

Mechanische Kennwerte für die Nachrechnung bestehender Massivbauwerke – Vorbereitung neuer Arbeitshilfen

Derzeit werden auf europäischer und nationaler Ebene in Deutschland verschiedene neue Regelwerke und Arbeitshilfen zur Nachrechnung bestehender Massivbauwerke vorbereitet, die sich speziell mit der Festlegung mechanischer Kennwerte historischer Baustoffe befassen. In diesem Zusammenhang wurde der neue DAfStb-Sachstandbericht „Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken“ [1] erstellt, der die Umrechnung von aus der Herstellzeit in Deutschland dokumentierten mechanischen Materialkennwerten auf Größen, wie sie zur Anwendung der aktuell bauaufsichtlich eingeführten Eurocodes benötigt werden, beinhaltet. Der Sachstandbericht ist das Ergebnis eines von der TU Kaiserslautern und Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München gemeinsam bearbeiteten und vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton DAfStb finanzierten Verbundprojektes. Der Sachstandbericht [1] wurde im DIN-Unterausschuss NA 005-07-01 UA „Bewertung von Bestandsbauwerken“ bearbeitet und erweitert. Zusätzlich wird zurzeit ein weiterer DAfStb-Sachstandbericht zur Bestimmung charakteristischer Betondruckfestigkeiten im Bestand mittels Bestandsanalyse ausgearbeitet [2]. Parallel dazu wird das DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl“ [3] überarbeitet und ein neues DBV-Merkblatt „Bewertung der In-situ-Druckfestigkeit von Beton“ [4] herausgegeben.

Keywords Nachrechnung; Massivbauwerke; Kennwerte, mechanische

1 Überblick

Nachrechnungen an bestehenden Tragwerken sind grundsätzlich, insbesondere bei fehlendem Bestandschutz, nach dem aktuell bauaufsichtlich eingeführten Normenwerk zu führen. National und international sind verschiedene Dokumente entstanden, die Hilfestellungen bei der Bewältigung dieser Aufgabe leisten können. Eine Zusammenstellung ist in [5] enthalten. National sind in diesem Zusammenhang insbesondere zu nennen:

- DBV-Merkblatt „Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlbetonbauteile“ [6],
- Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie) [7],
- Richtlinie 805 – Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken [8].

Für den Anwendungsbereich des allgemeinen Hochbaus liegen bauaufsichtlich eingeführte Regelwerke zur Nach-

Mechanical properties for the reanalysis of existing reinforced concrete structures – Preparation of new tools

Currently, in Germany new technical regulations for the structural reanalysis of existing reinforced concrete structures are being prepared. The new DAfStb-Report „Mechanical properties of historical concretes, reinforcing steel and prestressing steel for the structural analysis of existing structures“ [1] contains the conversion of historical mechanical properties into values, used in Eurocodes. For this purpose, the annex of the new DAfStb-Report also contains background information on the mathematical conversion.

The Report is the result of a study conducted by the TU Kaiserslautern and Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München that was financed by the DAfStb. The DIN subgroup NA 005-07-01 UA „Bewertung von Bestandsbauwerken“ has reviewed it. Furthermore a second report on the determination of characteristic material properties is currently being prepared by DAfStb [2].

At the present time the DBV-Guide-to-good-practice „Existing Structures – Concrete and Reinforcing Steel“ [3] has been updated and a new DBV-Guide-to-good-practice „Assessment of in-situ Compressive Strength of Concrete“ [4] will be published.

Keywords structural reanalysis; reinforced concrete members; material properties

rechnung von Bestandstragwerken allerdings bisher nicht vor.

Auf europäischer Ebene wurde unterhalb des Steuerungsgremiums für alle Eurocodes (CEN/TC 250) bereits vor fünf Jahren eine Working-Group „Assessment and Retrofitting of Existing Structures“ gegründet, die einen entsprechenden Anhang oder Abschnitt zu Eurocode 0 (EN 1990 Grundlagen der Tragwerksplanung) vorbereiten soll. Dort wird der Rahmen zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten gesetzt werden. Auf Grundlage des EU-Mandates M/515 wurde kürzlich eine sechsköpfige, international besetzte Gruppe damit beauftragt, eine entsprechende technische Spezifikation als Vorstufe zu einem Normentext auszuarbeiten. Diese Arbeiten werden national im DIN-Ausschuss NA 005-51-01 AA „Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung von Tragwerken“ gespiegelt.

Hinsichtlich der Regelungen für Bestandstragwerke im Stahlbeton- und Spannbetonbau arbeitet eine Task-Group unterhalb der Working-Group CEN/TC250/SC2/WG1. Die Arbeiten in dieser Task-Group ruhen allerdings, bis entsprechende grundsätzliche Festlegungen zum Sicherheitskonzept und zu Nachweisformaten im Bestand zu Eurocode 0 getroffen wurden. Die Spiegelung erfolgt in Deutschland im Unterausschuss DIN NA 005-07-01 UA „Bewertung von Bestandsbauwerken“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton DAfStb.

Dieser Ausschuss hat auf nationaler Ebene auch den Sachstandbericht „Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken“ [1] vorgelegt, über dessen Inhalte in diesem Beitrag in der Hauptsache berichtet wird.

