

ISB MITTEILUNGEN

Februar 2016



TOLERANZEN IM STAHLBETONBAU

INHALT

03 EDITORIAL

06-07 AKTUELLES

Führungswechsel im ISB

Neues aus der Forschung – Große Stabdurchmesser

08-22 TECHNIK: TOLERANZEN IM STAHLBETONBAU



*Dr.-Ing. Michael Schwarzkopf
Geschäftsführender
Vorstandsvorsitzender
des Instituts für
Stahlbetonbewehrung e.V.*

Pünktlich zum Jahresbeginn 2016 möchten wir Ihnen die neueste Ausgabe unserer ISB-Mitteilungen überreichen. Das Thema „Qualität im Stahlbetonbau“ ist auch in dieser Ausgabe wieder ein Schwerpunkt.

Wir hatten in den vorausgehenden Ausgaben 02/08 und 01/09 ausführlich über die DAfStb – Richtlinie „Qualität der Bewehrung“ sowie Erfahrungen damit in Biegebetrieben berichtet.

In der vorliegenden Ausgabe geht es diesmal um die **„Toleranzen im Stahlbetonbau“**. In diesem Artikel möchten wir Ihnen die vorhandenen Regelungen und deren Beziehung zueinander darstellen und aufzeigen, an welchen Stellen diese nicht ausreichend aufeinander abgestimmt sind. Es werden anhand von Beispielen unmittelbare Zusammenhänge zwischen der Maßgenauigkeit geschnittener und gebogener

Bewehrung, der maßgebenden Betondeckung und den Bauteilabmessungen aufgezeigt. Damit wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Qualität der einzubauenden Bewehrung und der Standsicherheit sowie Gebrauchstauglichkeit von Stahlbetonbauteilen aufgezeigt.

Desweiteren wird über die ersten Ergebnisse des von ISB und ECS initiierten aktuellen Forschungsvorhabens „Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern ($> \varnothing 32\text{mm}$, BSt 500)“ und die daraus resultierenden Folgen für die Praxis berichtet.

Wir hoffen, Ihnen mit dieser Ausgabe auch für Sie interessante und aktuelle bewehrungsspezifische Themen aus dem Bereich des Stahlbetonbaus näher bringen zu können und wünschen Ihnen ein interessantes und erfolgreiches Jahr 2016.

Führungswechsel im Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.



Dr.-Ing.
Jörg Moersch



Dr.-Ing.
Michael Schwarzkopf

Seit dem 1. Januar 2016 ist Herr Dr.-Ing. Jörg Moersch in die Max Aicher GmbH & Co.KG mit Sitz in Freilassing gewechselt. Seine Tätigkeit als Obmann der europäischen Normung von Betonstahl- und Spannstahl wird er im Sinne des Institutes und seiner Mitglieder weiterführen. Zu seinem Nachfolger als geschäftsführender Vorstandsvorsitzender wurde auf der ordentlichen Mitgliederversammlung im Oktober 2015 Herr Dr.-Ing. Michael Schwarzkopf berufen, der von der B-Tec Concept GmbH in das ISB wechselt.

Neues aus der Forschung – Große Stabdurchmesser

Betonstähle mit großen Stabdurchmessern (>32mm) kommen bislang in der baupraktischen Anwendung nur wenig zum Einsatz. Dabei spielen die zusätzlichen Regelungen und teilweise erheblichen Einschränkungen bei der Bemessung und Konstruktion sicher eine wesentliche Rolle. Die aktuell im Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1 mit NA) enthaltenen zusätzlich erforderlichen Maßnahmen für die großen Stabdurchmesser stammen zum Großteil noch aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (abZ) und wurden in der Regel ohne eine erneute Überprüfung auf deren Richtigkeit in den Eurocode 2 bzw. den Nationalen Anhang für Deutschland übernommen. Dabei basieren diese jedoch meist nur auf einer geringen Anzahl empirischer Daten und liegen daher deutlich auf der „Sicheren Seite“. Auf Initiative des ISB und des ECS sowie Mitgliedsfirmen dieser Verbände hatte das aktuelle Forschungsvorhaben „Weiterentwicklung von Bemessungs- und Konstruktionsregeln bei großen Stabdurchmessern

(> ø32mm, BSt 500)“ die Aufgabe, die bestehenden Vorschriften zu hinterfragen und dabei die Regelungen sowohl auf ihre Erfordernis hin zu überprüfen als auch deren Gültigkeit durch Versuchsergebnisse zu verifizieren. Die drei Schwerpunkte des Projekts wurden auf drei Forschungsstellen aufgeteilt. Am Institut für Massivbau der RWTH Aachen wurden Verankerungen und Übergreifungen bearbeitet, das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig beschäftigte sich mit Lasteinleitung und Tragverhalten von Druckgliedern und an der TU Kaiserslautern FB Massivbau und Baukonstruktion wurde der Abschnitt Rissbreitenbeschränkung und Oberflächenbewehrung untersucht.

Verbund, Verankerung und Übergreifungen

Es wurde festgestellt, dass die Bemessungsfaktoren wbei Verbund und Übergreifung von Zugstößen für kleine Durchmesser im Wesentlichen auf große Durchmesser übertragen werden können; die Ab-

minderung der Verbundspannung kann analog zu kleinen Durchmessern erfolgen. Darüber hinaus wurde belegt, dass Übergreifungsstöße abweichend zur bestehenden Einschränkungen auch als Vollstöße ausführbar sind. Für die Rissbreitennachweise lieferten die Versuchsergebnisse keine eindeutig auswertbaren Daten; hier sind weitere Versuchsreihen erforderlich.

Es wurden 33 Beam-End-Versuche und acht Plattenversuche mit Übergreifungsstößen durchgeführt.

Rissbreitenbeschränkung und zusätzlich erforderliche Oberflächenbewehrung

Die Versuche bestätigen, dass die Rissbreitengleichung $w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ auch für den rechnerischen Rissweitennachweis bei großen Durchmessern anwendbar ist. Zudem wurde ermittelt, dass der vereinfachte Nachweis unter bestimmten Bedingungen ($w_k = 0,3 \text{ mm}$ mit $\sigma_s = 360 \text{ N/mm}^2$) auch mit einer reduzierten Oberflächenbewehrung ($1\% A_{ct,ext}$) geführt werden könnte. Hierfür wurden 62 Einzelproben, verteilt auf sieben Serien, mit einer Länge von ca. 6,00 m in einem Reißrahmen gleichmäßig mit Zug belastet und die Rissbildung beobachtet. Insgesamt wurden so 30.000 Einzerrisse dokumentiert und ausgewertet.

Lasteinleitung – Tragverhalten von Druckgliedern

Es wurden verschiedene Versuche, insbesondere an Einzeldruckgliedern, durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass eine Vielzahl von Regelungen vereinfacht oder den bestehenden Vorgaben für kleinere Durchmesser angeglichen werden könnten. Besonders hervorzuheben ist dabei, dass die Mindestbauteildicke reduziert, die Mindestdurchmesser herabgesetzt und die Bügelabstände verringert werden können. Zudem wurden die vorhandenen Regelungen bezüglich der Betondruckfestigkeit durch die Versuche bestätigt.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts zeigen eine Vielzahl von Entwicklungsmöglichkeiten für die Bemessungs- und Konstruktionsregeln großer Durchmesser im Eurocode 2. Diese neu gewonne-

nen Erkenntnisse fließen unmittelbar in die Diskussionen im Zuge der Überarbeitung des Eurocodes 2 mit ein. Es wurden bereits konkrete Vorschläge erarbeitet, wie die bestehenden Regeln geändert und damit die Anwendung verbessert werden können.

Aus den bisherigen Ergebnissen haben sich aber auch neue Fragestellungen ergeben. Daher wurde ein Fortsetzungsantrag gestellt und die Arbeiten hierzu wurden im Oktober 2015 gestartet. Wir hoffen auch hier auf eine erfolgreiche Abwicklung und weiterführende Optimierung des bisherigen Normungsansatzes.



Alle Ergebnisse des abgeschlossenen Forschungsvorhabens können auf unserer Webseite www.isb-ev.de heruntergeladen werden. Darüber hinaus werden diese auch durch die Forschungsstellen in Fachzeitschriften veröffentlicht und auf verschiedenen Veranstaltungen vorgetragen und erläutert. ■

TOLERANZEN IM STAHLBETONBAU

Von Dr.-Ing. Jörg Moersch, Dipl.-Ing. Sven Junge, RA Michael Wilcke

1. Einführung

Abweichungen zwischen Planung und Bauausführung sind im Baualltag nicht auszuschließen. Damit sowohl die Standsicherheit als auch die Gebrauchstauglichkeit des Gebäudes dennoch sichergestellt sind, werden in den Planungs- und Ausführungsnormen Grenzwerte für Abweichungen definiert. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass es sich dabei um ein aufeinander abgestimmtes System von Toleranzbereichen handelt. Bleiben die Abweichungen innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte, wird von einer Verträglichkeit des Systems und damit regelkonformer Ausführung ausgegangen.

In diesem Artikel wird dargestellt, welche Regelungen es für Toleranzen im Stahlbetonbau gibt und wie diese zueinander in Beziehung stehen. Dabei wird aufgezeigt, an welchen Stellen die vorhandenen Regelwerke nicht bzw. unzureichend aufeinander abgestimmt sind. Im Weiteren wird gezeigt, welche Auswirkung die fehlende Berücksichtigung von Ausführungstoleranzen in der Planung für die Bauausführung haben kann. Anhand von Beispielen

werden mögliche Folgen praxisnah dargestellt. Für zwei Beispiele wurde ermittelt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein solcher Mangel im Baualltag vorkommen kann. Abschließend werden Lösungsansätze vorgeschlagen und klare Forderungen an die Beteiligten gestellt.

2. Toleranzanforderungen in den geltenden Regelwerken

Grundlage für die Bemessung und Konstruktion von Bauwerken ist i.d.R. die DIN EN 1992-1-1 [1] in Verbindung mit dem nationalen Anhang für Deutschland [2] (zusammen: Eurocode 2). Planerisch werden Toleranzen nach Eurocode 2 zum Beispiel durch das Vorhaltemaß der Betondeckung als zulässige negative Abweichungen in der Bauausführung zur Sicherstellung der Tragsicherheit und Dauerhaftigkeit berücksichtigt. Das Nennmaß der Betondeckung c_{nom} ist als Summe der Mindestbetondeckung c_{min} und einem Vorhaltemaß Δc_{dev} definiert. Während sich die Mindestbetondeckung nach den Verbund- und Dauerhaftigkeitsan-

forderungen richtet, sollen durch das Vorhaltemaß bauartbedingte Abweichungen aus der Bauausführung berücksichtigt werden. Es ist Aufgabe des Tragwerksplaners zu prüfen, ob diese Annahme gerechtfertigt ist, er den vorgesehenen Wert abmindern kann oder ggf. sogar erhöhen muss.

Für die Ausführung von Tragwerken aus Beton ist die DIN EN 13670 [3], in Deutschland in Verbindung mit der DIN 1045-3 [4] als nationalem Anwendungsdokument, maßgebend. Die darin enthaltenen Toleranzregeln gelten für den allgemeinen Hochbau, dabei insbesondere für konstruktive Abweichungen, die Auswirkungen auf die Standsicherheit haben. Die Lage der Betonstahlbewehrung muss danach den Vorgaben des Eurocode 2 entsprechen ($\Delta c_{(minus)} = \Delta c_{dev}$ nach DIN EN 1992-1-1/NA). Die zulässigen Bauteiltoleranzen für Außenabmessungen nach [3] und [4] sind, da sie nur die Standsicherheit betreffen, relativ weit gefasst. Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird dagegen auf die Anforderungen an Bauwerke oder Ihre Teile in der DIN 18202 [5] verwiesen sofern keine andere Vereinbarung hierfür getroffen wird.

Die DIN 18202 als baustoffunabhängige Norm enthält Toleranzen für Bauwerke im Hochbau. Sie ist zwar in der Liste der technischen Baubestimmungen nicht enthalten, jedoch durch VOB-Verträge [6] eingeführt und ist als Stand der Technik im Baustellenalltag präsent. Sie enthält Angaben zu zulässigen Längen-, Höhen-, Winkel- und Maßabweichungen, bezieht sich dabei aber nur auf fertige Bauwerke sowie deren Teile. Einzelne Arbeitsschritte oder Übergaben zwischen Gewerken werden nicht von ihr erfasst. Beton passt sich in seiner Formgebung 1:1 der Schalung an. Damit können die Toleranzen nach DIN 18202 aber auch schon als mögliche Anforderungen für den Schalungsbau angesehen werden.

Für Stahlbetonfertigteile sind nach zurückziehen der DIN 18203-1:1997 nur die Regelungen nach DIN EN 13369 [7] erhalten geblieben. Die darin angegebenen Herstellungstoleranzen berücksichtigen jedoch vollumfänglich die Vorgaben des Eurocodes 2 durch Vorgaben für die Lage der Bewehrung und geben darüber hinaus vergleichbare Vorgaben für die Bauteilabmessungen wie die DIN EN 13670 an.

Als weiteres Regelwerk ist an dieser Stelle die DAfStb-Richtlinie „Qualität der Bewehrung“ [8] (RiLi QdB) aufzuführen. Sie wurde bisher nicht bauaufsichtlich eingeführt und ist daher gesondert zu vereinbaren. Dafür definiert sie angemessene Qualitätsanforderungen in Ergänzung zu [3] und [4] sowie Toleranzbereiche für die



Abweichungen zwischen Planung und Bauausführung sind nicht auszuschließen.

Weiterverarbeitung und das Verlegen von Betonstahl um die gestiegenen Ansprüche an die Qualität und Nachhaltigkeit der Stahlbetonbauweise zu berücksichtigen. Sie spiegelt den Stand der Technik wieder und gewinnt in der Praxis zunehmend an Bedeutung.

3. Berücksichtigung der Toleranz in der Praxis

In der Praxis werden Toleranzen unterschiedlich behandelt. Der Planer muss die zulässigen Abweichungen bei der Erstellung der Planungsunterlagen bereits in seine Zeichnung integrieren, anschließend darf der Bauausführende im Rahmen der für ihn zulässigen Grenzwerte von den Planvorgaben abweichen. Dabei gehen beide i.d.R. von einer Konsistenz der für sie geltenden Regelwerke aus. An welcher

Stelle jedoch welche Toleranzen eingeplant sind bzw. ausgenutzt werden, bleibt für den jeweils anderen meist unklar. Im nachfolgenden Abschnitt sind daher die einzelnen Bereiche voneinander getrennt betrachtet zusammengestellt.

3.1 Planung und Konstruktion

Die Planungsaufgabe von Ingenieuren, Technikern und Konstrukteuren hat in den letzten Jahren deutlich an Komplexität gewonnen. Bislang machen sich dabei Planer meist noch zu wenig Gedanken über die Berücksichtigung der Toleranzen der Bauausführung. Dabei hat die Qualität der Planung entscheidenden Einfluss auf die spätere Ausführungsqualität. Eine sorgfältige Ausarbeitung und Entwicklung der Detailpunkte sowie richtige Darstellung in den Ausführungsunterlagen sind dabei genauso wichtig wie die

Maßabweichung [mm]	Mittelwert	Standardabweichung	Meßwertanzahl
Stützenabmessung Δd	-1,7	5,3	3976
Wandstärke Δd	-0,5	11,3	322
Balkenbreite Δb	-2,4	4,5	261
Balkenhöhe Δh	3,6	3,2	68
Deckenstärke Δh	4,7	6,7	196

Tabelle 1: Maßabweichungen von Außenabmessungen aus [12]

Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen. Aus den Regelwerken wie [1] i. V. m. [2] kommen Vorgaben wie die Mindestbetondeckung und Vorhaltemaße, die zwingend zu berücksichtigen sind. Darüber hinaus sollte der Planer sich aber auch Gedanken über die verwendeten Baustoffe und deren Fertigungstoleranzen sowie Abmessungen im Raum machen. Vergisst z.B. der Planer in Knotenpunkten, dass der reale Außendurchmesser des Betonstahls ca. 15% größer als der Nenndurchmesser ist, kann dies bei hohen Bewehrungsgraden, mehrlagiger Bewehrung oder Stabkreuzungen schnell zu erheblichen Passungsproblemen führen. Wie sich dies im Zusammenhang mit einer Fertigungsabweichung für Bügel in Knotenpunkten verhält, ist in Beispiel 2 ausgearbeitet. Auf der Baustelle sind solche Fälle schlimmstenfalls gar nicht mehr herstellbar und mit Sicherheit nicht mehr Regelkonform.

3.2 Mindestbetondeckung nach Eurocode 2

Um die angestrebte Lebensdauer

des Tragwerks zu erreichen, müssen angemessene Maßnahmen ergriffen werden, die jedes einzelne Bauteil vor den jeweiligen umgebungsbedingten Einflüssen schützen. Die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit müssen sowohl beim Tragwerksentwurf als auch bei der Bauausführung berücksichtigt werden. Die Mindestbetondeckung nach [1] i. V. m. [2] stellt bei der Beurteilung der Funktionalität des Bauwerks sowie der zu erwartenden Lebensdauer ein wesentliches Kriterium für die Dauerhaftigkeit eines Betonbauteils dar.

Sowohl nach [1] und [2] als auch nach [3] ist die Betondeckung als Mindestwert definiert und demnach für jeden Einzelwert einzuhalten. Im Widerspruch dazu wird in [4] festgelegt, dass die Mindestbetondeckung nach [1] i. V. m. [2] unabhängig von den festgelegten Grenzabmaßen (Vorhaltemaße) nur mit „ausreichender Zuverlässigkeit“ eingehalten werden muss.

Der Widerspruch zwischen der Planung nach Eurocode 2 ([1] und [2]) und der Ausführung nach

[4] erscheint problematisch. Während für den Planer die Anforderungen nach [1] und [2] maßgebend sind und diese meist auch gegenüber dem Bauherrn als Leistungsbestandteil in den Verträgen formuliert werden, weicht [4] diese Anforderungen anschließend für die Bauausführung in Deutschland erheblich auf.

Auswertungen von Messungen an fertigen Bauteilen ([11], [12]) zeigen, dass Unterschreitungen der Mindestbetondeckung in der Praxis immer wieder auftreten können. Die Messergebnisse sind dabei annähernd normalverteilt und zeigen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Mindestbetondeckung eingehalten werden kann. Dabei sollte jedoch eine detaillierte Betrachtung nach Bauteilart erfolgen. Die Ergebnisse aus [12] zeigen, dass sich die Messergebnisse bei Stützen deutlich von denen bei Wänden unterscheiden. So wurde für Stützen an $n = 791$ Messpunkten ein Mittelwert der Abweichung von der geplanten Betondeckung von $\bar{\Delta X} = 3,0$ mm mit einer Standardabweichung von $s = 7,4$ mm ermittelt, bei Wänden ($n = 241$) ein Mittelwert von $\bar{\Delta X} = 0,5$ mm und eine Standardabweichung von $s = 11,6$ mm. Für Stützen wäre damit bereits ein Vorhaltemaß von $\Delta c_{dev} = 10$ mm als 5% Quantil ausreichend, mit $\Delta c_{dev} = 15$ mm liegt die Unterschreitungswahrscheinlichkeit hier sogar bei unter 1%. Dagegen ist bei den Wänden die Überschreitungswahrscheinlichkeit des Vorhaltemaßes von

$\Delta C_{dev} = 15 \text{ mm}$ schon bei ca. 9%. Demnach ist die Unterschreitung der Mindestbetondeckung bei Wänden deutlich wahrscheinlicher als bei Stützen. Eine Vermutung dazu ist, dass durch die Passmaße bei Bügeln eher eine Untermaßigkeit vorhanden ist, welche zudem eine geringere Streuung erzeugt und damit Abweichungen, auch aus den Bauteilabmessungen, besser kompensiert werden können. Es zeigt sich, dass die Abweichungen der Außenabmessungen je nach

Bauteilart unterschiedlich stark variieren (s. Abs. 3.3) und genau genommen eine getrennte Beurteilung erforderlich machen.

3.3 Außenabmessungen von Bauteilen nach DIN 18202

Eine Beurteilung von Abweichungen wie beispielsweise Außenabmessungen, Schiefstellung, Ebenheit und Winkelabweichungen erfolgt am fertigen Bauteil oder Bauwerk i.d.R. nach den Vorgaben der DIN 18202 [5]. Die darin für die Ausführung von

Bauwerken festgelegten Toleranzen gelten baustoffunabhängig. Weiterhin wird nicht nach Bauteilart (z.B. Stütze, Decke oder Wand) unterschieden, sondern nach Grundriss oder Aufriss bzw. Außenmaß, lichtigem Maß oder Öffnung von vertikalen, horizontalen oder geneigten Flächen. Dabei belegen Untersuchungen [12], dass die Abweichung im Stahlbetonbau sehr wohl bauteilabhängig sein kann. Für Stützen und Unterzüge (Breite) ist eine negative Verschiebung des Mittelwertes

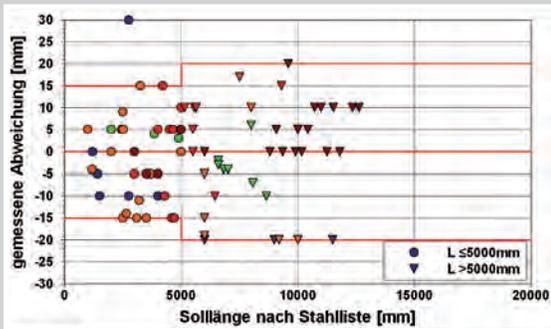


Bild 1: Ablängen gerader Stab

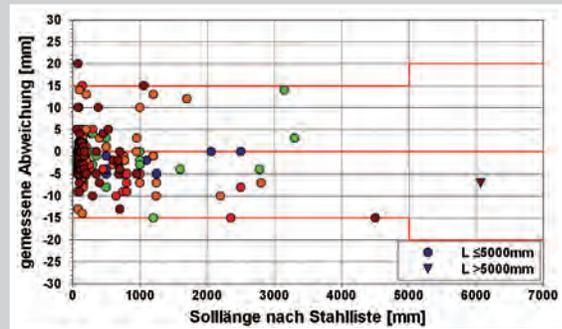


Bild 2: Ablängen gebogener Stab

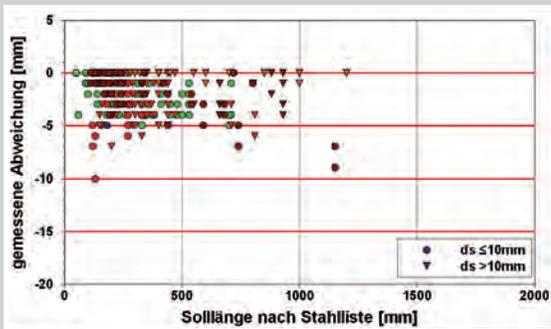


Bild 3: Längen Bügelschenkel

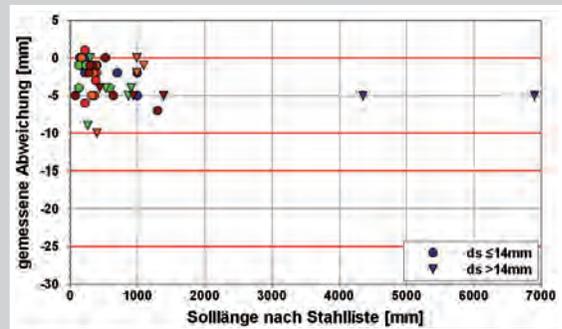
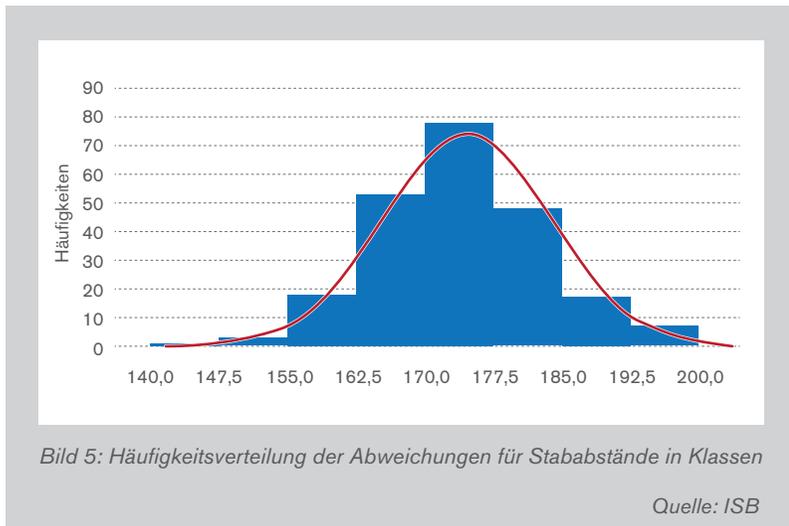


Bild 4: Längen Biegeform

Quelle: ISB



zulasten der Betondeckung bei einer vergleichsweise geringen Streuung zu beobachten, hingegen wurde bei Wänden ein Mittelwert nahe Null mit einer mehr als doppelt so hohen Standardabweichung ermittelt (s. Tabelle 1).

Daraus kann man schließen, dass bei der Ausführung von Wänden mit einer deutlich größeren Streuung zu rechnen ist als z.B. bei Stützen und Unterzügen. Diese werden dafür eher zu schmal als zu breit ausgeführt, was bei ausgenutzten Betonquerschnitten (Druckspannung) problematisch werden kann.

3.4 Weiterverarbeitung von Betonstahl nach Richtlinie Qualität der Bewehrung

Die DAfStb-Richtlinie „Qualität der Bewehrung“ [8] (RiLi QdB) spiegelt auch ohne die Aufnahme in die Liste der technischen Bau-

bestimmung den aktuellen Stand der Technik wieder. Biege- und Verlegebetriebe können sich auf Basis der RiLi QdB zertifizieren lassen und damit zeigen, dass Ihre Qualität grundsätzlich den geforderten Ansprüchen genügt. Eine Reihe von Mitgliedern des Instituts für Stahlbetonbewehrung e.V. (ISB) hat sich bereits zertifizieren lassen. Mit den für die Zertifizierung erhobenen Daten lässt sich sehr gut der aktuellen Stand der Ausführungsqualität verdeutlichen. Die Auswertung der Datenreihen zeigt, dass die in der RiLi QdB gestellten Anforderungen an die Toleranzen sehr gut mit den in der Praxis erreichten Genauigkeiten bei der Verarbeitung von Betonstahl übereinstimmen: bis auf wenige einzelne Proben lagen alle Messwerte innerhalb der Toleranzgrenzen.

Die in den Bildern 1-4 dargestell-

ten Messergebnisse zeigen, dass die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten und zum Großteil sogar deutlich unterschritten werden. Durch Auswertung der Datenreihen erhält man z.B. für das Ablängen gerader Stäbe (n=79) einen Mittelwert der Abweichung von $\overline{\Delta X} = -0,49$ mm und eine Standardabweichung von $s = 10,46$ mm, für Bügelschenkel (n= 344) einen Mittelwert der Abweichung von $\overline{\Delta X} = -1,81$ mm und eine Standardabweichung von $s = 1,88$ mm.

3.5 Einbau der Bewehrung nach DIN EN 13670 und RiLi QdB

Die Regeln für das Verlegen von Betonstahl in [3] schreiben vor, dass die Bewehrung gemäß den bautechnischen Unterlagen, also den Bewehrungsplänen, zu verlegen ist. Details zu Betondeckung, Abstand, Anordnung der Stäbe, Übergreifungen, Übergreifungslängen und Ausbildung von Bewehrungsstößen sind in den bautechnischen Unterlagen anzugeben. Die Bewehrung muss so befestigt und gesichert sein, dass ihre endgültige Lage innerhalb der in [3] vorgegebenen Toleranzen bleibt. Als nationale Anwendungsnorm zu [3] hebt [4] diese in Bild 4 Zeile b enthaltenen Toleranzen jedoch weitgehend wieder auf. Es bleibt nur die Regelung für $\Delta C_{(\text{minus})} = \Delta C_{\text{dev}}$ nach [2] enthalten. Damit sind nur grundlegende Anforderungen an die Genauigkeit der Bewehrungsführung definiert. Es fehlen jedoch baupraktische Angaben zu Toleranzen für die Ausführung der Arbeiten, zum Beispiel auch für negative Abwei-

chungen (Vergrößerung der Betondeckung = Verkleinerung der statischen Nutzhöhe).

Um die gestiegenen Ansprüche an die Qualität und Nachhaltigkeit der Stahlbetonbauweise zu berücksichtigen, hat der DAfStb die RiLi QdB erarbeitet. Sie enthält, wie auch schon für die Weiterverarbeitung, für das Verlegen von Betonstahl angemessene Qualitätsanforderungen in Ergänzung zu [3] und [4]. Dies umfasst neben Handlungsanweisungen für die Verlegearbeiten auch die Formulierung von Toleranzen für Betondeckung, Verlegeabstände, Längenmaße, Stöße und Verankerungen. Da die RiLi QdB nicht bauaufsichtlich eingeführt ist, muss ihre Anwendung mit allen Vertragspartnern zusätzlich vereinbart werden.

Im Rahmen der Zertifizierung eines Verlegebetriebes nach der Richtlinie QdB wurden die Verlegearbeiten bei einer Straßenbaustelle näher betrachtet. Es wurden in unabhängigen Messungen Werte der Stababstände, Übergreifungslängen und die Lage der Bewehrung auf über 600m Länge verteilt aufgenommen und mit den Solldaten verglichen. Die Grafik in Bild 5 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Ist-Werte (n = 225). Der Sollabstand der Stäbe lag bei 175 mm, die Messergebnisse lieferten einen Mittelwert von $\bar{X} = 174,4$ mm und eine Standardabweichung von $s = 9,1$ mm. Eine näherungsweise Normalverteilung kann angenommen werden. Damit zeigt sich, das mit einer kleiner als 5%-igen

Wahrscheinlichkeit die Werte innerhalb der Toleranzbereiche nach RiLi QdB liegen.

4. Konsistenz der Regelwerke für Planung und Ausführung

Für die Ausführung von Stahlbetontragwerken nach DIN 13670 [3] und DIN 1045-3 [4] bestehen kaum Konflikte mit der baustoffunabhängigen Norm DIN 18202 [5]. Die in [3] und [4] definierten Bauteiltoleranzen beziehen sich auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit, für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit müssen darüber hinausgehende Festlegungen entweder zwischen Vertragsparteien vereinbart werden oder es können die Anforderungen nach [5] festgelegt werden. Problematischer ist das Zusammenspiel der Planungsnorm [1]

mit den Ausführungsnormen [3] [4] und insbesondere der Toleranzanforderungen nach [5].

Wie bereits im Abschnitt 2 erläutert, wird dem Planer in [1] nur für die Bestimmung des Nennmaßes der Betondeckung eine Vorgabe zur Berücksichtigung von Ausführungstoleranzen gemacht: $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$. Das Verlegemaß c_v ist durch den Planer festzulegen und sollte mindestens so groß wie das Nennmaß sein: $c_v \geq c_{nom}$. In der Praxis wird das Verlegemaß nur selten wesentlich größer als das Nennmaß der Betondeckung festgelegt. Nach [1] darf aber dann die Ist-Lage der Bewehrung von der Soll-Lage bezogen auf die Bauteilkante nur um das Maß Δc_{dev} abweichen, ohne das die Mindestbetondeckung unterschritten und damit die Dauerhaftigkeit gefährdet wird. Dem steht die mögliche zulässige Abweichung des Quer-

Abmessung	DIN EN 1992-1-1	DIN 18202		
	[m]	Δc_{dev}	(Grundrissmaße)	(Aufrissmaße)
	Abs. 4.4.1.3	Tab 1 Zeile 1	Tab 1 Zeile 2	
0-1,00	+15 (+10*) *Nur für XC1	±10	±10	
1,00-3,00		±12	±16	
3,00-6,00		±16	±16	
6,00-15,00		±20	±20	
15,00-30,00		±24	±30	
30,00 +	±30	±30	±30	

Tabelle 2: Vergleich DIN EN 1992-1-1 zu DIN 18202

schnittes nach DIN 18202 entgegen. Verkleinert sich das Bauteil innerhalb der zulässigen Toleranz nach [5], kann ab einer bestimmten Abmessung des Bauteils (s. *Tabelle 2*) die Längenabweichung

größer als das Vorhaltemaß der Betondeckung werden. Dadurch wird die Mindestbetondeckung unterschritten. Dies ist praktisch im Beispiel 1) verdeutlicht.

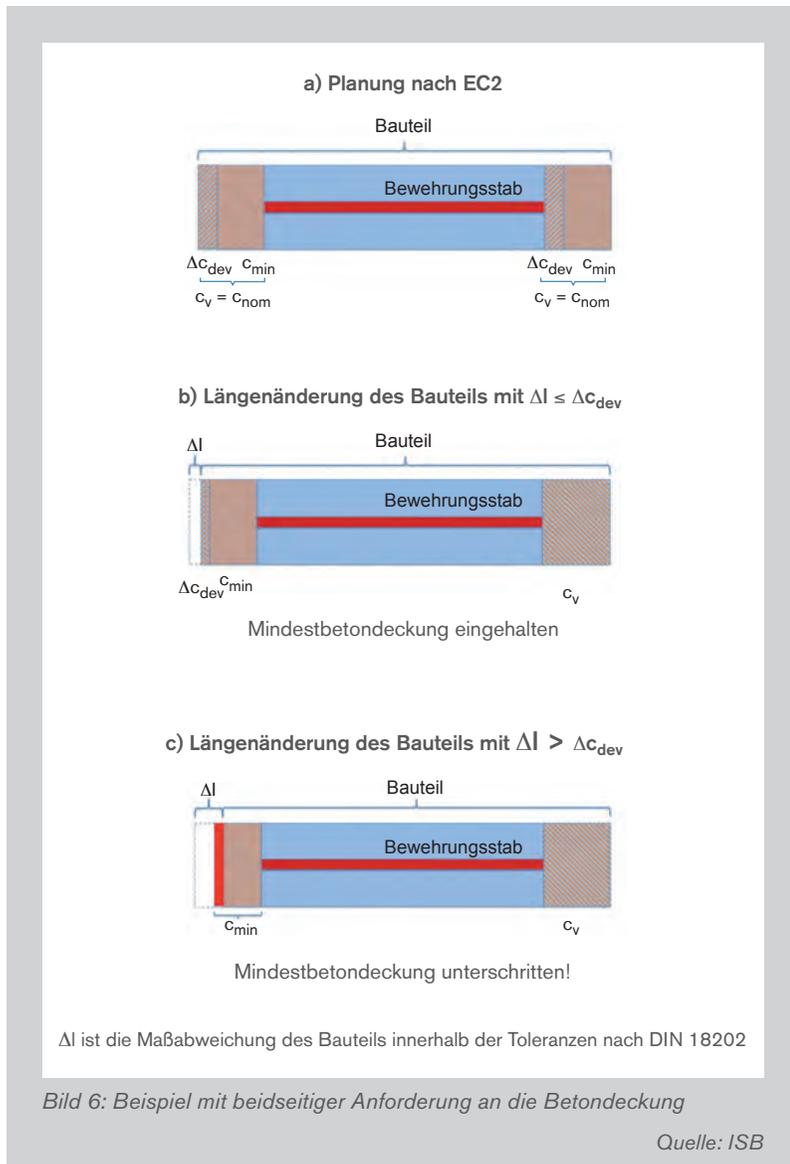
Damit ist die Konsistenz der

Regelwerke in Bezug auf die Toleranzen nicht gegeben. Es sind keine durchgängigen Vorgaben vorhanden, welche die zulässigen Abweichungen der Ausführung bereits in der Planungsphase hinreichend berücksichtigen. Das Vorhaltemaß nach [1] und [2] ist unter bestimmten Bedingungen alleine nicht ausreichend, um zulässige Abweichungen aus der Bauausführung zu kompensieren. Es sind daher weitergehende Anforderungen zu definieren, die sicherstellen dass die Ausführung mangelfrei erfolgen kann.

5. Beispiele

Anhand der nachfolgenden Beispiele werden in Musterfällen Toleranz- und Passungsprobleme praxisnah dargestellt. Im ersten Beispiel handelt es sich um die Überlagerung von Bauteiltoleranzen nach [5] mit den Anforderungen an die Betondeckung nach [1] i. V. m. [2]. Das zweite Beispiel zeigt Probleme bei der fehlenden Berücksichtigung konstruktiver Grundlagen mit üblichen Abweichungen bei der Weiterverarbeitung von Betonstahl. Wie in der Praxis eine auftretende Schiefstellung von Stützen kompensiert wird und welche Schwierigkeiten dabei auftreten, wird im dritten Beispiel aufgezeigt.

Da Abweichungen der einzelnen Gewerke jeweils in positiver wie negativer Richtung auftreten können und sich verschiedene Fälle überlagern können, ist eine Abschätzung der möglichen Auf-



tretenswahrscheinlichkeit nicht immer einfach. Daher wurde bei den nachfolgenden Beispielen 2 und 3 nur jeweils einer der Faktoren für die Ermittlung der Auftretenswahrscheinlichkeit verwendet.

5.1 Beispiel 1: Bauteil mit beidseitigen Anforderungen an die Betondeckung

Ausgehend von einem beliebigen Bauteil mit beidseitiger Anforderung an die Betondeckung kann in Bild 6a) die geplante Ausgangssituation angenommen werden: Bewehrungsstab mit Betondeckung $c_v \geq c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$.

Kommt es nun zu einer Längenabweichung des Bauteils und wird festgestellt, dass die Längenabweichung innerhalb der Toleranz nach DIN 18202 liegt, bleibt die Frage ungeklärt, ob das Bauteil konform zur Planung, also dem EC 2 ist. Denn erst durch einen Blick ins Innere des Bauteils zeigt sich, dass infolge der Unterschreitung der geplanten Bauteilabmessung um das Maß Δl auch einseitig die Mindestbetondeckung unterschritten werden kann, wenn $\Delta l > \Delta c_{dev}$ ist. Kommt zusätzlich noch eine zulässige Überlänge des Betonstahls hinzu, verschärft sich das Problem weiter.

Gerne wird an dieser Stelle argumentiert, dass auf der Baustelle durch Mitteln des Bewehrungsstabes die einseitige Unterschreitung ausgeglichen werden kann. Dabei wird jedoch nicht berücksichtigt, dass es zum einen sehr aufwändig sein kann, in einem fertigen Bewehrungskorb einen Beweh-

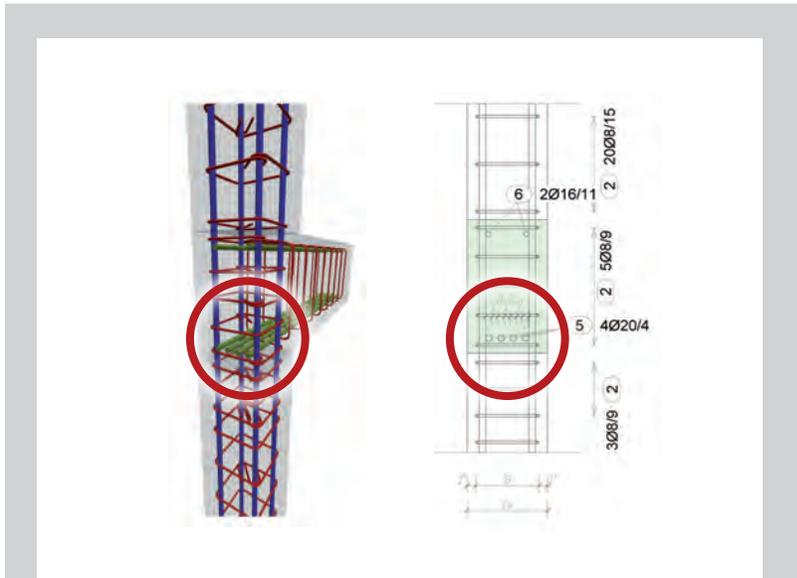


Bild 7: Beispiel Rahmenknoten

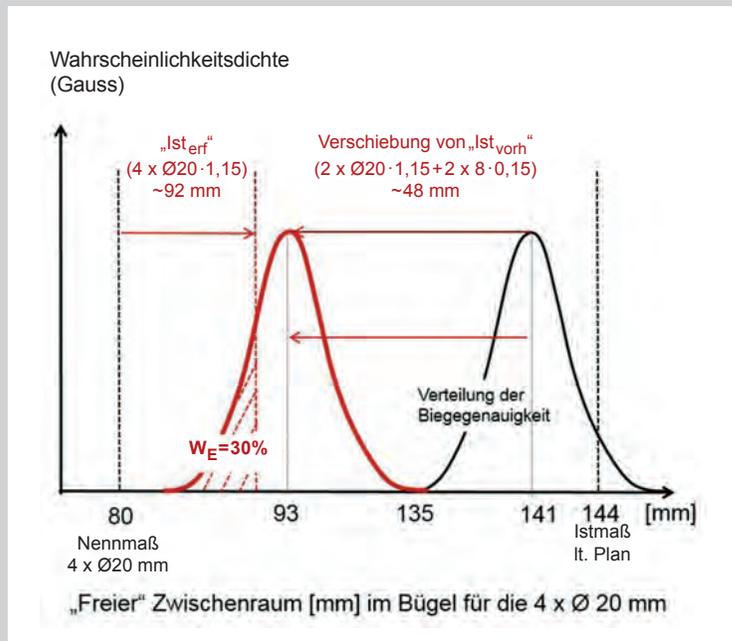


Bild 8: Statistische Auswertung des vorhandenen Raumes für die Verlegung

Quelle: ISB

rungsstab mit großem Durchmesser nachträglich zu verschieben und darüber hinaus dieser Aufwand auch keine eigentliche Leistung des Verlegebetriebes ist, da es sich ja nicht um einen durch ihn erzeugten „Fehler“ handelt.

5.2 Beispiel 2: Rahmenknoten

Dieses Beispiel behandelt einen typischen Knotenpunkt im Ortbetonbau. Es ist auf der Basis eines Beispiels aus Heft 599 entwickelt worden. Dabei bindet ein Unterzug b/h 24/45cm in eine Stütze $a/b= 24/24$ cm ein. Die Stütze ist bewehrt mit 4 \varnothing 20 mm Längsstäben und Bügeln \varnothing 8mm, die Betondeckung beträgt $c_{nom} = 25$ mm. Der Unterzug hat ebenfalls 25 mm Betondeckung und Bügel \varnothing 8 mm. Die obere Lage besteht aus 2 \varnothing 16 mm und die untere aus 4 \varnothing 20 mm. Die Bügel haben eine Breite von 160mm und damit eine lichte Weite von 144 mm; im Feldbereich des Unterzuges haben die Stäbe ausreichend Abstand untereinander. Bei der Einbindung des Unterzuges in die Stütze können jedoch Passungsprobleme auftreten.

Da Biegeformen fertigungsbedingt geringe Abweichungen haben können, jedoch nach Richtlinie QdB nicht größer werden dürfen als das Nennmaß (hier als 5% Quantil angesetzt), ist statistisch betrachtet auch der Mittelwert der lichten Weite kleiner als das Nennmaß. Er beträgt hier dann statt 144 nur 141 mm. Davon muss dann auch noch der reale Außendurchmesser der Stützenlängsstäbe sowie der Zu-

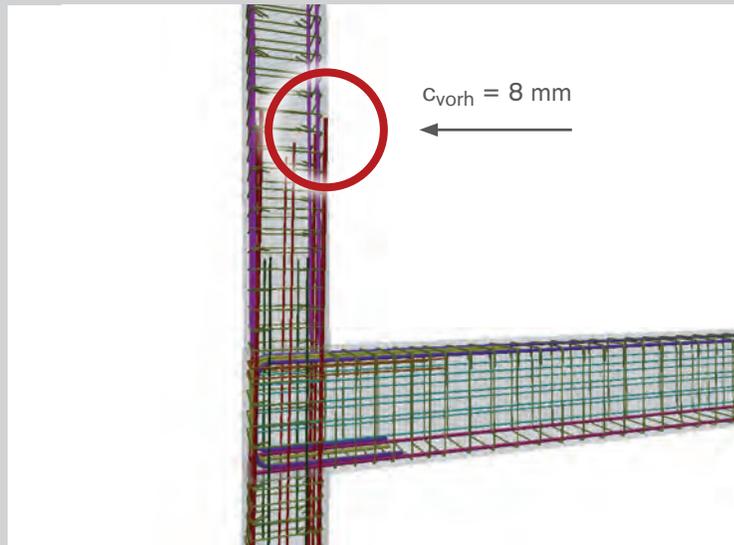


Bild 9: Beispiel 3: Rahmenknoten

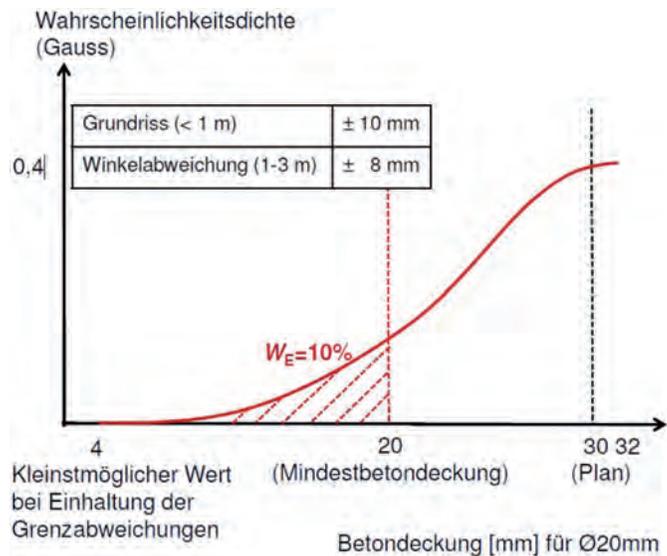


Bild 10: statistische Auswertung zu Beispiel 3

Quelle: ISB

schlag für die Rippen der Bügel (~15%) abgezogen werden. Damit schrumpft das lichte Ist-Maß als freier Zwischenraum für die Verlegung der Unterzuglängsbewehrung auf 93 mm (siehe Bild 8). Da für die Längsstäbe im Unterzug ebenfalls die realen Außendurchmesser verwendet werden müssen, verschiebt sich das erforderliche Ist-Maß für die Verlegung auf 92 mm.

Unter der einfachen Annahme einer Normalverteilung, welche hier hinreichend genau ist, stellt sich heraus, dass bereits in 30 % aller Fälle die Bewehrung des Unterzuges überhaupt nicht zwischen die Längsbewehrung der Stützen passt. Ähnliche Betrachtungen können für Knotenpunkte mit hohen Bewehrungsgraden oder geringen Abmessungen angestellt werden. Eine mögliche Querschnittsabweichung blieb bei diesem Beispiel unberücksichtigt.

5.3 Beispiel 3: Lotabweichungen bei Stützen im Knotenpunkt

Schiefstellung bei Stützen stellen in dem hier dargestellten Kontext ebenfalls eine besondere Herausforderung dar. Für Stützen bis 3,0 m Länge beträgt die zulässige Winkelabweichung als Stichmaß am Stützenkopf nach [5] 8 mm. In einem Rahmentragwerk kann eine solche (unplanmäßige) Winkelabweichung normalerweise im darüber liegenden Geschoß durch eine Schiefstellung in entgegengesetzter Richtung und innerhalb

der zulässigen Toleranzbereiche als Kompensationsmaßnahme ausgeglichen werden. Kommt es darüber hinaus zu einer Querschnittsabweichung der Stütze von $\Delta b = -10$ mm bleibt die Bauausführung immer noch innerhalb der für sie geltenden Grenzwerte nach [5].

In dem oberhalb der Arbeitsfuge liegenden Übergreifungsstoß der Längsbewehrung zeigen die zu stoßenden Bewehrungsstäbe (Stab- $\varnothing = 20$ mm, Mindestbetondeckung $c_{\min} = 20$ mm) jedoch noch in Richtung der Abweichung aus dem darunter liegenden Geschoß. Am Stabende beträgt damit dann die vorhandene Betondeckung rechnerisch nur noch $c_{\text{vorh}} = 8$ mm. Die Mindestbetondeckung nach [1] wäre deutlich unterschritten (s. Bild 9).

Das Auftreten eines solchen Falles ist statistisch betrachtet sogar sehr Wahrscheinlich: unter den oben beschriebenen Voraussetzungen liegt diese bei $w_E = 10\%$.

Das Beispiel ist ohne eine Berücksichtigung von Abweichungen bei der Bügelbewehrung erstellt. Auch der Verlauf der Längsstäbe wurde ideal geradlinig angenommen, ohne Berücksichtigung möglicher Zwängungen oder Kollision mit bzw. durch Bügelbewehrung (s. Bild 10).

6. Schlussfolgerung

Die derzeit geltenden Regelungen für Toleranzen im Stahlbe-

tonbau in Bezug auf die Bewehrung sind nicht durchgehend konsistent. Planerisch werden die zulässigen Toleranzen der Bauausführung mitunter nicht genügend berücksichtigt. Wie anhand eines Beispiels gezeigt werden konnte, ist der gegenwärtige Ansatz eines einheitlichen Vorhaltemaßes Δc_{dev} nach Eurocode2 alleine nicht ausreichend. Es ist daher eine kohärente Berücksichtigung der Toleranzen von den Planungsvorgaben bis zur Ausführung erforderlich. Durch eine bessere Abstimmung der zulässigen Grenzabweichungen in den Regelwerken könnte der Planer bereits bei der Erarbeitung des Tragwerksentwurfs die erforderlichen Toleranzen richtig berücksichtigen und in die Ausführungsunterlagen übertragen. Wünschenswert wäre ein durchgängiges Konzept, welches die wesentlichen planerischen Anforderungen mit den gängigen Ausführungstechniken in Verbindung bringt, und klare Regelungen für alle an der Bauausführung Beteiligten definiert.

Die Verantwortung für die Planung und deren Umsetzbarkeit obliegt dem planenden Ingenieur. Er verlässt sich dabei auf das vorhandene Regelwerk, da er annehmen darf, dass die anerkannten Regeln der Technik ausreichend Sicherheiten bereithalten, um die in den Normen gestellten Anforderungen (wie z.B. Mindestbetondeckung) auch zu erreichen. Wie dargestellt, ist das allerdings zum Teil mit Unsicherheiten verbunden. Der Planer sollte daher seine

Ausführungsunterlagen intensiv auf Plausibilität und Durchführbarkeit prüfen und, falls erforderlich, Passungsberechnungen anstellen. Insbesondere hoch bewehrte Bauteile, besondere Geometrien und bestimmte Bauteilarten verlangen eine kritische Auseinandersetzung. Toleranzen (z.B. aus Richtlinien wie [8] oder Normen wie [3], [4] und [5]) und konstruktive Überlegungen wie die Berücksichtigung des realen Außendurchmessers, welcher rund 15% größer ist als der in Zeichnungen verwendete Nenn-durchmesser, sind durch den Planer z.B. bei der Festlegung des Verlegemaßes c_v einzubringen und bei der Bewehrungsführung zu berücksichtigen. Da diese Faktoren neben der Dauerhaftigkeit auch Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Bemessung haben können, obliegt es ihm als sachkundigen Fachplaner, den Bauherrn diesbezüglich aufzuklären.

Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton e.V. hat bereits damit begonnen, eine Richtlinie zur Verbesserung der Betonbauqualität zu entwickeln. Sie richtet sich sowohl an die Planung, an die Baustoffhersteller als auch an die Bauausführung. Wie gezeigt, stellen auch die Toleranzen eine wesentliche Rolle für die Qualität der Bauleistung dar. Demzufolge sollte auch ein abgestimmtes Konzept für die Berücksichtigung von Toleranzen im Stahlbetonbau erstellt und ebenfalls in diese Richtlinie integriert werden. ■

