

Zerstörende Großversuche an hochbewehrten Schleuderbetonstützen

Stefan L. Burtscher, Wien

Gerhard Rinnhofer, Micheldorf

Vladimir Benko, Wien

Johann Kollegger, Wien

In den Versuchen wurden Schleuderbetonstützen mit hohen Längsbewehrungsgehalten, unterschiedlichen Querbewehrungsgehalten, Schlankheiten und Exzentrizitäten durch Aufbringen von Maximalkräften bis zu 17000 kN geprüft. Die Versuche haben gezeigt, dass die Berechnung von hochbewehrten Schleuderbetonstützen wie die Berechnung von normalbewehrten Stützen erfolgen kann. Der Einfluss der Querbewehrung auf die Maximallast, die Duktilität und das Bruchbild ist bei hochbewehrten Stützen jedoch ausgeprägter als in Stützen mit üblichen Bewehrungsgehalten. Eine erste Anwendung von Schleuderbetonstützen in Österreich konnte auf der Basis der Versuchsergebnisse erfolgen.

1 Einleitung

Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit und die Formschönheit von Konstruktionen haben Tragwerksplaner und Planer immer wieder dazu veranlasst die Abmessungen von Tragelementen zu minimieren und Spannweiten zu vergrößern. Bei den in diesem Beitrag untersuchten Stützen erfolgt die Erhöhung der Traglast durch den Einsatz von hochfestem Beton und hohen Bewehrungsgraden. Wegen den besonders hohen Bewehrungsgraden können die Stützen nicht mehr konventionell betoniert werden, sondern werden mit dem Schleuderbetonverfahren erzeugt. Mit der Herstellung in einer Stahlschalung und durch das Schleudern wird erreicht, dass die Bewehrungsstäbe allseitig gut mit Beton ummantelt sind. Der Schleuderbeton ist durch seine besonders dichte und porenfreie Oberfläche gekennzeichnet, die wegen der hohen Verdichtungsenergie möglich ist. Es können Stützen bis zu einer Länge von 18m (theoretisch bis 30m) in einem Stück hergestellt werden, was mit anderen Herstellungsmethoden nicht möglich ist. Die Durchmesser können zwischen 12 und 90cm gewählt werden. Neben Kreisquerschnitten werden auch quadratische und ovale Stützen geschleudert.

Die Bewehrungsgrade in der Österreichischen Norm und auch anderen europäischen Normen sind mit 5 bis 9% Bewehrungsgrad nach oben hin beschränkt. Die Beschränkung der Bewehrung ist beim konventionellen Betonieren notwendig, da ansonsten die Verarbeitbarkeit und der gute Verbund zwischen Beton und Stahl nicht gewährleistet werden kann.

Schleuderbetonstützen können deutlich kostengünstiger als Verbundstützen hergestellt werden. Um in den Bereich der Tragfähigkeit von Verbundstützen zu kommen, wurde von der Fa. MABA Fertigteileindustrie GesmbH ein Entwicklungsprojekt initiiert, mit dem Ziel eine Zulassung für hoch stabstahlbewehrte Querschnitte zu erhalten. Die Tragfähigkeitserhöhung sollte im Vergleich zu einer herkömmlichen Stahlbetonstütze bis zu 100% betragen. Zur Verifizierung der theoretischen Überlegungen wurden am Institut für Stahlbeton und Massivbau der TU-Wien 38 zerstörende Stützendruckversuche durchgeführt, die als Grundlage für das Bemessungskonzept herangezogen werden. Die Erarbeitung einer Zulassung für hochbewehrte Schleuderbetonstützen ist ein Hauptziel der Entwicklungsarbeit der Fa. MABA. Parallel dazu werden brandtechnische Untersuchungen durchgeführt, um die Brandwiderstandsklasse F90 zu erreichen.

2 Das Schleuderbetonverfahren für die Herstellung von hochbewehrten Stützen

Das Schleuderbeton-Verfahren hat eine lange Tradition bei der Produktion von Masten. Diese Anwendung bildet auch heute noch den Hauptteil der Schleuderbetonprodukte. Nach einer Patentschrift aus dem Jahre 1907 wurde es erstmals von einer Meißener Firma eingesetzt. Die Technik wurde seit Beginn des vorigen Jahrhunderts immer weiter, bis zum heutigen „Rollenbank – System“, verbessert.

Die Bauteile werden in einer liegenden, zweiteiligen und frei drehbaren Stahlschalung gefertigt, die alle 2 bis 3 m auf Rollen gelagert ist, siehe Abbildung 1. Die Bewehrung wird in der Stahlschalung mit Kopf- und Fussplatten exakt positioniert. Danach wird der Beton eingebracht, die Stahlschalung geschlossen und auf die Schleuderstation gehoben, siehe Abbildung 2. Die mit Beton befüllte Schalung rotiert etwa fünf Minuten lang mit 400 bis 600 U/min. Dadurch wird der Beton mit 30 bis 40g Radialbeschleunigung verdichtet. Durch die Zentrifugalkraft verdichtet sich der Beton bei zuvor befüllter Schalung derart, dass im Inneren ein Hohlraum von etwa 1/3 des Durchmessers entsteht.



Abbildung 1: Schalung für Schleuderbetonstützen auf der Rollenbank.

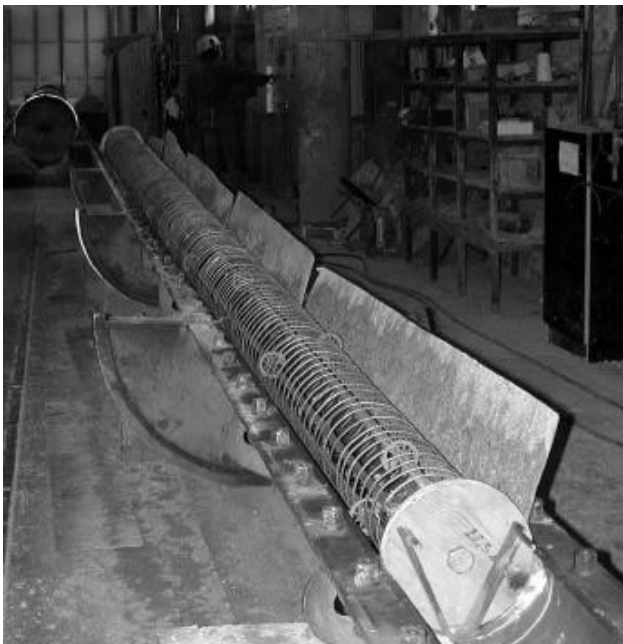


Abbildung 2: Eine Hälfte der Schalung mit eingelegter Bewehrung und Endplatten.

