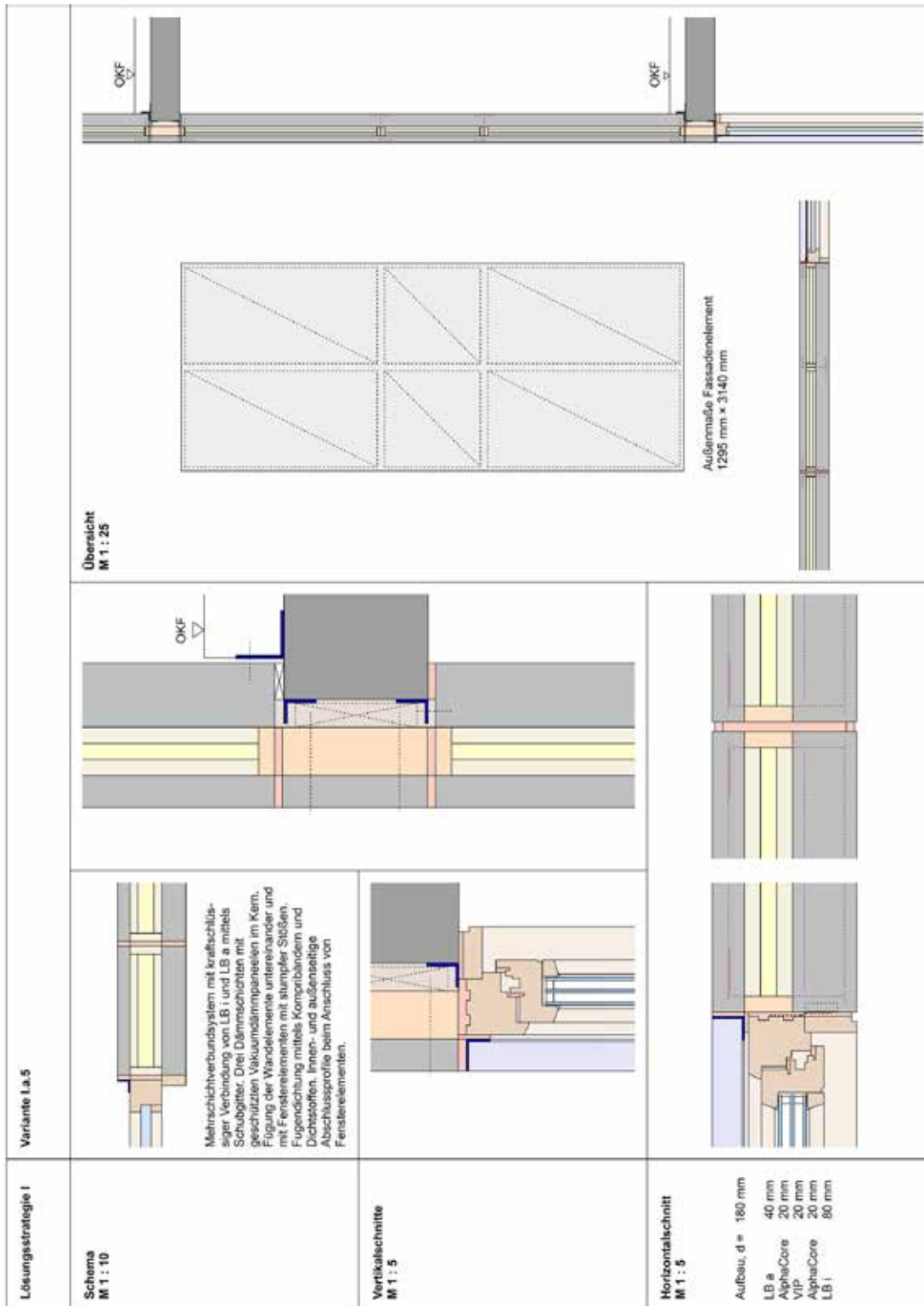


Abb. A134 Lösungsstrategie I, Variante I.a.5, Maßstäbe 1:25, 1:10 und 1:5. Dieser Ansatz in Sandwichbauweise mit Gittergeweben zur Kopplung der Betonschichten bildet den Schwerpunkt aller Untersuchungen im Detail und wird als erstes Funktionsmodell (fm.I.a) realisiert. Siehe dazu Bemessungsgrundlagen Hofmann & Tibad vom 27.11.2024 mit entsprechenden Darstellungen und Beschreibungen. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

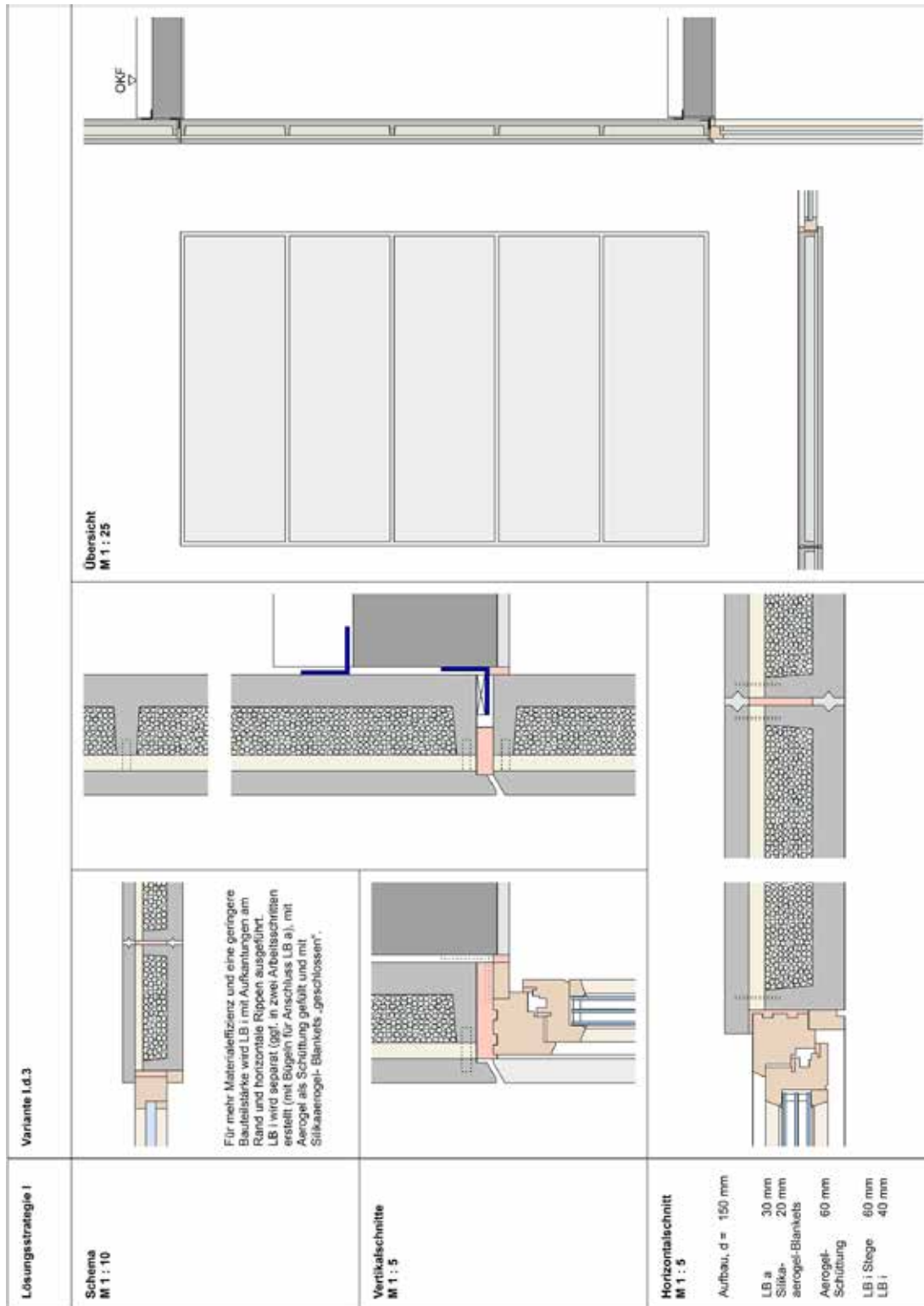


Abb. A135 Lösungsstrategie I, Variante I.d.3, Maßstäbe 1:25, 1:10 und 1:5. Das Beispiel in Sandwichbauweise verfolgt einen anderen Ansatz mit einer profilierten LB i - Schicht und eignet sich für lose Schüttungen aus Aerogel als Dämmung. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

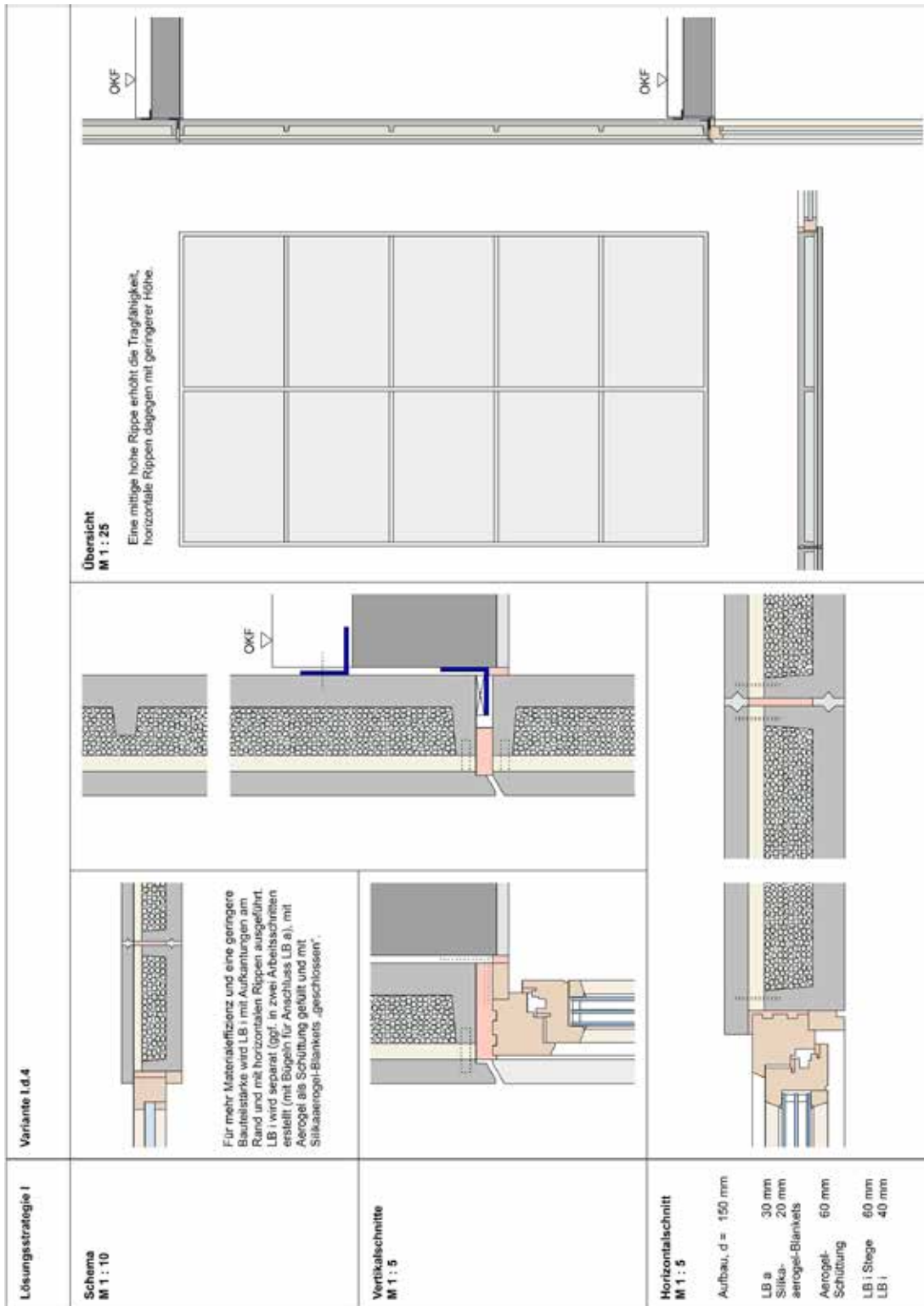


Abb. A136 Lösungsstrategie I, Variante I.d.4 als Weiterentwicklung von Variante I.d.3, Maßstäbe 1:25, 1:10 und 1:5. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

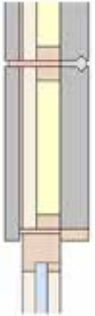
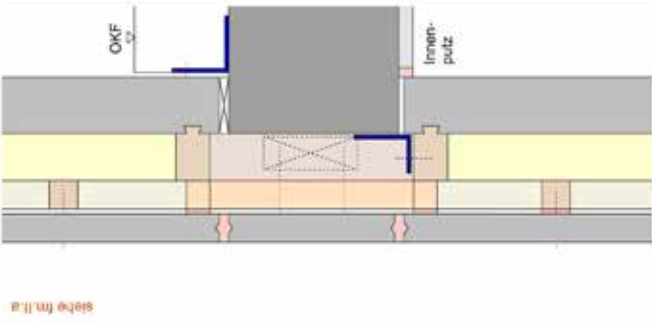
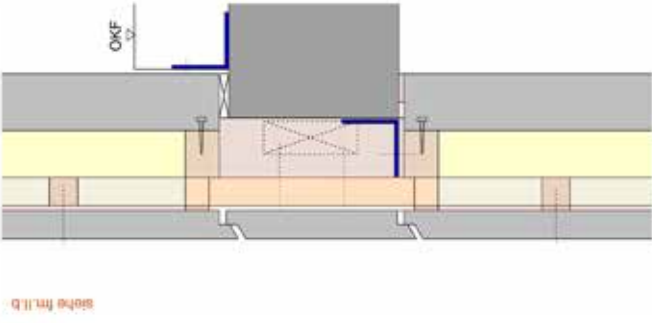

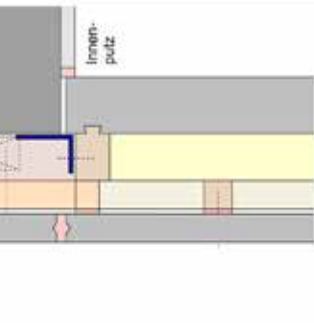
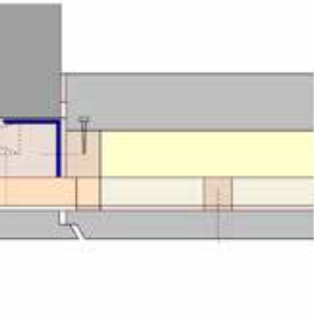
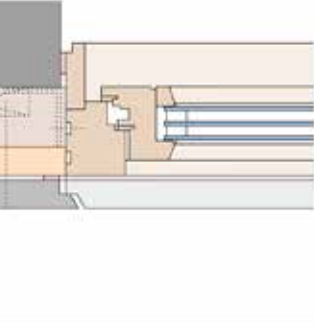
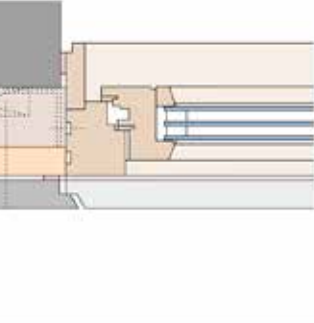
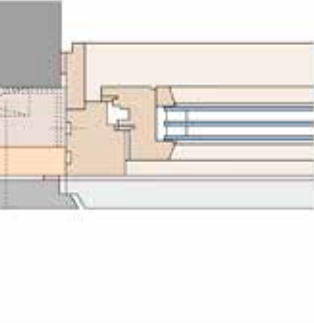
Lösungsstrategie II	Varianten zu Randausbildung / Fügung Funktionsmuster fm II.a und fm II.b		Aufbau: 175: LBa30 - Luft5 - Dac30 - Dv50 - LB460				
<p>Schema M 1 : 10</p>  <p>Kopplung von HL I und HL / HLB a (beide separat gegen Schalung betoniert) über Holzprofile (Rahmen, Riegel, Rippeln) zu einem Element. Zwei Dämmebenen mit versetzten Stößen. Die raumseitigen Holzprofile sind form-schlussig mit LB I verbunden oder werden mittels Dübeln befestigt. Die außenseitigen Holzplatten zur Befestigung von LB / HLB a sind mit den raumseitigen Holzprofilen verschraubt.</p>	 <p>siehe fm II.a</p>	 <p>siehe fm II.b</p>	 <p>siehe fm II.b</p>	<p>Vertikalschnitte M 1 : 5</p> <p>Bei den dargestellten Varianten steht die äußere Betonschicht HL / HLB a etwas über der inneren und bildet so einen Anschlag für Fensterelemente. Bei den Fügungen kann es zudem von Vorteil sein, wenn das umlaufende Holzprofil etwas von der Kante der Holzleibschicht nach innen zurücksteht, um mittels Überlappungen die Fügung zu verbessern. Vertiefungen in den Flanken der Betonplatten zur Aufnahme von Komprbändern oder plastischem Zementleim können die Fugendichtigkeit verbessern.</p>	<p>Horizontalschnitte M 1 : 5</p> <p>Aufbau, d = 175 mm LB a I (lösbar) 30 mm Luftschicht 5 mm AlphaCore 30 mm VIP Optim'R 50 mm LB I 60 mm</p>	<p>Außenseite</p>  <p>siehe fm II.a</p> <p>Innen- / Raumseite</p>  <p>siehe fm II.a</p>	<p>Variante Außenfuge: Verfügen mit plastischem Zement Dichtband</p>  <p>Variante Außenfuge: Dichtband (+ ggf. Füllstoff) Dämmung (z.B. Kootherm) Nut- und Feder</p>  <p>siehe fm II.b</p> <p>Variante Innenfuge: Dichtband (+ ggf. Füllstoff)</p>  <p>siehe fm II.b</p>

Abb. A137 Lösungsstrategie II, Varianten, Montage auf Decke, Sonderelemente im Deckenbereich, Befestigungen und Fügungen in Horizontal- und Vertikalschnitten, Maßstab 1:10 und 1:5. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

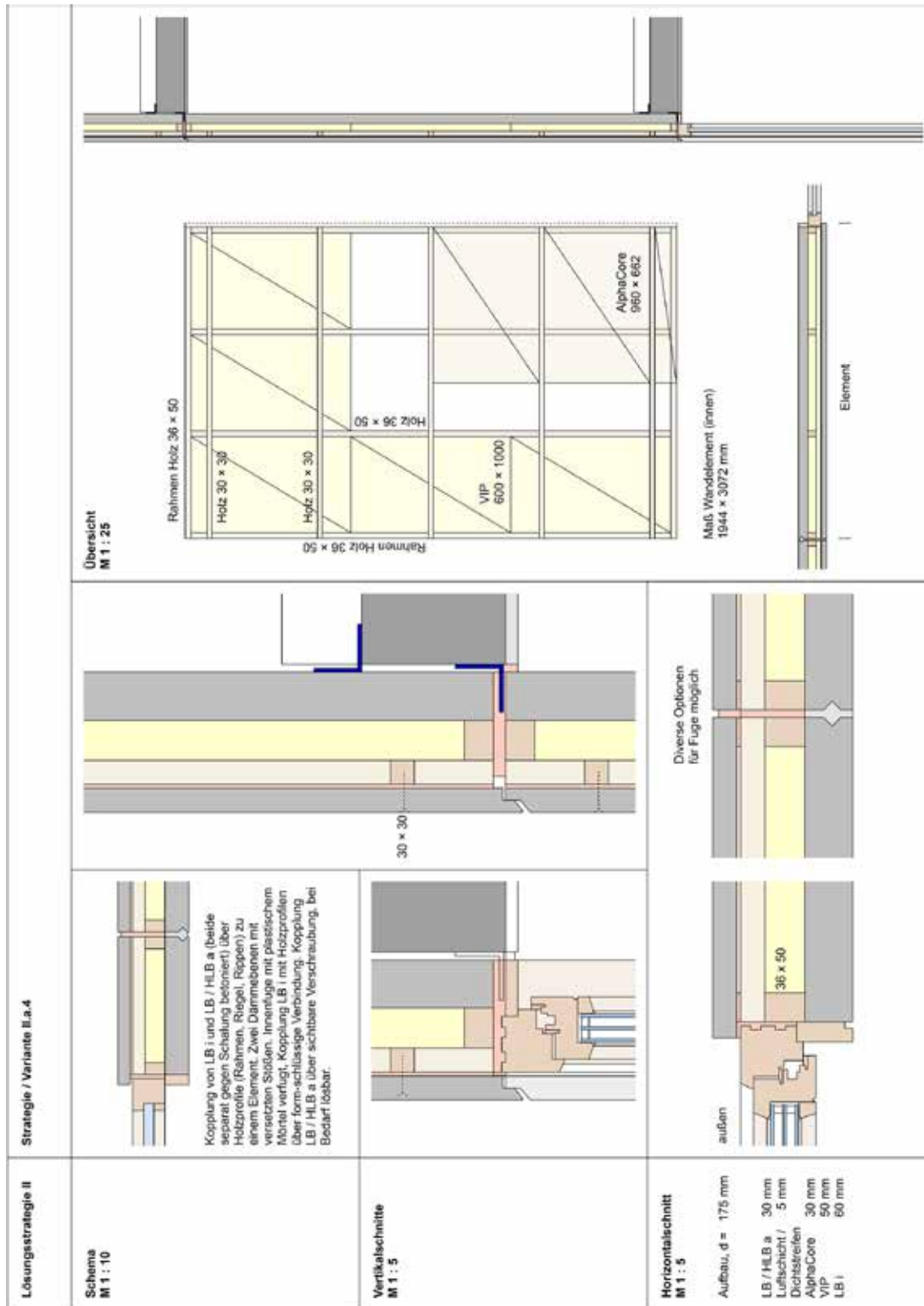


Abb. A139 Lösungsstrategie II, Variante II.a.4, Maßstäbe, 1:25, 1:10 und 1:5. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

III. Appendix
Lösungsstrategien

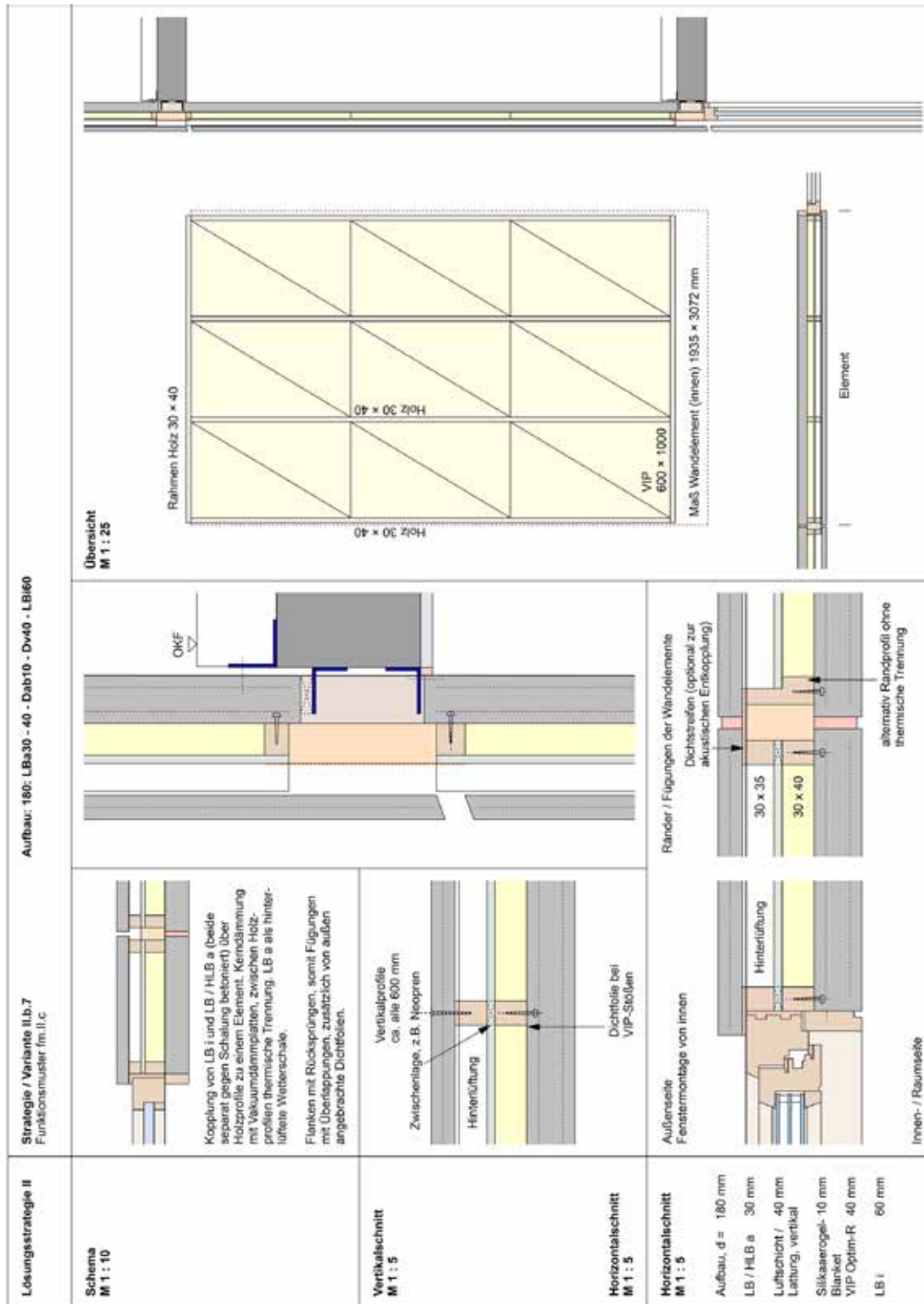


Abb. A140 Lösungsstrategie II, Variante II.b.7, Maßstäbe 1:25, 1:10 und 1:5.. (Verkleinerung; OHM-AR / Peter Bonfig)

A5.2 ‚Praxisbeispiel‘ „kompaktes Hofhaus“

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

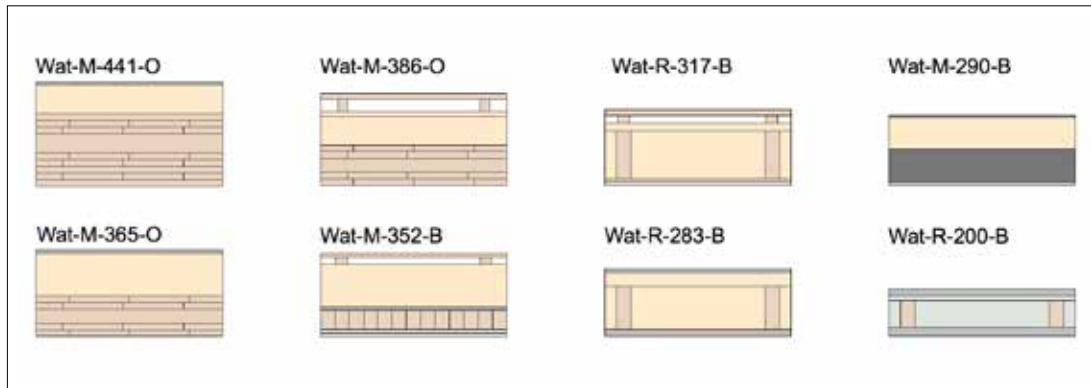


Abb. A141 Die Varianten der Außenwände (Abkürzung Wat) sind teils Massivbauweisen (M) teils Rahmenbauweisen (R). Die Ziffer gibt die Wandstärke in Millimetern an, der letzte Buchstabe steht entweder für eine ökologisch optimierte Lösung (O) oder für eine Lösung, bei der eine Balance (B) zwischen Ökologie und Ökonomie / Kosten als Ziel angestrebt wurde. Dazu wurden die Aufbauten nach dem in Österreich etablierten Oekoindex OI3 bewertet. (vgl. u. a. Cremers et al., 2021) (OHM-AR / Peter Bonfig)

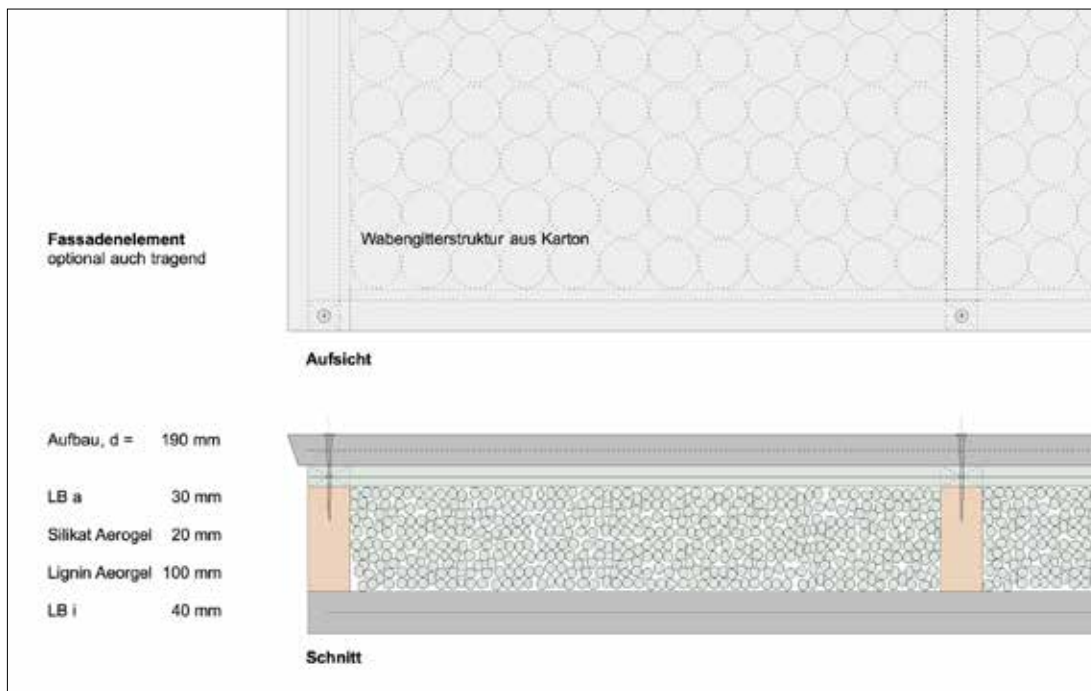


Abb. A142 Tragendes Wandbauteil mit Leichtbetonen als innere und äußere Schicht und lignin-basierendem Aerogel im Kern. (OHM-AR / Peter Bonfig)

A5.3 Materialexperimente ((Holz-)Leichtbeton)

III. Appendix Optimierungen Fassadenbauteil



Abb. A143 Zement CEM II/C-M (S-LL) (Krippner/
Freimann, Wintersemester 2025/2026)
(Ohm-AR)

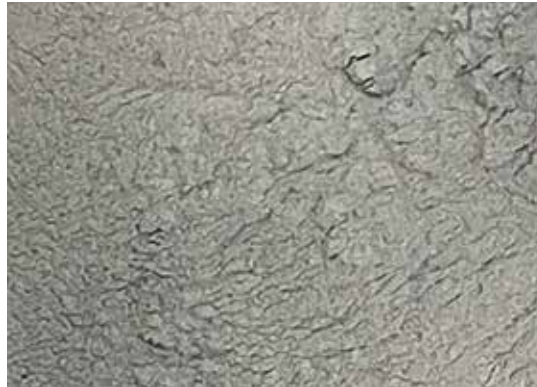


Abb. A144 SysCompound (Basic Z) (Krippner/
Freimann, Wintersemester 2025/2026)
(Ohm-AR)



