

Bemessung von Stahlbetondecken ohne Querkraftbewehrung mit integrierten Leitungsführungen

Catherina Thiele

Technische Universität Kaiserslautern
thiele@rhrk.uni-kl.de

A2

Zusammenfassung

Auf Grund fehlender Bemessungsgrundlagen beim Nachweis von Stahlbetondecken ohne Querkraftbewehrung mit integrierten Leitungsführungen wurde das in diesem Beitrag beschriebene Forschungsvorhaben durchgeführt. Mit Hilfe von Bauteilversuchen an Stahlbetondeckenabschnitten mit Querschnittsschwächungen von unterschiedlicher Geometrie und deren Bestätigung durch Finite Element-Berechnungen konnten Bemessungsgleichungen gefunden werden, die in das neue Heft 525 „Erläuterungen zu DIN 1045-1“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton einfließen konnten.

Parameter wie Öffnungsgeometrie, Verhältnis von Öffnungshöhe zu statischer Höhe, Abstand der Öffnungen untereinander und Lage der Öffnung im Querschnitt wurden untersucht und konnten bewertet werden. Die Bemessungsgleichung nach DIN 1045-1 für die Querkrafttragfähigkeit von Bauteilen ohne Querkraftbewehrung wurde durch einen Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von Öffnungshöhe und statischer Höhe erweitert.

1 Ausgangssituation

Stahlbetondecken werden in zunehmendem Maße als Installationsraum genutzt. Dazu werden Leerrohre oder Kanäle mit unterschiedlicher Größe und Form in den Decken einbetoniert und darin z.B. Elektroleitungen oder Datenkabel verlegt. Die Firma Kiefer entwickelte ein System zur Bauteiltemperierung (Concretcool [4]), bei dem kühle oder heiße Luft durch Aluminiumrohre (erhältlich in 60 mm und 80 mm Durchmesser), die in Decken einbetoniert sind, geblasen wird (Abbildung 1). Das System macht sich die Wärmespeicherkapazität von Beton zu Nutze und kühlt oder heizt die angrenzenden Räume nach Bedarf.

In Abbildung 2 ist eine Decke mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Leitungsführungen zu sehen. Dabei stellen die relativ dünnen Leerrohre keine tragfähigkeitsrelevante Querschnittsschwächung dar. Während im Gegensatz dazu die drei relativ dicht liegenden Rohre und der rechteckige Kanal bei der Deckenbemessung berücksichtigt werden müssen.

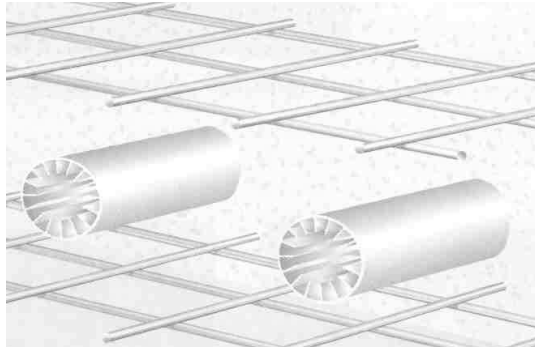


Abbildung 1: Zwischen oberer und unterer Bewehrung einbetonierte Aluminiumrohre , System Concretcool, Fa. Kiefer [4]



Abbildung 2: Diverse Leitungsführungen in einer Stahlbetondecke

Ziel des Forschungsvorhabens war die Definition eines Abminderungsfaktors für die Querkrafttragfähigkeit von Decken ohne Querkraftbewehrung, mit dem die Gleichung (70) nach DIN 1045-1 [2] erweitert werden kann. Weiterhin sollten Mindestabstände der Öffnungen definiert werden.

2 Stand der Technik

Als klassische Tragmodelle für Stahlbetonplatten werden das Bogen-Zugband und das Sprengwerkmodell beschrieben. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass alle Knotenbereiche und Betonstreben nur auf Druck beansprucht werden. Zugkräfte werden lediglich der Längsbewehrung zugeordnet.

Allerdings kann nur bei gedrungenen Balken dieser direkte Lastabtrag über ein Sprengwerk (Abbildung 3) oder Bogen - Zugband - Modell (Abbildung 4) erklärt werden. Bei größeren Schlankheiten müssen weitere Tragmechanismen aktiviert werden.

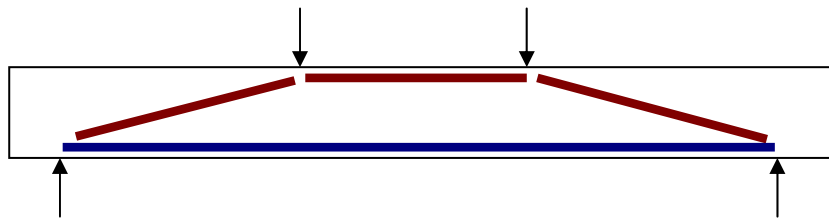


Abbildung 3: Sprengwerkmodell

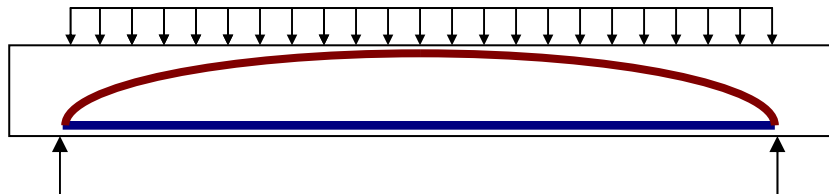


Abbildung 4: Bogen-Zugband Modell

Entscheidenden Anteil am Querkraftabtrag in Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung haben die in Abbildung 5 dargestellten Tragmechanismen Rissreibung (V_{iR}), Dübelwirkung ($V_{dü}$) und Querkraftabtrag über die Betondruckzone (V_c). Weiterhin kann der Bruchprozesszone ein geringer Anteil der gesamten Querkraft zugeordnet werden. Man nennt dieses Modell Zahnmodell. Die Querkraftabtragung mit den zuvor genannten Tragmechanismen aktiviert jeweils die Betonzugfestigkeit.