3 Der große Prüfrahmen an der TU-Wien

Der Rahmen hat ein Gewicht von 200 t und die äußeren Abmessungen von 11.1 x 5.1 x 4.5 m [1]. Er wurde aus I-Trägern mit einer Trägerhöhe von 1500 mm, einer Flanschbreite von 600 bis 800 mm und einer Flanschdicke von 40 bis 80 mm errichtet. Die Stäbe sind biegesteif miteinander verbunden und bilden einen dreidimensionalen Rahmen mit einer verwindungssteifen Grundplatte, siehe Abbildung 3. Die Grundplatte besteht aus drei parallelen, längs liegenden I-Trägern, die mit Querträgern und Diagonalen miteinander verbunden sind. An beiden Enden der I-Träger schließen vertikal drei Stiele an. Die Stiele werden in einer Höhe von 1500 mm über der Oberkante der Grundplatte mit zwei übereinanderliegenden Pressenträgern verbunden. An der Innenseite der Pressenträger sind 180 mm dicke, massive Stahlplatten aufgeschraubt. Zwischen diesen Stahlplatten werden die Pressen und der Prüfkörper eingebaut. Die aufgebrachtten Kräfte werden über die 180 mm dicken Stahlplatten und die beiden Pressenträger auf die vertikalen Stiele verteilt. Von dort wird die Kraft in die Bodenplatte und die beiden Zugbänder eingeleitet und der Kraftfluss damit geschlossen.

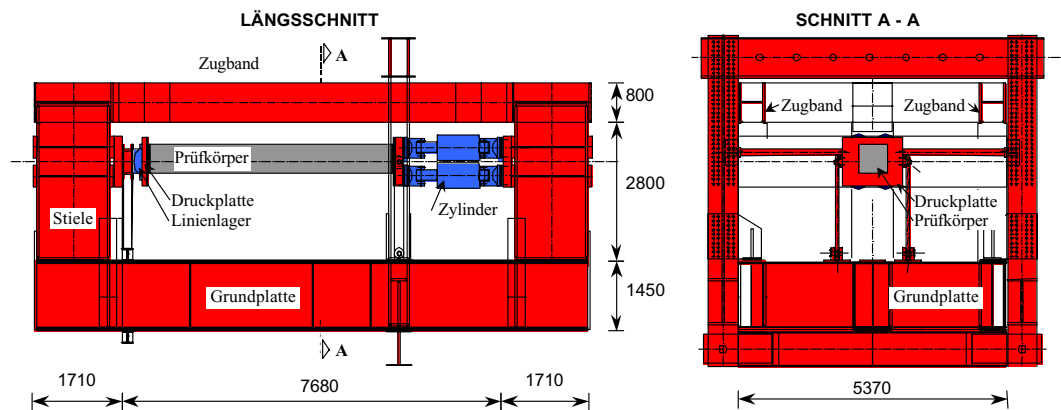


Abbildung 3: Längs- und Querschnitt des Prüfrahmens an der TU-Wien mit Aufbau zur Prüfung von beidseitig gelenkig gelagerten Stützen mit einer Länge von 5.0 m.

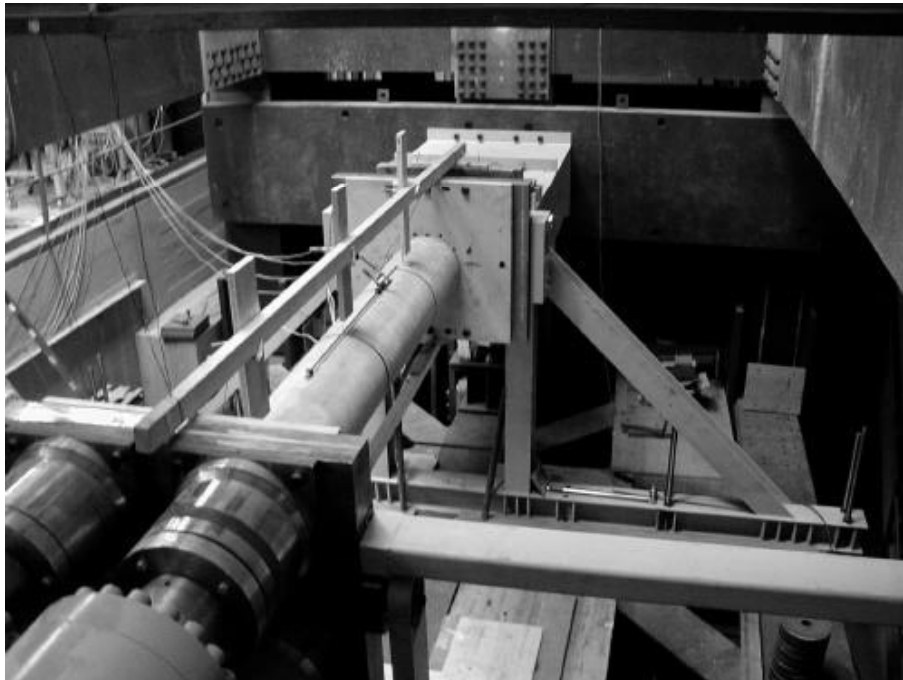


Abbildung 4: Ansicht vom Versuchsaufbau mit Hydraulikzylindern im Vordergrund, Druckplatte, Versuchskörper, Druckplatte mit Linienkipplager, Widerlagerbock, Distanzmodulen und Pressenträger.

