

Christoph Hahn
Jean-Pierre Jaspart

Untersuchungen über das Trag- und Dehnungsverhalten des Betongurtes bei Verbundanschlüssen

Aufgrund des steigenden Kostendrucks im Bauwesen ist es besonders wichtig, bereits bei der Planung effiziente Berechnungsmethoden heranzuziehen, die zu einer wirtschaftlichen Bauweise führen. In der Stahl- und Verbundbauweise kann dabei die Anwendung der Fließgelenktheorie zu guten Ergebnissen führen, da sowohl Querschnitts- als auch Systemreserven nahezu vollständig ausgenutzt werden. Beim gewöhnlichen Verbunddurchlaufträger führt dies zu einer Umlagerung des Stützmomentes hin zum Feld. Diese Umlagerung bedingt eine Zunahme der Rotation im Anschluss. Die hier vorgestellten Versuche zeigen, wie die Art und Menge der Bewehrung Einfluss auf die Rotationskapazität des Verbundanschlusses ausübt. Den erhöhten Rotationsanforderungen von Verbundanschlüssen im Bereiche von Fließgelenken sollte bereits bei der konstruktiven Ausbildung der Anschlüsse Rechnung getragen werden.

Investigations about the load bearing- and strain behavior of the concrete slab in the range of composite connections. *Due to the rising cost pressures in the construction industry, it is particularly important to choose efficient design methods to achieve economic structures. The use of the plastic hinge theory may lead to good results within the steel and composite construction industry because cross section- and system reserves can almost fully used. This means for the normal composite beam a redistribution of the bending moment from the support section to the field section. This redistribution causes an increase of the rotation at the composite connection. The presented tests show the influence of the reinforcement (type of reinforcement and reinforcement ratio) to the rotation capacity of the connection. The increased rotation requirements of composite connections in the area of plastic hinges should already be take in to account at planning state.*

1 Einführung

Die Verbundbauweise in Stahl und Beton hat sich in den letzten Jahren für wirtschaftlichen Hoch- und Geschossbau etabliert. Dabei ist der Verbundträger, bestehend aus dem Stahlträger und der Betondecke, eines der Hauptelemente. Er wird mittels Verbundanschluss an die Hauptträger oder die Stütze angeschlossen. Die Klassifizierung für Stahlanchlüsse wie sie in EN 1993-1-8 [3] vorgenommen wird, lässt sich auch auf Verbundanschlüsse übertragen. EN 1993-1-8 klassifiziert die Anschlüsse sowohl nach der Steifigkeit als auch nach der Tragfähigkeit (s. Bild 1).

Besonders wirtschaftliche Konstruktionen können durch die Kombination von teiltragfähigen Anschlüssen und einer Bemessung nach der Fließgelenktheorie ausgeführt werden. Die ersten Fließgelenke treten für gewöhnlich im Stützbereich auf, dort wo sich die Verbundanschlüsse befinden. Das heißt, die Biegetragfähigkeit des Anschlusses ist vor der Biegetragfähigkeit des Feldquerschnittes erreicht. Um die Tragfähigkeit des Feldquerschnittes ebenfalls ausnutzen zu können, ist eine Umlagerung des Momentes vom Anschluss zum Feld hin notwendig. Diese Umlagerung führt zu einer verstärkten Rotation im Anschluss, da trotz steigender Belastung des Trägers der Anschluss rechnerisch keine zusätzlichen Biegemomente mehr aufnehmen kann. Somit wird der Nachweis der ausreichenden Rotationsfähigkeit des Verbundanschlusses unumgänglich. Eine Komponente, die diese Rotationskapazität stark bestimmt, ist die Dehnfähigkeit des Betongurtes. Versuchsergebnisse zum Einfluss der Art und Anzahl der Bewehrung auf die Dehn-

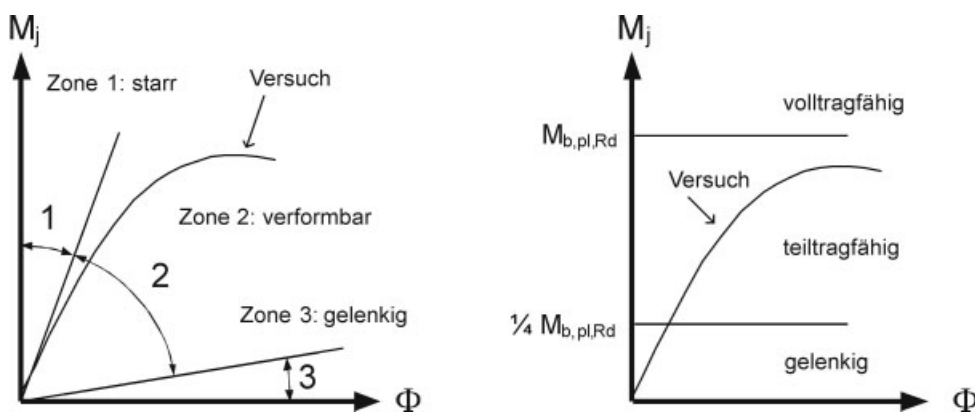


Bild 1. links: Klassifizierung nach der Steifigkeit, rechts: nach der Tragfähigkeit
Fig. 1. left: Classification by stiffness, right: by load bearing capacity

fähigkeit des Betongurtes werden in diesem Artikel vorgestellt.

