

# Zukunft Bau

## KURZBERICHT

---

### Titel

---

Untersuchungen zum Tragverhalten und zur Tragfähigkeit von Mikroverbundträgern mit Stegöffnungen

### Anlass/ Ausgangslage

---

Mit Verbundträgern bestehend aus dünnen Stahlstegen und Gurten aus hochfestem Beton, die über Puzzleleisten schubfest verbunden sind, lassen sich leistungsfähige und kostengünstige hybride Decken- und Dachtragwerke konstruieren.

Wird der Steg durch Öffnungen geschwächt, entstehen lokale Zusatzbeanspruchungen. Wie sich diese auf das Trag- und Verformungsverhalten solcher Träger auswirken ist bisher nicht ausreichend untersucht.

### Gegenstand des Forschungsvorhabens

---

Das Forschungsvorhaben umfasst sowohl experimentelle als auch rechnerische Untersuchungen. Bei den experimentellen Untersuchungen wurde unterschieden in Kleinteilversuche zur Ermittlung der lokalen Tragwirkung und der Tragfähigkeit der verwendeten Puzzleleisten und großmaßstäbliche Trägerversuche (Bild 1). Ziel war es, aufbauend auf diesen Untersuchungen ein Ingenieurmodell abzuleiten, welches das Tragverhalten zuverlässig beschreibt und für den bemessenden Ingenieur ein einfaches Hilfsmittel darstellt.

Das Vorhaben gliederte sich in mehrere Arbeitsschnitte.

Zuerst wurden die Träger für die ersten großmaßstäblichen Versuche mit dem FE-Programm Ansys Workbench (V.14) vordimensioniert. Dazu wurde ein entsprechendes FE-Modell erstellt, in dem sowohl der Stahlträger als auch der Betongurt mit Volumenelementen abgebildet wurden.

Die ersten vier großmaßstäblichen Trägerversuche W00 bis W03 sollten so ausgelegt werden, dass am Öffnungsrand 2, dort wo die Querkraft aus dem Stahlträgersteg in den Betongurt hoch gehängt wird, die Puzzleleisten ausreißen (Bild 2).

Die Betongurtbreite wurde zu 70 cm festgelegt, was einem konstruktiv sinnvollen Trägerabstand für ein Dachtragwerk entspricht. Die Schubkraft-Schlupf-Beziehung ("Dübelkennlinie") für die Puzzleleisten wurde zunächst aus einem anderen an der TU Kaiserslautern durchgeführten Forschungsvorhaben abgeleitet.

Um das FE-Modell zu überprüfen, wurde damit ein Versuch an einem Verbundträger ohne Stegöffnung nachgerechnet. Der dazu ausgewählte Versuch wurde an anderer Stelle durchgeführt. Insgesamt

ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen FE-Berechnung und Versuch, sodass am FE-Modell im Rahmen einer Parameterstudie die Dimensionierung durchgeführt werden konnte.

Für die ersten Versuche W00 und W01 wurde je eine quadratische Öffnung gewählt, die auf halber Höhe im Steg angeordnet war. In den FE-Berechnungen wurde dann für jede Variante die Last so lange gesteigert, bis am Öffnungsrand 2 die Kräfte mutmaßlich groß genug waren, um ein Ausreißen der Puzzleleiste aus dem Beton zu erreichen. Dazu wurden in den FE-Berechnungen die Zugkräfte anhand der Normalspannungen in der Verbundfuge berechnet. Anschließend wurden die in Kleinteilversuchen ermittelten Auszugkräfte mit den numerisch ermittelten verglichen. Nach Abschluss der ersten beiden Versuche wurden diese nachgerechnet und die beiden nächsten Versuche W02 und W03 konzipiert.

Um die von den verwendeten Puzzleleisten übertragbaren Schub- und Zugkräfte zu ermitteln und um eine mögliche Interaktion zu bestimmen, wurden die oben genannten Kleinteilversuche durchgeführt und zwar fünf Push-Out-Versuche (Bild 3), drei Pull-Out-Versuche und neun Push-Pull-Versuche (Bild 4). Bei letzteren wurden gleichzeitig Längsschub- und Normalkräfte in drei unterschiedlichen Verhältnissen aufgebracht. Ein wesentliches Ergebnis ist, dass sich die beiden Lastkomponenten nicht nennenswert beeinflussen.

In einem nächsten Schritt wurden die weiteren vier großmaßstäblichen Trägerversuche konzipiert und durchgeführt. Nach deren Auswertung (Bild 5) folgten schließlich die letzten zwei der insgesamt 10 Versuche.

Das erarbeitete Bemessungskonzept sieht vor, dass die Gesamtquerkraft im Öffnungsbereich zunächst auf den oberen und unteren Teilträger aufgeteilt wird und zwar anhand des Steifigkeitsverhältnisses. Anschließend wird die Querkraft im oberen Teilträger auf den Betongurt und den Reststeg aufgeteilt. Auch hier wieder anhand der Steifigkeiten. Damit ergibt sich die in den Betongurt einzuleitende Zugkraft.

In den Versuchen und den FE-Berechnungen hat sich gezeigt, dass die Einleitung dieser Zugkraft nur über eine sehr kurze Länge der Verbundfuge stattfindet. Innerhalb dieses Bereiches liegen nur etwa zwei Puzzle oder Betondübel. Demzufolge ist die einzuleitende Zugkraft auf die aufnehmbare Zugkraft zweier Betondübel zu begrenzen.

Die zweite - neben dem Ausreißen der Dübelleisten - beobachtete Versagensart, nämlich das Durchstanzen am gegenüberliegenden Öffnungsrand 1 hat mit der untersuchten Dübelgeometrie und der Höhenlage der Puzzleleisten im Betongurt die Traglast nicht begrenzt. Allerdings sind die Rissbreiten an der Betongurtoberseite am Öffnungsrand 1 am größten, was die aufnehmbare Querkraft hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit begrenzen kann.

Schließlich wurde eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

## **Fazit**

---

Im Rahmen des Vorhabens ist es wie geplant gelungen, ein Bemessungskonzept für den Öffnungsbereich zu entwickeln und anhand der Versuche für den untersuchten Parameterraum zu bestätigen. Eine Ausweitung auf weitere Parameterkonstellationen soll in weiteren Arbeiten im Fachgebiet erfolgen.

Die Tragfähigkeit der Puzzleleisten wurde für einen abgegrenzten Parameterraum ermittelt (Bild 6). Bei abweichenden Randbedingungen wird empfohlen, die Widerstandswerte experimentell zu ermitteln.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat wie vermutet ergeben, dass insgesamt betrachtet das Verbundträgerdach eine konkurrenzfähige Variante gegenüber herkömmlichen Systemen wie z.B. Leimholzbinde darstellt.

## **Eckdaten**

---

Kurztitel:  
Mikroverbundträger mit Stegöffnungen

Projektleitung:  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell und Jun.-Prof. Dr.-Ing. Christian Kohlmeyer  
Projektbearbeiter: Michael Wolbring, M.Eng.

Gesamtkosten:  
145.685,00 €

Anteil Bundeszuschuss:  
87.025,00 €

Projektlaufzeit:  
bis 31.12.2012, kostenneutral verlängert bis 30.12.2013

## BILDER/ ABBILDUNGEN:

---

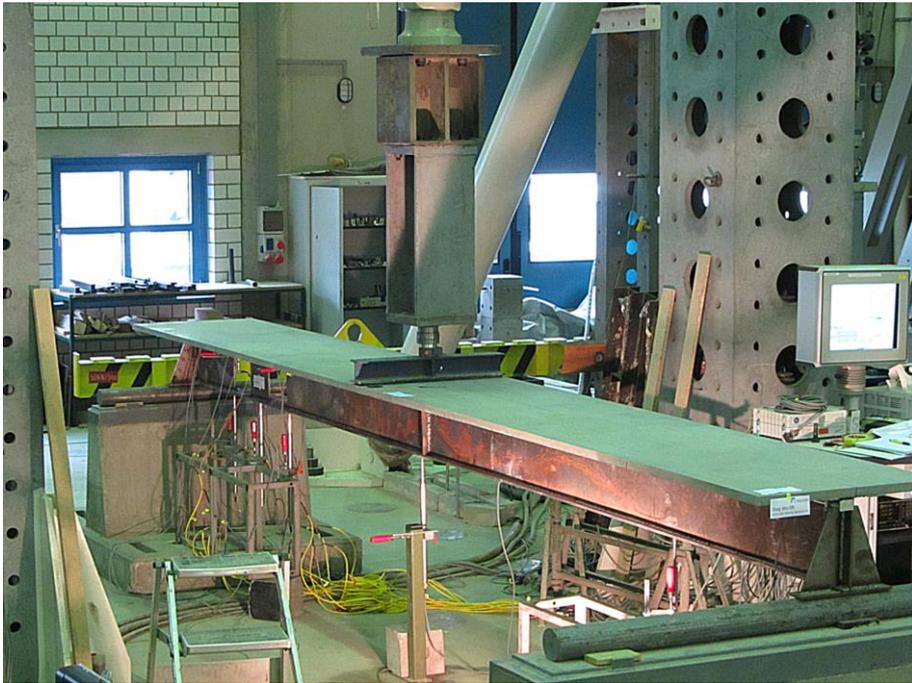


Bild 1: Bild1.jpg

Versuchsaufbau für den Träger W08.

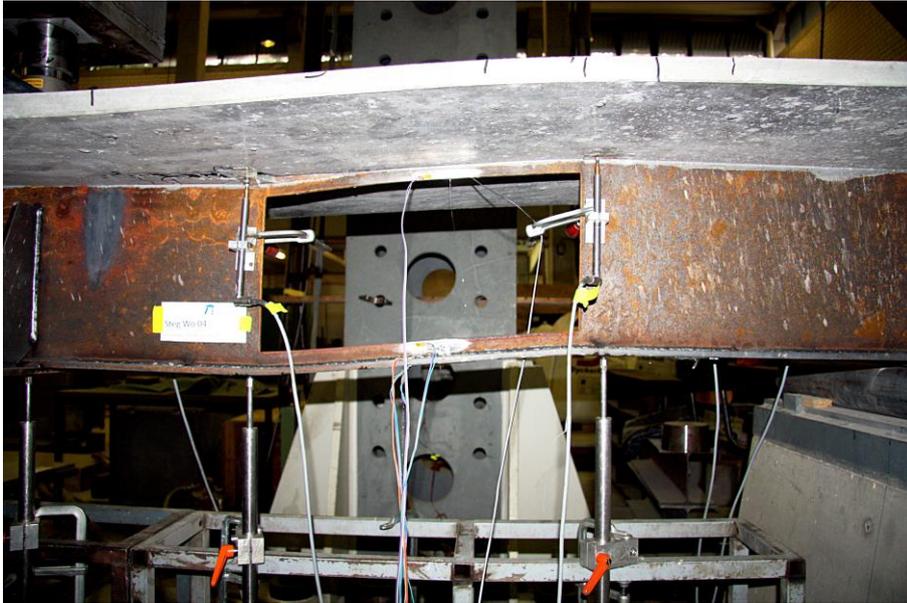


Bild 2: Bild2.jpg

Stark verformter Öffnungsbereich des Trägers W04 mit Ausbruchkegel am linken Öffnungsrand kurz vor Erreichen der maximal aufnehmbaren Last.

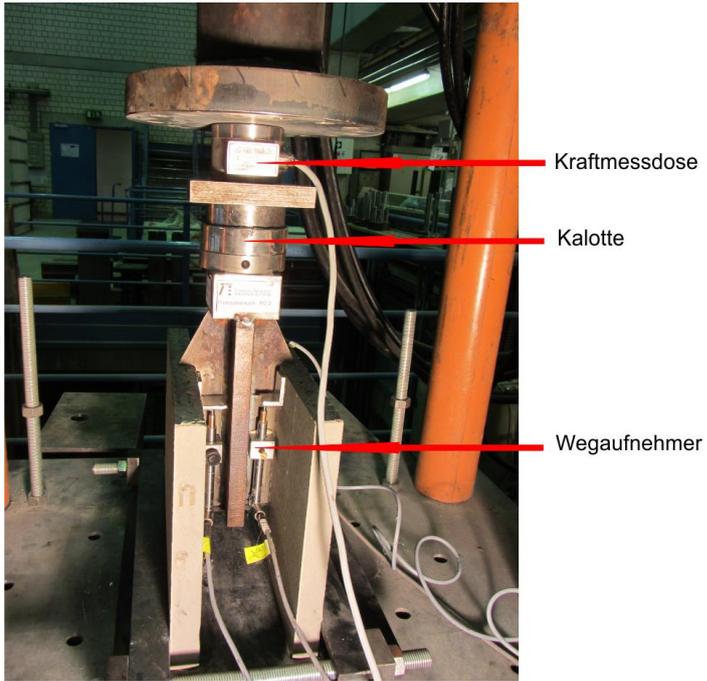


Bild 3: Bild3.jpg

Versuchsaufbau der Push-Out-Versuche, die im Rahmen der Kleinteilversuche gefahren wurden.



Bild 4: Bild4.jpg

Versuchsaufbau der Push-Pull-Versuche, die im Rahmen der Kleinteilversuche gefahren wurden.

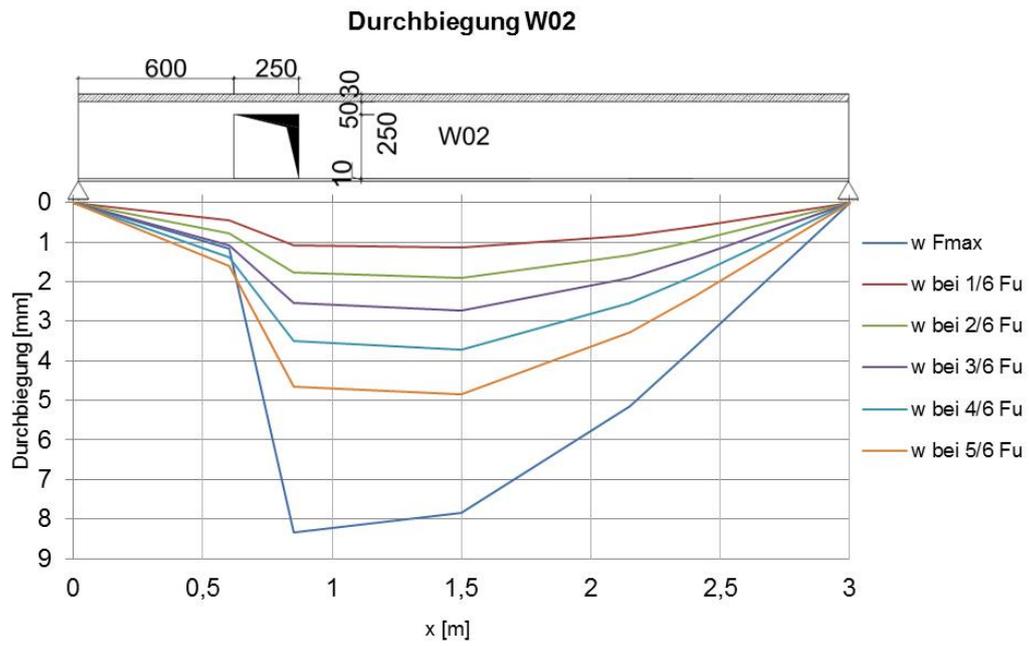


Bild 5: Bild5.jpg

Biegelinien des Trägers W02 unter verschiedenen Laststufen. Ermittelt aus den jeweils gemessenen Durchbiegungen.

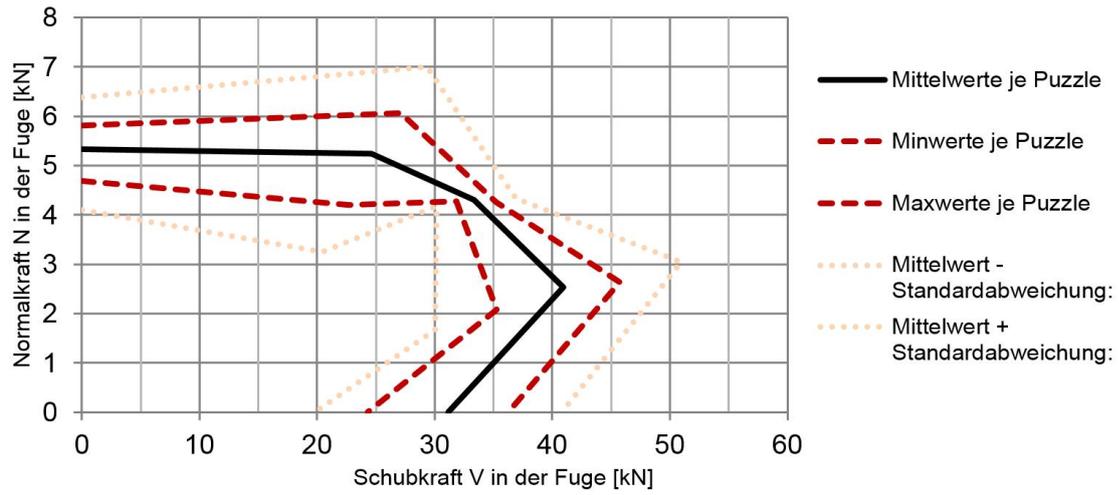


Bild 6: Bild6.jpg

Zug-Schubkraft-Interaktionsdiagramm ermittelt aus den Push-Out- und Push-Pull-Versuchen.