



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

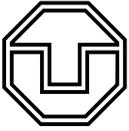
**FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN**

Schriftenreihe  
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden  
Heft 40



Manfred Curbach, Heinz Opitz,  
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

## **8. SYMPOSIUM EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN VON BAUKONSTRUKTIONEN**



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

---

**FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN**

---

Manfred Curbach, Heinz Opitz,  
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**8. SYMPOSIUM  
EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN  
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

Schriftenreihe  
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden  
Heft 40

Herausgeber der Reihe

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach  
apl. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Graf  
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller  
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe  
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske  
Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine  
Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann  
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller  
Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd W. Zastrau

Institut für Massivbau  
Technische Universität Dresden

D - 01062 Dresden

Tel.: 49 351 / 4 63-3 42 77  
Fax: 49 351 / 4 63-3 72 89

Redaktion: Silke Scheerer  
Korrekturen: Angela Heller  
Gestaltung: Ulrich van Stipriaan  
Titelfoto: Kathrin Dietz  
Probebelastung an Fahnenstangen am Goldenen Reiter in Dresden

Diese Publikation gibt es auch Open Access auf [www.qucosa.de](http://www.qucosa.de)

Druck: addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz  
Veröffentlicht: Dresden, September 2015

ISSN 1613-6934

## Inhalt

DAfStb-Sachstandbericht <i>Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung bestehender Bauwerke</i> <i>Jürgen Schnell, Michael Weber</i> .....	5
Dynamik von Stahlbetonbrücken – Messprojekte aus dem Eisenbahn- und Straßenverkehr <i>Lutz Auersch, Samir Said</i> .....	17
Messtechnische Überlegungen bei Fallversuchen <i>Tino Kühn</i> .....	31
Identifikation dynamischer Strukturparameter von Eisenbahnbrücken mittels terrestrischer Mikrowelleninterferometrie <i>Jens Schneider, Matthias Becker, Andrei Firus, Jiny Pullamthara, Michael Drass</i> .....	47
Einsatzmöglichkeiten der Schallemissionsanalyse im Bauwesen <i>Stephan Pirskawetz, Julia Wolf, Wolfram Schmidt, Andreas Rogge</i> .....	61
Hochgenaue 3D-Referenzmessungen als ein Beitrag der Geodäsie zur experimentellen Untersuchung des Systemverhaltens neugotischer Gewölbekonstruktionen <i>Jens-André Paffenholz, Ulrich Stenz, Ingo Neumann</i> .....	73
Experimentelle Untersuchung zum Systemtragverhalten neugotischer Gewölbekonstruktionen <i>Jens Piehler, Michael Hansen, Gerd Kapphahn</i> .....	81
Tragfähigkeitsuntersuchungen an historischen Fahnenmasten <i>Silke Scheerer, Sabine Wellner, Torsten Hampel, Bernd Eckoldt</i> .....	93
Pont Lagunaire, Togo – Experimentelle Tragwerksanalyse einer Stahlfachwerkbrücke zum Nachweis der Restnutzungszeit <i>Marc Gutermann, Werner Malgut, Klaus Ammermann</i> .....	103
Experimenteller Nachweis der Tragfähigkeit an der Kettenbrücke im Goethepark in Weimar <i>Erik Meichsner, Phillip Johann Jung, Oliver Hahn, Stefan Finke</i> .....	117
Untersuchungen und Maßnahmen an setzungsauffälligen Pfeilern der Saale-Elster-Talbrücke der Eisenbahnstrecke Erfurt–Leipzig/Halle <i>André Koletzko, Sandra Christein</i> .....	123
Bewertung bestehender Brücken unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbeanspruchung durch Bauwerksmonitoring <i>Nico Steffens, Karsten Geißler, Ronald Stein</i> .....	135

Lagrange-Multiplikator-Test zur Detektierung von zunehmender Strukturschädigung:  
Experimentelle Verifikation  
*Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Petra Kubowitz, Werner Daum,  
Detlef Hofmann, Frank Basedau* ..... 147

Zustandsbewertung von Stahlbetonbauteilen mithilfe der dynamischen Eigenschaften  
*F. Weisleder, M. Waltering*..... 159

Softwareunterstützte Nachrechnung und Ertüchtigung von Brückenbauwerken  
*Stefan Kimmich, Eckhard Held* ..... 175