Der Rahmen wurde für eine horizontale Maximalkraft von 30000 kN konstruiert. Derzeit ist die Ausrüstung für eine statische Belastung von 20000 kN und eine dynamische von 17000 kN vorhanden. Die Kraft wird mit vier hydraulischen Pressen erzeugt. Die Pressen sind auf der einen Seite auf den Pressenträgern des Rahmens montiert und auf der anderen Seite an der Druckplatte aus 150 mm dickem, massiven Stahl befestigt, siehe Abbildung 3 und 4. Die Verdrehbarkeit der Platte und die querkraftfreie Führung der Zylinder wurde durch aufgeschraubte Kugelgelenke auf beiden Seiten der Zylinder ermöglicht. Um die Reibung möglichst gering zu halten, wurde Teflon in die Gelenke eingeklebt.

Die Druckplatte kann sich in alle Richtungen frei bewegen. Die Kalotten erlauben eine Verdrehung von $\pm 7^\circ$. Der Gesamthub der hydraulischen Zylinder beträgt 250 mm. Die vertikale Festhaltung der Druckplatte erfolgt mit Pendelstützen auf beiden Seiten der Platte. Die horizontale Abstützung erfolgt mit Hohlprofilen, deren Enden Zylinderflächen aufweisen und somit beim Vorfahren der Platte den Abstand konstant halten. Auf die Versuchskörper wird eine Adapterplatte aufgeschraubt, siehe Abbildung 5. Auf der anderen Seite wird die Adapterplatte an die Druckplatte angeschraubt. Die Bohrungen der Adapterplatte sind so ausgeführt, dass Ungenauigkeiten des Prüfkörpers ausgeglichen werden können.

Auf der anderen Seite des Prüfkörpers befindet sich ein Linienkipplager. Das Linienkipplager wird auf einen Widerlagerbock geschraubt, der das Lager in horizontaler und vertikaler Lage hält. Zwischen Widerlagerbock und Pressenträger werden Distanzmodule eingebaut, um die Prüflänge variieren zu können. Die Versuchskörper können eine maximale Länge von 5.0 m und einen Querschnitt von 1.0 x 1.0 m besitzen.

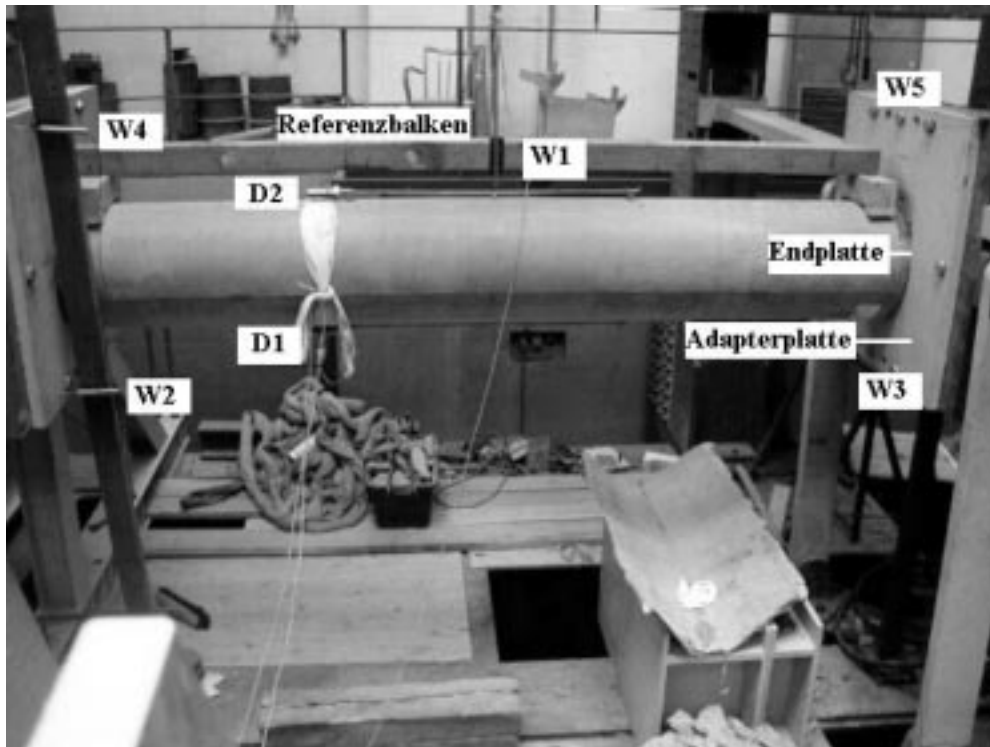


Abbildung 5: Darstellung der Wegmessstrecken der digitalen (D) und der induktiven (W) Wegaufnehmer.

4 Druckversuche an Schleuderbetonstützen

4.1 Ziel der Untersuchungen

Neben der Tragfähigkeitserhöhung und der Einhaltung der Brandwiderstandsklasse F90 soll der Tragfähigkeitsnachweis vereinfacht werden. Für Schleuderbetonstützen gibt es derzeit kein anerkanntes Regelwerk. In der ÖNORM B 4705 „Fertigteile aus Beton“ sind Schleuderbetonprodukte ausdrücklich ausgenommen. Je Bundesland ist daher für die Verwendung eine Österreichisch Technische Zulassung erforderlich, oder für jedes Bauvorhaben ein Gutachten im Einzelfall zu erbringen. Um die mit den Gutachten verbundenen zusätzlichen Kosten, respektive den administrativen Aufwand für neun Österreichische

Technische Zulassungen zu vermeiden, wird im Zuge des Entwicklungsprojekts ein Regelwerk erarbeitet, das als Grundlage für eine künftige ÜA-Kennzeichnung dienen soll. Mit einem entsprechenden Konformitätsnachweis wäre die Brauchbarkeit und Verwendung von hochbewehrten Schleuderbetonstützen in allen Bundesländern einheitlich gegeben.

Das gewählte Versuchsprogramm soll in erster Linie zeigen, welche Tragfähigkeit und welches Verformungsverhalten hochbewehrte Schleuderbetonstützen aufweisen. Weiters soll der Einfluss der Querbewehrung bzw. Ganghöhe bei hochbewehrten Schleuderbetonstützen auf die Tragfähigkeit, das Tragverhalten und die Verformbarkeit untersucht werden, weshalb neben der Traglast auch das Nachbruchverhalten von besonderem Interesse ist. Bei den Prüfserien wurden Durchmesser und Länge der Prüfkörper sowie Längs- und Querbewehrungsgrad variiert.

4.2 Versuchsprogramm

Es wurden insgesamt 38 zerstörende Druckversuche an MABA Schleuderbetonstützen an der TU Wien durchgeführt. Bei den Prüfserien wurden Querschnittsform (rund, quadratisch, oval), Querschnittsabmessungen, Länge der Stützen sowie Längs- und Querbewehrungsgrade variiert. In diesem Beitrag werden nur Stützen mit kreisrundem Querschnitt behandelt. Die Abmessungen, die Längs- und Querbewehrungsgrade sind in Tabelle 1 angeführt.

Die Berechnungsmethoden von Stützen unter zentrischem Druck sind in den europäischen Normen unterschiedlich geregelt. In der ÖNORM B 4700 [2] müssen auch zentrisch gedrückte Stützen mit einer minimalen Exzentrizität von $D/10$ berechnet werden. Deshalb wurden alle Stützen planmässig exzentrisch mit $e_0 = D/10$ bzw. $D/5$ belastet, siehe Tabelle 1. Die Ausmitte am Beginn des Versuchs ist die planmäßige Exzentrizität e_0 , dazu kommt noch die ungewollte Exzentrizität e_a . In unserem Fall ist durch den exakten Einbau in den Rahmen $e_a \sim 0$. Die zusätzliche Auslenkung e_2 entsteht durch die Stützenverformung bei Belastung. Das statische System entspricht einer Pendelstütze mit einer Normalkraft, die um e_0 an beiden Enden verschoben ist.

Um den Einfluß der Querbewehrung bei hochbewehrten Schleuderbetonstützen zu untersuchen, wurden bei den Serien A, B und C die Querbewehrungsgrade bei gleicher Längsbewehrung variiert. Um den Vergleich zu normalbewehrten Stützen herzustellen, wurden die Probekörper D1 und E1 mit einem Längsbewehrungsgrad von 5.1% und unterschiedlichen Querbewehrungsgraden produziert. Die Stützen der Serie F und G wurden mit einer höheren Schlankheit gefertigt, um detailliertere Aussagen über den Einfluß der Systemverformung zufolge Belastung zu erhalten.

Serie H und I wiesen identischen Längs- und Querbewehrungsgrad auf, wobei die Stützen der Serie H mit einer planmäßigen Exzentrizität von $e_0 = D/10$ und die Stützen der Serie I mit einer planmäßigen Exzentrizität von $e_0 = D/5$ getestet wurden. Beide Stützenquerschnitte wurden im Gegensatz zu den anderen Serien mit einer zweilagigen Bewehrung, anstelle einer einlagigen Bewehrung, ausgeführt.

4.3 Durchführung der Versuche

Eine für den Druckversuch vorbereitete Stütze mit einem Durchmesser von 40 cm und einer Länge von drei Metern wird in Abbildung 4 gezeigt. Die Stütze wurde frei drehbar in die Prüfeinrichtung eingebaut und mit einer vordefinierten Exzentrizität von $D/10$ belastet. Die exakte Einhaltung der Exzentrizität wurde mit einer geschraubten Verbindung und massiven Endplatten gewährleistet, die auch gleichzeitig eine optimale Kräfteinleitung in den Prüfkörper sicherte, siehe auch Abbildung 5. Die Stützen wurden immer so eingebaut, daß das Versagen an der Stützenoberseite eintrat.

Die Lastaufbringung erfolgt mit einer konstanten Deformationsgeschwindigkeit von 0.2 mm/min. Durch die Wegsteuerung und die hohe Steifigkeit des Prüfrahmens war es möglich auch nach Überschreiten der Maximalkraft den Nachbruchbereich zu erfassen. Die Verschiebungen über die gesamte Prüfkörperlänge wurden mit 5 Wegaufnehmern (W1 bis W5) aufgezeichnet, siehe Abbildung 5. Daraus wurden die Längsstauchung, die Auslenkung in Stützenmitte und die Verdrehung der Endplatten berechnet. Die Stauchung an der Stützenoberseite und Stützenunterseite konnte mit 2 digitalen Wegaufnehmern (D1, D2) in Stützenmitte ermittelt werden. Die Kraft die auf die Stütze wirkte, wurde aus den Öldrücken der einzelnen Hydraulikzylinder bestimmt und aufsummiert. Mit einer hochpräzisen Kraftmessdose wurde die Genauigkeit der Kraftmessung überprüft.

4.4 Ergebnisse

Kurz vor, jedoch spätestens bei Erreichen der maximalen Normaldruckkraft N_{max} bildeten sich Risse, die sich vornehmlich in Längsrichtung ausbreiteten. Bei weiterer Laststeigerung löste sich die Betondeckung teilweise schollenartig von der Wendelbewehrung der Stütze. Mit zunehmender Stauchung schritt die Schädigung des Betons fort und die aufnehmbare Kraft der Stütze sank kontinuierlich. Beim Reißen der ersten Wendelumwicklung folgten in kurzem Abstand die benachbarten Wendelgänge und Totalversagen der Stütze trat ein. Die Duktilität nach Erreichen der Traglast konnte durch einen höheren Querbewehrungsgrad verbessert werden, dies ist an den Stützen der Serie A, B, C in Abbildung 6 ersichtlich. Man sieht deutlich, dass die Last nach Erreichen der Maximallast bei gleicher Stützenstauchung stärker abfällt, wenn die Querbewehrung geringer ist. Weiters konnte die Stütze C2 mit geringer Querbewehrung auch weniger gestaucht werden. Neben der Duktilität konnte durch eine höhere Querbewehrung auch die Maximallast geringfügig gesteigert werden, vergleiche dazu die Traglasten N_{max} in Tabelle 1. Bei der Serie C wurde durch den geringen Querbewehrungsgehalt die mit Mittelwerten berechnete Traglast nicht erreicht. Das Versagen trat kurz nach Erreichen der Maximallast auf hohem Kraftniveau und im Vergleich zu den anderen Stützen mit geringer Vorankündigung ein. Die Bruchbilder in Abbildung 7, 8 und 9 zeigen den Einfluß auf das Bruchbild der unterschiedlichen Querbewehrungen.

