

PEIKKO
**WHITE
PAPER**



**DELTABEAM® VERBUNDTRÄGER MIT
SPANNBETON-FERTIGDECKEN IM BRANDFALL
– BRANDVERSUCHE 2020**

Peikkos Zielsetzung für dieses Forschungsvorhaben: Untersuchung des Brandverhaltens von DELTABEAM® in Verbindung mit Spannbeton-Fertigdecken zur Optimierung der Bemessungskonzepte. Gewährleistung einer sicheren und zuverlässigen Lösung für unsere Kunden



AUTOR:
Oliver Beckmann
Dipl.-Ing. (FH)
R&D Engineer
Peikko Group Corporation

EINLEITUNG

Der Brandschutz von Gebäuden ist zu einem zentralen Kriterium in der Bauplanung geworden. Mit dem DELTABEAM® Stahlverbundträger hat Peikko nicht nur eine schnelle und effiziente Bauweise für die heutigen Anforderungen im Bauablauf entwickelt, sondern ebenfalls auf die Anforderungen an den konstruktiven Brandschutz reagiert.

Der DELTABEAM® ist ein schlanker Stahlverbundträger, der vollständig in die Deckenkonstruktion integriert werden kann (Abbildung 1). Die seitlich auskragenden Stahlflansche dienen während der Montage der Auflagerung von Deckenelementen und die integrierte Brandbewehrung ermöglicht einen Einsatz des Trägers ohne bauseitigen Brandschutz. Für viele Länder liegen nationale bauaufsichtliche Zulassungen vor, die die lokalen Anforderungen an eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten oder höher erfüllen.

Spannbeton-Fertigdecken werden in Europa nach der europäisch harmonisierten Norm EN 1168 [1] hergestellt und bemessen und erfüllen bei entsprechender Ausführung die Anforderungen an den Feuerwiderstand von mindestens 90 Minuten. Für die Bemessung von Spannbeton-Fertigdecken bei Raumtemperatur und im Brandfall können zusätzliche nationale Bemessungsanforderungen gelten (z. B. Begrenzung der Durchbiegung des Auflagerträgers einschließlich thermischer Verformungen im Brandfall auf $L/100$ in Deutschland, entsprechend der bisherigen bauaufsichtlichen Zulassungen der Spannbeton-Fertigdecken (z. B. [2]).

Verschiedene Aspekte der Tragfähigkeit von Slim-Floor Deckenkonstruktionen aus DELTABEAM® Verbundträgern und Spannbeton-Fertigdecken im Brandfall wurden von Peikko bereits in vorangegangenen Brandversuchen untersucht.

Getreu dem Leitsatz „Schnell, effizient und sicher planen und bauen“ hat Peikko das umfangreiche Forschungsvorhaben initiiert, das in diesem Artikel beschrieben wird, um eine sichere Gesamtkonstruktion zu gewährleisten und seinen Kunden Planungssicherheit in der Genehmigungs- und Ausführungsphase garantieren zu können.

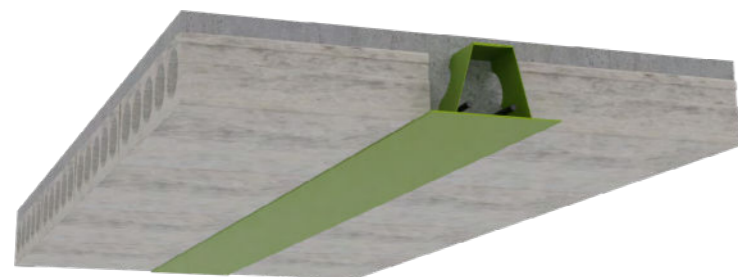


ABB. 1 – DELTABEAM® QUERSCHNITT MIT SPANNBETON-FERTIGDECKEN

Mit diesem Forschungsvorhaben zielt Peikko darauf ab, belastbare Erkenntnisse zur Verifizierung und Optimierung von Bemessungsmodellen zu den folgenden zwei Bemessungsfragen bei der Kombination von DELTABEAM® mit Spannbeton-Fertigdecken zu finden.

INDIREKTE AUFLAGERUNG IM BRANDFALL

Die Spannbeton-Fertigdecken werden indirekt aufgelagert, wenn der Stahluntergurt von Stahl- oder Verbundträgern (z. B. DELTABEAM®) der Beflammung direkt ausgesetzt und deshalb nach 90 Minuten Brandeinwirkung nach der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) auf rund 1000 °C erhitzt wird. Bei dieser hohen Temperatur verliert der ungeschützte Stahl einen großen Teil seiner Festigkeit und Steifigkeit. Daher kann es vorkommen, dass die direkte Unterstützung der Deckenelemente während eines Brandes nicht aufrechterhalten werden kann.

