

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 118 (2000)
Heft: 35

Artikel: Sicherheit durch Duktilität
Autor: Opatz, Hans-Joachim
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79961>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

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

Hans-Joachim Opatz, Gerlafingen

Sicherheit durch Duktilität

Im Zusammenhang mit den neuen Bemessungsvorgaben für Stahlbetontragwerke (Eurocodes 2 und 8) kommt der Duktilität der verwendeten Betonstähle eine entscheidende Bedeutung zu. An der ETH wurde dazu eine Vielzahl von Versuchen durchgeführt. Hochaktuell wurde die Problematik durch die verheerenden Erdbeben in der Türkei und in Taiwan im letzten Jahr und deren Übertragung auf die Gegebenheiten in der Schweiz. Ziel dieses Beitrags ist es aufzuzeigen, wo die in der Schweiz erhältlichen Betonstähle einzuordnen sind und welche Anstrengungen von den Herstellern in Richtung verbesserte Duktilität unternommen werden.

Während die bis anhin verwendeten Bemessungsnormen einzig auf dem linear-elastischen Verfahren basieren, sind künftig auch nicht-lineare Bemessungsmethoden bzw. Verfahren der Plastizitätstheorie anwendbar. Damit wird die Duktilität (Verformungsvermögen des Betonstahls ohne dessen Schädigung bzw. Rissbildung) zur entscheidenden Bemessungsgrösse. Dies ist auch interessant im Hinblick auf die eingangs erwähnten Aspekte.

Das plastische Verformungsvermögen bildet die wesentliche Grundlage für ein sicheres Konstruieren. Bei korrekt festgelegter Armierung wird das Versagen im Stahlbeton angekündigt durch breite Risse und hohe Durchbiegungen der Konstruktion. Bei schlagartigen Belastungen sollte möglichst viel Energie durch das plastische Verformungsvermögen der Armierung aufgefangen werden. Die massgebenden Kenngrössen dazu sind das Verhältnis Zugfestigkeit zu Streckgrenze R_m/R_c (f_t/f_y) und die Dehnung bei Höchstlast A_{gt} (ϵ_u). Beide Grössen werden im Zugversuch ermittelt (Bild 1).

Auch die derzeit gültige Norm für Betonbauten, die Norm SIA 162, enthält Duktilitätsanforderungen, jedoch gehen diese nicht in die Bemessung ein. Bild 2 zeigt die entsprechenden Anforderungen aus den gegenwärtig vorliegenden Normenentwürfen. Im Register der normkonformen Betonstähle nach Norm SIA 162 werden seit einiger Zeit die am Schweizer Markt zugelassenen Betonstähle nach Eurocode 2 klassiert.

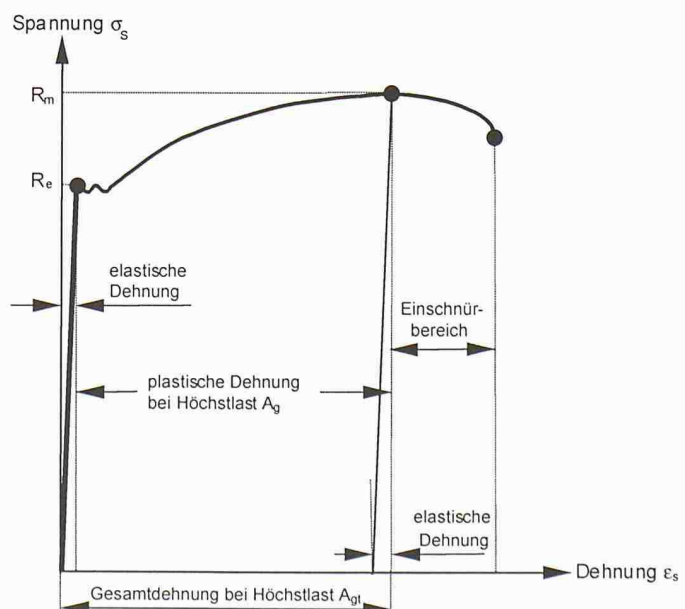
Herstellung und Eigenschaften heutiger Betonstähle

