

Verankerungen und Übergreifungen nach dem Entwurf der zweiten Generation des Eurocode 2

Benjamin Camps, Josef Hegger

*Lehrstuhl und Institut für Massivbau,
RWTH Aachen University,
Mies-van-der-Rohe-Straße 1, 52074 Aachen, Germany*

camps@cbi.rwth-campus.com

Kurzfassung

Für die zweiten Generation von Eurocode 2 (prEC2) wurden neue Bemessungsregeln für Verankerungen und Übergreifungen von geraden Stäben erarbeitet. Diese neuen Regeln basieren auf dem Model Code 2010 mit dem zugehörigen Hintergrunddokument und unterscheiden sich grundlegend von den Regelungen des aktuellen Eurocode 2 (EC2) sowie dem zugehörigen nationalen Anhang für Deutschland (EC2+NA(D)). Im Zuge der Beratungen wurden die neuen Bemessungsregeln nach prEC2 kritisch überprüft und den aktuellen Regelungen nach EC2+NA(D) gegenübergestellt. Die in diesem Beitrag vorgestellten Ergebnisse führten zu einer Anpassung der Bemessungsregeln für Verankerungen- und Übergreifungen. So wurde eine starke Differenzierung zwischen Übergreifungen und Verankerungen vorgeschlagen und zur abschließenden formellen Annahme durch die CEN-Mitgliedsstaaten eine Anpassung weiterer national festzulegender Parameter eingeführt. In diesem Beitrag werden die beiden Bemessungsansätze des aktuellen EC2 und der neuen Generation EC2 mit den Ergebnissen einer umfangreichen Versuchsdatenbank mit Versuchen an Verankerungen und Übergreifungen gegenübergestellt. Auf Grundlage der Datenbankauswertung, werden Vorschläge für die national festzulegenden Parameter jeweils für die Bemessung von Verankerungen und Übergreifungen vorgestellt.

Keywords: Verankerungen, Übergreifungen, Datenbankauswertung, Eurocode 2

Abstract

For the second generation of Eurocode 2 (prEC2), new design rules for anchorages and laps of straight bars have been proposed. These new rules are based on the Model Code 2010 and the associated background document and differ fundamentally from the rules of the current Eurocode 2 (EC2) and the associated national annex for Germany (EC2+NA(D)). In the discussion, the new design rules according to prEC2 were critically reviewed and compared to the current rules according to EC2+NA(D). The results presented in this article led to an adjustment of the design rules for anchorages and laps as a basis for an official appeal. Thus, for the draft for final formal adoption by the CEN member states, an adjustment was made with regard to the introduction of further nationally defined parameters. In this paper, the two design approaches of the current EC2 and the new generation of EC2 are compared with the results of an extensive test database with tests on anchorages and laps. The semi-empirical design approach according to prEC2 can be adapted by a parameter to be defined nationally in the national annexes of the CEN member states.

Keywords: anchorage, laps, database evaluation, Eurocode 2

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurde die neue Generation des Eurocode 2 auf Europäischer Ebene erarbeitet. Nach der Veröffentlichung des finalen Entwurfs FprEN 1992-1-1:2022 [1] (prEC2) und der anschließenden Einspruchsphase erfolgte die formale Abstimmung der CEN-Mitgliedsstaaten über den Inhalt des prEC2 im Sommer 2023. Im Neuentwurf von Eurocode 2 wurden die Bemessungsregeln für Übergreifungsstöße und Verankerungen grundlegend überarbeitet. Dazu gehört die Einführung eines neuen Ansatzes für die Bemessung von Verankerungs- und Übergreifungslängen auf der Grundlage von Model Code 2010 [2] sowie des zugehörigen Hintergrunddokumentes fib-Bulletin 72 [3].

In diesem Artikel werden die vorgeschlagenen Bemessungsregeln für Verankerungen und Übergreifungen vorgestellt und mit denen des aktuellen Eurocode 2 mit nationalem Anhang für Deutschland DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04 [4] (EC2+NA(D)) verglichen. Dazu werden die Ergebnisse der beiden Bemessungsansätze anhand von kritisch überprüften Versuchsdatenbanken untersucht. Die allgemeine Anwendbarkeit wurde in [5,6] anhand von Fallbeispielen auf Grundlage von [7] und Parameterstudien zu den wichtigsten Eingangsparametern der Bemessungsgleichungen überprüft. Diese ersten Vergleichsrechnungen deuten darauf hin, dass das neu vorgeschlagene Bemessungskonzept nach prEC2 zu abweichenden Ergebnissen im Vergleich zu EC2+NA(D) führt. Die vorgestellten Ergebnisse dienen als Grundlage für die Herleitung der in prEC2 für die Bemessung von Verankerungen und Übergreifungen zugelassenen national festzulegenden Parametern (*nationally determined parameters*, kurz NDP).