Prüfkörperbezeichnung	Durchmesser [cm]	e_0 [cm]	Längsbewehrung g	Bewehrungsgrad [%]	Querbewehrung	$f_{cm}^{1)}$ [N/mm ²]	$N_{max}^{2)}$ [kN]	$M^{3)}$ [kNm]	$e_0^{3)}$ [‰]	$e_u^{3)}$ [‰]	$e_{tot}^{3)}$ [cm]
A1	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 10 cm	73	12674	694	-4.4	0.3	5.5
A2	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 10 cm	75	12345	619	-4.1	0.8	5.0
A3	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 10 cm	81	12247	653	-4.0	0.3	5.3
B1	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 4 cm	78	12965	704	-4.4	0.4	5.3
B2	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 4 cm	79	12967	688	-4.3	0.3	5.2
C1	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 20 cm	72	11412	604	-3.2	0.2	5.3
C2	40	4	16 Ø 40	18	Ø6 / 20 cm	85	11843	596	-3.6	0.3	5.0
D1	40	4	8 Ø 30	5.1	Ø6 / 4 cm	83	8465	430	-3.6	0.1	5.1
E1	40	4	8 Ø 30	5.1	Ø6 / 20 cm	83	8731	454	-3.6	0.6	5.2
F1	20	2	8 Ø 30	18.8	Ø6 / 4 cm	79	1912	84	-2.4	0.5	4.4
F2	20	2	8 Ø 30	18.8	Ø6 / 4 cm	84	1907	104	-1.36	0.8	5.5
G1	20	2	8 Ø 30	18.8	Ø6 / 20 cm	86	1713	108	-3.7	1.9	6.3
G2	20	2	8 Ø 30	18.8	Ø6 / 20 cm	87	1625	97	-3.3	1.6	6.0
H1	45	4.5	40 Ø 26	19.3	Ø6 / 7 cm	79	13227	725	-3.6	0.1	5.5
H2	45	4.5	40 Ø 26	19.3	Ø6 / 7 cm	84	13355	776	-3.7	0.1	5.3
H3	45	4.5	40 Ø 26	19.3	Ø6 / 7 cm	82	13592	715	-4.1	0.1	5.3
I1	45	9	40 Ø 26	19.3	Ø6 / 7 cm	76	10282	1045	-4.9	1.3	10.2
I2	45	9	40 Ø 26	19.3	Ø6 / 7 cm	84	10366	995	-4.0	1.1	9.6

¹⁾ mittlere Zylinderdruckfestigkeit f_{cm} am Tag des Versuchs
²⁾ N_{max} größte aufgebrachte Druckkraft
³⁾ M , e_0 , e_u , e_{tot} bei N_{max}

Tabelle 1: Zusammenfassung der Prüfkörper mit kreisrundem Querschnitt

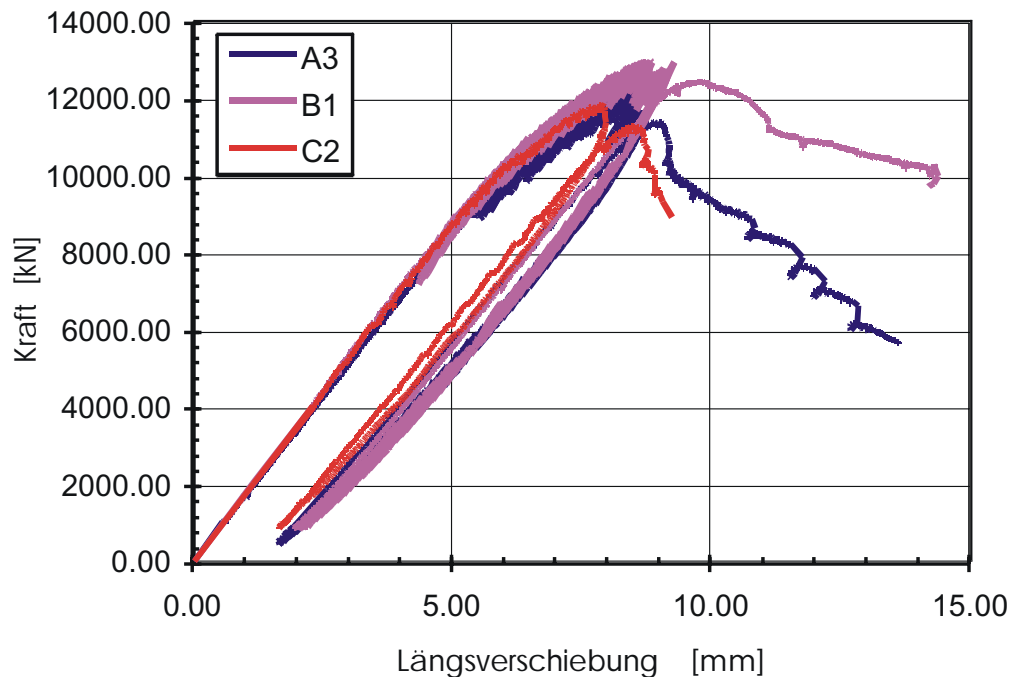


Abbildung 6: Kraft-Längsverschiebungsdiagramme von Stützen mit gleichem Längsbewehrungsgehalt, jedoch unterschiedlichem Querbewehrungsgehalt.

