Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 115 (1997)

Heft: 29

Artikel: Betonstahl und Duktilität: neue Erkenntnisse zur Frage der Duktilität von Betonstählen

Autor: Oelhafen, Urs

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79277

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Urs Oelhafen, Rapperswil

Betonstahl und Duktilität

Neue Erkenntnisse zur Frage der Duktilität von Betonstählen

Eine angemessene Tragsicherheit setzt bei Betonbauwerken eine ausreichende Duktilität voraus. Das Verformungsvermögen des Betonstahls hat einen grossen Einfluss auf die Duktilität des Tragwerks. Am Markt werden Betonstähle mit unterschiedlichen Duktilitätseigenschaften angeboten. Im vorliegenden Beitrag wird diese Problematik aus der Sicht der Eurocodes und der europäischen Vornorm für Betonstahl ENV 10 080 angegangen.

Im Eurocode 2 [1] werden unter Ziffer 2.1 grundlegende Anforderungen an Betonbauwerke definiert. Genannt werden Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und eine angemessene Zuverlässigkeit (Sicherheit) des Tragwiderstands gegenüber Einwirkungen während der Ausführung und Nutzung. Gefordert wird aber auch, dass ein Tragwerk so ausgebildet sein muss, dass durch Ereignisse wie Explosionen, Aufprall oder Folgen menschlichen Versagens ein Tragwerk nicht in einem Ausmass geschädigt werden darf, das in keinem Verhältnis zur Schadenursache steht. Explizit wird in Ziffer 2.1, P (4) gefordert: «Die genannten Anforderungen müssen durch die Wahl geeigneter Baustoffe, eine zutreffende Bemessung und zweckmässige bauliche Durchbildung sowie durch die Festlegung von Überwachungsverfahren für den Entwurf, die Ausführung und die Nutzung des jeweiligen Bauwerks erreicht werden.»

1
Einige explizite und implizite Duktilitätsanforderungen der Norm SIA 162

Norm SIA 162 Ziffer	Inhalt	Kommentar
3 22 3	Das zur Entwicklung des angenommenen Gleichgewichtszustands notwendige plastische Verformungsvermögen muss gewährleistet sein	Erfordert u.a. die Einhaltung einschlägiger konstruktiver Regeln und Betonstahl mit ausreichendem Verformungsvermögen
3 13 24 3 13 33	Vernachlässigung von Schnittkräften aus behinderten Verformungen (Abbau der Schnittkräfte infolge der Bildung plastischer Gelenke)	bei Verwendung niedrigduktiler Betonstähle erfordert die Anwendung dieser Ziffern in der Regel einen Verformungsnachweis
3 24 15 3 24 15	Beschränkung der Druckzonenhöhe bei biegebeanspruchten Bauteilen Enge Verbügelung der Druckzone im Bereich plastischer Gelenke	soll die Bildung plastischer Biegegelenke mit ausreichendem Rotationsvermögen gewährleisten
3 24 2	Schubwiderstandsmodell mit variabler Neigung der Betondruckdiagonalen und variabler Bügelneigung	die auf der Plastizitätstheorie beruhenden Ansätze und Fliessbedingungen setzen entsprechende Duktilität voraus
3 25	Bemessungsmodell für Platten und Flachdecken	

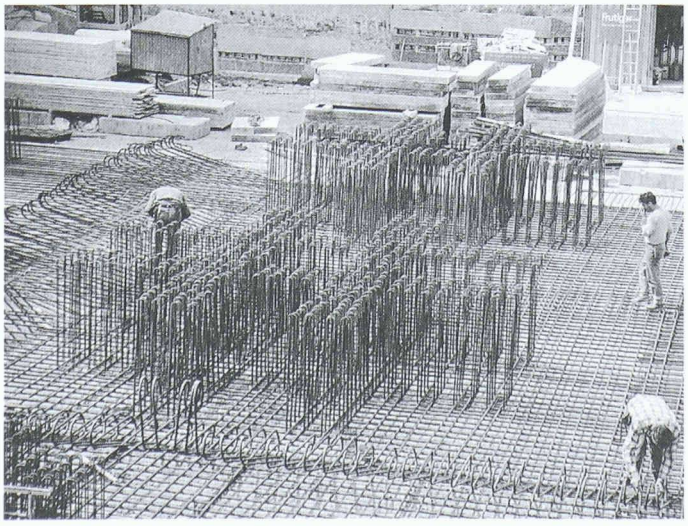
Stahlbetontragwerke können den beschriebenen Anforderungen nur genügen, wenn sie ausreichend duktil sind. Das bedeutet, dass sich ein mögliches Versagen durch Risse, plastische Gelenke und grosse Verformungen ankündigt. Duktilität ist somit eine Eigenschaft des Tragwerks insgesamt. Sie ist von vielen Gegebenheiten abhängig, dazu gehören: Systemwahl, konstruktive Gestaltung des Tragwerks, Verbundeigenschaften und Spannungs-Dehnungsverhalten der Baustoffe. Dabei spielt die Verformbarkeit des Betonstahls eine bedeutende Rolle.