Abb. A145 Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw.
Pyrolysekohle) (Krippner/Freimann,
Wintersemester 2025/2026) (Ohm-AR)



Abb. A146 Tonmehl (calciniertes Ton) (Liament ct)
(Krippner/Freimann, Wintersemester
2025/2026) (Ohm-AR)



Abb. A147 RC-Brechsand 0/2 GS-1 (Krippner/
Freimann, Wintersemester 2025/2026)
(Ohm-AR)



Abb. A148 RC-Sand 0/5 RC-2 (Krippner/
Freimann, Wintersemester 2025/2026)
(Ohm-AR)

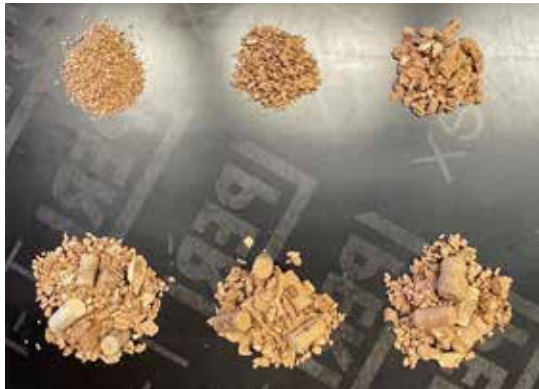


Abb. A149 Rezyklierte Korkreststoffgranulate (0-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm) (oben) (Meyerhöfer, Februar 2025) (Ohm-AR)

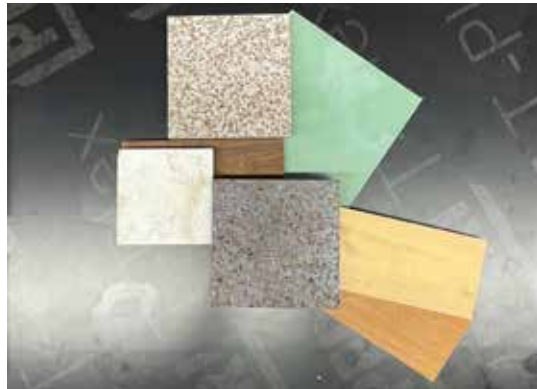


Abb. A150 Materialcollage mit Plattenmuster 10 x 10 cm Corkrete (Meyerhöfer, Februar 2025) (Ohm-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil



Abb. A151 Corkrete: CEM III/B, 8-16 mm Korkreststoffgranulat. Plattenmuster 10 x 10 cm (links); Detailaufnahme (rechts) (Meyerhöfer, Februar 2025) (Ohm-AR)



Abb. A152 Corkrete: CEM II/B-M, 10% Pigment, 8-16 mm Korkreststoffgranulat. Plattenmuster 10 x 10 cm (links); Detailaufnahme (rechts) (Meyerhöfer, Februar 2025) (Ohm-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil



Abb. A153 Plattenmuster (29,7 cm x 42,0 cm)
Holz + Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) (ND_M2)
(Krippner /Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)



Abb. A154 Plattenmuster (29,7 cm x 42,0 cm)
Holz + Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) (FH_M2)
(Krippner /Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)

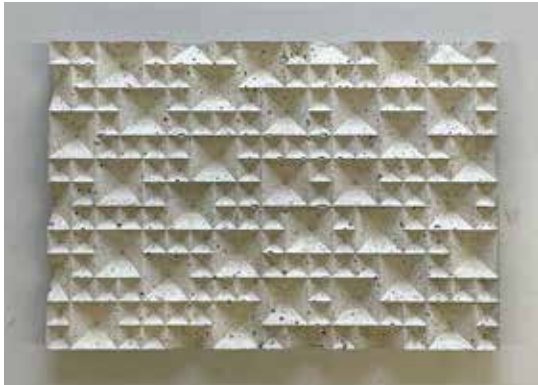


Abb. A155 Plattenmuster (29,7 cm x 42,0 cm)
Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) (KK_M2) (Krippner / Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)



Abb. A156 Plattenmuster (29,7 cm x 42,0 cm)
Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) (SBS/ KK_M2) (Krippner / Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)



Abb. A157 Detailaufnahme
Tonmehl (calciniertes Ton) (Liament ct) (AMH/ GL_M2)
(Krippner /Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)



Abb. A158 Detailaufnahme
Tonmehl (calciniertes Ton) (Liament ct) (GL_M2) (Krippner / Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)



Abb. A159 Detailaufnahme
Holz + Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) (FH_M2) (Krippner / Freimann, Wintersemester 2024/2025) (Ohm-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil



Abb. A160 Schalhaut Bambus; Zusatz Hanf (EEH_M4) (Ohm-AR)



Abb. A161 2D-Gewebe AR-Glas; Zusatz Tonmehl (calc. Ton) (BKW_M4) (Ohm-AR)



Abb. A162 Plattenmuster (45,0 cm x 70,0 cm) Hanf (EEH_M4) (Ohm-AR)



Abb. A163 Plattenmuster (45,0 cm x 70,0 cm) Holz (BHK_M4) (Ohm-AR)



Abb. A164 Plattenmuster (45,0 cm x 70,0 cm) Korkreststoffen (BKS_M4) (links); Detailaufnahme von Plattenrückseite mit sichtbarem Korkreststoffgranulat (4-8 mm) (rechts) (Ohm-AR)



Abb. A165 Plattenmuster (45,0 cm x 70,0 cm) Tonmehl (calciniertes Ton) (Liament ct) (BKW_M4) (links); Detailaufnahme (M 1:1) von textiler Oberflächentextur (alle Krippner/Freimann, Wintersemester 2025/2026) (Ohm-AR)

A5.3.1 Organische Zusätze

Wintersemester 2024/2025

Masterseminar: MA-3020 Zukunft Beton – Nachhaltigkeitsstrategien mit alternativen Bindemitteln und neuartigen Rezepturen. Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Fakultät Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann (Fakultät Bauingenieurwesen, Leitung Labor für Beton- und Baustofftechnologie)

Wintersemester 2024/2025

Masterabschlussarbeit: – Lucas Meyerhöfer: Corkrete – Kork als alternativer Zuschlagstoff für nachhaltigen Leichtbeton. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Fakultät Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann (Fakultät Bauingenieurwesen, Leitung Labor für Beton- und Baustofftechnologie)

Wintersemester 2025/2026

Masterseminar: MA-3010 Baustoffwende – Neue Materialien für nachhaltige und CO₂-reduzierte Betone. Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Fakultät Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann (Fakultät Bauingenieurwesen, Leitung Labor für Beton- und Baustofftechnologie)

Hanfschäben

Wintersemester 2024/2025 – MA-3020 Zukunft Beton

Hala Jamil Suleiman Alabbadi (AR)

Wintersemester 2025/2026 – MA-3010 Baustoffwende

Fabiola Alejandra Espinoza Moron (AR), Moritz Eibl (AR), Martin Hajdufi (BI)

Holz

Wintersemester 2024/2025 – MA-3020 Zukunft Beton

Nina Deutscher (AR) / Franz Hofmann (AR)

Wintersemester 2025/2026 – MA-3010 Baustoffwende

Arian Bonakdar (AR), Lukas Hörner (BI), Luis Köferler (AR)

Kork

Wintersemester 2024/2025 – Masterabschlussarbeit: Lucas Meyerhöfer

Corkrete – Kork als alternativer Zuschlagstoff für nachhaltigen Leichtbeton

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Fakultät Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann (Fakultät Bauingenieurwesen, Leitung Labor für Beton- und Baustofftechnologie)

Wintersemester 2025/2026 – MA-3010 Baustoffwende

Hannah Beinhofer (AR), Seyma Keles (AR), Carolin Stiege (BI)

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte

(Zuschläge in der Regel trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)

Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)

bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

III. Appendix

Optimierungen
Fassadenbauteil

A5.3.1.1 Hanf – HJSA Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,09	3,00	0,28	0,09
2 Wasser		0,15	1,00	0,15	0,15
3 Rohmann	0/2	0,22	2,63	0,57	0,22
4 Kalksplitt	0,25	0,04	1,32	0,05	0,04
5 Kalksplitt	0,5	0,06	1,32	0,08	0,06
6 Liapor	4,5	0,18	1,23	0,22	0,18
7 Kalksteinmehl		0,01	2,80	0,02	0,01
8 Pflanzkohle		0,02	0,26	0,01	0,02
9 Fließmittel		0,001	1,08	0,001	0,001
w/z (eq)					
Gesamt		0,768		1,376	0,768
Festbetonrohddichte				1,740	

Tab. A60 Prüfprisma

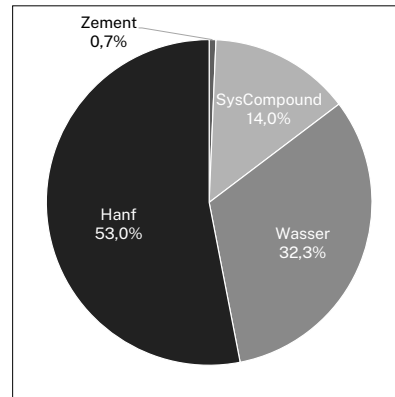


Abb. A166 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		120	3,00	360	120
2 Wasser		194	1,00	194	194
3 Rohmann	0/2	281	2,63	738,0	281
4 Kalksplitt	0,25	54	1,32	71	54
5 Kalksplitt	0,5	80	1,32	105	80
6 Liapor	4,5	233	1,23	285	233
7 Kalksteinmehl		11	2,80	30	11
8 Pflanzkohle		27	0,26	7	27
9 Fließmittel		2	1,08	1,8	2
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		1,791,9	1,000
Festbetonrohddichte				1,740	

Tab. A61 Hochrechnung auf 1 m³

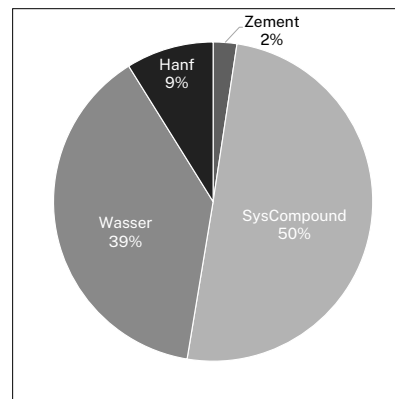


Abb. A169 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 10 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 75 %

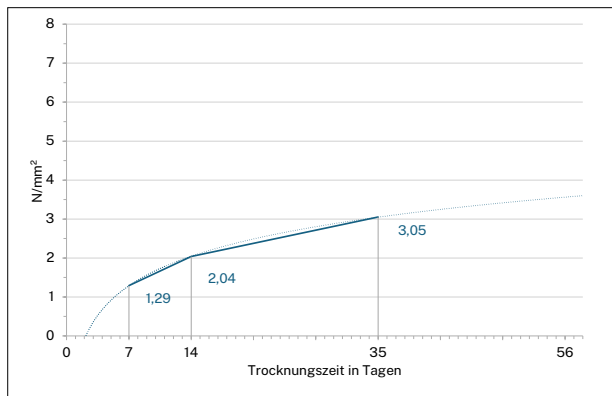


Abb. A170 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A167 Prisma / BZF-Prüfung

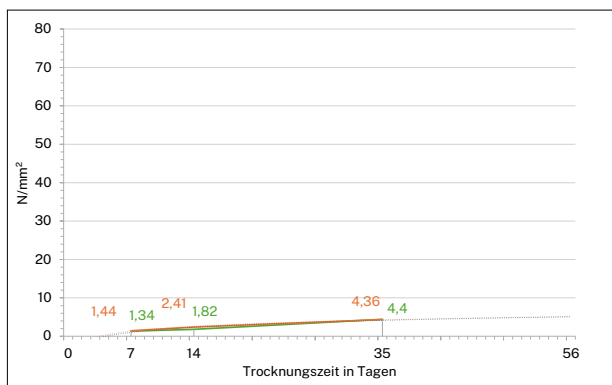


Abb. A171 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A168 Druckfestigkeitsprüfung

A5.3.1.2 Hanf – HJSA Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,03	3,00	0,08	0,03
2 SysCompound		0,11	3,00	0,34	0,11
3 Wasser		0,25	1,00	0,25	0,25
4 Hanf		0,38	0,14	0,05	0,38
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		0,716	0,768
Festbetonrohddichte				880	

Tab. A62 Prüfprisma

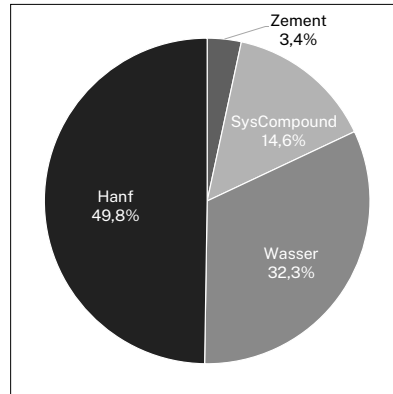


Abb. A172 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		34	3,00	101	34
2 SysCompound		146	3,00	439	146
3 Wasser		323	1,00	323	323
4 Hanf		498	0,14	70	498
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		932,2	1,000
Festbetonrohddichte				880	

Tab. A63 Hochrechnung auf 1 m³

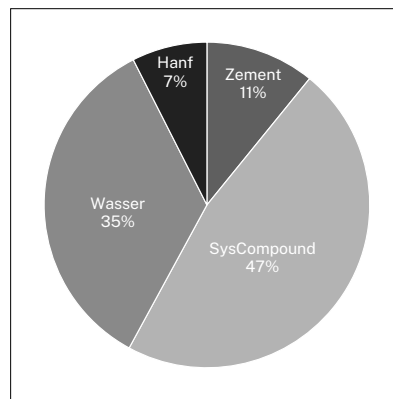


Abb. A173 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 25 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 75 %

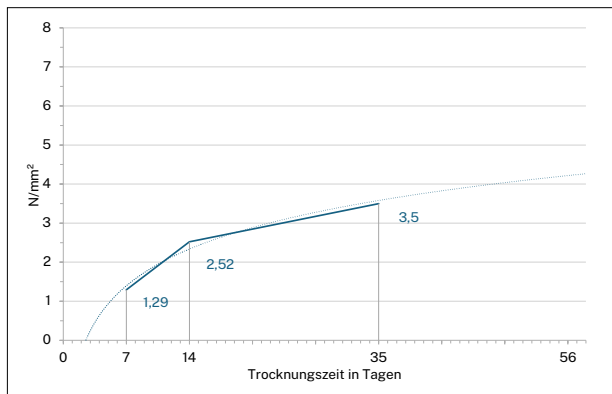


Abb. A174 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A176 Prüfprismen

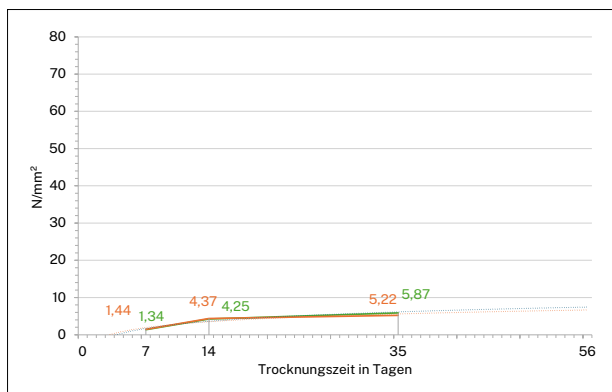


Abb. A175 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A177 Prisma / DF-Prüfung

A5.3.1.3 Hanf – HJSA Mischung 3 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,07	3,00	0,21	0,07
2 SysCompound		0,07	3,00	0,21	0,07
3 Wasser		0,25	1,00	0,25	0,25
4 Hanf		0,38	0,14	0,05	0,38
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		0,716	0,768
Festbetonrohddichte				880	

Tab. A64 Prüfprisma

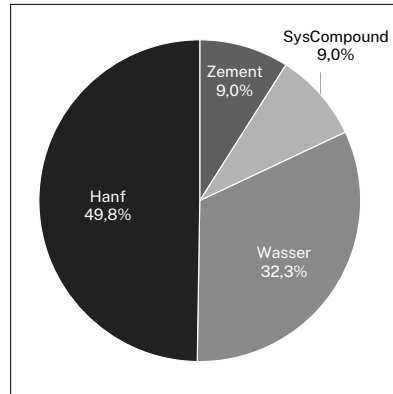


Abb. A178 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		90	3,00	270	90
2 SysCompound		90	3,00	270	90
3 Wasser		323	1,00	323	323
4 Hanf		498	0,14	70	498
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		932,2	1,000
Festbetonrohddichte				880	

Tab. A65 Hochrechnung auf 1 m³

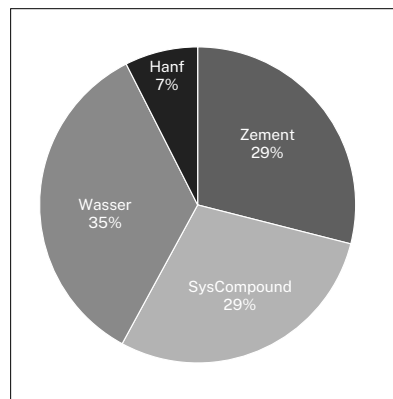


Abb. A179 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 50 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 50 %

A5.3.1.4 Hanf – HJSA Mischung 4 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,16	3,00	0,49	0,16
2 SysCompound		0,49	3,00	1,47	0,49
3 Wasser		0,11	1,00	0,11	0,11
4 Hanf		0,003	0,14	0,0005	0,0033
5 Holz		0,002	0,47	0,0010	0,0022
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		2,067	0,768
Festbetonrohddichte				2,500	

Tab. A66 Prüfprisma

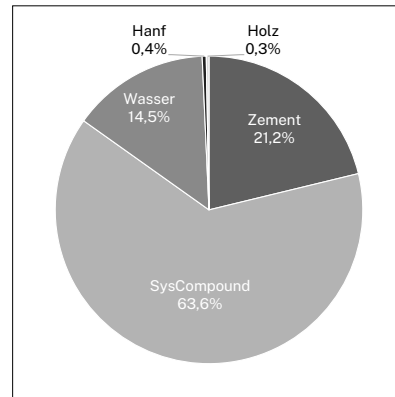


Abb. A180 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		212	3,00	636	212
2 SysCompound		636	3,00	1.909	636
3 Wasser		145	1,00	145	145
4 Hanf		4	0,14	0,6	4
5 Holz		3	0,47	1,3	3
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1.001		2.691,5	1.000
Festbetonrohddichte				2,500	

Tab. A67 Hochrechnung auf 1 m³

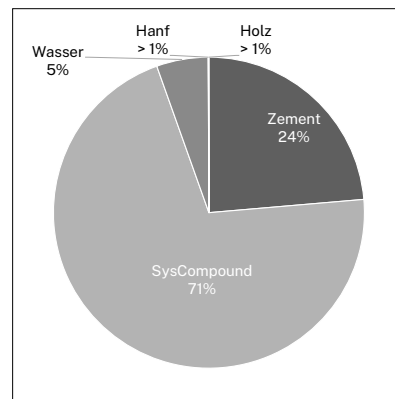


Abb. A181 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 25 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 75 %

A5.3.1.5 Hanf – EEH Mischung 1 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,11	3,00	0,32	0,11
2 SysCompound		0,00	3,00	0,00	0,00
3 Wasser		0,25	1,00	0,25	0,25
4 Fließmittel		0,06	0,47	0,03	0,06
5 RC-Sand		0,15	2,65	0,40	0,15
6 Hanf		0,22	0,28	0,06	0,22
7 Restporen		0,0216			
w/z (eq)		0,90			
Gesamt		1,699		1,053	0,778
Festbetonrohddichte				1,300	

Tab. A68 Prüfprisma

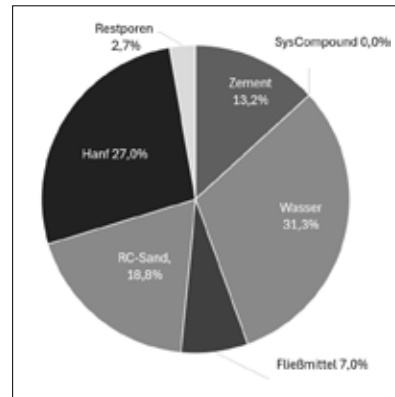


Abb. A182 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		132	3,00	396	132
2 SysCompound		0	3,00	0	0
3 Wasser		313	1,00	356	356
4 Fließmittel		70	0,47	33	70
5 RC-Sand	0-4	188	2,65	498	188
6 Hanf		270	0,28	76	270
7 Restporen		27			
w/z (eq)		0,90			
Gesamt		1,001		1,358,7	1,016
Festbetonrohddichte				1,300	

Tab. A69 Hochrechnung auf 1 m³

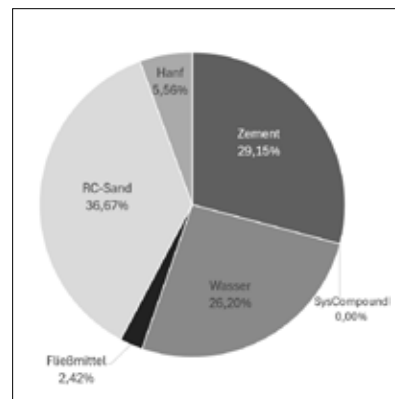


Abb. A183 Gewicht

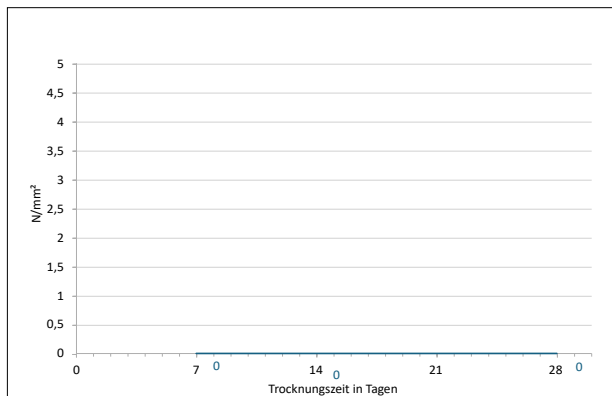


Abb. A184 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A186 Prüfprismen

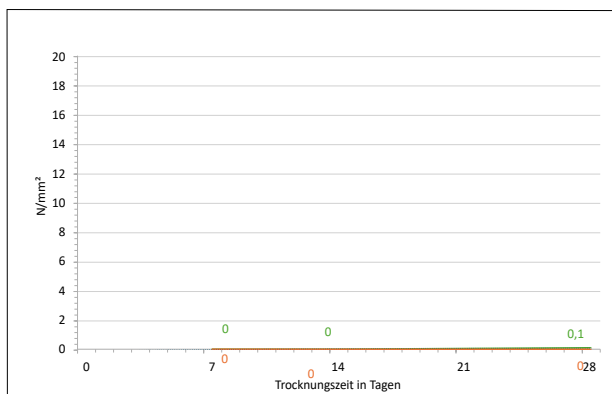
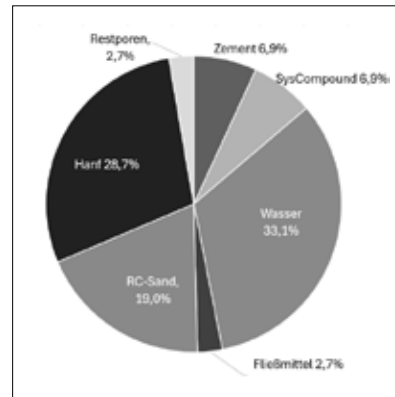


Abb. A185 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.6 Hanf – EEH Mischung 2 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

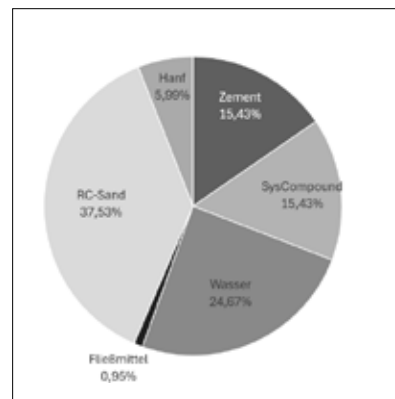
	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,06	3,00	0,17	0,06
2 SysCompound		0,06	3,00	0,17	0,06
3 Wasser		0,26	1,00	0,26	0,26
4 Fließmittel		0,02	0,47	0,01	0,02
5 RC-Sand	0-4	0,15	2,65	0,40	0,15
6 Hanf		0,2296	0,28	0,064288	0,2296
7 Restporen		0,0216			
w/z (eq)		0,8			
Gesamt		1,600		1,073	0,778
Festbetonrohddichte				1,290	



Tab. A70 Prüfprisma

Abb. A187 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		69	3,00	207	69
2 SysCompound		69	3,00	207	69
3 Wasser		331	1,00	331	331
4 Fließmittel		27	0,47	13	27
5 RC-Sand	0-4	190	2,65	504	190
6 Hanf		287	0,28	80	287
7 Restporen		27			
w/z (eq)		0,8			
Gesamt		1.001		1.341,6	973
Festbetonrohddichte				1,290	



Tab. A71 Hochrechnung auf 1 m³

Abb. A188 Gewicht

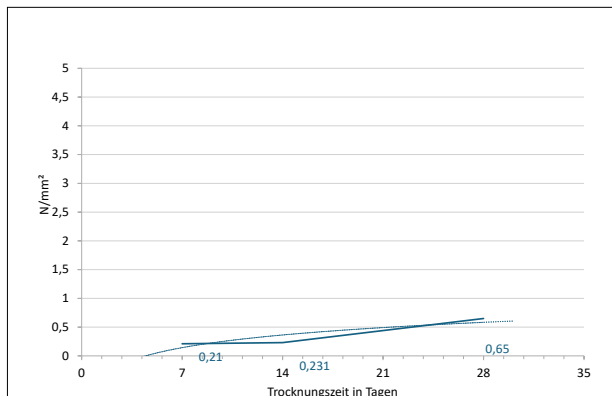


Abb. A189 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A191 Bruchfläche nach BZF

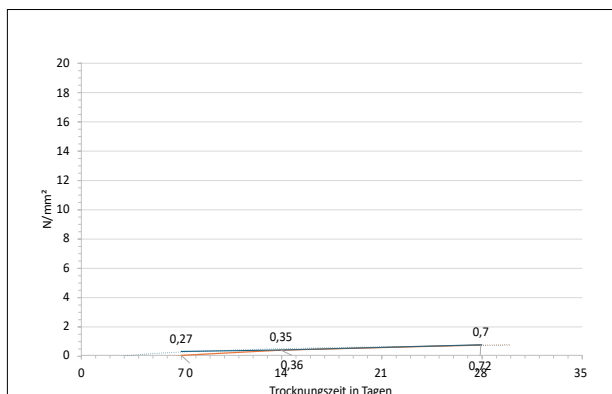
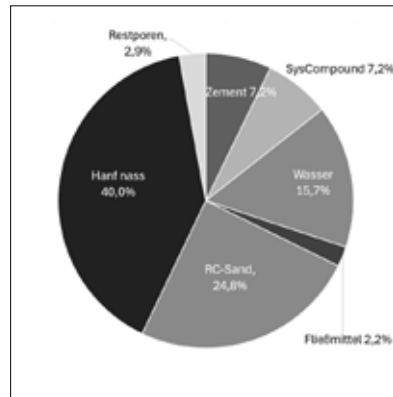


Abb. A190 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.7 Hanf – EEH Mischung 3 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

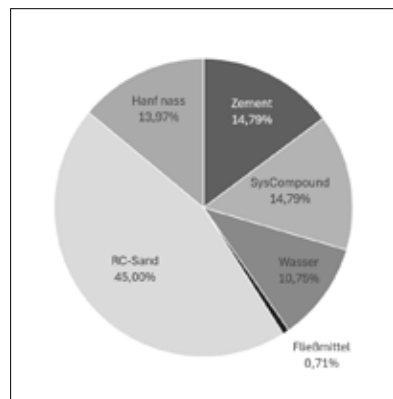
	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,06	3,00	0,17	0,06
2 SysCompound		0,06	3,00	0,17	0,06
3 Wasser		0,13	1,00	0,13	0,13
4 Fließmittel		0,02	0,47	0,01	0,02
5 RC-Sand		0,20	2,65	0,53	0,20
6 Hanf nass		0,32	0,51	0,1632	0,32
7 Restporen		0,0232			
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,300		1,168	0,777
Festbetonrohddichte				1,410	



Tab. A72 Prüfprisma

Abb. A192 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		72	3,00	216	72
2 SysCompound		72	3,00	216	72
3 Wasser		157	1,00	157	157
4 Fließmittel		22	0,47	10	22
5 RC-Sand		248	2,65	657	248
6 Hanf nass		400	0,51	204	400
7 Restporen		29			
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1.001		1.460,5	971
Festbetonrohddichte				1,410	



Tab. A73 Hochrechnung auf 1 m³

Abb. A193 Gewicht

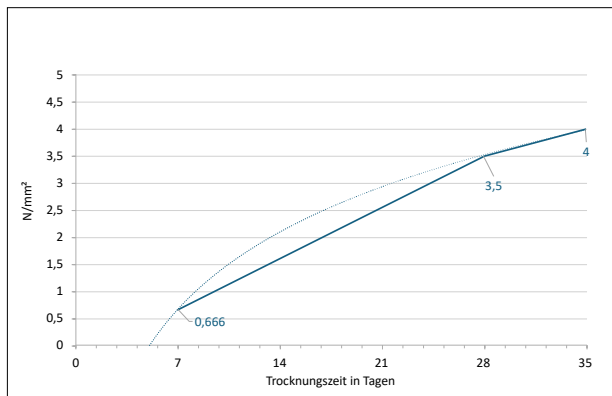


Abb. A194 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A196 Prüfprismen

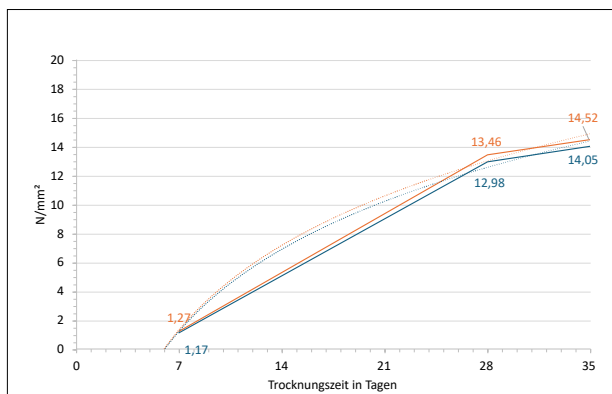


Abb. A195 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.8 Hanf – EEH Mischung 4 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		1,22	3,00	3,66	1,22
2 SysCompound		1,22	3,00	3,66	1,22
3 Wasser		2,10	1,00	2,10	2,10
4 Fließmittel		0,00	0,47	0,00	0,00
5 RC-Sand		3,15	2,65	8,35	3,15
6 Kies	4-8	1,05	2,75	2,89	1,05
7 Hanf nass		6,77	0,51	3,45	6,77
8 Restporen		0,49			
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		16,300		24,100	15,509
Festbetonrohddichte				1,450	

