

C.-A. Graubner, Tilo Proske, Carsten Bröse, Jochen Zeier

# **Entwicklung thermisch entkoppelter Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen**

F 3011

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-8167-9930-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00  
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)

---

# Entwicklung thermisch entkoppelter Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen

Abschlussbericht



## Forschungsprogramm

Forschungsinitiative „Zukunft Bau“, ein Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

## Projektlaufzeit

15.10.2014 bis 15.12.2016

## Aktenzeichen

SWD-10.08.18.7-14.11

## im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

## bearbeitet von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner, TU Darmstadt, Institut für Massivbau

Dr.-Ing. Tilo Proske, TU Darmstadt, Institut für Massivbau

Dr.-Ing. Carsten Bröse, TU Darmstadt, Institut für Massivbau

Dipl.-Ing. Jochen Zeier, TU Darmstadt, Institut für Massivbau

*Dieser Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktienzeichen: SWD-10.08.18.7-14.11). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor*

---

---

# Entwicklung thermisch entkoppelter Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen

---

Institut für Massivbau, Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner

---



## Abschlussbericht F06-14-2015

---

---

# Endbericht F06-14-2015

Projekt	Entwicklung thermisch entkoppelter Druckanschlüsse für Stahlbetonstützen
beauftragt durch	Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) Deichmanns Aue 31-37 53179 Bonn
ausführende Stelle	Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau, Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner, Dr.-Ing. Tilo Proske Projektbearbeiter: Dr.-Ing. Carsten Bröse, Dipl.-Ing. Jochen Zeier

---

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung und Zielsetzung .....	1
1.2	Forschungsansatz.....	3
1.3	Übersicht der Arbeitspakete .....	4
1.4	Zeitplan .....	5
1.5	Nutzen und Umsetzung in der Praxis .....	6
<b>2</b>	<b>Bauphysikalische Anforderungen an den Stützenanschluss (Arbeitspaket 1).....</b>	<b>7</b>
2.1	Überblick .....	7
2.2	Brand.....	7
2.3	Wärme.....	12
2.4	Feuchte.....	20
2.5	Weitere bauphysikalische Anforderungen.....	22
2.5.1	Licht.....	22
2.5.2	Schall .....	23
2.6	Anforderungskatalog .....	23
<b>3</b>	<b>Rechnergestützte Analyse des Wärmedurchgangs (AP 8).....</b>	<b>25</b>
3.1	Grundlagen .....	25
3.2	Ungestörte Decke.....	27
3.3	Dämmung am Stützenkopf – konstruktive Lösung .....	28
3.4	Stützenanschluss am Stützen-Decken-Knoten .....	30
3.5	Untersuchung der thermischen Modellierung zur Festlegung der maximal zulässigen Wärmeleitfähigkeit.....	34
3.6	Analyse der Wärmeleitfähigkeit des fertigen Stützenanschlusses.....	36
<b>4</b>	<b>Theoretische Untersuchungen zum Tragverhalten von Bauwerk und Stützenanschluss (AP 2).....</b>	<b>39</b>
4.1	Allgemeines .....	39
4.1.1	Randbedingungen für die Verwendung des Stützenanschlusses .....	39