Die Norm SIA 162 [2] enthält eine Reihe von Duktilitätsforderungen, die der Ingenieur beim Entwurf und bei der Bemessung von Tragwerken zu beachten hat. Einige davon sind in Bild 1 dargestellt.

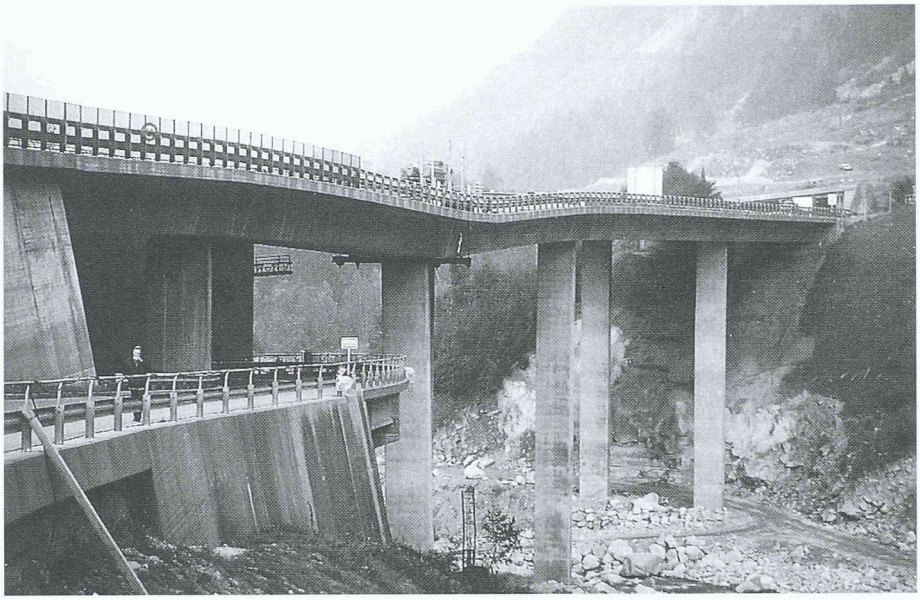
Die bei der Bemessung oft angenommene Fähigkeit zur Schnittkraftumlagerung ist bekanntlich nur dann vorhanden, wenn sich plastische Gelenke mit genügender Rotationsfähigkeit auch tatsächlich einstellen können. Hochbeanspruchte Stützen z.B. verhalten sich nur dann duktil, wenn eine kräftige, enge Bügel- oder Spiralbewehrung angeordnet wird. Bei Flachdecken tragen Bügelbewehrungen in durchstanzbeanspruchten Zonen erheblich zur Verbesserung der Duktilität bei.

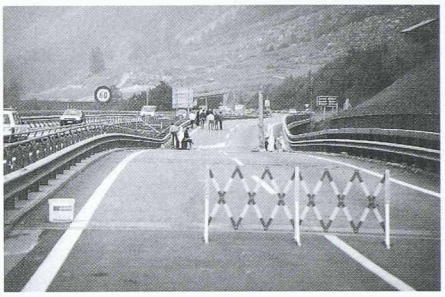
Besonders bei dicken Bodenplatten erreicht man durch Anordnen von Bügeln in Zonen mit hoher Schub- und Durchstanzbeanspruchung neben einer enormen Reduktion der erforderlichen Plattendicke eine wesentliche Verbesserung der Duktilität (Bild 2) [3].

Dass es sich bei der Forderung nach guter Verformbarkeit der Tragwerke um eine Frage von grosser praktischer Bedeutung handelt, zeigt sich immer dann, wenn ein Tragwerk bedeutenden ausserge-



2
Bodenplatte mit Durchstanzbewehrung zur Reduktion der Plattendicke und Erhöhung der Duktilität





3
Reussbrücke Wassen nach Schadenereignis

wöhnlichen Einwirkungen unterworfen ist. Zwei Beispiele: Die Inntalbrücke Kufstein und die Reussbrücke Wassen (Bild 3). In beiden Fällen erfolgten schnell eintretende Pfeilersenkungen infolge Auswaschung unter einem Pfeilerfundament. Bei der Kufsteinbrücke betrug die Pfeilersenkung 1,3 m (Spannweite der Innenfelder: 102 m), bei der Reussbrücke Wassen betrug die Pfeilersenkung 1,2 m (Spannweiten der angrenzenden Felder: 48 m).