Tab. A74 Prüfprisma

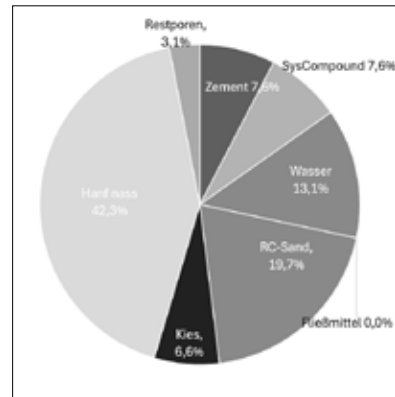


Abb. A197 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		76	3,00	229	76
2 SysCompound		76	3,00	229	76
3 Wasser		131	1,00	131	131
4 Fließmittel		0	0,47	0	0
5 RC-Sand		197	2,65	522	197
6 Kies	4-8	66	2,75	180	66
7 Hanf nass		423	0,51	216	423
8 Restporen		31			
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		1.000		1.506,2	969
Festbetonrohddichte				1,450	

Tab. A75 Hochrechnung auf 1 m³

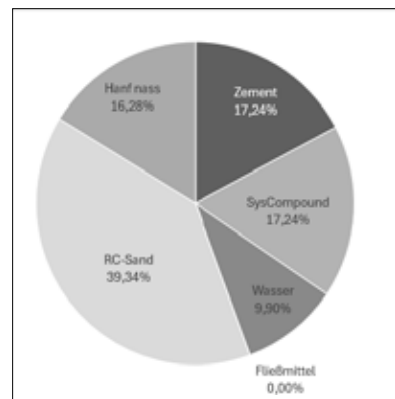


Abb. A198 Gewicht

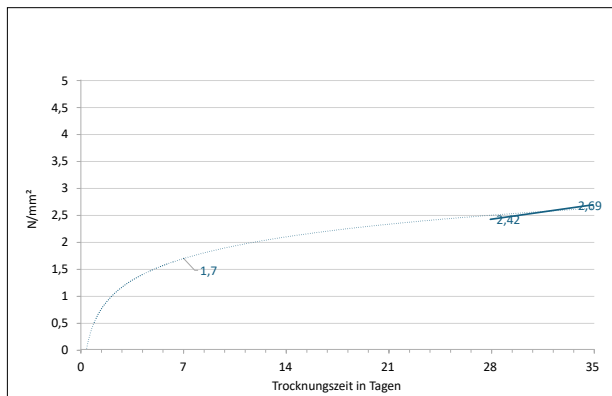


Abb. A199 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A201 DF-Prüfung

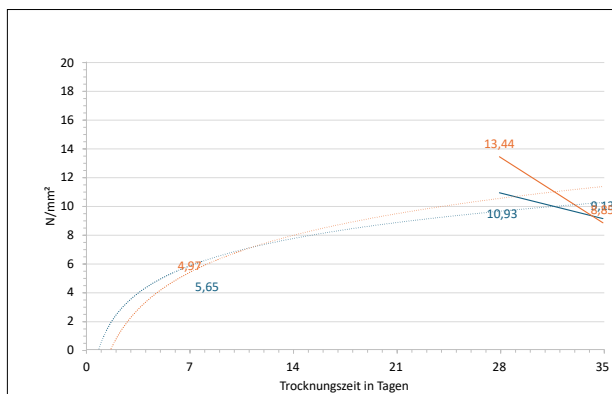


Abb. A200 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.9 Vergleich Betonmischungen mit Hanfschäben bzw. -spänen

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

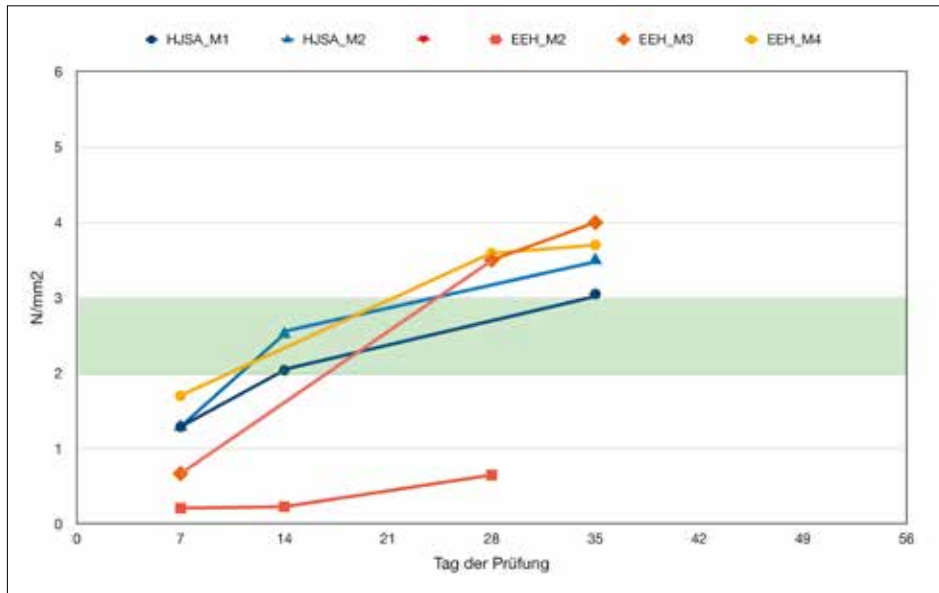


Abb. A202 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Hanfschäben bzw. -spänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- HJSA_M1 Alabbadi (Masterseminar ws2425)
- HJSA_M2 Alabbadi (Masterseminar ws2425)
- EEH_M2 Espinoza Moron, Eibl, Hajdufi (Masterseminar ws2526)
- EEH_M3 Espinoza Moron, Eibl, Hajdufi (Masterseminar ws2526)
- EEH_M4 Espinoza Moron, Eibl, Hajdufi (Masterseminar ws2526)

Tage	HJSA_M1 [N/mm²]	HJSA_M2 [N/mm²]		EEH_M2 [N/mm²]	EEH_M3 [N/mm²]	EEH_M4 [N/mm²]
0						
2						
7	1,29	1,29		0,21	0,67	1,70
14	2,04	2,52		0,23		
28				0,65	3,50	3,59
35	3,05	3,50			4,00	3,70
56						

Tab. A76 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Hanfschäben bzw. -spänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

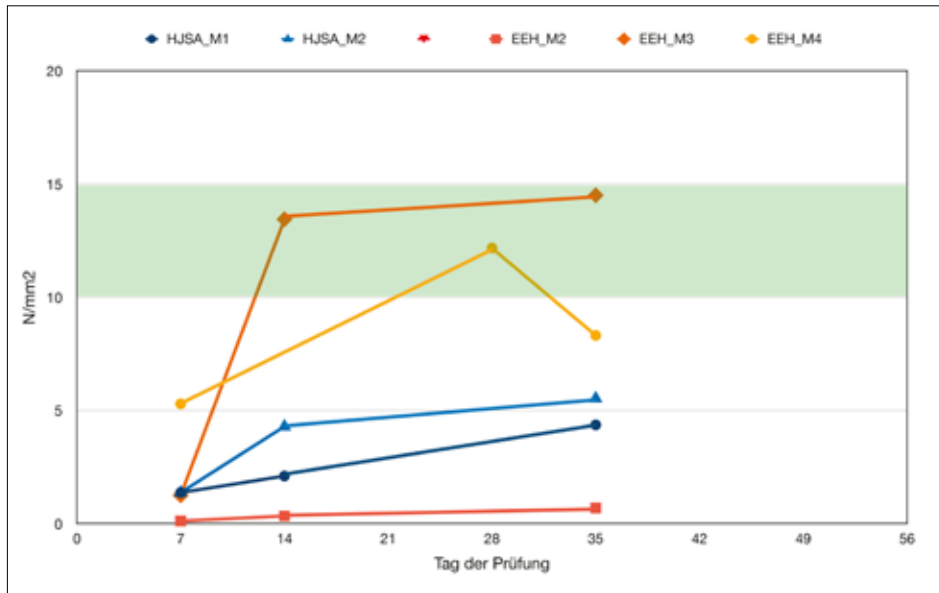


Abb. A203 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Hanfschäben bzw. -spänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- HJSA_M1 Alabbadi (Masterseminar ws2425)
- HJSA_M2 Alabbadi (Masterseminar ws2425)
- EEH_M2 Espinoza Moron, Eibl, Hajdufi (Masterseminar ws2526)
- EEH_M3 Espinoza Moron, Eibl, Hajdufi (Masterseminar ws2526)
- EEH_M4 Espinoza Moron, Eibl, Hajdufi (Masterseminar ws2526)

Tage	HJSA_M1 [N/mm²]	HJSA_M2 [N/mm²]		EEH_M2 [N/mm²]	EEH_M3 [N/mm²]	EEH_M4 [N/mm²]
0						
2						
7	1,39	1,39		0,14	1,27	5,31
14	2,12	4,31		0,36	13,46	
28						12,19
35	4,38	5,55		0,71	14,52	8,33
56						

Tab. A77 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Hanfschäben bzw. -spänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

A5.3.1.10 Holz – ND Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,01	3,00	0,02	0,01
2 SysCompound		0,07	3,00	0,22	0,07
3 Wasser		0,16	1,00	0,16	0,16
4 Holz		0,29	0,47	0,13	0,29
5 Fließmittel		0,001	3,00	0,003	0,001
6 zzgl. Wasserzugabe		0,24	1,00	0,24	0,24
w/z (eq)		0,65			
Gesamt		1,421		0,773	0,771
Festbetonrohddichte				800	

Tab. A78 Prüfprisma

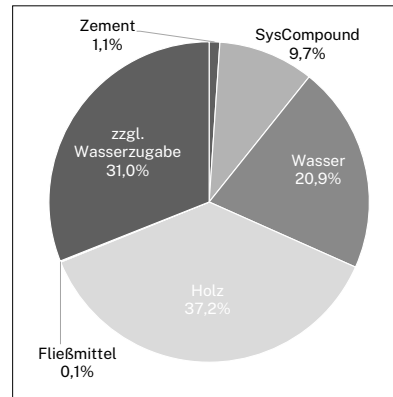


Abb. A204 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		11	3,00	32	11
2 SysCompound		97	3,00	290	97
3 Wasser		209	1,00	209	209
4 Holz		372	0,47	175	372
5 Fließmittel		1,19	0,47	0,56	1,19
6 zzgl. Wasserzugabe		310	0,47	146	310
w/z (eq)		0,65			
Gesamt		1.001		852,6	1.000
Festbetonrohddichte				800	

Tab. A79 Hochrechnung auf 1 m³

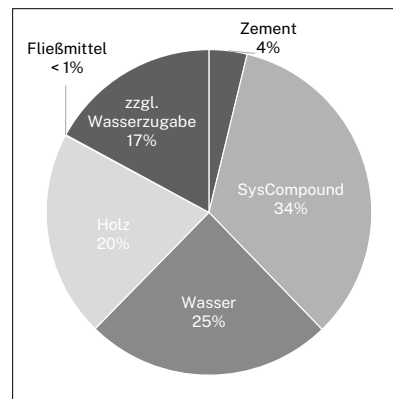


Abb. A205 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 10 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 90 %
- 5 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

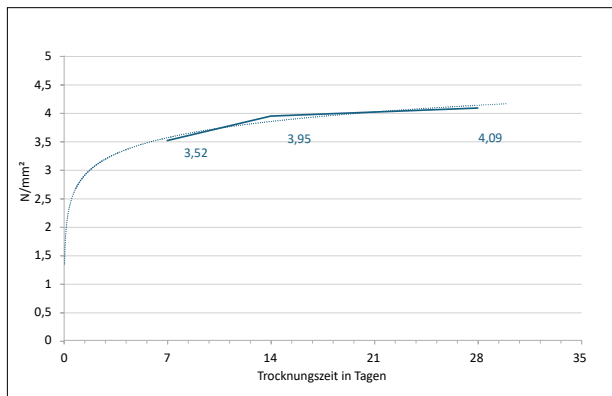


Abb. A206 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A208 BZF-Prüfung

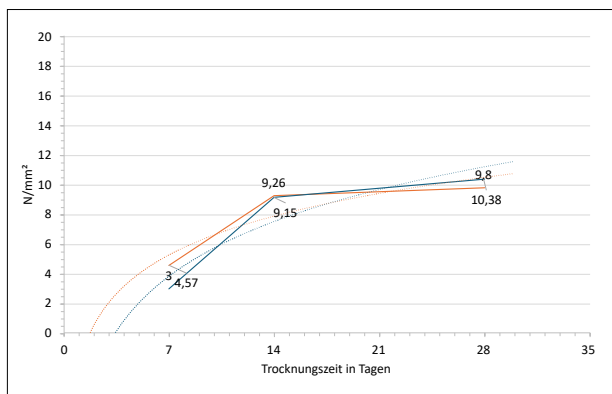


Abb. A207 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A209 DF-Prüfung

A5.3.1.11 Holz – ND Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,02	3,00	0,06	0,02
2 SysCompound		0,06	3,00	0,18	0,06
3 Wasser		0,40	1,00	0,40	0,40
4 Holz		0,28	0,47	0,13	0,28
w/z (eq)		0,65			
Gesamt		1,410		0,770	0,760
Festbetonrohddichte				950	

Tab. A80 Prüfprisma

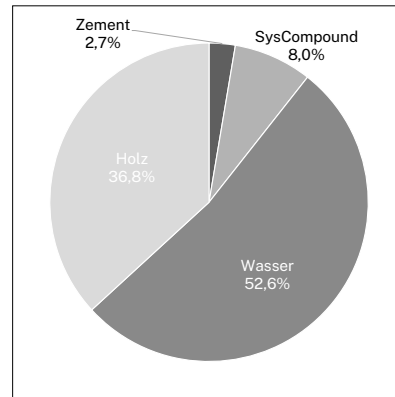


Abb. A210 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		27	3,00	80	27
2 SysCompound		80	3,00	239	80
3 Wasser		526	1,00	526	526
4 Holz		368	0,47	173	368
w/z (eq)		0,65			
Gesamt		1,002		1,018,0	1,001
Festbetonrohddichte				950	

Tab. A81 Hochrechnung auf 1 m³

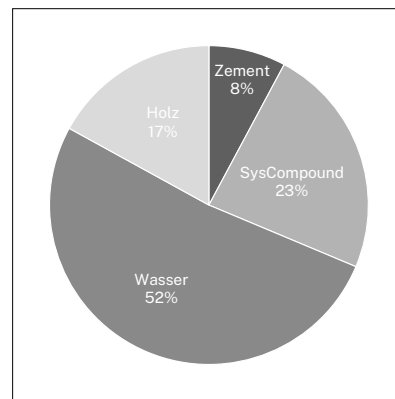


Abb. A211 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 25 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 75 %

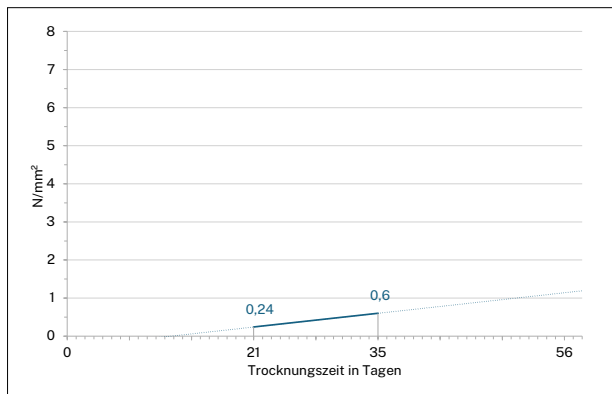


Abb. A212 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A214 Prüfprisma

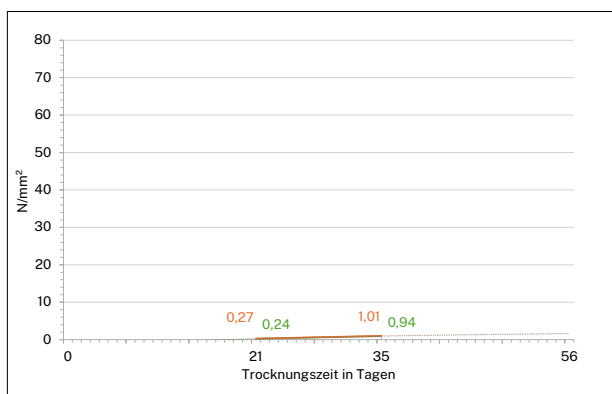


Abb. A213 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A215 Prüfung Druckfestigkeit

A5.3.1.12 Holz – FH Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,04	3,00	0,13	0,04
2 SysCompound		0,04	3,00	0,13	0,04
3 Wasser		0,35	1,00	0,35	0,35
4 Holz		0,28	0,47	0,13	0,28
5 Fließmittel		0,047	3,00	0,141	0,047
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		0,889	0,768
Festbetonrohddichte				950	

Tab. A82 Prüfprisma

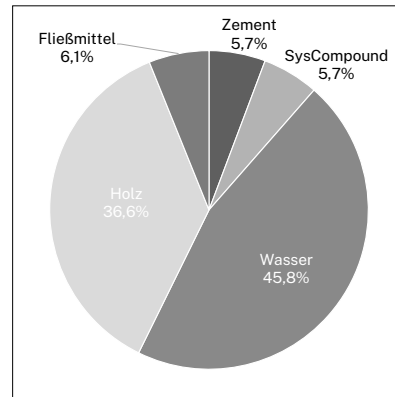


Abb. A216 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		57	3,00	172	57
2 SysCompound		57	3,00	172	57
3 Wasser		458	1,00	458	458
4 Holz		386	0,47	172	366
5 Fließmittel		61,10	0,47	28,72	61,10
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,000		1,002,7	1,000
Festbetonrohddichte				950	

Tab. A83 Hochrechnung auf 1 m³

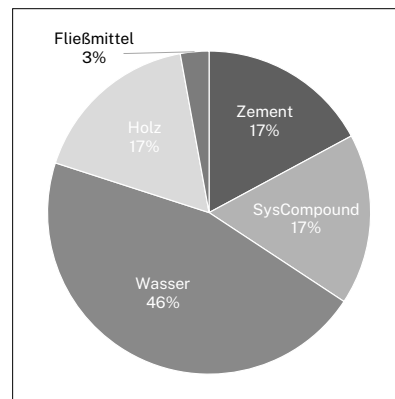


Abb. A217 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 50 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 50 %
- 5 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

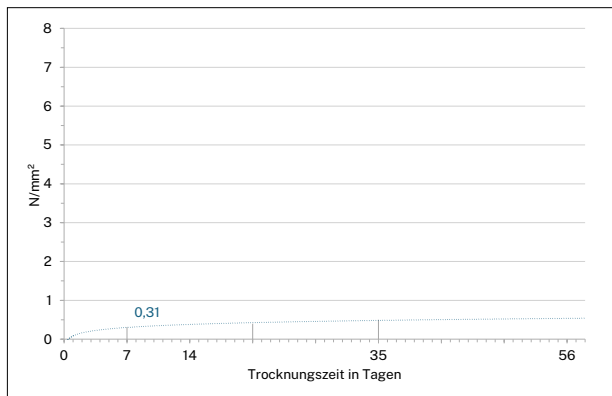


Abb. A218 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A220 Prüfprisma

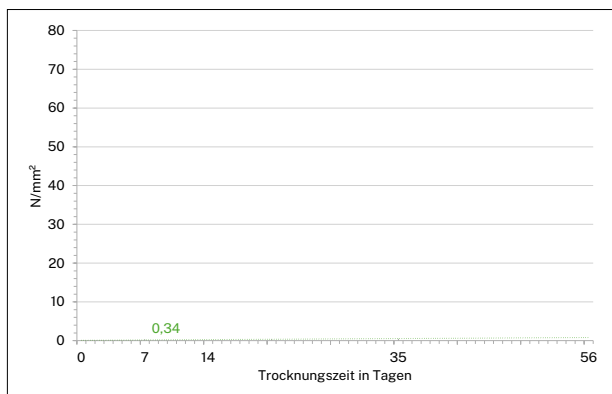


Abb. A219 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A221 Prüfprisma / Bruch

A5.3.1.13 Holz – FH Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,03	3,00	0,09	0,03
2 SysCompound		0,03	3,00	0,09	0,03
3 Wasser		0,25	1,00	0,25	0,25
4 Pflanzenkohle		0,36	3,00	0,09	0,36
5 Holz		0,09	0,47	0,04	0,09
w/z (eq)		0,65			
Gesamt		1,418		0,574	0,768
Festbetonrohddichte				690	

Tab. A84 Prüfprisma

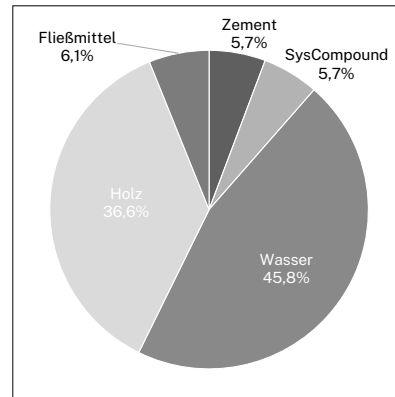


Abb. A222 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		40	3,00	121	40
2 SysCompound		40	3,00	121	40
3 Wasser		324	1,00	324	324
4 Pflanzenkohle		472	0,26	123	472
5 Holz		123	0,47	58	123
w/z (eq)		0,65			
Gesamt		1,001		747,1	1,000
Festbetonrohddichte				690	

Tab. A85 Hochrechnung auf 1 m³

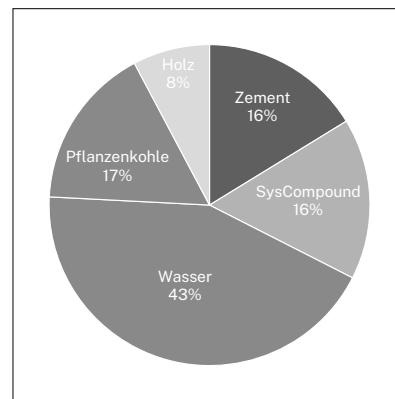


Abb. A223 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 50 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 50 %
- 4 Pflanzenkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio
- 5 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

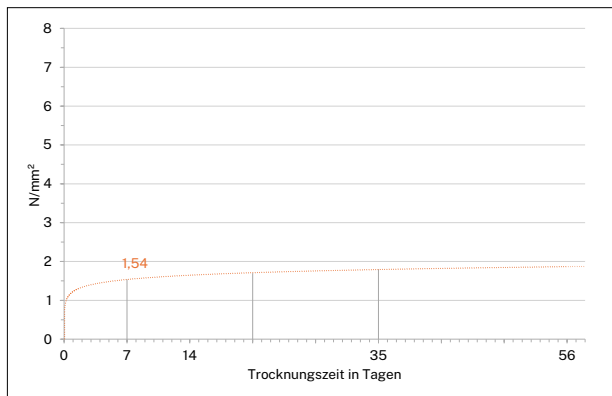


Abb. A224 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A226 Prismenschalung

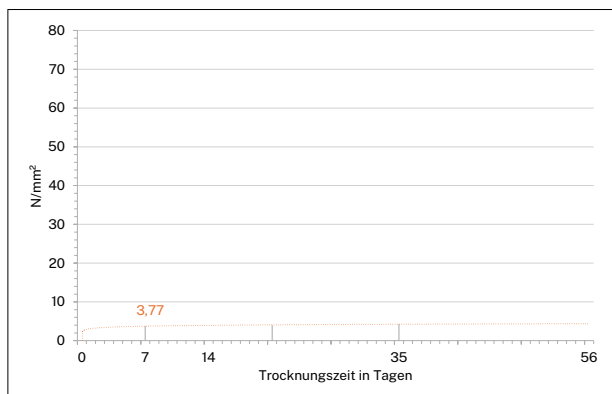


Abb. A225 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A227 Prisma-Oberfläche

A5.3.1.14 Holz – BHK Mischung 1 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,12	3,00	0,35	0,12
2 Wasser		0,31	1,00	0,31	0,31
3 RC-Sand		0,12	2,55	0,31	0,12
4 Restporen		0,02			
5 Holz		0,19	0,47	0,09	0,19
5 Fließmittel		0,005	3,00	0,014	0,005
6 zzgl. Wasserzugabe w/z (eq)		0,00	1,00	0,00	0,00
		0,90			
Gesamt		1,668		1,069	0,745
Festbetonrohddichte				1,320	

Tab. A86 Prüfprisma

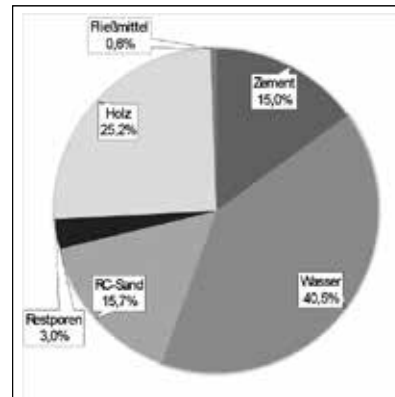


Abb. A228 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		150	3,00	450	150
2 Wasser		405	1,00	405	405
3 RC-Sand		157	2,55	400	157
4 Restporen		30			
5 Holz		252	0,47	118	252
6 Fließmittel		6	0,47	2,8	6
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,001		1,376,6	970
Festbetonrohddichte				1,320	

Tab. A87 Hochrechnung auf 1 m³

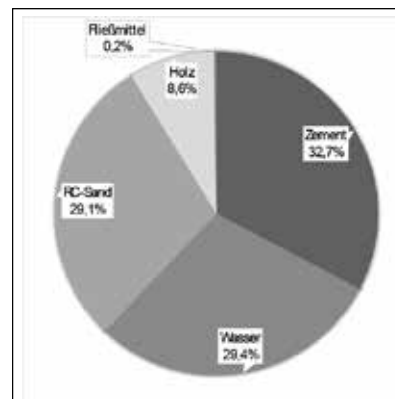


Abb. A229 Gewicht

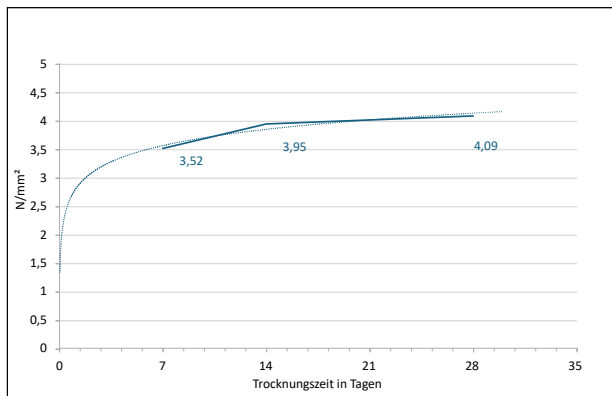


Abb. A230 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A232 Trockenmischung

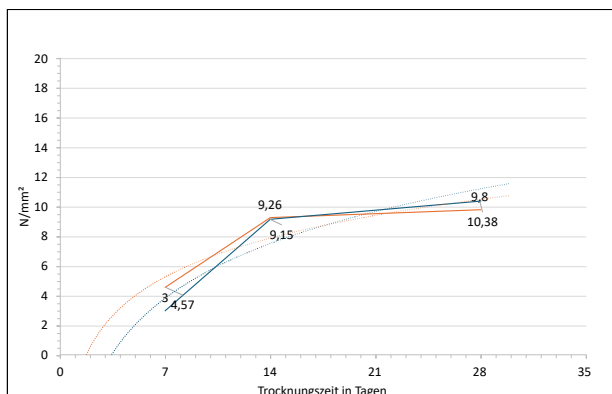


Abb. A231 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.15 Holz – BHK Mischung 2 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,06	3,00	0,17	0,06
2 SysCompound		0,06	3,00	0,17	0,06
3 Wasser		0,32	1,00	0,32	0,32
4 RC-Sand		0,12	2,55	0,31	0,12
5 Restporen		0,02304			
6 Holz		0,193536	0,47	0,08096192	0,193536
7 Fließmittel		0,000	3,00	0,000	0,000
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,681		1,060	0,745
Festbetonroh-dichte				1,320	

Tab. A88 Prüfprisma

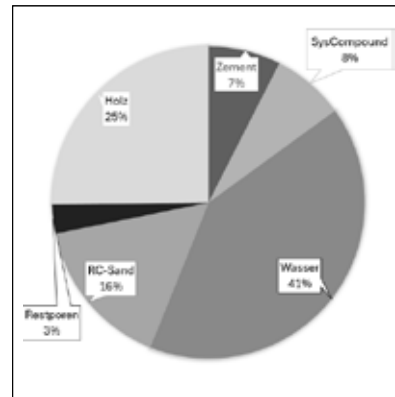


Abb. A233 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		75	3,00	225	75
2 SysCompound		75	3,00	225	75
3 Wasser		411	1,00	411	411
4 RC-Sand		157	2,55	400	157
5 Restporen		30			
6 Holz		252	0,47	118	252
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,001		1,379,8	970
Festbetonroh-dichte				1,320	

Tab. A89 Hochrechnung auf 1 m³

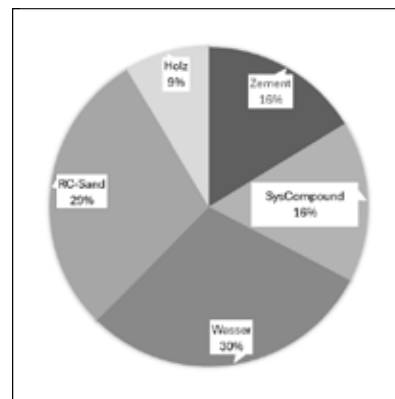


Abb. A234 Gewicht

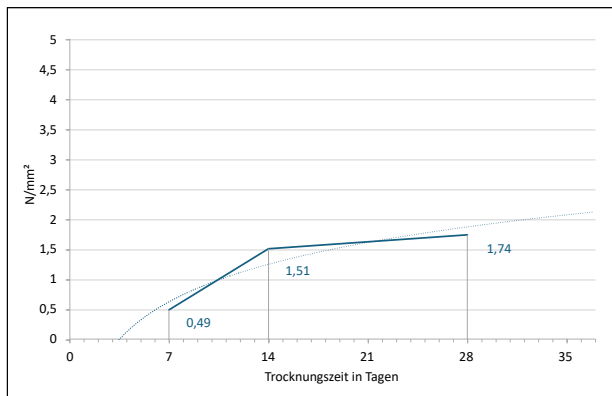


Abb. A235 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A237 Bruchfläche nach BZFP