Literaturverzeichnis

- [1] **DIN EN 1992-1-1:2011** Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010
- [2] **DIN EN 1992-1-1/NA: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
- [3] **DIN EN 13670:2011** Ausführung von Tragwerken aus Beton; Deutsche Fassung EN 13670:2009
- [4] **DIN 1045-3:2012** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670
- [5] **DIN 18202:2013** Toleranzen im Hochbau – Bauwerke
- [6] **VOB/C** (Ausgabe 2012) Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) Teil C, Allgemeine Technische Vertragsbestimmungen für Bauleistungen, ATV DIN 18331:2012 Betonarbeiten
- [7] **DIN EN 13369: 2013** Allgemeine Regeln für Betonfertigteile; Deutsche Fassung EN 13369:2013
- [8] **DafStb-Richtlinie Qualität der Bewehrung** – Ergänzende Festlegungen zur Weiterverarbeitung von Betonstahl und zum Einbau der Bewehrung Ausgabe Oktober 2010
- [9] Schuhbauer, A. Betonüberdeckung und Karbonatisierungstiefe; statistische Untersuchungsmethode an zwei Turmbauwerken, beton, 37. Jg, Heft 4, (1987), S. 157-160
- [10] Schuhbauer, A. Betondeckung der Bewehrung und Karbonatisierungstiefe – zur Statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse, Beton- und Stahlbetonbau 84, Heft 6, (1989), S. 141-146
- [11] **DBV-Merkblatt Betondeckung und Bewehrung** Sicherung der Betondeckung beim Entwerfen, Herstellen und Einbauen sowie der Bewehrung des Betons nach Eurocode 2, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V. (12/2015)
- [12] Günther Maaß u.a. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke, Statistische Untersuchungen von geometrischen Abweichungen an ausgeführten Stahlbetonbauteilen, Teil I: Geometrische Imperfektionen bei Stahlbetonstützen, TU München, SFB 96, Heft 11, (1976), Teil II: Meßergebnisse geometrischer Abweichungen bei Stützen, Wänden, Balken und Decken des Stahlbetonhochbaus, TU München, SFB 96, Heft 28, (1978)

IMPRESSUM

HERAUSGEBER
Institut für Stahlbetonbewehrung e.V.
Kaiserswerther Str. 137
40474 Düsseldorf

GESTALTUNG
Andrea Goerke

FOTOCREDIT
Cover + S.9: shutterstock
S. 6 Tom Jasny, Detlef Odenhausen
S. 7 Sven Junge für ISB e.V.

DRUCK
medienteam.com

Auflage: 4000 Stück

Stand: Februar 2016

MITGLIEDER DES ISB

Badische Drahtwerke GmbH | D-77694 Kehl | Tel. +49(0)7851.83-0 | www.bdw-kehl.de

Badische Stahlwerke GmbH | D-77694 Kehl | Tel. +49(0)7851.83-0 | www.bsw-kehl.de

BBS Bayerische Bewehrungsstahl GmbH | D-86424 Dinkelscherben | Tel. +49(0)8292.960-0 | www.baustahlgewebe.com

BESTA Eisen- und Stahlhandelsgesellschaft mbH | D-32312 Lübbecke | Tel. +49(0)5741.271-0 | www.baustahlgewebe.com

Drahtwerk Plochingen GmbH | D-73207 Plochingen | Tel. +49(0)7153.70 27-0 | www.baustahlgewebe.com

Filigran Trägersysteme GmbH & Co. KG | D-31633 Leese | Tel. +49(0)5761.92 25-0 | www.filigran.de

HBS Hessische Bewehrungsstahl GmbH | D-65795 Hattersheim | Tel. +49(0)6190.91 88-0 | www.baustahlgewebe.com

Lech-Stahlwerke GmbH | D-86405 Meitingen | Tel. +49(0)8271.82-0 | www.lech-stahlwerke.de

Neckar-Drahtwerke GmbH | D-69412 Ebersbach | Tel. +49(0)6271.82-0 | www.neckardraht.de

SBS Sächsische Bewehrungsstahl GmbH | D-01612 Glaubitz | Tel. +49(0)35265.51 56-0 | www.baustahlgewebe.com

Stahlwerk Annahütte | D-83404 Hammerau | Tel. +49(0)8654.487-0 | www.annahutte.com

Van Merksteijn International | NL-7602 KJ Almelo | Tel. +31(0)546.58 82 00 | www.van-merksteijn.com

Westfälische Drahtindustrie GmbH | D-24782 Büdelsdorf | Tel. +49(0)4331.34 68-0 | www.wdi.de

Westfälische Drahtindustrie GmbH | D-06420 Rothenburg/Saale | Tel. +49(0)34691.41-0 | www.wdi.de

Westfälische Drahtindustrie GmbH | D-38229 Salzgitter | Tel. +49(0)5341.88 87-0 | www.wdi.de

ATG Deutschland GmbH | D-45478 Mülheim | Tel. +49(0)208.99 95-0 | www.atg-steel.com

Baustahl-Armierungs-Gesellschaft Mannheim mbH | D-68219 Mannheim | Tel. +49(0)621.80 45-0 | www.bag-mannheim.de

bbw Betonstahl-Biegebetrieb Weißenfels GmbH & Co. KG | D-06667 Weißenfels | Tel. +49(0)3443.39 14-0 | www.bbww-weisenfels.de

Betonstahl Leipzig GmbH | D-04420 Markranstädt | Tel. +49(0)34205.94-0 | www.betonstahl-leipzig.de

Bewehrungstechnik Kritzkow GmbH | D-18299 Laage | Tel. +49(0)38454.303-10 | www.bwt-kritzkow.de

Eisen und Stahlhandel Straub GmbH | D-77839 Lichtenau | Tel. +49(0)7227.50 54 30 | www.straub-lichtenau.de

Kämpfe Stahl- und Bewehrungsbau GmbH | D-09221 Chemnitz | Tel. +49(0)371.80 000-0 | www.kaempfe.de

Kerschgens Werkstoffe & Mehr GmbH | D-52222 Stolberg | Tel. +49(0)2402.12 02-0 | www.kerschgens.de

Konrad Kleiner GmbH & Co. KG | D-87719 Mindelheim | Tel. +49(0)8261.794-0 | www.kleiner.de

Arnold Lammering GmbH & Co. KG | D-48465 Schüttorf | Tel. +49(0)5923.808-0 | www.lammering.de

OPUS Steel GmbH | D-47445 Moers | Tel. +49(0)2841.9495-230 | www.opus-steel.de

Ruhl GmbH | D-97340 Marktbreit | Tel. +49(0)9332.409-0 | www.ruhlgroupp.de

SCR Stahlcenter Riesa GmbH | D-01612 Glaubitz | Tel. +49(0)3525.72 98-0 | www.scr-gmbh.de

Willy Sieger Eisengroßhandel GmbH | D-52457 Aldenhoven | Tel. +49(0)2464.99 14-0 | www.stahlhandel-sieger.de

Sülzle Stahlpartner GmbH | D-72348 Rosenfeld | Tel. +49(0)7428.94 14-0 | www.suelzle-stahlpartner.de

Trebbiner Stahlgesellschaft mbH | D-14959 Trebbin | Tel. +49(0)33731.231-3 | www.tsg-trebbin.de

European Engineered Construction Systems Association e.V. (ECS) und seine Mitglieder:

D-40474 Düsseldorf | Tel. +49(0)211.45 64-106 | www.ecs-association.com

ERICO | NL-5015 BG Tilburg | Tel. +31(0)13.583-54 00 | www.erico.com

Max Frank GmbH & Co. KG | D-94339 Leiblfing | Tel. +49(0)9427.189-0 | www.maxfrank.de

HALFEN GmbH | D-40764 Langenfeld | Tel. +49(0)2173.970-0 | www.halfen.de

H-Bau Technik GmbH | D-79771 Klettgau | Tel. +49(0)7742.92 15-20 | www.h-bau.de

Hilti AG | FL-9494 Schaan | Feldkircherstraße 100 | Tel. +423.234.21 11 | www.hilti.com

JORDAHL | D-12057 Berlin | Tel. +49(0)30.682 83-02 | www.jordahl.de

Peikko Group Oy | FIN-15101 Lahti | Tel. +358.3.844-511 | www.peikko.com

PFEIFER Seil- und Hebeteknik GmbH | D-87700 Memmingen | Tel. +49(0)8331.937-0 | www.pfeifer.de

PHILIPP GmbH | D-63741 Aschaffenburg | Tel. +49(0)6021.40 27-0 | www.philipp-gruppe.de

Schöck Bauteile GmbH | D-76534 Baden-Baden | Tel. +49(0)7223.967-0 | www.schoeck.de

