

Ausgabe 2020/4

Ingenieurmodell zur Berechnung der Querkrafttragfähigkeit von Stahlverbunddecken des Hochbaus mit praxisrelevanter Bewehrung

AiF Nr.: 19801 N

Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF Nr.: 19801N

Die Bemessung von Verbunddecken ist in DIN EN 1994-1-1 geregelt. Allerdings wird für die Querkraftbemessung von Verbunddecken auf das Modell für nicht schubbe-wehrte Betonquerschnitte in DIN EN 1992-1-1 verwiesen, da bis vor kurzem kein eigenständiges Modell für Verbunddecken zur Verfügung stand. Bei dem Modell aus DIN EN 1992-1-1 handelt es sich um ein semi-empirisches Bemessungsmodell, das auf den Kamm- und Zahnmodellen basiert und durch die Auswertung einer umfangreichen Datenbank entwickelt wurde. Das spezifische Trag- und Verbundverhalten von Verbunddecken findet in diesem Modell allerdings keine Berücksichtigung. Außerdem fehlt der Bezug zur besonderen Geometrie der Verbundbleche sowie die Berücksichtigung der eigenen Schubtragfähigkeit der Bleche. Für Verbunddecken aus Leichtbeton wurde zudem bereits ein Sicherheitsdefizit festgestellt.

Aufgrund der vorherigen Ausführungen wurde von Hartmeyer ein mechanisches Bemessungsmodell für die Querkrafttragfähigkeit von Verbunddecken, die ausschließlich durch das Verbundblech längsbewehrt sind, entwickelt. Das Modell ist gleichermaßen für Verbunddecken aus Leichtbeton und Normalbeton gültig, allerdings lag der Fokus der Untersuchungen

auf leichten Verbunddecken. In der Praxis werden Verbunddecken stets mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung hergestellt. Jedoch kann die traglaststeigernde Wirkung der Betonstahlbewehrung in dem bisherigen Modell für Verbunddecken nicht berücksichtigt werden. Somit bestand weiterhin Forschungsbedarf, um die Querkrafttragfähigkeit von Verbunddecken mit kombinierter Längsbewehrung beschreiben zu können und ein sicheres und wirtschaftliches Bemessungsverfahren zu entwickeln.

Das Querkraftversagen von Verbunddecken mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung ist mit der Biegetragfähigkeit der Decken gekoppelt und in der Realität häufig nicht maßgebend, was die Konzeption von Querkraftversuchen erheblich erschwert. Deshalb wurden Versuche an Verbunddecken mit hochfester Betonstahlbewehrung entwickelt, bei denen Querkraftversagen beobachtet werden konnte. In den Versuchen wurde zunächst Biegerissbildung beobachtet. Aus einem der Biegerisse entwickelte sich der Biegeschubriss, der sich bis in die Druckzone hinein fortpflanzte. Im Gegensatz zu dem bekannten Versagenshergang beim Schubversagen von Betonbauteilen handelte es sich hierbei allerdings um ein stabiles Risswachstum. Sobald der Schubriss die Druckzone

erreichte, fand ein Systemwechsel statt und es stellten sich zwei Druckstreben ein. Eine Druckstrebe stützte sich im Schubriss auf dem Verbundblech ab und die zweite Druckstrebe verlief direkt ins Auflager. Im weiteren Versuchsverlauf konnte die Last nach der Bildung des Schubrisses erheblich gesteigert werden. Dabei wurde Längsrissbildung in Richtung des Auflagers beobachtet. Über die kontinuierliche Dehnungsmessung mittels Sensorfaser konnte später belegt werden, dass die Querkraft, die über den Schubriss hinweg übertragen wird, über Zugspannungen wieder in den Beton eingetragen wird. Für das Querkrafttragverhalten von Verbunddecken mit zusätzlicher Betonstahlbewehrung ist die klassische Biegetheorie unter Annahme des Ebenbleibens der Querschnitte nicht gültig. Es handelt sich vielmehr um einen Lastabtrag im Sinne des Bogen-Zugband-Modells respektive des Sprengwerks. Bild 1 zeigt das Rissbild bei Erreichen der Traglast sowohl an der Oberfläche als auch im Inneren eines Versuchskörpers.

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Versuchsbeobachtungen wurde ein mechanisch begründetes Bemessungsmodell für Verbunddecken aus Normalbeton entwickelt, das vier Traganteile additiv berücksichtigt: die Schubtragfähigkeit der ungerissenen Druckzone, der Traganteil der Rissprozesszone und die gemischte Dübelwirkung von Blech und Betonstahl stellen das Gleichgewicht im Riss her. Zusätzlich wird im Sinne einer Systemtragfähigkeit der vertikale Anteil der direkten Druckstrebe ins Auflager in Ansatz gebracht. Bei dem entwickelten Modell steht die Querkrafttragfähigkeit in direktem Zusammenhang mit der Biegebeanspruchung des Bauteils. Bei einer Nachweisführung in einem vorgegebenen Bemessungsschnitt neben dem Auflager kann zusätzlich noch die Querkrafttragfähigkeit des Blechs berücksichtigt werden.

In vielen Modellen wird die Querkrafttragfähigkeit als reine Querschnittstragfähigkeit ermittelt, was jedoch kritisch zu sehen ist. Einerseits können Schub- und Normalspannungen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden und andererseits bestimmt das einwirkende Biegemoment direkt die Eingangsgrößen für die Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit. Diese sind z.B. die Höhe der Druckzone oder die Ausnutzung des Betonstahls. Eine losgelöste Betrachtung von Biege- und Querkrafttragfähigkeit ist folglich nicht realistisch. Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Modell zur Beschreibung des Querkrafttragverhaltens kann zudem das unterschiedliche Verbundverhalten von Profilblech und Betonstahl berücksichtigt werden. Auch die unterschiedlichen Verbundeigenschaften infolge der Blechgeometrien finden Eingang, sodass das Modell sowohl für hinterschnittene als auch für offene Profilblechgeometrien sehr gute Übereinstimmungen mit den Versuchsergebnissen liefert. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit dem Ergebnis dieser Arbeit erstmals die Möglichkeit besteht, die Querkrafttragfähigkeit von Verbunddecken unter der Kombination der Bewehrungsarten Verbundblech sowie Betonstahl mechanisch zu beschreiben. Im Vergleich zu den bisherigen Bemessungsmodellen der Eurocodes ist damit eine erhebliche Traglaststeigerung möglich, was einen wirtschaftlichen Vorteil für Verbunddecken mit sich bringt. Im Zuge der aktuellen Überarbeitung der Eurocodes wurde das entwickelte Modell bereits in den Entwurf der DIN EN 1994-1-1 aufgenommen. Hierzu wurden Vereinfachungen des Ingenieurmodells vorgenommen, um ein in der Praxis anwendbares, hinreichend sicheres und wirtschaftliches Bemessungsverfahren zur Verfügung zu stellen.

Aufgrund der Schwierigkeit, Querkraftversagen in Versuchen an Verbunddecken zu erzeugen,

wurden die Versuchskörper mit einem hohen Längsbewehrungsgrad sowie hohen Deckenhöhen ausgeführt. In dieser Arbeit wurden diese Effekte von Bauteilhöhe und Bewehrungsgrad erfasst und im Bemessungsmodell berücksichtigt.

Das Forschungsprojekt wurden mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.v. (AiF), Köln, im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen-

Gemeinschafts-forschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Wir danken für diese Förderung. Unser weiterer Dank gilt den Projektpartnern „ArcelorMittal Construction Deutschland GmbH“, „Montana AG“, „Reppel B.V.“ sowie „Tata Steel UK Limited“ für die kostenlose Lieferung der Verbundbleche. Unser weiterer Dank gilt dem Arbeitsaus-schuss Verbundbau von bauforumstahl als projektbegleitendem Ausschuss.



Bild 1: Maßgebende Schubbrissbildung an der Bauteiloberfläche sowie im Inneren eines Versuchskörpers.