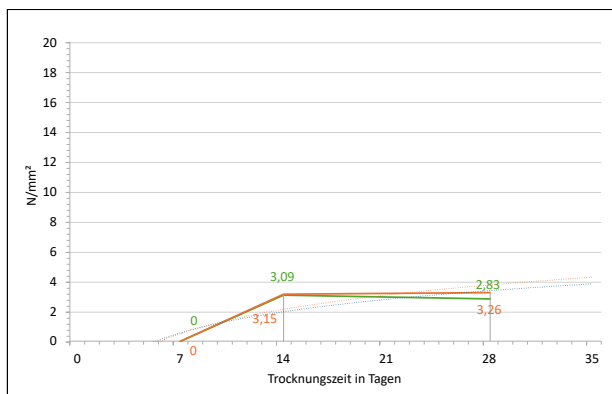


Abb. A236 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.16 Holz – BHK Mischung 3 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohldichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,05	3,00	0,16	0,05
2 SysCompound		0,05	3,00	0,16	0,05
3 Wasser		0,35	1,00	0,35	0,35
4 RC-Sand					
5 Restporen					
6 Holz		0,19	0,47	0,09	0,19
5 Fließmittel		0,026	3,00	0,078	0,026
6 zzgl. Wasserzugabe w/z (eq)		0	1,00	0	0
		1,1			
Gesamt		1,740		0,836	0,669
Festbetonrohldichte				1,350	

Tab. A90 Prüfprisma

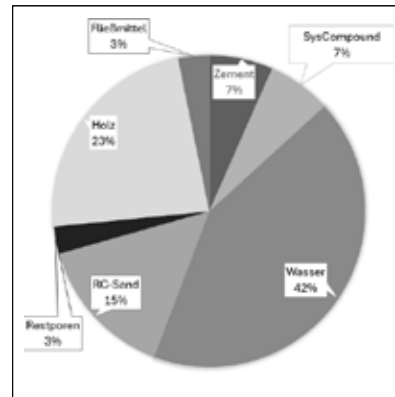


Abb. A238 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohldichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		70	3,00	210	70
2 SysCompound		70	3,00	210	70
3 Wasser		450	1,00	450	450
4 RC-Sand		157	2,55	400	157
5 Restporen		30			157
6 Holz		247	0,47	116	247
7 Fließmittel		34	0,47	16,0	34
w/z (eq)		1,1			
Gesamt		1,059		1,402,4	1,028
Festbetonrohldichte				1,350	

Tab. A91 Hochrechnung auf 1 m³

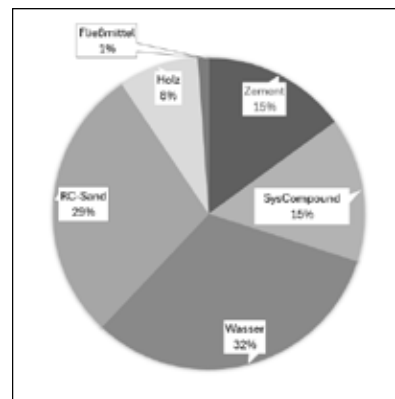


Abb. A239 Gewicht

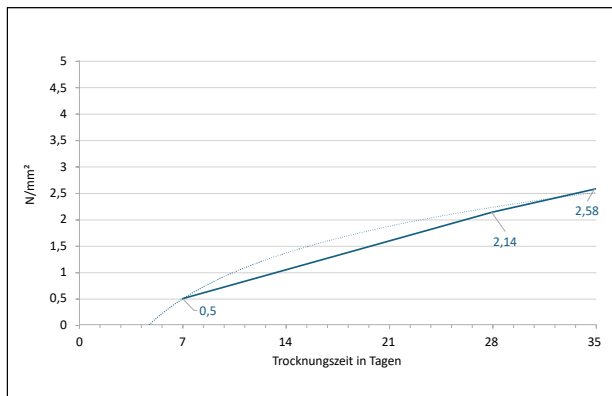


Abb. A240 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A242 Prüfprismen nach BZFP

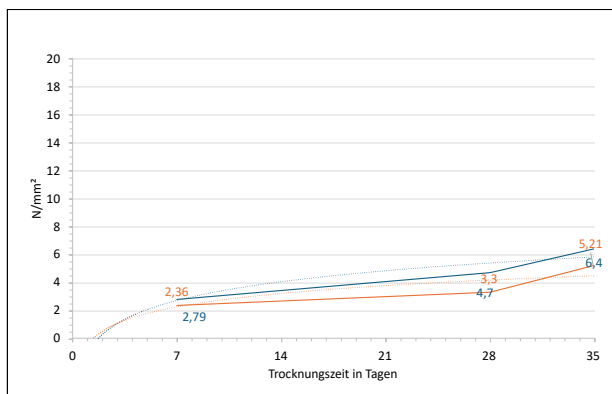


Abb. A241 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.17 Holz – BHK Mischung 4 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohldichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,05	3,00	0,16	0,05
2 SysCompound		0,05	3,00	0,16	0,05
3 Wasser		0,33	1,00	0,33	0,33
4 RC-Sand		0,12	2,55	0,31	0,12
5 Restporen		0,02			
6 Holz		0,13	0,47	0,06	0,13
7 Hanf		0,06	0,51	0,03	0,06
5 Fließmittel		0,000	3,00	0,000	0,000
6 zzgl. Wasserzugabe w/z (eq)		0	1,00	0	0
		1,0			
Gesamt		1,790		1,049	0,747
Festbetonrohldichte				1,310	

Tab. A92 Prüfprisma

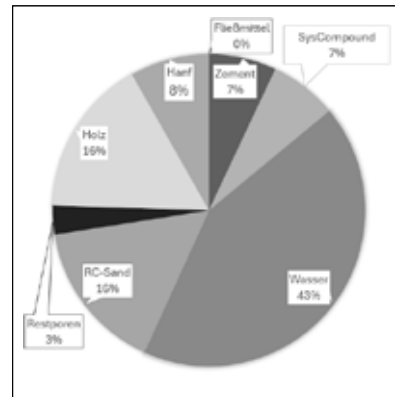


Abb. A243 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohldichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		70	3,00	210	70
2 SysCompound		70	3,00	210	70
3 Wasser		428	1,00	428	428
4 RC-Sand		157	2,55	400	157
5 Restporen		30			
6 Holz		163	0,47	77	163
7 Hanf		82	0,51	42	82
8 Fließmittel		0,00	0,47	0,00	0,00
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		1,366,8	970
Festbetonrohldichte				1,310	

Tab. A93 Hochrechnung auf 1 m³

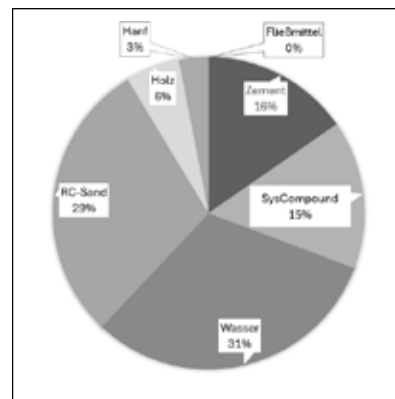


Abb. A244 Gewicht

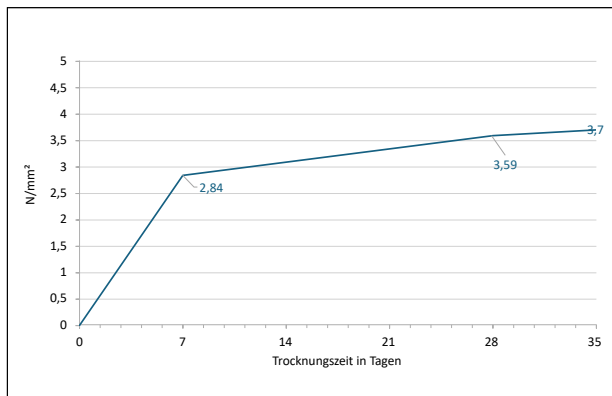


Abb. A245 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A247 Bruchfläche nach BZFP

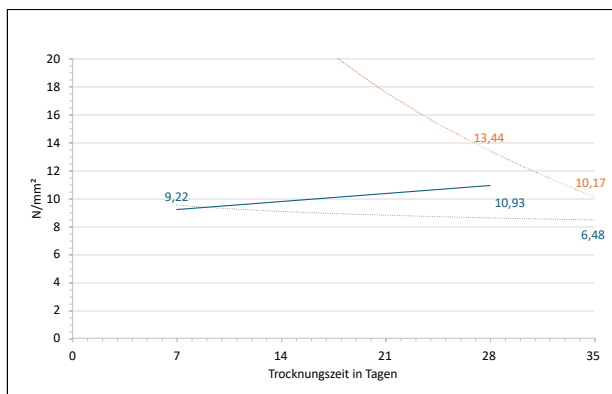


Abb. A246 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.18 Vergleich Betonmischungen mit Holz

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

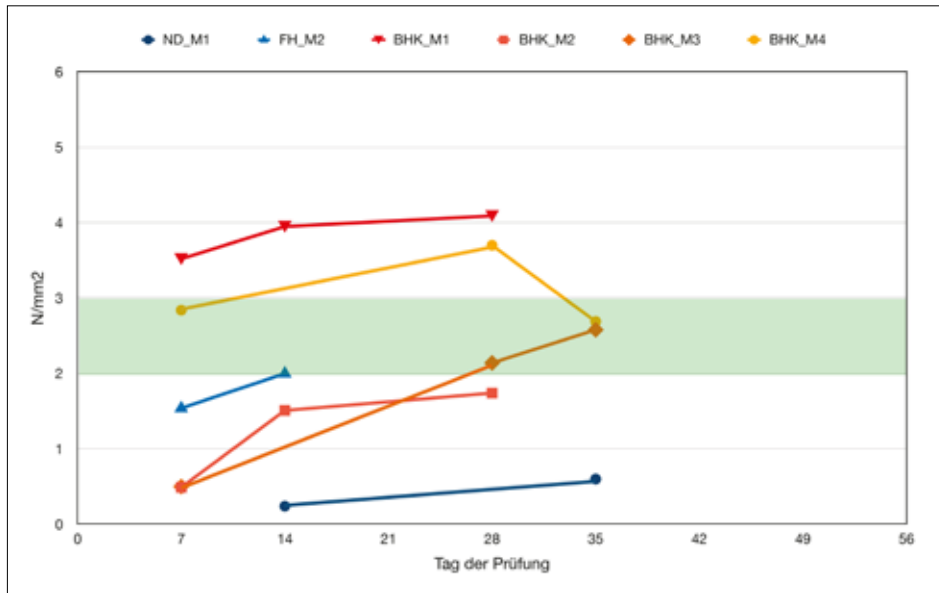


Abb. A248 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Holzpartikeln bzw. Sägespänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- ND_M1 Deutscher (Masterseminar ws2425)
- FH_M2 Hofmann (Masterseminar ws2425)
- BHK_M1 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)
- BHK_M2 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)
- BHK_M3 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)
- BHK_M4 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)

Tage	ND_M1	FH_M2	BHK_M1	BHK_M2	BHK_M3	BHK_M4
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0						
2						
7		1,54	3,52	0,49	0,50	2,84
14	0,24	2,00	3,95	1,51		
28			4,09	1,74	2,14	3,70
35	0,60				2,58	2,69
56						

Tab. A94 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Holzpartikeln bzw. Sägespänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

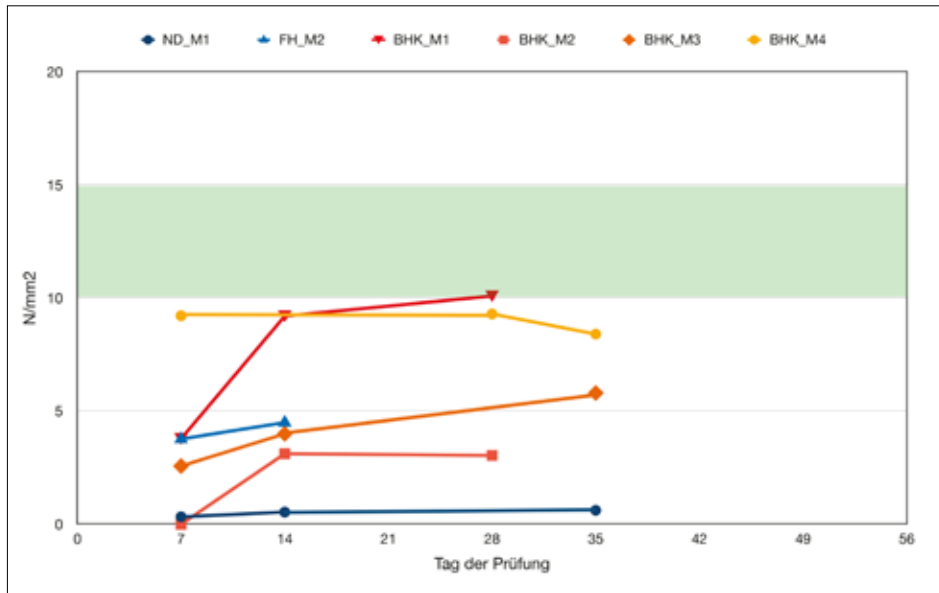


Abb. A249 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Holzpartikeln bzw. Sägespänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- ND_M1 Deutscher (Masterseminar ws2425)
- FH_M2 Hofmann (Masterseminar ws2425)
- BHK_M1 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)
- BHK_M2 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)
- BHK_M3 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)
- BHK_M4 Bonakdar, Hörner, Köferler (Masterseminar ws2526)

Tage	ND_M1	FH_M2	BHK_M1	BHK_M2	BHK_M3	BHK_M4
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0						
2						
7	0,33	3,77	3,79	0,00	2,58	9,22
14	0,54	4,50	9,21	3,12	4,00	
28			10,09	3,05		8,99
35	0,62				5,81	8,41
56						

Tab. A95 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Holzpartikeln bzw. Sägespänen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

A5.3.1.19 Kork – LM Mischung 1 (M18) (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,23	3,00	0,68	0,23
2 Wasser		0,23	1,00	0,23	0,23
3 Kork		0,31	0,25	0,08	0,31
w/z (eq)		0,34			
Gesamt		1,107		0,990	0,768
Festbetonrohddichte				1,230	

Tab. A96 Prüfprisma

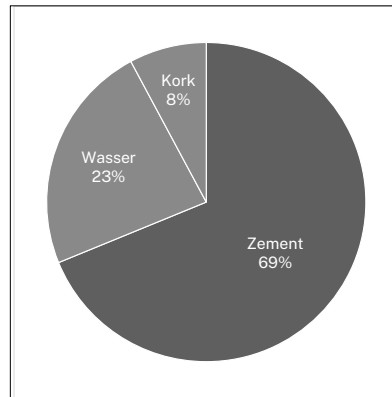


Abb. A250 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		296	3,00	887	296
2 Wasser		301	1,00	301	301
3 Kork		403	0,25	101	403
w/z (eq)		0,34			
Gesamt		1,000		1,289,0	1,000
Festbetonrohddichte				1,230	

Tab. A97 Hochrechnung auf 1 m³

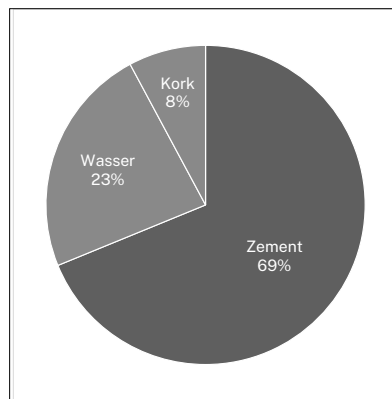


Abb. A251 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N

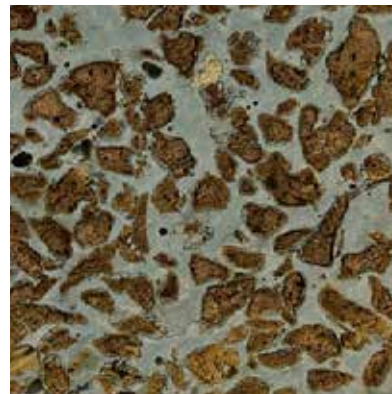


Abb. A252 Plattenmuster/ Detail

A5.3.1.20 Kork – LM Mischung 2 (M19) (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,23	3,00	0,68	0,23
2 Wasser		0,23	1,00	0,23	0,23
3 Kork		0,31	0,25	0,08	0,31
Restporen		0,00			0,00
w/z (eq)		0,34			
Gesamt		1,107		0,990	0,768
Festbetonrohddichte				1,230	

Tab. A98 Prüfprisma

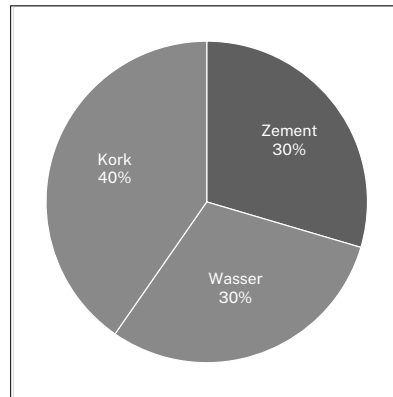


Abb. A253 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		296	3,00	887	296
2 Wasser		301	1,00	301	301
3 Kork		403	0,25	101	403
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		1,000		1,289,0	1,000
Festbetonrohddichte				1,230	

Tab. A99 Hochrechnung auf 1 m³

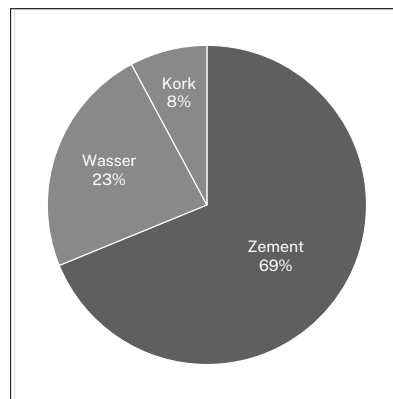


Abb. A254 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM III/A 42,5 N – LH

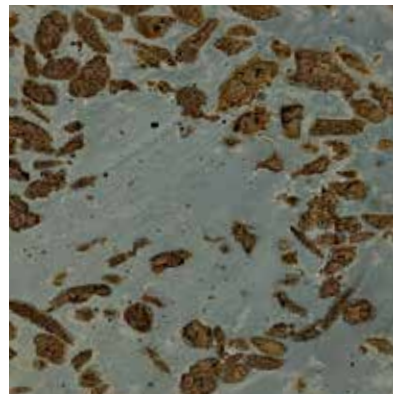


Abb. A255 Plattenmuster/ Detail

A5.3.1.21 Kork – LM Mischung 3 (M20) (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,23	3,00	0,68	0,23
2 Wasser		0,23	1,00	0,23	0,23
3 Kork		0,31	0,25	0,08	0,31
Restporen		0,00			0,00
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		1,107		0,990	0,768
Festbetonrohddichte				1,230	

Tab. A100 Prüfprisma

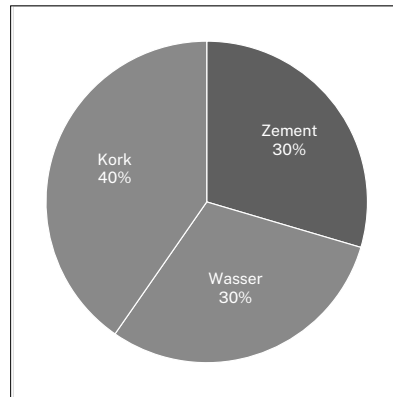


Abb. A256 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		296	3,00	887	296
2 Wasser		301	1,00	301	301
3 Kork		403	0,25	101	403
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		1,000		1,289,0	1,000
Festbetonrohddichte				1,230	

Tab. A101 Hochrechnung auf 1 m³

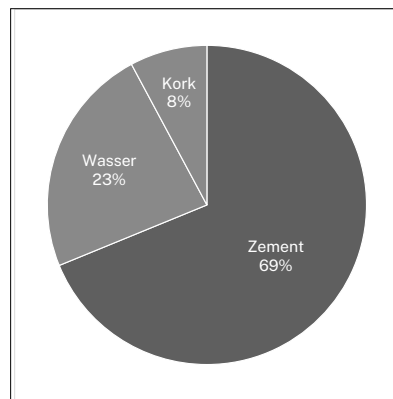


Abb. A257 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM III/B 42,5 N – LH/SR

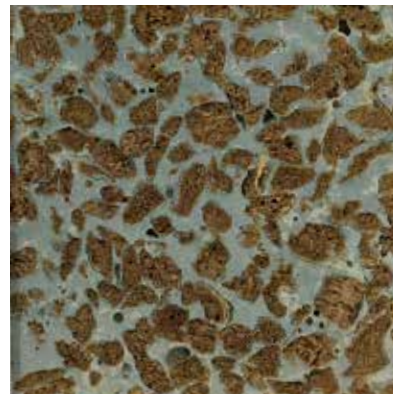


Abb. A258 Plattenmuster/ Detail

A5.3.1.22 Kork – LM Mischung 4 (M22) (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,02	3,00	0,05	0,02
2 SysCompound		0,21	3,00	0,63	0,21
3 Wasser		0,21	1,00	0,21	0,21
4 Kork		0,34	0,23	0,08	0,34
Restporen		0,00			0,00
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		1,069		0,964	0,768
Festbetonrohddichte				1,200	

Tab. A102 Prüfprisma

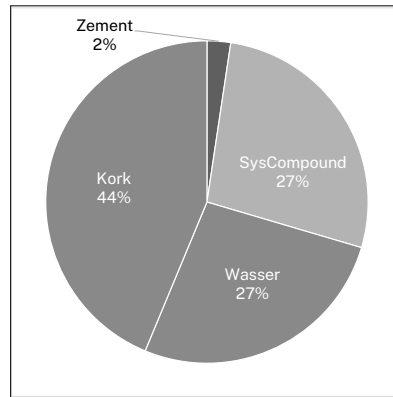


Abb. A259 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		24	3,00	71	24
2 SysCompound		272	3,00	816	272
3 Wasser		267	1,00	267	267
4 Kork		437	0,23	101	437
w/z (eq)		0,3			
Gesamt		1,000		1,255,0	1,000
Festbetonrohddichte				1,200	

Tab. A103 Hochrechnung auf 1 m³

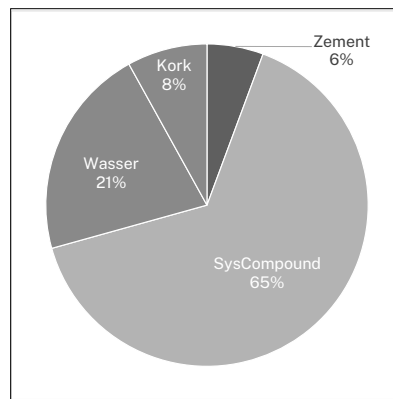


Abb. A260 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 10 %
- 2 SysCompound Consulta AG SysCo-FUDS, Bindemittelanteil 90 %

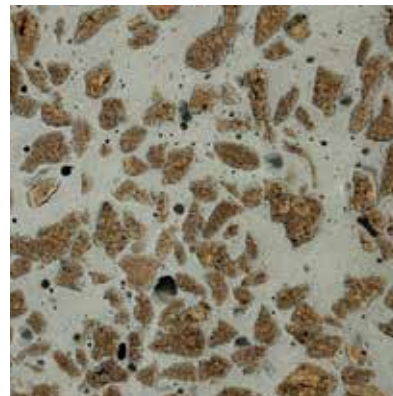


Abb. A261 Plattenmuster/ Detail

A5.3.1.23 Kork – LM Mischung 5 (M23) (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,02	3,00	0,05	0,02
2 SysCompound		0,21	3,00	0,63	0,21
3 Wasser		0,21	1,00	0,21	0,21
4 Kork		0,34	0,23	0,08	0,34
Restporen		0,00			0,00
w/z (eq)		0,30			
Gesamt		1,069		0,963	0,768
Festbetonrohddichte				1,200	

Tab. A104 Prüfprisma

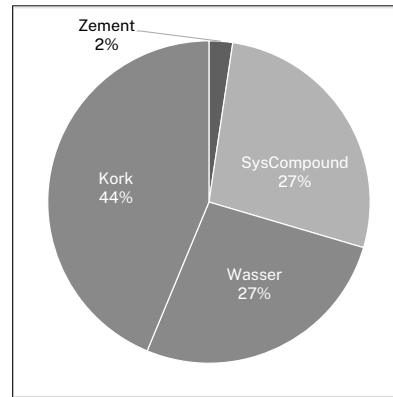


Abb. A262 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement	24	24	3,00	71	24
2 SysCompound		272	3,00	816	272
3 Wasser		267	1,00	267	267
4 Kork		437	0,23	101,00	437
w/z (eq)		0,30			
Gesamt		1,000		1,255,0	1,000
Festbetonrohddichte				1,200	

Tab. A105 Hochrechnung auf 1 m³

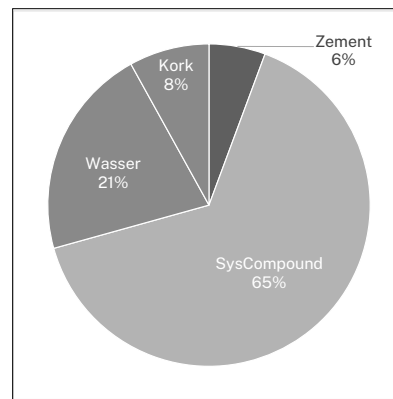


Abb. A263 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 10 %
- 2 SysCompound Consulta AG SysCo-SVI, Bindemittelanteil 90 %

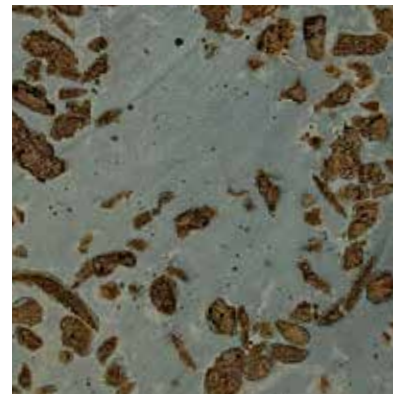


Abb. A264 Plattenmuster/ Detail

A5.3.1.24 Kork – BKS Mischung 1 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,12	3,00	0,35	0,12
2 Wasser		0,21	1,00	0,21	0,21
3 RC-Sand	0-4	0,08	2,65	0,20	0,08
4 Kork		0,35	0,15	0,05	0,35
5 Restporen		0,02			
	w/z	0,6		w/z (eq)	0,6
Gesamt		1,368		0,808	0,745
Festbetonrohddichte				1,000	

Tab. A106 Prüfprisma

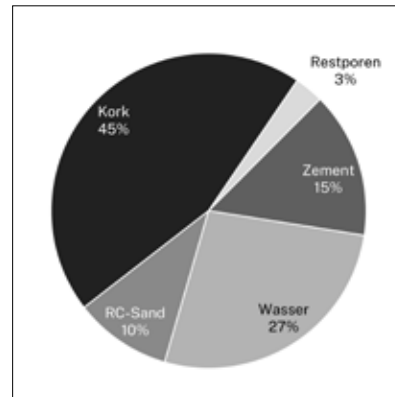


Abb. A265 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		150	3,00	450	150
2 Wasser		270	1,00	270	270
3 RC-Sand	0-4	100	2,65	265	100
4 Kork		450	0,15	68	450
5 Restporen		30			
	w/z	0,6		w/z (eq)	0,60
Gesamt		1,001		1,052,5	970
Festbetonrohddichte				1,000	

Tab. A107 Hochrechnung auf 1 m³

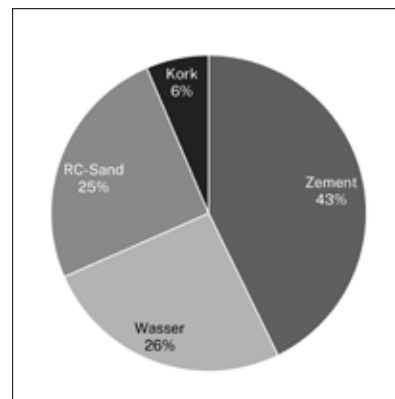


Abb. A266 Gewicht

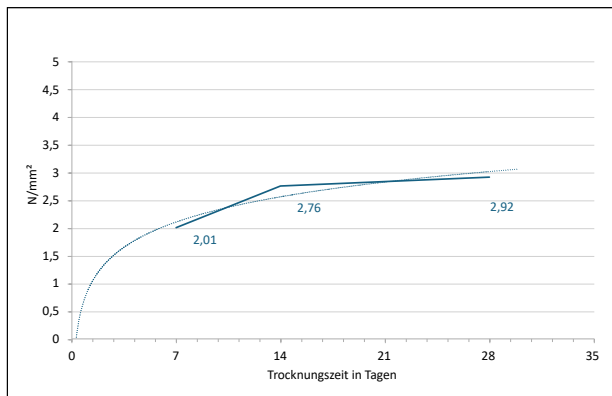


Abb. A267 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A269 Bruchfläche nach BZFP

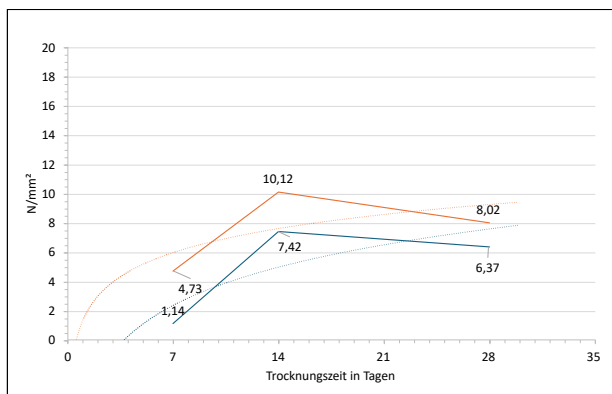


Abb. A268 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.25 Kork – BKS Mischung 2 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,10	3,00	0,30	0,10
2 SysCompound		0,10	3,00	0,30	0,10
3 Wasser		0,20	1,00	0,20	0,20
4 RC-Sand	0-4	0,06	2,65	0,17	0,06
5 Kork		0,28	0,25	0,07	0,28
6 Restporen		0,02			
	w/z	0,7		w/z (eq)	0,33
Gesamt		1,418		1,039	0,745
Festbetonrohddichte				1,300	

Tab. A108 Prüfprisma

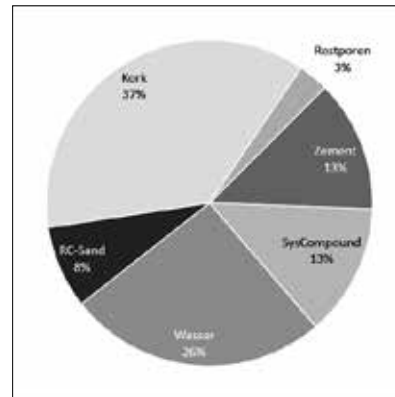


Abb. A270 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		131	3,00	393	131
2 SysCompound		131	3,00	393	131
3 Wasser		257	1,00	257	257
4 RC-Sand	0-4	82	2,65	217	82
5 Kork		369	0,25	92	369
6 Restporen		30			
	w/z	0,65		w/z (eq)	0,33
Gesamt		1,001		1,352,6	970
Festbetonrohddichte				1,300	