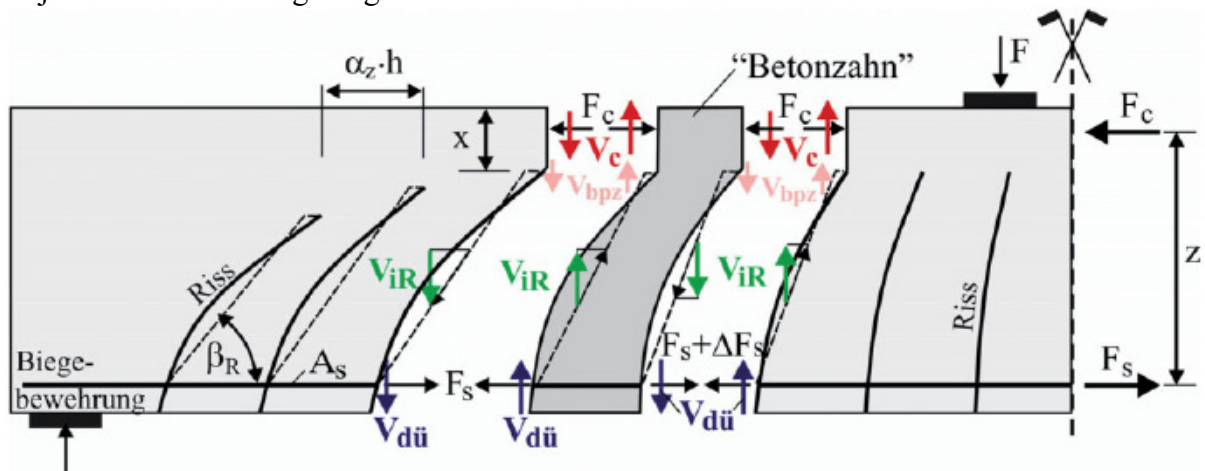


Abbildung 5: Komponenten des Querkraftabtrags (Zahnmodell nach Reineck),
 (Bild aus [5])

Das sich tatsächlich einstellende Tragverhalten setzt sich aus einer Kombination der genannten Querkrafttragmechanismen in Verbindung mit dem Bogen- bzw. Sprengwerkmodell zusammen.

Trotz umfassender Forschungsarbeiten herrscht Uneinigkeit, welchen Anteil die Sprengwerk- bzw. Bogentragwirkung zum Gesamlastabtrag leistet. Auch die Verteilung der Querkraft auf die zusätzlichen Tragmechanismen ist noch nicht endgültig geklärt.

Vorliegende Untersuchungen zur Tragfähigkeit von Stahlbetonbauteilen mit Öffnungen beschäftigen sich fast ausschließlich mit Öffnungen in Stegen von Unterzügen und Plattenbalken.

Die Grundlage für die rechnerische Querkrafttragfähigkeit für Bauteile ohne Querkraftbewehrung nach DIN 1045-1 [2] bildet der empirische Produktansatz gemäß Model Code 90.

$$V_{Rd,ct} = \left[\frac{0,15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (1)$$

Diese Gleichung basiert auf statistischen Untersuchungen von Versuchsergebnissen aus einer Datenbank mit Querkraftversuchen [6]. Ein mechanisch begründetes Rechenmodell für die Praxis liegt bislang nicht vor.

Nur wenige Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit der Querkrafttragfähigkeit von Decken mit röhrenartigen Aussparungen. Beispielsweise untersucht Hegger im Forschungsvorhaben „Teilvorgefertigte Deckensysteme im Wohnungsbau“ [7] unter anderem das Tragverhalten von vorgespannten Elementplattenstreifen mit Aussparungen. Untersuchungen von Aster [8] aus dem Jahre 1970 beschäftigen sich mit dem Tragverhalten von 40 cm dicken Stahlbetonhohlplatten, die in Ortbetonbauweise mit Verdrängungskörpern hergestellt werden. Dabei werden keine Versuche ohne Querkraftbewehrung durchgeführt, sondern immer aufwändige Zulagebewehrungen um die Öffnungen angeordnet.

3 Bauteilversuche

Versuchstechnisch wurde das Ziel, einen Abminderungsfaktor zu definieren, so umgesetzt, dass zu allen Versuchen mit Öffnungen mehrere Referenzversuche ohne Öffnungen durchgeführt wurden. So konnte die Traglast des geschwächten Querschnitts direkt mit der des ungeschwächten Querschnitts verglichen werden.