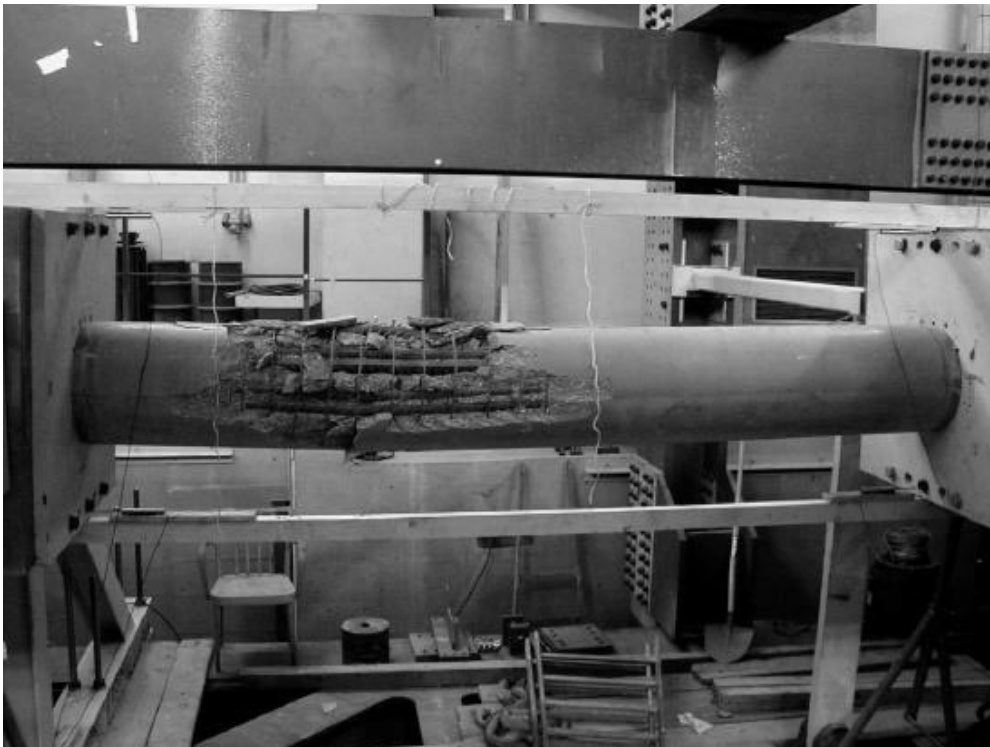


Abbildung 7: Bruchbild der Stütze A3 mit einer Querbewehrung von $\varnothing 6 / 10$ cm.

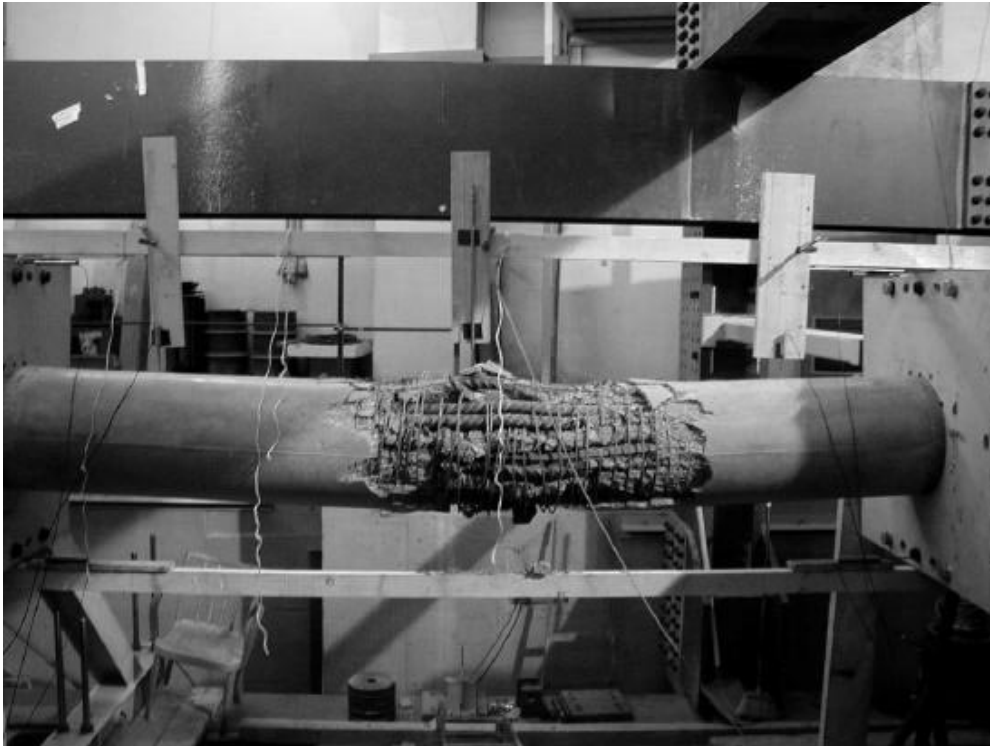


Abbildung 8: Bruchbild der Stütze B1 mit einer Querbewehrung von $\varnothing 6 / 4$ cm.



Abbildung 9: Bruchbild der Stütze C1 mit einer Querbewehrung von $\varnothing 6 / 20$ cm.

5 Vergleich der experimentellen und berechneten Traglasten

Die im Versuch ermittelten Traglasten werden hier mit den errechneten Traglasten verglichen. Da die Exzentrizität mit ansteigender Belastung zunimmt eignen sich hier besonders Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramme. Die Berechnung der Interaktionsdiagramme erfolgte mit dem Programm BK [3]. Es wurden Interaktionsdiagramme mit Mittelwerten aus begleitend durchgeführten Versuchen am Tag der Stützenprüfung und Bemessungswerten aus 28-Tage-Festigkeiten der ermittelten Betongüte B 60 nach ÖNORM B 4700 bzw. B 4710 [5] berechnet. Das verwendete konstitutive Modell für Beton unter Druckbeanspruchung ist das Parabel-Rechteckdiagramm der ÖNORM B 4700 mit einer maximalen Betonstauchung von 3.5‰. Um die errechneten Traglasten mit den Versuchswerten zu vergleichen wurden die Betonfestigkeiten an Prüfcylindern mit einem Durchmesser von 15 cm und einer Höhe von 30 cm am Tag der Stützenprüfung bestimmt. Die Zylinderfestigkeiten der einzelnen Stützen am Tag des Versuchs sind in Tabelle 1 angegeben. Für die Diagramme in Abbildung 10, 11 und 12 wurden aus den Zylinderfestigkeiten der unterschiedlichen Stützen Mittelwerte gebildet, damit die Versuchswerte miteinander verglichen werden können. Die mittleren Stahlflussfestigkeiten wurden nach CEB-FIB Model Code 90 [4] mit

$$f_{ym} = f_{yk} + 10 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

bestimmt und der Bemessungswert der Fließgrenze wurde der ÖNORM B 4700 entnommen. Die experimentell ermittelten Traglasten liegen für alle Versuche sehr nahe der mit Mittelwerten berechneten Interaktionslinie, in den Abbildungen 10, 11 und 12.