Tab. A109 Hochrechnung auf 1 m³

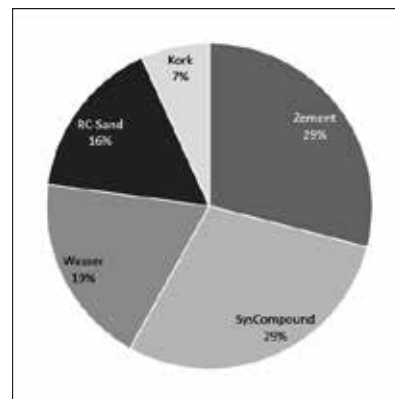


Abb. A271 Gewicht

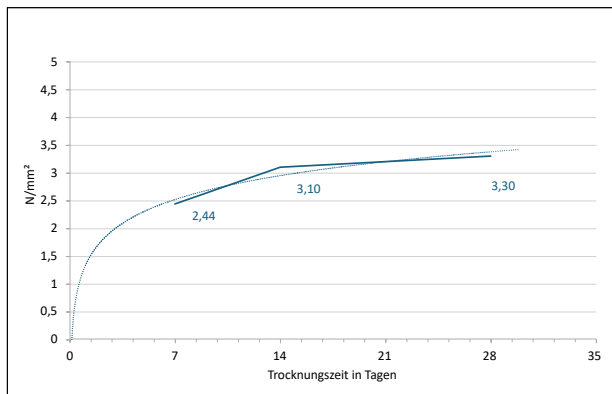


Abb. A272 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A274 Prüfprismen nach BZFP

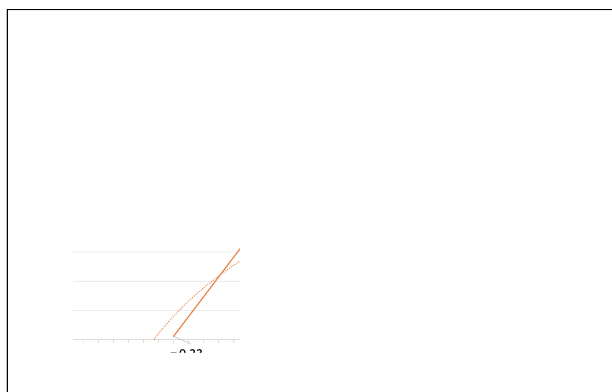


Abb. A273 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.26 Kork – BKS Mischung 3 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm³/m³	Stoff- rohddichte kg/dm³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,08	3,00	0,23	0,08
2 SysCompound		0,04	3,00	0,12	0,04
3 Wasser		0,21	1,00	0,21	0,21
4 RC-Sand	0-4	0,12	2,65	0,31	0,12
5 Kork		0,27	0,28	0,08	0,27
6 Pflanzkohle		0,03	0,26	0,01	0,03
7 Fließmittel		0,004	0,47	0,002	0,004
8 Restporen		0,02			
w/z		0,90		w/z (eq)	0,60
Gesamt		1,668		0,944	0,745
Festbetonrohddichte				1,170	

Tab. A110 Prüfrisma

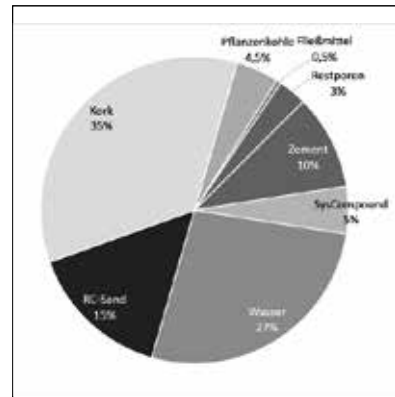


Abb. A275 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm³/m³	Stoff- rohddichte kg/dm³	Einwaage kg/m³	Volumen (lose) l/m³
1 Zement		100	3,00	300	100
2 SysCompound		50	3,00	150	50
3 Wasser		270	1,00	270	270
4 RC-Sand	0-4	150	2,65	398	150
5 Kork		350	0,28	98	350
6 Pflanzkohle		45	0,26	12	45
7 Fließmittel		5	0,47	2	5
8 Restporen		30			
w/z		0,90		w/z (eq)	0,60
Gesamt		1,001		1.229,6	970
Festbetonrohddichte				1,170	

Tab. A111 Hochrechnung auf 1 m³

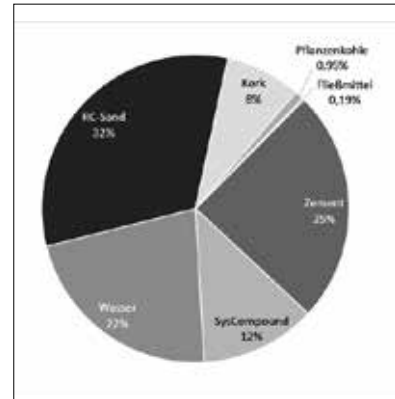


Abb. A276 Gewicht

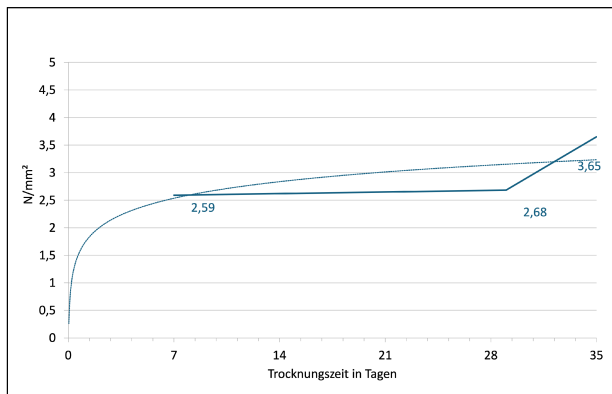


Abb. A277 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A279 Frischmörtel

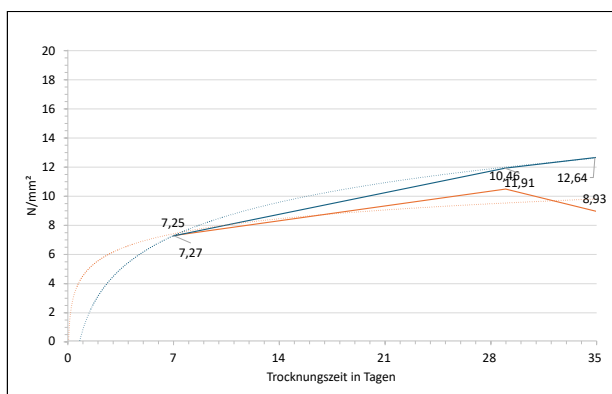


Abb. A278 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.27 Kork – BKS Mischung 4 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,08	3,00	0,24	0,08
2 SysCompound		0,04	3,00	0,13	0,04
3 Wasser		0,20	1,00	0,20	0,20
4 RC-Sand	0-4	0,08	2,65	0,22	0,08
5 Kies	4-8	0,03	2,65	0,07	0,03
6 Kork		0,27	0,28	0,08	0,27
7 Pflanzkohle		0,04	0,26	0,01	0,04
8 Restporen		0,02			
	w/z	0,83		w/z (eq)	0,54
Gesamt		1,993		0,950	0,745
Festbetonrohddichte				1,180	

Tab. A112 Prüfprisma

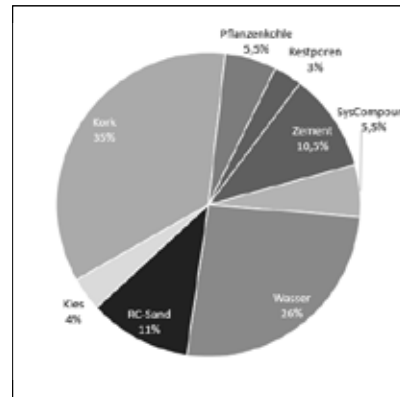


Abb. A280 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		105	3,00	315	105
2 SysCompound		55	3,00	165	55
3 Wasser		260	1,00	260	260
4 RC-Sand	0-4	109	2,65	289	109
5 Kies	4-8	38	2,65	95	38
6 Kork		350	0,28	98	350
7 Pflanzkohle		55	0,26	14	55
8 Restporen		30			
	w/z	0,83		w/z (eq)	0,54
Gesamt		1,001		1,236,6	970
Festbetonrohddichte				1,180	

Tab. A113 Hochrechnung auf 1 m³

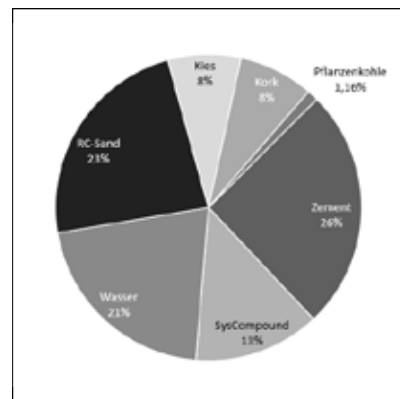


Abb. A281 Gewicht

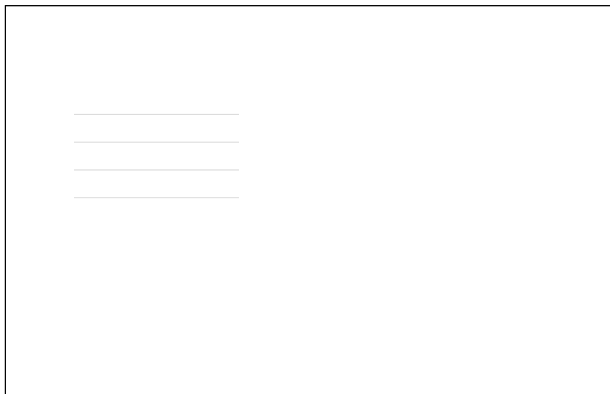


Abb. A282 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A284 Prüfprisma nach BZFP

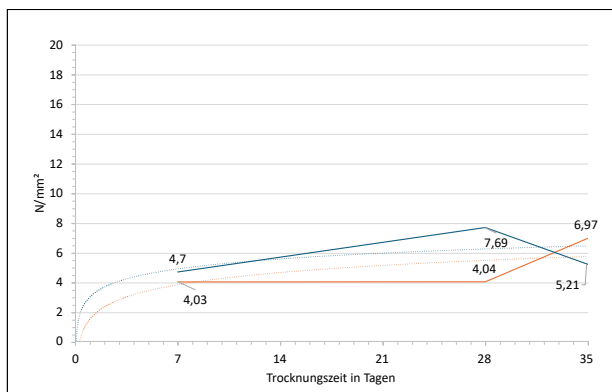


Abb. A283 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.1.28 Vergleich Betonmischungen mit Korkreststoffen

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

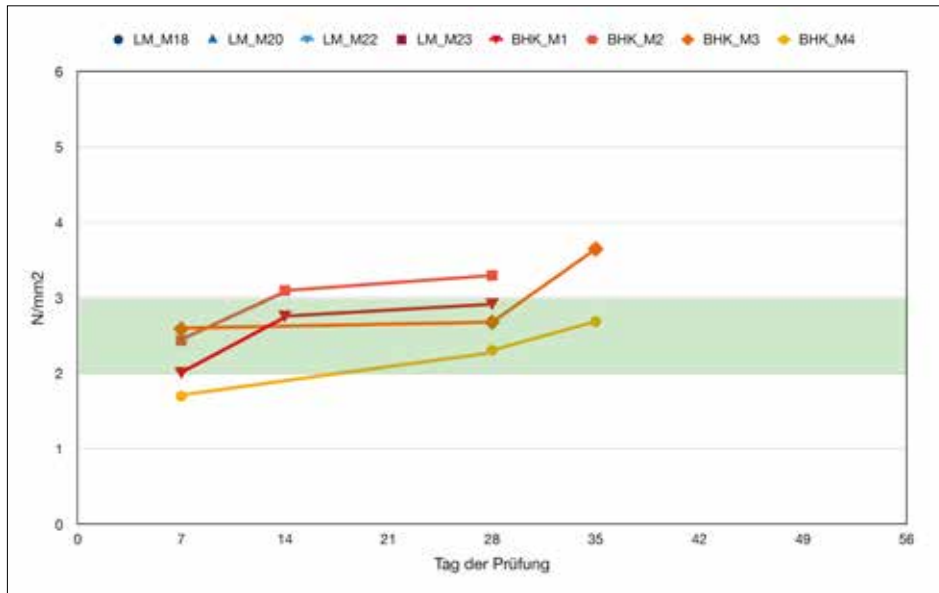


Abb. A285 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Korkreststoffen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- LM_M18 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- LM_M20 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- LM_M22 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- LM_M23 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- BKS_M1 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)
- BKS_M2 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)
- BKS_M3 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)
- BKS_M4 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)

Tag	LM_M18 [N/mm ²]	LM_M20 [N/mm ²]	LM_M22 [N/mm ²]	LM_M23 [N/mm ²]	BHK_M1 [N/mm ²]	BHK_M2 [N/mm ²]	BHK_M3 [N/mm ²]	BHK_M4 [N/mm ²]
0								
2								
7					2,01	2,44	2,59	1,70
12								
14					2,76	3,10		
28					2,92	3,30	2,68	2,31
35							3,65	2,69

Tab. A114 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Korkreststoffen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

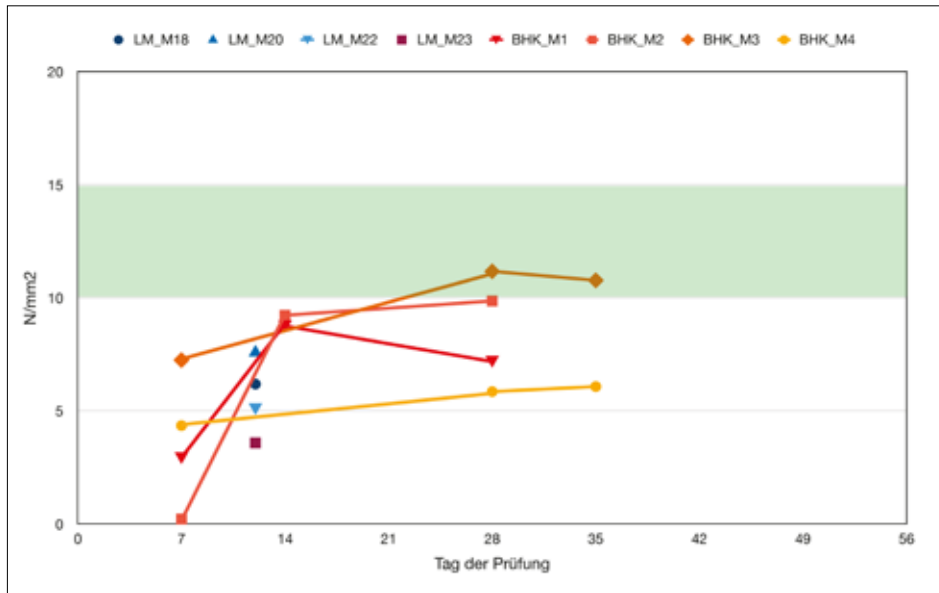


Abb. A286 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Korkreststoffen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- LM_M18 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- LM_M20 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- LM_M22 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- LM_M23 Meyerhöfer, Corkrete (Masterthesis ws2425)
- BKS_M1 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)
- BKS_M2 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)
- BKS_M3 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)
- BKS_M4 Beinhofer / Keles / Stiege (Masterseminar ws2526)

Tage	LM_M18	LM_M20	LM_M22	LM_M23	BHK_M1	BHK_M2	BHK_M3	BHK_M4
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0								
2								
7					2,94	0,23	7,26	4,37
12	6,20	7,60	5,10	3,60				
14					8,77	9,24		
28					7,20	9,88	11,19	5,87
35							10,79	6,09

Tab. A115 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Korkreststoffen als Zusatzmaterial (OHM-AR)

A5.3.2 Anorganische Zusätze

Wintersemester 2024/2025

Masterseminar: MA-3020 Zukunft Beton – Nachhaltigkeitsstrategien mit alternativen Bindemitteln und neuartigen Rezepturen. Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Fakultät Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann (Fakultät Bauingenieurwesen, Leitung Labor für Beton- und Baustofftechnologie)

Wintersemester 2025/2026

Masterseminar: MA-3010 Baustoffwende – Neue Materialien für nachhaltige und CO₂-reduzierte Betone. Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner (Fakultät Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann (Fakultät Bauingenieurwesen, Leitung Labor für Beton- und Baustofftechnologie)

Referenzmischung Normalbeton/ RC Sand

Wintersemester 2024/2025 – MA-3020 Zukunft Beton

Sepehr Behrouz Sanati

Flugasche

Wintersemester 2024/2025 – MA-3020 Zukunft Beton

Anne Marie Horlacher (AR) / Robert Wagner (AR)

Pflanzenkohle

Wintersemester 2024/2025 – MA-3020 Zukunft Beton

Kristin Kreiselmeier (AR) / Sonja Lecek (AR)

Wintersemester 2025/2026 – MA-3010 Baustoffwende

Cora Baumeister (AR), Tobias Hummel (BI), Clara Schneider (AR)

Tonmehl

Wintersemester 2024/2025 – MA-3020 Zukunft Beton

Gloria Lieder (AR) / Robert Wagner (AR)

Wintersemester 2025/2026 – MA-3010 Baustoffwende

Moritz Bengel (BI), Julian Kobielski (AR), Elena Winterhalter (AR)

Hinweis zu Bezeichnungen in den Tabellen

Gesamt: Rechnerisch ermittelte Frischbetonrohddichte

(Zuschläge trocken)

Festbetonrohddichte: (zu erwarten, überschlägig ermittelt)

Frischbetonrohddichte minus $\geq 50 \text{ kg/m}^3$ ($< 2.000 \text{ kg/m}^3$)

bzw. $\geq 100 \text{ kg/m}^3$ ($> 2.000 \text{ kg/m}^3$)

III. Appendix

Optimierungen
Fassadenbauteil

A5.3.2.1 Normalbeton/ RC Sand – SBS Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,12	3,00	0,36	0,12
2 Wasser		0,24	1,00	0,24	0,24
3 Recyclingsand	0-4	0,41	2,20	0,91	0,41
w/z (eq)		0,67			
Gesamt		1,435		1,500	0,768
Festbetonroh-dichte				1,900	

Tab. A117 Prüfprisma

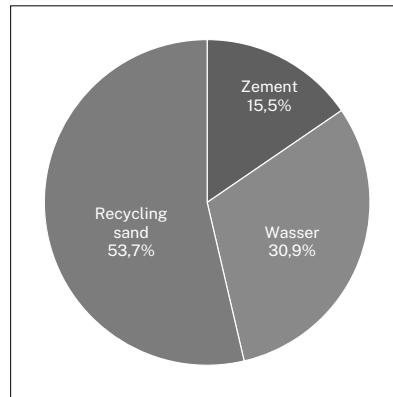


Abb. A287 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		155	3,00	464	155
2 Wasser		309	1,00	309	309
3 Recyclingsand	0-4	537	2,20	1.180	537
w/z (eq)		0,67			
Gesamt		1.001		1.952,8	1.000
Festbetonroh-dichte				1,900	

Tab. A116 Hochrechnung auf 1 m³

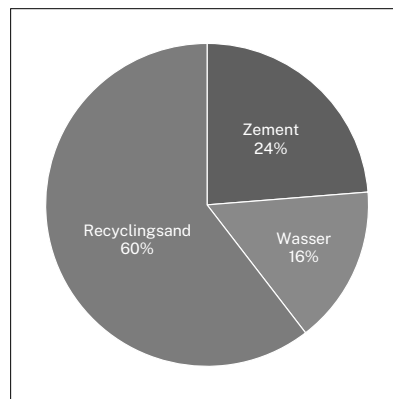


Abb. A288 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 2 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)

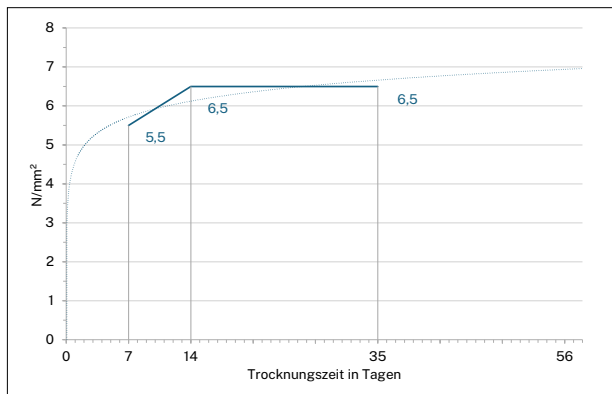


Abb. A289 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A291 BZF-Prüfung

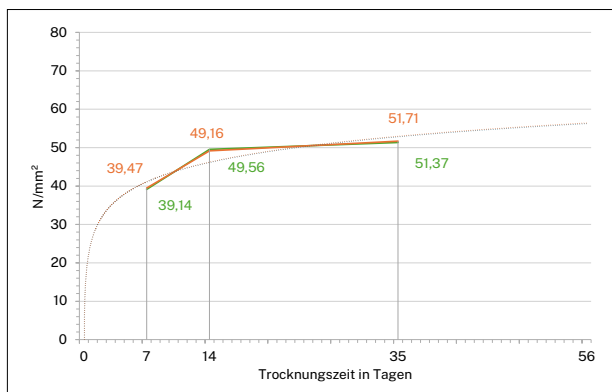


Abb. A290 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A292 BZF-Prüfung / Bruch

A5.3.2.2 Flugasche – AMH Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,12	3,00	0,37	0,12
2 Wasser		0,21	1,00	0,21	0,21
3 Natursand	0-4	0,21	0,54	0,12	0,21
4 Flugasche		0,21	2,40	0,52	0,21
5 Fließmittel		0,002	1,08	0,002	0,002
w/z (eq)		0,6			
Gesamt		1,344		1,217	0,768
Festbetonroh-dichte				2,070	

Tab. A118 Prüfprisma

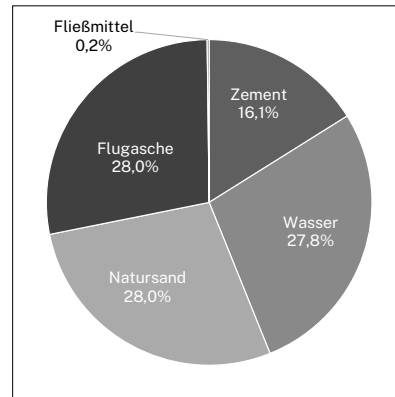


Abb. A293 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		161	3,00	483	161
2 Wasser		278	1,00	278	278
3 Natursand	0-4	280	2,65	741	280
4 Flugasche		280	2,40	671	280
5 Fließmittel		2	1,08	2,2	2
w/z (eq)		0,6			
Gesamt		1,001		2,174,6	1,000
Festbetonroh-dichte				2,070	

Tab. A119 Hochrechnung auf 1 m³

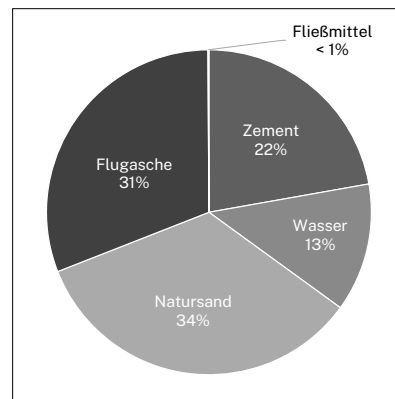


Abb. A294 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 5 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

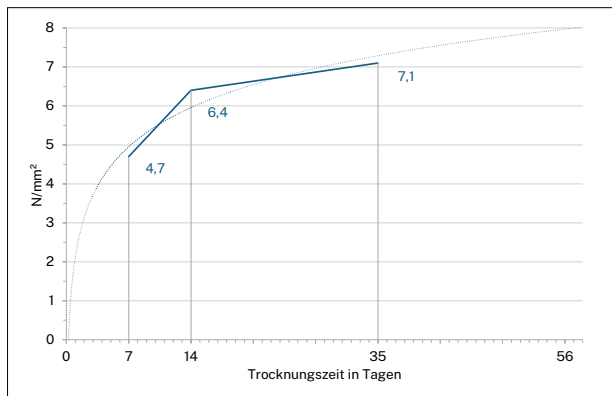


Abb. A295 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A297 Prismen / BZF-Prüfung

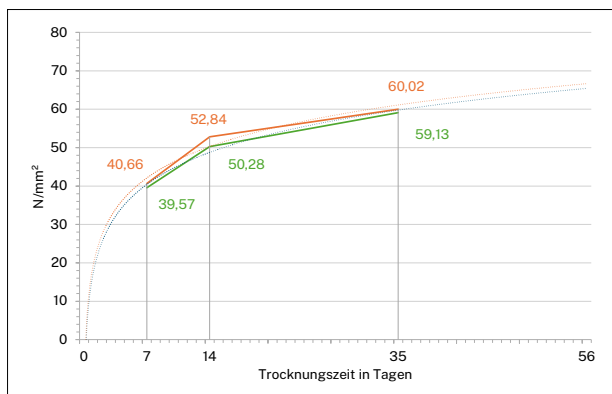


Abb. A296 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A298 DF-Prüfung

A5.3.2.3 Flugasche – AMH Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,05	3,00	0,15	0,05
2 Wasser		0,28	1,00	0,28	0,28
3 Natursand	0-4	0,09	0,54	0,05	0,09
4 Recyclingsand	0-4	0,11	0,54	0,06	0,11
5 Tonmehl		0,18	0,54	0,10	0,18
6 Flugasche		0,03	2,40	0,06	0,03
7 Pflanzenkohle		0,03	0,54	0,02	0,03
6 Fließmittel		0,002	1,08	0,002	0,002
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,268		0,719	0,768
Festbetonrohddichte				1,860	

Tab. A120 Prüfprisma

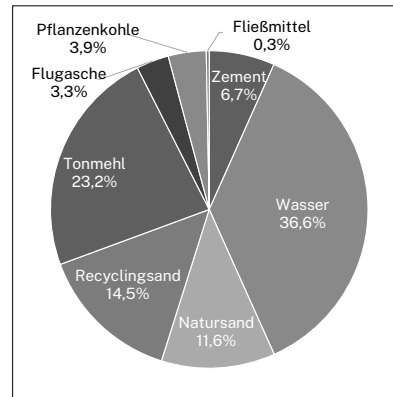


Abb. A299 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		67	3,00	200	67
2 Wasser		366	1,00	366	366
3 Natursand	0-4	116	2,65	307	116
4 Recyclingsand	0-4	145	2,20	319	145
5 Tonmehl		232	2,70	625	232
6 Flugasche		33	2,40	79	33
7 Pflanzenkohle		39	0,26	10	39
8 Fließmittel		3	1,08	3,2	3
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,001		1,910,4	1,000
Festbetonrohddichte				1,860	

Tab. A121 Hochrechnung auf 1 m³

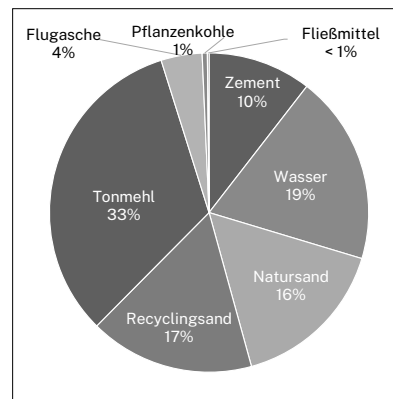


Abb. A300 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 4 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)
- 7 Pflanzenkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio
- 8 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

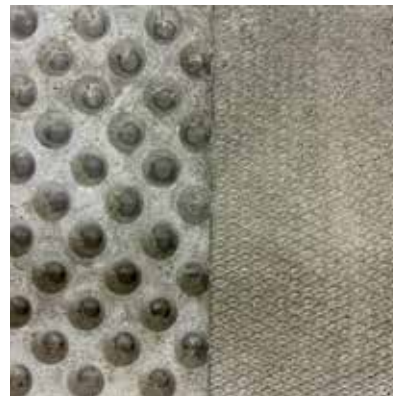


Abb. A301 Plattenmuster/ Detail

A5.3.2.4 Flugasche/ Pflanzkohle – RW Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,09	3,00	0,28	0,09
2 Wasser		0,16	1,00	0,16	0,16
3 Flugasche		0,47	2,60	1,22	0,47
4 Pflanzkohle		0,04	0,26	0,01	0,04
w/z (eq)		0,57			
Gesamt		1,339		1,680	0,768
Festbetonrohddichte				2,080	

Tab. A122 Prüfrisma

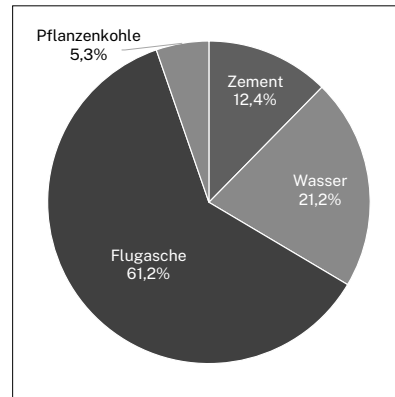


Abb. A302 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		124	3,00	371	124
2 Wasser		212	1,00	212	212
3 Flugasche		612	2,60	1,591	612
4 Pflanzkohle		53	0,26	14	53
w/z (eq)		0,57			
Gesamt		1,001		2,187,1	1,000
Festbetonrohddichte				2,080	

Tab. A123 Hochrechnung auf 1 m³

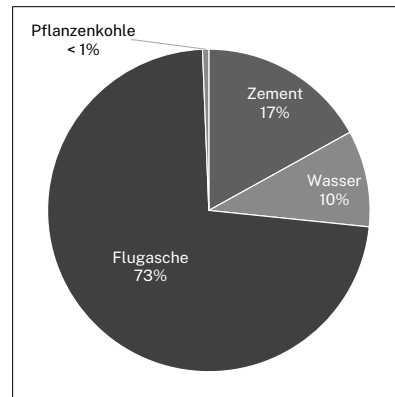


Abb. A303 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 4 Pflanzkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio

A5.3.2.5 Pflanzkohle – KK Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,07	3,00	0,22	0,07
2 Wasser		0,16	1,00	0,16	0,16
3 Recyclingsand	0-4	0,52	2,75	1,42	0,52
4 Pflanzkohle		0,02	0,26	0,00	0,02
w/z (eq)		0,73			
Gesamt		1,498		1,803	0,768
Festbetonrohddichte				2,240	

Tab. A124 Prüfprisma

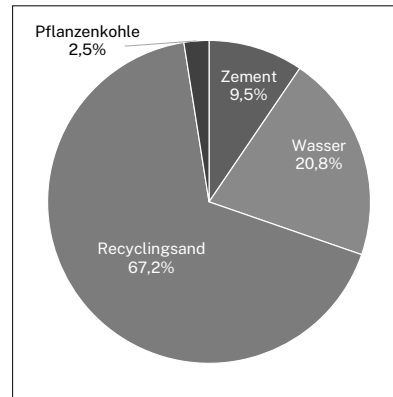


Abb. A304 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		95	3,00	285	95
2 Wasser		208	1,00	208	208
3 Recyclingsand	0-4	672	2,75	1,848	672
4 Pflanzkohle		25	0,26	7	25
w/z (eq)		0,7			
Gesamt		1,001		2,347,5	1,000
Festbetonrohddichte				2,240	

Tab. A125 Hochrechnung auf 1 m³

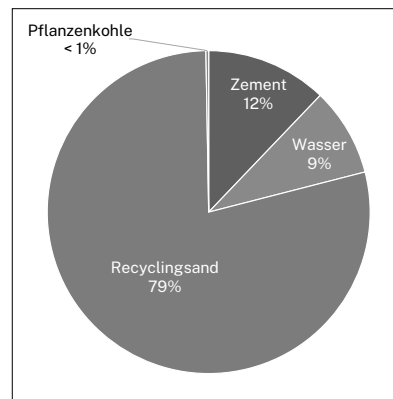


Abb. A305 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 3 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)
- 4 Pflanzkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio

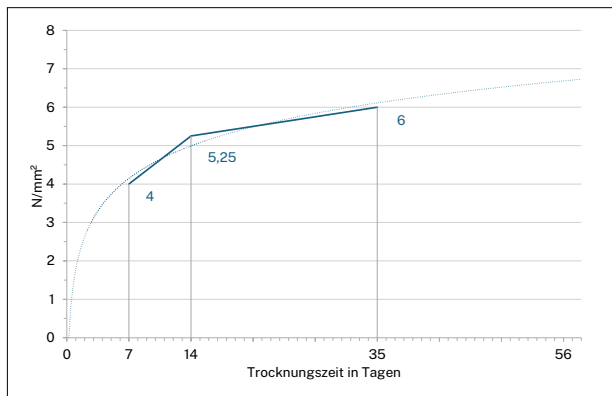


Abb. A306 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A308 BZF-Prüfung

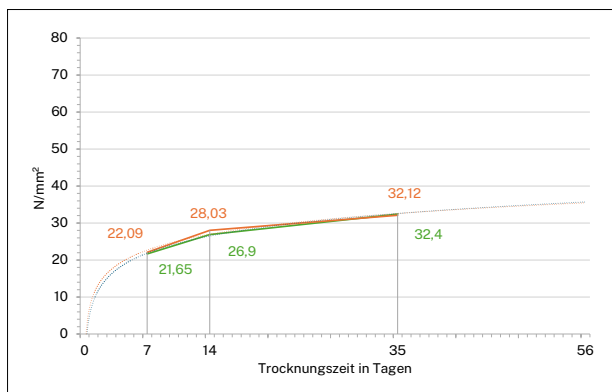


Abb. A307 Druckfestigkeit in N/mm²



Abb. A309 DF-Prüfung

A5.3.2.6 Pflanzenkohle – KK Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,06	3,00	0,17	0,06
2 Wasser		0,18	1,00	0,18	0,18
3 Naturand	0-4	0,24	2,60	0,62	0,24
4 Recyclingsand	0-4	0,24	2,75	0,66	0,24
5 Pflanzenkohle		0,05	0,26	0,01	0,05
w/z (eq)		1,1			
Gesamt		1,854		1,641	0,768
Festbetonrohddichte				2,030	

Tab. A126 Prüfprisma

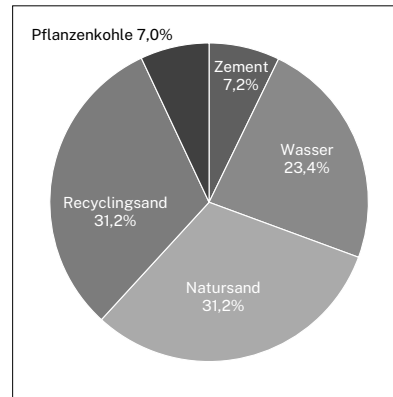


Abb. A310 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		72	3,00	216	72
2 Wasser		234	1,00	234	234
3 Natursand	0-4	312	2,60	811	312
4 Recyclingsand	0-4	312	2,75	858	312
5 Pflanzenkohle		70	0,26	18	70
w/z (eq)		1,1			
Gesamt		1.001		2.136,6	1.000
Festbetonrohddichte				2,030	

Tab. A127 Hochrechnung auf 1 m³

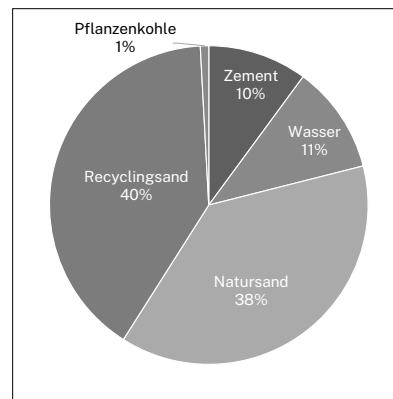


Abb. A311 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 4 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)
- 5 Pflanzenkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio

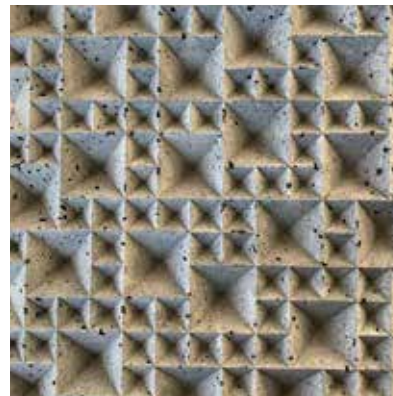


Abb. A312 Musterplatte/ Detail

A5.3.2.7 Pflanzenkohle/ Syscompound – SL Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,01	3,00	0,03	0,01
2 SysCompound		0,08	3,00	0,24	0,08
3 Wasser		0,26	1,00	0,26	0,26
4 Natursand	0-4	0,40	2,20	0,87	0,40
5 Pflanzenkohle		0,02	0,26	0,01	0,02
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,701		1,410	0,768
Festbetonrohddichte				1,780	

Tab. A128 Prüfprisma

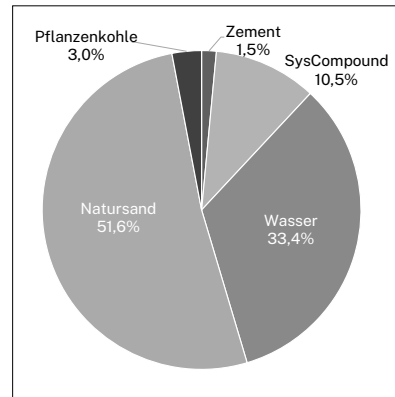


Abb. A313 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		15	3,00	45	15
2 SysCompound		105	3,00	314	105
3 Wasser		334	1,00	334	334
4 Natursand	0-4	516	2,20	1.136	516
5 Pflanzenkohle		30	0,26	8	30
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1.001		1.836,3	1.000
Festbetonrohddichte				1,780	

Tab. A129 Hochrechnung auf 1 m³

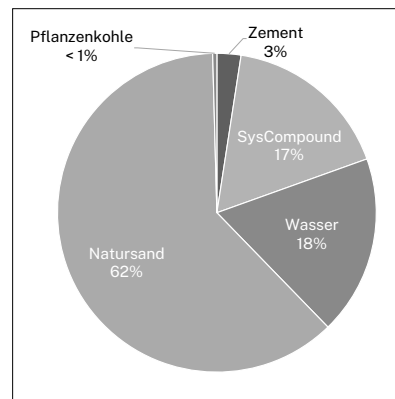


Abb. A314 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N, Bindemittelanteil 10 %
- 2 SysCompound Consulta AG Basic-Z, Bindemittelanteil 90 %
- 5 Pflanzenkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio

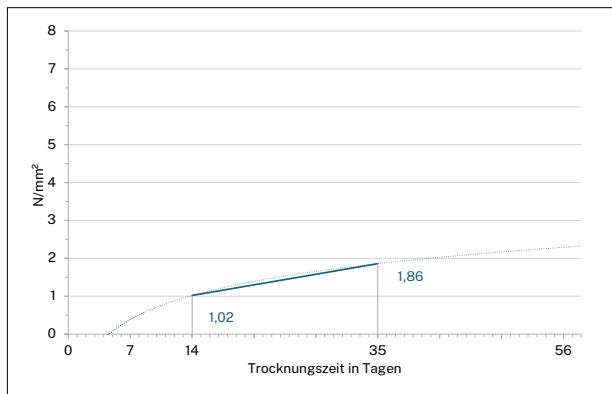


Abb. A315 Biegezugfestigkeit in N/mm²

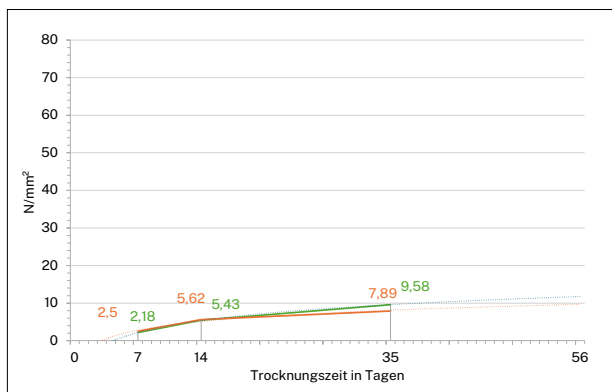


Abb. A316 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.2.8 Pflanzenkohle/ Syscompound – SL Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,05	3,00	0,16	0,05
2 Wasser		0,14	1,00	0,14	0,14
3 Naturand	0-4	0,23	2,60	0,60	0,23
4 Recyclingsand	0-4	0,29	2,75	0,79	0,29
5 Pflanzenkohle		0,05	0,26	0,01	0,05
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,653		1,710	0,768
Festbetonrohddichte				2.120	

Tab. A130 Prüfprisma

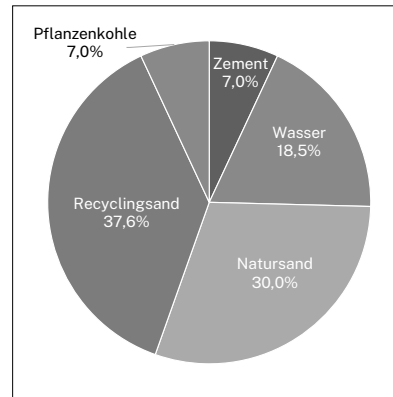


Abb. A317 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		70	3,00	209	70
2 Wasser		185	1,00	185	185
3 Natursand	0-4	300	2,60	780	300
4 Recyclingsand	0-4	376	2,75	1.035	376
5 Pflanzenkohle		70	0,26	18	70
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1.001		2.226,0	1.000
Festbetonrohddichte				2.120	

Tab. A131 Hochrechnung auf 1 m³

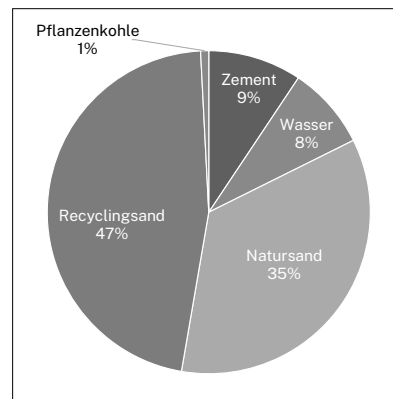


Abb. A318 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 4 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)
- 5 Pflanzenkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio

A5.3.2.9 Pflanzenkohle – BHS Mischung 1 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,10	3,00	0,31	0,10
2 Wasser		0,18	1,00	0,18	0,18
3 Recyclingsand	0-4	0,35	2,75	0,97	0,35
4 Pflanzenkohle		0,13	0,26	0,03	0,13
5 Fließmittel		0,0064	0,47	0,003008	0,0064
6 Restporen		0,02			
w/z (eq)		0,60			
Gesamt		1,399		1,496	0,776
Festbetonrohddichte				1.820	

Tab. A132 Prüfrisma

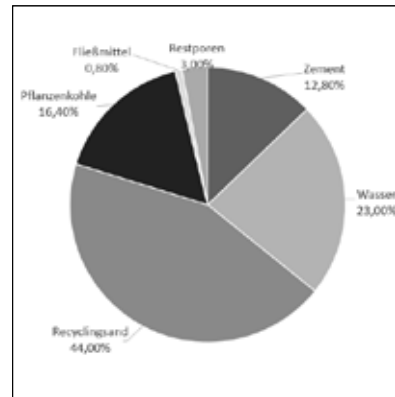


Abb. A319 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		128	3,00	384	128
2 Wasser		230	1,00	230	230
3 Recyclingsand	0-4	440	2,75	1.210	440
4 Pflanzenkohle		164	0,26	43	164
5 Fließmittel		8	0,47	4	
6 Restporen		30			
w/z (eq)		0,6			
Gesamt		1.001		1.870,4	962
Festbetonrohddichte				1.820	

Tab. A133 Hochrechnung auf 1 m³

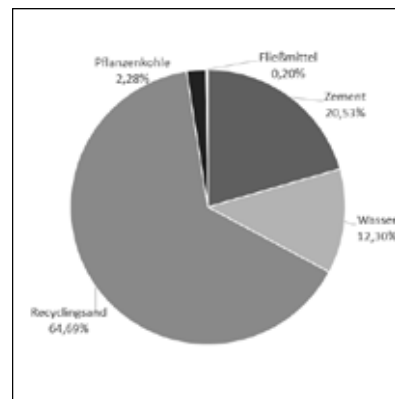


Abb. A320 Gewicht

Anmerkungen

- 1 ...
- 2 ...

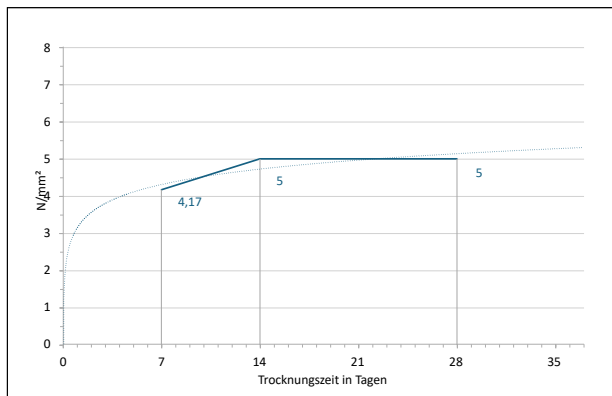


Abb. A321 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A323 Prismen nach DFP (oben) BZFP

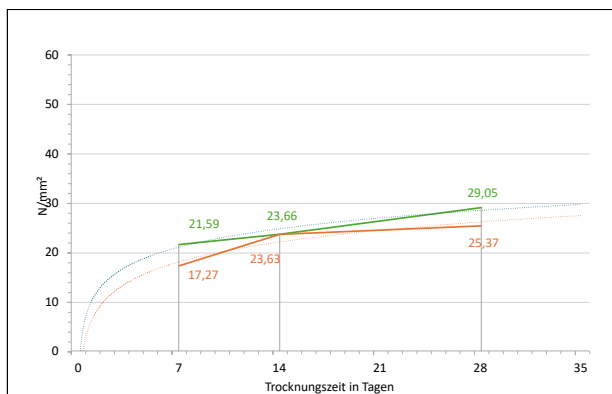


Abb. A322 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.2.10 Pflanzkohle – BHS Mischung 2 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,05	3,00	0,15	0,05
2 Wasser		0,16	1,00	0,16	0,16
3 Recyclingsand	0-4	0,44	2,75	1,21	0,44
4 Pflanzkohle		0,12	0,28	0,03	0,12
5 Fließmittel		0,0056	0,47	0,002632	0,0056
6 Restporen		0,02			
w/z (eq)		1,04			
Gesamt		1,836		1,561	0,778
Festbetonroh-dichte				1,900	

Tab. A134 Prüfrisma

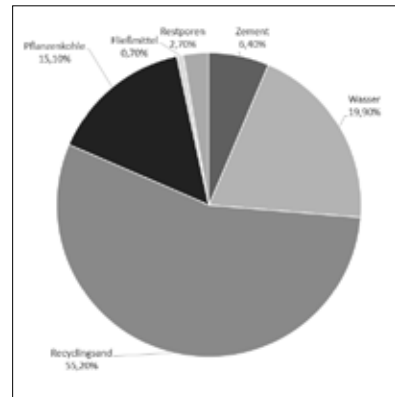


Abb. A324 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		64	3,00	192	64
2 Wasser		199	1,00	199	199
3 Recyclingsand	0-4	552	2,75	1.518	552
4 Pflanzkohle		151	0,28	39	151
5 Fließmittel		7	0,47	3	
6 Restporen		27			
w/z (eq)		1,04			
Gesamt		1.001		1.951,6	966
Festbetonroh-dichte				1,900	

Tab. A135 Hochrechnung auf 1 m³

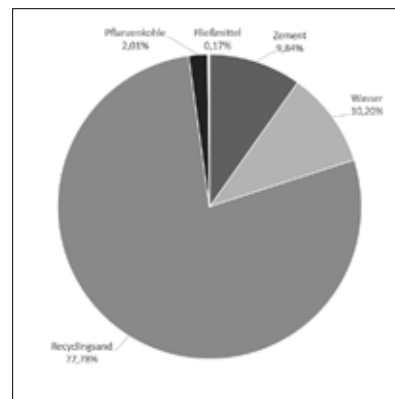


Abb. A325 Gewicht

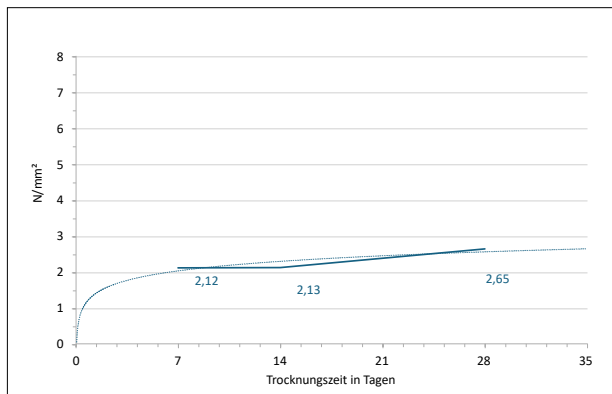


Abb. A326 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A328 Frishmörtel

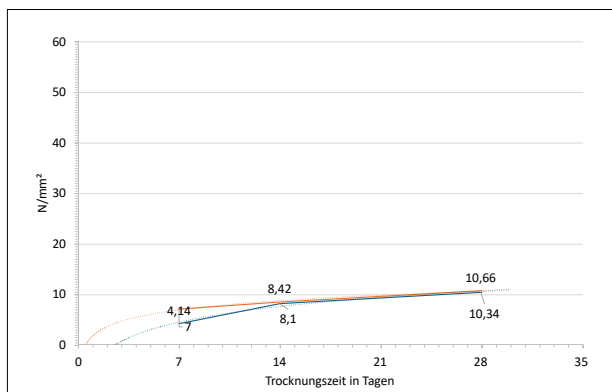


Abb. A327 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.2.11 Pflanzenkohle – BHS Mischung 3 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,07	3,00	0,22	0,07
2 Wasser		0,14	1,00	0,14	0,14
3 Recyclingsand	0-4	0,42	2,75	1,17	0,42
4 Pflanzenkohle		0,13	0,28	0,03	0,13
5 Fließmittel		0,0088	0,47	0,004136	0,0088
6 Restporen		0,02			
w/z (eq)		0,64			
Gesamt		1,445		1,569	0,777
Festbetonrohddichte				1,910	

Tab. A136 Prüfprisma

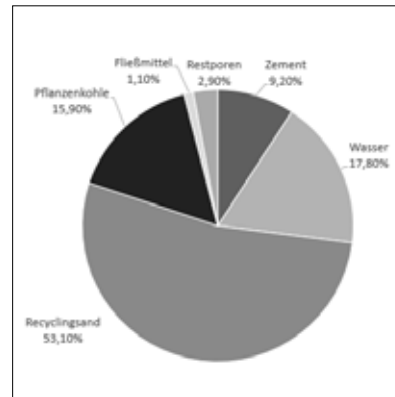


Abb. A329 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		92	3,00	276	92
2 Wasser		178	1,00	178	178
3 Recyclingsand	0-4	531	2,75	1,460	531
4 Pflanzenkohle		159	0,28	41	159
5 Fließmittel		11	0,47	5	
6 Restporen		29			
w/z (eq)		0,64			
Gesamt		1.001		1.960,8	960
Festbetonrohddichte				1,910	

Tab. A137 Hochrechnung auf 1 m³

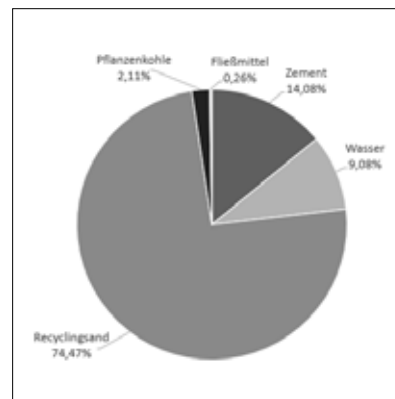


Abb. A330 Gewicht

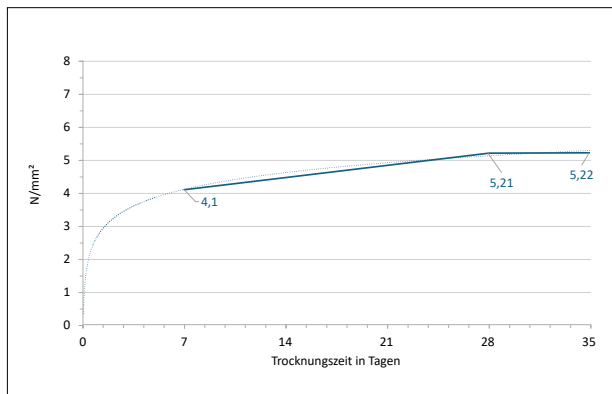


Abb. A331 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A333 Prismenschalung

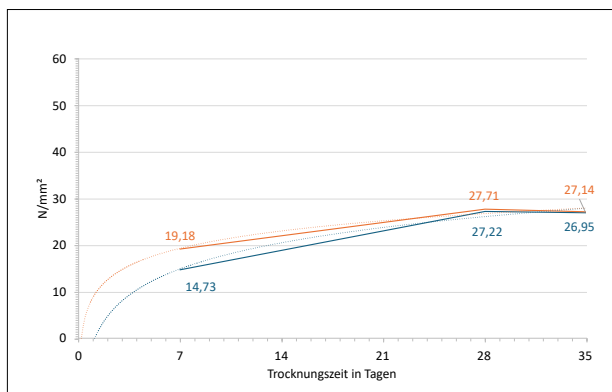


Abb. A332 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.2.12 Pflanzkohle – BHS Mischung 4 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm³/m³	Stoff- rohddichte kg/dm³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,95	3,00	2,84	0,95
2 Wasser		3,14	1,00	3,14	3,14
3 Recyclingsand	0-4	5,37	2,75	14,78	5,37
4 Kies		1,78	2,75	4,90	1,78
4 Pflanzkohle		1,64	0,28	0,43	1,64
5 Fließmittel		0,11792	0,47	0,0554224	0,11792
6 Restporen		0,40			
w/z (eq)		1,10			
Gesamt		14,501		26,137	12,996
Festbetonrohddichte				1,900	

Tab. A138 Prüfrisma

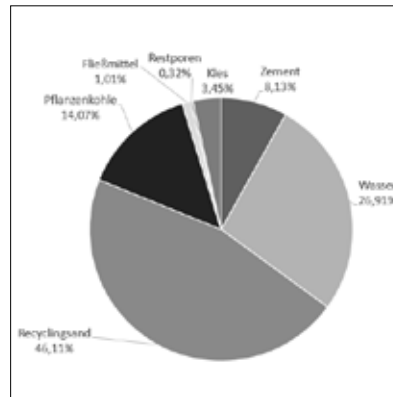


Abb. A334 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm³/m³	Stoff- rohddichte kg/dm³	Einwaage kg/m³	Volumen (lose) l/m³
1 Zement		71	3,00	212	71
2 Wasser		234	1,00	234	234
3 Recyclingsand	0-4	401	2,75	1.103	401
4 Kies		133	2,75	366	
5 Pflanzkohle		122	0,28	32	122
6 Fließmittel		9	0,47	4	
7 Restporen		30			
w/z (eq)		1,10			
Gesamt		1.001		1.950,5	828
Festbetonrohddichte				1,900	

Tab. A139 Hochrechnung auf 1 m³

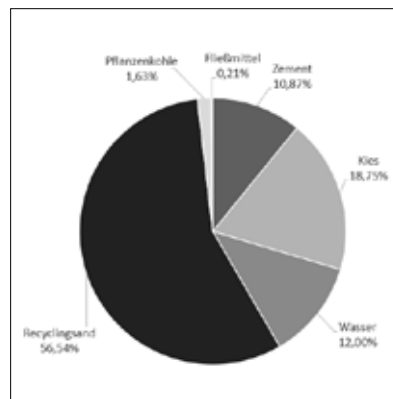


Abb. A335 Gewicht

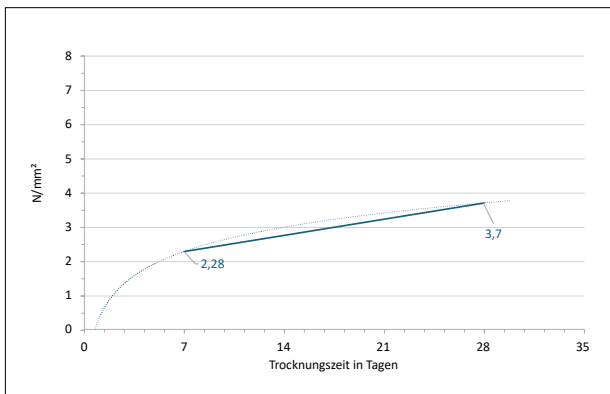


Abb. A336 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A338 Musterplatte / Detail

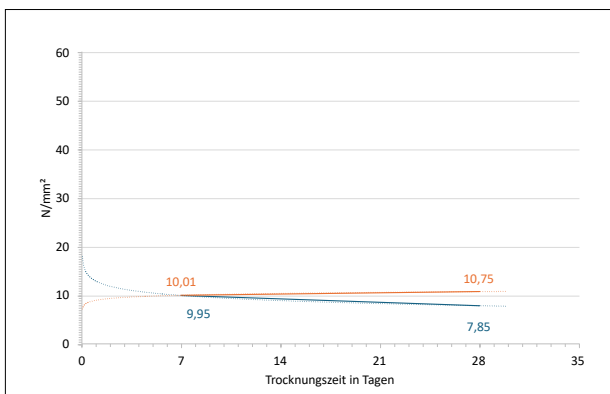


Abb. A337 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3 Vergleich Betonmischungen mit Pflanzenkohle (Biokohle/ Pyrolysekohle)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

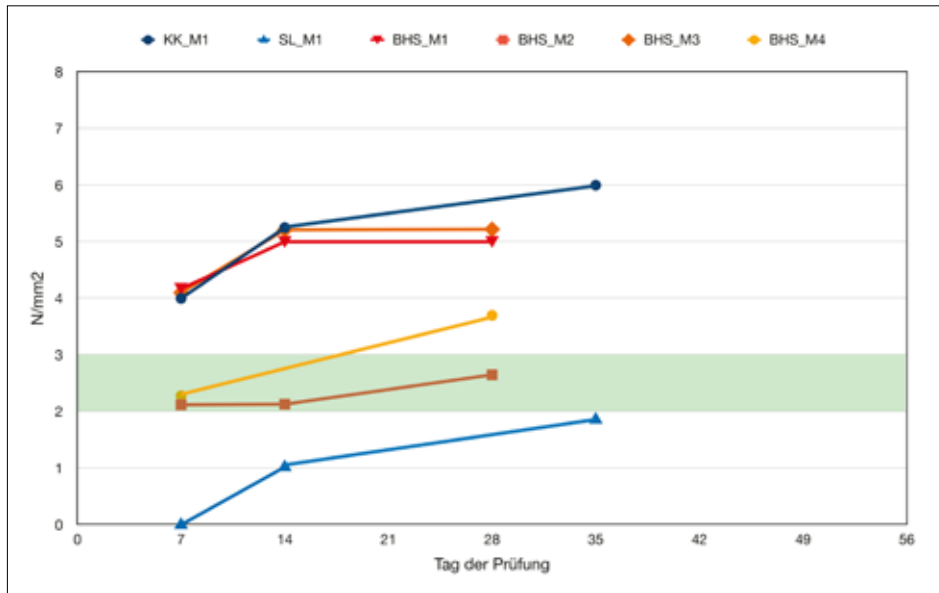


Abb. A339 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- KK_M1 Kreiselmeyer (Masterseminar ws2425)
- SL_M1 Leček (Masterseminar ws2425)
- BHS_M1 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)
- BHS_M2 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)
- BHS_M3 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)
- BHS_M4 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)

Tage	KK_M1	SL_M1	BHS_M1	BHS_M2	BHS_M3	BHS_M4
	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
0						
2						
7	4,00	0,00	4,17	2,12	4,10	2,28
14	5,25	1,02	5,00	2,13	5,21	
28			5,00	2,65	5,22	3,70
35	6,00	1,86				
56						

Tab. A140 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

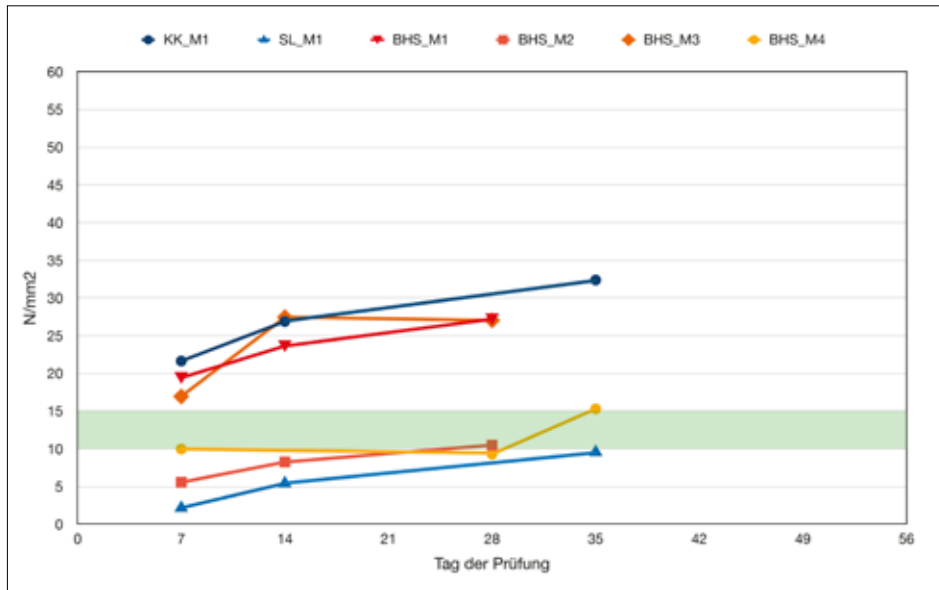


Abb. A340 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- KK_M1 Kreiselmeyer (Masterseminar ws2425)
- SL_M1 Leček (Masterseminar ws2425)
- BHS_M1 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)
- BHS_M2 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)
- BHS_M3 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)
- BHS_M4 Baumeister, Hummel, Schneider (Masterseminar ws2526)

Tage	KK_M1	SL_M1	BHS_M1	BHS_M2	BHS_M3	BHS_M4
	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]	[N/mm²]
0						
2						
7	21,65	2,18	19,43	5,57	16,96	9,98
14	26,90	5,43	23,65	8,26	27,47	
28			27,21	10,50	27,05	9,30
35	32,40	9,58				15,31
56						

Tab. A141 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Pflanzenkohle (bzw. Biokohle bzw. Pyrolysekohle) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

A5.3.3.1 Tonmehl – GL Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,09	3,00	0,28	0,09
2 Wasser		0,14	1,00	0,14	0,14
3 Natursand	0-4	0,17	0,54	0,09	0,17
4 Tonmehl		0,22	2,70	0,60	0,22
5 Fließmittel		0,002	1,08	0,002	0,002
6 zzgl. Wasserzugabe		0,141	1,08	0,153	0,141
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,285		1,264	0,768
Festbetonroh-dichte				1,990	