Das Verformungsverhalten dieser Spannbetonbrücken erwies sich als gut, beide Brücken konnten durch eine Wiederanhebung saniert werden.

Betonstahl und Euronormen

Im Vergleich zu seiner Bedeutung wird vom Betonstahl relativ wenig gesprochen. Es ist offensichtlich, dass der Betonstahl von den Bauingenieuren und Bauunternehmern als ein verhältnismässig unproblematischer Baustoff betrachtet wird. Weiterentwicklungen in der Bautechnik, neue Techniken bei der Herstellung von Betonstahl und neue Erkenntnisse in der Tragwerksforschung erfordern aber, dass sich Hersteller, Weiterverarbeiter und Verbraucher über die Anforderungen, die an das Produkt Betonstahl gestellt werden müssen, einigen können. Die Einführung von Europäischen Vornormen im Bereich Bemessung (insbesondere Eurocode 2 und Eurocode 8) und im Bereich Material (ENV 10 080 für Betonstahl) sind erste Schritte auf dem Weg zu einer gesamteuropäischen Harmonisierung in dieser Frage [1], [4], [5].

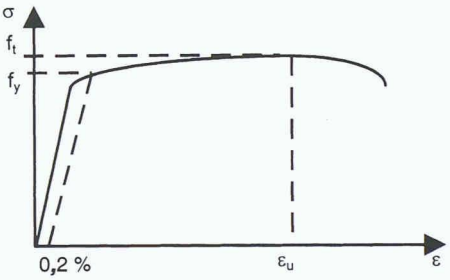
Auf eine ausführliche Diskussion der, in der ENV 10 080 für den Betonstahl definierten, einzelnen technischen Kennwerte wird an dieser Stelle verzichtet; diese Thematik wurde in [6] und [7] behandelt. An dieser Stelle sollen ausschliesslich die Anforderungen an die Duktilitätsmerkmale zur Sprache kommen. Die Feststellung, dass es sich dabei um das am intensivsten diskutierte Thema innerhalb der für den Betonstahl zuständigen europäischen Kommission (ECISS TC19) handelt, ist nicht übertrieben.

Duktilitätsklassen von Betonstählen

Die Unterscheidung der Betonstähle nach Duktilitätsklassen wurde durch den EC 2 vorgegeben und ist konsequent von der Materialnorm ENV 10 080 übernommen worden. Als Duktilitätskennwerte gelten die Dehnung unter Höchstlast, die in den Eurocodes mit ε_u und in der ENV 10 080 mit A_{gt} bezeichnet wird, und das Streckgrenzenverhältnis f_t/f_y (Eurocodes) bzw. R_m/R_e (ENV 10 080). Bild 4 zeigt die Einteilung in Duktilitätsklassen, wie sie im EC 2 und EC 8 definiert sind.

Ein Vergleich (Bild 5) zeigt, dass in der Norm SIA 162 keine vergleichbaren Duktilitätskennwerte definiert sind. Zwischen der Bruchdehnung A_5 und der Dehnung unter Höchstlast A_{gt} besteht - wie Untersuchungen gezeigt haben - keine Korrelation. Aus den in der Norm SIA 162 definierten charakteristischen Werten für f_t und f_y kann auch bezüglich dem Verhältnis $(f_t/f_y)_k$ keine Anforderung abgeleitet werden. Zu beachten ist ferner, dass die ENV 10 080 im Gegensatz zur SIA 162 für Matten keine höhere Streckgrenze definiert, es gilt generell: $f_{yk} = 500\ N/mm^2$.

Bild 6 (oberes Drittel) zeigt für kaltverformtes Ringmaterial einige typische Auswertungsergebnisse. Dieses Produkt wäre gemäss ENV 10 080 in die Kategorie A (niedrige Duktilitätskennwerte) einzuordnen. Das Beispiel zeigt, dass ein Produkt, das die Anforderungen der Norm SIA 162 erfüllt, nicht selbstverständlicherweise auch jene der ENV 10 080 erfüllt. Es ist allerdings zu beachten, dass die vorliegende Prüfung im nicht künstlich gealterten Zustand erfolgte. Die künstliche Alte-



