

Gottlieb-Daimler-Straße, Gebäude 60
67663 Kaiserslautern
Telefon: +49 631 205 22 97
Telefax: +49 631 205 31 01
E-Mail: wolfgang.breit@bauing.uni-kl.de
www.bauing.uni-kl.de/fw

BBR-Kurzbericht

SF-10.08.18.7-10.32 / II 3-F20-10-056

vom 15. Mai 2013

Anwendungssichere Verwendung von Hohlraumbodensystemen mit Fließestri- chen und starren Belägen (Systemböden)

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Eva-Maria Ladner

Gesamtkosten: 157.430 €

Anteil Bundeszuschuss: 94.500 €

Projektlaufzeit: 01.12.2010-15.05.2013

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-10.32 / II 3 – F20-10-056)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Dieser Bericht umfasst 9 Seiten (inkl. Deckblatt).

Wiedergabe, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen der TU Kaiserslautern gestattet. Jede Haftung des Fachgebiets und seiner Mitarbeiter aus mündlichen oder schriftlichen Auskünften, Beratungen oder Gutachten ist, soweit gesetzlich zulässig, ausgeschlossen. Von Ansprüchen Dritter sind wir freizustellen.



BILFINGER



Ziel der Forschungsaufgabe

Hohlböden sind sogenannte Systemböden, d. h. Fußbodenkonstruktionen, die als Gesamtsystem ohne Belag nach DIN EN 13213 geprüft werden und in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Erstprüfung hinsichtlich der Tragfähigkeit in bestimmte Belastungsgruppen/-klassen eingestuft werden. Bodenbeläge werden im Rahmen der Erstprüfung und der Einstufung in Belastungsklassen nicht berücksichtigt. Größere Verformungen können von elastischen oder textilen Bodenbelägen schadensfrei aufgenommen werden, während es bei starren Bodenbelägen zu Schäden in Form von Rissen und/oder Ablösungen der Beläge kommen kann. Für die Belegung mehrschichtiger Hohlbodensysteme mit Fließestrichen mit starren Belägen aus keramischen Fliesen oder Natursteinplatten liegen derzeit keine grundsätzlichen Regelungen vor.

Die Festigkeiten des Fließestrichs werden nach DIN 18560 „Estriche im Bauwesen“ bestimmt. Der verwendete Estrich bei einem Hohlbodensystem kann jedoch nicht direkt einem Teil der DIN 18560 zugeordnet werden, da in dieser Norm von einer vollflächigen Abtragung der Lasten ausgegangen wird. Das Tragsystem eines Hohlbodensystems entspricht einer auf dem Stützenraster aufgelagerten mehrschichtigen Platte.

Ausgehend von Schadensfällen aus der Baupraxis, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes experimentelle Untersuchungen und Finite Elemente Modellierungen des Trag- und Verformungsverhaltens vorgenommen, um zu einer ausreichenden Planungs- und Anwendungssicherheit im Umgang mit derartigen Bodensystemen zu gelangen. Durch das Forschungsvorhaben sollte für Planer und Ausführende die bestehende Regelungslücke geschlossen und eine ausreichende Planungs- und Anwendungssicherheit im Umgang mit derartigen Bodensystemen erreicht werden.

Durchführung der Forschungsaufgabe

Im Rahmen des Versuchsprogramms wurden zunächst die Materialkennwerte der einzelnen Bestandteile der Hohlraumbodensysteme bestimmt. In Großversuchen wurden verschiedenen Hohlraumböden mit unterschiedlichem Systemaufbau anschließend auf ihre Belastbarkeit geprüft. Hierbei wurden sowohl Versuche an Systemen ohne Belag entsprechend DIN EN 13213, als auch Versuche an Systemen, die mit starrem Belag versehen waren, durchgeführt. Gemessen wurden dabei die Belastungen an unterschiedlichen Stellen sowie die zugehörigen Verformungen, die als Grundlage für die FE-Simulation dienten.

Materialkennwerte

Fließestriche

Die Produktauswahl beschränkte sich auf handelsübliche Anhydritfließestriche. Bei den Fließestrichen wurden sowohl Frischmörtelkennwerte (Frischmörteltemperatur, Ausbreitmaß, Luftporengehalt und Rohdichte) als auch Festmörtelkennwerte (Biegezug- und Druckfestigkeit sowie Elastizitätsmodul) bestimmt. Geprüft wurde jeweils im Alter von 7, 28, 56 und 91 Tagen. Es wurden zusätzlich Schwindmessungen über die Dauer von 91 Tagen und Bestätigungsprüfungen im Alter von 28 Tagen durchgeführt. Aus diesen Versuchen wurden anschließend zwei Estriche für die Bauteilversuche ausgewählt.

Unterkonstruktion: Gipsfaserplatte und Stützen

Die Prüfung von faserverstärkten Gipsplatten wurde in Anlehnung an DIN EN 15283-2 durchgeführt.

Die Stützen wurden nach DIN EN 12825 geprüft. Dabei mussten die Stützen der vierfachen Nennlast und einer maximalen Stauchung standhalten und durften keinerlei Anzeichen von Versagen aufweisen.

Bauteilversuche

Systemaufbauten: Hohlraumboden ohne Belag

Es wurden vier Versuchsfelder hergestellt, die sich in ihrem Aufbau bezüglich Stützenabstand, Estrichdicke und Estrichart unterschieden. Versuchsfeld 1 entsprach dem Aufbau nach Herstellerangaben. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht des Versuchsprogramms.

Tabelle 1: Versuchsaufbau Übersicht Versuchsfeld 1 bis 4

Versuchsfeld	Stützenabstand	Estrichdicke	Verwendeter Estrich
Versuchsfeld 1	600 / 300*	38 mm	Estrich III (C30 F6)
Versuchsfeld 2	600 / 300*	38 mm	Estrich V (C30 F5)
Versuchsfeld 3	600 / 300*	76 mm	Estrich III (C30 F6)
Versuchsfeld 4	300 / 300*	38 mm	Estrich III (C30 F6)
*Stützenabstand an zwei aneinander liegenden Rändern			

Systemaufbauten: Hohlraumboden mit Belag

Auf der Grundlage der Ergebnisse wurden zwei weitere Versuchsfelder mit Belag analog zu Versuchsfeld 1 geprüft. Der einzige Unterschied bestand im Aufbringen des Belags (ohne Verband sowie im Läuferverband). Bei diesen Versuchen wurde der Einfluss der Anordnung der Fugen auf den Lastabtrag geprüft.

Versuchsdurchführung

Die Systemprüfung der Hohlraumböden wurde nach DIN EN 13213 durchgeführt. Bei der Belastung wurde neben der aufgetragenen Last die Verformung (Durchbiegung) mittels induktiven Wegaufnehmern gemessen.

Für die spätere Auswertung ist zu beachten, dass sich die ermittelten Verformungen zusammensetzen aus Stützensenkung, Verformung der Gipsfaserplatte und des Estrichs sowie der Verformung („Zusammendrücken“) der Gummiplatte (erforderlich für die Prüfung nach DIN EN 13213).

Versuchsdurchführung: Hohlraumboden ohne Belag

Jedes Versuchsfeld wurde an den drei normativ vorgegebenen sowie an zwei bzw. drei zusätzlichen Prüfstellen belastet. Die Anordnung der Messstellen je Versuchsfeld ist in Abbildung 1 dargestellt:

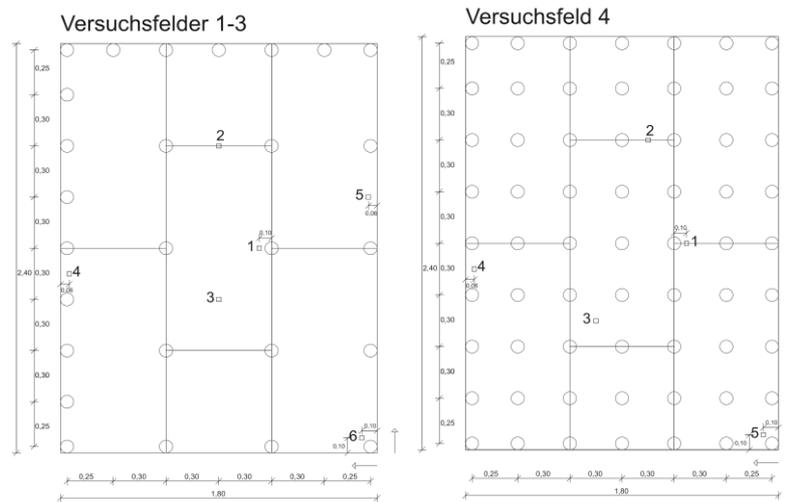


Abbildung 1: Anordnung der Messstellen der Versuchsfelder 1-3 sowie Versuchsfeld 4

Der Versuchsaufbau ist in der folgenden Skizze (Abbildung 2) dargestellt:

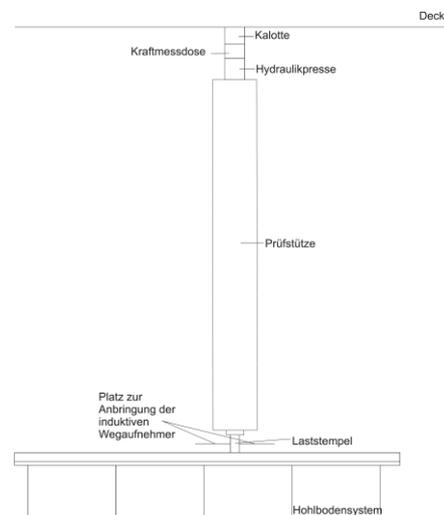


Abbildung 2: Skizze kompletter Versuchsaufbau

Versuchsdurchführung: Hohlraumboden mit Belag

Die Hohlraumböden mit Belag wurden ebenfalls an sechs Messstellen geprüft, dabei entsprachen die Messstellen denen der Hohlböden 1-3 aus den vorangegangenen Versuchen.

Finite Elemente Modell

In einer Parameterstudie wurden die Einflüsse, die sich aus den Materialparametern (Festigkeit, Steifigkeit und Dicke der Tragschicht, des Verlege-/Verfugemörtels und des Belags) und den systembedingten Parametern (z.B. Steifigkeit und Festigkeit der Unterkonstruktion, Rasterabstände und Systemhöhe) ergeben, auf die Verformungen eines Hohlbodensystems genauer untersucht. Bereits im Vorfeld sollte dadurch abschätzbar sein, bei welcher Last die Hohlbodensysteme versagen und wie groß die Verformungen zum jeweiligen Prüfzeitpunkt sein würden. Das Finite Elemente Modell wurde mit SOFISTIK erstellt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Bestimmung der Materialkennwerte von Fließestrichen

Frisch- und Festmörtelkennwerte

An allen Estrichen konnten die nach Herstellerangaben geforderten Frisch- und Festmörtelkennwerte nachgewiesen werden.

Schwindmessungen

Von jedem Estrich wurde ein Prismensatz zur Schwindmessung hergestellt. Alle Probekörper sind zu Beginn gequollen (um 0,015 mm/m bis 0,09 mm/m), anschließend fing das Schwinden (0,01 mm/m bis 0,038 mm/m) an.

Zusätzlich zu den im Fachgebiet für Werkstoffe im Bauwesen durchgeführten Schwindmessungen an fünf verschiedenen Estrichen wurden im Labor des Projektpartners weitere Schwindmessungen durchgeführt.

Bauteilversuche

Hohlraumboden ohne Belag

Mörtelkennwerte

Zur besseren Verarbeitbarkeit wurde das Maximum (nach Herstellerangaben) an möglichem Anmischwasser benötigt. Gegenüber den vorgenannten Versuchen zur Bestimmung der Materialparameter waren die Festmörtelkennwerte der ausgewählten Estriche niedriger.

Nach Prüfung des Hohlbodens wurden zusätzlich die Oberflächenzugfestigkeiten bestimmt. Die geforderten Festigkeiten zur Aufbringung eines Oberbelages konnten nachgewiesen werden. Die Oberflächenzugfestigkeiten lagen zwischen 1,220 N/mm² und 1,66 N/mm².

Schwindmessungen

Die Schwindmessungen ergaben für Feld 1 einen Mittelwert von -0,08 mm/m, bestimmt aus je einer liegend eingespannten und einer stehend eingespannten Probe. Für Feld 2 lag die Schwindverformung im Mittel bei -0,06 mm/m. Die Felder 3 und 4, beide mit Estrich III hergestellt, zeigten ein quellendes Verhalten, gegenüber den anderen Proben. Die Ursache hierfür lag an den unterschiedlichen Lagerungsbedingungen, resultierend aus den Luftfeuchtigkeiten mit 44 % und 62 % in beiden Räumen.

Systemprüfung

Das Versuchsprogramm bestand aus der Belastung aller Messstellen mit der maximalen Last entsprechend der Belastungsklasse nach Herstellerangaben. Anschließend wurde die Bruchlast an Messstelle 3 ermittelt. Nach erfolgreicher Prüfung aller Stellen gemäß Tabelle 2 sollte das System an Stelle 3 erneut bis zum Versagen belastet werden.

Tabelle 2: Maximallasten bei den Versuchsfeldern 1 bis 4

Messstelle	Versuchsfeld 1	Versuchsfeld 2	Versuchsfeld 3	Versuchsfeld 4
Auflagnähe (Messstelle 1)	10.000 N	10.000 N	10.000 N	10.000 N
Zwischen zwei Stützen (Messstelle 2)	8.000 N	8.000 N	8.000 N	8.000 N
Feldmitte (Messstelle 3)	8.000 N	8.000 N	19.500 N	8.000 N
Randbereich 300 mm (Messstelle 4)	7.800 N	8.000 N	8.000 N	7.500 N
Randbereich 600 mm (Messstelle 5, entfiel bei Versuchsfeld 4)	6.000 N	6.000 N	17.500 N	-
Ecknähe (Messstelle 6 bzw. 5 bei Versuchsfeld 4)	7.400 N	Nicht prüfbar	6.000 N	8.000 N

Zunächst wurden alle Versuchsfelder an Messstelle 1 mit 10 kN belastet. Anschließend wurden die Messstellen 2, 3, 4 und 6 mit 8 kN und die Messstelle 5 mit 6 kN gemäß Laststufe belastet. Besonderheiten hierbei waren:

- Versuchsfeld 1: Bei der Prüfung der Messstelle 2 zeigte sich ein Abfall der Kraft nach Aufbringen der 8.000 N. Setzgeräusche waren bei den Messstellen 3, 4 und 6 zu hören. Es konnten nicht überall die geforderten 8 kN gemäß Laststufe aufgebracht werden. Bei Messstelle 6 erfolgt ein Bruch im Estrich.
- Versuchsfeld 2: Bei Messstelle 5 entstand ein Bruch mit Erreichen der Maximallast und Messstelle 6 war nicht mehr prüfbar.
- Versuchsfeld 3: Es entstanden weder Setzgeräusche noch Risse im Estrich während der Prüfung.
- Versuchsfeld 4: Es entstand bei der Prüfung an Messstelle 4 bereits ein Bruch. Messstelle 5 konnte noch geprüft werden.

Die Versuchsergebnisse belegen wie zu erwarten war, dass ein höherer Elastizitätsmodul einen deutlichen Einfluss auf die Verformungen des Systems hat. Wird die Dicke des Fließestrichs erhöht oder ein Estrich mit höheren Festigkeiten verwendet, so verringern sich die Durchbiegungen, das System wird steifer. Halbiert man den Rasterabstand, so halbieren sich in gleichem Maße auch die Durchbiegungen.