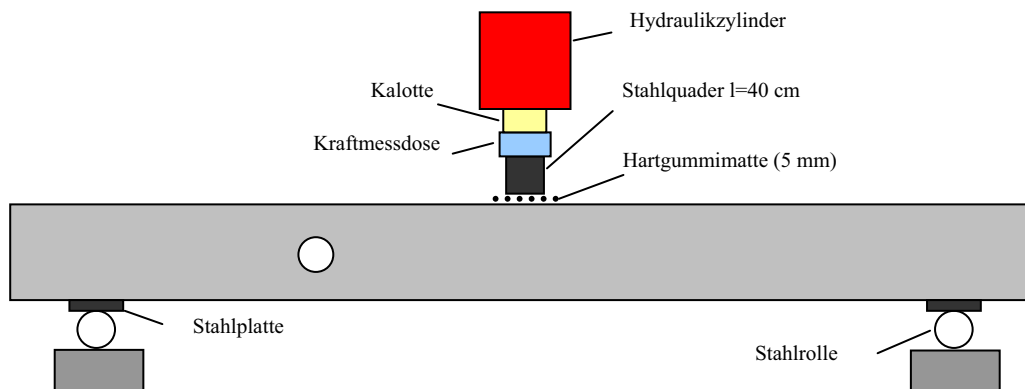


Abbildung 6: Versuchsaufbau

Untersucht wurden 40 cm breite Plattenstreifen mit einbetonierten Kunststoff-Rohren in verschiedenen Durchmessern. Der Eigentrageanteil der einbetonierten Rohre sollte wegen der allgemeinen Gültigkeit der Ergebnisse so gering wie möglich gehalten werden.

Als Statisches System (Abbildung 6) wurde bei den Versuchen ein Einfeldträger gewählt, der mit einer Einzellast in Feldmitte belastet wurde. Versuche haben bestätigt, dass die Belastung mit einer Einzellast im Vergleich zur Belastung mit einer gleichförmig verteilten Last die ungünstigere Lastanordnung darstellt. Versuchstechnisch ist zudem die Einleitung von Gleichstreckenlasten bedeutend aufwendiger.

Untersucht wurden Versuchskörper mit Einzelöffnungen und Gruppenanordnungen von kreisrunden Öffnungen. Dabei wurden die Parameter Betonfestigkeit, Verhältnis von Öffnungsdurchmesser zu Statischer Höhe und Höhenlage der Öffnungen im Querschnitt variiert.

Bei der Anordnung mehrerer nebeneinander liegender Öffnungen, hängt es vom Abstand der Öffnungen untereinander ab, ob diese wie Einzelöffnungen betrachtet werden können.

Um diesen Mindestabstand definieren zu können, wurden Versuche mit mehreren Öffnungen und dabei variierenden Öffnungsabständen durchgeführt.

Je nach Lage der Öffnungen in Tragrichtung variiert das Verhältnis von Moment zu Querkraft. Dieser Einfluss wurde durch Versuchskörper mit Öffnungen in unterschiedlichem Abstand zum Auflager bestimmt.

Wegen der fehlenden Betondruckzone stellt der Querkraftabtrag im Momentennullpunkt eine besondere Situation im Tragwerk dar. Mit Versuchskörpern, bei denen sich die Öffnungen im Momentennullpunkt befanden, sollte gezeigt werden, dass die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gefundenen Abminderungsfaktoren auch für Öffnungen im Momentennullpunkt angewendet werden können.

Sofern die Decken in ihrer Scheibenebene nennenswert verformungsbehindert sind, muss mit dem Auftreten von Zwangzugspannungen gerechnet werden, die grundsätzlich im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu beachten sind. Die ungünstigste Größe einer Zwanglängskraft ergibt sich bei Trennrissbildung im Bereich von Momentennullpunkten. Sehr ungünstige Verhältnisse können sich ergeben, wenn zwischen nennenswert verformungsbehindernden Bauteilen massive Deckenabschnitte und kleine Bereiche mit Deckenquerschnitten, die durch Leitungsführungen geschwächt sind, angeordnet sind. Der geschwächte Deckenquerschnitt wirkt dann als Sollbruchstelle. Gerade bei einzelnen Rohren muss für die Bemessung der rissbreitenbeschränkenden Bewehrung die Zwangskraft der ungeschwächten Decke angesetzt werden. Bei regelmäßig angeordneten Querschnittsschwächungen (Sollbruchstellen) kann es möglich sein, dass der Zwangkraftabbau durch das ausschließliche Reißen der Sollbruchstellen erfolgt. Kann dies nachgewiesen werden, muss für die Bemessung der Bewehrung lediglich die Risskraft des geschwächten Querschnitts angesetzt werden. Auch im Hinblick auf die Querkrafttragfähigkeit müssen klaffende Risse aus Zwangbeanspruchungen im Momentennullpunkt auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit über eine Rissbreitenbegrenzung vermieden werden. Durch Versuche mit zusätzlich in den Querschnitt eingeleiteter Normalkraft soll der Querkraftabtrag über die aus der Zugbeanspruchung entstehenden Trennrisse hinweg untersucht werden.

4 Versuchsergebnisse

4.1 „Versagen“ in den Bauteilversuchen

In allen Plattenstreifen war Querkraftversagen die maßgebende Versagensart. Ausgehend von den Biegerissen im Bereich der Öffnung pflanzte sich der Versagensriss von der Öffnung in die Druckzone des Querschnitts fort.