EC2
Einteilung der Stahlsorten nach Duktilitätsanforderungen:

hohe Duktilität	$\varepsilon_{uk} > 5\%$
	$(f_t/f_y)_k > 1{,}08$
normale Duktilität	$\varepsilon_{uk} > 2{,}5\%$
	$(f_t/f_y)_k > 1{,}05$

EC8
Einteilung der Stahlsorten nach Duktilitätsanforderungen:

Sorte DC«M»	$\varepsilon_{uk} > 6\%$ *)
	$(f_t/f_y)_m > 1{,}15$ *) und
	$(f_t/f_y)_m < 1{,}35$ **)
	$(f_{y,act}/f_{y,nom}) < 1{,}25$ **)
Sorte DC«H»	$\varepsilon_{uk} > 9\%$ *)
	$(f_t/f_y)_m > 1{,}20$ *)
	und $(f_t/f_y)_m < 1{,}35$ **)
	$(f_{y,act}/f_{y,nom}) < 1{,}20$ **)

*) zur Gewährleistung einer ausreichenden plastischen Gelenk-Rotationsfähigkeit
**) zur Gewährleistung des gewählten Mechanismus beim Kapazitäts-Bemessungsverfahren

4
Einteilung der Betonstähle in Duktilitätsklassen

rung bewirkt in der Regel bei kaltverformtem Material eine Verbesserung der Duktilitätskennwerte. Da nach ENV 10 080 im künstlich gealterten Zustand geprüft werden darf, wäre es möglich, dass das gleiche Material im gealterten Zustand auch die Anforderungen der ENV 10 080 erfüllen würde.

Bild 6 (mittleres Drittel) zeigt typische Prüfergebnisse für vergütetes Ringmaterial. Die Ergebnisse in bezug auf die Duktilitätskennwerte sind hervorragend. Das Material erfüllt nicht nur die Anforderungen der höheren Duktilitätsklasse der ENV 10 080, sondern auch jene der höchsten Duktilitätsklasse des Entwurfs von Eurocode 8.

Bild 6 (unteres Drittel) zeigt das Ergebnis einer Probenauswertung von aus der Walzhitze vergütetem Stabmaterial. Auch in diesem Fall werden die Anforderungen für die höhere Duktilitätsklasse nach ENV 10 080 problemlos erfüllt.

Da die zwei Duktilitätskategorien in der Bemessung nach EC 2 unterschiedlich zu behandeln sind, sollten die Stähle - im Hinblick auf die Ausführungssicherheit - wenn möglich auf den ersten Blick eingestuft werden können. In der ENV 10 080 werden daher für die beiden Kategorien unterschiedliche Rippenanordnungen definiert (Bild 7). In der Praxis dürfte es allerdings noch einige Zeit dauern, bis alle Stahlwerke auf diese neue Rippenanordnung umstellen werden. Dies dürfte erst dann der Fall sein, wenn die verbindliche, harmonisierte EN 10 080 in Kraft treten wird. Das Mandat für die Ausarbeitung dieser Norm wurde kürzlich erteilt.

Das SIA-Register der normkonformen Betonstähle

Das von der Empa geführte Register der mit der Norm SIA 162 konformen Betonstähle [8] enthält heute einen Hinweis bezüglich Einstufung gemäss EC 2. Im Register haben die warmgewalzten und vergüteten Stähle das Kennzeichen «H» für hohe Duktilität (nach ENV 10 080 entspricht dies der Klasse B 500 B); die kaltverformten Stähle haben das Kennzeichen «N» für normale Duktilität (nach ENV 10 080 entspricht dies der Klasse B 500 A).

Da festgestellt wurde, dass nicht alle im Register aufgeführten Produkte die Duktilitätsanforderungen des EC 2 bzw. der ENV 10 080 erfüllen, werden - gemäss einem Beschluss der Kommission SIA 162 - Produkte, für die der Hersteller den diesbezüglichen Nachweis der Normkonformität nicht erbringen kann, künftig ohne das Kennzeichen «H» oder «N» im Register aufgeführt werden. In diesem Zusammenhang wird auf die in dieser SI+A-Ausgabe veröffentlichte Stellungnahme der Begleitkommission SIA 162 verwiesen.