2 Übersicht der Bemessungsansätze

2.1 Aktueller Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1/NA(D))

Der aktuelle Ansatz zur Bemessung von Verankerungs- und Übergreifungslängen nach Eurocode 2 mit nationalem Anhang für Deutschland [4] basiert auf dem Model Code 1990 [8], dem die Verbundfestigkeiten nach Model Code 1978 [9] zu Grunde liegen. Das generelle Vorgehen bei der Bemessung von Verankerungen oder Übergreifungen erfolgt in drei Schritten:

- Ermittlung des Bemessungswertes der Verbundfestigkeit
- Ermittlung des Grundwertes der Verankerungslänge
- Ermittlung des Bemessungswertes der Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge

Sowohl die Bemessung der Verankerungs- als auch der Übergreifungslängen basiert auf dem Bemessungswert der Verbundfestigkeit für gerippte Betonstähle (Gleichung (1)).

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad (1)$$

Mit:

η_1 Einfluss der Verbundbedingungen

η_2 Einfluss des Stabdurchmessers

Zuerst wird der Grundwert der Verankerungslänge bestimmt, der dem Kräftegleichgewicht der Verbundkraft über die gesamte eingebettete Mantelfläche und der Stahlkraft des Stabes im Grenzzustand der Tragfähigkeit entspricht:

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (2)$$

Der Bemessungswert der Verankerungslänge l_{bd} wird aus dem Grundwert der Verankerungslänge durch Multiplikation mit α -Werten ermittelt, die Einflüsse aus verschiedenen konstruktiven Randbedingungen (z.B. Verankerungsart, Querbewehrung oder -druck) erfassen:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min} \quad (3)$$

Mit:

α_1 Einfluss der Verankerungsart der Stäbe

α_2 Einfluss der Betondeckung

α_3 Einfluss einer Querbewehrung

α_4 Berücksichtigung angeschweißter Querstäbe

α_5 Einfluss einer Druckspannung quer zur Spaltzug-Riss-Ebene

2.2 Neue Generation des Eurocode 2 (prEN 1992-1-1)

Für die zweiten Generation des Eurocode 2 (prEC2) wurde das gesamte Bemessungskonzept für Verankerungen und Übergreifungsstöße überarbeitet. Die Regeln nach dem finalen Entwurf [1], der den formalen Abstimmungsprozess erfolgreich durchlaufen hat, werden im Folgenden vorgestellt. Der neue Bemessungsansatz basiert auf Model Code 2010 [2] und dem semi-empirischen Ansatz aus [3]. Die aufnehmbare mittlere Stahlspannung σ_{sm} von verankerten oder gestoßenen Stäben beträgt demnach:

$$\sigma_{sm} = 54 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{25}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{25}{\emptyset}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{l_{bm}}{\emptyset}\right)^{0,55} \cdot \left[\left(\frac{c_{min}}{\emptyset}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_{min}}\right)^{0,1} + k_m k_{tr}\right] \quad (5)$$

Dabei ist f_{cm} die mittlere Betondruckfestigkeit, $\emptyset$ der Stabdurchmesser der verankerten bzw. gestoßenen Stäbe, l_{bm} die mittlere Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge sowie c_{min} und c_{max} die minimale und maximale Betondeckung. Mit $k_m k_{tr}$ können darüber hinaus ebenfalls günstige Einflüsse durch Umschnürung berücksichtigt werden. Durch Umstellen der Gleichung kann direkt die mittlere Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge ermittelt werden:

$$l_{bm} = \emptyset \cdot \left(\frac{\sigma_{sm}}{54}\right)^{1,82} \cdot \left(\frac{f_{cm}}{25}\right)^{-0,45} \cdot \left(\frac{25}{\emptyset}\right)^{-0,36} \cdot \left[\left(\frac{c_{min}}{\emptyset}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_{min}}\right)^{0,1} + k_m k_{tr}\right]^{-1,82} \quad (6)$$

Für eine vereinfachte Anwendung von Gleichung (6) werden in prEC2 die verwendeten Exponenten gerundet. Basierend auf Gleichung (5) nach [3] wird in prEC2, zunächst unter Vernachlässigung der Einflüsse aus Umschnürung und der maximalen Betondeckung, eine Bemessungsgleichung für die Ermittlung der Verankerungslänge vorgestellt:

$$l_{bd} = k_{lb} \cdot k_{cp} \cdot \emptyset \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{435}\right)^{n_\sigma} \cdot \left(\frac{25}{f_{ck}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\emptyset}{20}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1,5\emptyset}{c_d}\right)^{1/2} \geq 10 \cdot \emptyset \quad (7)$$

Ein wesentliches Ergebnis der Diskussionen auf europäischer Ebene in CEN/TC250/SC2/WG1 war die Festlegung der Beiwerte k_{lb} und n_σ als NDP. Als Grundwerte werden $k_{lb} = 50$ und $n_\sigma = 1,5$ vorgeschlagen. Der Beiwert k_{cp} wurde zur Berücksichtigung der Verbundbedingungen eingeführt. Bei guten Verbundbedingungen darf $k_{cp} = 1,0$ angenommen werden. Mäßige Verbundbedingungen in Normalbeton werden durch eine Erhöhung um 20% berücksichtigt ($k_{cp} = 1,2$). Der Exponent n_σ wurde zur Berücksichtigung einer erhöhten Stahlspannung am Beginn der Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge eingeführt.