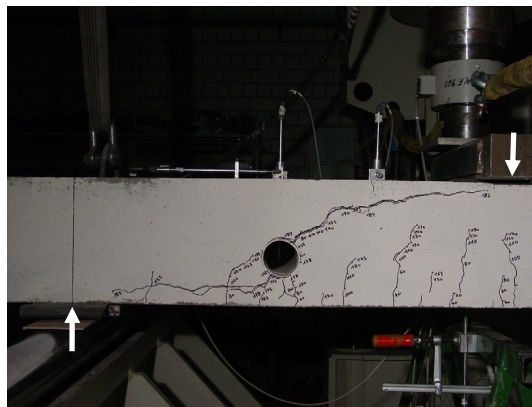


Abbildung 7: Typisches Querkraftversagen mit Versagensriss durch die Öffnung

In Abbildung 7 ist beispielhaft ein Versagensbild dargestellt. Bei fast allen Versuchen stellte sich ein Schubriss ein, der die Öffnung kreuzte. Nur bei sehr kleinem Verhältnis von Öffnungsdurchmesser zu Statischer Höhe und gleichzeitiger Lage der Öffnung im oberen Bereich des Querschnitts, entstand zunächst ein Riss durch die Öffnung. Der zum Versagen führende Schubriss verlagerte sich jedoch in den Bereich unterhalb der Öffnung (Abbildung 8).

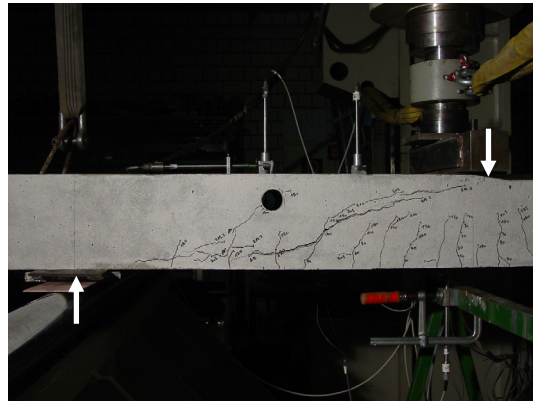


Abbildung 8: Querkraftversagen unterhalb der Öffnung

4.2 Abminderungsfaktor für einzelne kreisrunde Öffnungen

Im nachfolgenden Diagramm ist die berechnete Resttragfähigkeit für jeden Einzelversuch über dem Verhältnis von Öffnungsdurchmesser zu Statischer Höhe aufgetragen.

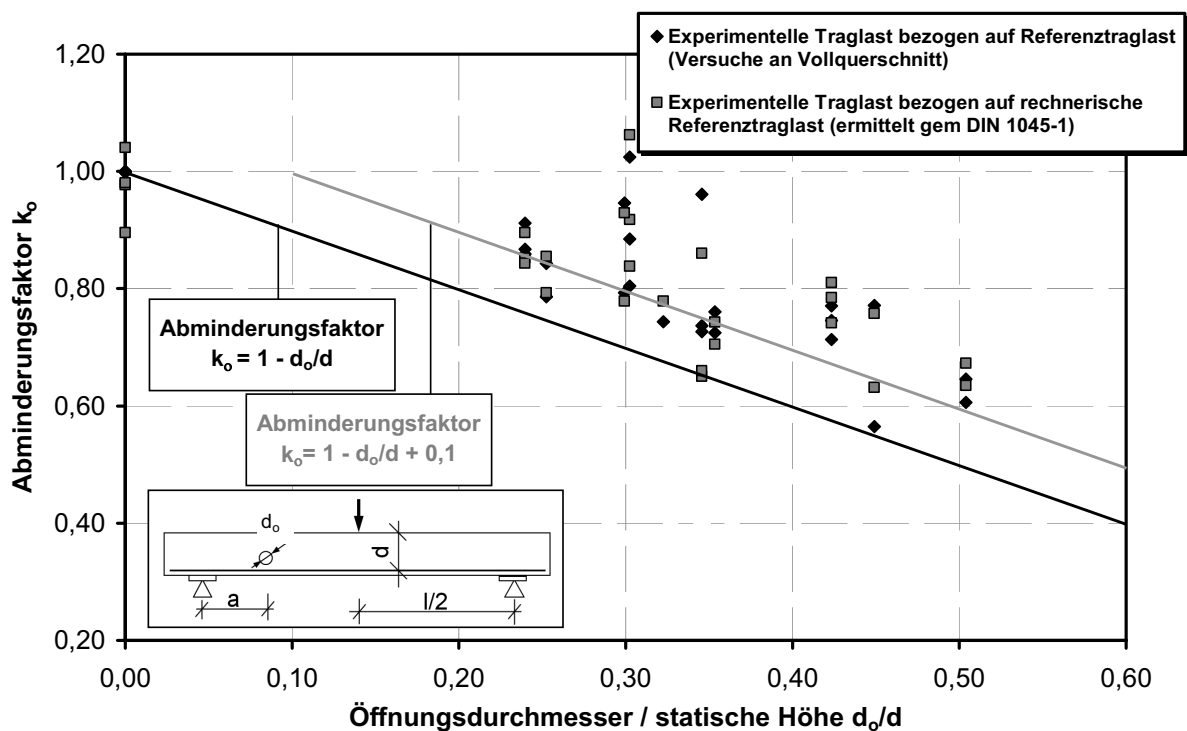


Abbildung 9: Abminderungsfaktor k_0 in Abhängigkeit vom Verhältnis d_0/d

Die in schwarz eingetragene Gerade würde eine der Querschnittsreduzierung entsprechenden Tragfähigkeitsabminderung beschreiben:

$$k_o = 1 - \frac{d_o}{d} \quad (2)$$

Wertet man in dieser Form alle Versuche aus, so erhält man mit den erzielten Werten eine im Mittel um 18% größere Tragfähigkeit im Vergleich zur berechneten Traglast.