Allgemein können die charakteristischen Werte der Festigkeiten der verwendeten Baustoffe je nach Ziel der Nachrechnung entweder den aus der Herstellzeit überlieferten Planungsdokumenten entnommen oder durch zerstörende Materialprüfungen an aus dem Bauwerk entnommenen Proben bestimmt werden.

Der neue DAfStb-Sachstandbericht [1] enthält Hinweise und Erläuterungen zur Umrechnung von aus der Herstellzeit überlieferten mechanischen Materialkennwerten von Beton, Betonstahl und Spannstahl, wie sie zur Anwendung der Eurocodes benötigt werden. Zusätzlich zur Umrechnung der überlieferten mechanischen Kennwerte sind Angaben zur Historie der Güteüberwachung bei der Ausführung enthalten.

Regelungen und Hinweise zur Durchführung einer qualifizierten Bestandsaufnahme sowie zur anschließenden statistischen Bewertung der Prüfergebnisse werden in einem weiteren DAfStb-Sachstandbericht „Bestimmung charakteristischer Betondruckfestigkeiten im Bestand“ [2], dessen Veröffentlichung für 2016 geplant ist, zusammengefasst.

2 Materialkennwerte auf Basis von überlieferten Planungsdokumenten – Sachstandbericht [1]

2.1 Allgemeines

Zumindest im Rahmen einer Vordimensionierung ist die Nachrechnung bestehender Tragwerke unter Verwendung der überlieferten Werkstoffkennwerte, die aktuellen Festigkeitsdefinitionen zugeordnet werden, sinnvoll. Inwieweit den so ermittelten Festigkeiten vertraut werden darf, muss im Einzelfall beurteilt werden.

Durch den umfassenden Überblick über die in Deutschland (einschließlich der DDR) in den verschiedenen Normengenerationen verwendeten Betone, Betonstähle und Spannstähle bildet der neue Sachstandbericht die Grundlage für die Nachrechnung von Hoch- und Ingenieurbauten aller Art aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, ba-

sierend auf Grundsätzen der Bemessung, die in Eurocode 0 [9] geregelt sind.

Dabei sind Informationen zur Betonbaunormung, beginnend mit den „Vorläufigen Leitsätzen für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauten“ [10] von 1904 bis zum aktuell gültigen Regelwerk, dem Eurocode 2 mit seinen Teilen 1-1 und 2 [11, 12], enthalten.

2.2 Geschichte der Güteüberwachung von Beton und Betonstahl

Beton

Für die Beurteilung, mit welcher Wahrscheinlichkeit die in der Planung festgelegte Betondruckfestigkeit im Bauwerk tatsächlich erreicht wurde, ist es zweckmäßig, die zum jeweiligen Herstellzeitpunkt vorgesehene Betonüberwachung einzubeziehen.

In den Regelwerken wurde seit 1904 die Betonüberwachung bis heute fortlaufend verbessert. Dabei galt der Grundsatz, dass der Verwender des Betons sicherstellt, dass die geforderten Betoneigenschaften eingehalten sind und dies auch prüfbar dokumentiert wird. Mit zunehmender Verwendung von Transportbeton und Fertigteilen sind viele Verantwortlichkeiten vom Verwender auf den Hersteller übergegangen. In der Neufassung der DIN 1045:1972 wurden erstmals in Verbindung mit der Normenreihe DIN 1084 ab 1978 getrennte Anforderungen für die Überwachung von Baustellenbeton BII sowie von Transportbeton und Beton für Fertigteile sowie die Fremdüberwachung der Betonherstellung durch anerkannte Überwachungsstellen eingeführt. Davor fand die Betonüberwachung nur als Eigenüberwachung durch den Unternehmer statt, die durch die Bauaufsichtsbehörden (Baupolizei) kontrolliert werden konnte.

Ab 1963 und bis 1990 waren für die Betongüteprüfung in der DDR eigenständige Regelungen eingeführt. Als Überwachungsorgan wurde die Technische Kontrollorganisation (TKO) für die betriebliche Gütekontrolle (Eigenüberwachung) etabliert. In den Fertigteilwerken oblag der TKO die Kontrolle des Betonfestigkeitsnachweises. Die Ergebnisse der Qualitätsprüfungen im Rahmen der (Eigen-)Überwachung durch die TKO mussten für die Abnahmen der Bauaufsicht bereitliegen. Eine Fremdüberwachung durch betrieblich unabhängige Überwachungsstellen war nicht vorgesehen.

Die Rahmenbedingungen der Überwachung der Betondruckfestigkeit für den Zeitraum ab 1916 werden im DAfStb-Sachstandbericht [1] zusammengefasst. Anhand dieser Informationen kann eine erste Einschätzung dazu erfolgen, welcher Qualitätssicherung der damals verwendete Beton unterlag. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Überwachung bei schwierigen Bauwerken (Spannbetonbau, Brückenbau) sorgfältiger als im Holzbau durchgeführt wurde.

Betonstahl

Auch für die Beurteilung der vermutlichen Streckgrenze des Betonstahls im Bauwerk ist es hilfreich, die zum jeweiligen Bauzeitpunkt vorgesehene Überwachung der mechanischen Eigenschaften einzubeziehen.

