

Tragfähigkeitssteigerung von Installationsdecken durch Querkraft-Bewehrungselemente

Kurzbericht

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des
Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
gefördert.

(Z 6 - 10.08.18.7-08.39/ II 2-F20-09-1-042)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Projektleiter: Prof.-Dr.-Ing. Jürgen Schnell
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Christian Albrecht

Datum: 31. Mai 2011

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell

Dipl.-Ing. (FH) Christian Albrecht

1 Ziel der Forschungsaufgabe

Im Hochbau kommen immer öfter Stahlbetondecken mit integrierten Leitungsführungen zur Ausführung. Neben Leerrohren für Elektroinstallationen werden sowohl flüssigkeits- als auch luftführende Kanäle in Tragwerke integriert. Es werden kreisrunde Leitungen aber auch rechteckige (Flach-) Kanäle eingebaut.

Grundsätzlich sind Betonquerschnitte außerhalb der Biegedruckzone nicht voll ausgenutzt. Der Querschnitt kann also in diesem Bereich für Leitungsführungen sinnvoll genutzt werden, sofern die Querkrafttragfähigkeit nicht unzulässig abgemindert wird.

Für die Tragfähigkeit von einachsig gespannten Platten ohne Querkraftbewehrung konnten von Schnell und Thiele Bemessungsregeln vorgeschlagen werden, die auch in die Neuauflage von DAfStb Heft 525 [1] aufgenommen wurden (siehe [4], [5] und [6]).

Die Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetondecken fällt demnach sowohl beim Einbau größerer Leitungsquerschnitte als auch bei Anhäufung kleiner Leitungen stark ab, so dass in vielen Fällen Querkraftbewehrung erforderlich wird.

Es fehlen bisher allerdings Bemessungsregeln, nach denen eine örtliche Bewehrung im Bereich der Leitungsführungen dimensioniert werden könnte.

In der Praxis führt dies nicht selten zur Ablehnung und Verhinderung solcher Systeme durch Tragwerksplaner und Prüfengeure.

In diesem Forschungsvorhaben sollten deshalb einachsig gespannte Stahlbetondecken mit unterschiedlichen Arten der Leitungsführung hinsichtlich ihrer Querkrafttragfähigkeitssteigerung durch lokale Querkraft-Bewehrungselemente untersucht werden.

Ziel war die Erforschung des Tragverhaltens.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

2.1 Versuchsprogramm

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Versuchsprogramm erarbeitet, das Erkenntnisse über die Versagenslasten, die Bruchbilder und den Einfluss der Querkraftbewehrung auf die Tragfähigkeit der Bauteile liefern sollte. Insgesamt wurden neben vorangegangenen Tastversuchen 14 Bauteilversuche durchgeführt. Es wurden runde und rechteckige Einzelöffnungen, sowie runde Öffnungsgruppen getestet, wobei für jede Geometrie ein Referenzversuch ohne Querkraftbewehrungselemente durchgeführt wurde (siehe Abbildung 1). Die Öffnungshöhe von $d_o / d = 0,5$ war zur besseren Vergleichbarkeit bei allen Versuchen gleich.

Neben der Öffnungsgeometrie wurden der Querkraftbewehrungstyp und die Bewehrungsmenge variiert. In diesem Zusammenhang wurde der Schubkonzentrationsfaktor eingeführt. Er beschreibt das Verhältnis zwischen der Tragfähigkeit der Querkraftbewehrung bei charakteristischen Materialeigenschaften zur mittleren Querkrafttragfähigkeit. Bei den Versuchen wurde der Schubkonzentrationsfaktoren zu 1,0, 0,75 und 0,5 gesetzt.

Schubkonzentrationsfaktor: $S_{V.Rm.ct} = \frac{f_{yk} \cdot A_{sw}}{V_{Rm.ct}} = 1,0 \text{ oder } 0,75 \text{ oder } 0,5$