## **DAfStb-Sachstandbericht**

### ***Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung bestehender Bauwerke***

Jürgen Schnell<sup>1</sup>, Michael Weber<sup>2</sup>

**Kurzfassung.** Der neue DAfStb-Sachstandbericht *Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken* [1] beinhaltet die Umrechnung von aus der Herstellzeit in Deutschland bzw. der DDR dokumentierten mechanischen Materialkennwerten auf Größen, wie sie zur Anwendung von DIN EN 1992-1-1 [2] und DIN EN 1992-1-1/NA [3] benötigt werden. Als Erläuterungen sind ebenfalls Hintergründe zur Umrechnung enthalten. Zusätzlich zu charakteristischen Materialkennwerten sind im Sachstandbericht u. a. auch weitere Hinweise zur Querschnittsbemessung sowie eine umfassende Zusammenstellung der zu verschiedenen Zeitpunkten zugelassenen Spannstähle und Spannsysteme angegeben. Der Sachstandbericht ist das Ergebnis eines von Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München (Prof. Zilch) und der TU Kaiserslautern gemeinsam bearbeiteten und vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton DAfStb finanzierten Verbundprojektes. Der Sachstandbericht wurde im DIN NA 005-07-01 UA *Bewertung von Bestandsbauwerken* gespiegelt.

**DAfStb-Report *Mechanical properties of historical concretes, reinforcing steel and prestressing steel for the structural analysis of existing structures* – Abstract.** This new report [1] contains the conversion of historical mechanical properties into values, used in DIN EN 1992-1-1 [2] and DIN EN 1992-1-1/NA [3]. For this purpose, in the annex of the new DAfStb-Report also features background information on the mathematical conversion. In addition to the characteristic material properties, in the new DAfStb-Report also information on the section design, approved prestressing steels and tensioning systems at various points are contained. The Report is the result of a study conducted by Zilch + Müller Ingenieure GmbH, München and the TU Kaiserslautern that was financed by the DAfStb. DIN NA 005-07-01 UA *Bewertung von Bestandsbauwerken* has reviewed it.

## **1 Einleitung**

Grundsätzlich sind baustatische Nachrechnungen an bestehenden Tragwerken infolge Änderung, Instandsetzung oder Verstärkung nach aktuellem Normenwerk zu führen. Dazu werden charakteristische Werte der Festigkeiten der verwendeten Baustoffe benötigt. Diese Größen können 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.

---

1 Prof. Dr.-Ing., TU Kaiserslautern, FG Massivbau und Baukonstruktion

2 Dipl.-Ing., TU Kaiserslautern, FG Massivbau und Baukonstruktion

Im neuen DAfStb-Sachstandbericht [1] werden Hinweise und Erläuterungen zur Umrechnung von aus der Herstellzeit dokumentierten mechanischen Materialkennwerten gegeben. Dabei orientiert sich die Gliederung im Wesentlichen an Eurocode 2.

### 2 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 kann, 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 sowohl die Grundlage für die Nachrechnung von Hoch- und Ingenieurbauten als auch für Brücken und Teile von Brücken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, basierend auf Grundsätzen der Bemessung, die in Eurocode 0 (Grundlagen der Tragwerksplanung) geregelt sind.

Dabei sind Informationen zur Betonbaunormung, beginnend mit den *Vorläufigen Leitsätzen für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauten* [4] von 1904 bis zum aktuell gültigen Regelwerk, dem Eurocode 2, enthalten.

### 3 Materialkennwerte auf der Basis von Planungsdokumenten

#### 3.1 Beton

In Kapitel 3.1 des Sachstandberichts werden spezifische Eigenschaften historischer Betone ab dem Herstelljahr 1916 angegeben. Die Umrechnung der historischen Materialeigenschaften erfolgt hierbei auf Basis der historischen, normativen Festlegungen und daraus resultierenden Umrechnungsfaktoren.

In Tabelle 1 ist die charakteristische Betondruckfestigkeit für historische Betone nach [5] angegeben. Dabei erfolgt eine Zuordnung von Betonfestigkeiten, die sich auf die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$  oder die Würfeldruckfestigkeit  $f_{ck,cube}$  nach DIN EN 206:2014-07 [6] bezieht. Dazugehörige mechanische Kennwerte wie Elastizitätsmodul  $E_{cm}$  und Betonzugfestigkeit  $f_{ctm}$  können anhand der analytischen Beziehungen in DIN EN 1992-1-1 [2], Tabelle 3.1, näherungsweise berechnet werden.

Eine Modifikation der Teilsicherheitsbeiwerte entsprechend DBV-Merkblatt [7] ist bei der Zuordnung der charakteristischen Betonfestigkeiten auf Grundlage von Planungsdokumenten nicht möglich, da hierfür eine qualifizierte Bewertung der Betondruckfestigkeit durch Bauwerksuntersuchungen unerlässlich ist.

Bei Zuordnung der charakteristischen Betondruckfestigkeit nach Tabelle 1 ist der Bemessungswert der Betondruckfestigkeit  $f_{cd}$  entsprechend DIN EN 1992-1-1, Gleichung (3.15), definiert als:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

Für den Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  sowie den Beiwert  $\alpha_{cc}$  zur Berücksichtigung von Langzeitauswirkungen auf die Betondruckfestigkeit dürfen Werte nach [2] und [3] verwendet werden. Die Spannungs-Dehnungs-Linien zur Querschnittsbemessung historischer Stahlbetontragwerke dürfen nach [2] ermittelt werden.

### 3.2 Betonstahl

In Kapitel 3.2 des Sachstandberichts werden spezifische Eigenschaften für historischen Betonstabstahl, Betonstabstahl vom Ring und Betonformstahl angegeben. Zur Verwendung der in Tabelle 3 angegebenen Werte wird eine eindeutige und auf der sicheren Seite liegende Zuordnung vorausgesetzt. In Fällen, in denen dies nicht möglich ist sowie für Straßenbrücken/ Spannbetontragwerke, die bis 1953 errichtet wurden, dienen die in Tabelle 3 angegebenen Werte in der Regel lediglich der Vorbemessung und sind für eine abgesicherte Bewertung der Standsicherheit durch eine qualifizierte Bestandsaufnahme zu verifizieren.

Neben Informationen zur charakteristischen Streckgrenze  $f_{yk}$  und zur Duktilitätsklasse von Betonstabstählen und Betonformstählen verschiedener Zeitperioden sind in Kapitel 3.2 des Sachstandberichts zusätzlich Hinweise zu Betonstahl in den Lieferformen Betonstahlmatte und Gitterträger enthalten.

In Tabelle 3 ist die charakteristische Streckgrenze  $f_{yk}$  verschiedener Betonstähle in Abhängigkeit von Herstellungsart und Herstellungsjahr sowie eine Zuordnung in die Duktilitätsklassen A oder B in Anlehnung an [10] und [11] angegeben.

*Tabelle 1: siehe nächste Seite*

*Tabelle 2: Charakteristische Betondruckfestigkeit  $f_{ck}$  für hochfeste Betone nach DAfStb-Richtlinie [9]*

Betonklasse *)	B 65	B 75	B 85	B 95	B 105	B 115
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	53,0	61,0	69,5	77,5	86,0	94,0
*) Druckfestigkeit ermittelt am 200er Würfel, maßgebend: 5-%-Quantilwert						

Tabelle 1: Zuordnung von Betonfestigkeiten ab 1916 nach [5]

Zeitraum	Würfelkantenlänge [mm]	Bezeichnung											
	M: Mittelwert aus 3 Proben; 5%-Quantilwert	Nennwert der Betondruckfestigkeit <sup>a)</sup> geprüft am Würfel											
	zugeordnete charakteristische Zylinderdruckfestigkeit $f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]												
1916-1925 DAfEb	200		$W_{b28}$	$W_{b28}$									
	M [kg/cm <sup>2</sup> ]		150	180									
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		8	9,5									
1925-1932 DIN	200	$W_{b28}$	$W_{b28}$	$W_{b28}$									
	M [kg/cm <sup>2</sup> ]	100	130	180									
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	5	7	10									
1932-1943 DIN	200		$W_{b28}$	$W_{b28}$	$W_{b28}$								
	M [kg/cm <sup>2</sup> ]		120	160	210								
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		6,5	8,5	12								
1943-1972 DIN (TGL bis 1980)	200		B	B		B		B		B <sup>b)</sup>		B <sup>b)</sup>	
	M [kp/cm <sup>2</sup> ]		120	160		225		300		450		600	
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		6,5	11		15		20		30		40	
1972-1978 DIN [kp/cm <sup>2</sup> ]	200	Bn		Bn	Bn			Bn	Bn		Bn	Bn	
	5 % [kp/cm <sup>2</sup> ]	50		100	150			250	350			450	550
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	4		8	12			20	27,5			35,5	43,5
1980-1990 TGL	150	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk	Bk		Bk	Bk	Bk	Bk	
	5 % [N/mm <sup>2</sup> ]	5	7,5	10	15	20	25			35	45	50	55
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	4	5,5	7,5	11,5	15	19			26,5	34	38	41,5
1978-2001 DIN <sup>c)</sup>	200	B		B	B			B	B		B	B	
	5 % [N/mm <sup>2</sup> ]	5		10	15			25	35			45	55
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	4		7,5	12			20	27,5			35,5	43,5
ab 2001 DIN DIN EN	150		C8/	C12/		C16/	C20/	C25/	C30/	C35/	C40/		
	5 % [N/mm <sup>2</sup> ]		10	15		20	25	30	37	45	50		
	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		8	12		16	20	25	30	35	40		

a) Einheiten: 100 kg/cm<sup>2</sup> = 100 kp/cm<sup>2</sup>  $\approx$  10 N/mm<sup>2</sup>  
 b) DIN 4225:1944: Fertigbauteile aus Stahlbeton [8]  
 c) Die charakteristische Betondruckfestigkeit  $f_{ck}$  für hochfeste Betone nach DAfStb-Richtlinie für hochfesten Beton 1995-08 [9] ist für die Festigkeitsklassen B65 bis B115 entsprechend Tabelle 2 anzunehmen.

Tabelle 3: Charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonstabstählen und Betonformstählen verschiedener Zeitperioden (vgl. [10] und [11])

Bezeichnung	Stahlsorte	Verwendungszeitraum	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Duktilitätsklasse
Glatte Rundstähle (DIN 1000, DIN 1612, DIN 488)	Schweißseisen	vor 1923	180 <sup>a) b)</sup>	-
	Flusseisen (Bauwerks-, Handelseisen)	vor 1925	220 <sup>a) b)</sup>	B
	Flussstahl (St 37, St 37.12, St 00.12)	1925-1943		
	Betonstahlgruppe I	1943-1972	220 <sup>b)</sup>	
	BSt 220/340 GU	1972-1984		
Glatte Rundstähle (DIN 1000, DIN 1612, DIN 488)	hochwertiger Baustahl St 48	1925-1932	290 <sup>a) b)</sup>	B
	hochwertiger Beton- und Baustahl St 52	1932-1943	340 <sup>b) c)</sup>	
	Betonstahlgruppe IIa	1943-1972		
Glatte Rundstähle (TGL: 101-054, TGL 12530, TGL 33403)	St A-0 Betonstahl I	1965-1985	220 <sup>b)</sup>	B
	St A-I Betonstahl I	1965-1990	240 <sup>b)</sup>	
	St B-IV / St B-IV S	1972-1990	490 <sup>b)</sup>	-
Betonrippenstähle (DIN 488)	BSt 420/500 RU (III)	1972-1984	420	B
	BSt 420/500 RK (III)			A
	BSt 420 S (III)	1984-2009		B
	BSt 420 S (III) verwunden			A
	BSt 500 S (IV)		B	
	BSt 500 S (IV) verwunden	seit 2009	500	A
	B500A			B
	B500B			
Betonrippenstähle (TGL 101-054, TGL 12530, TGL 33403)	St A-III	1965-1990	390	B
	St T-III	1976-1985	400	
	St T-IV	1976-1990	490	
	St B-IV RDP / St B-IV S-RDP	1979-1990		-
Quergewalzte Beton- formstahl; Zulassung von 1952/1954 (QUERI-, Ilseder-, Nori-Stahl)	Betonstahlgruppe I	1952-1963	220	B
	Betonstahlgruppe IIa (naturhart)		340 <sup>b) c)</sup>	
	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)		400 <sup>b) d)</sup>	
	Betonstahlgruppe IVa (naturhart)		500 <sup>b)</sup>	

Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Tabelle 3

Bezeichnung	Stahlsorte	Verwendungszeitraum	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Duktilitätsklasse
Rippen-Torstahl	Betonstahlgruppe IIIb (kaltgereckt)	1962-1972	400 <sup>bi di</sup>	A
FILITON-Stahl	Betonstahlgruppe IIIb (kaltgereckt)	1965-1969		
NORECK-Stahl	Betonstahlgruppe IIIb (kaltgereckt)	1960-1967		
HI-BOND-A-Stahl	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)	1962-1973		B
DIROC-Stahl	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)	1964-1969		
Betonformstahl <sup>e)</sup>	BSt 420/500 RUS / RTS	seit 1977	420	B
	BSt 500/550 RU (IV)	1973-1984	500	A
	BSt 500/550 RK (IV)			B
	BSt 500/550 RUS / RTS	1976-1984		
GEWI-Stahl <sup>e)</sup>	BSt 420/500 RU (III)	seit 1974	420	B
	BSt 500 S (IV)	seit 1984	500	
Isteg-Stahl <sup>e)</sup>	min. St 37 verwunden (kaltverfestigt)	1933-1942	340 <sup>bi ci</sup>	-
Drillwulst-Stahl <sup>e)</sup>	St 52	1937-1943	340 <sup>bi ci</sup>	B
	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)	1943-1956		
Nocken-Stahl <sup>e)</sup>	St 52	1937-1943	340 <sup>bi ci</sup>	B
	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)	1943-1954	400 <sup>bi di</sup>	
Nocken-Stahl <sup>e)</sup>	Betonstahlgruppe IVa (naturhart)	1943-1956	500 <sup>bi</sup>	B
Torstahl <sup>e)</sup>	Torstahl 36/15	1938-1943	360 <sup>bi</sup>	-
	Torstahl 40/10		400 <sup>bi</sup>	
	Betonstahlgruppe IIIb (kaltgereckt)	1943-1959	400 <sup>bi di</sup>	A
Stahl Becker KG <sup>e)</sup>	Betonstahlgruppe IIIa (naturhart)	1964-1969	400 <sup>bi di</sup>	B
Betonformstahl vom Ring <sup>e)</sup>	BSt 500 WR (IV)	seit 1984	500	B
	BSt 500 KR (IV)			A
Betonstahl in Ringen	BSt 500 WR mit Sonderrippung	seit 1991	500	A

a) Erhöhung des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_s$  um 10 % (vor 1943)  
 b) Bei glatten Betonstählen und Betonformstählen ist deren von DIN EN 1992 abweichendes Verbundverhalten zu berücksichtigen (siehe [1]).  
 c) Erhöhung auf 360 N/mm<sup>2</sup> bei Stabdurchmesser  $\leq$  18 mm  
 d) Erhöhung auf 420 N/mm<sup>2</sup> bei Stabdurchmesser  $\leq$  18 mm  
 e) nach Zulassung

Die Zuordnung in die Duktilitätsklassen A oder B erfolgt dabei entsprechend den in DIN 488-1:2009-08 [12] angegebenen Mindestwerten für das Verhältnis der Zugfestigkeit zur Streckgrenze ( $f_t/f_{yk}$ ) und die Dehnung bei Höchstlast  $\epsilon_{uk}$  (Tabelle 4).

Tabelle 4: Duktilitätsmerkmale von Betonstahl nach DIN 488-1:2009-08 [12]

Duktilitätsklasse	A	B
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$
$\epsilon_{uk}$ [%]	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$

Speziell für hochgerippte Betonstahlmatten aus der Zeit vor 1988 kann keine eindeutige Zuordnung in die Duktilitätsklassen A oder B erfolgen, da sie nicht die Bedingungen der Duktilitätsklasse A nach Tabelle 4 erfüllen.

Neben charakteristischer Streckgrenze  $f_{yk}$  und Duktilitätsklasse stellt die bezogene Rippenfläche  $f_R$  eine weitere bedeutende Kenngröße gerippter Betonstähle dar. Sie hat einen maßgeblichen Einfluss auf den Bemessungswert der Verbundfestigkeit  $f_{bd}$ .

Ab der normativen Einführung des Betonrippenstahls in DIN 1045:1972 [12] ist die bezogene Rippenfläche  $f_R$  in der jeweils entsprechenden Version der DIN 488 geregelt. Die bezogene Rippenfläche älterer Betonrippenstähle, die vor der normativen Einführung des Betonrippenstahls in DIN 1045:1972 verwendet wurde, kann der jeweiligen Zulassung entnommen bzw. auf Grundlage der dort enthaltenen Werte berechnet werden. Im DAFStb-Sachstandbericht ist eine tabellarische Auflistung der bezogenen Rippenfläche der ab 1972 in DIN 488 sowie der in TGL 12530 geregelten Betonrippenstähle in Abhängigkeit vom Durchmesser der Bewehrung enthalten.

In Bild 1 ist exemplarisch die Spannungs-Dehnungs-Linie verschiedener Betonstähle nach [13] dargestellt. Für BSt 500 und BSt 420 ist ein Anstieg der Arbeitslinie nach Überschreiten der Streckgrenze ausnutzbar. 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 [5]. 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 nach Tabelle 4 erfüllen.

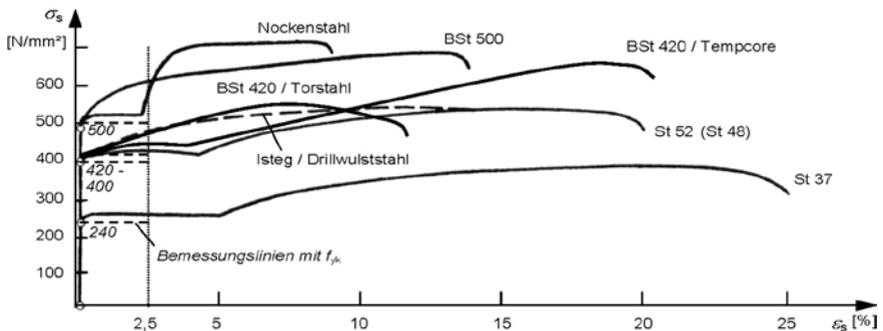


Bild 1: Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Linien von Betonstählen nach DBV-Merkblatt Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl [13]

### 3.3 Spannstahl

In Kapitel 3.3 des Sachstandberichts werden Hinweise zum Umgang mit Spannstählen mit heute nicht mehr gültiger Zulassung in Kombination mit Berechnungen nach DIN EN 1992-1-1 bzw. DIN EN 1992-2 gegeben. Die Gültigkeit sämtlicher Informationen ist unabdingbar mit einer eindeutigen Zuordnung der verwendeten Spannstähle zu einem bestimmten Erzeugnis auf Grundlage der Angaben aus den Original-Planungsdokumenten verbunden.

Neben Angaben zum Relaxationsverhalten und den Maßen und Oberflächeneigenschaften der Spannstähle werden zur Nachrechnung folgende charakteristische Eigenschaften (5%-Quantil) der Spannstähle benötigt: die 0,1%-Dehngrenze  $f_{p0,1k'}$ , die Zugfestigkeit  $f_{pk}$  und die Dehnung bei Höchstlast  $\epsilon_{uk}$ . Diese Angaben können meist der zum Bauezeitpunkt gültigen

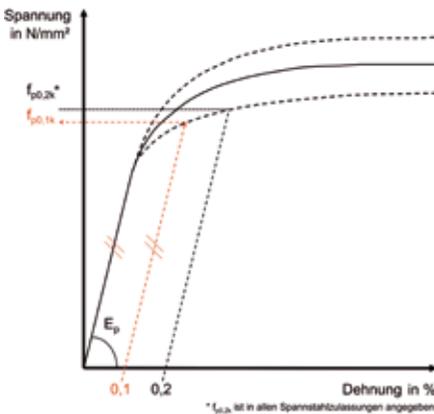


Bild 2: Graphische Ermittlung der für die Nachweise im GZT benötigten 0,1%-Dehngrenze aus der in Spannstahlzulassungen enthaltenen Spannungs-Dehnungs-Linie [1]

Zulassung entnommen werden. In älteren Zulassungen mit Bezug auf DIN 4227 ist die 0,1%-Dehngrenze oft nicht angegeben. Die erste Kennzahl der Stahlgüte stellt 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 aus den in den Zulassungen angegebenen Spannungs-Dehnungs-Linien der Spannstähle ermittelt werden (vgl. Bild 2). Details hierzu sind im Sachstandbericht, Kapitel 3.3.3, angegeben.

Als Übersicht sind für ausgewählte Zeitpunkte (1958, 1966, 1975, 1983, 1991) die wichtigsten der in den jeweiligen Zulassungen enthaltenen Materialkennwerte der bauaufsichtlich (baupolizeilich) in der Bundesrepublik Deutschland sowie der DDR zugelassenen Spannstähle in tabellarischer Form im DAfStb-Sachstandbericht angegeben. Exemplarisch ist in Tabelle 5 ein Ausschnitt der Übersicht der 1958 in der Bundesrepublik

Deutschland zugelassenen Spannstähle und Spanndrahtlitzen dargestellt. Darüber hinaus sind im Sachstandbericht auch Informationen zu Duktilitäts- und Ermüdungseigenschaften historischer Spannstähle angegeben.

Die zur Querschnittsbemessung erforderlichen Spannungs-Dehnungs-Linien dürfen entsprechend [6] genutzt werden. Kenngrößen können dabei direkt aus der entsprechenden Zulassung entnommen bzw. aus dort angegebenen Spannungs-Dehnungs-Linien grafisch ermittelt werden. Wenn einzelne Größen in der originalen Zulassung nicht in SI-Einheiten angegeben sind, müssen sie mit dem genauen Faktor  $1 \text{ kg/mm}^2 = 1 \text{ kp/mm}^2 = 9,81 \text{ N/mm}^2$  umgerechnet werden.

Mit der Einführung der Richtlinie für die Zulassungsprüfungen an Spannstählen, Ausgabe Juli 1971 [14], wurden Relaxationsversuche verbindlich. 1973 wurde erstmals in den Richtlinien

für Bemessung und Ausführung von Spannbetonbauteilen (DIN 4227:1973) die rechnerische Berücksichtigung der Spannungsverluste infolge Relaxation gefordert, weshalb Zulassungen aus dem Zeitraum vor ca. 1973 keine Angaben zum Relaxationsverhalten enthalten. Für solche Spannstähle werden im neuen DAfStb-Sachstandbericht Rechenwerte für die Spannungsverluste infolge Relaxation angegeben.

#### **4 Kennwerte älterer Spannsysteme**

Ein weiterer wichtiger Punkt zur Bewertung bzw. Nachrechnung bestehender Spannbetontragwerke nach DIN EN 1992-1-1 bzw. DIN EN 1992-2 ist der Umgang mit Spannverfahren mit heute nicht mehr gültiger Zulassung. Kapitel 4 des DAfStb-Sachstandberichts enthält u. a. Angaben zur maximalen Vorspannkraft während des Spannvorgangs  $P_{max}$ , dem Höchstwert des Mittelwertes der Vorspannkraft  $P_{m0}(x)$  unmittelbar nach Spannen und Verankern bzw. nach dem Übertragen der Vorspannung, zur Auswahl sofortiger Spannkraftverluste sowie Parameter der Ermüdungsfestigkeitskurven für Spannstahl in Kopplungen und Verankerungen.

Als Hilfe bei der Suche nach der damaligen Zulassung und der eindeutigen Zuordnung eines früher verwendeten Spannverfahrens ist im DAfStb-Sachstandbericht eine Tabelle mit ca. 400 bauaufsichtlich (baupolizeilich) zugelassenen Spannverfahren enthalten. Exemplarisch ist in Tabelle 6 ein Ausschnitt dieser Übersicht dargestellt.

#### **5 Zusammenfassung**

Die Zuordnung überlieferter Werkstoffkennwerte zu aktuellen Festigkeiten auf Grundlage vorliegender Planungsdokumente ist zumindest im Rahmen von Vordimensionierungen sinnvoll, da dadurch eine Schädigung der Tragstruktur durch Probekörperentnahme vermieden wird. Hierzu bildet der neue DAfStb-Sachstandbericht durch den umfassenden Überblick über die in Deutschland (einschließlich der DDR) verwendeten Betone, Betonstähle und Spannstähle eine gute Grundlage, sowohl für Hoch- und Ingenieurbauwerke als auch für Brücken und Teile von Brücken.

Für eine abgesicherte Nachrechnung wird insbesondere bei älteren Bauwerken eine Überprüfung der vorliegenden Materialfestigkeiten am bestehenden Tragwerk unerlässlich sein.

Tabelle 5: Teilübersicht der 1958 in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Spannstähle und Spanndrahtlitzen, Auszug aus [1]

Art	Stahlgüte St	Handelsbezeichnung	Querschnitt Ø-A [mm]-[mm <sup>2</sup> ]	Streckgrenze $\beta_s$ bzw. $\beta_{s,2}$ [kg/mm <sup>2</sup> ] <sup>a</sup>	Zugfestigkeit $\beta_t$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Elastizitätsgrenze $\beta_{s,0,01}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Elastizitätsmodul $E_s$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Bruchdehnung $\delta_{b,a1}$ [%]	Kriechgrenze <sup>b)</sup> [kg/mm <sup>2</sup> ]	Hersteller	Zulassungsnummer
warmgewalzt	55/85	Sigma-Spannstahl	rund; Ø10,0-20,0	55	85	50	2,10·10 <sup>4</sup>	10	50	Hüttenwerk Rheinhausen	II A 4 – 2.43 Nr. 2153/56
warmgewalzt	60/90	Sigma-Spannstahl	rund; Ø13,0-32,0	60	90	55	2,10·10 <sup>4</sup>	8	55	Hüttenwerk Rheinhausen	II A 4 – 2.43 Nr. 2153/56
warmgewalzt	70/105	Sigma-Spannstahl	rund; Ø8,0-12,0	70	105	63	2,10·10 <sup>4</sup>	8	60	Hüttenwerk Rheinhausen	II A 4 – 2.43 Nr. 2153/56
vergütet	125/140	Sigma-Spannstahl	rund; Ø10,0-13,0	125	140	100	2,05·10 <sup>4</sup>	6	95	Hüttenwerk Rheinhausen	II A 4 – 2.43 Nr. 2151/56
vergütet	145/160 <sup>c)</sup>	Sigma-Spannstahl	rund; Ø5,2-6,0	145	160	120	2,05·10 <sup>4</sup>	6	110	Hüttenwerk Rheinhausen	II A 4 – 2.43 Nr. 2151/56

a) Bruchdehnung am langen Proportionalstab (L = 10·d<sub>j</sub>)

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 spannungsrisikokorrosionsgefährdet [15]. Bauwerke, die unter Verwendung dieser Stähle erstellt wurden, bedürfen einer gesonderten Betrachtung, um ein Versagen ohne Vorankündigung auszuschließen.

Tabelle 6: 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]

Antragsteller (Firma, Zulassungsinhaber)	Gegenstand (Spannverfahren)	Gültigkeit		Zulassungsnummer	Art <sup>a)</sup>	Zulassungsstelle <sup>b)</sup>
		von	bis			
B + B Vorspanntechnik GmbH	Litzenspannverfahren Bilfinger + Berger	31.01.1979	31.01.1984	Z-13.1-31	Z	DIBt
B + B Vorspanntechnik GmbH	Litzenspannverfahren Bilfinger + Berger (B + B L 1 bis 11)	31.01.1984	31.01.1989	Z-13.1-31	Z	DIBt
B + B Vorspanntechnik GmbH	Spannverfahren Bilfinger + Berger	01.12.1981	30.11.1986	Z-13.1-30	Z	DIBt
BBR Systems Ltd.	Spannverfahren CONA für die Anwendung nach DIN 1045-1 und DIN-Fachbericht 102	27.02.2004	28.02.2009	Z-13.1-108	Z	DIBt
BBR Systems Ltd.	Spannverfahren CONA-Single Litzenspannglied ohne Verbund	25.01.2002	31.03.2005	Z-13.2-46	Z	DIBt
BBR VT International Ltd.	Anwendungsregeln für das BBR VT CONA CMI-Spannverfahren mit nachträglichem Verbund mit 4 bis 31 Litzen nach ETA-06/0147	30.04.2007	24.08.2011	Z-13.7-122	Z	DIBt
BBR VT International Ltd.	Anwendungsregeln für das BBR VT CONA CMI-Spannverfahren mit nachträglichem Verbund mit 4 bis 31 Litzen nach ETA-06/0147	03.08.2007	24.08.2011	Z-13.7-122	Z	DIBt
BBR VT International Ltd.	Anwendungsregeln für das BBR VT CONA CMM - Spannverfahren ohne Verbund mit 1, 2 und 4 Litzen nach ETA-06/0165	05.11.2007	30.11.2012	Z-13.72-60165	Z	DIBt
BBR VT International Ltd.	BBR VT CONA CMI - Spannverfahren im Verbund mit 4 bis 31 Litzen. Litzen-Spannverfahren, intern, im Verbund, für das Vorspannen von Tragwerken	25.08.2006	24.08.2011	ETA-06/0147	Z	OIB
BBR VT International Ltd.	BBR VT CONA CMI - Spannverfahren im Verbund mit 1, 2 und 4 Litzen. Litzen-Spannverfahren, intern, im Verbund, für das Vorspannen von Tragwerken	15.11.2006	14.11.2011	ETA-06/0165	Z	OIB
BBR VT International Ltd.	Litzenspannverfahren VT-CMM D für externe Vorspannung	14.07.2014	01.09.2017	Z-13.3-78	Z	DIBt

<sup>a)</sup> Z = Zulassung, E = Ergänzung, Ä = Änderung, V = Verlängerung

<sup>b)</sup> DIBt = Deutsches Institut für Bautechnik (vor 1993 Institut für Bautechnik), ITB = Instytut Techniki Budowlanej (Polnisches Institut für Bautechnik), OIB = Österreichisches Institut für Bautechnik

## Literatur

- [1] Schnell, J.; Zilch, K.; Weber, M.; Dunkelberg, D.: Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken. Sachstandbericht, Berlin: Beuth (in Vorbereitung, Veröffentlichung geplant 2015).
- [2] 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; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010.
- [3] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [4] Vorläufige Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauteilen. Verband Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine und Deutscher Betonverein, Berlin, 1904.
- [5] 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.
- [6] DIN EN 206:2014-07: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.
- [7] DBV-Merkblatt:2013-03: Bauen im Bestand – Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Stahlbetonbauteile.
- [8] DIN 4225:1944: Teil E – Fertigteile aus Stahlbeton.
- [9] DAFStb-Richtlinie für hochfesten Beton: Ergänzung zu DIN 1045/07.88 für die Festigkeitsklassen B 65 bis B 115, Berlin: Beuth, 1995.
- [10] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Berlin, Ausgabe 05/2011.
- [11] Bindseil, P.; Schmitt, M.: Betonstähle – vom Beginn des Stahlbetonbaus bis zur Gegenwart. Berlin: Verlag Bauwesen (CD 2002), [www.bau-fachbuch.de](http://www.bau-fachbuch.de).
- [12] DIN 488-1:2009-08: Betonstahl – Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung.
- [13] DBV-Merkblatt:2008-01: Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl.
- [14] Institut für Bautechnik (DIBt, Hrsg.): Richtlinie für die Zulassungsprüfungen an Spannstählen. Ausgabe 07/1971.
- [15] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion). Ausgabe 06/2011.
- [16] DIN 1045:1972-01: Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung.