

# Wie sicher ist die Schubbemessung nach Richtlinie 34

Autor(en): **Herzog, Max**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **99 (1981)**

Heft 43

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74575>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Wie sicher ist die Schubbemessung nach Richtlinie 34

Von Max Herzog, Aarau

## Sachverhalt

Trägt man für die in [1] als einwandfrei bezeichneten 145 Schubversuche mit verbügelten Stahlbetonbalken aus 11 verschiedenen Versuchsanstalten den relativen Schubbewehrungsgehalt  $\mu_s \sigma_f / \beta_c$  als Abszisse und die relative Schubbruchspannung  $\tau_u / \beta_c$  als Ordinate in einem Diagramm auf, so erhält man ein stetig verlaufendes Band der

Versuchsergebnisse (Bild 1). Die 50%-Fraktile (= Mittelwert) derselben kann mit der einfachen Gleichung [2]

$$\tau_u / \beta_c = \frac{\mu_s \sigma_f / \beta_c}{1 + 14 \mu_s \sigma_f / \beta_c}$$

und die nach modernen Sicherheitsanschauungen für die Bemessung massgebende 5%-Fraktile (d.h. nur 5% der Versuchsergebnisse liegen unter der rech-

nerischen Prognose) mit der ebenso einfachen Gleichung [2]

$$(2) \tau_u / \beta_c = \frac{\mu_s \sigma_f / \beta_c}{2 + 14 \mu_s \sigma_f / \beta_c}$$

wirklichkeitsnah beschrieben werden (Bild 1). Trägt man die nach Richtlinie 34 zur rechnerischen Schubbruchspannung  $\tau^*$  erforderliche Stegbewehrung  $\mu_s$  (bezogen auf die Fließgrenze der Bügel  $\sigma_f$  und auf die Zylinderdruckfestigkeit des Betons  $\beta_c \approx 5/6$

$\beta_w$ ) beispielsweise für den im Brückenbau vielverwendeten Spezialbeton BS 40 im gleichen Diagramm (Bild 1) auf, so erkennt man sofort die vom stetigen Verlauf der gemessenen Schubtragfähigkeiten abweichenden Charakteristik der Richtlinie 34. Im Extremfall  $\mu_s \sigma_f / \beta_c = 0,130$  beträgt die wirkliche Schubbruchsicherheit nur  $s = 1,42$  statt der rechnerischen von  $s = 1,8$ . Für  $\sigma_f = 460 \text{ MN/m}^2$  und

$$\beta_c = \frac{5}{6} \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 40 \right) = 22,2 \text{ MN/m}^2$$

entspricht dieser Extremfall einem Schubbewehrungsgehalt von  $\mu_s = 0,63\%$ , wie er im Brückenbau häufig vorkommt.

Eine allfällige Längsvorspannung kann mit dem einfachen Multiplikator [3] ( $\sigma_v$  = zentrische Vorspannung)

$$(3) M = \frac{\tau_{uv}}{\tau_u} = \sqrt{1 + 10 \frac{\sigma_v}{\beta_c}}$$

ausreichend genau erfasst werden, wenn die Spanngliedneigung  $\alpha_z$  mit der konventionellen Annahme

$$(4) Q_{uv} = Q_u - V \cdot \sin \alpha_z$$

berücksichtigt wird. Für Bemessungszwecke ist stets der Minimalwert der Vorspannung  $V_\infty$  einzusetzen. Tragen wir die bekannten Zürcher Schubversuche mit teilweise vorgespannten Betonbalken aus den Jahren 1970-74 in einem zu Bild 1 analogen Diagramm (Bild 2) auf, so erkennen wir, dass die Gleichungen (1) und (2) nicht nur für Stahlbetonbalken, sondern unter Beachtung der Gleichungen (3) und (4) auch für Spannbetonbalken gelten. Andererseits wird aus dem Vergleich mit der nach Richtlinie 34 erforderlichen Stegbewehrung deutlich, dass sich diese Bemessungsempfehlung zur SIA-Norm 162 vermutlich in erster Linie auf die Zürcher Versuche abstützt, welche die Unnatürlichkeit des Knickes der Schubtragfähigkeitskurve bei  $\tau^* = 6\tau_r$  nicht erkennen lassen, weil sie nicht weit genug in den Bereich der hohen

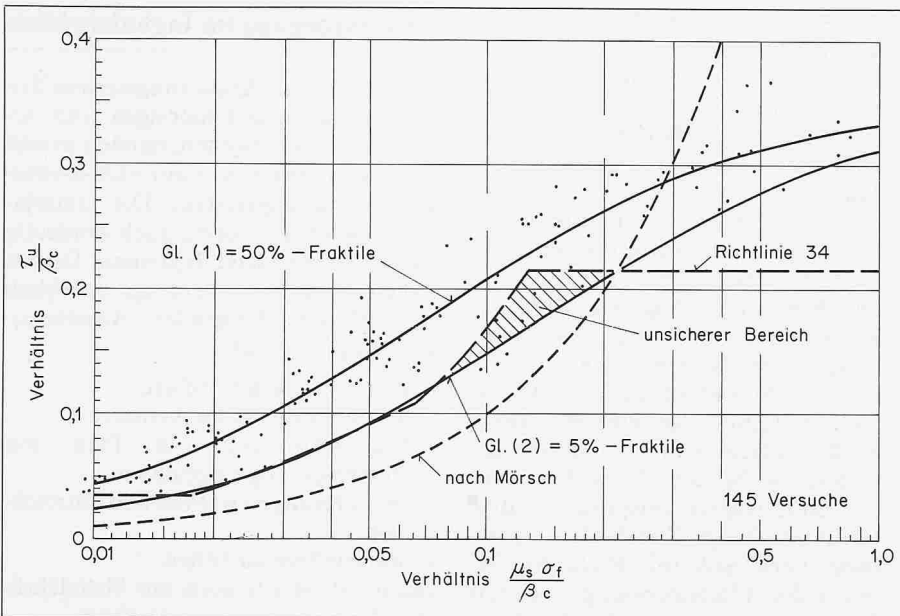
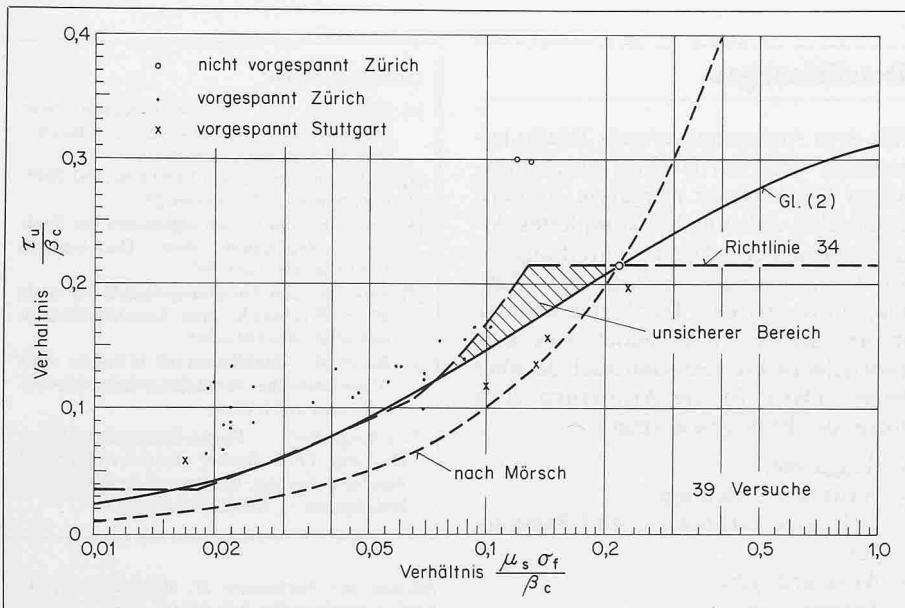


Bild 1. Die Schubtragfähigkeit von 145 bügelbewehrten Stahlbetonbalken in Abhängigkeit vom Schubbewehrungsgehalt im Vergleich mit der Richtlinie 34 zur SIA-Norm 162

Bild 2. Die Schubtragfähigkeit von 39 bügelbewehrten Spannbetonbalken in Abhängigkeit vom Schubbewehrungsgehalt im Vergleich mit der Richtlinie 34 zur SIA-Norm 162



Stegbewehrungen reichen. Allerdings haben die im Zeitpunkt der Ausarbeitung der Richtlinie 34 bereits veröffentlichten Ergebnisse der Stuttgarter Schubversuche mit Spannbetonträgern [4] genügend Hinweise auf den wahren Sachverhalt enthalten.

## Bemessungsbeispiel

Der Fall der doppelspurigen Eisenbahnbrücke über die Aare in Ruppoldingen [5] zeigt, dass man auch in der Praxis in den kritischen Bereich der Schubbemessung nach der Richtlinie 34 geraten kann. Für den höchstbeanspruchten Kastenquerschnitt südlich des rechten Flusspfeilers lautet die Bemessung der Stegbewehrung nach Richtlinie 34

$$Q_{g+p} = -20,38 \text{ MN}$$

$$Q_z = 0,07 \text{ MN} \quad Q_v = 0$$

$$\frac{M}{h} \cdot \tan \alpha_D = \frac{284,6}{4,65} \cdot 0,048 = 3,00 \text{ MN}$$

$$Q^* = 1,8(-20,38 + 3,00) + 0,07 = -31,27 + 0,07 = -31,2 \text{ MN}$$

$$\tau^* = \frac{31,2}{1,40 \cdot 4,65} = 4,79 \text{ MN/m}^2 > 3 \tau_r$$

$$\sigma_f = 460 \text{ MN/m}^2 = 46 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_s = \frac{31\,200 \cdot 0,6}{46 \cdot 4,65} = 88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mit dieser Schubbewehrung in Form vertikaler Bügel ergibt sich die Schubbruchsicherheit gegenüber der massgebenden 5%-Fraktile der Versuchsergebnisse zu

$$\mu_s = \frac{88}{140 \cdot 100} = 0,629\%$$

$$\beta_c = \frac{5}{6} \beta_{wr} = \frac{5}{6} \left( \frac{2}{3} \cdot 47,5 \right) = 26,4 \text{ MN/m}^2$$

$$\mu_s \sigma_f / \beta_c = \frac{0,629}{100} \cdot \frac{460}{26,4} = 0,110$$

$$\tau_u / \beta_c = \frac{5 \cdot 0,110}{2 + 14 \cdot 0,110} = 0,155$$

$$< \tau^* / \beta_c = 4,79 / 26,4 = 0,181$$

$$s = 1,8 \cdot \frac{0,155}{0,181} = 1,54 < 1,8$$

In Wirklichkeit sind als Stegbewehrung vertikale Bügel  $4 \varnothing 18$ ,  $a = 10 \text{ cm}$  plus  $2 \varnothing 20$ ,  $a = 20 \text{ cm}$  eingebaut worden, so dass  $F_s = 133 \text{ cm}^2/\text{m}$  beträgt und die wirkliche Schubbruchsicherheit mit  $s = 1,91$  den verlangten Wert um rund 6% übersteigt.

## Folgerungen

*Erstens* liegt die Schubbemessung von Stahlbeton- und Spannbetonbalken nach der Richtlinie 34 zur SIA-Norm 162 für mittlere Schubbeanspruchungen auf der unsicheren Seite, d. h. die wahre Schubbruchsicherheit ist kleiner als die rechnerisch ausgewiesene. *Zweitens* ist es nicht nötig, bei der Bemessung der Stegbewehrung mehrere Schubbeanspruchungsbereiche zu unterscheiden. Vielmehr kann im Gegensatz zur Richtlinie 34 der ganze Bereich von den kleinsten bis zu den grössten Schubspannungen mit einer einzigen, ganz einfachen Formel wirklichkeitsnah erfasst werden. *Drittens* lässt sich eine Schubbewehrungsgrenze angeben, unterhalb welcher die Schubtragfähigkeit von der Zugfestigkeit der Bügel und oberhalb welcher sie von der Druckfestigkeit des Stegbetons abhängt. Diese Grenze wird durch den Kreuzungspunkt der 5%-Fraktile der experimentell bestimmten Schubtragfähigkeitskurve mit derjenigen nach der klassischen Fachwerkanalogie von *Mörsch* (Druckstrebenneigung 1:1) definiert

$$(5) \tau_u / \beta_c = \mu_s \sigma_f / \beta_c = 0,215$$

Auch oberhalb dieser Schubbewehrungsgrenze kann die Schubtragfähigkeit durch eine Verstärkung der Bügel, die als Querbewehrung der Betondruckstreben wirken, noch gesteigert werden.

Es ist aber wirtschaftlicher, an Stelle der Bügel die Stegdicke derart zu vergrössern, dass die Schubbeanspruchung unter der Schubbewehrungsgrenze bleibt. *Viertens* liefert das Verhältnis der vorhandenen Schubbewehrung zur Schubbruchspannung

$$(6) \mu_s \sigma_f / \tau_u = \tan \alpha_{St}$$

die Druckstrebenneigung beim Bruch. Mit ihrer Kenntnis kann dann wieder die Längsbewehrung

$$(7) \sigma_f F_e = Q_u / \tan \alpha_{St}$$

berechnet werden, die über dem Lager des betrachteten Stahlbeton- oder Spannbetonbalkens vorhanden sein muss, damit er nicht vorzeitig durch ungenügende Verankerung der Lagerdruckstrebe versagt. *Fünftens* ist mit der neuen Bemessungsformel die Schubsicherung von Stahlbeton- und Spannbetonbalken zum ersten Mal auf ebenso einfache Art und mit ebensolcher Wirklichkeitsnähe möglich wie die altbekannte Biegebemessung. Es dürfte sich daher lohnen, die mitgeteilte Bemessungsmethode bei der in Arbeit befindlichen Revision der SIA-Norm 162 nicht zu übersehen.

### Literatur

- [1] *Moosecker, W.*: «Zur Bemessung der Schubbewehrung von Stahlbetonbalken bei möglichst gleichmässiger Zuverlässigkeit». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 307. Berlin 1979
- [2] *Herzog, M.*: «Die erforderliche Bügelbewehrung von Stahlbeton- und Spannbetonbalken». Beton- und Stahlbetonbau 76 (1981) im Druck
- [3] *Herzog, M.*: «Die Schubbruchlast von Spannbetonbalken nach Versuchen». Beton- und Stahlbetonbau 69 (1974) S. 282-288
- [4] *Leonhardt, F., Koch, R. und Rostasy, F.S.*: «Schubversuche an Spannbetonträgern». Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 227. Berlin 1973
- [5] *Herzog, M.*: «Die Aarebrücke Ruppoldingen der Schweizerischen Bundesbahnen». Beton- und Stahlbetonbau 75 (1980) S. 186-191

Adresse des Verfassers: Dr. M. Herzog, dipl. Bauing., Rohrerstrasse 3, 5000 Aarau