In den Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton (DAfEB) ab 1914 wurden Mindestanforderungen an Stähle zur Bewehrung von Beton gemäß den Vorschriften für die Lieferung von Eisen und Stahl festgelegt. Dabei wurde gefordert, dass bei der Anlieferung auf der Baustelle der Durchmesser zu prüfen ist. Des Weiteren sollte eine Kaltbiegeprobe (Faltversuch) durchgeführt werden. In den 1920er-Jahren bestand der überwiegende Anteil der Bewehrung aus allgemeinen Baustählen mit einer Klassifizierung der Stahlgüten. Einige mechanische Eigenschaften mussten mit Zugversuchen und Faltversuchen nachgewiesen werden.

Mit DIN 1045:1943 wurden höherfeste Bewehrungsstäbe (Gruppen II, III und IV) aufgenommen, ihre Verwendung wurde über allgemeine baupolizeiliche Zulassungen geregelt. Die Festigkeitseigenschaften gehen auf die Normenreihe der DIN 17100 zurück. Dort wurden die Sorten und die zu gewährleistenden Werte der mechanischen Eigenschaften definiert. Dazu wurden für die Zugfestigkeiten Wertebereiche angegeben, die im Rahmen der Prüfung mit Toleranzwerten einzuhalten waren. Für die Streckgrenze und die Bruchdehnung wurden Mindestwerte angegeben.

Ab dem Jahr 1953 wurden im Zusammenhang mit DIN 4227 die Spannstähle über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen geregelt, woran sich bis heute nichts geändert hat.

Parallel zur Einführung der DIN 1045:1972 wurde die Normenreihe zur DIN 488 überarbeitet, die erstmals eine statistische Auswertung der Festigkeitseigenschaften beinhaltete. Bei der Verwendung auf der Baustelle waren nur noch die Rippengeometrie und das Werkkennzeichen zu prüfen. Die Güteüberwachung wurde grundlegend mit Einführung der DIN 488-6:1972 geändert. Früher zugelassene Stähle mit höheren Festigkeitsklassen II bis V wurden in die Normenreihe aufgenommen.

Betonstahlbewehrung wurde bis in die 1970er-Jahre in der DDR nach TGL 101-054 geregelt. Für Stähle aus dieser Normung wurde seinerzeit die Einhaltung von Mindestwerten für die mechanischen Eigenschaften Zugfestigkeit, Streckgrenze und Bruchdehnung bei der Prüfung gefordert. Mit Einführung der Normenreihe TGL 12530-1 bis TGL 12530-10 ab 1980 wurde eine statistische Auswertung der vorgenannten Prüfwerte durchgeführt. Dieses entspricht von der zeitlichen Entwicklung in etwa dem Stand in der Bundesrepublik Deutschland.

2.3 Beton

In Tab. 1 ist ausschnittsweise die charakteristische Betondruckfestigkeit f_{ck} für historische, in Deutschland verwendete Betone nach [1] angegeben. Dabei erfolgt eine Zuordnung von Betonfestigkeiten, die sich auf die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit f_{ck} nach DIN EN 206-1 [13] bezieht, auf Basis der historischen, normativen Festlegungen und daraus resultierenden Umrechnungsfaktoren. Es ist anzumerken, dass in Nachberechnungen grundsätzlich Zwischenfestigkeiten zu den festgelegten Klassen verwendet werden dürfen. Dazugehörige mechanische Kennwerte wie Elastizitätsmodul E_{cm} und Betonzugfestigkeit f_{ct} dürfen anhand der analy-

Tab. 1 Zuordnung von Betonfestigkeiten ab 1916 nach [1] (Auszug)
Assignment of concrete strength starting from 1916 according to [1] (excerpt)

Zeitraum	Würfelkantenlänge [mm]	Bezeichnung																				
		M: Mittelwert aus 3 Proben; 5%-Quantilwert																				
		Nennwert der Betondruckfestigkeit ^{a)} geprüft am Würfel																				
1916–1925 DAfEb	200	M [kg/cm ²] f_{ck} [N/mm ²]	W_{b28}	W_{b28}																		
	150																					
	8																					
1925–1932 DIN	200	M [kg/cm ²] f_{ck} [N/mm ²]	W_{b28}	W_{b28}	W_{b28}																	
	100																					
	5																					
ab 2001 DIN DIN EN	150	$f_{ck,cube}$ [N/mm ²] f_{ck} [N/mm ²]				C8	C12															
	10					20	15															
	8					16	12															
												C30	C35	C40								
												37	45	50								
												30	35	40								

^{a)} Einheiten: 100 kg/cm² = 100 kp/cm² = 10 N/mm²

Tab. 2 Charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonstabstählen und Betonformstählen verschiedener Zeitperioden [1] (Auszug)
Characteristic yield strength and ductility characteristics of reinforcing bar steels and deformed bars from different periods [1] (excerpt)

Bezeichnung	Stahlsorte	Verwendungszeitraum	f_{yk} [N/mm ²]	Duktilitätsklasse
Glatte Rundstähle (DIN 1000, DIN 1612, DIN 488)	Schweißeisen	vor 1923	180 ^{a)} b)	–
	Flusseisen (Bauwerks-, Handelseisen)	vor 1925	220 ^{a)} b)	B
Rippen-Torstahl	Betonstahlgruppe IIIb (kaltgereckt)	1962–1972	400 ^{b)} c)	A
HI-BOND-A-Stahl	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)	1962–1973		B

