

## **Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf Bestandsbauten im Hochbau**

**-Kurzbericht-**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des  
Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
gefördert.

(Aktenzeichen: Z 6 – 10.08.18.7 – 06.8 / II 2 – F20-06-019)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Projektleiter: Prof.-Dr.-Ing. Jürgen Schnell  
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Alexander Fischer  
Dipl.-Ing. Markus Loch

Kaiserslautern August 2008

**Inhalt**

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Begründung des Forschungsprojekts	1
1.2. Ziele und Durchführung des Forschungsprojekts	1
<b>2. Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>2</b>
2.1. Rechenwerte der charakteristischen Betondruckfestigkeiten	2
2.2. Rechenwerte der charakteristischen Materialeigenschaften von Betonstählen	4
2.2.1. Betonstabstahl	5
2.2.2. Betonformstahl mit Zulassung	6
2.2.3. Betonstahlmatten	7
2.3. Teilsicherheitsbeiwerte für Bestandsbauten	7
2.3.1. Biegebemessung von Stahlbetonbauteilen	7
2.3.1.1. Einfluss des Verhältnisses von ständiger Last und Nutzlast	8
2.3.1.2. Einfluss der Betondruckfestigkeit	9
2.3.1.3. Auswirkung des Längsbewehrungsgrades	9
2.3.1.4. Optimierte Teilsicherheitsbeiwerte für Biegezugversagen	9
2.3.2. Umsetzung in die Baupraxis	11
<b>Literatur</b>	<b>12</b>

## **1. Einleitung**

### **1.1. Begründung des Forschungsprojekts**

Unter Bauen im Bestand wird die Instandsetzung, die Ertüchtigung oder die Änderung bestehender baulicher Anlagen verstanden. Die Beteiligten müssen dabei klären, auf welcher Grundlage bautechnische Nachweise zu führen sind.

Das Vorhaben war von Planern und Bauausführenden angeregt worden, die mit zwischen den Vertragsparteien und Genehmigungsbehörden strittiger Bewertung von Standsicherheitsfragen befasst sind.

Mit dem vorliegend beschriebenen Forschungsvorhaben sollten Anwendungsregeln für die Bemessung von Bestandsbauten im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Standsicherheitsnachweis) erarbeitet werden, um Sicherheitsdefizite ebenso wie Überdimensionierungen zu vermeiden.

### **1.2. Ziele und Durchführung des Forschungsprojekts**

Grundsätzlich ergeben sich folgende Situationen, wenn für ein bestehendes Tragwerk eine neue Statische Berechnung erstellt werden soll, weil aufgrund von Umnutzung, Umbau, Lasterhöhung etc. bestehende Tragwerksteile zusätzlich beansprucht werden:

#### **I. Nachrechnung bestehender Tragwerke ohne zusätzliche Informationen aus einer Bestandsaufnahme**

Das Tragwerk wurde nach seinerzeit gültigen Normen bemessen. Eine ausreichend umfängliche Probenentnahme aus dem Bauwerk ist nicht möglich – z. B. weil das Gebäude zum Zeitpunkt der Nachbemessung voll genutzt wird. Für eine erste Vorbemessung können die benötigten Materialkennwerte anhand der Materialangaben der ursprünglichen Planungsunterlagen gewählt werden.

Da die Neuberechnung jedoch grundsätzlich immer nach aktuellem Normenwerk zu erfolgen hat, sind die Werkstoffkennwerte gemäß der seinerzeits gültigen Normfestlegungen an die aktuellen Bezugswerte anzupassen. In der vorliegenden Arbeit erfolgt dies über Umrechnungsfaktoren, welche z. B. die unterschiedlichen Prüfkörpergeometrien in den einzelnen Normengenerationen ausgleichen. Die Anwendung des semiprobabilistischen Sicherheitskonzepts der neuen Normengeneration setzt des Weiteren voraus, dass die Eigenschaften der verwendeten Baustoffe als sogenannte charakteristische Kenngrößen vorliegen, d.h. dass sie unter Annahme einer statistischen Verteilung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftraten (Quantilwerte).

Auf der Grundlage einer umfangreichen Literaturrecherche sind für die Baustoffe Beton und Betonstahl die oben genannten Umrechnungsfaktoren sowie Rechenwerte der charakteristischen Kenngrößen der maßgeblichen mechanischen Werkstoffeigenschaften bestimmt worden. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand von Tabellen, welchen die charakteristischen Werte für die Materialgüten einzelner Zeitperioden entnommen werden können. Diese theoretischen Annahmen können jedoch nur der Vorbemessung dienen. Bei der tatsächlichen Bewertung der Standsicherheit einer baulichen Anlage müssen für die weiteren Planungsschritte die getroffenen Annahmen durch entsprechende Bestandsaufnahmen eines sachkundigen Planers überprüft werden.

## II. Nachrechnung bestehender Tragwerke mit zusätzlichen Informationen aus einer Bestandsaufnahme

Wird vor Beginn der Baumaßnahme eine Bestandsaufnahme durchgeführt, so können in der Regel verlässliche Informationen über die Art der Nutzung und über vorhandene Bauwerkseigenschaften gewonnen werden, so dass ein Großteil der nachfolgenden Unsicherheiten nicht durch Sicherheitszuschläge abgedeckt werden muss. Auf dieser Grundlage können die Teilsicherheitsbeiwerte in Einzelfallentscheidungen modifiziert werden. In vielen Fällen gelingt der Nachweis bestehender Konstruktionen ohne Verstärkungsmaßnahmen durch eine begründete Reduzierung der Teilsicherheitsbeiwerte, ohne das nach aktueller Norm geforderte Zuverlässigkeitsniveau zu unterschreiten.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Neubauten müssen alle in Abb. 2.1 dargestellten Unsicherheitsfelder abdecken.

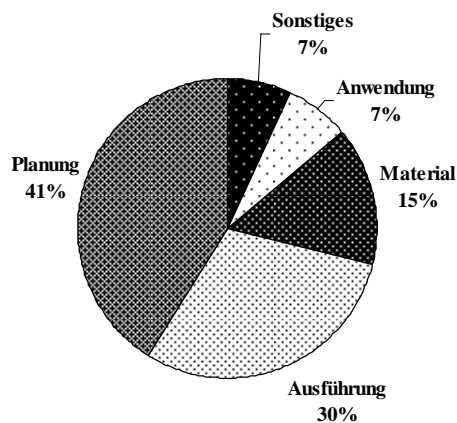


Abb. 2.1: Ursachen für Qualitätsmängel an Bauwerken nach *Hansen 2004*

Dabei erweist sich insbesondere das Verhältnis von Eigen- und Nutzlast bei Massivbauten als Ansatzpunkt zur Reduzierung von Teilsicherheitsbeiwerten auf Materialseite. Weiterhin ergeben sich geringere Materialsicherheitsbeiwerte, wenn die Streuung der angetroffenen Werkstofffestigkeiten geringer ist, als in den zugehörigen Normen zugrundegelegt. Alle am Bauwerk gewonnenen Zusatzinformationen gehen in die probabilistischen Parameterstudien zur Kalibrierung modifizierter Materialsicherheitsbeiwerte ein.

## 2. Zusammenfassung der Ergebnisse

### 2.1. Rechenwerte der charakteristischen Betondruckfestigkeiten

#### 2.1.1. Betonfestigkeitsklassen und -güten von 1916 bis 1972

Der nachfolgenden Tabelle können für Betongüten und –klassen einzelner Zeiträume zwischen 1916 und 1972 (bzw. 1980 für Betone gemäß den Standards auf dem Hoheitsgebiet der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik) Rechenwerte der charakteristischen Betondruckfestigkeiten entnommen werden. Anhand von Umrechnungsfaktoren wurden dabei die unterschiedlichen Prüfkörpergeometrien und Lagerungsbedingungen der früheren Regelwerke berücksichtigt.

Es wird dabei zwischen einer unteren und oberen Grenze der charakteristischen Betondruckfestigkeit ( $f_{ck}^u$ ,  $f_{ck}^o$ ) unterschieden, welche unterschiedliche Qualitätsniveaus der Betonproduktion mit den dazugehörigen unterschiedlichen Streuungen der Betondruckfestigkeiten repräsentieren. Die untere

Grenze der Druckfestigkeit wird für kleinere Baustellen mit annehmbarer Überwachung und Herstellung des Betons auf der Baustelle ohne Probenentnahmen erwartet. Die obere Grenze kann für Betone angenommen werden, die auf mittleren Baustellen mit sehr guter Überwachung (3-10 Betonproben) oder Großbaustellen mit guter Überwachung (mehr als 30 Betonproben bei der Herstellung) hergestellt wurden.

Zeitraum	Betonfestigkeitsgüte oder -klasse	untere Grenze $f_{ck}^u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	obere Grenze $f_{ck}^o$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ck}^u ; f_{ck}^o$ nach aktueller Festigkeitsklasse (DIN EN 206-1)
1916-1925	W <sub>28</sub> =150 kg/cm <sup>2</sup>	6,3	8,5	- ; C8/10
	W <sub>28</sub> =180 kg/cm <sup>2</sup>	7,5	10,2	- ; C8/10
1925-1932	W <sub>b28</sub> =100 kg/cm <sup>2</sup>	4,2	5,7	- ; -
	W <sub>b28</sub> =130 kg/cm <sup>2</sup>	5,4	7,4	- ; -
	W <sub>b28</sub> =180 kg/cm <sup>2</sup>	7,5	10,2	- ; C8/10
1932-1943	W <sub>b28</sub> =120 kg/cm <sup>2</sup>	5,0	6,8	- ; -
	W <sub>b28</sub> =160 kg/cm <sup>2</sup>	6,7	9,1	- ; C8/10
	W <sub>b28</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	9,0	11,1	- ; C8/10
1943-1972 (DDR bis 1980)	B 120	5,0	6,2	- ; -
	B 160	6,7	8,3	- ; C8/10
	B 225	10,1	12,3	C8/10 ; C12/15
	B 300	15,5	18,0	~C16/20 ; C16/20

Tab. 2.1: Zuordnung der Betonfestigkeiten verschiedener Betongüten und -klassen von 1916 bis 1972 (bzw. 1980 DDR) in die Festigkeitsklassen nach *DIN EN 206-1; 2001-07* unter Berücksichtigung des Qualitätsniveaus der Betonproduktion

### 2.1.2. Betonfestigkeitsklassen von 1972 bis 2001

Da die Festlegung der Nenndruckfestigkeit  $\beta_{wN}$  ab *DIN 1045; 1972* als 5%-Quantil der Grundgesamtheit definiert ist, sind für die Umrechnung auf die charakteristische Zylinderdruckfestigkeit nur die Umrechnungsfaktoren für die unterschiedliche Probenform und die unterschiedliche Lagerung zu berücksichtigen. Das gleiche gilt für Betonfestigkeitsklassen von 1981 bis 1990 gemäß den Einheitlich Technischen Vorschriftenwerken des Betonbaus auf dem Hoheitsgebiet der ehemaligen DDR.

Zeitraum	Betonfestigkeits- klasse	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Festigkeitsklasse nach <i>DIN EN 206-1; 2001-07</i>
1972-1978	Bn 50	3,9	-
	Bn 100	7,7	~C8/10
	Bn 150	11,6	~C12/15
	Bn 250	19,3	C16/20
	Bn 350	27,1	C25/30
	Bn 450	34,8	~C35/40
	Bn 550	42,5	C40/50
1978-2001	B 5	3,9	-
	B 10	7,7	~C8/10
	B 15	11,6	~C12/15
	B 25	19,3	C16/20
	B 35	27,1	C25/30
	B 45	34,8	~C35/45
	B 55	42,5	C40/50
1981-1990 (DDR)	Bk 5	3,7	-
	Bk 7,5	5,5	-
	Bk 10	7,4	~C8/10
	Bk 15	11,0	~C12/15
	Bk 20	14,7	~C12/15
	Bk 25	18,4	C16/20
	Bk 35	25,8	C25/30
	Bk 45	33,1	C30/37
	Bk 55	40,5	C40/50

Tab. 2.2: Zuordnung der Betonfestigkeit für verschiedene Betonklassen von 1972 bis 2001 in die Festigkeitsklassen nach *DIN EN 206-1; 2001-07*

## 2.2. Rechenwerte der charakteristischen Materialeigenschaften von Betonstählen

Wie ein Vergleich zwischen den Prüfbedingungen des früheren und aktuellen Normenwerks zeigt, sind die in den einzelnen Normengenerationen geforderten mechanischen Materialeigenschaften der Betonstähle hinsichtlich ihrer Prüfbedingungen ab 1936 als vergleichbar zu bewerten.

In den folgenden Tabellen sind die charakteristischen Streckgrenzen (bei Erzeugnissen ohne ausgeprägte Streckgrenze die 0,2%-Dehngrenzen) für Betonstähle - geordnet nach ihren Bezeichnungen - aus verschiedenen Zeitperioden zu entnehmen.

Die Zuordnung von Betonstabstählen in die Duktilitätsklassen nach *DIN 1045-1; 2001* erfolgt anhand der Erkenntnisse der durchgeführten Literaturrecherche und wird in den Abschnitten 2.3.1 und 2.3.4.4 des Schlussberichts näher erläutert.

Für die in verschiedenen Zeitperioden produzierten Betonstahlmatten können keine allgemeinen Empfehlungen zur Einstufung in eine Duktilitätsklasse gegeben werden.

### Betonstähle vor 1972

Da für Betonstähle, die vor 1972 produziert wurden, keine ausreichenden statistischen Kennwerte vorliegen, werden die Empfehlungen der *DB-Richtlinie 805* zur Annahme der charakteristischen Streckgrenze  $f_{yk}$  übernommen.

### Betonstähle ab 1972

Da im Allgemeinen die geforderten Nennwerte der Streckgrenze in den jeweiligen Normen und Standards ab 1972 einem 5%-Quantil entsprechen werden sie als Rechenwert der charakteristischen Streckgrenzen  $f_{yk}$  angenommen. Für Betonformstähle mit allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassungen gilt dies bereits ab 1968 (westliche Bundesländer).

#### 2.2.1. Betonstabstahl

Bezeichnung	Stahlgüte [Duktilitätsklasse]	Verwendung	Jahr	charakt. Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]
glatte Rundstähle	Flusseisen; Flusstahl (ab 1925: St 00.12) [B]	1860-1937	-	130
	Flusstahl, Handelseisen (ab 1925: St 37, St 37.12) [B]	1860-1972	vor 1943	210
			ab 1943	245
	Betonstahl I (ab 1943) [B]	1943-1972	1943	245
	BSt 220/340 GU (DIN 488) [B]	1972-1984	1972	220
	hochwertiger Stahl St 52 [B]	1932-1972	1932	260
	Betonstahl IIa (ab 1943) [B]	1943-1972	1943	315
	St A-0 (DDR) Betonstahl I [B]	1965-1985	ab 1965	245
			ab 1972	220
	St A-I (DDR) Betonstahl I[B]	1965-1990	ab 1965	245
ab 1972			240	
St B-IV / St B-IV S (DDR) [-]	1970-1990	1972	490	
Beton- Rippenstahl DIN 488	BSt 220/340 RU (I) [B]	1972-1984	1972	220
	BSt 420/500 RU (III) [B]			420
	BSt 420/500 RK (III) [A]			420
	BSt 420 S (III) [B]	seit 1984	1984	420
	BSt 420 S (III) verwunden [A]			500
	BSt 500 S (IV) [B]			500
Beton- Rippenstahl (DDR) TGL 101-054 TGL 12530 TGL 33403	St A-III [B]	1965-1990	ab 1965	315
			ab 1972	390
	St T-III [B]	1972-1985	1972	400
	St T-IV (ab 1981) [B] St B-IV RDP [-] St B-IV S-RDP [-]	1977-1990	1977	490
				490

Tab. 2.3: Rechenwerte der charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonstabstählen verschiedener Zeitperioden, in Anlehnung an *Fingerloos und Becker 2008*

## 2.2.2. Betonformstahl mit Zulassung

Bezeichnung	Stahlgüte [Duktilitätsklasse]	Verwendung	Jahr	charakt. Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]	
Isteg-Stahl	min. St 37, durch Verwindung kaltverfestigt [-]	1933-1942	1933	210	
Drillwulst-Stahl	St 52 [B]	1937-1956	1937	260	
	Betonstahl IIIa [B]		1943	315	
Nocken-Stahl	St 52 [B]	1937-1962	1937	260	
	BSt IIa, IIIa, IVa [B]		1943	315	
Torstahl	St 37 [-]	1938-1960	1938	210	
	Betonstahl IIIb [-]		1943	315	
quergerippter Betonformstahl	BSt I [B]	1952-1972	1952	245	
	BSt IIa [B], III a[B], IV a [A]			315	
	BSt IIb; IIIb; IVb [-]				
QUERI-Stahl	Betonstahl IVa [-]	1952-1972	1952	315	
kaltverformter, schräggerippter Betonformstahl	Betonstahl IIIb, IVb [-]	1956-1962	1956		
Rippen-Torstahl	Betonstabstahl IIIb [-]	1959-1972	1959		
FILITON-Stahl	Betonstahl IIIb [-]	1965-1969	1965		
HI-BOND-A-Stahl	Betonstahl IIIa [B]	1959-1972	1959		
NORI-Stahl	Betonstahl IIIa, IVa [B]	1960-1972	1960		
NORECK-Stahl	Betonstahl IIIb [-]	1960-1967	1960		
schräggerippter Betonformstahl	mit Einheitszulassung BSt IIIa [B]	1964-1972	1964		
DIROC-Stahl	Betonstahl IIIa [B]	1964-1969	1964		
Stahl Becker KG	Betonstahl IIIa [B]	1964-1969	1964		
GEWI-Stahl	BSt 420500 RU (III) [B]	seit 1974	1974		420
	BSt 500 S (IV) [B]	seit 1984	1984		500
Betonformstahl vom Ring	BSt 500 WR (IV) [B]	seit 1984	1984		500
	BSt 500 KR (IV) [A]				
Betonformstahl Kerntechnik	BSt 1100 [-]	seit 1988	1988	500	
Betonformstahl	BSt 420/500 RUS [B] BSt 420/500 RTS [B]	seit 1977	1977	420	
	BSt 500/550 RU (IV) [B] BSt 500/550 RK (IV) [A]	1973 -1984	1973	500	
	BSt 500/550 RUS [B] BSt 500/550 RTS [B]	1976-1984	1976	500	
	Betonstahl in Ringen mit Sonderrippung	BSt 500 WR [A]	seit 1991	1991	500

Tab. 2.4: Rechenwerte der charakteristische Streckgrenzen und Duktilitätsklassen von Betonformstählen mit Zulassung verschiedener Zeitperioden, in Anlehnung an *Fingerloos und Becker 2008*



### 2.2.3. Betonstahlmatten

Betonstahlmatten <sup>1)</sup>	Stahlgüte	Verwendung	Jahr	charakt. Streckgrenze [N/mm <sup>2</sup> ]
Baustahlgewebe B.St.G. mit glatten Stäben	ST 55 (IVb)	1932-1955	1932	315
- mit Profilierung N, Q, R-Matten	Betonstahl IV B	1957-1973	1957	315
Verbundstahlmatte mit Kunststoffknoten		1964-1969	1964	
- mit Sonderprofilierung <sup>3)</sup>		1968-1973	1968	
- mit Rippung				
- mit glatten Stäben	BSt 500/550 GK (IVb)	1972-1984	1972	500
	BSt 500 G (IV)	seit 1984	1984	
- mit profilierten Stäben	BSt 500/550 PK (IVb)	1972-1984	1972	
	BSt 500 P (IV)	seit 1984	1984	
	BSt 500/550 RK (IV)	1972-1984	1984	
	BSt 500 M (IV)	seit 1984	1984	
- mit gerippten Stäben	BSt 630/700 RK	1977	1977	630
	BSt 550 MW	1989	1989	550

<sup>1)</sup> Lagermattenbezeichnung nach Gewebegeometrie  
ab 1955: Q – quadratisch (Q 92 bis Q 377); R – rechteckig (R 92 bis R 884); N – nichtstatisch (N47 bis N 141);  
ab 1961: A 92, B 131 – Randmatten  
ab 1972: Q – (Q 84 bis Q 513); R – (R 131 bis R589), K – rechteckig (K 664 bis K 884); N – (N 94 und N 141);  
ab 1984: Q – (Q 131 bis Q 670); R – (R 188 bis R 589); K – (K 664 bis K 884)  
<sup>2)</sup> ab 1957 zwei Rippenreihen; ab 1962 drei Rippenreihen  
<sup>3)</sup> sechs Rippenreihen

Tab. 2.5: Rechenwerte der charakteristischen Streckgrenzen von Betonstahlmatten verschiedener Zeitperioden, in Anlehnung an *Fingerloos und Becker 2008*

### 2.3. Teilsicherheitsbeiwerte für Bestandsbauten

Der Bauteilwiderstand sowie die Einwirkungen auf das Bauteil sind durch die Grenzzustandsgleichungen, die die Versagensbedingungen beschreiben, miteinander verknüpft. In diesen Grenzzuständen werden alle statistischen Informationen des Widerstandes und der Einwirkungen verarbeitet. Diese Grenze entscheidet zwischen Erfüllung und Nichterfüllung der Tragwerkssicherheit, die durch die Versagenswahrscheinlichkeit ausgedrückt werden kann. Die benötigten Kenngrößen können z. B. aus *Rackwitz, R. 1996, JCSS 2000* und *Spaethe, G. 1992* entnommen werden. Weitere Angaben zu Einwirkungen auf Bauwerken sind auch in *Rackwitz, R. 1996, CIB W81 1991* und *CIB W81 1996* zu finden.

Als Zielwert der Zuverlässigkeit für die mithilfe der Software **RCP 2004** (Autor: Prof. Rackwitz, TU München) durchgeführten Parameterstudien wird entsprechend *DIN 1055-100; 2001* der Sicherheitsindex  $\beta_T = 4,7$  für den Bezugszeitraum von einem Jahr gewählt.

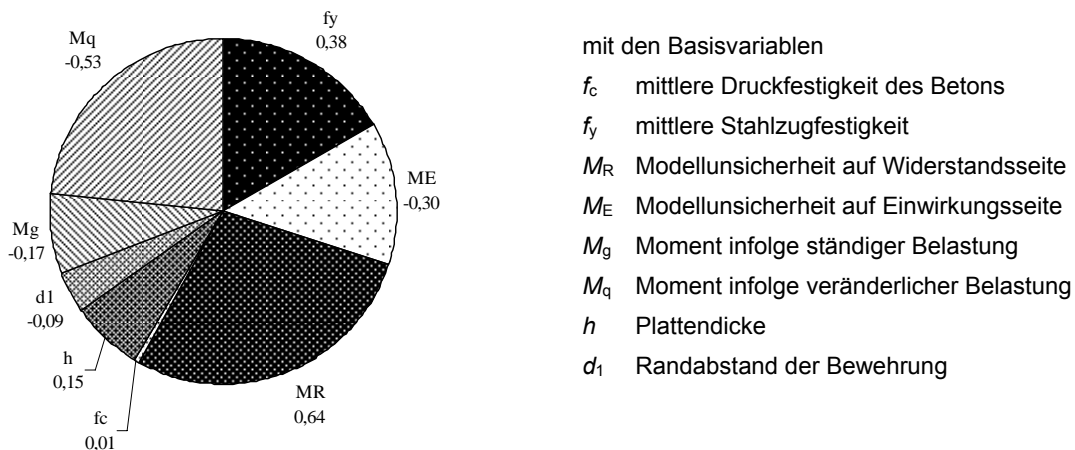
Der nachfolgend beschriebene Bemessungsvorschlag lässt die Einwirkungsseite unberührt.

#### 2.3.1. Biegebemessung von Stahlbetonbauteilen

Exemplarisch werden am Beispiel der Biegebemessung für gering bewehrte Stahlbetonbauteile (Biegezugbruch ist maßgebend) nachfolgend die maßgebenden Einflüsse diskutiert.

Hierbei werden die statistischen Kenngrößen aus der oben genannten Literatur entnommen. Diese Kenngrößen spiegeln die durchschnittliche Ausführungsqualität wider, die für die Zeit ab Beginn der 1980er Jahre unterstellt werden kann.

Als Ergebnis einer probabilistischen Untersuchung mittels der First Order Reliability Method FORM nach Anhang B von DIN 1055-100 erhält man den Zuverlässigkeitsindex  $\beta_T$  sowie Sensitivitätsfaktoren  $\alpha_i$ . Die Sensitivitätsfaktoren werden auch als Wichtungsfaktoren bezeichnet, da sie den Einfluss der jeweiligen Basisvariable auf die Zuverlässigkeit hinsichtlich des betrachteten Versagenskriteriums des Bauteils widerspiegeln. Abb.2.2 zeigt eine typische Verteilung der Sensitivitätsfaktoren für Biegezugversagen schwach bewehrter Stahlbetondeckenplatten infolge Wohn- und Büroraumnutzung.



mit den Basisvariablen

- $f_c$  mittlere Druckfestigkeit des Betons
- $f_y$  mittlere Stahlzugfestigkeit
- $M_R$  Modellunsicherheit auf Widerstandsseite
- $M_E$  Modellunsicherheit auf Einwirkungsseite
- $M_g$  Moment infolge ständiger Belastung
- $M_q$  Moment infolge veränderlicher Belastung
- $h$  Plattendicke
- $d_1$  Randabstand der Bewehrung

Abb. 2.2: Darstellung der Verteilung der Sensitivitätsfaktoren für Biegezugversagen gering bewehrter Stahlbetonplatten für  $g/q = 70/30$

Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass die Unsicherheit des mechanischen Modells sowie das Moment der veränderlichen Einwirkung infolge der Nutzlast  $M_q$  einen erheblichen Einfluss auf den Zielwert  $\beta_T$  haben. Ähnlich großen Einfluss haben die Stahlstreckgrenze  $f_y$  sowie die Modellunsicherheiten auf der Lastseite. Diese beeinflussen die Zuverlässigkeit relativ stark im Gegensatz zur Betondruckfestigkeit  $f_c$ , die nahezu keinerlei Beeinflussung aufweist. Die Bauteilhöhe  $h$ , der Abstand der Bewehrungslage vom Bauteilrand  $d_1$  sowie das Moment infolge ständiger Einwirkungen  $M_g$  beeinflussen die Zuverlässigkeit nur mäßig.

### 2.3.1.1. Einfluss des Verhältnisses von ständiger Last und Nutzlast

Veränderliche Einwirkungen haben – unter anderem wegen ihrem großen Variationskoeffizienten – einen signifikanten Einfluss auf die Bauteilzuverlässigkeit. Als Grenzfall wurde in den Parameterstudien unterstellt, dass die Nutzlast maximal genauso groß wie die ständige Belastung werden kann. Erwartungsgemäß sinkt die Zuverlässigkeit mit Zunahme des veränderlichen Lastanteils. Abb. 2.3 zeigt die deutlich geringere Zuverlässigkeit für den höheren Nutzlastanteil bei einem beispielsweise angenommenen Längsbewehrungsgrad von 0,06 %.

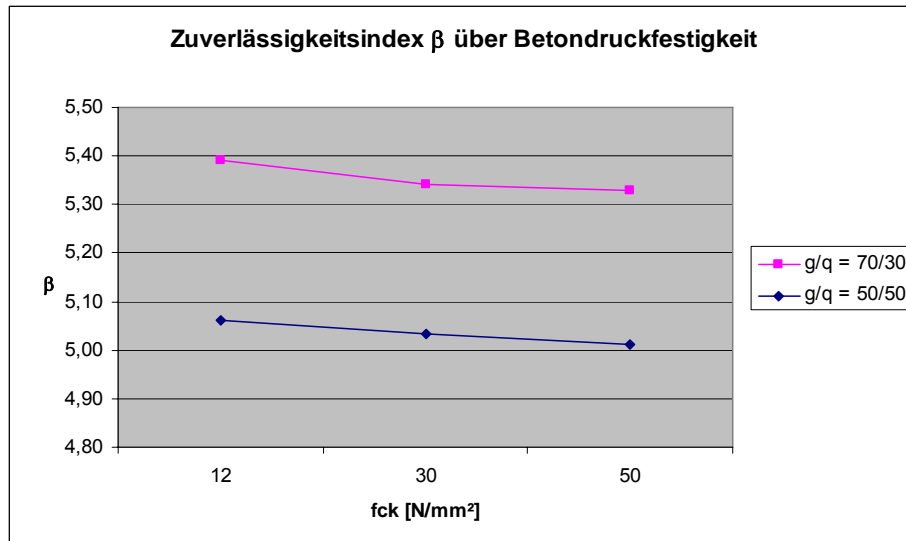


Abb. 2.3: Bauteilzuverlässigkeit für unterschiedliche Verhältnisse von ständiger zu veränderlicher Last (auf charakteristischer Basis) infolge der Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_c = 1,50$  und  $\gamma_s = 1,15$

### 2.3.1.2. Einfluss der Betondruckfestigkeit

Es ist festzustellen, dass mit zunehmender Betonfestigkeitsklasse die Zuverlässigkeit der Biegebauteile abnimmt. Betrachtet man die Zuverlässigkeit auf Querschnittsebene für Biegezugversagen von Deckenplatten und Balken, ergeben sich die in Abb. 2.4 dargestellten Werte für den Zuverlässigkeitsindex  $\beta_T$ .

### 2.3.1.3. Auswirkung des Längsbewehrungsgrades

Aus Abb. 2.5 ist zu entnehmen, dass der Längsbewehrungsgrad des Bauteils entscheidenden Einfluss auf dessen Zuverlässigkeit hat. Je größer der Bewehrungsgrad, umso größer ist die Zuverlässigkeit. Die Begründung liegt u. a. in der geringen Streuung der Stahlzugfestigkeit. Umfangreiche Studien hierzu wurden in dem Forschungsbericht angestellt. Bei der Variation des Teilsicherheitsbeiwertes  $\gamma_c$  für Beton zur Untersuchungen der Auswirkung des Längsbewehrungsgrades auf die Bauteilzuverlässigkeit ist wie erwartet wiederum keine wesentliche Zuverlässigkeitsminderung zu erkennen.

### 2.3.1.4. Optimierte Teilsicherheitsbeiwerte für Biegezugversagen

Für Biegezugversagen von Geschossdecken im Wohnungsbau haben sich folgende Erkenntnisse herauskristallisiert:

- Je höher die im Bauteil unterstellte Betonfestigkeitsklasse, umso geringer ist die Zuverlässigkeit der Deckenplatte für Biegezugversagen.
- Die Zuverlässigkeit des Bauteils steigt mit der Zunahme des Längsbewehrungsgrades  $\rho_l$ .
- Die Zuverlässigkeit der Deckenplatten sinkt deutlich bei Erhöhung des veränderlichen Nutzlastanteils.
- Die Variation der Betondruckfestigkeit  $f_c$  hat einen geringen Einfluss auf die Biegezugzuverlässigkeit der Deckenplatten.

Sofern die Bestandsaufnahme die Abmessungen, den Bewehrungsumfang, die Materialgüten und die statische Modellbildung sowie einen mängelfreien Bauwerkszustand bestätigt, wird eine Reduzierung der Teilsicherheitsbeiwerte für Beton auf  $\gamma_c = 1,20$  und für Betonstahl auf  $\gamma_s = 1,10$  vorgeschlagen.

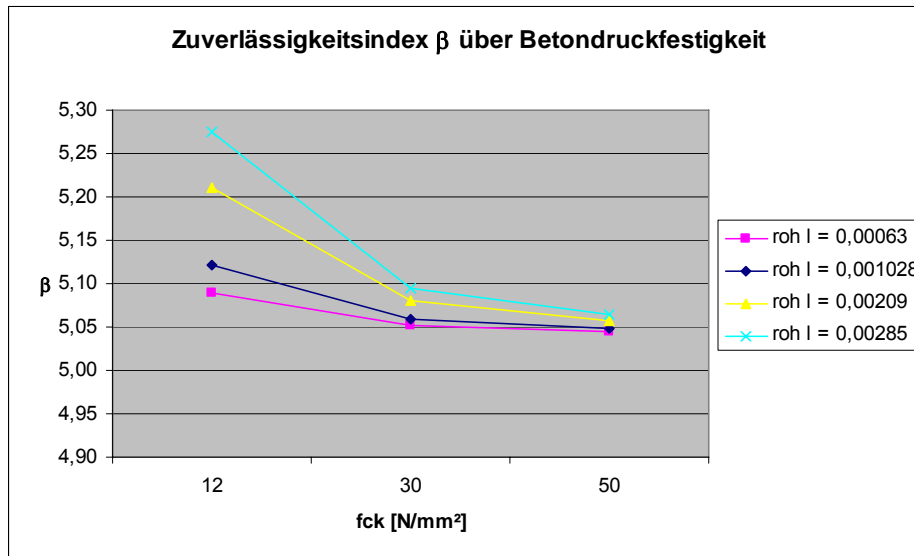


Abb. 2.4: Zuverlässigkeit in Abhängigkeit der Betongüte für unterschiedliche Längsbewehrungsgrade  $\rho_l$  mit dem Lastverhältnis  $g/q = 70/30$  infolge der Sicherheitsbeiwerte  $\gamma_c = 1,20$  und  $\gamma_s = 1,10$

Abb. 2.4 zeigt den Zuverlässigkeitsindex bei reduzierten Teilsicherheitsbeiwerten. Der Zielwert der Zuverlässigkeit von  $\beta_T = 4,7$  wird in keinem Fall unterschritten.

Die Untersuchung wurde zwar nur für das Lastverhältnis  $g / q = 70 / 30$  vorgenommen. Vorhergegangene Untersuchungen haben aber gezeigt, dass für ein Lastverhältnis von  $g / q = 50 / 50$  der Zuverlässigkeitsindex etwa um 0,3 absinkt. Somit sind auch bei gleich großem Lastanteil von ständiger und veränderlicher Last die reduzierten Sicherheitsbeiwerte von  $\gamma_c = 1,20$  und  $\gamma_s = 1,10$  vertretbar.

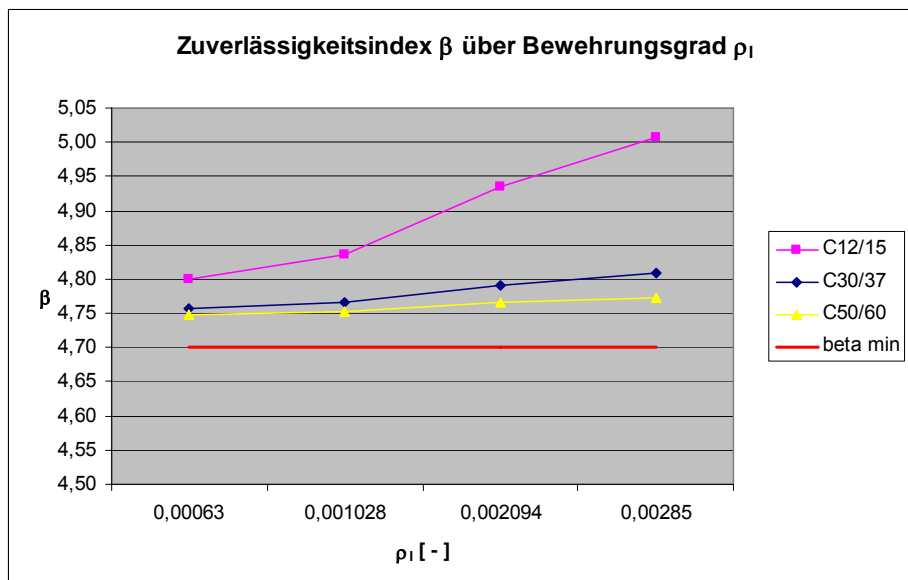


Abb. 2.5: Zuverlässigkeit in Abhängigkeit der Längsbewehrungsgrade  $\rho_l$  für unterschiedliche Betongüten mit dem Lastverhältnis  $g/q = 70/30$  infolge Sicherheitsbeiwerte  $\gamma_c = 1,20$  u.  $\gamma_s = 1,05$

In Abb. 2.5 ist zu erkennen, dass für reduzierte Sicherheitsbeiwerte von  $\gamma_c = 1,20$  und  $\gamma_s = 1,05$  die Grenzzuverlässigkeit noch nicht unterschritten wird.

### 2.3.2. Umsetzung in die Baupraxis

Die Ergebnisse der Parameterstudien aus dem Forschungsbericht für Wohn- und Büronutzung werden nachfolgend in einem Ablaufdiagramm zusammengefasst. Es wurden Parameterstudien für normalfeste Betone C12/15 bis C50/60 mit unterschiedlichen Variationskoeffizienten vorgenommen. Weiter wurde nach der Streuung der Betonstahlfestigkeit differenziert.

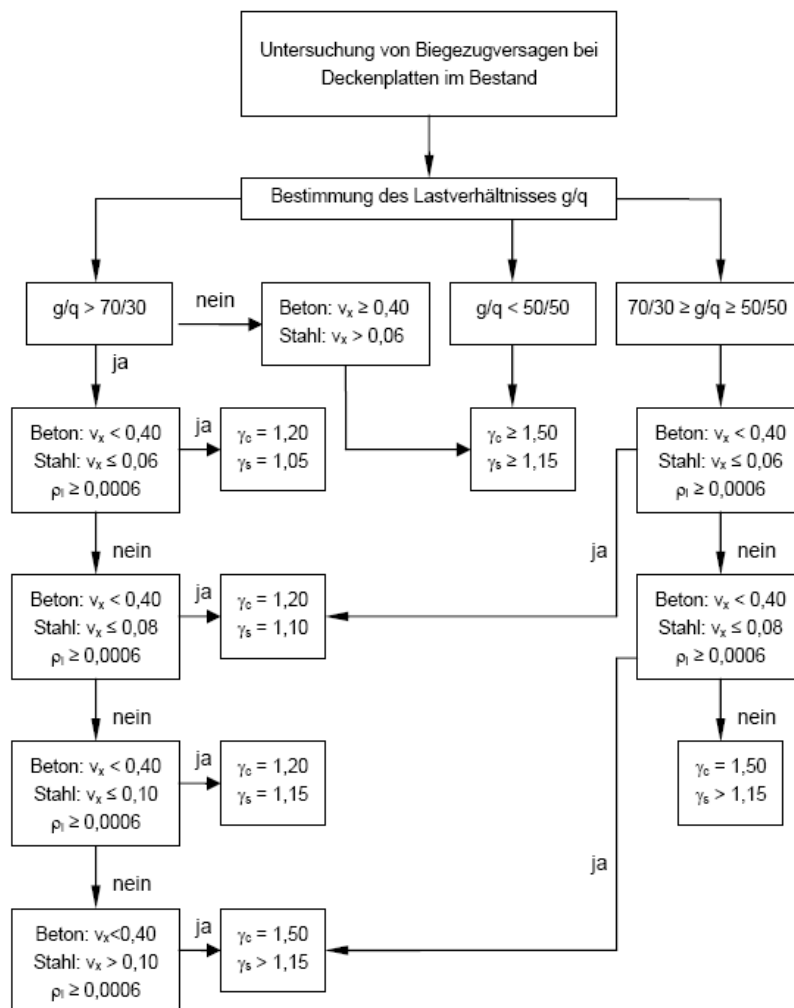


Abb. 2.6: Zusammenstellung der modifizierten Teilsicherheitsbeiwerte für Biegezugversagen bei Stahlbetonbauteilen im Bestand nach Bestandsaufnahme

Zu beachten ist, dass für sehr große Materialstreuungen des Betonstahls auch größere Teilsicherheitsbeiwerte als nach aktueller Norm erforderlich werden können. Ebenso können Einwirkungsverhältnisse, bei denen die veränderliche Einwirkung größer als die ständige Einwirkung ist, sehr große Teilsicherheitsbeiwerte auf Materialseite nach sich ziehen.

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass bei der vorgeschlagenen Modifikation der Teilsicherheitsbeiwerte auf der Materialseite keinerlei Abminderung der Sicherheitsbeiwerte auf Einwirkungsseite vorgenommen werden darf.

Ebenso ist eine analoge Vorgehensweise für den Nachweis der Querkrafttragfähigkeit und für den Nachweis gedrungener Druckglieder enthalten. Wurden für die Betondruckfestigkeit ein

Variationskoeffizient von  $v_x < 0,40$  und für den Betonstahl von  $v_x \leq 0,06$  festgestellt, können danach folgende Empfehlungen gegeben werden:

Für Platten ohne Querkraftbewehrung und ohne Durchstanzgefahr mit einem Lastverhältnis  $g/q \geq 70/30$  kann ein modifizierter Teilsicherheitsbeiwert des Betons  $\gamma_{c,mod} = 1,20$  angesetzt werden. Bei Druckgliedern, die nach Theorie 1. Ordnung nachgewiesen werden dürfen und deren Betondruckfestigkeit ein Variationskoeffizient von  $v_x < 0,20$  aufweist, können als modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für den Beton  $\gamma_{c,mod} = 1,20$  und für den Betonstahl  $\gamma_{s,mod} = 1,05$  auf der sicheren Seite liegend verwendet werden. Dies gilt jedoch nur, wenn die vorhandene Verbügelung den Mindestdurchmesser und Maximalabstand nach *DIN 1045-1; 2001-07* einhält.

### 3. Literatur und Technische Regelwerke

**CIB W81 1991:** Actions on Structures, Snow Loads, Report No. 141, Rotterdam, September 1991.

**CIB W81 1996:** Actions on Structures, General Principles, Report No. 201, Rotterdam, November 1996.

**Fingerloos, F.; Becker, A. 2008:** Merkblätter Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. Bauen im Bestand – Beton und Betonstahl. Fassung Januar 2008. Hrsg. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin, 2008.

**Hansen, M. 2004:** Zur Auswirkung von Überwachungsmaßnahmen auf die Zuverlässigkeit von Betonbauteilen. Dissertation, Uni Hannover, 2004

**JCSS 2000:** Probabilistic Model Code, Joint Committee on Structural Safety, [www.jcss.ethz.ch](http://www.jcss.ethz.ch), 2000.

**Rackwitz, R. 1996:** Einwirkungen auf Bauwerke. In: Mehlhorn, G. (Hrsg.): Der Ingenieurbau: Tragwerkszuverlässigkeit, Einwirkungen, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1996.

**RCP 2004:** STRUREL, A Structural Reliability Analysis Program-System, Modul: COMREL, RCP GmbH. München, 2004.

**Spaethe, G. 1992:** Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen. 2., neubearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Wien, 1992.

**DB-Richtlinie 805; 2002:** Tragsicherheit bestehender Brückenbauwerke. Deutsche Bahn, gültig ab 01.09.2002.

**DIN 1045-1; 2001-07:** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion.

**DIN 1055-100 2001:** Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln; Deutsches Institut für Normung e.V., Fassung März 2001.

**DIN EN 206-1; 2001-07:** Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität.