

DI Alexander Barnas, DI Gerhard Rinnhofer

Entwicklung hochbewehrter Schleuderbetonstützen - Brandverhalten und Bemessungssoftware

1 Idee

Der primäre Antrieb für technische Produktentwicklung ist es, über den anerkannten Stand der Technik hinausgehende Lösungen mit verbesserter Leistungsfähigkeit zu erarbeiten.

Am Anfang des Entwicklungsprojekts „Hochtragfähige Schleuderbetonstütze“ stand dementsprechend die Idee, die spezifischen Vorteile des Schleuderbetons – hohe Verdichtungsenergie, gesicherte gleich bleibende Qualität durch serielle Herstellung, hohe Qualität der Oberfläche – für die Steigerung der Leistungsfähigkeit zu nutzen.

Die Stützen sollten eine wesentlich höhere Tragfähigkeit und Qualität als Ortbeton-Stützen aufweisen und gleichzeitig zu wesentlich geringeren Kosten als Verbundstützen hergestellt werden können. Die Lücke zwischen herkömmlicher Stahlbeton- und Verbundbauweise sollte geschlossen, dem generellen Trend im Bauwesen, immer schlankere und tragfähigere Bauteile einzusetzen, Rechnung getragen werden.

2 Konzeption und Ziele

2.1 Ausgangssituation

Stützen aus Schleuderbeton werden im Werk Micheldorf/OÖ bereits seit Jahrzehnten erzeugt. Die Eckdaten für MABA-Stützen aus Schleuderbeton vor dem Start des Entwicklungsprojekts im Mai 2001 waren:

- Betonfestigkeit B60
- max. Bewehrungsgrad 9 %
- Betondeckung $c = 3,5$ cm
- Brandwiderstandsklasse F90

In Bezug auf die Tragfähigkeit betreffen die normativen Einschränkungen insbesondere den Bewehrungsgrad. Der für Stahlbeton geltende Grenzwert von 9 % limitiert die Tragfähigkeit von Stützen erheblich.

Hinsichtlich der Brandbeständigkeit bewirken die in den gängigen Normen geforderten hohen Betondeckungen eine empfindliche Einschränkung, da für eine hohe Tragfähigkeit die Konzentration der Bewehrung nahe der Oberfläche am günstigsten ist.

In der ÖNORM B 4705 „Fertigteile aus Beton“ sind Schleuderbetonprodukte ausdrücklich ausgenommen. Für die Verwendung ist daher entweder je Bundesland eine Österreichisch Technische Zulassung erforderlich, oder je Bauvorhaben ein Gutachten im Einzelfall zu erbringen.

2.2 Ziele

Unter dem Markennamen ROTOP soll sich die wirtschaftliche, industrielle und qualitätsgesicherte Fertigung von hochbewehrten Schleuderbetonstützen etablieren. Als Dauer für das Entwicklungsprojekt waren drei Jahre vorgesehen; die technischen Ziele wurden wie folgt definiert:

- Erhöhung der Tragfähigkeit gegenüber der Ortbetonstütze um zumindest 50 %
- Brandwiderstandsklasse R90
- Nachweis der Tragfähig- und Brandbeständigkeit bei gleich bleibender Betondeckung
- Erarbeitung eines Regelwerkes für Stützen aus Schleuderbeton, ÜA-Kennzeichnung

Da diese Zielsetzungen nur durch mehr oder weniger starkes Abweichen von den in ÖNORM B 4700 und ÖNORM B 3800-4 festgelegten Grenzwerten und Regelungen zu erreichen waren, konnte die Nachweisführung nur über „Nachweis durch Versuche“ erfolgen.

3 Statische Untersuchungen – Bemessungsmodell

Zunächst wurde die Betonfestigkeit für die Stützen von B60 auf C70/85 angehoben. Danach erfolgte aufgrund theoretischer Überlegungen sowie produktionstechnischer Notwendigkeiten die Festlegung des maximal möglichen Bewehrungsgehalts mit 20 %. Um das gesamte Spektrum an Stützenquerschnitten abzudecken (siehe Abb. 1 und Abb. 2), wurden letztendlich 5 Versuchsreihen mit insgesamt 38 zerstörenden Versuchen am Institut für Stahlbeton- und Massivbau der Technischen Universität Wien durchgeführt. Die europaweit größte Versuchsanlage ihrer Art wurde bei den Versuchen bis an ihre Leistungsgrenze von 17.000 kN beansprucht. Als Vergleich wurden auch einige Stützen mit normgemäßen Bewehrungsgraden (< 9 %) getestet, an denen sich die bekannten Bemessungsmodelle bestätigten.

