

Titel

Deckensystem mit Doppelverbundtechnik

Anlass/ Ausgangslage

In diesem Forschungsvorhaben wurde ein neuartiges kombiniertes Verbundsystem bestehend aus Stahlscharen und Betondübeln entwickelt. Im Mittelpunkt stehen weitgespannte Verbundbauteile mit Spiegel aus Hochleistungsbeton als Halbfertigteile, die auf der Baustelle mit Normalbeton zum Endsystem vervollständigt werden. Um das Trag- und Verformungsverhalten dieses Verbundsystems zu untersuchen, wurden Push-Out-Versuche, vergleichende FE-Berechnungen sowie verifizierende großmaßstäbliche Versuche durchgeführt.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

In einem ersten Schritt wurden die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten des Verbundmittels in Push-Out-Versuchen untersucht, in denen die Oberflächenrauigkeit der Primärplatte, die Menge der Querbewehrung und der Herstellzustand variiert wurden. Dabei wurden zwei verschiedene Test-Setups verwendet. Bei den Versuchskörpern ohne Querbewehrung trat das Versagen nur infolge Spaltens auf. Mit Querbewehrung sind Ausstanzen oder kombiniertes Versagen (Spalten und Ausstanzen) erreicht worden. Weiterhin zeigten die Versuche, dass das Verbundmittel ein duktiles Nachbruchverhalten und eine große Tragfähigkeit im Endzustand aufweist.

Um weitere Erkenntnisse über die Beanspruchung in dem Verbundmittel und den Lastabtrag zu erhalten, wurden im zweiten Schritt vergleichende FE-Berechnungen durchgeführt, bei denen die symmetrischen Push-Out-Versuche im Detail abgebildet und simuliert wurden. Dabei standen zunächst die Spannungsverteilungen und die plastischen Dehnungen im Vordergrund. Insgesamt wurden bei den Simulationen die drei Serien der symmetrischen Push-Out-Versuche abgebildet. Die qualitativen Spannungsverteilungen und Verformungen aus den FE-Berechnungen waren plausibel und konnten teilweise auch so bei den Push-Out-Versuchen beobachtet werden. Es war zu erkennen, dass die größten Beanspruchungen im Bereich des Verbundmittels vor den Stahlscharen bzw. vor den Stahlpuzzlezähnen auftraten. In diesen Bereichen und im Bereich der kürzesten Scherlänge der Stahlpuzzlezähne traten auch die größten plastischen Dehnungen auf. Ein quantitativer Vergleich der Versuchstragfähigkeiten mit den Modellen ist noch nicht sehr aussagekräftig, da die Materialeigenschaften der FE-Modelle noch angepasst werden müssen. Jedoch stimmen das Verformungsverhalten und die Anfangssteifigkeit der Versuche mit denen in simulierten Modellen überein.

Im Anschluss an die FE-Berechnungen wurden zwei großmaßstäbliche Versuche hergestellt und durchgeführt (3-Punkt-Biegeversuche), bei denen sowohl der Bauzustand als auch der Endzustand des Deckensystems untersucht wurden. Die Dimensionierung der Verbundträger orientierte sich an den Versuchsergebnissen der Push-Out-Versuche mit dem Ziel, das Verbundmittel zum Versagen zu bringen, um die in den Push-Out-Versuchen ermittelten Kennwerte anhand der großmaßstäblichen Versuchen zu überprüfen.

Erwartungsgemäß waren sowohl die Tragfähigkeit als auch die Anfangssteifigkeit beim Versuch „Endzustand“ ca. dreifach höher als beim „Bauzustand“. Während bei dem Versuch „Endzustand“ unmittelbar nacheinander ein Versagen infolge der Betondruckzone und der Verbundfuge in Form von Betonausbrüchen im Bereich der Verbundmittel auftrat, war bei dem Versuch „Bauzustand“ ein schlagartiges Versagen infolge Betondruckzonenbruch im Lasteinleitungsbereich festzustellen. Beim Versagen erreichte der Schlupf am Rand des Verbundträgers „Endzustand“ einen maximalen Wert von ca. 8 mm und bestätigte somit das große Verformungsvermögen des Verbundmittels. Die Auswertung der gemessenen Dehnungen zeigte, dass sich beim Versuchsträger „Endzustand“ bei hohen Lastniveaus der nachgiebige Verbundzustand einstellen konnte und einen großen Schlupf in der Verbundfuge auftrat, während beim Versuchsträger „Bauzustand“ kaum Schlupf auftrat und der Beton vollständig in der Druckzone lag. Aufgrund des dünnen HPC-Gurts (30 mm) versagte dieser Träger infolge Bruchs der Betondruckzone im Lasteinleitungsbereich.

Fazit

Für den angestrebten Doppelverbund wurde ein neuartiges Verbundmittel entwickelt. Die Untersuchungen zeigten, dass das Verbundmittel ein duktileres Nachbruchverhalten und eine große Tragfähigkeit im Endzustand aufweist. Die erzielten Ergebnisse können als Grundlage für ein Ingenieurmodell herangezogen werden, mit dem eine wirtschaftliche und sichere Berechnung dieses Verbundsystems möglich wird. Weiterhin zeigten die Untersuchungen, dass das Verbundmittel im Bauzustand eine geringe Duktilität besitzt. In künftigen Forschungsarbeiten sollte untersucht werden, wie die Duktilität im Bauzustand verbessert werden kann. Das Verbundmittel besitzt Potenzial für zusätzliche Optimierung.

Eckdaten

Kurztitel: Deckensystem mit Doppelverbundtechnik

Forscher / Projektleitung:
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

Gesamtkosten: 204.300,00 € €

Anteil Bundeszuschuss: 116.640,00 €

Projektlaufzeit: 24 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

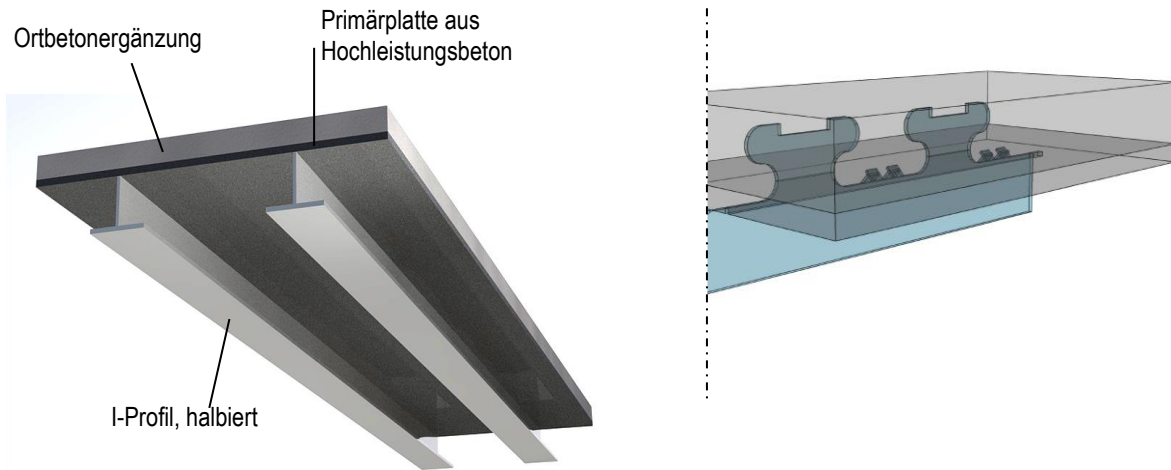


Bild 1: Darstellung des Deckensystems mit Ortbetoneergänzung, Hochleistungsbeton (HPC) und Stahlträgern: baustellengerechte Ausführung als PI-Platte (links) und Ausschnitt aus dem Verbundsystem (rechts)

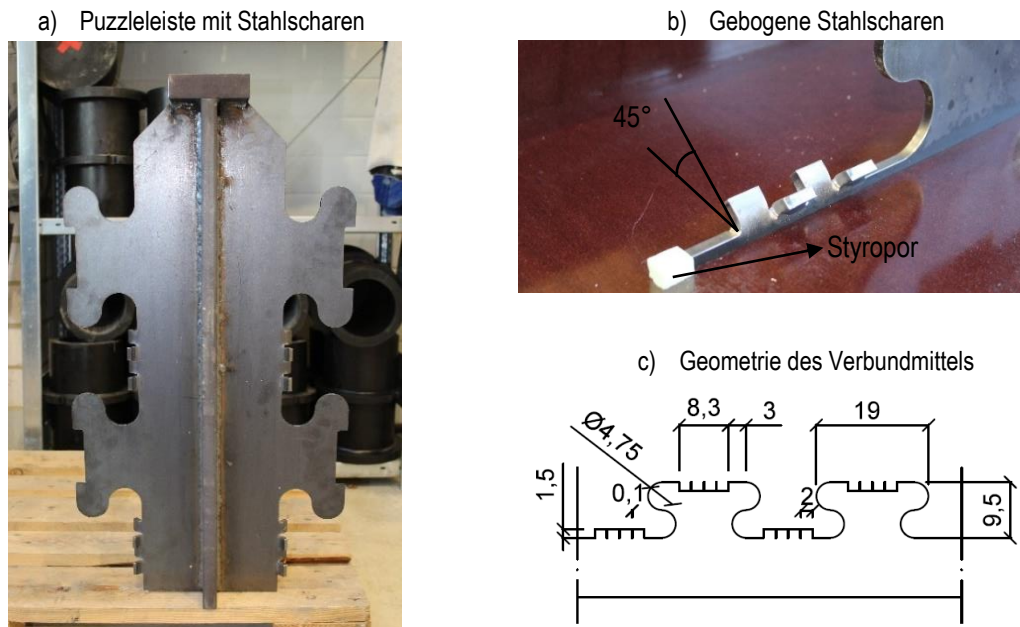


Bild 2: Eingesetztes Verbundmittel

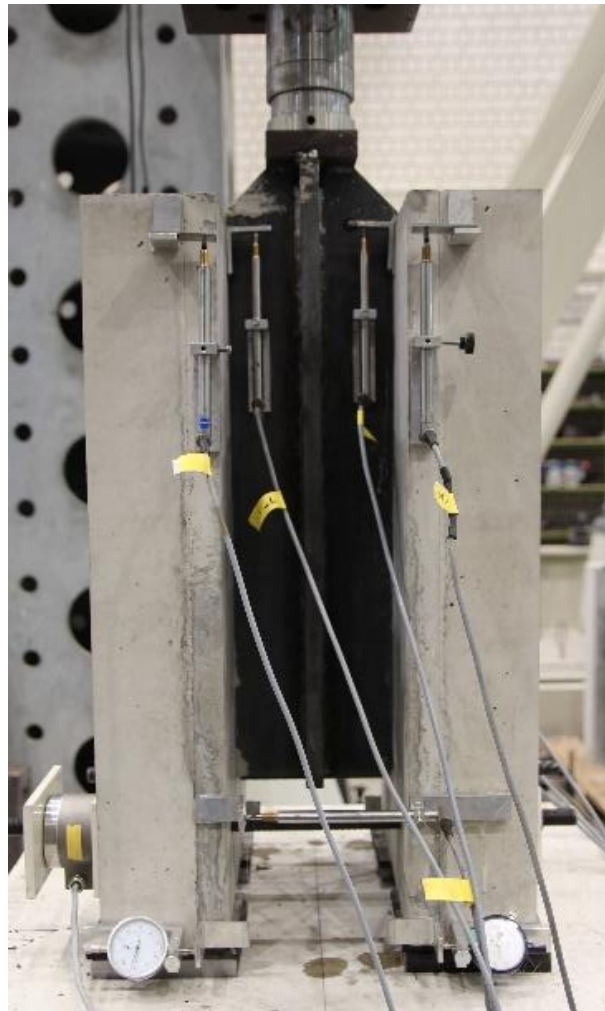


Bild 3: Versuchsstand und -anordnung für die klassischen Push-Out-Versuche



Bild 4: Ausbruchkegel auf der Außenseite (links) und auf der Innenseite (rechts) am Beispiel des Versuchs V1-Sym-End-3

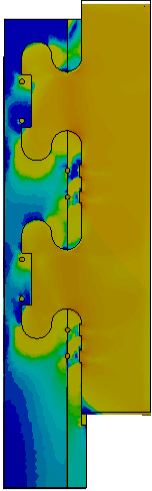
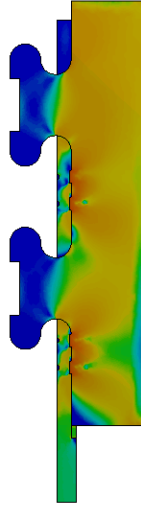
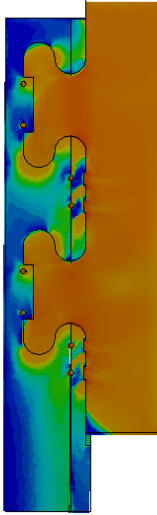
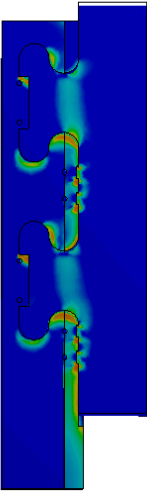
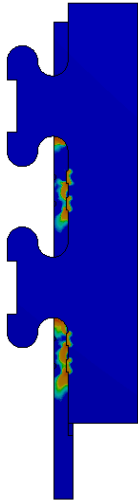
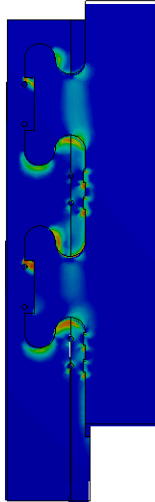
| Serie | Endzustand | Bauzustand | Fuge |
|--------------------------------|---|---|---|
| Vergleichsspannungen |  <p>Stress distribution in the end state (Endzustand) showing high stress concentrations (red/yellow) at the top and bottom edges of the component, particularly around the notches.</p> |  <p>Stress distribution in the construction state (Bauzustand) showing stress concentrations (red/yellow) primarily at the bottom edge of the component.</p> |  <p>Stress distribution at the joint (Fuge) showing high stress concentrations (red/yellow) at the top and bottom edges of the component, particularly around the notches.</p> |
| Plastische Vergleichsdehnungen |  <p>Plastic strain distribution in the end state (Endzustand) showing plastic deformation (yellow/red) concentrated at the bottom edge of the component.</p> |  <p>Plastic strain distribution in the construction state (Bauzustand) showing plastic deformation (yellow/red) concentrated at the bottom edge of the component.</p> |  <p>Plastic strain distribution at the joint (Fuge) showing plastic deformation (yellow/red) concentrated at the bottom edge of the component.</p> |

Bild 5: Auftretende Vergleichsspannungen und plastische Vergleichsdehnungen bei den simulierten Modellen



Bild 6: Versuchsaufbau, 3-Punkt-Biegeversuche



Bild 7: Ausschnitt aus dem Sägeschnitt entlang der Verbundfuge nach dem Versuch beim Versuchsträger „Endzustand“

Bildnachweis:
Alle Bilder, FG Massivbau und Baukonstruktion TU Kaiserslautern