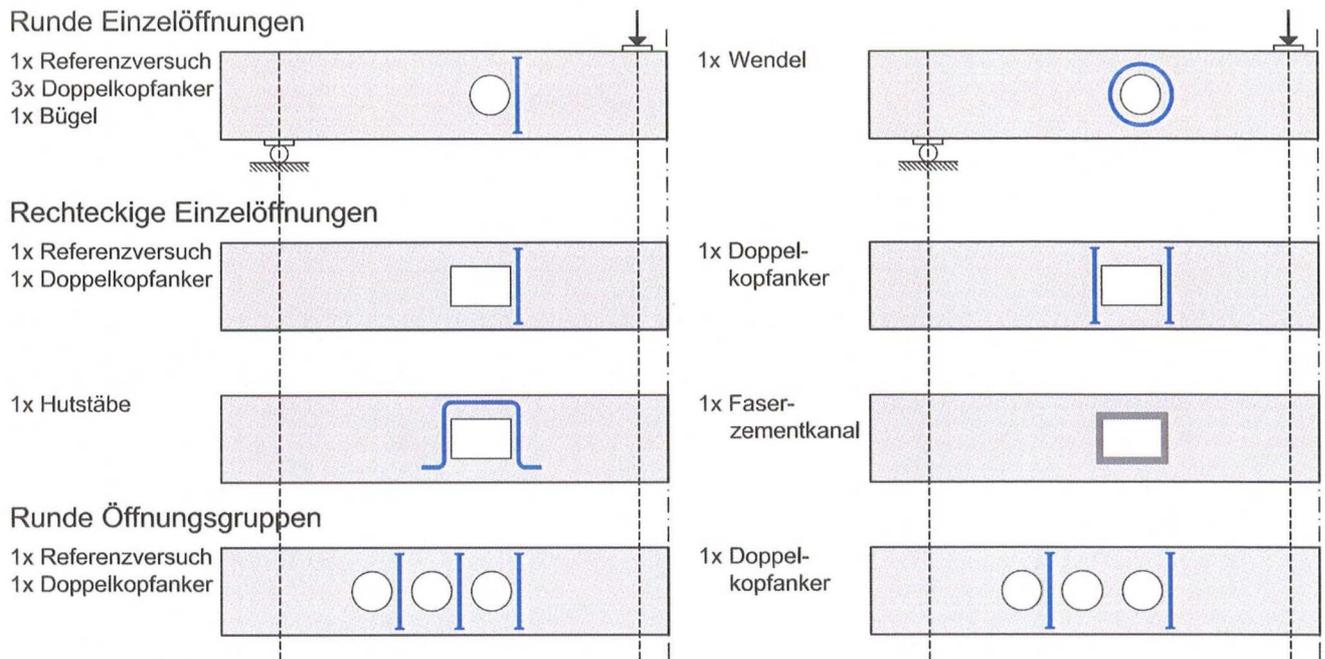
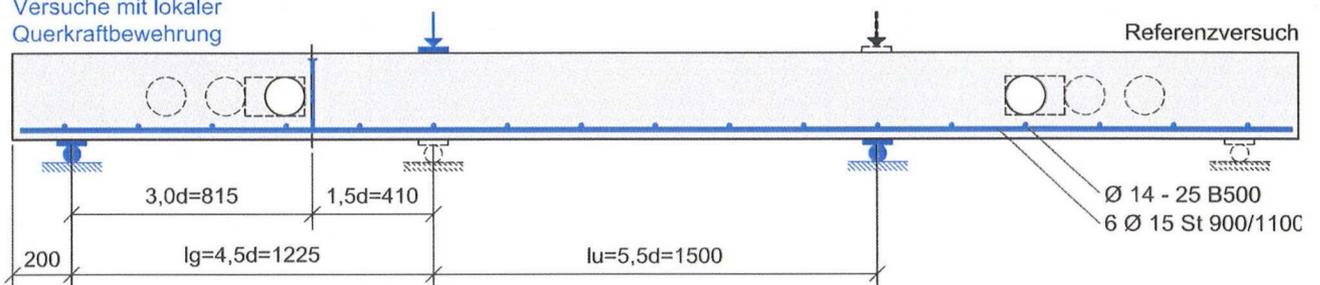


Abbildung 1: Bauteilversuche - Übersicht

Die Versuchskörper waren durch die Achsabstände zwischen Auflager und Lasteinleitung so ausgelegt, dass bei allen Versuchen der Öffnungsbereich versagte. Pro Versuchskörper wurden unter veränderten Auflagerpositionen zwei Versuche durchgeführt (siehe Abbildung 2).

