

Toleranzen und Vorhaltemaß der Betondeckung beim Nachweis der Feuerwiderstandsdauer im Massivbau

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. KONRAD ZILCH (i. R.) zum 70. Geburtstag gewidmet

Bezüglich des konstruktiven Brandschutznachweises von Stahl- und Spannbetonbauteilen ist die Betondeckung der Bewehrung eine der entscheidendsten Einflussgrößen. Seit Längerem steht immer wieder die Frage im Raum, wie hinsichtlich dieses relevanten Parameters eine Gleichstellung zwischen Neu- und Bestandsbauten beim Nachweis der Feuerwiderstandsdauer erzielt werden kann. Während für Neubauten die Verwendung des Nennmaßes normativ eindeutig zugelassen ist, besteht im Bestand nicht selten die Notwendigkeit, den rechnerisch ansetzbaren Wert auf Basis von Betondeckungsmessungen zu definieren.

Mit dem Ziel, künftig ein vergleichbares Sicherheitsniveau zwischen neuen und bestehenden Bauwerken im Brandfall erreichen zu können, werden in diesem Beitrag sowohl Überlegungen zur Durchführung als auch zur statistischen Auswertung von Betondeckungsmessungen angestellt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die bauseitig unvermeidbaren Streuungen der Betondeckung und deren Auswirkungen auf die Feuerwiderstandsdauer verschiedener Bauteilarten gelegt. Beispiele aus der Praxis verdeutlichen die behandelte Thematik. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wird abschließend eine neue Vorgehensweise zur Festlegung der rechnerisch ansetzbaren Betondeckung für den Nachweis der Feuerwiderstandsdauer im Massivbau formuliert.

1 Einführung und Zielsetzung

Der Achsabstand der Bewehrung ist ein wesentlicher Eingangsparameter für den konstruktiven Brandschutznachweis bei Stahl- und Spannbetonbauteilen. Dies gilt unabhängig davon, ob die Feuerwiderstandsdauer unter Anwendung von Tabellenwerten oder mittels vereinfachter bzw. allgemeiner Rechenverfahren ermittelt wird. Hintergrund der Achsabstandsbetrachtung ist die wärmedämmende Funktion des Betons, die einen übermäßigen Temperaturanstieg der Bewehrung im Brandfall verhindern kann. Wird eine ausreichende Betonüberdeckung planarisch vorgesehen und auch bautechnisch umgesetzt, sind die unter Brandbeanspruchung auftretenden Tragverluste durch die reduzierten Einwirkungen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation kompensierbar.

In Deutschland wird in der Brandschutznorm DIN EN 1992-1-2 [1], Abschnitt 5 und dem entsprechenden Nationalen Anhang (NA) [2] explizit darauf hingewiesen, dass die tabellierten Mindestachsabstände von Bewehrungsstäben, -drähten oder auch -litzen als Nennmaße zu verstehen sind. Eine zusätzliche Berücksichtigung von

Concrete cover tolerances and allowance with regard to the fire resistance design of concrete structures

Regarding the fire resistance design of reinforced and prestressed concrete members the cover of reinforcement is one of the most important parameters. With reference to the chargeable concrete cover, the problem of how to ensure the same standards for new and existing buildings hasn't been solved so far. In contrast to historical buildings the use of the nominal dimension is undoubtedly normatively admitted for new constructions. However, the first-mentioned often require the interpretation of concrete cover measurements.

To guarantee a comparable safety level in future in case of fire between new and existing structures, this article deals with the realization and probabilistic assessment of the named measurements. Specific attention is given to the unavoidable statistical scattering and its effects on the fire safety of various structural member types. Practical examples visualize the treated subject. Based on the results gained from these investigations, a new approach is established to define the chargeable cover of reinforcement for the fire resistance design.

Toleranzen ist nicht erforderlich. Dieses Vorgehen wird – wie auch die entsprechende Technische VPI-Mitteilung [3] zeigt – in Fachkreisen als gerechtfertigt angesehen, da die Tabellenwerte auf der in DIN EN 1991-1-2 [4] definierten Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) basieren und diese im Vergleich zur realen Entwicklung der Gastemperatur bei Brandszenarien des üblichen Hochbaus ausreichende Sicherheitsreserven birgt. Hierdurch wird aber auch die Frage aufgeworfen, in welcher Weise die an Bestandsbauten gemessenen Betondeckungen mit dem Nennmaß c_{nom} der Betondeckung bei Neubauten in Verbindung zu bringen sind. Gerade im Bestand können zu konservativ getroffene Annahmen enorme Instandsetzungskosten für den Bauherrn nach sich ziehen. Gleichzeitig sind aber sowohl die Aussagegenauigkeit der durchgeführten Messungen als auch die unvermeidbaren Streuungen der Betondeckung in die Überlegungen mit einzu beziehen.

Mit dem Ziel, künftig eine Gleichbehandlung von Neu- und Bestandsbauten beim Nachweis der Feuerwiderstandsdauer gewährleisten zu können, wird in diesem Beitrag eine Vorgehensweise zur Festlegung der rechneri-

schen Betondeckung für den konstruktiven Brandschutz nachweis diskutiert, formuliert und angewendet. Zu Naturbrandmodellen werden gesonderte Hinweise gegeben.

2 Grundlagen zur Betondeckung im Massivbau

Der normativen Definition nach (DIN EN 1992-1-1 [5], Abschnitt 4.4.1) ist die Betondeckung bekanntlich der minimale Abstand zwischen einer Bewehrungsoberfläche und der nächstgelegenen Betonoberfläche inklusive zwischenliegender Bügel, Haken oder Oberflächenbewehrung. Über die Einhaltung eines Mindestwerts der Betondeckung kann zum einen die Übertragung von Verbundkräften zwischen den Komponenten der Verbundbaustoffe Stahlbeton und Spannbeton als auch der Korrosionsschutz und die erforderliche Feuerwiderstandsdauer der Bauteile sichergestellt werden. Für die Planung der Betondeckung sind folglich sowohl der Eurocode DIN EN 1992-1-1 [5] mit NA [6] als auch die Brandschutznormen DIN EN 1992-1-2 [1] mit NA [2] und (E) DIN 4102-4 [7] als künftige „Restnorm“ heranzuziehen. Weiterführende Erläuterungen zur Anwendung der umgangssprachlich als „Restnorm“ bezeichneten Neufassung der DIN 4102-4:1994 [8] können u. a. [9] entnommen werden.

Oftmals resultiert aus der Bauausführung eine Verringerung der planerischen Betondeckung. Gründe hierfür sind z. B. im Biegen der Bewehrung, in den eingesetzten Abstandhaltern und deren Anordnung sowie in Schalungsunebenheiten zu suchen. Darauf abzielend, das Mindestmaß c_{\min} dennoch mit ausreichender Zuverlässigkeit am gefertigten Bauteil zu gewährleisten, wird das Vorhaltemaß Δc_{dev} vorgesehen. Das Vorhaltemaß stimmt mit der in DIN EN 13670 [10] definierten zugelassenen Negativabweichung überein und erhöht das Mindestmaß c_{\min} auf das Nennmaß der Betondeckung c_{nom} .

Ausgehend von den Nennmaßen der Längsbewehrungslagen und der Bügel kann letztendlich auf das Verlegemaß c_v , auf dessen Basis die Festlegung der Abstandhalterhöhe erfolgt, rückgerechnet werden. Der Tragwerksplaner sollte dafür Sorge tragen, dass die Bewehrungspläne Angaben zum Vorhalte- und Verlegemaß enthalten. Letztgenanntes liefert die entscheidende Information über die reale Nennlage der Bewehrungsstäbe und ist im Zuge der Bemessung zum einen bei der Bestimmung der statischen Nutzhöhe als auch bei der Berechnung des Achsabstands der Längsbewehrung im Brandfall anzusetzen.

3 Betondeckungsmessungen

3.1 Allgemeines

Das Vorhaltemaß deckt, wie im Vorhergehenden erläutert, bauausführungstechnisch bedingte negative Maßabweichungen der Betondeckung ab. Darin enthalten sind jedoch nicht die Messfehler, die bei zerstörungsfreien Be-

tondeckungsmessungen an bestehenden Bauteilen auftreten können. Im Zuge von Bestandsmessungen wird damit eine hohe Genauigkeit bei der Durchführung und Auswertung erforderlich. Nachfolgend wird auf beide Aspekte näher eingegangen.

3.2 Durchführung

3.2.1 Allgemeines

Das Vorgehen zur nachträglichen Messung der Betondeckung am bestehenden Bauteil wird im Anhang zum DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ [11] beschrieben. Im Allgemeinen wird anhand von diesen Nachmessungen die Einhaltung der geforderten Mindestbetondeckung überprüft. Da das Ergebnis der Bestandsuntersuchung also letztendlich über die Bewertung der Dauerhaftigkeit und Tragfähigkeit des Bauteils/Bauwerks entscheidet, sollten die Messungen ausschließlich von entsprechend geschultem, fachkundigem Personal durchgeführt werden.

3.2.2 Messfehlerminimierung

Als häufige Fehlerquelle bei Betondeckungsmessungen ist das Übersehen von Doppelstäben oder einer mehrlagigen Bewehrungsanordnung zu nennen. In diesen Fällen kann eine Sichtung der Bestandsunterlagen – falls vorhanden – dabei helfen, kritische Bauteilbereiche schon im Vorfeld identifizieren zu können. Der Einfluss von Kreuzungspunkten vertikal zueinander verlaufender Bewehrungslagen kann hingegen meist durch die Festlegung geeigneter Messlinien ausgeschlossen werden. Hierfür muss im ersten Schritt auf jeder Messfläche (vgl. Abschn. 3.2.3) die Bewehrung, deren Betondeckung nicht erfasst werden soll, lokalisiert und ihre Lage auf der Bauteiloberfläche angezeichnet werden. Erst im Nachgang sollte die gesuchte Betondeckung zwischen den gekennzeichneten Bewehrungsverläufen je Messfläche in mindestens einer Messlinie aufgezeichnet werden. Eine grafische Darstellung dieses Vorgehens kann Bild A.1 des DBV-Merkblatts „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ [11] entnommen werden.

Neben den bereits genannten bewehrungstechnischen Einflussfaktoren ist eine Verfälschung der Messaufzeichnungen aber auch durch metallische Einbauteile, Einschlüsse (Nägel, usw.), Unterstützungskörbe oder Gesteinskörnungen möglich [11].

Besonders kritisch ist aus Sicht der Autoren die unbewusste bzw. undokumentierte Miterfassung von Putzschichten bei der Betondeckungsmessung zu sehen, da deren brandschutztechnische Wirksamkeit nicht ohne Weiteres unterstellt werden kann. Darüber hinaus kann selbst unter der Voraussetzung, dass die baustoff- und ausführungstechnischen Randbedingungen den Ansatz der Putzbekleidung ermöglichen, deren Schichtdicke nicht eins zu eins als Betonersatz betrachtet werden. Die

Tab. 1 Putze ohne Putzträger, erforderliche Putzdicke als Ersatz für Normalbeton nach E DIN 4102-4 [7]
Plasters without supporting structures, required plaster thickness as a replacement for normal weight concrete according to E DIN 4102-4 [7]

Putzart	Erforderliche Putzdicke als Ersatz für 10 mm Normalbeton	Maximal zulässige Putzdicke
Putzmörtel der Mörtelgruppe P II [12] und Gipskalkmörtel	15 mm	20 mm
Gipsmörtel und gipshaltige Mörtel	10 mm	25 mm

normativ zugelassenen Umrechnungsfaktoren für Putzdicken ohne Putzträger als Ersatz für den Achsabstand der Bewehrung bzw. für eine Querschnittsabmessung zeigt Tab. 1.

Hinsichtlich des rechnerischen Ansatzes gilt zudem, dass eine Unterschreitung des erforderlichen Achsabstands bzw. der notwendigen Querschnittsabmessungen nur durch Putzbekleidungen ausgeglichen werden kann, falls allein über die vorhandene Betondeckung eine Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten gewährleistet wird. Aus Materialsicht ist zu beachten, dass für Putze ohne Putzträger (z. B. Drahtgewebe, Rippenstreckmetall) ohne besondere Nachweise – beispielsweise in Form von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen – ausschließlich Putze der Mörtelgruppen P II oder P IV nach DIN V 18550 [12]/DIN 18550-2 [13] bzw. der Putzgruppe B nach DIN EN 13279-1 [14] zugelassen sind. Zementmörtel werden sowohl in DIN 4102-4:1994 [8] als auch in ihrem aktuellen Entwurfsstand als „Restnorm“ E DIN 4102-4 [7] in diesem Zusammenhang nicht genannt. Abplatzungen oder Ablösungen des Putzes können aber nicht ausschließlich durch die Baustoffeigenschaften an sich vermieden werden, entscheidend ist auch die Qualität des Haftgrundes. Die entsprechenden Anforderungen werden in DIN 4102-4 [7, 8] im Abschnitt „Putzbekleidungen“ definiert. Bestehen Zweifel an der Sicherstellung einer ausreichenden Untergrundhaftung des Putzes, ist die Durchführung von Haftzugversuchen vor Ort empfehlenswert.

Unabhängig von der Fehlerquellenart sind Sondieröffnungen vor Ort aus Sicht der Autoren ein unverzichtbares Mittel, um Messfehler zu erkennen und im Fall einer systematischen Beeinflussung durch äußere Faktoren eine Korrektur der Messergebnisse im Nachgang vornehmen zu können. Ist eine zuverlässige Anpassung der Werte nicht möglich, sind die fehlerbehafteten Ergebnisse in jedem Fall von der Auswertung auszuschließen.

3.2.3 Messflächen

Neben der Messfehlerbehebung bzw. -minimierung ist ein besonderes Augenmerk auf die aussagekräftige Einteilung der Bauteiloberfläche in Messflächen zu legen. Jede Mess-

fläche an sich bildet in der späteren Auswertung eine Grundgesamtheit. Von Mittelungen mit Ergebnissen anderer Messflächen, auch wenn diese demselben Bauteil angehören, sollte in jedem Fall abgesehen werden. Weitergedacht bedeutet dies, dass mit einer geschickten Messflächenunterteilung indirekt auch das Lastumlagerungsvermögen des untersuchten Bauteils erfasst werden kann. Führt man sich z. B. den Lastabtrag in einem Stahlbetonunterzug und einer -deckenplatte vor Augen, so ist es eindeutig, dass sich lokale Betondeckungsunterschreitungen kritischer auf das Tragvermögen von stabförmigen als von plattenförmigen Bauteilen mit erhöhtem Lastumlagerungsvermögen auswirken. Wird weiter beispielhaft angenommen, dass durch Fehler in der Bauausführung eine seitliche Verschiebung der Bügellage vorliegt, ist bei einer Zusammenfassung der beiden Seitenflächen und der Unterseite des Balkens zu einer Grundgesamtheit mit einer rechnerischen Überschätzung der Feuerwiderstandsdauer zu rechnen. Grund ist der Tragverlust des Eckeisens, der aus der einseitigen Verminderung des seitlichen Achsabstands resultiert und erwartungsgemäß nicht durch die geringere Erwärmung des horizontal gegenüberliegenden Eckeisens ausgeglichen werden kann. Im Gegensatz zu einer unplanmäßigen Verschiebung von Bewehrungskörben kann die Wahrscheinlichkeit einer Absenkung der Deckenlängsbewehrung über die gesamte Bauteilbreite senkrecht zur Spannrichtung als gering bewertet werden. Eine vollflächige Mittelung der Messergebnisse über die Deckenunterseite birgt in der Regel nur geringe Risiken, da ein ausreichendes Lastumlagerungsvermögen unterstellt werden kann. Darüber hinaus ist bei plattenförmigen Bauteilen mit tragwiderstandserhöhenden Effekten, wie der rechnerisch nicht berücksichtigten Membranwirkung, zu rechnen.

Korrespondierend zu diesen Überlegungen wird im DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ [11] die Unterscheidung der folgenden Messflächen gefordert:

- jede Seitenfläche von Wänden
- die Deckenoberseite
- die Deckenunterseite
- jede Seitenfläche von eckigen Stützen
- jede Stegseitenfläche von Balken
- die Balkenunterseite
- ggf. die Balkenoberseite

Bei Bedarf kann durch Einführung zusätzlicher Messflächen, wie z. B. in hochausgenutzten Bauteilbereichen, die Aussagegenauigkeit der Ergebnisse selbstverständlich individuell erhöht werden.

3.2.4 Messpunkanzahl

Der erforderliche Mindestwert der Messpunkanzahl je Messfläche steht eng in Zusammenhang mit dem statistischen Verfahren, das zur Auswertung und Beurteilung der vorhandenen Betondeckung gewählt wird (vgl. Ab-

schn. 3.3). Grundsätzlich gilt, dass eine möglichst flächendeckende Untersuchung der einzelnen Messflächen angestrebt werden sollte und bei einer Unterschreitung der Mindestanzahl ausschließlich der gemessene Kleinstwert je Messfläche zu betrachten ist.

3.3 Auswertung und probabilistische Hintergründe

3.3.1 Einführung

Im DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ [11] wird sowohl ein qualitativer als auch ein quantitativer Nachweis der Betondeckung beschrieben. Im Gegensatz zu einer reinen Überprüfung der Ausführungsqualität soll in diesem Beitrag eine Möglichkeit zur Gleichstellung von Neu- und Bestandsbauten im konstruktiven Brandschutznachweis erarbeitet werden. Dafür ist, wie unter Abschn. 1 erläutert, eine Verknüpfung des Nennmaßes c_{nom} der Betondeckung bei neuen mit der gemessenen Betondeckung bei bestehenden Bauteilen erforderlich. Hieraus wird ersichtlich, dass ohne die Einbeziehung der statistischen Messwertverteilung bzw. der unvermeidbaren Betondeckungsstreuungen das angestrebte einheitliche Sicherheitsniveau nicht erreichbar ist. Da der qualitative Nachweis ausschließlich eine „Gut-Schlecht-Prüfung“ darstellt, ist eine Analyse der Messwerte auf Basis einer Dichtefunktion bei diesem Verfahren nicht möglich. Aufgrund dessen werden die weiteren Überlegungen in Anlehnung an den quantitativen Nachweis angestellt.

In die Fassung des DBV-Merkblatts „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ von Juli 2002 hat erstmals eine quantitative Auswertungsform für Betondeckungsmessungen Eingang gefunden, die auf der NEVILLE-Verteilung beruht. Der Stichprobenumfang muss bei diesem Nachweisverfahren je Messfläche mindestens 20 Messdaten umfassen. Messwerte, die den oberen Grenzwert x_{OG} nach Gl. (1) übersteigen, sind von der Auswertung auszuschließen. Der Parameter x_M beschreibt in dieser Grenzwertdefinition den Median der Messreihe und x_{min} den aufgezeichneten Minimalwert der Betondeckung. Die Aussonderung sehr großer Messwerte zielt auf eine verbesserte Anpassung zwischen den Eigenschaften der theoretischen Grundgesamtheit und der Stichprobe im Bereich betragsmäßig kleinerer Messwerte ab. Eben diese Kleinwerte sind in der Regel für den Dauerhaftigkeits- und Tragfähigkeitsnachweis entscheidend.

$$x_{OG} = 2,5 \cdot x_M - 1,5 \cdot x_{min} \quad (1)$$

3.3.2 NEVILLE-Verteilung

Obwohl im Bauwesen häufig Größen beobachtet werden können, die annähernd der symmetrischen Normalverteilung entsprechen, ist die abweichende Anwendung der NEVILLE-Verteilung im Rahmen von Betondeckungsauswertungen durchaus nachvollziehbar. Ein wesentlicher Vorteil der NEVILLE-Verteilung ergibt sich aus der Tat-

sache, dass sie keinerlei Negativwerte beinhaltet, deren Auftreten in der Realität offensichtlich ausgeschlossen werden kann (negative Betondeckung nicht möglich). Ein weiterer Aspekt ist ihr unsymmetrischer, rechtsschiefer Kurvenverlauf, der dazu geeignet ist, den unterschiedlichen stochastischen Charakter von Positiv- und Negativabweichungen der Betondeckung (einseitige Anordnung der Abstandhalter) mit guter Approximation zu erfassen. Ihre Eignung konnte von BRAMESHUBER et al. [15] mittels einer Variantenstudie belegt werden.

Zur Beschreibung der NEVILLE-Verteilung sind der Lageparameter r (Median der Messreihe bei strenger NEVILLE-Verteilung), der Formparameter k (definiert die Höhe und Schlankheit der Dichtefunktion) sowie τ zur Bestimmung der Nullpunktlage der Dichtefunktion erforderlich. Ihre Dichtefunktion ergibt sich nach Gl. (2) und ihre Verteilungsfunktion nach Gl. (3), wobei gilt: $p(x) = \frac{x - \tau}{r}$. Die

beiden mathematischen Funktionen besitzen Gültigkeit für $\tau \leq x \leq \infty$ mit $k > 0$ und $\tau \geq 0$.

Dichtefunktion der NEVILLE-Verteilung:

$$f(x) = \frac{k}{r} \cdot \frac{p(x)^{k-1}}{[1 + p(x)^k]^2} \quad (2)$$

Verteilungsfunktion der NEVILLE-Verteilung:

$$F_x(x) = \frac{p(x)^k}{1 + p(x)^k} \quad (3)$$

3.3.3 NEVILLE-Näherungsverfahren

Auf Basis der NEVILLE-Verteilung wurde von BRAMESHUBER et al. [15] ein Näherungsverfahren zur Analyse von Betondeckungsmessungen entwickelt, das mit gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen umgesetzt werden kann.