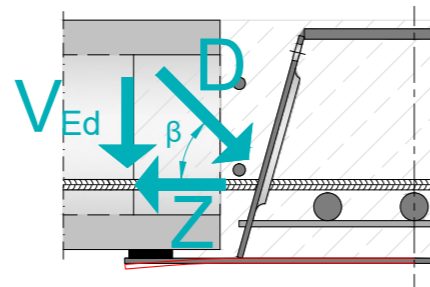


ABB. 2 – VEREINFACHTES MODELL ZUR LASTWEITERLEITUNG BEI INDIREKTER LAGERUNG

Für den Nachweis der indirekten Auflagerung wurde ein bereits seit längerer Zeit eingesetzter Bemessungsansatz auf der Grundlage eines vereinfachten Druckstreben-Zugband-Modells eingesetzt (Abbildung 2). Eine gerade Koppelbewehrung wird in Querrichtung durch die DELTABEAM® Stegöffnungen geführt und in den Fugen sowie in Kammern der Spannbeton-Fertigdecken verankert. Diese sogenannte Querbewehrung bindet die Deckenscheibe an den DELTABEAM® an und gewährleistet eine sichere Auflagerung der geneigten Betondruckstrebe im Stegbereich der Träger.

BIEGEWEICHE AUFLAGERUNG IM BRANDFALL

Wenn Spannbeton-Fertigdecken auf nachgiebigen Bauteilen aufgelagert werden (z. B. Deckenträger und andere Bauteile, die nicht als steife Scheibe betrachtet werden können), verringert sich ihre Querkraft-Tragfähigkeit bei Raumtemperatur aufgrund von zusätzlichen Schubspannungen in Querrichtung der Plattenstege (s. Roggendorf [3], Borgogno [4] u. a.).

Ist dieser Effekt der **biegeweichen Lagerung** auch im Brandfall relevant?

In aktuellen Nachweiskonzepten zur biegeweichen Lagerung bei Raumtemperatur (s. Abbildung 3) wird angenommen, dass die Durchbiegung eines Trägers eine Zwangsverschiebung „c2“ des oberen Plattenspiegels und damit eine Querschnitts-Verzerrung hervorruft, welche zusätzliche Spannungen in den Stegen der Randplatten an den Trägerauflagern verursacht. Diese zusätzliche Betonspannung reduziert die ungerissene Querkraft-Tragfähigkeit der Spannbeton-Fertigdecken.

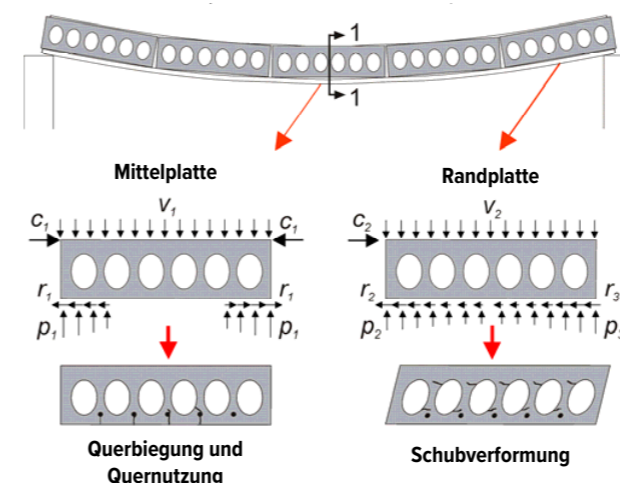


ABB. 3 – VERFORMUNGEN UND VERZERRUNGEN BEI BIEGEWEICHER LAGERUNG (AUS ROGGENDORF [3])

Durch die Brandeinwirkung entwickeln sich aufgrund der thermischen Ausdehnung der beflamten Deckenunterseite Längsrisse im oberen Spiegel der Spannbeton-Fertigdecken, wie bereits in früheren Brandversuchen beobachtet werden konnte (z. B. Borgogno [4]). Diese Längsrisse reduzieren die Interaktion zwischen Deckenplatten und Träger

und es wird angenommen, dass diese Längsrisse Torsionsspannungen aus der Plattenverdrillung von biegeweich gelagerten Spannbeton-Fertigdecken erheblich reduzieren.