4.1.2	Sicherheitskonzept und Teilsicherheitsbeiwerte.....	41
4.2	Lasten.....	42
4.2.1	Vertikale Lasten.....	42
4.2.2	Horizontale Lasten.....	46
4.3	Statische Systeme .....	47
4.3.1	Grundlagen .....	47
4.3.2	Stützsysteme im Hochbau.....	47
4.3.3	Nomenklatur zum analysierten Modell des Gesamtsystems .....	50
4.3.4	Studie System 1 – Pendelstützen .....	52
4.3.5	Studie System 2 – Fertigteilträgerdecken .....	55
4.3.6	Studie System 3 – Biegesteif angeschlossene Stützen.....	56
4.3.7	Untersuchungen zur Begrenzung der Exzentrizität .....	61
4.3.8	Außen- und Randstützen.....	63
4.3.9	Zusammenfassung .....	64
4.4	Durchstanzen .....	66
4.5	Konzentrierte Lasteinleitung - Grundlagen .....	68
4.5.1	Nachweis eines Druckknotens.....	68
4.5.2	Nachweis der Teilflächenpressung .....	69
4.5.3	Bisherige experimentelle Untersuchungen zu Kontaktflächenpressungen.....	70
4.6	Auswirkung der Bewehrungsführung im Stützenanschluss .....	70
4.7	Anforderungskatalog/Zusammenstellung.....	72
<b>5</b>	<b>Identifizierung geeigneter Materialien und Variantenuntersuchung (AP 3 + AP 4).....</b>	<b>75</b>
5.1	Allgemeine Zusammenstellung der Materialien.....	75
5.2	Druckfestigkeit .....	76
5.3	Variantenuntersuchung möglicher Lösungen.....	79
5.3.1	Variante A.....	80
5.3.2	Variante B.....	80
5.3.3	Variante C.....	81
5.4	Übersicht über mögliche Stützenanschlüsse.....	82
5.5	Gewählte Stützenanschlüsse.....	85

<b>6</b>	<b>Experimentelle Untersuchung (AP 5, AP 6, AP 9 + AP 11).....</b>	<b>89</b>
6.1	Vorgehen und Allgemeine Vorgaben .....	89
6.2	Versuchsserie 1 – Stahlbetonstützen mit einem LC-Element unter Variation der Exzentrizität der Belastung.....	90
6.2.1	Beschreibung des Testprogrammes und der Versuchskörper.....	90
6.2.2	Ergebnisse der Versuchsserie 1 .....	94
6.2.3	Analyse der Versuchsserie 1.....	97
6.2.4	Schlussfolgerungen aus der Versuchsserie 1 .....	100
6.3	Referenzstütze.....	103
6.3.1	Beschreibung des Testprogrammes und der Versuchskörper.....	103
6.3.2	Analyse der Referenzstütze .....	105
6.4	Versuchsserie 2 – Anschlussbereich ohne LC-Element .....	106
6.4.1	Beschreibung des Testprogrammes und der Versuchskörper.....	106
6.4.2	Ergebnisse und Analyse der Versuchsserie 2 – Anschlussbereich ohne LC-Element.....	107
6.5	Versuchsserie 3 – Anschlussbereich mit LC-Element.....	109
6.5.1	Beschreibung des Testprogrammes und der Versuchskörper.....	109
6.5.2	Ergebnisse und Analyse der Versuchsserie 3 – Anschlussbereich mit LC-Element .....	110
6.6	Versuchsserie 4 – Geringere Längsbewehrung und Traglaststeigerung des LC-Elements mit einem UHPC-Kern .....	111
6.6.1	Beschreibung des Testprogrammes und der Versuchskörper.....	111
6.6.2	Ergebnisse und Analyse der Versuchsserie 4 .....	113
6.7	Alternative Versuche mit einem UHPC-Element.....	116
6.7.1	Beschreibung des Testprogrammes und der Versuchskörper.....	116
6.7.2	Ergebnisse und Analyse der Versuche mit einem UHPC-Element .....	117
6.8	Untersuchungen im Hinblick auf die Umsetzung auf der Baustelle.....	118
6.8.1	Allgemeines .....	118
6.8.2	Untersuchungen zur Kontaktzone.....	120
6.8.3	Zusammenfassung .....	125
6.9	Zusammenfassung .....	125
<b>7</b>	<b>Numerische Untersuchungen der Traglast (AP 7 + AP 10)....</b>	<b>127</b>
7.1	Allgemeines .....	127
7.2	Modellierung.....	127