Eine Auswertung, die die Höhenlage der Öffnung im Querschnitt getrennt für die Öffnungslage im unteren Querschnittsbereich (hier: Zugzone), im oberen Querschnittsbereich (hier: Druckzone) und bei mittiger Lage im Querschnitt berücksichtigt ergibt, dass bei Lage der Öffnungen im unteren Querschnittsbereich (Zugzone) eine größere Traglastabminderung als bei Lage der Öffnungen im mittleren oder oberen Querschnittsbereich (Druckzone) zu erwarten ist. Das bedeutet, dass für die ungünstigste Öffnungslage im unteren Trägerbereich (Zugzone) die mittlere Traglast mit dem Abminderungsfaktor k_o berechnet werden kann und dabei im Mittel 13 % Traglastreserve vorhanden ist.

Damit ergibt sich die folgende Bemessungsgleichung für Querschnitte mit kreisrunden Öffnungen, bei denen das Verhältnis von Öffnungsdurchmesser zu Statischer Höhe zwischen 0,2 und 0,5 liegt zu:

$$V_{Rd,ct,o} = k_o \cdot \left[0,10 \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$
$$k_o = 1 - \frac{d_o}{d}$$

Bei Einzelöffnungen, deren Mittelachse zwischen Querschnittsmitte und gedrücktem Rand liegt, kann der Faktor k_o um 0,1 erhöht werden:

$$k_o = 1 - \frac{d_o}{d} + 0,1 \quad (4)$$

Bei Anordnung der Öffnungen im gedrückten Querschnittsbereich ist bei der Bemessung sicherzustellen, dass eine ausreichende Druckzonenhöhe zum Abtrag des Biegemomentes vorhanden ist.

4.3 Weitere Ergebnisse der Versuchsreihen

Die Versuche und FE-Studien zur Abschätzung der Lage der Öffnungen in Bauteillängsrichtung ergaben, dass die Querkrafttragfähigkeit mit der Zunahme der Momentenbeanspruchung im Bereich der Öffnung minimal abfällt. Jedoch kann die unter 4.2 angegebene Formel weiterhin angewendet werden.

Die Auswertung der Versuche mit zusätzlicher Zugnormalkraft zeigt, dass der gefundene Abminderungsfaktor k_o auch bei den Nachweisen von Querschnitten mit zentrischer Zugbeanspruchung Anwendung finden kann. Hierbei ist die Größe der maximalen untersuchten Zugspannung im Querschnitt 1,95 N/mm. Auf der sicheren Seite liegend, wird der Abzugsfaktor, resultierend aus der eingeleiteten Zugkraft, nicht mit dem Faktor k_o abgemindert.

Die Untersuchung von Öffnungsgruppen ergab, dass ab einem Achsabstand der Öffnungen von $3 \cdot d_o$ die Öffnungen sich gegenseitig nicht beeinflussen und die Öffnungen als Einzelöffnungen betrachtet werden können. Bei Nichteinhaltung der Mindestabstände muss der Tragwiderstand weiter verringert werden. Zur Definition eines zusätzlichen Abminderungsfaktors liegen jedoch bisher nicht genügend Versuchsergebnisse vor. Wird der empfohlene Abstand

von $3 \cdot d_o$ nicht eingehalten, muss die Öffnungsgruppe zu einer Einzelöffnung zusammengefasst werden und die Bemessung für diese Einzelöffnung durchgeführt werden.
 Für rechteckige Öffnungen wurde der Abminderungsfaktor nach folgender Gleichung bestimmt:

$$k = 0,95 - \frac{d_o}{d} - \left(\frac{d_o}{d} - 0,03 \right) \cdot \ln \left(\frac{b_o}{d_o} \right) \quad (5)$$

In Abbildung 10 werden die durchgeführten Versuche mit rechteckigen Öffnungen als Punkte dargestellt. Außerdem sind die berechneten Abminderungsfaktoren für die Verhältnisse $d_o/d = 0,27$ und $d_o/d = 0,12$ eingetragen.

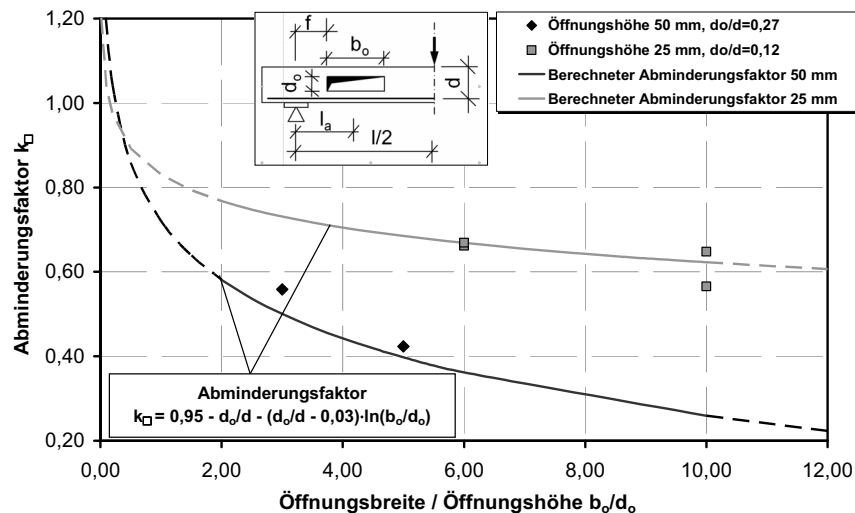


Abbildung 10: Abminderungsfaktor für rechteckige Öffnungen

Wegen der geringen Versuchsanzahl wird empfohlen, das zulässige Verhältnis von Öffnungsbreite zu Öffnungshöhe b_o/d_o auf $b_o/d_o < 5$ zu beschränken.