SIA 162			**ENV 10 080**	
Bruchdehnung A_5 vorgeschrieben		$A_{5,k}$	Dehnung unter Höchstlast A_{gt} vorgeschrieben	$A_{gt,k}$
S 500 a naturhart/mikrolegiert S 500 b kaltverformt S 500 c vergütet		14%	B 500B hohe Duktilität Stäbe, Ringe, Matten	5,0%
S 500 d Ringmaterial		12%	B 500A normale Duktilität	
S 550 Matten		8%	Stäbe, Ringe, Matten	2,5%
Streckgrenzenverhältnis $(f_t/f_y)_k$ NICHT vorgeschrieben	f_{tk}	f_{yk}	Streckgrenzenverhältnis $(f_t/f_y)_k$ bzw. $(R_m/R_e)_k$ vorgeschrieben	$(f_t/f_y)_k$
S 500 a naturhart/mikrolegiert	600	500	B 500B hohe Duktilität	
S 500 b kaltverformt	550	500	Stäbe, Ringe, Matten	1,08%
S 500 c vergütet	580	500	$f_{yk}=500\ N/mm^2$	
S 500 d Ringmaterial	550	500	B 500A normale Duktilität	
S 550 Matten	580	550	Stäbe, Ringe, Matten	1,05%
	[N/mm²]		$f_{yk}=500\ N/mm^2$	

5
Vergleich der Duktilitätsanforderungen nach Norm SIA 162 und ENV 10 080

Kaltverformtes Ringmaterial (KR) 50 Proben, d=8, 10, 12 mm				
		Mittelwert	Fraktilwert	Kriterium für Fraktilwert
ENV 10 080	f_t/f_y	1,062	1,033	1,05
	A_{gt}	3,14%	2,01%	2,5%
SIA 162	f_y	570 N/mm²	521 N/mm²	500 N/mm²
	A_5	15,6%	13,3%	12%
Auswertungsergebnis:	ENV 10 080 (B 500A) nicht erfüllt SIA 162 (S 500 d) erfüllt			

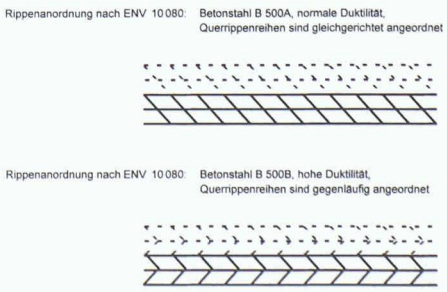
Vergütetes Ringmaterial (TR) 42 Proben, d=10, 12, 14 mm				
		Mittelwert	Fraktilwert	Kriterium für Fraktilwert
ENV 10 080	f_t/f_y	1,337	1,264	1,08
	A_{gt}	11,33%	9,92%	5%
SIA 162	f_y	539 N/mm²	513 N/mm²	500 N/mm²
	A_5	22,05%	19,4%	12%
Auswertungsergebnis:	ENV 10 080 (B 500B) erfüllt SIA 162 (S 500 d) erfüllt			

Vergütetes Stabmaterial (T) 39 Proben, d=12 und 14 mm				
		Mittelwert	Fraktilwert	Kriterium für Fraktilwert
ENV 10 080	f_t/f_y	1,167	1,132	1,08
	A_{gt}	10,62%	9,69%	5%
SIA 162	f_y	542 N/mm²	513 N/mm²	500 N/mm²
	A_5	20,58%	17,6%	14%
Auswertungsergebnis:	ENV 10 080 (B 500B) erfüllt SIA 162 (S 500 c) erfüllt			

6
Betonstahlproben, Auswertungsergebnis

Folgerungen für die Projektierung

Es ist zu beachten, dass bei einer Bemessung nach Eurocode 2 je nach vorgesehener Betonstahl-Duktilitätsklasse unterschiedliche Bemessungsgrenzwerte einzuhalten sind. Aus Bild 8 geht hervor, dass bei linearer Schnittkraftberechnung und



7
Visuelle Unterscheidung der Betonstähle nach Duktilitätsklassen

Schnittgrössenermittlung bei Balken und Rahmen (2.5.3.4)

Lineare Berechnung mit Umlagerung (2.5.3.4.2)
Auf einen Nachweis des Rotationsvermögens kann bei biegebeanspruchten Bauteilen verzichtet werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

(a) $\delta \geq 0{,}44 + 1{,}25\ x/d$ bis C 35/45
$\delta \geq 0{,}56 + 1{,}25\ x/d$ > C 35/45

(b) $\delta \geq 0{,}70$ für hochduktilen Stahl (B 500B)
$\delta \geq 0{,}85$ für normalduktilen Stahl (B 500A)

es bedeuten:
$\delta = (M_{el} - \Delta M)/M_{el}$ Momentumlagerungsverhältnis
x: Druckzonenhöhe
d: statische Höhe