Betonstabstahl

Bei der Herstellung von Betonstahl in Stäben hat sich in den Achtzigerjahren das Vergüten aus der Walzhitze durchgesetzt (Thermex- oder Tempcore-Verfahren). Unmittelbar nach dem Walzen befindet sich der Werkstoff bereits auf der für die Wärmebehandlung erforderlichen Austenitisierungstemperatur. Nach dem letzten Walzstich tritt der glühende Stab in eine Kühlstrecke ein, deren Kühlwirkung so dosiert ist, dass sich die Randschicht des durchlaufenden Stabes zu Martensit umwandelt (härten). Nach der Kühlstrecke hat der Kern gerade noch so viel Wärme, dass die abgeschreckte Randschicht damit wieder angelassen wird (härten + anlassen = vergüten). Die Eigenschaften können durch die Stahlzusammensetzung (Legierung) und die Kühlintensität beeinflusst werden. Bei einer Nennstreckgrenze von 500 N/mm^2 werden Werte für R_m/R_c von 1,12 bis 1,26 und für A_{gt} von 7 bis 12% erreicht. Bei den in diesem Beitrag angegebenen Duktilitätswerten handelt es sich um typische Werte für die jeweilige Fertigungslinie, jedoch nicht um charakteristische oder Rechenwerte. Für eine Nennstreckgrenze von 450 N/mm^2 werden noch bessere Duktilitätswerte erreicht.

Betonstabstahl hat zwei Rippenreihen, wobei diese gegenläufig angeordnet sind (Fischgrätenanordnung als Kennzei-

1
Typisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm



2 Duktilitätskennwerte in Europäischen Normen

| Norm | Duktilitätsklasse | R_e | R_m/R_e | A_{gt} |
|------------|-------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------|
| | | f_{yk} [N/mm ²] | $(f_t/f_y)_k$ [-] | ϵ_{uk} [%] |
| Eurocode 2 | N | - | 1,05 | 2,5 |
| | H | - | 1,08 | 5 |
| Eurocode 8 | M | - | 1,15-1,35* | 6 |
| | H | - | 1,20-1,35* | 9 |
| prEN 10080 | A (B 500 A) | 500 | 1,05 | 2,5 |
| | B (B 500 B) | 500 | 1,08 | 5 C |
| (B 450 C) | 450 | 1,15-1,35 | 7,5 | |

*Mittelwerte

3 Angewendete Herstellverfahren für warmgewalzten Betonstahl in Ringen (WR)

| Hersteller | Produkt | Durchmesser | Verfahren |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------|
| Stahl Gerlafingen | topar-Rs und -Rc | 6 + 16 | M |
| | topar-Rs und -Rc | 8 - 14 | V |
| | topar-Rc | 8 - 14 | R |
| Ferriere Nord | Pittini RS 500 | 8 - 14 | V |
| Badische Stahlwerke | BIRI-S | 6 - 10 | R |
| | BSW-Super-Ring | 6 - 14 | R |
| SAM Montereau | Nersam 500 S | 8 - 14 | V |
| SAM Neuves Maisons | Nersam 500 S | 8 - 16 | V |
| | Super Nersam 500 S | 8 - 16 | R |
| Alfa Acciai | ALFIL 500 SR | 6 - 14 | R |

chen für Duktilitätsklasse B 500 B). Eine der beiden Rippenreihen kann alternierende Rippenneigungen aufweisen.

Betonstahl in Ringen

Die Herstellung von Betonstahl in Ringen nimmt wegen der wirtschaftlichen Verarbeitung auf Richt- und Biegeautomaten immer mehr an Bedeutung zu, wobei der Trend eindeutig zu den duktileren, warmgewalzten Qualitäten geht. Betonstahl in Ringen wird in verschiedenen Qualitäten und nach unterschiedlichen Verfahren hergestellt.

Kaltgerippter Betonstahl in Ringen (KR)

Ausgangsmaterial ist glatter Walzdraht, dessen Querschnitt in mehreren Schritten durch Kaltwalzen reduziert wird. Im letzten Stich werden die Rippen kalt aufgewalzt. Die Querschnittsabnahme als Mass für die Kaltverfestigung liegt zwischen 12 und 25%. Bei einer Nennstreckgrenze von 500 N/mm² werden folgende Duktilitätswerte erreicht: R_m/R_e 1,05 bis 1,09 und A_{gt} 3 bis 7%. Die Erreichung der in den Normen geforderten charakteristischen Werte (90% der Prüfwerte liegen mit 90%iger Wahrscheinlichkeit darüber) wird schon für die niedrigste Duktilitätsklasse zum Problem, zumal die Eigenschaften durch das Richten noch verändert werden. Obwohl der kaltgerippte Betonstahl in Ringen bei den Verarbeitern wegen seiner Masskonstanz und seiner gutmütigen Verarbeitbarkeit sehr beliebt ist, wird er künf-

tig an Bedeutung verlieren, weil der EC 2 für diese Duktilitätsklasse bestimmte Anwendungsbeschränkungen enthält.