^{a)} Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes γ_s um 10 % (vor 1943)

^{b)} Bei glatten Betonstählen und Betonformstählen ist deren von DIN EN 1992 abweichendes Verbundverhalten zu berücksichtigen (siehe [15])

^{c)} Erhöhung auf 420 N/mm² bei Stabdurchmesser ≤ 18 mm

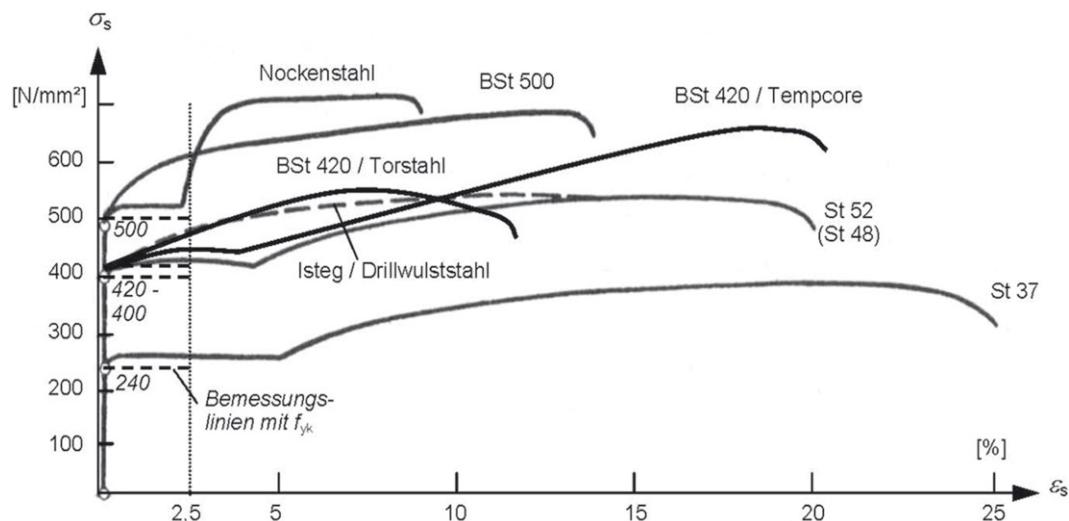


Bild 1 Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Linien von Betonstählen nach DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl“ [3]
Comparison of stress-strain-diagrams of reinforcing steel according to DBV-Merkblatt „Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl“ [3]

tischen Beziehungen in DIN EN 1992-1-1 [11] näherungsweise berechnet werden [14].

2.4 Betonstahl

In Tab. 2 nach [1] sind ausschnittsweise spezifische Eigenschaften für historischen Betonstahl angegeben.

Neben Informationen zur charakteristischen Streckgrenze f_{yk} und zur Duktilitätsklasse sind in [1] zusätzlich Hinweise zu Betonstahl in den Lieferformen Betonstahlmatte und Gitterträger enthalten.

Die Zuordnung in die Duktilitätsklassen A oder B erfolgt dabei entsprechend den in DIN 488-1 [16] angegebenen Mindestwerten für das Verhältnis der Zugfestigkeit zur Streckgrenze (f_t/f_y)_k und der Dehnung bei Höchstlast ε_{uk} .

Eine weitere bedeutende Kenngröße gerippter Betonstähle stellt deren bezogene Rippenfläche f_R dar. Sie hat einen maßgeblichen Einfluss auf den Bemessungswert der Verbundfestigkeit f_{bd} . Im DAStb-Sachstandbericht [1] ist eine tabellarische Auflistung der bezogenen Rippenfläche der ab 1972 in DIN 488 sowie der in TGL 12530 geregelt.

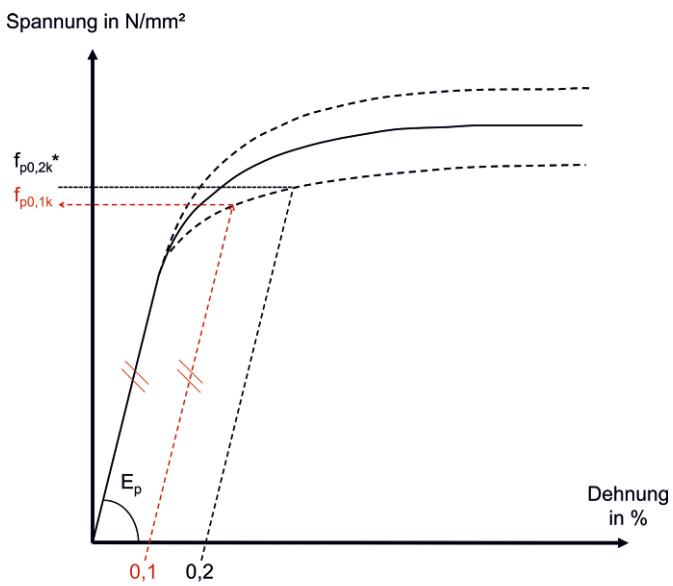
ten Betonrippenstäbe in Abhängigkeit vom Durchmesser der Bewehrung enthalten.