Eben dieses Verfahren wird als quantitativer Nachweis im aktuellen DBV-Merkblatt „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ [11] geführt. Einen Auszug der zugehörigen Formeln beinhaltet Tab. 2. Der Nachweis, dass eine ausreichende Betonüberdeckung am fertigen Bauteil ausführungstechnisch erzielt werden konnte, wird bei diesem Verfahren über Quantilwerte geführt. Der Nachweis gelingt für trockene oder ständig nasse Bauteile der Expositionsklasse XC1, falls der erforderliche Mindestwert der Betondeckung c_{min} maximal von 10 % der Messdaten unterschritten wird. Nach dem heutigen Stand der Technik kann die Einhaltung von c_{min} als 10 %-Quantil durch ein Vorhaltemaß Δc_{dev} von 10 mm realisiert werden. Liegen kritischer einzustufende Umgebungsbedingungen vor, wie sie die Expositionsklassen XC2 bis XC4, XD1 bis XD3 und XS1 bis XS3 definieren, werden gesteigerte Anforderungen an den Korrosionsschutz der Bewehrung gestellt. In diesen Fällen wird im aktuell gültigen Sicherheitskonzept der Eurocodes für Stahl- und Spannbetonbauteile eine Erhöhung des Vorhaltemaßes Δc_{dev} auf

Tab. 2 Quantitativer Betondeckungsnachweis gemäß [11]
Quantitative verification of the concrete cover according to [11]

Median	bei ungerader Werteanzahl n: $x_M = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)}$ bei gerader Werteanzahl n: $x_M = \frac{1}{2} \cdot \left[x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right]$
Mittelwert	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$
Standardabweichung	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \left(\sum x_i \right)^2 \right]}$
Lageparameter	$r = \frac{\bar{x} + x_M}{2}$
Formparameter	$k = 1,8 \cdot \frac{r}{s}$
5 %-Quantil	$c(5\%) = \frac{r}{19^{1/k}}$
10 %-Quantil	$c(10\%) = \frac{r}{9^{1/k}}$
Nachweis Betondeckung	für XC1 erfüllt, wenn $c_{\min} \leq c(10\%)$ für XC2-4, XD1-3, XS1-3 erfüllt, wenn $c_{\min} \leq c(5\%)$

15 mm vorgesehen. Im Rahmen des quantitativen Nachweises muss für diese Bauteile die Einhaltung von c_{\min} als 5 %-Quantil belegt werden. Greift hingegen das Verbund-sicherungskriterium im Zuge der Mindestbetondeckungsfestlegung, kann unabhängig von der Expositions-klasse das Vorhaltemaß auf 10 mm festgelegt werden.

3.3.4 Betondeckungsstreuungen

In Fachkreisen steht immer wieder zur Diskussion, sich die Grundlagen des quantitativen Nachweises auch für die Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer von Bestandsbauten zunutze zu machen. Derzeit steht die Idee im Raum, den real gemessenen Wert der Mindestbetondeckung c_{\min} aus der im vorhergegangenen Abschnitt des Beitrags erläuterten Quantilwertbetrachtung zu ermitteln und diesen anschließend pauschal mit einem Zuschlag entsprechend dem korrespondierenden Vorhaltemaß Δc_{dev} zu versehen. Weiter wird postuliert, dass als Ergebnis der beiden Rechenschritte das Nennmaß der Betondeckung c_{nom} , vergleichbar zu Neubauten, vorliegt. Auf Grundlage dieser Eingangsgröße soll abschließend der Achsabstand der Bewehrung ermittelt werden.

Der Herleitung der normativen Vorhaltemaße $\Delta c_{\text{dev}} = 10$ mm bzw. 15 mm liegt die Annahme zugrunde, dass die Betondeckung eine symmetrisch normalverteilte Größe darstellt, deren Standardabweichung s unter herkömmlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen 8 mm beträgt [16].

Tab. 3 Normative Betondeckungsmaße zur Korrosionsschutzsicherung
Normative concrete cover dimensions for the purpose of corrosion protection

Bauteilumgebung	Mindestmaß c_{\min}	Vorhaltemaß Δc_{dev}
trocken oder ständig nass	10 %-Quantil	$1,28 \times 8,0 \approx 10$ mm
sonstige	5 %-Quantil	$1,65 \times 8,0 \approx 15$ mm

Der Zusammenhang zwischen dem Mittelwert \bar{c} und den beiden relevanten Quantilen ergibt sich damit aus Gln. (4) und (5). In Verbindung mit Tab. 3 wird deutlich, dass durch die Erhöhung des Mindestwerts c_{\min} um das Vorhaltemaß Δc_{dev} der Mittelwert \bar{c} mit dem Nennmaß der Betondeckung c_{nom} gleichgesetzt wird. Diese Erkenntnis ist entscheidend, um künftig ein vergleichbares Sicherheitsniveau zwischen Neu- und Bestandsbauten im konstruktiven Brandschutznachweis gewährleisten zu können.

$$c(5\%) = \bar{c} - 1,28 \cdot s \quad (4)$$

$$c(10\%) = \bar{c} - 1,65 \cdot s \quad (5)$$

Der aktuelle Vorschlag zur Achsabstandsbestimmung klammert allerdings die Tatsache aus, dass die Betondeckung bei einzelnen Bauteilen, Bau- oder Betonierabschnitten bzw. innerhalb von Messflächen durchaus auch nur sehr geringfügig streuen kann [17]. In diesen Fällen müssen nach Auffassung der Autoren die in Form des Vorhaltemaßes Δc_{dev} betragsmäßig allgemein angenommenen Streuungen begrenzt werden. Dies trifft umso mehr zu, je geringer der vorhandene Achsabstand der Längsbewehrung ausfällt. Wird hier die Betondeckung rechnerisch überschätzt, kann es aufgrund des engen Isothermenverlaufs in den Querschnittsrandbereichen schnell zu einer erheblichen Unterschätzung der Stahltemperatur kommen. Kritisch zu betrachten sind in diesem Zusammenhang insbesondere Altbauten, die meist planerische Betondeckungsmaße von lediglich 10 mm aufweisen. Des Weiteren können auch bei neueren Bauwerken Qualitätsmängel in der Bauausführung (z. B. Verschiebung des Bewehrungskorbs) zu einer wesentlichen Unterschreitung der planmäßigen Betondeckung am fertigen Bauteil führen. Unabhängig davon, ob kleine Betondeckungen Ausführungsfehlern oder veralteten Normenvorschriften geschuldet sind, ist in diesen Fällen ein besonderes Augenmerk auf die Beschränkung der unterstellten Betondeckungsstreuungen zu legen. Anderenfalls wird eine erhebliche rechnerische Überschätzung der vorhandenen Feuerwiderstandsdauer in Kauf genommen. Die in Abschn. 4 vorgenommene Analyse von Praxisbeispielen bekräftigt diese Aussage.

4 Beispiele aus der Praxis

4.1 Allgemeines

Nachfolgend werden Betondeckungsmessungen von zwei verschiedenen Bauvorhaben unter Berücksichtigung des

DBV-Merkblatts „Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2“ [11] ausgewertet. Ziel ist, eine Vorgehensweise zur Festlegung der rechnerischen Betondeckung für den konstruktiven Brandschutznachweis von Bestandsbauteilen zu erarbeiten. Um eine möglichst bauteiltyp-unabhängige Lösung zu gewinnen, wird sowohl ein stabiles als auch ein plattenförmiges Bauteil untersucht. Darüber hinaus wurden bewusst Messreihen ausgewählt, die von unabhängigen Firmen mit unterschiedlicher Messtechnik durchgeführt wurden. Es wird darauf hingewiesen, dass sich die im Weiteren getroffenen Aussagen ausschließlich auf den Tragfähigkeitsnachweis im Brandfall beziehen. Dauerhaftigkeits- und Verbundsicherungsaspekte werden nicht behandelt.

4.2 Stahlbetonstütze

An einer Stahlbetonstütze mit einem Durchmesser von $d = 70$ cm und einer erforderlichen Feuerwiderstandsdauer von 90 min wurden im Vorfeld zu einer Instandsetzungsmaßnahme Betondeckungsmessungen durchgeführt. Die planmäßige Betondeckung der Wendelbewehrung ($d_{\text{Wendel}} = 10$ mm) wird mit einem Wert von 30 mm in den Bestandsunterlagen angegeben. Die Längsbewehrung der Stütze setzt sich aus 32 Betonstahlstäben mit einem Durchmesser von je 26 mm zusammen. Die Wendelbetondeckung wurde je Stützensseite entlang einer vertikal verlaufenden Messlinie (ML) aufgezeichnet (Bild 1). Die Messpunkte kommen annähernd gleichmäßig über die Stützhöhe verteilt zum Liegen.