KR-Material erkennt man an den drei Rippenreihen, die als Zeichen für die Duktilitätsklasse B 500 A künftig gleichgerichtet (schraubenförmig) angeordnet werden sollen.

Warmgewalzter Betonstahl in Ringen (WR)

WR-Material hat zwei oder vier Rippenreihen, die zur Kennzeichnung der Duktilitätsklasse B 500 B wie beim Betonstahl in Stäben gegenläufig angeordnet sind (Fischgrätenanordnung). Als Herstellverfahren werden das Vergüten aus der Walzhitze (V), das Mikrolegieren (M) und das Recken (R) angewandt. Bild 3 zeigt dazu die im Register der normkonformen Betonstähle aufgeführten Hersteller mit ihren Produkten und Herstellverfahren.

Vergüten aus der Walzhitze (V):

Hier kommt das gleiche Verfahren wie bei der Herstellung von Betonstahl zur Anwendung. Wegen der höheren Walzgeschwindigkeiten ist die Kühltechnik jedoch anspruchsvoller und die Kühlstrecke länger, weswegen sich nur wenige Hersteller dieses Verfahrens bedienen. Die Eigenschaften werden durch das unterschiedlich starke Richten auf Rotor- bzw. Rollenrichtmaschinen und den anschließenden Alterungsprozess stark verändert (Bauschinger-Effekt). Sie müssen durch entsprechend abgestimmte Vorhaltewerte

so eingestellt werden, dass die Normforderungen am Endprodukt (gerichtetes Ringmaterial) eingehalten werden. Bei einer Nennstreckgrenze von 500 N/mm² werden folgende Duktilitätswerte erreicht: R_m/R_e 1,08 bis 1,20 und A_{gt} 8 bis 12%.

Mikrolegieren (M):

Beim Mikrolegieren (Legierungsgehalte bis 0,12%) wird die Festigkeitssteigerung durch Feinkornbildung und Ausscheidungshärtung (Carbonitride) erreicht. Als Legierungselement hat sich Vanadium gegenüber Niob und Titan durchgesetzt. Der Anteil der klassischen Festigkeitsbildner Kohlenstoff und Mangan kann auf diese Art so niedrig gehalten werden, dass die Schweisseignung gewährleistet ist. Das Mikrolegieren ist relativ teuer und wird deshalb nur selten eingesetzt. Die Veränderung der Eigenschaften durch das maschinelle Richten ist weniger stark. Die Duktilitätswerte für eine Nennstreckgrenze von 500 N/mm² liegen bei 1,18 bis 1,32 für R_m/R_e und für A_{gt} zwischen 10 und 14%.

Recken (R):

Das verbreitetste Verfahren für die Herstellung von Betonstahl in Ringen ist das Recken. Ausgangsmaterial hierfür ist ein gerippter Draht, der beim kontinuierlichen Umspulen über Ziehbloc und Rückhalteapparat eine im Vergleich zum Kaltrippen geringe Kaltverformung erfährt (3 bis 6% Querschnittsabnahme bzw. Reckgrad). Die mechanischen Werte sind durch die Stahlzusammensetzung und den

| | R_m/R_e | A_{gt} | Duktilitätsklasse | |
|------|-----------|----------------------|-------------------|-------------|
| | | | EC 2 | prEN 10 080 |
| S550 | 1,03-1,07 | 2 bis 6% | - | - |
| S500 | 1,05-1,09 | 3 bis 7% (analog KR) | N | B500A |

Reckgrad steuerbar. Ähnlich wie beim vergüteten Ring werden die Eigenschaften durch das maschinelle Richten beim Verarbeiter noch stark verändert. Am gerichteten Stab werden für eine Nennstreckgrenze von 500 N/mm^2 folgende Duktilitätswerte erreicht: R_m/R_e 1,10 bis 1,22 und A_{gt} 5 bis 9%.

Matten

Geschweisste Betonstahlmatten wurden in der Schweiz bis 1999 ausschliesslich mit einer Nennstreckgrenze von 550 N/mm^2 angeboten (Norm SIA 162: S550, kaltverformt, zu Netzen¹ verschweisst). Um den Bemühungen nach verbesserter Duktilität Rechnung tragen zu können, wurde die Möglichkeit geschaffen, die Bewehrungsmatten auch in der Stahlsorte S 500 (Nennstreckgrenze 500 N/mm^2) mit nachgewiesener Duktilität gemäss EC 2 zu verwenden, wovon die Schweizer Produzenten bereits Gebrauch machen.

