



# Bemessungshilfsmittel für Betonbauteile nach Eurocode 2

---

**Klaus Holschemacher**  
**Torsten Müller**  
**Frank Lobisch**



**Klaus Holschemacher  
Torsten Müller  
Frank Lobisch**

**Bemessungshilfsmittel für Betonbauteile  
nach Eurocode 2**



---

# **Bemessungshilfsmittel für Betonbauteile nach Eurocode 2**

---

**Klaus Holschemacher  
Torsten Müller  
Frank Lobisch**

Prof. Dr.-Ing. Klaus Holschemacher  
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig  
Karl-Liebknecht-Str. 132  
04277 Leipzig

M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch  
Ing.-Software Dlubal GmbH  
Am Zellweg 2  
93464 Tiefenbach

M.Sc. Dipl.-Ing. Torsten Müller  
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig  
Karl-Liebknecht-Str. 132  
04277 Leipzig

Titelbild: HafenCity Hamburg, Am Sandtorkai Haus 8  
Foto: © Petra Steiner, Berlin

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2012 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,  
Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin  
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin  
Druck und Bindung: betz-druck GmbH, Darmstadt

Printed in the Federal Republic of Germany.  
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

**Print ISBN:** 978-3-433-02971-8  
**ePDF ISBN:** 978-3-433-60211-9  
**ePub ISBN:** 978-3-433-60212-6  
**mobi ISBN:** 978-3-433-60213-3  
**oBook ISBN:** 978-3-433-60210-2

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>1 Einleitung</b> .....	1
1.1 Vorbemerkungen .....	1
1.2 Bezeichnungen.....	3
<b>2 Sicherheitskonzept</b> .....	7
2.1 Allgemeines.....	7
2.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	7
2.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.....	11
2.4 Dauerhaftigkeit.....	12
<b>3 Baustoffe</b> .....	13
3.1 Beton.....	13
3.1.1 Festigkeits- und Formänderungskennwerte.....	13
3.1.2 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen.....	15
3.1.3 Einfluss von Kriechverformungen.....	16
3.2 Betonstahl.....	18
<b>4 Verfahren der Schnittgrößenermittlung und deren Auswirkung auf die Querschnittsbemessung</b> .....	21
4.1 Linear-elastische Berechnung.....	21
4.2 Linear-elastische Berechnung mit begrenzter Umlagerung.....	21
4.3 Berechnungsverfahren auf Grundlage der Plastizitätstheorie.....	22
4.4 Nichtlineare Schnittkraftermittlung.....	24
<b>5 Bemessung in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit</b> .....	25
5.1 Querschnittsbemessung für Biegung und Längskraft.....	25
5.1.1 Allgemeines.....	25
5.1.2 Zugkraft mit kleiner Ausmitte.....	27
5.1.3 Biegung mit und ohne Längskraft.....	27
5.2 Einfluss von Tragwerksverformungen (Knicksicherheitsnachweis).....	29
5.2.1 Allgemeines.....	29
5.2.2 Grundlagen für die Nachweisführung von Einzeldruckgliedern.....	29
5.2.3 Näherungsverfahren mit Nennkrümmung.....	32
5.2.4 Druckglieder mit zweiachsiger Lastausmitte.....	35

---

<b>6</b>	<b>Bauteilspezifische konstruktive Regelungen</b> .....	37
6.1	Überwiegend biegebeanspruchte Bauteile .....	37
6.2	Stützen.....	38
6.3	Wände .....	39
6.3.1	Lotrechte Bewehrung.....	39
6.3.2	Waagerechte Bewehrung (Querbewehrung).....	39
<b>7</b>	<b>Erläuterungen zu den Bemessungstafeln</b> .....	41
7.1	Vorgaben und allgemeine Hinweise zur Anwendung der Tafeln.....	41
7.1.1	Allgemeines .....	41
7.1.2	Materialgesetze .....	42
7.1.3	Brutto- und Nettoquerschnittsberechnung .....	42
7.1.4	Auswahl maßgebender Kriechbeiwerte .....	44
7.1.5	Bemessungstafeln .....	46
7.2	Detailübersicht der Tafeln.....	52
<b>8</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b> .....	55
8.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	55
8.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafeln).....	57
8.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafeln).....	58
8.4	Bemessungstabellen für Plattenbalkenquerschnitte ( $\mu_s$ -Tafeln) .....	59
8.5	Bemessungstabellen für mittig gedrückte Stützen .....	60
8.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung mit Längskraft .....	61
8.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit Längskraft.....	62
8.8	Interaktionsdiagramme nach dem Verfahren mit Nennkrümmung.....	63
<b>9</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für Normalbeton C12/15 - C50/60</b> ...	65
9.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	66
9.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel).....	67
9.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel).....	71
9.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken.....	74
9.5	Mittig gedrückte Stützen .....	76
9.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft.....	79
9.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft .....	99
9.8	Interaktionsdiagramme nach dem Verfahren mit Nennkrümmung.....	114
<b>10</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für hochfesten Beton C55/67</b> .....	219
10.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	220
10.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel).....	221
10.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel).....	225
10.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken.....	227
10.5	Mittig gedrückte Stützen .....	229
10.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft.....	230
10.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft .....	236

---

<b>11</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für hochfesten Beton C60/75</b> .....	243
11.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	244
11.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel) .....	245
11.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel) .....	249
11.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken .....	251
11.5	Mittig gedrückte Stützen .....	253
11.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft .....	254
11.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft.....	260
<b>12</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für hochfesten Beton C70/85</b> .....	267
12.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	268
12.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel) .....	269
12.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel) .....	273
12.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken .....	275
12.5	Mittig gedrückte Stützen .....	277
12.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft .....	278
12.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft.....	284
<b>13</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für hochfesten Beton C80/95</b> .....	291
13.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	292
13.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel) .....	293
13.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel) .....	297
13.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken .....	299
13.5	Mittig gedrückte Stützen .....	301
13.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft .....	302
13.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft.....	308
<b>14</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für hochfesten Beton C90/105</b> .....	315
14.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	316
14.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel) .....	317
14.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel) .....	321
14.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken .....	323
14.5	Mittig gedrückte Stützen .....	325
14.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft .....	326
14.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft.....	332
<b>15</b>	<b>Bemessungstabellen und -diagramme für hochfesten Beton C100/115</b> .....	339
15.1	Allgemeines Bemessungsdiagramm .....	340
15.2	Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten ( $\mu_s$ -Tafel) .....	341
15.3	Dimensionsgebundene Bemessungstabellen ( $k_d$ -Tafel) .....	345
15.4	$\mu_s$ -Tafel für Plattenbalken .....	347
15.5	Mittig gedrückte Stützen .....	349
15.6	Interaktionsdiagramme für einachsige Biegung und Längskraft .....	350
15.7	Interaktionsdiagramme für zweiachsige Biegung mit und ohne Längskraft.....	356

<b>16</b>	<b>Literatur</b> .....	363
16.1	Normen und Richtlinien.....	363
16.2	Allgemeine Literatur.....	363

## Vorwort

Die Verwendung von Bemessungshilfsmitteln in Form von Tabellen und Diagrammen hat im Stahlbetonbau eine lange Tradition. Insbesondere bei der Ermittlung der erforderlichen Längsbewehrung in Biegebauteilen und Druckgliedern kann damit eine ansonsten notwendige, sehr aufwändige iterative Berechnung vermieden und die rechnerische Nachweisführung mit relativ geringem Zeitaufwand durchgeführt werden.

Auch wenn die Berechnung von Tragwerken aus Stahlbeton in der Baupraxis heute nahezu ausschließlich unter Verwendung geeigneter Software erfolgt, sind Bemessungshilfsmittel nach wie vor unverzichtbar. Als Beispiele sollen in diesem Zusammenhang die übersichtliche Prüfung der Ergebnisse von softwaregestützten Berechnungen, Aufgaben der Vordimensionierung, aber auch die Vermittlung grundlegender Kenntnisse im Bauingenieurstudium angeführt werden.

Bemessungshilfsmittel basieren immer auf den ihnen zugrunde liegenden Berechnungsvorschriften. Nun wird, nach Jahrzehnte währenden Vorarbeiten, zum 01. Juli 2012 die DIN EN 1992, auch Eurocode 2 genannt, die normative Grundlage für die Berechnung und Konstruktion von Stahlbetonbauteilen in Deutschland werden. Auch wenn der Umfang der damit verbundenen Änderungen in den Berechnungsgrundlagen hinsichtlich des Inhaltes des vorliegenden Buches geringfügig erscheint, ist dies doch Anlass genug, die wichtigsten Bemessungshilfsmittel in einem Buch zusammenzustellen. Im Einzelnen werden die bekannten  $k_d$ -Tafeln, einheitenfreien Bemessungstabellen und -diagramme für Rechteckquerschnitte, die einheitenfreien Bemessungstabellen für den Plattenbalkenquerschnitt, Interaktionsdiagramme für Rechteck-, Kreis- und Kreisringquerschnitte abgedruckt. Ein- und zweiachsige Biegung mit Längsdruckkraft und die Interaktionsdiagramme für das Verfahren mit Nennkrümmung werden ebenso berücksichtigt wie die gesamte Palette möglicher Betondruckfestigkeiten, also vom Normalbeton bis über alle Festigkeitsklassen hochfester Betone.

Das vorliegende Buch richtet sich damit ebenso an mit Aufgaben der Planung von Stahlbetontragwerken betraute Bauingenieure wie auch an Studenten des Bauingenieurwesens und soll eine Unterstützung für die Lösung der täglich anfallenden Arbeiten sein. Für Hinweise, die der Verbesserung dieses Buches dienen, sind Verlag und Autoren stets dankbar. Weitere Informationen können den Internetseiten des Verlages oder des Autors [www.holschemacher.de](http://www.holschemacher.de) entnommen werden.



# 1 Einleitung

## 1.1 Vorbemerkungen

Für Stahlbetonquerschnitte unter einer Beanspruchung aus Biegung und/oder Längskraft ist wegen des nichtlinearen Materialverhaltens des Betons eine Ableitung von Bemessungsgleichungen in der Form, dass die Querschnittsfläche der Bewehrung in Abhängigkeit von der Größe der Einwirkungen, der Baustofffestigkeiten und der Querschnittsgeometrie direkt berechnet werden kann, in der Regel nicht möglich. Um einen iterativen Berechnungsgang zu vermeiden, sind daher bereits mit dem Aufkommen der Stahlbetonbauweise Bemessungshilfsmittel entwickelt worden, die eine schnelle und unkomplizierte Nachweisführung ermöglichen. Die Vielfältigkeit der zu verschiedensten Zeiten entwickelten Bemessungshilfsmittel wird z.B. aus dem Vergleich von [1 – 5] deutlich.

Im vorliegenden Buch werden Hilfsmittel für die Bemessung von Stahlbetonquerschnitten unter Biegung und Längskraft sowie für den rechnerischen Nachweis von Stahlbetondruckgliedern auf der Grundlage von DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1 NA bereitgestellt. Dabei soll nicht verkannt werden, dass, auch auf Grund des immer umfangreicher und komplizierter werdenden Normeninhaltes, rechnerische Nachweise in der Baupraxis inzwischen nahezu ausschließlich mit Hilfe einer geeigneten Software geführt werden. Dennoch besitzen die traditionellen Hilfsmittel für die Nachweisführung, die in Form von Tabellen und Diagrammen zur Verfügung gestellt werden, noch immer ihre Berechtigung. Zum einen müssen die Ergebnisse von Computerberechnungen zumindest übersichtlich auf ihre Sinnhaftigkeit geprüft werden. Für diesen Zweck sollten einfache und übersichtliche Ersatzsysteme, die im Rahmen einer Handrechnung, also mit Hilfe von Taschenrechner und Bemessungshilfsmitteln behandelt werden können, bevorzugt werden. Zum anderen muss der Praktiker ebenso wie der Studierende natürlich wissen, welche Algorithmen sich hinter den genutzten Computerprogrammen verbergen, um die in der Regel vorhandenen Grenzen einer Software einschätzen zu können. Dabei sind die Kenntnis und das Verständnis von Bemessungshilfsmitteln von hohem Wert.

Bemessungshilfsmittel werden von den ihnen zu Grunde liegenden Normen beeinflusst. In Tabelle 1-1 wird kurz zusammengefasst, welche Regelungen sich bei den Novellierungen der Betonbaunorm innerhalb der letzten 40 Jahre geändert haben, soweit sie den Inhalt dieses Buches betreffen. Es wird deutlich, dass durch die Einführung von DIN EN 1992-1-1 / DIN EN 1992-1-1 NA lediglich die Interaktionsdiagramme für Stahlbetondruckglieder nach dem Verfahren mit Nennkrümmung sowie alle Bemessungshilfsmittel für hochfesten Beton einer Überarbeitung bedurften. Dennoch ist es sinnvoll, auch die bereits für vorhergehende Normengenerationen entwickelten, aber jetzt weiterhin anwendbaren Bemessungshilfsmittel in dieses Buch aufzunehmen, um die Übersichtlichkeit und Praktikabilität zu wahren. Andererseits sind inhaltliche Beschränkungen unumgänglich; die vollständige Berücksichtigung von hochfestem Beton in Verbindung mit der Vielzahl unterschiedlicher möglicher Kombinationen von Teilsicherheitsbeiwerten würde ansonsten den Umfang des Buches schnell sprengen. Aus dem

**Tabelle 1-1** Entwicklung der Betonbaunorm mit den wichtigsten inhaltlichen Änderungen

Norm	Ausgabe	Neue oder veränderte Inhalte
DIN 1045	01.1972	Einführung des Traglastverfahrens
DIN 1045	12.1978	Einführung der Bewehrungsrichtlinien
DIN 1045	07.1988	Neufassung der Nachweise der Rissbreitenbeschränkung und Mindestbewehrung
DIN 1045-1	07.2001	Einführung des Sicherheitskonzeptes mit Teilsicherheitsbeiwerten Zusammenfassen von unbewehrtem Beton, Stahlbeton und Spannbeton innerhalb einer Norm Berücksichtigung von Leichtbeton und hochfestem Beton Schnittgrößenberechnung auf Grundlage der Plastizitätstheorie und nichtlinearer Verfahren Geänderte Nachweiskonzepte für Querkraft, Durchstanzen und Torsion
DIN 1045-1	08.2008	Berücksichtigung der Kriechauswirkungen des Betons im Modellstützenverfahren Einführung der Mindestquerkrafttragfähigkeit von Bauteilen ohne Querkraftbewehrung Geändertes Nachweiskonzept für die Schubkraftübertragung in Fugen Modifizierung des Nachweises gegen Durchstanzen Veränderte Ermüdungseigenschaften von Betonstahl Mindestbewehrung bei dicken Bauteilen
DIN EN 1992-1-1	01.2011	Völlig neu zusammengestellter Normentext Zahlreiche neue oder veränderte Nachweiskonzepte, z.B. Heißbemessung, Durchstanzen, Stabilität von Druckgliedern, Begrenzung der Biegeschlankheit usw. Veränderte Baustoffkennwerte für hochfesten Beton

gleichen Grund konnten auch Leichtbeton und unbewehrter Beton nicht berücksichtigt werden.

In den folgenden Kapiteln 2 bis 6 werden die für die Anwendung und das Verständnis der Bemessungshilfsmittel notwendigen Grundlagen der aktuellen Betonbaunorm DIN EN 1992-1-1 (in diesem Buch kurz mit EC2 bezeichnet) und des zugehörigen nationalen Anhangs DIN EN 1992-1-1 NA (nachfolgend mit EC2 NA bezeichnet) in stark gestraffter Form dargestellt. Erläuterungen zu den Bemessungshilfsmitteln sind in Kapitel 7 enthalten, Anwendungsbeispiele in Kapitel 8. Im Kapitel 9 finden sich Bemessungshilfsmittel für normalfesten Beton C12/15 bis C50/60; in den daran anschließenden Kapiteln die Bemessungshilfsmittel für hochfeste Betone.

Eine Gesamtübersicht zu den abgedruckten Bemessungshilfsmitteln wird auf den Seiten 51 bis 53 gegeben.

## 1.2 Bezeichnungen

### Schnittgrößen, Einwirkungen, Ausmitten

Besondere Aufmerksamkeit ist beim Ansatz von Längskräften  $N_{Ed}$  geboten, da diese nach EC2 als Druckkraft mit positivem Vorzeichen in die Berechnungsformeln einzusetzen sind. Gegebenenfalls werden daher im Folgenden entsprechende Hinweise zum Vorzeichen von  $N_{Ed}$  gegeben.

$F_{cd}$	Resultierende der Druckspannung der Betondruckzone
$F_{sd}$	Resultierende der Druck- oder Zugspannung der Bewehrung
$M, m$	Biegemoment, bezogenes Biegemoment
$M^I$	Moment nach Theorie I. Ordnung
$M^{II}$	Moment nach Theorie II. Ordnung
$M_{Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments
$M_{Eds}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments bezogen auf die Zugbewehrungslage
$N, n$	Normalkraft, bezogene Normalkraft
$N_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Zug oder Druck)
$\mu_{Ed}$	bezogener Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments
$\mu_{Eds}$	bezogener Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments bezogen auf die Zugbewehrungslage
$\nu_{Ed}$	bezogener Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Zug oder Druck)
$e_0$	planmäßige Lastausmitte
$e_{tot}$	Gesamtausmitte
$e_i$	ungewollte Ausmitte
$e_1$	Summe aus planmäßiger und zusätzlicher Lastausmitte
$e_2$	zusätzliche Lastausmitte (nach Theorie II. Ordnung)

### Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_C$	Teilsicherheitsbeiwert für Beton
$\gamma_S$	Teilsicherheitsbeiwert für Betonstahl
$\gamma_G$	Teilsicherheitsbeiwert für eine ständige Einwirkung
$\gamma_Q$	Teilsicherheitsbeiwert für eine veränderliche Einwirkung

**Materialkennwerte**

Beton:

$f_{ck}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen
$f_{ck,cube}$	charakteristischer Wert der Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 28 Tagen
$f_{cm}$	Mittelwert der Betondruckfestigkeit
$f_{cd}$	Bemessungswert der Betondruckfestigkeit
$f_{ct}$	Betonzugfestigkeit
$f_{ctk,0,05}$	charakteristischer Wert des 5%-Quantils der Betonzugfestigkeit
$f_{ctk,0,95}$	charakteristischer Wert des 95%-Quantils der Betonzugfestigkeit
$f_{ctm}$	Mittelwert der zentrischen Betonzugfestigkeit
$f_{ctm,fl}$	Mittelwert der Biegezugfestigkeit
$E_c$	Elastizitätsmodul des Betons (Tangentenmodul)
$E_{cm}$	mittlerer Sekantenmodul

Betonstahl:

$f_{yk}$	charakteristischer Wert der Streckgrenze
$f_{yd}$	Bemessungswert der Streckgrenze
$f_{tk}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit
$f_{tk,cal}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit für die Bemessung
$E_s$	Elastizitätsmodul des Betonstahls

**Spannungen, Dehnungen**

$\varepsilon_c$	Betondehnung
$\varepsilon_{cc}$	Kriechdehnung des Betons
$\varepsilon_{cu}$	rechnerische Bruchdehnung des Betons
$\varepsilon_s$	Dehnung des Betonstahls
$\sigma_c$	Betonspannung
$\sigma_s$	Spannung im Betonstahl

**Abmessungen/geometrische Größen**

$b$	Querschnittsbreite
$b_{eff}$	mitwirkende Plattenbreite
$b_w$	Stegbreite eines Plattenbalkens

$d$	statische Nutzhöhe
$h$	Gesamthöhe des Bauteils
$h_{\text{ges}}$	Gesamtdicke des Bauteils
$h_f$	Gurtplattendicke
$l_{\text{eff}}$	Stützweite
$l_n$	lichte Stützweite
$l_0$	Ersatzlänge bei Druckgliedern
$r$	Radius
$1/r$	Krümmung
$x$	Druckzonenhöhe ( $x = \xi \cdot d$ )
$z$	Hebelarm der inneren Kräfte ( $z = \zeta \cdot d$ )
$z_s$	Abstand der Zug- oder Druckbewehrung vom Querschnittsschwerpunkt
$\lambda$	Schlankheit von Druckgliedern

**Querschnittswerte**

$A$	Querschnittsfläche
$A_c$	Betonquerschnittsfläche
$A_i$	ideelle Querschnittsfläche
$W$	Widerstandsmoment
$I$	Flächenmoment 2. Grades
$i$	Trägheitsradius

**Bewehrungsgrößen**

$A_s, a_s$	Querschnittsfläche der Längsbewehrung
$\emptyset$	Stabdurchmesser
$s$	Stababstand der Längsbewehrungsstäbe
$s_{\text{max}}$	maximal zulässiger Stababstand
$a_{\text{min}}$	Mindestabstand gleichlaufender Bewehrungsstäbe
$\omega$	mechanischer Bewehrungsgrad

**Bewehrungskonstruktion**

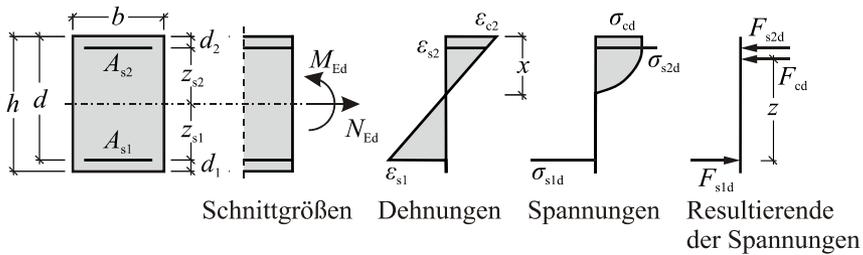
$c_{\text{min}}$	Mindestbetondeckung
$c_{\text{nom}}$	Nennmaß der Betondeckung

$c_{dev}$	Vorhaltemaß
$c_v$	Verlegemaß der Betondeckung

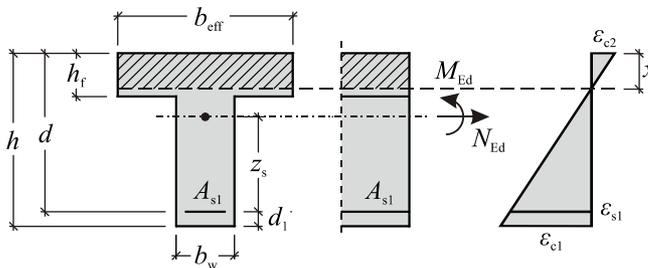
### Abkürzungen

GZG	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit
GZT	Grenzzustände der Tragfähigkeit
EC0	DIN EN 1990
EC2	DIN EN 1992-1-1
EC2 NA	DIN EN 1992-1-1 NA

Die maßgebenden Bezeichnung nach DIN EN 1992-1-1 / DIN EN 1992-1-1 NA, welche für die Bemessung von Stahlbetonquerschnitten verwendet werden, sind in den Bildern 1-1 und 1-2 dargestellt.



**Bild 1-1** Bezeichnungen am Rechteckquerschnitt



**Bild 1-2** Bezeichnungen am Plattenbalkenquerschnitt

## 2 Sicherheitskonzept

### 2.1 Allgemeines

Der Berechnung von Bauteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton auf der Grundlage von EC2 liegt das Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN EN 1990 zu Grunde. Bei der rechnerischen Nachweisführung ist dabei zwischen

- Grenzzuständen der Tragfähigkeit,
- Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit,
- Anforderungen an die Dauerhaftigkeit

zu unterscheiden.

### 2.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit

#### Nachweise

In den Grenzzuständen der Tragfähigkeit sind prinzipiell folgende Nachweise zu führen:

- **Nachweis der Lagesicherheit** (betrifft z.B. Abheben, Umkippen, Aufschwimmen)
- **Versagen des Tragwerks oder eines seiner Teile, verursacht durch Bruch, übermäßige Verformung, Verlust der Stabilität oder Bildung kinematischer Ketten.** In diesem Zusammenhang sind unter anderem folgende Nachweise zu führen:
  1. Nachweis der Tragfähigkeit für Biegung mit und ohne Längskraft
  2. Nachweis der Sicherheit gegen durch Tragwerksverformungen bedingten Verlust der Tragfähigkeit
  3. Nachweis der Querkrafttragfähigkeit
  4. Nachweis der Tragfähigkeit bei Torsionsbeanspruchung
  5. Nachweis der Durchstanzttragfähigkeit.

Nachweisformat:  $E_d \leq R_d$

$E_d$  Bemessungswert der Beanspruchung unter Berücksichtigung der in DIN EN 1990 bzw. DIN EN 1990 NA angegebenen Kombinationsregeln

$R_d$  Bemessungswert des Tragwiderstandes.

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes  $R_d$  ergibt sich in Abhängigkeit von dem für die Schnittgrößenermittlung gewählten Verfahren:

- bei linear-elastischer Berechnung oder Verfahren auf Basis der Plastizitätstheorie

$$R_d = R \left( \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C}; \frac{f_{yk}}{\gamma_S}; \frac{f_{tk,cal}}{\gamma_S} \right)$$

$\alpha_{cc}$	Abminderungsbeiwert für die Betondruckfestigkeit
$f_{ck}$	charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit
$f_{yk}$	charakteristischer Wert der Streckgrenze des Betonstahls
$f_{tk,cal}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Betonstahls
$\gamma_C, \gamma_S$	Teilsicherheitsbeiwerte für Beton, Betonstahl

- bei nichtlinearen Verfahren der Schnittgrößenermittlung

$$R_d = R(f_{cR}; f_{yR}; f_{tR}) / \gamma_R$$

$f_{cR}, f_{yR}, f_{tR}$  rechnerischer Mittelwert der jeweiligen Festigkeiten des Betons bzw. Betonstahls

$\gamma_R$  Teilsicherheitsbeiwert für den Systemwiderstand

#### – Nachweis gegen Ermüdung

Spezielle Tragwerke, die häufig wiederkehrenden Lastwechseln unterworfen sind (z.B. Brücken oder Kranbahnen), sind gegen Ermüdung nachzuweisen. Bei Tragwerken des üblichen Hochbaus darf ein derartiger Nachweis in der Regel entfallen.

#### – Sicherstellung eines duktilen Bauteilverhaltens

Bei der Erstrissbildung muss ein Versagen ohne Vorankündigung vermieden werden. Diese Forderung gilt für Stahlbetonbauteile als erfüllt, wenn eine Mindestbewehrung vorgesehen wird, die für das mit dem Mittelwert der Betonzugfestigkeit  $f_{ctm}$  bestimmte Rissmoment und eine Stahlspannung  $\sigma_s = f_{yk}$  zu berechnen ist.

### Bemessungswerte der Beanspruchungen $E_d$

Entsprechend DIN EN 1990 / DIN EN 1990 NA erfolgt die Ermittlung der Bemessungswerte der Beanspruchungen  $E_d$  in den GZT für folgende Einwirkungskombinationen:

- ständige und vorübergehende Bemessungssituation (Grundkombination), gilt nicht für den Nachweis auf Materialermüdung (siehe dazu bauartspezifische Bemessungsnormen):

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- außergewöhnliche Bemessungssituation:

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

- Bemessungssituation bei Erdbeben:

$$E_{dAE} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

In diesen Kombinationsregeln bedeuten:

„+“	steht als Symbol für "in Kombination mit ..."
$\gamma_G, \gamma_Q$	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen nach Tabelle 2-2
$\psi_0, \psi_1, \psi_2$	Kombinationsbeiwerte nach Tabelle 2-1
$G_{k,j}$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung $j$
$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der vorherrschenden unabhängigen veränderlichen Einwirkung
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert der sonstigen unabhängigen veränderlichen Einwirkungen
$A_d$	Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung
$A_{Ed}$	Bemessungswert einer Einwirkung infolge Erdbebens

Als voneinander unabhängig dürfen Einwirkungen nur dann betrachtet werden, wenn sie durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden, bzw. die zwischen ihnen bestehende Korrelation vernachlässigbar ist. Ist nicht von vornherein offensichtlich, welche der unabhängigen veränderlichen Einwirkungen die für den betrachteten Lastfall vorherrschende ist, sollte jede unabhängige veränderliche Einwirkung der Reihe nach als vorherrschend untersucht werden. Im Fall einer linear-elastischen Berechnung können Beanspruchungen aus einzelnen Einwirkungen zunächst getrennt berechnet und anschließend überlagert werden. Bei den Kombinationsregeln dürfen in diesem Fall die Bemessungswerte unabhängiger Einwirkungen ( $G_{k,j}$ ,  $P$ ,  $Q_{k,i}$ ,  $A_d$ ,  $A_{Ed}$ ) durch die zugehörigen Auswirkungen (Schnittgrößen oder Spannungen)  $E_{G_{k,j}}$ ,  $E_{Pk}$ ,  $E_{Q_{k,i}}$ ,  $E_{Ad}$ ,  $E_{AEd}$  ersetzt werden. Die vorherrschende veränderliche Auswirkung  $E_{Q_{k,1}}$  lässt sich dann für die verschiedenen Kombinationsregeln aus folgenden Bedingungen bestimmen:

- Grundkombination:  $\gamma_{Q,1} \cdot (1 - \psi_{0,1}) \cdot E_{Q_{k,1}} = \text{Max.}$
- außergewöhnliche Bemessungssituation:  $(\psi_{1,1} - \psi_{2,1}) \cdot E_{Q_{k,1}} = \text{Max.}$

### Kombinationsbeiwerte

Kombinationsbeiwerte für Hochbauten sind in DIN EN 1990 NA (siehe Tabelle 2-1) angegeben. Für andere Bauwerkstypen sind gegebenenfalls andere Vorschriften zu beachten.

**Tabelle 2-1:** Kombinationsbeiwerte  $\psi_i$  für Hochbauten nach DIN EN 1990 NA, Anhang A

Einwirkung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>Nutzlasten</b> <sup>a)</sup>			
– Wohn- und Aufenthaltsräume, Büros	0,7	0,5	0,3
– Versammlungsräume, Verkaufsräume	0,7	0,7	0,6
– Lagerräume	1,0	0,9	0,8
<b>Verkehrslasten</b>			
– Fahrzeuglast $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
– $30$ kN < Fahrzeuglast $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
– Dachlasten	0	0	0
<b>Schnee- und Eislasten</b>			
– Orte bis NN +1000 m	0,5	0,2	0
– Orte über NN +1000 m	0,7	0,5	0,2
<b>Windlasten</b> <sup>b)</sup>	0,6	0,2	0
<b>Temperatureinwirkungen (nicht Brand)</b> <sup>c)</sup>	0,6	0,5	0
<b>Baugrundsetzungen</b> <sup>d)</sup>	1,0	1,0	1,0
<b>Sonstige Einwirkungen</b> <sup>e)</sup>	0,8	0,7	0,5

a) Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN EN 1991-1-1.

b) Siehe DIN EN 1991-1-4.

c) Siehe DIN EN 1991-1-5.

d) Siehe DIN EN 1997.

e) Flüssigkeitsdruck ist in der Regel als veränderliche Einwirkung zu betrachten. Die  $\psi$ -Beiwerte sind dabei standortbedingt festzulegen. Flüssigkeitsdruck, dessen Größe durch geometrische Verhältnisse begrenzt ist, darf als ständige Einwirkung behandelt werden, wobei alle  $\psi$ -Beiwerte gleich 1,0 zu setzen sind.  $\psi$ -Beiwerte für Maschinenlasten sind betriebsbedingt festzulegen.

### Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit

**Tabelle 2-2** Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen in den GZT bei Versagen des Tragwerks oder eines seiner Teile durch Bruch, übermäßige Verformung usw.

Auswirkung	Ständige Einwirkungen	Veränderliche Einwirkungen
	$\gamma_G$	$\gamma_Q$
günstig	1,0	0
ungünstig	1,35	1,5

Ergänzend zu Tabelle 2-2 gilt:

- Teilsicherheitsbeiwerte für den Nachweis der Lagesicherheit enthält DIN EN 1990.
- Für den Nachweis gegen Ermüdung ist der Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkungen mit  $\gamma_{F,\text{fat}} = 1,0$  zu berücksichtigen.
- Wird bei linear-elastischer Schnittgrößenermittlung mit den Steifigkeiten des ungerissenen Querschnittes sowie dem mittleren Elastizitätsmodul  $E_{\text{cm}}$  (Sekantenmodul) gerechnet, darf für Zwang der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_Q = 1,0$  angesetzt werden.
- Für Bauzustände von Fertigteilen darf bei der Nachweisführung für Biegung und Längskraft mit folgenden Teilsicherheitsbeiwerten gerechnet werden:
  - $\gamma_G = 1,15$  für ständige Einwirkungen
  - $\gamma_Q = 1,15$  für veränderliche Einwirkungen.
 Dabei sind Einwirkungen aus Krantransport und Schalungshaftung zu berücksichtigen.
- Bei durchlaufenden Bauteilen darf für ein und dieselbe unabhängige ständige Einwirkung entweder der obere oder der untere Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_G$  in allen Feldern gleich angesetzt werden. Ausnahme: Nachweis der Lagesicherheit!

**Tabelle 2-3** Teilsicherheitsbeiwerte für die Bestimmung des Tragwiderstandes in den GZT

Bemessungssituation	Beton $\gamma_C$	Betonstahl $\gamma_S$	Systemwiderstand bei nichtlinearer Schnittkraftermittlung $\gamma_R$
ständig oder vorübergehend; Ermüdung	1,5 <sup>1)</sup>	1,15	1,3
außergewöhnlich	1,3	1,0	1,1

<sup>1)</sup> Bei Fertigteilen mit einer werkmäßigen und ständig überwachten Herstellung darf  $\gamma_C$  auf 1,35 reduziert werden. Durch Überprüfung der Betonfestigkeit an jedem fertigen Bauteil sind alle Fertigteile mit zu geringer Betonfestigkeit auszusondern. Die in diesem Fall erforderlichen Maßnahmen sind mit den zuständigen Überwachungsstellen abzustimmen und vom Hersteller zu dokumentieren.

## 2.3 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

### Nachweisformat

In den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sind folgende Nachweise zu führen:

- Rissbreitenbegrenzung
- Verformungsbegrenzung
- Spannungsbegrenzung
- gegebenenfalls Schwingungs- und Erschütterungsbegrenzung (nicht in EC2 geregelt).

Nachweisformat:  $E_d \leq C_d$

- $E_d$  Bemessungswert der Beanspruchung (z.B. Spannung, Rissbreite), auf der Grundlage der nachfolgend angegebenen Kombinationsregeln zu bestimmen
- $C_d$  Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums (z.B. aufnehmbare Spannung, zulässige Rissbreite).

Die Teilsicherheitsbeiwerte dürfen in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sowohl für Einwirkungen als auch Beanspruchungen zu 1,0 gesetzt werden.

### Kombinationsregeln zur Bestimmung der Bemessungswerte der Einwirkungen

Die Bemessungswerte der Einwirkungen sind entsprechend der folgenden Kombinationsregeln nach DIN EN 1990 zu ermitteln:

- Seltene (charakterist.) Kombination: 
$$E_{d,rare} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$
- Häufige Kombination: 
$$E_{d,frequ} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$
- Quasi-ständige Kombination: 
$$E_{d,perm} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Zur Bedeutung der Formelzeichen siehe Seite 9.

Bei linear-elastischer Schnittgrößenermittlung dürfen in diesen Kombinationsregeln – analog zur Vorgehensweise in den GZT – die Bemessungswerte der unabhängigen Einwirkungen durch die zugehörigen Auswirkungen ersetzt werden.

Die vorherrschende veränderliche Einwirkung kann für die einzelnen Kombinationsregeln aus folgenden Bedingungen ermittelt werden:

- Seltene (charakteristische) Kombination:  $(1 - \psi_{0,1}) \cdot E_{Q_{k,1}} = \text{Max.}$
- Häufige Kombination:  $(\psi_{1,1} - \psi_{2,1}) \cdot E_{Q_{k,1}} = \text{Max.}$

## 2.4 Dauerhaftigkeit

Unter Dauerhaftigkeit wird die Anforderung verstanden, über einen geplanten Nutzungszeitraum die Tragfähigkeit und die vorgesehenen Gebrauchseigenschaften sicherzustellen. Dazu sind folgende Regeln einzuhalten:

- Mindestanforderungen an Beton entsprechend der vorliegenden Expositionsklasse
- konstruktive Regeln (Mindestbetondeckung, Mindestbewehrung)
- rechnerische Nachweise in den Grenzzuständen
- Anforderungen an die Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2
- Bauausführung nach DIN EN 13670 (Nachbehandlung, Schutz der Betonoberfläche).

## 3 Baustoffe

### 3.1 Beton

#### 3.1.1 Festigkeits- und Formänderungskennwerte

Betone werden in 15 Festigkeitsklassen eingeteilt, siehe Tabelle 3-1 und 3-2. Die Bezeichnung der Betonfestigkeitsklassen erfolgt durch den Buchstaben C (für Normalbeton), an den sich zwei durch einen Schrägstrich voneinander getrennte Zahlen anschließen. Die erste dieser Zahlen entspricht dem charakteristischen Wert der Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$ , die zweite Zahl dem charakteristischen Wert der Würfeldruckfestigkeit  $f_{ck,cube}$ . Für die rechnerische Nachweisführung ist der charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit  $f_{ck}$  maßgebend, dagegen liegt der Konformitätskontrolle nach DIN 1045-2 – sofern nicht anders vereinbart – die Würfeldruckfestigkeit zu Grunde.

#### Bemessungswert der Betondruckfestigkeit $f_{cd}$ und der Betonzugfestigkeit $f_{ctd}$

Bemessungswert der Betondruckfestigkeit:  $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C$

Bemessungswert der Betonzugfestigkeit:  $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk;0,05} / \gamma_C$

$f_{ck}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons
$f_{ctk;0,05}$	charakteristischer Wert der Betonzugfestigkeit (5%-Quantilwert)
$\alpha_{cc}, \alpha_{ct}$	Abminderungsbeiwerte zur Berücksichtigung von Langzeitwirkungen sowie von ungünstigen Auswirkungen durch die Art der Beanspruchung auf die Druck- bzw. Zugfestigkeit des Betons
	$\alpha_{cc} = \alpha_{ct} = 0,85$
$\gamma_C$	Teilsicherheitsbeiwert für Beton

#### Mittelwert der Biegezugfestigkeit bewehrter Betonbauteile $f_{ctm,n}$

$$f_{ctm,n} = (1,6 - h/1000) \cdot f_{ctm} \geq f_{ctm}$$

Dabei ist  $h$  die Querschnittshöhe in mm,  $f_{ctm}$  der Mittelwert der zentrischen Betonzugfestigkeit.

#### Betonfestigkeit für ein Alter $t \neq 28$ Tage

Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit nach  $t$  Tagen:  $f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$

Mittelwert der Betonzugfestigkeit nach  $t$  Tagen:  $f_{ctm}(t) = [\beta_{cc}(t)]^\alpha \cdot f_{ctm}$

$f_{cm}(t)$	Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit des Betons nach $t$ Tagen
$f_{ctm}(t)$	Mittelwert der zentrischen Zugfestigkeit des Betons nach $t$ Tagen
$\beta_{cc}(t)$	vom Betonalter $t$ abhängiger Beiwert $\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot (1 - \sqrt{28/t})}$

- $t$       Betonalter in Tagen  
 $s$       vom Zementtyp abhängiger Beiwert  
           $s = 0,20$  für CEM 42,5 R, CEM 52,5 N, CEM 52,5 R  
           $s = 0,25$  für CEM 32,5 R, CEM 42,5 N  
           $s = 0,38$  für CEM 32,5 N  
 $\alpha$       Beiwert,  $\alpha = 1$  für  $t < 28$  Tage,  $\alpha = 2/3$  für  $t \geq 28$  Tage

**Tabelle 3-1:** Festigkeits- und Formänderungskennwerte von Normalbeton

Kenngröße	Festigkeitsklassen für Normalbeton C								
	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
$f_{ck}$ in $N/mm^2$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck,cube}$ in $N/mm^2$	15	20	25	30	37	45	50	55	60
$f_{cm}$ in $N/mm^2$	20	24	28	33	38	43	48	53	58
$f_{ctm}$ in $N/mm^2$	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk;0,05}$ in $N/mm^2$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk;0,95}$ in $N/mm^2$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
$E_{cm}$ in $N/mm^2$	27 000	29 000	30 000	31 000	33 000	34 000	35 000	36 000	37 000
$\varepsilon_{c1}$ in ‰	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,45
$\varepsilon_{cu1}$ in ‰	3,5								
$n$	2,0								
$\varepsilon_{c2}$ in ‰	2,0								
$\varepsilon_{cu2}$ in ‰	3,5								
$\varepsilon_{c3}$ in ‰	1,75								
$\varepsilon_{cu3}$ in ‰	3,5								

**Tabelle 3-2:** Festigkeits- und Formänderungskennwerte von hochfestem Beton

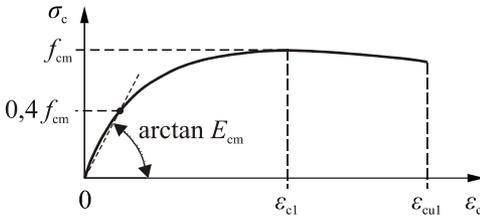
Kenngröße	Festigkeitsklassen für hochfesten Beton C					
	55/67	60/75	70/85	80/95	90/105	100/115
$f_{ck}$ in $N/mm^2$	55	60	70	80	90	100
$f_{ck,cube}$ in $N/mm^2$	67	75	85	95	105	115
$f_{cm}$ in $N/mm^2$	63	68	78	88	98	108
$f_{ctm}$ in $N/mm^2$	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2
$f_{ctk;0,05}$ in $N/mm^2$	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	3,7
$f_{ctk;0,95}$ in $N/mm^2$	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	6,8
$E_{cm}$ in $N/mm^2$	38 000	39 000	41 000	42 000	44 000	45 000
$\varepsilon_{c1}$ in ‰	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,8
$\varepsilon_{cu1}$ in ‰	3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	2,8
$n$	1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	1,4
$\varepsilon_{c2}$ in ‰	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6
$\varepsilon_{cu2}$ in ‰	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6
$\varepsilon_{c3}$ in ‰	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4
$\varepsilon_{cu3}$ in ‰	3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6

Die Kennwerte für die Festigkeitsklasse C100/115 wurden EC2 NA entnommen.

### 3.1.2 Spannungs-Dehnungs-Beziehungen

Für Beton unter einachsiger Druckbeanspruchung können nach EC2 grundsätzlich die nachfolgend beschriebenen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen zur Anwendung kommen:

*Spannungs-Dehnungs-Linie für nichtlineare Verfahren der Schnittgrößenermittlung und für Verformungsberechnungen*



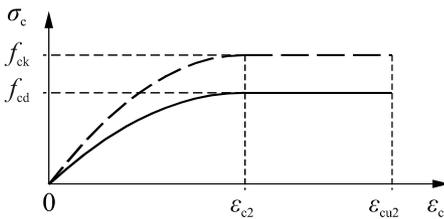
$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \left( \frac{k \cdot \eta - \eta^2}{1 + (k-2) \cdot \eta} \right)$$

$$\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}, \quad k = 1,05 \cdot E_{cm} \cdot \epsilon_{c1} / f_{cm}$$

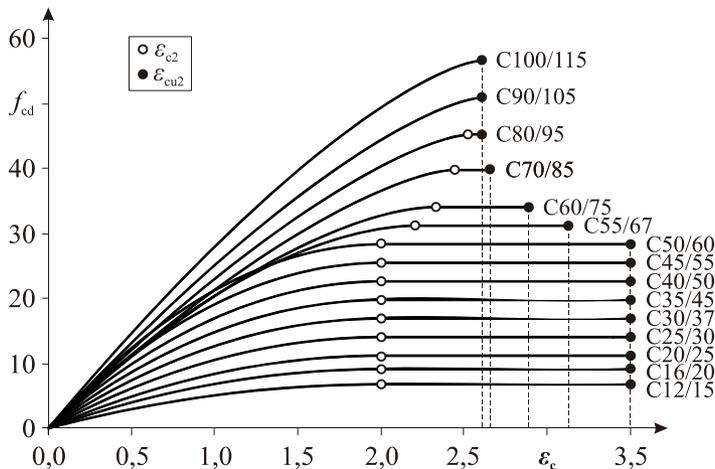
$f_{cm}, \epsilon_{c1}, E_{cm}$  nach Tabelle 3-1 und 3-2

*Spannungs-Dehnungs-Linien für die Querschnittsbemessung*

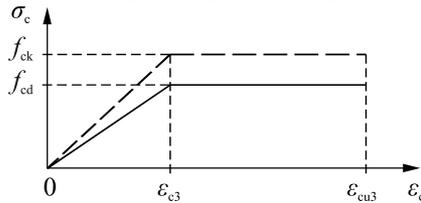
Parabel-Rechteck-Diagramm



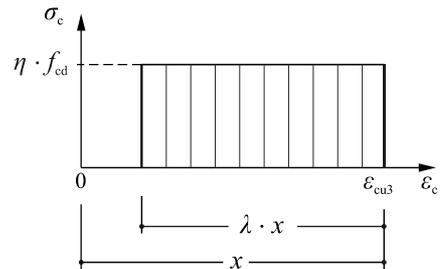
$$\sigma_c = \begin{cases} f_{cd} \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] & \text{für } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2} \\ f_{cd} & \text{für } \epsilon_{c2} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2} \end{cases}$$



Bilineare Spannungs-Dehnungs-Linie



Spannungsblock



Für die Anwendung des Spannungsblockes gilt:

- Die Dehnungsnulldlinie muss im Querschnitt liegen.
- $$\eta = \begin{cases} 1,0 & \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ 1,0 - (f_{ck} - 50)/200 & \text{für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$
- $$\lambda = \begin{cases} 0,8 & \text{für } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ 0,8 - (f_{ck} - 50)/400 & \text{für } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \end{cases}$$
- Bei zum gedrückten Rand hin abnehmender Querschnittsbreite ist  $\eta \cdot f_{cd}$  zusätzlich mit dem Faktor 0,9 abzumindern.

### 3.1.3 Einfluss von Kriechverformungen

Kriechverformungen dürfen bei der Bemessung von nicht vorgespannten Stahlbetonquerschnitten unter Biegung und Längskraft in der Regel vernachlässigt werden. Eine Ausnahme stellt die Berechnung von Bauteilen unter Normalkraft nach Theorie II. Ordnung dar, bei denen Krieचाuswirkungen gegebenenfalls zu berücksichtigen sind.

#### Voraussetzungen für die Ermittlung der Kriechverformungen

Die nachfolgend angegebenen Regeln zur Berechnung der Kriechverformungen beruhen auf folgenden Voraussetzungen:

- Die kriecherzeugende Betondruckspannung im Alter  $t_0$  ist nicht größer als  $0,45 \cdot f_{ck}(t_0)$ . Anderenfalls ist nichtlineares Kriechen nach EC2, 3.1.4 zu berücksichtigen.
- Die mittlere relative Luftfeuchte liegt zwischen 40% und 100%, die Umgebungstemperaturen zwischen  $-40 \text{ °C}$  und  $+40 \text{ °C}$ .

Die berechneten Kriechverformungen sind als zu erwartende Mittelwerte zu betrachten, die mittleren Variationskoeffizienten für die Vorhersage der Endkriechzahl liegen bei ungefähr 30%. Sind Tragwerke gegenüber Kriechen empfindlich, sollten mögliche Streuungen dieser Werte berücksichtigt werden.

### Berechnung der Kriechdehnung bei konstanter kriecherzeugender Betonspannung

Unter der Voraussetzung einer zeitlich konstanten kriecherzeugenden Betonspannung  $\sigma_c$  kann die Kriechdehnung  $\varepsilon_{cc}$  wie folgt ermittelt werden:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varphi(t, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_c}$$

- $\varepsilon_{cc}(t, t_0)$  Kriechdehnung des Betons im Zeitraum  $t_0$  bis  $t$   
 $\varphi(t, t_0)$  Kriechzahl zum Zeitpunkt  $t$   
 $t_0$  Betonalter bei Belastungsbeginn in Tagen  
 $\sigma_c$  kriecherzeugende Betonspannung  
 $E_c$  Tangentenmodul,  $E_c = 1,05 \cdot E_{cm}$

In vielen Fällen ist es ausreichend, die Kriechdehnung für den Zeitpunkt  $t = \infty$  mit Hilfe der Endkriechzahl  $\varphi(\infty, t_0)$  zu bestimmen. Für einfache Fälle siehe dazu Tabelle 3-3.

**Tabelle 3-3** Endkriechzahlen  $\varphi(\infty, t_0)$  (Die Endkriechzahlen gelten für eine Belastungsdauer von 70 Jahren.)

Relative Luftfeuchte der Umgebung <i>RH</i>	Betonalter bei Belastungsbeginn $t_0$ in Tagen	Wirksame Bauteildicke $h_0 = 2 \cdot A_c / u$ in cm					
		10	50	100	10	50	100
		C20/25			C30/37		
50%	1	6,0	4,7	4,3	4,9	3,9	3,6
	3	4,9	3,8	3,5	4,0	3,2	2,9
	7	4,2	3,3	3,0	3,4	2,7	2,5
	28	3,2	2,5	2,3	2,6	2,1	1,9
80%	1	4,1	3,6	3,5	3,4	3,0	2,9
	3	3,4	3,0	2,8	2,8	2,5	2,4
	7	2,9	2,5	2,4	2,4	2,1	2,0
	28	2,2	1,9	1,9	1,8	1,6	1,6

Die angegebenen Endkriechzahlen  $\varphi(\infty, t_0)$  gelten für Normalbetone, die mit Zement der Klasse N hergestellt werden.  $A_c$  ist die Querschnittsfläche,  $u$  ist der einer Austrocknung ausgesetzte Teil des Querschnittsumfangs, bei Hohlkästen einschließlich 50% des inneren Umfangs.

Eine Berechnung der Kriechdehnung für einen beliebigen Zeitpunkt  $t$  ist mit Hilfe der in EC2, Anhang B angegebenen Beziehungen möglich. Zur Berechnung der Kriechdehnung bei veränderlicher kriecherzeugender Spannung siehe [6].

### 3.2 Betonstahl

Für die Verwendung als konstruktive Bewehrung in Betonbauteilen stehen schweißgeeignete, gerippte Betonstähle mit annähernd kreisförmigem Querschnitt in zwei verschiedenen Duktilitätsklassen (**A** = normalduktil, **B** = hochduktil) zur Verfügung. Hinsichtlich der Verarbeitungsform ist zwischen Betonstabstahl, Betonstahl in Ringen, Betonstahlmatten und Gitterträgern zu unterscheiden. Betonstähle müssen entweder den Regelungen der Normenreihe DIN 488 entsprechen oder auf der Grundlage einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung eingesetzt werden. Weitergehende Informationen können [9] entnommen werden.

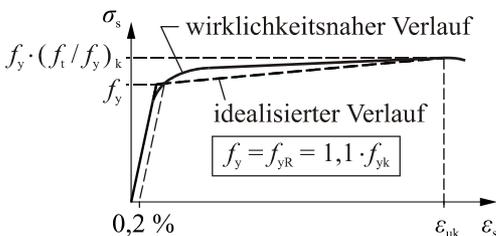
Die für die rechnerische Nachweisführung wichtigsten Materialkennwerte von Betonstahl sind in Tabelle 3-4 enthalten.

**Tabelle 3-4** Eigenschaften von Betonstahl nach DIN 488

Bezeichnung	B500A		B500B		
	Betonstabstahl	Betonstahlmatten	Betonstabstahl	Betonstahlmatten	
Duktilität	normal		hoch		
Streckgrenze $f_{yk}$ in N/mm <sup>2</sup>	500				
Verhältnis $(f_t / f_y)_k$	≥ 1,05		≥ 1,08		
Verhältnis $(f_{y,ist} / f_{yk,nenn})_{0,90}$	-		≤ 1,3		
Stahldehnung unter Höchstlast $\varepsilon_{uk}$ in ‰	25		50		
Kennwert für die Ermüdungsfestigkeit $N = 1 \cdot 10^6$ in N/mm <sup>2</sup> (mit einer oberen Spannung $\leq 0,6 \cdot f_y$ )	$d_s \leq 28$	175	100	175	100
	$d_s > 28$	-	-	145	-
$f_y$ Streckgrenze des Betonstahls	$f_t$ Zugfestigkeit des Betonstahls				
$f_{yk}$ charakteristischer Wert der Streckgrenze					

#### Spannungs-Dehnungs-Beziehungen für Betonstahl

*Spannungs-Dehnungs-Linie des Betonstahls für die Schnittgrößenermittlung*



Sofern eine nichtlineare Schnittgrößenermittlung durchgeführt wird, ist dieser eine wirklichkeitsnahe Spannungs-Dehnungs-Linie für den Betonstahl mit  $\varepsilon_s \leq \varepsilon_{uk}$  zu Grunde zu legen. Näherungsweise darf ein bilinearer Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Linie vorausgesetzt werden.