Die vier verschiedenen Versuchsaufbauten können nach DIN EN 13213 in die Elementklasse 3 eingestuft werden, da bei allen Systemen die Mindestanforderungen (maximale Durchbiegung von 2 mm bei Messstelle 3, Erreichen der Bruchlasten von ≥ 8 kN für Elementklasse 3 und 3 Messungen ohne Versagen aufnehmen) an Elementklasse 3 nachgewiesen werden konnten.

Bruchlast

Das Systemversagen erfolgte anhand einer erneuten Belastung von Messstelle 3, die in Feldmitte lag. Hierbei wurde die Lasteinleitung soweit erhöht, bis sich Versagensanzeichen in Form von Rissen einstellten. Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt die ermittelten Bruchlasten.

Bei den Hohlböden 2 und 4 konnte keine Bruchlast an Messstelle 3 ermittelt werden, da diese bereits im Vorfeld versagten. Bei Versuchsfeld 1 konnte noch einmal eine Last von 8.500 N aufgebracht werden bevor sich Setzgeräusche und ein weiterer Bruch im Estrich zeigten. Versuchsfeld 3 konnte an Messstelle 3 mit 19.500 N belastet werden ohne dass sich Veränderungen an der Konstruktion zeigten. Die Lasteinleitung musste an dieser Stelle jedoch abgebrochen werden, da die Kraftmessdose nur 20.000 N aufnehmen konnte. Es wurde zusätzlich noch eine Lasteinleitung an Messstelle 5 durchgeführt. Dabei konnte das System eine Last von 17.500 N aufnehmen, erst dann zeigten sich Risse.

Tabelle 3: Bruchlastermittlung

	Max. Belastung [N]	Durchbiegung [mm]	Bemerkungen
Versuchsfeld 1	8.500	1,58	Setzgeräusche im Estrich, Riss wird sichtbar
Versuchsfeld 3	19.500	1,29	Keine Veränderungen feststellbar, Lasteinleitung wird abgebrochen

Hohlraumboden mit Belag

Mörtelkennwerte

Im Alter von 36 Tagen wurden die Prüfungen an den Hohlböden durchgeführt. Dabei lag die mittlere Biegezugfestigkeit bei Versuchsfeld 5 bei 7,4 N/mm² und die mittlere Druckfestigkeit bei 36,1 N/mm². Versuchsfeld 6 dagegen hatte eine mittlere Biegezugfestigkeit von 6,2 N/mm² sowie eine mittlere Druckfestigkeit von 31,2 N/mm².

Die Prismensätze von Fliesenkleber und Fugenmaterial wurden ebenfalls nach 36 Tagen geprüft. Der Fliesenkleber hatte eine mittlere Biegezugfestigkeit von 12,8 N/mm² und eine mittlere Druckfestigkeit von 38,4 N/mm². Bei dem Fugenmaterial dagegen lag die mittlere Biegezugfestigkeit bei 9,2 N/mm² und die mittlere Druckfestigkeit bei 40,1 N/mm².

Systemprüfung

Zunächst wurden die Versuchsfelder 5 und 6 an Messstelle 1 mit 10 kN belastet. Anschließend wurden die Messstellen 2, 3 und 4 mit 8 kN und die Messstelle 5 und 6 mit 6 kN gemäß Laststufe belastet. Besonderheiten hierbei waren:

- Versuchsfeld 5: Versuchsfeld 5 zeigte hierbei keinerlei Auffälligkeiten in Form von Setzgeräuschen oder Rissen.
- Versuchsfeld 6: Es traten bei den Messstellen 4 und 5 kurz vor Erreichen der 8 bzw. 6 kN Setzgeräusche auf, jedoch keine Risse.