BRANDVERSUCHE ZUR UNTERSUCHUNG DER LAGERUNG IM BRANDFALL

Peikko hat dieses Forschungsvorhaben gestartet um

- das Verhalten von indirekt auf DELTABEAM® aufgelagerten Spannbeton-Fertigdecken im Brandfall zu untersuchen,
- die Relevanz der biegeweichen Auflagerung von Spannbeton-Fertigdecken auf DELTABEAM® im Brandfall zu prüfen,
- herauszufinden, ob ein Ausnutzungsgrad von 100% der Querkraft-Tragfähigkeit $v_{rd,cl}$ von Spannbeton-Fertigdecken im Brandfall bei Auflagerung auf DELTABEAM® möglich ist, (mit $v_{rd,cl}$ = Querkraft-Tragfähigkeit von starr aufgelagerten Spannbeton-Fertigdecken im Brandfall nach DIN EN 1168, Anhang G [1])
- eine allgemeine Bauart-Genehmigung (aBG) des DIBt in Berlin zur Kombination des DELTABEAM® mit allen am europäischen Markt verfügbaren Spannbeton-Fertigdecken zu erwirken.

Zu diesem Zweck wurde ein umfassendes Testprogramm mit

- zweiachsialen Belastungsversuchen an einzelnen Spannbeton-Fertigdeckenelementen unter erhöhten Temperaturen und
- roßbrandversuchen an Deckensystemen mit auf DELTABEAM® aufgelagerten Spannbeton-Fertigdecken

durchgeführt. Die Versuche wurden durch umfangreiche theoretische Voruntersuchungen und Finite-Elemente-Analysen begleitet.

SCHUBVERSUCHE AN EINZELPLATTEN

Basierend auf der Analyse vorhandener Versuchsberichte wurden belastete Schubversuche an einzelnen Deckenelementen geplant und durchgeführt, um die in den vorangegangenen Abschnitten dieses Dokuments gemachten Annahmen zu untermauern (vgl. [5]). Zielsetzung dieser Versuche waren die

- Kalibrierung von FE-Modellen, um weitere Querschnitte von Spannbeton-Fertigdecken rechnerisch beurteilen zu können,
- Ermittlung der aufnehmbaren horizontalen Verschiebung des oberen Plattenspiegels unter Querkraftbeanspruchung bei erhöhten Temperaturen und
- Bewertung der Duktilität der Spannbeton-Fertigdecken bei Rissbildung aus thermischer Beanspruchung und horizontaler Zwangsverschiebung des oberen Spiegels.



Eine Serie von fünf verschiedenen Plattenquerschnitten wurde geprüft, um das Verhalten verschiedener Hohlplatten-Geometrien (Anzahl und Form der Hohlräume, Dicke der Stege, Dicke von oberem und unterem Flansch, Vorspannungsniveau usw.) und Produktionsmethoden (Gleitfertiger oder Extruder) zu vergleichen. Dabei wurde eine kombinierte Belastung mit vertikalen Querkräften und einer horizontalen Zwangsverschiebung unter erhöhten Temperaturen aufgebracht (vgl. Abbildung 4 und 5).

Zum Aufheizen der Spannbeton-Fertigdecken wurden elektrische Heizmatten eingesetzt, die den kopfüber eingebauten Probekörper vor dem Aufbringen der mechanischen Belastung auf seine planmäßige Temperatur gebracht haben.

Die Querkraft auf den Spannbeton-Fertigdecken wurde jeweils schrittweise auf zunächst 65–70 % und am Ende auf **150 % ihrer rechnerischen Querkraft-Tragfähigkeit im Brandfall** ($V_{Rd,cf}$ nach DIN EN 1168, Anhang G [1]) gesteigert, ohne dass ein Versagen auftrat. Nach Erreichen der Zwischenstufe wurde eine horizontale Zwangsverschiebung bis zum Erstriss mit signifikantem Steifigkeitsabfall aufgebracht, und erst danach wurde die Querkraft bis auf 150 % weiter gesteigert. Dieses Querkraft-Belastungsniveau ist **50 % größer als für den Nachweis im Brandfall erforderlich**.

Belastung der Spannbeton-Fertigdecken mit 150 % ihrer Querkraft-Tragfähigkeit

In Abbildung 6 sind die gemessenen Auflagerkräfte in vertikaler und horizontaler Richtung während der vier Belastungsphasen eines Plattenversuchs dargestellt. Als der erste größere Längsriss mit einem signifikanten Abfall der horizontalen Reaktionskraft auftrat (Ende der Phase II), erreichte die horizontale Verschiebung in allen 5 Versuchen ein Niveau von etwa 4 bis 8 mm. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass selbst ein einzelnes Plattenelement ohne zusätzliche Bewehrung,

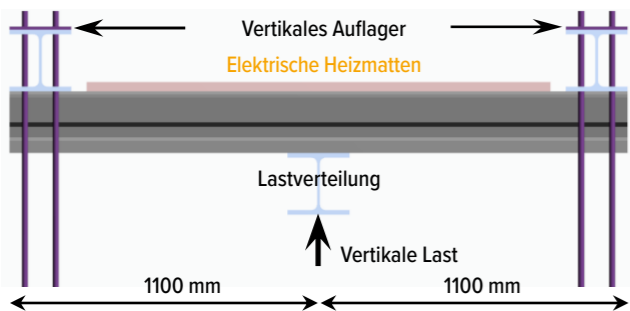


ABB. 4 – PRINZIPELLER AUFBAU DER SCHUBVERSUCHE AN EINZELPLATTEN (AUS [6])



ABB. 5 – AUFBAU DER VERSUCHE AN EINZELPLATTEN; A) HEIZMATTEN, WÄRMEDÄMMUNG UND WIDERLAGERKONSTRUKTION WÄHREND DER MONTAGE; B) GESAMTANSICHT DES VERSUCHSAUFBAUS

Fugenverguss, Ringanker oder Zwängungen bei der Kombination aus thermischer Belastung und Querkraft ein **gutes Verformungsvermögen** und eine ausreichende Duktilität für die auftretenden Verzerrungen bei biegeweicher Lagerung im Brandfall aufweist.

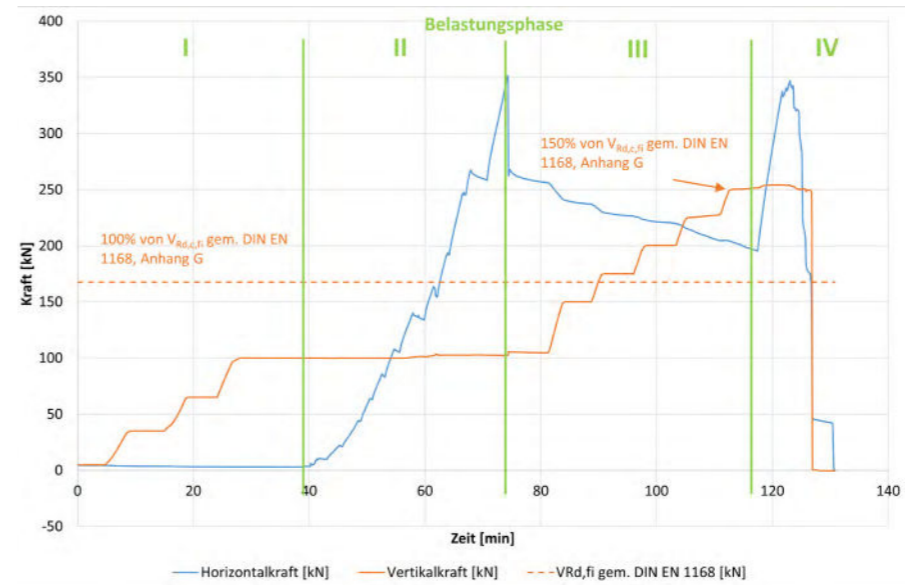
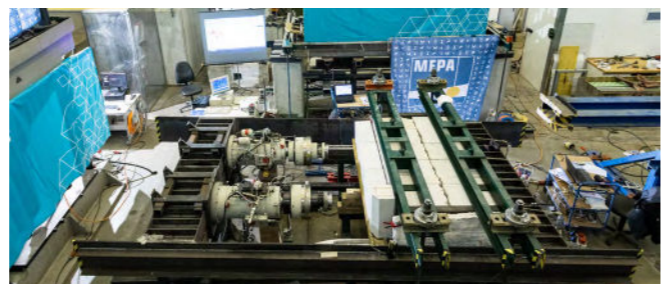
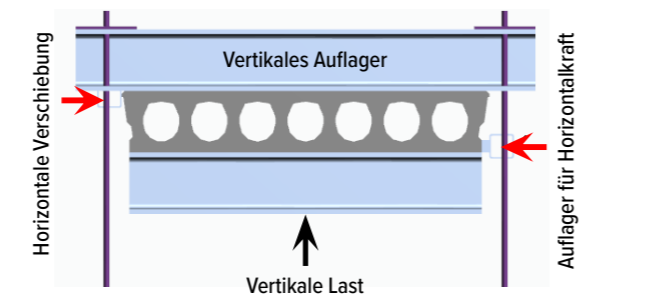
Die Platten-Schubversuche konnten erfolgreich durchgeführt werden. Die erwarteten Querkraft-Tragfähigkeiten und horizontalen Verschiebungen wurden in den Versuchen übertroffen.

- Vergleichbares und gutes Verhalten aller Plattenquerschnitte unter kombinierter mechanischer Beanspruchung aus Querkraft und horizontaler Zwangsverschiebung unter erhöhter Temperatur
- Hohe Duktilität und horizontale Verformungskapazität aller getesteter Spannbeton-Fertigdecken unter kombinierter Beanspruchung
- Horizontale Verschiebung des oberen Plattenspiegels zum Zeitpunkt des Versagens war größer als 5mm für alle getesteten Querschnitte
- Alle Querschnitte haben trotz der horizontalen Zwangsverschiebung bis zur ersten deutlichen Schädigung jeweils 150 % von $V_{Rd,cf}$ gem. Anhang G der DIN EN 1168 [1] getragen
- Die Testergebnisse stellen eine gute Basis für die weitere Untersuchung eines Bemessungsansatzes sowie für dessen Ausweitung auf alle am Markt befindlichen Plattenquerschnitte durch FE-Analysen dar

SYSTEMVERSUCHE

Nach den Versuchen an Einzelplatten wurde eine Serie von Systembrandversuchen (vgl. [7], [8]) an einem Deckensystem, bestehend aus zwei DELTABEAM® Stahlverbundträgern und dazwischen liegenden Spannbeton-Fertigdecken (siehe Abbildung 7 und 8), durchgeführt.

Dafür wurden zwei verschiedene Deckensysteme mit Platten- und Trägerhöhen von 320 mm und 200 mm vorbereitet. Der 320 mm hohe Probekörper bestand aus einem DELTABEAM® D32-300 und BRESPA®



(Hinweis: Die Zeitachse gibt den Verlauf der Lastaufbringung wieder und ist keine Feuerwiderstandsdauer)

ABB. 6 – BELASTUNGSPHASEN UND GEMESSENE AUFLAGERREAKTIONEN EINES PLATTENSCHUBVERSUCHS (A32V)

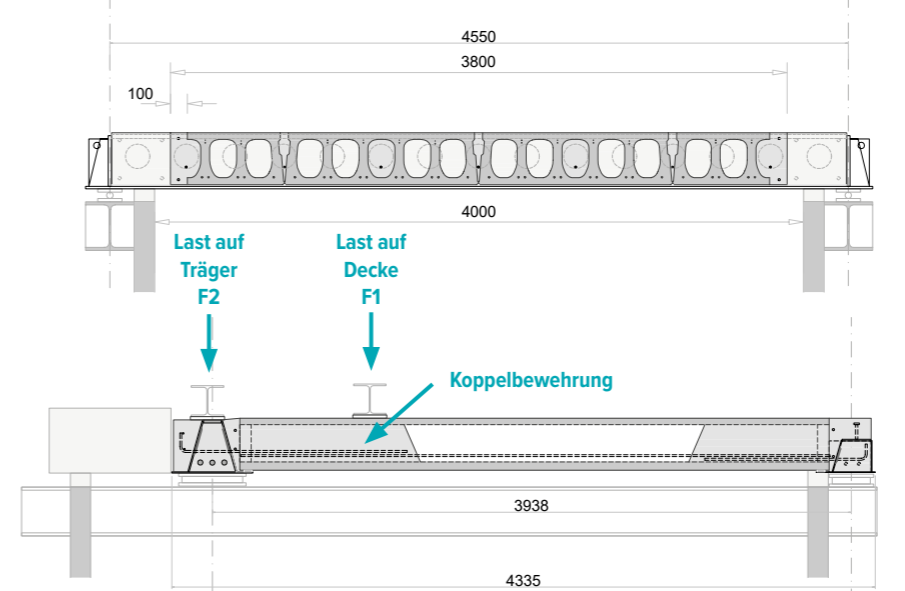


ABB. 7 – VERSUCHSAUFBAU DER SYSTEMVERSUCHE - SCHNITTDARSTELLUNG (D32-300 MIT A32V)

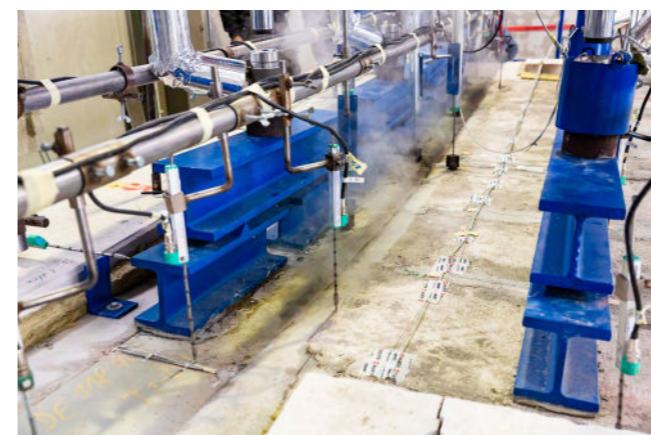


ABB. 8 – AUFBAU DER SYSTEM-BRANDVERSUCHE WÄHREND DER BEFLAMMUNG

A32V Spannbeton-Fertigdecken mit 5 Kammern. Der 200 mm hohe Probekörper wurde mit einem DELTABEAM® D20-400 und BRESPA® A20B Platten mit 7 Kammern ausgeführt. Am abliegenden Ende sorgte ein DELTABEAM® für eine definierte Nachgiebigkeit des Plattenaufagers, um die Torsionsspannungen in den Fertigdecken auf realitätsnahe Werte zu begrenzen. Die Stützweite des DELTABEAM® betrug 4,55 m und die Platten hatten eine Länge von etwa 3,7 m. Die Platten wurden mit einer geraden Koppelbewehrung mit dem DELTABEAM® verbunden.

Sowohl auf den Spannbeton-Fertigdecken als auch auf dem DELTABEAM® wurde vor Beginn der Brandbeanspruchung eine vertikale Linienlast aufgebracht (s. Abbildung 7). Die Linienlast auf den Hohlplatten wurde auf dem Niveau der Querkraft-Tragfähigkeit der Spannbeton-Fertigdecken $V_{Rd,cf}$ nach Anhang G der DIN EN 1168 [1] festgelegt und wurde mindestens bis zur 90. Minute der Brandbeanspruchung konstant gehalten. Die Linienlast auf dem DELTABEAM® konnte während der Beflammung verändert werden, um einer vorab berechneten Verformungskurve zu folgen.

In beiden Versuchen lag der **Ausnutzungsgrad für die Querkraft-Tragfähigkeit** der eingesetzten Spannbeton-Fertigdecken deutlich **über 100 % von $V_{Rd,cf}$** (siehe Tabelle 1). Verglichen mit dem zusätzlichen nationalen **deutschen Grenzwert von $0,6 \times V_{Rd,cf}$** lag der **Ausnutzungsgrad über 140 %**.

Die in den System-Brandversuchen angesetzte Brandeinwirkung wurde nach der Einheits-Temperatur-Zeit-Kurve (ETK) gemäß DIN EN 1991-1-2 [9] über knapp 100 Minuten (200 mm Versuch) und 120 Minuten (320 mm Versuch) aufgebracht.

Raumtemperatur		Brandfall (R90)			
Höhe	Plattenquerschnitt	$V_{Rd,ct,I}$ (ungerissen) [kN/m]	$V_{Rd,ct,II}$ (gerissen) [kN/m]	$V_{Rd,ct,fi}$ [kN/m]	$0,6 \times V_{Rd,ct,II}$ [kN/m]
200mm	BRESPA® A20B	Einwirkung: $V_{Ed} = 52,4$ kN/m			
	Tragfähigkeit	72,9	43,4	49,2	26,2
	Ausnutzungsgrad [%]	72 %	121 %	107 %	200 %
320mm	BRESPA® A32V	Einwirkung: $V_{Ed} = 73,7$ kN/m			
	Tragfähigkeit	127,9	86,3	72,5	51,8
	Ausnutzungsgrad [%]	58 %	85 %	102 %	142 %

Hinweis: $V_{Rd,ct,fi}$ ist die Querkraft-Tragfähigkeit im Brandfall nach Anhang G der DIN EN 1168 [1]. Der Wert $0,6 \times V_{Rd,ct,II}$ gibt die aktuell in Deutschland gültige zusätzliche Grenze für die Querkraft-Tragfähigkeit im Brandfall an.

TABELLE 1 – BEMESSUNGSWERTE DER QUERKRAFT-TRAGFÄHIGKEITEN DER SPANNBETON-FERTIGDECKEN IN DEN SYSTEMVERSUCHEN (EINSCHLIESSLICH ANSETZBARER ZULAGEBEWEHRUNG)

In Abbildung 9 sind die mechanischen Einwirkungen und die Durchbiegungen am Beispiel des 320 mm hohen Systemversuchs aufgetragen. Das Lastniveau der Linienlast auf den Spannbeton-Fertigdecken wurde auf mindestens 100 % der rechnerischen Querkraft-Tragfähigkeit der Platten über 90 Minuten konstant gehalten und danach zur Weiterführung des Versuchs bis 120 Minuten reduziert. Der Verlauf der Mittendurchbiegung des DELTABEAM® ist durch die Kurve "WS10" angegeben. Die gemessenen Werte zeigten eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit der vorab mittels Finite-Elemente-Analyse berechneten Durchbiegung des Trägers.

Die gemessene Durchbiegung der DELTABEAM® Verbundträger erreichte in diesem Versuch nach 90 Minuten rund 110 mm, was einer bezogenen Durchbiegung von L/41 entspricht (im 200 mm Versuch wurden 142 mm entsprechend L/32 nach 90 Minuten und 150 mm bzw. L/30 nach 100 Minuten gemessen). Die rechnerisch ermittelte Durchbiegung aus mechanischen Beanspruchungen, ohne thermische Durchbiegung, betrug 65 mm, entsprechend L/70.