Der Maximalwert des Nennmaßes der Betondeckung und der Stababstände nach Gleichung (8) berücksichtigt den Einfluss der Betondeckung auf die Verbundfestigkeit und das mögliche Versagensbild. Um ein Auszugsversagen der verankerten Stäbe zu vermeiden, muss ein zusätzlicher Grenzwert für das Nennmaß der Betondeckung ($1,5\emptyset/c_d \geq 0,4$) eingehalten werden.

$$c_d = \min\left\{\frac{c_s}{2}; c_x; c_y\right\} \leq 3,75 \cdot \emptyset \quad (8)$$

Zur Berücksichtigung günstiger Einflüsse einer Umschnürungswirkung wurde der Wert $c_{d,conf}$ eingeführt. Eine wirksame Umschnürung kann dabei zum einen durch Bügel- oder Querbewehrung und zum anderen durch eine Querpressung erreicht werden. Auf diese Weise kann die Verankerungslänge, analog zu den α -Beiwerten in EC2, verringert werden. Sind günstige Einflüsse aus Umschnürung vorhanden, darf der Wert c_d in Gleichung (7) durch den Wert $c_{d,conf}$ ersetzt werden.

$$c_{d,conf} = \min\left\{c_x; c_y + 25 \cdot \frac{\emptyset_t^2}{s_t}; \frac{c_s}{2}; 3,75\emptyset\right\} + \Delta c_d \leq 6,0 \cdot \emptyset \quad (9)$$

Mit:

$$\Delta c_d = \left(70 \cdot \rho_{conf} + \frac{12 \cdot \sigma_{ccd}}{\sqrt{f_{ck}}}\right) \cdot \emptyset \quad (10)$$

$\emptyset_t$ Durchmesser Querbewehrung

s_t Abstand Querbewehrung

ρ_{conf} Querbewehrungsgrad

σ_{ccd} Querdruck senkrecht zur Spaltrissebene

Mit dem ersten Ausdruck in der Klammer ($70 \cdot p_{conf}$) von Gleichung (10) kann der Einfluss einer Bügel- bzw. Querbewehrung angerechnet werden, während der zweite Teil ($12 \cdot \sigma_{ctd}/(f_{ck})^{0.5}$) zur Bestimmung des Einflusses einer wirkenden Querpressung im Verankerungsbereich dient.

Der Bemessungswert der Übergreifungslänge l_{sd} wird in prEC2 als Funktion der Verankerungslänge angegeben. Bei geraden Stabenden, Haken und Winkelhaken entspricht die Übergreifungslänge der Verankerungslänge multipliziert mit dem NDP $k_{ls} = 1,2$ ($l_{sd} = k_{ls} \cdot l_{bd}$)

3 Statistische Datenbankauswertung

Zum Vergleich der beiden Bemessungsansätze nach EC2+NA(D) und prEC2 werden die Ergebnisse der Gleichungen (3) bzw. (4) und (7) mit einer umfangreichen Datenbank zu Versuchen zum Verankerungs- und Stoßverhalten verglichen. Auf diese Weise kann gezeigt werden, dass die verschiedenen Bemessungsansätze ein möglichst großes Spektrum von unterschiedlichen Randbedingungen abbilden können und eine sichere Bemessung erlauben. Darüber hinaus wird gezeigt, wie eine Anpassung der Vorfaktors k_{lb} (für Verankerungen) und k_{ls} (für Übergreifungen) als national festzulegender Parameter (NDP) vorgenommen werden kann.

Die Grundlage für die Datenbank wurden vom ACI COMMITTEE 408 [10] und der FIB TASK GROUP 2.5 [3,11] gelegt. Diese Datenbank wurde in verschiedenen Veröffentlichungen beschrieben und kritisch überprüft [12–14]. Die hier verwendete Datenbank wurde am Institut für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen von SCHOENING erheblich erweitert [15]. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Datenbanken mit den zugehörigen Versuchsanzahlen.

In [3,5,15] werden Kriterien zur Filterung der Versuchsdaten beschrieben. So kann sichergestellt werden, dass die in EC2+NA(D) und prEC2 beschriebenen Anwendungsgrenzen für Stahlbetonbauteile eingehalten werden:

- Betondruckfestigkeit: $12 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck} \leq 100 \text{ N/mm}^2$ (Anwendungsbereich EC2+NA(D) und prEC2)
- Übergreifungslänge: $l_{sd} \geq 15 \cdot \emptyset$ (Mindestwert prEC2)
- Betondeckung: $c_{min} \geq 1,0 \cdot \emptyset$ (Mindestwert prEC2)
- Stahlspannungen: $\sigma_{sd} \leq 1,2 \cdot f_{ym}$ (Obergrenze, bis zu der ein reines Verbundversagen beobachtet werden kann)
- Stabanzahl: $n_b > 1$ (in der Praxis wird in der Regel mehr als ein Stab verankert / gestoßen)

Tabelle 1: Übersicht der Entwicklung der Datenbank

	ACI [10]	FIB [11]	FIB [3]	IMB database [15]	Filtered IMB database
Anchorage tests	25	25	39	449	212
Lap tests	453	782	543	781	458
Total	478	807	582	1230	665

Bei der Herleitung angepasster Bemessungsregeln wird anhand der Datenbank auch die Modelunsicherheit der untersuchten Bemessungsansätze bestimmt. Zum Vergleich der Ansätze werden daher Mittelwert und Standardabweichung bzw. Variationskoeffizient und das 5%-Quantil der Quotienten aus experimentell beobachteter Stahlspannung $\sigma_{s,exp}$ und rechnerischer Stahlspannung $\sigma_{s,EC2}$ bzw. $\sigma_{s,prEC2}$ berechnet. Für die Auswertung wird die Bemessungsformeln nach EC2+NA(D) zur Ermittlung der Stahlspannung auf Mittelwertniveau dargestellt:

$$\sigma_{sm,EC2} = \frac{l_i}{\emptyset} \cdot \frac{4 \cdot f_{bm}}{\alpha_i} = \frac{l_i}{\emptyset} \cdot \frac{4 \cdot 2,25 \cdot \eta_i \cdot f_{ctm}}{\alpha_i} \quad (11)$$

In gleicher Weise wird auch der Ansatz nach prEC2 für die Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge umgestellt, sodass die mittlere Stahlspannung ermittelt werden kann.

$$\sigma_{sm,prEC2} = 435 \cdot \left[\frac{l_i}{k_{lb} \cdot k_{cp} \cdot \emptyset} \cdot \left(\frac{f_{cm}}{25} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{20}{\emptyset} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{c_d}{1,5 \cdot \emptyset} \right)^{1/2} \right]^{1/1,5} \quad (12)$$

Zur Identifikation möglicher Ausreißer in den Versuchsserien wurde der DAVID-HARTLEY-PEARSON-TEST angewendet [16]. Im weiteren Verlauf werden auf Grund der besseren Veranschaulichung nur die rücktransformierten Kenngrößen der Datenbankauswertungen gezeigt. Die Rücktransformation erfolgt dabei mit Hilfe der Gleichungen (13) bis (16).

$$\text{Mittelwert: } \mu_{\theta} = \exp(\mu + 0,5\sigma^2) \quad (13)$$

$$\text{Standardabweichung: } \sigma_{\theta} = \mu_{\theta} \cdot \sqrt{\exp(\sigma^2) - 1} \quad (14)$$

$$\text{Variationskoeffizient: } V_{\theta} = \sqrt{\exp(\sigma^2) - 1} \quad (15)$$

$$\text{5\%-Quantilwert } X_{5\%,\theta} = \exp(\mu + K_p \cdot \sigma) \quad (16)$$

Der Bestimmung des 5%-Quantils liegen dabei die in [17] angegebenen Quantilwerte K_p zu Grunde.

3.1 Datenbank mit Versuchen an Verankerungen

Bei der Betrachtung der Versuchsergebnisse für Verankerungen werden Verankerungsbereiche mit und ohne Querpressung unterschieden. Bei direkter Lagerung wird der Verankerungsbereich günstig durch die Querpressung im Bereich des Endauflagers beeinflusst, während bei einer indirekten Lagerung bzw. gestaffelter Bewehrung dieser günstige Einfluss entfällt. Die Berücksichtigung der Querpressung erfolgt im aktuellen EC2 über den Beiwert α_5 , der nach dem nationalen Anhang für Deutschland pauschal zu 2/3 angenommen werden darf. Im Entwurf von prEC2 wird die Querpressung über den Beiwert $c_{d,conf}$ (Gleichung (9)) berücksichtigt.

Für den neuen Bemessungsansatz nach prEC2 wurde die Datenbankauswertung für verschiedene k_{lb} -Werte durchgeführt (Abbildung 1). Für den ursprünglichen Vorschlag $k_{lb} = 50$ übersteigt das Sicherheitsniveau deutlich die Werte nach dem aktuellem EC2+NA(D). Durch eine systematische Variation der k_{lb} -Werte kann eine Mittelwertkorrektur über die Minimierung der Abweichungsquadrate durchgeführt und eine Annäherung an die Winkelhalbierende erreicht werden. Reduziert man den k_{lb} -Wert auf 14, erhält man für den Mittelwert der Modelunsicherheit $\mu_{\theta,prEC2} = 1,064$ (vgl. Abbildung 5 3, rechts) für alle betrachteten Verankerungsversuche.

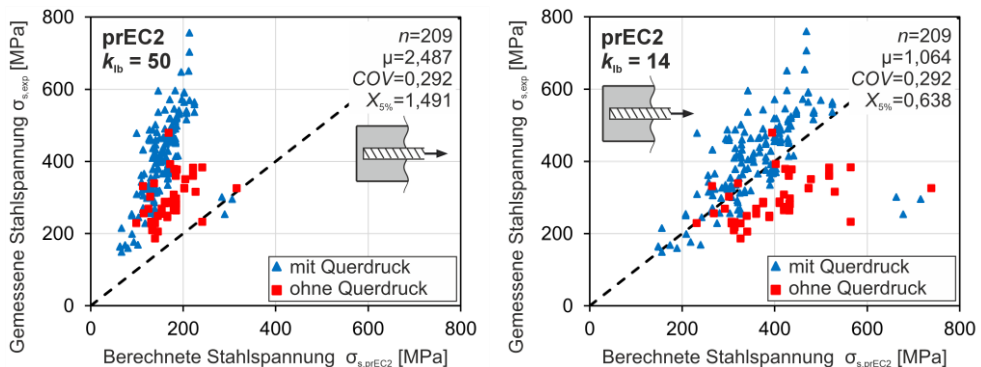


Abbildung 1: Vergleich der im Versuch gemessenen Stahlspannungen mit den berechneten Stahlspannungen nach prEC2 (links) und prEC2 mit angepasstem $k_{lb} = 14$ (rechts) für Verankerungen

In Tabelle 2 sind die transformierten statistischen Kennwerte für die relative Stahlspannung $\sigma_{s,exp} / \sigma_{s,EC2}$ bzw. $\sigma_{s,exp} / \sigma_{s,prEC2}$ für die betrachteten Verankerungsversuche gegenübergestellt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Datenbankauswertung für Verankerungsversuche

	n	μ_0 Mittelwert	V_0 Variationskoeffizient	$X_{5\%,0}$ 5%-Quantilwert
EC2+NA(D)	209	1,325	0,248	0,820
prEC2 ($k_{lb}=50$)	209	2,487	0,292	1,491
prEC2 ($k_{lb}=14$)	209	1,064	0,292	0,638

3.2 Datenbank mit Versuchen an Übergreifungen

Der Vergleich der Bemessungsansätze mit Versuchen an Übergreifungsstößen erfolgt getrennt nach Umschnürungssituation, da bei vorhandener Quer- bzw. Bügelbewehrung im Bereich des Stoßes kürzere Übergreifungslänge realisiert werden können. Die Berücksichtigung der Umschnürung erfolgt im aktuellen EC2+NA(D) über den Beiwert α_3 . Nach dem Vorschlag des prEC2 geht die Quer- bzw. Bügelbewehrung über den Beiwert $c_{d,conf}$ (Gleichung (9)) in die Berechnung ein.

Durch die Auswertung der Versuchsdatenbank auf Mittelwertniveau mit $k_{lb} \cdot k_{ls} = 60$ liegt die Punktwolke der insgesamt 456 Versuche an Übergreifungsstößen oberhalb der Winkelhalbierenden (Abbildung 2, links), da in dieser Auswertung noch der Teilsicherheitsbeiwert auf der Materialseite enthalten ist. Die Punktwolke nach prEC2 ist allerdings deutlich kompakter als die Punktwolken nach EC2+NA(D) (nicht dargestellt). Während in die Berechnung der Übergreifungslänge nach EC2+NA(D) der 5%-Quantilwert der Zugfestigkeit des Betons $f_{ctk;0,05}$ eingeht, wird in prEC2 die charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} berücksichtigt. Die größeren Streuungen der Betonzugfestigkeit, die in der Umrechnung von charakteristischen Werten in Mittelwerte berücksichtigt werden, führen bei der Auswertung der Versuchsdatenbank auf Mittelwertniveau dazu, dass der neue Ansatz nach prEC2 die Versuche der Datenbank besser als EC2+NA(D) abbilden kann.