Matten aus kaltgeripptem Betonstahl

Die Herstellung des Mattendrahts geschieht nach der gleichen Verfahrensweise wie für den kaltgerippten Betonstahl in Ringen (KR). Die Drähte werden danach entweder gerichtet und auf Einsatzlänge geschnitten oder direkt ab Spule gerichtet und anschliessend auf speziellen Mattenschweissmaschinen zu ebenen Matten verschweisst (Widerstandspunktschweissen). Dabei werden die in Bild 4 dargestellten Duktilitätswerte erreicht.

Warme Matten (WM, Matten aus warmgewalztem Betonstahl)

Bei der warmen Matte wird als Ausgangsmaterial der warmgewalzte Betonstahl in Ringen (WR) verwendet. Je nach Vormaterial werden die oben genannten Duktilitätswerte erreicht. Warme Matten dieser Qualität wurden bereits erfolgreich aus einheimischer Produktion lanciert.

Eigenschaften früherer Betonstähle

Gelegentlich wird argumentiert, dass die früher verwendeten Betonstähle bessere Duktilitätseigenschaften aufgewiesen hätten. Von Mitte der Fünfziger- bis Anfang der Achtzigerjahre wurde Betonstabstahl mit einer garantierten Streckgrenze zwischen 450 und 500 N/mm^2 hergestellt, so

dass Vergleiche nur für diesen Zeitraum sinnvoll sind. Dabei muss zwischen naturharten (NH) und kaltverwundenen (K) Betonstählen unterschieden werden.

Bei den naturharten Stählen (Box, Box-Ultra, Baro) wurde die festigkeitssteigernde Wirkung der Legierungselemente Kohlenstoff und Mangan ausgenutzt. Die Duktilitätseigenschaften dieser Stähle waren in der Tat ausgezeichnet (R_m/R_e zwischen 1,25 und 1,55; die Werte für A_{gt} dürften zwischen 10 und 14% gelegen haben), jedoch waren diese Stähle nicht schweissteil geeignet.

Die kaltverwundenen Produkte (Caron, Roll-S, Torstahl 50) wurden durch Tordieren langer Stäbe hergestellt. Die erreichten Duktilitätswerte waren tiefer als bei den heutigen Betonstabstählen (R_m/R_e zwischen 1,08 und 1,16; A_{gt} zwischen 6 und 10%).

Zusammenfassung

Die heute auf dem Markt angebotenen Betonstähle beweisen, dass die Hersteller die Zeichen der Zeit durchaus erkannt haben und Betonstahlprodukte in der von den Normen geforderten Duktilität wirtschaftlich herstellen und anbieten können. Sie leisten damit ihren Beitrag für eine grössere Sicherheit unserer Stahlbetonbauten.

Adresse des Verfassers:

Hans-Joachim Opatz, Dipl.-Ing. (TU), Stahl Gerlafingen AG, 4563 Gerlafingen

4

Duktilitätswerte für Matten aus kaltgeripptem Betonstahl

Literatur

- [1] ENV 1992, Eurocode 2: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken. Entspricht Norm SIA V 162.001
- [2] ENV 1998-1-1 bis 3, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Entspricht Norm SIA V 160.811 bis 813
- [3] prEN 10 080 Teil 1 bis 6: Betonbewehrungsstahl - Schweissgeeigneter Betonstahl. Entwurf Juli 1999
- [4] SN (Schweizer Norm) Norm SIA 162: Betonbauten. 1989
- [5] Oelbafen U.: Betonstahl und Duktilität. Schweizer Ingenieur und Architekt, H. 29, S. 581-585, 1997
- [6] Bachmann H.: Tragwiderstand und Duktilität bei Stoss- und Erdbebeneinwirkung. Beton- und Stahlbetonbau 8/9, 1997
- [7] Bachmann H., Wenk T.: Ungenügende Duktilität beim Bewehrungsstahl. Schweizer Ingenieur und Architekt H. 29, S. 544-551, 1998
- [8] Schwarzkopf M.: Hochduktiler Betonstahl kommt! Betonfertigteile Betonwerkstein 4, 1998
- [9] Bachmann H.: Duktiler Bewehrungsstahl - unentbehrlich für Stahlbetontragwerke. Beton- und Stahlbetonbau 4, S. 206-218, 2000
- [10] Russwurm D.: Betonstähle für den Stahlbetonbau: Eigenschaften und Verwendung. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1993

Anmerkung

¹ frühere Bezeichnung für Matten