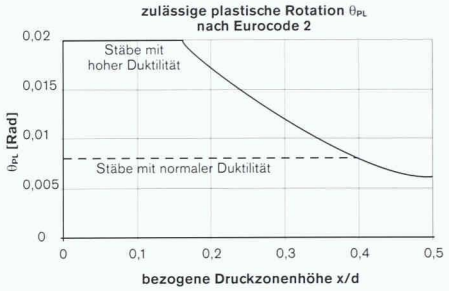
Berechnung nach der Plastizitätstheorie
Es sind die in Bild 9 dargestellten zulässigen plastischen Rotationen einzuhalten.
Obere Grenze:
$\Theta_{max} \leq 0{,}02$ für hochduktilen Stahl (B 500B)
$\Theta_{max} \leq 0{,}008$ für normalduktilen Stahl (B 500A)

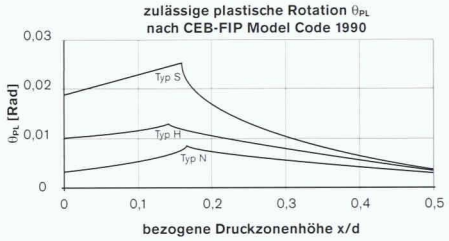
Schnittgrössenermittlung bei Platten (2.5.3.5)

Lineare Berechnung mit Umlagerung (2.5.3.5.4)
gleiche Regelung wie bei Balken (2.5.3.4.2)

Berechnung nach der Plastizitätstheorie (2.5.3.5.5)
Betonstahl B 500B: kein Nachweis des Rotationsvermögens erforderlich
Betonstahl B 500A: soll ohne genaueren Nachweis des Rotationsvermögens nicht verwendet werden

8
Duktilitätsbedingte Einschränkungen nach Eurocode 2





Typ S:	$(f_t/f_y)_k \geq 1{,}15$	$A_{gtk} \geq 6\%$
Typ H:	$(f_t/f_y)_k \geq 1{,}08$	$A_{gtk} \geq 5\%$
Typ N:	$(f_t/f_y)_k \geq 1{,}05$	$A_{gtk} \geq 2{,}5\%$

9
Zulässige plastische Rotation von bewehrten Querschnitten

Verwendung von hochduktilem Stahl B 500 B Schnittkraftumlagerungen bis max. 30% und bei Verwendung von normalduktilem Stahl B 500 A Schnittkraftumlagerungen bis maximal 15% zulässig sind.

Bei Berechnung nach der Plastizitätstheorie ist in einem Verformungsnachweis darzulegen, dass die für den angenommenen Gleichgewichtszustand erforderlichen plastischen Rotationen die zulässigen Werte nach Anhang A nicht überschreiten.

Bild 9 zeigt die zulässige plastische Rotation gemäss Eurocode 2, Anhang A, und CEB-FIP Model Code 1990 [9]. Die im MC 1990 berücksichtigten neueren Untersuchungen lassen vermuten, dass bei der Überarbeitung des Eurocode 2 die zulässigen plastischen Verdrehungen noch weiter eingeschränkt werden.

Forschungsprojekte

Wie dargelegt wurde, sind die Duktilitätseigenschaften eines Stahlbetontragwerks für die Sicherheit - insbesondere bei aussergewöhnlichen Einwirkungen - von grosser Bedeutung. Die Duktilitätseigenschaften des Tragwerks werden entscheidend von den Betonstahleigenschaften beeinflusst. Da am Markt Betonstähle mit sehr unterschiedlichem Verformungsvermögen angeboten werden, ist es nicht erstaunlich, dass an vielen Hochschulen und Forschungsinstituten diese Problematik erforscht wird.

Zurzeit wird am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich ein Forschungsprojekt zum Thema «Verformungsvermögen von Massivbautragwerken» durchgeführt [10], [11]. In diesem Zusammenhang durchgeführte Versuche an Dehnkörpern zeigen eindrücklich den grossen Einfluss der Duktilitätskennwerte des Betonstahls auf die Verformbarkeit (Bild 10). Die maximalen Verlängerungen der Dehnkörper mit Stahl hoher Duktilität (Versuche Z 3 und Z 8) betrugen rund das Zehnfache der Verlängerung der Dehnkörper mit Stahl niedriger Duktilität (Versuche Z 4 und Z 5). Diese grossen Unterschiede lassen sich durch geeignete Rechenmodelle erklären [10].

Versuch	**Z3**	**Z4**	**Z5**	**Z8**
Elementlänge	3000 mm	3000 mm	3000 mm	3000 mm
Bewehrungsgehalt	0,98%	0,98%	0,98%	0,70%
Duktilitätsklasse der Längsbewehrung	hoch	normal	normal	hoch
f_t/f_y	1,26	1,05	1,06	1,26
A_{gt}	12,5%	3,2%	2,6%	12,5%
Betonfestigkeit f_{cwm} [MPa]	57	56	57	59
Resultate:				
Maximale Verlängerung ΔL unter Höchstlast	99 mm	10,4 mm	9,8 mm	114 mm
Maximale mittlere Dehnung unter Höchstlast ε_{mittel}	5,50%	0,58%	0,54%	6,33%

10
Verformungsvermögen von Dehnkörpern im Versuch [11]

Schlussfolgerungen

Die Neuerungen, die der Eurocode 2 und die Europäische Vornorm ENV 10 080 in bezug auf den Betonstahl enthalten, stellen für den Ingenieur keine unüberwindlichen Hindernisse dar. Die wichtigste Neuerung bedeutet für ihn sicher die Existenz von zwei Betonstahl-Duktilitätskategorien. Bei Einbezug von Eurocode 8 könnte es sogar zu drei oder vier Duktilitätskategorien kommen. Aus praktischer Sicht wäre eine Beschränkung auf zwei Duktilitätskategorien sicher zu begrüssen; darin werden sich vermutlich die Projektierenden und der Stahlhandel einig sein. Die höhere Kategorie müsste in diesem Fall allerdings etwa dem Typ «S» nach CEB-FIP Model Code 1990 entsprechen. Mit der Technologie der aus der Walzhitze vergüteten Stähle ist dies heute möglich und entspricht dem Stand der Technik.

Literatur

[1]
ENV 1992, Eurocode 2, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, erhältlich als Norm SIA V162.001

[2]
Norm SIA 162 (Teilrevision 1993): Betonbauten

[3]
Dura-Firmendokumentation der F.J. Aschwanden AG, 3250 Lyss

[4]
ENV 1998, Eurocode 8, Massnahmen und Bemessungsregeln zur Ermittlung der Erdbebenbeanspruchbarkeit von Tragwerken

[5]
ENV 10 080: Betonbewehrungsstahl - Schweissgeeigneter gerippter Betonstahl B 500. Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Ringe und geschweisste Matten, erhältlich als Norm SIA V 162.020

[6]
Balzli S.: Normforderungen und ihre Auswirkungen auf den Betonstahlhersteller. Beitrag in der Dokumentation zum Betonstahltag 1995, von Moos Stahl AG, Luzern 1995

[7]
Oelhafen U.: Bedeutung des Betonstahls aus der Sicht des Ingenieurs. Beitrag in der Dokumentation zum Betonstahltag 1995, von Moos Stahl AG, Luzern 1995

[8]
Register der normkonformen Betonstähle und Bewehrungsnetze nach Norm SIA 162. Das Register wird von der Empa geführt und kann beim SIA bezogen werden

[9]
CEB-FIP Model Code 1990. Comité Euro-International du Béton. Bulletin d'Information No. 195 et 196, Lausanne 1990

[10]
Sigrist V.: Zum Verformungsvermögen von Stahlbetonträgern. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, IBK-Bericht Nr. 210. Birkhäuser Verlag, Basel 1995

[11]
Alvarez M., Marti P.: Versuche zum Verbundverhalten von Bewehrungsstahl bei plastischen Verformungen. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, IBK-Bericht Nr. 222. Birkhäuser Verlag, Basel 1996

Die Forschung zum Thema «Verformungsvermögen von Stahlbetontragwerken» ist noch keineswegs abgeschlossen. Die an der ETHZ laufenden Forschungsprojekte sind daher zu begrüssen und verdienen die Unterstützung durch die interessierten Kreise. Die Praxis wird im Zusammenhang mit einer neuen Normengeneration auf einfache und zuverlässige Verfahren für Verformungsnachweise angewiesen sein.

Adresse des Verfassers:
Urs Oelhafen, Dr.sc.techn., dipl. Bauing. ETH, Professor an der Ingenieurschule ITR, Vorsitzender der Arbeitsgruppe SIA 162-5 «Betonstahl», Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil

Stellungnahme der Begleitkommission SIA 162

Stellungnahme zur Einteilung der Betonstähle in Duktilitätsklassen gemäss den Europäischen Vornormen Eurocode 2 (SIA V 162.001) und ENV 10 080 (SIA V 162.020)

Duktilitätskennwerte von Betonstahl

Das Verformungsvermögen (Duktilität) von Betonstahl wird in der Europäischen Vornorm ENV 10 080 (Betonbewehrungsstahl - Schweissgeeigneter gerippter Betonstahl B 500, Technische Lieferbedingungen für Stäbe, Ringe und geschweisste Matten) durch die Kennwerte A_{gt} und R_m/R_e charakterisiert. A_{gt} ist die Dehnung unter Höchstlast und entspricht dem Kennwert ε_u im Eurocode 2. R_m/R_e ist das Verhältnis der Zugfestigkeit zur Streckgrenze; dieses ist im Eurocode 2 mit f_t/f_y bezeichnet.

Einfluss auf das Verformungsvermögen der Betontragwerke

Die Duktilitätskennwerte des Betonstahls sind für das Verformungsvermögen der Stahlbetontragwerke entscheidend. Besonders bei aussergewöhnlichen Einwirkungen (Erdbeben, Anprall usw.) und bei grossem Gefährdungspotential kommt dem Verformungsvermögen der Bauteile grosse Bedeutung zu.

Duktilitätsklassen von Betonstählen

Am Markt werden Betonstähle von normaler und hoher Duktilität angeboten. Nach ENV 10 080 werden folgende zwei Duktilitätsklassen definiert:

Als charakteristischer Wert gilt die 10%-Fraktile bei 90% Eintretenswahrscheinlichkeit.

Im Eurocode 2, 3.2.4.2(2), wird B 500A als Betonstahl mit normaler Duktilität, B 500B als Betonstahl mit hoher Duktilität charakterisiert.

SIA-Register der normkonformen Betonstähle

Das periodisch veröffentlichte Register normkonformer Betonstähle nach Norm SIA 162 enthält für Betonstähle der Sorte S 500 seit 1995 eine Spalte zur Unterscheidung der Duktilitätsklassen. Betonstähle mit normaler Duktilität (B 500A) werden im Register mit N bezeichnet, zu dieser Klasse gehören gerichtete Stäbe und bearbeitete Formen aus kaltgewalztem Ringmaterial bis 14 mm Stabdurchmesser. Die übrigen Produkte umfassen warmgewalztes und aus der Walzhitze vergütetes Stab- und Ringmaterial mit hoher Duktililät (B 500B); im Register sind diese Produkte mit H gekennzeichnet.

Da festgestellt wurde, dass nicht alle im Register aufgeführten Produkte die Duktilitätsanforderungen der ENV 10 080 erfüllen, werden künftig Produkte, für die der Hersteller den diesbezüglichen Nachweis der Normkonformität nicht erbringen kann, ohne das Kennzeichen «N» oder «H» im Register aufgeführt werden.

Für Netze wird nach der Norm SIA 162 die Stahlsorte S 550 verlangt. Dazu wird ein entsprechendes Register geführt. Netze aus Betonstahl der Sorte B 500, nach den Anforderungen der ENV 10 080, werden zurzeit am Markt nicht angeboten.

Um den Herstellern genügend Zeit für den Nachweis der Duktilitätskennwerte einzuräumen, wird die Publikation des neuen Registers auf den 1. Januar 1998 angesetzt.

Folgerungen für die Praxis

Für Bauteile, bei denen das Verformungsvermögen von grosser Bedeutung ist, sollte in der Submission Betonstahl der Klasse H gemäss Eurocode 2 vorgeschrieben werden. Bei Verwendung von Betonstahl der Klasse N ist bei Annahme von Schnittkraftumlagerungen und Auftreten von Zwangsverformungen Vorsicht geboten. Gegebenenfalls ist ein Verformungsnachweis durchzuführen.

Bei der Beurteilung bestehender Bauten ist die Identifikation der eingesetzten Betonstähle in der Regel anhand der Bauwerksakten bzw. anhand von Sondierungen möglich. Proben zur Ermittlung der mechanischen Kennwerte sollten nur in Ausnahmefällen entnommen werden. Rechnerische Untersuchungen zum Nachweis einer ausreichenden Verformungsfähigkeit sollten ausser dem Spannungs-Dehnungs-Verhalten auch das Verbundverhalten der Betonstähle berücksichtigen und die Bedeutung und das Verhalten des Gesamttragwerks in die Betrachtung einbeziehen.

Bezeichnung nach ENV 10 080	Bezeichnung nach Eurocode 2	Kennzeichnung im SIA-Register	Dehnung unter Höchstlast $A_{gt,k}$ (charakteristischer Wert)	Verhältnis Zugfestigkeit/ Streckgrenze $(R_m/R_e)_k$ (charakteristischer Wert)
B 500A	Klasse N	N	2,5%	1,05
B 500B	Klasse H	H	5,0%	1,08