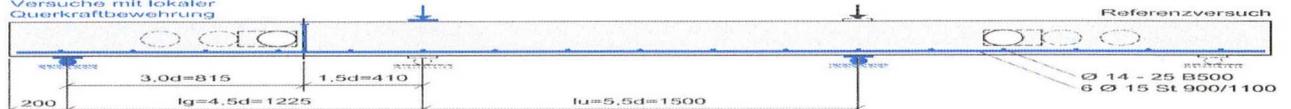
Längsschnitt

Versuche mit lokaler Querkraftbewehrung



Längsschnitt

Versuche mit lokaler Querkraftbewehrung



Querschnitte

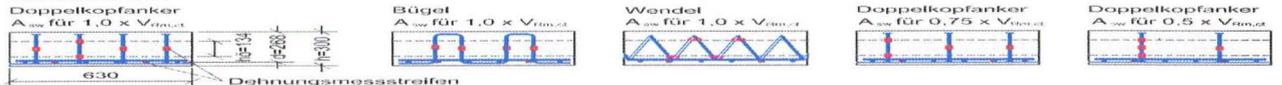


Abbildung 2: Längsschnitt und Querschnitte der Versuchskörper

Die Versuche wurden im Drei-Punkt-Biegeversuch durchgeführt. Neben den Stahldehnungen wurden Vertikalverformungen und Rissbreiten gemessen (siehe Abbildung 3). Die Last wurde zunächst in Schritten bis zum erwarteten Gebrauchslastniveau gesteigert. Diese Laststufe wurde insgesamt zehn Mal automatisch angefahren. Anschließend wurde der Versuchskörper in Schritten bis zum Bruch belastet. Ein typisches Zylinderkraft-Zeit Diagramm ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 3: Versuchsaufbau

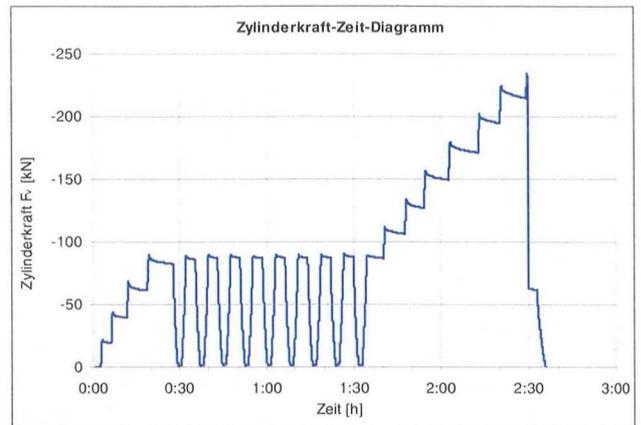


Abbildung 4: Zylinderkraft-Zeit-Diagramm

2.2 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

In Abbildung 5 sind die verwendeten Versuchskörper nach Durchführung der Belastungsversuche dargestellt. In Tabelle 1 werden alle erreichten Querkräfte im Bruchzustand mit dem Referenzversuch und der theoretischen Tragfähigkeit einer ungeschwächten Platte mit gleichen Randbedingungen aufgeführt.

Die angegebenen Querkkräfte wurden auf eine Zylinderdruckfestigkeit von $f_{cm} = 25 \text{ N/mm}^2$ umgerechnet ($V_{u,25}$). Die Berechnung der theoretischen Tragfähigkeit einer identischen, jedoch ungeschwächten Platte erfolgte nach Gleichung 70, DIN 1045 [2] mit einem Vorfaktor von 0,2 und mit $f_{ck} = f_{cm} = 25 \text{ N/mm}^2$ ($V_{RM,ct}$).

Durch die Übersicht kann verdeutlicht werden, welchen effektiven Einfluss örtliche Querkraft-Bewehrungselemente auf die Querkrafttragfähigkeit von Installationsdecken haben.

Der Vergleich mit der zu erwartenden Tragfähigkeit nach [1] ($V_{RM,ct,o}$) zeigt deutlich, dass die Bemessung nach [1] auf der sicheren Seite liegt. Die Tragfähigkeitssteigerung fällt dementsprechend prozentual höher aus.