Nach Bild 1 ist für nur wenige Betonstähle ein Anstieg der Arbeitslinie nach Überschreiten der Streckgrenze bis zur 2,5 % Bemessungsdehnung ausnutzbar. Danach kann z. B. für Betonstahl der Güten BST 500 und BST 420 ein Anstieg der Arbeitslinie nach Überschreiten der Streckgrenze angesetzt werden.

Bei hochgerippten Betonstahlmatten BST 500 M und älteren Betonstahlmatten sollte jedoch auf die Ausnutzung des ansteigenden Astes der Spannungs-Dehnungs-Linie nach dem Erreichen der Streckgrenze verzichtet werden [15]. Zusätzlich sollte die Stahldehnung bei der Biegebemessung im GZT bei diesen Matten auf maximal 1,5 % begrenzt werden, da sie nicht die Bedingungen der Duktilitätsklasse A erfüllen.

2.5 Spannstahl

Neben Informationen zu Beton und Betonstahl sind in [1] auch Informationen zum Umgang mit Spannstählen mit heute nicht mehr gültiger Zulassung enthalten.



* $f_{p0,2k}$ ist in allen Spannstahlzulassungen angegeben.

Bild 2 Grafische Ermittlung der für die Nachweise im GZT benötigten 0,1%-Dehngrenze aus der in Spannstahlzulassungen enthaltenen Spannungs-Dehnungs-Linie [1]
Determination of 0,1%-proof stress of prestressing steel from stress-strain diagram contained in technical approval documents [1]

Unter anderem sind in [1] die für die Nachrechnung erforderliche Zugfestigkeit f_{pk} und die Dehnung bei Höchstlast ε_{uk} aus der zum Bauzeitpunkt gültigen Zulassung der bauaufsichtlich (baupolizeilich) in der Bundesrepublik Deutschland sowie der DDR zugelassenen Spannstähle enthalten. In älteren Zulassungen mit Bezug auf DIN 4227 ist die 0,1%-Dehngrenze oft nicht angegeben. Die erste Kennzahl der Stahlgüte stellt dort nicht $f_{p0,1}$, sondern die 0,2%-Dehngrenze dar. Wenn die 0,1%-Dehngrenze bei der Nachrechnung benötigt wird, kann sie mit ausreichender Genauigkeit nach [1] aus den in den Zulassungen angegebenen Spannungs-Dehnungs-Linien der Spannstähle wie in Bild 2 exemplarisch dargestellt ermittelt werden.

In Tab. 3 ist exemplarisch ein Ausschnitt der Übersicht der 1958 in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Spannstähle und Spanndrahtlitzen nach [1] dargestellt. Darüber hinaus sind in [1] auch Informationen zu Duktilitäts- und Ermüdungseigenschaften, Relaxation sowie Spannungsrißkorrosion historischer Spannstähle enthalten. Insgesamt sind für verschiedene Zeitpunkte ab 1958 ca. 400 zugelassene Spannstähle einschließlich der wichtigsten Materialkennwerte aufgelistet.

2.6 Kennwerte älterer Spannsysteme

Neben den Eigenschaften der verwendeten Spannstähle selbst stellen die verwendeten Spannverfahren bei der Bewertung bzw. Nachrechnung eine wichtige Information dar. In [1] sind Angaben zur maximalen Vorspannkraft während des Spannvorgangs P_{max} , zum Höchstwert des Mittelwertes der Vorspannkraft $P_{m0}(x)$ unmittelbar

Tab. 3 Teilübersicht der 1958 in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Spannstähle und Spanndrahtlitzen, Auszug aus [1]
Survey of prestressing steels from the Federal Republic of Germany with valid general technical approval in 1958 [1] (excerpt)

Art	Stahlguite St	Handels- bezeichnung	Querschnitte $\varnothing \cdot A$	Streck- grenze β_s bzw. $\beta_{0,2}$ [kg/mm ²]	Zugfestig- keit β_z [kg/mm ²]	Elastizitäts- grenze $\beta_{0,01}$ [kg/mm ²]	Elastizitäts- modul E_s [kg/mm ²]	Bruch- dehnung δ_{10} [%]	Kriech- grenze ^{b)} [kg/mm ²]	Hersteller	Zulassungs- nummer
warmgewalzt	55/85	Sigma-Spannstahl	rund; $\varnothing 10,0\text{--}20,0$	55	85	50	$2,10 \cdot 10^4$	10	50	Hüttenwerk	II A 4 – 2,43
vergütet	145/160 ^{c)}	Sigma-Spannstahl	rund; $\varnothing 5,2\text{--}6,0$	145	160	120	$2,05 \cdot 10^4$	6	110	Rheinhauen	Nr. 2153/56

a) Bruchdehnung am langen Proportionalstab ($L = 10 \cdot d_p$).

b) Spannung, unter der zwischen der 6. Minute und der 1000. Stunde einer Dauerbelastung höchstens 3 % der unter zügiger Belastung erfolgten Dehnung als Zeitdehnung auftreten.

c) Diese Stähle gelten als spannungsrißkorrosionsgefährdet. Bauwerke, die unter Verwendung dieser Stähle erstellt wurden, bedürfen einer gesonderten Betrachtung, um ein Versagen ohne Vorankündigung auszuschließen.

Tab. 4 Teilübersicht über die 1960–2019 in der Bundesrepublik Deutschland und der DDR zugelassenen Spannverfahren (nicht vollständig, Auszug aus IRB BPZ Datenbank, Stand 15.01.2015), Auszug aus [1]
Survey of Federal Republic of Germany and GDR prestressing systems with general technical approval from 1960–2019 (incomplete, excerpt from IRB BPZ database) [1]

Antragsteller (Firma, Zulassungsinhaber)	Gegenstand (Spannverfahren)	Gültigkeit von	bis	Zulassungs- nummer	Art a)	Zulassungs- stelle b)
B + B Vorspann- technik GmbH	Litzenspannverfahren Bilfinger + Berger	31.01.1979	31.01.1984	Z-13.1-31	Z	DIBt
BBR Systems Ltd	Spannverfahren CONA-Single Litzenspannglied ohne Verbund	25.01.2002	31.03.2005	Z-13.2-46	Z	DIBt

a) Z = Zulassung, E = Ergänzung, Ä = Änderung, V = Verlängerung

b) DIBt = Deutsches Institut für Bautechnik (vor 1993 Institut für Bautechnik)

nach Spannen und Verankern bzw. nach dem Übertragen der Vorspannung, zur Berechnung sofortiger Spannkraftverluste sowie Parameter der Ermüdungsfestigkeitskurven für Spannstahl in Kopplungen und Verankerungen enthalten. Als Hilfe bei der Suche nach der damaligen Zulassung und der eindeutigen Zuordnung eines früher verwendeten Spannverfahrens ist in [1] eine Tabelle mit ca. 400 bauaufsichtlich (baupolizeilich) zugelassenen Spannverfahrens enthält. Exemplarisch ist in Tab. 4 ein Ausschnitt dieser Übersicht dargestellt.

3 Bestimmung charakteristischer Betonfestigkeiten im Bestand – Ausblick

Liegen keine Informationen/Planungsunterlagen über ein zu bewertendes Bauwerk vor bzw. sind die nach Abschn. 2 angenommenen Materialkennwerte zu verifizieren, so sind Untersuchungen am Bauwerk unerlässlich. Wie hierbei vorzugehen ist, soll in einem weiteren DAfStb-Sachstandbericht [2] erläutert werden. Die Arbeiten hieran wurden zwischenzeitlich aufgenommen.

Zur Bewertung der Betonfestigkeit werden in aller Regel Bohrkerne aus dem zu bewertenden Bauwerk/-teil nach DIN EN 12504-1 [17] entnommen und im Prüflabor je nach gewünschtem Kennwert nach dem entsprechenden Teil von DIN EN 12390 untersucht. Weitere Größen wie z. B. die Betonzugfestigkeit und der E-Modul können ebenfalls direkt am Bohrkern bestimmt oder basierend auf den in DIN EN 1992-1-1 [11] für den Neubau enthaltenen analytischen Beziehungen abgeschätzt werden [14].

Der zusätzliche Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren kann mit dem Ziel geprüft werden, die bestehende Tragstruktur möglichst wenig zu schädigen. Zur Anwendung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte nach [6] ist jedoch eine Untersuchung der tatsächlich vorliegenden Betondruckfestigkeit durch Bohrkernentnahme unbedingt erforderlich.

Die anschließende Bestimmung charakteristischer Materialkennwerte ist derzeit in DIN EN 13791 [18] bzw.

in DIN EN 1990 – Anhang D [9] geregelt. Wie bereits LOCH et al. [19] zu entnehmen ist, kann eine Bestimmung der charakteristischen Betonfestigkeit nach DIN EN 13791 [18] bei kleinem Stichprobenumfang n (Ansatz B) zu einer kritischen Überschätzung des tatsächlichen Wertes führen. Auswertungen an verschiedenen umfangreichen Datensätzen aus realen Bauteilen zeigen darüber hinaus, dass eine Auswertung nach DIN EN 1990 – Anhang D [9] bei kleinem Stichprobenumfang auch zu einer erheblichen Über- oder Unterschätzung der tatsächlichen charakteristischen Betondruckfestigkeit führen kann. Entscheidend für die Aussagekraft eines statistischen Verfahrens ist dabei die Abweichung des berechneten 5%-Fraktilwertes vom tatsächlichen charakteristischen Wert der Grundgesamtheit.

Exemplarisch wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes der TU Kaiserslautern an einem Bauwerk aus dem Jahr 1970 im Jahr 2014 63 Bohrkerne entnommen, an denen anschließend die Betondruckfestigkeit bestimmt wurde. Aufgrund des großen Umfangs der Stichprobe kann davon ausgegangen werden, dass der an der Gesamtstichprobe ermittelte Wert x_k dem tatsächlichen 5%-Quantil der Grundgesamtheit nahezu entspricht.

Zum Vergleich der verschiedenen Auswerteverfahren wurden aus der Gesamtstichprobe alle möglichen Kombinationen mit $n = 3$, $n = 5$ und $n = 8$ Prüfergebnissen gebildet und anschließend nach DIN EN 1990 [9] und DIN EN 13791 [18] ausgewertet.