Bruchlast

Die Ermittlung der maximalen Bruchlast erfolgte anhand einer erneuten Belastung von Messstelle 3, die in Feldmitte lag. Hierbei wurde die Lasteinleitung soweit erhöht, bis sich Versagensanzeichen in Form von Rissen ober- als auch unterseitig einstellten.

Bei Hohlboden 5 konnte eine Bruchlast von 13.800 N bei einer Durchbiegung von 2,06 mm aufgebracht werden. Erst bei dieser Last versagte das System und es traten sichtbare Schäden in Form von Rissen in den Fugen und einem durchgehenden Riss durch die Estrichschicht auf.

Bei Hohlboden 6 konnte nur noch eine maximale Last von 3.600 N auf Messstelle 3 aufgebracht werden, da das System keine weiteren Lasten aufnehmen konnte. Dies entsprach nicht der zuvor aufgetragenen Last von 8.000 N aus der Prüfung der einzelnen Messstellen. Es konnten trotz dieser geringen Fähigkeit der Lastaufnahme keine optischen Schäden am System festgestellt werden.

Finite Elemente Modell

Hohlraumboden ohne Belag

In einem Finite Elemente Modell wurden die vier Versuchsfelder aus den Großversuchen dargestellt. Bei einem Vergleich der Versuchsergebnisse zeigte sich, dass die berechneten Verformungen weitestgehend mit den gemessenen übereinstimmen. Die Ergebnisse können allerdings nur bis zu den Prüfpunkten verglichen werden, an denen die Versuchsfelder noch nicht versagt hatten und keine Vorschädigung vorlag.

Hohlraumboden mit Belag

Es wurden vier verschiedene Modelle konstruiert, in denen die Estrich- wie auch Fliesenparameter jeweils variieren. Dabei entsprach Modell 0 einem Aufbau ohne Belag. Jede Messstelle wurde mit 8 kN belastet. Der Systemaufbau wurde in drei Schichten unterteilt. Schicht 1 entspricht der Estrichschicht, es wurden die Dicke und der E-Modul variiert. Schicht 2 entspricht dem Fliesenkleber mit einer Dicke von 3 mm und einem E-Modul von 5.000 N/mm². Die dritte (oberste) Schicht entspricht dem Fliesenbelag. Hierbei wurden die Fugen vernachlässigt. Es wurden wie in Schicht 1 die Dicke und der E-Modul variiert. Ziel der Modellierung war es die maximalen Verformungen (Durchbiegungen) in Abhängigkeit des gewählten Estrichs und des Oberbelags zu bestimmen.

Fazit

In den Versuchen hat sich gezeigt, dass die Festmörteleigenschaften des Estrichs gegenüber den Herstellerangaben variieren können. Dies kann zum Teil auf die benötigte Wassermenge (Vergleich Fließestrichversuche und Hohlbodenversuche) zurückgeführt werden.

Eine höhere Steifigkeit des Estrichs (E-Modul und Dicke) hat einen großen Einfluss auf die Verformungen des Systems. Die Verformungen verringern sich stark, wenn die Steifigkeit des Estrichs zunimmt.

In den Parameterstudien hat sich gezeigt, dass es bei der Ausführung eines dünnen und weichen Estrichs in Kombination mit einem dünnen, steifen Oberbelag zu hohen – für den Oberbelag kritischen – Biegezugspannungen auf der Belagsoberseite im Bereich der Auflager kommen kann.

Eine Reduzierung der Spannungen und Verformungen ist durch eine Vergrößerung der Steifigkeiten der Estrich- und der Belagsschicht ebenso wie durch eine Verringerung der Stützenabstände möglich.

Durch das in dieser Arbeit entwickelte FE-Modell für die Versuche 1 bis 4 ist eine Berechnung der Verformungen mit den vorher bestimmten Materialkennwerten gut möglich. Die berechneten und gemessenen Durchbiegungen stimmen weitestgehend überein.

Für eine zutreffende Berechnung der zweiachsialen Biegespannungen müssten die Stoffgesetze in das FE-Modell implementiert und anschließend in einem Bauteilversuch verifiziert werden.