7.3	Materialmodelle .....	129
7.3.1	Allgemeines .....	129
7.3.2	Materialmodell Beton und Betonkennwerte .....	129
7.3.3	Bewehrungsstahl.....	131
7.3.4	Kontakt Stahlplatte – Beton.....	132
7.4	Validierung der Ergebnisse des FE-Modells an den Ergebnissen der Bauteilversuche.....	133
7.4.1	Einführung .....	133
7.4.2	Maximale Tragfähigkeiten.....	133
7.5	Fazit und Bewertung der Simulationen .....	140
<b>8</b>	<b>Bemessungskonzept (AP 10) .....</b>	<b>141</b>
8.1	Allgemeines .....	141
8.2	Grundlegendes Konzept.....	141
8.3	Sicherheitskonzept.....	141
8.4	Anpassung des FE-Modells .....	143
8.4.1	Allgemeines .....	143
8.4.2	Materialkennwerte des Bemessungsmodells .....	143
8.4.3	Weitere erforderliche Anpassungen des FE-Modells .....	144
8.4.4	Validierung der Software zur Querschnittstragfähigkeit .....	146
8.5	Parameterstudien.....	147
8.5.1	Allgemeines .....	147
8.5.2	Standardwerte des FE-Modells für die Parameterstudien.....	147
8.5.3	Abstand zwischen dem Ende der Längsbewehrung und dem Anschlusselement.....	148
8.5.4	Abstand der Achse der Längsbewehrung von der Außenkante .....	149
8.5.5	Anordnung von Zusatzbügel.....	150
8.5.6	Abstand der Bügelbewehrung.....	151
8.5.7	Ausmitte.....	152
8.5.8	Außenabmessungen der Stütze und des Bauelements .....	154
8.5.9	Bewehrungsgrad der Stahlbetonstütze .....	155
8.5.10	Betondruckfestigkeit der Stahlbetonstütze .....	158
8.6	Auswirkungen des Stützenanschlusses auf angrenzende Bauteile .....	159
8.7	Bemessungskonzept.....	161

8.7.1	Vertikallast.....	161
8.7.2	Horizontallast.....	166
8.8	Anwendungsgrenzen.....	167
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung (AP 12).....</b>	<b>169</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>173</b>
<b>Anhang A: Darstellung der Berechnung der Eigenschaften der Untervarianten für Tabelle 5-4.....</b>		<b>185</b>
<b>Anhang B: Materialfestigkeit der Versuchsserie 1 .....</b>		<b>190</b>
<b>Anhang C: Materialfestigkeit der Versuchsserie 2.....</b>		<b>192</b>
<b>Anhang D: Materialfestigkeit der Versuchsserie 3.....</b>		<b>194</b>
<b>Anhang E: Materialfestigkeit der Versuchsserie 4 .....</b>		<b>196</b>
<b>Anhang F: Materialfestigkeit des Leichtbetons, Materialprüfung .....</b>		<b>199</b>
<b>Anhang G: Weg-Kraft-Diagramme Versuche V1.1 und V1.5.....</b>		<b>200</b>
<b>Anhang H: Weg-Kraft-Diagramme der Referenzstütze .....</b>		<b>205</b>
<b>Anhang I: Weg-Kraft-Diagramme der Versuchsserie 2 .....</b>		<b>206</b>
<b>Anhang J: Weg-Kraft-Diagramme der Versuchsserie 3.....</b>		<b>208</b>
<b>Anhang K: Weg-Kraft-Diagramme der Versuchsserie 4.....</b>		<b>211</b>
<b>Anhang L: Überprüfung der Kontaktzone - Druckprüfungen .....</b>		<b>217</b>
<b>Anhang M: Überprüfung der Kontaktzone - Sichtprüfungen .....</b>		<b>218</b>
<b>Anhang N: Überprüfung der Kontaktzone – Definierte Fehlstellen.....</b>		<b>222</b>
<b>Anhang O: Weg-Kraft-Diagramme von ATENA gegenüber den Versuchen .....</b>		<b>224</b>