Beispielhaft sind in Bild 3 die Ergebnisse der Auswertung für Kombinationen mit $n = 3$ dargestellt. Dabei beschreibt die grüne Linie den tatsächlichen 5%-Quantilwert der Grundgesamtheit. Die blauen Punkte beschreiben die Auswertung der einzelnen Stichproben mit $n = 3$ nach DIN EN 13791 [18]; die roten die entsprechende Auswertung nach DIN EN 1990 [9] unter Annahme einer Normalverteilung.

Auf Grundlage dieser Untersuchungen wurde von der TU Kaiserslautern und dem Deutschen Beton- und Bautech-

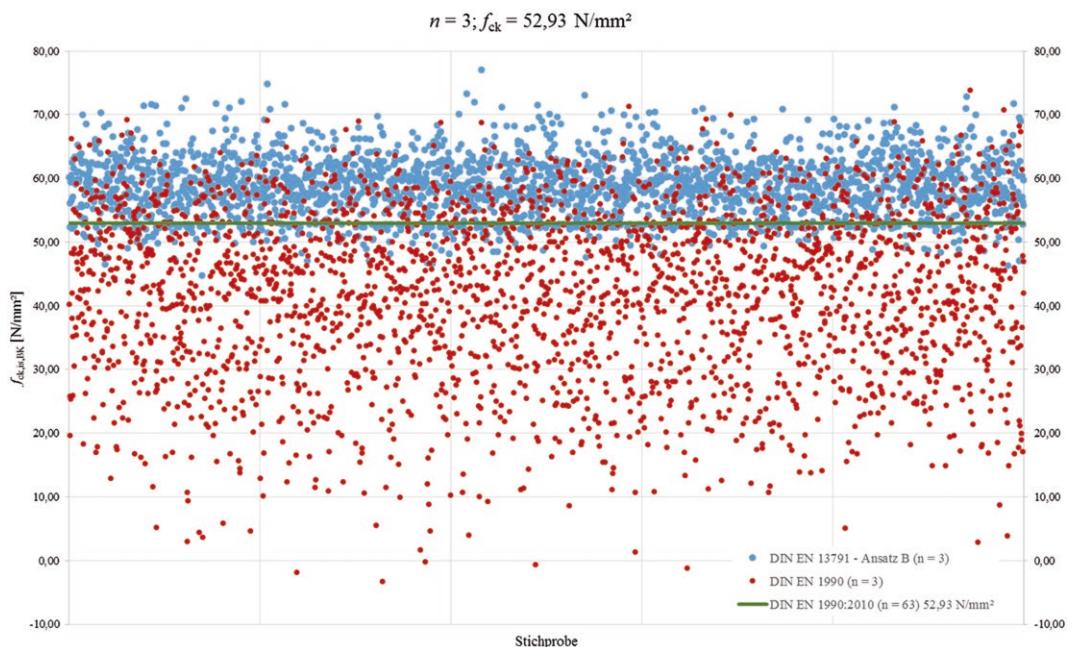


Bild 3 Bestimmung charakteristischer Materialkennwerte nach DIN EN 1990 und DIN EN 13791
Determination of characteristic material properties according to DIN EN 1990 and DIN EN 13791

nik-Verein ein statistisches Näherungsverfahren entwickelt, welches die Abweichungen auch bei kleinem Stichprobenumfang auf ein akzeptables Maß beschränkt [20].

Details sowie ein Hintergrundbericht werden in dem noch folgenden zweiten DAfStb-Sachstandbericht [2] veröffentlicht werden.

Deshalb wird auch der bisherige Anhang A des DBV-Merkblatts „Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl“ [3] in der Neuauflage 2016 gestrichen und durch das neue Merkblatt „Bewertung der In-situ-Druckfestigkeit von Beton“ [4] ersetzt. Bei dieser Gelegenheit wurde im Merkblatt [3] auch die Zuordnung der historischen Betonfestigkeiten und Betonstahlstreckgrenzen zu charakteristischen Werten mit den Werten des DAfStb-Sachstandberichts [1] und der Brücken-Nachrechnungsrichtlinie [7] weitestgehend abgeglichen.

Das neue DBV-Merkblatt „Bewertung der In-situ-Druckfestigkeit von Beton“ [4] nimmt die o. g. Neuvorschläge zur Ermittlung der In-situ-Druckfestigkeit von Beton ebenfalls auf und gibt weitergehende praktische Hilfestellung insbesondere zur Anwendung der DIN EN 13791 [18] sowohl für Bestandsbauten als auch für Neubauteile.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der neue DAfStb-Sachstandbericht stellt durch einen umfassenden Überblick der in Deutschland (einschließlich

lich der DDR) verwendeten Betone, Betonstähle und Spannstähle eine zweckmäßige Grundlage für die Nachrechnung von Hoch- und Ingenieurbauwerken aus Beton dar. Zumindest im Rahmen von Vordimensionierungen ist die Verwendung charakteristischer Materialeigenschaften basierend auf einer Zuordnung auf Grundlage vorliegender Planungsdokumente sinnvoll, da dadurch eine Schädigung der Tragstruktur durch Probekörperentnahme vermieden wird.