Man kann erkennen, dass die Stützen mit zunehmender Belastung von der planmäßigen Exzentrizität abweichen, aber nahe auf der mit Mittelwerten berechneten Versagenslinie liegen. Die Zunahme der Exzentrizität entspricht der Zusatzverformung aus Theorie 2. Ordnung.

In Abbildung 10 werden die Prüfkörper A, B und C mit gleicher Längsbewehrung (Bewehrungsgrad 18%) jedoch unterschiedlicher Querbewehrung verglichen. Man sieht hier deutlich den Einfluß der Querbewehrung. Je mehr Querbewehrung im Prüfkörper eingebaut wurde umso höher war die Traglast. Die Prüfkörper der Serie C wiesen die geringste Querbewehrung auf. Es konnte festgestellt werden, dass die zu geringe Querbewehrung zu einer niederen Traglast als in der Berechnung führte, und das Versagen der Stütze mit wenig Vorankündigung und schlagartig eintrat, siehe auch Abbildung 6, 7, 8 und 9. Um einen Vergleich zu Stützen mit üblichen Bewehrungsgraden herzustellen wurden auch Stützen mit 5.1% Bewehrungsgrad und unterschiedlicher Längsbewehrung getestet. Man sieht in Abbildung 10, dass sich mit den Berechnungsmodellen nach ÖNORM die Traglasten gut nachrechnen lassen. Man kann erkennen, dass der Einfluss der Querbewehrung bei üblichen Querbewehrungsgraden nicht so ausgeprägt und geringer als die Versuchsstreuung ist, da hier der Prüfkörper mit der geringeren Querbewehrung eine höhere Maximallast erreichte.

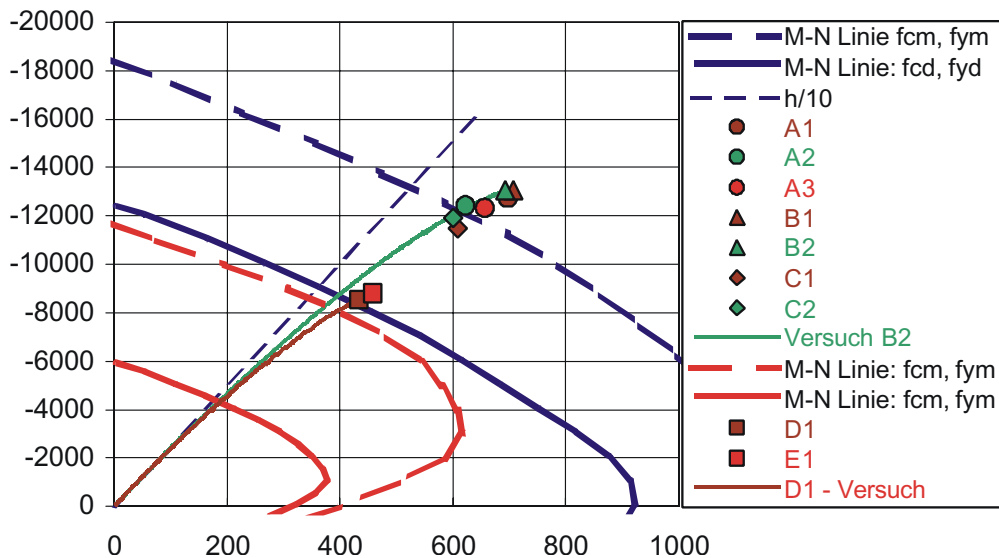


Abbildung 10: Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramm für Stützen mit 40 cm Durchmesser. Bei den Prüfkörpern A, B, C, sowie D und E wurde die Querbewehrung variiert.

Auch für schlankere Stützen stimmen Versuchswerte und Berechnungswerte gut überein, siehe Abbildung 11. Der Versuch F1 liegt innerhalb der Momenten-Normalkraft-Interaktionslinie. Die Linie im Bereich der Maximalkraft beschreibt jedoch nahezu ein Plateau das auch außerhalb der Interaktionslinie annähernd die gleiche Maximalkraft aufweist, siehe Versuchskurve F1 in Abbildung 11.

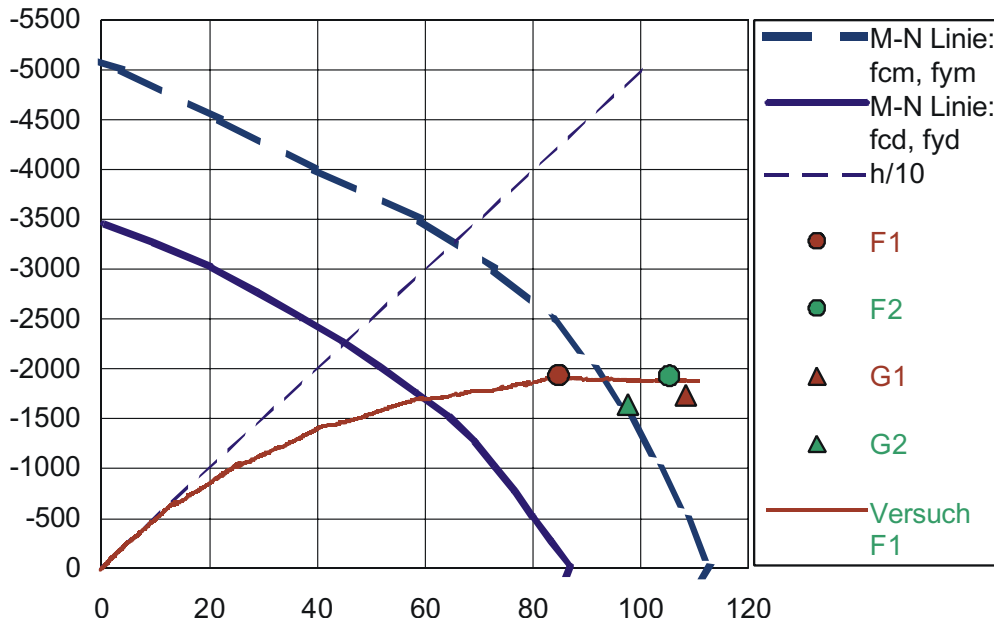


Abbildung 11: Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramm für Stützen 20 cm Durchmesser. Die Prüfkörper F und G weisen eine höhere Schlankheit und unterschiedliche Querbewehrungsgehalte auf.

