

# Kurzfassung

Die Verwendung von Stahlbetondecken stellt eine der häufigsten und effizientesten, modernen Baumethoden dar. Für die Dimensionierung solcher Bauteile kann ein mögliches sprödes Versagen an der Verbindung zwischen Decke und Stütze massgebend sein, das als Durchstanzen bezeichnet wird. Mehrere Unfälle in den letzten Jahrzehnten haben dazu beigetragen, neue Lösungsansätze zu erarbeiten, um das globale Tragverhalten solcher Decken zu verbessern und ein progressives Versagen zu verhindern. Der Einbau von Querbewehrung in der kritischen Zone ermöglicht gleichzeitig den Widerstand und das Verformungsvermögen des Verbindungsbereiches zwischen Decke und Stütze zu erhöhen. Basierend auf intuitiven Beobachtungen und Testkampagnen wurden bereits viele verschiedene Systeme von Durchstanzbewehrungen entwickelt. Jüngste Erkenntnisse zum Verständnis des Durchstanzphänomens führen zu besseren Ansätzen in der Beurteilung der Funktionsweise und Wirksamkeit solcher Systeme wie auch der Entwicklung neuer Produkte gestützt auf rationelleren Grundlagen.

Einer der wichtigsten Parameter für das Funktionieren solcher Bewehrungssysteme ist die Qualität der Verankerung sowie des Verbunds, welche die Rissentwicklung im querkraftkritischen Bereich beeinflussen. Ihre Eigenschaften werden normalerweise mit Kraft-Schlupf Beziehungen charakterisiert und hängen stark vom lokalen Spannungs- und Verformungszustand ab. Obwohl die Aktivierung der Bewehrung oft im bereits gerissenen Beton stattfindet, basieren Normen und konventionelle Berechnungsmethoden fast ausschliesslich auf Tests mit ungerissenen Prüfkörpern. Die Verankerung von Bewehrungsstäben in gerissenem Beton ist relevant für das Tragverhalten von bestehenden Stahlbetonbauwerken aber auch von neuen Konstruktionen. In den kommenden Jahren sollte der Wirkungsweise dieser Bewehrungsdetails unter erschwerten Bedingungen verstärkt Beachtung geschenkt werden, mit dem Ziel das Wissen über diese heute eher unterschätzte, aber kritische Problematik zu erweitern.

Im Rahmen dieser Doktorarbeit sind mehrere Versuchskampagnen durchgeführt worden, um das heutige Verständnis über die Bedeutung der Verankerung der Querbewehrung für das Phänomen des Durchstanzens zu verbessern. Ein Programm von Ausziehversuchen an gängigen Bewehrungsdetails wurde in gerissenem Stahlbeton, mit ähnlichen Bedingungen, wie sie auch in Decken beim Übergang zu den Stützen durch die Rissbildung anzutreffen sind, durchgeführt. Die Ergebnisse haben signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen analysierten Verankerungssystemen aufgezeigt und bestätigen damit die abweichenden Niveaus in der

Leistungsfähigkeit solcher Systeme, wie sie bei Durchstanzversuchen beobachtet werden. Die Aktivierung der Durchstanzbewehrung ist mit Tests an Deckenproben in Originalgrösse untersucht worden. Dabei wurden umfangreiche Messungen der Kraft (externe Lastsensoren) und der Rissbreiten (Apparaturen zur totalen und partiellen Dickenvariation) durchgeführt. Die Verwendung eines innovativen Bewehrungssystems hat es ermöglicht, die Beiträge des Betons und der Bewehrung beim Durchstanzvorgang einzeln nachzuvollziehen und damit benötigte experimentelle Grundlagen zu liefern, die der Validierung der Hauptaussagen der Theorie des kritischen Schubrisses für den Versagensmechanismus in der schubbewehrten Zone dienen.

Beobachtungen zum Verhalten gerader Bewehrungsstäbe mit Längsrissbildung haben zur Entwicklung von analytischen Funktionen für die Beurteilung der reduzierten Wirksamkeit –in Bezug auf Tragfähigkeit und Steifigkeit– verschiedener Verankerungssysteme gedient, basierend auf analogen Überlegungen für die Verzahnung der Gesteinskörner. Das entstandene Modell wurde mithilfe einer vertieften numerischen Analyse und dem Vergleich mit einer Reihe von zentralen Testergebnissen aus der Literatur verifiziert. Diese Ansätze können teilweise im Rahmen der Theorie des kritischen Schubrisses verwendet werden, welche es ermöglicht, den Beitrag der Schubbewehrung zum Durchstanzwiderstand –den studierten Versagensmechanismus– ausgehend von einem physikalischen Modell zur Aktivierung der Querkraftbewehrung zu ermitteln. Die Theorie beinhaltet mehrere allgemeine Annahmen –Vorhandensein eines perfekten Verbundes, einer perfekten Verankerung sowie einer bestimmten Risskinematik– welche durch die experimentellen Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit verbessert und verfeinert werden können. Es werden Vorschläge formuliert, um die Aktivierung der Querbewehrung beim Durchstanzvorgang im existierenden Modell auf realistischere Weise –durch die Berücksichtigung des abnehmenden Krafttransfers bei der Bildung von Biegerissen– darzustellen und somit die entsprechenden Versagensmechanismus genauer vorhersagen zu können.

### Stichworte:

Durchstanzen, Verbindungen zu inneren Deckenstützen, Querbewehrung, Theorie des kritischen Schubrisses, Aktivierungsmodell, Versagenskinematik, Verbund und Verankerungsverhalten, Ausziehversuche, gerissener Beton, Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, Grenzzustand der Widerstandsfähigkeit, Kraft-Schlupf Beziehung