Für eine abgesicherte Nachrechnung, insbesondere bei Verwendung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte nach dem entsprechenden DBV-Merkblatt [6], ist allerdings eine qualifizierte Bestandsaufnahme unerlässlich. Wie in Abschn. 3 gezeigt, können die derzeit vorliegenden statistischen Verfahren bzw. Näherungsverfahren besonders bei kleinem Stichprobenumfang n sowohl zu einer erheblichen Überschätzung als auch zu einer Unterschätzung der tatsächlich am Bauwerk vorliegenden Betondruckfestigkeit führen. Hierzu wurde von der Technischen Universität Kaiserslautern in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein ein statistisches Näherungsverfahren entwickelt, welches bei Eingrenzung des Anwendungsbereiches hinsichtlich auftretender Streuung auch bei kleinem Stichprobenumfang noch statistisch abgesicherte Werte liefert. Das Verfahren soll in einem weiteren DAfStb-Sachstandbericht [2] mit Hintergrundbericht und in einem DBV-Merkblatt [4] veröffentlicht werden.

Literatur

- [1] DAfStb-Heft 616: *Sachstandbericht Bauen im Bestand – Teil I „Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken“*. Berlin: Beuth Verlag, 2016 (in Vorbereitung).
- [2] DAfStb-Heft 619: *Sachstandbericht Bauen im Bestand – Teil II „Bestimmung charakteristischer Betondruckfestigkeiten“*. Berlin: Beuth Verlag, 2016 (in Vorbereitung).
- [3] DBV-Merkblatt „*Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl*“. Eigenverlag, Ausgabe 2008.
- [4] DBV-Merkblatt „*Bewertung der In-situ-Druckfestigkeit von Beton*“. Eigenverlag, Ausgabe 2016 (in Vorbereitung).
- [5] CHRYSOSTOMOU, C.; DIETEREN, G.; LANDON, F.; LEIVESTAD, S.; MALAKATAS, N.; MANCINI, G.; MARKOVA, J.; MATTHEWS, S.; NOLAN, T.; NUTI, C.; OSMANI, E.; RONNOW, G.; SCHNELL, J.; TANNER, P. (Hrsg.): *JRC Science and Policy Report: New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015.
- [6] DBV-Merkblatt „*Bauen im Bestand – Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlbetonbauteile*“. Eigenverlag, Ausgabe März 2013.
- [7] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: *Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)*. Berlin, Ausgabe 05/2011, einschließlich 1. Ergänzung, Ausgabe 04/2015.
- [8] Deutsche Bahn AG: *Richtlinie 805 – Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken*. Frankfurt am Main, 2010.
- [9] DIN EN 1990:2010-12: *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung mit DIN EN 1990/NA:2010-12: Nationaler Anhang und DIN EN 1990/NA/A1:2012-08: A1-Änderung zum Nationalen Anhang*.
- [10] Verband Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine und Deutscher Betonverein: *Vorläufige Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauteilen*. Berlin, 1904.
- [11] DIN EN 1992-1-1:2011-01: *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang und DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12: A1-Änderung zum Nationalen Anhang*.
- [12] DIN EN 1992-2:2010-12: *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln mit DIN EN 1992-2/NA:2013-04: Nationaler Anhang*.
- [13] DIN EN 206-1:2001-07: *Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*.
- [14] WEBER, M.; THIELE, C.: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR): *Untersuchungen zur Korrelation von Druck- und Zugfestigkeit in alten, niederfesten Betonen als Grundlage für die Bestimmung der Tragfähigkeit von z. B. Befestigungsmitteln*. Abschlussbericht im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“, TU Kaiserslautern, 2015.
- [15] FINGERLOOS, F.; MARX, S.; SCHNELL, J.: *Tragwerksplanung im Bestand – Bewertung bestehender Tragwerke*. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): *Betonkalender 2015 – Bauen im Bestand, Teil 1*, Berlin: Ernst & Sohn, 2015, S. 27–113.
- [16] DIN EN 488-1:2009-08: *Betonstahl – Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung*.
- [17] DIN EN 12504-1:2009-07: *Prüfung von Beton in Bauwerken – Teil 1: Bohrkernproben – Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit; Deutsche Fassung EN 12504-1:2009*.
- [18] DIN EN 13791:2008-05: *Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen; Deutsche Fassung EN 13791:2007*.
- [19] LOCH, M.; STAUDER, F.; SCHNELL, J.: *Bestimmung der charakteristischen Betonfestigkeiten in Bestandstragwerken – Anwendungsgrenzen von DIN EN 13791*. Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011), H. 12, S. 804–813.
- [20] WEBER, M.; SCHWABACH, E.: *Textvorschlag für A20-Änderung DIN EN 13791, Nationale Anwendungsregeln*. 2015, (unveröffentlicht).

Autoren

Dipl.-Ing. Michael Weber
Technische Universität Kaiserslautern
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern
michael.weber@bauing.uni-kl.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schnell
Technische Universität Kaiserslautern
Fachgebiet Massivbau und Baukonstruktion
Paul-Ehrlich-Straße 14
67663 Kaiserslautern
juergen.schnell@bauing.uni-kl.de

Prof. Dr.-Ing. Frank Fingerloos
Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin
fingerloos@betonverein.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Konrad Zilch
Zilch + Müller Ingenieure GmbH
Erika-Mann-Straße 63
80636 München
konrad.zilch@tum.de