Weiters wurden auch Stützen mit Längsbewehrung in Doppellage getestet. Bei diesen Stützen wurde auch die Anfangsexzentrizität mit $e_0 = D/10$ und $e_0 = D/5$ variiert. Die Traglasten sind in Abbildung 12 eingetragen. Auch für größere Exzentrizitäten sind die Annahmen für die Berechnung erfüllt und die Traglasten liegen außerhalb der berechneten Momenten-Normalkraft-Interaktionslinie.

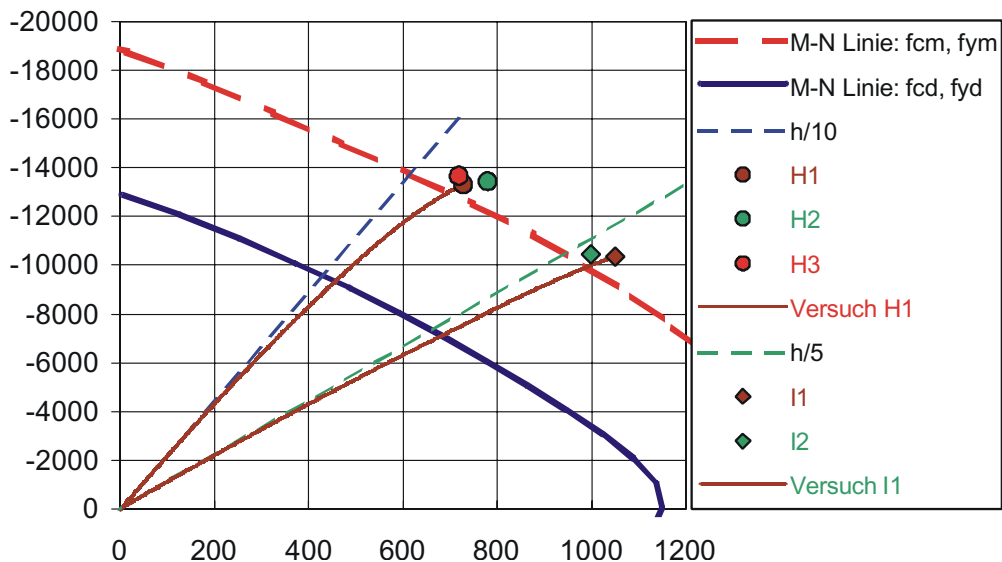


Abbildung 12: Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramm für Stützen mit 45 cm Durchmesser. Die Prüfkörper der Serie H und I wurden mit unterschiedlichen Anfangsexzentrizitäten belastet.

Zusätzlich wurden für alle berechneten Querschnitte die Momenten-Normalkraft-Interaktionsdiagramme für die Bemessungsfestigkeiten ermittelt. Aus dem Diagramm in Abbildung 10 wird ersichtlich, dass mit hochbewehrten Schleuderbetonstützen mit 18% Bewehrungsgrad die doppelte Tragfähigkeit gegenüber einer mit üblichen Bewehrungsgrad von 5.1%, bei gleichen Querschnittsabmessungen, erreicht werden kann.

6 Erste Anwendung von hochbewehrten Schleuderbetonstützen in Österreich

Nach Abschluß der ersten Versuchsreihe an der TU Wien wurden die Stützen bereits bei Bauvorhaben angeboten. Aufgrund des erheblichen Preisvorteils der Schleuderbetonstützen gegenüber den projektierten Verbundstützen wurde der Zuschlag für das BVH UKH Linz erteilt. Der Rohbau des Unfallkrankenhauses Linz wird von März 2002 bis Ende 2003 um ca. 33 Millionen Euro errichtet. Bei diesem Bauvorhaben kommen nun 580 teilweise hochbewehrte Schleuderbetonstützen ($\rho=18\%$) zum Einsatz. Der Ersatz der ursprünglich ausgeschriebenen Verbundstützen mit Schleuderbetonstützen konnte ohne Änderung des Tragsystems und mit einer geringfügigen Abänderung der Stützendurchmesser erfolgen. Die Krafteinleitung von der Flachdecke in die Stütze erfolgt, wie bereits in der Ausschreibung vorgesehen, mit Geilinger Pilzen. Die Stützen werden eingeschoßig ausgeführt und weisen eine Länge zwischen 3 und 5 Metern, bei einem Durchmesser von 30 bis 40cm, auf. Am Fußpunkt werden die Stützen mit einer Endplatte versehen und auf einem hochfesten Mörtelbett gelagert. Am Kopfpunkt wird die Hauptbewehrung durch die Decke geleitet und an der Deckenoberkante mit einer Endplatte abgeschlossen. Der Geilinger-Pilz wird in Deckenstärke an die Stütze angeschweißt. Die Montage erfolgt sehr rasch. Die Stütze wird auf die Decke gestellt und mit zwei Streben lotrecht eingerichtet, siehe Abbildung 13.



Abbildung 13: Einsatz von hochbewehrten Schleuderbetonstützen beim Bauvorhaben UKH-Linz.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Schwarz, L.: Neue Möglichkeiten der experimentellen Tragwerksuntersuchung an der Abteilung für Angewandte Modellstatik im Stahlbau der TU-Wien, Stahlbau Rundschau, 68, 1987, 2-8.
- [2] ÖNORM B 4700: Stahlbetontragwerke, Eurocode-nahe Berechnung, Bemessung und konstruktive Durchbildung, Ausgabe 2001.

- [3] Ballo, M., Benko, V. et.al.: System BK Stahlbetonkonstruktionen, Manual zu den Berechnungsprogrammen BK. Bratislava 1991
- [4] CEB-FIB Model Code 1990
- [5] ÖNORM 4710: Beton. Teil1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis, Ausgabe 2001-04-01

8 Danksagung

Diese Untersuchung wird vom Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft und der Firma MABA Fertigteileindustrie GmbH finanziert. Für die Mitarbeit bei den experimentellen Untersuchungen danken wir besonders den Herren Dipl.-Ing. Herbert Pardatscher, Dipl.-Ing. Markus Brunner, Emmanuel Girod, Dipl.-Ing. Johannes Horvatits und Matthias Tauber.