Die System-Brandversuche wurden im Hinblick auf die Zielsetzung erfolgreich durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die **indirekte und biegeeweiche Auflagerung** der getesteten Spannbeton-Fertigdecken mit unterschiedlichen Plattenhöhen **auf DELTABEAM® im Brandfall sicher erhalten bleibt**.

Belastung der Spannbeton-Fertigdecken mit 150 % ihrer Querkraft-Tragfähigkeit

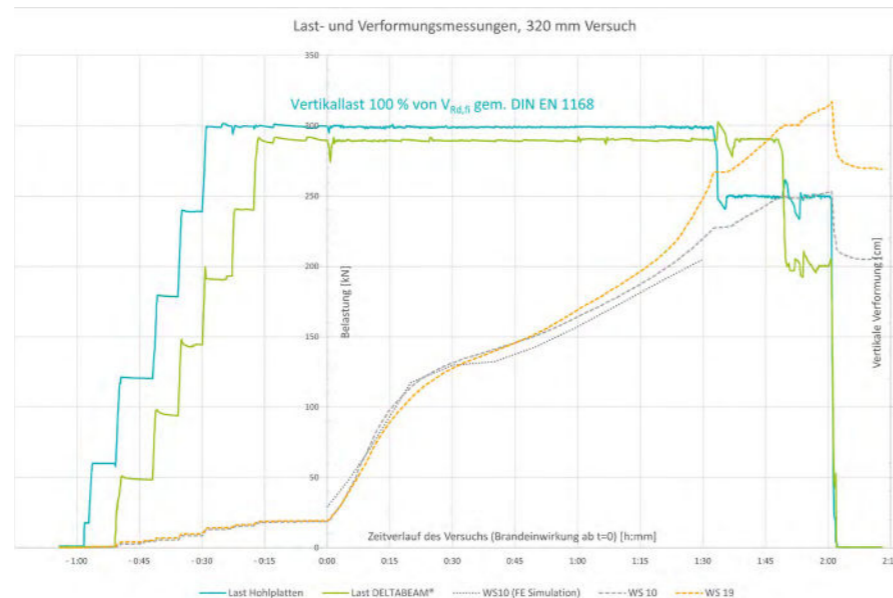


ABB. 9 – VERLAUF DER MECHANISCHEN BELASTUNG UND DER VERFORMUNGEN DES 320 MM HOHEN SYSTEMVERSUCHS; WS10: MITTENDURCHBIEGUNG DES DELTABEAM®; WS19: MITTENDURCHBIEGUNG IN DER BELASTUNGSACHSE DER SPANNBETON-FERTIGDECKEN

- ETK Brandbeanspruchung über 90 und 120 Minuten
- Querkraft auf Spannbeton-Fertigdecken mit 100 % von $V_{Rd,ct,fi}$ gem. DIN EN 1168, Anhang G [1]
- Die Versuche wurden nach knapp 100 und 120 Minuten beendet, ohne dass ein Versagen nach Norm eingetreten ist (Kriterien „R“, „E“ und „I“ wurden eingehalten).
- Die einwirkende Querkraft wurde von den Spannbeton-Fertigdecken getragen und sicher auf den DELTABEAM® weitergeleitet.
- Die rechnerisch ermittelte Lastverformung der DELTABEAM®, ohne thermische Verformungen, hat nach 90 Minuten Brandeinwirkung den Grenzwert der abgelaufenen Zulassungen (z.B. [2]) von L/100 erreicht oder deutlich überschritten. Die bisherige deutsche Anforderung einer Durchbiegungsgrenze von L/100 kann damit für Spannbeton-Fertigdecken auf DELTABEAM® so reduziert werden, dass sie ohne Berücksichtigung der thermischen Verformung gültig ist.
- Die rechnerisch ermittelte Lastverformung der DELTABEAM® Verbundträger von rund L/300 bei Raumtemperatur zeigt, dass die Bemessungsansätze für den Brandfall sicher mit den aktuellen Bemessungsansätzen für die Querkraft-Tragfähigkeit der Spannbeton-Fertigdecken bei biegeeweicher Lagerung kombiniert werden können.
- Der vorgeschlagene Bemessungsansatz zur indirekten Lagerung von Spannbeton-Fertigdecken auf DELTABEAM® im Brandfall kann sicher angewendet werden

ZUSAMMENFASSUNG

Die von Peikko durchgeführte Versuchsreihe war ein voller Erfolg. Die Erwartungen hinsichtlich der Duktilität der Spannbeton-Fertigdecken unter kombinierter Beanspruchung, der Lastweiterleitung auf den DELTABEAM® und der Querkraft-Tragfähigkeit der getesteten Spannbeton-Fertigdecken bei biegeeweicher Auflagerung im Brandfall wurden übertroffen.