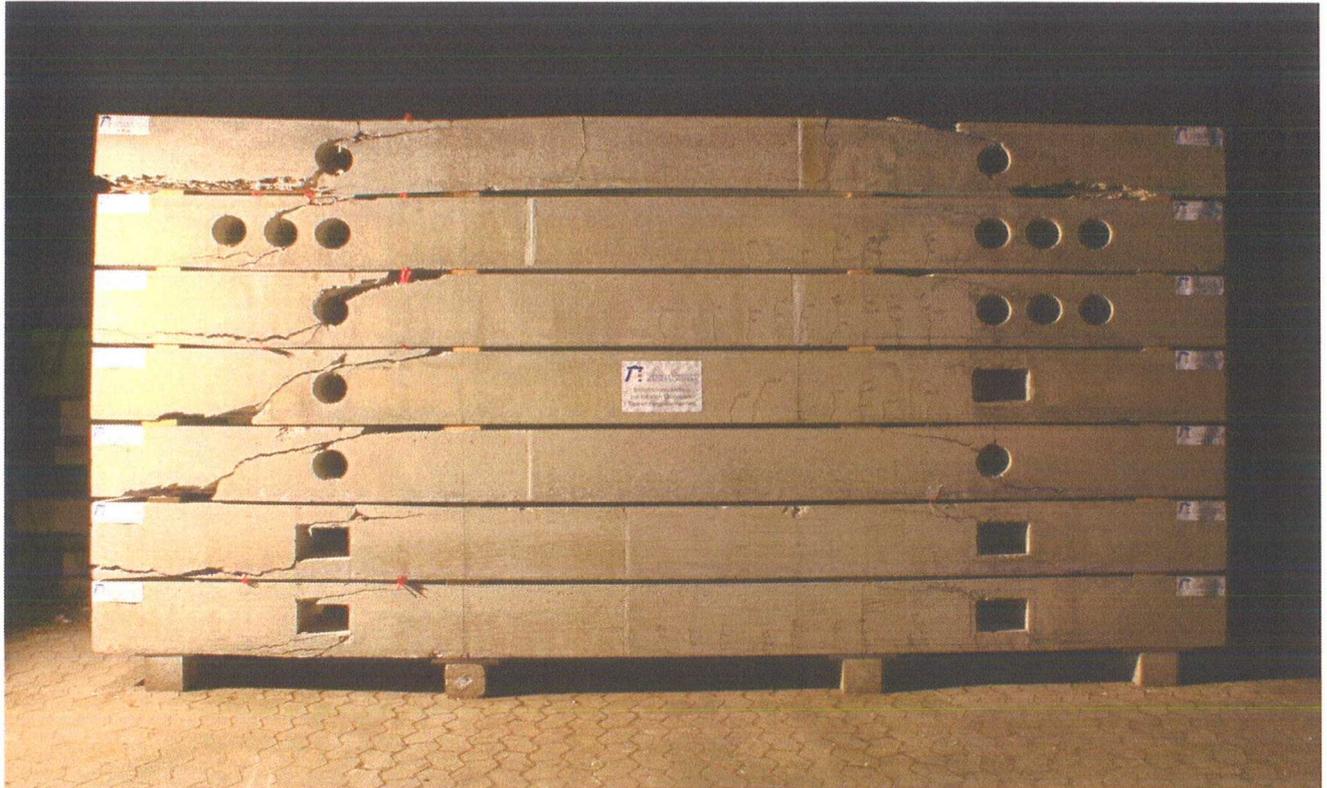


Abbildung 5: Versuchskörper nach Belastung

Tabelle 1: Erreichte Querkräfte im Bruchzustand

| Versuch | Öffnung | Bewehrungstyp | $S_{V,Rm,ct}$ [-] | $V_{u,25}$ [kN] | $V_{u,25}/$ $V_{u,25,Referenz}$ | $V_{u,25}/$ $V_{Rm,ct}$ | $V_{u,25}/$ $V_{Rm,ct,o}$ [1] mit $c=0,2$ |
|---------|---|--|----------------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------|---|
| V-R-1 | Rund $d\varnothing = 0,5d$ | Referenzversuch - keine | --- | 94,25 | --- | 59,9% | 78,74 kN nach [1] |
| V-R-2 | | Dübelleiste - einseitig | 1,00 | 155,66 | 165,2% | 98,8% | 197,7% |
| V-R-3 | | Dübelleiste - einseitig | 0,75 | 140,59 | 149,2% | 89,3% | 178,5% |
| V-R-4 | | Dübelleiste - einseitig | 0,50 | 128,10 | 135,9% | 81,4% | 162,7% |
| V-R-5 | | Bügel - einseitig | 1,00 | 149,10 | 158,2% | 94,7% | 189,4% |
| V-R-6 | | Wendel | 1,00 | 146,14 | 155,1% | 92,8% | 185,6% |
| V-E-1 | Eckig $h \times l = 0,5d$ $x 0,75d$ | Referenzversuch - keine | --- | 57,10 | --- | 36,3% | 40,85 kN nach [1] |
| V-E-2 | | Dübelleiste - einseitig | 1,00 | 121,74 | 213,2% | 77,3% | 298,0% |
| V-E-3 | | Dübelleiste - beidseitig | 1,00 | 129,36 | 226,6% | 82,2% | 316,7% |
| V-E-4 | | Hutstäbe - einseitig | 1,00 | 82,34 | 144,2% | 52,3% | 201,6% |
| V-E-5 | | mit Flachkanal aus Faserzementbeton | --- | 57,67 | 101,0% | 36,6% | 141,2% |
| V-G-1 | Öffnungs- gruppe 3 x rund | Referenzversuch - keine | --- | 57,30 | --- | 36,4% | < 0 nach [1] |
| V-G-2 | | Dübelleistereihe - 3x | 0,75 | 128,84 | 224,9% | 81,8% | --- |