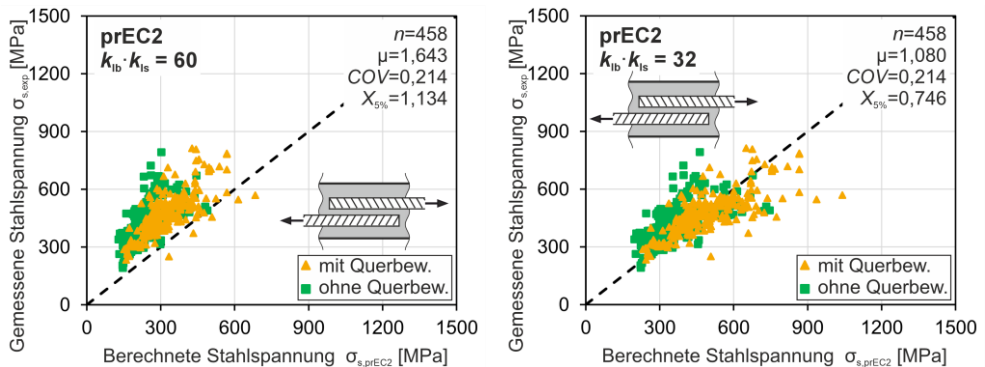


Abbildung 2: Vergleich der im Versuch gemessenen Stahlspannungen mit den berechneten Stahlspannungen nach prEC2 (links) und prEC2 mit angepasstem $k_{lb} = 32$ (rechts) für Übergreifungen

Durch eine Mittelwertkorrektur über die Minimierung der Abweichungsquadrate kann der Kalibrierbeiwert von $k_{lb} \cdot k_{ls} = 60$ auf $k_{lb} \cdot k_{ls} = 32$ reduziert werden. Für $k_{lb} \cdot k_{ls} = 32$ ergibt sich dann der Mittelwert der Modelunsicherheit zu $\mu_{0,prEC2} = 1,080$ (vgl. Abbildung 2, rechts) für alle betrachteten Versuche an Übergreifungsstößen.

Die transformierten statistischen Kennwerte bei Annahme einer Log-Normalverteilung für die relative Stahlspannungen $\sigma_{s,exp} / \sigma_{s,EC2}$ bzw. $\sigma_{s,exp} / \sigma_{s,prEC2}$ der betrachteten Versuche an Übergreifungsstößen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Datenbankauswertung für Übergreifungsversuche

	n	μ_0 Mittelwert	V_0 Variationskoeffizient	$X_{5\%,0}$ 5%-Quantilwert
EC2+NA(D)	458	1,089	0,343	0,573
prEC2 ($k_{lb} \cdot k_{ls} = 50$)	458	1,643	0,214	1,134
prEC2 ($k_{lb} \cdot k_{ls} = 32$)	458	1,080	0,214	0,746

3.3 Mögliche Anpassungen der Bemessungswerte nach prEC2

Auf Grundlage der vorgestellten Datenbankauswertungen können nach Eurocode 0 (EC0) [18] angepasste Bemessungswerte aus den ermittelten Mittelwerten für k_{lb} bzw. $k_{lb} \cdot k_{ls}$ (vgl. Tabellen 2 und 3), getrennt für die Bemessung von Verankerungen und Übergreifungen, abgeleitet werden. Das Vorgehen nach Anhang D ermöglicht die Ermittlung von Modell- und Materialunsicherheiten unter Berücksichtigung von Streuungen bezüglich der gemessenen Werte [15,18–20]. Für die hier vorgestellten neuen Bemessungsregeln nach prEC2 wurde die Herleitung angepasster Bemessungswerte für k_{lb} bzw. $k_{lb} \cdot k_{ls}$ in [5,6,21] beschrieben. Die wichtigsten Eingangsgrößen bei der Herleitung angepasster Bemessungswerte sind dabei die Anzahl der Versuche, der Mittelwert der relative Stahlspannungen $\sigma_{s,exp} / \sigma_{s,prEC2}$ und die Variationskoeffizienten des Gesamtmodells in Abhängigkeit der Basisvariablen. Ausgehend von den für das Mittelwertniveau bestimmten k_{lb} - bzw. $k_{lb} \cdot k_{ls}$ -Werten können so Bemessungswerte für Verankerungen und Übergreifungen hergeleitet werden. Die in [5] ermittelten Werte für k_{lb} und $k_{lb} \cdot k_{ls}$ auf Bemessungsniveau sind in Tabelle 4 dargestellt. In die Herleitung für k_{lb} (Verankerungen) wurden alle 209 Versuche einbezogen, während bei der Herleitung von $k_{lb} \cdot k_{ls}$ (Übergreifungen) nur die Versuche ($n = 232$) berücksichtigt wurden, die den konstruktiven Vorgaben nach prEC2 (insbesondere in Hinblick auf die Querbewehrung) entsprachen. Neben den in prEC2 vorgeschlagenen Grundwerten sind ebenfalls die ermittelten Teilsicherheitsbeiwerte als Quotienten aus Bemessungswerten und charakteristischen Werten ausgeführt.

Tabelle 4: Übersicht der Bemessungswerte nach prEC2 und [5]

	Verankerungen			Übergreifungen		
	prEC2	Vorschlag aus [5]	Vorschlag NA(D)	prEC2	Vorschlag aus [5]	Vorschlag NA(D)
k_{lb} bzw.	50	55	50	60	75	70
γ_M	---	1,87	---	---	1,51	---

In Abbildung 3 sind die relativen Stahlspannungen $\sigma_{s,exp} / \sigma_{s,prEC2}$ ohne die Sicherheiten nach Tabelle 4 für Verankerungen und Übergreifungen in Abhängigkeit der auf den Stabdurchmesser bezogenen Verankerungs- bzw. Übergreifungslänge dargestellt. In den Diagrammen sind zudem die 5%-Quantilwerte der relativen Stahlspannung sowie die zugehörigen Minimalwerte aufgetragen, um eine Beurteilung des Sicherheitsniveaus zu erlauben.

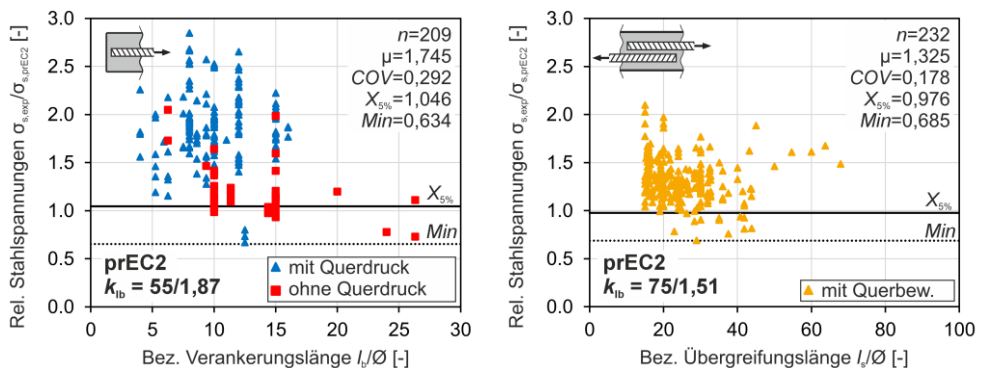


Abbildung 3: Überprüfung der 5%-Quantilwerte für die angepassten Bemessungsansätze für Verankerungen (links) und Übergreifungen (rechts)

Mit 5%-Quantilwerten über oder nahe dem Zielwert von 1,0 mit $X_{5\%} = 1,046$ für Verankerungen und $X_{5\%} = 0,976$ für Übergreifungen kann für die Bemessung von Verankerungen und Übergreifungen mit den angepassten Bemessungswerten (Tabelle 4) ein ausreichendes Sicherheitsniveau erreicht werden. Zur Verwendung im Nationalen Anwendungsdokument für Deutschland wurden von den vorherigen Auswertungen abweichende k_{lb} bzw. $k_{lb} \cdot k_{ls}$ -Werte vorgeschlagen. Die Gründe hierfür sind die Bestrebungen nach einer progressiveren und somit wirtschaftlicheren Bemessung, wie sie unter anderem aus Gründen der Ressourceneffizienz notwendig ist. Durch die geringeren Vorfaktoren 50 (k_{lb}) und 70 ($k_{lb} \cdot k_{ls}$) verschieben sich die 5%-Quantilwerte leicht unter den Wert von 1,00.

4 Zusammenfassung und Fazit

Im vorliegenden Artikel wurden die Bemessungsregeln für Übergreifungsstöße und Verankerungen nach dem Entwurf der zweiten Generation des Eurocode 2 vorgestellt und überprüft, um Vorschläge für ein nationales Anwendungsdokument bereitzustellen. Dazu wurden die Bemessungsansätze nach aktuellem Eurocode 2 mit dem Nationalen Anhang für Deutschland und dem Entwurf des neuen Eurocode 2 mit Versuchsdaten von Versuchen an Verankerungen und Übergreifungsstößen verglichen. Des Weiteren wurden Vorschläge für Anpassungen der Bemessungswerte für Verankerungs- und Übergreifungslängen vorgestellt und hinsichtlich Ihres Sicherheitsniveaus untersucht.

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen und die Vorschläge für die weitere Diskussion zum Entwurf des Eurocode 2 auf nationaler Ebene zusammengefasst:

- Die eigenen Datenbankauswertungen auf Mittelwertniveau, getrennt für Verankerungen und Übergreifungen, haben gezeigt, dass der Ansatz nach prEC2 die Haupteinflüsse korrekt abbilden kann.
- Mit Hilfe des konservativeren Ansatzes nach Eurocode 0, Anhang D können angepasste Bemessungswerte für die Regeln nach prEC2 für Verankerungs- und Übergreifungslängen hergeleitet werden.
- Der vorgeschlagene Bemessungswert für Verankerungen von $k_{lb} = 50$ entspricht dem Grundwert in prEC2.
- Für die Bemessung von Übergreifungen liegt der angepasste Wert $k_{lb} \cdot k_{ls} = 70$ über dem in prEC2 vorgeschlagenem Grundwert von 60.
- Mit beide angepassten Bemessungswerte ($k_{lb} = 50$ für Verankerungen und $k_{lb} \cdot k_{ls} = 70$ für Übergreifungen) kann auf Basis der Versuchsdatenbanken trotz der Quantilwerte leicht unterhalb von 1,00 ein ausreichendes Sicherheitsniveau gewährleistet werden.