Es konnte gezeigt werden, dass der Bemessungsansatz zur indirekten Auflagerung von Spannbeton-Fertigdecken auf den auskragenden Untergurt-Flanschen und geneigten Stegen des DELTABEAM® im Brandfall mittels einer geraden Koppelbewehrung sicher angewendet werden kann.

Für die biegeeweiche Auflagerung von Spannbeton-Fertigdecken auf DELTABEAM® im Brandfall konnte gezeigt werden, dass die Querkraft-Tragfähigkeit der geprüften Spannbeton-Fertigdecken mit der Bemessungsformel in Anhang G, DIN EN 1168 [1] sicher ermittelt werden kann. Eine Abminderung der Tragfähigkeit aufgrund der biegeweichen Auflagerung ist nicht erforderlich.

Die gemessenen Verformungen bei den System-Brandversuchen, einschließlich der thermischen Verformung, betragen bis zu L/30 und L/41.

Die Versuchsergebnisse und parallele Finite-Elemente Berechnungen legen nahe, dass die Bemessungsansätze auf andere auf dem Markt erhältliche Spannbeton-Fertigdecken-Querschnitte und -Höhen übertragen werden können.

Mit der angestrebten allgemeinen Bauart-Genehmigung, die auf dem deutschen und internationalen Markt für schlanke Deckenkonstruktionen einzigartig ist, unterstreicht Peikko seinen Anspruch, eine Vorreiterrolle im Bereich der Befestigungstechnik und Verbundkonstruktionen einzunehmen. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe werden weiter analysiert, um das Zulassungsverfahren beim DIBt voranzutreiben.

Insgesamt konnte die Versuchsreihe bestätigen, dass DELTABEAM® Verbundträger in Verbindung mit Spannbeton-Fertigdecken auch im Brandfall eine sichere und zuverlässige Lösung darstellen.

Wir möchten darauf hinweisen, dass die Versuchsergebnisse und die Bemessungsmodelle auf der Querschnittsgeometrie des DELTABEAM® Verbundträgers und dessen konstruktiven Details beruhen, die gemäß den zugrundeliegenden Nachweiskonzepten bemessen wurden (z.B. schräge

Stahlstege mit runden Stegöffnungen, eine gerade Koppelbewehrung für die Anbindung der Spannbeton-Fertigdecken etc.). Das Verhalten anderer Trägertypen kann aus den Versuchen und den darauf basierenden Gutachten nicht abgeleitet werden.

LITERATURNACHWEISE

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung, NA Bau, „DIN EN 1168 - Betonfertigteile - Hohlplatten,“ Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [2] DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik, „Z-15.10-279 - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung DW Systembau,“ DIBt, Berlin, 2014.
- [3] T. Roggendorf, „Zum Tragverhalten von Spannbeton-Fertigdecken bei biegeeweicher Lagerung,“ Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Fakultät für Bauingenieurwesen, Aachen, 2010.
- [4] W. Borgogno und M. Fontana, „Tragverhalten von Slim Floor Decken mit Betonhohlplatten bei Raumtemperatur und Brandeinwirkungen,“ Eidgenössische Technische Hochschule, Institut für Baustatik und Konstruktion, Zürich, 1997.
- [5] MFPA Leipzig GmbH, „Untersuchungsbericht Nr. UB 2.1/19-319 - Experimentelle Kleinversuche an Spannbeton-Hohlplatten zur Validierung des numerischen Modells der LGA,“ Leipzig, 2020.
- [6] M. Cyllok, S. Pessel, S. Hothan und D. Häbler, „Gutachtliche Stellungnahme "Zur biegeweichen und indirekten Auflagerung von Spannbetonhohlplatten auf Slim-Floor-Trägern "DELTABEAM" im Brandfall - Abstimmung Validierungsversuche,“ 2018.
- [7] MFPA Leipzig GmbH, „Prüfbericht Nr. PB 3.2/19-251-2 - Belasteter Brandversuch,“ Leipzig, 2020.
- [8] MFPA Leipzig GmbH, „Prüfbericht Nr. PB 3.2/19-251-3 - Belasteter Brandversuch,“ Leipzig, 2020.
- [9] DIN - Deutsches Institut für Normung, NABau, „DIN EN 1991-1-2 - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke,“ Beuth Verlag, Berlin, 2010.



Schnell, effizient und sicher planen und bauen

Peikko ist Hersteller von Verbindungstechnik und Verbundkonstruktionen für den Stahlbeton-, Betonfertigteile- und Verbundbau. Die innovativen Produktlösungen von Peikko gestalten Ihren Bauablauf effizienter.

www.peikko.de