5 Querkrafttragverhalten im Bereich von Öffnungen

Der tatsächliche Lastabtrag einer gerissenen Stahlbetonplatte setzt sich aus einer Kombination von mehreren Tragmechanismen wie Rissreibung, Dübelwirkung und Querkraftabtrag in der Druckzone und dem Bogen- bzw. Sprengwerkmodell zusammen.

Mit den folgenden Abbildungen soll der bei den Versuchsplatten mit Öffnungen beobachtete Versagensmechanismus näher erläutert werden. Die Druckstreben sind jeweils dunkelgrau und Zugstreben hellgrau dargestellt. Es wird zwischen Sprengwerkmodell (direkter Lastabtrag zum Auflager - durchgezogene Linien) und anderen Tragmechanismen (gestrichelte Linien) differenziert. Im dargestellten Modell sollen die Zugstreben auch Bereiche darstellen, in denen der Beton auf Zug mitträgt.

Als Versagensriss (kritischer Riss) wird derjenige geneigte Riss bezeichnet, der letztendlich zum Versagen des Bauteils führt und nach dem Versagen die größte Rissweite aufweist.

Teile der Druckkraft in der Druckstrebe können nicht direkt zum Auflager transportiert werden und spalten sich von der Druckstrebe ab. Sie stützen sich auf dem Zuggurt ab und

werden durch Rissreibung und Dübelwirkung wieder als geneigte Zugstrebe nach oben zur Druckstrebe transportiert. So erfolgt die Weiterleitung der Querkraft zum Auflager.

Schon bei niedrigen Lasten, wenn das Bauteil sich noch im Zustand I (ungerissen) befindet, kommt es zu Zugspannungskonzentrationen an den Öffnungsrändern. Die Öffnung stört den Kräftefluss und die Spannungen müssen im Bereich der Öffnung umgelenkt werden. In den durchgeführten Bauteilversuchen konnte beobachtet werden, dass sich bei großen Öffnungsdurchmessern der Versagensriss von den Öffnungsrändern ausgehend entwickelt und sich nicht, wie bei Versuchen ohne Öffnung, aus einem oder mehreren Biegerissen entwickelt.

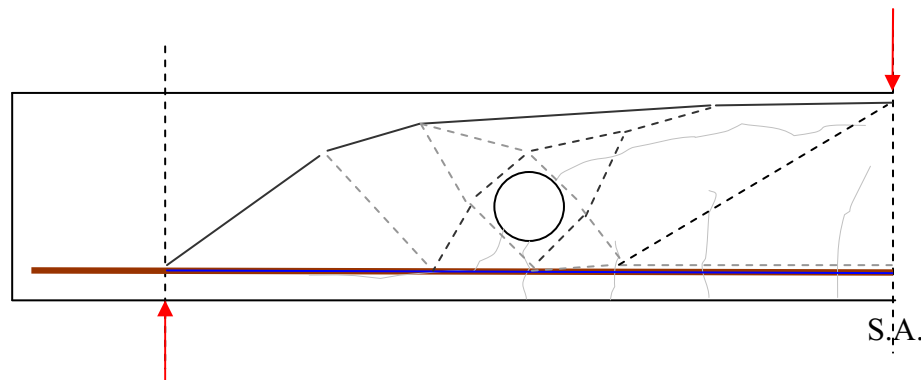


Abbildung 11: Darstellung des Kräfteflusses im Zustand I

Bei weiterer Vergrößerung der Last treten erste Risse auf. Es entstehen Biegerisse am unteren Querschnittsrand. In den durchgeführten Bauteilversuchen konnte beobachtet werden, dass in vielen Fällen ein Biegeriss direkt am gezogenen Querschnittsrand unter der Öffnung entsteht, da in diesem Bereich die Zugzone durch die Öffnung geschwächt ist.

Im gerissenen Zustand (Zustand II) geht man von drei Tragmechanismen aus, die sich am Querkraftabtrag beteiligen: Dübelwirkung, Rissreibung und Querkraftabtrag über die geneigte Betondruckstrebe.

Sowohl die Dübelwirkung als auch die Rissreibung aktivieren die Betonzugfestigkeit am dem Auflager zugewandten Rissufer. Der Beton übernimmt die Weiterleitung der Betonzugspannungen bis zum Erreichen der maximalen Betonzugfestigkeit, was dem Ausfall des entsprechenden Tragmechanismus gleichkommt. Die Betonzugfestigkeit wird zuerst an den Öffnungsrändern infolge der lokalen Zugspannungskonzentrationen erreicht. Ausgehend von der Öffnung entwickelt sich ein Riss, der sich zum Auflager hin in Richtung der Biegebewehrung fortpflanzt und in der Druckzone Richtung Lasteinleitung wandert. Dies ist der kritische Versagensriss (Abbildung 12).

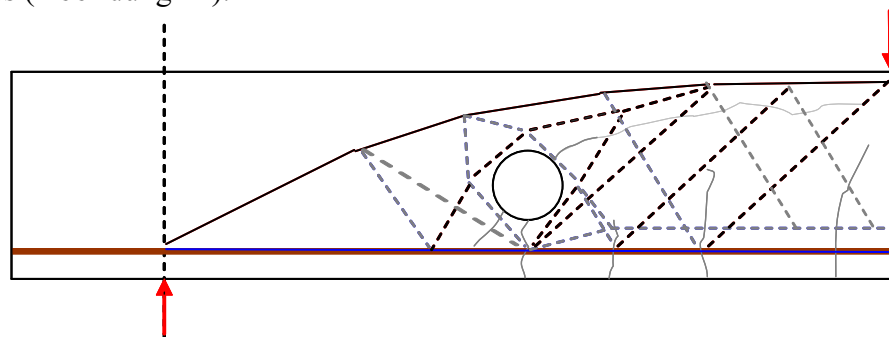


Abbildung 12: Darstellung des Kraftflusses im Zustand II

Über die Höhe der Öffnung kann kein Lastabtrag mittels Rissreibung erfolgen. Ein Lastabtrag über die einbetonierten Plastikrohre wird ausgeschlossen. Die Betonzugstrebe unterhalb der Öffnung muss bei zunehmender Belastung vorrangig aus der Dübelwirkung resultieren.

Die Rissreibung kann im Bereich ober- und unterhalb der Öffnung nur zu einem sehr geringen Teil zum Lastabtrag beitragen. Als Reibungsfläche steht unterhalb der Öffnung nur der Querschnitt vom gezogenen Rand bis zur Öffnung zur Verfügung. Gerade dieser Bereich kann sich aufgrund der Größe der Rissöffnung nur wenig am Lastabtrag beteiligen. Das Vorhandensein der Öffnung schränkt die Ausbreitung der Betonzugstrebe ein. Dadurch werden die resultierenden Spannungen größer als in einem Bauteil ohne Öffnung. Der Riss pflanzt sich bis zur Bewehrung fort. Das Fortschreiten des Risses kann nun entlang der Bewehrungslage beobachtet werden und ist ein deutliches Zeichen für die aktivierte Dübelwirkung und deren sukzessiven Ausfall.

Die Kräfte, die auf der Lastseite der Öffnung hochgehängt werden müssen, beanspruchen den Beton auf Zug. Diese Kraftanteile überlagern sich mit den lokalen Spannungsspitzen in Folge der Lastumlenkung. Je weiter der kritische Riss in die Druckzone fortschreitet, umso mehr Last muss direkt über die Druckstrebe des Sprengwerks abgetragen werden. Die Trägerbereiche unterhalb des kritischen Risses können nur noch soviel Last aufnehmen, wie am Riss unter der Öffnung über Dübelwirkung übertragen werden kann.

Mit dem Öffnen des Dübelrisses öffnet sich auch der kritische Riss im Bereich der Betondruckzone. Die Rissentwicklung geschieht also gleichzeitig ober- und unterhalb der Öffnung. Das Fortschreiten des kritischen Risses in die Betondruckzone führt letztendlich zum Versagen. Der horizontale Ast des Versagensrisses entsteht meist während des Bruchvorgangs (Abbildung 13). Der gedrückte Querschnittsbereich oberhalb des kritischen Risses kann die kombinierte Biege- und Querkraftbeanspruchung nicht mehr aufnehmen und versagt auf Druck bzw. weicht nach oben aus.

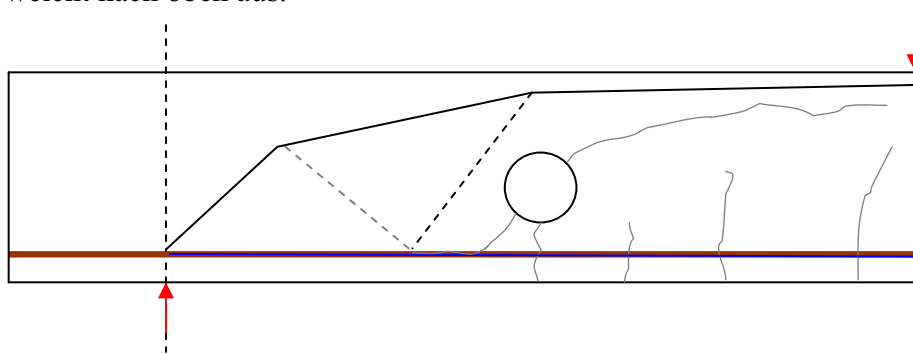


Abbildung 13: Lastabtrag kurz vor dem Bruch

6 Heft 525 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton

Die in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Ergebnisse wurden in Heft 525 des DAfStB, das 2010 neu erscheint, aufgenommen und stehen somit den planenden Ingenieuren bei der Bemessung zur Verfügung.

Die im Folgenden angegebenen Gleichungen sind [1] entnommen und gelten für Einzelöffnungen. Bei einer Gruppenanordnung von mehreren nebeneinander liegenden Öffnungen dürfen diese Öffnungen als Einzelöffnungen betrachtet werden, wenn ihr gegenseitiger Achsabstand mindestens $3 \cdot d_0$ beträgt. Weiterhin wird in Heft 525 darauf hingewiesen, dass die erforderliche Druckzonenhöhe für den Biegenachweis erhalten werden muss. Die Beschränkung des Verhältnisses Öffnungshöhe zu Statischer Höhe auf $0,2 \leq d_0/d \leq 0,5$ deckt die mit Versuchen abgedeckten Verhältnisse ab. Da in den durchgeführten Versuchen nur eine zusätzliche Zugnormalkraft untersucht wurde, wird empfohlen die günstigen Einflüsse einer Drucknormalkraft zu vernachlässigen.

$$V_{Rd,ct,o} = \left[k_o \cdot \frac{0,15}{\gamma_c} \cdot \kappa \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - 0,12 \cdot \sigma_{cd} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (6)$$

mit:

k_o Abminderungsbeiwert für die Öffnungen

a) runde Öffnungen im gezogenen Querschnittsbereich mit $0,2 \leq d_o/d \leq 0,5$:

$$k_o = 1,0 - \frac{d_o}{d} \quad (7)$$

a) runde Öffnungen im gedrückten Querschnittsbereich mit $0,2 \leq d_o/d \leq 0,5$:

$$k_o = 1,1 - \frac{d_o}{d} \quad (8)$$

a) rechteckige Öffnungen mit $b_o / d_o < 5$ und $0,2 \leq d_o/d \leq 0,5$:

$$k_o = 0,95 - \frac{d_o}{d} - \left(\frac{d_o}{d} - 0,03 \right) \cdot \ln \left(\frac{b_o}{d_o} \right) \quad (9)$$

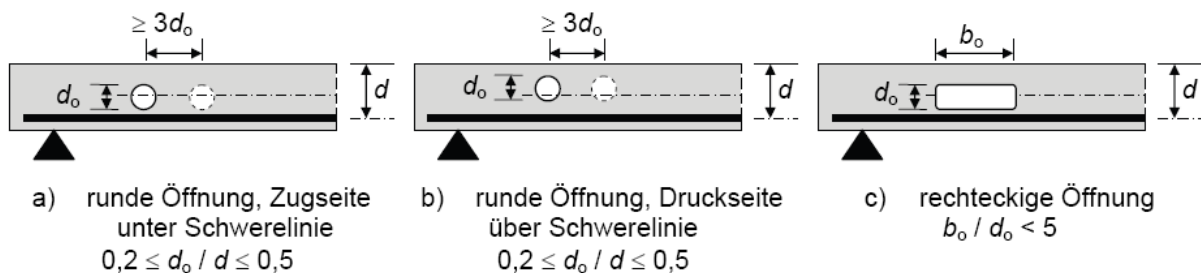


Abbildung 14. Querkrafttragfähigkeit ohne Querkraftbewehrung mit Öffnungen [1]

7 Ausblick

Der Abminderungsfaktor für Einzelöffnungen konnte versuchstechnisch ermittelt und mit FE-Berechnungen bestätigt werden. Weiterhin konnte ein Achsabstand vom dreifachen Öffnungsdurchmesser definiert werden, der eine gegenseitige Beeinflussung der Öffnungen untereinander ausschließt. Weiterhin wäre jedoch auch ein zusätzlicher Abminderungsfaktor, der bei Nichteinhalten dieses Abstandes angesetzt werden kann, für die Praxis von Nutzen.

Tatsächlich tragen viele Decken ihre Lasten über eine zweiachsige Tragwirkung ab. Bisher wurden keine Untersuchungen durchgeführt, die den hier gefundenen Abminderungsfaktor auch für die Querkrafttragfähigkeit in Bereichen mit z. B. Querkzug bestätigen. Hierzu sind Großversuche mit zweiachsig gespannten Platten notwendig, um das Tragverhalten genauer untersuchen zu können.

Aktuelle Praxisprojekte werfen immer wieder die Frage auf, welchen Einfluss Leitungsführungen im Durchstanzbereich haben. Solange keine weiteren Versuchsergebnisse vorliegen, der Umfang des Durchstanzkegels um die Längenteile der den Durchstanzkegel kreuzenden Rohre reduziert werden. Damit würden die Rohre auf der sicheren Seite liegend wie Ausparungen behandelt werden.

Danksagung

Das vorgestellte Forschungsvorhaben wurde dankenswerterweise vom Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV) und dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] DAfStb Heft 525: „Erläuterungen zu DIN 1045-1“, Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau, Heft 525, Ausgabe 2010, erscheint in Kürze.
- [2] DIN 1045 – 1: „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil1“: Bemessung und Konstruktion, August 2008.
- [3] Thiele, C.: „Zum Tragverhalten von Stahlbetonplatten ohne Querkraftbewehrung mit integrierten Leitungsführungen“, eingereichte Dissertation, Kaiserslautern 2010.
- [4] Kiefer, C.: Betonkernkühlung mit Zuluft. Technik am Bau 6/2002.
- [5] Rombach, G.; Latte, S.: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten ohne Querkraftbewehrung. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009) Heft 10
- [6] Abschlussbericht für das DIBT - Forschungsvorhaben IV 1-5-876/98: Überprüfung und Vereinheitlichung der Bemessungsansätze für querkraftbeanspruchte Stahlbeton- und Spannbetonbauteile aus normalfestem und hochfesten Beton nach DIN 1045-1. Dezember 1999
- [7] Hegger, J.; Will, N.; Bülte, S.: Teilvorgefertigte Deckensysteme im Wohnungsbau. Abschlussbericht (BBR Z6-5.4.00-15) 2003
- [8] Aster, H.: Vierseitig gelagerte Stahlbetonhohlplatten. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 213, Beuth Verlag GmbH 1970.