Tab. A142 Prüfrisma

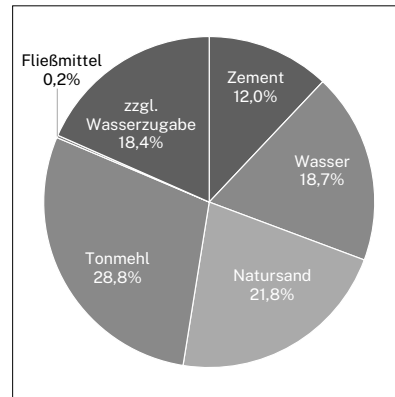


Abb. A341 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- roh-dichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		120	3,00	361	120
2 Wasser		187	1,00	187	187
3 Natursand	0-4	218	2,65	579	218
4 Tonmehl		288	2,70	779	288
5 Fließmittel		2	1,08	2,6	2
6 zzgl. Wasserzugabe		184	1,00	183,9	184
w/z (eq)		0,5			
Gesamt		1,000		2,091,5	1,000
Festbetonroh-dichte				1,990	

Tab. A143 Hochrechnung auf 1 m³

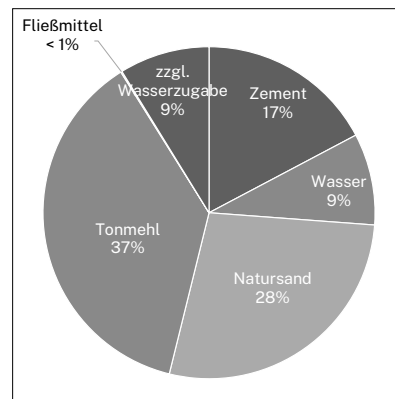


Abb. A342 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 5 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

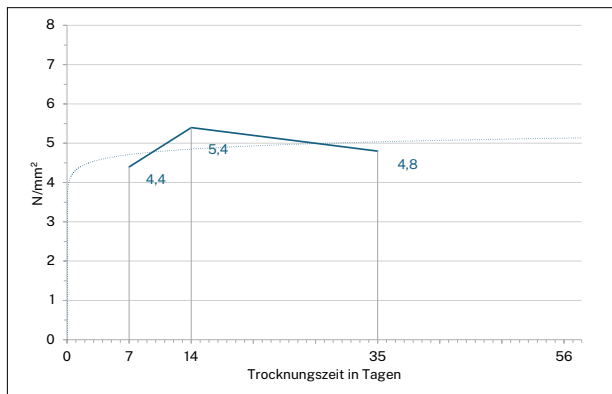


Abb. A343 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A345 BZF-Prüfung

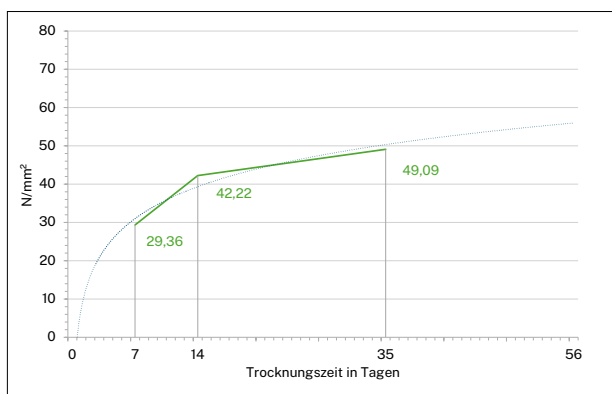


Abb. A344 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3.2 Tonmehl – GL Mischung 2 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,05	3,00	0,15	0,05
2 Wasser		0,28	1,00	0,28	0,28
3 Natursand	0-4	0,09	0,54	0,05	0,09
4 Recyclingsand	0-4	0,11	0,54	0,06	0,11
5 Tonmehl		0,18	0,54	0,10	0,18
6 Flugasche		0,03	2,40	0,06	0,03
7 Pflanzenkohle		0,03	0,54	0,02	0,03
6 Fließmittel		0,002	1,08	0,002	0,002
w/z (eq)		1,8			
Gesamt		2,595		0,719	0,768
Festbetonrohddichte				1,860	

Tab. A144 Prüfprisma

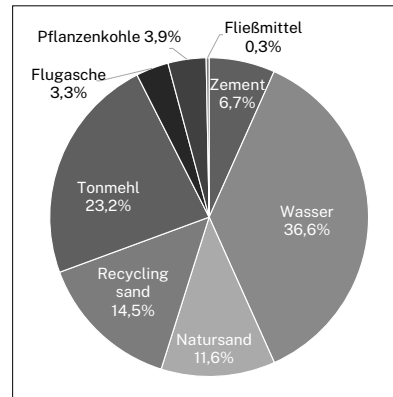


Abb. A346 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		67	3,00	200	67
2 Wasser		366	1,00	366	366
3 Natursand	0-4	116	2,65	307	116
4 Recyclingsand	0-4	145	2,20	319	145
5 Tonmehl		232	2,70	625	232
6 Flugasche		33	2,40	79	33
7 Pflanzenkohle		39	0,26	10	39
8 Fließmittel		3	1,08	3,2	3
w/z (eq)		1,8			
Gesamt		1,002		1,910,4	1,000
Festbetonrohddichte				1,860	

Tab. A145 Hochrechnung auf 1 m³

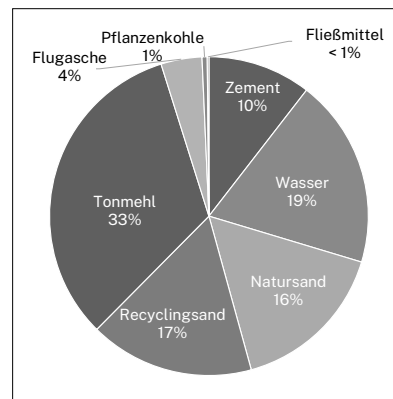


Abb. A347 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 4 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)
- 7 Pflanzenkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio
- 8 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

A5.3.3.3 Tonmehl/ Pflanzkohle – RW Mischung 1 (WS 2024/25)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,06	3,00	0,19	0,06
2 Wasser		0,18	1,00	0,18	0,18
3 Natursand	0-4	0,11	2,65	0,29	0,11
4 Recyclingsand	0-4	0,14	2,20	0,30	0,14
5 Tonmehl		0,22	2,70	0,58	0,22
6 Flugasche		0,03	2,60	0,08	0,03
7 Pflanzkohle		0,04	0,26	0,01	0,04
8 Fließmittel		0,003	3,00	0,008	0,003
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,707		1,630	0,768
Festbetonrohddichte				2,010	

Tab. A146 Prüfprisma

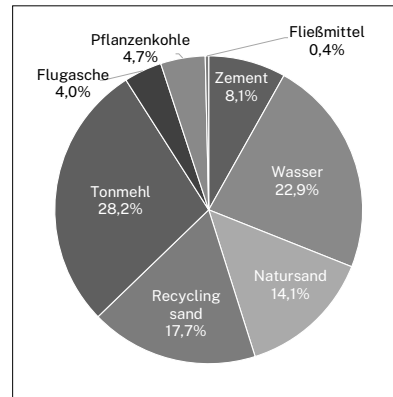


Abb. A348 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		81	3,00	244	81
2 Wasser		229	1,00	229	229
3 Natursand	0-4	141	2,65	373	141
4 Recyclingsand	0-4	177	2,20	388	177
5 Tonmehl		282	2,70	761	282
6 Flugasche		40	2,60	104	40
7 Pflanzkohle		47	0,26	12	47
8 Fließmittel		3,61	1,08	3,90	3,61
w/z (eq)		0,9			
Gesamt		1,001		2,115,7	1,000
Festbetonrohddichte				2,010	

Tab. A147 Hochrechnung auf 1 m³

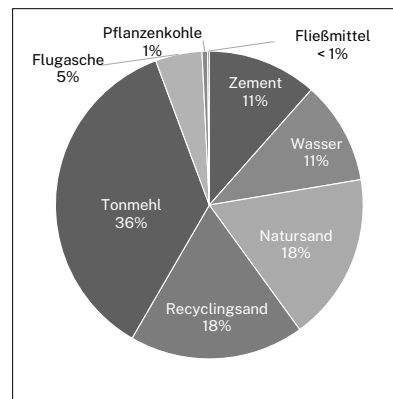


Abb. A349 Gewicht

Anmerkungen

- 1 Zement Schwenk CEM II/C-M (S-LL) 42,5 N
- 4 Recyclingsand DURMIN RC-Brechsand 0/2 aus Gleisschotter (GS-1)
- 7 Pflanzkohle ÖkoTerr Macro EBC-AgroBio
- 8 Fließmittel Sika ViscoCrete-2810

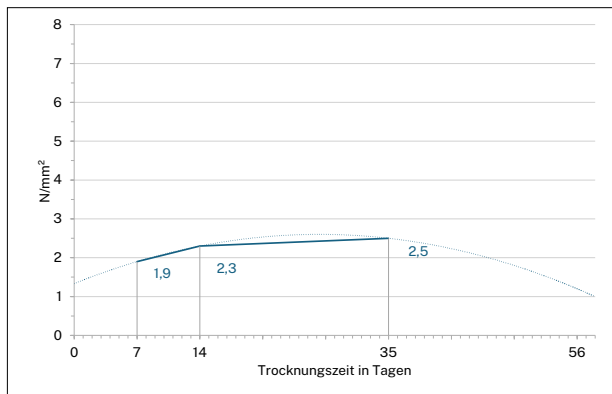


Abb. A350 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A352 Prisma nach BZFP

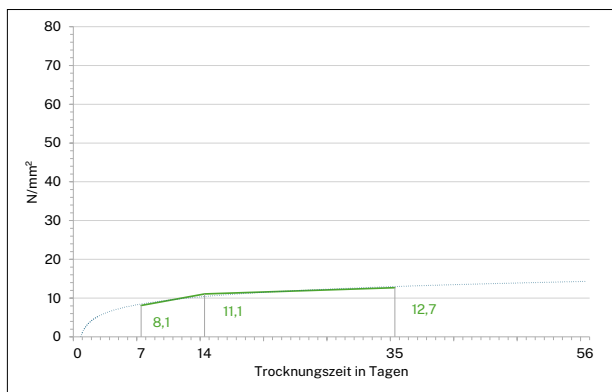


Abb. A351 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3.4 Tonmehl – BKW Mischung 1 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg	l
1 Zement		0,09	3,00	0,28	0,09
2 Wasser		0,25	1,00	0,25	0,25
3 RC-Sand	0-4	0,20	2,65	0,54	0,20
4 Tonmehl		0,19	2,70	0,51	0,19
5 Restporen		0,02			0,02
6 Fließmittel		0,00	1,08	0,005	0,005
w/z	0,90			w/z (eq)	0,32
Gesamt		0,768		1,591	0,768
Festbetonrohddichte				1,970	

Tab. A148 Prüfprisma

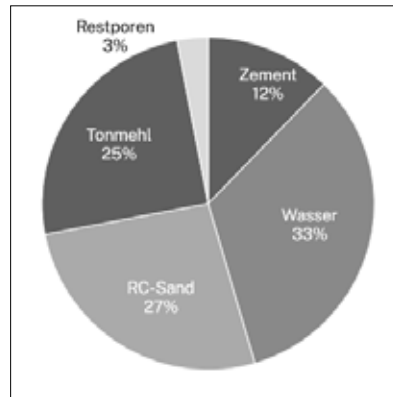


Abb. A353 Volumen

	Körnung	Stoffraum	Stoff- rohddichte	Einwaage	Volumen (lose)
	mm	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	l/m ³
1 Zement		122	3,00	366	122
2 Wasser		330	1,00	330	330
3 RC-Sand	0-4	264	2,65	700	264
4 Tonmehl		248	2,70	670	248
5 Restporen		30			30
6 Fließmittel		6	1,08	6,5	6
w/z	0,90			w/z (eq)	0,32
Gesamt		1.000		2.072	1.000
Festbetonrohddichte				1,970	

Tab. A149 Hochrechnung auf 1 m³

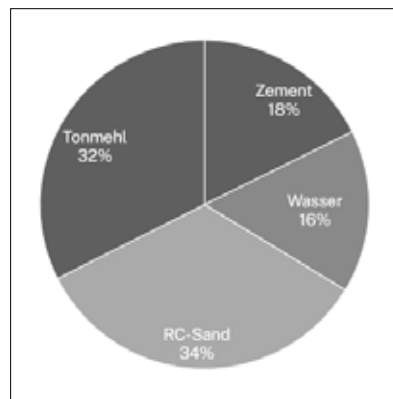


Abb. A354 Gewicht

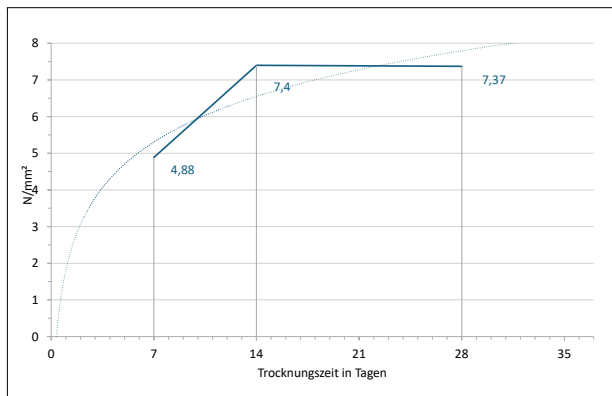


Abb. A355 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A357 Prüfprisma nach BZFP

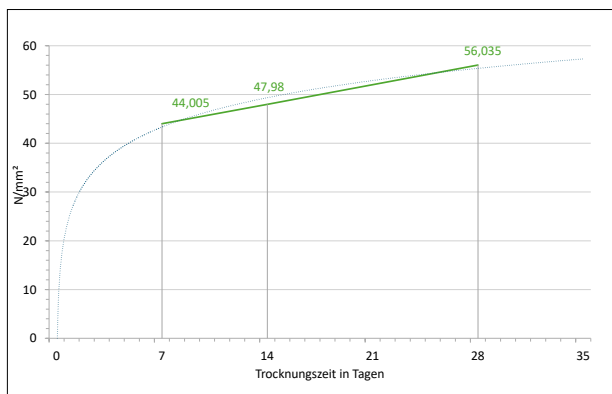


Abb. A356 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3.5 Tonmehl – BKW Mischung 2 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,06	3,00	0,23	0,08
2 Wasser		0,25	1,00	0,25	0,25
3 RC-Sand	0-4	0,18	2,65	0,49	0,18
4 Tonmehl		0,15	2,70	0,40	0,15
5 Pflanzenkohle		0,09	0,26	0,02	0,09
6 Restporen		0,02			0,02
7 Fließmittel		0,00	1,08	0,001	0,001
w/z	1,06			w/z (eq)	0,39
Gesamt		0,768		1,389	0,768
Festbetonrohddichte				1,750	

Tab. A150 Prüfprisma

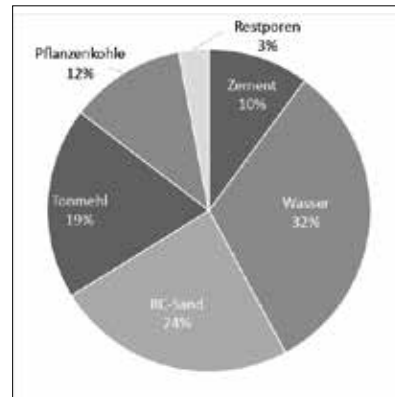


Abb. A358 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		101	3,00	303	101
2 Wasser		320	1,00	320	320
3 RC-Sand	0-4	240	2,65	636	240
4 Tonmehl		192	2,70	518	192
5 Pflanzenkohle		118	0,26	30	118
6 Restporen		30			30
7 Fließmittel		1	1,08	1,1	1
w/z	1,06			w/z (eq)	0,39
Gesamt		1,000		1,809	1,000
Festbetonrohddichte				1,750	

Tab. A151 Hochrechnung auf 1 m³

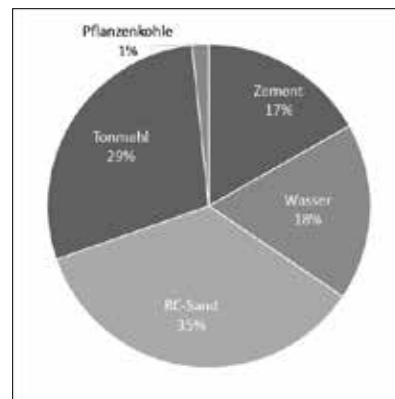


Abb. A359 Gewicht

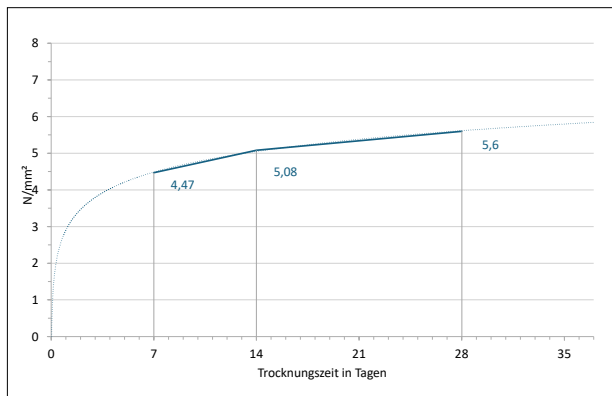


Abb. A360 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A362 Prüfprismen

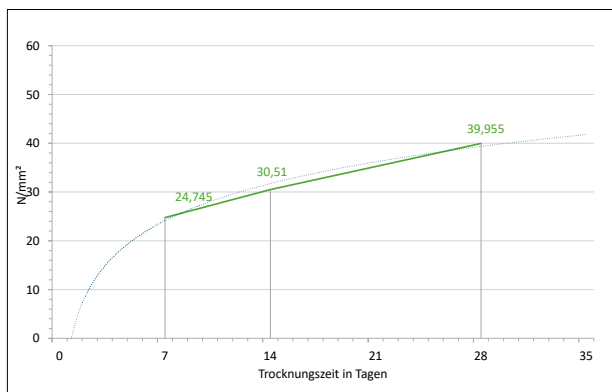


Abb. A361 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3.6 Tonmehl – BKW Mischung 3 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,07	3,00	0,22	0,07
2 Wasser		0,37	1,00	0,37	0,37
3 RC-Sand	0-4	0,16	2,65	0,42	0,16
4 Tonmehl		0,15	2,70	0,40	0,15
5 Restporen		0,02			0,02
6 Fließmittel		0,00	1,08	0,004	0,004
w/z	1,69			w/z (eq)	0,60
Gesamt		0,768		1,398	0,768
Festbetonrohddichte				1,770	

Tab. A152 Prüfrisma

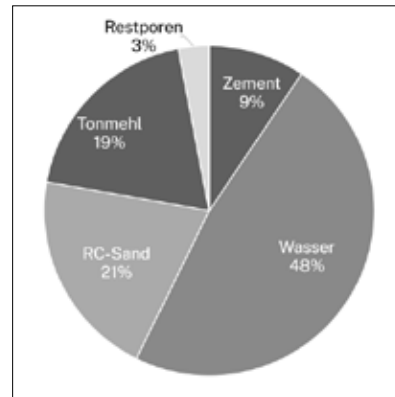


Abb. A363 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		94	3,00	282	94
2 Wasser		476	1,00	476	476
3 RC-Sand	0-4	204	2,65	541	204
4 Tonmehl		191	2,70	516	191
5 Restporen		30			30
6 Fließmittel		5	1,08	5,4	5
w/z	1,69			w/z (eq)	0,60
Gesamt		1,000		1,820	1,000
Festbetonrohddichte				1,770	

Tab. A153 Hochrechnung auf 1 m³

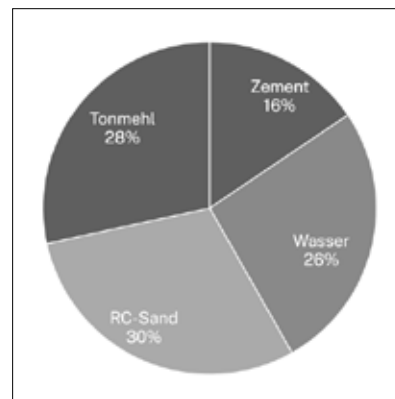


Abb. A364 Gewicht

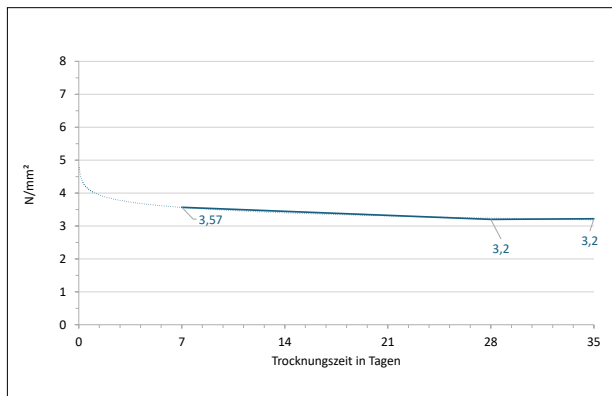


Abb. A365 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A367 Prüfrismen

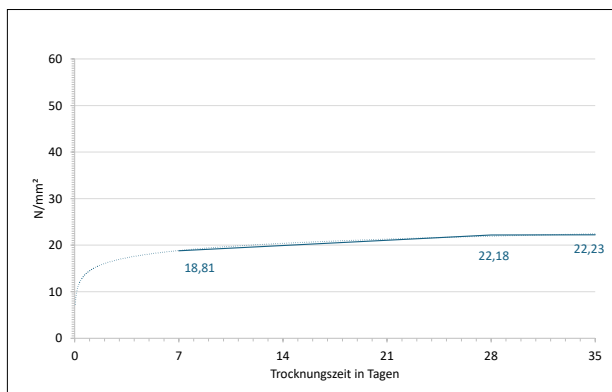


Abb. A366 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3.7 Tonmehl – BKW Mischung 4 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,09	3,00	0,26	0,09
2 Wasser		0,22	1,00	0,22	0,22
3 RC-Sand	0-4	0,26	2,65	0,70	0,26
4 Kies	0-8	0,13	2,65	0,35	0,13
5 Tonmehl		0,04	2,70	0,12	0,04
6 Restporen		0,02			0,02
7 Fließmittel		0,00	1,08	0,002	0,002
w/z	0,85			w/z (eq)	0,59
Gesamt		0,768		1,642	0,768
Festbetonrohddichte				2,030	

Tab. A154 Prüfrisma

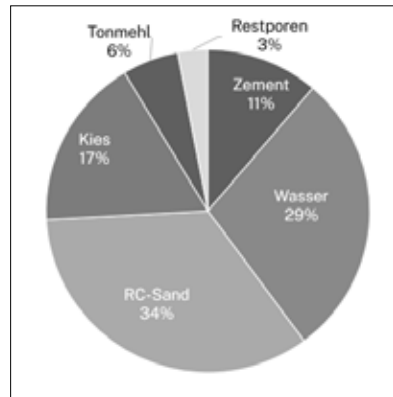


Abb. A368 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		112	3,00	336	112
2 Wasser		286	1,00	286	286
3 RC-Sand	0-4	342	2,65	906	342
4 Kies	0-8	172	2,65	456	172
5 Tonmehl		56	2,70	151	56
6 Restporen		30			30
7 Fließmittel		2	1,08	2,2	2
w/z	0,85			w/z (eq)	0,59
Gesamt		1,000		2,137	1,000
Festbetonrohddichte				2,030	

Tab. A155 Hochrechnung auf 1 m³

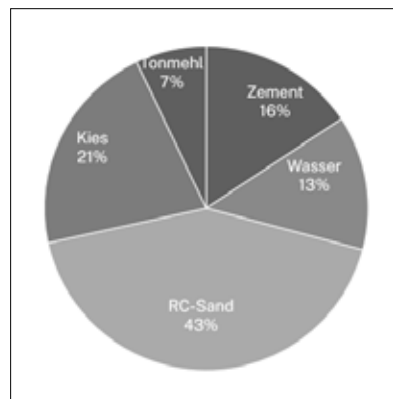


Abb. A369 Gewicht

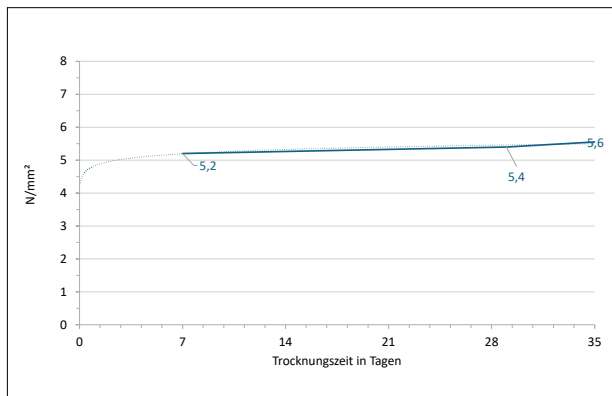


Abb. A370 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A372 Prismen nach DFP

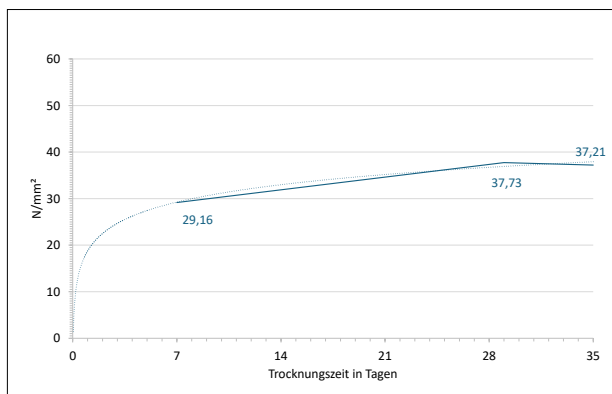


Abb. A371 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.3.8 Tonmehl – BKW Mischung 5 (WS 2025/26)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg	Volumen (lose) l
1 Zement		0,06	3,00	0,18	0,06
2 Wasser		0,22	1,00	0,22	0,22
3 RC-Sand	0-4	0,29	2,65	0,76	0,29
4 Kies	0-8	0,13	2,65	0,35	0,13
5 Tonmehl		0,04	2,70	0,12	0,04
6 Restporen		0,02			0,02
7 Fließmittel		0,00	1,08	0,002	0,002
w/z	1,19			w/z (eq)	0,73
Gesamt		0,768		1,633	0,768
Festbetonrohddichte				2,020	

Tab. A156 Prüfrisma

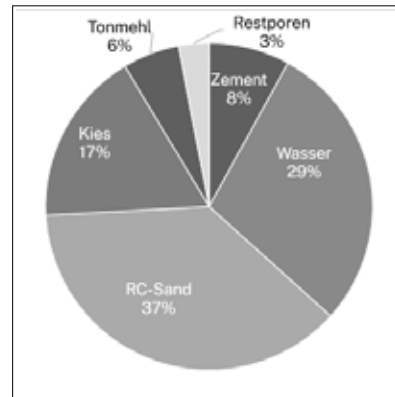


Abb. A373 Volumen

	Körnung mm	Stoffraum dm ³ /m ³	Stoff- rohddichte kg/dm ³	Einwaage kg/m ³	Volumen (lose) l/m ³
1 Zement		80	3,00	240	80
2 Wasser		286	1,00	286	286
3 RC-Sand	0-4	374	2,65	991	374
4 Kies	0-8	172	2,65	456	172
5 Tonmehl		56	2,70	151	56
6 Restporen		30			30
7 Fließmittel		2	1,08	2,2	2
w/z	1,19			w/z (eq)	0,73
Gesamt		1,000		2,126	1,000
Festbetonrohddichte				2,020	

Tab. A157 Hochrechnung auf 1 m³

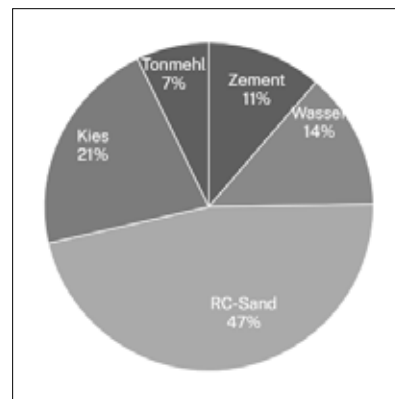


Abb. A374 Gewicht

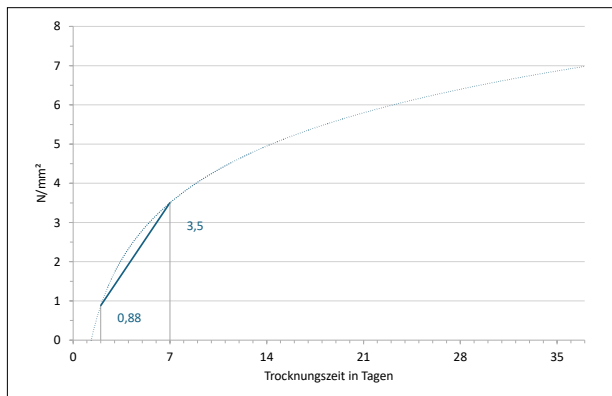


Abb. A375 Biegezugfestigkeit in N/mm²



Abb. A377 Zusatzstoffe

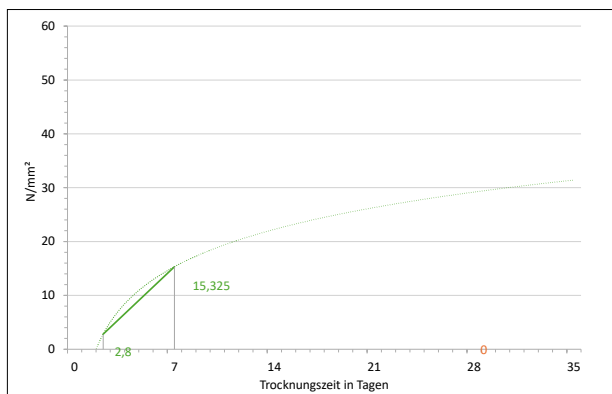


Abb. A376 Druckfestigkeit in N/mm²

A5.3.4 Vergleich Betonmischungen mit Tonmehl (calciniertes Ton)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

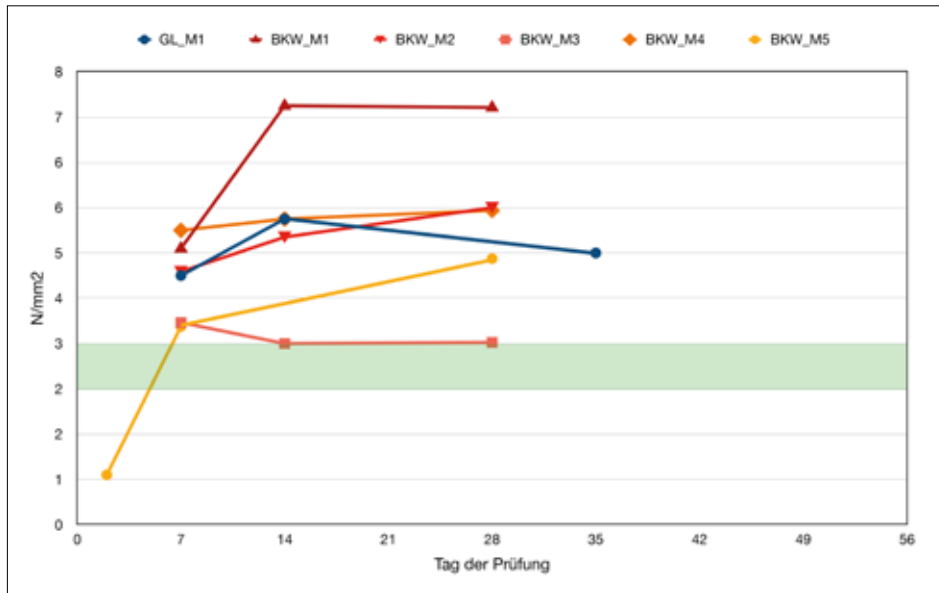


Abb. A378 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Tonmehl (calciniertes Ton) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- GL_M1 Lieder (Masterseminar ws2425)
- BKW_M1 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M2 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M3 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M4 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M5 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)

