

Jürgen Schnell, Andrej Albert, Stephan Eilers

# **Stahlbetondecken mit integrierten Hohlräumen unter Zugbeanspruchung**

**F 2993**

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 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 reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2018

ISBN 978-3-7388-0096-8

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/bauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung)

**Projekt:**

**K9204553**

**Stahlbetondecken mit integrierten Hohlräumen unter Zugbeanspruchung**

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

**(Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-036 / SWD-10.08.18.7-13.04)**

**Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.**

**Inhalt:**

**Endbericht, Stand 31.1.2016**



---

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell



---

Prof. Dr.-Ing. Andrej Albert



---

Dipl.-Ing. (FH) Stephan Eilers, M. Sc.

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Allgemeines .....</b>                           | <b>17</b> |
| <b>2</b> | <b>Motivation .....</b>                            | <b>17</b> |
| 2.1      | Stahlbetondecken mit integrierten Leitungen .....  | 17        |
| 2.1.1    | Biegetragfähigkeit .....                           | 19        |
| 2.1.2    | Querkrafttragfähigkeit .....                       | 20        |
| 2.1.3    | Durchstanztragfähigkeit .....                      | 22        |
| 2.2      | Stahlbetondecken mit integrierten Hohlräumen ..... | 23        |
| <b>3</b> | <b>Zielsetzung .....</b>                           | <b>24</b> |
| <b>4</b> | <b>Grundlagen .....</b>                            | <b>25</b> |
| 4.1      | Bemessung .....                                    | 25        |
| 4.1.1    | Stahlbetondecken ohne integrierte Hohlräume .....  | 25        |
| 4.1.2    | Stahlbetondecken mit integrierten Leitungen .....  | 27        |
| 4.1.3    | Stahlbetondecken mit integrierten Hohlräumen ..... | 28        |
| 4.2      | Maßstabseffekt .....                               | 29        |
| 4.2.1    | Maßstabseffekt 1 - Biegeriss .....                 | 29        |
| 4.2.2    | Maßstabseffekt 2 - Schubriss .....                 | 31        |
| 4.2.3    | Maßstabseffekt 3 - Längsbewehrung .....            | 32        |
| 4.2.4    | Fazit .....                                        | 33        |
| <b>5</b> | <b>Eigene Versuche .....</b>                       | <b>35</b> |
| 5.1      | Gegenstand der Untersuchungen .....                | 35        |
| 5.2      | Versuchsaufbau .....                               | 36        |
| 5.3      | Versuchsprogramm .....                             | 38        |
| 5.4      | Versuchskörper .....                               | 39        |
| 5.4.1    | Geometrie der Versuchskörper .....                 | 39        |
| 5.4.2    | Schubslankheit .....                               | 39        |
| 5.4.3    | Betondeckung .....                                 | 39        |
| 5.4.4    | Herstellung der Versuchskörper .....               | 39        |
| 5.5      | Baustoffe .....                                    | 40        |
| 5.5.1    | Betonstahl .....                                   | 40        |
| 5.5.2    | Beton .....                                        | 41        |