Die Traglast der Versuchsstützen lag in den meisten Fällen wesentlich über den vorausgerechneten Werten; bei keiner Stütze wurde die prognostizierte Traglast unterschritten. Auf Grundlage der experimentellen Untersuchungen wurde ein Bemessungsmodell ent-

Abb. 1: Querschnitte rund

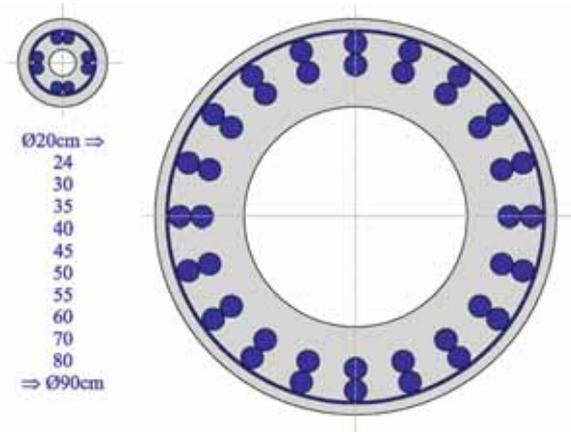


Abb. 2: Querschnitte quadratisch

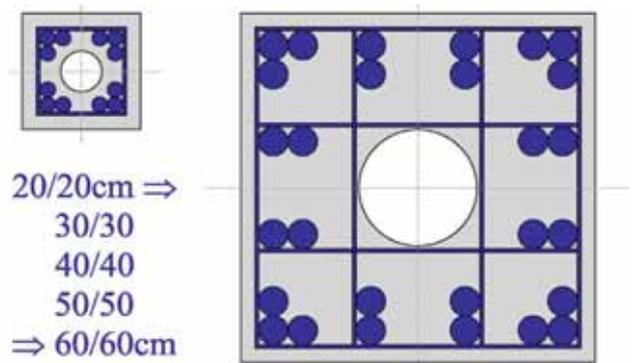


Abb. 3: Tragfähigkeit – Versuche gegenüber Bemessungsmodell = 100 %

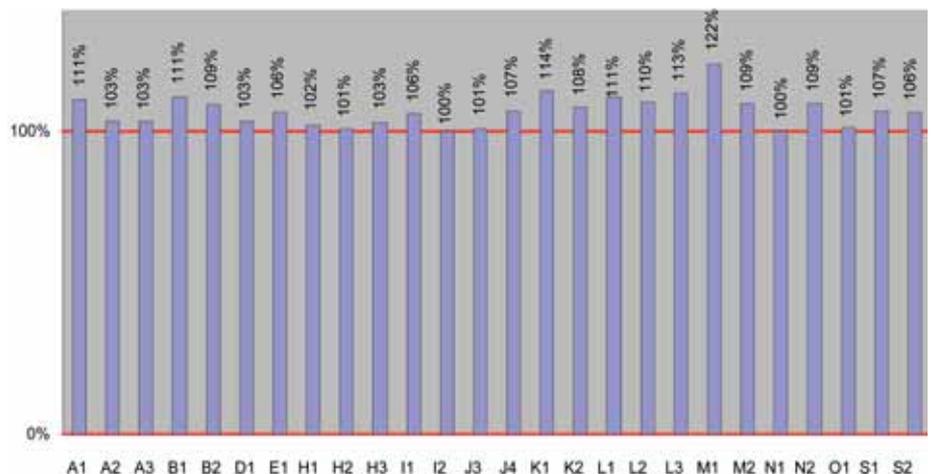


Abb. 4: Einheitstemperaturkurve

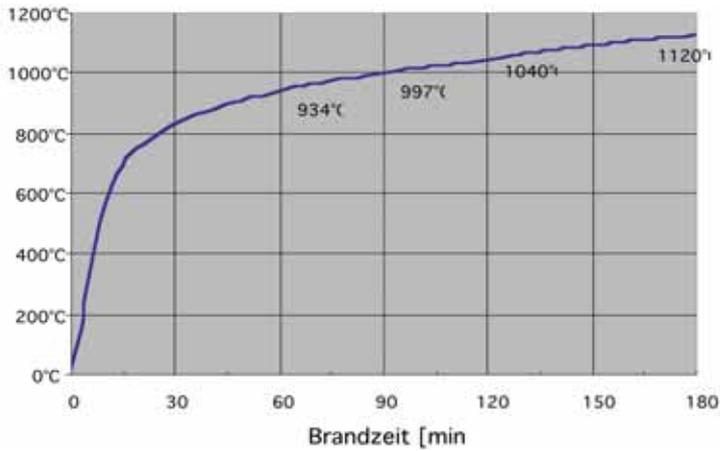


Abb. 5: Stütze unmittelbar nach Brandversuch



wickelt, welches eine untere Einhüllende der Versuchsergebnisse darstellt (siehe Abb. 3). Für die Bemessungsregeln wurden die Modelle der geltenden Normen ÖNORM B 4700 und EC2 herangezogen (siehe Punkt 5).

4 Brandtechnische Untersuchungen

Die neben der Tragfähigkeit zweite wesentliche Anforderung, welche durch „Nachweis durch Versuche“ belegt werden musste, betraf den Brandwiderstand.

Die Branduntersuchungen wurden am Institut für Brandschutztechnik und Sicherheitsforschung (IBS) in Linz durchgeführt. Die Prüfung der Stützen erfolgte entsprechend den neuen europäischen Spezifikationen unter Gebrauchslast.

4.1 Statische Belastung im Brandversuch

Um die Belastung unter gleichzeitiger Brandbeanspruchung simulieren zu können, musste in den Brand-Prüfstand ein massiver Rahmen eingebaut, eingehaust und entsprechend gedämmt werden. Die Lasten wurden durch hydraulische Pressen auf die Stützen aufgebracht. Wie bei den statischen Versuchen wurden die Stützen planmäßig exzentrisch mit $e_0 = D/10$ belastet. Die ungewollte Ausmitte e_a wurde zu null gesetzt, die zusätzliche Auslenkung e_2 aus der Stützenverformung bei Belastung wurde entsprechend berücksichtigt. Das statische System entsprach einer Stütze mit Gelenk auf der einen und einer Einspannung auf der anderen Seite.

4.2 Thermische Belastung im Brandversuch

Der Temperaturverlauf im Brandraum entsprach der Einheitstemperaturkurve (siehe Abb. 4).

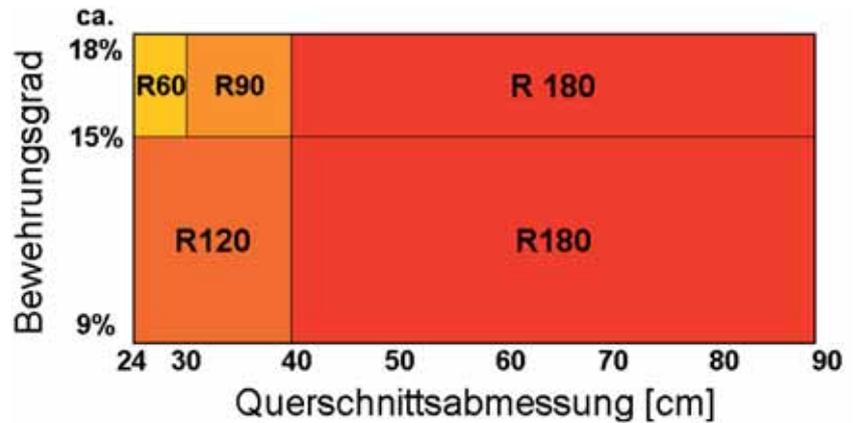
Die an der Kurve markierten Punkte bei den Zeiten 60, 90, 120 und 180 min entsprechen den Temperaturen, bei denen Bauteilklassifizierungen vorgenommen werden.

4.3 Durchführung der Versuche und Ergebnisse

Die Last wurde jeweils 15 Minuten vor Brandbeginn auf die Stütze aufgebracht, damit sich die Verformung einstellen und Risse entstehen konnten. Unmittelbar nach der Lastaufbringung musste die Kraft aufgrund von Verformungserscheinungen der Stütze und des Rahmens geringfügig erhöht werden, um die geforderte Last zu halten. Im Gegensatz dazu musste die Kraft während des Brandversuches aufgrund der Längenänderung (Ausdehnung) der Stütze ständig nach unten korrigiert werden.

Während der gesamten Versuchsdauer (bis zu 180 min) konnten bei den Stützen keine akustischen Erscheinungen (Abplatzen) oder

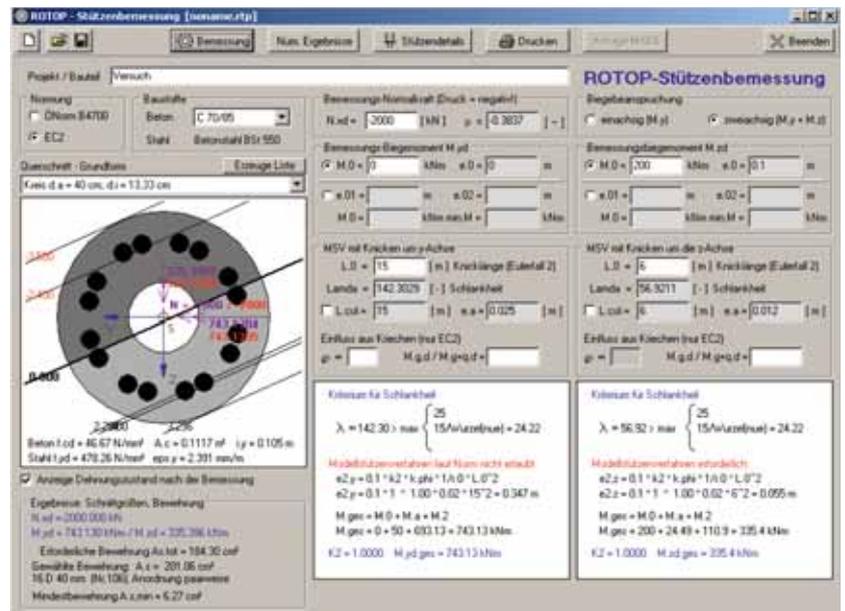
Abb. 6: Brandwiderstandsklassen: Hochbewehrte Schleuderbetonstützen, rund und quadratisch



Verformungserscheinungen (Versagen oder Erweichung der Stütze) festgestellt werden. Auch direkt nach den Versuchen im heißen Zustand waren nur geringfügige Schädigungen ersichtlich. Nach dem Ausbau wurden die Stützen genau untersucht. Die Oberfläche wies eine Vielzahl an netzartigen Rissen auf; der Beton ist jedoch an keiner Stelle abgefallen.

Die Zusammensetzung des Betons, insbesondere die gewählte Menge an Polypropylenfasern, erwies sich somit als optimal. Die angestrebte Brandwiderstandsklasse R90 wurde nahezu für das gesamte Spektrum der Stützenquerschnitte bestätigt, in den meisten Fällen sogar erheblich übertroffen (Abb. 6).

Abb. 7: Grundmaske Bemessungssoftware



5 Bemessungssoftware

Das Stützenbemessungsprogramm basiert auf dem allgemeinen Querschnittsprogramm INCA2 der TU Hamburg-Harburg. Es wurden die Bemessungsregeln der ÖNORM B 4700 und EC2 für normalbewehrte Stützen (Modellstützenverfahren und Querschnittsnachweis mit normgemäßem Grenzdehnungsmodell) sowie die geltenden Bemessungsregeln für hochbewehrte Stützen (Gutachten für hochbewehrte Schleuderbetonstützen der TU Wien) eingearbeitet.

Die Eingabe der Stützen-Daten (Betonqualität, Querschnittsabmessungen, Schnittkräfte, Knicklänge, Biegebeanspruchung einachsig/zweiachsig) erfolgt in logischer Reihenfolge in drei Spalten. Als Ergebnis folgt links ein Bild des erstmöglichen Querschnittes (geringster Bewehrungsgrad) mit entsprechender Bewehrung in maßstäblicher Darstellung sowie der dazugehörige Dehnungszustand. In der Mitte unten werden die wichtigsten Daten bzgl. Modellstützenverfahren angegeben (Abb. 7).

Abb. 8: Versuchsanordnung Deckendurchleitung

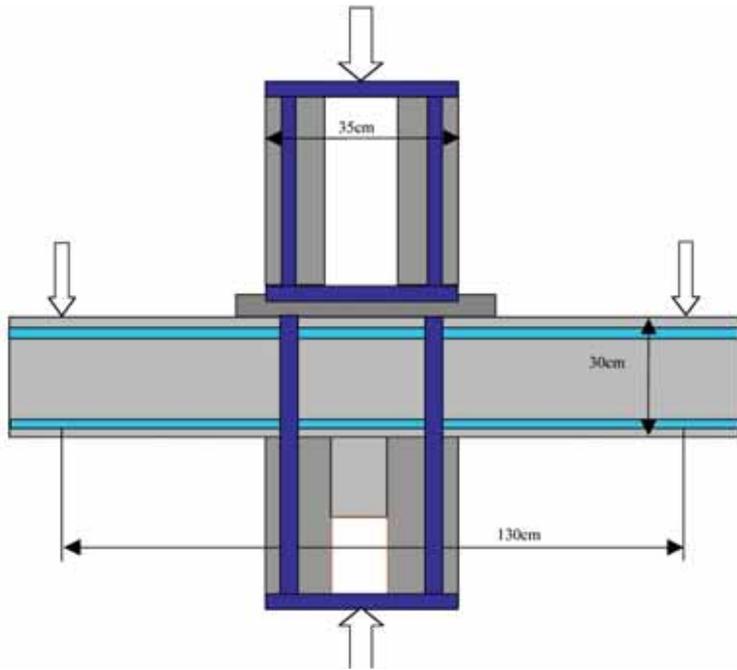
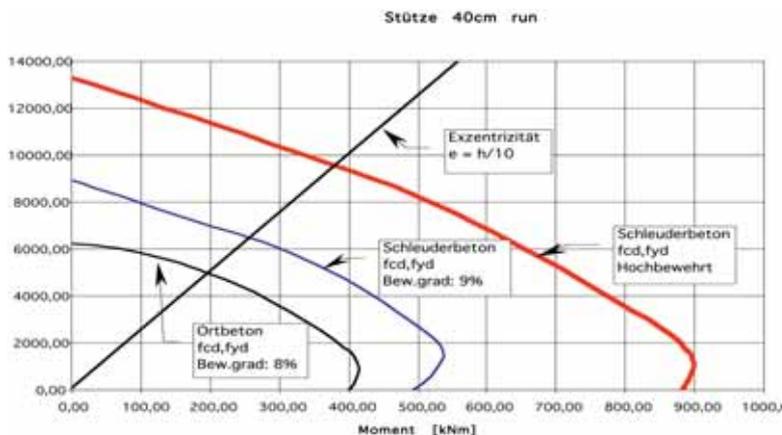


Abb. 9: Vergleich der Tragfähigkeit normal- und hochbewehrte Stütze



Zur Kontrolle der Daten des Modellstützenverfahrens können die genauen numerischen Ergebnisse in einem eigenen Fenster gesondert geöffnet werden. Ein Bauteil bzw. Projekt kann überdies auch gespeichert, wieder geöffnet und ausgedruckt werden. Alle noch fehlenden Angaben zur Stütze (Anschlussdetails, Brandwiderstandsklasse, Expositions-klasse) werden durch Betätigung eines Buttons (Stützendetails) oben mittig in einem eigenen Fenster ausgewählt.

6 Deckendurchleitung

Durch das Stoßen einer hochfesten Stahlbetonstütze mit hohem Bewehrungsgrad im Bereich einer Deckenplatte ist der direkte Kraftfluss unterbrochen. Üblicherweise wird dieses Knotendetail durch das beidseitige Anbringen einer konventionell bemessenen Stahlausgleichplatte gelöst.

Die Untersuchungen beziehen sich auf eine Optimierung dieser Anschlusslösung (siehe Abb. 8). Einerseits wird der Deckenbeton zur Einbindung der Decke über die gesamte Fläche durchgeführt und andererseits wird zur einfacheren Montage und zum Ausgleich von Bauungenauigkeiten an der Deckenoberkante eine Mörtelschicht angeordnet; die Stahlausgleichplatte ist nur mehr einseitig am Stützenfuß erforderlich, während sie am Stützenkopf entfällt. Je nach Kombination der verschiedenen Parameter Stützen-Normalkraft, Stützenschlankheit, Festigkeit des Stützenbetons, Festigkeit des Deckenbetons, und Bewehrungsgrad der Stütze ergeben sich dadurch unterschiedliche Bedingungen, die nur durch experimentelle Untersuchungen abgeklärt werden können.

In diesen Untersuchungen werden nur Stützen ohne Ausmitte am Auflager (nach ÖNORM B 4700 bedeutet das $e_{tot} = 0$) behandelt, d. h.,

dass die Querschnittsschwerpunkte der oberen und unteren Stütze des Anschlusses plangemäß auf einer gemeinsamen Achse liegen müssen und es kein Moment bzw. planmäßiger exzentrischer Kraftangriff übertragen werden darf (Pendelstütze). Die oberen Endflächen der Längsbewehrungsstäbe der unteren Stütze werden planmäßig bündig mit der Oberkante des Deckenbetons ausgeführt.

Die Bemessungsfestigkeiten des Betons, die Sicherheiten sowie die Einwirkungskombinationen werden wie in ÖNORM B 4700 bzw. im Bemessungskonzept für hochbewehrte MABA-Schleuderbetonstützen angesetzt. In den Bereichen, in denen der Beton mit einem dreidimensionalen Druckspannungszustand beansprucht wird, soll eine Erhöhung der einaxialen Druckfestigkeiten gemäß CEB-FIB Model Code 1990 ausgenutzt werden.

Stützens Ausbildung über zwei Stockwerke



7 Resümee und Ausblick

Die Versuche, sowohl statisch wie auch brandtechnisch, wurden erfolgreich abgeschlossen. Die Eckdaten der ROTOP-Schleuderbetonstütze von MABA lauten nach 3-jähriger Entwicklungsarbeit nunmehr:

- Betonfestigkeit C70/85
- max. Bewehrungsgrad 20 %
- Betondeckung $c = 3,5$ cm
- Brandwiderstandsklasse je nach Querschnitt R60 bis R180

Sowohl die Zielsetzungen einer Tragfähigkeitsteigerung um 50 % gegenüber einer herkömmlichen Ort betonstütze (siehe Abb. 9) als auch die einer Brandbeständigkeit von $\geq R90$ wurden somit erreicht. Ferner wurde ein Bemessungsmodell für die hochbewehrten MABA-Schleuderbetonstützen durch das Institut für Stahlbeton- und Massivbau der TU-Wien ausgearbeitet; die entsprechende Bemessungssoftware steht allen Anwendern frei zur Verfügung. Ein erster Entwurf einer Technischen Spezifikation für Schleuderbetonstützen wurde in Abstimmung mit dem Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) erstellt und befindet sich derzeit in der Begutachtung. Nach Durchführung der Untersuchungen für Detailbereiche, wie die Problematik der Deckendurchleitung sowie produktionstechnische Verbesserungen in der Fertigungsüberleitung, wird das Entwicklungsprojekt voraussichtlich Ende 2004 abgeschlossen werden. Schon heute kann das Projekt ROTOP-Stütze als technisch erfolgreich bezeichnet werden.

Das Entwicklungsprojekt wurde durch den Forschungsförderungs fonds für gewerbliche Wirtschaft unterstützt.

*DI Alexander Barnas, DI Gerhard Rinnhofer,
MABA Fertigteillindustrie GmbH,
Wr. Neustadt*