| V-G-3 | | Dübelleistereihe - 2x | 0,75 | 85,84 | 149,8% | 54,5% | --- |

* $V_{Rm,ct} = V_{cal,25,ungeschwächt} = 157,5$ kN

Die erreichten Querkräfte im Bruchzustand und die Versagensbilder aller Versuche sind dem Abschlussbericht zu entnehmen. Im Folgenden werden ausschließlich die Versuchskörper mit runden Öffnungen verglichen. Die Bruchlasten und Versagensbilder sind in Abbildung 6 und ein Vergleich der Kraft-Verformungsdiagramme in Abbildung 7 dargestellt.

Der Versuch V-R-4 mit $S_{V,Rm,ct} = 0,5$ erreichte eine Querkraft von 136 %, verglichen mit dem Referenzversuch. Der Versagensschubriss verlief wie beim Referenzversuch mitten durch die Öffnung. Der Versuch V-R-3 mit $S_{V,Rm,ct} = 0,75$ erreichte eine Querkraft von 149 %, verglichen mit dem Referenzversuch. Der Versagensschubriss verlief anders als beim Referenzversuch nicht mitten durch die Öffnung, sondern zunächst oberhalb der Öffnung und dann unterhalb der Öffnung bis in die Zugzone. Bei Versuch V-R-2 mit $S_{V,Rm,ct} = 1,0$ konnte die Querkraft auf 165 %, verglichen mit dem Referenzversuch, gesteigert werden. Der Versagensschubriss verlief nicht mehr wie beim Referenzversuch mitten durch die Öffnung. Es bildete sich ein Schubriss oberhalb der Öffnung.

Ein Vergleich der Versuche mit einem Schubkraftkonzentrationsfaktor $S_{V,Rm,ct} = 1,0$ (V-R-2, V-R-5 und V-R-6) zeigt, dass die Tragfähigkeit nicht nur durch Dübelleisten, sondern auch durch Wendeln oder konventionelle Bügel deutlich gesteigert werden kann.

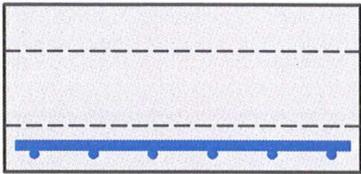
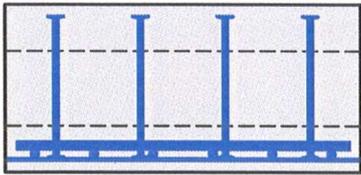
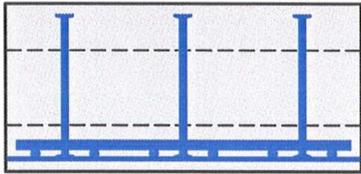
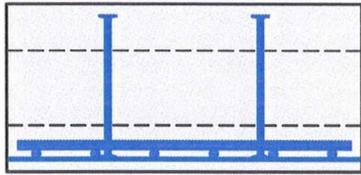
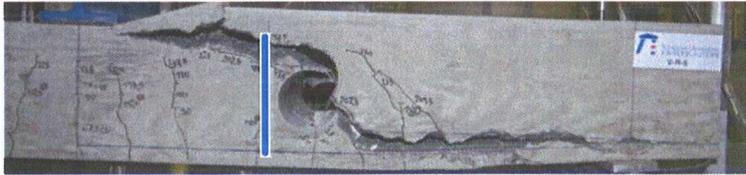
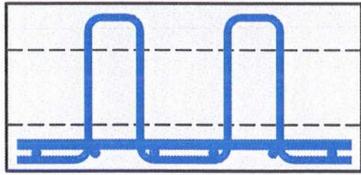
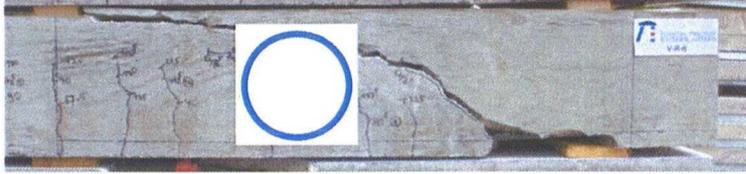
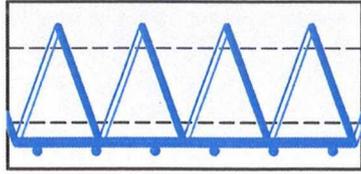
| Versuch | Versuchskörper nach Bruch | Querschnitt |
|--------------------------|--|---|
| V-R-1 94,2kN 100% |  |  |
| V-R-2 155,7kN 165% |  |  |
| V-R-3 140,6kN 149% |  |  |
| V-R-4 128,1kN 136% |  |  |
| V-R-5 149,1kN 158% |  |  |
| V-R-6 146,1kN 155% |  |  |

Abbildung 6: Maximale Querkraft und Versagensbilder der Versuche mit runden Einzelöffnungen

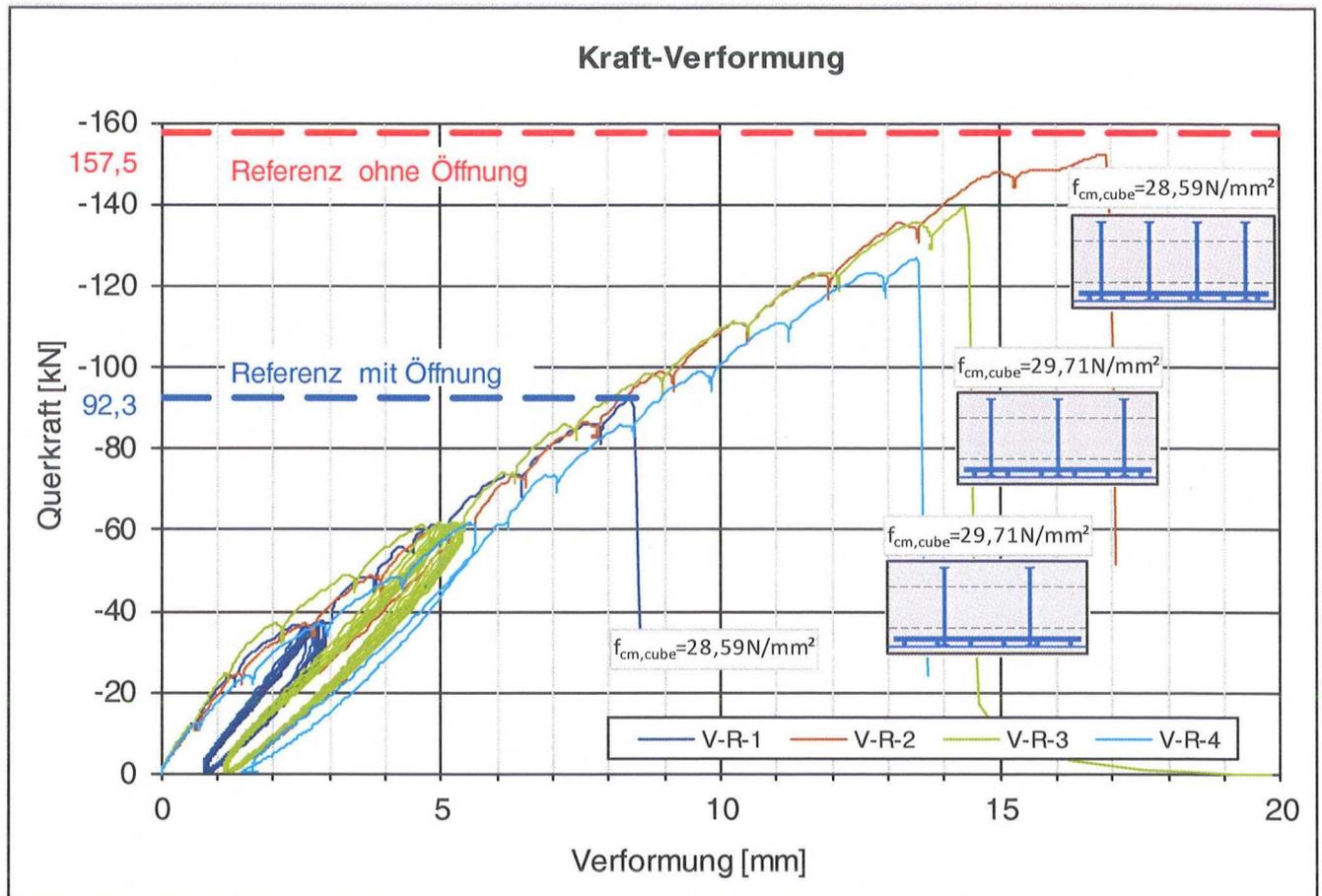


Abbildung 7: Kraft-Verformungs-Diagramm – Runde Öffnungen: Referenzversuch und Versuche mit Dübeln auf der Lasteinleitungsseite

2.3 Nachrechnung der experimentellen Untersuchungen mit Hilfe einer FE-Berechnung

Die Versuche wurden mit dem FEM-Programm ATENA 2D nachgerechnet. Stimmt die theoretischen mit den experimentellen Bruchlasten gut überein, konnten ebenfalls bei den Verformungen und Stahldehnungen sehr gute Korrelationen festgestellt werden. Bei gleicher Modellierung wichen die FEM-Ergebnisse bei mehreren Versuchen jedoch stark von den Versuchsergebnissen ab, weshalb keine Parameterstudie durchgeführt werden konnte.

2.4 Vorläufiges Bemessungskonzept

Für runde Öffnungen mit Dübeln wurde ein vorläufiges Bemessungskonzept vorgeschlagen, welches jedoch vor Anwendung in der Praxis noch untermauert werden muss.

Das Bemessungskonzept soll folgende Bedingungen abdecken:

- Begrenzung der Querkrafttragfähigkeit durch $V_{Rd,ct}$ des ungeschwächten Querschnitts.
- Einfluss der Öffnung auf die Querkrafttragfähigkeit
- Wirksamkeit der Dübel

Es wird vorgeschlagen, als Grundlage der Bemessung die in [1] vorgeschlagene Gleichung zur Bemessung von Decken mit Öffnungen heranzuziehen und die hierdurch errechnete Querkraft mit einem additiven Wert in Abhängigkeit der Wirksamkeit der Dübel zu beaufschlagen.

$$v_{Rd,ct,o+Dü} = v_{Rd,ct,o} + \Delta v_{Rd,Dübelreihe} \leq v_{Rd,ct}$$

Tragfähigkeit der Decke mit Öffnung
und Dübelreihe

mit:

$$v_{Rd,ct,o} = \left(k_0 \cdot \frac{0,15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Tragfähigkeit der Decke mit Öffnung [1]

$$\Delta v_{Rd,Dübelreihe}$$

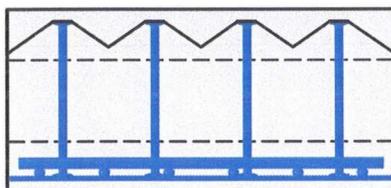
Additiver Wert zur Berücksichtigung
der Tragfähigkeitssteigerung in Ab-
hängigkeit der Dübelwirkung

$$v_{Rd,ct} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot \eta_1 \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d$$