---

|          |                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.3    | Frischbetonprüfung .....                           | 42        |
| 5.5.4    | Festbetonprüfung .....                             | 43        |
| 5.6      | Zugbeanspruchung und Rissbreiten .....             | 46        |
| 5.6.1    | Beanspruchungszustand 1 .....                      | 46        |
| 5.6.2    | Beanspruchungszustand 2 .....                      | 50        |
| 5.7      | Querbeanspruchung .....                            | 52        |
| 5.7.1    | Gebrauchszustand .....                             | 52        |
| 5.7.2    | Bruchzustand .....                                 | 53        |
| 5.8      | Versuchsdurchführung .....                         | 54        |
| 5.8.1    | Versuchsablauf .....                               | 54        |
| 5.8.2    | Messtechnik .....                                  | 55        |
| 5.9      | Versuchsergebnisse .....                           | 56        |
| 5.9.1    | Stahlbetondecken ohne integrierte Leitungen .....  | 62        |
| 5.9.2    | Stahlbetondecken mit integrierten Leitungen .....  | 65        |
| 5.9.3    | Stahlbetondecken mit integrierten Hohlkörpern..... | 69        |
| 5.10     | Versuchsauswertung .....                           | 71        |
| 5.10.1   | Stahlbetondecken ohne integrierte Leitungen .....  | 73        |
| 5.10.2   | Stahlbetondecken mit integrierten Leitungen .....  | 78        |
| 5.10.3   | Stahlbetondecken mit integrierten Hohlkörpern..... | 83        |
| <b>6</b> | <b>Finite-Elemente-Simulationen .....</b>          | <b>87</b> |
| 6.1      | Allgemeines.....                                   | 87        |
| 6.2      | Finite Elemente .....                              | 88        |
| 6.2.1    | Strukturelemente.....                              | 88        |
| 6.2.2    | Bewehrungselemente .....                           | 90        |
| 6.2.3    | Schnittstellenelemente .....                       | 91        |
| 6.3      | Lösungsverfahren .....                             | 92        |
| 6.3.1    | Lösungsalgorithmen.....                            | 92        |
| 6.3.2    | Lösungskriterien.....                              | 94        |
| 6.4      | Materialmodelle .....                              | 97        |
| 6.4.1    | Allgemeines.....                                   | 97        |
| 6.4.2    | Rissmodell.....                                    | 97        |
| 6.4.3    | Beton unter Druckbeanspruchung .....               | 99        |

|          |                                                    |            |
|----------|----------------------------------------------------|------------|
| 6.4.4    | Beton unter Zugbeanspruchung .....                 | 103        |
| 6.4.5    | Beton unter Schubbeanspruchung .....               | 109        |
| 6.4.6    | Stahl unter Druck- und Zugbeanspruchung .....      | 111        |
| 6.4.7    | Verbundgesetze .....                               | 112        |
| 6.5      | Finite-Elemente-Modell .....                       | 114        |
| 6.5.1    | Modell.....                                        | 114        |
| 6.5.2    | Validierung .....                                  | 116        |
| 6.5.3    | Maßstabseffekte.....                               | 120        |
| 6.5.4    | Beurteilung .....                                  | 125        |
| 6.6      | Versuchsnachrechnung .....                         | 126        |
| 6.6.1    | FE-Modelle.....                                    | 126        |
| 6.6.2    | Stahlbetondecken ohne integrierte Leitungen .....  | 132        |
| 6.6.3    | Stahlbetondecken mit integrierten Leitungen .....  | 136        |
| 6.6.4    | Stahlbetondecken mit integrierten Hohlkörpern..... | 140        |
| 6.7      | Parameterstudie.....                               | 145        |
| 6.7.1    | Versuchsprogramm.....                              | 145        |
| 6.7.2    | Versuchsserie FE-Q-S0 .....                        | 148        |
| 6.7.3    | Versuchsserie FE-Q-S1 .....                        | 150        |
| 6.7.4    | Versuchsserie FE-Q-S2 .....                        | 152        |
| 6.7.5    | Versuchsserie FE-Q-S3 .....                        | 154        |
| 6.7.6    | Versuchsserie FE-Q-S4 .....                        | 156        |
| 6.7.7    | Versuchsserie FE-Q-S5 .....                        | 158        |
| 6.7.8    | Versuchsserie FE-Q-S6 .....                        | 160        |
| 6.8      | Fazit .....                                        | 162        |
| <b>7</b> | <b>Bemessungskonzepte .....</b>                    | <b>166</b> |
| 7.1      | Stahlbetondecken ohne integrierte Leitungen .....  | 166        |
| 7.2      | Stahlbetondecken mit integrierten Leitungen .....  | 167        |
| 7.3      | Stahlbetondecken mit integrierten Hohlkörpern..... | 170        |
| <b>8</b> | <b>Zusammenfassung &amp; Ausblick.....</b>         | <b>172</b> |
| <b>9</b> | <b>Literatur.....</b>                              | <b>175</b> |
| Anhang A | Versuchsergebnisse .....                           | 179        |
| Anhang B | Versuchsprogramm .....                             | 241        |

|          |                                |     |
|----------|--------------------------------|-----|
| Anhang C | Schalungs- und Bewehrungspläne | 247 |
| Anhang D | Versuchseinrichtung            | 268 |
| Anhang E | Messtechnik                    | 269 |
| Anhang F | Batterieschalung               | 270 |