2 Zielsetzung

Zur Ermittlung der Schnittgrößen in Verbundträgern gibt die EN 1994-1-1 [1] folgende Methoden an:

1. die linear-elastische Tragwerksberechnung (EN 1994-1-1, Abs. 5.4.2)
2. die elastische Tragwerksberechnung mit begrenzter Schnittgrößenumlagerung (EN 1994-1-1, Abs. 5.4.4). (Hierbei ist u. a. nachzuweisen, dass der Verbundanschluss entweder die Tragfähigkeit des angeschlossenen Trägers im negativen Momentenbereich oder eine ausreichende Rotationskapazität besitzt.)
3. die Tragwerksberechnung nach der Fließgelenktheorie (EN 1994-1-1, Abs. 5.4.5). (Hierbei ist u. a. nachzuweisen, dass der Verbundanschluss entweder die 1,2-fache Tragfähigkeit des angeschlossenen Trägers im negativen Momentenbereich oder eine ausreichende Rotationskapazität besitzt.)
4. die nicht-lineare Tragwerksberechnung (EN 1994-1-1, Abs. 5.4.3)

Da der Nachweis der Rotationskapazität des Anschlusses zu wirtschaftlicheren Ergebnissen führt als eine Überdimensionierung nach [1], Abschnitt 5.4.5, wurde diesbezüglich eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, z. B. von Bode und Jaspart im Rahmen des Cost C1-Projektes [6], [7] sowie von Ramm [14], Odenbreit [8] und Kathage [9], [10]. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bewehrung einen großen Einfluss auf die Rotationskapazität des Anschlusses hat.

Im vorliegenden Aufsatz werden neue Versuche vorgestellt, die mit der Zielsetzung entworfen wurden, die Fließgelenktauglichkeit insbesondere des bewehrten Betongurtes in der Zugzone des Anschlusses zu untersuchen. Insbesondere der Einfluss des Bewehrungsgrades, des Durchmessers der Bewehrung und der Art der Bewehrung (Bewehrungsmatte oder Bewehrungsstäbe) im Betongurt wurden untersucht.

3 Versuchskörper

Die Ausbildung der Versuchskörper (Bild 2) ist weitestgehend identisch mit den Versuchen der Reihe „VT“, wie sie im Forschungsbericht „Beitrag zur plastischen Bemessung durchlaufender Verbundträger mit Verbundanschlüssen“ der Ruhr-Universität Bochum [9] erläutert sind (s. Bild 3). Dieser Versuchsaufbau wurde aus zwei Gründen übernommen.

1. Innerhalb des Verbundanschlusses herrschen klare Verhältnisse bezüglich des Abtrages des Biegemomentes. Das Moment wird im Anschluss aufgeteilt in eine Druck- und eine Zugkomponente. Die Druckkomponente wird horizontal in Höhe des Untergurtes weitergeleitet, und die Zugkomponente wird ausschließlich durch die Bewehrung im Betongurt übertragen. Die unten überstehende Kopfplatte wird zum Querkraftabtrag auf einer Knagge gelagert. Die klaren Verhältnisse innerhalb des Anschlusses sind bei der späteren Versuchsauswertung vorteilhaft.
2. Eine neue Auswertung der VT-Versuche hinsichtlich der oben beschriebenen Kriterien reduziert die Anzahl der erforderlichen eigenen Versuche.

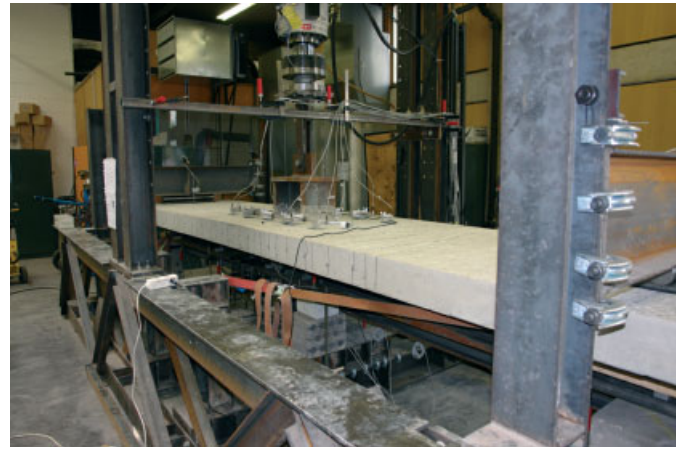


Bild 2. Versuch A-4 im Labor für konstruktiven Ingenieurbau der Universität Luxembourg
Fig. 2. Test A-4 at the laboratory for structural engineering of the University of Luxembourg

Bei der Auslegung der neuen Versuchskörper der Reihe „A“ wurden die Stahlteile des Verbundanschlusses in der Biegedruckzone so steif ausgeführt, dass deren Verformung für die Rotation des Anschlusses vernachlässigt werden konnte. Der Verbund zwischen Betonplatte und Stahlträger wurde mit Kopfbolzendübeln $\varnothing = 19$ mm hergestellt. Die Verbundfuge wurde voll verdübelt. Bei den Versuchen A-4 und A-5 wurde der Untergurt des Stahlprofils noch zusätzlich durch aufgeschweißte Bleche verstärkt, um Stabilitätsproblemen der Stahlträgeruntergurte vorzubeugen. Alle Anschlüsse der Versuchsreihe A versagten planmäßig infolge eines Reißen der Bewehrung.

Bei den neuen Versuchen wurde, basierend auf dem Aufbau der VT-Versuche, nur die Bewehrung variiert (s. Tabelle 1).

4 Versuchsdurchführung

Der Versuchskörper ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Bild 4 zeigt das zugehörige statische System. Die Auflager A und C sind vertikal unverschieblich und mit dem Ver-

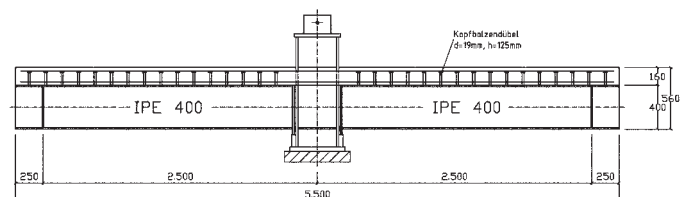


Bild 3. Versuchsaufbau der Versuche A-1 bis A-5
Fig. 3. Test setup for tests A-1 to A-5

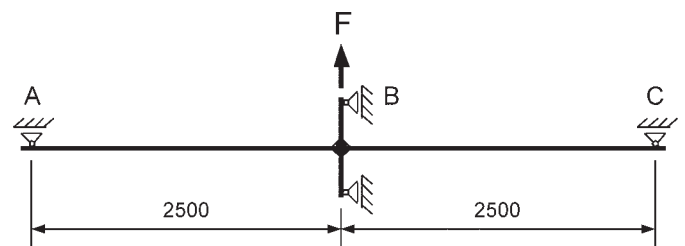


Bild 4. Statisches System der Versuche A-1 bis A-5
Fig. 4. Structural System for tests A-1 to A-5

Tabelle 1. Übersicht der variierten Parameter
Table 1. Summary of test parameters

	ρ_s [%]	Bewehrung					
		$\varnothing = 8 \text{ mm}$	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	$\varnothing = 12 \text{ mm}$	R 513	R 589	Q 513 $\varnothing = 12 \text{ mm}$
Universität Luxemburg 2008	0,63	A-2					
	0,63						
	0,71	A-5		A-3	A-1		
	1,04						
	1,11						
Ruhr Universität Bochum, 1995	0,74		VT 2.1			VT 2.2	
	1,06			VT 1.1			
	1,41			VT 2.4			

suchsräumen fest verbunden. Die hydraulische Presse zieht in Auflager B mit der Kraft F.

Die Steuerung erfolgte weggeregelt. Um eine Vorbelastung zu simulieren und eventuellen Haftverbund zu lösen, wurden zuerst zehn Lastzyklen zwischen 5 % und 40 % der zu erwartenden Maximallast gefahren. Danach wurden die Versuchskörper in kleinen Wegschritten bis zum Versagen belastet. Um die Verformung der Versuchskörper bestimmen zu können, wurden je Versuch 26 Wegaufnehmer und drei Inklinometer verwendet. Bild 5 zeigt die Anordnung der Wegaufnehmer im Bereich der Stütze.

Die Verdrehung der Stahlträger wurde mit den Inklinometern I01 und I03 gemessen. Der Inklinometer I02 sollte eine eventuell auftretende Schiefstellung der Stütze aufzunehmen (Bilder 5 und 6).

Die Stauchung der unteren Flansche der IPE 400 wurde mit den Wegaufnehmern W18 und W20 gemessen. Die Verformung der Stütze wurde von den Wegaufnehmer W19 und W21 aufgezeichnet. Bild 7 zeigt die gegenüberliegende Ansicht des Anschlusses. Die Vertikalverschiebung des Versuchskörpers wurde durch die Wegaufnehmer W12 bis W16 gemessen.

Aus den Messwerten der Vertikalverschiebung konnte ebenfalls die Rotation ermittelt werden. Bild 8 zeigt die Wegaufnehmer (W01 bis W10), die auf der Oberseite der Betonplatte befestigt wurden. Diese Wegaufnehmer zeichneten

die Dehnung des Betongurtes im negativen Momentenbereich auf.

Um die Vertikalverschiebung der Platte zu messen, wurden noch zusätzliche Wegaufnehmer (W11, W17 und W22) außerhalb des Anschlussbereiches angebracht. Zwei Wegaufnehmer wurden verwendet, um den Schlupf in der Verbundfuge zwischen Stahlträger und Betonplatte aufzuzeichnen. Mit den Wegaufnehmer W24 und W26 wurde die Auflagerverschiebung in horizontaler Richtung festgehalten.

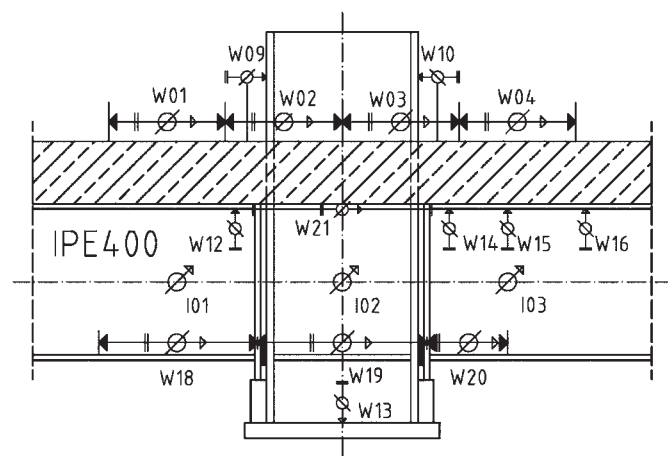


Bild 5. Anschluss der Versuchsreihe A
Fig. 5. Connection of test series A



Bild 6. Anschluss der Versuchsreihe A, Wegaufnehmer und Inklinometer
Fig. 6. Connection of test series A, displacement transducer and inclinometer



Bild 7. Anschluss der Versuchsreihe A, vertikal angeordnete Wegaufnehmer
Fig. 7. Connection of test series A, vertical displacement transducer

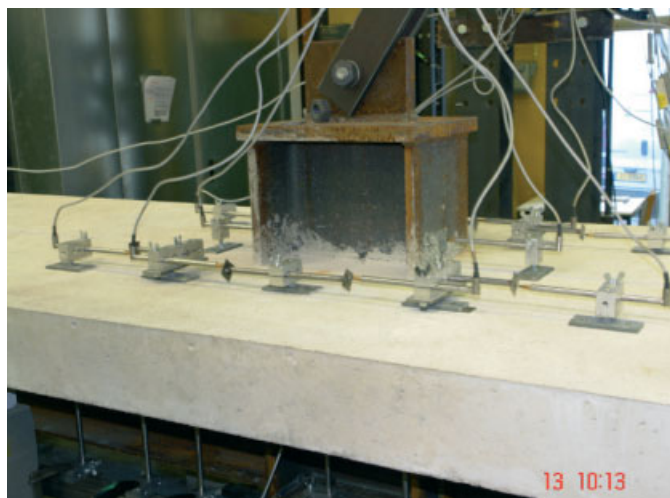


Bild 8. Anschluss der Versuchsreihe A, Betonplatte mit horizontalen Wegaufnehmern

Fig. 8. Connection of test series A, concrete slab with horizontal displacement transducer

5 Versuchsergebnisse und Auswertung

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die im Laboratoire d'Essais Acier der Universität Luxemburg durchgeführten Versuche. Die Ergebnisse für die Versuche VT1.1 bis VT2.4 wurden [9] entnommen.

Die Bilder 9 und 10 zeigen den Versuchskörper A-5 nach dem Versuch. Bei allen selbst durchgeführten Versuchen versagte die Betonplatte in ähnlicher Weise wie unten gezeigt. Der Riss, bei dem das spätere Versagen stattfand, war schon nach den Vorlastwechseln zu erkennen. Er begann an der Außenkante des Stützenflansches und pflanzte sich bis zum Rand der Platte fort. Der Riss erreichte bei allen Versuchen den Rand der Betonplatte an der Stelle der ersten Querbewehrung. Im Folgenden sollen einige wichtige Ergebnisse aus den Versuchsreihen vorgestellt werden.

5.1 Bewehrungsgrad und Steifigkeit

Ein steigender Bewehrungsgrad bei gleichbleibendem Durchmesser der Bewehrung und bei ansonsten gleicher

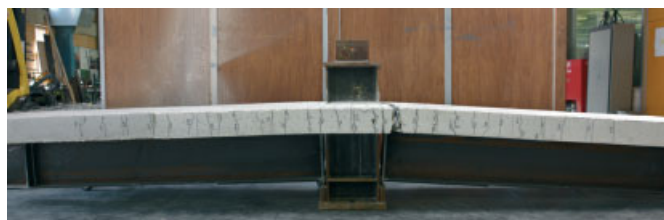


Bild 9. Seitenansicht des Versuch A-5 nach dem Test



Bild 10. Draufsicht des Versuch A-5 nach dem Test

Fig. 10. Top view of test A-5

Anschlusskonstruktion führt zu einer wachsenden Steifigkeit im Anschluss. Dies ist offensichtlich und folgt:

- a) aus dem Vergleich der Versuchskurven A-2 mit A-5
- b) aus dem Vergleich der Versuche A-3 und VT1.1 mit VT2.4 (s. Bild 11).

5.2 Bewehrungsgrad und Rotationskapazität

Ein steigender Bewehrungsgrad bei gleichem Bewehrungsdurchmesser führt bei ansonsten gleicher Anschlusskonstruktion zu einer größeren Rotationskapazität des Anschlusses (s. Bild 11). Dies folgt:

- a) aus dem Vergleich der Versuche A-2 mit A-5
- b) aus dem Vergleich der Versuche A-3 und VT1.1 mit VT2.4.

Bei den hier vorgestellten Versuchen resultiert die Rotation im Anschluss hauptsächlich aus der Dehnung der Betonplatte. Bild 12 zeigt die Spannungsdehnungslinie des Betonstahls aus DIN 1045-1 [4] und Model Code 1990 [5] unter Berücksichtigung des Tension Stiffening-Effektes.

Gleichung 1 [5] beschreibt den letzten Ast der Betonstahlarbeitslinie mit Berücksichtigung des Tension Stiffening-Effektes. Dabei ist die Erstrissspannung der Bewehrung σ_{sr}

Tabelle 2. Ergebnisse der Versuchsreihen „A“ und „VT“
Table 2. Results of test series „A“ and „VT“

	Versuch	Bewehrung	ρ_s [%]	$M_{pl,cal}^{***}$ [kNm]	$M_{u,test}$ [kNm]	$M_{u,test}/M_{pl,cal}$	Φ_{test} [mrad]	$S_{j,test}^{****}$ [kNm/rad]	Versagen
Universität Luxemburg, 2008	A-1	Matte R 513	0,64	320,6	275,4	0,86	9,0	87847	R*
	A-2	Stab $\varnothing = 8$ mm	0,63	364,9	363,27	1,00	22,1	76639	R
	A-3	Stab $\varnothing = 12$ mm	0,71	402,1	416,0	1,03	45,7	81817	R
	A-4	Matte Q 513 Stab $\varnothing = 12$ mm	1,11	595,4	557,9	0,94	14,9	78302	R
	A-5	Stab $\varnothing = 8$ mm	1,04	582,5	582,5	1,00	43,8	88258	R
Ruhr Universität Bochum, 1995	VT 1.1	Stab $\varnothing = 12$ mm	1,06	538,0	595,0	1,11	67,7	88344	R/B**
	VT 2.1	Stab $\varnothing = 10$ mm	0,74	382,0	425	1,11	36,0	88266	R
	VT 2.2	Matte R 589	0,74	380,0	396	1,04	9,2	95652	R
	VT 2.4	Stab $\varnothing = 12$ mm	1,41	659,0	770	1,17	70,6	322851	R/B

* R Reißen der Bewehrung ** B Beulen des Stahlprofils *** ermittelt nach [8] mit Werkstofffestigkeiten aus Versuchen **** nach [8]

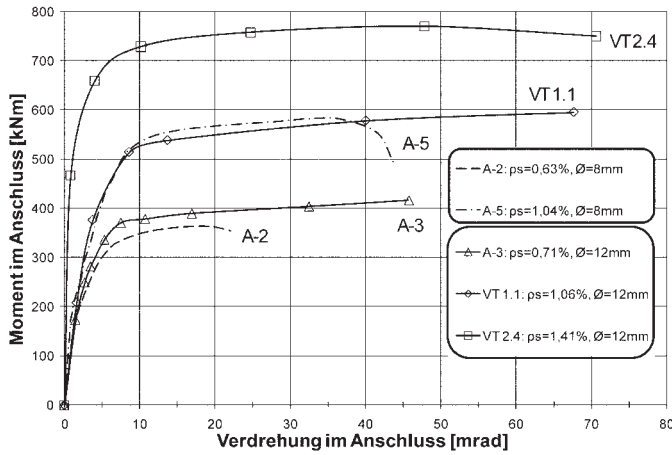


Bild 11. Versuche mit unterschiedlichem Bewehrungsgrad und gleichen Bewehrungsdurchmessern
Fig. 11. Tests with different reinforcement ratio and same reinforcement diameter

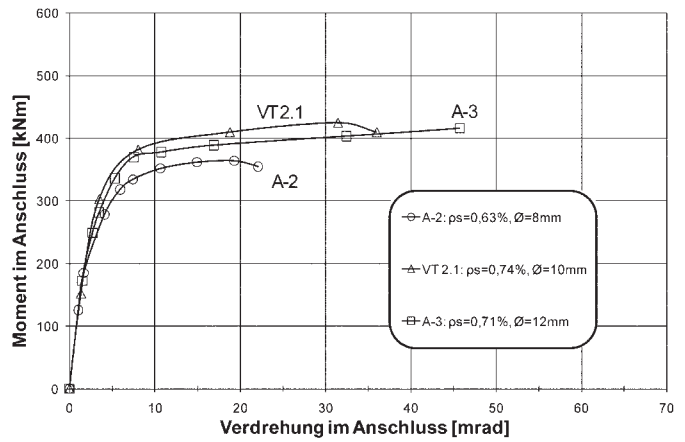


Bild 13. Versuche mit nahezu gleichem Bewehrungsgrad aber unterschiedlichem Bewehrungsdurchmesser
Fig. 13. Tests with same reinforcement ratio but different diameter of reinforcement bars

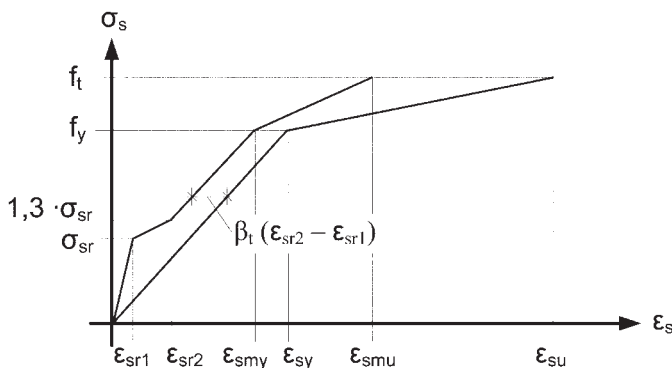


Bild 12. Modifizierte Spannungsdehnungslinie für Betonstahl zur Berücksichtigung von Tension Stiffening nach [7]
Fig. 12. Modified stress strain curve of reinforcement steel including tension stiffening effects [7]

sehr stark vom Bewehrungsgrad abhängig. Ein steigender Bewehrungsgrad führt zu einer größeren maximalen Dehnung der Betonplatte und somit auch zu einer größeren Rotationsfähigkeit des Anschlusses.

$$\epsilon_{am} = \epsilon_{sy} - \beta_t (\epsilon_{sr2} - \epsilon_{sr1}) + \delta_d \left(1 - \frac{\sigma_{sr}}{f_y} \right) (\epsilon_{s2} - \epsilon_{sy}) \quad (1)$$

- mit
- ε_{sm} mittlere Stahlspannung
 - f_y Streckgrenze des Betonstahls
 - ε_{sy} Dehnung des Stahls bei Erreichen der Streckgrenze
 - ε_{s2} Stahldehnung im gerissenen Zustand im Riss
 - β_t Beiwert zur Berücksichtigung der Belastungsdauer

Tabelle 3. Einfluss des Bewehrungsdurchmessers und Bewehrungsgrades
Table 3. Influence of diameter reinforcement bars and reinforcement ratio

Versuch	d _s [mm]	Faktor für Bewehrungsdurchmesser α ₁	ρ _s [%]	ε _{smu,cal} [‰]	Faktor für Grenzdehnung ε _{smu} α ₂	Φ _{u,test} [mrad]	Φ _{u,cal} [mrad]	Differenz
A-2	d _{s1} = 8	1,00	0,63	ε _{smu1} = 20,0	1,00	22,1	22,1	-
A-3	d _{s2} = 12	1,50	0,71	ε _{smu2} = 25,5	1,28	45,7	42,3	8,2 %
VT 2.1	d _{s2} = 10	1,25	0,74	ε _{smu2} = 27,3	1,36	36,0	37,7	4,4 %

mit α₁ siehe Gleichung 3; ε_{smu,cal} nach Gleichung 1; α₂ siehe Gleichung 4; Φ_{u,cal} siehe Gleichung 5

- ε_{sr1} Stahldehnung im ungerissenen Zustand unter Risschnittgrößen
- ε_{sr2} Stahldehnung im gerissenen Zustand im Riss
- δ_d Beiwert zur Berücksichtigung der Duktilität der Bewehrung
- σ_{sr} Stahlspannung im 1. Riss

$$\sigma_{sr} = \frac{f_{ct}}{\rho_s} \quad (2)$$

- mit
- F_{ct} Zugfestigkeit des Betons
 - ρ_s Bewehrungsgrad

5.3 Bewehrungsdurchmesser und Rotationskapazität

Ein steigender Bewehrungsdurchmesser führt bei gleichem Bewehrungsgehalt ebenfalls zu einer größeren Rotationskapazität des Anschlusses. Dies folgt aus dem Vergleich der Versuchskurven A-2 mit VT 2.1 und A-3 (s. Bild 13).

Tabelle 3 gibt eine Gegenüberstellung der Versuche, die mit Stabstahl bewehrt wurden und durch Reißen der Bewehrung versagten. Die Tabelle stellt den Zusammenhang zwischen steigendem Bewehrungsdurchmesser und steigender Rotationskapazität dar.

Der Faktor für den Bewehrungsdurchmesser ergibt sich aus Gleichung (3) zu:

$$\alpha_1 = \frac{d_{s2}}{d_{s1}} \quad (3)$$

mit
 d_{s1} Durchmesser der Bewehrung des Referenzversuches
 d_{s2} Durchmesser der Bewehrung des Versuches, dessen Rotation berechnet werden soll

Der Faktor für den Bewehrungsgrad ergibt sich aus Gleichung (4) zu:

$$\alpha_2 = \frac{\epsilon_{smu2}}{\epsilon_{smu1}} \quad (4)$$

mit
 ϵ_{smu1} maximale Dehnung des Betongurtes des Referenzversuches
 ϵ_{smu2} maximale Dehnung des Betongurtes des Versuches, dessen Rotation berechnet werden soll

Die berechnete Rotation eines beliebigen Anschlusses in Bezug auf den Referenzversuch ergibt sich aus Gleichung (5) zu:

$$\Theta_{u,cal} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \Theta_{test(Referenzversuch)} \quad (5)$$

Die Versuche haben gezeigt, dass ein direkter linearer Zusammenhang zwischen Bewehrungsdurchmesser und Rotationskapazität besteht. Derselbe Zusammenhang ergibt sich aus Formel (6) bei der Berechnung der Rissbreite nach DIN 1045-1 [4].

$$W_k = S_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad (6)$$

mit
 $S_{r,max}$ maximaler Rissabstand

$$S_{r,max} = \frac{d_s}{3,6 \cdot \rho_s} \quad (7)$$

$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ Differenz der Beton- zu Stahldehnung

Der Faktor $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ ist konstant für konstante Materialeigenschaften und konstante Bewehrungsgrade. Der maximale Rissabstand $S_{r,max}$ verhält sich direkt proportional zum Durchmesser der Bewehrungsstäbe.

5.4 Mattenbewehrung und Rotationskapazität

Es hat sich gezeigt, dass sich der Einsatz von Bewehrungsmatten auf die Rotationsfähigkeit von Anschlüssen negativ auswirkt, dies folgt:

- a) aus dem Vergleich der Versuchswerte der Versuche A-1 mit A-2
- b) aus dem Vergleich der Versuche VT2.2 mit A-3 (s. Bild 14).

Dieses Verhalten ist auf die angeschweißte Querbewehrung und der damit verbundenen sehr kurzen Verankerungslänge der Bewehrung zurückzuführen. Der Versuch A-4 wurde mit einer Kombination aus Matten und Stäben bewehrt um das Verhalten von gemischter Bewehrung, wie sie oft eingebaut wird, zu untersuchen. Dabei wurde festgestellt, dass eine gemischte Bewehrung hinsichtlich der Rotationsfähigkeit die Eigenschaften einer reinen Mattenbewehrung nicht signifikant verbessert. Dies ist dem Vergleich der Versuchswerte des Versuches A-4 mit A-5 zu entnehmen (s. Bild 14).

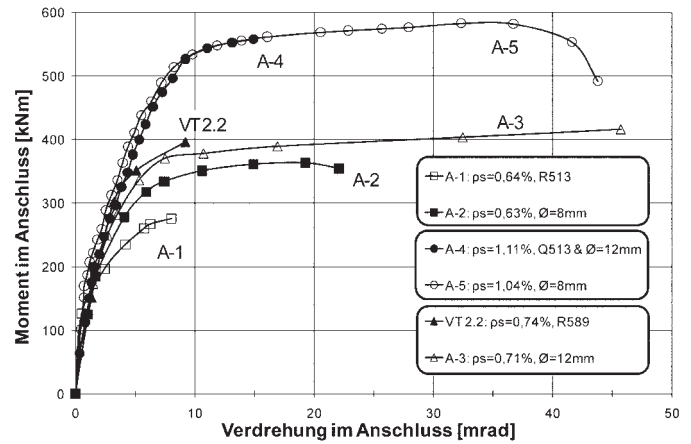


Bild 14. Vergleich der Versuche mit Mattenbewehrung und Stabbewehrung
 Fig. 14. Comparison of tests with reinforcing mesh and reinforcing bars

6 Zusammenfassung und Danksagung

Im Projekt „Semi-rigid Composite Connections in Steel and Concrete“ wurden Versuche durchgeführt, um die Rotationsfähigkeit von Verbundanschlüssen unter besonderer Berücksichtigung des Dehnungsverhalten des Betongurtes zu untersuchen. Es hat sich gezeigt, dass erwartungsgemäß ein höherer Bewehrungsgehalt zu einer größeren Steifigkeit und einer verbesserten Rotationsfähigkeit führt. Aber auch ein vergrößerter Bewehrungsstabdurchmesser bei ansonsten gleichem Bewehrungsgehalt führt zu einer verbesserten Dehnfähigkeit des Betongurtes und damit zu einer verbesserten Rotationsfähigkeit des Anschlusses. Des Weiteren wurde der negative Einfluss von Bewehrungsmatten auf die Rotationsfähigkeit von Verbundanschlüssen festgestellt.

Die hier vorgestellten Forschungsarbeiten wurden finanziell durch Fördermittel des luxemburgischen Forschungsministeriums und materiell durch die Firmen Spannverbund, Waldems und ArcelorMittal/ProfilARBED, Luxembourg unterstützt. Hierfür möchten sich die Autoren bedanken.

Literatur

- [1] EN 1994-1-1 (2004): Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton – Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau, Dezember 2004.
- [2] EN 1993-1-1 (2005): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Mai 2005.
- [3] EN 1993-1-8 (2003): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen, November 2003.
- [4] DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, Juli 2001.
- [5] CEB-FIP Model Code 1990 – Comité Euro-International du Béton, 1993.
- [6] Semi-Rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections. COST-C1, Composite steel-concrete joints in braced frames for buildings, Brussels/Luxembourg 1996.
- [7] COST C1 – „Composite steel concrete joints in frames for buildings: Design provisions“. Brussels/Luxembourg 1999.

- [8] *Odenbreit, C.*: Zur Ermittlung der Tragfähigkeiten, der Steifigkeiten und der Schnittgrößen von Verbundträgern mit halbsteifen, teiltragfähigen Verbundanschlüssen. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern, 1999.
- [9] *Kathage, K.*: Beitrag zur plastischen Bemessung durchlaufender Verbundträger mit Verbundanschlüssen. Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen, Mitteilung Nr. 95-2, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität Bochum, 1995.
- [10] *Kindmann, R., Kathage, K.*: Experimentelle Untersuchungen zur Rotationskapazität von Verbundanschlüssen. Stahlbau 63 (1994), S. 319-324.
- [11] *Demonceau, J.F., Jaspart, J.P., Kinkhammer, R., Oerder, R., Weynand, K., Labory, F., Cajot, L. G.*: Recent developments in composite connections. Steel Construction – Design and Research 1 (2008), Issue 1, pp. 71–76.
- [12] *Braham, M., Jaspart, J. P.*: Is it safe to design a building structure with simple joints, when they are known to exhibit a semi-rigid behavior? Journal of Construction Steel Research 60 (2004), pp. 713–723
- [13] *Bode, H., Kronenberger, H. J., Schmackpfeffer, H.*: Teiltragfähige, verformbare Verbindungen im Stahlverbundbau. Abschlußbericht zu Teilprojekt 2 der DFG Forschergruppe VERBUNDBAU, Kaiserslautern 1999.
- [14] *Ramm, W., Elz, S.*: Untersuchungen zum Tragverhalten und zur Rißbildung von Gurtplatten von Verbundträgern im Bereich negativer Momente. Abschlußbericht zu Teilprojekt 4 der DFG-Forschergruppe Verbundbau, Kaiserslautern 1999.

Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dr.-Ing. Christoph Odenbreit, Université du Luxembourg, Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication; Département Génie Civil, 6, rue Coudenhove-Kalergi, 1359 Luxembourg-Kirchberg

Prof. Dr.-Ing. Jean-Pierre Jaspart, Université de Liège, Département ArGEnCo, Chemin des Chevreuils 1, 4000 Liège 1, Belgium

Dipl.-Ing. Christoph Hahn, Université du Luxembourg, Faculté des Sciences, de la Technologie et de la Communication; Département Génie Civil, 6, rue Coudenhove-Kalergi, 1359 Luxembourg-Kirchberg