

# DBV-Merkblattentwurf Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für das Bauen im Bestand

Florian Stauder  
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Deutschland

Jürgen Schnell  
Technische Universität Kaiserslautern, Deutschland

## Zusammenfassung

Der Nachweis bestehender Bauteile unterscheidet sich grundsätzlich von der Bemessung neu herzustellender Bauteile. Während bei Bestandstragwerken die wesentlichen Bauteilparameter infolge einer qualifizierten Bestandsaufnahme ermittelt werden können, sind die zum Zeitpunkt der Tragwerksplanung maßgebenden Parameter des zu errichtenden Tragwerks unbekannt. Baustatische Nachweise müssen in beiden Fällen auf Basis der aktuellen technischen Baubestimmungen erfolgen, deren Sicherheits- und Nachweiskonzept zur Erstellung von Neubauten konzipiert wurde. Für das Bauen im Bestand folgt daraus, dass die mit der Bauweise verbundenen Besonderheiten nicht richtig erfasst werden, was zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führt. Um dies zu vermeiden, müssen innerhalb des aktuellen semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes Eingriffe erfolgen, die es gestatten, zusätzliche durch Bauwerksuntersuchungen gewonnene Informationen im Sicherheitskonzept zu berücksichtigen. Solch einen Eingriff stellt die Verwendung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte dar, deren Herleitung für den Entwurf des DBV-Merkblattes nachfolgend auszugsweise beschrieben ist.

## 1. Einführung

Bauen im Bestand gewinnt zunehmend an Bedeutung. Bestehende Tragwerke müssen dabei außerhalb des Bestandsschutzes, z.B. bei wesentlichen Lasterhöhungen, grundsätzlich auf Basis der aktuellen, bauaufsichtlich eingeführten, technischen Baubestimmungen beurteilt und bemessen werden. Die mit der Bauweise verbundenen spezifischen Randbedingungen, die sich grundsätzlich von den Regelungen zur Erstellung von Neubauten unterscheiden, sind hierbei zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Bemessung zu beachten.

Das den aktuellen Normen [1, 2] zugrunde liegende Sicherheits- und Nachweiskonzept wurde zur Erstellung von Neubauten konzipiert, bei denen zum Zeitpunkt der Erstellung der Tragwerksplanung wesentliche Parameter des noch zu errichtenden Tragwerks (Abmessungen, Werkstoffkennwerte) zwangsläufig nicht feststehen können und deren wahrscheinliche Streuungen als Unsicherheiten im Sicherheitskonzept zu berücksichtigen sind.

Beim Bauen im Bestand können jedoch, im Gegensatz zur Neubausituation, auf Basis einer qualifizierten Bestandsaufnahme Werkstoffkennwerte, Einwirkungsgrößen und geometrische Abmessungen beziffert werden, wodurch die in der Planungs- und Errichtungsphase im Neubaufall anzusetzenden Unsicherheiten eingeschränkt werden können.

Somit ist im Sicherheitskonzept für bestehende Tragwerke die Aufrechterhaltung dieser Unsicherheitsfaktoren unbegründet und führt zu einer unwirtschaftlichen Bewertung des Tragwerks.

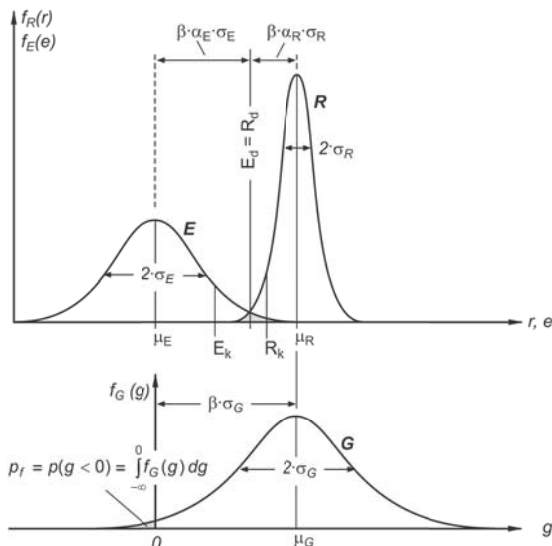
Mit Hilfe der Quantifizierung von streuenden Bauteilparametern infolge einer qualifizierten Bestandsaufnahme besteht die Möglichkeit, Teilsicherheitsbeiwerte an die am Bauwerk vorherrschenden Streuungen von Einwirkungen und Widerständen anzupassen. Auf Grundlage des semiprobabilistischen Nachweiskonzeptes der aktuellen Normengeneration [1] wird hierdurch eine wirtschaftliche und praxisgerechte Nachweisführung ermöglicht.

## 2. Grundlagen des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes der Eurocodes

Das zur Bemessung von Stahlbetonbauteilen maßgebende semiprobabilistische Sicherheitskonzept ist im EC0 [1] beschrieben und wird nachfolgend kurz erläutert.

Vereinfacht ausgedrückt werden Einwirkungen  $E$  und Widerstände  $R$  durch stochastisch voneinander unabhängige Normalverteilungen abgebildet, die mathematisch nicht begrenzt sind. Dies bedeutet, dass stets Bereiche existieren, bei denen die Einwirkungen die Widerstände übersteigen. Aus theoretischer Sicht folgt daraus der Verlust der Tragfähigkeit.

Aus diesem Grund ist eine absolute Sicherheit im eigentlichen Wortsinn ausgeschlossen. Mit Hilfe der Zuverlässigkeitstheorie erfolgt die Festlegung des Abstandes zwischen beiden Verteilungsfunktionen, um das Versagensrisiko auf ein ausreichend geringes sowie definiertes Maß zu beschränken, vgl. Bild 1.



**Bild 1:** Zustandsfunktion  $G = R - E$ ; Definition von Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  und Sicherheitsindex  $\beta$  [3]

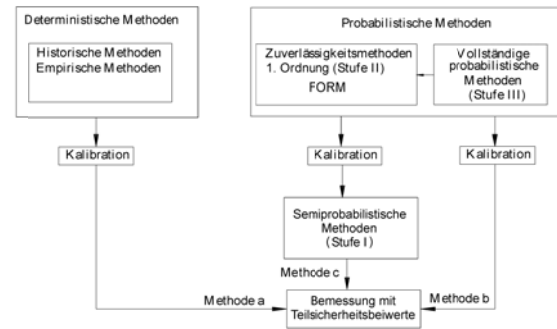
Dabei dient der Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  als Maß für die Versagenswahrscheinlichkeit. Hierbei handelt es sich allerdings nur um einen operativen Wert, der nicht die wirkliche Versagensrate ausdrückt, sondern nur zur Kalibrierung von Normen und für Vergleiche des Zuverlässigkeitsniveaus unterschiedlicher Bauweisen verwendet wird.

Die wirklichen Versagensraten stehen im Wesentlichen im Zusammenhang mit menschlichem Versagen, das rechnerisch nicht erfasst werden kann [1].

Zur Differenzierung der Zuverlässigkeit werden im EC0 [1] Schadensfolge- und Zuverlässigkeitsklassen unterschieden. In Deutschland sind die zur Bemessung von Stahlbetonbauteilen maßgebenden Teilsicherheitsbeiwerte des EC2 [2] für die Zuverlässigkeitsklasse RC 2 und einen Bezugszeitraum von 50 Jahren ausgelegt. Der dazugehörige Zuverlässigkeitsindex beträgt  $\beta = 3,8$ .

Neben diesen Festlegungen wurden die bestehenden Teilsicherheitsbeiwerte jedoch in erster Linie an den bisherigen Erfahrungen bestehender Normen kalibriert [1].

Zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten stehen grundsätzlich deterministische und probabilistische Methoden zur Verfügung, wobei sich die probabilistischen Methoden in Zuverlässigkeitsmethoden 1. Ordnung und vollständig probabilistische Methoden unterscheiden, vgl. Bild 2.

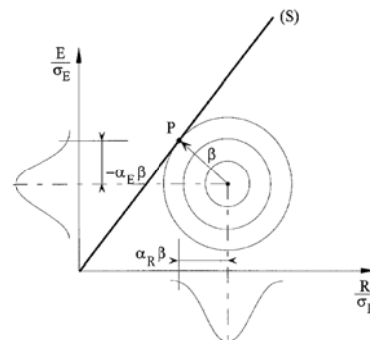


**Bild 2:** Zuverlässigkeitsmethoden im Überblick [1]

Vollständig probabilistische Methoden finden im Bauwesen aufgrund ihrer Komplexität und ihres Rechenaufwandes nur selten Verwendung, obwohl sie sehr genaue Angaben über das Zuverlässigkeitsproblem liefern. Für Anwendungen im Bauwesen sind in der Regel Stufe II-Verfahren ausreichend, die auf einigen Vereinfachungen basieren.

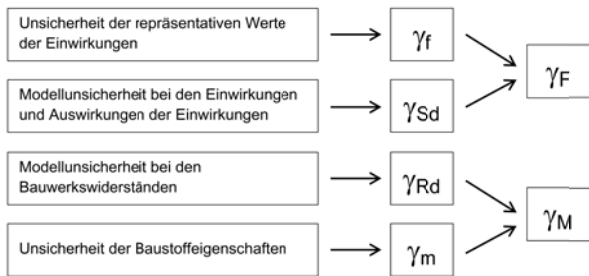
Als Maß für die Zuverlässigkeit wird bei beiden Methoden die Überlebenswahrscheinlichkeit  $P_s = (1 - P_f)$  verwendet, wobei  $P_f$  die Versagenswahrscheinlichkeit für die betrachtete Versagensart innerhalb eines festgelegten Bezugszeitraumes ist. Ein Tragwerk wird als unsicher bezeichnet, wenn die berechnete Versagenswahrscheinlichkeit die vorgegebene Zielgröße  $P_0$  übersteigt.

Die Bemessungswerte sind so zu bestimmen, dass sie den Werten der Basisvariablen im Bemessungspunkt nach der Zuverlässigkeitsmethode 1. Ordnung entsprechen. Der Bemessungspunkt ist der Punkt auf der Grenzzustandsfunktion  $g = 0$  mit dem kürzesten Abstand zum Mittelpunkt im Raum der normalisierten Variablen, vgl. Bild 3.



**Bild 3:** Bemessungspunkt und Zuverlässigkeitsindex nach der Zuverlässigkeitsmethode 1. Ordnung (FORM) für normalverteilte, nicht korrelierte Variablen [1]

In der Regel werden die Bemessungswerte  $X_d$  und  $F_d$  der Basisvariablen nicht direkt in der Bemessungsgleichung eingesetzt. Stattdessen finden ihre charakteristischen Werte mit einer definierten Über- oder Unterschreitungswahrscheinlichkeit Verwendung, die mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten dividiert oder multipliziert werden. Dabei sind die in Bild 4 dargestellten Beziehungen möglich.



**Bild 4:** Beziehungen zwischen den einzelnen Teilsicherheitsbeiwerten [1]

### 3. Grundlagen zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für das Bauen im Bestand

Im Gegensatz zur Erstellung von Neubauten können für die Bemessung von Bestandstragwerken folgende Aspekte geltend gemacht werden:

- Die tatsächliche Streuung von Basisvariablen kann grundsätzlich am Tragwerk ermittelt werden, was die Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte an die festgestellten Verteilungen ermöglicht.
- Wird die charakteristische Betonfestigkeit am Tragwerk ermittelt, kann auf den Übertragungsfaktor  $\eta$  im Teilsicherheitsbeiwert des Werkstoffes Beton, der die Festigkeitsdifferenz normativ hergestellter Probekörper im Vergleich zur Bauwerksfestigkeit berücksichtigt, verzichtet werden. Diese Vorgehensweise ist implizit auch im informativen Anhang A (A.2.3 (1)) des EC2 [2] aufgeführt.
- Fehler bei Planung und Herstellung eines Tragwerks zeigen sich nachweislich ganz überwiegend bereits während der Bauzeit oder zu Beginn der Nutzungsphase. Über einen längeren Zeitraum schadensfrei gebliebenen Tragwerken kann eine höhere Zuverlässigkeit attestiert werden, was prinzipiell die Absenkung von Teilsicherheitsbeiwerten rechtfertigt.
- Im Vergleich zur Erstellung von Neubauten verursacht eine Umsetzung des gleichen Zuverlässigkeitsniveaus im Bestandsfall ungleich höhere Kosten, weshalb auch aus diesem Grund eine moderate Absenkung von Teilsicherheitsbeiwerten für das Bauen im Bestand sinnvoll ist.

### 4. Voraussetzungen zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für das Bauen im Bestand

Bei der Bemessung bestehender Stahlbetonbauteile muss beachtet werden, dass die Bemessungsnormen neben meist querschnittbezogenen Nachweisformaten auch Konstruktionsregeln enthalten, deren Anwendung grundsätzlich mit der Gültigkeit der Bemessungsregeln unmittelbar verbunden ist.

Da bei Bestandsbauten die aktuellen Konstruktionsregeln fast ausnahmslos nicht vollständig eingehalten sind [4], wird das ingenieurmäßige Verständnis der Tragwerksplaner für die Prinzipien des Stahlbetonbaus beim Bauen im Bestand überdurchschnittlich gefordert.

Die konstruktiven Abweichungen im Bestand bedürfen dabei jeweils der ingenieurmäßigen Bewertung.

Zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten nach den Vorgaben des Entwurfs des DBV-Merkblattes [5] müssen grundsätzlich die nachfolgend aufgeführten Voraussetzungen erfüllt sein:

- Das Bauwerk ist für eine nach EC0 [1] vergleichbare Lebensdauer ausgelegt.
- Das Tragwerk wird seit Inbetriebnahme bereits mindestens fünf Jahre lang bestimmungsgemäß genutzt.
- Das Tragwerk ist mindestens fünf Jahre lang in einem schadensfreien Zustand (keine Hinweise auf Überlastung, Brand, Explosion, Anprall).
- Betrachtet werden Bauteile aus bewehrtem und unbewehrtem Normalbeton der Festigkeitsklassen C12/15 bis C50/60.

### 5. Möglichkeiten zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten für das Bauen im Bestand

Sind die zuvor aufgeführten Voraussetzungen erfüllt, können zum Nachweis bestehender Tragwerke grundsätzlich Teilsicherheitsbeiwerte modifiziert werden. Hierzu kommen mehrere Möglichkeiten in Frage.

Neben der Anpassung der Teilsicherheitsbeiwerte an die tatsächlich vorhandenen Streuungen der Basisvariablen können prinzipiell auch Modellunsicherheitsfaktoren infolge eines Erkenntnisgewinns reduziert werden. Für den Werkstoff Beton kann der Übertragungsfaktor  $\eta$  entfallen, wenn die Bestimmung der charakteristischen Betonfestigkeit am Tragwerk erfolgt.

Grundsätzlich ist es auch möglich, den Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  zum Nachweis von Bestandstragwerken zu reduzieren. Diese Vorgehensweise ist in Deutschland allerdings noch nicht durch die Bauaufsicht legitimiert, weshalb innerhalb des Entwurfs des DBV-Merkblattes [5] davon abgesehen wird.

Generell können Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite modifiziert werden. Da innerhalb der Grenzzustandsgleichung jedoch beide Seiten miteinander verknüpft sind, hat dies erhebliche Auswirkungen auf den Berechnungsaufwand.

Weiterhin unterscheiden sich die Einwirkungen auf Neubauten in der Regel nicht von den Einwirkungen auf bestehende Tragwerke. Deshalb und aus Gründen der Vereinfachung wurde die Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten im Rahmen des Entwurfs des DBV-Merkblattes [5] ausschließlich auf die Widerstandsseite beschränkt.

Nachfolgend werden drei Möglichkeiten beschrieben, wie auf Basis der im EC0 [1] enthaltenen Festlegung zur Zusammensetzung der Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite (vgl. Gl. 1) diese ausschließlich auf Grundlage von Werkstoffuntersuchungen am Tragwerk und dem daraus resultierenden Erkenntnisgewinn modifiziert werden können:

$$\gamma_M = \eta \cdot \gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2} \cdot \gamma_m \quad (1)$$

mit:

- $\gamma_M$  Teilsicherheitsbeiwert des Werkstoffes (Beton, Betonstahl)
- $\gamma_{Rd1}$  Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Modellunsicherheiten „Festigkeit“
- $\gamma_{Rd2}$  Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung von geometrischen Unsicherheiten
- $\gamma_m$  Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung des Variationskoeffizienten und statistischer Unsicherheiten
- $\eta$  Umrechnungsbeiwert (nur bei Beton), Berücksichtigung unterschiedlicher Eigenschaften von Norm-Probekörper und Bauwerksbeton

### 5.1 Anpassung von Modellunsicherheitsfaktoren

Zur wahrscheinlichkeitstheoretischen Berechnung von Tragstrukturen müssen die realen Verhältnisse innerhalb eines Berechnungsmodells abgebildet werden, das auf physikalisch und empirisch ermittelten Abhängigkeiten der einzelnen Zufallsgrößen basiert.

Die diesbezüglich zu treffenden Vereinfachungen berücksichtigen, dass nicht alle Abhängigkeiten und Zufallsgrößen exakt bekannt sind und ziehen einen mehr oder weniger großen Fehler im Berechnungsmodell nach sich. Diese Fehler resultieren aus Unwissenheit über tatsächliche Verhältnisse, Vereinfachungen bei der Annahme mechanischer Modelle sowie statistischen Unsicherheiten bei der Annahme von Kennwerten.

Da beim Bauen im Bestand durch Untersuchungen am Tragwerk die Möglichkeit besteht, Zufallsgrößen wie Eigenlast, Belastung, Materialkennwerte und geometrische Größen näher einzugrenzen, können im Vergleich zur Neubausituation die dazugehörigen Unsicherheitsfaktoren reduziert werden.

Dies trifft insbesondere auf die Faktoren  $\gamma_{Rd2}$  und  $\gamma_m$  zu, da die vorhandenen geometrischen Querschnittsgrößen und die Variationskoeffizienten des verbauten Materials ohne weiteres bestimmt werden können.

Da sich infolge einer qualifizierten Bestandsaufnahme allerdings keine neuen Erkenntnisse bezüglich des eigentlichen Materialverhaltens (Gefügefestigkeit, Tragmodell im Materialgefüge, etc.) ergeben, existiert diesbezüglich kein Erkenntnisgewinn im Vergleich zur Neubausituation, der eine Abminderung dieses Unsicherheitsfaktors rechtfertigen würde. Dementsprechend muss  $\gamma_{Rd1}$  unvermindert beibehalten werden.

Insgesamt sind die Möglichkeiten zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten auf Basis angepasster Modellunsicherheitsfaktoren begrenzt. Ursächlich hierfür ist, dass im Vergleich zu anderen Einflussgrößen Modellunsicherheiten lediglich mit geringen Faktoren (jeweils bis zu 5 %) im aktuellen Sicherheitskonzept berücksichtigt werden.

### 5.2 Berücksichtigung des Variationskoeffizienten

Ganz wesentlich für die Zuverlässigkeit von Tragwerken sind die Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe. Aus wahrscheinlichkeitstheoretischer Sicht ist insbesondere der Variationskoeffizient einer Materialeigenschaft von Interesse.

Im Gegensatz zur Neubausituation besteht beim Bauen im Bestand die Möglichkeit, Materialeigenschaften am Tragwerk zu ermitteln, was die Klassifizierung des Betons in Festigkeitsklassen nach EN 206-1 [6] überflüssig macht. Zum Nachweis von Bestandsbauteilen empfiehlt sich stattdessen, die tatsächlich durch Baustoffuntersuchungen bestimmten Ist-Werte der Werkstoffe zu verwenden.

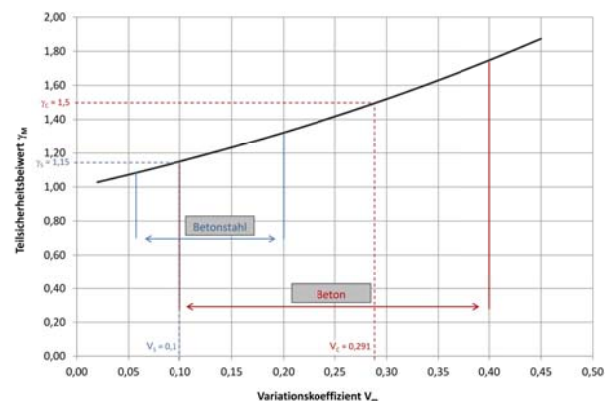
Der Zusammenhang zwischen Teilsicherheitsbeiwert und Variationskoeffizient wird für lognormal verteilte Werkstoffkennwerte mit nachfolgender Gleichung beschrieben [7]:

$$\gamma_M = \exp\{[\alpha_R \cdot \beta + \Phi^{-1}(q_m)] \cdot V_m\} \quad (2)$$

mit:

	Beton	Betonstahl	
$\gamma_M^*$	= 1,5	= 1,15	Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand
$\alpha_R$	= + 0,8		Sensitivitätsfaktor für Materialwiderstände
$\beta^*$	= 3,8		Zielwert der Zuverlässigkeit nach EC0 (Neubauniveau)
$q_m$	= 0,05		5 %-Quantilwert der Standardnormalverteilung
$\Phi$	-		Standard-Normalverteilung
$V_m^*$	0,291	0,10	Variationskoeffizient der Materialeigenschaft einschließlich von Modellunsicherheitsfaktoren**
	*EC2 (Neubauniveau)	**bei Beton, einschließlich des Übertragungsfaktors $\eta$	

Eine entsprechende Darstellung enthält Bild 5. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass bei der in Gl. 2 gewählten Schreibweise alle Modellunsicherheitsfaktoren ( $\gamma_{Rd1}$ ,  $\gamma_{Rd2}$ ,  $\gamma_m$  sowie bei Beton zusätzlich der Übertragungsfaktor  $\eta$ ) in dem Faktor  $V_m$  implementiert sind.



**Bild 5:** Verhältnis Teilsicherheitsbeiwert zu Variationskoeffizient (einschließlich aller Unsicherheitsfaktoren und dem Umrechnungsbeiwert für den Werkstoff Beton)

Die üblicherweise für die Werkstoffe Beton und Betonstahl zu erwartende Bandbreite des Variationskoeffizienten  $V_m$  ist zusammen mit dem im EC2 [2] implementierten Verhältnis von Teilsicherheitsbeiwert und Variationskoeffizient ebenfalls in Bild 5 dargestellt. Da die Betonfestigkeit grundsätzlich einen höheren Variationskoeffizienten als die Streckgrenze des Betonstahls aufweist, ist folgerichtig auch der dazugehörige Teilsicherheitsbeiwert größer.

Weicht der beim Bauen im Bestand auf der Basis von Werkstoffuntersuchungen ermittelte Variationskoeffizient einer Materialeigenschaft von dem im Sicherheitskonzept des EC2 [2] beinhalteten Wert ab, besteht grundsätzlich die Möglichkeit zur Anpassung des Teilsicherheitsbeiwertes. Dabei ergeben sich bei geringeren Variationskoeffizienten geringere Teilsicherheitsbeiwerte. Folgerichtig muss der Teilsicherheitsbeiwert aber auch erhöht werden, wenn im Bestand größere Variationskoeffizienten als dem EC2 zugrunde liegend festgestellt werden.

### 5.3 Berücksichtigung des Umrechnungsbeiwertes $\eta$

Um bei der Berechnung des Teilsicherheitsbeiwertes in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten die Modellunsicherheitsfaktoren sowie bei Beton den Umrechnungswert  $\eta$  separat zu berücksichtigen, ist folgende Schreibweise zu wählen [8]:

$$\gamma_M = \eta \cdot \exp(\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R - \Phi^{-1}(q_m) \cdot V_f) \quad (3)$$

$$V_R = \sqrt{(V_m^2 + V_G^2 + V_f^2)} \quad (4)$$

mit:

	Beton	Betonstahl		
$\gamma_M^*$	= 1,5	= 1,15	Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand	
$\alpha_R$	= + 0,8		Sensitivitätsfaktor für Materialwiderstände	
$\beta^*$	= 3,8		Zielwert der Zuverlässigkeit nach EC0 (Neubauniveau)	
$q_m$	= 0,05		5 %-Quantilwert der Standardnormalverteilung	
$\Phi$	-		Standard-Normalverteilung	
$V_f^*$	0,15	0,04	Variationskoeffizient der Materialfestigkeit	$\approx V_x$
$V_R^*$	0,166	0,0687	Variationskoeffizient des Gesamtwiderstandmodelles	
$V_m^*$	0,05	0,025	Variationskoeffizient der Modellunsicherheit	$\approx \gamma_{Rd1}$
$V_G^*$	0,05	0,05	Variationskoeffizient der geometrischen Unsicherheit	$\approx \gamma_{Rd2}$
$\eta^{**}$	1,15	-	Umrechnungsbeiwert (nur bei Beton)	
	*EC2 (Neubauniveau)		** nur bei Beton	

Der Umrechnungsbeiwert  $\eta$  existiert nur für den Werkstoff Beton und berücksichtigt, dass die Eigenschaften normativ hergestellter Probekörper nicht mit den maßgebenden Betoneigenschaften im Bauteil übereinstimmen.

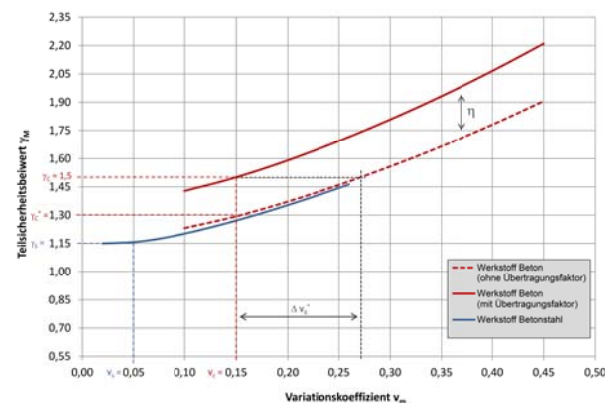
Ursächlich hierfür sind im Wesentlichen Volumen- und Maßstabeffekte, Feuchtigkeits- und Temperatureinflüsse sowie die unterschiedlichen Randbedingungen bei der Herstellung von normativen Probekörpern im Vergleich zu Betonbauteilen vor Ort [1].

Da die zur Erstellung von Neubauten maßgebenden Bemessungsregeln auf der Festigkeit normativ hergestellter Probekörper basieren, ist im Teilsicherheitsbeiwert für den Werkstoff Beton der Umrechnungsbeiwert  $\eta$  enthalten. Mit Hilfe des Beiwertes werden die an den Probekörpern ermittelten Eigenschaften rechnerisch an die Verhältnisse von Bauwerksbeton angeglichen.

Die Werkstoffeigenschaften von Betonstahl sind im Materialversuch identisch mit den Eigenschaften im Bauteil, weshalb bei diesem Werkstoff auf den Umrechnungsbeiwert verzichtet werden kann.

Im Gegensatz zur Neubausituation und der Klassifizierung des Betons in Festigkeitsklassen erfolgt beim Bauen im Bestand die Bestimmung der Betonkennwerte durch Bohrkernentnahmen und Materialversuche am Bauteil. Somit sind die Prüfergebnisse ohne weitere Umrechnungsfaktoren repräsentativ für die vorhandene Bauteilfestigkeit und müssen nicht mit Hilfe des Umrechnungsbeiwertes  $\eta$  angepasst werden.

In Bild 6 ist der Zusammenhang zwischen Teilsicherheitsbeiwert und Variationskoeffizient unter separater Berücksichtigung der Modellunsicherheitsfaktoren sowie des Umrechnungsbeiwertes  $\eta$  für den Werkstoff Beton dargestellt.



**Bild 6:** Verhältnis Teilsicherheitsbeiwert zu Variationskoeffizient (ohne Berücksichtigung von Unsicherheitsfaktoren)

Lässt man den Umrechnungsbeiwert außer Acht, wird im Vergleich zu Bild 5 ersichtlich, dass infolge der höheren Modellunsicherheit für den Werkstoff Beton dessen Teilsicherheitsbeiwert unabhängig vom Variationskoeffizienten geringfügig über dem Teilsicherheitsbeiwert des Werkstoffes Betonstahl liegt. Somit wird der Werkstoff Beton grundsätzlich mit einem höheren Teilsicherheitsbeiwert belegt als der Werkstoff Betonstahl, was aufgrund des inhomogenen Materialgefüges nachvollziehbar ist.

Beim Bauen im Bestand kann auf den Umrechnungsbeiwert verzichtet werden, wenn die Bestimmung der maßgebenden Betonkennwerte am Bauteil erfolgt [9].

Unter Annahme des dem EC2 [2] zugrunde liegenden Variationskoeffizienten von  $v_c = 0,15$  hat dies zur Folge, dass der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_c$  auf 1,30 reduziert werden kann, ohne das nach Eurocode [1] erforderliche Zuverlässigkeitsniveau zu unterschreiten.

Unter Vernachlässigung des Umrechnungsbeiwertes muss der Teilsicherheitsbeiwert für den Werkstoff Beton nur in den Fällen über den nach EC2 erforderlichen Betrag von  $\gamma_c = 1,5$  erhöht werden, in denen bei Baustoffuntersuchungen ein Variationskoeffizient  $v_c > 0,27$  festgestellt wird.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bei der in Gl. 3 gewählten Schreibweise die Modellunsicherheitsfaktoren im Vergleich zu Gl. 2 nicht im Variationskoeffizienten  $v_m$  enthalten sind und zuzüglich berücksichtigt werden müssen.

## 6. Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte des DBV-Merkblattentwurfes

Mit Hilfe der Inhalte des DBV-Merkblattentwurfes „Bauen im Bestand - Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte“ [5] sollen Praktiker ohne vertiefte Kenntnisse hinsichtlich des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes in die Lage versetzt werden, bestehende Tragwerke wirtschaftlich und unter Berücksichtigung des tatsächlichen Tragwerkszustandes nachzuweisen.

Hierzu wurde eine pragmatische und anwenderfreundliche Vorgehensweise auf Basis der semiprobabilistischen Regelungen der Eurocodes [1, 2] gewählt. Mit zunehmender Genauigkeit der Teilsicherheitsbeiwerte hinsichtlich des einzuhaltenden Zuverlässigkeitsniveaus steigt auch der dafür erforderliche Berechnungs- und Untersuchungsaufwand am Tragwerk.

Aus diesem Grund wurde mit der dem Entwurf des DBV-Merkblattes zugrunde liegenden Vorgehensweise ein Kompromiss gefunden, modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte in Verbindung mit einem minimalen Untersuchungsaufwand am Tragwerk anwenden zu können.

Die daraus resultierenden Teilsicherheitsbeiwerte stellen grundsätzlich eine obere Umhüllende dar, die bei genauerer Berechnung (vollprobabilistisch) bzw. je nach Berechnungsansatz (Modifikationsmöglichkeit) unterschritten werden können.

Da die Absenkung des Zuverlässigkeitsindex derzeit noch nicht bauaufsichtlich legitimiert ist, erfolgt die Modifikation ausschließlich auf Grundlage von zusätzlichen Informationen aus Werkstoffuntersuchungen am Tragwerk.

In erster Linie wurden die im Entwurf des Merkblattes ausgewiesenen Teilsicherheitsbeiwerte am Variationskoeffizienten des maßgebenden Materialkennwertes kalibriert und weiterhin geringfügig hinsichtlich der Modellunsicherheitsfaktoren angepasst.

Für den Werkstoff Beton wurde zusätzlich der Umrechnungsbeiwert  $\eta$  aus den Teilsicherheitsbeiwerten herausgerechnet, was durch die Bestimmung der Materialkennwerte am Tragwerk ermöglicht wird.

Die im Merkblattentwurf für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation enthaltenen modifizierten Teilsicherheitsbeiwerte sind in Tabelle 1 enthalten. Zu berücksichtigen ist, dass Bauteile der Gebäudeaussteifung grundsätzlich nicht mit modifizierten Teilsicherheitsbeiwerten nachgewiesen werden dürfen.

**Tabelle 1:** Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DBV-Merkblattentwurf [5]

Beton		Betonstahl	
$V_c$	$\gamma_{C,mod}$	$V_s$	$\gamma_{S,mod}$
$\leq 0,15$	1,15	0,06	1,05
0,20	1,20	0,08	1,10
0,25	1,25	<b>0,10</b>	<b>1,10</b>
<b>0,30</b>	<b>1,30</b>		
0,35	1,40*		
0,40	1,50*		

\*für unbewehrte Bauteile um 10 % zu erhöhen

Sollen zum Nachweis bestehender Bauteile die in Tabelle 1 ausgewiesenen Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden, sind die im DBV-Merkblattentwurf diesbezüglich aufgeführten Voraussetzungen und Randbedingungen zwingend zu beachten (s. Abschn. 4).

Weiterhin kann das vorliegende Manuskript nicht als Ersatz für den DBV-Merkblattentwurf angesehen werden. Ursächlich hierfür ist, dass der Schwerpunkt des Manuskriptes auf den theoretischen Hintergründen zur Modifikation von Teilsicherheitsbeiwerten liegt und nicht die Anwendung modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte im Vordergrund steht. Die hierzu erforderlichen weiteren Überlegungen und Informationen sind dem Entwurf des DBV-Merkblattes zu entnehmen.

## 7. Zusammenfassung

Der Nachweis bestehender Tragwerke kann unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten in der Regel nicht nach den aktuellen technischen Baubestimmungen erfolgen, da das darin enthaltene Sicherheits- und Nachweiskonzept zur Erstellung von Neubauten konzipiert wurde.

Zur wirtschaftlichen Nachrechnung und Bewertung von Bestandstragwerken müssen die mit der Bauweise verbundenen Randbedingungen beachtet werden, was Anpassungen im den Nachweisverfahren zugrunde liegenden Sicherheitskonzept erfordert.

Ursächlich hierfür ist, dass im Vergleich zur Neubausituation, beim Bauen im Bestand grundsätzlich von anderen Voraussetzungen ausgegangen werden muss, da viele im aktuellen Sicherheitskonzept beinhalteten Einflussgrößen beim Bauen im Bestand beziffert werden können und somit nicht weiter als Unsicherheiten zu berücksichtigen sind.

Im DBV-Merkblattentwurf „Bauen im Bestand - Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte“ [5] werden für die Werkstoffe Beton und Betonstahl Teilsicherheitsbeiwerte in Abhängigkeit der in-situ ermittelten Variationskoeffizienten ausgewiesen. Unter Berücksichtigung der dort beschriebenen Vorgehensweise können bestehende Tragwerke unter realitätsnahen Bedingungen wirtschaftlich nachgewiesen werden.

In vorliegendem Bericht werden die Hintergründe zur Modifikation der im Entwurf des DBV-Merkblattes enthaltenen modifizierten Teilsicherheitsbeiwerte für den Werkstoff Beton beschrieben.

In Abhängigkeit des Variationskoeffizienten erfolgt dies in erster Linie durch das Herausrechnen des im Teilsicherheitsbeiwert enthaltenen Umrechnungsbeiwertes  $\eta$  und der geringfügigen Anpassung von Modellsicherheitsfaktoren. Auf die Abminderung des Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  wird wegen fehlender Zustimmung der Bauaufsicht verzichtet, sodass auch bei Verwendung der modifizierten Teilsicherheitsbeiwerte der für Neubauten einzuhaltende Zielwert der Zuverlässigkeit von  $\beta = 3,8$  nicht unterschritten wird.

## Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 1990:2010-12: *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010*. Deutsches Institut für Normung e.V.
- [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*. Deutsches Institut für Normung e.V.
- [3] Zilch, K.; Zehetmaier, G.: *Bemessung im konstruktiven Betonbau*. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2010.
- [4] Stauder, F.; Wolbring, M.; Schnell, J.: *Bewehrungs- und Konstruktionsregeln des Stahlbetonbaus im Wandel der Zeit*. In: Bautechnik 89 (2012), Heft 1, S. 3–14.
- [5] DBV-Merkblattsammlung: *Bauen im Bestand - Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte*. Berlin: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., (in Vorbereitung).
- [6] DIN EN 206-1:2001-07: *Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206-1:2000 + A1:2004 + A2:2005*. Deutsches Institut für Normung e.V.
- [7] Spaethe, G.: *Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen*. Springer-Verlag, Wien, 1992.
- [8] European Concrete Platform ASBL: *Commentary Eurocode 2*. Brussels, June 2008.
- [9] König, G.; Soukhov, D.; Jungwirth, D.: *Sichere Betonproduktion für Stahlbetontragwerke - Schlussbericht*. DBV-Nr. 199, Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 1998.