Messlinie 1: Datenreihe mit $n = 32$ Messpunkten

Messwerte x_i [mm]:

24, 22, 21, 19, 18, 18, 18, 19, 17, 14, 3, 3, 3, 5, 4, 1, 15, 17, 11, 6, 11, 10, 11, 13, 10, 16, 15, 13, 15, 14, 12, 14

Mittelwert (ohne Aussonderung von $x_i > x_{\text{OG}}$):

$$\bar{c}_{\text{ML1}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{32} x_i = \frac{1}{32} \cdot 412 = 13 \text{ mm}$$

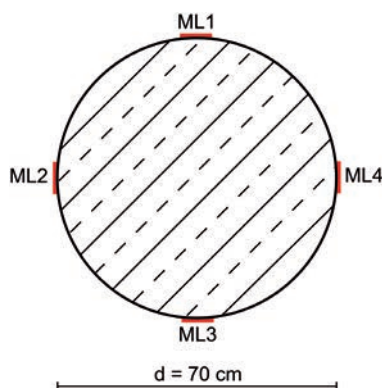


Bild 1 Messlinienlage in der Stützensaufricht
Measurement lines marked in the top view of the column

Messlinie 2: Datenreihe mit $n = 17$ Messpunkten

Messwerte x_i [mm]:

54, 56, 54, 43, 42, 39, 33, 41, 40, 38, 37, 37, 35, 33, 35, 35, 32

Mittelwert (ohne Aussonderung von $x_i > x_{\text{OG}}$):

$$\bar{c}_{\text{ML2}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{17} x_i = \frac{1}{17} \cdot 684 = 40 \text{ mm}$$

Messlinie 3: Datenreihe mit $n = 20$ Messpunkten

Messwerte x_i [mm]:

44, 44, 43, 40, 37, 37, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 36, 34, 33, 33, 33, 32, 32, 31

Mittelwert (ohne Aussonderung von $x_i > x_{\text{OG}}$):

$$\bar{c}_{\text{ML3}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{20} x_i = \frac{1}{20} \cdot 725 = 36 \text{ mm}$$

Messlinie 4: Datenreihe mit $n = 31$ Messpunkten

Messwerte x_i [mm]:

19, 14, 14, 14, 14, 14, 10, 13, 7, 11, 10, 5, 5, 5, 5, 5, 3, 5, 5, 5, 5, 6, 5, 5, 5, 5, 7, 6, 7, 7, 8

Mittelwert (ohne Aussonderung von $x_i > x_{\text{OG}}$):

$$\bar{c}_{\text{ML4}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{31} x_i = \frac{1}{31} \cdot 242 = 8 \text{ mm}$$

Werden die Mittelwerte \bar{c}_{ML1} bis \bar{c}_{ML4} der vier Betondeckungsmesslinien einander gegenübergestellt, sind erhebliche Abweichungen erkennbar. Die starke Abhängigkeit der erreichten Betondeckung von der Lage der Messlinie lässt auf eine Verschiebung des Bewehrungskorbs beim Einbau oder der Betonage hin zu ML1 und ML4 schließen. Wie unter 3.2.3 beschrieben wurde, ist jede Seitenfläche von Stützen als Grundgesamtheit zu betrachten. Dementsprechend werden die Messdaten im Nachfolgenden für jede Messlinie separat ausgewertet. Zu beachten ist, dass bei ML2 die geforderte Mindestanzahl der Messwerte von $n = 20$ unterschritten ist. Die Mindestbetondeckung c_{min} wird in diesem Fall mit dem Minimalwert der Messreihe gleichgesetzt. Messdaten, die den oberen Grenzwert (OG) nach Gl. (1) übersteigen, fließen nicht in die nachfolgenden Auswertungen ein. Die Ergebnisse der statistischen Messreihenanalyse werden in den Bildern 2 bis 5 veranschaulicht. Hieraus können neben der Häufigkeitsverteilung (Histogramm) und dem Verlauf der angenäherten NEVILLE-Dichtefunktion auch die Quantilwerte (5% und 10%) und der arithmetische Mittelwert entnommen werden.

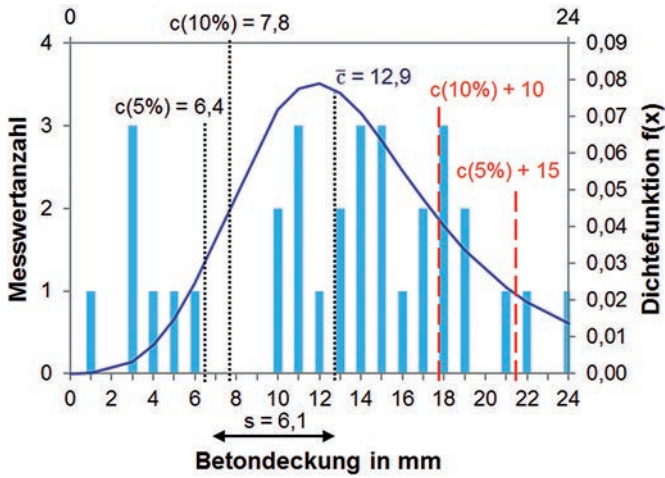


Bild 2 Stützmesslinie 1, Histogramm und angenäherte statistische Auswertung nach [11]
Column measurement line 1, histogram and approximated probabilistic assessment according to [11]

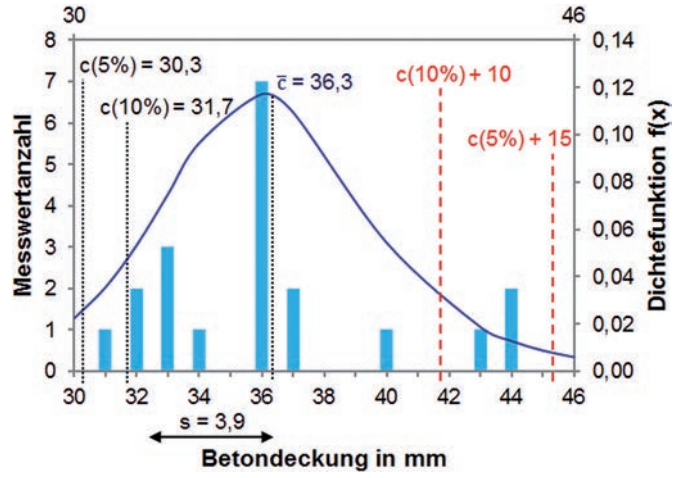


Bild 4 Stützmesslinie 3, Histogramm und angenäherte statistische Auswertung nach [11]
Column measurement line 3, histogram and approximated probabilistic assessment according to [11]

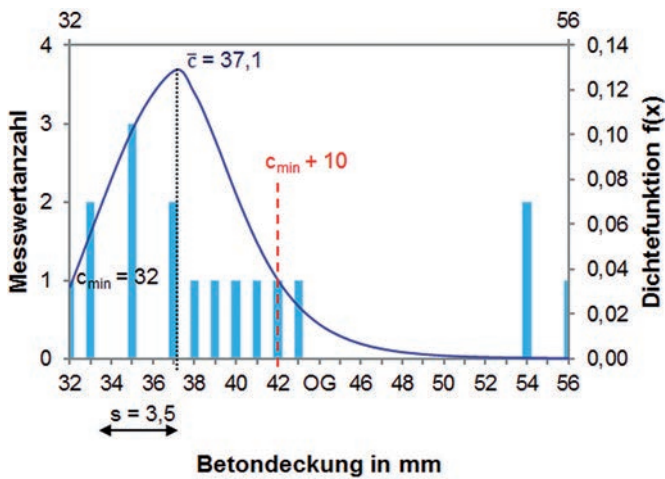


Bild 3 Stützmesslinie 2, Histogramm und angenäherte statistische Auswertung nach [11]
Column measurement line 2, histogram and approximated probabilistic assessment according to [11]

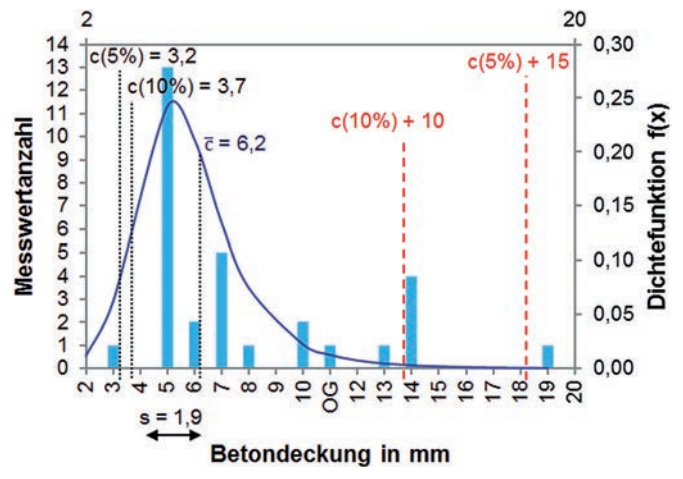


Bild 5 Stützmesslinie 4, Histogramm und angenäherte statistische Auswertung nach [11]
Column measurement line 4, histogram and approximated probabilistic assessment according to [11]

Die ergänzend eingefügten roten Linien kennzeichnen die Betondeckung, die sich bei Beaufschlagung des 5%-Quantils $c(5\%)$ mit dem zugehörigen Vorhaltemaß $\Delta c_{dev} = 15$ mm bzw. des 10%-Quantils $c(10\%)$ mit $\Delta c_{dev} = 10$ mm ergibt. Bei allen vier Messlinien führt die Erhöhung der Quantile zu einer Überschreitung des Mittelwerts \bar{c} um rund 5 mm bis 12 mm. Ein Ansatz dieser Werte als rechnerische Betondeckung für den konstruktiven Brandschutznachweis, entsprechend c_{nom} bei Neubauten, ist damit nicht gerechtfertigt. Wie bereits unter 3.3.4 erläutert wurde, ist gerade im Fall geringer Betondeckungen bei Überschätzung der dämmenden Betonschichtdicke mit einer erheblichen Unterschätzung der Betonstahltemperatur (enger Isothermenverlauf in den Querschnittsrandbereichen) zu rechnen.

Ein Vergleich der in Bild 6 und Bild 7 dargestellten thermischen Stützenquerschnittsanalysen macht diese Konsequenz deutlich. Obwohl in Bild 7 mit dem hier ungünstigeren 10%-Quantil gerechnet wurde, führt die Festlegung

der rechnerischen Betondeckung c_{cal} auf Basis eines erhöhten Quantilwerts gegenüber dem Ansatz des Betondeckungsmittelwerts zu einer Unterschätzung der Längsbewehrungstemperatur von bis zu 100 °C. Für die betroffenen Längsstäbe zieht dies, bezugnehmend auf die temperaturabhängigen Reduktionsfaktoren $k_s(\theta)$ in Tabelle 3.2a, Spalte 3 von DIN EN 1992-1-2 [1], eine Festigkeitsüberschätzung von 68% nach sich

$$\rightarrow 1 - [k_s(500^\circ\text{C})/k_s(600^\circ\text{C})] = 1 - 0,67/0,40 = 0,68.$$

Bei Tragfähigkeitsüberschätzungen dieser Größenordnung ist die Festlegung der rechnerischen Betondeckung c_{cal} auf Grundlage von Quantilwerten und eines betragsmäßig allgemeingültig gehaltenen Zuschlags sicherlich zu hinterfragen. Abhilfe schafft hier die Beschränkung auf den real gemessenen Betondeckungsmittelwert. Durch diese Annahme werden die der ETK zugesprochenen Sicherheitsreserven limitiert und gleichzeitig die Realität genauer sowie für den Anwender nachvollziehbarer abge-

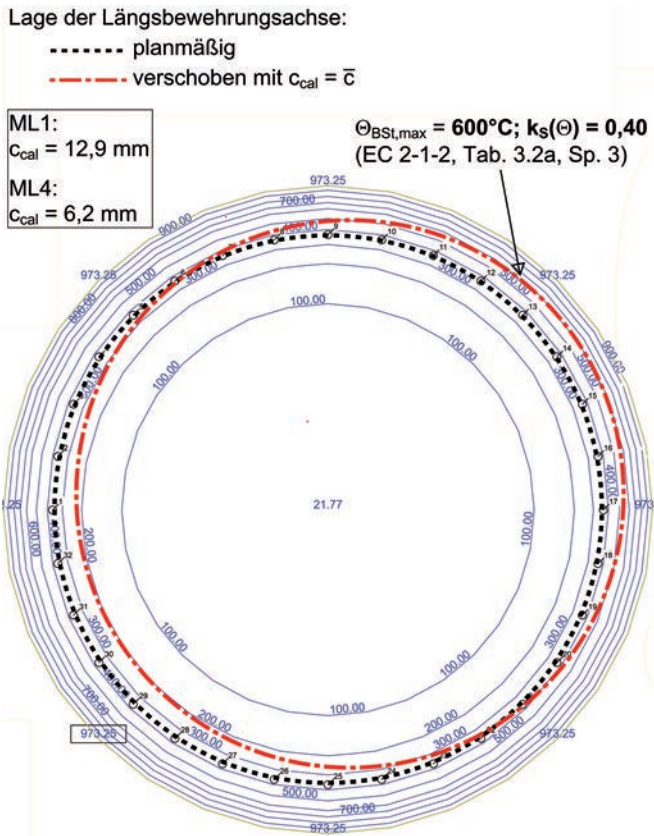


Bild 6 Temperatur der Stützenlängsbewehrung nach 90-minütiger Brandbeanspruchung (ETK) unter Ansatz des Betondeckungsmittelwerts
 Temperature of the column longitudinal reinforcement after 90 min fire exposure (ETK) taking the mean value of the concrete cover into account

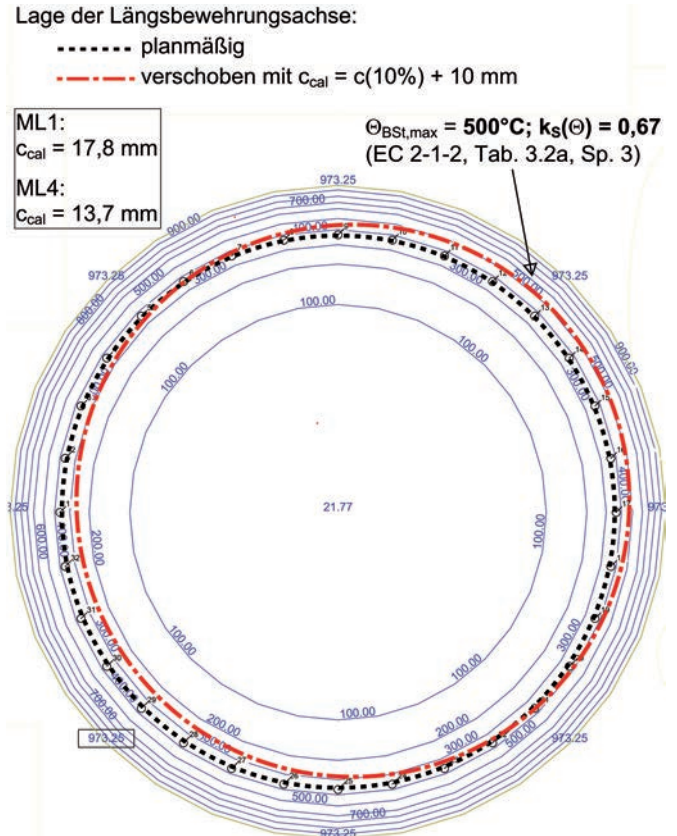


Bild 7 Temperatur der Stützenlängsbewehrung nach 90-minütiger Brandbeanspruchung (ETK) unter Ansatz des erhöhten 10%-Quantilwerts
 → $c(10\%) + 10 \text{ mm}$
 Temperature of the column longitudinal reinforcement after 90 min fire exposure (ETK) taking the heightened 10th percentile into account
 → $c(10\%) + 10 \text{ mm}$

bildet. Das Ziel, einen abgesicherten Bezug zum Nennmaß c_{nom} bei Neubauten herzustellen, wird ebenso erreicht (vgl. Abschn. 3.3.4).

4.3 Stahlbetontreppenlauf

Das zweite Projektbeispiel behandelt einen einachsigen gespannten, statisch bestimmt gelagerten Stahlbetontreppenlauf mit einer Plattendicke von 14 cm und einer Breite von ca. 140 cm, dessen Feuerwiderstandsdauer infolge einer Nutzungsänderung des Gebäudes zu überprüfen war. Gefordert wurde die Feuerwiderstandsklasse R 90. Um eine abgesicherte Basis für den rechnerischen Nachweis zu schaffen, wurden Betondeckungsmessungen an der Plattenunterseite mittels fünf Messlinien annähernd flächendeckend durchgeführt. Als Ergebnis dieser Untersuchung liegen die folgenden, bereits der Größe nach sortierten Betondeckungen der tragenden Längsbewehrung ($\varnothing 10 \text{ mm}/8 \text{ cm}$) vor.

Messlinie 1 bis 5: Datenreihe mit $n = 63$ Messpunkten

Messwerte x_i [mm]:

8 (4x), 9 (7x), 10 (3x), 11 (2x), 12 (8x), 13 (4x), 14 (9x), 15 (3x), 16 (4x), 17 (4x), 18 (4x), 19 (3x), 20 (3x), 21 (4x), 22 (1x)

Die grafische Darstellung der statistischen Werte in Bild 8 zeigt, gegenübergestellt mit der unter Abschn. 4.2 betrachteten Stahlbetonstütze, ähnliche Resultate auf. Auch im Fall des plattenförmigen Treppenlaufs werden die Betondeckungstreuungen durch die auf 10 mm bzw. 15 mm betragsmäßig fixierten Vorhaltemaße überschätzt. Hieraus ergibt sich letztendlich wieder die Situation, dass

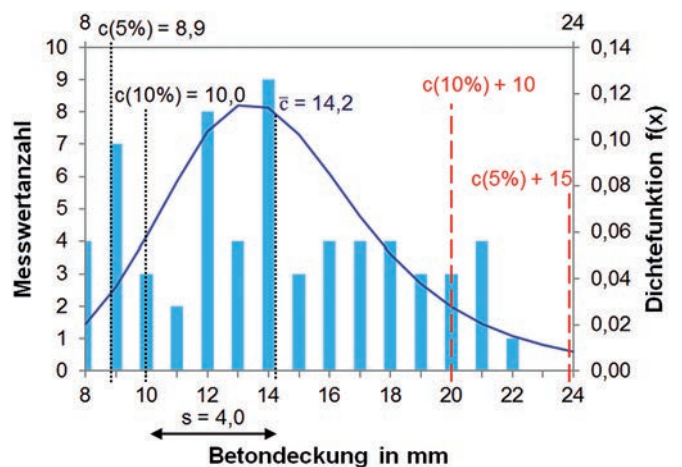


Bild 8 Treppenlaufmesslinie 1 bis 5, Histogramm und angenäherte statistische Auswertung nach [11]
 Flight of stairs measurement line 1 to 5, histogram and approximated probabilistic assessment according to [11]

sich die beaufschlagten Quantilwerte oberhalb des Mittelwerts der Betondeckung ansiedeln. In welchem Maße sich die überschätzte Betonüberdeckung der Längsbewehrung auf die rechnerische Bauteiltragfähigkeit auswirkt, soll nachfolgend untersucht werden.

Für den konstruktiven Brandschutznachweis von Stahlbetonplatten auf Basis der ETK bietet DIN EN 1992-1-2 [1] die Möglichkeit, auf eine eigenhändig durchgeführte Isothermenbestimmung, auch außerhalb des rein tabellarischen Nachweises, zu verzichten. Stattdessen kann die Stahltemperatur für Standardbetonbauteile mithilfe der Bilder in Anhang A der Norm ermittelt werden. Im Fall des zu bewertenden Stahlbetontreppenlaufs bietet sich die Anwendung von Bild A.2 mit einer Gültigkeit für einseitig beflammete Bauteile zwischen R 30 und R 240 an. Die beiden folgenden Achsabstände der Längsbewehrung werden als Eingangswert für die x-Achse des Diagramms (Bild 9) herangezogen:

Achsabstand a mit $c_{cal} = \bar{c}$:

$$a_{\bar{c}} = \bar{c} + d_{längs}/2 = 14,2 + 10/2 \approx \underline{19 \text{ mm}}$$

Achsabstand a mit $c_{cal} = c(10\%) + 10 \text{ mm}$:

$$a_{10\%+10} = c(10\%) + 10 \text{ mm} + d_{längs}/2 = 20 + 10/2 = \underline{25 \text{ mm}}$$

Aus Bild 9 wird abgelesen, dass der Ansatz des erhöhten Achsabstands $a_{10\%+10}$ gegenüber $a_{\bar{c}}$ zu einem rechnerischen Abfall der Stahltemperatur von 625°C auf 550°C führt. Zur weiteren Abschätzung der temperaturabhängigen Bauteiltragfähigkeit werden die Reduktionsfaktoren $k_s(\theta)$ aus Tabelle 3.2a, Spalte 3 von DIN EN 1992-1-2 [1] herangezogen. Hieraus ergibt sich für die Stahlbetontreppe ein Tragfähigkeitsunterschied von 64 %

$$\rightarrow 1 - [k_s(550^\circ\text{C})/k_s(625^\circ\text{C})] = 1 - 0,54/0,33 = 0,64.$$

Auch das zweite Praxisbeispiel macht offensichtlich, dass das Ergebnis des konstruktiven Brandschutznachweises sensibel auf Achsabstandsüberschätzungen reagiert und die theoretisch angenommenen Betondeckungstreuungen künftig begrenzt werden müssen.

5 Rechnerische Betondeckung im Brandfall

Auf Grundlage der vorangegangenen Kapitelinhalte und in Anlehnung an [3] wird folgendes Vorgehen zur Festlegung der rechnerisch ansetzbaren Betondeckung für den Nachweis der Feuerwiderstandsdauer im Massivbau von den Autoren vorgeschlagen:

Wenn die Nachweise der Feuerwiderstandsdauer auf Basis der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) geführt werden, so ist es wegen der darin enthaltenen Sicherheitsreserven weiterhin vertretbar, den Achsabstand a der Längsbewehrung ausgehend vom Nennmaß c_{nom} zu be-

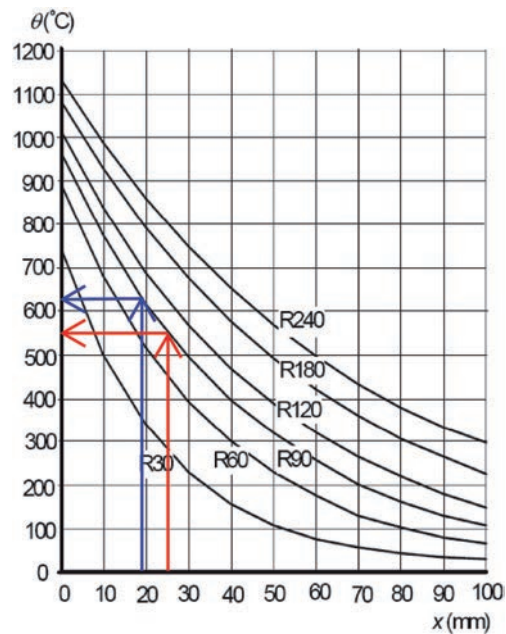


Bild 9 Temperatur der Plattenlängsbewehrung nach DIN EN 1992-1-2, Bild A.2 [1] für verschiedene Betondeckungen
Temperature of the slab longitudinal reinforcement according to DIN EN 1992-1-2, pic. A.2 [1] regarding various concrete cover values

stimmen (Neubauten). Dies ist auch in DIN EN 1992-1-2 [1], Abschnitt 5.2 (14) explizit so geregelt. Zur Gleichbehandlung von Bestandsbauten erscheint es vor diesem Hintergrund vertretbar, zu dem real gemessenen Mindestwert c_{min} einen Zuschlag in Höhe des Vorhaltemaßes zu addieren. Infolge der pauschal angenommenen Streuungen ist die maximal rechnerisch ansetzbare Betondeckung c_{cal} je Messfläche jedoch auf den Mittelwert \bar{c} zu begrenzen. Damit gilt:

$$\begin{array}{l} \text{Neubauten:} \\ \text{Bestandsbauten:} \end{array} \quad c_{cal} = \begin{cases} c_{nom} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} c(5\%) + 15 \text{ mm} \\ c(10\%) + 10 \text{ mm} \\ \bar{c} \end{array} \right. \end{cases}$$

Diese Regelungen sind sowohl bei Nachweisen nach DIN 4102-4 [8] (in Verbindung mit DIN 1045-1 [18]) als auch bei Nachweisen nach DIN EN 1992-1-2 [1] anwendbar.

Des Weiteren können die getroffenen Aussagen ebenfalls auf die brandschutztechnische Bemessung mit ausreichend validierten Naturbrandmodellen übertragen werden. Eine gesonderte Betrachtungsweise ist für Naturbrandbeanspruchungen nicht erforderlich, da mit DIN EN 1991-1-2/NA [19] durch die Belegung der Eingangsgrößen der Brandeinwirkung (Brandlastdichte und Wärmefreisetzungsrate) mit Teilsicherheitsbeiwerten die normativ geforderte Zuverlässigkeit erreicht wird. Gegenübergestellt den Normbrandbeanspruchungen ist folglich keine erhebliche Verschiebung des Sicherheitsniveaus zu erwarten, auch wenn die Sicherheit bei der ETK-Bemessung nicht eindeutig quantifizierbar ist. Als weiterführend-

de Literatur zu dieser Thematik wird der Forschungsbericht von HOSSER et al. [20] empfohlen.

6 Fazit

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die derzeit bestehende Unsicherheit darüber, welches Maß der Betondeckung in Bestandsbauten in Ansatz gebracht werden kann, durchaus gerechtfertigt ist. Der Beitrag zeigt, dass die Dicke der wärmedämmenden Betonschicht zwischen der Bewehrung und dem nächstgelegenen, beflamnten Bauteilrand das Resultat des konstruktiven Brandschutznachweises erheblich beeinflusst. Zur Klärung der Thematik wurden die Randbedingungen, die den normativen Mindest-, Nenn- und Vorhaltemaßen der Betondeckung zugrunde liegen, beleuchtet. Dabei wird deut-

lich, dass in Neubauten der Sollwert mit dem Mittelwert der Betondeckung annähernd gleichgesetzt werden kann. Gleichbedeutend zum Nennmaß c_{nom} bei Neubauten ist damit im Umkehrschluss auch für bestehende Bauten der Maximalwert der anrechenbaren Betondeckung im Brandschutznachweis auf den gemessenen Mittelwert zu beschränken. Bauteile, deren Betondeckung großen Streuungen unterliegt, sind abweichend zu betrachten. In diesen Fällen kann der mit dem Nennmaß c_{nom} bei Neubauten korrespondierende Wert der Betondeckung im Bestand mithilfe einer Quantilwertbeaufschlagung ermittelt werden. Der hohe Einflusscharakter der Betondeckungsstreuungen konnte in diesem Beitrag belegt und für die Formulierung einer neuen Vorgehensweise zur Festlegung der rechnerisch ansetzbaren Betondeckung beim Nachweis der Feuerwiderstandsdauer im Massivbau genutzt werden.

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-2:2010-12: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall.*
- [2] DIN EN 1992-1-2/NA:2010-12: *Nationaler Anhang zu Eurocode 2 – Teil 1-2.*
- [3] Technische Mitteilung K04: *Toleranzen und Vorhaltemaß der Betondeckung beim Nachweis der Feuerwiderstandsdauer im Massivbau.* Koordinierungsausschuss der Prüfämter und Prüflingenieure für Standsicherheit in Bayern, Entwurf Mai 2014.
- [4] DIN EN 1991-1-2:2010-12 (mit Berichtigung von 2013-08): *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke.*
- [5] DIN EN 1992-1-1:2011-01: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.*
- [6] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: *Nationaler Anhang zu Eurocode 2 – Teil 1-1.*
- [7] E DIN 4102-4:2014-06: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.*
- [8] DIN 4102-4:1994-03: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.*
- [9] HAHN, C.: *DIN 4102-4 (neu) – Hinweise für die Praxis.* FeuerTRUTZ Magazin (2014), H. 2, S. 52–57.
- [10] DIN EN 13670:2011-03: *Ausführung von Tragwerken aus Beton.*
- [11] DBV-Merkblatt *Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode.* 2. Fassung, Januar 2011.
- [12] DIN V 18550:2005-04: *Putze und Putzsysteme – Ausführung.*
- [13] DIN 18550-2:1985-01: *Putz; Putze aus Mörteln mit mineralischen Bindemitteln – Ausführung.*
- [14] DIN EN 13279-1:2008-11: *Gipsbinder und Gips-Trockenmörtel – Teil 1: Begriffe und Anforderungen.*
- [15] BRAMESHUBER, W.; SCHMIDT, H.; SCHRÖDER, P.; FINGERLOOS, F.: *Messung der Betondeckung – Auswertung und Abnahme.* Beton- und Stahlbetonbau 99 (2004), H. 3, S. 169–175.
- [16] DILLMANN, R.: *Betondeckung – Planung der wichtigsten Schritte zur Qualität.* Betonbau in Forschung und Praxis – Festschrift zum 60. Geburtstag von György Iványi, S. 127–136, VBT, Düsseldorf 1999.
- [17] SCHUHBAUER, A.: *Betonüberdeckung und Karbonisierungstiefe – Statistische Untersuchungsmethode an zwei Turmbauwerken.* Beton 37 (1987), H. 4, S. 157–160.
- [18] DIN 1045-1:2008-08: *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion.*
- [19] DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12: *Nationaler Anhang zu Eurocode 1 – Teil 1-2.*
- [20] HOSSER, D.; WEILERT, A.; KLINZMANN, C.; SCHNETGÖKE, R.; ALBRECHT, C.: *Erarbeitung eines Sicherheitskonzepts für die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von Ingenieurmethoden gemäß Eurocode 1 Teil 1-2 – Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung.* Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ZP 52-5-4.168-1239/07 im Auftrag des DIBt.

Autoren



Dr.-Ing. Claudia Unterbuchberger
(geb. Reitmayer)
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Erika-Mann-Straße 63
80636 München
unterbuchberger@zm-i.de



Dr.-Ing. André Müller
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Erika-Mann-Straße 63
80636 München
mueller@zm-i.de