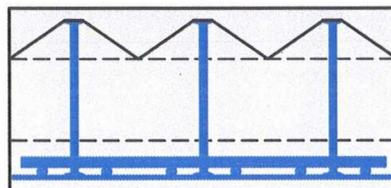
Tragfähigkeit der ungeschwächten
Decke nach [2], Gleichung 70

Die Wirksamkeit der Dübel war in den durchgeführten Versuchen durch die Verankerung beschränkt (siehe Abbildung 8). Werden kleinere Öffnungen eingesetzt und kann der Dübel ausreichend verankert werden, muss die Wirksamkeit der Dübel durch die Stahltragfähigkeit begrenzt werden. Die Bemessung der Anker erfolgt in Anlehnung an die Bemessung von Kopfbolzen nach [3] und ist im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens aufgeführt.

V-R-2



V-R-3



V-R-4

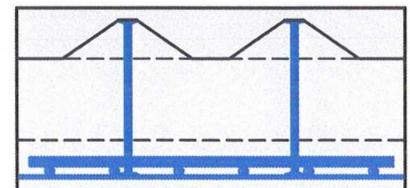


Abbildung 8: Ausbruchkegel der Dübelreihe bei runden Einzelöffnungen

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im durchgeführten Forschungsprojekt konnte gezeigt werden, dass die Tragfähigkeit von Installationsdecken durch örtliche Querkraft-Bewehrungselemente effektiv gesteigert werden kann. In Abhängigkeit von der Öffnungsgröße und -geometrie sowie der eingebauten Bewehrungsmenge kann sogar die Tragfähigkeit des ungeschwächten Querschnitts ohne Querkraftbewehrung erreicht oder überschritten werden.

Entscheidenden Einfluss auf die Tragfähigkeit hat die Verankerung der verwendeten Querkraft-Bewehrungselemente. Dabei ist nicht nur entscheidend, ob es sich um Dübelleisten oder konventionelle Bewehrung handelt. Wesentlich ist auch, in welchem vertikalen und horizontalen Abstand die Bewehrung zur Öffnung eingebaut wird und ob die Längsbewehrung umschlossen wird.

Es konnte ein vorläufiges Bemessungskonzept für Installationsdecken mit runden Öffnungen und lokalen Dübelleisten entwickelt werden, welches jedoch durch weitere Versuche und Parameterstudien verifiziert werden muss. Für eine aussagekräftige Parameterstudie wird es notwendig werden, ein 3D FE-Programm zu verwenden, was einen relativ großen Modellierungs- und Berechnungsaufwand erfordert. Die Verankerung kann jedoch besser abgebildet werden und es kann davon ausgegangen werden, dass eine gute Korrelation zwischen den experimentellen und theoretischen Untersuchungen erreicht werden kann.

Des Weiteren sind folgende Aspekte noch genauer zu untersuchen:

- Höhenlage der Öffnung im Querschnitt,
- Lage der Öffnung in Bauteillängsrichtung,
- Anordnung der Öffnungen in Kragarmanschnitten,
- Anordnung der Öffnungen im Momentennullpunkt,
- Zusatzbeanspruchung durch zentrischen Zwang,
- Schwächung der Verbundfuge bei Filigrandecken.

Hierbei kann auf die in [6] gewonnene Erkenntnisse aufgebaut werden.

Die Forschungsarbeiten werden aufbauend auf das durchgeführte Versuchsprogramm außerhalb der Finanzierung durch das BBR an der TU Kaiserslautern fortgesetzt werden.

4 Literaturverzeichnis

- [1] DAfStb Heft 525: Erläuterungen zu DIN 1045-1. Berlin Beuth Verlag, 2. überarbeitete Auflage 2010
- [2] DIN 1045-1-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion; Beuth-Verlag, Berlin, 2008
- [3] Pregartner T.: Bemessung von Befestigungen im Beton, Ernst & Sohn, 2009
- [4] Schnell, J., Thiele, C.: „Anwendungsgrenzen für Luftkanäle in Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung, Abschlussbericht DBV-Vorhaben 250 und 259.“, 2006.
- [5] Schnell, J., Thiele, C.: „Querkrafttragfähigkeit von Stahlbetondecken mit integrierten Leitungsführungen, Abschlussbericht Bauforschung T 3135 2007.“, 2007.
- [6] Thiele, C.: Zum Tragverhalten von Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung mit integrierter Leitungsführung, Dissertation Kaiserslautern, 2010