Tag	GL_M1 [N/mm²]	BKW_M1 [N/mm²]	BKW_M2 [N/mm²]	BKW_M3 [N/mm²]	BKW_M4 [N/mm²]	BKW_M5 [N/mm²]
0						
2						0,88
7	4,40	4,88	4,47	3,57	5,20	3,50
14	5,40	7,40	5,08	3,20	5,40	
28		7,37	5,60	3,22	5,55	4,70
35	4,80					
56						

Tab. A158 Biegezugfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Tonmehl (calciniertes Ton) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

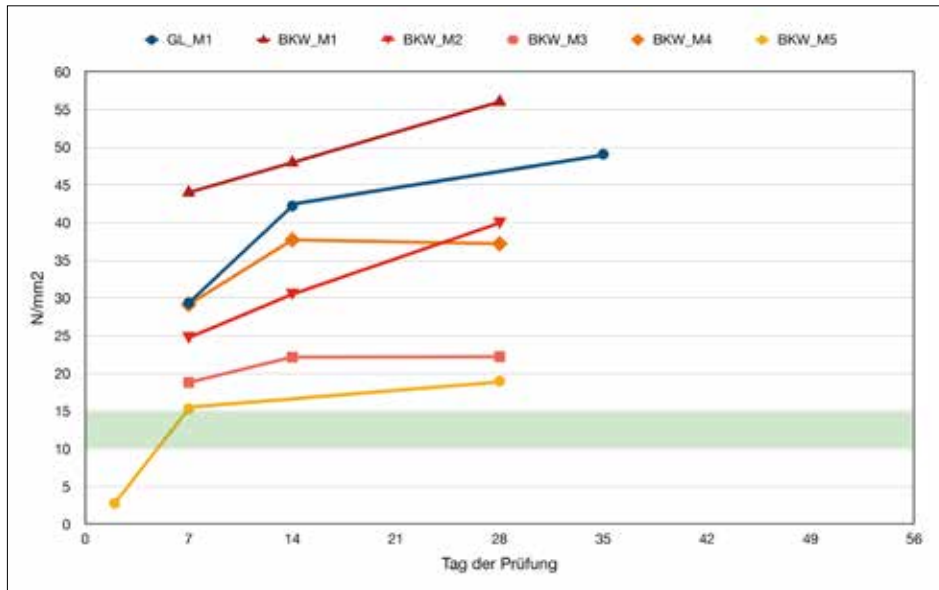


Abb. A379 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Tonmehl (calciniertes Ton) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

- GL_M1 Lieder (Masterseminar ws2425)
- BKW_M1 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M2 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M3 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M4 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)
- BKW_M5 Bengel, Kobielski, Winterhalter (Masterseminar ws2526)

Tage	GL_M1 [N/mm ²]	BKW_M1 [N/mm ²]	BKW_M2 [N/mm ²]	BKW_M3 [N/mm ²]	BKW_M4 [N/mm ²]	BKW_M5 [N/mm ²]
0						
2						2,80
7	29,36	44,01	24,75	18,81	29,16	15,33
14	42,22	47,98	30,51	22,18	37,73	
28		56,04	39,96	22,23	37,21	19,00
35	49,09					
56						

Tab. A159 Druckfestigkeitswerte verschiedener Betonmischungen mit Tonmehl (calciniertes Ton) als Zusatzmaterial (OHM-AR)

A5.3.5 Ökobilanzierung Materialeexperimente Leichtbeton-Rezepturen

III. Appendix
Optimierungen
Fassadenbauteil

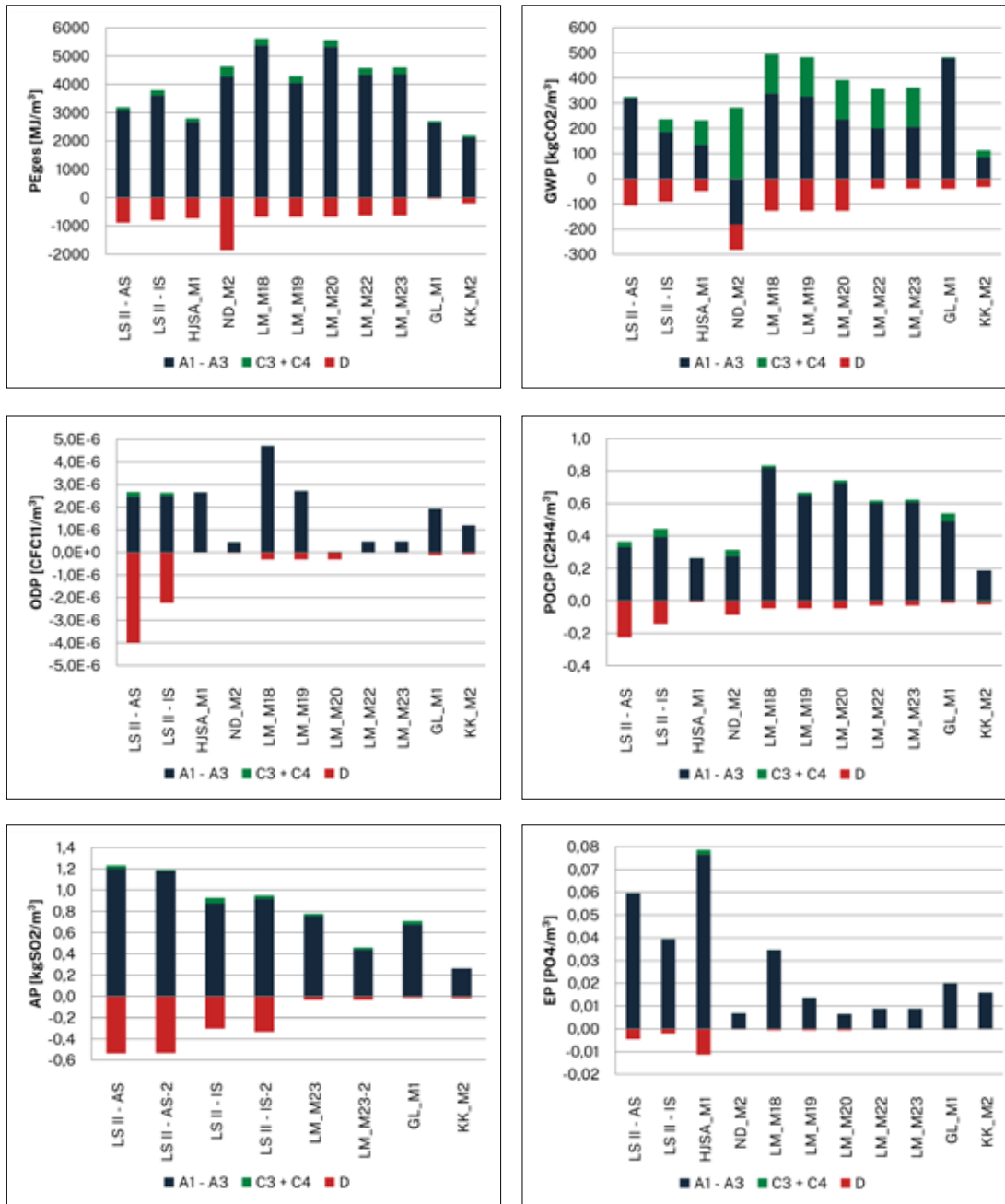


Abb. A380 Indikatoren (Ressourceneinsatz, Umweltwirkung) für die untersuchten Betonrezepturen aus den Materialexperimenten für die Module A1 bis A3, C3 und C4 sowie D (Produktion, Ende Lebensweg, Potentiale) pro Kubikmeter im Vergleich zu den beiden Leichtbetonschichten (AS: Außenschicht, IS: Innenschicht) für Lösungsstrategie II (OHM-MB-VS-ieg)

A6 Anhang

III. Appendix

Anhang

A6.1 Literatur

- AGITEC, 23.04.2024 – AGITEC GmbH – Aero A2 board. Technisches Merkblatt. Stuttgart, 23.04.2024.
- Albus, Jutta; Hollmann-Schröter, Kirsten: Hybrid-Beton – Nachhaltigkeitspotentiale durch ganzheitliche Planungsstrategien für multifunktionale Systemkomponenten. In: DBZ - Deutsche Bauzeitschrift, 69. Jg., 2/ 2021, S. 64–67.
- Annunziata, E., Frey, M., & Rizzi, F. (2013). Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe. *Energy*, 57, 125-133.
- Barbero, Ever J.: *Introduction to Composite Materials Design*. Boca Raton: CRC Press, 3/2017 [o. S.]
- Berger, Richard: *Über die Schalldurchlässigkeit*. Dissertation. München, Technische Hochschule, 1911
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): *Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand*. Berlin, 2015.
- BMWSB – Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Berlin. <https://oekobaudat.de/datenbank/suche.html> < 27.03.2024 / 27.02.2025>.
- Bursian, Gerolf; Pinternagel, Ernst-Karl: *Holzbeton. Produktion, Anwendung und Erfahrungen*. Schriftenreihen der Bauforschung: Reihe Baustoffe, Bd. 20. Berlin(Ost): Bauinformation DDR, 1973.
- Cremer, Lothar: *Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Schalleinfall*. In: *Akustische Zeitschrift*, 7/1942, S. 81.
- Cremers, Jan; Bonfig, Peter; Dehlinger, Christian; Offtermatt, David: *Kompakte Hofhäuser. Weitere Untersuchungen auf dem Weg in die Realisierung. Ergebnisse der Förderstufe 2*. Stuttgart: Hochschule für Technik, 2024. <https://doi.org/10.60663/HFTor-490>.
- Cremers, Jan; Bonfig, Peter; Offtermatt, David: *Kompakte Hofhäuser. Anleitung zu einem urbanen Gebäudetyp*. HFT Stuttgart (Hrsg.). Zürich: Triest Verlag, 2021.
- Cremers, Jan; Bonfig, Peter: *DFG-Projekt „Kompakte Hofhäuser für nachhaltige Siedlungen hoher Dichte“*. Abschlussbericht (Förderphasen 1 und 2. Stuttgart: Hochschule für Technik 2024. <https://doi.org/10.60663/HFTor-511>
- Debona, Carolin; Liegl, Rudolf: *Holzleichtbeton HLB als Material für die Sanierung von Außenwänden. Bewertetes Schalldämm-Maß Rw nach DIN 4109, Schallschutz im Hochbau*. Möhler + Partner Ingenieure AG - Beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik. Bericht [nicht veröffentlicht]. München, 11. März 2019.
- Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.: *DEGA-Empfehlung 101: Akustische Wellen und Felder*. Berlin, 2006
- Deutscher Holzbaupreis 2005. Informationsdienst Holz. Berlin/Düsseldorf, Mai/2005
- DGNB System – *Kriterienkatalog Gebäude Neubau. VERSION 2018*. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. Stuttgart, Mai 2018.
- Dias, O. A. T., Negrão, D. R., Gonçalves, D. F. C., Cesarino, I., & Leão, A. L. (2017). Recent approaches and future trends for lignin-based materials. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 655(1), 204-223.
- DIN 1053-1: *Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung*. Berlin: Beuth Verlag, 11/1996.
- DIN 4108-10:2021-11, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe*. Berlin, 2021.
- DIN 4108-4:2020-11, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*. Berlin, 2020.
- DIN 4109-1: *Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderungen*. Berlin: Beuth Verlag, 01/2018.
- DIN 4109-2: *Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise zur Einhaltung der Anforderungen*. Berlin: Beuth Verlag, 01/2018.
- DIN 4109-32, *Schallschutz im Hochbau - Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau*. Berlin: Beuth Verlag, 07/2016.
- DIN 4109-34, *Schallschutz im Hochbau - Teil 34: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Vorsatzschalen vor massiven Bauteilen*. Berlin: Beuth Verlag, 07/2016.
- DIN 4109-5, *Schallschutz im Hochbau – Teil 5: Erhöhte Anforderungen*. Berlin: Beuth Verlag, 08/2020

- DIN EN 13501-1:2019-05, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1. Berlin, 2019.
- DIN EN 13823:2023-04 - Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten - Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen. Berlin: Beuth Verlag, 04/2023.
- DIN EN 14351-1: Fenster und Außentüren - Produktnorm, Leistungseigenschaften. Berlin: Beuth Verlag, 12/2016.
- DIN EN 15804:2022-03, Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Berlin. 2022.
- DIN EN 15978:2012-10, Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode. Berlin, 2012.
- DIN EN ISO 11925-2:2020-07 - Prüfungen zum Brandverhalten - Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung - Teil 2. Berlin: Beuth Verlag, 07/2020.
- DIN EN ISO 14025:2011-10, Bauteile – Umweltzeichnungen und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren. Berlin, 2011.
- DIN EN ISO 14040:2021-02, Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Berlin, 2021.
- DIN EN ISO 1716:2010-11 - Prüfungen zum Brandverhalten von Produkten - Bestimmung der Verbrennungswärme (des Brennwertes). Berlin: Beuth Verlag, 11/2010.
- DIN EN ISO 6946:2018-03, Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren. Berlin, 2018.
- DIN EN ISO 8990: Wärmeschutz - Bestimmung der Wärmedurchgangseigenschaften im stationären Zustand - Verfahren mit dem kalibrierten und dem geregelten Heizkasten. Berlin: Beuth Verlag, 09/1996
- DIN V 18599:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden. Berlin: Beuth Verlag, 09/2018.
- Dittrich, Sebastian: Ein Baustoff für die Zukunft - Alkalisch aktivierte Binder. Hrsg. v.: Fraunhofer- Institut für Bauphysik und funktionale Baustoffe. Faltblatt. Valley, 01/2017
- Draxel, Ellen: Stelzenhäuser machen Schule. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 74, 30. März 2022, S. R5.
- Ebert, H. P.: High-performance insulation materials. In Nearly zero energy building refurbishment. London: Springer, 2013, pp. 457-481.
- Fasold, Wolfgang; Veres, Eva: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. Berlin: Huss-Medien, Verlag Bauwesen, 2/2003.
- Fiedler, Sebastian: Beratungskampagne zur Material- und Rohstoffeffizienz des Ressourceneffizienz-Zentrums Bayern (REZ) (10/2023 – 12/2023). Ergebnisbericht für die Consulta AG. Würzburg: WUQM Consulting GmbH, 28.03.2024.
- Fischer, Stefanie: Hanf als Baustoff. Untersuchungen an mineralisch gebundenen Werkstoffen aus Hanffasern und Schäben. Bachelorarbeit. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann, Prof. Dr.-Ing. René Conchon. Technische Hochschule Nürnberg, Fakultät Bauingenieurwesen. Nürnberg, Sommersemester 2015, 31. Juli 2015
- Freimann, Thomas: Mechanisch-physikalische Eigenschaften von Holz- leichtbetonen. In: Thomas Steinborn (Hrsg.): Festschrift Ludger Lohaus Berichte aus dem Institut für Baustoffe, Heft 12. Hannover: Selbstverlag, 2014, S. 1–14.
- GEA GmbH / Grassinger Emrich Architekten GmbH: Funktionale Leistungsbeschreibung für raumFAIR e.G. Projekt Kleiberweg/ Henschelstraße WA1 West (KLE). München, 28.07.2023
- Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (GebäudeEnergieGesetz - GEG). Berlin, 2024.
- Gösele, Karl; Schüle, Walter; Künzel, Helmut: Schall, Wärme, Feuchte. Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau. Wiesbaden, Berlin: Bauverlag, 10/1997.
- Greis, Benjamin: Entwicklung eines Werkzeugs zur ökologischen Bewertung von Gebäuden und Baustoffen am Beispiel eines Einfamilienhauses. Bachelorarbeit. Nürnberg, Technische Hochschule Nürnberg/Fakultät Maschinenbau und Versorgungstechnik, WS 2012/13
- Grimm, Roland: Aus der Forschung: Lignin-Aerogele, 06.12.2018. [https:// www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/forschung_technik_trends/aus-der-forschung-lignin-aerogele/](https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/forschung_technik_trends/aus-der-forschung-lignin-aerogele/) <14.04.2020>
- Gumpp & Maier GmbH: Auftrags- Leistungsverzeichnis für Projekt Kleiberweg/ Henschel-

- straße WA1 West (KLE). Binswangen, 24.11.2023
- Hauer, Bruno: Potenziale des Sekundärstoffeinsatzes im Betonbau – Teilprojekt B. In Hauer Bruno et al.: Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2011, S. 118, Tabelle 63
- Herzog, Thomas; Sieveke, Matthias: Im Dreitakt himmelwärts. In: Hochparterre, Beilage zur ..., 11/2002, S. 4–9
- Hessinger, Joachim; Trindorfer, Regina: Nachweis Luftschalldämmung von Wänden. Prüfbericht Nr. 24-004192-PR01 (PB A01-F02-04-de-01). Rosenheim: ift Rosenheim, 12.11.2024.
- Hülsmeier, Frank: vakutex. Vakuumgedämmte Fassadenelemente aus Textilbeton. Forschungsbericht / Abschlussbericht, F 2872. Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig HTWK Leipzig/ai:L Architektur-Institut Leipzig, Forschungsgruppe energie.design. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013
- IAB - Institut für Angewandte Bauforschung Weimar gemeinnützige GmbH. Prüfbericht 1255 D016-PB0074-25. E-Modul-Prüfung. Weimar, 17.06.2025
- IBU – Institut Bauen und Umwelt e. V.: Bundesverband Leichtbeton e.V. – Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025 und /EN 15804 – Großformatige Elemente aus Leichtbeton. Berlin, 2019.
- IBU – Institut Bauen und Umwelt e. V.: Evonik Operations GmbH – Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025 und /EN 15804 – Calostat. Berlin, 2021.
- IBU – Institut Bauen und Umwelt e. V.: <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/>. Berlin, <27.02.2025>.
- IBU – Institut Bauen und Umwelt e. V.: Kingspan Insulation B.V. – Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025 und /EN 15804 – Kooltherm K20. Berlin, 2023.
- IBU – Institut Bauen und Umwelt e. V.: Porextherm Dämmstoffe GmbH – Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025 und /EN 15804 – Vacupor NT-B2-S / Vacuspeed und Vacupor XPS-B2-S / Vacuspeed XPS, Vacupor RP-B2-S / Vacuspeed RP, Vacupor TS-B2-S / Vacuspeed TS. Berlin, 2020.
- IBU – Institut für Bauen und Umwelt e. V.: Berlin. <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/> <27.03.2024>.
- IBU – Institut für Bauen und Umwelt e. V.: Bundesverband Leichtbeton e.V. – Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025 und /EN 15804 – Großformatige Elemente aus Leichtbeton. Berlin, 2019.
- IBU – Institut für Bauen und Umwelt e. V.: Evonik Operations GmbH – Umwelt-Produktdeklaration nach /ISO 14025 und /EN 15804 – Calostat. Berlin, 2021.
- ift Rosenheim GmbH. Produktkategorieregeln Teil A – Allgemeine Produktkategorieregeln für Umweltproduktdeklarationen nach EN ISO 14025 und EN 15804 gemäß dem Programmbetrieb zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen (EPD) des ift Rosenheim. Rosenheim, 2023.
- ift Rosenheim GmbH. Produktkategorieregeln Teil B – für Bauprodukte aus Beton und Betonelemente – Produktkategorieregeln für Umweltproduktdeklarationen nach EN ISO 14025 und EN 15804 gemäß dem Programmbetrieb zur Erstellung von Umweltproduktdeklarationen (EPD) des ift Rosenheim. Rosenheim, 2025.
- ift Rosenheim GmbH. Solidian GmbH – Umweltproduktdeklaration (EPD) – Bewehrungs- und Befestigungssysteme solidian GRID und solidian REBAR. Rosenheim, 2022.
- Immoportal GmbH, Burgthann. <https://www.immoportal.com/immobilienpreise/muenchen/lochhausen> <06.03.2026>
- JLL München Real Estate, München. <https://www.jll.com/de-de/insights/market-perspectives/germany-living> <06.03.2026>
- kbp – Kauer - Brodmeier - Peter Architekten & Ingenieure GmbH: Berechnungen zum Wärmeschutz, Feuchteschutz und Hitzeschutz [verschiedener Außenwandkonstruktionen]. Würzburg, 07.04.2022 (Interner Bericht)
- Krippner, Roland; Freimann Thomas: MA-3010 (Masterseminar) Baustoffwende – Neue Materialien für nachhaltige und CO₂-reduzierte Betone. Technische Hochschule Nürnberg, Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen. Nürnberg, Wintersemester 2025/2026.
- Krippner, Roland; Freimann Thomas: MA-3020 (Masterseminar) Zukunft Beton – Nachhaltigkeitsstrategien mit alternativen Bindemitteln und neuartigen Rezepturen. Technische Hochschule Nürnberg, Fakultäten Architektur und Bauingenieurwesen. Nürnberg, Wintersemester 2024/2025.

- [BAU 2015]. BetonMarketing Deutschland GmbH / InformationsZentrum Beton GmbH (Hrsg.). Flyer. Erkrath, 2015.
- Krippner, Roland; Freimann, Thomas: Holzleichtbeton als Material für die Sanierung von Außenwänden (01/2012 – 03/2014). Stiftung Bayerisches Baugewerbe, München. Abschlussbericht: November 2017 (unveröffentlicht)
- Krippner, Roland; Freimann, Thomas: Holzleichtbeton mit Textilbewehrung – Verbundwerkstoff für plattenförmige Bauteile (10/2009 – 03/ 2011). Staedler Stiftung, Nürnberg. Abschlussbericht: November 2011 (unveröffentlicht)
- Krippner, Roland; Freimann, Thomas: Materialexperiment Holzleichtbeton. In: Baukultur. Zeitschrift des DAI, 37. Jg., 1/2015, S. 34–35.
- Krippner, Roland; Niebler, Dagmar; Issig, Holger: Holzleichtbeton im Hochbau. Holzbau der Zukunft. Teilprojekt 17. Reihe Holzbauforschung, Band H 007/17. TU München, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Baukonstruktion, Prof. Florian Musso. Stuttgart 2008.
- Krippner, Roland; Niebler, Dagmar; Urbonas, Liudvikas; Heinz, Detlef: Schnell erhärtender Holzleichtbeton. Teil II: Mögliche Anwendungsgebiete. In: holztechnologie, 50. Jg., 5/2009, S. 19-23
- Krippner, Roland: Holzleichtbeton. In: DBZ - Deutsche Bauzeitschrift, 50.Jg., 12/2002, S. 74-77.
- Krippner, Roland: Review: Holzleichtbeton. Zu Forschungsstand und Einsatzmöglichkeiten im Bereich von Innenausbau und Fassade. In: holztechnologie, 58. Jg., 4/2017, S. 42-49.
- Krippner, Roland: Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton mit Latentwärmespeichermaterialien. In: Bauphysik, 27. Jg., 3/2005, S. 173-180.
- Krippner, Roland: Zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich von Gebäudefassaden. Dissertation. München: TU München, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Mai 2004. <https://mediatum.ub.tum.de/?id=601009> <15.04.2020>
- KS-Schallschutzrechner Version 8.03. Hannover: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e. V., 2021
- LGA Bautechnik GmbH: Prüfbericht Nr. 24V40227/e [Korngemisch 0/5 mm]. Nürnberg, 11.09.2024
- LGA Bautechnik GmbH: Prüfbericht Nr. Nr. 24V40229/a [Edelbrechsand]. Nürnberg, 11.09.2024
- Manara, Jochen; Stark, Cornelia: Bestimmung des U-Werts eines Beton-VIP-Beton-Sandwichbauteils. Report CAE - 1224 - 10 (2024). Würzburg: Center for Applied Energy Research e.V., 09.01.2025.
- Manara, Jochen; Stark, Cornelia: Bestimmung des U-Werts eines Beton-VIP-Beton-Sandwichbauteils. Report CAE - 0525 - 05 (2025). Würzburg: Center for Applied Energy Research e.V., 28.07.2025.
- Maysenhölder, Waldemar: Schalldämmung mit Vakuumisulationspaneelen. Messung und rechnerische Modellierung. In: Bauphysik, 30. Jg., 6/2008, S. 366
- Maysenhölder, Waldemar: Untersuchung der schalltechnischen Eigenschaften und der Dröhneffekte von Doppelbodenplatten. IBP-Bericht B-BA 2/1993. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1993.
- Meyerhöfer, Lucas: Corkrete – Kork als alternativer Zuschlagstoff für nachhaltigen Leichtbeton. Masteranschlussarbeit. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Roland Krippner, Prof. Dr.-Ing. Thomas Freimann. Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät Architektur. Nürnberg, Wintersemester 2024/2025, Februar 2025
- MFPA Leipzig GmbH: Bestimmung der Verbrennungswärme nach DIN EN ISO 1716:2010-11. Prüfbericht Nr. PB 3.1/24-296-1. Leipzig: Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH, 7. Mai 2025
- MFPA Leipzig GmbH: Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten, Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung nach DIN EN ISO 11925-2:2020-07. Prüfbericht Nr. PB 3.1/25-153-2. Leipzig: Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH, 17. September 2025a
- MFPA Leipzig GmbH: Prüfungen nach dem SBI-Verfahren (Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – ...) nach DIN EN 13823:2023-04. Prüfbericht Nr. PB 3.1/25-153-1. Leipzig: Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH, 17. September 2025b
- ÖKOBAUDAT. https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uid=87371640-546c-4d9c-84cc-c13b6be94146&version=00.02.000&stock=OB_D_2024_I&lang=de

- POLIGOM: Porous Lignous Organic Materials („Hochporöse Ligninmaterialien“) (2019 – 2022). Vgl. u. a. auch Altarabeen, Razan et al.: Lignin Polyurethane Aerogels. Influence of Solvent on Textural Properties. In: Gels 2024, 10(12), 827; <https://doi.org/10.3390/gels10120827>.
- Przybilla, Steve: Oben ist noch Platz. In: Süddeutsche Zeitung, Nr. 115, 18./19. Mai 2019, S. 49
- Quraishi, S. et al. (2015). Novel non-cytotoxic alginate–lignin hybrid aerogels as scaffolds for tissue engineering. The Journal of Supercritical Fluids, 105, 1-8.
- Reckter, Bettina: Runde Teilchen aus Aerogel Verfahrenstechnik. In: VDI Nachrichten, Nr. 39, 27.09.2019, S. 15.
- Renuables – Umweltproduktdeklaration (EPD) – Spaceloft Aerogel Dämmstoff. UK, 2015
- Sigmund, Bettina: Aktivierte Gebäudehülle. In: Detail - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, 58. Jg., 6/2018, S. 10–12.
- Smirnova, Irina: Stoffliche Nutzung von Lignin: Nanoporöse Materialien. Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Thermische Verfahrenstechnik. Forschungsbericht / Abschlussbericht [Förderkennzeichen: 22018312]. Hamburg, 2018
- Albstadt: solidian GmbH, 11.11.2024.
- solidian GRID Q85-CCE-21 (F01R01). Technical Product Data Sheet. Version: 2407. Albstadt: solidian GmbH, 08.07.2024.
- solidian GRID Q95-CCE-38 (F01R01). Technical Product Data Sheet. Version: 2407. Albstadt: solidian GmbH, 08.07.2024.
- solidian GRID Q121-RRE-38 (F02R01). Technisches Produktdatenblatt. Version: 2411. solidian REBAR. Technisches Produktdatenblatt. Version: 2208. Albstadt: solidian GmbH, 08.08.2022.
- solidian. Carbon-Bewehrungsgitter solidian GRID zur Bewehrung von Betonbauteilen mit nichtmetallischer Bewehrung. abZ/ aBG. Nummer: Z-1.6-308. Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik, 01.08.2024.
- Stamm-Teske, Walter: Experiment Holzbeton green:house, Weimar. In: DBZ - Deutsche Bauzeitschrift, 59. Jg., 12/2011, S. 38–43.
- Stephan, Wolfram: HLB Aerogel Konstruktionen – Wirkungsabschätzung. Interner Bericht. Technische Hochschule Nürnberg, Institut für Energie und Gebäude - ieg. Nürnberg 25.07.2020
- Tichelmann, Karsten Ulrich et al.: Deutschland-Studie 2015. Wohnraumpotentiale durch Aufstockungen. Kurzfassung. Bearbeitung: Technische Universität Darmstadt; ISP Eduard Pestel Institut für Systemforschung e.V. Darmstadt, Stand 29. Februar 2016
- Tichelmann, Karsten Ulrich et al.: Deutschlandstudie 2019. Wohnraumpotentiale in urbanen Lagen. Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden. Bearbeitung: Technische Universität Darmstadt; ISP Eduard Pestel Institut für Systemforschung e.V.; VHT Institut für Leichtbau | Trockenbau | Holzbau. Darmstadt, Stand 13. Februar 2019
- Torgal, F. P., Mistretta, M., Kaklauskas, A., Granqvist, C. G., & Cabeza, L. F. (2013). Nearly zero energy building refurbishment. Nearly Zero Energy Build Refurb, 555-582.
- Ubakus-U-Wert-Rechner. u-wert.net GmbH, Kraichtal. <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/> < 31.03.2025>
- Universität Stuttgart, ILIAS für Lehre und Lernen. <https://ilias3.uni-stuttgart.de> <24.01.2026>
- Urbonas, Liudvikas; Heinz, Detlef; Krippner, Roland; Niebler, Dagmar: Schnell erhärtender Holzleichtbeton. Teil I: Hydratationsmechanismen und physikalisch-technische Eigenschaften der Holzbetone. In: holztechnologie, 50. Jg., 4/2009, S. S. 26-31
- VDI-Richtlinie 2719: Schallschutz von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. Düsseldorf: VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 08/1987.
- Wang, C., Xiong, Y., Fan, B., Yao, Q., Wang, H., Jin, C., & Sun, Q. (2016). Cellulose as an adhesion agent for the synthesis of lignin aerogel with strong mechanical performance, Sound-absorption and thermal insulation. Scientific reports, 6(1), 1-9.
- Winter, Stefan; Henke, Klaudius; Talke, Daniel: Additive Fertigung freigeformter Bauelemente durch numerisch gesteuerte Extrusion von Holzleichtbeton. Forschungsbericht / Abschlussbericht, F 3002. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016.
- Ziegelindustrie / Fachverband Nord e.V., Oldenburg. <https://www.ziegelindustrie.de/zweischaliges-mauerwerk/bauphysik/schallschutz> <24.01.2026>
- Zwycycki, Daia: Holzleichtbeton im Verbund mit Holz – ziemlich beste Freunde. Vortrag Universität der Bundeswehr. München 01.02.2016