5 Dank

Das Forschungsprojekt wurde von der Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen e.V. (PRB) in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (DBV) gefördert. Die Autoren bedanken sich recht herzlich für die Unterstützung.

6 Literatur

- [1] CEN/TC 250 (2022) FprEN 1992-1-1:2022: Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General rules for buildings, bridges and civil engineering structures, Final Draft prepared by CEN/TC 250.
- [2] Fédération internationale du béton (2013) fib Model Code for Concrete Structures 2010. Ernst & Sohn, Berlin.
- [3] Fédération internationale du béton (2014) *Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the fib Model Code for Concrete Structures 2010: fib Bulletin 72*, Lausanne.
- [4] Deutsches Institut für Normung e.V. (2013) Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. Beuth, Berlin.
- [5] Camps B, Schmidt M and Hegger J (2023) Anchorages and laps according to the next-generation Eurocode 2 - Overview and comparison to current provisions. *Structural Concrete* 5, 10.1002/suco.202300167.
- [6] Camps B, Schoening J and Hegger J (2022) Review of the design rules for anchorages and laps according to the draft of the second generation of Eurocode 2. In *Bond in Concrete - Bond, Anchorage, Detailing*. 5th International Conference (Hofmann J and Plizzari G (eds)). Universität Stuttgart, pp. 490–505.
- [7] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein (2011) *Beispiele zur Bemessung nach Eurocode 2: Band 1: Hochbau*. Ernst & Sohn, s.l.
- [8] Comité Euro-International du Béton (1991) CEB-FIP Model Code for Concrete Structures. Thomas Telford, London, Großbritannien.

- [9] Comité Euro-International du Béton (1978) CEB-FIP-Mustervorschrift für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton (Übersetzung der französischen Originalfassung), Paris, Lausanne.
- [10] American Concrete Institute (2003) *Bond and development of straight reinforcing bars in tension: Reported by ACI Committee 408*, ACI 408R-03.
- [11] fib Task Group 4.5 Bond models (2007) *Splice Test Database*. See http://fibtg45.dii.unile.it/files%20scaricabili/Data-base_splicetest%20Stuttgart%20sept%202005.xls (accessed 08/06/2020).
- [12] Burkhardt J (2000) *Zum Tragverhalten von Übergreifungsstößen in hochfestem Beton: Dissertation, Schriftenreihe des Lehrstuhls und Instituts für Massivbau (IMB) der RWTH Aachen*. Dissertation, Aachen, Germany.
- [13] Cairns J and Eligehausen R (2017) Evaluation of EC2 Rules for design of tension lap joints. *The Structural Engineer* **92**13: 44–52.
- [14] Lettow S (2006) *Ein Verbundelement für nichtlineare Finite Elemente Analysen - Anwendung auf Übergreifungsstöße*. Dissertation, Stuttgart.
- [15] Schoening J (2018) *Anchorage and laps in reinforced concrete members under monotonic loading*. Dissertation, Aachen.
- [16] David HA, Hartley HO and Pearson ES (1954) The distribution of the ratio, in a single, normal sample, of range to standard deviation. *Biometrika* **41**16: 482–493, 10.1093/biomet/41.3-4.482.
- [17] Fischer L (2001) *Das neue Sicherheitskonzept im Bauwesen: Ein Leitfaden für Bauingenieure, Architekten und Studenten*. Assembly of a range of related papers by the same author on the novel safety concept in civil engineering, published in 1999-2000 in German journal Bautechnik (ISSN: 0932-8351 (Print), 1437-0999 (Online)). Ernst & Sohn, Berlin.
- [18] Deutsches Institut für Normung e.V. (2010) Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung. Beuth, Berlin.
- [19] Darwin D, Idun EK, Zuo J and Tholen ML (1995) *Reliability-Based Strength Reduction Factor For Bond*, Lawrence, USA, 95-5.
- [20] Mancini G, Carbone VI, Bertagnoli G and Gino D (2018) Reliability-based evaluation of bond strength for tensed lapped joints and anchorages in new and existing reinforced concrete structures. *Structural Concrete* **19**20: 904–917, 10.1002/suco.201700082.
- [21] Hegger J and Camps B (2020) *Überprüfung der Bemessungsregeln für Übergreifungsstöße und Verankerungen (gerade Stäbe, Abbiegungen und Haken) nach dem Entwurf der zweiten Generation des Eurocode 2*, Aachen, 431/2020.